木質廃棄物再資源化技術開発総集編

（平成４年度～８年度）

平成９年３月

財団法人　日本住宅・木材技術センター

はしがき

近年、産業廃棄物や一般廃棄物の円滑な処理が困難になり、建設、紙、プラスチック、食品など多くの産業界において、これらに対応した調査研究が進められ対策が講じられるようになってきた。

このような中で、木製品の製造過程や建築現場などで発生する木質系廃棄物についても、有効利用のための技術開発についての取り組みが進められつつあるが、より一層の合理的な処理や再利用が求められている。

そこで、当センターでは、平成４年度から８年度までの５年間にわたり農林水産省の助成により木質廃棄物の発生抑制及び再資源化を促進することをねらいとして、木質廃棄物の発生・再利用の実態調査及び発生抑制並びに再利用技術に必要な関連技術の開発などに取り組んできた。

特に、木質廃棄物再資源化技術開発については、２２のテーマについて取り組んできており、その成果は報告書として年度別に取りまとめているところであるが、この度、その要約を総集編として作成したものである。

平成９年３月

(財) 日本住宅・木材技術センター

木質廃棄物再資源化技術開発事業再資源化技術開発総集編

目　　次

解体材等の機械的処理とチップの品質基準及びボードへの利用 …… 1
木質廃棄物の粉砕技術 …… 6
異物分離装置の開発・実用化 …… 10
木質廃棄物金属除去装置の開発 …… 14
廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発 …… 18
（その１）
廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボードの開発 …… 41
（その２）
コンクリート型枠の繰り返し使用技術の開発 …… 45
パーティクルボード製造技術の開発 …… 49
木質残廃材の炭化と炭化物の基礎物性 …… 53
木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能 …… 57
炭化技術と炭化物の機能利用技術の開発 …… 76
木炭による床下気象環境の改善等に係る効果調査 …… 80
木炭を利用した水質浄化法 …… 90
木酢液の特性とその利用技術の開発 …… 94
水質系水産資材の開発 …… 98
木材の液化と応用技術の開発 …… 102
樹皮の高度利用技術の開発 …… 107
薬品処理廃材の分別技術と再利用技術の実態調査及び回収システムの開発 …… 111
保存処理木材のパーティクルボードへのリサイクル利用技術 …… 115
保存処理廃材を原料にしたパーティクルボード防腐・防蟻性能 …… 119
保存処理廃材の紙・パルプへのリサイクル利用上の問題 …… 123
保存処理廃材からの薬剤の分別回収技術 …… 127

木質廃棄物再資源化技術開発事業再資源化技術開発総集編

テーマ別執筆者

テーマ	執筆者（敬称略）
解体材等の機械的処理とチップの品質基準及びボードへの利用	静岡大学　鈴木滋彦
木質廃棄物の粉砕技術	北海道立林産試験場　遠藤　展
異物分離装置の開発・実用化	日本繊維板工業会　岩下　睦
木質廃棄物金属除去装置の開発	北海道立林産試験場　橋本裕之
廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボードの開発（その１）	Ｈ４～７： 新潟大学　屋代　真
…廃コンクリート型枠木片セメントブロックの製造… …廃コンクリート型枠爆砕ファイバーによる再生コンクリート型枠の製造…	Ｈ８： 名古屋大学　木方洋二
廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発（その２）	北海道立林産試験場　堀江秀夫
コンクリート型枠の繰り返し使用技術の開発	北海道立林産試験場　高谷典良
パーティクルボード製造技術の開発	北海道立林産試験場　堀江秀夫
木質残廃材の炭化と炭化物の基礎物性	東京大学　有馬孝禮
木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能	新潟大学　三城昭義 新潟大学　屋代　真
炭化技術と炭化物の機能利用技術の開発	北海道立林産試験場　梅原勝雄
木炭による床下気象環境の改善等に係る効果調査	鹿児島大学　藤田晋輔
木炭を利用した水質浄化法	森林総合研究所　谷田貝光克
木酢液の特性とその利用技術の開発	森林総合研究所　谷田貝光克
水質系水産資材の開発	北海道立林産試験場　堀江秀夫
木材の液化と応用技術の開発	京都大学　白石信夫
樹皮の高度利用技術の開発	北海道立林産試験場　関　一人
薬品処理廃材の分別技術と再利用技術の実態調査及び回収システムの開発	京都大学木質科学研究所　今村祐嗣
保存処理木材のパーティクルボードへのリサイクル利用技術	京都府立大学　梶田　熙
保存処理廃材を原料にしたパーティクルボード防腐・防蟻性能	京都大学木質科学研究所　角田邦夫
保存処理廃材の紙・パルプへのリサイクル利用上の問題	京都大学木質科学研究所　川井秀一
保存処理廃材からの薬剤の分別回収技術	大阪市立大学　貫上佳則

テーマ	解体材等の機械的処理とチップの品質基準およびボードへの利用
開発の目的	リサイクルされた木質廃材の受皿として、パーティクルボードをはじめとする木質ボードへの期待が大きいことから、再資源化の可能な木質廃材をチップ化して形状等の品質を評価すること、また、廃材から加工した小片をコア材料として３層ボードを製造してその材質を評価することを目的とした。
開発の内容	木質材料のチップ化と形状評価を行った。接着剤を含んだ再構成木質材料の再利用を念頭に置き、破砕加工したチップの品質と原料の種類による特徴を把握した。現在、再利用されている廃木材は比較的健全な素材が中心であり接着剤を含んだ木質材料の大部分は焼却処分されている。今後木質材料の種類および量は増加しているものと推察できるため、接着剤を含んだ木質材料をチッパー加工してボード原料に使用する際の品質評価の基準として粗砕チップの形状を分析した。さらに、ハンマーミルを用いて細砕加工した小片の形状を評価した。 解体材小片をコア原料とした３層ボードを製造して材質評価を行った。解体材などの再資源化木材を、パーティクルボードのコア材料として利用する際の適性を評価した。現在チップ化されて再利用されている木材チップは比較的健全な素材が中心となっている。今後、排出量が増加するであろう木質材料などは、質的に劣ることが予想されるため、ボードのコア材料としての利用が現実的な選択である。解体材をコア材料とした３層ボードの層構成と材質の関係を検討して実証した。
成果の概要	１　木質材料のチップ化と形状評価 木質系の軸材料としてスギ集成材およびＰＳＬ（パラレル・ストランド・ランバー）の２種、面材料として針葉樹合板、ラワン合板、ならびにパーティクルボード、ＯＳＢ（オリエンテッド・ストランド・ボード）、ＭＤＦ（中質繊維板）、ハードボードの６種、合計８種類の木質材料を使用し、比較用に２種類の素材、スギ正角材および板材（断面2×12cm）を使用した。 これらを長さ20～30cmに鋸断した後、水中に浸漬して加工性をよくした。その後、ドラムチッパーを用いて粗砕した。粗砕したチップを４種類の篩を用いて篩分析を行った結果、ハードボードとラワン合板のグルー

プ、ＭＤＦ、パーティクルボード、ＯＳＢ、針葉樹合板のグループ、素材角材、素材板材、集成材、ＰＳＬのグループに大別できた。

粗砕チップの各フラクションごとに長さ、幅、厚さを計測した。チップの繊維方向または最も長い方向を長さとし、次を幅、最短方向を厚さとした。各水準のフラクションごとの累積密度分布と各フラクションの重みを考慮して各変数の全体の累積密度分布を数値計算した。これを２母数のワイブル分布に当てはめることで形状評価が可能となった。

集成材は素材角材と類似した分布を示した。針葉樹合板は素材板材に近い分布形状となった。また、ラワン合板はブロードな分布を示しているのに対して、同じ面材であっても、パーティクルボード、ＯＳＢ、ＭＤＦは短いころにシャープに分布している。この傾向はＭＤＦが著しかった。

２　細砕小片の形状

ラワン合板、パーティクルボード、パラレル・ストランド・ランバー、中質繊維板の粗砕チップをハンマーミルにより細砕加工した。原料パーティクルの中から約40ｇを分析用に採取した。卓上型篩振とう器を用いて各種パーティクルの粒度分析を行った。

ＭＤＦを除く３種類は５メッシュ篩を通過して10メッシュ篩上に残留する成分が最も多くなっている。ＰＷＬ、ＰＢ、ＰＳＬではこの成分はそれぞれ42％、35％、49％となった。それに対してＭＤＦは５メッシュ上に残留する成分が全体の72％と大きな値を示している。これは、ＭＤＦの細砕片が繊維状を呈しているために篩目を通過しにくいことに依るものと思われる。このことは、ＭＤＦの特徴を示すと同時に、木質材料は種類によって細化した場合形状が大きく異なる可能性があることを裏付けるものである。

木質材料を小片化して再利用する場合には、原料の種類により形状が大きく異なること、すなわち小片としての品質が異なることが明らかとなった。

３　解体材小片をコア原料とした３層ウエハーボード

ボードの表層材料としては、スギ材のストランドを用いた。コア原料には、工場製の解体材小片を用いた。接着剤の塗布は、ボックス型ブレンダーを回転させ、エアースプレーガンを用いて行った。大形ストランドへの接着剤の均一塗布は一般のパーティクルと比して難しいため、回転数、投入量などを繰り返し試行して最適な塗布条件を決定した。

解体材パーティクルのみを原料とするボードの曲げ強さは117kgf/cm^{2}であるのに対して、ストランドのみのボードのＭＯＲは377kgf/cm^{2}となった。この間を、表層構成率の変化にともなってＭＯＲは変化した。表層構成率20％では243 kgf/cm^{2}と増加した。また表層構成率66％では369kgf/cm^{2}となり、ストランドのみのボード、すなわちスギ材ウエハーボードの強度とほとんど差のない値となった。ボードの厚さ方向の構成が１：２：１（表層構成率50％）のボードでは308kgf/cm^{2}と、一般のパーティクルボードよりも高い価が得られた。

４　木質材料廃材をコアとした３層ウエハーボード

木材のリサイクルでは、比較的健全な素材の利用はもとより、さらに質的に劣る木質材料の廃材などの利用を考えなければならない。ここでは、細砕加工した４種類の木質材料を起源とするパーティクルを用いて、３層ボードの製造を行い、コア材料として適性を評価した。

コア原料は前述のパーティクルボード、ラワン合板、中質繊維板（ＭＤＦ）、パラレル・ストランド・ランバー（ＰＳＬ）である。これらを木質材料廃材の代表として選択した。ドラムチッパーにより粗砕加工した後、水中に浸漬しハンマーミル加工により細砕加工した。

表層にストランドを配置しコア層にパーティクルボードを破砕加工した小片を用いた３層ボードの曲げヤング係数を比較した。コア層にパーティクルボードの破砕片を用いた場合も、３層ボードの曲げヤング係数は表層構成率の増加にともなって増加し、50％をこえると増加は緩やかになっている。この傾向は、工場製の解体材小片を原料とした前節の結果とほぼ同様の結果と解釈することができる。

４種類の再構成木質材料を原料とした単層および３層ボードの曲げヤング係数を比較した。単層ボードとは、木質材料をドラムチッパで粗砕したのちハンマーミルで細砕したパーティクルのみを原料としたボードである。原料の種類別にみると、パーティクルボードで12tonf/cm^2、ＭＤＦで15tonf/cm^{2}となっているのに対して、ＰＳＬでは24tonf/cm^2、針葉樹合板で27tonf/cm^{2}となった。パーティクルボードやＭＤＦのようにエレメントの加工度の高い材料を破砕加工して原料とした場合は、合板やＰＳＬの破砕片を原料とした場合よりもＭＯＥの値は低くなっている。これは、合板やＰＳＬの方が破砕加工されても木材の繊維方向の強度が残されるためである。

成果の活用方法	パーティクルボード工業における木質廃材の利用の動向を見ると、原料全体に占める古材は20%ほどであり、今後増加する傾向にある。国内平均の今後の予想として、「将来」的には45%まで増加するであろうと言われている。しかしながら、国内の各社が平均的に45%の使用を予測しているのではなく、100%古材に依存すると予測するグループ、40%～60%と予測するグループ、20%と予測するグループ、および使用しないグループと様々である。 これは、工場の立地条件やそれを含んだ経営方針により、古材の使用量には工場間で大きな差が認められるためである。古材の発生量と集荷距離または工場周辺の工業などの状況に左右されるものと推察される。集荷距離が長い地域では古材処理業者が少なく、またボード原料としての量的な集荷が不可能な地域があるなど、工場立地と周辺の状況により使用形態は大きく異なっている。この点が、古材を原料として使用する上の特徴である。 しかしながら、原料供給の大きな流れとしては古材に依存する比率が増加していくことは間違いない。国内における木質ボードの原料供給バランスが今後どのように変化するのか、予想不可能な部分も多いが、現況をベースに将来を予測すると、パーティクルボードでは原料の半分弱を古材原料に依存することになろう、もしくは依存せざるを得ないであろうとの見通しをメーカーが抱いているといえる。 古材原料の使用量が増加することは、その質が低下する方向に変化することを意味し、同時にまた、廃木材の種類が多様化することを意味している。現在再利用されている廃木材および建築解体材は柱材や梁材、パレットなど比較的健全な素材が中心である。接着剤を含んだ木質材料は、型枠合板が一部ボード原料として使用されているものの、大部分は焼却処分されているのが実情である。現在解体が進んでいる住宅と、今後解体が進む住宅では、工法の変化にともなって使用される木質材料の種類および量は増加しているものと推察できる。そのため、建築解体材および建築工事によって排出される廃木材に占める木質材料の比率は増加するものと予想される。また、パーティクルボード、ＭＤＦ、合板などの再構成木質材料が多く使用される家具についても、廃棄が問題視され、木質系廃材しての再利用が課題となることは間違いない。 解体材などの再資源化木材は、パーティクルボードのコア材料として利用可能であるとの結論が得られている。一方、現在チップ化されて再利用されている木材チップ（Ｐ－チップ）は比較的健全な素材が中心となっている。今後、排出量が増加するであろう木質材料などは、質的に劣ることが予想されるため、ボードのコア材料としての利用が現実的な選択であると思われる。解体材をコア材料とした３層ボードは、特に表

	層にスギストランドを配置することで、十分構造用途に使用可能であることが実証された。 　さらに、木質資源のリサイクルを推し進めるためには、再構成木質材料そのものを再び木質材料の原料とすることが求められるであろう。そのために、木質材料廃材をコアとした３層ボードを評価している。木材のリサイクルでは、比較的健全な素材の利用は現在も行われ、今後増大するものと思われるが、さらに質的に劣る木質材料の廃材などの利用を考えなければならない。３層ボードはそうした資源の活用方法の極めて現実的かつ有効な手段であることが示された。

テ　ー　マ	木質廃棄物の粉砕技術
開発の目的	21世紀を数年後にひかえ、新世紀のビッグビジネスは環境とリサイクルと言われている。このような状況の中、再生産可能な持続的生産をつづけ、環境を守りながら資源を利用するシステムとしての木材生産が重要となってきている。しかしながら、現状では、生産された木材の大半は再利用されず廃棄されており、環境を守りながら持続的生産をつづけるためには、廃棄されている木材の再利用が重要な課題である。本課題については、このために以下の検討を行った。 ①木質廃棄物の粉砕性の評価 ②粉砕性の差異にもとずいた分離技術 ③木質廃棄物の簡易な繊維化の提案
開発の内容	1　木質廃棄物の粉砕性の評価 粉砕処理の点から見た廃材の特徴は、水分が低くかつその強度が低下しており、粉砕しやすいことである。そこで、木質廃棄物として廃コンパネを取り上げその粉砕性を測定した。 2　粉砕性の差異にもとずいた分離技術 以下の２つの方法による分離技術について検討した。 （１）方式１ 目皿付き衝撃型粉砕機の粉砕動力E(kWh/t)は、原料の滞留時間ｔ（hr）により次式で示される。 $E=700\times t$　① 衝撃型粉砕機の操作条件と滞留時間との関係は次式で示される。 $t=3.98\times 10^{3}\tau\,[0.693-(dv/De)^{N}]/(dv^{1.3}\omega^{2}L^{-2/3})$　② ただし、ｔは原料の滞留時間（hr）、τは粉砕特性時間（hr）、dvは粉砕物のRosin-Rammler粒度分布の50%重量径における球相等径（mm）、Deは原料のRosin-Rammler粒度分布の粒度特性数における球相等径（mm）、ωは粉砕ハンマーの回転角速度（rad/s）、Ｌは粉砕室の長さ（m）、Nは原料のRosin-Rammler粒度分布における分布定数である。 式①,②から、 $E=2.79\times 10^{6}\tau\,[0.693-(dv/De)^{N}]/(dv^{1.3}\omega^{2}L^{-2/3})$　③ 回転数、粉砕部の長さ一定の場合、上式は次式となる。 $E=K_{1}\tau\,[0.693-(dv/De)^{N}]/(dv^{1.3})$　④ 粒度の同一な原料に、同一の粉砕動力が与えられた場合、上式によると、$\tau\,[0.693-(dv/De)^{N}]/(dv^{1.3})$の値は常に一定とならなければならない。$0.693-(dv/De)^{N}$の値は、粉砕が進めば進むほど一定値0.693に近づくので、$\tau/(dv^{1.3})$は粉砕の進行とともに一定値にならなければならない。したがって、定性的に、上記の条件においては、粉砕特性時間が短い原料の粉砕物の粒度は小さく、逆に長い原料では大きくならなければならない。

つまり、粉砕特性時間の異なる原料を粉砕した場合、それぞれの粉砕物の粒度が異なるので、ふるい分けにより、分離ができることになる。

（２）方式２

式②において、原料粒度、粉砕物粒度、回転数一定の場合、同式は次式となる。

$$t = K_2 \tau L^{2/3} \quad ⑤$$

上式より、粉砕室の長さＬが一定の場合、粉砕特性時間が大きいと滞留時間は大きく、粉砕特性時間が小さいと滞留時間は小さくなることが分かる。したがって、粉砕物の粒度を規制した、無限に長い目皿付き衝撃型粉砕機があったとすると、粉砕特性時間が大きい原料は、粉砕に必要な滞留時間が大きいため、粉砕室の奥の方に多く、逆に、粉砕特性時間が小さい原料では、粉砕部の手前の方に多く排出される。したがって、粉砕特性時間の異なる原料を混合粉砕した場合、粉砕機の長さ方向の排出位置でそれぞれを分離することができる。

３　木質廃棄物の簡易な繊維化の提案

木質系の各種粉砕物のなかで、ファイバーボードの原料となるファイバー（繊維）がもっとも付加価値が大きい。この形態の粉砕物は飽和水蒸気で蒸された後、ダブルディスクリファイナーと呼ばれる摩砕型粉砕機によって得られる。ディスクリファイナーは、パルプ工業における代表的粉砕機である。この粉砕の機構を以下に述べる。粉砕室は互いに逆方向に回転する２枚の多数の溝を有する円盤（ディスク）よりなり、原料はこの２枚の円盤の中心部より供給され円盤と円盤（摩砕盤）の間でせん断力により粉砕（一般的には解繊と呼ばれる）される機構となっている。粉砕物の大きさは２枚の円盤の間隙により調整する。この間隙は通常 1mm以下である。この粉砕機に、解体廃材とともに石や鉄等の異物が混入した場合、円盤の間隙が狭いため高価な円盤を傷つけるばかりか、時には火花を発生させ火災の原因ともなる。したがって、石や鉄は一片たりとも混入することはゆるされない。しかし、解体廃材の高度利用のためには繊維化がもとめられる。そこで、装置自体が安価で、高価な部品も用いない、前述の試験で用いた衝撃型粉砕機による繊維化について検討した。

成果の概要

１　木質廃棄物の粉砕性

粉砕性の測定にはボールミルを用いた。まず廃コンパネを粉砕し、ふるい分けによって 1～ 2mmのフラクションのものを試料とする。つぎに、ボールミルのボールの総体積の30％に当る見かけ体積の試料を入れ一定時間粉砕したのちミルから取り出す。これを 1mmのふるいを用いてふるい、ふるい下の重量をその粉砕時間で除し粉砕速度を求める。ミル内の試料量を常に一定とするため、ふるい上にふるい下と同じ重量の新しい試料を加え、再びミルに入れる。つぎに、Bondの仕事指数（ボールミル法）の測定法を用いて次の粉砕時間を求め、その時間ミルを動かす。この作業を粉砕速度が一定になるまで繰り返す。最後に、ミルに充填した試料重量をこの一定になった粉砕速度で除し、その試料の滞留時間を求め、この値をこの試料の粉砕性を示す指標、粉砕特性時間τとする。使用した廃コンパ

ネの粉砕特性時間τは1.74時間となった。使用した廃コンパネの粉砕性は生の新鮮なトドマツチップの約1/10程度であった。従って、予想した如く新鮮材と比較して粉砕されやすいと考えられる。そこで、廃コンパネの粉砕試験を行った。

粉砕試験には、目皿つき衝撃型粉砕機（ハンマーミル）を用いた。ハンマーの回転数は620,900,1170,1430,1700,2000rpmの６条件とし、開孔比（目皿の全面積に占める孔部の面積）17.5%で、目皿の孔径は 6mmφとした。原料の廃コンパネは長さを 1.8mそのままとし、巾を粉砕機の投入口の関係で 5cmと10cmとした。廃コンパネの密度は 0.562g/cc、水分（湿量基準）は 8.2%であった。粉砕時の粉砕動力、粉砕物の平均粒度を求めた。

粉砕ハンマーの回転数が大きいと粉砕物の平均粒度が小さく、ハンマーの回転数は 620rpmの条件で、粉砕物の粒度は約 2.5mm、2000rpmの条件で約 0.5mm、原料の巾が大きいと同一条件でも粉砕物は大きかった。

原料の全乾燥物1tonあたりの粉砕動力は、6～19kWh程度で、原料の巾が大きいと同一条件でも粉砕動力は小さかった。カラマツチップの新鮮材をハンマー回転数 1700rpmで粉砕した場合、その粉砕動力は131kWh/tであった。この差異は、廃コンパネの粉砕特性時間が新鮮な木材の約1/10程度であることに由来すると考えられる。

２　粉砕性の差異にもとづいた分離技術

方式１が、解体廃材中の石膏ボードの分離に利用できるかを検討するために、石膏ボードの粉砕特性時間を前項と同様の方法で測定した。石膏ボードの粉砕特性時間は、0.0292時間であった。廃コンパネの粉砕特性時間は1.74時間である。廃コンパネと石膏ボードの混合物を目皿付き衝撃型粉砕機で粉砕すると、石膏は廃コンパネの約1/24に細かく粉砕される。したがって、廃コンパネを10cm程度に粉砕する条件では、石膏ボードは約 5mm程度となる。それぞれ同じ重量の廃コンパネと石膏ボードの混合物を粉砕し、 6cmのふるいでふるい分けると、この条件で粉砕した場合の廃コンパネと石膏ボードの粒度分布の推定値から、ふるい下には木材の20%が含まれるが、石膏の90%が含まれ、石膏のほとんどを分離することができると考えられる。

参考であるが、粉砕特性時間が、約20倍異なるトドマツの木質42%、樹皮58%の混合物について、木質と樹皮の分離試験を行った。実験の結果、方式１では樹皮の比率を最高で95%、方式２では最高で90%程度まで高めることができた。

３　木質廃棄物の簡易な繊維化の提案

本実験においては、原料は新鮮なカラマツ、並びにトドマツ・エゾマツ混合チップを用いた。粉砕機の条件は、ハンマーの回転数は 2000rpm、目皿は 6mmφ、目皿部の開孔比は38%と17.2%の２条件とした。繊維化の程度はａ´／ａで評価できる。これは、粉砕ファイバーの良さを定量する要素である。この値はファイバー骨格部の面積ａと、骨格部から派生した「ひげ」が占有する面積ａ´との比で、この値が大きい程「ひげ」が大きく、ファイバー同志の絡み合いが大きくなり、製品ボードの強度も大きくなる。繊維化の程度をこのａ´／ａで評価すると、蒸煮条件は高圧で 16kgf/cm²程度、時間15分、目皿部の開孔

	比は17.2%の条件が一番良く、その値は約 8.3であった。その曲げ強度は密度 1g/ccにおいて、接着剤無添加で260kgf/cm²、フェノールレジン 2%添加で480kgf/cm²程度となると推定される。
活用の方法	① 木質廃棄物の粉砕性の評価 廃棄物由来の粉砕物の価格は、原木からの粉砕物に比較してその価格が低く、企業的に立地するためには粉砕コストの大幅な低減が必要不可欠である。粉砕コストの低減の一つの方法は、原料である木質廃棄物の粉砕性評価とそれに応じた粉砕機の大きさや操作条件の選定である。本成果は、この木質廃棄物の粉砕性の評価に活用することができる。 ② 粉砕性の差異にもとづいた分離技術 建築解体材等には金属のみならず、石膏、グラスウール、ビニルのような各種の素材が混ざっており、その再利用や焼却すら難しくしている。特に、猛毒であるダイオキシンの合成は、木材とプラスチックの混合燃焼によっても発生することが知られており、その分離技術は重要な技術である。これらの素材は、その粉砕性に大きな差があり、その分離には、本成果の粉砕性の差異にもとづいた分離技術が活用できる。 ③ 木質廃棄物の簡易な繊維化の提案 最近、微生物の住み家としての木質粉砕物が注目されており、家庭内の生ゴミや水産廃棄物の分解機、さらには、トイレにも利用されている。この用途の木質粉砕物には、各種の形状が求められるが、微生物の効率的繁殖のためには空隙の大きい充填層を形成する繊維状の粉砕物が求められる場合も多い。繊維状の粉砕物を得る粉砕機は高価で、木質以外の物質の混入はゆるされない。本成果の木質廃棄物の簡易な繊維化方法を活用すれば、粉砕機は安価で、ある程度の不純物の混入は許容され、繊維状の粉砕物を得ることができる。
今後の課題	建築解体廃材から製紙用チップの生産が一部で行われているが、今後さらに増大すると考えられる。工程では、大きい金属はチップ化する前に人力で、小さい鉄はチップ化後、磁石で除去し、パルプ工場に売却している。しかし、ステンレスやアルミの釘（窓やサイジングに使用）は、磁石で除去出来ない、そのためパルプ工場では、水に漬け密度差を用いて金属を除去しているが、金属が食い込んだチップは、チップとの密度差が小さいため、正常なチップと同様に水に浮き、次の蒸煮・解繊工程に流れる。解繊は通常ダブルディスクリファイナーで行うが、繊維板のような乾式でなく、湿式解繊なので火が発生する事はないが、ディスクを痛め、その使用時間を減少させる。そこで、個々のチップの金属の含有を感知し、除去する装置の開発が今後の課題となる。

テ　ー　マ	異物分離装置の開発・実用化
開発の目的	わが国の木質ボード工業は、その原料形態において間伐材など小丸太を主体とする欧米型のボード工業と異なり、従来、合板工場廃材など工業廃材をベースとして成り立っていた。しかしながら、最近、南方産地国において資源環境保護の事情から原木輸出を規制する傾向にあり、それに伴い、わが国では輸入合板原木の減少と価格の高騰のため、国内合板生産の縮小を余儀なくされつつある。そのため、必然的に合板工場廃材が減少することが考えられ、その上、将来的に漸増が予想される輸入ボード製品との競合に打ちかつためにも、経済的な原料の確保が絶対的に必要であると考えられる。 一方、国内原料としての針葉樹間伐材は価格が高く、現状ではボード生産の採算にのる原料にはなり得ない事情にある。そこで現在、資源再利用の見地から、脚光をあびているのが木造家屋の解体材である。 従来、古い家屋を解体するときは解体業者により手壊しされ、それぞれ有効に利用されていた。しかし、最近、家の新築のための建て替え需要の増大とともに、解体工事が増化し、技術者の不足、工期の短縮化などに影響され、手解体は行われず、重機による解体作業がほとんどになっている。そしてそれらのほとんどが燃料用、あるいは単に焼却されるか、投棄されているのが現状である。 したがって、本技術開発では、これら大量に発生する木質系廃棄物をボード原料として再生利用し、木質資源の有効利用をはかるべく、ごみ屑化した廃棄物を種々の方法で利用可能な原料に分別しようとするものである。
開発の内容	本技術開発は、産業廃棄物二次処理業者においてチップ化された木質解体材に含まれる異物を除去してパーティクルボード原料にしようとするものである。解体材チップには異物として鉄・非鉄金属、紙、ビニール・発泡ウレタン等のプラスチック類、コンクリート片、ゴム類等が混入している。したがって、工場に受け入れた解体材チップを先ず破砕して形状を小さくそろえ、その上で電磁選別機等により鉄片、非鉄金属を除去し、さらに金属検知器により良チップはラインに流し、異物混入チップのみを対象に、気流選別機により異物分離の仕上げを行おうとするもので である。本技術開発は、この一連の工程の中で、特に気流選別機を試作し、異物除去の実際を検討した。 なお、気流振動異物分離装置の製作は日本プラントエンジニアリング株式会社（東京都墨田区両国 5-12-101、TEL 03-3635-8600 ）が分担し、装置の現場への設置と異物分離試験の実施は永大産業株式会社（福井県敦賀市永大町、TEL 0770-23-2331 ）において行った。
成果の概要	（1）異物分離装置開発の基本構想 異物分離の方法は、従来から磁気選別、気流（比重）選別、水洗等、種々の方式があるが、ここでは、中心になる分離装置に気流（比重）振動選別の方式を採用した。 中間処理業者からもちこまれるチップ状木質廃棄物には、なお相等量の異物（鉄片類、

非鉄金属などの非磁性体）がふくまれている。これらの異物は木質片にくい込んだ形で付着しているため、これをまず解きほぐす必要がある。

そのため、まずマグ・コンベア等で磁気選別を行うと同時に、破砕機により細片化し、異物と木質の結合をルーズにし、さらにマグネット・ロール等により鉄片等磁性体を可及的に取り除く。しかし、その段階では非磁性体を主体とする異物は完全に取りきることはできない。そこで、それら異物を含む木質破細片を今回開発した気流振動異物分離装置に投入、非磁性体異物を100%完全に取り除き、ボード原料としての歩留まりを上げようとするものである（図１）。

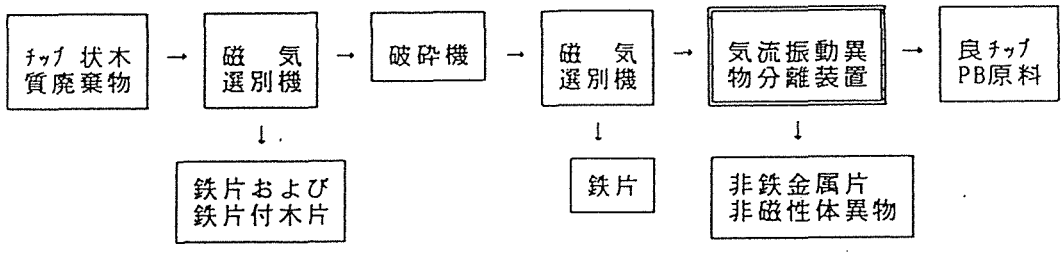


図１　異物処理ラインの概念図

（２）　試作気流選別機の概要

図２に示すように振動スクリーンは３～５度の傾斜角を有し、下部から整流化された空気の送風とスクリーンの振動により、上部から投入されたチップ中の比重の大きい金属類はスクリーン上を傾斜上方に向かって移動し、木質チップは傾斜下方に移動する。

投入原料に含まれている微粉は、スクリーン下部からの空気の風量に対し、若干上回る吸引風量を上部の集塵装置でコントロールすることにより、系外に飛散することなく集塵される。

スクリーンのメッシュ、傾斜角、送風量、振動数、振幅、吸引風量の諸元の最適な条件は、実際の操作によって選び、設定する。設計チップ処理能力は1.5 t/h である。

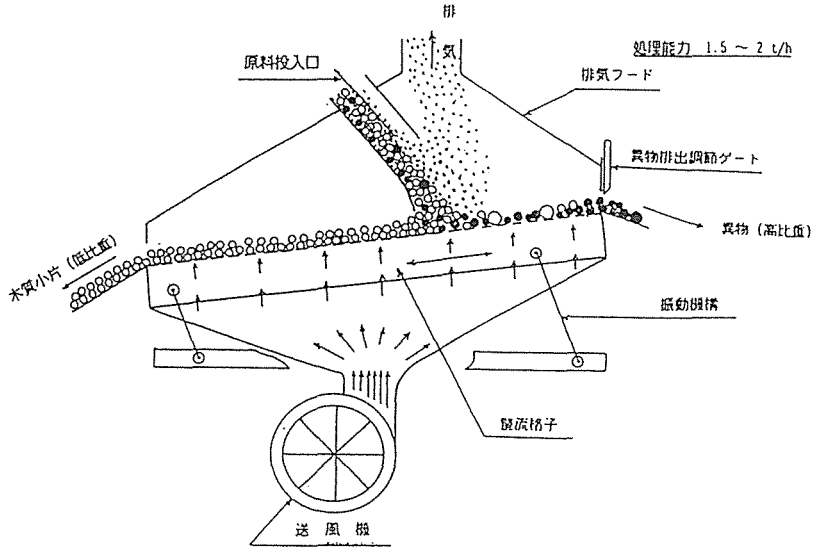


図２　試作気流選別機の概要

	（３）分離効率 １）装置自体の異物分離効率を調べるため、４種類の原料（ラワン合単板屑、針葉樹皮付き製材廃材、解体材ラワン・シュレッダー破細片、解体材チップ・シュレッダー破細片）を図１の原料処理ラインに流し、それぞれ良チップを採取し、それに種々の非磁性体異物（11種類12個体）を混合し、手作業で本装置に投入。その結果、いずれの異物混合チップの場合も、確実に100%異物が回収された。 ２）実際生産ラインに原料を流した場合、この装置が比重分級であるため、金属異物と一緒に形状の大きな（重い）木片が排出される。その概数は１日処理量80,000kgの原料チップに対して異物とともに排出される木質のロスは約20kgであった。すなわち、ロス率としては0.025%である。 ３）本機は気流選別を行うために下からの整流を送る機構になっているが、新鮮空気を直接外部から取り入れるようにしたため、塵埃等による整流板の目詰まりによる分級効率の低下を防止することができた。又、微粉の排出もバグフィルターを通して確実に行われるため、作業環境はクリーンで極めて良好である。 （４）本装置を設置したことによる効果 １）異物混入がなくなったため、後のチップの切削工程（パルマンミル）の刃傷みが少なくなり、刃もちがよくなった。したがって、刃物の交換回数が減ると同時に切削小片の品質が向上し、エネルギー消費の削減に貢献している。 ２）解体材が全面的に使用可能なため、チップ含水率が低下し、ドライヤー効率が向上し、エネルギー消費の削減に貢献している。 ３）購入チップに混入された異物を確実に把握することができるため、チップ納入業者別の納入チップの品質をチェックすることができる。
成果の活用方法	平成４年度の全国における木造建物の除去面積は、年間約2800万m^2であり、そのうち住居だけにしぼっても2400万m^2強である。しかし、現在行われている建物の建て替えは都市に偏り、また季節的ににも建て替えは春から秋にかけて多く、冬場に少ないのが実態である。したがって、この解体材を全面的にボード原料のソースにすることには問題があるが、将来的に使用して行かなければならない原料であることは間違いない。 なお、解体材発生量の原単位は、建物の規模、構法等により、正確な把握は困難とされているが、種々の報告から最低の線を推定すると、0.1m^3/m^2となる。それをベースにする全国の木造住宅の建て替えによる解体材量は240 ～280 万m^3と算定される。一方、林野庁のアンケート調査によると、建て替えにより発生する木質系廃棄物は、年間約1900万m^3もあるとしているが、実態の把握は困難である。それに対して、現在、わが国のボード原料として使用されている、廃材を含むチップ量は約300 万m^3とされている点から考え、解体材を燃料として徒に消費することなく、有効に使用するならば、わが国のボード原料の相当部分は賄えるものと思われる。 かくして本研究により、解体材チップの異物を100%除去することが可能となるならば、

	将来のボード原料コストの低減に役立ち、今後増えることが予想される輸入ボードとの競争に十分打ちかつことが可能であると考えられる。
今後の課題	1）チップに砂の混入量が多い場合、スクリーンの網目より下部に落下し、整流板に入り、風の流れが乱れ易くなる。 2）銅線やＳＵＳ細線等が混入すると、スクリーンの網目に刺さり、異物排出の流れに支障をきたすおそれがある。 3）本機は、比重分級により金属などの比較的高比重の異物を除去することを主眼として設計し、その目的はほぼ100%達したと考えられるが、建築解体材には今回除去することができた金属異物以外に種々雑多なものがふくまれていると考えなければならない。特に紙、薄いプラスッチクシートなど比重の軽いものは、破砕されて絡み合いの強いものとなり、スクリーン上に、また、その後の工程中で削片の均一な流れを阻害し、さらに製品ボードに混入すれば、その材質を損なう恐れがある。 したがって、今後はこれら低比重異物の除去を振動スクリーンならびに風選により、確実に除去し、今回完成した高比重異物分級装置に併置して、解体材チップの100%利用とボード材質の向上をはからなければならない。

テ　ー　マ	木質廃棄物金属除去装置の開発
開発の目的	建築解体材等には、鉄製の金具のみならず非磁性のステンレス、アルミニウム、黄銅等の金属が混在している。これらの効率的な除去は、建築解体材等のリサイクルのために必要不可欠の技術である。現在、種々の技術が開発されているが、いずれも解体材を破砕し木材中に食い込んでいる釘などを遊離した後の金属除去技術である。 一方、建築解体材等の用途に新聞用チップがある。新聞用チップの製造工程には、破砕工程がなく金属が木片に食い込んだ状態で製紙工場へ供給されている現状である。従って、製紙工程中、解繊機の刃物に損傷を与えており問題となっている。 そこで本開発ではチッピング後、遊離している金属のみならず金属がくい込んだ木片等の除去を行う装置の開発を目的とする。また、本装置は、既存の廃棄物処理工場内に設置することを前提としている。従って、設置の際に大掛かりなレイアウトの変更を必要とせず、理想的には、コンベアの最終端にアタッチメントとして取り付けることが出来る様に軽量、コンパクトな装置を目標とした。
開発の内容	従来の選別・除去手法を用いて金属がチップに食い込んだ木片の除去に対応するのは困難である。例えば、比重差を利用する方法（湿式の浮遊分離、気流選別等）では、金属の重量と木片の重量が一定でないので比重が定まらず分離できない。また、渦電流による反発力を応用した方法では、木質の質量に対して小さい金属が食い込んでいる状態では飛散に十分な反発力が発生しない。コンベアを抱える程度の大きさを持つ金属検知機による分離では、高感度設定による誤動作や大量の純粋な木質をも除去されてしまい低歩留まりが問題となる。従って、現在では従来の除去方法を単独で行わず、複数の方法を採用し多段構えで出来るだけ純粋な木質材料を確保している。 本技術開発では、数々の除去方法に加え新たに一手法を提案するもので、確実に金属を捕らえることのできる金属検出装置と歩留まり良く除去できる除去機構を検討した。 開発には三つのステップを経た。第一ステップでは処理能力 1 ton/h程度の基本ユニット（図１）を開発した。第二ステップでは基本ユニットを８台配列した処理能力 8 ton/hの実用試作機(図２)を製作した。第三ステップでは北海道内の中間処理業者工場に据え付け試運転を行なった。
成果の概要	1　基本ユニット 基本ユニットには市販の小型金属検知機と高速でスイングするフラップを備えた除去機構を一体化した構成とした。金属の除去原理は次の通りである。即ち、チップは投入部を通りセンサーを通過する。その際、チップに混入した金属が通過すると金属センサーが検知信号を発生する。信号はソレノイドバルブに送られエアーシリンダーを駆動しフラップをスイングさせる。金属はフラップに沿って落下する。 基本ユニットの性能を以下に示す。 処理能力　　1,000 kg/h

除去効率	94 %
除去量	0.033 kg（1,000 kg/h運転時）
耐久性	33,850 回（フラップの往復回数）
重　量	34 kg
価　格	約150,000円（ただし、部品代）

