

平成14年度 農林水産省補助事業
木材加工・利用技術開発促進事業

再利用・廃棄技術調査・開発事業報告書

平成 15 年 3 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

近年、産業廃棄物処理に関する法・制度が相次いで打ち出され、産業界あげて廃棄物削減とリサイクル対策に取り組んできている。この中で木材系廃材を含む建設廃材については、分別解体の義務や発生量の減量化、リサイクル率の向上などを内容とする法案が制定され施行されている。

本事業は、このような現状を踏まえて建築系廃材、工業系廃材、使用済み梱包材やパレットなどの流通系廃材の再資源化、再利用化を図るための技術開発を通して、木質資源の有効利用と環境保護に資することを目的とし、下記委員会を設置して推進してきた。委員及び関係者各位には忙しい中のご尽力を賜りましたこと、厚くお礼を申し上げます。

平成15年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

理事長 岡 勝 男

木質廃棄物再利用技術検討委員会 委員等名簿

(順不同・敬省略)

委員長 鈴木 滋彦 静岡大学農学部森林資源科学科 助教授

委員 外崎 真理雄 森林総合研究所木材特性研究領域 物性研究室長

” 中島 史郎 建築研究所材料グループ 主任研究員

” 伊神 裕司 森林総合研究所加工技術研究領域 主任研究官

” 藤本 清彦 森林総合研究所加工技術研究領域 研究員

” 桑原 一男 (社)全国解体工事業団体連合会 専務理事

事務局 篠原 忠司

” 磯崎 芳之

” 佐藤 章

目次

はじめに	1
第1編 木質廃棄物のながれ	
1章 建築系木質廃棄物	
1. 解体木質廃棄物の発生と再資源化	5
1.1 はじめに	
1.2 木造住宅の解体によって排出される木質系解体材	
1.3 木造住宅への資材投入量	
1.4 軸組構法住宅からの解体材の排出量	
1.5 軸組構法住宅における資材投入量と解体材排出量に関する収支	
1.6 木質系解体材の再資源化の可能性	
1.7 木質解体材等の再資源化技術	
1.8 まとめ	
2. 都道府県別建築解体廃木材量の評価と処理施設	30
2.1 はじめに	
2.2 2000年の都道府県別解体廃木材量の評価	
2.3 都道府県別建設残廃材処理施設	
2.4 破砕チップの需要	
2.5 おわりに	
2章 木材工業系木質廃棄物	
1. はじめに	37
2. 木質廃棄物の発生の実態	37
2.1 木質廃棄物の種類	
2.2 木質廃棄物の発生量	
3. 木質廃棄物の再利用用途別品質基準	39
3.1 木材チップ	
3.2 樹皮	
3.3 鋸屑	
3.4 木粉	
4. まとめ	60
3章 その他の木質廃棄物	62

第2編 木質残廃材を利用した再生木質材料

1章 木質廃材を芯層原料とした高性能ストランドボードの開発および製造試験	
1. はじめに	67
2. 木質パネルの現況	67
3. 木質廃材を芯層原料とした実大木質ボードの製造試験	68
3.1 原料	
3.2 実大ボードの設計	
3.3 熱圧条件	
4. ボード試作上の課題	70
4.1 接着剤塗布	
4.2 フォーミング	
4.3 熱圧締	
4.4 クーリング	
4.5 表面研削	
4.6 製造工程の評価	
5. 性能評価	75
5.1 実大ボードの評価	
5.2 実大ボードの機械的性質	
5.3 小試験体による性能評価	
6. 実大製造試験の総括	80
7. 表層ストランドの配向効果および5層化による性能向上	80
8. 5層ボードの製造試験	81
8.1 原料	
8.2 製造条件	
8.3 検討項目	
9. 結果と考察	83
9.1 製造可能なストランド層の最小厚さ	
9.2 配向度の評価	
9.3 層構成の検討	
9.4 曲げ性能に及ぼす層構成の影響	
9.5 吸湿吸水処理による厚さ変化	
9.6 湿潤曲げ試験結果	
9.7 厚さ方向の強度と密度分布	
9.8 線膨張率	
10. まとめ	91

2章	パークを堆肥化した樹皮ポットの開発	
1.	はじめに	95
1.1	木質系残廃材の現状	
1.2	樹皮の特性	
1.3	樹皮の利用	
1.4	タンニンの特性と利用	
2.	試験調査の目的	97
2.1	樹皮の再資源化に対する提案	
2.2	樹皮の酸化処理と自己接着	
3.	試験調査の内容	99
3.1	供試材および試薬	
3.2	樹皮の酸化処理	
3.3	熱圧縮による樹皮の成形加工	
3.4	平板状成形体の物性評価	
3.5	樹皮のカップ状成形体への加工およびカップ状成形体の実用性評価	
4.	試験調査の日程	105
5.	試験調査の結果	105
5.1	樹皮中のタンニンおよびリグニンの含有量	
5.2	樹皮の自己接合性	
5.3	樹皮積層状態の影響	
5.4	成形体厚さの影響	
5.5	酸化処理液の鉄イオンモル比の影響	
5.6	熱圧縮温度の影響	
5.7	熱圧縮圧力の影響	
5.8	熱圧縮時間の影響	
5.9	カップ状成形体への加工性およびカップ状成形体の実用性	
6.	実用化の見通し	129
7.	追加試験調査結果および今後の対応	129
8.	特筆すべき成果	131

事業主旨

近年、産業廃棄物処理に関する法・制度が相次いで打ち出され、産業界あげて廃棄物削減とリサイクル対策に取り組んできている。この中で木材系廃材を含む建設資材については、分別解体の義務や発生量の減量化、リサイクル率の向上などを内容とする法案が制定され、施行されている。

本事業は、このような現状を踏まえて建築系廃材、工業系廃材、使用済み梱包材やパレットなど流通系廃材の再資源化、再利用化を図るための技術開発を通して、木質資源の有効利用と環境保護に資することを目的とする。

事業計画

本事業の実施計画として、最終成果としての技術指針「木質系廃棄物再利用技術指針・同解説」の策定に向けて下記の課題に基づいた検討を行う。

	年度	12	13	14
① 住宅解体材及び新築廃材の収集・分別・再利用法の実態把握、評価及び標準化		○	○	
② 製材、合板、集成材、プレカット等木材工場系残廃材及び樹皮の収集・分別・再利用法の実態把握、評価及び標準化		○	○	
③ 梱包材・パレット等流通系残廃材の収集・分別・再利用法の実態把握、評価及び標準化		○	○	
④ 再生木材、木質ボードの品質基準の作成			○	○
⑤ 木質系廃棄物の再利用技術指針の作成				○

【平成12年度】

技術指針策定に向けた検討事項として①主要検討項目の策定、②建設系、工場系、流通系の木質廃材の排出、分別、処理・利用の実態把握調査、③問題点と技術開発課題の抽出、④課題解決のための研究推進方法検討、を実施することで、建設系、工場系、流通系の木質系廃棄物の排出、分別、処理・利用の実態を解明し、再資源化と再利用のための問題点と技術開発課題を抽出する。

【平成13年度】

平成13年度は、前年度に引き続き実態把握調査を行い、また、前年度に検討を行った技術開発課題の解決のための研究推進方針に基づき、再生木材、木質ボードの品質基準の作成を目的とした研究開発を実施する。

【平成14年度】

前年度に引き続き再生木材、木質ボードの品質基準の作成を目的とした研究開発を継続して実施し、昨年度までの実態把握調査結果等により木質系廃棄物の再利用技術指針の作成検討を実施する。

事業成果

本年度は事業の最終年度のため、技術指針策定に向けた主要項目と建築系、工業系、その他の木質廃棄物の実態把握に基づく現状の問題点と技術課題の摘出および課題解決のための研究推進方法を整理した。さらに、再生木材、木質ボードの品質基準を提案し、再利用技術指針の作成検討を実施した。また、木質残廃材を利用した再生木質材料の開発を2例紹介した。

本報告の概要

本報告では木質廃棄物の発生、分別、処理、再利用について建築系、工業系、その他の別に木質系廃棄物を再資源化するための取り組みの課題等について取り纏めた。また、再生木質材料の開発についても取り纏めた。

【木質廃棄物の発生、分別、処理、再利用】

建築物から発生する木質廃棄物は、現状でも様々な利用方法があるが、更なる再資源化率向上のためにも地域性を考慮した取り組みが望ましい。

新しい取り組みは先立った投資が必要となるが、競争力を考えれば木質廃棄物による原料は十分に可能性がある。

木材工業系（工場）木質廃棄物の再資源化は、処理工程も整理されている。ただし、全ての工場で対応できているということではない。

建築系・木材工業系以外の木質廃棄物については、再資源化のための処理方法は変わらないので再利用原料としての利用は可能だが、その発生量が少ないために材の流通が課題となる。

【木質残廃材を利用した再生木質材料の開発】

木質廃材を原料としたボードについて、ボード利用の現況から合板相当の性能を有するものであれば需要が見込めるとし、製造工程と性能の検証実験を行い廃材利用木質ボードの実用化を検討した。

また、廃樹皮のカップ成形体加工およびその実用を想定した実験を行った。実用を想定した試験では市販のプラスチック製プランターと比較観察を行い良好な結果が得られた。

キーワード

木質廃棄物、再資源化、新築、解体、工場、残廃材、流通、建設リサイクル法、廃棄物処理法、チップ、バーク

はじめに

本事業は木質廃棄物の発生、分別、処理、再利用の実態を把握と、現状の問題点・課題を解決するための技術指針策定を目的とし、平成12年度より着手した。最終年となる当年度は昨年度から継続している再生木材、木質ボードの品質基準作成のための技術開発に加え、3年度にわたる実態調査結果の取り纏めを行った。

実態調査および技術開発の成果についてはそれぞれ各編各章にて紹介しているが、その内容はおよそ以下の通りである。

【木質廃棄物の発生、分別、処理、再利用】

1. 建築系木質廃棄物

建築物から発生する木質廃棄物には、その種類・形状によって再利用の可否および利用方法が異なる。現状でも様々な利用方法があるが、更なる再資源化率向上のためにも適切な運用を図っていくには地域性を考慮した取り組みが望ましい。

発生する再利用原料を新しい取り組みにより消費するためには新たな投資が必要となるが、そのマーケットを考えれば木質廃棄物による製品化は可能性をもつ分野も多いと考えられる。

2. 木材工業系木質廃棄物

木材工業系(工場)からの木質廃棄物の再資源化は、その殆どがチップ化・粉砕処理によってなされており、それら処理工程も整理されている。ただし、全ての工場で対応できているということではないので、製品需要の拡大のためには要求される品質基準に対応するための設備改善と品質基準に沿った一定数量の安定供給の体制づくりが必要となる。

3. その他の木質廃棄物

建築系・木材工業系以外の木質廃棄物についてはその現況を示す統計資料が整備されていないため、ここでは各製品の流通量や製造出荷額を基にした推計に止まった。ただし、再資源化のための処理方法は変わらないので再利用原料としての利用は可能だが、その発生が個別分散的であるため、製品マーケットの維持には原材料としての廃棄物の効果的な集荷方法が課題となる。

【木質残廃材を利用した再生木質材料の開発】

1. 木質廃材を芯層原料とした高性能ストランドボードの開発

木質廃材を原料としたボードについて、ボード利用の現況から合板相当の性能を有するものであれば需要が見込めるとし、製造工程と性能の検証実験を行い廃材利用木質ボードの実用化を検討した。

製造工程は手作業で行い、原料や接着剤の均一性に課題が残ったが工程自体には問題が無く、プラントレベルでの試作を行うことでの解決が見込まれた。合板相当を確認する強度試験では、日本農林規格の構造用パネル2級相当のものが製造可能であること、異方性のないボード設計が可能であることを確認した。

2. バークを堆肥化した樹皮ポットの開発

廃樹皮の再資源化を目的とし、樹皮の熱圧縮のみによる自己接合での成形体加工およびその実用を想定した実験を行った。

加工により得られたカップ状の成形体は、高度な湿潤下において、高い保水性を有しながらも、その形状は崩壊することなく維持された。

実用を想定し、カップ状成形体にチューリップの植え付け試験を行った。市販のプラスチック製プランターと比較観察した結果、いずれの球根も同時期に発芽し、生育状態も同様であった。成形体は発芽直後まで形状に大きな変化は認められなかったが根の生育に伴って段階的に崩壊し、この形状崩壊が成形体をバーク堆肥として機能させることはプラスとなるが、育苗途中での形状崩壊も予想されるので、その崩壊速度の制御について更に検討を行う必要がある。

第1編 木質廃棄物のながれ

1章 建築系木質廃棄物

2章 木材工業系木質廃棄物

3章 その他の木質廃棄物

1 章 建築系木質廃棄物

1. 解体木質廃棄物の発生と再資源化

1. 1 はじめに

建設廃棄物は産業廃棄物全体の排出量の約 2 割を占めており、最終処分場の残余容量もわずかになっている状況から、廃棄行為そのもののあり方が問われている。また、不法投棄量の多くを建設廃棄物が占めており、その中で木造住宅解体時に発生する廃棄物が増加要因の一つといわれている。一方、建築系建設廃棄物是他分野の廃棄物に比べて廃棄物中に様々な種類のものが含まれる可能性が高く、混合廃棄物の排出量が多くなる傾向にある。また、解体処理に絡む要因も複雑で再資源化の取り組みが遅れており、その対策が重要な課題となっている。品目別では、建設発生木材、建設汚泥、建設混合廃棄物の再資源化率が低迷しており、特に建設発生木材と建設混合廃棄物の中に木造建築物由来の廃棄物が多く含まれていることは大きな課題となっている。

本章では、建築物とりわけ木造住宅の解体に伴って排出される木質廃棄物の発生とその再資源化の可能性について記述する。

1. 2 木造住宅の解体によって排出される木質系解体材

1. 2. 1 概要

本節では、木造住宅の解体によって排出される解体材（木材と木質材料）の再資源化について解体材の種類と発生量をもとに考察した結果について記述する。以下、木造住宅に投入される木材及び木質材料の種類と量、木造住宅の解体によって排出される解体材の種類と量、並びに木質系の解体材を原料として現在生産されている建築資材について整理した結果を示す。

1. 2. 2 調査内容と調査結果の概要

建築年代が異なる 10 棟の軸組構法住宅について、建物中に使用される建材の種類と量を設計図書等から推計した。軸組構法住宅に使用される木質建材を「木質材料」「木製建具」「木製戸袋」「木製雨戸」「木製格子」に大きく分類し、さらに「木質材料」については「構造材」「構造用面材」「造作仕上げ材（製材等）」「造作仕上げ材（合板）」「造作仕上げ材（フローリング）」「階段材」に分類した。一方、枠組壁工法による木造住宅についても、投入される木質系建築材料の量を 1980 年代、1990 年代、2000 年代の代表的な仕様に基づいて算定した。

軸組構法について調査対象とした住宅の建築年は 1962 年から 2000 年であり、建物の延べ床面積は 87m² から 164m² である。概ね標準的な大きさの住宅を対象として調査を実施している。木質系建築資材の用途として最も多いのは構造材（軸組材）であり、全体の約 70%を占めており、造作仕上げ材として使用する製材を含めると製材品の使用量は全体の

約 80%を占めていた。一方、合板などの構造用面材と造作仕上げ用面材は合わせると全体の約 10%を占めており、残りの約 10%を木製建具、階段用材、フローリングなどの木質系建築資材が占めていた。このうちフローリングは全体の約 2%を占めていた。

このように投入された木質建材が解体時にどのように排出されるかについて調査した。手解体と機械手併用解体により木造住宅 1 棟を解体した際に排出される解体木材の量、種類、形状、損傷程度、異物の付着状況について調査した結果、柱・梁・桁などの構造材が約 7 割を占め、柱の約 9 割には釘、約 8 割に釘・ボルト以外の異物が付着し、梁の約 4 割にボルトが付着していることなどが一つの調査事例として明らかになった。

以上のようにして排出される木質系の解体材のうちの一部は、再生建設資材の原料として利用されている。「建設用リサイクル資材ハンドブック」(財団法人建設物価調査会)に記載されている建設発生木材等を原料とする木質建材についてみると、建設発生木材の建築における利用方法は概ね、(1)パーティクルボードの原料、(2)インシュレーションボードの原料、(3)ミディアムデンシティファイバーボードの原料、(4)ハードボードの原料、(5)タタミボードの原料、(6)木粉・樹脂成形材の原料、(7)木炭の原料、のように整理される。(1)については JIS A5908、(2)から(5)については JIS A5905 に適合する製品が生産されているが、(6)と(7)については JIS が現在のところ整備されていない。各再生建材の主な用途は、(1)から(4)が内外装下地材、置き床用面材など、(5)が畳芯、(6)内装用造作材、外構用材など、(7)が床下調湿材などとなっている。

上記以外の再資源化の方法としては、再生木質軸材料(木材チップ成型材)の原料、集成材の原料、解体材のリユース、熱源利用などがある。再生木質軸材料については現在、試作段階であるが近い将来量産され普及することが期待される。また、集成材については工場廃材を原料とするものは既に製造されているが、解体材を原料とするものについては、研究段階である。一方、解体材のリユースについては材自体に価値がある古材については、独自のリユースが成り立っているが、必ずしも一般的に普及しているとは言えない。しかしながら北米では手解体によって取り出されるディメンジョンランバーを構造用製材として再使用するために必要な技術開発が実施されており、既に解体木材のイングレートテストが行われている。最後に熱源利用については、工場廃材などは工場内で発電用、ボイラー用として既に利用されているが、近年解体材を熱源利用する動きがではじめている。バイオマスエネルギーの利用技術が今後積極的に開発されるものと予測される。

1. 3 木造住宅への資材投入量

1. 3. 1 軸組構法住宅への資材投入量

建築年代が異なる 10 棟の軸組構法住宅について、建物中に使用される建築資材の種類と量を設計図書等から推計した結果を示す。軸組構法住宅に使用される木質系建築資材を表 1-1 に示す区分と種類に分類し、各種類ごとに使用量を推計した。木質系建築資材の区分は「木質材料」「木製建具」「木製戸袋」「木製雨戸」「木製格子」とし、さらに「木質

材料」については「構造材」「構造用面材」「造作仕上げ材（製材等）」「造作仕上げ材（合板）」「造作仕上げ材（フローリング）」「階段材」に分類した。

表 1 - 1 軸組構法住宅に使用される木質系建築資材の区分と種類

投入資材区分		資材細目	
区分	種類		
木質材料	構造材	土台、火打ち土台、火打ち梁、床束、大引、根太、根太がけ、根太からみ貫、もや、棟木、隅木、谷木、小屋束、管柱、化粧管柱、通し柱、階段親柱、床梁、小屋梁、桁梁、筋違い、腕木、方杖、窓台、まぐさ、ラス下地板、たるき、たるき掛け、小屋筋違い、野地板、雨押さえ板、登り淀、広小舞、瓦棧、破風板、鼻隠し、破風下地板、軒天廻り縁、間柱、半柱、間柱受け、天井野縁、軒天野縁、吊木、胴縁など	
	構造用面材	構造用合板（壁用、野地合板、床下地）	
	造作仕上げ材	製材等	軒天、敷居、鴨居、サッシ枠、建具枠、額縁（ケーシング）、玄関枠、幅木、廻り縁、廻り縁（集成材）、畳寄せ、付け鴨居、長押、広縁雑幅摺り、縁甲板、和室天井材、玄関框、床柱、落とし掛け、床框、床の間雑巾摺り、床地板、地板、出窓甲板、雨戸、戸袋、土台見切り縁、木製建具など
		合板	寄木合板、木質化粧合板、ラワン合板
		フローリング	フローリング
階段材	側板、廻り側板、直段板、廻り3段、踊り場板、上がり框、けこみ板など		
木製建具	フラッシュドア	フラッシュドア、欄間、袖付フラッシュ玄関ドアなど	
	障子	障子	
	襖	襖	
木製戸袋	引き違いサッシ用	引き違いサッシ用木製戸袋	
木製雨戸	引き違いサッシ用	引き違いサッシ用木製雨戸	
木製格子	引き違いサッシ用	引き違いサッシ用、はめ殺し窓用、玄関ドア袖、勝手口ドア袖など	

表1-2 軸組構法住宅に使用される木質系建築資材の量

材料種類			A棟	B棟(特)	C棟	D棟	E棟	
建築年			1973	1973	1980	1980	1994	
延べ床面積(m ²)			101.02	118.43	148.91	159.47	138.81	
木質材料	構造材	(m ³)	21.80	25.77	28.32	32.21	24.50	
	構造用面材	(m ³)	0.89	2.84	1.12	3.11	2.42	
	造作仕 上げ材	製材等	(m ³)	3.45	3.34	6.01	1.84	3.87
		合板	(m ³)	1.92	1.92	0.83	1.40	0.99
		フローリング	(m ³)	0.20	0.0	0.0	1.36	0.0
階段材	(m ³)	0.18	0.13	0.23	0.21	0.22		
木製 建具	フラッシュドア	(m ³)	0.53	0.55	0.28	0.47	0.45	
	障子	(m ³)	0.08	0.06	0.12	0.08	0.10	
	襖	(m ³)	0.06	0.02	0.49	0.06	0.10	
木製 戸袋	引き違いサツ用	(m ³)	0.11	0.22	0.0	0.0	0.0	
木製 雨戸	引き違いサツ用	(m ³)	0.25	0.25	0.0	0.0	0.0	
木製 格子	引き違いサツ用	(m ³)	0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	
材料種類			F棟	G棟	H棟	I棟	J棟	
建築年			1980	2000	2000	1970	1962	
延べ床面積(m ²)			105.39	164.35	149.52	151.53	86.77	
木質材料	構造材	(m ³)	19.24	29.47	27.28	24.71	15.24	
	構造用面材	(m ³)	0.42	4.36	4.91	0.99	0.28	
	造作仕 上げ材	製材等	(m ³)	3.03	1.93	3.29	5.81	4.49
		合板	(m ³)	1.28	2.17	2.32	1.46	1.47
		フローリング	(m ³)	0.52	1.33	1.59	0.52	0.56
階段材	(m ³)	0.15	0.25	0.22	0.15	0.15		
木製 建具	フラッシュドア	(m ³)	0.20	0.41	0.36	0.22	0.28	
	障子	(m ³)	0.18	0.05	0.04	0.07	0.0	
	襖	(m ³)	0.45	0.08	0.03	0.10	0.04	
木製 戸袋	引き違いサツ用	(m ³)	0.0	0.0	0.0	0.83	0.36	
木製 雨戸	引き違いサツ用	(m ³)	0.0	0.0	0.0	12.70	0.52	
木製 格子	引き違いサツ用	(m ³)	0.0	0.0	0.0	0.027	0.0	

表1-3 軸組構法住宅に使用される単位床面積あたり木質系建築資材量

材料種類			A棟	B棟(特)	C棟	D棟	E棟	
建築年			1973	1973	1980	1980	1994	
延べ床面積(m ²)			101.02	118.43	148.91	159.47	138.81	
木質材料	構造材	(m ³ /m ²)	0.2158	0.2176	0.1902	0.2020	0.1765	
	構造用面材	(m ³ /m ²)	0.0088	0.0240	0.0075	0.0195	0.0174	
	造作仕上げ材	製材等	(m ³ /m ²)	0.0342	0.0282	0.0404	0.0115	0.0279
		合板	(m ³ /m ²)	0.0190	0.0162	0.0056	0.0088	0.0071
		フローリング*	(m ³ /m ²)	0.0020	0.0000	0.0000	0.0085	0.0000
	階段材	(m ³ /m ²)	0.0018	0.0011	0.0015	0.0013	0.0016	
木製建具	フラッシュドア	(m ³ /m ²)	0.0052	0.0046	0.0019	0.0029	0.0032	
	障子	(m ³ /m ²)	0.0008	0.0005	0.0008	0.0005	0.0007	
	襖	(m ³ /m ²)	0.0006	0.0002	0.0033	0.0004	0.0007	
木製戸袋	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0011	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000	
木製雨戸	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0025	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	
木製格子	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	
材料種類			F棟	G棟	H棟	I棟	J棟	
建築年			1980	2000	2000	1970	1962	
延べ床面積(m ²)			105.39	164.35	149.52	151.53	86.77	
木質材料	構造材	(m ³ /m ²)	0.1905	0.2488	0.1832	0.1550	0.1098	
	構造用面材	(m ³ /m ²)	0.0042	0.0368	0.0330	0.0062	0.0020	
	造作仕上げ材	製材等	(m ³ /m ²)	0.0288	0.0117	0.0220	0.0383	0.0517
		合板	(m ³ /m ²)	0.0121	0.0132	0.0155	0.0096	0.0169
		フローリング*	(m ³ /m ²)	0.0049	0.0081	0.0106	0.0034	0.0065
	階段材	(m ³ /m ²)	0.0015	0.0021	0.0015	0.0009	0.0011	
木製建具	フラッシュドア	(m ³ /m ²)	0.0020	0.0035	0.0024	0.0014	0.0020	
	障子	(m ³ /m ²)	0.0018	0.0004	0.0003	0.0004	0.0000	
	襖	(m ³ /m ²)	0.0045	0.0007	0.0002	0.0006	0.0003	
木製戸袋	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.0026	
木製雨戸	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0796	0.0037	
木製格子	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	

表1-4 軸組構法住宅に使用される単位床面積あたり木質系建築資材量（10棟まとめ）

			最小値	平均値	最大値	標準偏差	比率 ^{注)}	
木質材料	構造材	(m ³ /m ²)	0.1098	0.1889	0.2488	0.0379	70.7	
	構造用面材	(m ³ /m ²)	0.0020	0.0159	0.0368	0.0123	6.0	
	造作仕上げ材	製材等	(m ³ /m ²)	0.0115	0.0295	0.0517	0.0125	11.0
		合板	(m ³ /m ²)	0.0056	0.0124	0.0190	0.0045	4.6
		フローリング	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0044	0.0106	0.0039	1.6
階段材	(m ³ /m ²)	0.0009	0.0014	0.0021	0.0004	0.5		
木製建具	フラッシュドア	(m ³ /m ²)	0.0014	0.0029	0.0052	0.0012	1.1	
	障子	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0006	0.0018	0.0005	0.2	
	襖	(m ³ /m ²)	0.0002	0.0012	0.0045	0.0015	0.4	
木製戸袋	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0011	0.0052	0.0017	0.4	
木製雨戸	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0088	0.0796	0.0249	3.3	
木製格子	引き違いサツ用	(m ³ /m ²)	0.0000	0.0001	0.0004	0.0001	0.0	
合計			—	0.2672	—	—	100.0	

注) 比率の欄に示す数値は、平均値の欄に示した値をもとに算定した全木質系建築資材量に占める割合を算定した値である。

推計の対象とした各軸組構法住宅の概要と、各建物に使用されていた各種木質系建築資材の量を取りまとめた結果を表1-2に示す。また、表1-3に単位床面積あたりの各種木質系建築資材の使用量を示す。さらに、表1-4に各木質系建築資材について算定した10棟の建物の単位床面積あたりの使用量の平均値、最小値、最大値、標準偏差、並びに各木質系建築資材が建物内に使用されている全木質系建築資材に占める割合を算定した結果を示す。

木質系建築資材の使用量は平均すると概ね以下のようにになっていた。木質系建築資材の用途として最も多いのは構造材（軸組材）であり、全体の約70%を占めており、造作仕上げ材として使用する製材を含めると製材品の使用量は全体の約80%を占めていた。一方、合板などの構造用面材と造作仕上げ用面材は合わせると全体の約10%を占めており、残りの約10%を木製建具、階段用材、フローリングなどの木質系建築資材が占めていた。このうちフローリングは全体の約2%を占めていた。

1. 3. 2 枠組壁工法住宅への資材投入量

枠組壁工法による住宅への資材投入量については1棟の建物について資材投入量を算定している。築年により仕様が異なることを考慮して、1980年代、1990年代、2000年代の3つの年代における代表的な仕様を有する建物に使用されている木質系建築資材の量を算定した。算定結果を表1-5に示す。また、単位床面積あたりの木質建築資材の使用量を表

入量から木質系解体材の排出量を推計する算定式として以下のものを提案する。

$$\text{木質系解体材の排出量 (m}^3\text{)} = \text{木質系建築資材の投入量 (m}^3\text{)} \times (0.38/0.20) \times 0.9$$

…式 1-1

ここで、0.38 は木材（スギ）の気乾比重、
 0.20 は木質系解体材のかさ比重、
 0.9 は解体材の回収歩留まり、
 とする。

表 1-7 軸組構法住宅からの木質系解体材の排出量

	木質系解体材の総量 (20 棟分)		木質系解体材原単位	
	重量(kg)	容積(m ³)	1 m ² あたり(kg)	1 m ² あたり(m ³)
木くず	192932 (94.4%)	918.57 (91.4%)	87.47 (94.4%)	0.42 (91.3%)
建具・畳	11460 (5.6%)	86.69 (8.6%)	5.20 (5.6%)	0.04 (8.7%)
合計	204392 (100.0%)	1005.26 (100.0%)	92.67 (100.0%)	0.46 (100.0%)

1. 5 軸組構法住宅における資材投入量と解体材排出量に関する収支

投入された建築資材の種類と量から推計した解体材排出量（資材投入ベース解体材排出量）は建物 1m²あたり 428kg であり、実測した解体材の排出量（実測ベース解体材排出量）は 427kg であった。両者はほぼ同じ値であり、資材投入量から解体時の解体材の排出量を概ね推計することが可能である。

解体材の種類ごとに資材投入ベース解体材排出量と実測ベース解体材排出量を比較すると、ほとんどの場合、資材投入ベース解体材排出量の方が実測ベース解体材排出量よりも多くなっていた。特に「木くず」「瓦」「廃プラスチック」「金属くず」などは資材投入ベース解体材排出量の方が実測ベース解体材排出量よりも多くなっていた。一方、「混合廃棄物」「がれき類」「石膏ボード」は資材投入ベース解体材排出量の方が実測ベース解体材排出量より少なくなっていた。解体時に「木くず」「瓦」「廃プラスチック」「金属くず」などになるであろうと仮定した建築資材のうちいくらかが、解体時に実際には「混合廃棄物」等になっていたということになる。このように建物の施工・解体という行為により、建築資材もいくつか混ざり合った混合廃棄物が軸組構法住宅で建物 1m²あたり約 80kg 排出される。建物を構成する部材のうちどの部材が分別できず、混合廃棄物になるかを示せば、資材投入量データから建物解体時に排出される解体材の種類と量を予測することが可能であると考えられる。図 1-1 に軸組構法住宅における資材投入量と解体材排出量に関する収支の一例を示す。投入される木材・木質材料のうち約 30% が解体時に木くず以外のものとして排出されている。なお、ここで示すデータは、多くの仮定に基づくものであり、軸組構法住宅における資材投入量と解体材排出量との関係を求める一つの方法を示しているものであり、一般的な値を示したものではない。したがって、データの扱いには十

分に注意されたい。

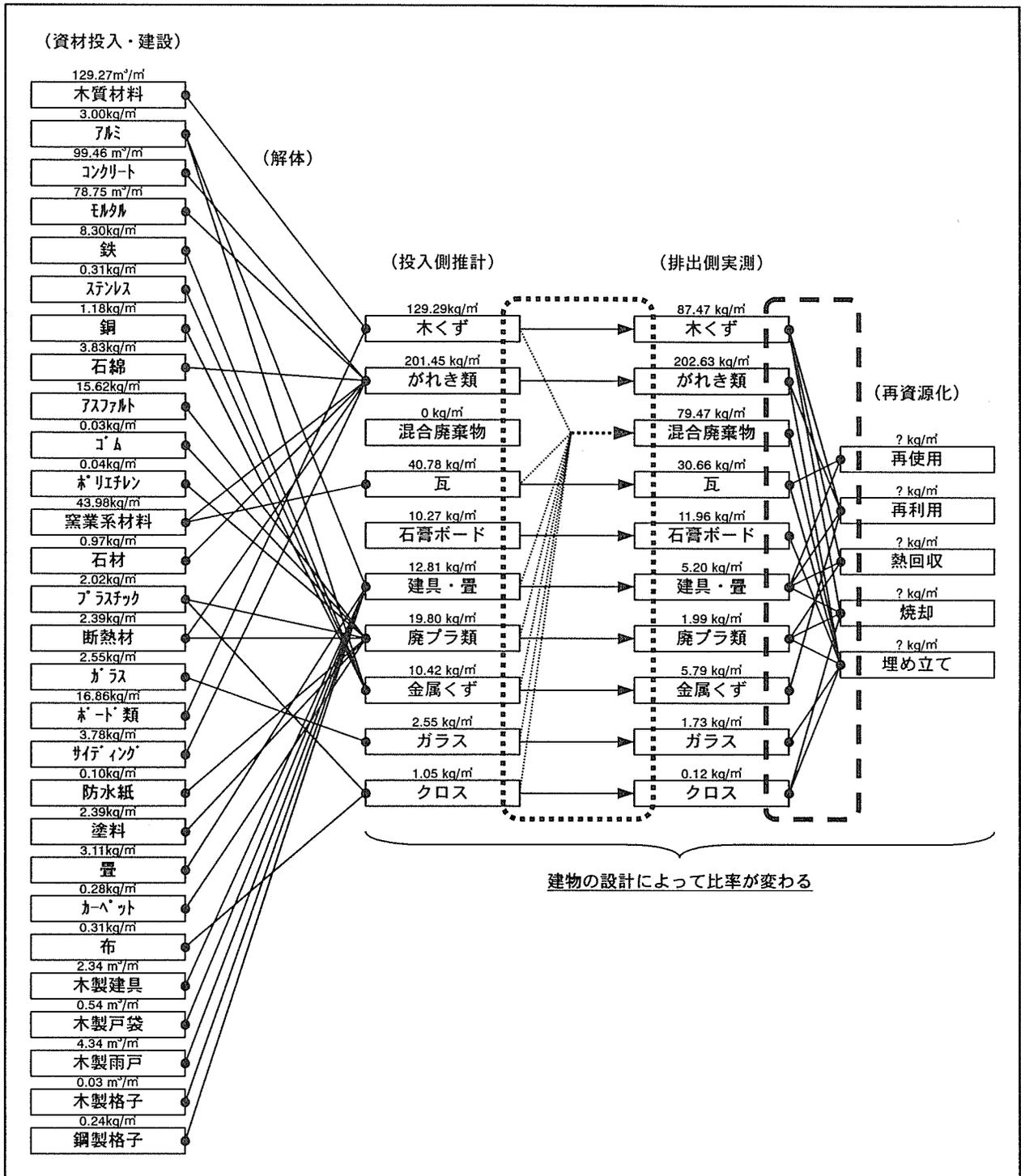


図1-1 資材投入量と解体材排出量の収支

1. 6 木質系解体材の再資源化の可能性

1. 6. 1 概要

木造建築物の解体時に発生する木材の再資源化の可能性について検討することを目的と

して、機械手併用解体、並びに手解体された軸組構法による木造住宅の解体材について、その数量と特性に関する全数調査を行い、データベースを作成した。

調査対象とした建物のうちの1棟は、昭和49年に竣工され、平成12年に解体された物件であり、延べ床面積144m²の2階建ての建物である。解体時に発生した解体材をほぼ全量収集し、発生数量、形状寸法、体積、重量、損傷の程度、付着物の存在状況について調査した。また、もう1棟は前述の解体手間に関する調査を行った軸組構法による住宅である。同様に解体時に発生した解体材を全量収集し、発生数量、形状寸法、体積、重量、損傷の程度、付着物の存在状況について調査している。

以下、調査方法と調査結果の概要について記述する。

1. 6. 2 軸組構法住宅解体材 (機械手併用解体)

(1) 調査内容

図1-2に示すように全解体材について、寸法、欠損状況、腐朽状況、付着状況などを記録した。また、すべての解体材について木口2面と材面4面の写真を撮り、材の状態を記録した。写真1-1に解体材調査風景を示す。

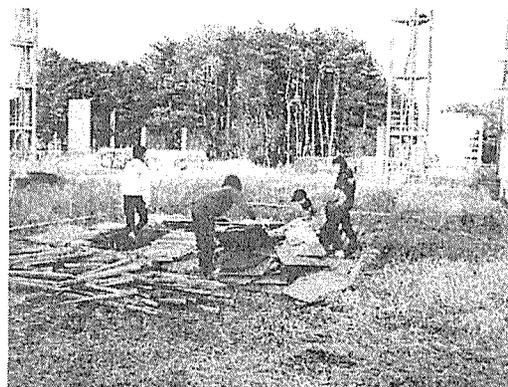


写真1-1 調査風景

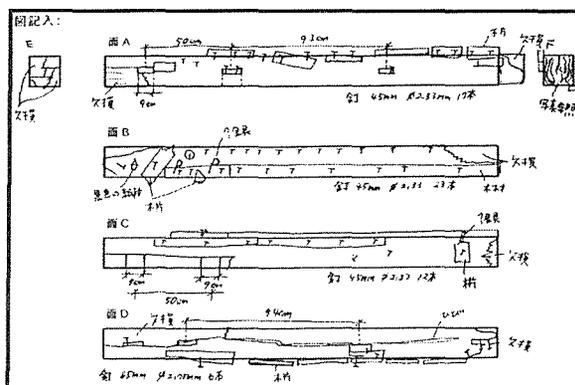
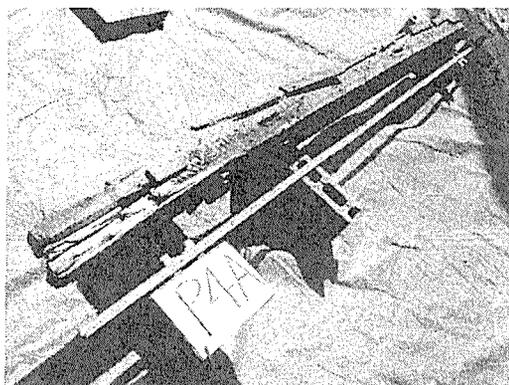


図1-2 記録方法の例

(2) 調査結果

調査を行った解体材は木材と合板等の面材料であり、全数量は1860、全重量は8500kgであった。図1-3と表1-8に主要な解体木材の種類と発生状況を示す。柱、梁、桁など断面が比較的大きな解体材の発生量は全解体木材重量の約1/3であり、残りの約2/3は小角材や面材などであった。解体木材の再利用率の向上はかるためには、解体木材の2/3を占める比較的小断面の材の利用方法を検討することが重要であると判断される。

表 1 - 8 主要解体木材の発生状況

種類	数量	重量 (kg)	種類	数量	重量 (kg)	種類	数量	重量 (kg)
柱	92	1200.1	40×45	106	77.9	30×30	1	1.3
梁・桁	104	1589.8	35×45	549	468.2	20×35	1	0.4
筋違い	48	104.8	35×40	141	86.0	20×30	23	4.3
間柱	29	102.1	35×35	15	13.6	15×30	2	1.1
もや	44	220.3	33×45	8	5.7	15×25	43	18.9
棟梁	2	21.1	33×33	1	0.6	15×20	1	0.4
束	28	79.0	30×45	3	2.3	15×15	5	1.4
土台	24	180.9	30×40	177	93.2	10×40	29	9.0
45×45	1	0.4	30×35	60	30.4	合計	1537	4313

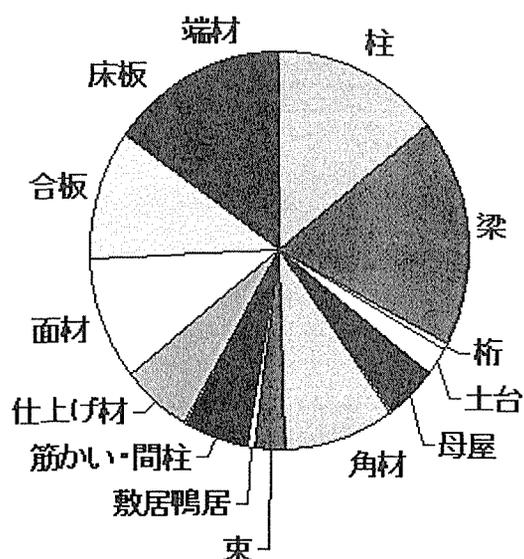


図 1 - 3 発生比率

図 1 - 4 に欠損・損傷等の発生比率、図 1 - 5 に材 1 本あたりの釘の付着数、図 1 - 5 に材 1 本あたりの付着数、図 1 - 7 に小角材の断面寸法と本数、図 1 - 8 に小角材 1 本当たりの損傷・付着状態を示す。断面欠損、力学的な損傷は柱材、梁材ともに 9 割近い材に存在しており、腐朽・蟻害は 1 割程度発生していた。また、付着物としては釘が最も多く、柱材の 9 割、また梁材の 4 割に釘が付着していた。ボルトについては梁材に多く付着しており梁材の約 4 割にボルトが付着していた。また、金物やその他の付着物（木片、プラスチック、石膏ボード、金属片など）は柱材に多く付着しており、金物については柱材の約 4 割、その他の付着物については柱材の約 3/4 に付着していた。材 1 本あたりの釘とボルトの平均付着本数を見ると、柱材 1 本あたりの釘の平均付着本数は約 30 本であり、付着物の量を指標とすると梁材の方が柱材よりも再資源化にかかる手間が少なくて済むものと考えられる。また、解体時の再資源化が行いやすくなるように構法の改良を行う場合には、