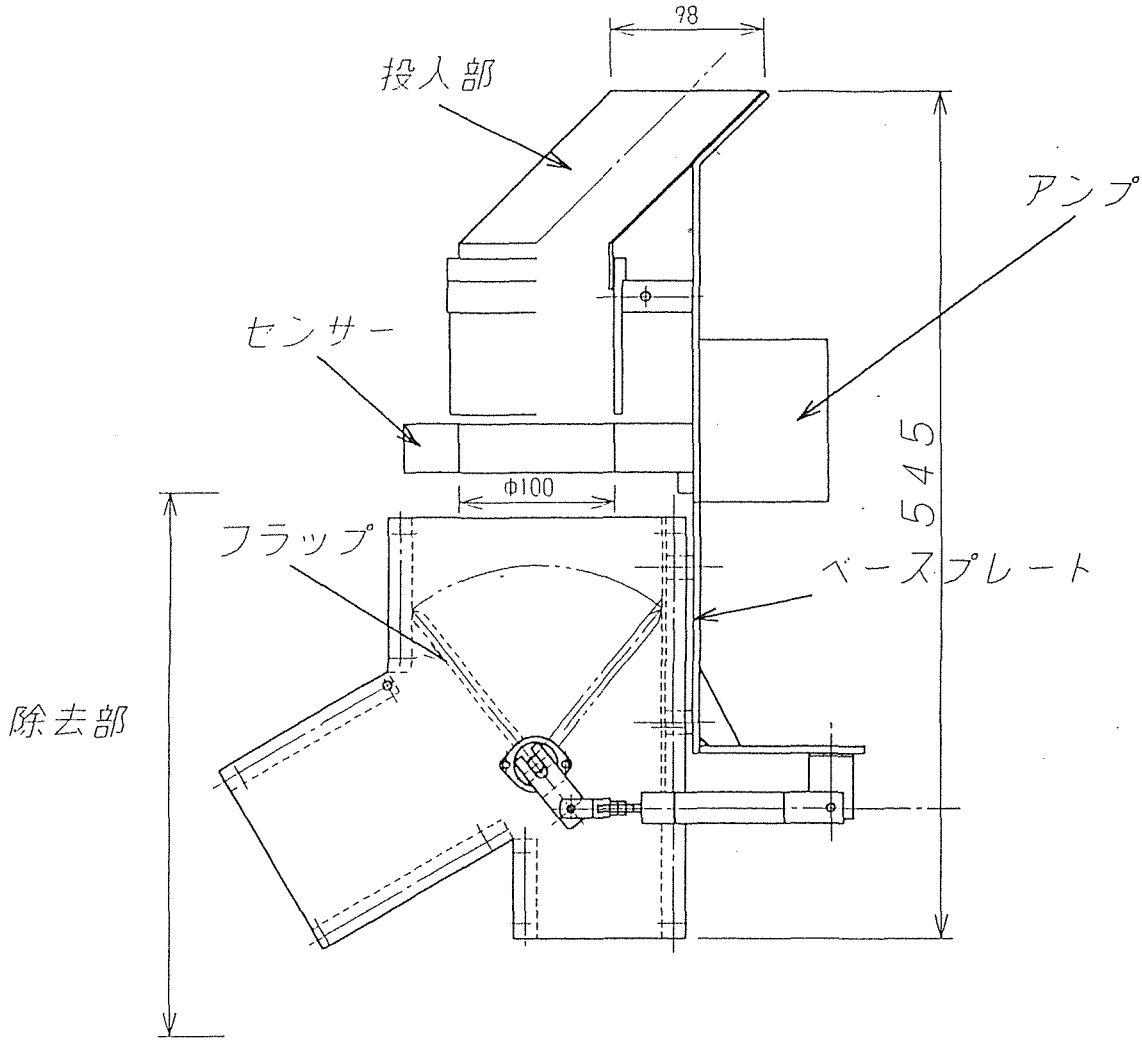


図１　基本ユニットの概要

２　実用試作機

北海道内にある中間処理業者の生産量、設置スペース等の現地調査を行い実用試作機を製作した。設計仕様は以下の通りである。

（１）設計仕様

処理能力	8,000 kg/h
基本ユニット数	8 台
分散部	シュートによる 8分岐
投入方式	傾斜ベルトコンベア（傾斜角45°、サン付、35 m/min）
排出方式	水平ベルトコンベア（35 m/min）
総重量	約700 kg

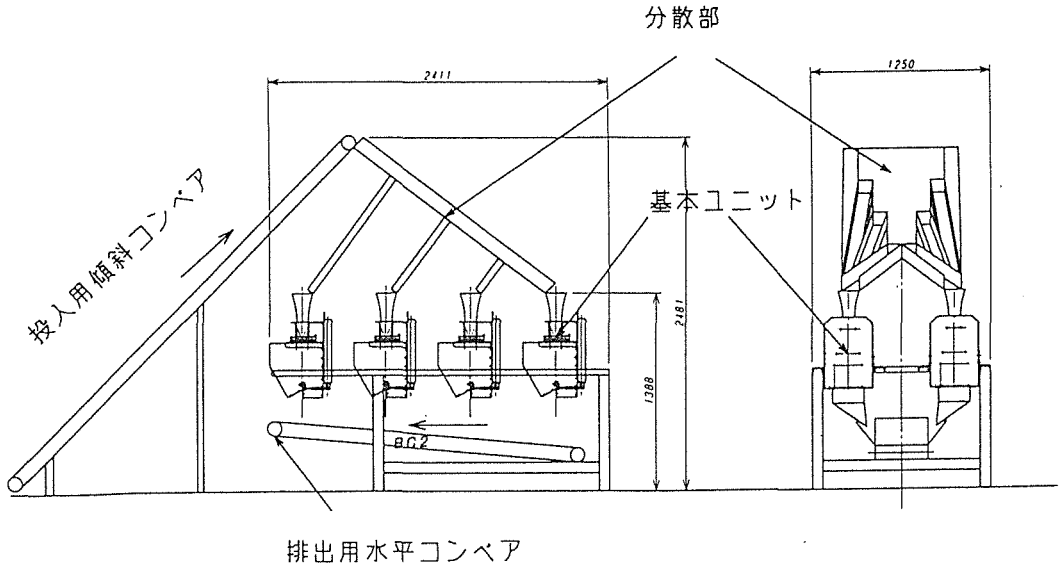


図２　実用試作機の概要

（２）分散部性能

傾斜ベルトコンベアから投入されたチップを 8個所の基本ユニットへ等しく配分するために分散部を必要とした。各基本ユニットへの分散投入量は、実験室段階での試験では±3%以内の精度で良好であったが、現地での試験においては、チップに水分（含水率46%）が付着していたため滑落に支障をきたした。そのためシュートに代わって振動フィーダーを製作し、分散部での供給をスムーズにした。しかし、処理能力は4,600 kg/hにとどまった。

（３）除去効率

本装置に既知量の金属をチップに混入させ除去効率を測定した。その結果、除去効率は77%であった。 100%に達しない理由は以下の３点が考えられた。

① 分散部において各基本ユニットへ導くシュートの角度が異なることによるチップの落下速度のばらつきが除去動作のタイミングを狂わした。

② フラップにはじかれたチップが除去装置内で反射しチップ流側へ飛び込んだため。

③ 金属センサーの中央部にある低感度領域を通過したため。

	（４） 含水率 現地での試運転では、チップが高含水率であったため金属センサーが誤動作したが、木質系敷きわら等の含水率の低い木質廃棄物を対象とした場合には有効と考えられる。
活用の方法	本技術開発では、大量に生産されるチップを１台の除去装置で処理するのではなく、生産量に応じ複数台の基本ユニットで処理しようとする発想が特徴である。これは、従来方式の歩留まり低下の問題を解決するためには有利である。また、チップに食い込んだ金属を除去できることは比重分離方式では不可能である。従って、開発した装置は、低含水率のチップからの金属除去には有力な方法と判断する。含水率の低い粉砕物であれば木質に限らず樹脂、紙などにも適用できると考える。含水率の高い粉砕物に対しては、本技術開発で採用した金属センサー以外のセンサーを適用することにより解決できると考えられる。
今後の課題	① 本研究で採用した金属センサーは高含水率での誤動作が問題になった。しかし、どの程度の含水率まで許容できるか明確にする必要がある。また、水分に対して誤動作しない他方式のセンサーを検討する必要がある。 ② 除去効率は77%まで達成したが、 100%に近づける必要がある。 ③ 金属センサーを用いた方式では必ず何らかの除去機構を必要とする。除去の際、金属周辺のチップも除去されてしまう。従って、歩留まりを高めるには除去物の再金属除去処理を必要とするので、その方式の検討が必要である。

テーマ	廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発（その１）(1992年度)
開発の目的	地球環境問題と呼ばれる問題には資源の大量消費によって熱帯雨林や貴重な天然林という資源が枯渇の危機にさらされていることと、資源の大量消費が引き起こす有害物質の発生や、廃棄物の蓄積による環境汚染や環境破壊が進行していることの２つが含まれる。資源節約あるいは環境保全の立場から、木材という貴重な天然資源を大切に使用することは勿論重要であるが、木材から作られた製品が、一定の年月使用されて機能が著しく低下したものは廃棄せざるをえない。これ迄の使用法では廃棄するしかない段階まで使用された木質材料をなんらかの方法で加工して、同じ目的または異なった用途に使用できるように再生（リサイクル）することができるなら、資源の節約になるばかりでなく、それだけ長い時間炭素を固定することができ、二酸化炭素の発生の抑制に貢献することができる。 与えられた本テーマは様々な木質製品のうちで、最大でも数回使用された後には、ほとんどが廃棄または焼却されているコンクリート型枠用合板を再利用する方法の１つとして、これをチップ化し、セメントとの複合材料である木質セメントボード（チップセメントボード）を製造するための基礎的な条件、特に使用された合板のセメントボード原料適性の限界を検討し、製品化の可能性を調べ、そのための基礎資料をうることを目的として次の実験を行った。
開発の内容	市販されている未使用のコンクリート型枠用合板及びこれを現場において１－３回使用したものをチップ化したもの及び廃材処理工場において広域の現場から回収しチップ化した廃型枠合板（従って使用回数や製造メーカー原木の種類が異なる種々の合板が混合していると推測される）を原料としてチップセメントボードの製造を行い、どの程度の強度がえられるかを調べ、また原料合板の型枠としての使用回数及び製造条件と製造されたボードの強度の関係を考察し、おおよそどの程度まで使用された型枠合板ならボードの原料として使用できるかの指針をえた。
成果の概要	[実験条件] (試料) （１）未使用の市販のコンクリート型枠用合板（石巻合板㈱製；ラワン合板厚さ15 mm）（記号０－０）、（２）同じ製品を現場において片側１回、もう一方の側（裏側）２回使用したもの（記号１－２）、（３）同じく片側未使用、片側３回使用（記号０－３）、（４）使用回数不明の使用ずみ型枠合板をあらかじめ廃材処理工場においてスプリント状のチップにしたもの（記号P)の４種類 (セメント除去の方法) 試料（２）、（３）は合板の表面にセメントが付着していたので、これを除去するのに、ポータブルベルトサンダーに石工用のベルトを装着してサンデングを行うことによってほぼ除去できることがわかった。 (チップ化)

試料（２）、（３）は９０cm幅の合板を長さ45-50cmに短冊状に切り、パルプ原料用チップ工場においてチップ化を行った。チップ化は繰り返し２回行ったが、まだ粗大部分がかなり残った。しかし、これ以上チップ化を繰り返すと、２－３mm以下の微細部分が増え、収率が下がるので２回に留めた。従って、このような方法によって高い収率で均一なチップを作るのは困難であることがわかった。またチップの色は、無処理のものが淡い白色に近いのに対して、使用ずみ合板チップはいずれもかなり濃い褐色を呈していた。

（ボードの製造）

サイズ：３０cm×３０cm、目標厚さ：１５mm、目標比重：1.1－1.2、原料混合比：チップ（全乾）；300g、セメント（普通ポルトランドセメント）；８００g、硬化剤（$CaCl_2$）；２４g（セメントに対して３%）、水；３２０－３５０g、これらの原料をよく練り合わせた後、フォーミング枠のなかに均一に散布し、できたマットをプレスで約10kg/cm²の圧力で圧締し、クランプで固定した後、室内で１夜（約１５－１６時間）放置後、解圧し、ボードは24℃、RH65%の恒温恒湿室に５日間放置後、曲げ試験に供した。

（コンクリート型枠として使用された合板の表面の状態）

表面の損傷の程度及び付着しているコンクリートの量は必ずしも使用回数に比例していないことがわかったので、表面の状態を左右する因子は回数よりも使用方法に依存すると推測される。前述のポータブルベルトサンダーによる表面から付着コンクリートを除去する作業には付着しているコンクリート層の厚さが厚いほど時間と労力を要した。

（ボードの曲げ強さ）

各条件ごとに３枚のボードを製造し、曲げ試験を行った結果は表１の通りである。なお、曲げ試験片数は各ボード８枚で、値はその平均を示す。またボードの比重の範囲は1.05－1.20の範囲であった。表１から明らかなように、型枠合板を回収してチップ製造をおこなっている廃材処理工場で製造されたチップを用いたPが、試験片間及びボード間のバラツキが最も小さく、平均強度が未使用の合板を使用した０－０も含めて最も高い曲げ強さを示した。この理由は明らかにチップの形状と均一性の違いにあると思われる。すなわち、本研究室からパルプ用チップ製造工場に依頼して製造してもらったチップは全体にやや粗大であるばかりでなく、形状のバラツキが大きかった。しかし、これ以上チッパーを通すと、微細部分が増え、収率が著しく低下するためやむをえずチッパーは２回を通すだけにとどめたためである。これに対して、廃材処理工場で製造されたチップはいわゆるチッパーでなく、ハンマーミルで製造されたと思われ、チップの形状が全体にやや細かくまた均一度が高かった。このために、２種類のチップの間でホーミングの作業性とでき上がったマットの均一性に差が生じ、その結果ボードの材質（特に強度）に大きな差ができたものと推測される。従って、これを参考値として、全く同一条件で製造された０－０（未使用合板）、１－２（片側１回、もう一方１回使用）及び０－３（片側未使用、もう一方３回使用）の３条件を比較すると、曲げ強さは、１－２＞０－０＞０－３の順となる。これは型枠として、１、２回程度使用された合板はチップセメントボードの原料として、使用可能であること、特に、セメントを硬化させる適性すなわち木材とセメントとの相性に関し

ては殆ど影響がないか、あるいはむしろ原料適性が増大している可能性があることを示している。この理由は合板表面が一定期間セメントスラリーと接触している間にアルカリ抽出が起こり、硬化阻害を起こす木材成分の一部が抽出除去され、その結果木材のセメント硬化性が改善されている可能性を示すものである。しかし、片側だけであるが使用回数が３回の０－３は０－０よりも強度が低くく、これは明らかにセメントによる木材の劣化が

表１　型枠合板から製造したセメントボードの曲げ強さ

種類	曲げ強さ(kgf/cm²)
０－０	16.1
１－２	19.6
０－３	13.8
P	23.5

起り、その結果ボードの強度も低下していることを示しているものと推測される。

次に、すでに当教室で得られている合板工場で排出した廃材を原料として製造されたチップセメントボードの強度と比較を行う。合板工場廃材（ラワン原料とするタイプⅡ（ユリア樹脂接着剤）合板のトリミングによる端切れ材をブレークソーで粉砕したもの）を原料として製造したチップセメントボードの材令４日における曲げ強度を比重別にセメント/水混合比に対してプロットすると図のようになる。

ここで得られたボードの比重、セメント／木材比及び水／セメント比の範囲内おいては、30kgf/cm²以上の曲げ強さを得るためには比重1.3という高い値が必要であることを示している。しかし、これよりも高い比重1.4では比重1.3よりも曲げ強さは数キロか１０数キロ低下しているので、かならずしも比重が高いほど強度が高くならないことがわかる。これはセメントの量が増えることによって、ボードの剛性は高くなるが、同時に脆くなり、曲げ強さも低下することを示しているものと思われる。

活用の方法

これ迄の実験で製造された使用された型枠合板を原料としたチップセメントボードの材質は、実用的には必ずしも十分とはいえないが、少なくとも型枠として１－２回程度使用された合板はチップセメントボードの原料とし用いることができること、すなわち、限ら

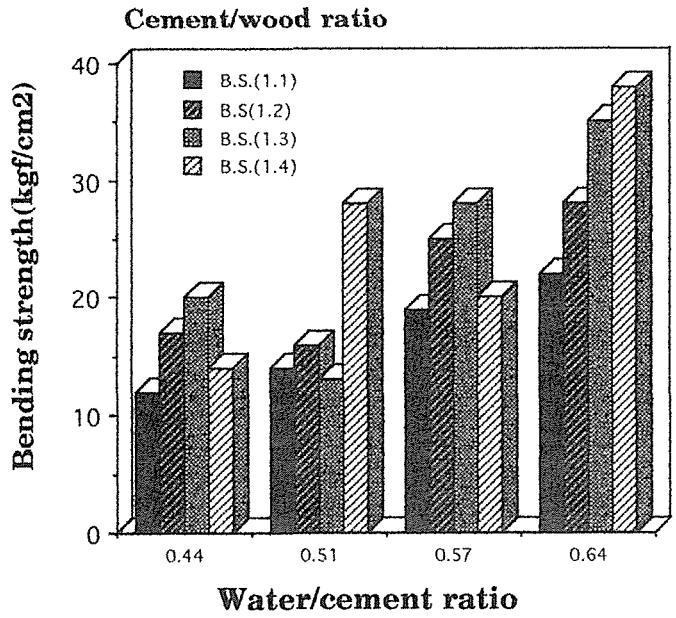


図１　合板廃材を用いたチップセメントボードの曲げ強さ

れた用途に対しては使用可能なボードを製造することができることが明らかになった。すなわち製造条件を最適なセメント／チップ／水比によって、比重1.3程度に設定することによって、曲げ強さ30－35kgf/cm²程度のチップセメントボードを製造することができる。均一なチップを製造することによって、この強さはさらに増大させることができると推測される。従って、さらに改良されたボードなら、ある程度の耐火性が要求される倉庫等の間仕切り材、天井材、外壁材等に利用しうる可能性がある。

今後の課題	現場において１－２回使用されたコンクリート型枠合板は、限られた用途を持つチップセメントボードの原料として使用可能であることが明らかになったが、問題点として、①曲げ強さがボードとして十分でないこと、②強度を落とさずに比重を0.8－1.0 程度に抑えられれば最も望ましいこと、③そのためには最適なパーテクル（チップ）の形状と大きさ、そのようなチップの製造法を追及し、最適なセメント／チップ／水比を含む製造条件を確立すること、④ボードの経年劣化の特性を明らかにし、どの程度（何回）使用された型枠合板まで原料として使用ができるか、さらに製造されたチップセメントボードの経年劣化と耐用年数等を明らかにする必要がある。

文献

１）川村恵洋ほか：新潟大学農学部演習林報告、第９号、４５（１９７６）

テーマ	廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボードの開発(その１)(1993年度)
	木材製品を再利用（リサイクル）することによって、貴重な森林資源を節約できるだけでなく、樹木が伐採され木材となって利用されている期間すなわち、炭素が固定される期間を延ばすことになるので、リサイクル法を確立することは、二酸化炭素の発生の抑制に役立つので、地球環境の保全にいささかなりとも貢献すると思われる。 現在日本において、全合板需要の約20%に相当する1,750,000～2,100,000m²がコンクリート型枠として使用されており、これを丸太に換算すると2,690,000～3,230,000m³にると推定される。型枠合板は繰り返し使用されるが、平成３年度におけるある調査によれば、型枠用普通合板の平均繰り返し使用回数は2.6回となっている。しかし、最近の傾向として建築構造物のデザインが多様化しているために、様々な形の型枠が必要になってきたため、合板の劣化が原因でなく、形が合わないために繰り返し使用できない場合が多くなっているということがわかった。そのため、１回だけ使用されて廃棄または焼却される、使い捨て製品(disposable items)の性質を帯びてきている。このほか、再度使用するさいに合板を清掃したり、補修する必要があり、このための人件費を考慮すると繰り返し使用することが必ずしも経済的でないことも、使い捨ての傾向に拍車をかけている理由であると思われる。そこで、合板の繰り返し使用回数を増やすための対応策や試みを行うことも必要であるが、1回または2回しか使用されないで廃棄される場合にはなおさら型枠合板のリサイクル法を開発することは重要であり、その１つの方法としてセメントボードの開発のために基礎的研究を実施しつつある。
開発の内容	昨年度は建築現場において実際に使用された型枠合板を使用してチップセメントボーを製造し、型枠としての使用回数とボードの強度との関係を検討し、ボードの原料になりうるための型枠としての使用限度（回数）について検討し結果、１、２回の使用は殆ど問題がないが、３回を越えると原料合板の木材の劣化が原因と思われる製造されたボードの材質の低下が認められた。しかし、現場における型枠としての使用条件は１回ごとに異なっていると考えられそのような使用歴は正確に把握できないので、本年度は条件を一定にするために実験室において、未使用型枠合板に実際にセメントスラリーを一定厚さに塗付し、一定期間放置した後にセメントを除去する処理を行って型枠使用の条件を再現し、その処理回数を変えてセメント処理を行った合板からセメントボードを製造し、現場で使用された合板と比較して、その性能を詳しく測定し、型枠としての使用回数とボードの性質との関係をさらに詳しく調べ、ボード原料としての使用回数の限度と使用された合板のセメントボード原料としての適性を明かにした。
成果の概要	[実験条件]（試料）（１）未使用の市販のコンクリート型枠用合板（石巻合板㈱製）；ラワン合板、厚さ12mm（記号S0）

（2）同じ製品を実験室において両面に対して1回セメント処理を施したもの（記号S1）
（3）同じく両面をそれぞれ2回ずつセメント処理したもの（記号S2）
（4）同じく両面をそれぞれ3回ずつセメント処理したもの（記号S3）
（5）現場において片面を1回、もう一方を2回使用したもの（記号U12）
（6）現場において片面を2回、もう一方を3回使用したもの（記号U23）

これらの試料から表面に付着したセメントを除去する方法は前回と同様にベルトサンダーを用いて行った。

（チップの製造）前回と同様にパルプ用チッパーを2回通した後、篩別を行いある程度サイズを揃えた。

（チップセメントボードの製造条件）

まず、セメント／チップ比(C/W比)がボードの材質に与える影響をC/W＝1.2～3.5の範囲（このとき水の量もセメント量に対応して、442gから382gまで変える）で検討した。その結果曲げヤング係数と比重はセメント／チップ比すなわち、セメントの相対量が増大するにつれて増加した。しかし、曲げ強さはセメント／チップ比2.5迄は同様に増大するが、これ以降は殆ど増大せずほぼ一定の値を示した。これに対して、ヤング係数は比重と同じようにC/W比が増大するにつれて一貫して増大することがわかった。比重と相関性が高いのは強度よりもヤング率であった。これはC/W比が大きくなるに従って、チップ間の結合にあずかるセメント層の厚さが増大し、そのセメント層は木材に比べて硬く剛性が高いのでヤング率の増大には寄与するが、脆いために強度の増大には必ずしも寄与しないからではないかと推測される。しかし、ある程度以上の曲げ強度をうるにはある程度の比重が必要であり、曲げ強さ30kgf/cm^{2}を越えるセメント／チップ比における比重は1.11－1.31とやや重くなった。しかし、ボードとしての一般的な用途に供しうるためには少なくとも100kg/cm^{2}程度の強度が必要であり、ここで採用した条件で製造されたボードではそこまで到達できなかった。問題は合板からチップを製造する方法にあり、サイズは小さめでもよいが均一なチップを製造することのより、均一なマットを作ることができ、よりすぐれた強度の高いボードがえられると思われるので、均一なチップを製造する方法が今後の最大の課題であると思われる。

（養生期間の効果）

曲げ強さは養生期間の最初の3日間で急速に増大し、それ以後14日迄はゆるやかに上昇を続ける。それ以降もわずかに上昇するがその速度は非常に小さい。約2週間で強度が最大値近くまで増大するということはセメント／木材の相互作用がセメントの硬化を阻害せず、セメントの硬化反応が順調に進行すること、さらにセメント自体の硬化反応はある程度まで進むと、それ以上の進行はボードの強度の増大にあまり寄与しないことを示しているものと思われる。

（セメント処理がボードの材質に及ぼす影響）

無処理の型枠用合板の両面にセメントペーストを一定期間塗付する処理を1－3回行った

試料から製造されたボードの曲げ強さを図1に示す。同じセメント／チップ比において比較すると、強度はS0<S1<S2<S3という順序で、セメント処理回数が増えるに従って強度が増大する傾向が認められた。しかし、この傾向は曲げヤング係数においてより顕著で規則的である。これはラワン合板がセメント処理を受けることによって、ボード原料としての適性が改善されていることを示すものである。具体的には、セメント処理という強いアルカリ処理によって、セメントの硬化を阻害する物質の一部が溶出して除かれることによるものと思われる。しかし、この処理によって、同時に木材のアルカリによる劣化も起こっていると思われるので、これがセメントボードの耐久性に影響を与える可能性もある。チップセメントボードの耐久性は今後長期間にわたる実験によって検討しなければならない重要な課題であると思われる。

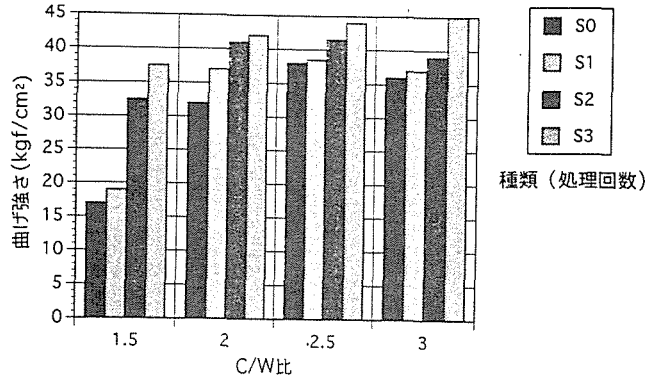


図１　C/W比と曲げ強さとの関係（処理合板）

セメント／チップ比2.5迄は、セメント量が増大するにつれて、どの種類も曲げ強さ及び曲げヤング係数が増大する傾向を示すが、2.5を越えると、一部に強度がやや低下する傾向が現われてくる。またこれに対して、ヤング率は必ずしも対応していなかった。

（使用済み型枠合板から製造したボードの材質）

実際に現場で数回使用された合板から同じ方法でチップを製造し作ったボードの材質を調べた。まずセメント／チップ比と曲げ強さの関係を図2に示す。

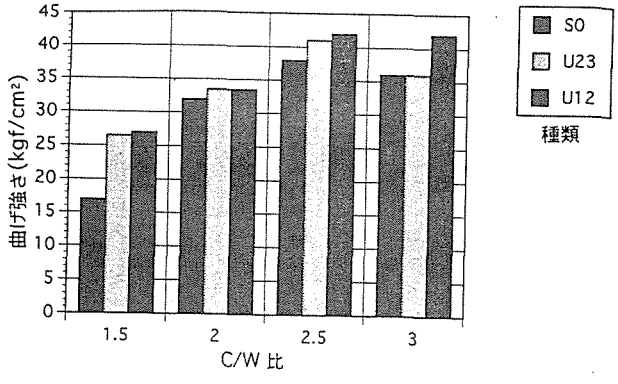


図２　C/W比と曲げ強さとの関係(使用済み合板)

セメント処理合板から作ったボードと類似した傾向を示し、最初セメント／チップ比つれて強度が増大するが、2.5を越えるとやや低下する傾向が認められる。この傾向は無処理の合板を原料に使用した場合にも認められるので、ラワン合板に共通の傾向であると思われ

る。次に使用回数に関しては異なった使用回数間の違いセメント処理の場合ほど明瞭ではないが、、使用された原料から作られたボードの方が強度はやや高くなる傾向が認められる。この傾向が明瞭でない理由は、アルカリ処理による劣化の度合が実験室における処理よりも大きいためである可能性を示している。しかし、少なくとも型枠として現場で使用された合板から作られたボードの強度は無処理の合板から作られたボードのそれよりも低くなかったことは明かである。次に試料U23を用いて作ったボードの熱伝導率の測定結果を図3に示す。製造されたボードの熱伝導率はセメント量が増大するにつれて高くなるが、ラワン合板の値0.1333と純粋なセメントだけを硬化させて製造したセメントプレートの値0.2633kcal/m・h・℃の間にあり、連続した曲線を構成している。これらの値は比重0.7の木毛セメント板の熱伝導率0.26前後に比べると比重の割合にすぐれており、断熱材料として使用しうる可能性がある。

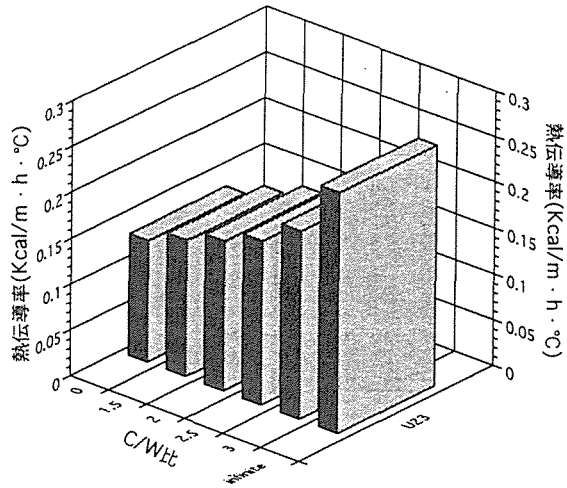


図３　C/W比と熱伝導率との関係

次にパーテクルボードの試験方法に準じて行った吸水及び厚さ膨潤率の試験結果によれば、吸水率はおおよそ20-40%の範囲にあり、セメント量が増大するに従って小さくなる。その値は含脂率4-11%のパーテクルボードの吸水率40-80%よりもかなり低い。また厚さ膨潤率についても同じパーテクルボードの22-38%に比べてはるかに低い4-13%の範囲にあった。

活用の方法	２、３回使用した型枠用合板を用い、表面に付着したセメントをベルトサンダー等で除去し、チップ化してセメント／チップ比2.5前後でチップセメントボードを製造すると、比重1.1-1.3の範囲で曲げ強さ30-40kg/cm2のボードを製造することができる。。このボードの断熱性はかなりすぐれていて、木毛セメント板にほぼ匹敵し、吸水率及び厚さ膨潤率もパーテクルボードに比べてかなり比較的低く、これらの特性からあまり強度を必要とせず、断熱性を重視するような用途には使用可能と思われる。
今後の課題	２、３回使用したコンクリート型枠合板からある程度の強度を持ったチップセメント板を製造することは可能であるが、これを外壁材として用いるためには曲げ強さを80－100kgf/cm²程度まで向上させる必要がある。そのためには均一なチップを製造する方法が大きな課題となる。

テ ー マ	廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発(その1)(1994年度)
開発の目的	種類及び形態が多岐に亘る木質廃棄物の中で、日本においては木造住宅解体材とともに量的に大きな割合占めていると思われる使用済みコンクリート型枠合板は一部がチップ化され、燃料、パーテクルボードに使用されているが、その割合は低く、産業廃棄物として焼却されている場合もかなりあると推測され、まだ決定的な再利用法は確立していない。われわれのグループでは、これまでに引き続き、使用済み型枠合板の再資源化の方法の１つである木質セメントボードの製造と、本年度から新たに取り上げたパーテクルボードの製造実験を行った。その目的は、すでに工業化され市販されているすぐれた品質を持った製品に匹敵する製品を、それらの製造に使われている工業原料よりも劣る木質廃棄物の１つである使用済み型枠合板を原料として製造することは、至難なことであると推測される。そこで、これらの在来の製品とは異なった用途を考え、従って異なった材質を持った製品の製造を主眼とする基礎的な実験を行うこととする。２種類のボードのいずれについても、従来の用途にとらわれない、新しい使用方法を開発することを追及するため、必ずしも強度だけを優先して考えず、比較的広い範囲の比重をカバーしたボードを製造し、それぞれが比重の割合に強度が高い、すなわち、低価格で、ある用途にとって必要最小限の強度を備えた軽いボードを製造することを主目的として実験を行った。
開発の内容	廃コンクリート型枠合板を廃材処理工場において大型ハンマークラッシャヤーで粗砕したチップを小型ハンマークラッシャーで破砕し、大きさの異なるチップを篩別して原料とした。これらの原料から種々の条件でチップセメントボード及びパーテクルボードを製造し、曲げ強さ、曲げヤング係数、比重、剥離強度、吸水率、厚さ膨潤率を測定し、製造条件と材質の関係を調べ、比重の範囲と、それぞれの比重に対応する強度等の材質を求めて種々の用途に対する最適な条件が求められるようにした。
成果の概要	１ チップセメントボード まず小型ハンマーミルで粉砕後、チップを篩別せず、ミルのスクリーンを通過した精細なもの(S)とスクリーン上に残った粗大なもの(L)で、セメント／チップ比2.0,2.5及び3.0で製造したボードの曲げ強さの平均値はLで59.0kgf/cm^2,Sで80.3kgf/cm^{2}であり、昨年度の値より大幅に改善された。またS(精細チップ）はL(粗大チップ）よりも約36%強度が高かった。そこで、これらのチップのうち、精細（S)なものをさらに細かく篩別してボードを製造した。まず5mmの篩を通過し、20meshの篩上に留まった精細なチップ（記号f）と、5mm篩と10 mm篩の間の比較的粗い粒度のチップ（記号g)の２種類のチップを別々に使用してチップセメントボードを製造した。セメント／チップ比(=C/W)を2.0（記号A)と1.5(記号B)の２段階に変え、比重の異なるボードを製造するために、圧締圧力を10kgf/cm^2(記号１０），15 kgf/cm^2（記号１５）及び20 kgf/cm^2（記号２０）の３段階に変え、チップの細かいもの(f)と粗大なもの(g)の２種類との組み合わせは１２通りである。これに精細チップと粗大チップを均等に混合したものを２通り加えたので、都合１４通りとなった。

製造条件の種類及び記号は表1の通りである。

表1　チップセメントボードの製造条件の種類と記号

A10g	A10f	B10g	B10f	A15g	A15f	B15g
B15f	A20g	A20f	B20g	B20f	B15fg	B20fg

なおセメント／水比は条件Aで1.85、条件Bで1.51とした。ボードの大きさは30cm×30cm×1.3～1.8 cmで、硬化剤として塩化カルシウムをセメントに対して0.35%加えた。1枚のボード当たりの原料配合比を表2に示す。

表2　原料の配合比

比または原料	A	B
セメント／チップ 比	2.0	1.5
セメント／水 比	1.85	1.51
セメント	720g	650g
チップ	360g	430g
塩化カルシウム	22g	20g
水	390g	400g

(製造したチップセメントボードの性質)

曲げ強度を比重に対してプロットすると図1のようになる。これによれば、ボードの比重と曲げ強さの範囲はそれぞれ、0.88から1.10、約30kgf/cm²から75kgf/cm²である。

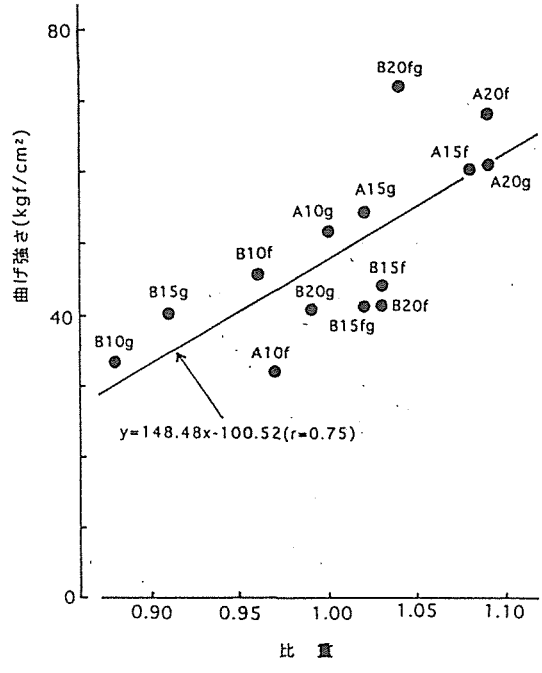


図 1　製造された全ての種類のチップセメントボードの比重と曲げ強さの分布

これらの中で平均よりも優れた強度を示した種類には、B20fg、A20f、A15f、A10g等があるが、特に細かいチップと粗いチップを混合し、チップ／セメント比1.5、圧締圧力20kgf/cm²で製造したB20fgが比重1.05に対しては72kgf/cm²という高い曲げ強度を示した。また細かいチップと粗いチップを等量で混合して製造したfgは中間の比重の範囲1.00から1.08において強度の優れたボードを与えることがわかった。

JISのパーテクルボードの試験法に従って行われた24時間浸漬後の厚さ膨潤率及び吸水率の範囲はそれぞれ2.9-5.2%及び12.5-26.2%であった。膨潤率、吸水率ともにセメント配合比A及びBの間ではセメントリッチなAの方がBよりも低く、優れていた。

2. パーテクルボード

(製造条件) 原料は木質セメントボードと同じf(5mm－20mesh)とg(3mm－5mm)の2種類のチップにハンマークラッシャーダスト(2mm－40mesh)(C)及び針葉樹からとれたダスト(2mm－40mesh)(D)を加えた4種類である。単層ボードはf及びgを用いて製造した。3層ボードはf,g,C,Dを組み合わせて次の構成のものを製造した。C-f-C(内層f、表層C)、D-g-D(内層G、表層D)及びC-g-C(内層g、表層C)の3種類。接着剤：フェノール樹脂接着剤(大鹿レジンPB-1310、不揮発分44-48%、比重1.15-1.20、PH10-11)。接着剤添加量(含脂率)単層で5%、10%及び15%、3層で表層15%、内層5%、目標比重：単層で0.5、3層で0.7、圧締圧力25kgf/cm²(3層ボード)、12.5kgf/cm²(単層ボード)、圧締温度：180℃、製造したボードの寸法：33.0cm×23.5cmである。 製造したボードの種類：○単層ボード；f5(チップf、含脂率5%)、f10(同じく含脂率10%)、f15(同じく15%)、g5(チップg、含脂率5%)、g10(同じく含脂率10%)、g15(同じく含脂率15%)、3層ボード；C-f-C、D-g-D、C-g-C、曲げ強さ：(1)単層ボードの曲げ強さをチップf及びgに分けて図2に示す。

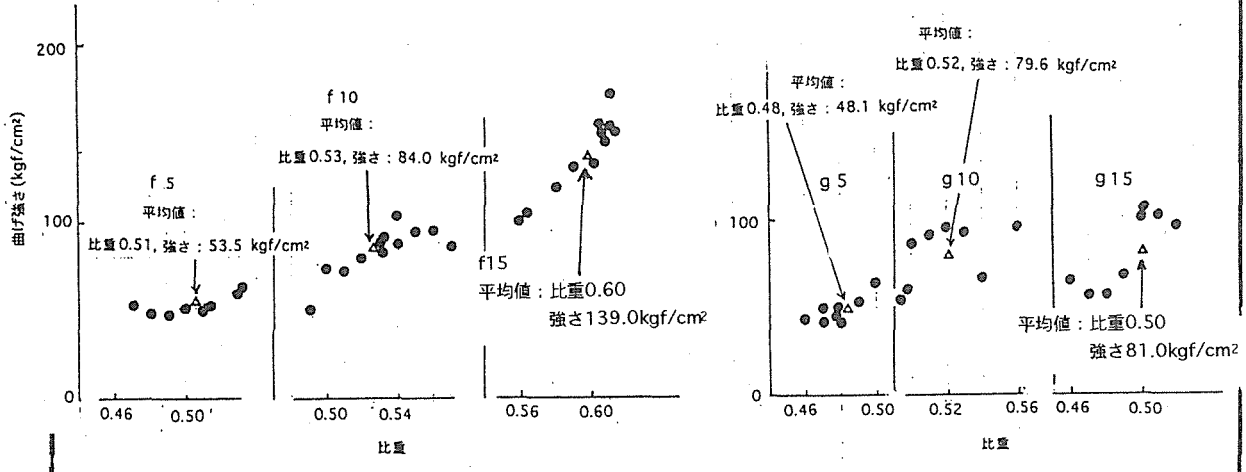


図2 チップf(精細；左)及びg(粗大；右)を用いた単層ボード曲げ強さと比重

精細チップfを用いた場合、含脂率が5,10,15(%)と大きくなると平均比重は0.51、0.53、0.60と増大し、同時に曲げ強さは53.5、84.0、139.0kgf/cm²と上昇した。比重が最高で

0.6と低めであるので、曲げ強さは最高で約180kgf/cm²程度であった。粗大チップgを用いた場合には含脂率が5%から15%に増大しても、比重は殆ど変わらず、曲げ強さの上昇幅も約48から81kgf/cm²と比較的小さかった。全体として、チップgを用いた方が軽めのボードができるが、120kgf/cm²以上の曲げ強さを持ったボードを製造するにはチップfの方が適している。

(2) 3層ボードの曲げ強さを図3に示す。

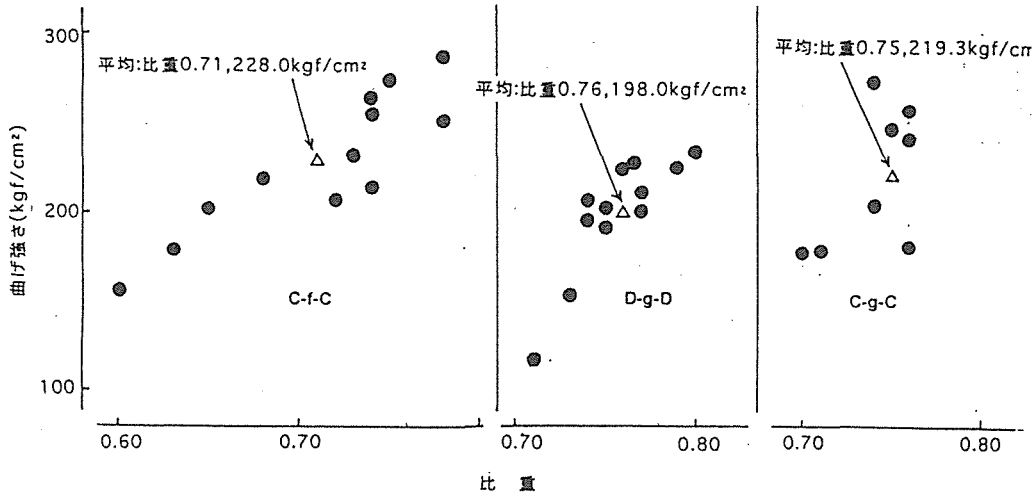


図3　3層ボードの比重と曲げ強さとの関係

3種類のボードの曲げ強さ（平均値）は、C-f-C>C-g-C>D-g-Dの順である。これに対して比重は差は小さいがこれと反対の順序となる。従ってこの中ではC-f-Cが比重が低く強度が強いという点ですぐれたボードであるといいうる。

これらの結果から単層でも3層でもチップg（粗大）よりもチップf（精細）の方が均質で、ある程度強度の大きなボードを与えるという点で適しているといいうる。また型枠廃材チップを篩分けして細かいチップを使い、フェノール樹種接着剤も用いて含脂率10%程度で単層または3層のボードを製造すると、比重0.6-0.7程度で、曲げ強さ220kgf/cm2以上の製品ができることがわかった。

活用の方法

1. チップセメントボード：廃枠合板をまず廃材処理施設において、大型のハンマークラッシャーで破砕した後、小型のハンマークラッシャーで1、2回破砕し、5mm以下20mesh以上の部分を用い、セメント／チップ比1.5または2.0、圧締圧15または20kgf/cm²でチップセメントボードを製造すると、比重1.0ー1.1、曲げ強さ70-80kgf/cm²のボードがえられ、あまり強度を要せず、耐熱性とある程度の断熱性、遮音性が必要な用途に使用の可能性がある。