柱材と他の部材と接合方法等について考慮することが重要であると考えられる。

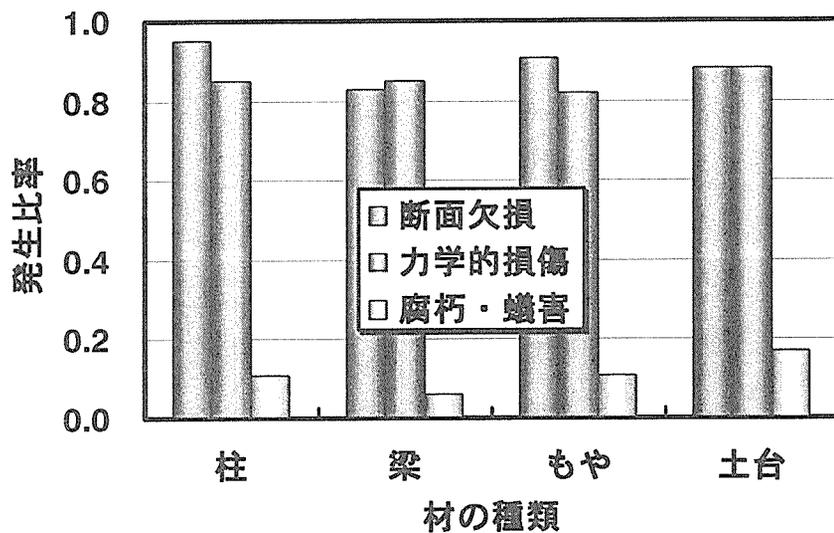


図1-4 欠損・損傷等の発生比率

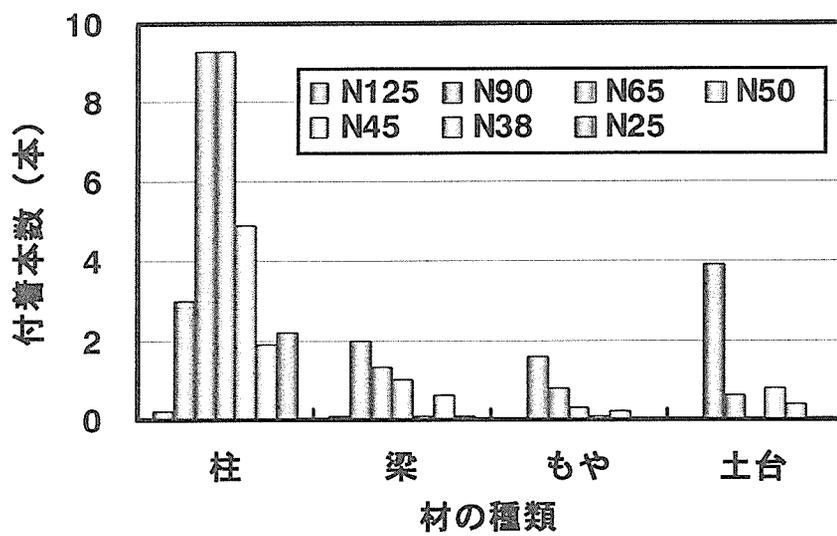


図1-5 材1本あたりの釘の付着数

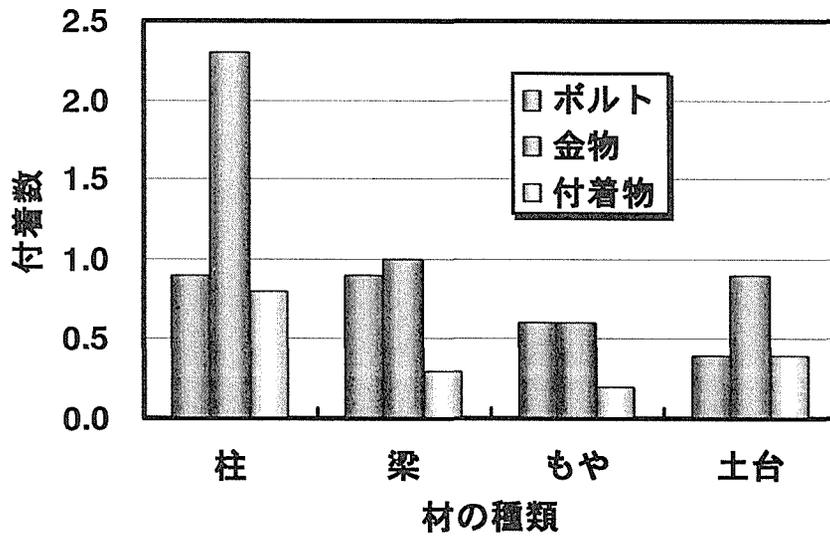


図1-6 材1本あたりの付着数

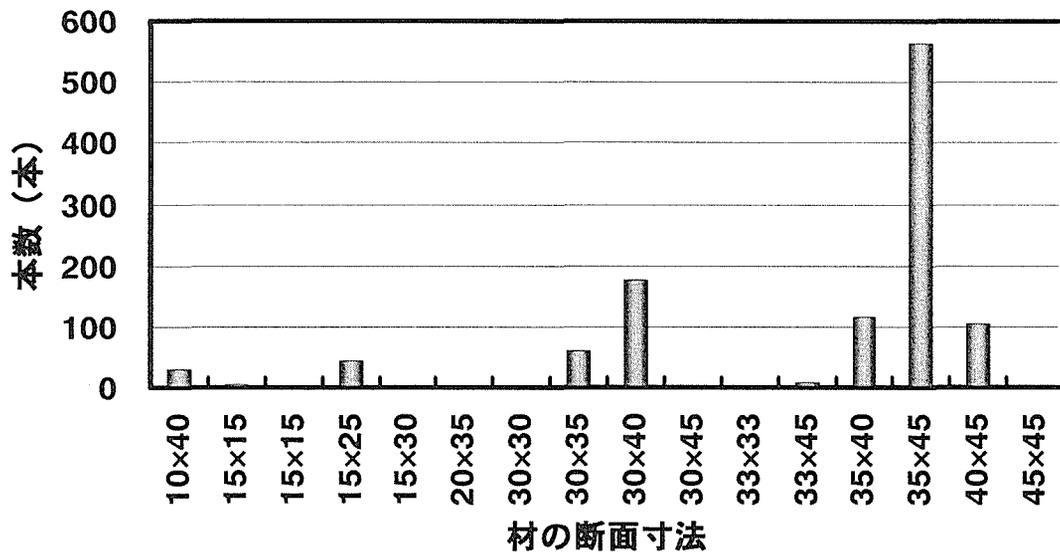


図1-7 小角材の断面寸法と本数

表1-9 各部材の排出量・付着・破損状況

部材種類	全材数に対する発生割合			
	釘付着	破損大	欠き込みの数が多数	プラスチック・石膏ボード付着
柱	5.5%	31.9%	31.9%	42.9%
梁	26.3%	25.3%	10.1%	9.1%
桁	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%
土台	4.0%	36.0%	4.0%	20.0%
母屋	17.0%	38.3%	21.3%	6.4%
角材	8.0%	15.0%	0.0%	6.5%
束	26.8%	0.0%	0.0%	4.2%
敷居・鴨居	3.2%	18.4%	100.0%	2.6%
筋かい・間柱	4.6%	31.4%	-	10.9%
仕上げ材	9.1%	48.7%	-	29.4%

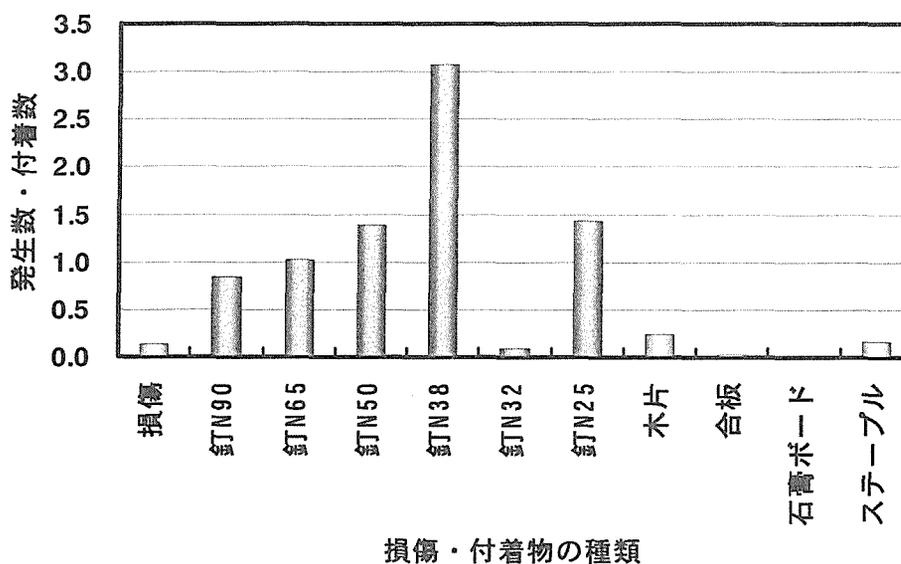


図1-8 小角材1本当りの損傷・付着状態

1. 6. 3 軸組構法住宅解体材（手解体）

木造住宅を手解体した際に排出された全解体木材を収集し、解体木材一つ一つについて図1-9に示す調査シートを作成し、再資源化の可能性について検討した。調査においては、以下の各項目についての測定した。

- 1) 建物の平面図、立面図、解体材の建物内での位置
- 2) 木質系解体除却材の種類と量
- 3) 解体除却材中の柱・梁材等の樹種と形状

- 4) 解体除却材中の柱・梁材等の断面欠損等の損傷度合い
- 5) 解体除却材中の柱・梁材等の強度、ヤング率、含水率等の基礎物性
- 6) 接合金物の状況

写真1-2と写真1-3に解体材の調査風景を示す。また、写真1-4に手解体材と機械手併用解体により排出した柱材を比較して示す。手解体材の方が機械手併用解体材よりも解体材の傷みや付着物の量が少ないことが認められる。このように手解体材の材の品質は機械手併用解体材に比べると良く、様々な再資源化の可能性を有する。

解体材調査シート	
部材番号	調査日時：平成__年__月__日 午前 午後
写真番号	記入者：
区分	部材用途 <input type="checkbox"/> 柱 <input type="checkbox"/> 梁 <input type="checkbox"/> 桁 <input type="checkbox"/> 樑太 <input type="checkbox"/> たる木 <input type="checkbox"/> 棟梁 <input type="checkbox"/> もや <input type="checkbox"/> その他 ()
	部材種類 種類 <input type="checkbox"/> 製材 <input type="checkbox"/> 集成材 <input type="checkbox"/> 合板 <input type="checkbox"/> OSB その他 ()
	樹種 <input type="checkbox"/> スギ <input type="checkbox"/> ヒノキ <input type="checkbox"/> ペイマツ <input type="checkbox"/> カラマツ <input type="checkbox"/> ツガ
損傷状態	部材寸法 a = b = c =
	断面欠損 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 (状況を下目に記入)
	力学的損傷 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 (状況を下目に記入)
付着状況	腐朽・蟻害 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 (状況を下目に記入)
	金物 (<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無) 種類 <input type="checkbox"/> 釘 (長さ: mm) (本数: 本) <input type="checkbox"/> ボルト (長さ: mm) (本数: 本) <input type="checkbox"/> 金物 (形状:)
	付着位置
	他 (<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無) 種類
	付着位置
他 (<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無) 種類	
付着位置	
他 (<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無) 種類	
付着位置	
詳細調査の有無 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	
目記入:	面A <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/>
	面B _____
	面C _____
	面D _____
コメント:	

図1-9 解体材調査シート

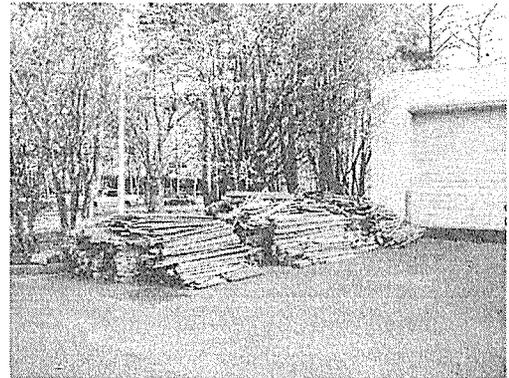


写真1-2 解体木材

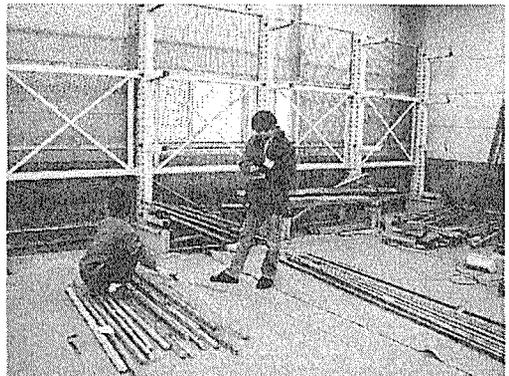
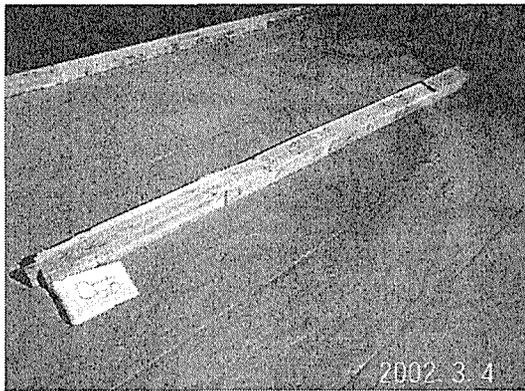
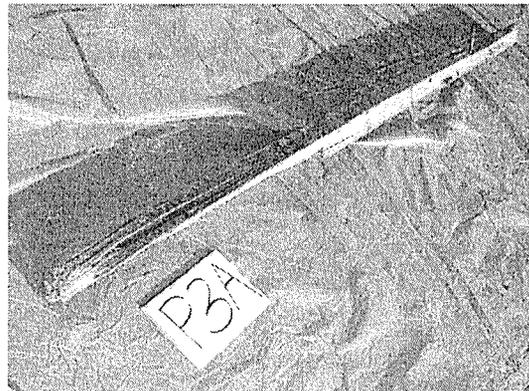


写真1-3 調査風景



(a) 手解体材



(b) 機械手併用解体材

写真1-4 解体材の品質の比較

1. 6. 4 年間あたりの木質系解体材の排出量

2000年における木造住宅の滅失量を建築着工統計の木造建築物の着工量から、固定資産概要調書による木造建築物の2000年から1999年の床面積値の差を引くことによって求めた値（独立行政法人森林総合研究所外崎氏試算による）をもとに2000年における各種木質系解体材の発生量を推計した。推計にあたっては表1-8に示す建物1棟あたりの排出量データを排出量原単位とした。表1-10に推計結果を示す。

表1-10 主要解体木材の排出量推計

種類	重量 (ton)	種類	重量 (ton)	種類	重量 (ton)
柱	410625	40×45	26654	30×30	445
梁・桁	543964	35×45	160199	20×35	137
筋違い	35858	35×40	29426	20×30	1471
間柱	34934	35×35	4653	15×30	376
もや	75378	33×45	1950	15×25	6467
棟梁	7200	33×33	205	15×20	137
束	27031	30×45	787	15×15	479
土台	61897	30×40	31889	10×40	3079
45×45	137	30×35	10402	合計	1475732

年間あたり約41万tonの柱材、約54万tonの梁・桁材、約6万tonの土台材、約28万tonの小角材が排出され、合計で約148万tonの解体木材が木造住宅の解体によって発生していたという試算結果になる。

1. 7 木質解体材等の再資源化技術

1. 7. 1 木質系副産物の建設分野における再資源化

「建設用リサイクル資材ハンドブック」（財団法人建設物価調査会）に記載されている建設発生木材等を原料とする建築資材について整理した。表1-11及び表1-12に整理結果を示す。概ね20の建築資材がリストアップされている。すべての原料が土木分野または建築分野からの発生木材というわけではない。原料の調達については、概ね表1-11及び表1-12の「発生分野」に示すとおりである。空欄は、土木、建設以外の分野から原料を調達していることを示す。

建設発生木材の建築における利用方法は概ね以下のとおりである。括弧内の数字は表1-12に示す品目番号に対応する。

- ① パーティクルボードの原料（1,3,5,9,12,14,16,17）
- ② インシュレーションボードの原料（2,4）
- ③ ミディアムデンシティファイバーボードの原料（2,6,7,13）
- ④ ハードボードの原料（2,10,15）

- ⑤ タタミボードの原料（11）
- ⑥ 木粉・樹脂成形材の原料（18,20）
- ⑦ 木炭の原料（19）

①については JIS A5908、②から⑤については JIS A5905 に適合する製品が生産されている。⑥、⑦については JIS が現在のところない。

主な用途は以下のとおりである。

- ①から④：内外装下地材、置き床用面材など
- ⑤：畳芯
- ⑥：内装用造作材、外構用材など
- ⑦：床下調湿材など

1. 7. 2 建設発生木材を原料とする木質系建築材料

建設発生木材を原料として利用（部分的に利用しているものも含む）している建築資材の用途について整理した結果を以下に示す。

【建築物の構造材】	パーティクルボードの原料
	インシュレーションボードの原料
	ミディアムデンシティファイバーボードの原料
	ハードボードの原料
【建築物の内外装下地材】	パーティクルボードの原料
	インシュレーションボードの原料
	ミディアムデンシティファイバーボードの原料
	ハードボードの原料
	タタミボードの原料
【建築物の造作材】	木粉・樹脂成形材の原料
【建築物に用いる吸湿・吸着材】	木炭の原料

1. 7. 3 その他の再資源化

「建設用リサイクル資材ハンドブック」に記載されているもの以外の利用方法は概ね以下のようなになる。

- ①：再生木質軸材料（木材チップ成型材）の原料（現在、試験プラントでの試作段階であるが、近い将来、量産される見込みがある）。
- ②：集成材の原料（工場廃材を原料とするものは既に製造されているが、解体材を原料とするものについては、研究段階である）。
- ③：リユース（古材利用）（材自体に価値がある古材については、独自のリユースが成り立っているが、必ずしも一般的に普及しているとは言えない）。
- ④：熱源利用（工場廃材については、工場での発電用、ボイラー用として利用さ

れている。解体材を受け入れる動き少しずつでてきている)。

1. 7. 4 再資源化要素技術の位置づけ

既存の再資源化要素技術等をまとめると、木造建築物又は木質系建築廃棄物の再資源化の方法は概ね図1-10のように整理される。各再資源化の方法は概ね以下のとおりである。

[建物のリユース] 建物を増改築・改修などにより継続的に使用する。また、必要に応じて用途変更などを行い建物の耐用性を高め継続的に使用する。

[建築部材としてリユース] 建物を構成する部材（例えば、梁や柱など）を再使用する。

古材の再使用などがこれにあたる。

[建築以外の用途でリユース] 建物を構成する部材を建築以外の用途（例えば、造園、土木資材など）として再使用する。

[再構成して建築部材としてリサイクル] 解体材にラミナやストランド等に加工し、接着成型等の方法により再構成する。現在この方法による利用はほとんどないと考えられる。

[マルチング材としてリサイクル（建築）] 解体材を原料とするマルチング材を製造し、建築用途に用いる。例えば、屋上緑化等への利用が考えられるが、現在この方法による利用はほとんどないと考えられる。

[マルチング材としてリサイクル（他分野）] 解体材を原料とするマルチング材を製造し、建築以外の用途に用いる。例えば、公園や緑地帯などへの利用が考えられる。

[良質チップとしてリサイクル（建築）] 解体材をチップ化し、接着成型する。解体材からのパーティクルボードの製造などがこれにあたる。

[良質チップとしてリサイクル（他分野）] 解体材をチップ化し、パルプなどに加工して再利用する。

[低質チップとしてリサイクル（建築）] 解体材をチップ化し、接着成型する。低質チップからパーティクルボード等を製造する技術が開発されつつあるが課題は多い。

[低質チップとしてリサイクル（他分野）] 解体材

再資源化の方法
建物のリユース
建築部材としてリユース
建築以外の用途でリユース
再構成して建築部材としてリサイクル
マルチング材としてリサイクル（建築）
マルチング材としてリサイクル（他分野）
良質チップとしてリサイクル（建築）
良質チップとしてリサイクル（他分野）
低質チップとしてリサイクル（建築）
低質チップとしてリサイクル（他分野）
炭化してリサイクル（建築）
炭化してリサイクル（他分野）
サーマルリサイクル
適正処理（埋め立て）
適正処理（焼却）

図1-10 再資源化メニュー

をチップ化し、家畜用の敷き料などとして利用するのがこれにあたる。北海道をはじめ畜産が盛んな地域において利用が進められているが、異物の分離、敷き料の品質など課題が残されている。

〔炭化してリサイクル（建築）〕解体材を炭化して、住宅床下の調湿材等として利用するのがこれにあたる。床下調湿材は、製品化されており販売されている。炭の品質管理と需要の拡大が課題である。

〔炭化してリサイクル（他分野）〕解体材を炭化して、地盤改良材や河川などの浄化槽などにおいて利用するのがこれにあたる。炭の品質管理と需要の拡大が課題である。

〔サーマルリサイクル〕解体材をボイラーの燃料として利用したり、発電用の燃料として利用したりするのがこれにあたる。ボイラー燃料としては既に利用されているが、ダイオキシン排出規制等に合ったボイラー等を整備することが課題である。また、解体材を熱源として発電する試みが近年行われはじめています。

〔適正処理（埋め立て）〕解体木材が埋め立てられて処分されることは現実的には少ない。仮に埋め立てる場合、管理型処分場に埋められることになるが、管理型処分場の許容受入量が首都圏を中心に減少してきており課題は多い。

〔適正処理（焼却）〕解体木材の主要な最終処分の方法である。ただし、今後はダイオキシン排出規制等に適合した焼却施設を整備することが課題である。

1. 7. 5 解体木材の再資源化量の推計

表1-10に示した年間1,475,732tonの解体木材の排出量を、平成12年度の建設副産物実態調査の結果と比較する。平成12年度の建設副産物実態調査によると建築解体材の総排出量は18,000,000tonであり、建設分野全体から排出される建設発生木材の量は5,000,000tonである。また、平成12年度の建設副産物実態調査の結果によると建設分野全体での建設発生木材の再資源化率は38%である。建設分野全体から排出される建設発生木材のうち約30%を木造住宅から排出される解体木材が占めていることになり、建築分野全体から排出される解体材のうちの約8%が木造住宅から排出される解体木材ということになる。

一方、このように排出される解体木材の再資源化量についてみると、表1-11及び表1-12において解体材を原料としている製品について、その生産量から解体材の消費量を推計すると概ね以下のようなになる。解体木材を原料としている製品は表1-12に示されている製品のうちNO.1、NO.2、NO.3、NO.9、NO.14、NO.16、NO.18である。生産時の歩留まりを80%とすると、解体木材の消費量は約22万tonと計算され、推計した全排出量（1,475,732ton）の約15%を消費している計算になる。この15%を以下に高くしてゆくかが今後の技術的な課題であり、新しい再資源化技術の開拓、並びにリサイクル製品の需要の拡大をはかる必要がある。

表 1 - 1 1 (1) 建設発生木材を主原料とする土木資材 (1)

品目	名称	月平均生産量	原 料	含有比率 (体積比)	発生分野	利用分野
木材チップ舗装	オークウッド	1,000 m ²	木材チップ	85.1 %	土木	土木
針葉樹皮加工 品	CCペイブ	200 m ³	針葉樹皮	50 %	土木	土木
	ペンテウッディ	5,000 m ²	木材 ゴム	80~90 % 10~20 %	土木 建築	土木
透水性木レンガ 舗装材	モクタイ・ブロック	1,544 枚	間伐材	80 %	土木	土木 建築
ウッドチップ舗 装材(木質系舗 装材)	レインボーウッドE	注文に応じて可 能	公園・園路等街路樹の剪定 枝、建設廃材等	0~80 %	土木 建築	土木
カラマツ樹皮路 面材	エコルスエース	800 m ²	カラマツ樹皮 カラマツチップ	約50 % 約50 %	土木	土木 建築
木質舗装平板	ソフトーンU・E	130 m ²	樹皮	85 %	土木	土木
木質舗装ブロ ック	チップランド	870 m ²	間伐材、小径材	96 %	土木	土木
ポール・柵	リサイクルポール	100 個	木屑	60 %	土木 建築	土木
瀝青繊維質板	フジスーパータイト	65,000 m ²	古紙及びパルプスラッジ 樹皮 木粉	37 % 26 % 13 %	土木 建築	土木
木炭水質浄化 材	水質浄化用木炭	40 t	廃木材(製材端材)	100 %	建築	土木
セラミック多孔 体	セラミック多孔体	受注生産	剪定枝・もみがら等 陶土・不良クズ 陶器クズ	40 % 20 % 20 %	土木	土木 建築
のり面緑化材・ 緑化基盤材	ネオソイルS	2,039 m ³	下水汚泥(脱水汚泥) 建設発生木材(根・株・枝など) その他	40 % 40 % 20 %	土木	土木

表 1 - 1 1 (2) 建設発生木材を主原料とする土木資材 (2)

品目	名称	月平均生産量	原料	含有比率 (体積比)	発生分野	利用分野
のり面緑化用 育成基盤材(旧 称:ミラクルソイ ル)	エコサイクルソイル	1,109,920 L	伐根材 廃アスファルト 貝殻	66.5 % 15 % 15 %	土木	土木
針葉樹皮加工 品	CC法面緑化	600 m ³	針葉樹皮 発酵牛糞	80 % 20 %	土木	土木
RC抗菌性樹皮 繊維(RC木質 平板)	RC木質舗装	1,500 m ³	杉・桧樹皮	100 %	土木	土木
複合土壌改良 材	OH-C	6,000 袋	鶏糞 広葉樹のオガクズ 真珠岩パーライト	25 % 25 % 45 %	土木	土木
針葉樹皮加工 品	CCクレイ	500 m ³	針葉樹皮	100 %	土木	土木
針葉樹皮加工 品	CCスポーツターフ	400 m ³	針葉樹皮	100 %	土木	土木
針葉樹皮繊維	CCパーク	1,300 m ³	針葉樹皮繊維(パーク)	95~98 %	土木	土木
針葉樹皮加工 品	CCマルチング	100 m ³	針葉樹皮	100 %	土木	土木 建築
樹木堆肥	JAサン・グリーン	500 m ³	樹木剪定枝 ビールカス汚泥	70 % 30 %	土木	土木
人工土壌	ネオソイルS	788 m ³	脱水ケーキ(汚泥) パルグリーン 木質堆肥	20 % 20 % 60 %	土木	土木
木炭土壌改良 材	ネハール	5,000 袋	廃木材	100 %	土木 建築	土木
粉碎パーク	パーク	75,000 m ³	根・枝	100 %	土木	土木
セラミック炭入 り有機堆肥	バイオセラ炭	受注生産	セラミック炭・剪定枝チップ 牛フン・ミネラル 土	10 % 5 % 80 %	土木	土木

表 1 - 1 1 (3) 建設発生木材を主原料とする土木資材 (3)

品目	名称	月平均生産量	原 料	含有比率 (体積比)	発生分野	利用分野
樹皮堆肥	ミネラル堆肥・マルチ堆肥	300 t	樹皮 伐採木	95 % 5 %	土木	土木
植生基盤材	レミマテリアル	500,000 L	樹皮	55 %	土木	土木
国内産針葉樹皮マルチング材	ネニマルチ	2,000 袋	杉皮	100 %	土木	土木
接着剤を用いない木質新素材 YMS循環ウッド	バスターボード	1,200 m ²	廃自然木材チップ	100 %	土木	土木

表 1 - 1 2 (1) 建設発生木材を主原料とする建築資材 (1)

	品目	名称	月平均生産量	原料	含有比率 (体積比)	発生分野	利用分野
1		パーティクルボード	6,700,000 m ²	廃木材	100 %	建築	建築
2	ファイバーボード	ハードボード MDF インシュレーションボード	10,000,000 m ²	廃木材	100 %	建築	建築
3	パーティクルボード	イワクラホモゲン	4,600 t	建築廃材 針・広葉樹廃材 カンナ屑・ノコ屑等	58 % 13 % 29 %	土木 建築	建築
4	繊維板	インシュレーションボード (IB)	300,000 坪	合板工場、製材工場廃材	100 %		建築
5	パーティクルボード	永大パーティクルボード	13,000 t	建築解体木材使用済み梱包材等 合板・製材工場からの残材等 林地残材等(間伐材含む)	55 % 44 % 1 %	建築	建築
6	MDF	NEOボード	8,000 m ³	再・未利用材	100 %	土木 建築	建築
7	中質繊維板	NPウッド	10,000 m ³	小径木(末口径14cm以下)	100 %	土木	建築
8	セラミック粉混入木繊維セメント板	MKボード	5,000 枚	松、杉、ヒノキの国産間伐材 セメント セラミック粉末	35 % 50 % 15 %		建築
9	パーティクルボード	オークラボード	6,100 t	合板廃材 パーティクルボード 製材の端材 建築解体材 他	24 % 72 % 4 %	建築	建築
10	三井の健康押入	かんたん	9,500 枚	再・未利用材	87.5 %	土木 建築	建築
11	繊維板(畳ボード)	ダイケンたたみボード、ダイケン畳		木材チップ	100 %	土木 建築	建築
12	パーティクルボード	ダンタニファイナルツ	8,700 t	木材	99 %	土木 建築	建築
13	構造用MDF	ノダ構造用ハイベストウッドSPタイプ	1,000 m ³	廃木材	75 %	土木 建築	建築

表1-12(2) 建設発生木材を主原料とする建築資材(2)

品目	名称	月平均生産量	原料	含有比率 (体積比)	発生分野	利用分野	
14	パーティクルボード	ノボパン	823,000 m ²	木材チップ(解体材等)	85 %	建築	建築
15	繊維板	ハードボード(HB)	200,000 坪	合板工場、製材工場廃材	100 %		建築
16	パーティクルボード	ミヤコボード	2,000 t	合板工場残材 製材工場残材 解体建屋残材	90 % 5 % 5 %	建築	建築
17	低圧メラミン化粧パーティクルボード	ユニボード	320,000 m ²	木質チップ	100 %	土木 建築	建築
18	木質複合木材	アイン・スーパーウッド	4,000 t	廃木材 (建築廃材・剪定枝) 再生プラスチック	80 % 10 %	土木 建築	建築
19	木炭床下調湿材	すみよしケン	2,000 ケース	廃木材	100 %	土木 建築	建築
20	床下喚起パッキン	サスマックス	1,000,000 個	廃木粉 ポリプロピレン	約40 % 約50 %	土木 建築	建築

1. 8 まとめ

木造建築物を解体した際に発生する木質系解体材は、発生部位、部材の種類、解体の方法によって、その形状、損傷程度、異物の付着状況、発生量が異なる。解体の中には再使用に適するもの、ボード原料に適するもの、燃料用としてのみ利用が可能なものなど、様々な性状のものが含まれる。木質系解体材の再資源化をはかるためには、解体材の特性に応じた適切な再資源化の方法を選択する必要がある。このためにも多くの再資源化メニューを用意しておく必要がある。近年、バイオマス発電などへの木質系解体材の利用が具体化しつつある。木質系解体材のサーマル利用は、多量の解体材を再資源化する有効な方法の一つであるが、同時に既存の再資源化技術が失われないよう十分に注意を払う必要がある。

一方、木質系解体材の再資源化を考える上で、地域性を十分に考慮する必要がある、それぞれの地域にあった再資源化のマップを作成する必要がある。

文献

- (1) 「建設分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策・廃棄物発生抑制技術の開発 平成 12 年度 建築分野報告書」(国土交通省建築研究所, 2001).
- (2) 「木造住宅の再資源化・資源循環化技術の開発 平成 13 年度 報告書」(独立行政法人建築研究所, 2002).
- (3) 「木造建築物解体工事の現場－木造（軸組）住宅解体組成分析調査報告書」(社団法人全国解体工事団体連合会, 2000).
- (4) 「軸組構法住宅への資材投入量調査 報告書」(国土交通省建築研究所, 2001)
- (5) 「桝組壁工法建築物に使用される建築資材量調査 報告書」(国土交通省建築研究所, 2001).
- (6) 「建設用リサイクル資材ハンドブック」(財団法人建設物価調査会, 2000).
- (7) 古賀美宏; “木造住宅における廃木材の再利用について”, 東京大学工学部建築学科 2001 年度卒業論文.

2. 都道府県別建築解体廃木材量の評価と処理施設

2.1 はじめに

建築分野は紙パルプ分野に次ぐ木材投入が製材品・木質ボード類という木材一次製品の形でなされており、製品(建築物)の廃棄(滅失)に伴う木質系残廃材の発生量も紙製品の廃棄に次いで大きいものと考えられる。

建設リサイクル法の施行に伴い、分別された建築解体廃木材のマニフェスト管理が徹底されれば、発生量の定量的把握が進むものと期待できるが、現在の所、不法投棄が無くなったとはとてもいえず、国土交通省などの調査報告も充分とはいえない。

前年度の報告において、実態を捉えているとはいえない「建築統計」の滅失建築物データに替えて、各年の「固定資産概要調書」による建築物ストックの差から得られる1年間の増加量と、比較的信頼が置けるとされるその1年の建築着工統計データを用いて「真の」滅失床面積を推計し、木造・非木造建築物の木材使用量原単位を掛け合わせるにより、建築解体廃木材量の試算を行った。その結果この15年間、発生量は1,000万m³を越えて推移しており、また滅失統計は近年、木造で2倍程度、非木造で5倍程度「真の」滅失量を過小評価していることが示された。

これまで建築系木質残廃材の再資源化が進展しないのは、建築解体廃材を受け入れる施設が不足しているためであると思われる。また建設リサイクル法では建設発生木材について50km圏内に再資源化施設がない場合は「縮減」と称する無意味な焼却処理をしても再資源化「等」率として、2010年の目標値95%に含めるとしている。また「廃掃法」の規定により県境を越える廃棄物の移動は制限されている実態がある。このようなことから全国規模の試算ではなく都道府県レベルでの建築解体廃木材発生量と処理施設の立地・能力のバランスを評価することが、再資源化の可能性を評価する上で重要となる。

2.2 2000年の都道府県別解体廃木材量の評価

総務省の平成12,13年度「固定資産の価格等の概要調書」の家屋部分より、都道府県別の木造・非木造床面積のデータを得た。これはそれぞれ2000,2001年1月1日に現存している建築物量と考えられる。しかし約4億m²と課税対象床面積の5%程度と少ないものの、宗教法人・官公庁などの非課税建築物については木造・非木造の分類がない。これについては各都道府県の課税対象床面積の比率で振り分け、さらに各都道府県の木造・非木造の比率で振り分けた。

続いて「建築統計」より2000年1月から12月までの木造・非木造の都道府県別着工床面積を得た。この着工床面積から2000年1年間の建築ストック純増分である2000,2001年「固定資産調書」の差の値を差し引くことにより、2000年1年間の滅失建築物量が推計できる。

得られた滅失床面積から木材量への換算は、床面積当たりの木材使用量の暫定値、木造

	2000年1月1日課税対象床面積(m2)			2001年1月1日課税対象床面積(m2)		
	木造	木造以外	計	木造	木造以外	計
北海道	200,797,804	149,999,882	350,797,686	201,911,952	152,606,154	354,518,106
青森	77,765,136	21,618,676	99,383,812	78,490,160	22,080,442	100,570,602
岩手	77,569,065	25,894,037	103,463,102	78,142,130	26,412,021	104,554,151
宮城	87,994,171	51,902,424	139,896,595	88,708,220	52,998,753	141,706,973
秋田	70,647,045	17,126,864	87,773,909	71,086,563	17,451,730	88,538,293
山形	71,053,832	23,122,746	94,176,578	71,502,381	23,594,846	95,097,227
福島	94,515,988	50,991,415	145,507,403	95,163,103	51,918,268	147,081,371
茨城	109,387,019	78,926,523	188,313,542	110,550,286	80,449,555	190,999,841
栃木	73,116,593	58,853,444	131,970,037	73,846,986	59,977,880	133,824,866
群馬	80,446,718	58,677,754	139,124,472	81,104,746	59,610,498	140,715,244
埼玉	162,654,742	148,988,209	311,642,951	164,538,621	152,721,546	317,260,167
千葉	150,399,188	140,430,452	290,829,640	152,350,462	144,289,266	296,639,728
東京	181,753,983	376,804,002	558,557,985	182,301,187	384,899,568	567,200,755
神奈川	156,212,887	214,343,924	370,556,811	157,831,948	219,418,733	377,250,681
新潟	135,406,579	59,181,689	194,588,268	136,011,636	60,303,841	196,315,477
富山	59,054,650	37,062,533	96,117,183	59,546,780	37,855,806	97,402,586
石川	62,587,986	30,389,208	92,977,194	62,953,955	30,927,240	93,881,195
福井	41,254,335	26,065,886	67,320,221	41,528,868	26,560,457	68,089,325
山梨	35,467,860	23,144,987	58,612,847	35,787,992	23,611,498	59,399,490
長野	108,936,223	62,644,959	171,581,182	109,635,760	63,912,805	173,548,565
岐阜	79,908,094	69,720,486	149,628,580	80,464,652	71,092,609	151,557,261
静岡	117,527,564	122,043,371	239,570,935	118,381,321	123,792,853	242,174,174
愛知	174,278,748	250,676,727	424,955,475	175,306,621	256,020,565	431,327,186
三重	66,865,367	65,275,174	132,140,541	67,423,853	66,521,571	133,945,424
滋賀	48,290,259	47,283,490	95,573,749	48,796,706	48,514,583	97,311,289
京都	75,144,011	64,621,435	139,765,446	75,638,401	65,701,464	141,339,865
大阪	152,459,778	280,012,395	432,472,173	153,166,945	285,154,278	438,321,223
兵庫	140,682,332	171,302,368	311,984,700	141,900,229	174,651,462	316,551,691
奈良	45,535,048	30,636,678	76,171,726	45,917,139	31,267,837	77,184,976
和歌山	34,975,130	31,711,799	66,686,929	35,259,160	32,218,276	67,477,436
鳥取	30,655,838	14,342,262	44,998,100	30,740,167	14,656,462	45,396,629
島根	43,278,741	14,119,571	57,398,312	43,524,910	14,369,383	57,894,293
岡山	81,989,841	58,658,391	140,648,232	82,388,938	59,696,143	142,085,081
広島	97,291,713	84,774,702	182,066,415	97,617,904	86,426,458	184,044,362
山口	57,779,589	44,240,152	102,019,741	57,883,334	45,007,146	102,890,480
徳島	28,967,167	27,526,817	56,493,984	29,196,683	28,042,420	57,239,103
香川	41,267,546	33,801,824	75,069,370	41,544,355	34,403,738	75,948,093
愛媛	55,205,217	43,278,911	98,484,128	55,495,703	43,920,537	99,416,240
高知	30,685,375	18,677,255	49,362,630	30,786,959	19,248,074	50,035,033
福岡	125,886,391	141,283,026	267,169,417	126,418,461	144,366,325	270,784,786
佐賀	35,304,182	20,765,796	56,069,978	35,498,635	21,296,764	56,795,399
長崎	57,202,437	30,562,177	87,764,614	57,547,560	31,307,038	88,854,598
熊本	69,439,614	41,509,349	110,948,963	69,747,976	42,347,915	112,095,891
大分	46,813,784	31,815,863	78,629,647	47,052,356	32,370,926	79,423,282
宮崎	44,740,968	31,395,805	76,136,773	45,003,613	31,808,032	76,811,645
鹿児島	69,694,401	42,894,954	112,589,355	70,044,891	43,707,830	113,752,721
沖縄	2,782,803	46,325,553	49,108,356	2,711,913	47,350,022	50,061,935
合計	3,891,673,742	3,515,425,945	7,407,099,687	3,918,453,121	3,586,861,618	7,505,314,739
非課税床面積(m2)			379,993,630			374,685,440

	2000年着工床面積(m ²)			2000年建築解体廃木材発生量(m ³)		
	木造	木造以外	計	木造	木造以外	計
北海道	3,927,340	4,805,466	8,732,806	606,878	91,035	697,912
青森	1,424,740	964,304	2,389,044	154,145	20,372	174,517
岩手	1,345,730	982,183	2,327,913	170,198	18,961	189,160
宮城	1,679,694	2,217,569	3,897,263	210,261	45,522	255,784
秋田	1,179,624	686,830	1,866,454	163,111	14,774	177,886
山形	1,280,616	963,425	2,244,041	181,526	19,985	201,511
福島	1,507,460	1,725,111	3,232,571	191,668	32,891	224,559
茨城	2,244,268	2,353,238	4,597,506	234,745	34,519	269,265
栃木	1,582,305	2,026,008	3,608,313	183,249	37,063	220,312
群馬	1,584,367	1,936,941	3,521,308	200,878	41,541	242,419
埼玉	4,108,370	5,740,928	9,849,298	470,935	81,064	552,000
千葉	3,619,426	5,048,948	8,668,374	355,616	47,644	403,259
東京	4,341,415	16,002,342	20,343,757	803,491	320,883	1,124,375
神奈川	4,368,200	9,145,591	13,513,791	576,733	164,517	741,250
新潟	2,085,680	2,066,801	4,152,481	327,417	38,809	366,226
富山	1,080,275	1,275,239	2,355,514	128,998	19,738	148,736
石川	932,943	1,128,818	2,061,761	126,997	24,233	151,230
福井	656,085	940,650	1,596,735	84,944	18,293	103,237
山梨	692,085	924,964	1,617,049	80,973	18,683	99,656
長野	1,938,153	2,287,209	4,225,362	270,774	41,697	312,472
岐阜	1,364,373	2,298,869	3,663,242	178,038	38,174	216,213
静岡	2,688,026	4,123,065	6,811,091	390,734	98,180	488,914
愛知	3,632,317	8,486,715	12,119,032	558,678	128,867	687,545
三重	1,202,170	2,084,538	3,286,708	141,597	34,636	176,233
滋賀	997,145	1,730,483	2,727,628	106,397	20,125	126,522
京都	1,301,467	2,378,014	3,679,481	177,198	53,326	230,524
大阪	2,772,549	9,359,607	12,132,156	448,052	173,882	621,934
兵庫	2,627,067	5,706,400	8,333,467	308,462	97,051	405,513
奈良	714,282	1,018,279	1,732,561	75,178	15,914	91,092
和歌山	532,047	854,260	1,386,307	56,411	14,649	71,059
鳥取	404,462	559,833	964,295	71,637	9,989	81,626
島根	529,901	661,016	1,190,917	66,221	16,728	82,949
岡山	1,041,687	1,889,403	2,931,090	147,139	35,228	182,368
広島	1,148,239	2,915,429	4,063,668	187,978	51,923	239,901
山口	679,518	1,412,306	2,091,824	130,050	26,720	156,770
徳島	477,555	786,872	1,264,427	55,303	11,339	66,642
香川	617,827	989,117	1,606,944	76,818	16,150	92,968
愛媛	782,527	1,342,142	2,124,669	110,729	29,126	139,855
高知	346,334	1,003,566	1,349,900	56,396	17,200	73,596
福岡	1,961,742	5,662,944	7,624,686	315,331	104,820	420,151
佐賀	496,646	815,092	1,311,738	68,231	11,450	79,681
長崎	688,850	1,285,832	1,974,682	81,071	21,837	102,908
熊本	952,338	1,717,803	2,670,141	144,862	35,784	180,646
大分	728,992	1,333,524	2,062,516	108,609	31,784	140,394
宮崎	717,127	1,085,845	1,802,972	100,610	27,853	128,463
鹿児島	1,011,218	1,451,102	2,462,320	147,862	26,271	174,133
沖縄	27,970	2,060,886	2,088,856	21,247	41,965	63,213
合計	72,023,152	128,235,507	200,258,659	9,854,379	2,323,196	12,177,575

0.2m³/m²・非木造 0.04m³/m² を掛け合わせることで得た。

沖縄県の 6 万 m³ から東京都の 112 万 m³ まで大きな開きはあるが、総計で約 1,200 万 m³、47 都道府県の平均で 26 万 m³ 程度の建築解体廃材が 1 年間に発生しているという結果となった。

ちなみに国土交通省による 2000 年の建設発生木材量の実績報告によると、土木 110 万 t、建築(新築)134 万 t、建築(解体)233 万 t で、総計では 477 万 t とされている。木材密度を 0.5t/m³ として計算すると建築解体廃木材量は 467 万 m³ となり、筆者らの試算の 40%程度 の値となっている。

同報告では 477 万 t の建設発生木材に対し、約 4 割が破砕等の再資源化施設でボード・製紙用や燃料用などの再資源化が行われ、約 5 割が焼却施設で「縮減」等され、残りの約 1 割が最終処分されたとしている。これは公共工事主体で適正な再資源化が行われることが多いとされる土木発生木材や、それなりに適正な管理が期待できる新築残廃材を含んだ数値であり、建築解体廃木材の 4 割が再資源化されているということの意味しない。

2.3 都道府県別建設残廃材処理施設

平成 14 年 3 月に各都道府県の土木建築担当部局・廃棄物行政担当部局がまとめた、建設発生木材の受け入れ許可を得ている施設の調査結果を得た。破砕施設・焼却施設のそれぞれの処理能力については、各施設の 1 日の処理能力(t/日)で年間 200 日稼働とした能力(t/年)から木材密度 0.5t/m³ として換算し直したものである。

破砕処理施設は全国に 775、焼却処理施設は 910 ヶ所が許可を得ており、処理能力は破砕が 3,539 万 m³、焼却が 631 万 m³ とのことであり、都道府県の平均で破砕 75 万 m³、焼却 13 万 m³ ということになる。

前項で試算した建築解体廃木材量と比較すると、都道府県ごとにいくらかばらつきはあるものの、全国レベルでは破砕処理能力は 3 倍程度、焼却処理能力は 5 割程度のポテンシャルがあることになる。

これらの施設は建設発生木材処理の許可を受けているだけで、実際には木くずを受け入れていないものが含まれている可能性がある。そこで環境省とエックス都市研究所が行った実態調査によると、破砕施設の内、実際に破砕チップを有償販売した実績がある施設が 302 ヶ所あり、それら施設の許可申請時の処理能力(t/日)は約 7.6 万 t/日とのもので、200 日稼働で約 1,520 万 t/年、3,040 万 m³/年となる。またそれら施設の立地についても、50km 圏内をプロットするとおおむね日本全土をカバーできるような配置になっているという結果となっている。焼却処理施設については全体の 75%がダイオキシン対応済みで、閉鎖は 20%程度とのものである。

同調査によると、破砕チップ処理量は約 190 万 t、約 380 万 m³ で、用途としてはボード・製紙用が約 3 割、燃料用が同じく 3 割、残りが堆肥・家畜敷料などその他用途と残材または在庫となっている。この数値は国土交通省調査による平成 12 年度の建設発生木材量

の約 500 万 t という数値に対し、縮減を含まない再資源化率の公表値 38% にほぼ対応した結果になっている。また焼却処理された量は約 5 割程度とされ、焼却処理施設の能力から見て妥当な数値となっている。

2.4 破碎チップの需要

恒次らが行ったシミュレーションによると、前年度の報告にもあったように木造建築物へ投入される資材は圧倒的に軸材料が多いため、建築系木質残廃材の軸材料へのマテリアルリサイクルルートを作らない限り、省資源化や廃棄物削減につながりにくいことが示されている。しかし現状では解体柱梁材のリユースや集成ラミナ化、あるいはより長いエレメントによる再軸材料化はほとんど行われていない。従ってマテリアル・エネルギー両リサイクルともに、破碎処理によりチップ化された物からしか行われていない。

前項で示されたように、建設発生木材受け入れ実績がある破碎処理工場だけでも、建築解体廃材だけでなく、新築廃材と土木廃材を含めても十分な処理ポテンシャルがあることになっている。現状の再資源化率が 4 割以下と低いのは処理施設の稼働日数が少なく、能力を活かしきっていないということを示す。立地条件にも問題がないとすれば、なぜ再資源化が進まないかを考察してみる。

結論として、破碎チップの需要が少ないことが原因であろう。現在の「廃掃法」では残廃材や製品チップの野積・放置期間について制限が設けられている。前項でふれた調査でも 2 割程度の量が残材または在庫として、再資源化処理施設に運び込まれながら売れないでいることが示されている。

	破碎処理施設と能力		焼却処理施設と能力	
	数	千m ³ /yr	数	千m ³ /yr
北海道	96	3,924	76	218
青森	21	852	41	392
岩手	10	964	20	56
宮城	9	208	13	44
秋田	10	588	30	106
山形	14	594	33	126
福島	9	826		0
茨城	8	200	12	628
栃木	12	470	17	46
群馬	5	132	18	114
埼玉	23	986	73	514
千葉	21	922	14	88
東京	13	826	7	84
神奈川	55	1,660	30	368
山梨	6	112	8	48
長野	14	472	20	98
新潟	34	1,470	43	272
富山	14	422	8	16
石川	6	384		0
岐阜	14	884	1	2
静岡	33	960		0
愛知	28	1,698	21	66
三重	17	990	3	10
福井	12	586	16	68
滋賀	10	144	31	46
京都	13	212		0
大阪	6	316	17	242
兵庫	21	648	13	82
奈良	7	204	7	10
和歌山	14	320	3	4
鳥取	5	228	5	14
島根	14	1,290	28	78
岡山	23	832	21	112
広島	17	698	34	870
山口	22	704	30	58
徳島	6	162	16	44
香川	10	690	23	114
愛媛	8	350		0
高知	6	1,054	14	864
福岡	11	768	32	82
佐賀	11	498		0
長崎	24	1,010	12	18
熊本	9	166	28	54
大分	22	2,240	27	116
宮崎	4	428	41	104
鹿児島	21	1,066	23	36
沖縄	7	232	1	0
全国計	775	35,390	910	6,306

破砕チップが売れず、さらに過剰な在庫を抱えることが法律でも制限されているため、受け入れを拒否せざるを得ないことが考えられる。

建築解体廃材チップのマテリアルリサイクルの受け入れ先としては、木質ボード工業とパルプ製紙業が大きく、2001年の業界団体の調査では木質ボードに155万m³、パルプに49万m³が使われている可能性がある。しかし統計上は「解体材等古材」などの名称で調べられたもので、パレット材なども含まれており、建築解体材が実際にどのくらいの比率で含まれているのかは明らかでない。

木質ボードでも、ファイバーボードでは品質管理上、長い繊維が採れやすい切削チップが好まれるため、破砕チップは主としてパーティクルボード用として使われている可能性が高い。合板を除く木質ボード類の国内生産量は2001年で約200万m³、輸入を入れても約300万m³であり、価格競争力を得るため、安価または逆有償の解体廃材チップの比率を増やしていく動きはあるものの、品質保持また木材工業からの残材チップも一定量使う必要があるため、現状では建築解体廃材チップの需要拡大には一定の限度があると考えられる。今後の課題としては、非木造建築物の内装用途への需要拡大や、木造でも根太レス工法などに使えるようにして厚物パーティクルボードの使用量増加を図っていくことが重要であろう。そうでなければ日本で特異的に高く900万m³近く使われている合板のシェアを代替していくしかなくなる。

パルプ製紙用チップについては、微量の異物や接着剤などの混入があまり問題とならない木質ボード用と異なり、非常に厳しい品質基準をクリアしなければならない。需要ポテンシャルとしては、2001年に3,564万m³の新規木材原料を使うという最大の木材利用産業であり、前述の解体材等古材の使用量はその1%程度しかないことから、今後利用率を少しでも上げることが可能であれば建築解体廃材の再資源化に大きな意味を持つ。しかし現在の建築解体廃材を受け入れて破砕処理をする再資源化施設に、パルプ用チップとして売れるような、金属類・塗料・接着剤・プラスチック・土砂などの異物を完全に除去するためのライン・設備を負担させることは、チップ価格が下落している現在、非常に困難であろう。もちろん現在でも非常にきめ細かい手作業等により、解体廃材の一部をパルプ用チップとして販売している実績のある再資源化施設もあることから、不可能なことではない。そのためにも解体現場にさかのぼって、きちんと分別した解体廃材をそれぞれ適した再資源化施設に運ぶことが、経済的にもインセンティブとなるような仕組みを、解体業者も含めて構築していく必要がある。

エネルギーリサイクルについては、建設発生木材の破砕チップで燃料用として販売された物は、前述の調査報告によると処理量の3割、約100万m³程度である。繰り返すがこの数値には新築・土木廃材が含まれており、建築解体廃材の比率は明らかではない。

現在、建築解体廃材等由来の燃料用チップはほとんど0円/kgとなっており、価格競争力は充分にあるはずである。また建築解体材は主として都市域で発生し、エネルギー需要の存在地とほぼ重なっており、輸送コストも小さいものと思われる。灰の発生量も石炭よ

りは少なく、硫黄分をほとんど含まないため SOX 対応も必要ない。結局、取り扱いのし難さとダイオキシン対応の問題が、大きな阻害要因となっていると思われる。

その他の需要としては堆肥・家畜敷料がある。これには地域性が大きく関わり、北海道・九州などが家畜敷料の比率が高いなどの傾向がある。しかしこの分野も異物の混入などには注意が必要で、パルプ製紙用と同様の問題がある。

2.5 おわりに

前項までに述べてきたように、建築解体廃木材の真の意味での再資源化率はかなり低いものと考えられ、統計調査には現れない不法な処理がかなりの量行われていると思われる。

世界の森林資源は熱帯林などを除けば面積的に増加の動きがあり、我が国でも若齢の人工林が成熟する過程にある。それらに生長する時間的余裕を与えるためにも、再資源化の優先順位は省資源のためのマテリアルリサイクルが高いと考える。ボード類は需要拡大、パルプ製紙は再資源化チップの原料比率を高めることが求められる。また再軸材化のためのさらなる技術開発も求められる。原料が逆有償で得られるのであるから、コスト的な競争力について技術でカバーできる可能性はあるものと考えられる。

我が国は京都議定書の温室効果ガス排出削減を第一約束期間に求められることになる。現在の取り扱いでは伐採木材はその時点で二酸化炭素排出とされているため、木材利用ライフサイクルのどの段階においても、エネルギー利用した場合の二酸化炭素排出はないものとされている。従って建築解体廃木材等をエネルギー利用して化石燃料を削減した分は正味の排出削減となる。削減目標がそれぞれの産業分野に割り振られた場合、化石燃料から木質燃料への転換を進める大きなインセンティブとなりうる。

現在の日本は不況下にあり、新たな設備投資が減少しているとされるが、むしろ適切な投資先を見つけることができないでいるというのが正しい現状認識であろう。「循環型社会の構築」や「バイオマスニッポン」のかけ声の元、木質系廃棄物を「廃棄物」としないための資源循環産業の起業が求められ、既存産業でも木材利用のための積極的な設備投資が必要となろう。

2章 木材工業系木質廃棄物

1. はじめに

前年度までに、木材工業の業種別に、木質廃棄物の発生量と再利用方法についての現状把握を行うとともに、木質廃棄物再利用技術の開発状況を調査した。本年度は、木材工業系木質廃棄物について、その発生と再利用の実態について整理を行い、それぞれの再利用用途における要求される品質基準や技術的課題をとりまとめる。

2. 木質廃棄物の発生の実態

ここでは、既存の資料や本事業における調査結果をもとに、おもな木材工業の業種別に、木質廃棄物の発生の実態について述べる。

2.1 木質廃棄物の種類

<製材業>

樹皮：製材品に付着してはならないもので、あらかじめ鋸断工程の前に剥皮する。

背板：製材品を木取りした残材で、多くの場合、丸身付きの小・乱尺材。

端材：丸太あるいは製材品の幅・長さ決め、節・腐れなどの除去などによって発生する、乱尺、乱断面材。

鋸屑：帯鋸あるいは丸鋸による鋸断で発生する木粉。

べら板：所定寸法に仕上げるために、ひき直しによって発生する薄板。

チップ屑：背板、端材をチップ化したときに発生する規格外の微小な木片。

プレーナー屑：製品のプレーナー掛けを行う場合に発生する削り屑。

<合板工業、LVL工業>

樹皮：南洋材の場合は、産地国で剥皮後に積出するため、発生量は僅かである。

チェーンソー屑：丸太の横切り工程で発生するのこ屑。

端材：丸太の長さ決め時に発生する残材で、大径の短尺材。

剥心：ベニヤレースでの剥き残しで、真円の丸棒状のもの。

単板屑：ベニヤレースでの単板製造過程、乾燥・未乾燥の単板裁断仮定で発生する単板屑で、生状と乾燥したものがある。

サイザー屑・合板屑：合板のトリミング工程で発生する。

サンダー屑：合板のサンディングによって発生する微粉。

<プレカット工業>

端材：製材品の幅・長さ決め等によって発生する、乱尺、乱断面材

鋸屑：おもに丸鋸による鋸断で発生する木粉。

切り屑：プレーナー掛け、モルダー掛け、穴あけ加工等により発生する削り屑。

最近使用比率が高くなっている集成材や、防腐・防蟻処理木材を加工して発生する、接着剤や薬剤を含んだ木質廃棄物は、再利用の際敬遠される場合がある。

<集成材工業>

端材：ラミナあるいは製品の幅・長さ決め、節・腐れの除去等によって発生する、乱尺、乱断面材。

鋸屑：帯鋸あるいは丸鋸による鋸断で発生する木粉。

プレーナー屑：ラミナあるいは製品のプレーナー掛で発生する削り屑。

集成材工業において発生する木質廃棄物には接着剤が混入しており、再利用の際敬遠される場合がある。

2.2 木質廃棄物の発生量

表1に、主な木材工業における、平成12年の木質廃棄物の推定発生量を示す。表に示す木質廃棄物発生量は、平成12年の原材料投入量と、これまでに各木材工業を対象にして行われた調査^{1)・5)}において報告されている、原材料投入量に対する木質廃棄物の発生比率を用いて推定したものである。

表1. 主な木材工業における製品生産量及び木質廃棄物発生量(千m³)

業種	原材料投入量	製品生産量	木質廃棄物発生量	焼却・棄却量
製材業	26,526	17,094	12,777 (48.2)	722 (5.7)
合板工業	5,401	3,218	1,868 (34.6)	47 (2.5)
プレカット工業	2,678	—	195 (7.3)	28 (14.5)
集成材工業	—	892	181 (—)	56 (30.9)

注1. 木質廃棄物発生量の()内は原材料投入量に対する割合。

2. 焼却・棄却量の()内は木質廃棄物発生量に対する割合。

木質廃棄物の発生量が圧倒的に多いのは製材業である。これまでの調査によれば、製材工場における木質廃棄物の中で発生量が多いのは、樹皮、背板、鋸屑で3者で全体の80%以上を占めるとされている。木質廃棄物の利用方法として、製材工場から発生する背板はほとんどが木材チップとして利用されている。合板工業、プレカット業、集成材工業から発生する木質廃棄物は、製材工場と比較して燃料利用の割合が高いが、燃料利用以外では木材チップとしての利用割合が高い。そこで、次節では、樹皮、木材チップ、鋸屑(木粉)を対象として、それぞれの再利用用途における要求される品質基準や技術的課題をとりまとめる。

3. 木質廃棄物の再利用用途別品質基準

ここでは、樹皮、木材チップ、鋸屑、木粉を対象として、それぞれの再利用用途における要求される品質基準や技術的課題をとりまとめる。

3. 1. 木材チップ

木材工業から発生する背板や端材などの工場残廃材、建築部門から発生する建築解体材、新築廃材、型枠材や流通部門から発生する廃パレット、廃梱包材などの木質廃棄物を再資源化する方法は、現在、チップ化(粉碎処理)が主体となっている。ここでは、チップを再利用するために、チップに要求される品質基準について再利用用途別に解説する。

3. 1. 1. チップの品質区分

チップといっても、その原料や形状など様々であり、それらによって品質もかなり異なる。そのため、まず、チップの形状や品質区分についてまとめる。

(1)チップの形状

チップの形状は、その製造(粉碎)方法によって決まり、いわゆるパルプチップ形をした切削チップと針状のピンチップの2つに分けられる。

1)切削チップ

切削チップは直方体を押しつぶしたような角ばった形状をしており、ディスクチッパーなどの切削式粉碎機によって製造される(写真1)。

刃物による切削で製造を行うため、釘などの金属類の混入によって刃こぼれを起こすことがある。そのため解体材などを使用する場合は、チップ化の前に異物除去を行う必要がある。

チップの形状、サイズは、ピンチップに比べると揃っている。しかし、チップ化工程におけるダストやオーバーサイズチップの発生は避けられず、2段スクリーンを用いてこれらを

選別・除去する。ダスト(細かい目のスクリーンを通ったもの)は鋸屑状のもので燃料や家畜敷料として利用されており、オーバーサイズチップ(粗い目のスクリーン上に残ったもの)は再度ディスクチッパーにかけるか、粉碎機(チップクラッシャー)で細かく粉碎したのち再度選別する。



写真1. 切削チップ

2)ピンチップ

ピンチップはハンマークラッシャーなどの衝撃式粉碎機やシュレッダーなどのせん断式粉碎機によって製造されるチップ(写真2)である。スクリーンの目のサイズによってチップサイズの調整を行うが、切削チップほどサイズがそろわないのが現実である。



写真2. ピンチップ

(2)チップの品質区分

チップの品質区分は、木材工業から発生した木質廃棄物から製造される「バージンチップ」と、建築解体材、廃パレット、廃梱包材などから製造される「再資源化チップ」の2つに大きく分けられる。そのうち「再資源化チップ」については、原料の種類がかなり幅広く、様々であり、それらによって品質が大きく異なる。そのため、チップ利用者側が用途に合わせてチップを購入できるように、中間処理業者などによって、品質別にAチップ、Bチップ、Cチップ、Dチップの4ランクに分類されている。この品質区分は、原料や用途によって分けられており、以下にそれぞれの品質区分とそれぞれにおけるチップ原料、品質などについて示す。

・バージンチップ

原料:木材工業系木質廃棄物(背板、端材、むき芯など)

用途:主に製紙用パルプ

形状:切削チップ

品質:異物の混入も少なく、もっとも均質なチップである。チップの品質としては最上級である。

・Aチップ

原料:解体材のうち柱、梁など断面の大きいもの。

用途:主に製紙用パルプ

形状:切削チップ、ピンチップ

品質:バージンチップに準ずる品質。

・Bチップ

原料:解体材のうち小角類など比較的断面積のあるもの。パレット、梱包材など。

用途:主に板紙用パルプ、ファイバーボード

形状:ピンチップ

・Cチップ

原料:Bチップと同様のもののほか合板やパーティクルボードなど。

用途:主にパーティクルボード

形状:ピンチップ

・Dチップ

原料:A~Cチップの原料に含まれないその他の木質廃棄物。

用途:燃料

形状:ピンチップ

品質:多少異物が混入している場合がある。

3. 1. 2. 各用途で要求される品質

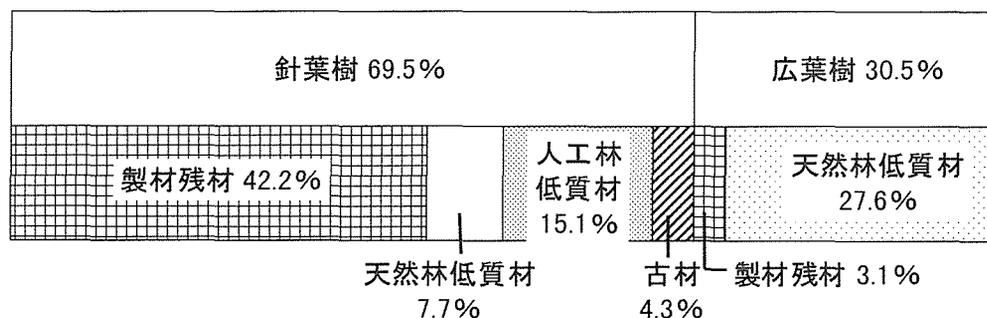
現在、チップはパルプやパーティクルボードをはじめ、様々な用途に使用されている。しかし、それぞれの用途によってチップに要求される品質が異なる。そこで、チップを用いる場合に各用途別に要求される品質について以下にまとめる。

用途	再資源化チップ区分
パルプ	A, B
木質ボード	B, C
マルチング材	B, C, D
舗装資材	A, B, C, D
敷き均し	A, B, C, D
暗渠	A, B, C
浄化材	C, D
燃料利用	C, D

(1) パルプ

我が国におけるパルプ用チップの需要量は、チップの全需要量の約94%(1999年)を占め、最も主要な分野である。パルプ用のチップは要求される品質基準も高いが、取引される価格も最も高く、チップを売却する側としては最も関心のあるところである。

我が国における2000年のパルプ用の木材の原材料別の構成を図1に示す。



出典:紙・パルプ, No.642, 2002年5月, 日本製紙連合会

図1. パルプ材の原材料別構成(国産材, 2000年)

針葉樹については背板やむき芯などの工場残材(図では製材残材)が多くを占め、広葉樹については天然林、人工林低質材がほとんどである。解体材などの古材の利用は、国産材全チップ生産量のうちわずか4.3%となっている。表2に紙パルプ工場への古材入荷量の推移を示す。古材の入荷は、量にして400～500千m³、比率にして6～7%(国産針葉樹チップ生産に対する比率)で推移している。

表2. 古材の入荷量と国産針葉樹チップ生産に対する比率の推移

年	古材の入荷量 (千m ³)	比率 ^{注)} (%)
1985	477	6.4
1990	433	5.7
1998	418	5.9
1999	413	5.8
2000	483	6.6
2001	488	6.8

出典：日本製紙連合会資料

注：比率は国産針葉樹チップ生産に対する比率

1) パルプ用チップの種類

図1に示したように、工場残材または低質材由来のバージンチップが主である。再資源化チップを使用する場合、AチップまたはBチップが使用される。Aチップは主に紙用、Bチップは主に段ボールなどの板紙用である。

2) チップに要求される品質

チップに要求される品質基準は、樹種、サイズ、品質などについてである。それらの詳細は各会社、各工場によって異なるが、まとめると下記のようになる。

樹種

樹種、針葉樹、広葉樹、南洋材、またはそれらの混合、などがわかること。

サイズ

サイズが一様に揃っているものが望ましい(パルプ化工程で求められる)。その標準サイズは各工場によって異なっており一定ではないが、厚さ5mm程度、幅25mm前後、繊維方向の長さ15～35mm程度である。2段階のスクリーンによってオーバーサイズチップやダストを除去している。スクリーンの目は四角形または丸形のもので、粗目は30～45mm、細

目は3～6mmのものを使用するが多い。標準サイズへの集中度、オーバーサイズチップおよびダストの混入率を規定している。

品質

焼損材、異物を含まないこと。

樹皮、腐朽材、異樹種などの混入率についての制限。

チップの含水率。

樹皮は抽出成分や灰分が多く繊維分が少なく薬液消費を増大させるため、腐朽材は製品(紙)の品質阻害となるため、焼損材や炭化物は漂白が不可能であり商品価値を損なうため、異物のうち金属類は設備の損傷などの障害を引き起こすため、プラスチックやビニール類の混入は製品に透明なスポットとなり商品価値を落とすため、それぞれの混入制限が定められている。

表3にバージンチップの受け入れ基準例を示す。

表3. 針葉樹チップの受け入れ基準例

	規格	基準
オーバーサイズ	28.6mm以上	5%以下
ダスト	4.8mm以下	4%以下
集中度	9.5～22.2mm	55%以上

(2) 木質ボード

パーティクルボードやファイバーボードなどの木質ボードに使用される再資源化チップの使用量は、繊維板工業会の資料によると、801千m³(1998年)となっており、マテリアル用途として再資源化チップの使用量の最も多い部門である。

1) 木質ボードに使用されるチップの種類

使用されるチップはBまたはCチップであり、Bチップは木質ボードの中でもチップへの品質要求基準の高いファイバーボード向けが多く、Cチップはパーティクルボード用が多い。Cチップは品質の幅が広いいためCチップからファイバーボードを製造することも可能であるが、その場合、“合板を含まないこと”などの条件が設定されることが一般的である。

2) チップに要求される品質

木質ボード用チップに要求される品質基準は、チップ原料、チップサイズ、異物混入などについてである。これらの基準については、多くの工場では簡単な約束または口頭による取

り決めによって行われている。また、受け入れ基準を明確に定めていなくても、チップの品質チェックを行うことによってチップの規格としている工場もある。

再資源化チップの品質基準について、多くの工場で行われていることをまとめると、下記のようなになる。

金属類、プラスチック類、土砂などの異物を含まないこと。

腐朽材、防腐処理材を含まないこと。

チップの形状、寸法、集中度、オーバーサイズおよびダストの混入率。

チップの形状などの規定については、一般的には、ハンマークラッシャーなどで製造されたピンチップをスクリーンに通してオーバーサイズチップおよびダストを除いたものが要求される。

チップ原料については、解体材および梱包材、パレット材であること、腐朽材、防腐処理材を含まないこと、特殊合板を含まないこと、コンパネを含まないことなど工場ごとに定めている。

パーティクルボード工場の受け入れ基準例について表4に、受け入れチップのチェック項目の一例を表5に示す。

表4. 解体材等を原料とするチップ受け入れ基準例

原料	家屋解体材のうち構造材、造作材および梱包材、パレット等をクラッシャーにかけたもの		
品質基準	標準サイズ	長さ: 90mm以内 厚さ: 10mm以内	95%以上
	過小サイズ (ダスト)	6mm以下	5%以内
	不良材	腐朽材、焼損材 MDF	ないこと
	異物	金属、土砂、石、紙、 樹皮、プラスチックなど	ないこと

表5. 木質ボード用チップのチェック項目

チェック項目	チェック方法
金属類などの異物の混入率 (ないこと)	金属探知機作動回数など サンプルによるチェック
粒度分布 (特にダスト、スリーバー比率)	ふるい分け
解体材の種類 (腐朽状態、合板類の混入など)	目視チェック
樹皮混入率	抜き取りサンプルで測定
含水率	抜き取りサンプルで測定

(3) マルチング材

チップを敷きつめることによって、雑草の発育抑制などの効果を狙ったもので、樹林地、公園、緑地、花壇、造林地、法面・中央分離帯などに用いられる。雑草抑制効果は敷き詰めるチップの厚さで異なり、効果を発揮するためにはチップ層の厚さを10cm以上にする必要がある。よく管理された圃場や花壇などでは繁殖力の弱い雑草が多くなるためにチップ厚が多少薄くても(5~8cm)雑草抑制効果が期待できる。

マルチング材として使用されるチップには、雑草抑制効果があることのほか、土壌など周辺環境への影響がないことが求められる。

現在のところ、間伐材や剪定枝などから製造された切削チップが多く用いられているが、B~Dチップも使用されている。チップの形状は切削タイプ、ピンタイプどちらとも使用できる。サイズについての制限は厳しくなく、一般的に市販されている粉砕機で製造されるチップであれば使用できる。しかし、粉砕コストや耐用期間の点から、必要以上にチップを細かくすることは得策ではない。チップの粒度もそろっている必要はなく、スクリーンを通していない粉砕しっぱなしのチップでも使用可能である。

環境負荷については、バージンチップを使用する場合、樹皮付きであっても問題ない。B~Dチップを使用する場合は、防腐処理材、薬剤処理材や金属、プラスチックなどの異物の混入が無いことが原則である。

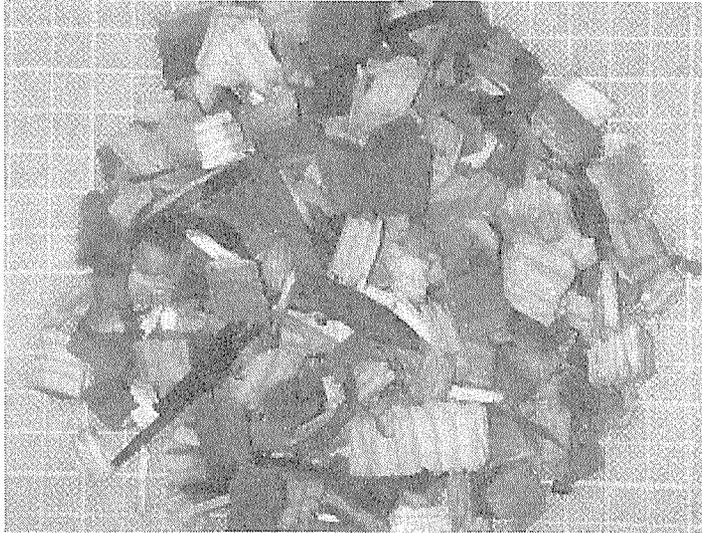


写真3. マルチング用チップ
(樹皮が混入している)

(4) 舗装資材

舗装資材としてチップと樹脂などを混合したものを敷きつめたものである。このチップ舗装には、工場で加熱加圧成型した成型板を舗装現場で敷き並べる成型板舗装工と、現場でチップと樹脂またはアスファルト乳剤を混合するウレタン樹脂処理工、アスファルト乳剤混合工とに分けられる。透水性や舗装としての強度を保つために、砂や碎石を加える。無処理のチップを敷き均しただけのチップ舗装も舗装資材に加えることもあるが、ここでは次項の「敷き均し」の項に含める。

現在主にスギ、カラマツ等の間伐材から製造させたバージンの切削チップが使用されているが、解体材などから製造された再資源化チップも使用されており、その場合A～Dチップが用いられている。

公園内などの歩道に施工する 경우가多く、環境負荷の点から金属やプラスチックなどの異物混入はない方がよい。防腐処理材の使用も不可能である。腐朽材は著しい腐朽でなければ使用可能であるが、舗装資材としての耐久性が劣る。

チップ舗装の特徴として、人に優しい景観舗装である、弾力性があり歩き心地がよい、透水性が高い、滑りにくいなどの点があげられる。チップに求められる条件として、これらの特徴を生かすことが重要である。

景観舗装とする場合、歩行者が木であるとわかるようにあまり細かく粉碎したものを用いない。その基準は各会社によって異なり、「2mmのスクリーンを通ったものは使用しない」などと定めている。また、木質系の色調が出るように透明または透明に近い樹脂(ウレタン樹脂であることが多い)を用いる。

チップ舗装は、舗装表面に凹凸があり、舗装内部に空隙があるため、弾力性がある、透水性が高い、滑りにくいなどの特徴を有している。これらの特徴を生かすためには、チップの大きさと形状が重要になってくる。チップが小さいと、表面の凹凸が少なくなり、内部の空隙も減少する。しかし、過大なチップを用いると、足で踏んだときに異物を踏んだような圧力を受け、歩き心地が悪くなる。これまでの施工例からチップのサイズおよび形状について整理すると、小さいもので1～8mmの粒度分布を持つピンチップ、大きいものでパルプ用の切削チップ(サイズ:25×25mm程度)が使用されている。

いくつかの樹種が混ざっていることや、針・広葉樹混合などはあまり問題にならない。

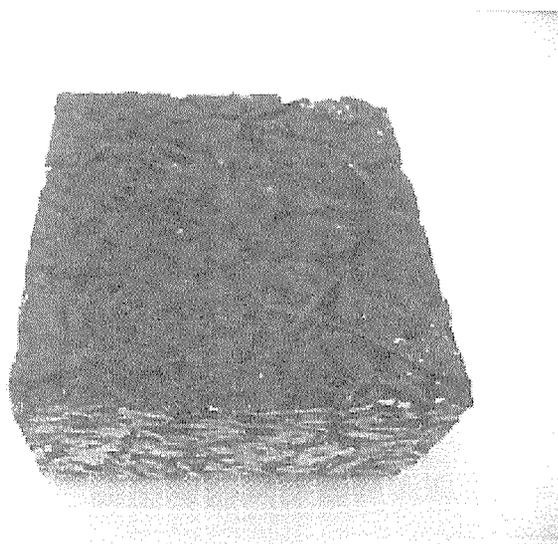


写真4. アスファルト乳剤混合工
(切り出したもの)

(5) 敷き均し

チップをそのまま無処理で敷き均して使用するもので、公園や森林の遊歩道や競走馬の調教用コースに使用される。

1) 遊歩道

遊歩道などにチップを敷き均すもので、森林や公園などでよく用いられる(写真5)。チップの流失を防ぐため、地面を溝状に掘削した部分にチップを敷き均すタイプや丸太で作った枠組みの中に敷き均すタイプで施工する。排水性を良好にするためにチップ層の下には碎石層を設ける場合が多い。

遊歩道や公園に敷き均す場合、バージンチップの使用がほとんどである。再資源化チップを使用する場合A～Dチップが使用される。サイズは施工場所によってかなりばらつきがあるが、これまでの施工事例を見ると、25×25×5mm程度の切削チップや長さ25mm×幅5mm(平均)程度のピンチップなどが使用されている。

樹皮付きの材や腐朽材から製造されたチップは使用可能であるが、金属やプラスチックなどの異物は除去する必要がある。また、ダストやサイズの小さいチップは風によって飛散しやすいため使用しない方がよい。

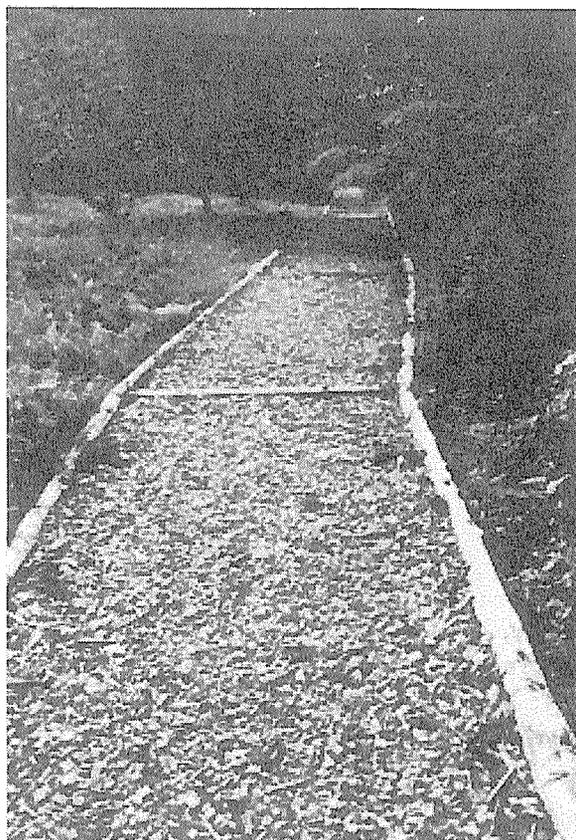


写真5. 森林内に施工された敷き均し

2) 競走馬調教用コース

競走馬調教用のチップコースは、排水性が高いため雨天でもコンディション変化が少ない、クッション性が高いため怪我の防止になる、競走馬の脚力を強くするといわれているなどの長所があり、強い馬作りのための重要な施設の一つである。

競走馬調教用コースの構造は、各施設とも大同小異であるが、一般的に路床の上に砂または砂利層があり、その上に碎石層が、そして最上層がチップ層となっている。滑り止めと蹄の保護のために表層のチップ層に樹皮を粉碎したものを混入させている施設もある。チップ層の下面には透水シートなどが敷かれている。

競走馬調教用コースに使用されるチップは主にバージンチップである。再資源化チップの使用例はあまり聞かないが、A～Dチップも使用可能であると思われる。ただし、金属やプラスチックなどの異物を除去したチップを用いた方がよい。形状はコースによって異なるが、切削チップをより細かく砕いて細片状にしたもの(平均サイズ:長さ30mm×幅10mm

×厚さ3mm程度)、パルプ用の切削チップ(平均サイズ:25mm×25mm×5mm程度)、ピンチップ(平均サイズ:未調査)などが使用されている。

(6)暗渠

暗渠とは農地の余分な水分を排出するための地下水路であり、排水不良による作物の生育不良や病害虫の発生などを防ぐために、水はけの悪い農地では重要な設備となっている。その構造は、最下部に配水管(暗渠管)、その上に疎水材、最上部に埋め戻し土というものである(図2)。

疎水材には排水性と耐久性が要求され、作物への生育阻害性がないことが必要とされており、従来、もみ殻や稲わら、砂利、火山灰などが使用されていたが、暗渠施工数の増加や疎水材資材の供給不足などからチップも利用されている。