2. パーテクルボード：同様に2または3段階に破砕され、篩別された2種類の廃型枠合板チップと微細なダスト、フェノール樹脂接着剤を用いて、含脂率5-15%で単層または3層のパーテクルボードを製造すると、比重0.5-0.6の軽比重のもので曲げ強さ100-150kgf/cm²、比重0.7-0.8 のやや高比重のもので、同じく200-230kgf/cm²のボードがえられ、前者はあまり強度を要しないが軽量であることが要求される用途に、後者はある程度強度が必要な用途に使用しうる可能性がある。いずれのボードもさらに材質の改善の余地が残されている。

テ ー マ	廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発(その1) (1995年度)
開発の目的	木質廃棄物のうち再利用される割合や方法は各種の統計によって異なるが、それらのうちのかなり大きな部分が破砕またはチップ化され、燃料、パーテクルボード、製紙等に使用されていることは明かである。しかし、その割合はまだ低く、産業廃棄物として焼却されたり、埋め立てられたりしている量の方が多いと推測され、これらは、リサイクルという意味で再利用されているとはいえない。また、燃料の場合も再利用の1種であるが、炭素をバイオマス中に固定しておく期間をできるだけ長くするという意味では望ましい方法とはいえない。これ迄われわれが行ってきた使用済み型枠合板の再資源化の方法の1つである木質セメントボード及びパーティクルボードの現段階の試作品の品質は、市販の製品に比べるとまだかなり劣るが、もし製品化に成功するなら、木質廃棄物の本来の意味における再利用(リサイクル)の例となると思われる。市場において在来の製品と競合しない、これらとは異なった使用法の例として、パーティクルボードを製品として市販することを考えず、型枠合板組合が回収した廃型枠合板から一定の品質をそなえたパーテクルボードを製造し、それを自から行っている建築部門において建築資材の一部として自家消費をする法を提案した。またチップセメント複合材料については、必要最小限の強度を備え、軽くて断熱材として使用できるような断熱性の高いボードの製造を試みた。また特殊な性能を付与するために木炭を混入することによって電磁波遮蔽性（シールド効果）のあるボードの製造の試みも行った。このほか種々の用途が期待できブロックタイプの複合材料の製造の試みを行った。
開発の内容	廃コンクリート型枠合板を廃材処理工場において大型ハンマークラッシャーで粗砕したチップを小型ハンマークラッシャーで破砕し、大きさの異なるチップを篩別して原料とした。これらの原料から種々の条件でパーティクルボード及びチップセメントボードを製造し、曲げ強さ、曲げヤング係数、比重、剥離強度、吸水率、厚さ膨潤率を測定し、製造条件と材質の関係を調べ、比重の範囲と、それぞれの比重に対応する強度等の材質を求めて種々の用途に対する最適な条件が求められるようにした。まずパーティクルボードは廃材から実際に工場で製造し、実用に供しうる品質を備えた製品ができるかどうかを確かめるために、実大サイズのボードを製造し、上記の各種性質の試験を行い、十分に実用に耐えることが確められた。またチップセメントボードについては比重1.1-1.2のオーソドックスのタイプは廃材混入率がチップの約30%迄は在来の同種の製品にほぼ匹敵する強度及びその他の性能を示すことがわかった。軽量チップセメントボードは熱伝導率約0.1というパーテクルボードのそれに近い断熱性を持つものを製造することができた。この他チップとセメントとの複合材料として板状ではないブロック状の製品の製造を試みた。
成果の概要	1.パーティクルボード [実験]ハンマークラッシャーで2段階破砕されたチップを篩別し、粗大チップを除いた精細チップ及び中間チップを用い、次の条件で実大パーティクルボードを製造し、強度その他の項目の試験を行った。サイズ：90cm×90cm×1.5cm、目標比重：0.7、含脂率：ユリア・

メラミン共縮合樹種を表層15%、平均10%、硬化剤（塩化アンモニウム):1%、圧締条件:140℃、12kgf/cm²、15分間。

[結果]測定結果は次の通りである。比重：0.69（平均）、含水率9.6%、曲げ強さ：122.9 kg/cm²、曲げヤング係数：23,400kgf/cm²、剥離強さ：2.03kgf/cm²、木ねじ保持力:60.6 kgf/cm²、吸水厚さ膨潤率：15.1%。

えられたボードはJISの分類で100または150タイプに入る。しかし、剥離強さ及び木ねじ保持力はタイプ200の値をクリアしている。ボードをサンダー仕上げしている時、２枚の板にそれぞれ２個所(２本)の釘が検出された。これは型枠合板廃材を原料に使用するときの問題点の１つである。しかし、これは型枠合板廃材をパーティクルボード原料として使用できない欠点となるものではない。たとえば、名古屋地区の場合、東海地区型枠工事協同組合があり、ここが１日にトラック２０台の使用済み型枠合板を受け入れている。その一部は補修されて再利用されるが、それ以外の部分は用途がないので原料は十分確保できる。またこの組合の責任者となっている建設会社は建築も行っているために、パーティクルボードを製造すれば建築用部材として、自家消費を行うことができる。従って、この建築部材の中で最も適した用途を選んで使用することができる。

2.　チップセメントボード

[実験] (1)ある市販製品の原料チップを型枠合板廃材チップで代替できるかどうかを検討し、また、(2)断熱性を向上させるため軽量化チップセメントボードの製造を試みた。(1)の製造条件は、固形分(セメント＋チップ）対水の比は2.4:1.0、マットは50℃、15時間で硬化反応を行った後、20℃で24時間養生させた。原料配合比を表１に示す。

表1 チップセメントボードに廃材チップ及び木炭を混入する実験の配合比

原料	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8
セメント	59.6	59.6	59.6	59.6	69.6	69.6	69.6	69.6
木炭	廃材炭 10mm-4.5mm 10.0	廃材炭 4.5mm-1.0mm 10.0	廃材炭 1mm以下 10.0	樹皮炭 10mm-4.5mm 10.0	—	—	—	—
廃材チップ	—	—	—	—	10Mm-4.5mm 10.0	4.5mm以下 10.0	—	4.5mm以下 29.0
スギ・ヒノキフレーク	29.0	29.0	29.0	29.0	19.0	19.0	29.0	—
硬化剤	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4

(2)軽量化チップセメントボードの製造条件は表２に示す。

表2 軽量化チップセメントボードの製造条件

項　　目	比・量・圧力
チップ／セメント比	1.5
エメント（普通ポルトランドセメント）	650 g
チップ	430 g
硬化剤（塩化カルシウム）	20 g
圧締圧	10 kgf/cm²

[結果] (1) 廃材チップ・木炭混入チップセメントボードの材質試験結果を表3に示す。

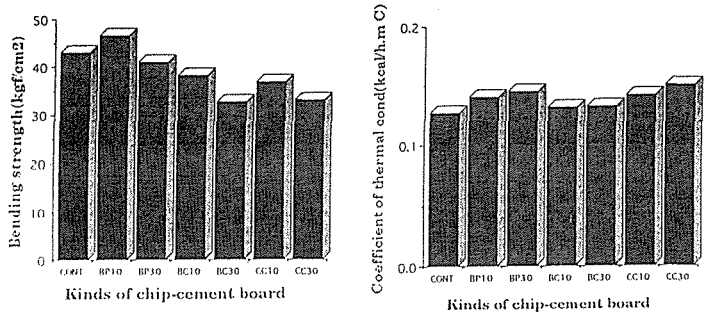
表3　廃材チップ・木炭混入チップセメントボードの材質試験結果

項目	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8
曲げ強さ (kgf/cm²)	141.0	134.5	151.3	141.8	133.3	136.7	154.6	75.7
曲げヤング率 (×104 kgf/cm²)	2.68	2.62	3.04	2.73	3.22	3.17	3.32	3.04
比重	1.13	1.12	1.17	1.16	1.20	1.20	1.17	1.22
熱伝導率 (kcal/h・m℃)	0.2026	—	0.2220	—	0.2374	—	—	—

現在ニチハで使用しているフレーク（スギ、ヒノキチップ）の1/3（全原料に対して10%）を廃コンクリート型枠チップで代替して製造したボード(表中のNO.5及び6)の曲げ強さは130kgf/cm²を越えたので、実用に供しうると判定した。また耐凍結性試験の結果でも市販されている製品にやや劣るものがあるが、殆ど同程度の水準にあった。しかし、木質チップの全量を廃材チップで代替すると強度をはじめすべての性質がかなりの低下を示し実用には無理であると判定された。このほか、半永久的使用（例；土中に打ち込み放しする）コンクリート型枠の開発を目的として、廃コンクリート型枠チップとこれを炭化してつくった木炭を混入したボード(NO.1～NO.4)を製造した。強度は標準品に比べて10～20kgf/cm²程度低下するが、実用に供しうる水準にある。木炭混入によって断熱性もかなり改善されることが明かになった（表のNO.1及びNO.3)。また十分でないがシールド性（電磁波遮蔽性）も多少付与されることが確認された。この性質の改善に関しては引き続き実験を重ねる予定である。

(2)軽量化チップセメントボード

曲げ強さ35～45kgf/cm²、曲げヤング係数7,000～15,000kgf/cm²の範囲にあり、比重1.1～1.2の(1)のボードの値130～150kgf/cm²及び26,000～33,000kgf/cm²に比べるとかなり低い。しかし、このボードの比重は0.75～0.90とかなり低いのである程度はやむをえない。このボードの最大の特徴は断熱性であり、熱伝導率が0.15kcal/h・m℃ 以下と低いことである。なお、(1)の比重1.20の通常の廃セメント型枠合板を用いたチップセメントボード(NO.5)の

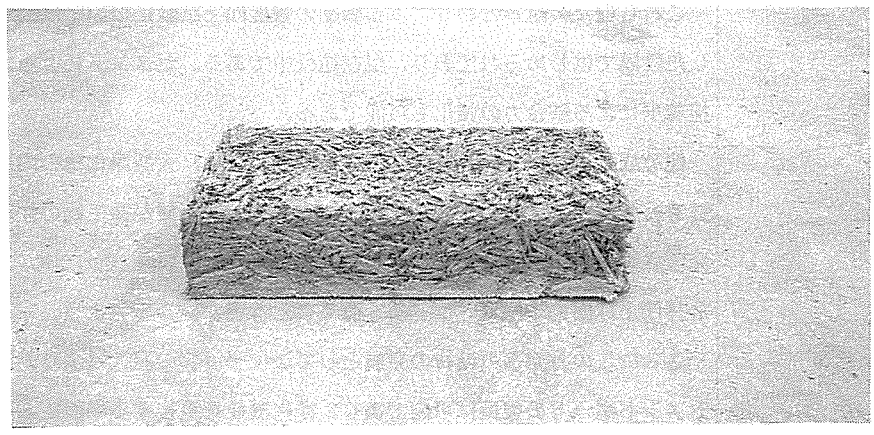


CONT: 廃材チップ100%
BP10: エゾマツ樹皮チップ10%混入
BP30: エゾマツ樹皮チップ30%混入
BC10: コルクパーテクル10%混入
BC30: コルクパーテクル30%混入
CC10: 粒状白炭10%混入
CC30: 粒状白炭30%混入

図1 軽量化チップセメントボードの曲げ強さと熱伝導率

	熱伝導率は約0.24Kcal/h・m℃であり、軽量ボードで最も値の低かったものは約0.12で、約1/2に低下した。軽量化と他の物性を改善するために白炭を最大30%迄混入してボードを製造したが、この場合には断熱性及び軽量化には効果が認められなかった。しかし、ある程度の電磁波遮断性が認められた。しかし、この点に関してはさらに改善が必要なので継続して検討したい。軽量化チップセメントボードの曲げ強さ及び熱伝導率を図1に示す。
活用の方法	(1)パーティクルボード コンクリート型枠廃材チップだけを原料としてパーティクルボードを製造すると、実用に供しうる製品ができる。しかし問題点として、丁寧に異物除去をおこなったのに1枚のボードにつき2本の釘が検出された。装置が簡単で経済的な異物除去装置を開発する必要がある。しかし、現段階では異物除去を徹底して行うには大きな設備をしなければならない。従って、ある程度の異物の混入を認め、それで支障のないような利用法及び用途、例えば建築会社における自家消費のような方法を考えるのが現実的であると思われる。 (2)チップセメントボード こちらもある程度比重を高くすれば、実用に供しうる程度のボードの製造は可能である。しかし、強度以外の要因、廃材に適した製造ラインの導入、様々な品質が既存の市販品よりも劣るために、既存の製品と同じ種類の製品化は困難であると思われる。その代わり、比重を0.6以下に抑えて、曲げ強さは50kgf/cm²程度にして、断熱性を十分に向上させられれば、従来の主要な用途である外壁材に代って住宅の断熱材としての用途が期待できると思われる。さらに、木炭混入の条件を検討して、シールド性を40dB程度に向上させることができれば用途はさらに拡大されると思われる。
今後の課題	チップボードは型枠合板廃材だけを原料にして、ほぼ実用に供しうるレベルの品質を備えたボードが製造可能であることが明かになった。問題点は廃材チップから特に釘等の金属性異物を除去することであるが、装置が比較的簡単で性能がすぐれた経済的除去装置を開発すること、廃材の原料に適した製造ラインを確立すること等である。チップセメントボードに関しては在来の工場で型枠合板廃材チップを原料の一部に使用するラインを確立し、廃材を混入することが、経済的にマイナスとならないようにすることである。また、軽量化チップセメントボードについては、軽量化をさらにすすめ、曲げ強度をできれば100kgf/cm²程度に保ち、比重が0.5～0.6程度、熱伝導率が0.1Kcal/h・m　℃以下の断熱性のすぐれたボードを開発することである。また廃材を炭化してえられる木炭及びその他の炭素原料を最大50%程度迄混入し、シールド性50～60dBの性能を持ったシールド材を開発することである。さらにかつて建築材料としてかなり広範囲の用途を持っていたが、現在日本において製造されなくなった、ブロック状のチップセメント複合材である「ドリゾール」に代わる製品で一定の品質を備えたものをセメント型枠合板廃材から製造できるなら、広い用途及びかなりの需要が期待できると思われる。これ迄のわれわれの実験によれば、この製品の開発のポイントは原料のmixingとforming の方法にあると思われる。さらに原料が安定して供給できるような集荷システムを確立することも重要である。

テーマ	廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発（その1）（1996年度） （1）廃コンクリート型枠木片セメントブロックの製造
開発の目的	廃コンクリート型枠合板の再資源利用化を難しくしているのは異物の混入である。廃コンクリート型枠のチップ化に刃物を使用することは出来ない。また、ハンマーミルで二回、三回と破砕を重ねると、チップは粉末 化してしまう。 この様なことから、おのずから使用できるチップの大きさは限られてくるし、異物の混入も考えに入れたものとする必要がある。 廃コンクリート型枠の破砕チップをセメントで固めたブロックとすることを試みた。
開発の内容	廃コンパネをピンチップに破砕し、水に5-6分つけて吸水させたものにセメントの粉末を入れ、この水分だけで練り上げて、ペースト状となったセメントがチップにまぶさった状態とする。金型にいれ、バイブレションブレスで成型する。 セメントに水を加えて練ったものにチップを加える方式では、木片が遊離して、うまく木片に着いてくれない。 300 × 500 × 100 ㎜の平板ブロックを金型にいれたままで表面を、 2-3 ㎝厚さにモルタルで平滑に仕上げる。裏向きにして金型から離型した後、翌日まで置き、屋外に移し、ストックヤードで一日一回、一時間散水し養生を2週間行う。 出来上がった平板の重量は平均 11.90 kgであり、このサイズのコンクリート製品の標準重量 35 kgの 1/3 以下の軽量のものを作ることができた。 この平板を用いて、現場実験が行われた。愛知県の森林公園内の小川の護岸工事として20m 長さの両岸の法面に、平板を千鳥に貼った。 平板のモルタル仕上げした平滑面を下側にし土に接するように置いた。ブロックの粗い面が上にでることによって、目地砂を被せた後で、芝、草等が根ずき、植生が回復することを期待した。やがて平板は解体して土に戻る。その頃には岸の植物は大きくなり、植生は復元される事になる。 今後数年間の定点観測を続ける必要がある。
成果の概要	当初より目的であった、小川の、法面の固定は十分に行われた。地なりの、大きな、うねりを持った法面が、平板の千鳥貼りにより得られた。 この木片セメントブロックの最大の特徴は、軽い事にあって、運搬や、施工の利点となった。現場の評判は良い。ただ護岸材料としての軽量を危惧する声もあったが、この現場の流量は少なくそのような危険は無い。 期待される今後の植生の回復の調査には数年に亘る観察が必要である。

	
活用の方法	試作した廃コンパネ木片チップセメントブロックの特徴は、（1）やがて分解して自然の植生に戻ること、（2）軽量であること。（3）廃コンパネの再資源化ということにある。 現在の工事の時点で強調された、軽量であるという利点は、他の形のセメント成型ブロック等の製品への応用につながる点で極めて興味深いものとしてとらえられる。すなわち、軽量で弱いといった欠点はエキスパンドメタルといった金網状の鉄筋をモルタル仕上げ層の中にいれる事によって、十二分に補強される。コンクリートは圧縮強度が強いため圧縮側にコンクリート層を、引っ張り側にエキスパンドメタル補強層を作るといった組み合わせの仕上げによって、製品に十分な強度を期待できる。

	これら種々の組み合わせによる製品の強度向上試験については、現場施工テストが終了した段階ではじめられており、現在進行中である。セメントによる木片の結合力の他に、接着剤による結合力の強化も可能である。 他の成型コンクリートへの応用としては、（1）大型浄化槽の内層に木片セメント層を置き、強度はコンクリートが負担し、木片セメント層が微生物の住家となって浄化機能を発現させること、また（2）U字溝においても、（3）そのための排水施設においても最終仕上げ面に木片セメント層を置くことなどが試みられよう。 さらにこの方面への期待の発展として炭化チップの混入はより効果的であろう。炭混入セメントボードの製造は可能であり、浄化機能を重視する場面においては、大型の炭片セメントブロックの製造を考えてもよいものと思われる。
今後の課題	現時点では一番産業化に近い技術開発であると思われる。異物の混入は不問であり、製品は軽量で、やがて土に戻るという今までにない特性をもつ製品を得た。補強による強度の向上も容易である。バイブレーションプレスと 金型で生産可能である。金型は成型脱型後すぐ使用できるので、数量もそんなにはいらない。製品の永続性については、かなりの長期使用が可能であるとする人もいる。 今回の試験の、今後の観察結果が待たれる。

テ　ー　マ	廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発（その1）（1996年度） （2）コンクリート型枠爆砕ファイバーによる再生コンクリートパネルの製造
開発の目的	名古屋地区において一日数十トンでるとされる廃コンクリート型枠合板は現在焼却処理されている。廃コンクリート型枠合板を再度コンクリート型枠用として再生させることを試みた。
開発の内容	コンパネ廃材を名古屋港木材倉庫ピンチップ工場において、工場規模で破砕チップとし、岐阜県寒冷地林業試験場に設置されている、タカハシキカン製の爆砕機で繊維化し、その繊維をニチハの高温プレスで熱圧してファイバーボードとした。 爆砕条件は、230℃、1min で、得られた繊維を乾燥し、230℃、1min/㎜で熱圧しボードとした。製造したファイバーボードは、90 × 90 ㎝、3mm 厚のもの２枚である。このファイバーボードを 4mm 厚さの合板２枚と重ねて、松栄化学の UV-1500 を主剤とし、ハードナー U1、を硬化剤として、100 対 15 に混合した接着剤を用いて冷圧により 11 ㎜の厚さに接着し再生コンパネとした。 爆砕手法を用いたのは、廃コンパネチップは砂、金属等異物の混入があり、刃物により繊維化が出来ないためである。 製造したファイバーボードの強さ等は次の通りである。なおコントロールとして、ゴムノキ鋸屑、針葉樹チップ、もみ殻等を用いたファイバーボードを作った。 表１　爆砕手法で繊維化し、熱圧のみにより製造したファイバーボードの強さ ３点曲げ試験 スパン８㎝ 荷重速度　５㎜ /min コントロールのボードは 50 × 50 ㎝× 3 － 6 ㎜

原料廃材	比重	曲げヤング係数 × 1000 kg / cm	曲げ強さ kg / cm
コンパネ廃材－１	0.68	2.4	40.2
－２	0.67	4.8	38.5
ゴムノキの鋸屑－１	0.58	3.8	20.3
－２	0.65	3.7	22.2
－３	0.73	7.9	48.0
－４	0.79	21.8	100.4
－５	0.91	22.0	135.1
ゴムノキプレーナ屑	0.81	15.0	96.4
もみ殻－１	0.85	17.1	42.2
－２	1.01	23.3	113.6

表２　爆砕手法で繊維化し、熱圧のみにより製造したファイバーボードの材質

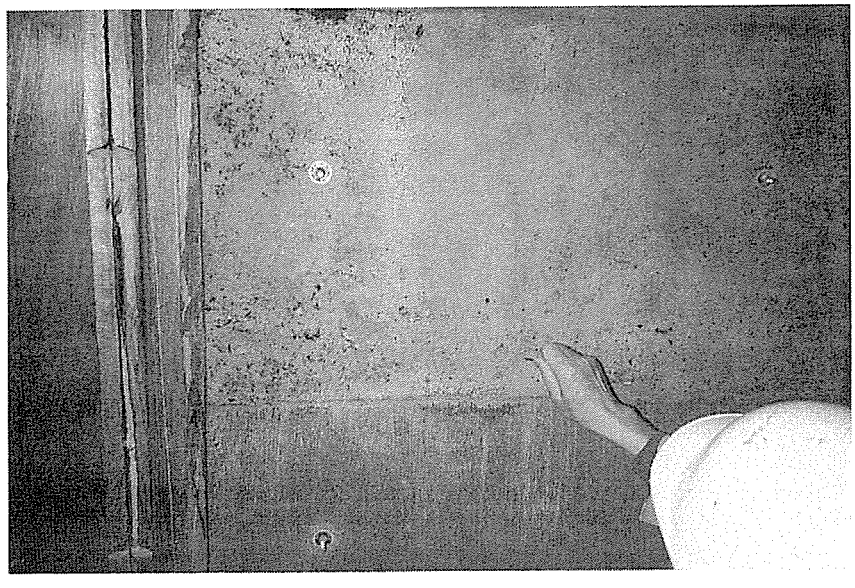
原料 針葉樹	比重	曲げ 強さ	厚さ	吸水試験 -1 20 ℃ ,24h	吸水試験 -2 70 ℃ ,2h	吸水試験 -3 煮沸、 70h	IB
		kg /c m²	mm	TS% WA% VS%	TS% WA% VS%	TS%	kg /c m²
N チップ -1	0.59	71.6	4.0	18.6 67.3 20.9	30.6 136 34.0	46	3.5
-2	0.61	83.4	4.0	18.5 64.4 19.9	34.2 130 37.3	44	3.3
-3	0.75	53.0	3.6	9.5 27.4 -	11.5 84.7 -	-	4.0
-4	0.80	167	6.0	39.1 78.0 43.2	205 310 160	分解＊	2.0
-5	1.05	420	2.5	20.7 30.2 22.5	27.8 38.6 29.8	47	25.3
-6	1.07	363	3.5	14.7 24.3 16.4	20.6 39.0 22.3	34	20.5
市販ボード 接着剤使用	0.74	415	2.5	24.5 67.5 26.3	68.5 130 72.3	分解	6.4

TS= 厚さの膨張率、 WA= 吸水率、 VS= 体積膨張率、 IB= 層間剥離抵抗

＊　N チップ -4　熱圧温度　180 ℃、他の熱圧温度　220 ℃

成果の概要

今回の現場施工では、実験的な試みとして、現場の理解を得て、あえてファイバーボード側の面をコンクリート打ち込み側の面とした。もし合板面を打ち込み側の面とすれば、なんら支障なく使用できることは明らかであり、ただ 1/3 の体積が再生コンパネファイバーボードに置き替わることになる。これも立派な再生技術であるが、今回は一歩進めた試みとしてファイバーボードとコンクリートの接触、硬化を試験した。



	危惧されたことではあるが、コンクリート表面に少し硬化不良が見られ、隣接のラワン合成型枠での成型面に比べて見劣りした仕上がりとなった。硬化不良の著しい箇所では、ファイバーボードの表面が剥離し、コンクリート面に付着していた。ファイバーボードの層間剥離抵抗が弱かったためであろうと思われる。手作りによるフォーミングのため比重のむらの結果である。表１，２に見られる通り、比重が 0.8 を越えることにより、ファイバーボードの曲げ強さとともに、層間剥離抵抗は著しく向上する。 今回は合板の比重に近づけるために、設定比重を 0.70 としたために、強度的に不足したものと思われる。型枠取り外し作業において、ボードの端が破壊する場面がみられた。 比重 0.70 にもかかわらず、施工現場での評判は、重いということであった。実際の重さは殆ど変わらないはずであった。
活用の方法	今回は、あえて爆砕繊維による再生コンパネを直接コンクリートに触れる表面としてコンクリート打設現場で使用した。結果は予想された通りセメントの硬化不良を生じた。 しかし、このテクニックは廃コンパネをハンマーミルでチップとし、爆砕することにより繊維とし、乾燥後、フォーミングして熱圧してボードとして完成する。この間接着剤等は何も使用しない。また熱圧に際し、成型したり、表面に模様を入れたりすることは容易である。設備的にも爆砕機、熱圧プレス、熱源ボイラーで足りる。勿論リファイナー、フォーミングマシン、乾燥機も必要であろう。今回は天日乾燥、手によるフォーミングである。篩を使用したがリファイナーは無い。 なによりの特徴は接着剤、接着操作をともなわない事である。大変な利点である。 （１）今回の様に、厚さの薄いファイバーボードを作り、表面に、あるいは両面に薄い合板を貼ることにより再生コンパネとするときは、材積の 1/2 ないし 1/4 を再生コンパネとすることができる。この方式はファイバーボードを作り、再度プレスで合板と接着するという二度手間が必要でありコスト的に必ずしも安くならない。しかも少し重くなる。しかし資源のリサイクルは果たされる。 （２）発想を少し変えて、思い切り厚いファイバーボードを作る。 30 ㎜あるいはそれ以上のものとし、角は金物で補強した最初から重機を使用することを想定した、土木用の再生コンパネ、例えば 600 × 2000 × 30 ㎜といったバタ角材不用のコンパネ等、自立するもの、あるいは、建物一階の高さを一枚でカバーするもの等が考えられよう。使用に際しては針葉樹合板コンパネでの如く、離型シートをオーバーレイすることが必要である。 （３）既製品として利用のある亀甲フォーム（旭ケイフォーム）などの、金属型枠の金属板の代わりの材料としてこの再生ファイバーボードを使用することが考えられる。より実用化は容易であろう。表面に型をつけるなどの製品はプレス型だけのことであり、複数

	の型によるデザイン等色々と考えられる。ファイバーボードの利点であろう。離型シートをオーバーレイして用いる。 今まで、ファイバーボードがコンパネとして使用できなかったのは、型枠脱型時に扱い方によって、ボードの角が欠けることがおきるためである。（2）、（3）におけるが如く、周囲に金物の枠をつけることによりファイバーボードのコンクリート型枠としての使用は可能となる。 （4）再生コンパネから離れて、通常のファイバーボードとしての利用は勿論可能である。この爆砕テクニックでは接着剤、接着操作は不要であり、より簡易な設備で生産可能である。 合板コンパネの性能は極めて優秀であり、再生コンパネは、合板コンパネと対比されるには、少し難点がある。再生コンパネの発想から離れる必要があるかもしれない。 しかし、業界内部での廃材の発生、回収、再資源化、利用、さらに販売までも考えた場合、（2）、（3）といった合板コンパネとは別のコンパネ化が検討されるべきであろう。 或いは、普通のボードとして、生産したものを自分の現場において使用することを考えるべきであろう。
今後の課題	通常の繊維板工業は大装置産業である。しかし、爆砕による繊維化と、接着剤を使用しないバインダーレスシステムは小規模でも工業化は可能である。繊維化した段階での異物の除去は容易である。再コンパネ化、普通の繊維板としての利用になんら問題はない。一番良いのは、コンパネ工事事業者が、自分でボードを作り、自分の現場で使用するシステムである。建築現場での畳下、屋根下等いくらも用途は考えられる。

テ　ー　マ	廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボードの開発（その２）
開発の目的	木質系廃棄物のうち、建築解体材や廃パレットや建設廃材（廃コンパネ等）は、パーティクルボードやセメントボードの原料として既に利用されているが、そのリサイクル化率は低い。特に北海道にはパーティクルボード工場が１社しかないため、資源となり得る木質系廃棄物のほとんどがゴミとして焼却または埋め立て処分されている。 一方、セメントボードの木質原料には、セメントの硬化阻害を起こす樹種を極度に嫌うため、木質系廃棄物をセメントボード原料とするためには樹種分離が重要である。この樹種分離の対象として、廃パレットや廃梱包材がある。これらはセメント硬化阻害樹種であるカラマツが主体であるが、建築解体材と比較して発生量は少なく、他の廃棄物と混ざることなく比較的まとまって発生するため樹種分離を行い易い特徴がある。 木質系廃棄物のうち大量に発生する建築解体材はセメント硬化阻害のないエゾマツ・トドマツが主体であり、廃コンパネは当然硬化阻害の心配はなく、一部に廃パレットや廃梱包材のカラマツが混入しても十分にセメントボード原料になりうると思われる。 このような背景から、北海道で発生する木質系廃棄物を原料とした硬質木片セメントボードの適正製造条件の確立とその性能評価を目的に、セメントボードの製造および性能試験を行った。
開発の内容	１　廃コンパネとセメント混合物の水和反応試験 廃ラワンコンパネを原料としたセメントボードの製造条件として、水／セメント比、セメント／木比、硬化促進剤添加量を検討した。 ２　建築解体材と廃コンパネを原料とした小型セメントボードの製造試験 製造した小型セメントボードの性能試験結果から適正な解体材と廃コンパネの混合比、水／セメント、セメント／木比、硬化促進剤添加量、圧締時間、養生期間を求め、市販セメントボード（耐火野地板）と同等のボードが製造可能なことを確認した。 ３　適正製造条件による実大セメントボードの製造試験 製造した実大セメントボード（１m×２m）について性能試験を行い、木質廃棄物を原料としたセメントボードの総合的な性能評価を行った。 ４　様々な木質系廃棄物とセメント混合物の水和反応試験 セメントボード原料の選択肢を増やすため、合板（針葉樹コンパネなど６種類）、合板剥き芯（レッドラワン、トドマツ、カラマツ）、木質系廃棄物（住宅解体材チップ、廃ラワンコンパネ）とセメント混合物の水和反応試験を行い、セメント硬化阻害の程度を評価した。
成果の概要	１　廃コンパネとセメント混合物の水和反応試験

廃コンパネを粉砕して得たパーティクルとセメント混合物について、水／セメント比、セメント／木比、硬化促進剤添加率を変化させて水和反応試験を行い、セメントボード原料としての廃コンパネの可能性を検討した。

札幌市の建設業者が廃棄した12mm厚ラワンコンクリート型枠用合板（詳細な樹種、使用回数、比重は不明）をハンマークラッシャーで粉砕し、その後、遠心リング型チッパーで粉砕し、原料パーティクルとした。セメントの硬化促進剤として、セメントの硬化を促進すると同時に、他の硬化促進剤よりも比較的難然性についても寄与する無機塩類として、塩化マグネシウムを用いた。

水和反応試験結果（最高温度、最高温度致達時間）から、原料として用いた廃コンパネは、適切な製造条件（水／セメント比：0.55、セメント／木比： 2.6、硬化促進剤添加率： 2.2%）を選ぶことにより、廃コンパネのセメント硬化阻害の心配はないことを確認した。

2　建築解体材と廃コンパネを原料とした小型セメントボードの製造試験

廃コンパネは合板の一種類であるため、単板の繊維方向が直交されて接着されており、これを粉砕した場合に形状の良いパーティクルにならず、ボードの強度低下が心配される。このため、事前に廃コンパネから得られたパティークルを原料とした小型ボードを製造し、その性能試験を行った結果、難然性能および強度性能が不足していた。

そこで、建築解体材を粉砕して得た木チップ（解体材チップ）からのパーティクルに廃コンパネからのパーティクルを混合した小型セメントボードを製造し、その性能試験結果から建築廃材を原料とした耐火野地板用セメントボードの適正製造条件（原料の配合割合、圧締時間、養生期間）について検討した。

解体材チップは、(財)札幌市環境事業公社がパーティクルボード原料として生産している木チップで、建築解体材（柱・梁が主体）をハンマークラッシャーで粉砕した後、ふるいで分級し粒度を 7～40mmにそろえたチップ（樹種の割合はエゾマツ・トドマツが85%、ラワン製材・ラワン合板が15%）である。このチップをナイフリングフレーカーで粉砕してパーティクルとした。廃コンパネからのパーティクルは前章で用いたものである。

解体材チップと廃コンパネの混合率、水／セメント比、セメント／木比、圧締時間、養生期間を変化させた製造条件で小型セメントボード（厚20mm×縦320mm×横340mm）を製造し、その強度性能試験を行った。その結果得られた耐火野地板用セメントボードの適正製造条件は表１のとおりである。

表１　解体材チップと廃コンパネからのセメントボードの適正製造条件

因　　子		水　　準
解体材と廃コンパネの混合率	：	100:0～70:30
水／セメント比	：	0.60
セメント／木比	：	2.4
圧締時間	：	12時間以上
養生期間	：	1週間以上

3　適正製造条件による実大セメントボードの製造試験

原料には、最も現実的な原料として、建築解体材を主体に・廃コンパネ・廃パレット・廃梱包材等が既に混じっている解体材チップを用いた。これをパーティクルにした後、求めた適正製造条件に準じて実大ボード（厚さ18mm×1m×2m）を2枚製造した。養生後のボードは、JIS A 5417「木片セメント板」に準拠した大型試験片での性能試験を行った。また、これまで行ってきた小型試験片での性能試験と同様に、JIS A 5908「パーティクルボード」に準拠した小試験片を採取し、その性能試験も行った。

JIS A 5417の大型試験片での性能試験結果を表2に示す。表中の数値は、各試験片の平均値であり、強度性能値は補正係数（設定比重／実測比重）を乗じた値である。この表から、北海道で発生する木質系廃棄物（主に建築解体材）を原料とした硬質木片セメント板は、 JIS合格値を十分満足していることが分かる。また、小型試験片での性能試験結果から、市販の硬質木片セメント板（耐火野地板）に優るとも劣らない品質であることを確認した。

表2　大型試験片での性能試験結果

実大ボードNo.	試験片No.	曲げ及びたわみ試験 試験時比重	常態曲げヤング係数 (tf/cm²)	常態曲げ強さ (kgf/cm²)	燃焼試験 発熱指数T (℃·min)	発煙係数Ca	残炎時間 Tc (sec)	残炎時間 (sec)	断熱性試験 熱抵抗 (m²·h·℃/kcal)
1	1	1.14	55.4	129	14	1	513	4	0.096
	2	1.11	65.7	155	20	1	459	7	
2	1	1.17	55.2	123	29	1	432	11	0.094
	2	1.16	61.7	149	24	1	447	7	
JIS合格値（厚さ18mm硬質木片セメント板、難然2級）			7.6以上	51以上	100以下	60以下	180以上	30以内	0.09以上

4　様々な木質系廃棄物とセメント混合物の水和反応試験

将来的にセメントボード原料の可能性がある木質系廃棄物等について水和反応試験を行い、そのセメント硬化阻害の程度を評価した。

現在使用されている原料としては、解体材チップ（主にエゾマツ・トドマツ）、ラワン合板の剥芯（レッドラワン）の 2種類である。将来使用される可能性がある原料としては針葉樹合板の剥芯（道産トドマツ、道産カラマツ）、廃コンパネを想定した様々な樹種の合板（レッドラワン合板、イエローメランチ合板、シベリアカラマツ合板、道産カラマツ

	合板、道産トドマツ合板、ラワン・ラジアータパイン複合合板）、現実の廃コンパネ（廃ラワン・コンパネ）の 2種類である。これら11種類の原料からパーティクルを製造し、試験に用いた。 木質・セメント混合物の水和反応試験は水／セメント比：0.60、セメント／木比：2.4、硬化促進剤（塩化マグネシウム）添加率：4水準（ 0,0.7,1.5,2.2%）で行い、各条件毎に得られた温度測定値から水和反応曲線（経過時間－温度曲線）を作図し、直線域の下限点と上限点、最高温度到達点の時間と温度から、Hofstrand の阻害指数を算出した。 その結果、同一樹種においては、剥芯よりも合板の方がセメント硬化阻害の程度は低かった（阻害指数が小さい）。建築解体材チップ、レッドラワン剥芯、道産トドマツ剥芯は、硬化促進剤を添加しない場合にはある程度の阻害指数を示すが、硬化促進剤を、 0.7%以上添加すれば問題はなくなることが分かった。カラマツの剥芯および合板は、硬化促進剤を添加してもセメント硬化阻害を防止することは不可能であった。また、イエローメランチ合板は、硬化促進剤を 1.5%以上添加すれば問題はなくなることが分かった。
活用の方法	北海道で発生する木質系廃棄物（主に建築解体材）を原料とした硬質木片セメント板は、適正な条件で製造することにより市販品同等の十分な性能をもつことを確認した。このように、北海道で発生する木質系廃棄物を積極的に硬質木片セメント板の原料として利用できることが確認できたので、北海道に新たな硬質木片セメント板工場の立地が望まれる。
今後の課題	北海道の木造住宅の柱・梁には、主にエゾマツ・トドマツが用いられ、セメント硬化阻害樹種であるカラマツはほとんど使用されないが、パレット材や梱包材にはカラマツが多く用いられている。このため、今後は、どの程度までカラマツが混入しても実用上差し支えないかを水和反応試験等で確認することが重要である。

テ　ー　マ	コンクリート型枠の繰り返し使用技術の開発
開発の目的	コンクリート工事の型枠には合板が多く使用されているが表面に何の処理も施さない、いわゆる“生板”での使用が大半である。生板での使用には転用回数に限りがあり、何らかの表面加工をすることにより転用回数の増加が計れる。型枠用合板は使用後廃棄処分されることが多いので、転用回数の増加は廃棄物の減少につながる。 表面加工の一般的な方法は塗装であるが、型枠用合板の塗装に用いられているポリウレタンまたはアクリル塗料の硬化・乾燥には多大のエネルギーあるいは時間を必要とし、またこれらの塗料では有機溶剤を使用するため取り扱い、排気などを含めその作業は容易ではない。そこで、水溶性の樹脂をベースとして、これに充填剤を加えた樹脂液をグルースプレッダで合板に塗布し、ホットプレスで加熱圧締することによって合板表面に均一で平滑な樹脂膜を形成させると同時に硬化させる方法に取り組み、塗装型枠用合板に替わる、樹脂を表面にコートした表面加工型枠用合板を製造することを試みた。
開発の内容	この方法についてはこれまでほとんど知見がないため試行錯誤的に種々の予備試験を行った。その結果から以下のことが判明した。 ・ベースの水溶性樹脂は価格、作業性などの面から木材用のユリア樹脂接着剤またはフェノール樹脂接着剤を選択し、充填剤としてタルクが適当であった。 ・ベースの樹脂と充填剤だけの樹脂膜では割れが生じることが多かったので、可塑剤的に水性ビニルウレタン（以下水ビという）を配合して割れ防止を計った。 ・樹脂膜の割れ防止と均一な樹脂膜の形成には樹脂膜中に薄いシート状のものを挿入すれば効果があることが判った。そこで、ガラス繊維紙（厚さ：0.08mm、目付け：12g/㎡）またはポリプロピレン製の不織布（厚さ：0.15mm、目付け：15g/㎡）を使用した。 ・樹脂がホットプレスの熱盤に付着しないようにするためには、テフロンシートの使用が効果的であった。 以上の予備試験の結果から、基本的な製造方法は、水溶性樹脂に水ビとタルクを配合した樹脂液を合板表面にグルースプレッダで塗布後、その上をガラス繊維紙または不織布で覆い、ホットプレスで加熱・加圧して合板表面に樹脂膜を形成することとした。この方法による製造条件の確立と性能を把握するためさらに以下の試験に取り組んだ。 1　樹脂液の適当な配合割合の確立 グルースプレッダでの作業性（主として粘度が影響）、樹脂膜の性能からみて表面加工に適した配合割合を求める。 2　製造条件の確立 均一で平滑な樹脂膜を形成するための適当な塗布量、圧締圧力、圧締時間を求める。 3　表面加工型枠用合板の性能試験 コンクリート型枠用合板の JASに準じて寒熱繰返し試験、平面引張り試験、耐アルカリ試験を行い表面加工型枠用合板の性能を把握する。 4　針葉樹型枠用合板の表面加工技術の確立と性能

	１～３の試験は南洋材型枠用合板で行い、南洋材型枠用合板での表面加工技術の確立と性能を把握した後、針葉樹材型枠用合板の表面加工技術の確立と性能を把握する。
成果の概要	１　樹脂液の適当な配合割合の確立 ユリア樹脂またはフェノール樹脂に水ビ、タルクの配合割合を種々変えた樹脂液を作成した。これらの粘度を測定してグルースプレッダでの塗布作業に適した配合割合、および配合割合が樹脂膜の割れに与える影響を調べた。 その結果、ユリア樹脂、フェノール樹脂とも水ビの割合よりもタルクの割合が粘度に大きく影響し、樹脂に対して30部までは粘度上昇も僅かであるが、40部になると粘度は急激に上昇し、グルースプレッダでの塗布作業は困難になる。タルクの量は多いほど目止め効果もあり、コスト面も有利になるが、グルースプレッダでの塗布作業を考慮すれば30部が適当であることが判った。また、水ビの割合は後述の寒熱繰返し試験の結果も考慮しベースの樹脂に対して75部とした。 ２　製造条件の確立 塗布量、圧締圧力、圧締時間を変えて表面加工を行い樹脂の合板側面へのはみ出し、および樹脂膜が均一に形成されるかを調べた。なお、圧締温度は樹脂の種類により決まるが、ユリア樹脂では 120℃、フェノール樹脂では 140℃とした。 その結果、塗布量は24g/900cm²（片面塗布）、圧締圧力は 4kg/cm²が適当であった。圧締時間は長いと樹脂膜が割れる傾向がありユリア樹脂では60秒、フェノール樹脂では 120秒が適当であった。 以上の試験から最適な配合割合と製造条件が判明したので、以後の性能試験ではこの条件で製造した表面加工型枠用合板の性能を試験した。なお、表面のシートはガラス繊維紙と不織布を用いた２種類の表面加工型枠用合板を供試した。 ３　表面加工型枠用合板の性能 （１）寒熱繰り返し試験 JASでは寒熱繰返し(60℃－3hr.⇒－20℃－2hr.)を２回行うが、今回の試験では５回行った。その結果、一部の試験片で割れが発生したが、いずれも３回目以後であった。したがって、今回試験した表面加工型枠用合板はすべて JASには合格した。 なお、水ビの割合を替えた表面加工型枠用合板の寒熱繰返し試験も行ったが、今回の結果では顕著な影響は認められなかった。しかし、ベースの樹脂との混和性も考慮して水ビの割合はベースの樹脂に対して75部が適当であると判断した。 （２）平面引張り試験 JASでは付着力の平均値が10kg/cm²以上であれば合格する。今回の試験結果ではいずれもこの値を超えており樹脂膜の付着力に問題はなかった。 （３）耐アルカリ試験 ユリア樹脂をベースとした場合若干変色が生じた。そこで、この樹脂にメラミン粉末を