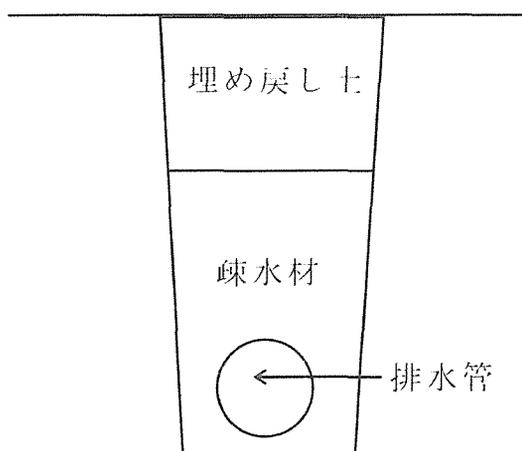


図2 暗渠の構造

これまで、カラマツやトドマツのバージンチップや抜根材のピンチップが使用された例があり、排水性、耐久性、作物生育性について問題ないことが報告されている。その他の樹種や建築系木質廃棄物の利用についての報告はないが、A～Dチップを使うことも可能であると思われる。しかし農家は収穫への影響に不安感を抱くため、従来と異なる疎水材を使用することへの抵抗感がかなり強い。

異樹種の混入や針・広葉樹混合についても問題ない。腐朽材の使用についても、使用中に腐っていくものであるため、問題ないと思われるが、疎水材としての耐久性が劣る。

樹皮の抽出成分には作物の生育に影響を与えるものも含まれるため、樹皮の混入率は低い方が好ましいが、10%以下であれば問題ない。樹皮付きの材を粉碎して製造したチップであれば、樹皮混入率は10%程度なので問題ないが、さらに樹皮を追加することはよくない。土砂の混入については、混入率が4%以下なら問題はないとされる。しかし、疎水材としてのチップの耐久性を低下させるため、粉碎前に原料に付着している土砂は除去した方がよい。

その他の金属やプラスチック、コンクリートなどの混入や接着剤や防腐薬剤の付いた木材の使用は、作物へ影響を与えるおそれがあるので避ける必要がある。

(7) 浄化材

バイオ型生ゴミ処理機およびバイオトイレの基材としてチップが利用されている。

原理はどちらの装置も同じであり、投入された分解対象(生ゴミまたは排泄物)をチップ中に生息する微生物の力によって水と炭酸ガスに分解するものである。生分解を促進するため好気性バクテリアや糸状菌などを調整したチップを使用する場合もある。好気性バクテリアなどによる分解を促進するため、pH、温度、酸素、水分等の適正管理が必要である。

現在市販されている装置に使用されているチップは、スギのバーজনチップが多い。しかし、基材としてのチップに要求される内容は、多孔質で保水性がよいこと、排水性がよいこと、通気性がよいこと、断熱・保温性がよいことなどであり、スギ以外の樹種やC、Dチップも使用される。金属やプラスチックなどの異物は、微生物やバクテリアによって分解できないため、除去する。

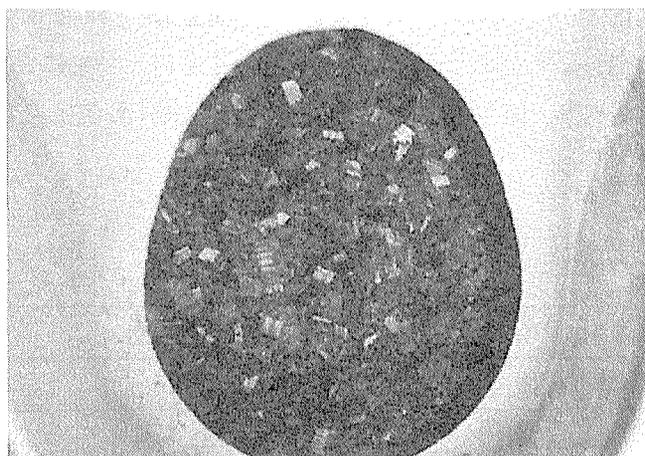


写真6. バイオトイレの内部

(8) 燃料利用

一般的に燃料用チップにはマテリアル利用できない木質系廃棄物が向けられるため、Dチップが使用されることになる。しかし、Cチップなどの良質チップを使用すれば燃焼カロリーが上がるため、ユーザーによってはCチップを要求することもある。

多くの工場では明確な基準設定はしていない。しかし、入荷時に抜き取りサンプルでの異物混入(特に金属、重金属)チェック、燃焼灰に含まれる未燃物の量(特に金属)の測定や灰の成分分析チェックなどを行っている。表6に燃料用チップのチェック例を示す。

表6. 燃料チップのチェック例

チェック項目	チェック方法
異物の混入率	燃焼灰に含まれる未燃物の量
含水率	抜き取りサンプルで測定
木質系廃棄物の種類(特に重金属の混入)	発生した場所で確認

3.2 樹皮

樹皮のおもな再利用用途別に、要求される品質基準とコスト面や技術面における課題について解説する。

(1) バーク堆肥

これまでの調査によれば、製材工場から発生する樹皮は、バーク堆肥としての利用割合が高い。バーク堆肥工場に搬入された樹皮は、一般的に、堆積→粉碎→異物除去→発酵剤(鶏糞、尿素等)との混合→積み込み→切り返しの工程を経て製品化される。バーク堆肥には、表7に示すような品質基準がある。バーク堆肥の用途は、おもに法面吹き付けや造園緑化、果樹・園芸用等であるが、原材料となる樹皮の発生量が多いことから、新規需要の開発が課題である。

表7. バーク堆肥の品質基準

項目	範囲
有機物含量	70%以上
全窒素含量(N)	1.2%以上
全リン酸含量(P2O5)	0.5%以上
全カリ含量(K)	0.3%以上
C/N比(炭素率)	35以下
pH	5.5~7.5
陽イオン交換容量(CEC)	70me/100g以上
含水率	60±5%
幼植物試験	異常を認めない

(参考: 全国バーク堆肥工業会「バーク堆肥の品質基準」)

(2) 土壌改良材

スギ、ヒノキ樹皮に嫌気自己加熱処理を施し一部を炭化させた後、繊維状に粉砕する。スギ樹皮とヒノキ樹皮の配合割合を変えることにより、スポーツターフ等の芝育成用と、学校グラウンド、野球場等のクレイ舗装用がある。ヒノキ樹皮は、殺菌力があるため堆肥原料としては向かない面があるが、土壌改良材としては雑草の抑制効果がある。パーク堆肥にも同様のことが言えるが、原木市場からの樹皮は、針金、ビニール等の異物除去を依頼している(写真7)。また、リングバーカーで剥皮した樹皮には木質が含まれているので、水圧バーカーで剥皮した樹皮の方が好ましい。なお、集成材工場で樹皮を粉砕し、比較的高値で土壌改良材製造業者に売却している例もある(写真8)。パーク堆肥同様に需要拡大が課題。



写真7. 原木市場から搬入された樹皮
(ビニール等の異物が混入している)



写真8. 集成材工場で粉砕された樹皮
(自工場で樹皮の粉砕を行うことにより未処理の樹皮より高値で売却している)

(3) 家畜敷料

これまでの調査によれば、樹皮の家畜敷料としての利用は、本州以南では15～20%であるが、畜産業が盛んな北海道では40%を超えている。樹皮は一般的に鋸屑状に粉砕して畜産農家に売却されており、要求される粒度は農家によって違いがあるが、あまり細かいと舞い上がってしまうので、製材工場から発生する鋸屑よりやや大きい程度が良いとされている。木材工業からの樹皮を家畜敷料製造業者に売却する場合には、粉砕処理した樹皮の方が値段が高くなる。ただし、肉牛飼育の場合は牛が踏みつぶして粉砕することから、剥皮したそのままの樹皮や1.5～2cm程度に粉砕したものでも畜産農家では受け入れ可能である。カラマツについては、乳牛飼育の場合は農家が保守的な面もあり(風評等により)敬遠されることがあるが、肉牛飼育の場合は乳牛飼育の場合ほど敬遠されない。

(4) 樹皮ボード

チップ化したスギ樹皮を原料にしたスギ樹皮ボードは、比重0.6前後、厚さ20～25 mmで、路面材や壁面材として用いられている。また、スギ樹皮の中の靱皮繊維と木材繊維を原料にしたスギ樹皮インシュレーションボードは、比重0.2前後、厚さ20～25mmで、軽量で熱伝導率が低い特徴を生かし、断熱材や畳の芯材として利用されている。スギ樹皮インシュレーションボードの切断時に発生する粉塵対策が課題である。

(5) 木質ペレット

樹皮を繊維状に粉碎し(写真9)熱圧成型した固形燃料で、長さは1～2cm、直径は6,8,10,12mmが一般的である(写真10)。木材の成分であるリグニンを熱で融解し固着させることで成形するので接合剤添加の必要がなく、形状・含水率が一定であるため自動運転装置に適している、乾燥処理されているため保存が容易、チップよりもエネルギー密度が高いため輸送や貯蔵に適しているなどの利点がある。その用途として、ボイラー燃料としては、現在のところ温水プールや学校の暖房用など公共施設が中心である。家庭用ペレットストーブの燃料としては、設備投資が高額となること、樹皮を原料とした場合には鋸屑を原料としたペレットよりも灰の発生量が多いこと(特にスギ等針葉樹)、煙突の設置方法等が解決すべき課題となっている。



写真9. 木質ペレット原料として粉碎された広葉樹樹皮

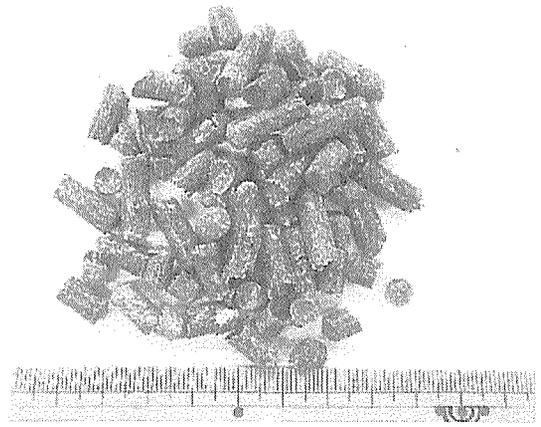


写真10. 木質ペレット
(直径6mm)

(6) 汚泥固化材

スギ・ヒノキの樹皮を粉化させないように解繊し綿状に加工する。微細繊維が起こす毛細管現象で汚泥含水率の低減をはかりるとともに、さらに繊維の絡み合いにより流動性抑制をはかり、汚泥を塑性化させる。

(7) 乗馬敷料

1.5～2cm程度に粉砕した樹皮を敷き詰め乗馬のトレーニングに用いる。樹皮に土等が混入している場合でも、多少であれば用途の性格上問題はない。

(8) 育苗培地

バーク堆肥の用途が限られていることや、現在水稻育苗に用いられている加工床土が重くまた優良な床土原料が不足していることなどから、北洋材樹皮を原料としたバーク堆肥が需要の大きい水稻育苗培地として用いられている。バーク堆肥を育苗培地に用いた場合、製造時に発酵剤として鶏糞が配合されることから稲がリン酸過剰傷害を起こしやすいので、鶏糞を配合しないバーク堆肥を製造しその育苗培地としての適正が確かめられ、商品化されている。

3.3 鋸屑

鋸屑のおもな再利用用途別に、要求される品質基準とコスト面や技術面における課題について解説する。

(1) 家畜敷料

これまでの調査によれば、木材工業から発生する鋸屑の多くは家畜敷料として利用されている。家畜敷料の品質基準に関しては、売却(あるいは引き取り)先の畜産農家や、畜産農家が扱っている家畜の種類によって様々である。ただし、樹皮を家畜敷料として用いる場合と同様に、粒子径は製材工場から発生する鋸屑よりもやや大きいもの、鋸屑以外ではプレーナー屑のようなものが好まれる。鋸屑製造機を用いて原木等から家畜敷料用鋸屑を製造している業者では、畜産農家の要求に応じた形状の鋸屑を生産している。また、接着剤や薬剤を含む鋸屑は敬遠される場合がある。

(2) きのご培地

きのご培地として適している広葉樹鋸屑は、製材工場からの鋸屑としての供給が少ないことから、多くは鋸屑製造機できのご培地用に粉砕・調整したものが販売されている(写真11)。この広葉樹鋸屑が高価であることから、スギ、ヒノキ等の針葉樹鋸屑も用いられている(写真12)。ただし、スギ、ヒノキには、きのごの成長を阻害する抽出成分が含まれているため、きのごの菌床栽培を行っている業者は、針葉樹鋸屑を使用する場合一般的には、数ヶ月から1年程度鋸屑を屋外に堆積し雨水と日光でシーズニング処理をしたり、広葉樹鋸屑とブレンドしたりして使用している。また、菌床栽培において、ヒラタケ等の栽培期間が短いきのごの場合には菌床の鋸屑自体はほとんど分解されず、菌床の目的は栄養源というよりは空隙による水

分と空気の確保にある。そのため、菌床の鋸屑としては60メッシュ(粒子径 $250\mu\text{m}$)以上程度
の大きめのものが適しているとされており、製材工場から発生する鋸屑もそのまま用いること
ができる。

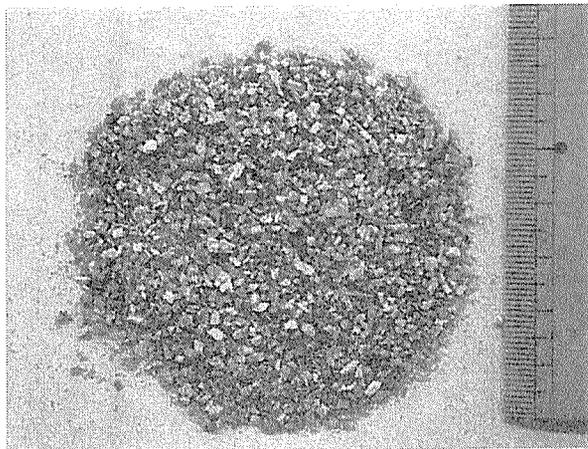


写真11. きのご菌床栽培用ブナ鋸屑

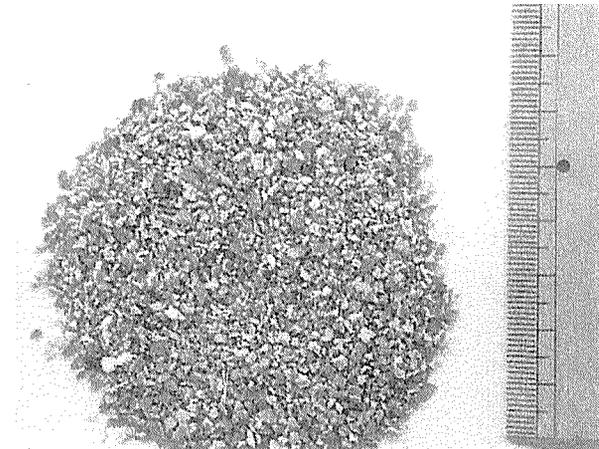


写真12. 製材時に発生したスギ鋸屑

(3) オガライト・オガタン

オガライトは、乾燥した鋸屑を熱圧成型した直径 $50\sim 70\text{mm}$ 、長さ 45cm 前後の成型薪である。オガタンはオガライトを炭化し、着火性及び発熱量をより高めた成型木炭である。オガラ
イトの原料としては、樹種別には、スギ、ヒノキは成型が容易であるが押し出し速度が遅い、
北米材、北洋材、南洋材などは成型が難しい、国産広葉樹は押し出し速度も速く良質な製
品が得られるとされている。鋸屑の粒子径は、50メッシュ($290\mu\text{m}$) \sim 10メッシュ($1,650\mu\text{m}$)の
ものが用いられており、製材工場から発生する鋸屑もそのまま用いることができる。

(4) 鮮度保持材

海老の梱包用に使用されている。売却先の業者からは、鋸屑の品質等に特に指定はな
い。

(5) 融雪剤

鋸屑から粉炭を製造し、路上散布を行っている。

(6) 生ゴミ処理材

鋸屑は、好気性細菌による生ゴミの分解を促進するためのpH、温度、酸素、水分等
の環境を整える媒体材として適している。ヒノキ等の精油成分を含む樹種の場合も、生ゴミ分
解の立ち上がりにやや時間が掛かる面はあるが大きな問題はない。

(7) 蚊取り線香

製材工場で発生する鋸屑が蚊取り線香の原料として用いられている。鋸屑は、製材工場から燃料製造業者を通して蚊取り線香製造業者に売却されている。製材工場から燃料製造業者に売却する際には鋸屑の品質等に特に指定はないが、燃料製造業者から蚊取り線香製造業者へ売却される際はなんらかの調整が行われていると思われる。

3. 4. 木粉

木質系廃棄物を粉砕して製造された木粉を再利用する場合に、木粉に要求される品質基準などについて用途別に解説する。

(1) 熱可塑性木質材料

木材の微粉末を熱可塑性樹脂と混合、成形加工したものであり、エクステリア資材(デッキ、フェンス、ベンチ、テーブル、花壇など)、家具材、造作材、型枠などに用いられる。

原料は製材工場から発生する鋸屑や解体材(柱、梁、板材)などであり、針葉樹である場合が多い。木粉はそれらの原料を乾燥、粉砕して製造される。木粉の表面に微小な金属や無機物を物理的に固着させ被覆することもある。製造された木粉の含水率は約8%である。木粉の粒子径は、混合する樹脂や製品、用途によって異なるが、おおむね50~200 μm である。

混合する樹脂はポリエチレン(木粉混合率:60%まで)、ポリプロピレン(同60%まで)、ABS樹脂(同51%まで)、ポリ塩化ビニル(同51%まで)、ポリスチレン(同50%まで)などであり、廃プラスチックも使用可能であるが、色付きの廃プラスチックを使用する場合はその色が製品に影響を与えるので注意する必要がある。

木粉は混合ミキサーで20分間乾燥された後、樹脂を投入、熔融する。ゲル化した原料は、冷却、粉砕(8メッシュアンダー)され、顆粒状のペレットとなる。このペレットを高粘度の状態に熔融し、高圧力で金型に押し込み、さらに高圧力で押し固めながら成形される。押し出し成形のほか、射出成形も可能である。成形品の密度はおよそ1.0~1.1g/cm³である。

エクステリアに使用する場合、その耐久性や耐候性が問題となるが、原料への顔料の添加や製品への耐候性塗料の塗布などによってかなり劣化を防ぐことが出来る。



写真13. 熱可塑性木質材料で作られたイス(エクステリア用)

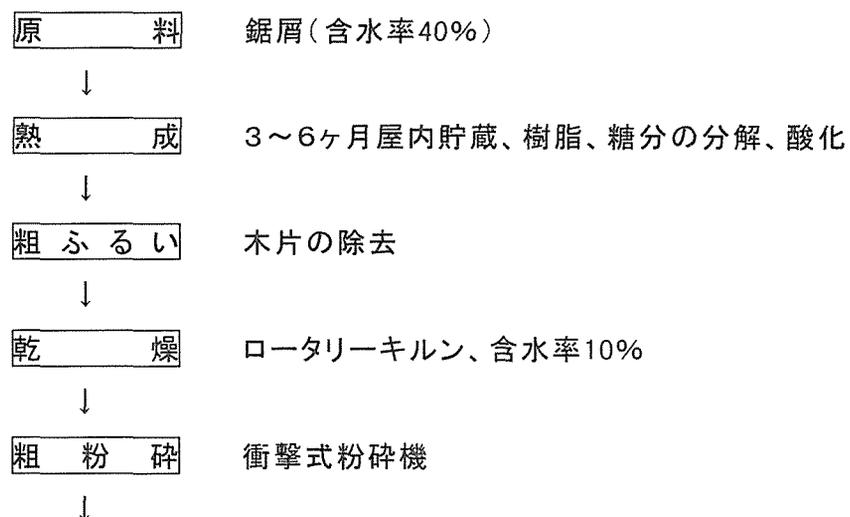
(2) 木粉樹脂材

木材を微粉碎した微粉末を合成樹脂成形物と混合させ成形品を製造するものである。インテリア資材などとして使用される。

木粉は、主に木材工業から発生した木質系廃棄物を粉碎して作られる。鋸屑が使用される場合が多いが、樹皮やプレーナー屑などを用いることもある。解体材や梱包材などの使用も異物除去を行えば可能であると思われる。

使用される樹脂は、フェノール樹脂、ユリア樹脂、メラミン樹脂など熱硬化性樹脂が多い。一般にフェノール樹脂成型物の中に使用される木粉の比率は、40～60%であり、ユリア樹脂成型物には25～35%である。

木粉は鋸屑を熟成、乾燥、粉碎することによって製造される。製造の一般的な工程を図3に示す。



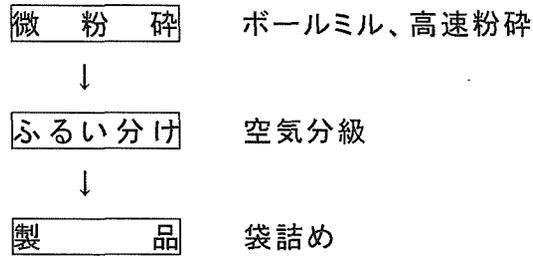


図3. 木粉製造工程

木粉と樹脂は、混合したのち、加熱、粉砕され、樹脂と木粉から成る粉末(成形粉)となる。その粉末を加熱融解、成形、冷却、硬化させることによって成形品が完成する。成形には、圧縮法やトランスファー法が利用される。成形品の密度は1.2~1.41g/cm³程度である。木粉-フェノール樹脂成型品の製造工程を図4に示す。

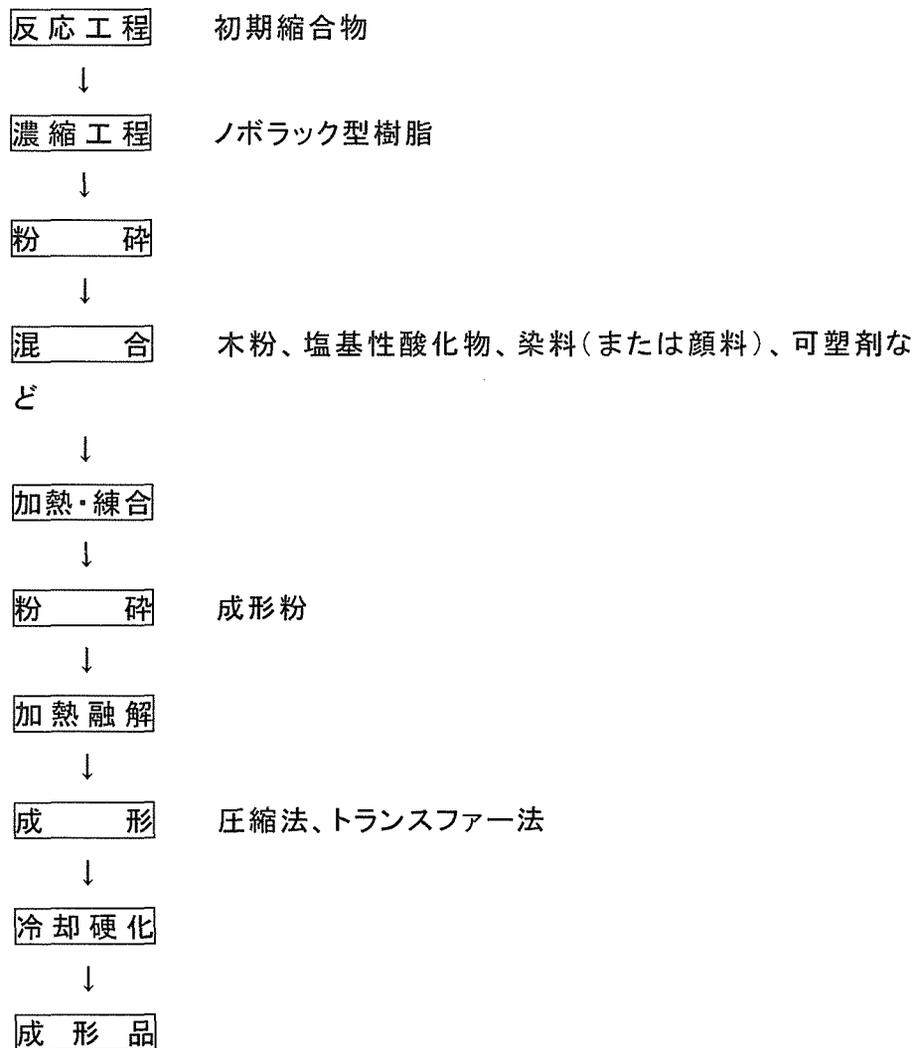


図4. 木粉フェノール樹脂成型品の製造工程

木粉を使用するときにもっとも問題となるのは、その粒度分布である。木粉が微粉であるほど成型品の外観が良くなるという長所があるが、反面、流動性が低くなり、強度が弱くなるなどの欠点がある。一般に、木粉の粒度分布は60～280メッシュ(250～53 μ m)程度に調整されるが、80～150メッシュ(125～100 μ m)のものが中心である。

4. まとめ

樹皮、鋸屑について、それらの再利用用途別に、要求される品質条件等をまとめたものを表8、9に示す。

表8. 樹皮の再利用別用途別の品質等条件

用途	主な加工・処理	製造時の形状	品質等条件
パーク堆肥	堆積、粉碎、発酵	碎片状	異物(針金、ビニール等)敬遠
土壌改良材	堆積、粉碎	碎片状	〃
家畜敷料	粉碎	チップ状、鋸屑状	カラマツ敬遠(乳牛)
ボード	粉碎、解繊、厚締	碎片状、繊維状	
木質ペレット	乾燥、粉碎、圧縮成型	繊維状	広葉樹が適
汚泥固化剤	粉碎、解繊	繊維状	
乗馬敷料	粉碎	チップ状(1.5～2cm)	泥等の多少の混入は可
育苗培地	堆積、粉碎、発酵	碎片状	北洋材樹皮で商品化

表9. 鋸屑の再利用用途別の品質等条件

用途	主な加工・処理	品質等条件
家畜敷料	無処理	接着剤混入は敬遠される場合あり
きのこ培地	針葉樹はシーズニング処理	鋸屑の大きさは60メッシュ(250 μ m)程度以上、広葉樹が適
オガライト・オガタン	成型(加熱、圧縮)、炭化	鋸屑の大きさは50メッシュ(290 μ m)～10メッシュ(1,650 μ m)程度
水質浄化剤	炭化(活性炭)	
鮮度保持材	無処理	樹種、品質に特に指定無し
融雪剤	炭化	
生ゴミ処理材	分解菌付着	精油成分を含む樹種は生ゴミ分解の立ち上がりにやや時間必要

注)鋸屑は、ほとんどの場合発生時の形状のまままで再利用されている。

木材工業系木質廃棄物の再利用においては、木材チップをはじめとする原料の価格は下落しており、処理料を徴収している再利用製品製造業者も多く、原料となる木質廃棄物に対する品質基準も厳しくなっている。一方、木質廃棄物を再利用する場合は、チップ化あるいは表8、9に示すように、粉碎処理等を行って製品化されている。そのため、木質

廃棄物を発生時の形状のまま再利用率に持ち込むよりも、チップ化、粉砕処理等を行った場合の方が売却価格も高くなっており、その場合には輸送コストを低減することもできる。また、ほとんどの場合、異物の混入は敬遠される。これらのことから、今後木質廃棄物の再利用を促進するためには、再利用製品の需要拡大を図ることはもちろんであるが、設備投資が可能であれば木材工業の各工場で、再利用用途ごとに要求される品質基準に応じて、チップ化、粉砕、異物除去、選別等を行うことが重要になってくると考えられる。

<参考文献>

- 1)木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書、
日本住宅・木材技術センター、平成6年3月
- 2)木質系木質残廃材を原料とするチップ製造業(その1)、
日本木材総合情報センター、全国木材チップ工業連合会、平成10年3月
- 3)木質系木質残廃材を原料とするチップ製造業(その2)、
日本木材総合情報センター、全国木材チップ工業連合会、平成11年3月
- 4)木質系木質残廃材を原料とするチップ製造業(その3)、
日本木材総合情報センター、全国木材チップ工業連合会、平成12年3月
- 5) 集成材だより N0.239、日本集成材工業協同組合、平成12年5月

3章 その他の木質廃棄物

建築系・木材工業系以外の、家具建具・パレット梱包材・土木およびその他の分野の残廃材の現況は、前々年度の報告以降ほとんど明らかになっていない。

家具建具に関しては前々年度に示した木材一次製品投入量と製造金額のデータしかなく、製品の物量換算ができなかったが、輸入製品については重量で示されるデータを得ることができた。

建具・家具輸入量

		単位									
		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
木製窓・窓枠							10,312	7,085	8,922	10,974	9,261
木製ドア・ドア枠・敷居							28,781	20,516	24,404	26,046	26,088
木製建具・床柱							1,229	549	400	685	745
建築用木工品							69,872	61,876	79,937	89,343	92,087
木製家具	計	93,415	113,304	157,277	205,504	243,715	241,961	230,401	290,650	395,141	462,721
	事務用家具	1,234	1,062	1,355	3,398	5,775	4,931	2,407	2,209	3,191	3,411
	台所用家具	3,210	3,698	6,031	9,470	13,347	16,104	12,900	11,712	14,504	17,582
	寝室用家具	19,662	25,736	32,286	37,171	38,193	38,293	33,827	44,402	50,397	63,018
	その他家具	69,309	82,808	117,605	155,465	186,400	182,633	181,267	232,327	327,049	378,710

資料財務省日本貿易月表

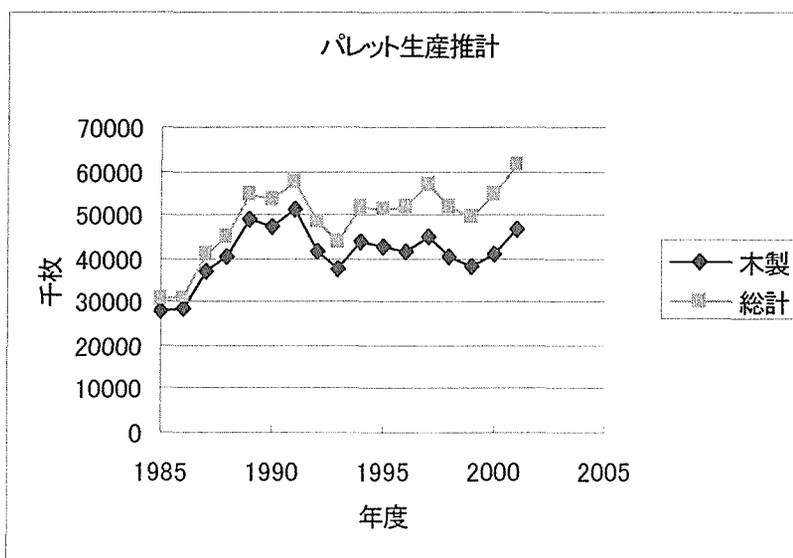
2001年度で家具建具合わせて59万tの輸入がなされている。この数値には金具等が含まれているわけであるが、大部分が木材であるとし、密度0.5t/m³で換算すると118万m³の木材が日本に入ってきており、潜在的な廃棄可能性があることになる。

1992-1999年の家具についての輸入金額のデータから、金額100万円あたりの重量tを算出して平均すると約1.57t/100万円となる。家具工業統計による2000年度の国内家具出荷額約1兆1,518億円から逆換算すると約181万トン、362万m³となる。前々年度報告の1998年度の家具建具部門に対する木材一次製品投入量が約431万m³であるので、建具が除かれていることを考えると比較的近い値とも考えられる。

パレットについては前々年度報告のデータに加えて調査年次が増えたデータが得られた。

2001年度の木製パレット生産枚数4,670万枚から木材使用量原単位0.06m³/枚を用いて換算すると280万m³の木材が使用されたことになる。

土木廃木材については、2章2節でふれたように、



2000年度の国土交通省調査によると110万t、220万m³の発生量とされている。これには土木工事に伴う伐採樹木が含まれている。

前々年度の報告書でふれたように、土木・家電・自動車などのように公共性、法整備済み、大企業という要素がある分野以外では、木質系残廃材の発生量すら明らかでないのが現状である。生産時と廃棄時の木質系残廃材の再資源化にあたっては、生産者および消費者の意識向上以外にはなく、地道な調査を進めるしかないであろう。

第2編 木質残廃材を利用した再生木質材料

1章 木質廃材を芯層原料とした高性能ストランドボード
の開発および製造試験

2章 バークを堆肥化した樹皮ポットの開発

1章 木質廃材を芯層原料とした高性能ストランドボードの開発および製造試験

1. はじめに

わが国における木質パネルの年間供給量は 1100 万 m^3 ほどであり、このうちマット成形タイプの木質ボードは 300 万 m^3 、合板が 800 万 m^3 の水準となっている。現在、建築解体材などのリサイクルの受け皿としてパーティクルボードなどのマット成形タイプの木質ボードが注目されているが、その上限は 300 万 m^3 であり、木質廃材の発生量が年間 1000 万 m^3 のオーダーであることを考えると、新たな方向を見出す必要がある。合板相当、もしくはそれに近い面材料の製造が可能となれば、利用可能性の上限とされている 300 万 m^3 に 800 万 m^3 が加わり、再利用の割合が飛躍的に増大する可能性を秘めている。そうした背景のもと、表層にスギストランドを、芯層に建築解体材等の木質系廃材パーティクルを原料とした高性能ボード製造可能性が検討されている。

このような新しいタイプのボードの製造にはいくつかのステップが必要となる。一般に、実験室レベルでの開発研究ならびに小型ボードの製造実験を経て、実大板の製造試験を行い、次にパイロットプラントレベルの製造実験などが必要となる。第3項～第6項では、スギ材ストランドを表裏層に、解体材パーティクルを芯層に用いた三層ボードの実大板製造試験を実施し、実用化への可能性と課題を検討した。第7項～第10項ではストランドの配向効果を検討した。北米におけるボード開発の歴史が示すように、ストランドを配向させることによりさらに強度の向上が期待できる。そこで、(1) 表層ストランドを配向することで性能向上を図ること、(2) さらに、5層構造にすることで性能向上を図ることを目的として一連の実験を行った。実大製造試験により、三層ストランドボードは十分な性能を有することが実証され、また、ストランドを配向させた5層ボードの性能と層構成の関係を明らかにすることができた。

キーワード：ストランドボード、配向性ストランドボード、木質ボード、OSB、木質廃材、建築解体材、リサイクル

2. 木質パネルの現況

木質パネルの供給量の推移を図1-1に示した。合板および木質ボードの国内生産量と輸入量の変化を示している。同図で「ボード」とはパーティクルボードと繊維板の合計値であり、繊維板はインシュレーションファイバーボード、MDF、ハードボードの総和を用いている。したがって、輸入MDFおよび輸入OSBは「ボード輸入」に含まれる。1980年当時では、合板の生産が 800 万 m^3 、パーティクルボードならびに繊維板が 100 万 m^3 のオーダーで、合板とボードの国内生産量の比は 8 : 2 となっていた。また、木質パネルの総供給量は 1000 m^3 となり、木材の総供給量の約 1 割に相当した。当時、世界の木質パネル

の生産量は概ね1億 m³程度であったので、世界の木質パネルの1割程度がわが国で消費されていたことになる。

わが国における最近の木質パネル給量は年間1000万 m³～1200万 m³の間を動いており、この内訳は、マット成形タイプの木質ボードが300万 m³程度、合板が800万 m³程度となっている。合板の国内生産の低下量を輸入合板が補っていることと、MDFおよびOSBといった輸入木質ボードが増加傾向にあることが主だった特徴である。現在、建築解体材などのリサイクルの受け皿としてパーティクルボードなどのマット成形タイプの木質ボードが注目されているが、同図が示すとおり、その上限は最大で300万 m³であり、リサイクル材の利用率が100%になったとしてもこの値を超えることはできない。現実的には、パーティクルボードへの利用は進む傾向が見られるものの、繊維板への利用には異物除去などの課題が残されている。したがって、マット成型タイプの木質ボードへの木質廃材の利用はいずれ飽和するものと思われる。一方で、木質廃材の発生量が年間1000万 m³のオーダーであることを考えると、新たな方向を見出すことが急務となっていると言えよう。

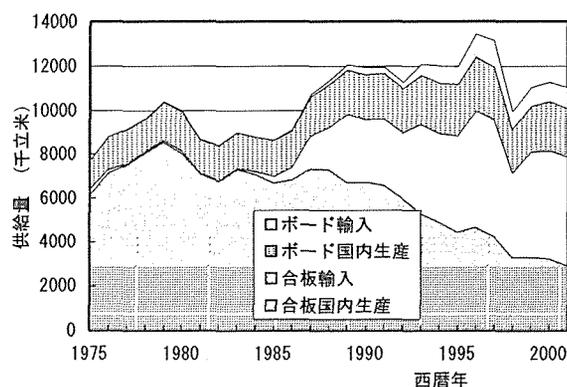


図1-1 合板・木質ボード供給量の推移

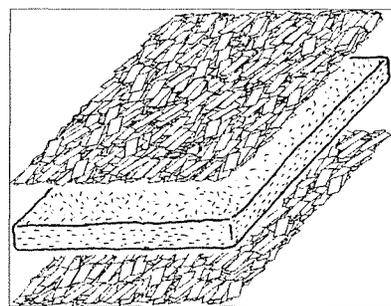


図1-2 三層ストランドボード

そうした背景のもと、建設廃材などの木質系廃材を原料とした高性能ボード(図1-2)の製造可能性が模索されている¹⁻⁶⁾。すなわち、合板相当、もしくはそれに近い性能を持った面材料の製造が可能となれば、利用可能性の上限とされている300万 m³に800万 m³が加わり、再利用の割合が飛躍的に増大する可能性を秘めている。本報では、リサイクル木材から得られるパーティクルを芯層に配置し、表層にスギストランドを用いた三層ストランドボードの製造上の技術的な課題を検討した。

3 木質廃材を芯層原料とした実大木質ボードの製造試験

3.1 原料

表層用原料としてスギ材ストランドを、芯層原料として解体材パーティクルを用いた。スギストランドは静岡県産のスギ間伐材を0.3mm～0.4mm程度を目標として、ディスクタ

イブのフレーカーにより切削加工した（図1-3参照）。切削加工後、平均含水率 3%になるように乾燥した。スギストランド100片を無作為に選び出し寸法を測定した結果をTable 1に示した。平均寸法は厚さ 0.34mm、長さ 60mm、幅 15mm となった。また、木材小片の形状と機械的性能の関係を論ずる際、長さを厚さで除した値（細長比）が最も重要とされている^{7,8)}。本研究において用いたストランドの細長比は約 200 程度となった。また、長さを幅で除した値（アスペクト比）は 5.5 となった。

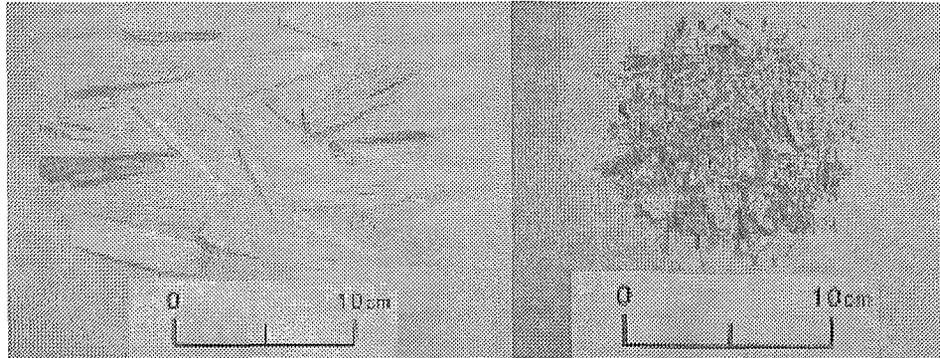


図1-3 スギストランド（左）および解体材パーティクル（右）

芯層用原料には解体材パーティクルを想定して市販のパーティクルを用いた（図1-3）。これは、工場パーティクルボードの製造に用いられている再資源化木材をリングフレーカーにより加工したもので、主な樹種はスギ、ヒノキなどの針葉樹であるが、雑多な樹種が混在している。解体材由来の原料が主であるが、その他の木質系廃材も含まれている。均質なパーティクルが大量に必要なために、工場製の原料を用いることとし、パーティクルボードを製造している工場のラインから原料パーティクルを入手した。芯層用パーティクルの平均含水率は 9.5%程度であった。また、パーティクルの篩分析結果、10メッシュの篩を通過し 20メッシュの篩上に残留したパーティクルが重量比で全体の 40%を占め最も多く、つづいて 10メッシュ上に残留したフラクションが約 30%となり、30メッシュ上に残留したものが約 10%となった。