5部添加した樹脂液で表面加工型枠用合板を製造して耐アルカリ試験を行った。その結果まったく変色は認められなかった。メラミン粉末を添加することは多少のコストアップにはなるが耐熱性、耐水性などは向上し、性能的には何等マイナスにはならない。

なお、フェノール樹脂をベースとした場合、やや変色があったが JASに規定されている著しい変色ではないと判断し改良は行わなかった。

4　針葉樹型枠用合板の表面加工技術の確立と性能

今回の方法で表面加工を行う場合、均一で平滑な樹脂膜を形成するには、ホットプレスの圧締工程で塗布された樹脂液がスムーズに流動し、圧力が合板全体に均一にかかる必要がある。ところが針葉樹型枠用合板ではヤニの滲みだしで濡れが悪いこと、単板の目ボレなどで表面粗さが大きいこと、春秋材による凹凸があることなどから樹脂液がスムーズに流動せず、また厚さムラも大きいため圧力が均一にかからず平滑な樹脂膜が形成されづらい。そこで、この問題を解決するため、樹脂液に界面活性剤を配合して流動性を改良すること、針葉樹型枠用合板に適した圧締圧力を求めることおよびクッション材を使用して厚さムラの影響を解消する試験に取り組んだ。

（１）界面活性剤の影響

ラジアータパイン合板と北洋カラマツ合板に、ユリア樹脂に対して界面活性剤を 5部配合（水ビ、タルクは75部と30部）した樹脂液で表面加工を行い、均一で平滑な樹脂膜が形成されるかを調べた。７種類の界面活性剤を試験したが、３種類の界面活性剤で効果があった。さらに添加割合を変えて試験を行ったが、ユリア樹脂に対して5.0～7.5部の添加が適当であった。したがって、以後の針葉樹型枠用合板の試験ではすべて界面活性剤を 5部添加した。

（２）圧締圧力の影響

均一な樹脂膜形成に重要なもう一つの条件は合板全体に均一な圧力がかかることである。南洋材の型枠用合板では 4kg/cm²が適当であったが、針葉樹型枠用合板では表面粗さ、厚さムラが大きいため高い圧力が必要である。そこでより高い圧締圧力で表面加工を行い均一な樹脂膜が形成されるかを調べた。また、被圧締物の厚さムラを解消するにはクッション材の使用が効果があるので、合板の下側にクッション材を使用して同様の試験を行った。

その結果、クッション材を使用しないときはラジアータパイン合板は 8kg/cm²、北洋カラマツは10kg/cm²が必要であった。一方、クッション材を使用したときは 6～10kg/cm²でいずれも平滑な樹脂膜が形成され、特に 6kg/cm²ではクッション材使用の効果が大きかった。この結果からクッション材を使用しないときは 8～10kg/cm²が、クッション材を使用するときは 6～ 8kg/cm²が適当と判断した。

（３）針葉樹表面加工型枠用合板の性能試験

ラジアータパイン合板と北洋カラマツ合板に、ユリア樹脂をベースとした樹脂液で表面加工を行い、南洋材型枠用合板と同様に JASに準じた寒熱繰返し試験、平面引張り試験、耐アルカリ試験を行うとともに、セメント硬化不良試験を行った。

寒熱繰り返し試験では、ガラス繊維紙を使用したものはいずれも何ら欠点は認められず

	すべて JAS合格したが、不織布を使用したラジアータ、北洋カラマツ合板では不合格になった試験片があった。不合格の原因はすべて樹脂膜の割れである。とくに北洋カラマツではほとんどの試験片に割れが生じたが、台板合板の表板の割れに起因するものが多かった。平面引張り試験では、いずれも付着力の平均値が10kg/cm²以上であり JASに合格した。 耐アルカリ試験ではいずれも膨れ、変色、割れなどの欠点は認められず JASに合格した。 セメント硬化不良試験では、北洋カラマツの生板では大きな硬化不良を生じたが、表面加工した合板では硬化不良は生じず、表面加工により硬化不良を防ぐことができた。
活用の方法	実用化を計るうえで大切なのは、実際に工事現場で使用し転用回数の増加の確認と問題点を把握することである。そこで実大サイズ（12mm× 90cm× 180cm）の表面加工型枠用合板を製造し、建築現場または土木工事現場で実際に使用した。その評価は主として使用者からの聞き取り調査によった。その結果、型枠用合板の種類（南洋材か針葉樹材か）、工事の種類、使用者側の使い方（はく離剤を塗布するかしないか）等によりかなり異なるが、概ね以下のようであった。 「転用回数は８回まで使用した例もあり、生板と比べると転用回数の増加が計れた。また、コンクリートの硬化不良を起こすカラマツからできている合板でも、表面加工されているため、硬化不良を防ぐことができた。一方、塗装型枠合板と比べると脱型しづらく、脱型後の合板表面に付着するコンクリートが多い、コンクリート表面の気泡が多く平滑性に劣る。」などの指摘があった。 以上のように長所もあるが短所もあり実際に活用を計るにはさらに改良が必要であることが判った。
今後の課題	熱帯林の破壊が地球環境の破壊に繋がるとの批判から、南洋材の輸入量の減少が著しく、コンクリート型枠用合板はますます針葉樹材への転換が急がれている。しかし、現状の型枠用合板の使われ方を考えると、針葉樹材の場合、いわゆる生板での使用には問題が多く、また転用回数を増加させる面からも何らかの表面加工が望ましい。表面加工の方法には、塗装を初め、樹脂含浸紙の接着、プラスチック板の接着などいくつかの方法が模索されているが、性能、コスト面を含めすべての用途に応えられる方法は現状では見当たらない。本方法はその中の一つであるが、実用化に結び付けるには、実際の建築、土木工事に使用してその評価を探ることが是非必要である。今回も実証化試験を実施したが、種々の問題点も指摘され、性能的に完全な評価を得ることはできなかった。しかし、問題点があったものの８回まで転用できたことは一つの前進であると考えている。今後も改良と実証化試験を積み重ねていく必要がある。

テ　ー　マ	パーティクルボード製造技術の開発
開発の目的	近年、ラワン合板の高騰から北米産ＯＳＢ（配向性パーティクルボード）の輸入量が増加し、梱包用を中心に我が国に定着しつつある。しかし我が国では現在まで、国産ＯＳＢは製造されていない。これは、ＯＳＢ製造に適した安価な原料（丸太）を我が国では求めることができないことが主な原因といわれており、安価な建築解体材等を原料として使えるならば国産化の可能性は高まるものと思われる。 また、最近は歩きごごちが良く、周囲の環境に調和した景観材料としての木チップ舗装が注目されており、この舗装資材として建築解体材等を粉砕した木チップは十分利用可能である。建築解体材等を利用する上で異物の混入が大きな問題となっているが、舗装資材の原料としてハンマークラッシャーにより粉砕された木質系廃棄物（木チップ）を利用する場合、異物の除去が不完全であってもあまり問題とはならない利点がある。 こうした背景から、先ず、北海道内で発生する建築解体材から得られた比較的大型の木チップ（解体材チップ）を原料とした構造用ＯＳＢ（３層パーティクルボード）の可能性を検討した。次に、これまでの現場施工型の木質系舗装資材に対して、解体材チップを原料に用いて工場生産方式によるブロック状の舗装板（２層パーティクルボード）を製造し、歩行時の快適性や安全性に優れた木質系舗装資材の製造条件を検討した。
開発の内容	１　解体材チップを原料とした構造用ＯＳＢの製造試験 原料には、(財)札幌市環境事業公社が市販しているパーティクルボード用チップを用いた。これは、建築解体材等から手作業で木材のみ（柱・梁・合板等）を選別し、異物を除去した後、ハンマークラッシャーで粉砕し、 7～40mmの篩で分級選別した木チップ（解体材チップ）である（樹種構成：エゾマツ・トドマツ針葉樹88%、ラワン製材 7%、ラワン合板 5%）。この解体材チップをナイフリングフレーカー（パールマン社製、刃出し 0.6 mm）で切削し、目開き 4.3mmの篩上を表層用ストランドに、目開き 4.3mmの篩下かつ目開き 2.2mmの篩上を芯層用ストランドとして用いた。表層用ストランドの平均長さは21mmであった。 このストランドを用いて、表１に示した製造条件で 6種類のボードを各 3枚ずつ計18枚製造した。フォーミングは手蒔きで行い、表層用ストランドの配向は、アクリル薄板を10mm間隔に平行に配した配向装置を用いて自由落下距離約20mmで行った。 表１　構造用ＯＳＢの製造条件 層構成　：重量比が表層１：芯層２：表層１の３層構成 表層の配向　：ランダム ，配 向 （芯層はランダム一定） 接着剤　：ユリア・メラミン共縮合樹脂（大日本インキ工業(株)製 PA-100） 接着剤添加率：10%（ワックスは添加しない） ボード寸法　：厚さ12mm× 360mm× 360mm ボード比重　：0.55 ，0.65 熱圧条件　：温度180℃、時間 6分

2　解体材チップを原料とした舗装板の製造試験

原料には、前述の解体材チップを用いた。これをハンマークラッシャー（摩砕板間隔11mm、回転数1200rpm）で粉砕し、目開き 4.3mmの篩上を基材用チップに、目開き 4.3mmの篩下かつ目開き 1.0mmの篩上を表層用チップとして用いた。

製造した舗装板は、表層と基材からなる２層構成とし、舗装板の厚さはインターロッキングの標準的な厚さである総厚さ50mm（表層20mm、基材30mm）とした。チップに混合する接着剤は、既存の木質系舗装資材と同様に湿気硬化型のウレタン樹脂接着剤を使用したが、この接着剤は高価なため舗装板の製造コストに占める割合が高いことから、舗装板の低コスト化を図るためにこの接着剤を舗装板の表層部分にのみ用いた。基材部分は安価なセメントを接着剤として用いた。このように基材部分ををセメントボードにすることは、低コスト化以外にも舗装板の耐久性や透水性の向上、路盤に設置したときの安定性の向上などの面で有利である。

舗装板の製造工程を図１に、舗装板製造条件を表２に示す。

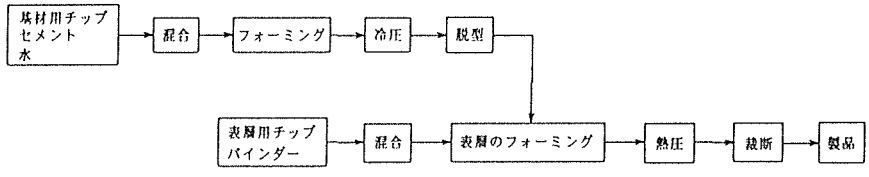


図１　舗装板の製造工程

表２　舗装板の製造条件

表層ボード	接着剤	：湿気硬化型ウレタン樹脂系接着剤（大日本インキ工業㈱製 TP-1545）
	接着剤添加率	：30% ，50%
	ボード寸法	：厚さ20mm×幅300mm×長さ300mm
	ボード比重	：0.25 ，0.30 ，0.35 ，0.40 ，0.45 ，0.50
	熱圧条件	：温度160℃ ，時間 5分
基材ボード	接着剤	：普通ポルトランドセメント
	水／セメント 比	：0.55
	セメント／木 比	：3.5
	硬化促進剤添加率	：2.0%（塩化マグネシウム）
	設定比重	：1.0
	設定寸法	：厚さ30mm×幅300mm×長さ300mm
	圧締時間	：20時間
	開放養生期間	：　9日間

成果の概要

1　解体材チップを原料とした構造用ＯＳＢの製造試験

製造したボードは、JIS A 5908「パーティクルボード」に準じて、剥離強さ試験、曲げ強さ試験、湿潤時曲げ強さＢ試験、吸水厚さ膨張率試験を行った結果は表３のとおりであ

る。この結果を JIS 24-10タイプの基準値と比較すると、表層配向の比重0.65のボードが構造用ＯＳＢとして可能性が高いことが分かる。なお、湿潤曲げ強さおよび吸水厚さ膨張率は、どのボードも JIS 24-10タイプの25%以下を満足しているが、一般のパーティクルボードの基準値（JIS 18タイプ）の12%以下は満足しなかった。これは、今回製造したボードはワックス無添加であったためと思われる。

表３　解体材チップを原料とした構造用ＯＳＢの性能試験結果

試験体 No.		因子A 表層構成	因子B 設定比重	TS (%)	IB (kgf/cm²)	MOEd (tf/cm²)	MORd (kgf/cm²)	MOEw (tonf/cm²)	MORw (kgf/cm²)	MOEw/MOEd	MORw/MORd
R -L-	1	ﾗﾝﾀﾞﾑ	0.55	11.8	7.9	37	133	13	63	0.36	0.47
	2			12.0	7.4	33	140	14	56	0.44	0.40
	3			13.6	6.9	34	128	13	59	0.38	0.47
R -H-	1	ﾗﾝﾀﾞﾑ	0.65	14.8	11.3	49	217	21	98	0.44	0.45
	2			15.1	9.9	47	201	21	110	0.45	0.55
	3			15.6	9.4	46	200	20	98	0.43	0.49
O∥-L-	1	平行	0.55	12.9	8.2	46	154	16	63	0.35	0.41
	2			11.8	7.5	52	174	20	74	0.38	0.43
	3			13.1	6.9	44	163	17	48	0.38	0.29
O∥-H-	1	平行	0.65	14.0	8.4	71	250	26	116	0.37	0.46
	2			13.5	11.1	64	250	25	101	0.40	0.40
	3			15.0	10.0	48	196	22	89	0.47	0.45
O⊥-L-	1	直行	0.55	11.9	7.5	23	105	8	78	0.33	0.74
	2			12.7	7.8	27	114	8	42	0.31	0.37
	3			12.8	6.6	23	99	8	51	0.36	0.52
O⊥-H-	1	直行	0.65	15.1	10.9	41	169	17	73	0.42	0.43
	2			15.2	10.2	39	163	15	72	0.38	0.44
	3			14.9	9.5	38	153	10	31	0.28	0.21
JIS基準値（24-10ﾀｲﾌﾟ）				25	3.1	40.8-13.3	245-102		122-51		
JAS基準値（３級）				24	3	41-12	260-80	(20- 6)	(132-38)		
JAS基準値（４級）				24	3	20- 6	153-45	(9- 3)	(76-24)		

２　解体材チップを原料とした舗装板の製造試験

接着剤としてセメントを用いた基材と、弾力性のあるウレタン樹脂を用いた表層を比較すると、表層の弾力性が舗装板としての快適性や安全性に大きな比重を占めると考えられる。そこで、舗装板の表層ボードのみを12種類各 1枚ずつ製造し、安全性および快適性に関する各種試験（転倒衝突時床硬さ試験、居住性床硬さ試験、滑り試験、局部圧縮試験）を行った。

（１）転倒衝突時床硬さ試験

JIS A 6519「体育館鋼製床下地構成材 8.6床の硬さ試験」に準拠して行った。この試験は、人が転倒して頭を床にぶつける動作を機械的に再現することによって、人が転倒衝突したときの床の安全性を評価するものである。

比重が 0.4を超える表層ボードでは JIS基準値を満足せず安全性に問題があるが、比重 0.4以下のボードでは基準を満足していることから、ボードの比重を調整することで安全性に優れた舗装板を製造できることがわかった。

（２）居住性床硬さ試験

東京工業大学の小野教授らが考案した試験方法によって行った。この試験は、人が普通に歩行したとき床面に作用する荷重変化を機械的に再現することにより、床の硬さの程度

	による歩行時の快適性を評価するものである。 男性が紳士靴を履いて歩行した場合の快適性について表層ボードを評価すると、すべてのボードが許容範囲を満足せず硬すぎた。歩行時の快適性に優れた舗装板を製造するためには、表層を厚くすることや今回製造したような熱圧方式ではなく冷圧方式にすることで、表層ボードにさらに弾力性を付与することが必要と思われた。 （３）滑り試験 JIS A 5705「ビニル系床材 付属書 床材の滑り試験方法（斜め引張形）」に準拠して行った。この試験は、床の滑りに対する人間の感覚と対応する滑り抵抗を測定し、床の滑りを評価するもので、紳士硬底靴による滑りを評価することとし、試験体の表面状態は乾燥状態および水濡れ状態の２条件について行った。 表層ボードの滑り性能は、比重には依存せず使用するチップの形状や粒度によって決定され、男性が紳士靴を履いて歩行したときの滑りについて表層ボードを評価すると、すべてのボードで試験体の表面状態にかかわらず快適性、安全性の許容範囲を満足した。また、乾燥状態における全試験体の滑り抵抗係数の平均値は0.59、これに対して水濡れ状態のそれは0.54であり、製造した表層ボードは降雨などによる表面状態の変化に対して滑りの変化が小さい材料であると評価できた。 （４）局部圧縮試験 試験は、平板上に表層ボードを固定した状態で、ハイヒールを想定した直径10mmの円柱状鋼製載荷板を介して試験体に 80kgfの鉛直荷重を加え、このときの試験体のめり込み量を測定した。また、除荷後に試験体のめり込み跡を目視によって観察した。 80kgf載荷時のめり込み量はボードの比重が高いほど小さくなり、目視による除荷後のめり込み跡の観察から、比重が 0.4以上のボードはハイヒールでの歩行が可能であることが分かった。
活用の方法	北海道内で発生する建築解体材等から得られた木チップを原料とした３層パーティクルボード（構造用ＯＳＢ）は、ラワン合板や輸入ＯＳＢよりも強度性能が劣るため、梱包用等に適していると思われる。 また、同様の木チップを原料として、基材にはセメントを、表層には湿気硬化型ウレタン樹脂を接着剤に用いた２層パーティクルボードは、工場生産型の木質系舗装板に適している。
今後の課題	建築解体材等からの構造用ＯＳＢについては、原料チップに含まれる異物を如何に除去するかが重要な課題である。この異物除去が完全に行えれば、原料チップから刃物を傷めずに良質で長いストランドが得ることができ、ＯＳＢの強度性能を大幅に向上させることができる。また、建築解体材等からの舗装板については、今後は耐久性および低コスト化の検討が重要である。

テーマ	木質残廃材の炭化と炭化物の基礎物性
開発の目的	建築物は住宅をはじめ“量から質“の時代に大きく変わってきたが、それは一方ではスクラップ・アンド・ビルトを産み、廃棄物の処理は避けがたい重要課題となっている。建築解体現場や建築土木現場で発生した木質系解体材は再建築資材としてあるいは破砕チップとして製紙用チップ、ボードチップや燃料チップとして使用されてきた。このように木質材料は原料形態が素材ー製材ー板ー削片ー繊維というように基本的にカスケード（階段）型をなしている。すなわち、パーティクルボード工場は合板や製材の廃材をチップ原料にし、パルプ工場も製材廃材からチップ原料を得ている。合板、パーティクルボードや繊維板などの木材工業での端材、のこ屑はその工場内での補填エネルギー源として利用処理されており、木材工業の中ではほぼカスケード型サイクルが確立されている。したがって建築解体現場や建築土木現場で発生した木材も異物が入り込んでこない限り、木質材料の原料として使用可能である。木造建築物などが除却、解体されたときに排出された木材が、異物を除去し、解体チップとしてパーティクルボード、木質燃料として利用されてきた実績は多い。このように原料形態が整えば技術的に問題なく、再資源として生かされるが、近年効率、経済的な条件が整わないために投棄、焼却される危惧が大きくなってきた。したがってその集荷と異物の除去といった技術的な問題と並んで、環境保全、資源エネルギーの適正利用という視点にたった有機的な連携が急務といえる。また、木質系解体材がカスケード型サイクルが確立されたとしても接着剤のような異物の混入した木質材料が排出されるので、最終段階の廃棄物は投棄、埋め立て、保管といった場の設定が必要である。とくに場の容積は限りがあることから廃棄物の減容が重要であり、環境汚染の影響の少ない安全性の高さが投棄、埋め立て、保管の可能な場を拡げることになる。もちろん、投棄、埋め立て、保管の場において何らかのプラス要因があるならばきわめて好ましいことになる。木質廃棄物は単純な減容投棄という要求には、最悪の場合でも焼却あるいは腐朽といった比較的汚染の少ない処分ができる。しかしながら、その量がきわめて多いこと、さらには再利用する上での経済的な効率などから状況はきわめて厳しいものがある。したがってトータルとしての資材投入、廃棄を減らすことが重要で、そのためにストック期間を長くすることが基本である。それは樹木が大気中より二酸化炭素を吸収して、樹幹として固定した炭素化合物を可能な限りそのまま保管し、CO_2の放出を抑えるという環境保全から立場からも燃料以外の単純な焼却は可能な限り抑えるという基本的な課題でもある。このような背景から本研究では廃材の各種形態の炭素固定資源の基本処理方法として、炭化前の熱処理材、および木炭の利用の可能性に係わる基本的な性質をCO_2の放出を抑えるという環境保全から立場から検討した。とくに現在再利用がほとんどなされていない木質材料（パーティクルボードやＭＤＦなどのカスケード型リサイクル資材）の炭化についての比較も行った。
開発の内容	廃木材の迅速な減容と炭の保管とその利用開発を目的としたもので、従来の木炭や機能性付与の炭製造、すなわち建築廃材でない比較的きれいな素材の炭化と異なる視点は以下のとおりである。

	（１）処理量が多いので比較的短時間で炭化させるため温度上昇を高める。一般に解体材は乾燥しているので温度上昇は容易である。急激な温度上昇の結果、形の崩れない良い炭や木酢液の採取は少々犠牲になるが、短時間で減容、軽量化は可能になる。 （２）木炭あるいはその前段階の熱処理によって熱的にあるいは劣化に対して比較的安定化させ、廃棄による安全性、汚染の危惧を少なくする。 （３）炭化温度によって物性が異なるので、用途はそれに対応するようにする。比較的低温炭化した後、釘などの異物除去し、種々の目的に応じた精錬を行う。高度な炭化、機能の付与をするには二段炭化とする。それは一段炭化で異物の除去がかなりなされ、また分解ガスなどの発生が少ないので装置の耐久性上好ましいことと、精錬に要する外部エネルギーの節約になる。 （４）土壌改良、脱臭などに水分などの吸着、保持機能を活かす。また、河川など水質浄化、物質吸着回収を期待するが、廃棄物処理の基本要件である安心できる保管、投棄の選択性が広いこと意識する。 （５）比重の軽量化、多孔性を活かす。圧密性と粒度などから充塡、緩衝、断熱、吸湿資材としてあるいは複合資材としての機能付与。 とくに（４）（５）で効果が見出しうるならば積極的なカスケード型利用と評価されるであろうし、さほど効果がなかったとしても安全性が確保できるのであれば捨て場、保管場の拡大を意味する。この両面の視点は廃棄物の問題では常に必要であり、カスケード利用については顕著な効果でなく、適度な効果程度であっても社会的な評価を付与すべきであり、経済的、効率のみで評価することは避けるべきであろう。なぜならば、用途がないと捨て場が必要であり、焼却に廻るからである。この捨て場に相当する保管場所は可能な限り大きく、分散していた方が良く、用途機能がわずかなりとも付与されればより好ましい。最終的な土壌への還元を考慮すると、汚染がない、吸湿性、保水性、圧密性などが重要要素であることを配慮して木材および木質材料の炭化法とその基本物性を検討した。
成果の概要	（１）加熱炉による熱処理と物性変化 200℃　あたりまで超音波速度、ヤング係数の上昇の傾向がみられるが、以後熱分解の進行による重量減少に伴い超音波速度などの減少が顕著に顕れ、組織の崩壊がみられる。熱処理された木材は20℃相対湿度６５％での平衡含水率にみられるように吸湿性は260℃あたりで最低を示すが、以後炭化によって増加に転ずる。したがって260℃あたりまでの木材の熱処理では寸法の安定性、疏水性、生物劣化への安定性が増すので、残存強度に応じた簡易用途が考えられる。 （２）移動式簡易炭化炉による解体材炭化と粒度分別による吸湿、保水性 実際の解体廃材を自燃によって加熱約１時間で最高温度500（低温）、加熱約２.5時間で最高温度800（高温）℃で炭化させた。これは先に述べたように乾燥材であることと断熱および空気調節による比較的短時間炭化を試みたものである。崩れない良い炭や木酢液の採取は無理であったが減容、軽量化は可能であり、高温ではかなりの精錬度を満たした。 粒度ごとに吸湿性、吸水後および乾燥状況（保水性）を計測した。吸湿は加熱炉の結果同様、高温の方が大きい傾向にあり、しかも粒度の小さいほど大きい。組織構造の影響が大きい粒子は平衡に達する時間が長期化する。保水性は炭化温度の影響は粒度が大きいほど

大きく、粒度が小さいほど保水性が高い傾向にある。したがって、利用については状況に応じた粒度、炭化度が選択されるべきであろう。各種解体柱材、腐朽材、チップ、のこくず、樹皮などの炭のうちスギは吸着能が比較的大きい。

（３）二段炭化法の有効性

供試木質材料を簡易炭化炉で、約２時間自燃で炭化させ、減容、軽量化したものを低温炭化物（約500℃）とする。この処理で異物の除去がかなりなされ、分解ガスなどの発生が少なくなる。この低温炭化物を真空中で1000℃で精錬したものを高温炭化物とした。走査型電子顕微鏡による外観性状では、低温炭化物は木部組織の損傷が少ないが、高温炭化物は部分的に切断、細孔が生じ空隙の増加がみられる。接着剤の部分も高温では切断、空隙が多くみられる。スギの粒子は針状であるのに対して、木質材料は高密度化、接着剤の存在により粒子が丸味を帯び、硬い傾向にある。

（４）各種木質材料炭化物の吸湿性

高温炭化物が低温炭化物に比較して吸湿量は大きく、その平衡含水率も高い。木質材料は粒度による影響はスギに比較すると少ない。吸湿曲線は$N(t)=G(1-\exp(-\lambda t))$のように表せる。$N(t)$は時間tの吸湿量でGは平衡含水率

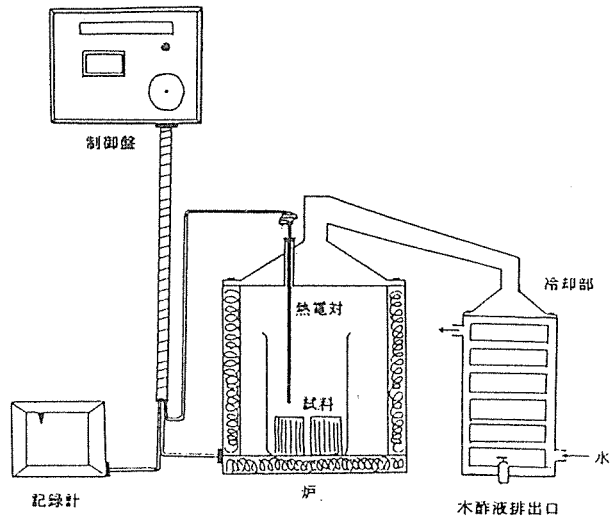
（５）メチレンブルー溶液の吸着

木炭を充塡したパイプにメチレンブルー溶液を流してそのろ過による吸着性能を紫外分光光度計による吸光度比で求めた。試験は活性炭試験方法（JIS K1474）に準じたものであるが、メチレンブルー溶液は50倍希釈したものを原液として用いた。ろ過繰り返しによる吸光度比の変化では高温炭化物の方が吸着性が高く、木質材料よりスギの方が優れている。また、原液を順次流した時の吸着性の持続性は高温炭化のスギが優れている。

（６）流出ｐＨ試験

炭化物4gを蒸留水100gに入れ、スタラーで10分撹拌後ｐＨを計測、溶液を吸引ろ過し、残された試料に再び蒸留水100gに入れて繰り返して計測を行った。炭化物は一般的にはアルカリ側にあり、高温炭化物の方が効果、その持続性とも高い。針葉樹MDFがやや酸性側にあるが添加物の影響と推測される。

成果の活用法	木質系材料を焼却し、炭酸ガスと灰にする減容化は最終投棄場所の問題と絡んで重要である。しかしながら、すべて炭酸ガスに戻すのはCO_2の放出を抑えるという立場に立つならば木炭は炭素ストックである。木炭は熱、生物による分解などに対して木材と異なって安定性が高い。とくに炭の機能付与は断熱、吸湿、保水、土壌改良などはプラス要因になる可能性もある 本研究は廃木材の迅速な減容と炭の安全な保管、投棄、さらに利用開発を目的としたもので、従来の木炭の機能性付与のような比較的きれいな素材の炭化と異なる。供試木質材料を約2時間自燃で炭化させ、減容、軽量化したものが低温炭化物（約500℃）である。この処理で異物の除去がかなりなされ、分解ガスなどの発生が少なくなる。この低温炭化物を真空中で精錬高温炭化物とする二段炭化法は異物除去、機能賦与、さらに炉の保護などに重要な意味をもっている。 リサイクル製品で接着剤など混入される木質材料の炭化物は添加物の確認をすれば投棄で特に問題となる点はなく、廃棄物の取扱として安定化品目とみても良いと思われる。木質材料の炭化物はスギに比較すると性能面ではやや劣るが、高温炭化によって機能性と安定性が高まる傾向にある。とくに、吸湿、吸着およびｐＨのアルカリ性は環境、土壌などに対するマイルドな改善法として好ましいと思われる。
今後の課題	本研究は木質廃棄物の炭化処理技術による材料の機能性の付与とその利用、保管、投棄の安全、安定化を図ることをを目的としたものであるが、以下の点を追求する必要がある。 （１）解体材の二段炭化処理によるレベルアップ 木質廃棄物の解体分別を異物混入および形状区分で行い、二段炭化による高温高圧における炭化性状のレベルアップが必要である。減容と成型特性およびグラファイト化による機能性を検証する。 （２）炭化処理材の土壌、石膏との混入による吸水保持、吸着特性 炭化条件によって吸水保持、吸着性能が異なることを利用し、土壌とくに林地への適用を検討する。また、建築廃棄物で多くを占める石膏ボード廃材との混用について土壌としての特性および物質吸着、浄化機能について検証する。 （３）埋め込み成形材の製造と特性 解体チップおよびその炭化材のコンクリート、セラミック、廃プラスチックなどと混用、埋め込み成形材を製造法を検討し、強度および吸着などの機能を検証する。 いずれにしても積極的な保管、保存を兼ねた再利用、投棄に近い再利用について安全、安定化を考慮する必要がある。このように実用面の必要度は極めて緊急を要するものであるが、研究的にも段階的炭化の広域利用と他資材との複合化という新しい境界領域であり、木材の利用技術の課題を示唆するものと考える。本研究は廃材の圧潰、延伸、破砕などによる原料化あるいはチップの前処理方法という廃材としての入り口に相当する基礎技術から一歩踏み出した木材資源のカスケード型利用の保存段階の技術と新しい複合機能性資材の開発研究として捉えることができる。

テ　ー　マ	木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（１９９２年度）
開発の目的	地球環境問題やゴミ問題が世界的に大きな話題となっているなかで、年間総需要量の約７割を外材に依存しているわが国はこの問題に真剣に取り組んでいかなければならない。これまで、リサイクルという点では木材工業は優等生であった。しかし、近年建築解体現場や建築土木現場、物流拠点などからでる古材や木質残廃材がその質的変化や競争原理からゴミ化している。この古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木質資源をムダにしないためのシステム作りや技術開発が重要な課題である。ゴミや建築廃材の処理としては焼却が最も一般的であるが、物を燃やすとCO_2が発生して大気汚染の原因となる。ここでは、木質残廃材の多段階利用の１つとして炭化処理を取り上げ、炭化条件と炭化物の吸着性能について検討した。
開発の内容	プレカット工場から排出されるスギとヒノキの残廃材を炭化し、炭化条件とヨウ素及びメチレンブルー吸着性能との関係を検討した。 1. 炭化に用いた試験片は３×３×５（繊維方向）cm^3の気乾材である。 2. 炭化には内容積が18ℓの木材乾溜装置（図-1）を用いた。炭化条件は表-1に示す通りである。室温から所定の炭化温度に達するまでの昇温速度は約12度/分であった。所定の炭化時間後約１日自然放冷し、試験に供した。  図１．炭化装置の模式図 3. ヨウ素及びメチレンブルー吸着試験は日本工業規格・活性炭試験(JIS K-1474)に準じて行った。
成果の概要	1. 炭化条件と収率（表-1）：炭化温度が高いほど、収率は低下した。いずれの炭化条件でも、スギとヒノキで収率に差異はほとんどなかった。 表-1　炭化条件と収率* | | 300℃·120分 | 500℃·120分 | 700℃·120分 | 500℃·360分 | | スギ | 41.2 | 27.7 | 25.1 | 26.7 | | ヒノキ | 39.3 | 26.0 | 23.2 | 25.0 | 収率(%)＝｛炭化物の重量（乾燥状態）/木材の重量（気乾状態）｝x 100 2. 炭化温度時間積と収率（図-2）：温度時間積の値が大きくなると収率は低下したが、温度時間積が80,000（℃・min）以上では収率はほぼ一定であった。

成果の概要	3. 炭化温度とヨウ素及びメチレンブルー吸着性能（図-3、図-4）： 炭化温度が高いほど、ヨウ素吸着性能及びメチレンブルー吸着性能も高くなった。両吸着性能ともスギとヒノキによる違いはほとんどなかった。ヨウ素吸着性能はメチレンブルー吸着性能よりも炭化温度の影響が大きかった。300℃、120分の炭化条件では、スギの場合ヨウ素吸着性能はほとんどゼロであった。 4. 炭化温度時間積とヨウ素吸着性能及びメチレンブルー吸着性能（図-5、図-6）： 炭化温度時間積の値が大きくなるにつれてヨウ素吸着性能及びメチレンブルー吸着性能とも高くなる傾向にあったが、温度時間積が、80,000（℃・min）以上ではヨウ素吸着性吸能及びメチレンブルー吸着性能の増加はほとんど見られなかった。炭化温度時間積と吸着性能との間に関係があれば、低い炭化温度でも時間を長くすれば吸着性能を高めることができることに

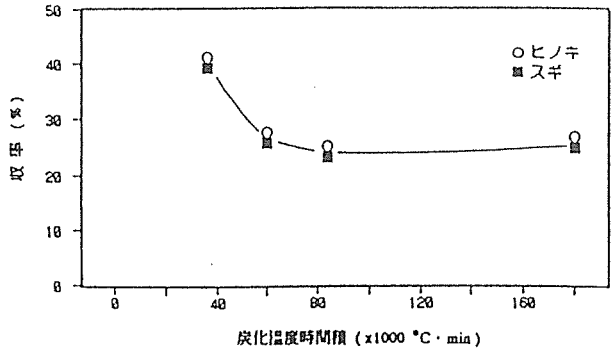


図-2　収率と炭化温度時間積との関係

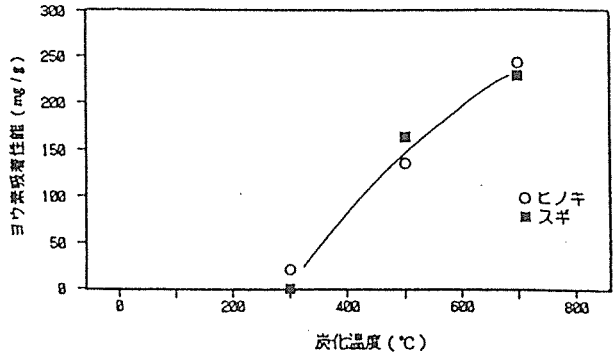


図-3　ヨウ素吸着性能と炭化時間との関係

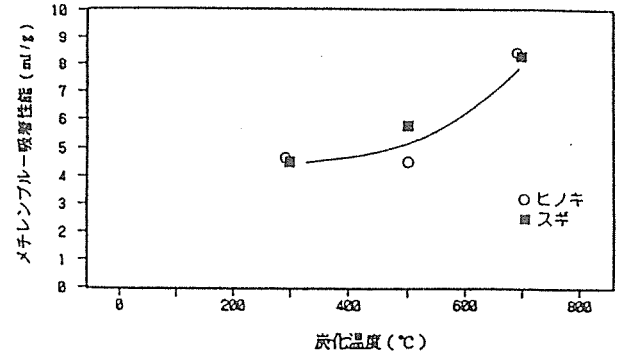


図-4　メチレンブルー吸着性能と炭化時間との関係

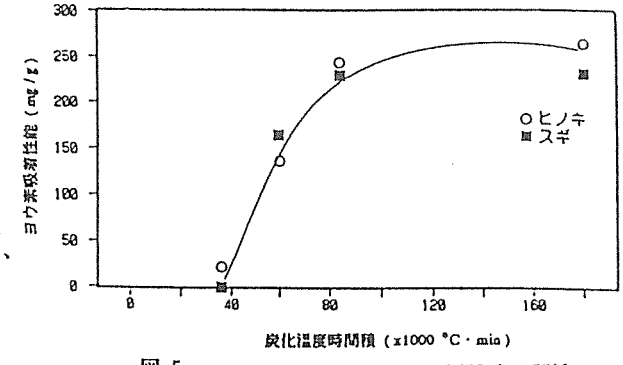
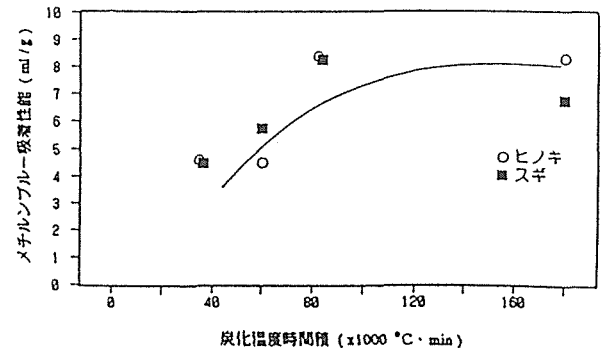
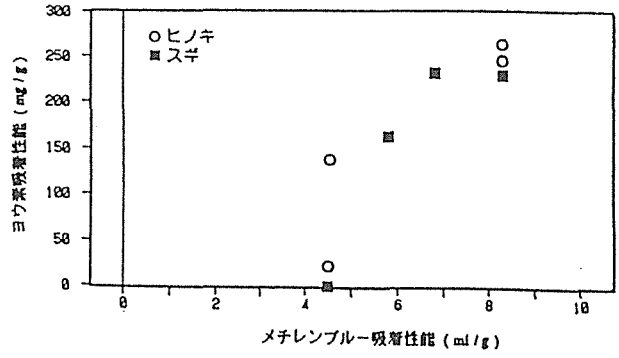
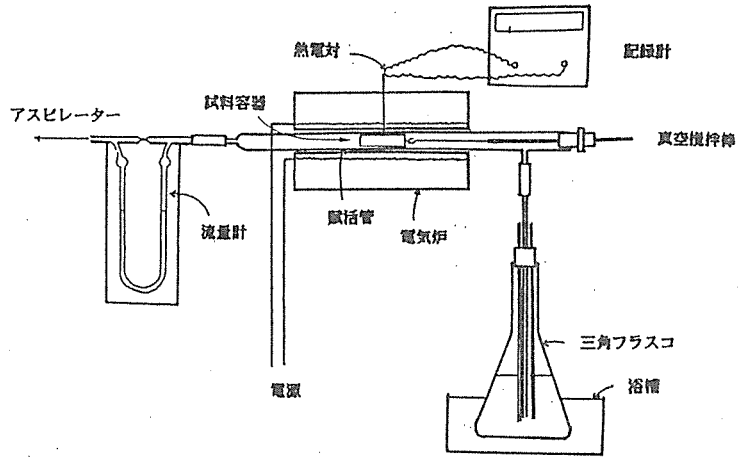
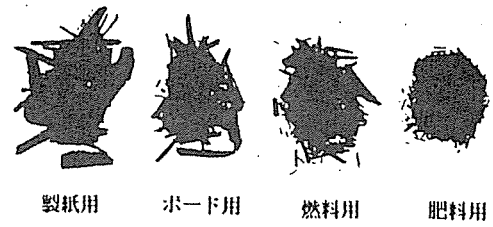
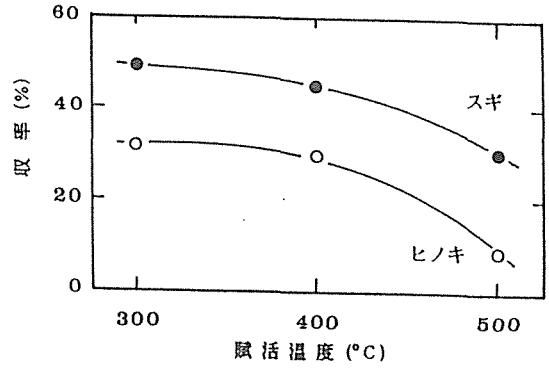
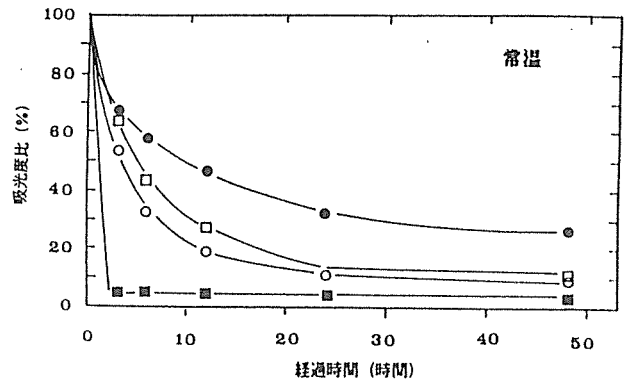
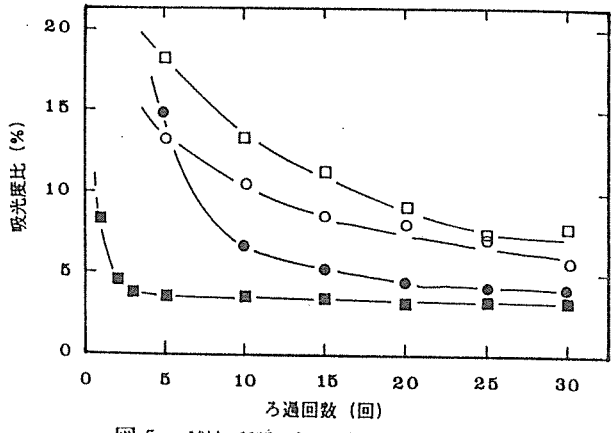
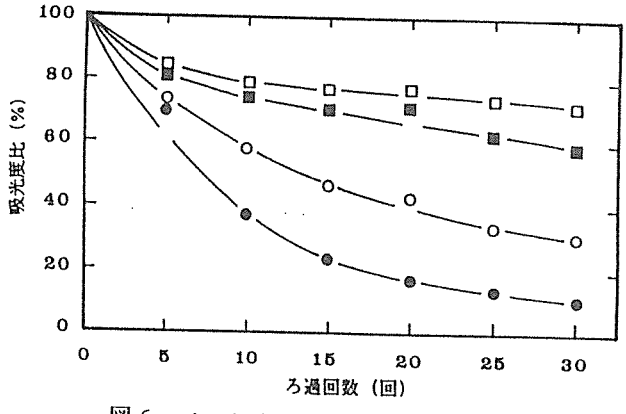


図-5　ヨウ素吸着性能と炭化温度時間積との関係

成果の概要	なるが、700℃、120分と500℃、360分の炭化では、吸着性能に大きな差異がなかったことから、炭化時間を長くするより炭化温度を高くする方が吸着性能の優れた炭化物が得られると思われる。 5. ヨウ素吸着性能とメチレンブルー吸着性能との関係（図-7）：この範囲では、ヨウ素吸着性能が高高くなるとメチレンブルー吸着性能も高くなる傾向が見られた。  図-6　メチレンブルー吸着性能と炭化温度時間積との関係  図-7　ヨウ素吸着性能とメチレンブルー吸着性能との関係
活用の方法	木質残廃材を比較的低い温度で炭化してもある程度の機能性が付与されるので、その性能を有効に利用することが必要である。
今後の課題	炭化物の吸着性能の標準的な試験方法としては日本工業規格・活性炭試験（JIS K-1474）があるが、これにはかなりのテクニックを必要とする。これにとらわれる必要はないのかもしれないが、簡易な標準的な評価方法が望まれる。

テ　ー　マ	木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（１９９３年度）
開発の目的	地球環境問題やゴミ問題が世界的に大きな話題となっているなかで、木材工業は、これまでリサイクルという点では優等生であった。しかし、近年建築解体現場や物流拠点などからでる古材や木質残廃材がその質的変化や競争原理からゴミ化している。ゴミになれば埋め立てか焼却処分されるが、これはいろいろな問題を引き起こしている。特に焼却された場合にはCO_2が発生する。このような古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木材資源を有効に利用するための技術開発が重要な課題となっている。ここでは、木質残廃材のカスケード型利用の１つとして炭化処理を取り上げ、炭化物の吸着性能向上の１つとしての水蒸気賦活法と炭化物の吸着性能の評価方法についても検討した。
開発の内容	1. プレカット工場から排出されるスギ、ヒノキの残廃材を400℃、２時間（標準）で炭化し、この炭化物（一次炭）の吸着性能を高めるために水蒸気賦活法で賦活（賦活炭）した。そして、これらの吸着性能を市販の活性炭と比較した。 (1)賦活方法（図-1）：試料容器に全乾試料５gを入れ、蓋をして秤量する。浴槽を約７０℃に加熱して、三角フラスコ内に水蒸気を発生させる。電気炉の温度を所定の温度に設定し、水蒸気の流量（330～440㎖/分）をアスピレーターで調整する。賦活管の温度が上昇を始めたら、試料の賦活を均一にするために真空撹拌棒を適宜回転させ、所定の温度で一定時間賦活する。賦活後電気炉の温度が約60℃に下がったら試料容器を取り出し、105±3℃で乾燥して秤量し、収率を求める。賦活温度は300～500℃、時間15～60分の条件で行った。  図-1　水蒸気賦活装置（模式図） (2)吸着性能試験：ヨウ素吸着性能を日本工業規格・活性炭試験方法(JIS K-1474) に準じて測定した。 (3)吸着試験用試料：炭化物をメノウ乳鉢で粉砕後、80メッシュのふるいを通過したものを用いた。

	2. コンパネ廃材チップ（製紙用、ボード用、燃料用、肥料用）を炭化（図-2）し、 炭化物の吸着性能に及ぼすいくつかの因子について検討した。 (1)吸着性能試験：日本工業規格・活性炭試験方法（JIS K-1474）で使用するメチレンブルー溶液を50倍に希釈し、この溶液を原液として浸漬法とろ過法で調べた。 ①浸漬法：ガーゼに包んだ5gの試料を100mℓの原液に浸漬し、一定時間ごとに溶液の濃度を分光光度計（波長665nm）で測定した。 ②ろ過法：ガーゼに包んだ5gの試料をろ紙をつけたロートの上に置き、100mℓの原液を流し、ろ過する。この操作を所定の回数行い、ろ液の濃度を分光光度計（波長665nm）で測定した。 浸漬法及びろ過法による原液濃度の変化は、原液の吸光度に対する各測定時における吸光度の比で表わした。 (2)吸着試験用試料：コンパネ廃材チップ炭化物はそのまま試料としたが ボード用チップ炭化物についてはその一部をメノウ乳鉢で粉砕し、２０、４０及び８０メッシュのふるいを通過したものも用いた。  製紙用　ボード用　燃料用　肥料用 図-2 コンパネ廃材チップの炭化物
成果の概要	1 炭化物（一次炭）の収率：スギ、ヒノキの収率は約３６％、コンパネ廃材チップの収率は３０～３４％であった。 2 水蒸気賦活炭の収率：賦活時間が長くなるほど、賦活温度が高くなるほど、収率は低下する傾向を示し、特に賦活温度の影響が大きかった（図-3）。 3 水蒸気賦活温度と吸着性能：賦活温度が高くなるほど、ヨウ素吸着性能は向上した。 4 温度300～500℃、時間15～30分の賦活条件では、スギでは500℃、15～30分が、ヒノキでは500℃、15分の場合がヨウ素吸着性能は最もよかった。  図-3 収率と賦活温度との関係（賦活時間：３０分） 5 水蒸気賦活炭は一次炭の約２倍、市販活性炭は水蒸気賦活炭の約２倍（一次炭の約４倍）のヨウ素吸着性能を示した。

成果の概要	6　コンパネ廃材炭化物はプレカット工場から排出されたスギ、ヒノキより吸着性能が劣っていた（図-4、図-5）。これは、コンパネ廃材チップにはいくつかの樹種が含まれいることと、いわゆるコンクリートなどの異物がわずかであるが混入していたたと思われる。 7　浸漬法による吸着性能試験では、溶液の温度が高くなるほど初期（３時間）におけるメチレンブルー吸着性能は向上した。コンパネ廃材チップ炭化物では、チップのサイズが小さいものほどメチレンブルー溶液濃度の低下割合が速く、また大きかった（図-6）。メチレンブルー溶液濃度の低下に及ぼす試料の種類やチップの大きさの影響はろ過法の場合も浸漬法の場合と同様であった。 8　浸漬法では、メチレンブルー溶液濃度の低下に及ぼす試料粒度の影響は明らかでなかったが、ろ過法では粒度が小さいほど、メチレンブルー溶液濃度の低下速度が大きい傾向を示した。  図-4　試料の種類による吸光度比の経時変化（浸漬法） □：スギ　○：ヒノキ　●：コンパネ廃材（ボード用）　■：市販活性炭  図-5　試料の種類による吸光度比とろ過回数との関係 □：スギ　○：ヒノキ　●：コンパネ廃材（ボード用）　■：市販活性炭  図-6　チップの大きさによる吸光度比とろ過回数との関係 □：チップ用　■：ボード用　○：燃料用　●：肥料用

活用の方法	木質残廃材の炭化・炭化物は、性能は少々劣っても安価で、容易にできるということがその特徴の１つでもある。吸着性能の劣るところは量を増やすことによってカバーすることもできる。我々の周りの身近なところにある生活排水や汚れた水から河川、各種産業汚水などの浄化に使用していくことが可能である。 炭化物の吸着性能を評価する方法として、ここで用いた浸漬法やろ過法は、日本工業規格・活性炭試験方法（JIS K-1474）による炭化物の吸着性能の評価方法に比べると簡単であり、更に改良を加える点もあるが、簡易評価法として用いることができると思われる。
今後の課題	木質残廃材のうち、プレカット工場や木材加工場などから排出される、いわゆる、きれいな木質残廃材とコンパネ廃材など異物が混じった木質残廃材の炭化物ではわずかであるが吸着性能に違いが見られており、この点の検討や異物が混入した残廃材炭化物は使用目的によってはマイナスの影響も考えられるので、その点の検討も必要である。

テ　ー　マ	木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（１９９４年度）
開発の目的	近年建築解体現場や物流拠点などからでる古材や木質残廃材がその質的変化や競争原理からゴミ化している。ゴミになれば埋め立てや焼却処分されるが、これはいろいろな環境問題を引き起こしている。このような古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木質資源を無駄にしないための技術開発が重要な課題である。木質残廃材のカスケード型利用の１つの炭化処理では残廃材の減容・軽量化とともに炭化物の各種の性能・機能を明らかにして、それらを有効に利用していくことが重要である。ここでは、針葉樹３樹種（スギ、ベイツガ、ネズコ）、広葉樹３樹種（ケヤキ、ミズナラ、ブナ）にモウソウチクを加えた７つの試料について炭化処理を行い、炭化物の樹種特性を検討した。
開発の内容	1. 400℃で2時間炭化（炭化前の試料は気乾状態で、寸法は5×5×5 cm^3を標準としたが、一部の樹種ではある方向が小さい場合もあった）し、１日自然放冷して実験に供した。炭化物を乳鉢で粉砕し、60メッシュを通過したものを試料とした。対照試料として市販の木質系粉末活性炭（藤沢薬品製）を用いた。 2. 炭化物の収率、平衡含水率、pH、灰分、細孔分布、メチレンブルー吸着性能、炭化物による人工酸性雨の緩衝性能を調べた。 3. メチレンブルー吸着性能：試料1.0ｇ（全乾重量換算）を円錐状に折ったろ紙の上に置き、メチレンブルー溶液（濃度：24㎎/ℓ、但し、活性炭場合は720 ㎎/ℓ、流量：100、300、500 ㎖）を一定速度（10±1 ㎖/分）でビュレットから試料に滴下し、検量線より残留濃度を求めた。 4. 細孔直径分布：水銀圧入式ポアサイザーを用いて測定した。 5. pH：JIS規格に準じて測定した。 6. 人工酸性雨：脱塩水 300 ㎖ に95％硫酸２㎖ と61％硝酸１㎖ を加えてpH １の人工酸性雨を作り、この pH １の人工酸性雨0.4㎖に脱塩水500㎖を加えて pH４の人工酸性雨を調整した。 これ以外のものは常法に従った。
成果の概要	1. 収率は樹種（モウソウチクも含めて）によらず30％前後であった。 2. 20℃、RH60％における炭化物の平衡含水率は4～5％で、樹種による違いはなかった。市販の活性炭は約12％で、素材炭化物の２倍以上の値を示した。 3. 炭化物のpHと灰分の結果を表-1に示す。pH値を左右する要因として灰分の量と成分、多孔性に起因する比表面積の大きさなどが考えられる。灰分の多いモウソウチクやケヤキのpH値は高かったが、三番目に灰分が多かったブナのpH値は低かった。灰分にはカルシュウムやカリウム

成果の概要

などの金属成分、リンやイオウなどの非金属成分も含まれるために、非金属成分を多く含む試料はpH値が低くなったものと考えられる。

表-1　炭化物のpHと灰分

樹種	スギ	ベイツガ	ネズコ	ケヤキ	ミズナラ	ブナ	モウソウチク	市販活性炭
pH	7.5	6.0	6.6	8.4	7.0	5.9	9.6 (7.3)*	9.4
灰分**	0.26	0.31	0.25	0.94	0.22	0.39	1.70	-

注）＊：（　）内の数値は昇温度速度3.4°C/minの場合
＊＊：炭化前の試料重量を基準にしたもの（重量%）

4. メチレンブルー吸性能（図-1、図-2）：ミズナラ、スギ、ネズコ、ブナ、ベイツガ、モウソウチクではろ過回数4回、ケヤキでは8回、活性炭では6回程度で吸着量はほぼ平衡に達した。メチレンブルー吸着量は、活性炭を除くと、モウソウチクが最も多く、次いでケヤキ、ミズナラ、スギ、ネズコ、ブナ、ベイツガの順であった。活性炭はモウ　ソウチクの約34倍、ベイツガの約58倍の吸着量を示した。

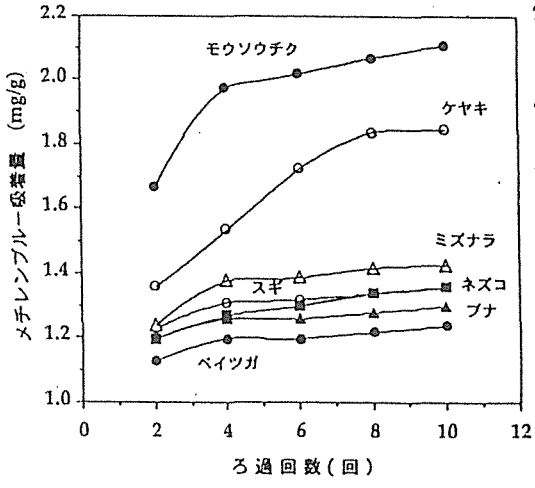


図-1　メチレンブルー吸着量とろ過回数との関係

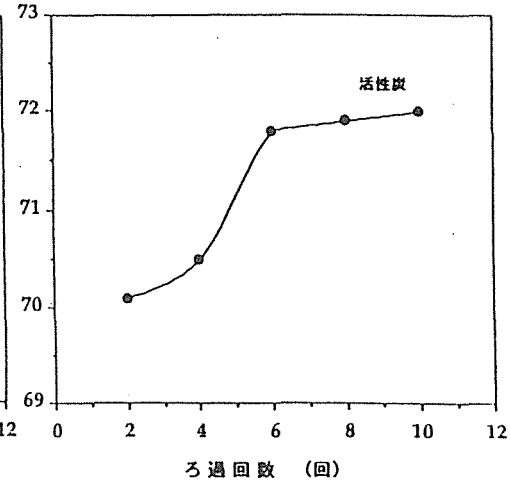


図-2　メチレンブルー吸着量とろ過回数との関係

5. メチレンブルー吸着量と平衡含水率（図-3）：活性炭を除いた試料について、ろ過10回後のメチレンルー吸着量と平衡含水率を見ると、ネズ　コが少しはずれていが、平衡含水率が高い程、メチレンブルー吸着量は多くなる傾向が見られた。、更にデータを集積することによって平衡含水率かメチレブルー吸着量を推定できる可能性がある。

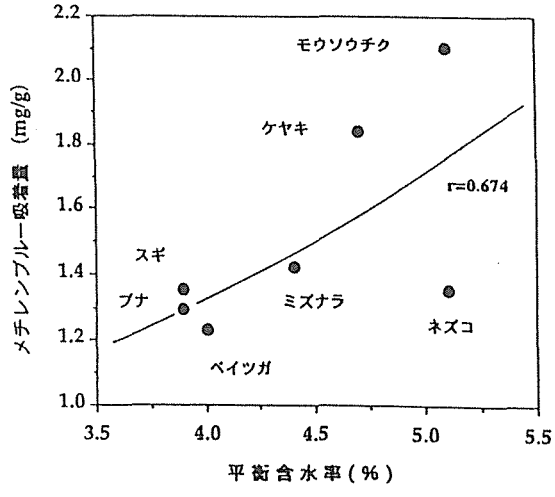


図-3　メチレンブルー吸着量と平衡含水率との関係

6. 細孔直径分布：スギ、ネズコ、

ブナでは１μm～60μmの間に細孔が分布し、20μm前後のも前後のものが多かった。これに対してケヤキ、ミズナラ、モウソウチでは１μm以下のものは少なかったが、0.01μm～60μmに幅広く分布し、４μmの前後のものが多かった。小さな細孔の割合が多いケヤキ、ミズナラ、モウソウチクが大きな細孔の割合が多いスギ、ベイツガ、ネズコ、ブナよりメチレンブルー吸着量が多かった。図-4にモウソウチクの細孔分布の例を示した。

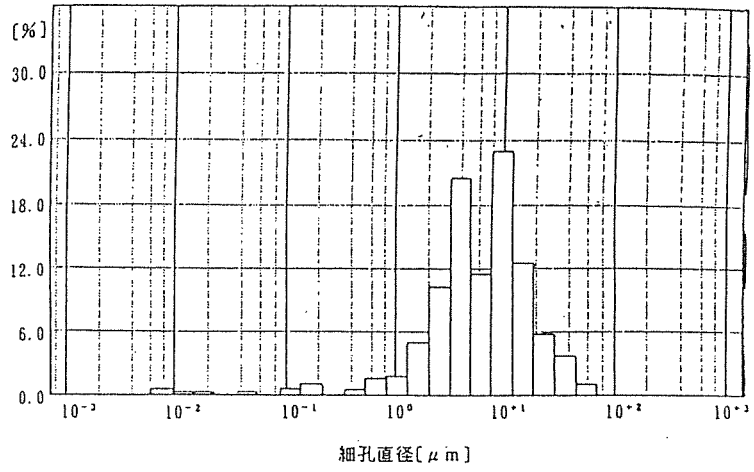


図-4　モウソウチクの細孔直径分布

成果の概要

7. 炭化物による人工酸性雨のpH値の変化：pH ４の人工酸性雨100mℓを炭化物に滴下した後のpH値とろ過回数との関係を図-5に示す。いずれの試料でも滴下後、人工酸性雨のpH値は上がり，図に示したスギ、ベイツガ、ネズコ、ケヤキの炭ケ化物では滴下を繰り返して平返衡に達するまで、わずかであるが、pH値は上がり続けた。これは滴下を繰り返すために人工酸性雨が試料に浸透してより多くのアルカリ成分と接するためであると考えられる。しかし、かモウソウチクと活性炭では最初の滴下で人工酸性雨のpH値が9.5前後になった後、滴下を繰り返して平衡に達するまでpH値は下がり続けた。この違いについては今のところ明らかでない。

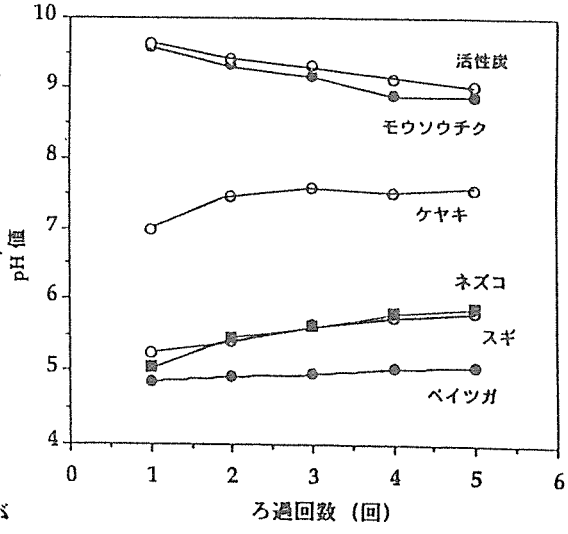
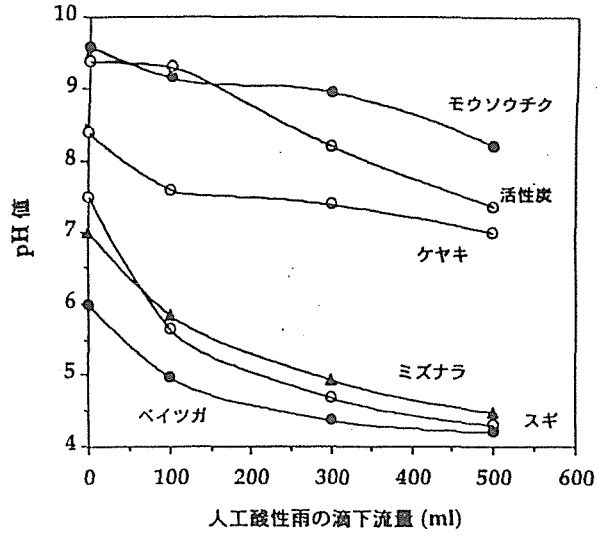


図-5　pH４の人工酸性雨のpH変化とろ過回数との関係

8. 炭化物に滴下する人工酸性雨(pH４)の流量とpH値（滴下３回後)の変

成果の概要	8. 炭化物に滴下する人工酸 性雨 (pH 4)の流量とpH値滴下 3 回後)の変化の様子図-6に示す。滴下流量が多くなると pH 値は低下していくが、ミズナラ、スギ、ベイツガで 500 mℓ滴下した場合、pH 値はほとんど 4 に近くなって緩衝はほとんどなくなっている。これに対して、モウソウチクやケヤキは低下の割合が少なく、酸に対する緩衝能力が高い。特にモウソウチクの炭化物は活性炭より高い緩衝能力を示した。  図-6　人工酸性雨のpH変化に及ぼす流量の影響
活用の方法	素材の炭化物に比べてモウソウチクの炭化物は高いメチレンブルー吸着性能、人工酸性雨に対する高い緩衝能力を示しており、廃タケ材利用の 1 つの方向として活用できる。樹種によって人工酸性雨の緩衝能力に差はあるが、炭化物は酸性雨の緩衝剤としての利用が可能である。
今後の課題	炭化物はいろいろな機能を有しており、それらの機能が有効に利用できるように、また取扱が容易な形状への加工も必要である。

テ　ー　マ	木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（１９９５年度）
開発の目的	近年、建築解体現場や物流拠点などからでる古材や木質残廃材がその質的的変化や競争原理からゴミ化してきている。ゴミになれば埋め立てや焼却処分されるが、これはいろいろな環境問題を引き起こしている。このような古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木質資源を無駄にしないための技術開発が重要な課題となっている。木質残廃材のカスケード型利用の１つである炭化処理では残廃材の減容化・軽量化・安定化とともに炭化物のいろいろな性能・機能を明らかにして、それらを有効に利用していくことが必要である。ここでは、昨年度に引き続き、針葉樹３樹種（スギ、ベイツガ、ネズコ）、広葉樹３樹種（ケヤキ、ミズナラ、ブナ）にモウソウチクを加えた７つの試料について炭化温度を変えて炭化処理を行い、炭化物の特性について検討した。
開発の内容	1.　400℃、600℃、750℃で2時間炭化（炭化前の試料は気乾状態で、寸法は5×5×5cm^{3}を標準としたが、一部の樹種ではこれより小さいものもあった）し、１日自然放冷後実験に供した。炭化物を乳鉢で粉砕し、60メッシュを通過したものを試料とした。対照試料として市販の木質系粉末活性炭（藤沢薬品製）を用いた。 2.　炭化物の収率、pH、細孔直径分布、メチレンブルー吸着性能、炭化物による人工酸性雨の緩衝性能を調べた。 3.　メチレンブルー吸着性能：試料1.0 g（全乾重量換算）を円錐状に折ったろ紙の上に置き、メチレンブルー溶液（濃度：24㎖/ℓ、但し、活性炭場合は720 ㎖/ℓ、流量：100、300、500 ㎖）を一定速度（10±1 ㎖/分）でビュレットから試料に滴下し、ろ液の波長665nmにおける吸光度を測定し、検量線より残留濃度を求めた。 4.　細孔直径分布：試料を105℃で乾燥後、水銀圧入式ポアサイザーを用いて測定した。 5.　pH：JIS規格に準じて測定した。 6.　人工酸性雨：脱塩水 300 ㎖に95％硫酸２ ㎖ と61％硝酸１ ㎖ を加えてpH 1の人工酸性雨を作り、この pH 1 の人工酸性雨に脱塩水を加えてpH４の人工酸性雨を調整した。 これ以外のものは常法に従った。
成果の概要	1.　炭化温度が高くなると、収率は低下した（炭化温度400℃の時約30％、600℃の時約27％、750℃の時約22％であった）。 2.　表-1に各炭化温度における炭化物のpH値を示す。炭化温度が高くなると、pH値は高くなり、樹種間の差が少なくなった。 3.　メチレンブルー吸着性能（図-1）：炭化温度400℃の場合、いずれの試

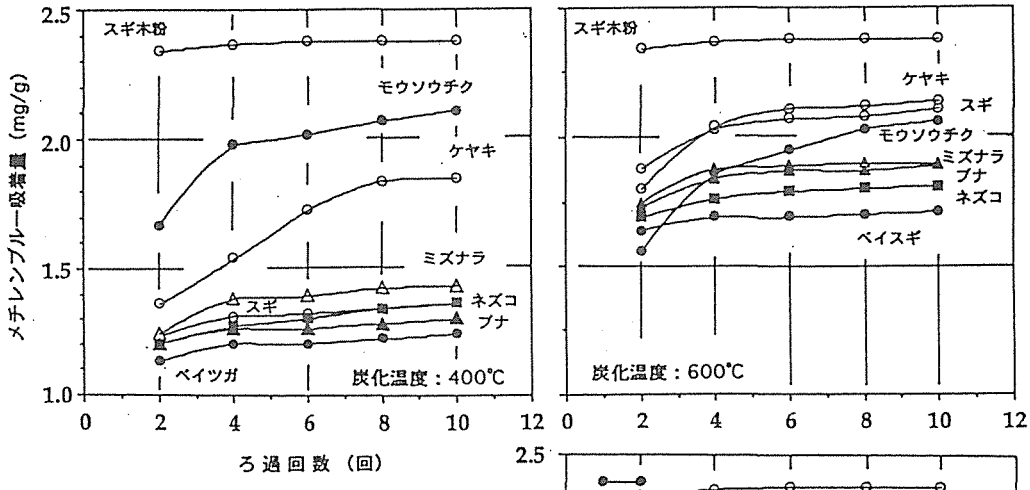
成果の概要

料も、ろ過を繰り返すとメチレンブルー吸着量は増加した。吸着量はモウソウチクが最も大きく、次いでケヤキ、ミズナラ、ネズコなどの順であった。炭化していないスギ、ラワン木粉はモウソウチク、ケヤキより高いメチレンブルー吸着量を示した。炭化温度600℃の場合、モウソウチクの吸着量は400℃の場合の場合とほとんど同じであった。他の試料では炭化温度が高くなると吸着量は増加した（炭化温度400℃の場合の1.2～1.6倍）。炭化温度750℃の場合、モウソウチクを除くいずれの試料も炭化温度600℃の場合より大きな吸着量を示し、ろ過１回で吸着量はほぼ平衡に達した。

表-1　炭化物のpH値と試料の灰分（%）*

		スギ	ベイツガ	ネズコ	ケヤキ	ミズナラ	ブナ	モウソウチク	活性炭	平均
pH	400 ℃	7.5	6.0	6.6	8.4	7.0	5.9	9.6	9.4	7.29
	600 ℃	8.4	7.8	7.5	9.3	8.6	8.8	9.4		8.54
	750 ℃	9.1	8.9	8.9	9.3	8.5	9.2	-		8.98
灰分（%）		0.26	0.31	0.25	0.94	0.22	0.39	1.70	-	-

＊：燃焼前の試料重量を基準にしたもの（重量%）



4.　細孔直径分布：図-2にスギの炭化温度400℃と600℃の場合の細孔直径分布を示す。炭化温度600℃の場合は400℃の場合より細孔の最多直径が小さい方に少しシフトし、すそが両側に少し広がっている。炭化温度750℃の場合は600℃の場合と分布の形はほとんど同じであったが、細孔直径の小さい部分が若干増加した。

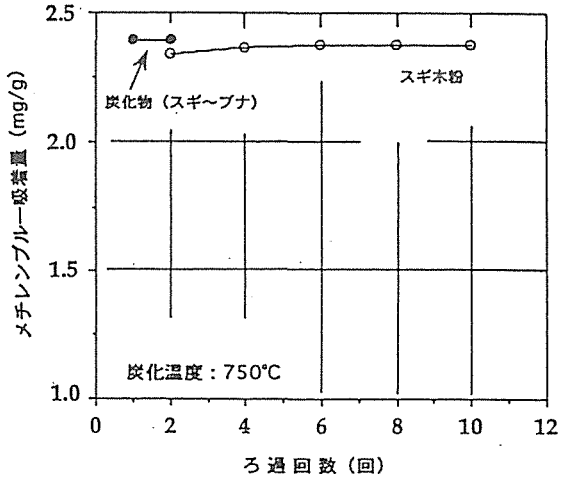


図-1　メチレンブルー吸着量とろ過回数との関係

成果の概要

5. 炭化物の人工酸性雨（pH4）緩衝能：図-3にpH4の人工酸性雨のpH変化とろ過回数との関係の例を示す。炭化温度400℃・滴下流量100mℓの場合、ろ過を繰り返すことによってpHが低下するもの（モウソウチク、活性炭）と上昇するもの（ケヤキ、ネズコ、ベイツガなど）があった。炭化温度600℃・滴下流量500mℓの場合、ベイツガ、ミズナラ、スギでは滴下流量が多くなったため、緩衝能は低下し、pHは4.1～4.5になっている。炭化温度750℃・滴下流量500mℓの場合、ミズナラ、スギ、ベイスギも活性炭、ケヤキと同じようにろ過を繰り返すとpH値は低下する傾向を示した。

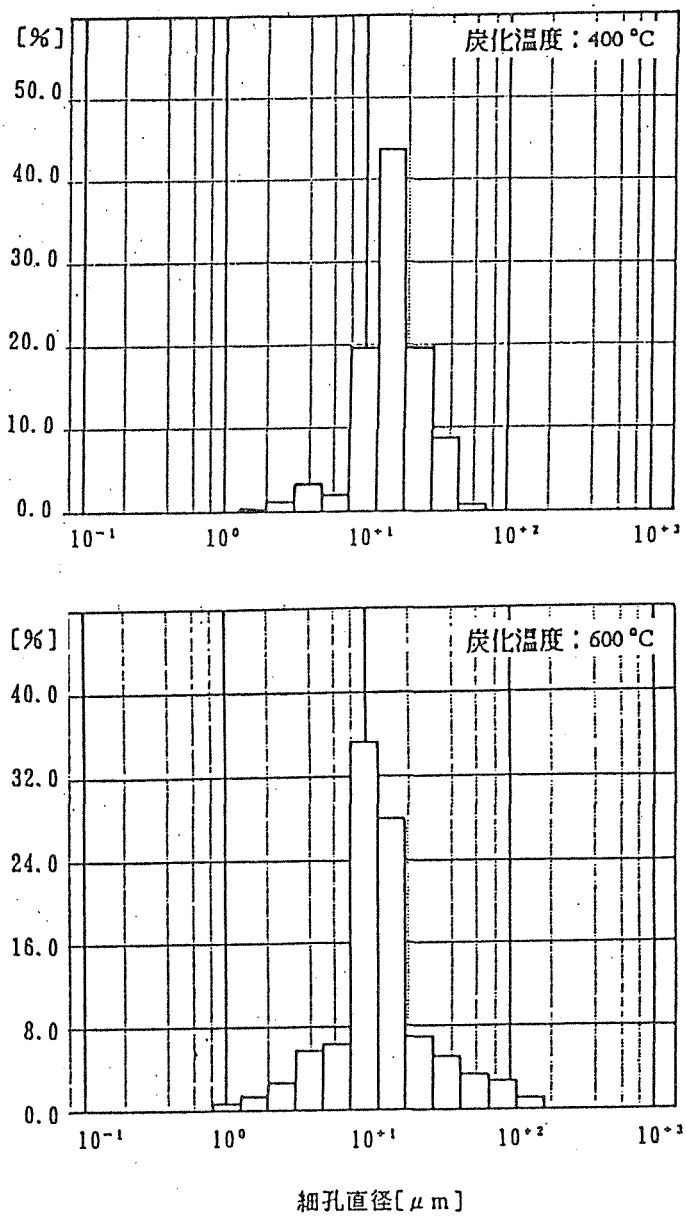
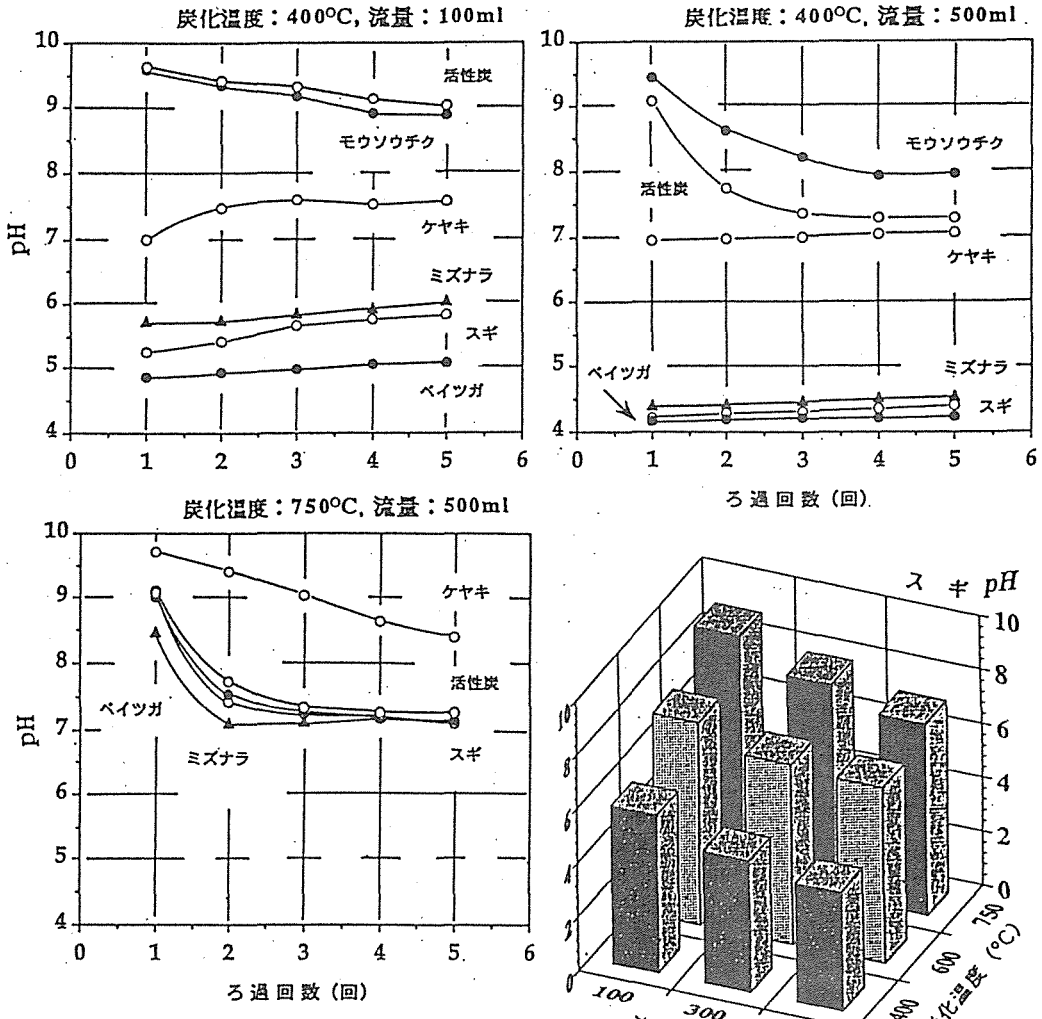
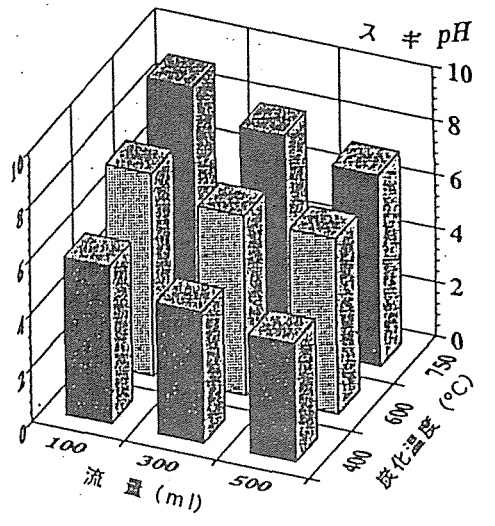


図-2　スギ炭化物の細孔直径分布

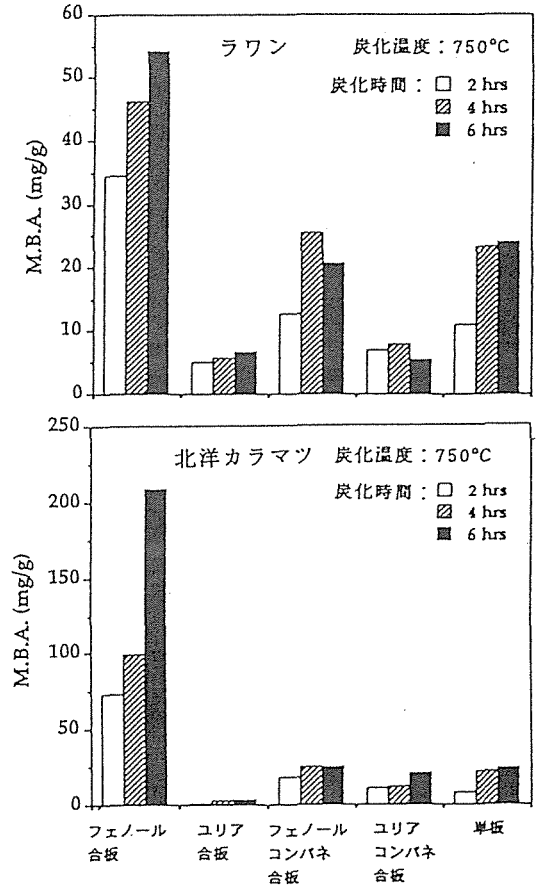
pH4の人工酸性雨の滴下流量の増加による緩衝能の低下の程度は炭化温度が低い場合は、樹種によっていくらか違いが見られたが、炭化温度が高くなると、樹種間の違いは少なくなった。

図-4にスギの場合について、人工酸性雨（pH4)の滴下流量と炭化温度、pH変化との関係を示す。滴下流量が同じ場合には、炭化温度が高い程、炭化温度が同じ場合には、滴下流量が多い程、人工酸性雨（pH4）のpH値は低下した。

高い温度で炭化した炭化物ほど、人工酸性雨（pH4）に対して高い緩衝能を示す。市販の木質系活性炭はメチレンブルー吸着性能では本実験で

成果の概要	 図-3　人工酸性雨（pH4）のpH変化とろ過回数との関係  図-4　人工酸性雨（pH4）のpH変化と炭化温度及び滴下流量との関係（スギ） 用いた炭化物よりかなり高い性能を示したが、pH4の人工酸性雨に対する緩衝能では炭化物と大差なかった。
活用の方法	炭化していないスギ及びラワン木粉でも炭化物と同程度のメチレンブルー吸着性能を示しており、身近なところでの浄化に利用出来。しかし、それの使用後の処理を考えると炭化処理を行うことが必要である。炭化温度が高くなると、メチレンブルー吸着性能、人工酸性雨（pH4）に対する緩衝能とも樹種による違いがほとんどなくなっており、高い温度で炭化処理を行うことによっていずれの樹種も利用することが可能である。
今後の課題	炭化物の性能・機能の持続性、再生性などを検討する必要がある。また、炭化物の脱臭性能についても検討が必要であると思われる。

テ　ー　マ	木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（１９９６年度）
開発の目的	近年、建築解体現場や物流拠点などからでる古材や木質残廃材がその質的的変化や競争原理からゴミ化してきている。ゴミになれば埋め立てや焼却処分されるが、これはいろいろな環境問題を引き起こしている。このような古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木質資源を無駄にしないための技術開発が重要な課題となっている。木質残廃材のカスケード型利用の１つである炭化処理では残廃材の減容化・軽量化・安定化とともに炭化物のいろいろな性能・機能を明らかにして、それらを有効に利用していくことが必要である。今年度は接着剤やコンクリートなどの異物を有する廃コンパネ合板などの炭化利用の可能性を探るために合板を製造し、一部についてはコンクリート処理を行い、炭化後炭化物の性質を調べた。
開発の内容	1）合板の製造と炭化処理：ラワン（厚さ：2.6mm）と北洋カラマツ（厚さ：1.8mm）を用い、ユリア樹脂及びフェノール樹脂接着剤で５プライの合板（30cm×30cm）を製造した。このうちの半分には両面に生コンクリートを塗布し、約１週間室内に静置した。表面に付着した大きなコンクリートを除去した（これを廃コンパネ合板とする）後、合板を5cm×5cmに切断し、炭化温度400, 600, 750 ℃, 炭化時間2, 4, 6 時間で炭化した。また、合板製造と同じ条件でフィルム状にした接着剤も炭化した。炭化には木材乾溜装置を使用した。所定の温度・時間で炭化した後、約１日自然放冷し実験に供した。 2）試料：炭化物は乳鉢で粉砕し、60メッシュを通過したものを試料とした。 3）炭化物の特性評価：pH、20℃・RH60％における平衡含水率、メチレンブルー吸着量などを調べた。pH, メチレンブルー吸着量はJIS K 1474（活性炭試験方法）に準じて測定した。炭化物の一部については比表面積、細孔容積などを大平洋金属株式会社新潟工場の好意により測定した。
成果の概要	1）収率はいずれの試料も炭化温度が高く、炭化時間が長いほど低下した。合板の収率は単板より、廃コンパネ合板の収率は合板より若干高い値を示した。フェノール樹脂接着剤の収率（30～48％）はユリア樹脂接着剤のそれ（14～26％）より高かった。 2）炭化物のpHはいずれの炭化温度、炭化時間でも廃コンパネ合板（9.8～10.4、値の範囲は炭化温度、炭化時間のによる変動を示す。以下同様）及びフェノール樹脂合板（9.2～10.1）がユリア樹脂合板（5.7～8.3）及び単板（ラワン：7.3～8.8、北洋カラマツ：5.6～7.8）のそれより高い値を示した。これには炭化セメント（11.3～12.0）及び炭化フェノール樹脂接着剤（9.8～10.3）のpHが高いことが影響していると考えられる（炭化ユリア樹脂接着剤：7.4～8.1）。炭化時間400℃および600℃ではpHに及ぼす炭化時間の影響はほとんど見られなかったが、ラワンの炭化温度750℃の場合は6時間炭化の場合が2時間及び4時間炭化の場合より若干高いpHを示した。特にユリア樹脂合板及び単板の場合において顕著であった。 廃コンパネ合板は炭化温度400℃、2時間炭化でもpHは10以上を示した。