3.2 実大ボードの設計

ボードの公称寸法等を以下の通りとした。ボード寸法：1800mm×900mm×13mm、フォーミング寸法：1900mm×1000mm×マット高さ、密度：0.65g/cm³。実大板の寸法としてはOSBなどの2400mm×1200mmも考えられるが、ここでは和風のモジュールを採用することとした。

最終の製造寸法を 1800mm×900mm×13mm と定めた。そのため、長さ方向および幅方向に 50mm ずつのゆとりをもたせた 1900mm×1000mm のフォーミングボックスを用いて、厚さ 13mm、密度 0.65g/cm³ のボードを製造した。表裏層は未研削の状態を試験に供した。層構成は表 1-1 に示す通りである。表層にスギストランド、芯層に解体材パーティクルを用いた。したがって、構成比（1：0：1）のボードとはストランドのみのボードを意味し、

構成比（0：1：0）とは、解体材パーティクルのみを用いたボードを示している。表層と芯層の比を変えて三層ボードを製造した⁹⁾。なお、層構成は原料エレメントの重量比により定義した。バインダーとしてフェノール樹脂接着剤（PF）を使用し、比較用にイソシアネート樹脂接着剤（MDI）を用いた。

表1-1 解体材を芯層に用いたスギストランドボードの製造条件

ボード番号	表層原料	構成比	接着剤種類	表層率(%)	接着剤添加率(%)	製造枚数
1	スギストランド	1:0:1	PF	100	全層:7.5	2
2		7:12:7		53.8	表層:7.5 芯層:9.5	2
3		5:16:5		38.5		4
4		1:4:1		33.3	2	
5	なし	0:1:0		0	全層:9.5	2
6	スギストランド	1:0:1	PF/MDI	100	表層:MDI 4.5 + PF 3.0 芯層:MDI 5.5 + PF 4.0	1
7		7:12:7		53.8		2

接着剤添加率(RC)はPF樹脂ボードとMDI樹脂ボードの間で、ストランドとパーティクルの間で値を変えた。PF樹脂ボードでは、表層ストランドで7.5%、芯層用のパーティクルでは9.5%とした。これはストランドとパーティクルではエレメントの表面積が異なることを考慮したことによる。MDI樹脂ボードでは、MDIに加えてPFを分離塗布した。表層ストランドには、MDIを4.5%、PFを3.0%塗布した。芯層用パーティクルにはMDIを5.5%、PFを4.0%塗布した。

3. 3 熱圧条件

熱圧条件は以下の通りとした。熱板温度：185℃、圧縮圧力：3MPa、熱圧時間：13分。フォーミングしたマットの上下面に厚さ3mmのコール板を配置し、ボード厚さはディスタンスバーにより制御した。熱圧開始後概ね20秒で所定の厚さに達した。その後、一度解圧（除圧）を行い、13分間熱圧縮した。

4 ボード試作上の課題

北米におけるウェハーボードやOSBの開発などにみられるように^{8, 10)}、新しいタイプの本質ボードが工業化されるまでの道のりはいくつかの段階に分けられる。はじめに30cm～50cm角程度の実験室製ボードの試作を試みる「テーブルテスト」が先行し、つづいて「実大ボードの試作」を行い、「パイロットプラント」による小規模生産試験を行った後に「実生産」が開始されるのが一般的な道筋である。これまでテーブルテストにより各種のボードが提案されてきたが、ここでは、実大板の製造を行うことにより、テーブルテ

ストではみられない問題点と課題を整理することを目的として、各製造段階を詳細に検討した¹¹⁾。

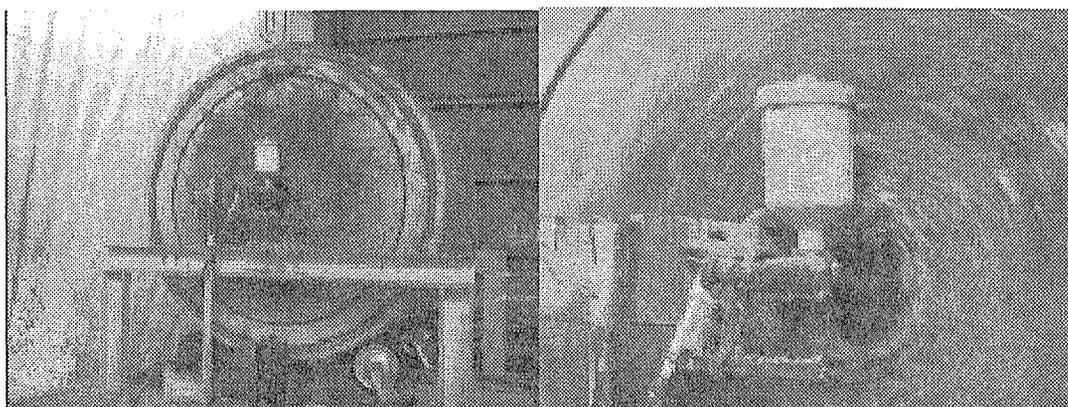


図1-4 回転型ドラムブレンダー（左）、接着剤の噴霧塗布の様子（右）

4. 1 接着剤塗布

ストランドとパーティクルに対して別々にレジンを塗布した。ボード一枚の重量は16kg程度であり、木材実質重量はマットに含まれる水分と接着剤の重量分だけ少なくなるが、塗布時のロス等を考慮すると木材実質重量で15kg程度を取り扱う必要がある。接着剤の塗布は、直径1200mm、長さ800mmのドラムが外周駆動により回転するドラムブレンダー（図1-4）に所定量を投入し、エアースプレーガンを用いてレジンを噴霧塗布した。

本試験では同一圧力で噴霧することにより、試作ボード全体にわたって同一条件でレジンの塗布が行われるよう配慮した。ストランドはエレメント形状が大きくかさばるため、ドラム内でブリッジを形成する可能性が高い。そのため、一回の投入量を考慮する必要がある。表層率が100%の場合には、スギストランド約7.5kgを投入し、2回に分けて塗布を行った。三層ボードでは一枚ごとに表層用ストランドと芯層用パーティクルに塗布を行った。ストランドのみとパーティクルのみをまとめて塗布しておく方が効率的ではあるが、マット含水率の変化を最小にとどめるため、このような方法を採用した。表層率53.8%の場合、スギストランド約4kgを2回、解体材パーティクル約7kgを1回塗布した。以下、一回の投入量は表層率により変化した。また、表層率0%の場合には解体材パーティクル約15kgを一回で塗布した。これは、パーティクルはストランドよりも攪拌性が良いためである。MDIボード（ボードNo.6、7）では、はじめにMDIレジンを塗布し、続いてPF樹脂を塗布した。

4. 2 フォーミング

塗布済みのストランド（図1-5）およびパーティクルを所定量計量し、手まきによりマットを成形した。乾燥済みのストランドは吸湿するため、マット含水率を所定値以内に納めるためには、迅速なフォーミングが求められる。図1-6にフォーミングの様子を示

した。迅速でありながら、均一で丹念な作業が要求される。4人もしくは6人でフォーミングを行い、一定時間間隔で場所をローテーション移動した。これは、均一なマットを成形するために、成形時の個人差をできるだけなくすことを目的としている。

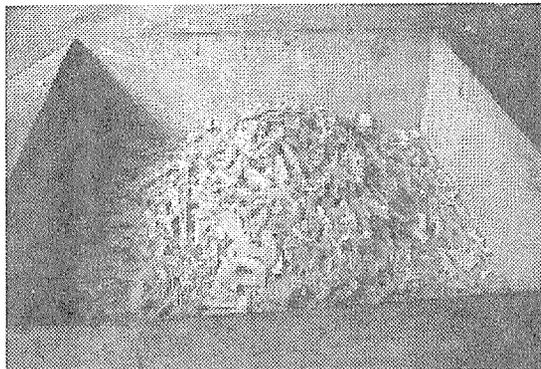


図1-5 レジン塗布後のストランド

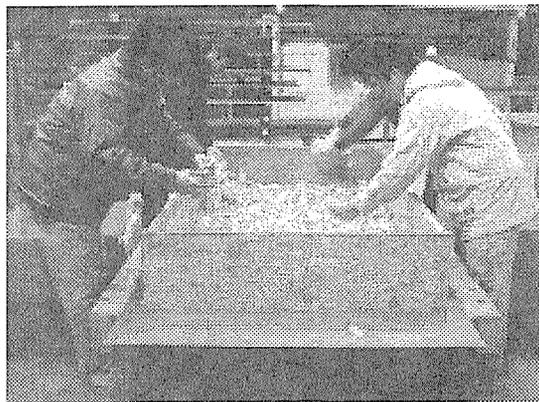


図1-6 フォーミングの様子



図1-7 ストランドのフォーミング（左）および芯層パーティクルのフォーミング（右）

三層ボードでは、ストランドをフォーミングした後（図1-7右）、芯層用パーティクルのフォーミングを行う（図1-7左）。マットの厚さは表層率により異なるが、10cm～20cm程度である。三層ボードのフォーミング後の側面を図1-8に示した。コアパーティクルの厚さに比べて、マットの状態ではストランド層が厚く、また、下層のストランドが粗いため、芯層のパーティクルがいくぶん下層に沈み込む傾向が認められた。

成形されたマットはプレスまで搬送される（図1-9）。実大ボードの製造では、マットの搬送が問題となる。一辺が30cm～50cmの実験室レベルのボードではハンドリングが容易であるが、実大板の場合は、プレス横でプレス面と同レベルでフォーミングを行い、そのままスライドさせる方法が手作業で行うことのできる唯一の方法であろう。今回は、搬送にはフォークリフトを用いた。実大ボードを製造するとき、最も難しいところはレジン塗布やマット含水率の均一性の維持である。テーブルテストでは一般に300mm角や450mm

角のボードを製造して評価するため、製造条件内での均一性が比較的保ちやすいが、1800mm×900mmの実大ボードでは300mm角の18倍、450mm角の8倍の原料が必要となる。このように、大量のエレメントを扱う作業を数日間にわたって継続しつつ、原料全体について均質性を保つことが実験の成否を決めるキーポイントとなる。

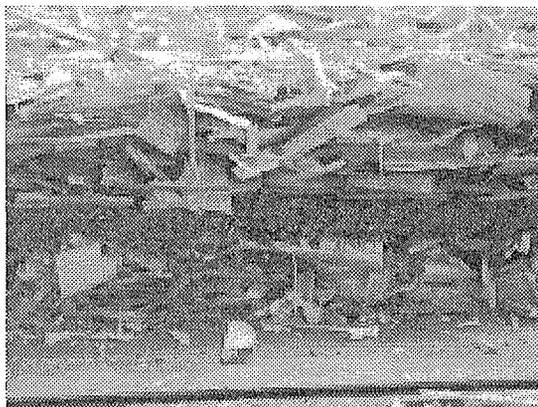


図1-8 三層マットの側面



図1-9 マットの搬送

4.3 熱圧縮

厚さ3mmのコール板を用いてフォーミング済みのマットの上下面を挟み、プレス盤に挿入する。熱板間隔が所定寸法に達するまでの時間は概ね20秒であったが、表層率により若干異なった。特に、ストランドのみのボードではマットが嵩高く、締め込みまでに時間を要し、20秒を上回った。ボードの厚さは、コール板の外に置かれたディスタンスバーにより規制した。ディスタンスバーが排気の妨げとならないように、また、放熱の効率を考慮して^{12,13)}、バーの側面には一定間隔で孔をあけた。

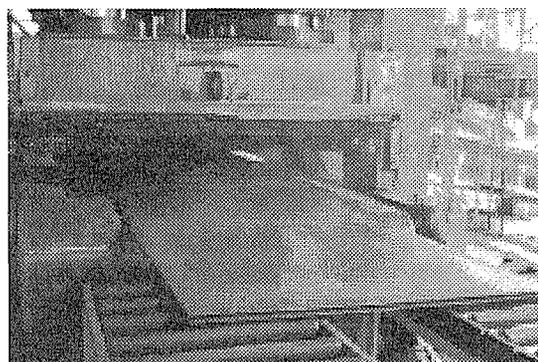


図1-10 熱圧終了直後

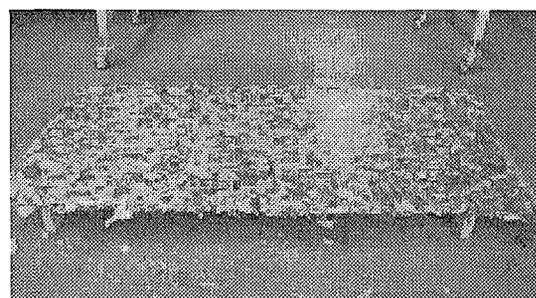


図1-11 成板直後のボード

実大板製造では、テーブルテストの場合と異なり、ボード端部からの十分な蒸気の移動が保証できないため、マット含水率の管理が重要となる¹⁴⁻¹⁹⁾。蒸気の発散を目的として途中で除圧を行ったが、このタイミングが表層率により異なった。定式化された法則はな

く、プレスの締め込みに要した時間と、マットのつぶれ具合、端部からの蒸気の出方などにより適宜判断した²⁰⁻²⁸⁾。図1-10は熱圧縮直後にプレスからボードが排出されることを示している。コールド板から蒸気が上がっている。図1-11に成板直後のボードを示す。表面の色合いがぶち状になっているのは、接着剤の分布むらに依るものである。PF樹脂接着剤は硬化すると暗褐色を呈するため、レジンが十分塗布されたストランドは黒く、塗布が不十分なストランドは木材そのものの色をしているため、この写真では白く現れている。

4.4 クーリング

成板後のボードは、接着剤の後硬化を促進することを目的として、PF樹脂ボードなどではホットスタッキングを行う場合がある。一方で、高温のまま直に積み上げておくと、内部温度が異常に上昇し炭化が生じた事例があることが報告されている。ここでは、適度なクーリングを行うことを目的として厚さ10mm程度の栈木を用いて順次積み上げた(図1-12)。これによりボードは徐々に冷却される。1900mm×1000mmで製造直後のボードは端部に若干の広がりができるため、その寸法も大きくなっている。この状態で十分養生した後、目標寸法となる1800mm×900mmに裁断した。

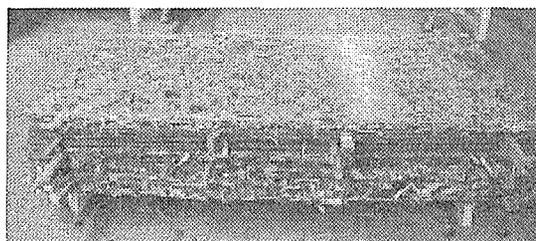


図1-12 熱圧後のボード

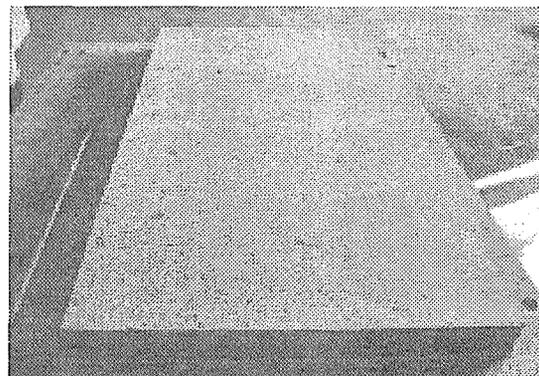


図1-13 表裏面を研削したボード

4.5 表面研削

本試作試験では、ボードの表面研削を行わないことを基本とした。表1-1に列挙した試作ボードについては表面研削を行わなかったが、別途試作したボードについては製造後二週間以上の養生期間を経て研削処理を施した。図1-13に表裏面を0.5mmずつ研削したボードの表面性状を示した。図1-12にみられるようなぶち状の模様は消え、針葉樹ストランドが本来有する色合いと、研削による新たな模様が現れた。

前項で述べたように、実大ボードの熱圧縮時には板が二枚に裂かれるパンクや部分的な膨れが現れるブリスターと呼ばれる現象が危惧される。特に、ストランドのような薄くて広い面積をもつエレメントを用いる場合、蒸気の移動が困難になりこのような不具合が生じる。このようなトラブルをなくすためには、より均一なフォーミングとマット含水率の

管理が必要となる。

4. 6 製造工程の評価

テーブルテストでは一般に 300mm 角や 450mm 角のボードを製造して評価するため、製造条件内での均一性を保つことが可能である。しかしながら、1800mm×900mm の実大ボードでは 300mm 角の 18 倍、450mm 角の 8 倍の原料が必要となる。実大ボードの製造試験において最も難しいところはレジン塗布やマット含水率の均一性の維持である。また、マットのハンドリングも課題となる。今回は、マットの搬送にフォークリフトを用いたが、搬送時の振動でボードの厚さ方向についての密度分布やコアパーティクルの分布などの対称性が幾分崩れた可能性がある。製造条件を変化させたボード間で物性を比較するような試作試験を行うことを考えると、今回採用した方法は、手作業で行いうる限界に近いことが明らかとなった。100kg~200kg 程度の原料エレメントを対象として、均一なレジン塗布やフォーミングなどを行うことのできる、試験用プラントの必要性が強く感じられた。木質ボードの開発試験においては、テーブルテストからプラントへの移行が重要な鍵を握るため、実大板を試作できる場が必要となる。

5 性能評価

実大ボードを試作する最大のメリットは、1800mm×900mm のボードをそのまま性能評価に供することができる点にある²⁹⁻³¹⁾。仮に直径 50mm 程度の欠膠がいくつかボード内にあったとしよう。この場合、小試験体による性能評価では、極度に強度の低い値が現れたり、強度値に関する分散が大きく現れたりして、評価や判定に影響を及ぼすことになる。一方で、実大ボード（1800mm×900mm）は実際に使われる寸法で十分な強度なり物性値が満たされればよいという考え方がある。実大寸法での試験は後者の考え方に基づいた評価を可能にするものである。ここでは実大ボードの評価方法として、第一に合板の試験方法に基づく方法を、第二に、規格等に定められた方法ではないが、振動による手法を採用した³²⁾。

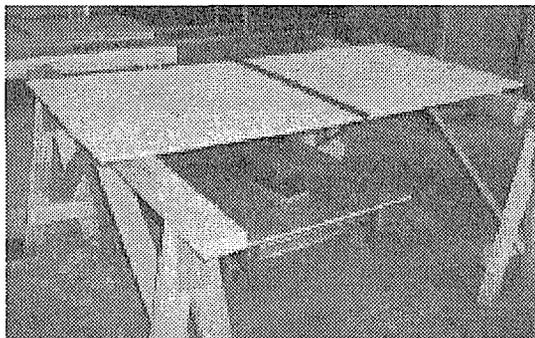


図 1-14 実大板の静的曲げ試験



図 1-15 打撃試験

5. 1 実大ボードの評価

試作した実大ボードの長手方向を x、短手方向を y とする。構造用合板（二級）の日本農林規格^{3,3)} に準拠した静的曲げ試験によってヤング係数 E_x を求めた（図 1-14）。また、振動法により（図 1-15）せん断弾性係数 G_{xy} 、ヤング係数 E_x 、 E_y を求めた。測定方法を以下に示す。床に固定した金属製の L 字型棒の溝に実大板の長辺を下にして直立させ、試験体のほぼ中央部を両面より 2 つのスポンジゴムで軽く支え、3 辺自由 1 辺単純支持 (SFFF) で試験を行った。

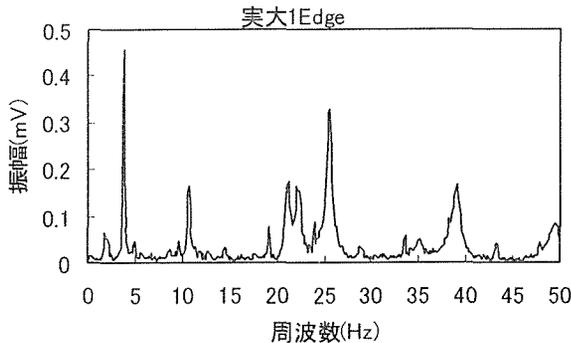


図 1-16 振動スペクトルの例

試験体の上端の角を打撃し振動させ、もう一方の端部でひずみゲージ式加速度変換器を用いて振動を検出し、FFT アナライザを用いて周波数スペクトルを求めた。また、打撃する際二種類の材料を用いた。比較的硬いものを用いて打撃することで高い周波数成分が主に得られ、柔らかいものでは低い周波数が主に得られるため、実際に測定する際はそれぞれの材料で 2 回ずつ打撃し計 4 回の平均よりパワースペクトルを求めた。図 1-16 に測定事例を示す。

弾性定数の決定は以下のように行った。直交異方性体板の共振周波数 $f(i, j)$ は式(1)によって与えられる^{3,4)}。i および j は振動モードの数であり、 D_{kl} は板のたわみ剛性とねじり剛性である。 γ_n は SFFF の境界条件における定数である^{3,4)}。2 つのヤング係数 E_x 、 E_y およびせん断弾性係数 G_{xy} は、いくつかの振動モードについて式(1)を解くことにより得られる。本研究では、 $f(2, 1)$ と $f(0, 2)$ より D_{11} および D_{22} 、また、 $f(1, 1)$ より D_{66} を求め、これより、式(2)を用いてたわみ剛性およびねじり剛性を E_x 、 E_y および G_{xy} を求めた。

$$f(i, j) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho h} \left\{ D_{11} \frac{\gamma_1(i, j)}{a^4} + D_{22} \frac{\gamma_2(i, j)}{b^4} + 2D_{12} \frac{\gamma_3(i, j)}{a^2 b^2} + 4D_{66} \frac{\gamma_4(i, j)}{a^2 b^2} \right\}} \quad \dots(1)$$

具体的には以下のように行った。最も共振周波数の低い $f(1, 1)$ を精度よく求める必要がある。文献などの基礎データより、測定対象のボードの弾性係数を概算する。その概算より、

f(1, 1)の予測値を初めに求める。予測値に適した周波数レンジを設定しf(1, 1)の共振周波数を決定する。一般にf(1, 1)は各種振動モードの中で最も低い周波数であるため、低周波数域に現れるシャープなピークよりほぼ例外なく一意に求めることができた。これによりD₆₆が確定し、せん断弾性係数G_{xy}が求められる。確定したf(1, 1)と概算より、f(2, 1)の予測値を求めることができ、その値を参考にしてスペクトル図からf(2, 1)を確定する。これによりD₁₁が確定しExが求められる。つぎに、f(3, 1)を予測する。f(3, 1)が決まるとf(0, 2)の確定が容易になる。また、f(3, 1)の値を参考に、文献値からf(0, 2)を同定し、D₂₂すなわちEyを得る。

表1-2 表層にスギストランドを用いた3層ボードの実大性能評価試験結果

ボード 番号	接着剤	表層率 (%)	厚さ 密度		実大曲げ試験		実大振動試験			
			(cm)	(g/cm ³)	Ex (GPa)	Ey (GPa)	Ex (GPa)	Ey (GPa)	Gxy (GPa)	
1	PF	100	平均	1.334	0.679	5.41	4.67	4.49	4.88	1.51
			標準偏差		0.017	0.49	0.28			
			cov (%)		2.6	9.2	6.0			
			N	2	4	4	4	2	2	2
2	PF	53.8	平均	1.324	0.623	4.55	3.79	4.04	5.09	1.40
			標準偏差		0.018	0.17	0.09			
			cov (%)		2.9	3.7	2.5			
			N	2	4	4	4	2	2	2
3	PF	38.5	平均	1.292	0.630	4.33	3.60	3.68	3.99	1.22
			標準偏差		0.013	0.15	0.12	0.10	0.22	0.06
			cov (%)		2.1	3.5	3.3	2.7	5.4	4.9
			N	4	8	8	8	4	4	4
4	PF	33.3	平均	1.323	0.596	4.05	3.27	3.17	3.83	1.24
			標準偏差		0.011	0.09	0.12			
			cov (%)		1.8	2.3	3.8			
			N	2	4	4	4	2	2	2
5	PF	0	平均	1.291	0.624	3.00	2.47	2.19	2.87	0.90
			標準偏差		0.014	0.26	0.20			
			cov (%)		2.2	8.7	7.9			
			N	2	4	4	4	2	2	2
6	MDI	100	平均	1.218	0.687	5.59	5.14	4.80	5.73	1.32
			標準偏差							
			cov (%)							
			N	1	2	2	2	1	1	1
7	MDI	53.8	平均	1.329	0.621	4.30	3.89	3.69	4.24	1.09
			標準偏差		0.013	0.24	0.14			
			cov (%)		2.1	5.6	3.6			
			N	2	4	4	4	2	2	2

5. 2 実大ボードの機械的性質

実大ボードを用いた静的曲げ試験および振動試験の結果をとりまとめて表1-2に示した。ストランドのみのボード（ボード番号1）では、5GPa程度の曲げヤング係数が得られた。表層率が38.5%では、4GPa程度の値が得られた。

静的曲げ試験より得られたExおよびEyの値に差が認められ、また、振動試験より得られたExおよびEyについても差が生じた。この原因は現時点では明らかでない。値の大小関係が静的試験と動的試験とで逆転していることから、測定上の問題がどちらかに潜んでいると考えることができる。静的曲げでは荷重の負荷方法の良否が結果に影響を及ぼす可能性があり、振動試験では、支持条件が十分であったかどうかについて詳細な検討が必要になるものと思われる。

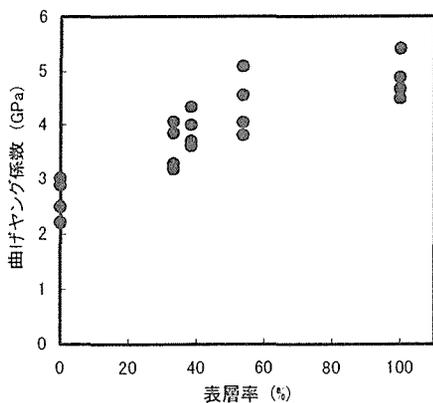


図 1-17 表層率と曲げヤング係数

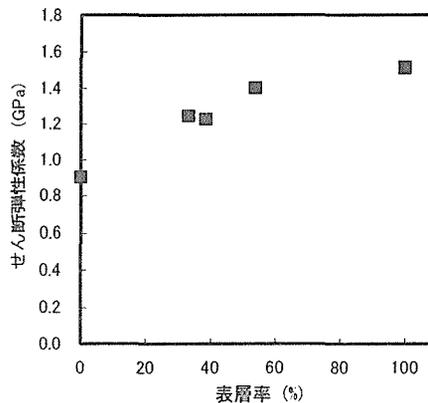


図 1-18 表層率とせん断弾性係数

図 1-17 に実大ボードの表層率と曲げヤング係数の関係を示した。ボードの縦と横方向で強度の異方性はないものと仮定して、前述の方法で得られた 4 種類の値をプロットした。これらの平均値は表層率 100% から 0% に向かってそれぞれ、4.9、4.4、3.9、3.6、2.6 GPa となった。表層率の増加に伴うヤング係数の変化はこれまでテーブルテストにより得られた傾向と概ね一致する。また、表裏層にそれぞれ 20% 程度のストランドを配置することにより、構造用合板 2 級の基準値 4 GPa を上回る値が得られることを実大板によって実証したことになる。つぎに、せん断弾性定数 (G_{xy}) と表層率との関係を図 1-18 に示した。表層率の増加に伴って、0.9 GPa から 1.5 GPa へと増加する傾向が認められた^{35,36)}。

表 1-3 三層ボードの小試験体による性能評価試験結果

ボード 番号	接着剤	表層率 (%)		JIS 常態曲げ試験			プレートシアー試験		
				密度 (g/cm ³)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	密度 (g/cm ³)	Gs (GPa)	Gd (GPa)
1	PF	100	平均	0.663	3.95	27.4	0.65	2.02	1.66
			標準偏差	0.047	0.46	4.8	0.05	0.29	0.20
			cov (%)	7.1	11.6	17.4	8.2	14.4	11.9
			N	6	6	6	3	12	6
2	PF	53.8	平均	0.592	3.43	23.5	0.59	1.78	1.44
			標準偏差	0.032	0.20	3.3	0.04	0.22	0.17
			cov (%)	5.5	5.9	13.9	6.7	12.6	12.1
			N	6	6	6	3	12	6
3	PF	38.5	平均	0.608	3.30	20.8	0.61	1.65	1.37
			標準偏差	0.023	0.22	2.2	0.03	0.12	0.08
			cov (%)	3.8	6.7	10.7	4.4	7.3	5.7
			N	6	6	6	3	12	6
4	PF	33.3	平均	0.665	3.43	24.4	0.63	1.60	1.36
			標準偏差	0.035	0.31	3.1	0.05	0.24	0.17
			cov (%)	5.3	9.2	12.6	8.3	14.8	12.7
			N	6	6	6	3	12	6
5	PF	0	平均	0.623	2.31	10.6	0.62	1.18	0.97
			標準偏差	0.033	0.23	1.4	0.03	0.16	0.13
			cov (%)	5.3	9.8	13.6	5.6	13.5	13.2
			N	6	6	6	3	12	6
7	MDI	53.8	平均	0.590	3.56	25.1	0.62	1.77	1.43
			標準偏差	0.026	0.31	4.0	0.02	0.10	0.06
			cov (%)	4.4	8.7	15.9	3.3	5.5	4.5
			N	6	6	6	3	12	6

5.3 小試験体による性能評価

JIS A 5908 (パーティクルボード) に準拠した曲げ試験を行い、曲げヤング係数(MOE)、

曲げ強さ (MOR) を求めた³⁷⁾。また、ASTM D 1037 に準拠したプレートせん断試験を行い、せん断弾性定数 (Gs) を求めた。プレートせん断試験用の試験体を用いて、中央を点状に支え隅角部を打撃する振動法により、せん断弾性定数 (Gd) を求めた。結果の一覧を表 1-3 に示した。

曲げ強さに着目すると、実大曲げヤング係数 (表 1-2) から推測される値よりも低く現れている。ボード番号 1 のストランドボード (表層率 100%) では MOR が 27.4MPa となった。同一条件のもとでこれまでに行われたテーブルテストでは、スギストランドボードの MOR は 35MPa 程度の値が得られており、この差は無視しえない大きさである。この原因として、第一に実大板と小試験体の寸法効果が考えられるが、現時点では論証することは困難である。第二に製造工程上の問題が考えられる。テーブルテストでは接着剤の塗布などは少量なので念入りに行うことができるが、今回の製造実験では、大量のストランドおよびパーティクルにレジン塗布する作業に問題があった可能性がある。ボードの製造実験では、ストランドの加工から、乾燥、接着剤塗布、フォーミング、熱圧成形といった全ての工程が最良の条件を満たしてはじめて初期の目標値を達成することができるものである。MOR の値が低くなった理由を特定することはできないが、製造条件全体を眺めて、接着剤塗布の工程に課題が残ったと判断している。

はく離強さも MOR と同様に、これまでのテーブルテストの結果と比べてやや低い値を示した。しかしながら、表層率との関係では、全体的に値は低いものの一定の傾向が認められた。パーティクルのみのボード (表層率 0%) では高く、ストランドの割合が大きくなるにつれて順次低下する傾向を示している (図 1-19)。一般に針状でかつ短い小片のボードでははく離強さは大きく、薄くて面積の広いフレーク状の小片でははく離強さは劣るとされている。三層ボードの場合、ストランド層で破壊が生じるか、パーティクル層で破壊が生じるかによってはく離強さは異なることが推察されるが、ボード面に垂直方向な最弱面で破壊が生じることになる。今回製造した三層ボードでは図 1-8 にみられるように、ストランド層とパーティクル層が明瞭に分かれているわけではないため、破壊面の特定は困難であった。

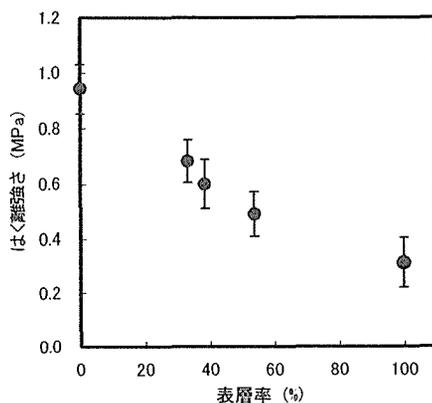


図 1-19 表層率とはく離強さの関係

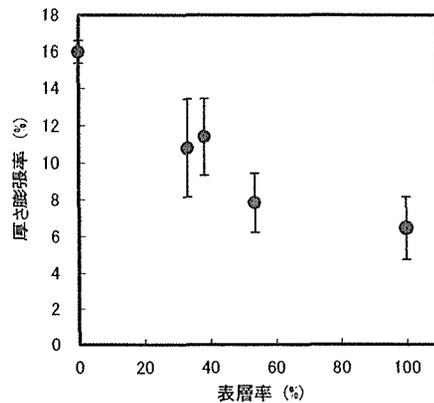


図 1-20 表層率と厚さ膨張率の関係

24時間吸水処理後の厚さ膨張率の関係をそれぞれ、図1-20に示した。厚さ膨張率はボード番号5の16%からボード番号1の6.5%へと、表層率の増加とともに減少する傾向を示した。一般に内部結合力の強い、すなわち離強さの高いボードでは吸水処理による厚さ膨張は低くなると考えられるが、ボード番号5では内部結合力が高いにもかかわらず厚さ膨張率は大きいという、一見矛盾した傾向が見られたことになる。このことは、ボード内部のエレメントの圧壊の大小によって説明されている。パーティクルボードでは、一般に棒状の小片と平たく薄い小片とを比較した場合、棒状小片の方が厚さ膨張率は大きくなる傾向が認められている。平たく薄いフレーク状の小片ではシートを重ねたようにマットが形成され、ボード全体にわたって比較的均一に圧密化されると考えられる。それに対して、棒状の小片では、マット内部に空隙も多く、小片が交差するような部分では熱圧時に大きな変形を余儀なくされ、局部的な圧壊が大きくなるものと推察されている。厚さ膨張はこのような熱圧時の変形が回復する現象であるため、棒状エレメントを用いたボードの方が厚さ膨張率は大きくなると説明されている。

また、24時間吸水処理後の厚さ膨張率の絶対値はストランドボードでは6.5%と低く、三層ボードについても10%程度と良好な値を示した。このことは、吸水量により説明することができる。ボード番号1が70%を超えているのに対して、ボード番号5のストランドボードでは16%と極めて低い水準にとどまっていた。同一密度のボードであってもエレメントの形状により吸水量が大きく異なることを示している。ボード番号1は局所的には密度の低い部分や微細な空隙があるため水分が浸透しやすく、それによって厚さ膨張率が増大するため、さらに吸水量が多くなると考えられている。三層ボードでは30%から40%程度の間であり、ストランドとパーティクルの中間の値となっている。

6 実大製造試験の総括

スギ材ストランドを表裏層に配置し、コア層に解体材パーティクルを原料とする三層ボードの実大板の製造実験を行い、製造工程での課題と性能の評価を行った。その結果、4GPa以上のヤング係数をもつボードの製造が可能であることが実証された。手作業による製造工程では、接着剤の均一な塗布、均一なマット含水率の維持などに課題が残った。実大パネルでは厚さ方向の対称性が若干崩れる傾向がみとめられた。実用化への道を開くためには、連続生産を仮定した試作試験が必要となるであろう。また、今後の課題として、表層ストランドを配向させ強度の向上を図る道が残されている。

7 表層ストランドの配向効果および5層化による性能向上

前述の通り、実大ボードを製造することにより、三層ボードが製造可能であることを実験的に検証した。この三層ボードは表層に用いられるストランドが無配向のボードであり、

木質ボードの分類としては広義の「ストランドボード」に相当する。ストランドを表層に配置することで強度が向上することは実証済みであるが、北米におけるボード開発の歴史が示すように³⁸⁻⁴⁸⁾、ストランドを配向させることによりさらに強度の向上が期待できる。芯層部分に解体材等に由来するパーティクルを用い、表層にスギなどの国産針葉樹ストランドを用いた三層ボードについて、表層部分のストランドを同一方向に配向させることで強度の改善するところみはすでに検討されている⁴⁹⁾。このタイプのボードは広義の「OSB」に分類することができる⁵⁰⁾。図1-21に北米におけるウエハーボードならびにOSBの定義に関する模式図を示した。表裏層のストランドが一軸配向され芯層がランダムであるという点でOSBに分類可能であるが、芯層がパーティクルである点が異なっている。配向方向の強度の向上は見られるが、この方法では一方向のみが強化され、配向に直交する方向の強度に問題が残るとの指摘もあった。この点を改善しさらに強度を高めるためには、三層直交OSBのようにストランド層を直交配向させることが案として浮上した。

ここでは、(1) 表層ストランドを配向することで性能向上を図ること、(2) さらに、5層構造にすることで性能向上を図ることを目的として一連の実験を行った。解体材由来のパーティクルを芯層に用い、表層部を直交多層化することで得られるボードは、狭義の三層直交OSBの芯層部にパーティクル層を有する構造になり、マット成形タイプのボードの分類としては、「OSB」に属するものと考えることができる。



図1-21 OSBおよびストランドボードの種類

8 5層ボードの製造実験

8.1 原料

芯層パーティクルには建築解体材由来の工場製パーティクルを用いた(図1-3)。また、表層用ストランドは、詳細なモデル実験を行うことを目的としているため、寸法の均一なストランド(50mm×20mm×0.5mm)を実験室において以下の手順で加工した。スギ丸太より、繊維方向の長さ50mm、厚さ20mmのブロックを鋸断した。減圧加圧吸水処理を行った後、ディスクフレイカーを用いて厚さ0.5mmに切削加工した。ストランドは風乾の後、温風乾燥により含水率3%に乾燥した。

8. 2 製造条件

設計寸法は $340\text{mm} \times 340\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、目標密度は $0.65\text{g}/\text{cm}^3$ と製造した。接着剤には市販のフェノール樹脂接着剤（樹脂率は 40%）を使用した。レジン添加率はストランド 7.5%、パーティクル 10% とした。接着剤の塗布にムラを避けるため均一塗布に留意した。エアープレイガンを用いてパーティクルならびストランドにレジンを塗布した。試作した回転式のロータリーブレンダーを用いた。ブレンダーへの投入量はそれぞれの小片が最もよく攪拌する量を模索した。その結果、スギのストランドは 800g、建築解体材のパーティクルは 1500g とした。

ストランドの配向と均一なフォーミングが今回の試験のかぎをにぎることとなる。直交配向可能なフォーミングボックス（内寸 $340\text{mm} \times 340\text{mm}$ ）を試作した。これは 2 つのボックスにより構成されており、内側のボックスには配向用プレートが 20mm 間隔で多数備えつけられている。ストランドは配向プレート間を落下する際に、目標とする方向に配向させられる。外側のボックスはマットを形成するためのものであり、フォーミングに際してはマットの高さに合わせて、内側のボックスが上下に移動できる機能がついている。ストランドの自由落下距離は目視により行い、20mm とした。ストランドは配向方向の確認を行いながら、全て手撒きでフォーミングした。

熱圧条件は以下の通りとした。熱圧温度 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 、圧縮圧力 3MPa、熱圧時間 10 分。途中解圧は行わず、一段圧縮とした。成板後の研削は行わずそのまま試験に供した。

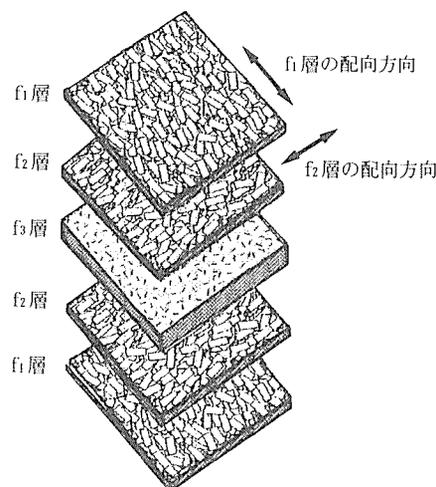


図 1-2-2 5層構成ストランドボードの模式図

8. 3 検討項目

ストランドの配向効果と層の厚さとの関係を検討するため、以下の項目を検討した。(1) 配向度の評価と配向による効果、(2) 最小ストランド層厚さ、(3) 層構成の影響について検討した。なお、層構成の影響については、(a) 第 1 層、第 2 層の比を固定し芯層率を変化させたケース、(b) 芯層率を固定し、配向層を変化させるケースの二通りを評価した。パ

ーティクルボード、OSBの試験方法に準拠した曲げ性能、内部結合力の評価を行った。また、水分変化に対する寸法安定性の評価を行った。

9 結果と考察

9.1 製造可能なストランド層の最小厚さ

5層ボードの概念図(略図)を図1-22に示す。芯層のf3層が解体材パーティクルを用いた層であり、表層部のf1層とf2層は直交配向している。このボードでは、ストランド層が表裏計4層あり、3層のOSBに比べてそれぞれの層の厚さは更に薄くなるため、実験的に製造可能な最小厚さを求める必要がある。スギの密度を 0.35g/cm^3 とし、ボード寸法を $370\times 370\times 12$ (mm)、ボードの目標密度を 0.65g/cm^3 と設定した。スギのストランドのみで製造した場合、ストランド46枚をフォーミングしたものが目標密度に相当する。ストランド2枚では全体の厚さに対して0.043、3枚では0.065、4枚では0.086、5枚では0.11となる。実際にストランド2枚およびそれ以上に相当する量を実際にフォーミングして、層として成り立つ最小厚さを検討した。その結果、ストランドが4枚以下では、平面方向に隙間が目立ち層として成り立たないことが確認された。以上の結果より本実験では最小厚さを0.1と決定した。

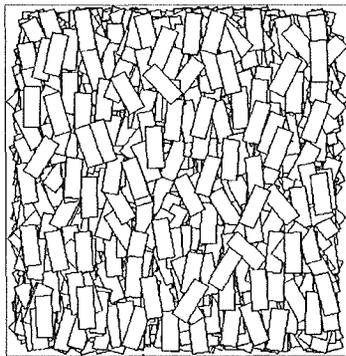


図1-23 ストランド長50mm、自由落下距離20mmで配向させたストランドマット

FFD ^{a)} (mm)	ストランド長 (mm)	k ^{c)}	$l_0(k)$ ^{c)}
20	50	3.51	7.46
40	50	1.82	2.02
60	50	1.12	1.34
80	50	0.911	1.22
100	50	0.661	1.11
∞ ^{b)}	50	0.032	1.00
20	30	1.04	1.29
20	70	11.3	9600

a) 自由落下距離, b) 無配向ボード, c) (1)式参照.