成果の概要	炭化前のラワン単板のpH（4.9）は北洋カラマツ単板のそれ（4.4）より高く、炭化後もラワンのpH（7.3～8.8）は北洋カラマツのそれ（5.6～7.8）より高い値を示した。セメントのpHは炭化温度が高くなると高くなる傾向を示したが、フェノール樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤では炭化温度の影響はほとんど見られなかった。 3）各炭化物の20°C、RH60%における平衡含水率（EMC）は炭化温度が400°C、600°Cでは5.6～11.3%の範囲にあったが、炭化温度が750°Cになると13.8%～24.1%の範囲にあり、特にフェノール樹脂合板炭化物は21%以上の値を示し、吸湿量がきわめて大きくなった。廃コンパネ合板ではその傾向は見られなかった。炭化温度が400°C、600°Cの場合は平衡含水率に対する炭化時間の影響それほど明らかでなかったが、炭化温度が750°Cのフェノール樹脂合板の場合はラワン、北洋カラマツとも炭化時間が長くなると平衡含水率も高くなった。 炭化ユリア樹脂接着剤の平衡含水率（炭化温度400°Cの場合8.8%、750°Cの場合18.0%）はフェノール樹脂接着剤のそれ（それぞれ3.7%、12.8%）より高く、炭化温度750°Cの場合、ユリア樹脂接着剤のそれはフェノール樹脂接着剤の1.4であった。 各炭化物の平衡含水率は炭化温度が高く、炭化時間が長い程大きな値を示す傾向にあった。 4）図-1にラワン及び北洋カラマツ炭化物の炭化温度750°Cの場合のメチレンブルー吸着量（M.B.A.）を示す。北洋カラマツの6時間炭化のフェノール樹脂合板炭化物はきわめて高いメチレンブルー吸着量を示した。この値は木質系活性炭のそれ（162mg/g）より高い値である。北洋カラマツフェノール樹脂合板の2時間及び4時間炭化でも、ラワンフェノール樹脂合板の6時間炭化の場合より高いメチレンブルー吸着量を示した。何故、北洋カラマツフェノール樹脂合板炭化物がラワンフェノール樹脂合板炭化物より高いメチレンブルー吸着量を示すのかは現段階では明らかでない。 北洋カラマツ、ラワンともフェノール樹脂合板炭化物がユリア樹脂合板炭化物より高いメチレンブルー吸着量を示した。特に、炭化温度750°Cの場合に顕著であった。  図-1　ラワン及び北洋カラマツ炭化物のメチレンブルー吸着量（M.B.A.）

成果の概要	5）図-2にメチレンブルー吸着量（M.B.A.）と20℃、RH60%における平衡含水率（EMC）との関係を示す。メチレンブルー吸着量は平衡含水率が高い程大きな値を示す傾向にあるが、炭化温度750℃、6時間炭化の北洋カラマツフェノール樹脂合板（K-P-P）はほかの炭化物のメチレンブルー吸着量と平衡含水率の傾向曲線よりずれてきわめて大きなメチレンブルー吸着量を示した。 6）図-3に炭化温度600℃、4時間炭化のラワンフェノール樹脂合板炭化物とラワンユリア樹脂合板炭化物の細孔分布の例を示す。フェノール樹脂合板炭化物の場合がユリア樹脂合板炭化物の場合より直径の小さい細孔が多いことを示している。また、フェノール樹脂合板炭化物がユリア樹脂合板炭化物より比表面積、全細孔容積も大きかった。フェノール樹脂合板炭化物がユリア樹脂合板炭化物より高いメチレンブルー吸着量を示すのはこの細孔分布も一因していると思われる。しかし、

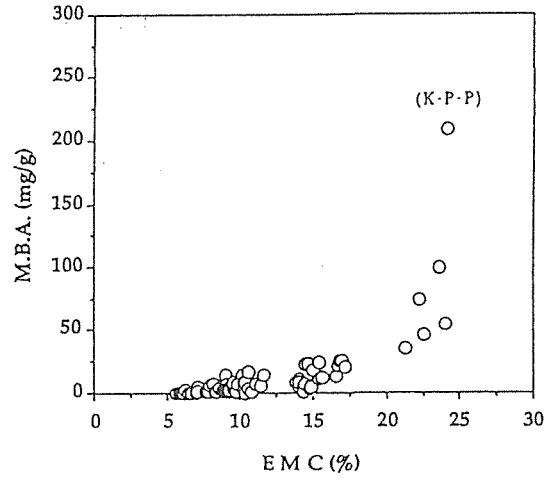


図-2　メチレンブルー吸着量（M.B.A.）と20℃,RH65%における平衡含水率（EMC）との関係

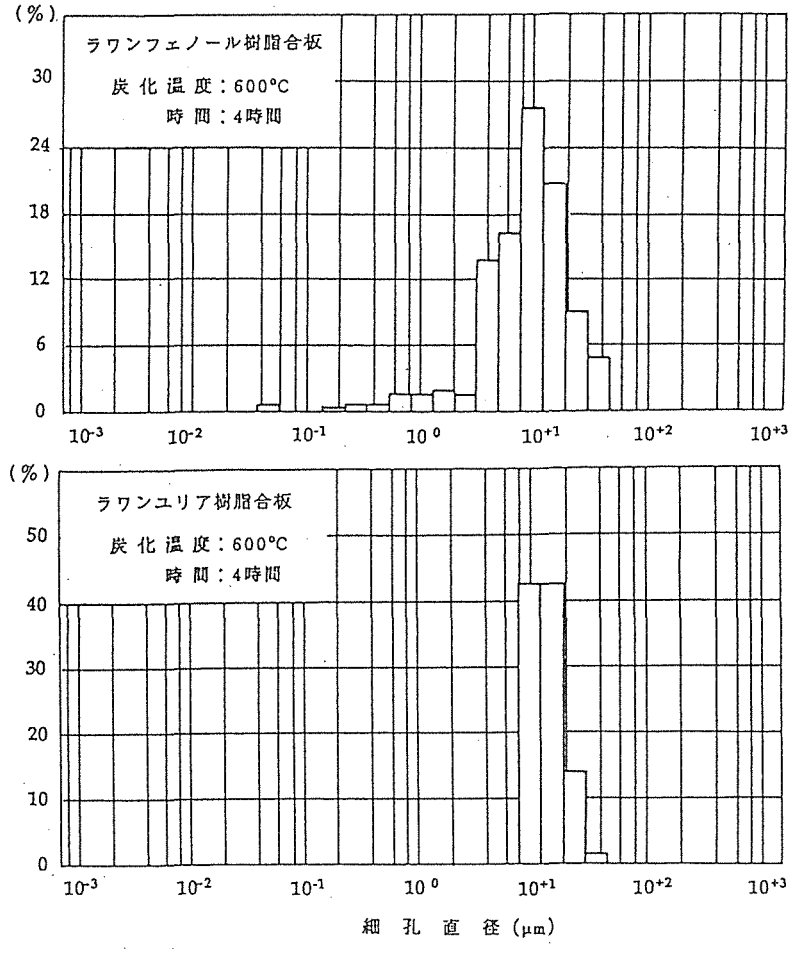
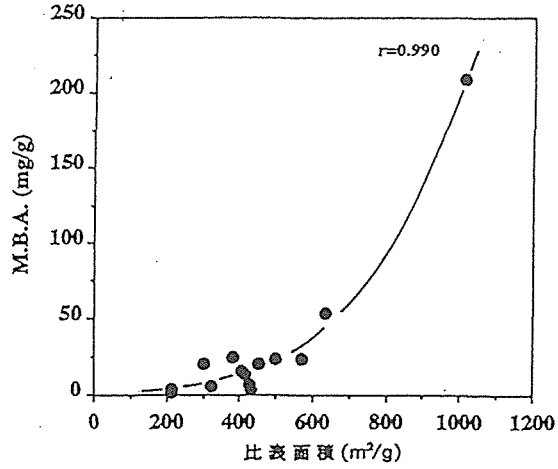
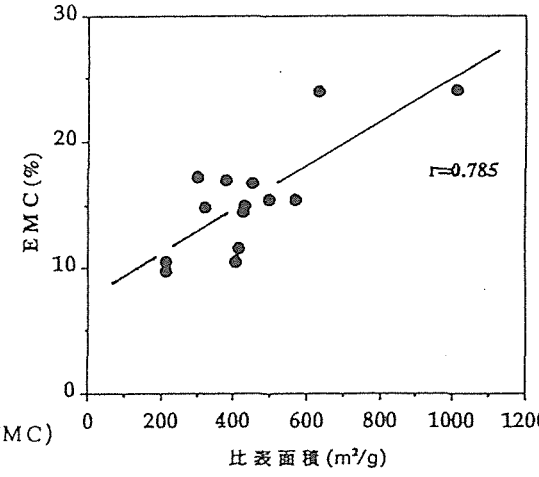


図-3　フェノール樹脂合板とユリア樹脂合板炭化物の細孔分布（ラワン、炭化温度：600℃、炭化時間：4時間）

成果の概要	何故フェノール樹脂合板炭化物がユリア樹脂合板炭化物より直径の小さい細孔が多いのか、比表面積が大きいのかと言う理由については現在のところ明らかでない。 7) 図-4にメチレンブルー吸着量（M.B.A.）と比表面積との関係を示す。比表面積が大きいものほど、メチレンブルー吸着量は大きな値を示す傾向が見られ、炭化温度750°C、6時間炭化の北洋カラマツフェノール樹脂合板炭化物（＊）のきわめて高いメチレンブルー吸着量は比表面積が一因していると思われる。 図-5に20°C、RH60%における平衡含水率（EMC）と比表面積との関係を示す。20°C、RH60%における平衡含水率は比表面積とほぼ直線関係にあった。  図-4 メチレンブルー吸着量（M.B.A.）と比表面積との関係  図-5 20°C,RH65%における平衡含水率（EMC）と比表面積との関係
活用の方法	フェノール樹脂接着剤合板炭化物、特に北洋カラマツの炭化温度750°C、6時間炭化の場合は木質系活性炭より高いメチレンブルー吸着量を示しており、吸着剤として優れた性能を有している。また、吸湿性も高いのでこの性質の利用も十分考えられる。 廃コンパネ合板は低い炭化温度、短い炭化時間でも10以上のpHを示しており、酸性雨の緩衝剤として利用できる可能性がある。
今後の課題	フェノール樹脂接着剤合板炭化物は高いメチレンブルー吸着量と高い吸湿性を示したが、この点については炭化温度を変えた場合や温湿度条件を変えてもう少し検討する必要がある。炭化温度を高く、炭化時間を長くすると、メチレンブルー吸着量、吸湿性は向上するがそのために必要なエネルギーと性能は若干劣っても低い温度、短い炭化時間できる炭化物の量との関係についての検討も必要である。 フェノール樹脂接着剤合板や廃コンパネ合板炭化物は10前後の高いpHを示しており、これらの取扱についての検討も必要であると思われる。

テ　ー　マ	炭化技術と炭化物の機能利用技術の開発
開発の目的	①　木材工業の活動の中で、樹皮、のこくず、端材などが工場廃材として排出される。また、住宅解体材はゴミとして捨てられることが多い。しかし、最近は資源の再利用という立場から、のこくずは、キノコ栽培の培地、家畜の敷料、木炭の原料、特殊抽出成分抽出原料としている。そこで、これらの炭化物を農業資材や漁業資材に適用することの可否を検討した。 ②　最近油流出で環境が汚染され問題になっている。木質ファイバーを用いて熱処理をすると、油吸着量が多くて吸水量の少ない油吸着材ができることを見いだし特許を取得している。しかし、この方式ではファイバー化するための設備投資が大きい。そこでより安価なハンマークラッシャーで粉砕したしたものを原料とする炭化物の油吸着性能を検討した。
開発の内容	木炭による重金属の吸着、農薬の吸着、粒状コンポストの臭いの吸着、コマツナ、大豆による肥料成分、重金属の作物吸収、ハウス栽培（ホウレンソウとトマト）における作物の育成に対する木炭施用効果評価を行い農業にかかわる木炭の利用の可能性の範囲と適用限界について検討した。また、成形木炭と有機物分解菌を併用し海水浄化効果を評価し、漁業資材としての効果を検討した。さらに、粗い小片を原料とする木質系油吸着材への適用を検討した。
成果の概要	1　重金属の吸着 供試重金属（亜鉛、銅、カドミウム、ニッケル、鉛の10～500ppm溶液を0.1M－酢酸緩衝液（pH 5.5）で作製）を木炭粉および活性炭、ゼオライトに加え 2～24時間振とうし、吸着量を測定した結果、吸着能力は、平炉樹皮炭 ＞ ブロック炉間伐材炭 ≧ レンガ製ブロック炉間伐材炭 ≧ 平炉のこくず炭 ＞ レンガ製ブロック炉解体材炭 ＞ 流動層炉のこくず炭、外熱式回転炉のこくず炭の順であった。重金属の種類別にその吸着量を比較すると、木炭粉の種類によって多少の相違はあるがおおむね鉛が最も大きく、次いで銅であった。 2　農薬（水田除草剤ベンチオカーブ）の吸着 1～100ppmの濃度のベンチオカーブ（S－*p*－クロロベンジルN，N－ジエチルチオカーバメイト）水溶液に木炭粉を加えて振とうし、水溶液に残ったベンチオカーブを定量した。その結果、どの木炭粉も良く吸着し、炭化前ののこくずにも高い吸着力がみられた。 3　粒状コンポスト臭の吸着 粒状コンポスト（粒径 1～ 5mm）に木炭粉（10%添加）を加え、1時間以上放置後、ニオイセンサーで臭気物質を測定した。その結果、炭化温度 500℃の木炭粉が最も強い脱臭力を示し、炭化温度が上がるにつれて脱臭力は落ちた。官能検査では、木炭粉10%添加でかなり臭気は薄くなり、50%添加ではほとんど臭気がなくなった。

4　コマツナ、大豆における肥料成分、重金属の作物吸収

コマツナ（ＶＡ菌根菌、根粒菌の非共生作物）と大豆（ＶＡ菌根菌、根粒菌の共生作物）を施肥した腐植質黒ボク土に木炭粉を５％添加した土壌でポット栽培し、肥料成分（窒素、リン）と重金属（亜鉛、銅、カドミウム、ニッケル、鉛）の作物吸着量を測定した。コマツナにおける肥料成分の吸収をみると、木炭粉施用ポットの窒素およびリン吸収量は、無施用ポットより劣る傾向を示した。しかし、カリの吸収量は木炭粉の種類によって著しく相違しており、木炭自体のカリ含有量の多少を反映した結果とみなされた。肥料成分（窒素、リン、カリ）の吸着性はなかったので、肥料成分の吸着に木炭粉はあまり効果がないと思われる。

大豆における肥料成分の吸収を見ると、木炭粉施用ポットの窒素、リン吸収量は、炭化温度の低い場合には無施用ポットよりも劣ったが、高温で炭化した場合には明らかに無施用ポットを上回った。この傾向は、とりわけ外熱式回転炉炭で明瞭で、炭化温度の高いものほど、窒素、リン吸収量は増加した。大豆の窒素吸収量には、根粒重と比例関係が認められた。したがって、木炭粉施用条件下での窒素吸収量の増加は、根粒菌による窒素固定の促進によるものとみなされた。一方、根粒重の増加は、リン吸収量の増加と密接な関係が認められた。炭化温度の高い木炭粉の施用は、ＶＡ菌根菌の活性を高めてリン吸収を促進し、また同時に根粒菌の活性も高めて窒素吸収を促進したものと考えられる。

木炭粉の施用は、作物の重金属吸収を多かれ少なかれ抑制する効果を示したが、重金属存在量の多い土壌での積極的な吸収抑制を期待することは困難と思われる。

5　ホウレンソウへの木炭粉施用効果

施設内の栽培（ハウス栽培）では、土壌の表層に塩類が集積し、作物の生育を阻害することがある。塩類は一般に連作が継続されるにしたがって集積するが、特に多施肥により高塩類集積土壌が生成され、生育阻害が見られる。このことから、通常の土壌（対照土壌）と塩類集積土壌での木炭施用効果について検討した。

また、木炭に含まれるホウ素の作物に対する肥料的効果を検討するため、ホウ素含有量の異なる土壌での施用試験を実施した。なお、ホウ素は宿物必須元素（16種）で、ホウ素が欠乏すると、茎の生長点の細胞が死んで、生長や新しい葉の形成が止まる。さらに、根の生長が阻害され、褐色あるいは黒変する。

通常の土壌では、ブロック炉炭を 2～ 5 t/10a（ 2～ 5%に相当）施用すると、無施用区に比較して草丈は14～27%、収量は22～29%、ビタミンＣは14～50%、ホウ素含量は43～ 268%増加した。平炉炭では、 5 t/10a施用すると 7%の増収となった。塩類集積土壌では、ブロック炉炭を 2～ 5 t/10a施用すると収量は57%増加し、木炭粉の効果が認められた。経済性を考慮して木炭粉を 0.1～ 0.2 t/10a（0.1～0.2%に相当）施用した区でも、11～19%増収し、株数も 128%増収した。また、ホウ素の少ない農家の農地でも、0.25 t/10a施用すると20%増収し、株数は31%増加し、草丈の生長および収穫も早まり、したがって農家の収入も増えた。２作目の収穫結果では、 0.5 t/10a施用に対して 8%の増収が得られた。

6　トマトへの木炭粉施用効果

果実収量からみると、一部に増収する傾向もあるが効果は判然としなかった。木炭粉施用により施肥窒素が吸着・溶けにくくなったためと思われるが、平炉炭を 2 t/10a施用すると 6%増収したが、 5 t/10a施用では 2%減収した。またブロック炉炭では、 5 t/10a施用すると 4%増収したが、 2 t/10a施用では 3%減収した。

7　成形木炭と有機物分解菌の併用による海水浄化効果の評価

ろ材には、ペレット黒炭、ペレット白炭、珊瑚砂を使用した。それぞれのろ材を水洗、乾燥後、60cm幅の水槽用上面設置タイプのろ過器にセットした。ろ過器１個当りのろ材の使用量は 2.8㍑である。ろ材の表面に浄化バクテリアを繁殖させるろ材熟成のため、 100㍑水槽にろ材を入れたろ過器を４個ずつ設置し、この水槽でクロソイを給餌飼育した。

容積60㍑の水槽８基に、熟成が終了したろ材が入ったろ過器６個、対照としてろ材なしのろ過器２個を設置し、海水魚の飼育試験を行った。飼育には、全長10cm、体重 20g内外のクロソイを使用した。また、クロソイの収容尾数は、各ろ材につき 5尾と10尾の２区を設定した。給餌は、休日以外の毎日１日１回、マダイ用配合飼料ペレットを摂餌しなくなるまで行った。飼育は62日間で、開始時、開始35日後、終了時に全個体の全長と体重を測定した。また水質検査は、１週間おきにpH、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を測定した。

ろ材を使用していない試験区では、途中で全てへい死した。珊瑚砂の場合、10尾収容した試験区では36日目以降に 6尾がへい死し、 5尾収容した試験区では開始直後 1尾がへい死した。ペレット黒炭とペレット白炭の試験区では 1尾もへい死しなかった。ろ材による成長の差は認められなかったが、いずれのろ材でも 5尾区に比べて10尾区の成長が悪かった。また、成長量と給餌量から求めた重量増加を見ると、10尾区は過密と考えられた。pHは、ほとんどの試験区で飼育開始直後から低下し、珊瑚砂とペレット白炭以外の試験区では 7を下回ったが、成長への影響は認められなかった。

試験開始後16日目までは、ろ材によるアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素の濃度の差はみられず、ろ材は十分機能していたが、22日目以降ペレット黒炭区ではアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素のいずれも上昇し、ろ材の浄化能力の低下が推察された。硝酸態窒素は時間経過とともに次第に上昇し100ppm内外となったが、このことによる魚への害はなかった。なお、ペレット白炭以外の試験区では20日目位から水が黄色く着色したが、ペレット白炭区では試験終了時まで着色がほとんどみられなかった。

8　木質系油吸着材への適用

加圧解繊機で作ったトドマツ・エゾマツ混合のファイバーを用い、連続炭化装置で本加熱 325℃ 7分間の条件で加熱した木質系油吸着材を試作した。さらに建築解体材等から作られたパーティクルボード用チップ（主にエゾマツ・トドマツ）をハンマークラッシヤーで粉砕・分級した 2.2mmふるい下の木片と、インシュレーションボード切断時にでるのこくずを用い、電気炉で 350℃の条件で加熱した熱処理物を試作した。

	試作した木質系油吸着材および２種類の熱処理物を10cm× 10cmのお茶パックに入れ、20℃にしたＡ重油等に 5分間浸せきし、油吸着量と吸水量を測定した。 建築解体材熱処理物のＡ重油吸着量は 6.2 g/g、インシュレーションボード熱処理物は17.2 g/g、木質系油吸着材は22.3 g/gであった。吸水量は 0 g/gであった。すなわち、建築解体材熱処理物の油吸着量はインシュレーションボード熱処理物の約１／３、木質系油吸着材の約１／４となる。建築解体材の場合、所定の油量を処理するには大量の熱処理物が要求されるが、用途によってはその性能に見合った需要はあるものと考えられる。
活用の方法	① 重金属や農薬（水田除草剤ベンチオカーブ）の吸着、粒状コンポスト臭の吸着剤として使用できる。 ② 高温で炭化したものは大豆の肥料成分の吸収促進剤として使用できる可能性がある。 ③ クロソイの飼育試験によればペレット白炭は珊瑚砂と同等のろ過性をもち、着色防止効果が期待できる。したがって、鑑賞魚用水槽や活魚用展示水槽に応用することが可能であろう。 ④ 建築解体材をハンマークラッシャーで粉砕したものの炭化物の油吸着量は、ファイバーから得られたものの約１／４である。油吸着処理量の少ない用途には使用可能である。
今後の課題	① 木炭の農業上の利用ではいくつか効用がみられているが、一部の農家では木炭だけでなく堆肥や木酢液との混合で使用することが多く見られる。木炭単独、木酢液との併用効果効果を分画して明らかにする必要がある。 ② 木質系油吸着材はどのように商品化するかが問題である。

テ　ー　マ	木炭による床下気象環境の改善等に係る効果調査
研究の目的	これまでの日本の住宅は各地域の気候を取り入れた独特の住文化があった。しかし、床下部分は束石（つかいし）が「コンクリート布基礎」へと規制されるなど、地震、台風を理由に1981年建築基準が大幅に改正された。その後耐力壁などの部分改正が行われながら今日に至っている。しかし、ここ数年「住みにくさ」や「エネルギー消費」を理由に、高気密、高断熱をうたい文句に全国統一の住宅建築が花盛りである。この反面、日本の住宅は自然の気候を排斥した人工的な環境調節機構を持った住空間の拡大の道をたどり、住み手の健康被害が問題となっているのが現状である。 一方、木質資源はこれまでゼロ・エミッション資源として最も有効に利用されてきた唯一の資源であった。しかし、第２次世界大戦後の工業の発達、石油による燃料革命によりわが国の木質資源の活用は著しく減少し、ほとんど焼却、埋設、投棄されている。しかし最近これらの木質資源をレジャー産業燃料としての「木炭」の利用に加えて、「木炭を土壌改良材」として政令指定（1986年）した。これを契機に「木炭」が持つ多くの性質、例えば透水性、保水性、吸着性、地温上昇効果、水質浄化や脱臭、吸着、電波遮蔽資材等々環境に優しい機能等が評価されている。これを契機に多くの分野で木炭が見直され、木炭を活かした快適な生活環境づくりに期待が寄せられるようになった。 そこで、管理型である木質系産業廃棄物、特に木質系の建築解体材、木質系土木廃材だけでなく、間伐材、林地放置材、プレカット工場端材、木工・製材端材等、さらに竹材から製造された「低コスト木炭」を住宅床下へ敷設することによって、床下気象環境の改善へアプローチする試みが期待される。これは地球環境の保全のみならず、新しい住環境因子の改善策の一つとして、より良い居住環境を提供することになる。ここで提案する調湿資材（除湿資材）としての木炭の利用は、古くから神社、仏閣等の床下に埋設されているなど、経験にもとづいて行われている例が多く見るが、これらはほとんど経験則に基づいたもので、系統的な調査研究は数少ない。 今後、住宅を腐朽、シロアリ被害という病気にかからせず、「人間の生活環境」を改善する資材として木炭の利、活用を図るため、それの具体的な商材と消費者ニーズに即応した機能性に富む製品の開発、効能の解明・研究が必要である。本調査研究は木炭の持つ吸・脱湿性を利用した床下の調湿資材としての活用を提案するために、床下気象環境の現状さらに木炭敷設にともなう床下気象環境の改善の効果を明らかにしようとするものである 以上のような考え方から、以下の年次計画にもとづき、木炭を床下に敷設することによる床下気象環境改善の効果を調査、検討した。すなわち、 １）1993年：実施の策定及び実施準備 ２）1994年：裸地、もしくはコンクリートモルタル施工状態における床下気象環境の測定 ３）1995～1997年：木炭敷設による床下気象環境の測定

	このように1993年12月から1997年12月までの足掛け５年間にわたった。本報告では床下気象環境の年内、年間の変動、四季ごとの特性等を明らかにし、木炭敷設による床下の気象環境の改善が可能性の調査結果を報告する。
調査研究の内容	（１）調査設置場所 本調査研究は木質系産業廃棄物から製造した木炭を木造住宅の床下に敷設することによる床下気象環境の改善の効果を明らかにする。木質系産業廃棄物は破砕もしくはチップ状とし、温度400～800℃の平炉により木炭を製造した。これを不織布袋（約４kg入り）に封入、床下に敷設することによる床下気象環境の改善の可否を検討した。 測定地域は関東以西の５地域（茨城県つくば市、埼玉県浦和市、愛知県岡崎市、富山市及び鹿児島市）の５ヶ所である。実際に居住している戸建て木造住宅（鹿児島をのぞき２階建て）の床下気象環境（温度・相対湿度）を1992年12月から1997年12月まで測定した。床下気象環境調査のためのセンサーの設置場所は外気、室内（または押入）および床下２ヶ所（木炭区＝木炭敷設を予定する区画、対照区＝木炭を敷設しない区）の合計４ヶ所とした。床下２ヶ所のうち、前者は原則としてその住宅の北側もしくは台所（水まわり）の床下、後者はそれに隣接する部屋の床下とした。なお、1992年12月から1993年12月まで木炭を敷設しない状態の床下２区画（対照区と木炭区）と外気および室内の気象環境を測定した。その後、1993年12月初旬に木炭区には木炭敷設を行い、木炭敷設に伴う床下環境の測定調査へと展開した。 （２）木炭資材の設置方法 敷設した木炭は木質系産業廃棄物（各種雑多な木質系土木廃棄物を含み、樹種は特定できない）を破砕、チップとし、「平炉」で約１週間かけて、温度400～800℃で炭化したものである。調湿資材としての木炭は、廣島炭化工業株式会社から納入したもので、顆粒状から最大小指大の木炭を45×45cm角の不織布袋に入れ、重量4kgの座布団状とする。この調査研究では、これを１坪あたり16袋を敷き詰めた。 （３）床下気象環境の調査 床下気象環境（温度および相対湿度）を測定するセンサー、トレンド・データロガー（ＪＭＳ＆ＡＣＲ社製ＸＴ－101シリーズ）を前項２）に記述した区画のほぼ中央部に設置した。なお、外気はそれぞれの住宅の都合による場所とし、なるべく太陽の影響を受けないように配慮した。それぞれの位置の温度・相対湿度のデータは「トレンド・データロガー」に30分間隔に収録され、「収録データ」は約３～４ヶ月毎に郵送により鹿児島へ回収し、解析を行った。気象環境は暦年により異なり、単純に平均値を出せるものではないが床下の気象環境の一般解として、全般的な変動を経時変化（日内変動、月内変動、月間変動、年間変動）として捉えた。また、各気象環境の測定位置（外気、木炭区、対照区もしくは室内）の３ヶ所の各センサーに隣接した場所に、木質部の含水率の変動を推定するた

	に、10×5×1cmのアカマツ辺材（気乾密度0.44～0.46）を置いた。年間を通して定めた土曜日を原則として、これの重量測定し、含水率の変動を推定した。
成果の概要	（1）木造住宅の床下気象環境の現状 測定した５地域の木造住宅の現状の床下の気象環境をまとめると次のとおりである。 a）床下の温・湿度の日変動は外気（天候）の影響を受け、外気の相対湿度の低下に伴って床下の相対湿度も低下する。全体的に見ると、雨天時は晴天時に比較して、温度、相対湿度ともに変動が小さい。晴天時は温度の上昇とともに相対湿度は低下し、早朝に一日の相対湿度の最大値が生じるが、測定位置、季節により変動に差が現れる。 b）季節による温度、相対湿度の日変動幅は、晴天時には５月～７月に大きく、８月は比較的小さくなる。外気の変動幅に連動する。 c）測定場所により日変動は大きな差が現れる。季節によらず、変動幅の少ない場所（北西床下）と日変動の大きな場所（東南床下）とがあり、換気、日射等の他、床下湿分の放湿、供給する要因が極めて大きな影響を及ぼす。 d）床下の相対湿度の変動は温度の変動にもかなり影響を受ける。換気孔を通しての通気が比較的良好であっても、床下は比較的温度との関係が明瞭で、一定の傾斜を示し、外気に比較して傾斜もやや大きい。 e）一般的に見て、台所回り、居間は室内から來る湿分や土壌面からの湿分の停滞により床下の相対湿度の上昇が考えられる。 f）本調査研究で測定した関東以西の５地域の木造住宅床下の年間の温度・相対湿度の変動は７月中旬をピークに、前後２ヶ月半が相対湿度80～100%の期間であり、10月～5月までは相対湿度80%以下になる。このように夏期における床下の相対湿度は高い領域にあるが、冬期の相対湿度は低下する。ただし、冬期になると、つくば市、岡崎市は70%以下、時に40%となる日も多くなるが、富山および鹿児島市は12月～4月の間に80%以下になるが、70%以下になることは少ない。 「湿性のかびが生育しやすい気象環境は、一般的に温度20℃、相対湿度80%以上である」と言われているが、本調査研究に供した木造住宅の床下気象環境は布基礎に換気孔が設置されていても、床下空間の換気は少なく、床下に湿気がこもりやすくなっている。このため床下の木質部には「湿性のかび」がつきやすい環境を造っている。このような床下気象環境にあると、床下の木質部に「湿性かび」が繁殖するが、やがて「木質部材」を腐らせる木材腐朽菌の侵入を引き起こし、気づかないうちに、土台がボロボロとなる可能性を秘めている。これらのことから、床下の気象環境条件を温度20℃、相対湿度80%以下になる気象条件とすることが必要である。 （2）木炭敷設による床下の気象環境の改善 a）裸地に木炭を敷設した場合：木炭を敷設していない1993年度は梅雨期から夏期にかけ

ての相対湿度の日平均は90～95%前後を示したが、木炭を敷設した1994, 1995年度の同一時期のそれは80～85%と、おおよそ5～10%前後低い相対湿度で変動した。木炭敷設後の６ヶ月目の梅雨期にはすでに木炭敷設の効果が現われ、２、３、４年目とわずかであるが低下傾向を示す。このように裸地上に木炭を敷設した鹿児島市、富山市では、木炭敷設半年後で梅雨期には理想とする床下気象環境、すなわち、温度20℃、相対湿度80%に限りなく近づけられる結果を得ることができた。

b）コンクリート・モルタルを施工してある床下に木炭を敷設した場合：木炭敷設初年度（1993年）の梅雨期から９月にかけて、木炭を敷設していない1993年度よりやや高い相対湿度を示す傾向にあった。これは梅雨期にコンクリート・モルタルと木炭の間に結露を生じたため、床下の相対湿度が上昇したものと考えている。このように木炭敷設後半年目の梅雨期の床下気象環境が目標とする範囲におさまらず、床下気象環境の改善の目的は十分に達成できなかった。しかし、その後秋期、冬期を経て２～３年経過した1996年の梅雨期の平均相対湿度は90%以下となり、目的とする床下気象環境に限りなく近づいてきた。これはこの地域の冬期の温度、相対湿度の平均値がそれぞれ5℃、40%近くまで低下することから冬期の床下は非常に乾燥する条件となたことに起因していると考えられる。

（３）床下にある木材片の含水率の変動

床下空間が常にジメジメし、床下独特の臭いがある。これは床下の土壌中の「湿性かび」の臭い、加えて床下にある木材に繁茂した「湿性かび」、「腐朽菌」に起因することが多い。一般に温度20℃、相対湿度80%以上の雰囲気の中に置かれた木材は、常に25～30%以上の含水率にあり、次第に「湿性かび」がはびこり、やがては木材腐朽菌の侵入を引き起こすことは前述したとおりである。これを証明するように、現実にこの調査研究による測定を開始した1993年度（木炭を敷設していない）は、いずれの地域でも平均相対湿度は90%以上、含水率も23%以上あり、含水率測定用に設置した木材片には「湿性かび」が発生した。しかし、秋期、冬期に至り、外気が安定してくると月平均相対湿度85%以下となり木材片の含水率も14～17%と低下し、木材片の「湿性かび」は消失した。この経過を経て翌年の梅雨期に至った対照区と木炭区を対比すると、いずれの区の温度に差は見られないが、前者の平均相対湿度は90%を越えるが、後者は85%レベルを越えない。前者の木材片の含水率は20%以上、後者のそれは15%以下を示すようになった。従って、床下にある木材に「湿性かび」を発生させない雰囲気をつくることは、出来るだけ木材の含水率を20%以下、すなわち床下気象環境の温、相対湿度が20℃、80%以下になることが必要となる。

一方、コンクリト・モルタルを施工してある床下では、木炭を敷設していない対照区の1993年における相対湿度の振れ幅はかなり大きく、特に梅雨期では90～100%状態が続くことが多い。従って、木材片の含水率は20%を超えることが多く、「湿性かび」が発生していた。しかし、木炭を敷設した1994年度になると、相対湿度は梅雨期において80～100

%にあるにもかかわらず、木材片の含水率は14～17%と低い領域で変動した。木炭敷設３年後の1996年における梅雨期の相対湿度は平均値で95%以下となり、木炭敷設の効果が徐々にでてきたことをうかがわせる。1996年の週平均の相対湿度と木材片の含水率の関係を見ると木炭区にある木材片の含水率は同一相対湿度にあっても、含水率は15～16%を示すようになる。このことから、コンクリート・モルタルを敷設してある床下においても、床下の気象改善が認められるが、裸地床下よりも木炭敷設による調湿効果が現れるまで、時間を要すると考えられる。

（４）床下の含水率の季節変動

床下の気象環境は大まかに四季により区分できる。そこで、一例として1992年12月～1994年12月までの間、４ヶ月毎に期間を区切り、つくば市、鹿児島市の木炭区の週平均相対湿度と含水率の関係を示した。最も相対湿度の上がる梅雨期における木炭を敷設してない期間（1993年５～９月）と木炭敷設した期間（1996年５～９月）を比較すると、つくば市では木炭を敷設してない期間は相対湿度90%以上、含水率20%付近に分散しているが、木炭敷設した期間の相対湿度は75～90%、含水率15%付近に位置するようになる。一方、鹿児島市においても、木炭を敷設してない期間の相対湿度は85～90%、含水率20～25%を示したが、木炭を敷設した期間の相対湿度は75～85%、含水率も14～17%と低下してくるいずれの地域とも秋から冬期にかけてのそれぞれの期間の相対湿度の振れ幅は狭くなり、含水率も12～15%となる。このような気象環境が継続すれば、相対湿度の高い梅雨期に入っても床下の相対湿度は上がらないために年間を通して低い含水率の期間が長くなることが期待された。このように床下の相対湿度と木材含水率の関係から、対照区の木材含水率が木炭区と同じ相対湿度でもより高い値を示し、対照区の木材含水率は年間を通して14%から24%の範囲で推移するのに対し、木炭区のそれは高々14%から18%の範囲で推移するようになる。

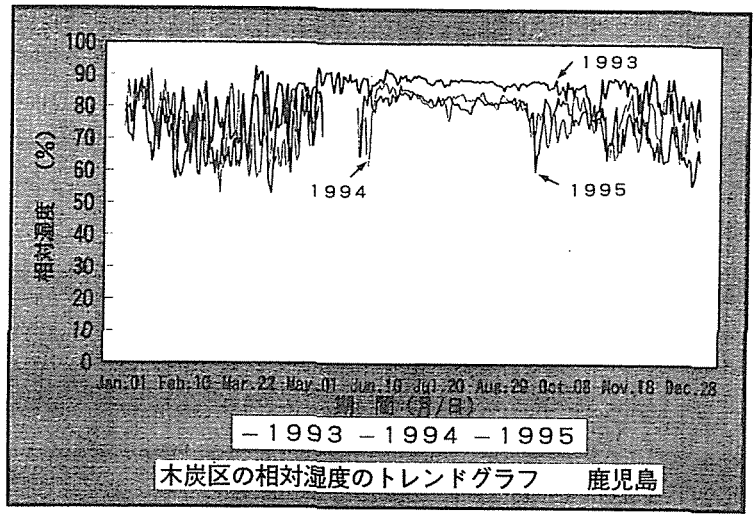
一方、木炭を敷設しない場合、寒冷地における冬季から梅雨期にいたる木材含水率の増加は相対湿度の増加にともなって上昇し、７月にはいると相対湿度は100%に、含水率も25%付近に達する。その後秋季から冬季にかけ相対湿度は再びゆっくりと低下するが、最低のときの相対湿度は70%、木材の含水率は20%となる。しかし、上昇時の場合、同じ相対湿度で約16%で、その差４%は大きく異なる。以上のことから、これまで一般に夏期の床下の相対湿度が床下の木材の耐久性に大きく影響すると考えられていたが、冬期における相対湿度も非常に重要であることが明きらかとなった。

以上のように、床下が裸地、もしくはコンクリート・モルタル施工されていようとも、年経過とともに、木炭敷設による床下気象環境は改善されて行くことが明らかとなった。このようなことから、床下環境を改善するために換気孔を大きく出来にくい現在、木炭のもつ多くの性質のうち、吸・脱湿性能を利用し、調湿資材として床下に木炭を敷設することは、施工経費安価で、且つ作業性の容易性も含めて、床下気象環境を十分に改善可能な

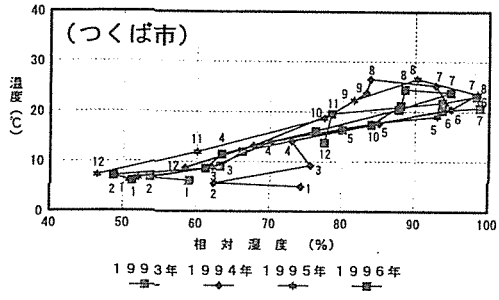
	素材であると考えられた。
成果の活用の方法	高気密・高断熱住宅が叫ばれる現在、寒冷地だけでなく日本全国どこでも、年間を通して結露の問題も発生している。従って、住宅の立地条件、室内・外壁仕様、床下仕様（布基礎、換気孔の大きさ、数等）の対策を十分に考慮する必要がある。一方、産業廃棄物は年間約７億トン、その内約700万トンが木質産業廃棄物である。これまでリサイクル資源として利用されているのは140万トンに過ぎず、残り約560万トンは埋立、焼却されていたこれらの木質系産業廃棄物を炭化処理することによる有効活用先として、床下気象環境改善を目的する「調湿資材」としての活用を提案する。このように全国から各地排出される木質系産業廃棄物のリサイクル資源としての活用は、これからの住環境改善のためにはなくてはならないものとなるであろう。 ここに「床下調湿資材」としての木炭の品質基準、施工方法は次のように提案する。この規準等は各関連機関と打ち合せ最終品質基準を作成し、住宅金融公庫の「特別融資枠」として制定、普及されることを提言する。 （A）木炭の品質基準 (1)木炭の原料：針葉樹、広葉樹、竹を含むもので、間伐材、林地放置材、製材工場、木材加工場、プレカット工場等からでる端材、植物性の廃棄資材、家具廃棄材、木質系建築土木廃材、その他。ただし、薫炭やオガライトは除く (2)木炭の製造：築窯法、簡易法（平炉法等、林試式移動窯法）、工業炭化法（流動炉法等）等のいずれでも良い。 (3)炭化温度　：400℃以上で炭化されたもので、十分に練らされた木炭。 (4)木炭の寸法：顆粒状から小指大までの数mmから５mm（10mm）角程度で、あまり大きいものは好ましくない。また、粉末はなるべく混入しないことが望ましい (5)木炭の含水率：気乾状態であれば良い。 （B）床下条件、布基礎、換気孔の配置、木炭の敷設施工方法 (1)床下条件　：切土による住宅造成地の場合、裸地、コンクリート・モルタル施工のいずれでも良いが、それぞれの上に木炭を敷設。ただし、後者の場合、水抜きを施工しておくことが望ましい。田圃または沼地等の埋立の住宅造成地の場合、地下水が高いので、床下はコンクリート・モルタルを施工した上に、木炭敷設。ただし、後者の場合、水抜きを施工しておくことが望ましい。田圃または沼地等の埋立の造成地の場合、地下水が高いので、床下はコンクリート・モルタルを施工した上に木炭敷設。この場合も水抜きを施工しておくことが望ましい。 (2)布基礎　：布基礎の高さは建築規準法に定められた高さがあれば良いが、床下空気が淀まないことが望ましい。既設住宅の床下が低い場合は、風の流通が

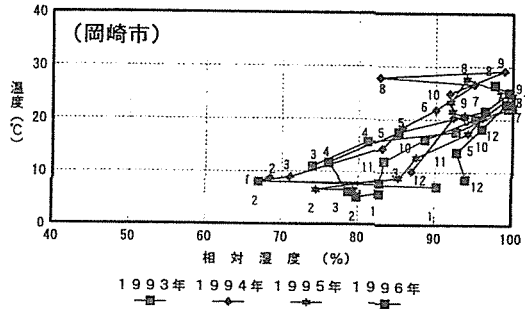
	十分に出来るような補填工事が欲しい。 (3)換気孔　：換気孔は十分に配置されていることが望ましい。木炭を敷設しても風の出入りが必要である。 (4)施工方法　：A）裸地（または割石敷設）床下の場合 a)木炭をバラのまま散布敷設。 b)木炭が包装してあるものを並べて敷設。ただし、袋詰めなど包装してある場合は、通気性を維持してあることが必要で、調湿性能が損なわれていないこと。 B）コンクリート・モルタル敷設床下の場合 敷設の方法はA）に同じ。コンクリート・モルタルを施工する場合は適当な間隔で 水抜き用の孔をあけて置くか、裸地露出部分を開けるような施工が望ましい。 (5)木炭の敷設量：木炭を散敷設する場合、床下の水分条件にもよるが、厚さ５～10cm程度で良い。「布袋状木炭マット」を敷設する場合には、45×45cmサイズであれば16袋程度、60×60cmサイズであれば12袋程度で良い。 (6)施工後の注意　：木炭を敷設した床下に外部より雨水、地下水の流入、侵入がないことを十分に注意すること。床下内部に配管されている水道管、下水道管からの漏水等がないことに十分注意すること。
今後の課題	1）木質系産業廃棄物の集荷方法と炭化 炭化処理工場を100km圏内に１工場設置し、集荷距離および配送距離をなるべく短くすること。林野庁で言う流域管理システムの中で運用できるとを推奨したい。 2）製材端材、プレカット端材、間伐材、その他木質系産業廃棄物の各県、各地から廃棄される量を至急調査すべきであろう。 3）炭化装置は低廉、安価で簡単な移動窯の製作、提供できること。 4）床下気象環境改善のために留まれば、木炭のバラ状敷設もしくは布袋状木炭マットを敷設すれば良いが、木炭を基材とする「木炭ボード」を製造することにより、新しい住宅建築資材としての付加価値を上げた活用範囲が拡大できる。これに関する研究開発を至急に推進する必要がある。 5）住宅建築資材としての木炭ボードの開発とあわせてこれを利用した健康住宅の環境測定へと拡大する必要がある。

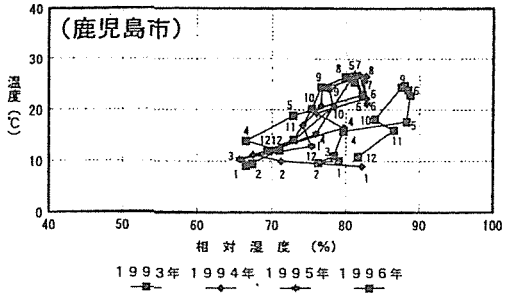
(参考資料)

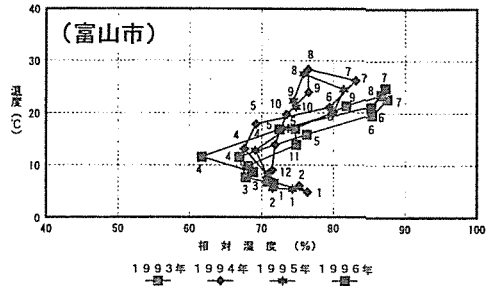


木炭区の相対湿度のトレンドグラフ　鹿児島

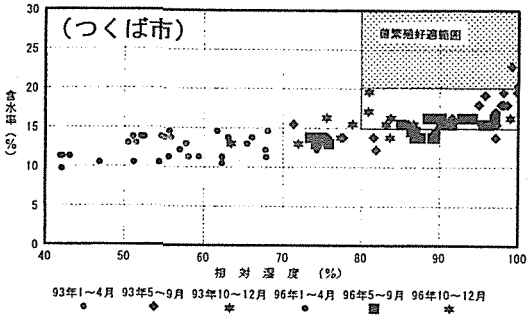


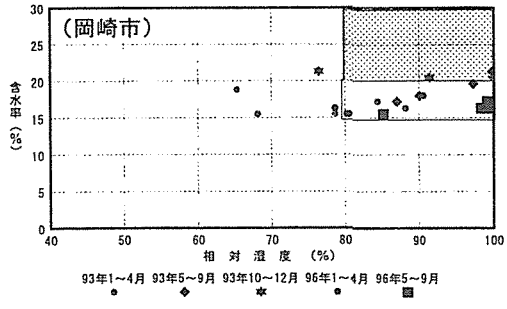


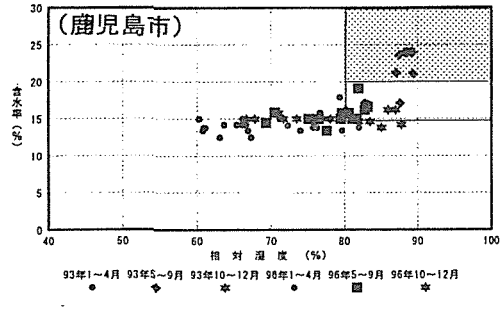


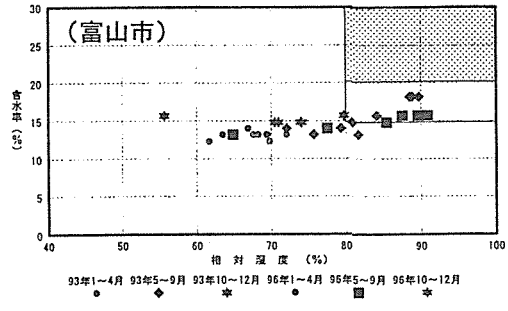


木炭区におけるクリモグラフ









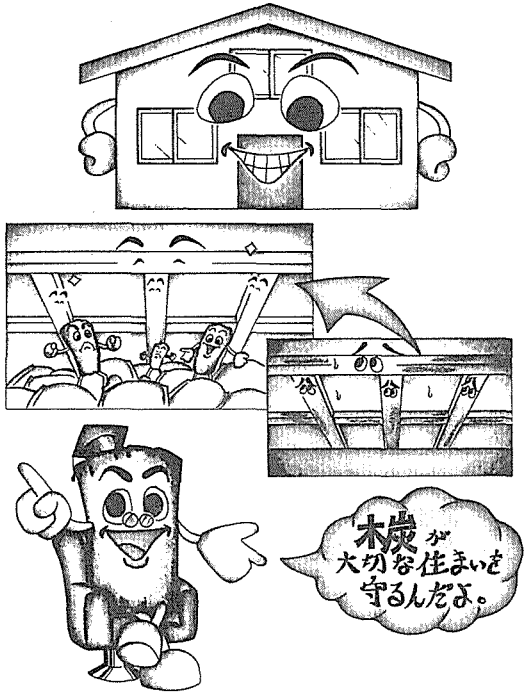
木炭区における相対湿度と含水率変動

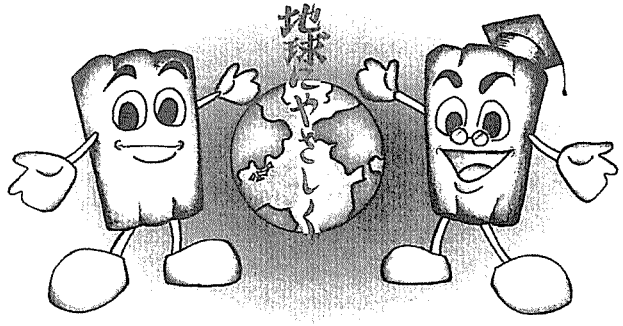
知らなかったでは済まされない。
見えないところで大切な住まいは蝕まれている

最近の住宅は、床下空間の換気が少なく床下に湿気がこもりやすくなっています。このため床下では、木材に湿性かびがつきやすい環境になっていることが良くあります。湿性かびが繁殖すると、やがて木材を強力に腐らせる木材腐朽菌の侵入を引き起こし、知らぬ間に大切な住まいが蝕まれてしまうことがあるのです。人間に置き換えれば、体調を崩して風邪をひき、やがて肺炎を併発し重病に至ってしまうような状況だといえましょう。こんな事態にならないよう、床下の調湿については十分な対策が必要です。

最近、こうした床下環境の改善に木炭が脚光を浴びています。これまでの研究で木炭が床下環境の改善に有効であることが明らかになってきたのです。今回は、この木炭の利用を通した健康な住まいづくりについてご紹介します。

床下環境を改善する木炭





エコロジカル・トピック
木材は環境にやさしいゼロ・Iミッション資材

樹木は、太陽光を利用して地球温暖化の原因となる大気中の炭酸ガスを吸収・固定化して育ちます。こうして成長した樹木は木材として生まれ変わると、住宅や家具などに形を変え私たちの暮らしの中で利用されます。やがてその役割を全うすると、その多くは木質系廃棄物として燃やされるか地中に埋められます。しかし、木材は燃やせば炭酸ガスを、埋めてもメタンガスが発生するため、地球温暖化を考えるとこうした結末は望ましい姿とはいえません。そこで木質系廃棄物を木炭として、もう一度利用することが進められています。木質系廃棄物の木炭化は、ゴミを減らして炭酸ガスの余計な放出をさせないばかりか、調湿をはじめ、土壌改良や水質浄化などといった幅広い分野で画期的な資材として可能性を広げてくれるのです。

自然を原料としてできた木材は、上手に使えば環境に極めてやさしいゼロ・Iミッション*資源となります。住みよい未来に向けて、こうした取り組みを大きな流れとして発展させていくことが、今後の私たちに求められていることなのではないでしょうか。

※ゼロ・Iミッション：環境に与える負荷を0に近づけること

発　　行／㈶日本住宅・木材技術センター
〒107 東京都港区赤坂2-2-19アドレスビル4階
(03) 3589-1788 (代表)
企画・編集／㈳全国林業改良普及協会

健康な住まいは床下環境の改善から

——床下調湿と木炭の有効利用——

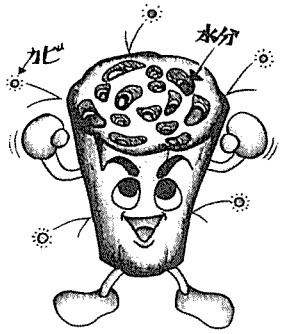
㈶日本住宅・木材技術センター

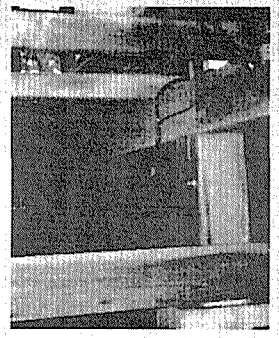
ちょっと意外な木炭の秘密

太古の時代から、木炭は燃料をはじめ、私たちの暮らしに密接な関係がありました。第二次大戦後の燃料革命以来、木炭の燃料としての利用が激減しましたが、最近ではレジャー産業用燃料や農業分野の土壌改良資材、河川での水質浄化資材としてその存在が見直されています。これまで経験的にいわれてきた住宅の調湿機能についても、近年科学的な実証がなされ、健康な住宅を維持するために木炭の活躍が期待されています。

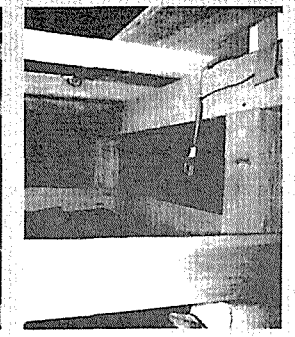
快適な住宅を健やかに保つための木炭の特性

① 多孔質のため、吸着性、保水性、透水性がある。
② 微細な細孔の毛細凝縮により、水分は木炭内部に保持される。
③ 木炭は微生物により分解されないし、水による溶出もない。
④ 吸水による木炭の膨張はない。また、静置状態ではほとんど、細流化しない。
⑤ アルカリ性を帯び、かびや微生物を調整できる。





木炭を敷設する前の床下。結露でかびが発生しています。



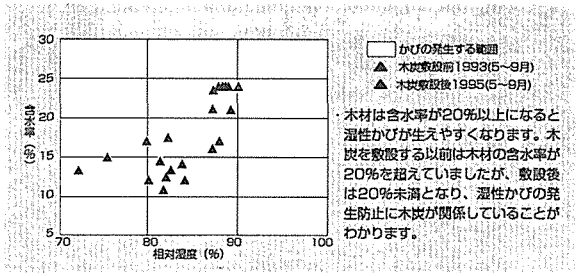
木炭を敷設してから2年後、かびがすっかり消えました。

大切な住宅を湿度から守る木炭

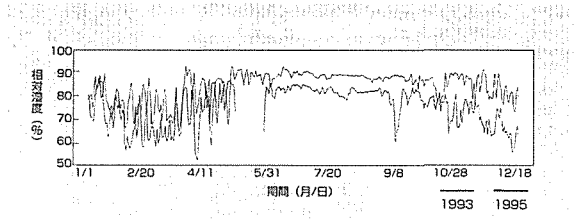
木炭は、梅雨期など湿度が高いときは湿気を吸収し、冬の乾燥期には水分を放出します。これは、木炭の中にある小さな孔に秘密があります。木炭を顕微鏡で見るとわかりますが、無数の1～5μm程度の小さな孔（ミクロ孔）があり、空中の湿分は相対湿度*が高いとその孔に吸着され、乾燥時は逆にそこから放出されます。

木炭敷設による調湿効果

① 床下の相対湿度が下がり、そこにある木材の含水率**も低下する。
② かび、害虫の発生の減少が期待され、床下独特の臭いが減少する。
③ 土台や床板の腐朽が起こりにくくなる。
④ 一度敷設すれば、恒久的な使用が可能で、経済的である。



・木材は含水率が20%以上になると湿性かびが生えやすくなります。木炭を敷設する以前は木材の含水率が20%を超えていましたが、敷設後は20%未満となり、湿性かびの発生防止に木炭が関係していることがわかります。



・木炭を敷設する前に比べ、敷設後は全体的に相対湿度が低くなります。

出典：建築廃材等木炭床下環境改善効果調査委員会（委員長：鹿児島大学藤田晋輔教授）における鹿児島地域の調査データ（1995）

※ 相対湿度：基準となる体積に含まれる水蒸気の量とその温度で含むことのできる飽和水蒸気量との比。雨の日は100%、晴れの日は50～60%程度
※※ 含水率：木材が含んでいる水分の量を表す数値

木炭を調湿資材として手に入れるポイント

ミクロ孔が多いほど木炭の吸着力は高くなります。そのため床下調湿資材として木炭を使う場合、ミクロ孔を多くするために、なるべく高温（400℃以上）で炭化させた木炭を使うことが重要です。また、床下に敷設する場合にも、厚めに敷くことが確実な効果を上げるコツとなります。

●床下調湿資材として木炭を使う場合

1 どんな木炭を選べばよいの？

400℃以上で炭化した木炭を選びます。燻炭以外であれば、白炭、黒炭などや木質系廃棄物利用の木炭まで、ほとんどの木炭が使えます。一般に市販の調湿用木炭製品*が利用されています。

※包装形態が袋詰めの場合には、通気性を維持し、調湿性を損なわないものとします。

2 どのように敷いたらよいの？

床下に敷設する場合、一坪当たり50Kg（±5kg）を目安に敷設します。また、袋詰めされた家屋調湿用木炭製品であれば、一坪当たり一袋45×45cmサイズのもので16袋、60×45cmサイズのもので12袋を敷設します。さらに、床下換気口の設置等、十分な床下の通風が確保されれば、確実な効果を得ることができます。

3 調湿用木炭を入手するには？

最も確実に手に入れるなら、木炭製造販売店から調湿用木炭製品を購入するのがよいでしょう。近年、こうした市販木炭製品の原料として建築廃材や間伐材などの木質系廃棄物が見直されており、工業的な木炭製品の生産が増加しています。

①集められた建築廃材

②チップに加工される廃材

③工場内の炭釜で大量生産される木炭

テ　ー　マ	木炭を利用した水質浄化法
開発の目的	かつて主要な燃料源として年間２００万トン以上の生産量を誇っていたわが国の木炭は、近年のエネルギー革命によって石油・ガス等の化石資源にその燃料源としての座を奪われて以来、その生産量は一時は年間３万トン前後にまで落ち込んだ。それが最近、その生産量、消費量がわずかながら年々、増加の傾向を示している。その大きな理由の一つとして、木炭の多孔性、吸着性等の特性を活かした土壌改良材、水質浄化材、調湿材等としての新しい用途の開発をあげることができる。 木炭の水質浄化用資材としての利用は古くから家庭用飲料水等に小規模で利用されてはいたが、活性炭がその強力な吸着力を持つ故に大量に水道水用浄化等に用いられてきたのとは対照的にあまり用いられてはいなかった。市町村等の地方公共団体及び婦人会等の民間団体によって積極的に野外試験が行われるようになってきたのは最近のことであり、比較的日が浅いといえる。これらは地元の清流を汚染から守るため、あるいはすでに汚染の進んでいる地元の小河川、湖沼を浄化し、もとのきれいな水に戻すためといったように、地域住民や地方自治体が、その地域での環境浄化を目的として行われているものが多い。 木炭が使われだしたきっかけは、木炭の大きな吸着能力が着目されたこと以外に、木炭が安価で大量利用が可能であること、比較的取り扱いが簡単であることをあげることができるが、なんといっても大きな理由の一つは、身近にある建築解体材、製材工場廃材、樹皮等木質廃棄物、あるいは未利用材を原料として比較的簡単に特別な技術を要せずに製造できるようになったことである。木質廃棄物を原料とした木炭の生産は近年増加の傾向にある。それに加え、新聞、雑誌等に報道される実施例、成功例が、自分のところでも木炭を使った水質浄化を試みようという気を起こさせていることも事実である。現代の情報社会においてはマスメデイアが重要な役割を担っているが、時として成功例だけがクロズアップされ、失敗事例は影をひそめることが多い。木炭を使用した水質浄化でもそのような事例は少なくなく、成功例をみて木炭を過信し過ぎ、木炭の浄化能力を上回る汚染を浄化しようとして失敗した例もあり、また、思ったほど効果の得られない場合も少なくない。 木炭の水質浄化に関する研究は木炭の物性、室内規模でのモデル実験等の報告が散見されるものの詳細な研究がほとんど行われていないのが実状である。また、屋外での実験も行う団体等によって使用する木炭、使用条件等がまちまちで、木炭の物性と水質浄化機能の関係を普遍的な観点から考察したものはほとんどみられない。データの少ない状態で、小河川や生活排水等を用いて実際的な試みがなされているのが現状である。 そこで、木炭の物性、特に表面積等吸着性能を調べ、木炭の種類による水質浄化能を明らかにすること、さらに、水質浄化には微生物も関わっていることが知られているが、木炭の微生物担体としての機能を明らかにすることを目的とした。 木質廃棄物は針葉樹、広葉樹等その内容は種々雑多であるが、木炭の特性は樹種は異なっても針葉樹あるいは広葉樹の中ではおおよそ等しいので、ここでは針葉樹としてアカマツ、カラマツ炭、広葉樹としてコナラ炭を用い、そのほかに、傾向の違う木炭として、ヤシガラ炭、モウソウチク炭を比較のために用いた。

開発の内容	各種木炭の灰分、水分、揮発分、固定炭素含量等を工業分析法に準じて測定するとともに、表面積、細孔分布、全細孔容積等の細孔分析を行い、各種木炭の物性を比較検討した。上記木炭を、カラムに充填し、これに家庭生活排水を通過させ、濾過された水のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、有機リン化合物含量、化学的酸素要求量（ＣＯＤ）、ｐＨを上水試験方法により測定し、各種木炭の水質浄化能を検討し、細孔分布等木炭の物性と水質浄化機能との関連性を検討した。 貯留池の排水溝に木炭を設置し、水質浄化能を測定するとともに、木炭の微生物担体としての機能を測定するために、池、畑等に木炭を埋設し、付着する微生物について検討・考察した。
成果の概要	１．各種炭化物の細孔分析　水銀圧入法による直径0.006μmより大きなマクロな細孔の分析結果では、アカマツ炭、カラマツ炭は全細孔容積が大きく、2.5cc／g付近の値を示したが、コナラ炭、モウソウチク炭は、アカマツ炭、カラマツ炭の1/3～1/4程度で、ヤシガラ炭、海砂はさらに小さく0.4cc／g弱であった。 平均細孔直径は全細孔容積同様、アカマツ炭、カラマツ炭が大きく0.9～1.0μm 付近で、これに比べコナラ炭、モウソウチク炭、ヤシガラ炭はかなり小さく0.05付近であった。各種炭化物および海砂は、それぞれ特徴ある細孔直径の分布をしているが、アカマツ炭、カラマツ炭は0.1～50μmに細孔直径が分布し、最も頻度の大きい分布がアカマツ炭では8～9μm、カラマツ炭では 0.8～0.9μmに見られる。これに比べ、コナラ炭、ヤシガラ炭モウソウチク炭の細孔直径の分布は0.01～100μmに幅広く分布し、頻度の高い分布もアカマツ炭、カラマツ炭に比べ小さい。 全細孔比表面積ではアカマツ炭、カラマツ炭がコナラ炭、モウソウチク炭、ヤシガラ炭に比べ、1/3～1/5程度の値を示している。 以上のことをまとめて考察すると、アカマツ炭、カラマツ炭が比較的大きな細孔を有するのに比べ、コナラ炭、モウソウチク炭、ヤシガラ炭は小さな細孔を有していることがわかる。 直径0.001～0.28μmのミクロな細孔の分析の結果では、全細孔容積はアカマツ炭(0.136 cc/g)の方がコナラ炭(0.089 cc/g)より幾分大きいがそれほど大きな差はない。比表面積は、アカマツ炭、コナラ炭、ヤシガラ炭がそれぞれ236、 187、 44 m^2/g であり、この場合の比表面積でもアカマツ炭、コナラ炭、ヤシガラ炭の順になっている。 ２．炭化物の水質浄化能　家庭排水を各種炭化物によって処理した結果、家庭排水からのアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、有機リン化合物の除去率、ＣＯＤの低下率のいずれもアカマツ炭が最も高く、カラマツ炭が有機リン化合物の除去率は低かったものの、その他の除去率あるいは低下率ではいずれもアカマツ炭に次いで良好な結果を示した[1)]。 透視度はいずれの場合も原水よりも高くなり透明度が改善されたが、特に、カラマツ炭アカマツ炭ではその改善度が高かった。色はアカマツ、カラマツ、コナラ炭、海砂では白色の原水と変わりなかったが、モウソウチク炭、ヤシガラ炭では家庭排水を通過させることにより、それらに含まれる灰分等の異物質が溶け出してくるために淡黄色に着色した。

モウソウチク炭の場合には沈澱物も生じた。従ってモウソウチク炭、ヤシガラ炭を水質浄化用に使用する場合には、念入りな水洗が必要である。

家庭排水独特の悪臭はアカマツ炭、カラマツ炭、コナラ炭では家庭排水を２回通過後に消失し、これらの木炭が大きな消臭力を有していることが明らかとなった。モウソウチク炭、ヤシガラ炭では家庭排水を３回通過後も悪臭は消失しなかった。

各種炭化物で処理後の家庭排水のｐＨ値は、いずれの場合も炭化物で処理前の家庭排水のｐＨ値よりも大幅に大きな値を示し、炭化物からのミネラル等のアルカリ性側にｐＨを移動させる要因となる物質の溶出を推定させた。

３．炭化物の水質浄化機能と細孔との関係　　木炭の水質浄化機能や消臭機能は多孔性に起因する比表面積の大きさによると言われている。直径0.002μm以下のミクロな細孔の比表面積はアカマツ炭、コナラ炭、ヤシガラ炭でそれぞれ 236、187、44m^2／gとなっている。今回の水質浄化実験では、４種の試験項目、即ち、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、有機リン化合物、ＣＯＤのうち多少の例外はあるものの木炭の水質浄化力は比表面積の大きさの順になっている。しかしながら、各種木炭の直径 0.006～180μmのマクロな細孔の全細孔比表面積の大きさと水質浄化力の大きさの順位は一致せず、むしろ比表面積は小さくても全細孔容積の大きい炭化物、即ち直径の大きな細孔をたくさん有する炭化物が水質浄化力が大きいという結果になっている。従って炭化物の水質浄化力はミクロな細孔の比表面積の大きさだけでなくマクロな細孔の全細孔容積と平均細孔直径の大きさも考慮して判断すべきものと思われる。

木炭は常温では安定で、長期にわたり空気にさらされてもほとんど変化しない。しかし、いったん熱が加わると無定形炭素の中では、木炭が最も反応性が高い。例えば、950℃に加熱した木炭とコークスにCO_2 を通過させ、ＣＯに還元される場合を見ると、コークスでは10％以下であるが、木炭では50％以上の値を示す。このように木炭は反応性に富むので、製鉄、二硫化炭素の製造などに使われる。

木炭の反応性の大きい理由としては、多孔性であるため表面積が大きく、反応点が多いこと、通気性が良いためにガスが入り込みやすく、また、反応したガスが外に出やすいことが考えられる。単に表面積の大きさだけでなく、細孔の大きさも木炭の反応性に関与している。

木材中の導管は水分や気体の移動を司っている。同じ広葉樹でもブナ材はクルイン材と比べ導管分布数は一桁多いが、その直径は小さい。導管の面積率は両者ともほぼ同じであるにもかかわらず、気体透過効率はクルイン材の方が一桁も高い[2)]。これらの例からも類推できるように化学反応性や通導性には単に細孔の数だけでなく、その大きさが大きく関与しているものと思われる。炭化物の水質浄化では気体でなく液体が関係しているが、液体の場合にも細孔の大きさが透水性や反応性に大きく関与していることが予想される。

４．木炭の水質浄化能　アカマツ木炭を貯留池の出水口に敷設し，１カ月後に水質分析をした結果、アンモニア性窒素，亜硝酸性窒素，有機リン化合物，ＣＯＤのいずれも木炭処理前の水に比べ，木炭処理後は減少していた。

木炭の水質浄化能は水の汚染度によってその能力の大小が決定されることが予想される

	が，アカマツ炭の場合、アンモニア性窒素では3.44ppmの時62%、0.14ppmの時28%、亜硝酸性窒素では0.0877ppmの時36%、0.006ppmの時24%の除去率である。有機リン化合物では9.21ppmの時49%、0.003ppmの時56%、ＣＯＤでは87.8ppmの時38%、4.0ppmの時88%の低下率である。したがって、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素ではそれぞれ数ppm、0.1ppm以上の汚染度でも浄化能力を持つ可能性があり、有機リン化合物では数ppm以下、ＣＯＤの場合にも同様に数ppm以下の場合に最大限木炭の効果を期待できそうである。 ５．木炭の微生物担体としての機能　畑，養鶏場，池底土壌中にアカマツ炭，コナラ炭を埋設し，集積された微生物数と微生物の種類を周辺土壌のそれらと比較した。全微生物数は３個所共に周辺土壌中が最も多く，畑，養鶏場では放線菌，池底中ではバクテリアが比較的多かった。コナラ炭はバクテリアを捕捉する力が強かったが，これは，コナラ炭がバクテリアの増殖に適した弱アルカリ性であること，コナラ炭の細孔がバクテリアの増殖に適した大きさのものが多いことによるものであることがわかった。
活用の方法	木炭の水質浄化能は、ミクロな比表面積が大きいことと、マクロな細孔の全細孔容積、平均細孔直径が大きいものが高い。したがって、比表面積の大小だけでなく全細孔容積の大きさも考慮して木炭の水質浄化能を判断すべきである。 木炭の水質浄化には、濾過機能、吸着機能、微生物分解機能がある。濾過機能は、水に含まれる異物体を木炭が受けとめ、こし分ける働きである。吸着機能は、濾過で取り除かれる異物体よりも小さな懸濁物や、水中に溶存した有機物等を木炭の細孔が吸着することによって浄化する働きである。炭化温度は木炭の吸着を左右する。炭化温度別木炭の吸着量は、高温炭化（～1000℃）で急冷される白炭は0.09g/gであるのに対し、それより低い温度で炭化され（600～800℃）、ゆっくりと冷やされる黒炭は0.21g/gである。すなわち600～800℃程度で炭化される木炭が比表面積、細孔容積も大きく、水質浄化には適しているといえる。それ以下の炭化温度での木炭は弱酸性を示し、微生物増殖には適していない。600℃以上で炭化された木炭は、ミネラル分が木材組織から離れ、木炭は弱アルカリ性を示す。中性からアルカリ性を好む細菌や放線菌はこれらの木炭上で繁殖しやすい。微生物分解機能は、木炭に付着した微生物が汚染源となる有機物を分解し、浄化する機能である。家庭排水等の中の有機物は好気性微生物に捕捉され、分解されて最終的にはH_2O,NO_3,SO_4,PO_4,CO_2 といった酸素を含む無機物となる。この過程で水中の溶存酸素は消費される。したがって、好気性微生物を増殖させるためには、木炭等の浄化資材を設置した上流に堰等を設けて曝気し、溶存酸素を補うことが必要である。
文　　献	1)M.YATAGAI,R.ITO,T.OHIRA,K.OBA:Mokuzai Gakkaishi,41(4),425-432(1995) 2)Y.Suzuki: Private Communication (1994)

テ　ー　マ	木酢液の特性とその利用技術の開発
開発の目的	資源を有効に利用しようという最近の社会情勢の中で、リサイクルや未利用資源の有効活用が行われている。 植物資源にしてもその例外ではない。植物資源の中でも特に樹木資源はその有効利用に対する期待が大きい。 熱帯林の減少、酸性雨等による森林の衰退が地球規模で進行するにつれ、森林資源の有効利用が社会の大きな関心事になってきている。炭焼きの原料にも様々な植物資源が使われるようになってきた。３０年以上前なら炭材といえば燃料用の質の良い木炭を作るためのコナラ、クヌギ、ウバメガシなどの広葉樹が主なものであった。ところが最近では、間伐材、建築解体材、ダム流木、製材所のおが屑、背板、樹皮、風倒木や枯損木、竹、稲わら、もみがらなども炭材として使われるようになってきた。炭材が異なれば炭焼きがまもその炭材に合ったものが必要となってくる。炭材が異なり、炭焼きがまが違っても空気の流入量を絞って、蒸焼き状態で焼いていく炭化の原理には変わりがなく、炭化の過程で副産物として得られる木酢液の採り方にも変わりがない。しかしながら、木酢液の特性は、炭材の違いや炭焼きがまの違いで本質的には大きな違いはないが、それぞれの木酢液によって微妙に差が出てくる。 木酢液は近年までそのほとんどが利用されずに廃棄されていたが、最近では植物に対する発芽・発根作用、成長促進作用、病害虫防除作用などが注目され、農業資材として使用されている。平成２年度に４、０００キロリットルだった木酢液消費量は、平成７年には６、０００キロリットルに増加し、さらに平成８年に入り７、０００キロリットルになろうとしている。 年々少しづつ木酢液消費量は増加の傾向を示している。木酢液の主な用途は土壌改良用、葉面散布等の植物活性用である。炭材の種類が多様化するとともに日本古来の黒炭窯、白炭窯だけでなくそれ以外の炭化炉で様々な木質系原料を炭材とした場合の木酢液も製造されるようになってきた。 そこで、家具工場廃材、製材端材、オガ屑等木質廃棄物を炭材とした時に得られる木酢液の特性を明らかにするとともに、ヒノキ、スギ間伐材、アカマツ材等からの木酢液との相違を比較検討し、従来の木酢液同様、使用可能であるかどうかの評価を行った。また、木酢液のシリカ処理による精製技術の開発を試みた。 さらに、木酢液・木タールの構成成分であるフェノール類の殺蟻性、植物成長阻害活性等の生物活性を検討することを目的とした。
開発の内容	各種炭化炉で生成された、炭材原料の異なる木酢液の構成成分とその含有率を明らかにした。構成成分から見た各種木酢液の特性を明らかにするとともに、pH, 比重、色 を測定し、炭化炉の種類、炭材原料の違いによる木酢液の概要を見いだし、木酢液を使用する際の情報を提供した。 植物の成長阻害活性あるいは、殺蟻活性をもつフェノール類を見いだし、それらの活性

	とフェノール類の置換基の位置との関連性を明らかにした。
成果の概要	１．木酢液の構成成分 木酢液の構成成分・含有量の目安を作るために生成法、炭材の異なる各種木酢液をガスクロマトグラフー質量分析計で分析した。使用した木酢液は、ダム流木を反復揺動式連続炭化炉で炭化、カナダ産ベイツガを平板で輸入、曲がり部分などを乾留炉で炭化、家具製造時の端材、ＭＤＦ，キリ材を鉄製ブロック型炭化炉で炭化、カラマツのこ屑を平炉で炭化、ビーハイブ型大型炭化炉でユーカリ丸太を炭化、ツバキ材を黒炭がまで炭化、ヒノキ、スギ、アカマツ材を林試式移動炭化炉で炭化した時に得られたものである。 家具工場端材木酢液：ＭＤＦ木酢液は、酢酸メチル、酢酸、５ーメチルフルフラール、シクロテン等の含有率がキリ材木酢液に比べ少ないかわりに、アセトン、エチルグアイアコール、エチルフェノール４ーアセチルーメトキシフェノール含量が高く、キリ材木酢液には含まれていない未知化合物が総計で約８．５％含まれていた。この試験でのＭＤＦ製造用接着剤としては、メラミン系接着剤が主として使用され、これにアミン系、ユーリア系が混合されている。このことと、ＭＤＦ木酢液のｐＨが７．１０であり、通常の木酢液に比べ異常に高いｐＨ値を示すことからこれら未知化合物には接着剤由来の塩基性分解物が含まれていることが予想される。 家具端材木酢液はＭＤＦ木酢液、キリ材木酢液に比べアセトン，グアイアコール、２ーメトキシー４ークレゾール、Ｏークレゾール、２ーシクロペンテノンの含量が高く、ほかに他の２者に含まれない未知化合物を約１０％含んでいる。ＭＤＦ、及び単板としてのキリ材にもこの化合物は含まれていないことからこの化合物は家具製造時に用いられた塗料の成分の分解物であることが予想される。家具端材の炭化の際得られれる木酢液の使用ではこのことも念頭にいれておく必要がある。土壌改良用としてこの木酢液を使用する場合は使用に先立って、その阻害作用がないことを確かめることが必要である。 家具端材木酢液、及びＭＤＦ木酢液はキリ材に比べ、フェノール類の含有率が高かった。ＭＤＦおよび家具端材には接着剤の重合剤としてホルムアルデヒドが大量に使用されているが、これら２者からの木酢液ではホルムアルデヒド含量は小さい。これは炭化の際に加熱され、端材中に含まれていたホルムアルデヒド、あるいは接着剤の分解によって放出されたホルムアルデヒドが揮散してしまうためである。 ベイツガ端材木酢液：ベイツガ端材木酢液は、他の木酢液に比べ酢酸含量が比較的少なく、蟻酸含量が酢酸含量とほぼ同量か、酢酸含量に近いのが特徴的である。ベイツガ木酢液１年静置と２年静置後の比較では、フェノール類の含有率が２年目では１年目より減少しており、１年静置後もさらに少量ではあるが、フェノールの重合が進行していることがわかる。 ダム流木木酢液：針葉樹を主としたこのダム流木の木酢液では蟻酸含量が少ないのが特徴

的である。その構成成分はスギ、ヒノキ木酢液に類似しているが、個々の成分の含有率ではダム流木木酢液中の酢酸メチル含有率が高い（１７　９４％）のに対し、スギ、ヒノキでは５％前後であり、スギ、ヒノキ木酢液には２～９％含まれる４－アセチルメトキシフェノールがダム流木木酢液には含まれていないなどの違いがみられた。

カラマツ鋸屑木酢液：ｐＨ、比重ともに通常の木材からの木酢液に類似し、正常な値ある。酢酸含有率が他の針葉樹からの木酢液に比べ低めで（２１．０８％）、蟻酸の割合が高い（１６．３８％）のが特徴的である。

ヒノキ・スギ・アカマツ木酢液：通常の針葉樹材の木酢液のｐＨが２～３であるのに対し、ヒノキ木酢液原液のそれは、３．３３という低い値を示した。ヒノキ、スギ木酢液原液の酸類のパーセントは３０％代であり、木酢液の酸類の含有率としては比較的低いグループに属する。それにひきかえ、この両者のフェノール含有率は２０パーセント前後であり、これは通常の木酢液のフェノール含有率からみると高い値である。　したがって、これらの木酢液の使用に際しては、特に土壌改良用としては植物成長阻害作用をもつフェノール類が多いので注意を要する。稀釈倍数を大きくするか、長期間静置によりフェノール成分を酸化重合させ懸濁物、あるいは沈澱物として除いた後に使用するのが望ましい。スギ・ヒノキ木酢液原液ともに１％以上の含有率を示す成分が２０種前後あり、通常の木酢液の中では成分数が多いこのことは一成分で大きな含有率を占める酢酸のようなものがなく、含有率が多数成分にまたがっていることを示し、そのことはまた、それぞれ特有の働きをする木酢液成分の数が多いことを意味し、多様な働きをもつことにつながる。

２．木酢液の精製

シリカゲル５０ｇをガラスカラム（内径 25mm,　長さ 50cm）に充填し、カラム上部から木酢液３０ｍｌを１時間かけて滴下。カラムから留出した木酢液を採取し成分分析に供した。

ヒノキ、スギ、アカマツ木酢液原液のシリカゲル処理ではいずれの場合にも処理後に酸類の含有率は高くなった。シリカゲル処理は酸類の濃縮に効果があることが明らかとなった。スギの場合に最も増加率が高く２６％の増加率である。成分からみると、特に酢酸の含有率は大きく増加し、スギでは２６％、アカマツでは２３％の増加という大きな数値を示した。。フェノール類の含有率はヒノキでは大きな変化はないが、スギ、アカマツでは５～６％の減少がみられる。したがって、フェノールの除去にシリカゲル処理は効果があることが明らかとなった。また、それぞれの木酢液はシリカゲル処理によって構成成分数が減少する傾向を示した。

３．フェノール類の生物活性

フェノール類は酸類とともに木酢液の主要な成分であり、また、木タールの主成分でもある。ここでは、木酢液及び木タールに含まれるフェノール類の利用を目的としてフェノール類の植物成長阻害性と殺蟻活性を調べた。

フェノール類のレタス幼根に対する成長阻害活性を検討し、数種のフェーノル類に強い

	阻害活性を見いだした。フェノール性水酸基を持つ化合物の成長阻害活性は高いが水酸基の両側のオルト位がブロックされると活性が低くなること、パラ位にメチル基が置換されるとやはり成長阻害活性が高くなること、メチル基以外の置換基がパラ位に導入されても活性には影響がないこと等が明らかとなった。 フェノール類の殺蟻活性を検討し、数種のフェノール類に高い殺蟻活性を見いだした。フェノール自体は殺蟻活性を示さず、フェノール性水酸基だけでは殺蟻活性は現れないことが明らかとなった。パラ位に置換基がある場合は殺蟻活性が高くなるが、置換基の大きさにはあまり関係ないこと、植物成長阻害活性の場合と同様、オルト位の置換基の大きさが活性に関係し、置換基が大きくなると活性が弱まることが明らかになった。 殺蟻活性のいき値が、フェノール類の一例として２－メトキシ－４－エチルフェノールでは 1.57×10^{-3}～1.57×10^{-4}mgであることがわかった。
活用の方法	家具工場端材、ＭＤＦ、家具材料としてキリ材、ベイツガ製材端材、ダム流木、カラマツ鋸屑等木質廃棄物、あるいはその原料、およびヒノキ、スギ、アカマツ等の原木を炭化した際に得られる木酢液の特性とその利用法について考察した。 ＭＤＦ木酢液は塩基性接着剤の熱分解物が混入しているため、本来酸性であるべき木酢液が中性、あるいは弱アルカリ性を示した。また、家具端材木酢液、及びＭＤＦ木酢液は高いフェノール含有率を示した。土壌改良用等へのこの木酢液の使用にあたっては、これらの点を十分考慮する必要がある。フェノール含量の高いこれらの木酢液は、土壌改良用としての用途よりもむしろ、除草剤あるいは殺虫剤としての利用が期待できる。ＭＤＦ、及び家具端材からの木酢液中でのホルムアルデヒド含量は低く、使用にあたっての支障はないと思われる。 ベイツガ製材端材木酢液は、他の木酢液に比べ酢酸含量が低く、それに比べ蟻酸含量が高いのが特徴で酢酸とほぼ同量か、酢酸含量に近い値を示した。１年静置後もフェノールの重合による減少がみられることから、木酢液の静置は１年でも完全とはいえず、懸濁物等を除き透明な木酢液を得るにはさらに長期間の静置による保存が必要である。 カラマツ木酢液もベイツガ木酢液と同様、酢酸含量が低めで、蟻酸の割合が高かった。ヒノキ・スギ木酢液も木酢液の酸類の含有率としては比較的低いグループに属していた。それに比べ、フェノール含有率は通常の木酢液に比べ高い値を示した。この場合もフェノールの重合による除去を進めるために長期間の保存が必要である。 木酢液中のフェノールの除去にシリカゲルによる濾過が効果があることがわかった。 フェノール類の植物成長阻害活性および殺蟻活性研究の研究成果は、フェノール類を除草用、あるいは殺蟻用に用いる場合、その活性のおおよその見当をフェノール類の構造から推定するのに活用できる。