9.2 配向度の評価

エレメントを配向させたボードでは各々のストランドの配向度が強度に大きく影響する⁵¹⁻⁵⁴⁾。OSB中のストランドは一方向に同一の角度で配列するのではなく、ストランドの配向角は分布を示すことが知られている。本試験で用いたモデルストランドに関しては、既往の研究^{41, 55-57)}により自由落下距離とストランド長が決まれば、配向角の分布を求めることができる。ストランドの配向角 θ は $-\pi/2$ から $\pi/2$ の間で分布し、フォン・ミーゼスの分布関数

$$f(\theta, k) = 1/[\pi l_0(k)] \exp(k \cos 2\theta) \quad (2)$$

で表すことができる。ここで、kは集中度因子といい、大きいほどシャープな分布を示す。

$I_0(k)$ はベッセル関数である。また、図1-23にストランド長50mmを自由落下距離20mmの条件下で配向させた時の、ストランドの様子を示した。同図は分布関数を用いて、シミュレーションにより描いたものである。

表1-4 試作したボードの製造条件

f1層率=f2層率 の条件で製造するボードの層構成			
ボードタイプ	ストランド層		パーティクル層
	f1層率	f2層率	f3層率
A	0	0	1
B	0.1	0.1	0.6
C	0.13	0.13	0.48
D	0.165	0.165	0.34
E	0.25	0.25	0

f3層率一定 の条件で製造するボードの層構成			
ボードタイプ	ストランド層		パーティクル層
	f1層率	f2層率	f3層率
F	0	0.33	0.34
G	0.1	0.23	0.34
D	0.165	0.165	0.34
H	0.23	0.1	0.34
F	0.33	0	0.34

9.3 層構成の検討

5層のOSBは層構成が複雑で様々なものが考えられるが、製造実験で対応可能な条件設定が必要となる。ここでは、以下に示す2つの条件のボードを製造することで、5層ボードの物性を評価することとした。(条件1) f1層率とf2層率が等しく保ちながら他を変化させる場合、(条件2) f3層率を一定(0.34)としてf1層率を変化させた場合の2条件である。f1層率とf2層率を等しくする条件1は、フォーミング量を等しくすることで実際のボード製造を容易にすることが背景となっている。また、リサイクル材由来のパーティクルを芯層に使うことを考えて、芯層の比率を小さくしたのでは本来の趣旨に反するため、f3層率を一定(0.34)とした条件2を設定した。ヤング係数のシミュレーションを行い、また製造可能なストランド層の検討結果から表2に示す条件を設定した。

9.4 曲げ性能に及ぼす層構成の影響

(1) f1層とf2層の厚さが等しい場合

図1-24にf1層とf2層の厚さが等しい場合(条件1)の曲げヤング係数(MOE)の計算値とf1層率の関係を示す。f1層率が0%とは芯層パーティクルのみのボードを示し、f1層率が25%とは、芯となるパーティクル層がなく、層構成比が1:2:1の直交配向3層ボードを意味している。f1層率の増加とともに配向方向のヤング率(E//)は増加した。これは自明の現象であり、表層ストランドの配向方向のヤング係数に強く依存するためである。直交方向のヤング係数(E⊥)は、f1層率が0.1付近までは増加するが、それ以上になると減少する傾向を示している。f1層率が高くなると、f2層はより芯層付近へ移動するため、ボードのヤング係数に寄与するf2層配向方向の効果が小さくなるためである。

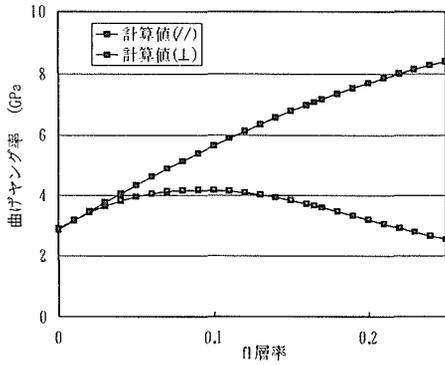


図 1-24 曲げヤング係数の予測値 ($f_1=f_2$)

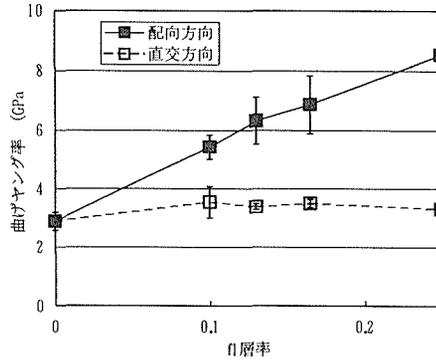


図 1-25 曲げヤング係数の実測値 ($f_1=f_2$)

また、図 1-25 に静的に求めたヤング係数 (MOE) と f_1 層率の関係を示す。曲げ試験は、JIS A 5908 (パーティクルボード) に準じて、スパン 240mm、荷重速度 10mm/min の中央集中荷重方式により行った。 f_1 層率の増加とともに $E_{//}$ は増加した。しかし、 E_{\perp} は f_1 層率の変化に関わらずほぼ一定の値を示した。 f_1 層率が 0.1、すなわち最外ストランド層の厚さがボード厚さの 0.1 に相当する場合、配向方向で 5.5GPa、直交方向でも 3.5GPa と高い値を示した。この時、コアの f_3 層は 0.6 となり、厚さ方向の半分以上を占めることから、建築解体材由来の破碎パーティクルとスギなどの国産針葉樹ストランドが 6 : 4 の比率でこの程度の物性を有するボードの製造が可能となることが実証されたことになる。

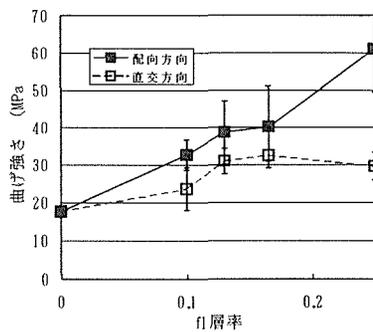


図 1-26 曲げ強さ ($f_1=f_2$)

図 1-26 に曲げ強さ (MOR) と f_1 層率の関係を示す。 f_1 層率の増加とともに配向方向の MOR は増加した。直交方向の MOR は、 f_1 層率と f_2 層率をともに 0.1 とした場合 24MPa であった。 f_1 層率と f_2 層率をともに 0.13 とした場合は 31MPa と更に高い値を示した。解体材由来の破砕片パーティクルを芯層に用いた 5 層ボードの曲げ強さを予測することは、ヤング係数予測の場合と違って複雑である。破壊を予測するモデルがないわけではないが、試作ボードの強度予測は取り上げないこととした。将来、このタイプのボード製造が現実の課題になったような場合には、生産管理の行き届いた常態で製造されるボードに対して、

強度予測を行うことは有効であると考える。

(2) f3 層率を一定 (0.34) とし f1 層率を変化させた場合

図1-27にf3層を一定(0.34)とし、f1層率を変化させた場合(条件2)のMOEの計算値とf1層率の関係を示す。f1層率の増加とともにE//は増加した。ストランド層の配向と直交方向のヤング係数とパーティクル層のヤング係数が同程度とみなすと、E//は概ねf1層率の増加に依存するとみることができる。ヤング係数は中立軸からの距離が3乗で効くため、f1層率の影響は顕著である。同図(右)にMOEとf1層率の関係を示す。f1層率の増加とともにE//は増加し、一方でE⊥はf1層率の増加とともに減少した。f1層率が0.1のときf2層率は0.23となる。この場合、E//は5GPa、E⊥は5.6GPaを得ることができた。また、f1層率とf2層率が0.165となる場合においてもE//は6.9GPa、E⊥は3.5GPaとなった。図1-27より、ボードのヤング係数については予測値と実験値とが良好な一致をみた。このことから、ストランド層のヤング係数が配向度そのほかのデータから導くことが可能であれば、ボードのヤング係数は予測可能であることが実証された。また、3層ストランドボードの「一方向のみが強化される」問題点も、f1層率を0.1とすることにより解消され、今回製造した条件下においては、表面ストランドの配向方向とそれに直交する方向のヤング係数がほぼ等しいボードの設計が可能となる。

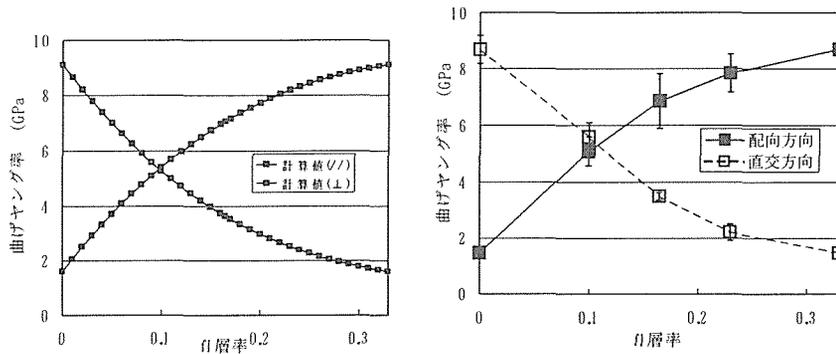


図1-27 曲げヤング係数の予測値(左)および実測値(右)(f3=一定)

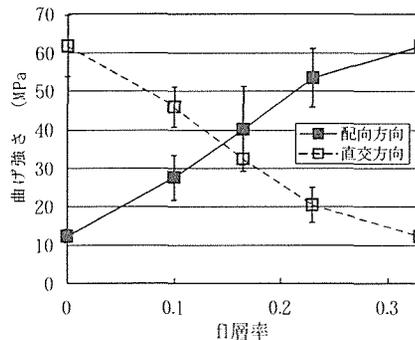


図1-28 曲げ強さ(f3=一定)

図1-28に条件2における曲げ強さ(MOR)とf1層率の関係を示す。f1層率の増加とともに配向方向のMORは増加した。直交方向のMORはf1層率の増加とともに減少した。f1層率が0.1のときMOEでは異方性が解消されたがMORでは配向方向の27.6MPaに対し、直交方向では45.9MPaと差を生じた。曲げ強さについては、f1層率を1.4~1.5とすることで両方向の強度差をなくしたボードが得られるものとの結果を得た。本製造条件においてはこのような結果となったが、曲げ強さについては、ストランドの配向度などの影響に加えて、接着剤の添加率やその他の熱圧縮条件の影響を受けるため、今後の検討が必要となる。

(3) 構造用パネルとしての曲げ性能

表1-5に構造用パネルの曲げ性能を示した^{5,8)}。同規格では、厚さも物性の一部として取り扱っているため、基準値は厚さに依存している。ここでは、厚さ12mmに限定して比較検討を行った(表1-5)。図1-25および図1-26の値を見ると、芯層にパーティクルを用いない三層直交ボードでは、MOEが2級の値を超え、MORが1級の値を超えている。f1層率が1.3あるいは1.65の5層構造ボードのMOEは、平行方向が5~6GPa、直交方向が3GPa程度であるので、3級の値を超え2級に近い値を示している。同様に曲げ強さ(MOR)については、平行方向が40MPa程度で直交方向が30MPa程度であるので、2級に相当する値を有していることが分かる。また、f3層率を34%に固定した場合には(図1-27および図1-28)、f1層率を0.23としたときに、曲げヤング係数が2級、曲げ強さが1級をクリアする値を示した。5層ストランドボードとJAS構造用パネルの基準値の関係を見ると、MORよりもMOEの方が厳しいことが分かる。ちなみに、8GPaの曲げヤング係数を有するボードが1級を超えるためには、厚さは16程度が必要となる。

表1-5 JAS構造用パネル曲げ性能基準値(12mm厚換算)

試験項目	等級	MOR (MPa)		MOE (GPa)	
		長辺方向	短辺方向	長辺方向	短辺方向
常態曲げ 試験	1	49.0	14.6	17.3	5.1
	2	38.5	11.6	7.7	2.3
	3	25.4	7.8	4.0	1.1
	4	15.0	4.4	2.0	0.6
湿潤曲げ 試験	1	24.5	7.5	8.5	2.6
	2	19.4	5.8	4.0	1.1
	3	12.9	3.7	2.0	0.6
	4	7.5	2.4	0.9	0.3

(4) 厚さ方向の平均ヤング係数

前述の通り、曲げヤング係数は表層材質と厚さの影響を強く受ける。これに対して、ボード面に平行方向に圧縮もしくは引張りにより得られるヤング係数は、層構成の平均値とみることができる。圧縮もしくは引張りヤング係数の測定は困難であるため、代理の方法として、エッジワイズの曲げ振動試験によりヤング係数を求めた。試験体の長さの0.224

に相当する場所で単純支持し、一端を軽く打撃した。このときの打撃音をマイクロフォンで拾い、FFT アナライザーによりパワースペクトルを求め後、一次の共振周波数よりヤング係数を求めた。

条件2 (f3 層率を 0.34 で固定) により f1 層率を変化させたときのヤング係数の計算値と実測値を図 1-29 に示した。計算値は、各層の厚さをを用いた単純平均であるため、直線的に変化することは自明である。一方、実測値に関しても同様の直線関係が認められた。f3 層、すなわち芯となるパーティクル層の設計厚さは一定であるため、ヤング係数はストランド層の配向方向と直交方向の比に依存することとなる。なお、実測値の絶対値については若干のコメントが必要である。試験体をエッジワイズに支え端部を打撃する方法は、支点間の距離に対して梁背が無視できる寸法とはならないため、梁の振動理論をそのまま適用することには問題がないわけではない。ここでは、絶対値を論ずるのではなく、相対的な変化を評価するために用いたものであり、計算値と実測値は良好な一致を見た。

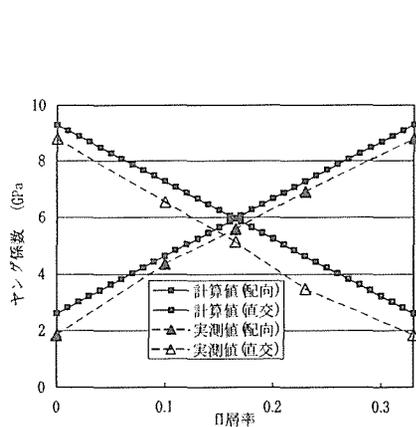


図 1-29 厚さ方向の平均ヤング係数と層構成

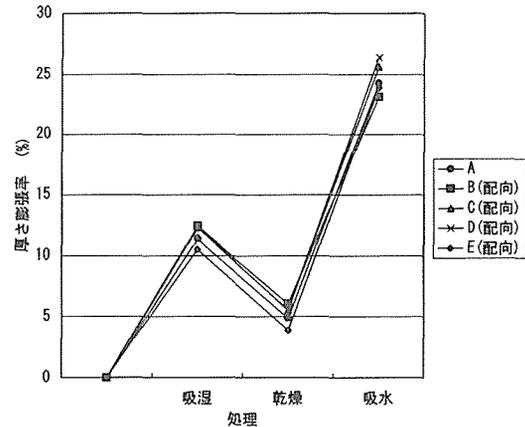


図 1-30 吸湿吸水処理による厚さ変化

9.5 吸湿吸水処理による厚さ変化

吸湿吸水処理に伴う厚さ変化を求めることを目的として、以下の処理を行った。温風式乾燥機により 24 時間、60℃で乾燥を行った。その後、恒温恒湿槽で 40℃、相対湿度 90% の条件のもと 96 時間吸湿させた。また、吸湿試験終了後、温風式乾燥機により 24 時間、60℃で乾燥し、その後 24 時間常温水に浸せきし吸水処理を行った。製造条件 1 のボード(ボードタイプ A~E) の結果を図 1-30 に示す。全試験条件についてボード間に差は認められず、吸湿処理後の厚さ膨張率は 10%~13% 程度となり、それに引き続く 24 時間吸水処理後の厚さ膨張率は 20%~25% となった。また、吸湿処理後のスプリングバックは 5% 程度を示した。一般にストランドボードでは、熱圧成形時にマットが均一に圧縮されるため、破碎タイプのエレメントのパーティクルボードよりも圧縮膨張率が低く現れるとの報告もあるが、ここでは両者の間に差異は認められなかった。

9. 6 湿潤曲げ試験結果

湿潤曲げ処理後のヤング係数および曲げ強さと層構成の関係は、概ね常態の結果と類似し結果が得られた。すなわち、図1-25~図1-28に示された関係が湿潤処理後のデータについても、値そのものは低下しているが、ほぼ同様の相対的な変化が得られた。したがって、ここでは常態強度に対する残存率を示す。図1-31に曲げヤング係数の残存率を示す。いずれも50%~60%の値を示した。なかには80%ほどの値を示したものもある。今回の製造試験では、層構成の影響を評価することが主眼であったため、耐水性を向上させるための努力を払っていない。ワックス等の撥水剤の添加を行っていないため、吸水率は高く、前述の厚さ膨張率も25%程度と高い値を示している。それにも関わらず、湿潤曲げの強度残留率がよく現れたのは表層に配置したストランドの影響と考えてよからう。ストランドは一般の木材小片パーティクルよりも表面積が小さいため、レジンの添加効果がよく現れるとされている。すなわち、接着剤がエレメントを繋ぎ止めていれば、厚さ変化を十分に押さえきれない量であっても、曲げ性能には十分効果を発揮することが指摘されている。今回の結果は、そのような事例と一致する結果となった。

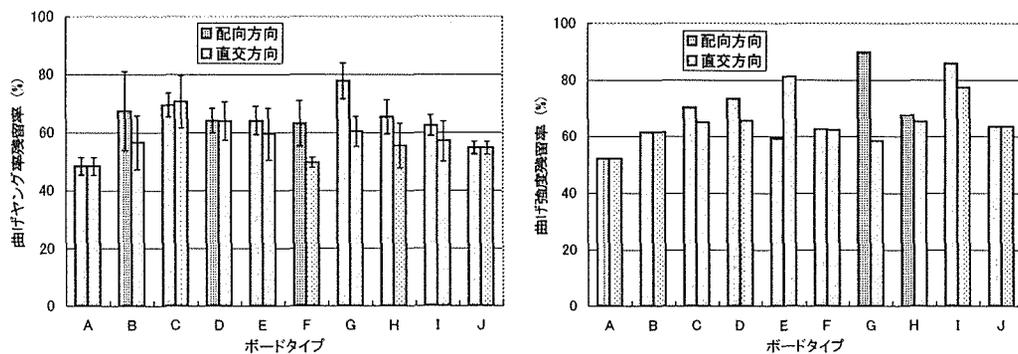


図1-31 曲げヤング率残存率（左）および曲げ強度残存率（右）

9. 7 厚さ方向の強度と密度分布

はく離強さはボードの厚さ方向の引張り強さであり、ボードの内部結合力の指標として多用されている^{59,60}。図1-32（左）にf1層とf2層の厚さが等しい場合の常態時と湿潤時のはく離強さ（IB）を示す。常態時の強度では、f1層率0のボード、すなわちパーティクルのみのボードが、1.1MPaと最も高い値を示した。それに対して、5層構成のボードでは0.65MPa前後の値を示した。ストランドボードとパーティクルボードを比較した場合、パーティクルはストランドに比べてボード内で3次元的な配向を持つため、IBが高くなる可能性があることが知られている。

多層構造を有するボードでは破壊の位置が問題となる。破壊形状の観察から、f1層率が0.1、0.13のボードでは、試験体の約2/3がf3層で破壊し、約1/3はストランド層とパーティクル層の境界で破壊したことが確認された。f1層率が0.165のボードでは、逆に試験

体の3/5がストランド層とパーティクル層の境界で破壊し、残りがf3層で破壊した。パーティクル層は一般にはく離強度が高くなるが、一方で内部に位置するパーティクル層は密度が低くなるため、両因子の兼ね合いで破断面が決まると考えるのが妥当である。

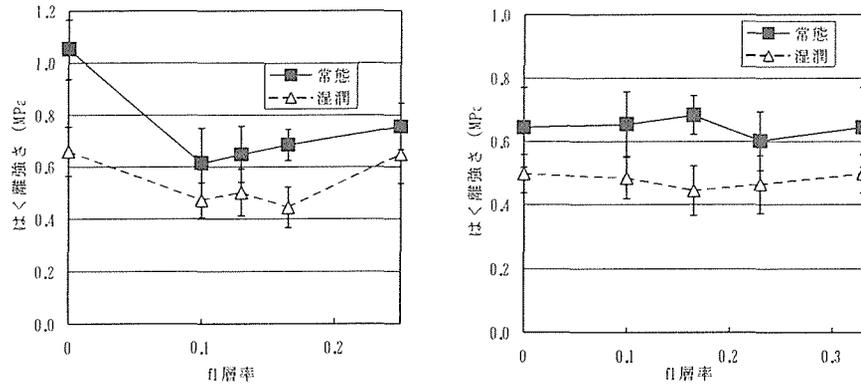


図1-32 はく離強さと層構成 (左: f1=f2、 右: f3=一定)

湿潤時のはく離強さを見ると、f1層率0のパーティクルボードでは、0.66MPaと最も高いIBを示したが、残留率は60%程度であり必ずしも高くはない。5層構成のボードでは0.5MPa前後の値を示した。残留率は75%となり、パーティクルのみのボードに比べて高い値を示した。一般にストランドはエレメントの厚密がパーティクルよりも均一に生じるため、残留率は高くなるとの見解が紹介されている。

f3層を一定(0.34)とし、f1層率を変化させた場合のはく離強さを図1-32(右)に示した。常態時のIBは、f1層率の変化に関わらずどの層構成においても約0.65MPaを示し、湿潤時の値も大きな変化は認められなかった。ストランド層の構成は変化しているが、ストランド層とパーティクル層の比率が一定であることに依るものと解釈することができる。

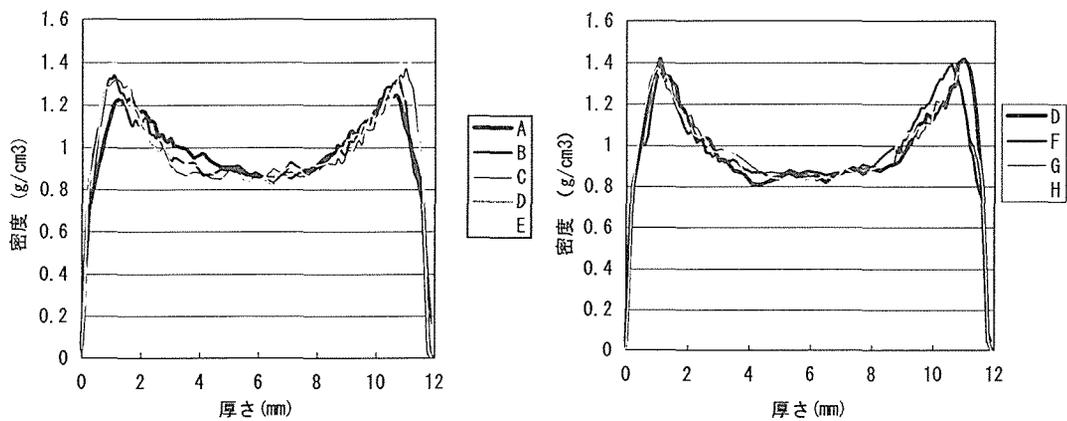


図1-33 層密度分布 (左: f1=f2、 右: f3=一定)

熱圧成型したボードでは厚さ方向に密度の分布を生じることが知られており、各種のボードについて実験事例とその発生メカニズムが検討されている⁶¹⁻⁶⁵。図1-33（左）に f1 層と f2 層の厚さを等しくして製造したボードの密度分布を示す。同図（右）に f3 層を一定（0.34）とし、f1 層率を変化させた場合の密度分布を示す。表面からの厚さが約 1mm の位置に最も密度の高いピークが存在し、その値は 0.8~0.9g/cm³であった。更に芯層部に近づくにつれて、密度は緩やかに低下し、中心部分で最も密度は低くなる。これは一般的な傾向であり、熱板の閉鎖スピード、表層部のマット含水率などにより形状は変化する。ここで製造したボードは、芯層には圧縮されにくい建築解体材パーティクルを用い、表層はより圧縮されやすいスグのストランドを用いているため、層構成の影響が現れるものと考えた。しかしながら、層構成が層密度分布に及ぼす影響は確認できなかった。

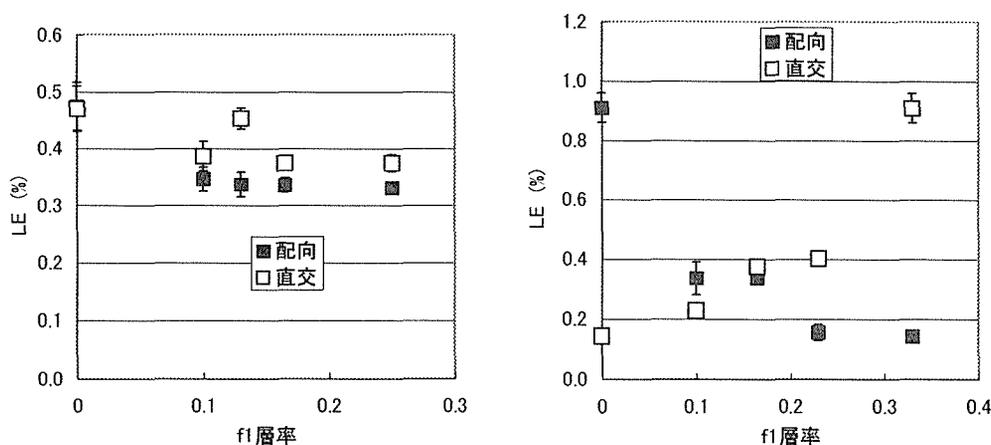


図1-34 線膨張率と層構成（左：f1=f2、右 f3=一定）

9.8 線膨張率

木質ボードの寸法安定性についてはこれまで厚さ方向の変化に関心が集まっていたが、構造用の部材として使用される場合には吸脱湿に伴う長さ方向の寸法変化（LE）が課題となることが知られている⁶⁶⁻⁶⁸。図1-34（左）に f1 層と f2 層の厚さが等しい場合の線膨張率を示す。パーティクルのみのボードではやや高い値を示した。5層構成のものについては、配向方向と直交方向の間と f1 層率の影響が僅かに見られるが有意な差とは言えない。このことは、配向方向と直交方向が互いに変化を抑制したためと考えられる。f3 層を一定（0.34）とし、f1 層率を変化させた場合の LE を同図（右）に示す。f1 層率と f2 層率に差が大きいほど異方向度が高いことが確認できる。このことから、配向されたストランドが互いに長さ方向の変化を拘束しあっていることが理解できる。

10 まとめ

3 層ストランドボードの直交方向の曲げ性能の向上を目的として 5 層構造のボードを考

案した。実験室製のボードにより5層化の効果を検討した結果、以下の結論を得た。

5層化することで配向方向の性能をあまり低下させず直交方向の性能を向上させることが確認できた。例えば、f1層が0.1でf2層が0.23の場合、直交方向で5.6GPaと曲げ性能を向上させることができた。f1層とf2層がともに0.1の場合においても、f3層が厚さ方向に半分以上を占めるにもかかわらず、直交方向で3.5GPaと性能の向上が確認された。また、曲げヤング係数の計算値と実測値が比較的良好な一致を見たことから、異方性の無いボードの設計が可能となり、一方で、配向方向と直交方向の値を設計することが可能であることが示された。

参考文献

- 1) Suzuki, S.: Particleboards Made from Recycled Wood, In: Ohama Y. (ed) Disposal and Recycling of Organic and Polymeric Construction Materials, E & FN SPON, London, 1995, pp.223-234.
- 2) 村上幸一; 上田實; 松田 明; 張敏; 河崎珠美; 川井秀一: 合板表層用単板廢材ストランドを表層に配向させた三層パーティクルボードの製造と性質(第1報)フェイス/コア構成比、接着剤の種類および添加量の影響、木材学会誌, 45(5), 395-402 (1999).
- 3) 吹野信; 堀江秀夫; 佐藤司; 小川尚久: ストランド・パーティクルボード(SPB)の製造技術(第2報)熱圧時の初期圧縮圧が吸水厚さ膨張率に及ぼす影響、木材学会誌, 46(6), 581-586 (2000).
- 4) 日本住宅・木材技術センター: 木質建築資材国際化対策事業報告書, (1994).
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所; 建築研究所; 日本建築センター: 国土交通省総合技術開発プロジェクト建築分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策・廃棄物発生抑制技術の開発(建築分野)独立行政法人建築研究所研究プロジェクト木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発, (2002).
- 6) Hiromu Kajita: Oriented particleboard with sugi thinnings (*Cryptomeria japonica*) I. Effects of degree of particle alignment and board density on physical and mechanical properties, *Mokuzai Gakkaishi*, 33(11), 865-871 (1987).
- 7) James Brumbaugh: Effect of flake dimensions on properties of particle boards, *Forest Products Journal*, 10(5), 243-246 (1960).
- 8) Thomas M. Maloney: Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing, Miller Freeman publications, Inc., San Francisco, California, pp681 (1977).
- 9) 梶田照; 椋代純輔: 3層配向性パーティクルボードの材質に及ぼす層構成比の影響, 材料, 39(444), 34-38 (1990).
- 10) J. Lowood: Oriented strand board and waferboard, In: S. Smulski (ed) Engineered wood products, Miller Freeman, Madison, 5, 123-5, 145 (1997).
- 11) Myron W. Kelly: Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard, U. S. Department of Agriculture Forest Service General Technical Report FPL-10, Forest Products Laboratory, Madison, Wis., (1977).
- 12) Frederick A. Kamke; Linda J. Casey: Gas pressure and temperature in the mat during flakeboard manufacture, *Forest Products Journal*, 38(3), 41-43 (1988).
- 13) Frederick A. Kamke; Linda J. Casey: Fundamentals of flakeboard manufacture: internal-mat conditions, *Forest Products Journal*, 38(6), 38-44 (1988).
- 14) Christopher A. Lenth; Frederick A. Kamke: Investigations of flakeboard mat consolidation. Part I. Characterizing the cellular structure, *Wood and Fiber Science*, 28(2), 153-167 (1996).
- 15) Elemer M. Lang; Michael P. Wolcott: A model for viscoelastic consolidation of wood-strain mats. Part II: Static stress-strain behavior of the mat, *Wood and Fiber Science*, 28(3), 369-379 (1996).
- 16) Christopher A. Lenth; Frederick A. Kamke: Investigations of flakeboard mat consolidation. Part II. Modeling mat consolidation using theories of cellular materials, *Wood and Fiber Science*, 28(3), 309-319 (1996).
- 17) A. Oudjehane; F. Lam; S. Avramidis: A continuum model of the interaction between manufacturing variables and consolidation of wood composite mats, *Wood Science and Technology*, 32, 381-391 (1998).
- 18) C. Lu; F. Lam: Study on the x-ray calibration and overlap measurements in robot formed flakeboard mats, *Wood Science and Technology*, 33, 85-95(1999).
- 19) Siqun Wang; Paul M. Winistorfer: Consolidation of flakeboard mats under theoretical laboratory pressing and simulated industrial pressing, *Wood and Fiber Science*, 32(4), 527-538 (2000).
- 20) John F. Siau: Transport processes in wood, Springer Verlag, New York, pp245 (1984).
- 21) A. J. Bolton; P. E. Humphrey: The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part I. A review of the literature, identifying the primary physical processes and the nature of their interaction, *Holzforschung*, 42, 403-406 (1988).
- 22) P. E. Humphrey; A. J. Bolton: The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part II. A simulation model

- for heat and moisture transfer, and typical results, *Holzforschung*, 43, 199-206 (1989).
- 23) A. J. Bolton; P. E. Humphrey; P. K. Kavvouras: The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part III. Predicted vapor pressure and temperature variation with time, compared with experimental data for laboratory boards, *Holzforschung*, 43, 265-274 (1989).
 - 24) A. J. Bolton; P. E. Humphrey; P. K. Kavvouras: The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part IV. Predicted variation of mattress moisture content with time, *Holzforschung*, 43, 345-349 (1989).
 - 25) P. E. Humphrey; A. J. Bolton: The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part V. The effect of board size: comparability of laboratory and industrial pressing, *Holzforschung*, 43, 401-405 (1989).
 - 26) A. J. Bolton; P. E. Humphrey; P. K. Kavvouras: The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part VI. The importance of stresses in the pressed mattress and their relevance to the minimization of pressing time, and the variability of board properties, *Holzforschung*, 43, 406-410 (1989).
 - 27) M. P. Wolcott; F. A. Kamke; D. A. Dillard: Fundamentals of flakeboard manufacture: viscoelastic behavior of the wood component, *Wood and Fiber Science*, 22(4), 345-361 (1990).
 - 28) F. A. Kamke; M. P. Wolcott: Fundamentals of flakeboard manufacture: wood-moisture relationships, *Wood Science and Technology*, 25, 57-71 (1991).
 - 29) J. Dobbin McNatt; Robert W. Wellwood; Lars Bach: Relationships between small-specimen and large panel bending tests on structural wood-based panels, *Forest Products Journal*, 40(9), 10-16 (1990).
 - 30) Thomas E. McLain; Jozsef Bodig: Determination of elastic parameters of full-size wood composite boards, *Forest Products Journal*, 24(4), 48-57 (1974).
 - 31) J. Dobbin McNatt: Static bending properties of structural wood-based panels: large-panel versus small-specimen tests, *Forest Products Journal*, 34(4), 50-54 (1984).
 - 32) S. Suzuki; Y. Kojima: Production of three layered structural board made from sugi strand and recycled wood particle, *Proceedings of the fourth international wood science symposium, Serpong, Indonesia*, 262-268 (2002).
 - 33) 日本農林規格、コンクリート型枠用合板の日本農林規格、(1999).
 - 34) Hearmon, R.F.S.: "An introduction to applied anisotropic elasticity", Oxford University Press, 1961, p90-109.
 - 35) 鈴木滋彦; 縄大輔; 宮本康太; 渋沢龍也: Two-Rail Shear 法および Edgewise Shear 法による木質パネルの面内せん断性能評価, *材料*, 49(4), 395-400 (2000).
 - 36) R. L. Geimer: Predicting shear and internal bond properties of flakeboard, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 39, 409-415 (1981).
 - 37) 日本工業規格、パーティクルボード, JIS A 5908, (1994).
 - 38) J. Dobbin McNatt; Lars Bach; Robert W. Wellwood: Contribution of flake alignment to performance of strandboard, *Forest Product Journal*, 42(3), 45-50 (1992).
 - 39) P. J. Gracia; S. Avramidis; F. Lam: Internal temperature and pressure response to flake alignment during hot-pressing, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 59, 272-275 (2001).
 - 40) Robert L. Geimer; H. M. Monterey; William F. Lehmann: Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards, *Forest Products Journal*, 25(3), 19-29 (1975).
 - 41) Wei Xu: Influence of percent alignment and shelling ratio on modulus of elasticity of oriented strandboard: A model investigation, *Forest Products Journal*, 50(10), 43-47 (2000).
 - 42) Luisa S. Canadido; Fujiiichi Saito; Shigehiko Suzuki: Effect of particle shape on the orthotropic properties of oriented strand board, *Mokuzai Gakkaishi*, 34(1), 21-27 (1988).
 - 43) Luisa S. Canadido; Fujiiichi Saito; Shigehiko Suzuki: Influence of strand thickness and board density on the orthotropic properties of oriented strandboard, *Mokuzai Gakkaishi*, 36(8), 632-636 (1990).
 - 44) Stavros Avramidis; Leonard A. Smith: The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of oriented strand board, *Holzforschung*, 43(2), 131-133 (1989).
 - 45) Michael H. Triche; Michael O. Hunt: Modeling of parallel-aligned wood strand composites, *Forest Products Journal*, 43(11/12), 33-44 (1993).
 - 46) Min Zhang; Ee-ding Wong; Shuichi Kawai; Jin-heon Kwon: Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands, *Journal of Wood Science*, 44, 191-197 (1998).
 - 47) Christopher J. Moriarty: The effect of lab-made flakes on physical and mechanical property variability of laboratory flakeboard, *Forest Products Journal*, 52(2), 69-73 (2002).
 - 48) T. F. Shupe; C.Y. Hse; E. W. Price: Flake orientation effects on physical and mechanical properties of sweetgum flakeboard, *Forest Products Journal*, 51(9), 38-43 (2001).
 - 49) S. Suzuki: Particleboards made from recycled wood, In: Y. Ohama (ed) *Disposal and recycling of organic and polymeric construction materials*, E and FN SPON, London, 223-234 (1995).
 - 50) Structural Board Association: "OSB", 1998.
 - 51) P. R. Steiner; C. Dai: Spatial structure of wood composites in relation to processing and performance characteristics Part 1. Rationale for model development, *Wood Science and Technology*, 28, 45-51 (1993).
 - 52) C. Dai; P. R. Steiner: Spatial structure of wood composites in relation to processing and performance characteristics Part 2. Modeling and simulation of a randomly-formed flake layer network, *Wood Science and Technology*, 28, 135-146 (1994).
 - 53) C. Dai; P. R. Steiner: Spatial structure of wood composites in relation to processing and performance characteristics Part 3. Modeling the formation of multi-layered random flake mats, *Wood Science and Technology*, 28, 229-239

- (1994).
- 54) T. Nishimura; M. P. Ansell; N. Ando: The relationship between the arrangement of wood strands at the surface of OSB and the modulus of rupture determined by image analysis. *Wood Science and Technology*, 35(6), 555-562 (2001).
 - 55) Suzuki, S.; Takeda, K.: Production and properties of Japanese oriented strandboard I. Effect of strand length and orientation on strength properties of sugi-oriented strandboard. *J. of Wood Science*, 46(4), 289-295 (2000).
 - 56) Robert A. Harris; Jay A. Johnson: Characterization of flake orientation in flakeboard by the von Mises probability distribution function. *Wood and Fiber*, 14(4), 254-266 (1982).
 - 57) S. M. Shaler: Comparing two measures of flake alignment. *Wood Science and Technology*, 26, 53-61 (1991).
 - 58) 日本農林規格, 構造用パネルの日本農林規格, (2000).
 - 59) Qinglin Wu; Cheng Piao: Thickness swelling and its relationship to internal bond strength loss of commercial oriented strandboard. *Forest Products Journal*, 49(7/8), 50-55 (1999).
 - 60) Jong N. Lee; Qinglin Wu: In-plane dimensional stability of three-layer oriented strandboard. *Wood and Fiber Science*, 34(1), 77-95 (2002).
 - 61) Wei Xu: Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composite panels: A theoretical consideration. *Wood and Fiber Science*, 31(3), 277-282 (1999).
 - 62) Chris K. Andrews; Paul M. Winistorfer; Richard M. Bennett: The influence of furnish moisture content and press closure rate on the formation of the vertical density profile in oriented strandboard. *Forest Products Journal*, 51(5), 32-39 (2001).
 - 63) Otto Suchsland; Hong Xu: A simulation of the horizontal density distribution in a flakeboard. *Forest Products Journal*, 39(5), 29-33 (1989).
 - 64) M. Schulte; A. Fruhwald: Some investigations concerning density profile, internal bond and relating failure position of particleboard. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54, 289-294 (1996).
 - 65) Ee Ding Wong; Min Zhang; Qian Wang; Shuichi Kawai: Effects of mat moisture content and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard. *Journal of Wood Science*, 44, 287-295 (1998).
 - 66) Kohta Miyamoto; Susumu Nakahara; Shigehiko Suzuki: Effect of particle shape on linear expansion of particleboard. *Journal of Wood Science*, 48(3), 185-190 (2002).
 - 67) Qinglin Wu; Otto Suchsland: Linear expansion and its relationship to moisture content change for commercial oriented strandboard. *Forest Products Journal*, 46(11/12), 79-83 (1996).
 - 68) Wei Xu; Otto Suchsland: Linear expansion of wood composites: a model. *Wood and Fiber Science*, 29(3), 272-281 (1997).

2章 パークを堆肥化した樹皮ポットの開発

1. はじめに

1.1 木質系残廃材の現状

21世紀を迎え、これまでの資源消費型社会から資源循環型社会への転換が、世界的規模で推進されている。この転換において、再生産が可能であり、無限の創造資源であるバイオマス資源、特に、地球上最大量を誇る森林資源の担う役割と可能性は非常に大きい。従って、森林資源やそれに由来する木材を、これまで以上により有効に利用するシステムを構築していかねばならない。

製材品や木質材料の製造時には各種の切削加工が行われるが、その際に端材、残材（背板、剥き芯）、鋸屑、樹皮などの残廃材が必然的に排出される。これらの残廃材のうち、約45%を占める端材や残材は、チップ原料や小物用製材原料などとして再利用されている。しかし、残りの約55%を占める鋸屑や樹皮については、キノコ菌床、家畜用敷料、土壌改質材、堆肥などへの利用が進められているものの、焼却または棄却されているものも多い。例えば、岡山県北部地域における調査結果（見尾および川上、岡山県木材加工技術センター）によると、木質系残廃材の排出量は現状を維持するか、あるいは増加すると予測する木材関連業者が6割近くに達している。しかし、その焼却処分については、規制の強化や処理設備能力の不足のために処分量には限界があるとされ、再資源化技術を求める声が高まっている。

このように、森林資源を軸とした環境保全や資源保護に取り組み、そして、木材工業の発展を目指すためには、木質系残廃材の再資源化を進め、森林資源の循環利用率を大きく向上させる必要があると思われる。

1.2 樹皮の特性

樹皮は、樹木の幹、枝、および根における形成層（維管束形成層）より外側の全組織のことであり、木部の外側を包む組織のことである。樹皮は、木部とは大きく異なる組織構造を有し、内樹皮および外樹皮の2層から成る。このうち、内樹皮は生きている師部組織を含み、光合成物質の転流や貯蔵といった生活機能を有している。一方、外樹皮はコルク組織や死んだ師部組織から成り、内部の生活組織を外界から保護するものの、それ自体は生活機能を有さない。樹皮においては、形成層の細胞分裂に伴って師部が次第に厚くなるが、内樹皮の外部は周皮によって外樹皮へ順次組み入れられ、外樹皮の外部は鱗片や裂片となって剥離する。このような樹皮の組織構造は、樹種間の差異が木部よりも顕著であり、さらに、同一樹種内や同一個体内における不均質性も著しい。

樹皮の化学組成も木部のそれとは大きく異なる。主要構成成分については、樹皮は木部と比較してセルロースおよびヘミセルロースの含有割合が少なく、リグニンを多く含む。さらに、樹皮はカルシウム（樹種によってはシリカ）を主とする灰分、リグニン以

外のフェノール性物質、スベリン、および抽出成分を多量に含む。内樹皮と外樹皮においても化学組成は異なり、内樹皮には抽出成分や炭水化物が多く、外樹皮にはリグニンや他のフェノール性物質が多く含まれる。樹皮の化学組成も樹種間の差異が大きく、抽出成分は樹種固有のものが多く、灰分としてシリカを多量に含む樹種も存在する。また、タンニンやワックスは共通して含まれるが、その含有量は異なる。

1.3 樹皮の利用

木材を工業的に利用する際には、最初に剥皮が行われ、このときに樹皮が排出される。樹皮はわが国の木材工業全体で年間 350 万 m³ を超える量が排出され、これは全木質系残廃材の 20% 以上を占めると推定されている。

樹皮の約 30% は焼却または棄却されており、未利用率は他の残廃材と比較して高い。樹皮の主な用途は、家畜用敷料、バーク堆肥、燃料であり、これらは樹皮利用率の 70% 程度となっている。また、僅かではあるがキノコ菌床として利用されている他に、灰分が陶磁器用釉薬として、抽出成分が医薬品（漢方における生薬）として、それぞれ利用されている。

これらの従来の利用法以外に、最近では、樹皮の利用技術に関する研究が盛んに行われている。液化による樹脂原料・製品、液化後の発泡による成形品、炭化（熱処理）によるガスや重金属の吸着材などの開発がその代表的なものである。ボード類についても、ファイバーボード、繊維配向ボード、セメントボード、および接着剤を使用しないノンコンベンショナル・ボードなどが盛んに開発されている。また、樹皮およびその抽出成分が有する消臭機能や抗菌活性などを利用する技術も研究されている。

このような樹皮の新規利用技術においては、樹皮特有の化学組成が活かされており、特に、タンニンやリグニンなどのフェノール性物質の化学特性や化学反応性が重要な役割を果たしている。

1.4 タンニンの特性と利用

タンニンは、多くの高等植物中に存在する天然ポリフェノール性物質の一種であり、熱水やアルコールなどによって抽出される。タンニンは、化学構造の観点から、加水分解型と縮合型とに大別される。縮合型タンニンは、縮合度の異なるフラバノールのポリマーを主成分とし、これに低分子量フラボノイドや炭水化物を含んでいる。加水分解型タンニンは、グルコースと没食子酸（およびエラグ酸）がエステル結合したポリマーであり、酸、アルカリあるいは酵素の作用によって、これらの化合物へ加水分解される。

樹皮中に含有されるタンニンは、樹種によって量的および質的に大きく異なる。針葉樹では、縮合型タンニンを 10~15% 含む樹種が多いとされている。一方、広葉樹では、縮合型タンニンと加水分解型タンニンの両者が含まれ、南アフリカ産アカシアを代表とする前者が 40~50% と大部分を占める樹種と、オーストラリア産ユーカリを代表とする

後者が大部分を占める樹種とが存在するとされている。よく知られているタンニンは、ワットルタンニン（アカシアタンニン）、ユーカリタンニン、マングローブタンニン、ケブラコタンニン、柿渋タンニン、および針葉樹樹皮タンニンなどである。

縮合型タンニンは古来より皮なめし剤として広く用いられており、皮なめし作用の弱い加水分解型タンニンは薬剤原料、インク、媒染剤などに利用されている。近年では、銅錯体化させた木材防腐剤、微細な木質系炭化物と混合させた液状炭化物、高温・高圧下で成形させた成形体、ホルムアルデヒドとの縮合（および他のホルムアルデヒド系樹脂との共縮合）によって樹脂化させた接着剤や重金属吸着剤、ポリエステル／ポリオールへの溶解後にジイソシアネートと反応させたポリウレタンなどが、タンニンより開発されている。さらに、タンニンが有する抗菌性、抗酸化性、抗齧触性、抗白蟻性、VOC吸着性などの有用特性から、抗菌繊維、抗酸化食品・医薬品、虫歯予防剤、防蟻剤、ホルムアルデヒド吸着剤などへの用途開拓が行われている。

2. 試験調査の目的

2.1 樹皮の再資源化に対する提案

樹皮はタンニンや抽出成分といった有用物質を含む貴重な資源である。しかし、タンニンを例にとってもその需要量は限られており、また、需要量増加の推移も著しく緩やかである。このことは、樹種間あるいは同一樹種内や同一個体内においても分布の差異が大きいこと、抽出処理には煩雑な操作と設備および多量のエネルギーが必要となることなどに起因する。従って、樹皮の有効利用を目的とする場合、樹皮から取り出した有用物質を対象とするのではなく、樹皮そのものを対象とすることが望ましい。

樹皮の直接的な利用においては、焼却処理時に発生する熱エネルギーの回収、また、埋設処理と他の有機物の微生物発酵とを組み合わせた堆肥の製造などは、技術が既に確立されており、それらの技術を高めることによって、さらに効果的な利用が可能であり、非常に有効である。しかし、これらの利用法によっては、樹皮はその一度に限ってのみ利用され、多段的な利用は不可能である。木材工業界における積極的な資源循環型システムを構築するためには、これらの一度に限定される利用法は最終的な利用法として位置付け、その前段階に一度あるいは複数度の再資源化を行うことが必要であろう。

樹皮に限らず、全ての材料・製品の再資源化で重要なことは、環境への負荷を可及的に抑制することである。すなわち、再資源化のプロセスにおいては消費するエネルギーや使用する薬剤などの量を低減させること、再資源化によって得られる製品には無害・無毒といった安全性を追求することなどが必須となる。安全性については、利用時のみならず、最終的な利用法に対しての障害、例えば、焼却時の有害なガスと焼却灰の発生、施肥時の有害な物質の蓄積などによる環境汚染は回避しなければならない。

廃樹皮の有効な再資源化技術を開発することを目的とする本試験調査では、樹皮からタンニンや他の成分を抽出するのではなく、樹皮を酸化処理し、樹皮に含有されるタン

ニンおよびリグニンの高分子化反応を利用した樹皮間接合によって接着剤を使用しない育苗・園芸用ポットのような簡易成形体の製造技術を検討した。

製造される成形体は、樹皮以外には、酸化剤とその活性化触媒を用いる他は一切の試薬を使用しないため、廃棄後の再利用に対しても障害はなく、利用時に土壌へ放置した状態であっても最終的には生分解される。また、一般的な樹皮ボードの製造技術と比較して、低温・低圧下での成形を行なえるため、省エネルギー生産が可能である。これらのことより、本技術は低環境負荷の廃樹皮再利用に対する一つのアプローチとなる。

2.2 樹皮の酸化処理と自己接着

接着剤を使用しない木材接着は木材中の含有成分を利用した自己接着のことであり、「ノンコンベンショナル接着」と称される。ノンコンベンショナル接着では、酸化処理による活性化、加熱処理による熱溶解、あるいは外部からの縮合薬剤の添加などによって、含有成分内や含有成分間を新たに結合させる。例えば、タンニンおよびリグニンとホルムアルデヒドとの縮合反応、タンニンおよびリグニンの酸化カップリング反応、あるいはフルフラールのようなヘミセルロースの加水分解物と低分子リグニンとの縮合反応などの作用によって、接着力は発現される。

ノンコンベンショナル接着やノンコンベンショナル・ボード製造では、チップやファイバーなどの木質エレメントも対象とされているが、樹皮、特に、針葉樹樹皮については盛んに研究されている。これは、接着力の発現に関与するタンニンおよびリグニンの含有割合が高く、大きな効果が得られることに基づいている。

本試験調査では、国産スギの樹皮を対象とした。わが国における樹皮の総排出量のおよそ35%が国産のスギとヒノキに由来するものであり、これは国産材に由来する樹皮の75%を占めるとされている。また、わが国におけるスギの蓄積量増加と利用量停滞は、現在の国内林業・林産業が抱える大きな問題の一つである。スギの廃樹皮を再資源化することが可能となれば、利用率（歩留まり）および利益率が向上し、ひいてはコストダウンへと繋がり、今後の積極的な需要増が期待される。

本試験調査では、酸化剤として過酸化水素水および過酢酸を、酸化触媒として鉄イオン(II)を使用して樹皮を酸化処理し、その後に熱圧縮して成形体を製造することを試みた。酸化処理によって、タンニンおよびリグニンには酸化カップリング反応による高分子化が起こる。同時に、リグニンには過酸化反応によってペルオキシド基が生成し、このペルオキシド基のラジカル分解によって生成するペルオキシラジカルと、リグニンのフェノール性水酸基の脱水素反応によって生成するフェノキシラジカルとが新たな結合を形成する。すなわち、酸化活性化による高分子化が起こる。これらの作用によって樹皮間が強固に接合することを期待する。

3. 試験調査の内容

3.1 供試材および試薬

樹皮には、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 由来のものを使用した。これは国内製材工場よりの剥皮工程より排出された、内樹皮と外樹皮が混合されたものである。

入手した樹皮から厚さ約 1.0~2.0mm のものを選出し、これを 3.0~10.0mm×10.0~30.0mm のサイズに切り揃えたものを樹皮エレメントとして供した。切り揃えた樹皮エレメントを写真 1 に示す。

樹皮エレメントは水洗した後に使用した。

過酸化水素水 (H_2O_2) は、市販の試薬特級品 (濃度 30%) を水で希釈した、濃度 5% のものを使用した。

過酢酸 (CH_3COOOH) は、過酸化水素水と無水酢酸 ($(CH_3CO)_2O$) とを等量混合し、24 時間放置して十分に過酢酸を生成させた後に使用した。

硫酸鉄 ($FeSO_4$) は、市販の試薬特級品をそのまま使用した。

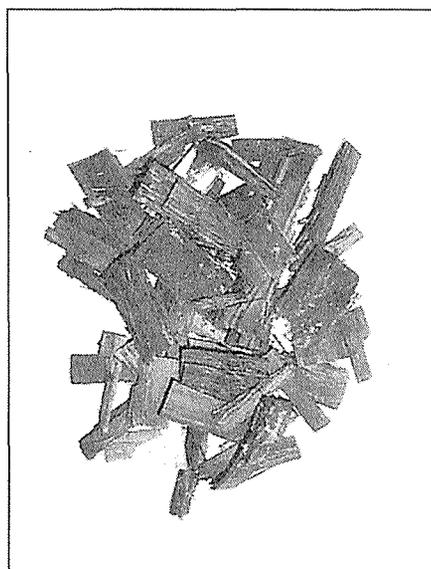


写真 1 供試したスギ樹皮

3.2 樹皮の酸化処理

樹皮の酸化処理は以下の手順によった。過酸化水素水あるいは過酢酸に所定量の硫酸鉄を溶解し、酸化処理液を調製した。このとき、酸化処理液中における鉄イオンと過酸化水素あるいは過酢酸のモル比を、鉄イオンモル比とした。

この酸化処理液に樹皮を重量比 5:1 となるように加え、25°C 下で緩やかに 1 時間攪拌

した後、ろ別によって樹皮を取り出した。その後、さらに 25°C 下で 23 時間静置した。

酸化処理後、樹皮を水洗して余剰の酸化処理液を除去した後、熱圧縮により成形した。過酸化水素水による酸化処理を施した樹皮を写真 2 に示す。

また、未処理の樹皮からの成形体は、酸化処理樹皮と同様に、水に 1 時間浸せきした後、ろ別し、23 時間静置した後に成形した。

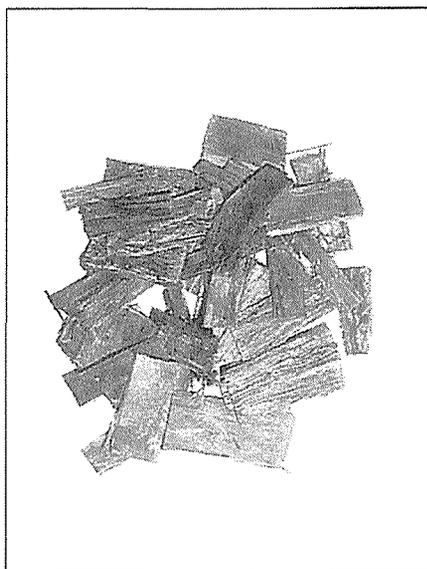


写真 2 過酸化水素水により酸化処理を施したスギ樹皮

3.3 熱圧縮による樹皮の成形加工

樹皮からカップ状成形体を製造するには、薄板状の構成部材を作製し、それらを組み合わせて成形する二段成形も考えられるが、本試験調査では、操作の簡便さから、凸凹組モールド(型)を用いた一段成形での製造を試みた。

樹皮の成形性に関する基礎的知見を得るために、平板状成形体を製造した。成形用のモールドは成形部サイズが 100mm×100mm のものを作製した(写真 3)。

油圧式ホットプレスの上下天板へ凸凹組モールドをそれぞれ固定し、モールドが所定の温度に達するまで、組み合わせた状態で予め加熱した後、モールドを開放し、凹型モールド内へ樹皮を積層配置した。このとき、樹皮をランダムに配置して積層した場合(ランダム積層、写真 4)と、繊維方向を揃えた樹皮層を 3 層直交させて積層した場合(配向積層、写真 5)の 2 法を検討した。

その後、成形体の厚さを規定するために所定の厚さのスペーサーを用い、圧縮温度 110~150°C、圧縮圧力 20~40kgf/cm²、圧縮時間 10~30 分間の条件下で熱圧縮し、目標密度

0.6g/cm³ の成形体を製造した。各々の条件下で、各 3 枚の成形体を製造した。熱圧縮による樹皮の成形加工の様子を写真 6 に示す。

得られた成形体は、20°C、60%RH 下にある恒温恒湿室内で 3 日間以上放置し、その後の試験に供した。

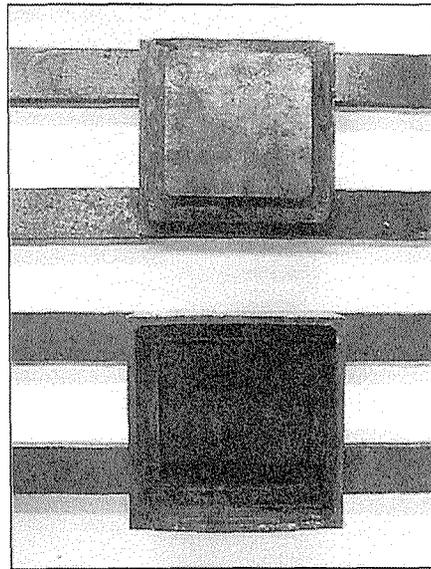


写真 3 平板状成形体製造用の凸凹組モールド

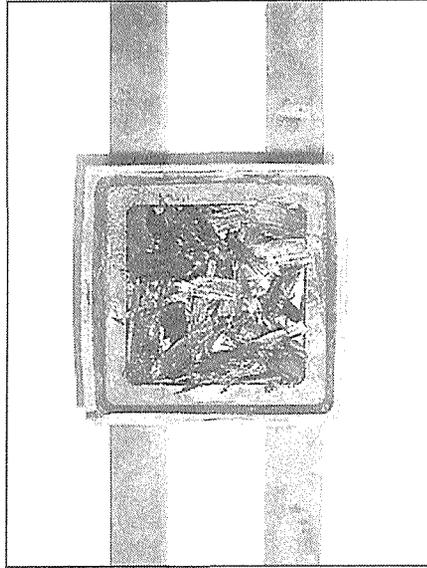


写真 4 凹型モールド内へランダム積層した樹皮

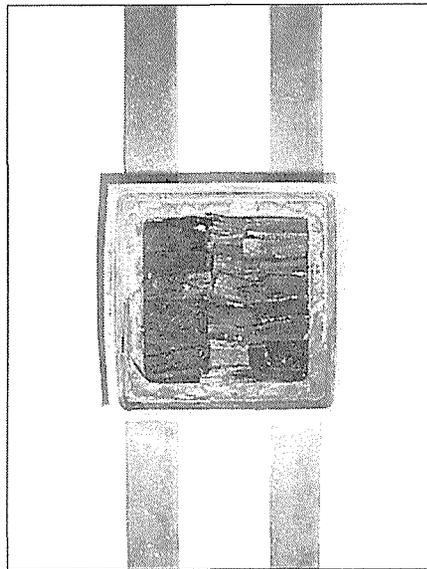


写真 5 凹型モールド内へ配向積層した樹皮

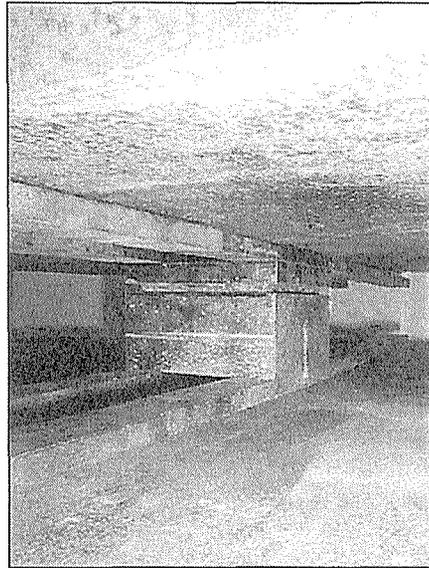


写真6 ホットプレスへ固定した凸凹組モールドによる熱圧縮

3.4 平板状成形体の物性評価

平板状成形体の動的粘弾性および耐水性を評価し、樹皮の自己接合性について検討した。

動的粘弾性は、一端支持打撃振動法によって評価した。各々の成形体より 15mm×60mm の試験片 5 枚を切り出し、試験に供した。試験片の一端をバイスへ固定し、自由端直近へマイクロフォンを設置し、これを増幅アンプを介して FFT スペクトルアナライザへ接続した。自由端をスティックによって打撃し、その際に発生する振動波をマイクロフォンで検知し、FFT スペクトルアナライザによって周波数解析を行ない、固有振動数を測定した。測定は 20°C、60%RH 下で行った。動的弾性率 E_d (MPa) は次式に従って算出した。

$$E_d = \frac{38.33 l^4 \rho}{d^2} f^2$$

ここで、 l (m) は固定端－自由端間距離、 ρ (kg/m³) は試験体密度、 d (m) は試験体厚さ、および f (Hz) は固有振動数である。

なお、成形体の動的粘弾性は、各々の試験片間の密度差を考慮し、比動的弾性率 E_d/ρ (MPa·m³·kg⁻¹) の平均値によって評価した。

耐水性は、24 時間水浸せき試験によって評価した。動的粘弾性評価に使用した試験片

を再度使用し、これを 25°C 下で水に浸せきした。24 時間経過後に試験片を取り出し、浸せき前後の重量および厚さの変化から、次式に従って、吸水率 WA (%)および厚さ膨潤率 TS (%)を、それぞれ算出した。

$$WA = \frac{W_{AS} - W_{BS}}{W_{BS}} \times 100$$

$$TS = \frac{T_{AS} - T_{BS}}{T_{BS}} \times 100$$

ここで、 W_{BS} (g)および W_{AS} (g)はそれぞれ浸せき前後の試験片質量であり、 T_{BS} (mm)および T_{AS} (mm)はそれぞれ浸せき前後の試験片厚さである。

3.5 樹皮のカップ状成形体への加工およびカップ状成形体の実用性評価

カップ状成形体は別種の凸凹組モールドを用い、同様の操作によって製造した。モールドは、成形部サイズが底面 80mm×80mm、深さ 30mm、底面－側面角 120°、および容量約 287mL のものを作製した (写真 7)。

カップ状成形体は、凹型モールド内へ樹皮をランダム積層し、圧縮温度 150°C、圧縮圧力 30kgf/cm²、および圧縮時間 10 分間の条件下で熱圧縮し、底面部厚さ 4mm の成形体を製造した。

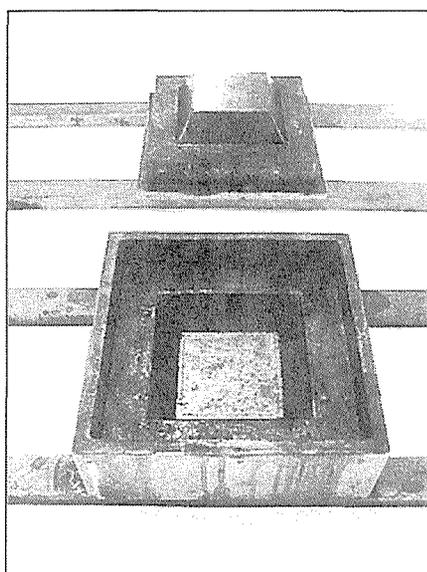


写真 7 カップ状成形体製造用の凸凹組モールド

カップ状成形体は、漏水試験、発芽試験、および生分解試験に供し、育苗・園芸用ポ

ットとしての実用性を評価した。

漏水性試験は、次のように行った。カップ状成形体へ水 200mL 程度を入れ、これを 20°C 下で 1 時間静置した。その後、カップ状成形体より漏出した水分量を測定し、漏水量 WL (mL)とした。

発芽試験は次のように行った。市販培養土 200mL 程度を入れたカップ状成形体を準備し、この中央部の成形体上面から深さ約 20mm のところへ、パンジー (*Viola tricolor*) の市販種子 3 粒を播種し、10mm 程度の覆土をした。これを風通しの良好な日陰の土壌へ据え置き、日に一度の灌水を行ないながら、発芽の様子を観察した。

生分解試験は、発芽試験を行う状況下で同時に行った。発芽試験に用いたカップ状成形体の重量を予め測定し、その重量の経時変化を調べた。

4. 試験調査の日程

平成 14 年 4 月から平成 14 年 8 月まで

5. 試験調査の結果

5.1 樹皮中のタンニンおよびリグニンの含有量

使用したスギ樹皮について、タンニンおよびリグニン含有量を求めた。タンニンについては水抽出により、リグニンについてはアルコール/ベンゼン抽出後、常法 (72%硫酸法) により、それぞれ定量した。タンニンおよびリグニンの含有量は、それぞれ 8.1% および 41.0% であった。酸化カップリング反応の主な対象であるタンニンの含有量は 10% 以下であったが、酸化活性化されるリグニンまでを含めると、フェノール性物質の含有量は樹皮重量の 1/2 程度であった。

なお、リグニンの抽出法や定量法については既に確立されているが、タンニンの抽出法・定量法については現在も盛んに検討されており、抽出法や抽出条件によって定量値は大きく異なっている。さらに、それぞれに抽出されたタンニンについても、様々な分析結果が示されている。本研究では、酸化カップリング反応によってタンニンを変成させており、その反応の程度を定量分析や定性分析によって追跡することは困難であると思われる。従って、樹皮成形体の特性から間接的に反応の程度を推察した。

5.2 樹皮の自己接合性

過酸化水素水処理樹皮をランダム積層した平板状成形体を写真 8 に示す。熱圧縮によって樹皮間が垂直方向および水平方向において接合され、成形体を得られた。同様に、未処理樹皮も熱圧縮前に水浸せきを行った場合には、酸化処理樹皮と同条件下での熱圧縮によって、成形が可能であった。しかし、気乾状態にある未処理樹皮に水浸せきを行わずに熱圧縮した場合は、成形が不可能であった。

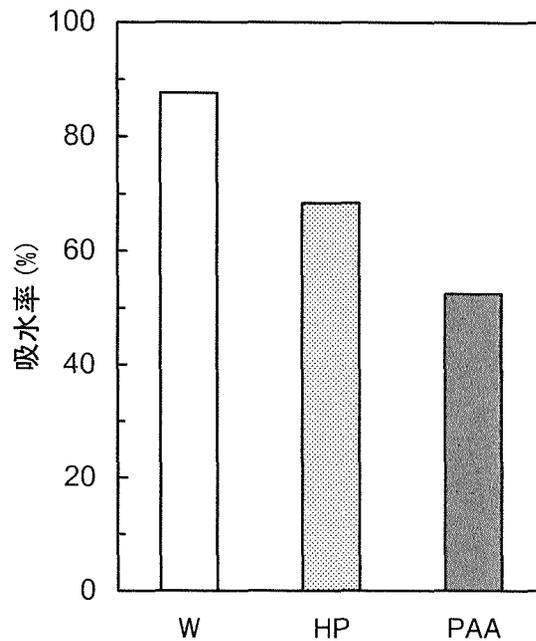


写真 8 ランダム積層した過酸化水素水処理樹皮からの平板状成形体

樹皮成形体の吸水率を図 1 に示す。未処理樹皮からの成形体の吸水率は 87.6%であった。これに対して、酸化処理した樹皮からの成形体の吸水率は、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 68.4%、過酢酸処理樹皮からのものでは 52.5%であった。樹皮を酸化処理することによって、成形体の吸水率は 20~35%程度も低下した。

樹皮成形体の厚さ膨潤率を図 2 に示す。成形体の厚さ膨潤率は、未処理樹皮からのものでは 35.4%であったが、過酸化水素水処理樹皮および過酢酸処理樹皮からのものでは、それぞれ 16.9%および 14.7%であった。樹皮を酸化処理することによって、成形体の厚さ膨潤率は 1/2 以下へと低下した。

樹皮成形体の比動的弾性率を図 3 に示す。成形体の比動的弾性率(単位： $\text{MPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$)は、未処理樹皮からのものでは 0.44 であったが、過酸化水素水処理樹皮および過酢酸処理樹皮からのものでは、それぞれ 0.64 および 0.86 であった。樹皮を酸化処理することによって、成形体の比動的弾性率は 1.5~2 倍程度も上昇した。



酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol

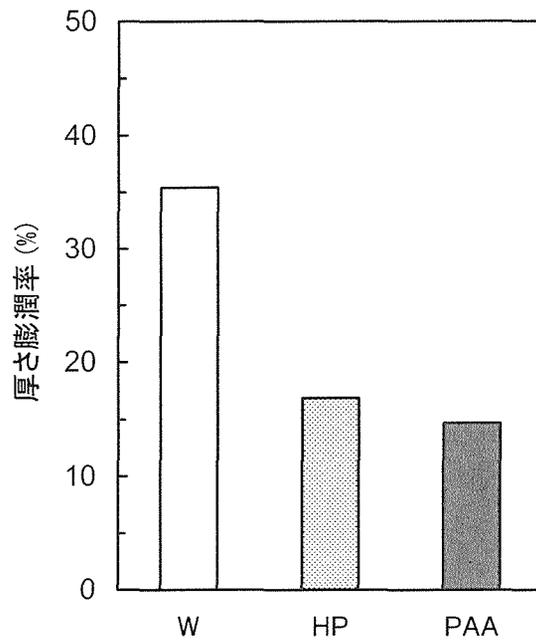
熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

略号：(W) 未処理樹皮、(HP) 過酸化水素水処理樹皮、(PAA) 過酢酸処理樹皮

図 1 ランダム積層樹皮成形体の吸水率

以上の結果から、樹皮を酸化処理することによって、成形体の耐水性、特に厚さ膨潤率、および動的粘弾性が著しく向上することが明らかとなった。酸化処理によって、樹皮中のタンニンの酸化カップリング反応、およびリグニンの酸化活性化が起こり、樹皮間が強固に接合されたものと思われる。また、樹皮は熱圧縮によって圧密化されるが、これらの反応によって、その圧密化状態も固定されたと思われる。このときの酸化処理については、過酸化水素水処理よりも過酢酸処理が効果的であった。



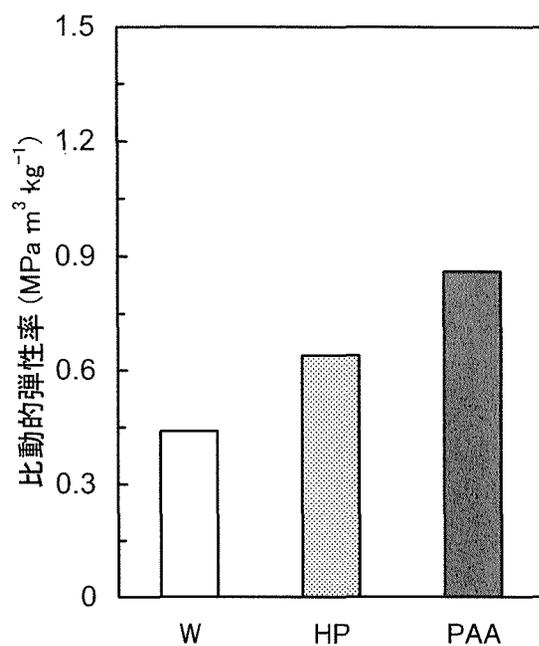
酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol

熱圧締条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

略号：(W) 未処理樹皮、(HP) 過酸化水素水処理樹皮、(PAA) 過酢酸処理樹皮

図 2 ランダム積層樹皮成形体の厚さ膨潤率



酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol

熱圧締条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

略号：(W) 未処理樹皮、(HP) 過酸化水素水処理樹皮、(PAA) 過酢酸処理樹皮

図3 ランダム積層樹皮成形体の比動的弾性率

5.3 樹皮積層状態の影響

配向積層した過酸化水素水処理樹皮からの平板状成形体を写真 9 に示す。配向積層の場合にも、未処理樹皮および酸化処理樹皮からは、共に成形体が得られた。

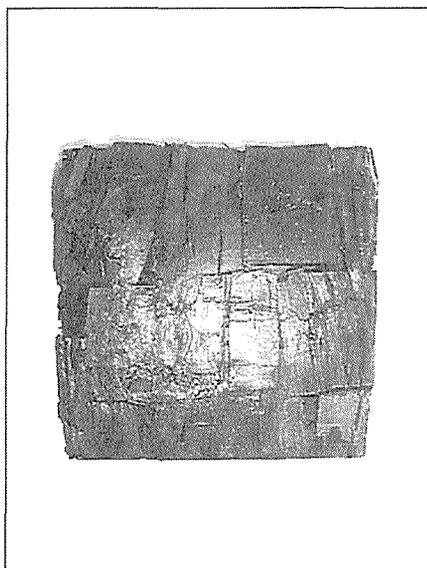


写真 8 配向積層した過酸化水素水処理樹皮からの平板状成形体

表 1 に、各樹皮をランダム積層あるいは配向積層した成形体の耐水性および動的粘弾性を示す。いずれの樹皮からの成形体においても、ランダム積層にしたものが配向積層にしたものよりも、吸水率および厚さ膨潤率は低い値を示し、比動的弾性率は高い値を示した。このとき、酸化処理樹皮からの成形体よりも未処理樹皮からのものにおいて、また、動的粘弾性よりも耐水性において、より明確な差異が認められた。

以上の結果より、樹皮の成形においては、樹皮を配向積層するよりもランダム積層する方が、より強固な接合が行われることが明らかとなった。特に、耐水性における差異はより明確であった。このことは、配向積層では成形体内部の空隙が多くなり、樹皮間の接合も不均一になることによると思われる。このとき、酸化処理樹皮からの成形体は、未処理樹皮からのものよりも、樹皮間に強い接合力が作用しているため、積層方法の影響が小さく現れたものと思われる。また、成形体の耐水性および動的粘弾性には、樹皮間の接合力と共に、樹皮の圧密化の効果も作用している。この圧密化の効果は水浸せき処理によって大きく低下するため、耐水性においては積層方法の影響が大きく現れたものと思われる。

表 1 ランダム積層および配向積層を行った樹皮成形体の耐水性および動的粘弾性

樹皮処理	樹皮積層	耐水性		比動的弾性率
		WA (%)	TS (%)	E_d/ρ (MPa·m ³ ·kg ⁻¹)
未処理	ランダム積層	87.6	35.4	0.44
	配向積層	96.3	47.1	0.37
過酸化水素水処理	ランダム積層	68.4	16.9	0.64
	配向積層	77.5	27.8	0.59
過酢酸処理	ランダム積層	52.5	14.7	0.86
	配向積層	57.1	23.9	0.82

酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol

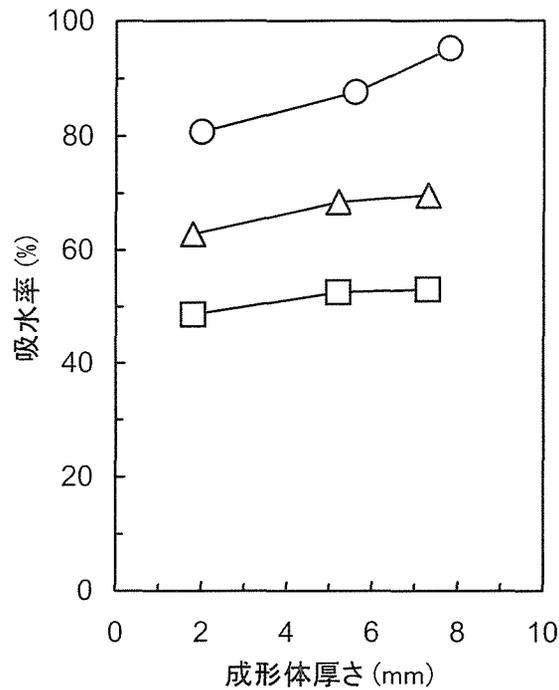
熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

略号：(WA) 吸水率、(TS) 厚さ膨潤率、(E_d/ρ) 比動的弾性率

5.4 成形体厚さの影響

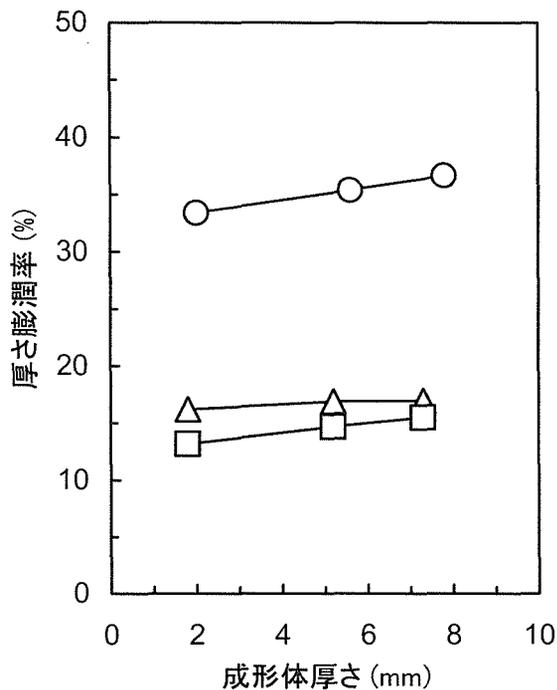
樹皮成形体の吸水率におよぼす成形体厚さの影響を図 4 に示す。未処理樹皮からの成形体の吸水率は、成形体厚さが 2.0mm、5.6mm、7.8mm へと増加するに従って、80.7%、87.6%、95.2%へと上昇した。酸化処理を施した樹皮からの成形体の吸水率は、成形体厚さが 1.8mm、5.2mm、7.3mm へと増加するに従って、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 62.8%、68.4%、69.6%へと、過酢酸処理樹皮からのものでは 48.6%、52.5%、53.0%へと、それぞれ上昇した。いずれの成形体においても、成形体厚さの増加に伴って吸水率は上昇したが、酸化処理樹皮からの成形体は未処理樹皮からのものよりもその程度が小さかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
 酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol
 熱圧締条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

図 4 ランダム積層樹皮成形体の吸水率におよぼす成形体厚さの影響

樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす成形体厚さの影響を図 5 に示す。吸水率と同様に、成形体厚さが増加するに従って、成形体の厚さ膨潤率は、未処理樹皮からのものでは 33.4%、35.4%、36.7%へと、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 16.2%、16.9%、17.0%へと、過酢酸処理樹皮からのものでは 13.2%、14.7%、15.5%へと、それぞれ上昇した。成形体厚さ増加に伴う厚さ膨潤率上昇の程度は、未処理樹皮からの成形体が酸化処理樹皮からのものよりも大きかった。



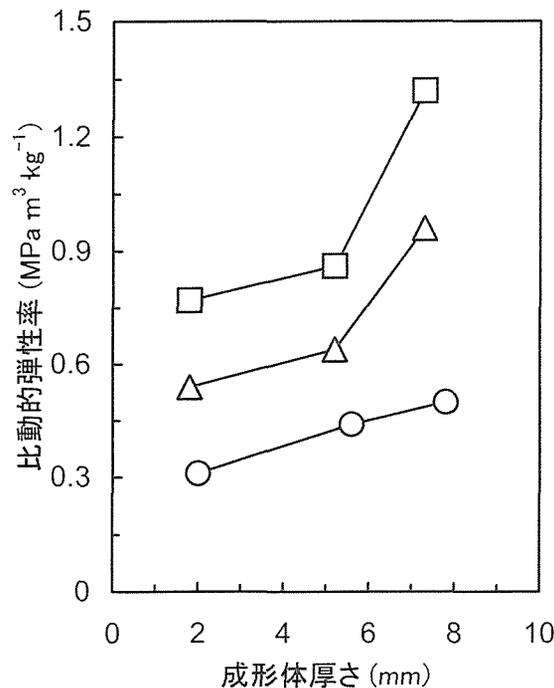
プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮

酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol

熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

図 5 ランダム積層樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす成形体厚さの影響

樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす成形体厚さの影響を図 6 に示す。成形体厚さが増加するに従って、成形体の比動的弾性率(単位：MPa・m³・kg⁻¹)は、未処理樹皮からのものでは 0.31、0.44、0.50 へ、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 0.54、0.64、0.96 へ、および過酢酸処理樹皮からのものでは 0.77、0.86、1.32 へと、それぞれ上昇した。酸化処理樹皮からの成形体については、成形体厚さが 5.2mm から 7.3mm へと増加した際に、比動的弾性率の著しい上昇が認められた。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮

酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol

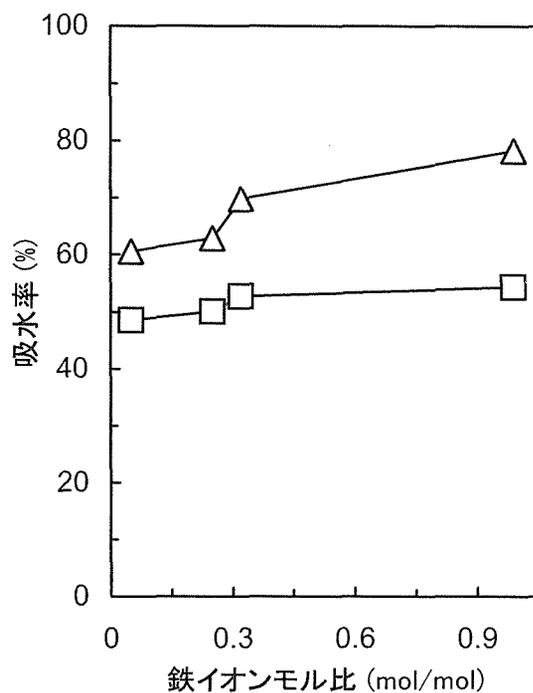
熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

図 6 ランダム積層樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす成形体厚さの影響

以上の結果から、成形体厚さが増加するに従って、成形体の耐水性は低下するが、動的粘弾性は向上することが明らかとなった。酸化処理樹皮からの成形体については、耐水性低下の程度が小さく、かつ、動的粘弾性上昇の程度が大きいことより、成形体の厚さが増加しても、成形体の中心部まで強固に接合されていたと思われる。

5.5 酸化処理液の鉄イオンモル比の影響

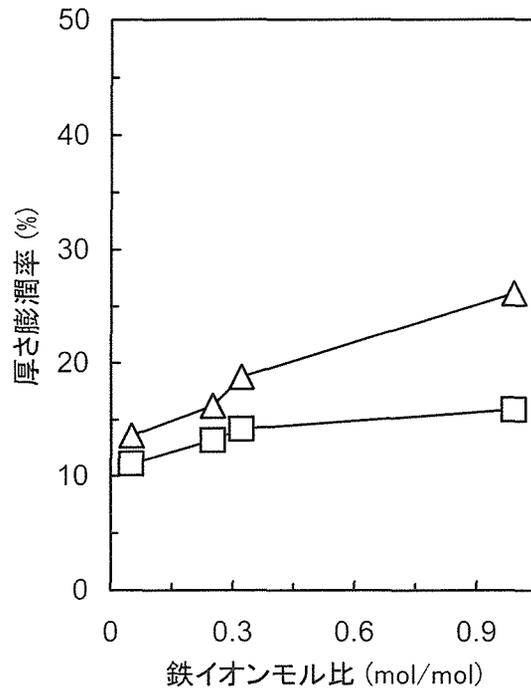
酸化処理した樹皮からの成形体の吸水率におよぼす酸化処理液の鉄イオンモル比の影響を図 7 に示す。鉄イオンモル比が 0.05 から 0.99 へと増加するに従って、成形体の吸水率は、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 60.6% から 78.3% へと、過酢酸処理樹皮からのものでは 48.6% から 54.4% へと、それぞれ緩やかに上昇した。鉄イオンモル比増加に伴う吸水率上昇の程度は、過酸化水素水処理樹皮からの成形体が過酢酸処理樹皮からのものよりも大きかった。



プロット：(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
 熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間
 成形体厚さ：1.8mm

図 7 ランダム樹皮成形体の吸水率におよぼす鉄イオンモル比の影響

酸化処理した樹皮からの成形体の厚さ膨潤率におよぼす酸化処理液の鉄イオンモル比の影響を図 8 に示す。吸水率と同様に、鉄イオンモル比が増加するに従って、成形体の厚さ膨潤率は、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 13.6%から 26.1%へと、過酢酸処理樹皮からのものでは 11.1%から 15.9%へと、それぞれ緩やかに上昇した。鉄イオンモル比増加に伴う厚さ膨潤率上昇の程度は、過酸化水素水処理樹皮からの成形体が過酢酸処理樹皮からのものよりも大きかった。



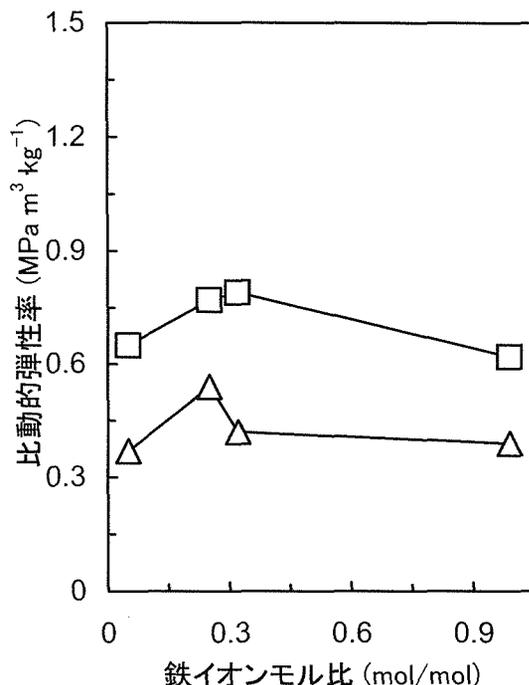
プロット：(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
 熱圧締条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間
 成形体厚さ：1.8mm

図 8 ランダム樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす鉄イオンモル比の影響

酸化処理した樹皮からの成形体の比動的弾性率におよぼす酸化処理液の鉄イオンモル比の影響を図 9 に示す。鉄イオンモル比が増加するに従って、成形体の比動的弾性率は、過酸化水素水処理樹皮からのものでは鉄イオンモル比 0.25 のときに $0.54\text{MPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ となり、過酢酸処理樹皮からのものでは鉄イオンモル比 0.32 のときに $0.79\text{MPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ となり、それぞれ最大値を示した。鉄イオンモル比がさらに増加すると、両樹皮からの成形体においても、比動的弾性率は次第に低下した。

以上の結果から、酸化処理液の鉄イオンモル比が増加するに従って、成形体の耐水性は低下し、動的粘弾性については最大値を示す鉄イオンモル比が存在することが明らかとなった。これより、樹皮中のタンニンおよびグニンの酸化剤による反応においては、触媒として少量の金属イオンを添加することが効果的であると思われる。しかし、金属イオンが過剰に存在すると、酸化反応に伴う低分子化が進行し、部分的な溶脱が起こるために、成形体を構成する樹皮の空隙増加や強度低下が生じた結果、耐水性および動的

粘弾性が低下したと思われる。さらに、酸化処理に用いた過酸化水素水と過酢酸とを比較すると、耐水性における鉄イオンモル比の影響は、過酸化水素水を用いたときの方がより明確に現れた。このことは、過酢酸処理樹皮からの成形体は、過酸化水素水処理樹皮からのものよりも、総じて耐水性および動的粘弾性に優れていたため、鉄イオンモル比の影響が小さくなったことによると思われる。



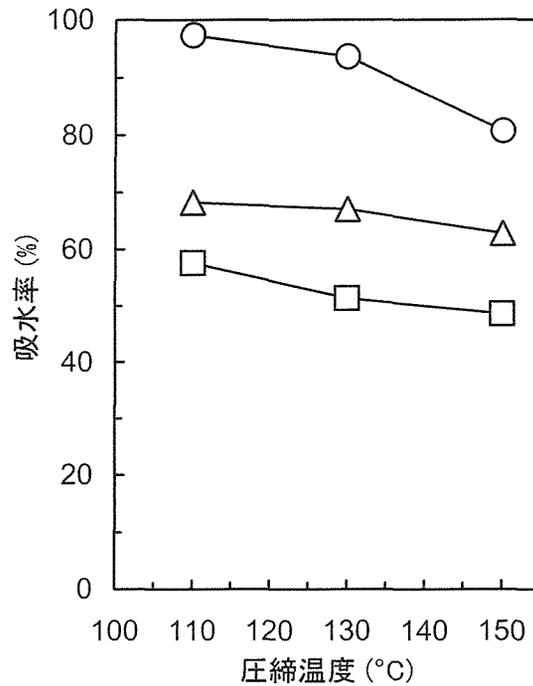
プロット：(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
 熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間
 成形体厚さ：1.8mm

図 9 ランダム樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす鉄イオンモル比の影響

5.6 熱圧縮温度の影響

樹皮成形体の吸水率におよぼす熱圧縮温度の影響を図 10 に示す。未処理樹皮からの成形体では、熱圧縮温度が 110°C、130°C、150°C へと上昇するに従って、吸水率は 97.3%、93.6%、80.7%へと低下した。過酸化水素水処理と過酢酸処理した樹皮からの成形体の吸水率は、過酸化水素水処理が 68.2%、67.7%、62.8%、過酢酸処理が 57.6%、51.3%、48.6%へと、それぞれ低下した。いずれの成形体においても、熱圧縮温度の上昇に伴って吸水率は低下したが、未処理樹皮からの成形体は酸化処理樹皮からのものよりも低下の程度

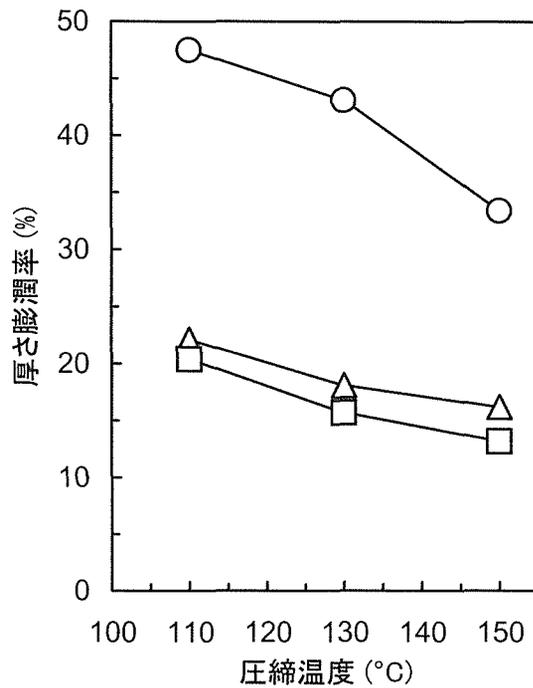
が大きかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol
熱圧縮条件：圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間
成形体厚さ：1.8mm (酸化処理樹皮)、2.0mm (未処理樹皮)

図 10 ランダム積層樹皮成形体の吸水率におよぼす熱圧縮温度の影響

樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす熱圧縮温度の影響を図 11 に示す。吸水率と同様に、熱圧縮温度が上昇するに従って、成形体の厚さ膨潤率は、未処理樹皮からのものでは 47.5%、43.1%、33.4%へと、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 22.1%、18.1%、16.2%へと、過酢酸処理樹皮からのものでは 20.4%、15.7%、13.2%へと、それぞれ低下した。いずれの成形体においても、熱圧縮温度の上昇に伴って厚さ膨潤率は低下したが、未処理樹皮からの成形体において、最も大きい熱圧縮温度上昇による厚さ膨潤率の低下が認められた。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮

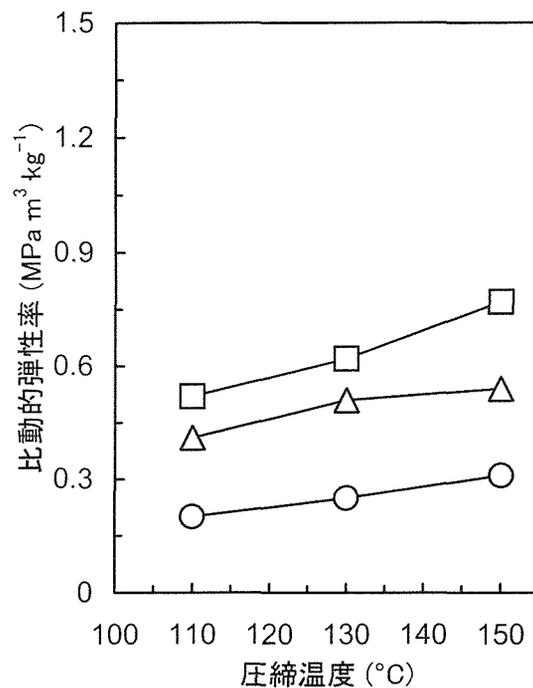
酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol

熱圧縮条件：圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

成形体厚さ：1.8mm（酸化処理樹皮）、2.0mm（未処理樹皮）

図 11 ランダム樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす熱圧縮温度の影響

樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす熱圧縮温度の影響を図 12 に示す。熱圧縮温度が上昇するに従って、成形体の比動的弾性率(単位：MPa·m³·kg⁻¹)は、未処理樹皮からのものでは 0.20、0.25、0.31 へと、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 0.41、0.51、0.54 へと、および過酢酸処理樹皮からのものでは 0.52、0.62、0.77 へと、それぞれ上昇した。いずれの成形体においても、熱圧縮温度の上昇に伴って比動的弾性率は上昇したが、過酢酸処理樹皮からの成形体が最も大きい比動的弾性率の上昇を示した。



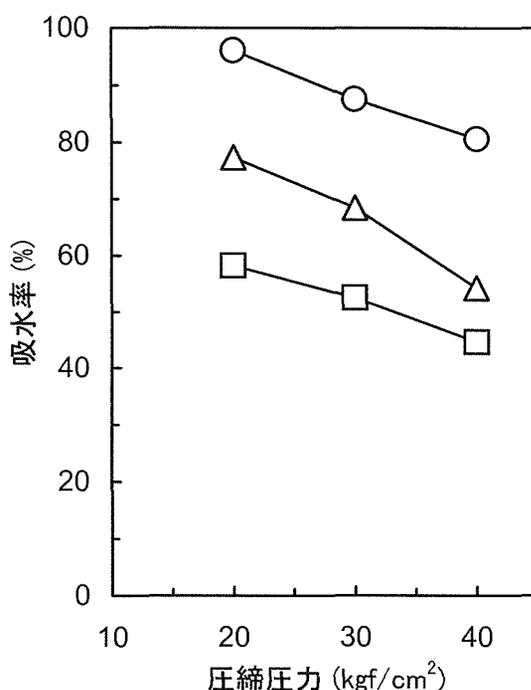
プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
 酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol
 熱圧縮条件：圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間
 成形体厚さ：1.8mm (酸化処理樹皮)、2.0mm (未処理樹皮)

図 12 ランダム樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす熱圧縮温度の影響

以上の結果から、熱圧縮温度が上昇するに従って、成形体の耐水性および動的粘弾性が向上することが明らかとなった。このとき、耐水性については未処理樹皮からの成形体が、動的粘弾性については過酢酸処理樹皮からの成形体が、それぞれ最も大きい上昇を示した。熱圧縮温度の上昇によって、タンニンの酸化カップリング反応とリグニンの酸化活性化、および樹皮の熱軟化が促進され、樹皮間の自己接合が強固に行われたと思われる。

5.7 熱圧縮圧力の影響

樹皮成形体の吸水率におよぼす熱圧縮圧力の影響を図 13 に示す。未処理樹皮からの成形体では、熱圧縮圧力が 20kgf/cm²、30kgf/cm²、40kgf/cm² へと上昇するに従って、吸水率は 96.1%、87.6%、80.6%へと低下した。過酸化水素水処理と過酢酸処理した樹皮からの成形体の吸水率は、過酸化水素水処理が 77.3%、68.4%、54.2%、過酢酸処理が 58.2%、52.5%、44.6%へと、それぞれ低下した。いずれの成形体においても、熱圧縮圧力の上昇に伴って吸水率は低下したが、このときの低下の程度には、各樹皮間において明らかな差異は認められなかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮

酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol

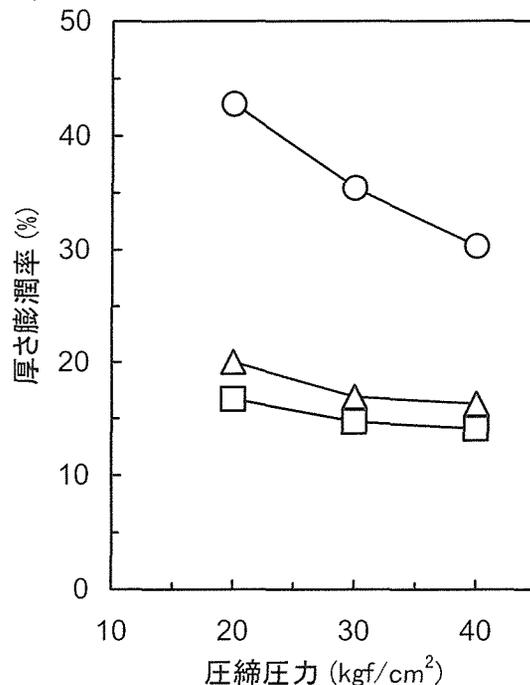
熱圧縮条件：温度 150°C、時間 10 分間

成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

図 13 ランダム積層樹皮成形体の吸水率におよぼす熱圧縮圧力の影響

樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす熱圧縮圧力の影響を図 14 に示す。吸水率と同様に、熱圧縮圧力が上昇するに従って、成形体の厚さ膨潤率は、未処理樹皮からのものでは 42.8%、35.4%、30.3%へと、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 20.0%、16.9%、16.3%

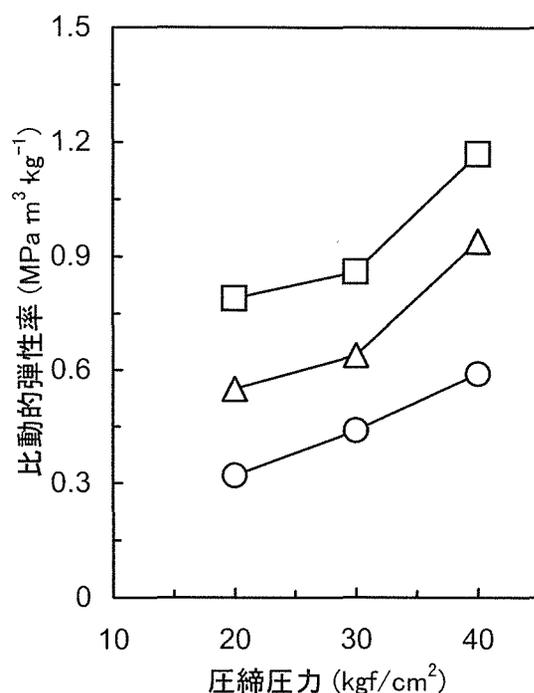
へと、過酢酸処理樹皮からのものでは 16.7%、14.7%、14.1%へと、それぞれ低下した。熱圧縮圧力上昇に伴う厚さ膨潤率低下の程度は、未処理樹皮からの成形体が酸化処理樹皮からのものよりも大きかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
 酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol
 熱圧縮条件：温度 150°C、時間 10 分間
 成形体厚さ：5.2mm (酸化処理樹皮)、5.6mm (未処理樹皮)

図 14 ランダム樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす熱圧縮圧力の影響

樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす熱圧縮圧力の影響を図 15 に示す。熱圧縮圧力が上昇するに従って、成形体の比動的弾性率(単位：MPa·m³·kg⁻¹)は、未処理樹皮からのものでは 0.32、0.44、0.59 へと、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 0.55、0.64、0.94 へと、および過酢酸処理樹皮からのものでは 0.79、0.86、1.17 へと、それぞれ上昇した。いずれの成形体においても、熱圧縮圧力の上昇に伴って比動的弾性率は上昇したが、このときの上昇の程度には、各樹皮間において明らかな差異は認められなかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮

酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.25mol/mol

熱圧縮条件：温度 150°C、時間 10 分間

成形体厚さ：5.2mm (酸化処理樹皮)、5.6mm (未処理樹皮)

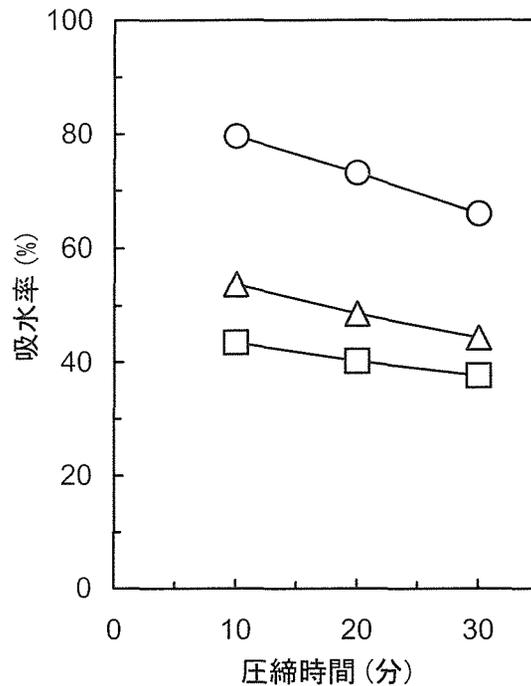
図 15 ランダム樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす熱圧縮圧力の影響

以上の結果から、熱圧縮圧力が上昇するに従って、成形体の耐水性および動的粘弾性は向上することが明らかとなった。熱圧縮圧力の上昇によって、樹皮間が強く圧着されると共に、樹皮が高度に圧密化され、樹皮間が強固に接合されたと思われる。

5.8 熱圧縮時間の影響

樹皮成形体の吸水率におよぼす熱圧縮時間の影響を図 16 に示す。未処理樹皮からの成形体では、熱圧縮時間が 10 分、20 分、30 分へと増加するに従って、吸水率は 79.6%、73.1%、65.9%へと低下した。過酸化水素水処理と過酢酸処理した樹皮からの成形体の吸水率は、過酸化水素水処理が 53.7%、48.6%、44.3%、過酢酸処理が 43.5%、40.2%、37.6%へと、それぞれ低下した。いずれの成形体においても、熱圧縮時間の増加に伴って吸水率は低下したが、未処理樹皮からの成形体は酸化処理樹皮からのものよりもその程度が

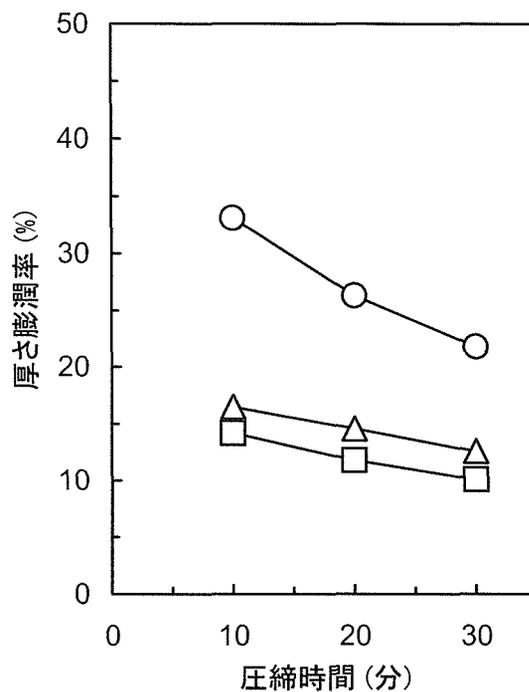
大きかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol
熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 40kgf/cm²
成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

図 16 ランダム積層樹皮成形体の吸水率におよぼす熱圧縮時間の影響

樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす熱圧縮時間の影響を図 17 に示す。吸水率と同様に、熱圧縮時間が増加するに従って、成形体の厚さ膨潤率は、未処理樹皮からのものでは 33.1%、26.3%、21.8%へと、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 16.5%、14.6%、12.6%へと、および過酢酸処理樹皮からのものでは 14.2%、11.8%、10.1%へと、それぞれ低下した。熱圧縮時間増加に伴う厚さ膨潤率低下の程度は、未処理樹皮からの成形体が酸化処理樹皮からのものよりも大きかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮

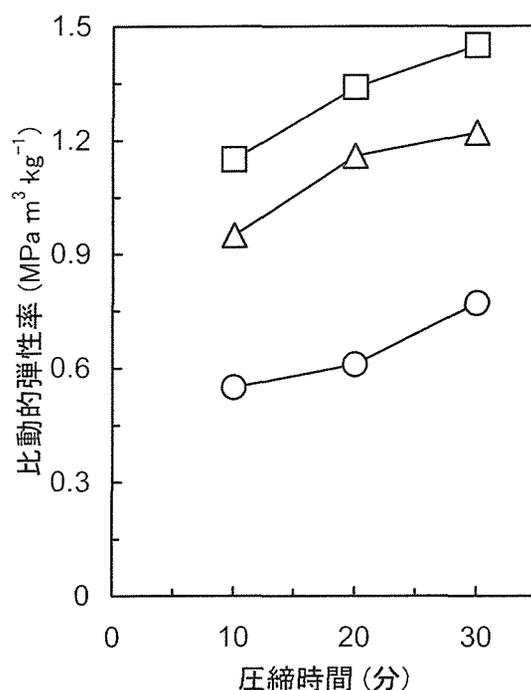
酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol

熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 40kgf/cm²

成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

図 17 ランダム樹皮成形体の厚さ膨潤率におよぼす熱圧縮時間の影響

樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす熱圧縮時間の影響を図 18 に示す。熱圧縮時間が増加するに従って、成形体の比動的弾性率(単位：MPa・m³・kg⁻¹)は、未処理樹皮からのものでは 0.55、0.61、0.77 へと、過酸化水素水処理樹皮からのものでは 0.95、1.16、1.31 へと、および過酢酸処理樹皮からのものでは 1.15、1.34、1.46 へと、それぞれ上昇した。いずれの成形体においても、熱圧縮時間の増加に伴って比動的弾性率は上昇したが、このときの上昇の程度には、各樹皮間において明らかな差異は認められなかった。



プロット：(○) 未処理樹皮、(△) 過酸化水素水処理樹皮、(□) 過酢酸処理樹皮
 酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol
 熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 40kgf/cm²
 成形体厚さ：5.2mm（酸化処理樹皮）、5.6mm（未処理樹皮）

図 18 ランダム樹皮成形体の比動的弾性率におよぼす熱圧縮時間の影響

以上の結果から、熱圧縮時間が増加するに従って、成形体の耐水性および動的粘弾性は向上することが明らかとなった。このことは、熱圧縮時間の増加によって、樹皮間の接合が十分に行われたことによると思われる。

5.9 カップ状成形体への加工性およびカップ状成形体の実用性

カップ状成形体製造の試行段階において、モールド内に均一に樹皮を積層すると、得られた成形体の厚さは側面部が底面部よりも薄くなる傾向にあった。そのため、成形体の側面部に相当するモールドの側面部には、中央部よりも樹皮を多く積層することとした。これにより、側面部と底面部の厚さが共に目標とする値（本試験調査では 4mm）となる成形体を得られた。

ランダム積層を行った過酸化水素水処理樹皮からのカップ状成形体を写真 10 に示す。

当初は、カップ状成形体を製造する際には、成形体が全体的に薄い作りであるために、底面部と側面部とのエッジ、および側面部間のコーナーにおいて、“割れ”が発生することも予測された。しかし、得られた成形体は、熱圧縮直後も、また、恒温恒湿室内や実験室内で放置している間にも、“割れ”が発生することはなかった。これは、未処理樹皮からの成形体においても同様であった。

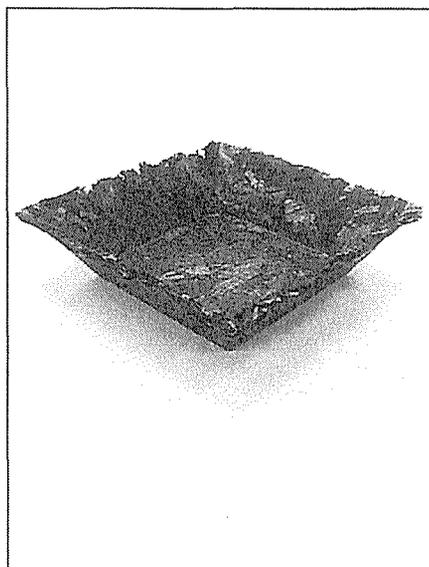


写真 10 ランダム積層とした過酸化水素水処理樹皮からのカップ状成形体

なお、写真 10 において認められる側面部の上端での“欠け”は、成形時の“バリ”を切除する際に発生したものであり、成形後の成形体は均一な側面部を有していた。未処理樹皮からの成形体においては、樹皮間の接合が不十分であり、“バリ”を切除する際に、成形体から樹皮が欠落していくことによって、この“欠け”がより多く発生した。

平板状成形体の物性評価より得られた結果から推察すると、未処理樹皮から良好なカップ状成形体を製造するためには、酸化処理樹皮から製造する場合よりも、高温、高圧、あるいは長時間の熱圧縮条件を要すると思われる。

また、成形時の“バリ”の発生を抑制する方法や、成形体からの“バリ”の切除方法については、さらに検討を行う必要がある。

表 2 に、未処理樹皮および酸化処理樹皮からのカップ状成形体の漏水率を示す。未処理のカップ状成形体では、漏水量は 8.4mL であった。このとき、カップ状成形体の側面部間のコーナーにおいて、“割れ”が発生するものもあった。これに対して、酸化処理樹皮を施した樹皮からのカップ状成形体の漏水量は、過酸化水素水処理樹皮からのもので

は 3.7mL、および過酢酸処理樹皮からのものでは 2.4mL であった。また、酸化処理樹皮からのカップ状成形体では、“割れ”は発生しなかった。以上の結果より、樹皮を酸化処理することによって、カップ状成形体の漏水性と耐水性は著しく改善されることが明らかとなった。

表 2 ランダム積層とした樹皮からのカップ状樹皮成形体の漏水性

樹 皮 処 理	漏 水 量 (mL)
未 処 理	8.4
過 酸 化 水 素 水 処 理	3.7
過 酢 酸 処 理	2.4

酸化処理条件：鉄イオンモル比 0.32mol/mol

熱圧縮条件：温度 150°C、圧力 30kgf/cm²、時間 10 分間

成形体厚さ：4.1mm

なお、このカップ状成形体を育苗・園芸用ポットとして使用する際には、カップ内へ培養土が充填された状態で使用されることになる。従って、培養土の保水力を加味すると、酸化処理樹皮からのカップ状成形体は、育苗・園芸用ポットとして十分な保水性を発現することが期待される。

カップ状成形体を用いた発芽試験のこれまでの結果は次のとおりである。パンジー種子の播種後 1 週間から 10 日間程度で発芽することを期待していたが、播種後 5 週間程度が経過した段階でも、発芽は起らなかった。播種後 2 週間の時点で種子の確認を行ったが、乾燥や腐れなどは発生しておらず、播種前と比較して、種子の状態に変化は認められなかった。種子の発芽にとっては外気温が高い時期であり、発芽条件が整っていないことが原因と思われる。なお、このような試験経過には、いずれの樹皮からのカップ状成形体においても、明確な差異は認められなかった。

カップ状成形体の生分解試験のこれまでの結果は次のとおりである。発芽試験と同様に、土壌埋設後 5 週間程度が経過した段階では、カップ状成形体に明確な形状の変化は認められなかった。埋設後 2 週間の時点での重量減少はほとんど認められなかった。し

かし、酸化処理を施した樹皮からのカップ状成形体では各部位が脆くなったことが確認された。水分存在下での部分的な加水分解が顕著に進行したと思われる。

6. 実用化の見通し

本試験調査においては、可及的に軽度な処理と可及的に温和な熱圧縮条件によって、廃樹皮から立体的な成形体を製造することが目的であった。結果として、樹皮を予め酸化処理した後に、モールドを用いた熱圧縮を行うことによって、カップ状の成形体を得ることができた。このようにして製造したカップ状成形体は、耐水性、動的粘弾性、および保水性を有しており、育苗・園芸用ポットとしての利用が期待される。樹皮成形体の樹皮ポットとしての実用化においては、低い厚さ膨潤率からすると、相対的に高い吸水率を示す特徴的な耐水性が、汎用されているプラスチック製ポットと比較して、極めて優位に働くと思われる。すなわち、ポットと培養土によるものを合せた保水量が多くなるために、灌水頻度を減じることができ、また、培養土の乾燥も抑制されると思われる。さらに、樹皮の酸化処理によって、その構成成分は部分的に酸化分解されており、樹皮ポットは速やかに生分解され、利用後に土壌へ放置した際には、樹皮の一部、あるいは全てが堆肥化されると思われる。これは、既存の生分解性プラスチックから製造されたポットは有さない機能であり、樹皮ポットの差別化を図る上での大きな特徴となると思われる。なお、本試験調査における手法によっては、より複雑なものを含めて、様々な形状のポットあるいは成形体も製造することが可能となると思われる。

また、成形体についての基礎的な知見を得るために平板状の成形体も製造した。これは、接着剤を使用しない、樹皮間の自己接合のみによる成形体である。その特性を評価した結果から、樹皮ボードとしての可能性も見出された。最適な条件を選定することによって、自己接合型の樹皮ボードを製造することが期待される。

なお、本試験調査期間終了後、平成14年9月より平成15年2月までの間に、実用化に向けて行った追加試験調査結果について、その概略を次項以下に紹介する。

7. 追加試験調査結果および今後の対応

過酢酸を用いて樹皮を酸化処理した後に熱圧縮すると、樹皮間には強固な接合性が発現され、成形体の性能が著しく向上することが明らかとなった。本試験調査では、扱い易さの点から過酢酸を使用した。同じ過酸には過硫酸や過リン酸がある。これまでに、低温下での過酸処理によって木材中のリグノセルロースが効率的に酸化活性化されると共に、軽度到低分子化されることを明らかにしている。そして、酸化力の強い過硫酸や過リン酸によって処理すると、それらの反応が促進されることも明らかとなっている。従って、過酢酸に代わり、過硫酸や過リン酸を用いて樹皮を酸化処理することによって、得られる成形体の性能がさらに向上することが期待される。

過硫酸を用いた酸化処理について、検討を開始した。過硫酸処理によっても、過酢酸

処理と同様に、樹皮間の接合が確認された。得られた成形体は、過酢酸処理によって得られたものと同等の耐水性および動的粘弾性を示し、用いた過酸による顕著な差異は認められなかった。酸化処理後の樹皮の重量減少率は、過硫酸処理樹皮は過酢酸処理樹皮よりも高くなった。本研究における酸化処理は比較的温和な条件下で行っており、樹皮の構成成分の内、セルロースは殆ど作用を受けず、樹皮中のタンニンおよびリグニンといったフェノール性物質が優先的に酸化作用を受ける。従って、過硫酸処理によっては、フェノール性物質がより強い酸化作用を受けた結果、低分子化が進み、溶脱分が増加したと思われる。このようなフェノール性物質の溶脱は、樹皮成形体の物性を低下させるものと思われたが、耐水性および動的粘弾性には低下が認められなかった。樹皮エレメントにおいて、酸化カップリング反応の対象であるフェノール性物質の含有量は減少したが、一方で、その影響によって、残存するセルロース繊維間の絡合の程度が増加したことによることが推察される。以上のように、用いる過酸によって樹皮の酸化反応性および成形性は異なったが、いずれが最適であるか、また最適な処理条件については、さらに詳細な調査を進めて行く予定である。

平板状成形体では、樹皮接合ボードとしての利用が期待される性能を有するものも製造した。樹皮エレメントのサイズ、酸化処理条件、および熱圧縮条件などについて検討を行ない、自己接合のみによる樹皮ボード製造の可能性を調査する予定である。

また、合板やLVLに用いる単板に対して過酸処理を行った結果、樹皮に対してと同様に、自己接合性が認められた。樹皮単独では得られるボードの強度性能は低いが、その外層に単板を配置することによって、強度は改善されると思われる。さらに、内装の強度の低い樹皮接合部は、振動や音に対する緩衝性を発現することも期待される。単板エレメント製造における単板切削においては乱尺単板が排出されるが、その再資源化法の一つのアプローチとして、このような廃材複合型ボードの開発について検討を進めて行く予定である。この点に関して、現在の木材工業界においては、廃材利用が積極的に取り組まれるようになってきているが、業種や生産品種によって排出される廃材が異なっていることもあり、各会社あるいはそれぞれの工場・事業所を単位として行われている（あるいは検討されている）ケースが多い。しかし、木材工業界全体として、予め廃材の再資源化・再利用を念頭においた製材品・木質材料の製造技術への転換を加速させるためには、樹皮、単板、小片あるいは繊維といった、各々で排出される廃材を複合的に取り扱う実践主体を設置することも必要ではないかと思われる。

カップ状成形体については、育苗・園芸用ポットとしての実用性の評価を継続して行なっていく予定である。培養土や培養マットなどの敷設下での漏水試験、各種の種子や苗木を用いた発芽・育苗試験、長期間にわたる生分解試験なども行う予定である。発芽・育苗試験や生分解性試験では、人工環境下での試験も計画している。

なお、発芽・育苗試験に関連して、カップ状成形体を用いたチューリップ (*Tulipa gesneriana*) の植え付け試験を行った。球根および培養土には市販のものを用い、平成 14

年10月末に植え付けを行った。市販のプラスチック製プランターへも同様に植え付け、球根の発芽および生育を比較観察した結果、いずれの球根も同時期に発芽し、生育状態も同様であった。これより、カップ状試験体における球根の発芽・育成には問題がないと確認された。なお、カップ状成形体は、発芽直後までは形状に大きな変化は認められなかったが、それ以降は根の生育に伴って段階的に崩壊した（これを確認した後、球根はプランターへ移植した）。このような形状崩壊は、樹皮成形体を最終的にはバーク堆肥として機能させること考慮すると、その利用においてプラスに作用すると考えられるが、育苗途中での形状崩壊は問題となることが予想される。樹皮成形体について、その物性の制御と同様に、その崩壊速度の制御についても検討を行う必要があると思われる。

8. 特筆すべき成果

樹皮を熱圧縮し、樹皮間に働く自己接合力を利用して、成形体を製造した。このとき、樹皮を予め過酢酸によって酸化処理すると、樹皮内部のタンニンの酸化カップリング反応、およびリグニンの酸化活性化が進行し、比較的温和な熱圧縮条件下においても、樹皮間は強固に接合され、耐水性および動的粘弾性に優れた性能を有する成形体を得られた。このとき、酸化処理に用いる酸化剤に過酢酸を用いる、樹皮をランダムに積層する、また、熱圧縮における温度、圧力、および時間を増加することなどによって、その効果が増大することが明らかとなった。また、酸化処理において、より強い酸化力を有する過硫酸を用いることによって、樹皮中のフェノール性物質の溶脱量は増加したが、得られた成形体の物性には変化が認められなかった。

このような樹皮の酸化処理と立体的なモールドを用いた熱圧縮によって得られたカップ状成形体は保水性に優れ、高度の湿潤下においても、その形状は崩壊することなく維持された。チューリップ球根は、このカップ状樹皮成形体によって、発芽および育成が可能であった。

参考文献

1. 鶴田夏日、第22回木材接着研究会講演要旨集（福岡）、8-13（2001）。
2. 見尾貞治、（社）日本木材加工技術協会中国支部講演会「木質系廃棄物の再資源化」要旨集（松江）、1-6（2001）。
3. 大原誠資、木材工業、56(5)、209-215（2001）。
4. Y. Nishikawa, M. Yoshinobu, N. Kinoshita, T. Nakao, and M. Kawada, Proceedings of 10th International Symposium on Wood and Pulping Chemistry (Yokohama, Japan), 3, 452-455 (1999).
5. M. Yoshinobu, A. Hasei, N. Kinoshita, C. Tanaka, Y. Nishikawa, and M. Kawada, Proceedings of the 4th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium (Bogor, Indonesia), 489-498 (1998).

6. 山口東彦、三浦恒二、樋口光夫、坂田 功、木材学会誌、37(11)、1079-1085 (1991).
7. 山口東彦、古賀 央、樋口光夫、坂田 功、木材学会誌、36(9)、725-731 (1990).
8. 山口東彦、薬師寺英文、樋口光夫、坂田 功、木材学会誌、35(6)、496-505 (1989).
9. 寺谷文之、「木材の化学」、文永堂出版、189-190 (1985).
10. 河田 弘、「バーク(樹皮)堆肥 -製造・利用の理論と実際-」、博友社、10-12、34-39 (1981).
11. 善本知孝、佐藤 惺、「木材利用の化学」、共立出版、189-202 (1983).