執筆担当：森林総合研究所　谷田貝光克

テ　ー　マ	木質系水産資材の開発
開発の目的	現在、磯焼けは北海道の日本海沿岸部で発生し大きな問題となっており、この対策の一つとして人工藻礁による底質の改良がある。人工藻礁とは、海の底質改良を目的とする海藻の付着基質（代表的なのはコンブ基質）であり、また、その海藻を餌とするウニやアワビなどのい集効果（代表的なのはアワビ稚貝育成場）を期待する藻礁であり、材料は自然石およびコンクリートブロックが主流である。 「磯焼けした海域に投石やブロックの設置を行うと、数年間はコンブの着生が良好であるが、次第に石灰藻が優占し、コンブの個体数の減少が見られることがある。磯焼けの原因は、海域の環境変動やウニの食害などによるといわれているが、新たな投石の実施や基質表面の清掃により、コンブ漁場が回復することが多い。」といわれ、この基質表面が自然に更新するような藻礁が開発できれば、その需要は大きい。 一方、木材を海中で使用するとフナクイムシ（二枚貝）やキクイムシ（甲殻類）に食害されることが知られているが、この食害を利用した藻礁が考えられる。すなわち、木質小片をセメントで被覆した木質・セメント成形板の場合、セメント配合量や木質原料の形状を調整することにより成形板表面の木質小片が徐々に食害されて表面の更新が自然に行われる可能性がある。 また、藻礁用の木質原料は、その用途から土・プラスチック・ガラス・金属等の異物の混入には敏感ではないため、建築解体材等を粉砕した木チップの利用には適している。 こうした背景から、本研究は、建築解体材等からの木片とセメントを結合材として成形板（木質・セメント成形板）を製造し、成形板製造条件と食害および海藻付着の程度について検討した。
開発の内容	以下にのべる各種試験体を北海道小樽市忍路湾に海中設置して、試験片の食害および海藻付着を観察した。設置箇所は湾内の水深約2mの砂礫地で、この地点の潮間帯の岩礁にはホソメコンブが群生している。 1　耐久試験 耐久試験は、木質・セメント成形板の海中での食害に対する耐久性を調査するためのものである。 木質の形状、セメント配合量、混入材（粉炭）の有無を変化させた木質・セメント成形板（厚さ約10cm× 30cm× 30cm）を４種類、比較対照として同寸法のコンクリート板およびトドマツ板の計６種類の試験片を取り付けた耐久試験体を２体製造した。用いた木質は、ハンマーミル片（大）（建築解体材等をハンマミルで粉砕した篩目 7～40mmで分級した木片で、主にエゾマツ・トドマツ）、ハンマーミル片（小）（製材時の背板をハンマーミルで粉砕した木片で、トドマツ）、スプリット片（原木の剥皮時に木部が削り取られてできる細片で、トドマツ）であり、混入材として市販の粉炭も用いた。成型板の製造条件は、水／セメント比0.55、設定比重 1.0、硬化促進剤添加率 2.2%である。

この耐久試験体２体を1993年10月に海中設置し、約２年後の1995年 5月および10月に１体づつ回収した。その後、試験片内部を鋸断して、フナクイムシ等による木質の食害跡を調査した。

２　遷移試験

遷移試験は、木質・セメント成形板に付着する海藻が年ごとにどのように遷移するかを調査するためのものである。

遷移試験体は、傾斜型の鋼製架台に４枚の成型板（厚さ約10cm、面積約13,00cm²の台形状）を取り付けたもので、概要を表１に示す。成型板の製造条件は、耐久試験体と同様である。

この遷移試験体２体を1993年12月に海中設置し、約３ヶ月毎に試験体を海上に引き上げ、目視および写真撮影により海藻付着の程度・遷移を調査した。

表１　遷移試験体の概要

試験体 No.	取り付けた試験片の種類		セメント／木質比
1	木質①・ｾﾒﾝﾄ成形板	×４枚	2.33
2	木質②・ｾﾒﾝﾄ成形板（ｴﾝﾎﾟｽﾄ25.0%混入）	×２枚	3.75
	木質③・ｾﾒﾝﾄ成形板（ｴﾝﾎﾟｽﾄ37.5%混入）	×２枚	4.29

（注）木質①：製紙用チップ（トドマツ）
木質②：ハンマーミル片（大）50%＋ハンマーミル片（小）50%
木質③：ハンマーミル片（大）から得たパーティクル

３　枠取り試験

枠取り試験とは、藻礁のある枠内に付着している海藻を総て掻き取り、海藻の種類毎に現存量（本数、形状、湿潤時重量など）を調査するためのものである。

枠取り試験体は、鋼製架台に３枚の成型板（厚さ 5cm×50cm×50cm、中央に直径18cmの孔あり）と比較対照としてコンクリート板（成型板と同一寸法）を取り付けたものである。成型板の製造条件は、木質は前述のハンマーミル片（大）95%に強度補強のため木毛 5%を加えたものおよびハンマーミル片（大）から得られたパーティクル、水／セメント比は木質のみの場合0.55および粉炭混入の場合0.60、設定比重 1.0、硬化促進剤（塩化マグネシウム）添加率 2.2%である。

この枠取り試験体２体を1995年10月に海中設置し、設置８ヶ月後および１年４ヶ月後に試験体を海上に引き上げ現存量等を調査した。

成果の概要

1　耐久試験

海中設置約２年間により、試験片内部に木片はフナクイムシによる食害を受けていた。この食害を調査した結果は表２のとおりである。

この２年間の観察結果から、木質を比較的小さな小片とするか、セメント／木質比を大きくして（およそ3.00以上）セメントの被覆効果を高めることによって、フナクイムシ等による木質の食害を防ぐことができることを確認した。このことから、木質の形状およびセメント配合量を調整することにより、木質・セメント成形板を藻礁へ適用したときの耐久性をコントロールできることが分かった。

表２　約２年間の海中設置による耐久試験体の食害状況

試片の種類	木質の種類	セメント／木質比	食害の程度 試験体１	食害の程度 試験体２
木質・セメント成形板	① ハンマーミル片（小）	4.00	なし	なし
	② ハンマーミル片（大）	2.33	一部あり	一部あり
	③ スプリット片	4.00	なし	なし
	④ ハンマーミル片（大）95%＋粉炭5%	1.50	一部あり	一部あり
比較対照板	⑤ コンクリート板		なし	なし
	⑥ 木板（樹種：トドマツ）		全面あり	流失

2　遷移試験

海中設置３年間および限られた設置個所での観察結果からではあるが、木質・セメント成形板への海藻付着は良好で、大型褐藻類のナンブワカメ（一部ホソメコンブ）が優先し、遷移は安定した状態になっていると思われた。

3　枠取り試験

大型褐藻類（コンブ、ワカメ等）の生長が著しい1996年 6月、１体の試験体のみ海上に引き上げて各試験片に付着した海藻を掻き取り、その現存量等を測定した。海藻付着状況は、２体の試験体とも海藻類の付着は良好でホソメコンブが優占していた。なお、この年は日本海の北海道沿岸では例年になくコンブが豊作の年であった。

次に、1997年 2月、１体の試験体を浜に引き上げ、各試験片に付着した海藻の本数を測定した。海藻付着状況は２体の試験体とも不良で、この原因として、1996年12月から1997年 2月の約 3ヶ月間、試験体設置箇所付近で船着き場（コンクリート構造物）建設工事が行われたため、海中環境の悪化があったことが考えられる。

２回の現存量等の調査結果を表３に示す。試験片毎の海藻の付着性を評価するための指

標には、表中の本数が適している。

設置約８ヶ月後および設置約１年４ヶ月後というまだ短期間の調査結果なので最終評価は行えないが、試験片①（コンクリート板）に比較して、試験片③（木質（ﾊﾝﾏｰﾐﾙ片(大) 95%＋木毛 5%）・セメント成形板）の付着性の良さが確認された。

表３　枠取り試験体の現存量

試験体 No.	試験片 No.	ホソメコンブ 1996年 6月12日 長さ（cm）	幅（cm）	重量（g）	肥大度（mg/cm²）	本数	現存量（kg/m²）	アナアオサ 1997年 2月28日 本数
1	①	110.7	12.7	127.2	81.9	35	17.8	17
	②	68.9	11.5	76.5	81.9	11	3.4	14
	③	116.4	12.9	149.9	87.5	41	24.6	14
	④	83.3	12.1	109.2	89.0	37	16.2	18

（注）試験片①：コンクリート板
試験片②：木質（ﾊﾟｰﾃｨｸﾙ　　）・セメント成形板
試験片③：木質（ﾊﾝﾏｰﾐﾙ片(大)95%＋木毛 5%）・セメント成形板
試験片④：木質（ﾊﾝﾏｰﾐﾙ片(大)95%＋木毛 5%）・セメント成形板（粉炭20%混入）

活用の方法

木質・セメント成型板の藻礁としての適性が確認できたならば、外洋に設置可能なように、重さ 1ｔon前後のコンクリートブロックの表面に木質・セメント成型板を張り付ける形の藻礁が考えられる。

今後の課題

海藻の付着性の評価は、最低５年程度、海藻の遷移を観察する必要があるため、継続した枠取り試験を行い、木質・セメント成形板の人工藻礁としての適性について最終的な評価を行うことが重要である。

テーマ	木材の液化と応用技術の開発
開発の目的	現代の人類は三つのジレンマすなわちトリレンマに直面して来ているということが良く言われる。一つは爆発的に増える人口、二つにはその人口増加が集中して起こっている開発途上国の工業化志向に伴って、多くの資源が大量に消費される様になりその枯渇問題、そして三つにはそれらの人間活動の結果としての環境の悪化の問題である。そして、この問題をどうやって克服するかということに関心を持つ人々が増えており、種々の分野で色々な議論が巻き起こっている。それらは政策議論であったり、社会システム変革論であったり、各種の技術開発であったりしているが、段々と循環代謝型社会の構築という視点が強く意識される様になって来ている。 我々の分野で見ると、持続可能なようによく管理された森林から伐採された木材を優先使用しようという動きであったり、百年住宅といった言葉が出て来ている様に耐久性の高い木質材料を開発、使用して炭酸ガスの固定効果を高めようとする動きであったり、リユーズさらにはリサイクルをより高度に行おうとする動きないし技術開発であったりするわけである。今回の木質廃棄物再資源化技術開発事業の大半はこのリサイクル技術開発を視点において進められて来た。 他方で従来石油を原料として作られてきたプラスチック材料分野でも、最近"枯渇していく可能性のある石油等の化石資源に代わる再生可能資源を原料とする新素材"という意識が芽ばえ始めている。具体的には、開発されつつある生分解性高分子材料としてのポリ乳酸をはじめとするいくつかのものがそれにあたる。すなわち、ポリ乳酸の原料である乳酸はトウモロコシやサトウダイコンなどから得られるデンプンや糖分を発酵して得られる物質であるというところからである。さまざまな再生可能バイオマスが"21世紀の石油"として重要な資源となっていくと考えられ始めている。この様な考え方の下にマテリアルリサイクルやエネルギーとしての再利用であるサーマルリサイクルとは異なった、"バイオリサイクル" あるいは"エコリサイクル"という新しい概念が提唱されている。 木質廃棄物の再資源化技術開発の中にもこの様な考え方のものもあってよいと考えられる。その一つが本分担研究"木材の液化と応用の技術開発"であると位置づけられよう。そこで本研究ではこの新しい手法を木質系廃棄物の活用技術としてどこまで用いうるものか評価すると共に、より実際的で役に立つ手法を生み出すことを目的として、液化法と液化物の成形物、発泡体への変換法の両面での技術開発を試みた。
開発の内容	本技術開発は木質廃棄物を触媒である酸とフェノールや多価アルコールの存在下で150℃程度の加熱を行うことにより一旦液化し、得られた液化物の反応性を利用してノボラック樹脂（フェノール樹脂）様の成形物、ポリウ

	レタン樹脂様の発泡体などに変換し、物性を追求すると共に、それらの従来品には認められなかった生分解性の発現をも追求しようとするものである。そこでは、まず、木質解体材など木質廃棄物が多様な樹種から成るものであること、場合によっては他種のバイオマスも含みうることを考慮し、液化対象物を多くの樹種にすると共に、樹皮、OA紙、オイルパームの樹幹、ババスパーム果実殻層、バガスなどに拡げ検討した。次いで、液化時に用いる酸触媒について、硫酸以外の酸に広げ、塩酸、リン酸、シュウ酸を用いたフェノール存在下での木材の液化の検討を行った。また、液化終了後未反応のまま残っているフェノールに対して適量のホルマリンを加え、液化に用いた酸をそのまま触媒として後処理としてのノボラック樹脂化を行って、反応性中間体としての液化物の熱流動性と硬化反応性の増大を図った。一方で、アルコール液化の場合には媒体多価アルコールとして、グリセリン／PEG400混液、ポリカプロラクトンを中心として用いたが後者がとくに、反応性や生分解性の高い液化物ないし発泡体を与えるものの高価格であることを考慮して、そのモノマーであるε-カプロラクトンとトリメチロールプロパンさらにはグリセリンを媒体に用いる液化も行った。さらに、フェノール液化物からの成形体および多価アルコール液化物からの発泡体の生分解性を調べ、それぞれの従来品と比較した。
成果の概要	（1）多様な植物資源（バイオマス）のフェノール存在下での液化とノボラック様成形物への転換 前述のように種々のバイオマスの液化について検討した結果、木材樹種間での液化の難易の差はないこと、バガスとオイルパーム樹幹も液比と触媒量をやや多くする方が液化が容易ではあるものの、150℃、60分の処理で十分に液化されること、ババスパーム果実殻層は硫酸触媒量を多くすることにより上記の条件で液化させうること、また、スギ樹皮、OA紙およびコーヒー豆抽出残渣では試薬の仕込み比の調製だけでは不十分であり、前二者の場合処理時間の延長に効果が認められた。コーヒー豆抽出残渣は脂肪やタンパク質を含んだ特殊なリグノセルロースであり、同列で比較できないが、二、三の工夫で十分液化が可能であった。これらの検討から、ここでの液化法は多少の樹種の混合や他種バイオマス種の混合によって致命的な影響を受けないものであり、解体材など木質廃棄物の活用技術として評価しうるものといえよう。 （2）木材を主とするバイオマスのフェノール存在下での液化と酸触媒 用いた酸触媒の範囲でシュウ酸以外の酸ではそれぞれ特徴はあるものの同様な液化が可能であること、シュウ酸の場合は少量の強酸と混合して用いることにより効果的な液化が行いうることを知った。反応容器の腐食の問題が重要視される場合、強酸を少量加えたシュウ酸を触媒に用いる余

地が十分あること、塩酸に副生成物上問題がありうるものの、液化抵抗性の高いバイオマスの液化に用いて効果が高いこと、中和物が難燃剤を与え得るといった観点からはリン酸触媒に特徴があるといった結果でもある。

（3）フェノール化木材／フェノール／フォルムアルデヒド共縮合樹脂化の効果

フェノールおよび多価アルコールの酸触媒下での木材液化が木材成分の加溶媒分解により進むということが本分担研究者らの研究で解明されて来ている。したがって、液化の進行に伴いフェノールあるいはアルコールの相当の部分が低分子化された木材成分と化学的に結合している。これが液化物の反応性発現にとり大きな意味を持つこととなる。その一方で、液化物中には木材成分低分子化物と反応しないまま残った未反応のフェノールが存在する。通常のノボラック樹脂合成のさいにも、生成物中には生成ノボラック樹脂と未反応のフェノールおよびホルムアルデヒドが存在するが、それら未反応物は減圧蒸留などにより除去されるので、ここでも通常は同様に留去される。それに対して、本研究では未反応フェノール量に見合うホルマリン加え、液化に用いた酸を触媒としてノボラック樹脂化することを試みた。その結果、ノボラック樹脂初期縮合物相当の該共縮合物は、熱流動性が大きく改善され、市販ノボラック樹脂のそれと同等のものとなると共に、成形物の曲げ強度も市販ノボラック樹脂からの成形品を凌ぐものとなるといった良い成果が得られた。液化物より未反応フェノールを除去した樹脂様物に市販のノボラック樹脂をブレンドしても同様の効果は得られないことから、木材成分のフェノール化物との反応も考えられる結果となっている。

（4）グリセリン／PEG400混液あるいはポリカプロラクトン存在下での木材の酸触媒液化と発泡体への変換

グリセリン／PEG400（2／8、重量比）あるいはポリカプロラクトン（プラクセル 303）と木粉などバイオマスを液比２以上で仕込み、それら多価アルコールの３重量パーセント相当の硫酸やリン酸触媒存在下で150℃に加熱、必要に応じ撹拌すると30～60分で均一な液化物が得られる。それら液化物を全体としてポリオールとして扱い、乳化剤、整泡剤、発泡触媒などを加え、均一に混合したのち、多価イソシアネートを加え、よく混ぜ合わせると、物性の優れた発泡体が得られる。

（5）ε-カプロラクトンと多価アルコール存在下での木材の液化

（4）項の液化と発泡に際して、多価アルコールとしてポリカプロラクトンを用いると液化はより容易に進み、良好な発泡体が得られる。問題はポリカプロラクトンが高価であることである。そこで、プラクセル303がトリメチロールプロパンとε-カプロラクトンから合成される低分子量ポリカプロラクトンであることを考慮して、ε-カプロラクトン、トリメチロールプロパンおよびグリセリンの混液と触媒としての硫酸の存在下で

の木材の液化を試みた。この液化系はポリカプロラクトンを生成しうる系であるということを意識した実験であった。実験の結果、液比を３、触媒硫酸濃度を反応液（ε-カプロラクトン＋トリメチロールプロパン＋グリセリン）の総量に対して0.75 wt％とし、150℃で、２ｈの条件で液化するとき反応液中におけるε-カプロラクトン量が75 wt%のとき最も液化が進むこと、そのさいトリメチロールプロパンとグリセリンの混液を多価アルコールとして用いる方がそれぞれを単独で用いる場合よりも液化を大きく進めること；液比を３、また反応液組成を多価アルコール25、ε-カプロラクトン75重量部として、150℃で２ｈ液化するときの最適触媒（硫酸）量はほぼ１ wt％であり、このとき急激に液化が進むこと；これらの液化の進行と共に水酸基価が減少することが知られ、木材成分起源物質へのエステル化およびアルコキシ化が起こっていることを示唆している。また、ここで得られた液化物をポリウレタン発泡体へ変換する実験を行った。発泡体調製条件を種々検討して適正なものとすることにより、十分に実用に耐え得る発泡体が得られた。

（６）フェノール存在下で液化した木材液化物より製造した成形物の生分解性

前出の様に調製したノボラック樹脂様成形物を30℃、80％ＲＨの恒温恒湿室中で、含水率を管理した一定組成の土壌（培養土：腐葉土：バーミキュライト＝8：1：1 容積比）中に埋没して生分解試験を行った。その結果、はっきりとした生分解を示すことが認められた。すなわち、フェノール化木材系成形物は曲げ強度減少値でノボラック樹脂成形物の２倍ないしそれ以上の値をとり、SEM観察でも生分解性が認められ、格段に生分解性に優れた材料になっていることが知られた。また、充填剤木粉量を増すと共に、成形材料の生分解が大きくなることも知られた。なお、その後、和歌山県下の花壇で土中埋没試験をした結果はより明確な生分解が認められるものとなり、本研究での結果を裏付けた。

（７）ポリカプロラクトン存在下での木材液化物より調製したポリウレタンフォームの生分解性および光崩壊性

屋外での土中埋没試験の結果、液化木材ポリウレタンフォームはコントロールポリウレタンフォームに比べ生分解性が優れており、生物親和性も格段に大きいことが知られた。また、恒温恒湿室中での土中埋没試験を行い、試験前後の試験体表面の走査電子顕微鏡鏡査を行った結果、微生物による分解が明確に進んでいることが明らかに認められた。バイオサーモアナライザーを用いる活性汚泥により試験でも、コントロール試験体では起こらない生分解が液化木材ポリウレタン発泡体の場合には明確に認められた。それらに対し酵素試験を70種余りの酵素を用いて行ったが、生分解が認められず、液化木材ポリウレタン発泡体の生分解が複数の　酵素が関与しうる土壌中の微生物や活性汚泥中の微生物によって

	始めて起こりうるものであることが示された。
成果の活用方法	本研究によりかたいヤシの実の殻も含め各種のバイオマスの液化が可能であることが明らかになった。このことは種々の樹種を含む解体材など木質廃棄物の液化が十分可能であることを示す。また、木材液化物より現存品と物性が変わらないノボラック様成形物やポリウレタン発泡体を調製しうることが示された。現存の対応物と比べてコスト的に難があるようにも考えられない。しかしそうであるからと云って、これだけでは現存品に取って変れるとは思われない。物性およびコスト的に圧倒的であるとはいえない以上、むしろ否定的になると考えざるを得ない。そこで現存品が備えていない特性で、今後重要な特性と考えられるものを備えていないかという観点で本研究対象を見てみた。そこに生分解性という特性が浮び上がって来る。それを受けて本研究でこの点を調べた。コントロールの現存対応品と比べて生分解性が備わっているということが、格段の差違として知られた。現在、生分解性高分子材料の実用化研究が我が国でも、世界的にも巻き起こっている。近い未来、様々なところにこの生分解性高分子を使わればならなくなるという事態が予想されている。換言すると、実に様々な用途が開かれるということである。さらに遠い将来には、本報告書の導入部で触れた様に、「バイオマスが２１世紀の石油になる」ということが実際化される可能性がある。その意味では、本研究の内容は、それに沿った研究としての一つであるとも言えよう。
今後の課題	1）液化の装置化の検討を進め、実用化しうる合理的で低コストの液化法を見出さねばならない。現在すでに連続液化法と呼ばれる手法が見出され、開発が進められている。 2）1）項との関連で、超臨界流体による液化も考えられ、今後調べる必要がある。 3）液化の機構についても随分と研究が進み、分子オーダーでの知見が積み上げられつつあるが、これを徹底し、反応性制御、安全性確保を図る必要がある。 4）木材液化物の熱流動性、反応性を高めるなど、使いやすいものとするための研究を系統立てて行う必要がある。 5）具体的に用途を絞った検討を進める必要もあろう。

テ　ー　マ	樹皮の高度利用技術の開発
開発の目的	木材工業においては、木材を加工する過程で樹皮や鋸屑など大量の廃材が生じる。これら木質廃材の高度利用技術の開発は、林産工業の発展に欠くことのできない重要な課題の一つである。そのなかで樹皮は、近年の省資源、省エネルギー、環境問題に対する関心の高まりから、燃料以外に家畜敷料、土壌改良材など、より付加価値の高い農業用有機資材としての需要が急速に増加している。しかし、その樹皮利用形態は、まだ廃棄物処理の域にとどまり、低位、粗放なレベルといっても過言ではない。年間総排出量が 720万m3にものぼると推定されている樹皮の高度利用技術の迅速な開発が望まれている。 一方、ある種の天然物質、例えば木炭や硅藻土は古くから吸着剤、ろ過剤として利用されており、また羊毛や毛髪などのケラチン物質が重金属イオンを吸着することはよく知られている。1970年代に入り、農畜産業で排出される副産物の有効利用の一環として、各種農産廃棄物の重金属含有排水処理への適用が検討され、クルミ外皮などのポリフェノール系物質、柑橘類の内、外皮などのペクチン酸-ポリフェノール系物質などが重金属イオンの除去、回収に有効であると報告されている。 したがって、本技術開発では、樹皮の多孔性や含有するタンニンなどのポリフェノール類のイオン交換性に着目し、重金属吸着などの環境浄化資材としての利用を目的とした検討を行った。
開発の内容	重金属含有排水の処理法には、中和凝集沈殿法（中和法）、硫化法、イオン交換法、キレート樹脂吸着法などがある。金属鉱業では、金属イオンを水に不溶な水酸化物として沈殿除去する中和法が一次処理として一般的である。しかし、この方法は、重金属を分別することなく、一括して沈殿、除去する方法であり、生成する大量のスラッジはその処理法によっては二次汚染などの問題を引き起こす可能性がある。また、中和法による金属イオンの処理では、重金属はあくまでスラッジ中に存続するだけで、資源としての価値を持つものではない。さらに、最近排水基準値の規制が厳しくなっているため、中和処理した排水は、イオン交換樹脂やキレート樹脂などの高価な合成高分子を使用した二次処理が強化されている。これら合成高分子は、重金属を吸着させた後での焼却が困難である場合が多い。このような観点から、安価で高性能な木質系重金属吸着剤を使って、各種産業排水から有価重金属を回収する方法は、重要な技術と考えられる。 そこで本技術開発では、主要な商業樹種を含む60樹種の樹皮についてカドミウム、銅、亜鉛などの有害、有価重金属に対する捕集能を調べた。次いで優れた吸着能を示す樹皮を用いて、吸着速度、重金属イオンの濃度、供試液のpH、吸着担体量や流速など種々の吸着条件の影響を調べ、重金属含有排水の処理を念頭に置いたシステムについて検討した。
成果の概要	1　樹種の違いによる樹皮の重金属吸着能 十分に水洗した樹皮粉末(42～80メッシュ、0.5 g)を1mMの金属を含む水溶液（pH 5,100 mL）に浸せきさせ、30℃で24時間振盪し、担体をろ別後、ろ液中の残留金属量を原子吸光

法で定量し、重金属吸着量を算出した。これらの結果より、樹皮の重金属捕集能は樹種の違いによりかなりの差異が認められた。カドミウム、銅、亜鉛に対して比較的親和性の高い樹種を表１に示す。カドミウムを例にすると、針葉樹ではヨーロッパトウヒなどのトウヒ属やイチイ、広葉樹ではドロノキ、ヤマナラシなどのハコヤナギ属やオニグルミ、サワグルミなどのクルミ科樹種が高い親和性を示した。本研究ではそれら金属に対する平均捕集量はいずれも広葉樹樹皮が針葉樹樹皮のそれよりも高い傾向を示した。重金属吸着量と樹種の分類学上の明確な相関は必ずしも認められなかったが、供試したすべてのクルミ科樹皮（７樹種）が重金属に対し高い親和性を示した。また樹皮と市販活性炭の吸着能を比較した結果、同等あるいはそれ以上の吸着能を有することが認められた。

表１　樹皮および活性炭のカドミウム・銅・亜鉛吸着能

樹　種	カドミウム		銅		亜鉛	
	%[a]	mg/g[b]	%[a]	mg/g[b]	%[a]	mg/g[b]
ｴｿﾞﾏﾂ	51.0	12.2	50.3	7.1	50.2	7.1
ｱｶｴｿﾞﾏﾂ	50.2	12.1	54.5	7.6	50.2	7.0
ﾖｰﾛｯﾊﾟﾄｳﾋ	63.1	15.8	68.9	9.6	56.8	8.2
ｲﾁｲ	59.4	14.4	55.3	7.6	55.0	7.9
ﾄﾞﾛﾉｷ	69.9	17.0	78.6	11.0	65.9	9.4
ﾔﾏﾅﾗｼ	71.0	16.8	66.1	9.1	67.7	9.5
ｻﾜｸﾞﾙﾐ	66.3	16.1	62.3	8.6	64.8	9.0
ｵﾆｸﾞﾙﾐ	69.7	16.8	65.8	8.9	67.3	9.3
活性炭	33.7	7.3	50.6	6.5	44.9	5.7

a)吸着率、b)吸着量

２　樹皮の重金属吸着特性

樹皮の重金属吸着特性を明らかにする目的で、ドロノキのカドミウム吸着速度、さらに吸着に及ぼす供試液の初期pHやカドミウム濃度、担体（樹皮）量などの影響を調べた。バッチ式試験の結果、試験開始後24時間で、ほぼ吸着平衡に達することが分かった。カドミウム吸着に及ぼす供試液のpHの影響について調べた結果、pH4～7の弱酸性ないし中性領域で最大吸着量が得られ、pH 3以下では急激に吸着能は低下した（図１）。また、吸着等温線を作成したところ、ドロノキのカドミウムに対する最大吸着能は約32 mg Cd^{2+}/gと推定された。

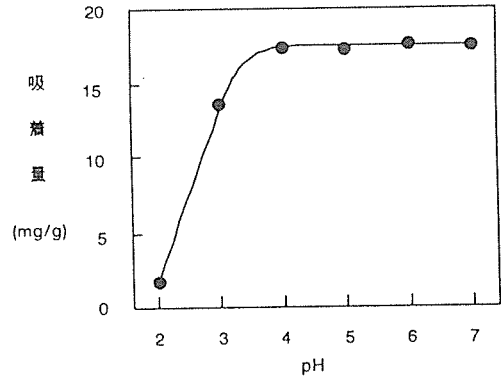


図１　　カドミウムの吸着におよぼすｐＨの影響

3　カラム法による重金属吸着試験

重金属を含む排水を処理する場合には、処理施設、操作性、経済性の点から、回分式よりも担体を充填したカラム内に処理水を通過させる連続法がより実用的と考えられている。ドロノキ樹皮をガラスカラムに充填し、これに1 mMのカドミウムを含む水溶液（pH 5）を流速20～50 mL/minで流下させた結果、流速が遅いほど吸着量は高くなる傾向を示した（表２）。

表２　カラム法によるドロノキ樹皮のカドミウム吸着試験

供試液カドミウム濃度 (ppm Cd^{2+})	112.2	112.2	112.2
流 速 (ml/min)	20	33	50
(bed vol./h)	30	50	75
総負荷量 (mg Cd^{2+}/g)	26.7	26.7	26.7
定常状態での負荷量 (mg Cd^{2+}/g)	20.4	13.4	10.7
定常状態での通過液の カドミウム濃度 (ppm Cd^{2+})	<0.1	<0.1	<0.1
定常状態での通過液 pH	5.17	5.15	5.19
最終通過液の カドミウム濃度 (ppm Cd^{2+})	58.4	65.2	76.4
総カドミウム吸着量 (mg Cd/g^{2+})	25.4	24.1	22.3

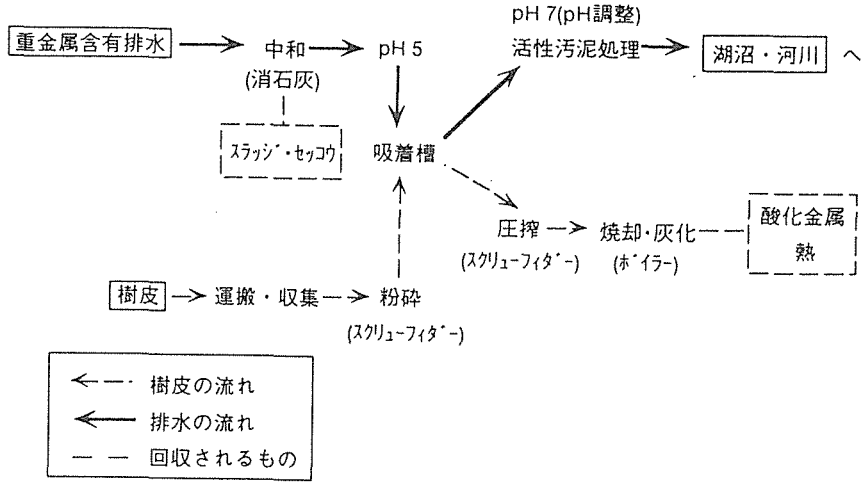
4　吸着能におよぼす前処理の影響

樹皮は、キレート樹脂やイオン交換樹脂などと比較すると、その捕集能はかなり低く、合成樹脂系の1/10～1/20に過ぎない。そのため、使用目的によっては、捕集能をかなり高める必要がある。また、樹皮の溶脱物質が処理水の着色や BOD（生物学的酸素要求量）の増加をもたらし、排水基準を満たさなくなる。そこで、前もって溶脱成分を除く処理（熱水、アルカリ抽出）、溶脱成分の不溶化処理（固定化）、陽イオン交換能を向上させると同時に処理過程で溶脱成分を除く処理（リン酸エステル化）について検討した。その結果、溶脱成分を取り除く処理としては、熱水抽出処理が得られた収率および吸着能の点から簡便かつ効果的な方法であった（表３）。一方、リン酸エステル化処理は、水洗処理担体よりも重金属吸着能が 3～10倍増加し、既存キレート剤の重金属吸着能の半分程度になることが認められた。

表３　ドロノキ樹皮の重金属吸着能におよぼす前処理の影響

	収率	亜鉛		銅		カドミウム	
	%	%[a]	mg/g[b]	%[a]	mg/g[b]	%[a]	mg/g[b]
水洗処理	86.5	65.9	9.4	77.2	10.6	69.9	17.0
熱水抽出処理	80.3	61.2	8.9	72.0	10.4	65.5	16.4
ｱﾙｶﾘ抽出処理	52.9	15.5	2.2	14.6	2.1	23.9	5.9
固定化処理	77.8	41.4	5.6	57.3	7.4	45.3	10.2
ﾘﾝ酸ｴｽﾃﾙ化処理	80.4	88.8	60.7	92.1	105.8	80.2	54.3

a)吸着率、b)吸着量

活用の方法	これまでの結果から、樹皮による重金属含有排水の処理システムを作成した（図２）。樹皮の重金属吸着能から、樹皮は一次処理剤として使用するよりも、イオン交換樹脂やキレート剤のような二次処理剤の代用として位置づけることが適当であると考えられた。樹皮の重金属吸着能はキレート剤のそれの20分の1であるが、リン酸エステル化することにより約半分程度の吸着能となるため、十分に使用できる可能性がある。また、樹皮を一次処理と二次処理の中間処理として利用することにより、スラッジと廃合成樹脂の生成を軽減することも可能であると考えられる。 樹皮などの木質系バイオマスは、①原料が安価で大量に入手できること、②これまでに未利用あるいは低位な用途に限られていたバイオマスが利用できること、③イオン交換樹脂などの合成高分子は、廃樹脂の処理が困難であるが、木質系吸着剤は焼却により吸着剤の処分と重金属の回収が同時に行えること、④二次環境汚染の心配が少ないことなどの利点がある。 本研究では対象を樹皮にしぼり、その重金属用処理資材としての能力、特性、実用性などを検討した。その結果、樹皮単独で工業的規模での排水処理は吸着性能の面から困難であるが、既存処理法の最終段階で高価なイオン交換樹脂を補うかたちでの使用など、二次処理資材としての用途が期待される。  図２　樹皮を用いた排水処理システム
今後の課題	今後、樹皮などの木質系バイオマス資源を有害重金属除去資材として利用する際の課題として、 ①　有害重金属に対してより選択的に吸着能を示す資材を選抜すること ②　重金属吸着能をより向上させるため、リン酸エステル化よりも安価で簡便な化学処理の開発を行うこと などがあげられる。

テーマ	薬品処理廃材の分別技術と再利用技術の実態調査及び回収システムの開発 — 保存処理木材の廃棄の現状と将来の見通しならびにそのリサイクルシステム —
開発の目的	資源の有効利用の立場からも、建築解体などで発生した廃材の再使用、再利用、再資源化はきわめて重要な課題であるが、防腐・防虫など保存処理された木材の場合、木材中に薬剤成分を含んでいるため、その取り扱いについては十分留意する必要がある。これは再使用や再利用の場合だけでなく、廃棄処理において特に重要である。しかし、解体現場においては、労働力不足や機械化などにより、分別が困難になっているのが現状である。 ここでは、保存処理木材についての再利用、再使用ならびに廃棄の現状を調査し、今後の見通しについて検討を加え、処理木材のリサイクルシステムについて考察した。
開発の内容	保存処理木材の廃棄量予測については、日本防腐工業組合の統計資料をもとに算出し、再使用、再利用ならびに廃棄の実態については、在阪企業において聞き取りと現地調査を行った。
成果の概要	1　保存処理廃材の再利用と廃棄の現状及び将来の見通し （1）マクラギ 木マクラギの防腐処理に使用されている薬剤は、一部のＣＣＡを除いて大半がクレオソートである。マクラギに多用されてきたケンパス材に注入されるクレオソート油の規準注入量は、旧国鉄規格では160kg/m^{3}以上となっていたが、実際の測定結果によると200kg/m^{3}以上注入されている結果も報告されている。 防腐処理された木マクラギの耐用年数は、部材の形状、防腐処理の程度、使用場所の劣化環境、設置の状況（曲線部や勾配、取り付け方法）、通過車両の頻度、などによって決定されてきたが、ケンパスにクレオソートを注入したものでは、20～30年といわれる。廃棄量は、生産量を元に予測することができるが、実際は鉄路の整備計画など社会的な状況によって影響されるところが大きい。今、仮に平均25年毎に順次取り替えられるとして予測すると、年間廃棄量は1996年では20万m^{3}弱となる。しかし、この10年以降の年間生産量は7万m^{3}以下に減少している。 交換された廃マクラギは、それぞれの鉄道会社において、柵、輪木、蓋などの用材として再利用されることもあるが、大半は特定の産業廃棄物処理業者に委託されている。処理業者に搬入された廃マクラギは、損傷程度によって3～4段階ほどのクラスに分けられる。上級品は、かってはトンネルのシールド材に再使用されていたが、最近ではエクステリアの用材として、木レンガ、土留め材などに再利用されている。とくに、ゴルフ場の景観を兼ねた土木材料として好まれるということであったが、その他に、廃マクラギの重厚な感触を生かし、製材されて喫茶店や酒場の店舗用建築材料としても利用されることもある。並のクラスのものは、鋼材の輪木として工事現場で使用されるほか、コンクリートの製造工場でも同様な使用目的で利用されている。下級の廃マクラギは、かっては練炭用の原料にも利用されたこともあったが、現状では風呂屋の燃料として引き取られるほか、溶鉱炉

にも利用されている。さらにより下級のものは、廃棄処分される。

全体では、搬入される廃マクラギのうち、1/7が再使用および再利用できるもの、3/7が燃料用に使用されるもの、残りの3/7が利用されずに廃棄さているという状況である。

（２）電柱材

防腐処理電柱の廃棄量について、その耐用を15年として算出してみると、1996年で11万m^3と予測されるが、ほぼその半分がＣＣＡで処理されているものと考えられる。防腐処理した電柱の生産量は、昭和50年から60年にかけての10年間で、 20万m^3から3万m^3まで大きく減少しており、したがって今後の廃棄量もそれに伴って減少していくものと推定される。

廃棄される電柱材は、電力事業者から特定の処理業者に委託されることが多く、処理業者（製材あるいはチップ工場を兼ねる）は堆積場に保管した後、再利用にまわしている。廃電柱（クレオソート処理、及び白物と称されるＣＣＡ処理電柱）は、目視および金属探知機で釘類を除去した後、薬剤成分の含まれている表層を除いて、チップあるいは製材品に加工される。チップは、クレオソート処理電柱のものは燃料用に、ＣＣＡ処理電柱のものは製紙用途にまわされることが多かったが、チップの需要動向は変動が大きく、市場性は安定していない。また、コアからの製材品についても、選別や加工にかける手間と一般製材品との市況バランスによって再利用が進まないケースも生じる。この結果、堆積場に長期間保管を余儀なくされいることもある。

（３）住宅解体材からのＣＣＡ処理土台

水溶性防腐剤であるＣＣＡはわが国では昭和38年にＪＩＳ化され、40年のヒノキ材の高騰を契機として急激に普及した。現在、戦後第２期の住宅建築ブームに建てられた木造住宅の改築期にあり、解体廃棄される木材のうち、土台用に供された保存処理木材にはＣＣＡによって防腐処理されたものが増加してきている。

日本木材防腐工業組合の統計資料をもとに、ＣＣＡ処理防腐土台について耐用年数を25年と仮定した場合の排出量を推定してみると、1996年では７万m^3であるが、このままで進むとして西暦2000年には14万m^3、2005年には21万m^3に達する。さらに、実際には統計にはあらわれない生産量として10～20％が上積みされるものと考えられる。薬剤量を算出する場合には、ＣＣＡ水溶液が木材中へ平均的に約300kg／m^3注入されるものとし、 薬剤の濃度を1.2％として計算すると酸化物としての平均量が求められる。

次に、木造住宅が解体されたときに含まれるであろうＣＣＡ処理土台材の量比を、木造住宅の床面積とＣＣＡ土台の生産量をもとにし、解体によって排出される木クズの原単位を仮に0.15m^3/m^2とおいて計算してみると、 昭和40年代の建築以降徐々に増加していくが多く見積もっても体積比として2％程度であると考えられる。

（４）外構部材の廃棄

近年、デッキ等の外構部材の生産量の増加は著しく、これらを含む”その他”の用途が平成５年度の統計値では防腐木材の総生産量の35％を占めるに至った。外構部材、いわゆるエクステリアウッドと称されるものは、アメニティ感覚を尊ぶ風潮やデザイン的な興味、地域完結型の資源利用の促進などを背景に伸びてきたもので、今後この趨勢は拡大していくものと予想される。

遊具類や農業用資材としてのＣＣＡ処理木材の予測廃棄量については、今しばらくは６万m^3で推移していくものと予測されるが(耐用年数を15年とした場合)、今後徐々に増加していく傾向を示している。

２　分別集荷システム

薬剤処理木材のリサイクルを考えるとき、分別集荷することが不可欠である。土台材にはヒノキ、ヒバという耐朽性樹種が用いられる以外に、ベイツガやアピトンにＣＣＡを加圧注入したものが用いられることが多い。ＣＣＡで防腐処理した木材は、クロムの定着によって薄緑色を呈するので、無処理未処理の木材と判別することは困難ではない。しかし、長期間の使用によって外観が変化することが予想されるため、解体時の廃棄処理においては識別マーカーとなる標識が必要とされる。

ＪＡＳ製品であれば、メーカーの名称や種別を表示した刻印も参考になろうが、それ以外に発色剤を用いて判断することもできる。通常の場合、銅化合物は呈色試薬と反応しやすいため、これを利用することが多い。加圧注入におけるＣＣＡ薬剤の浸潤度を測定する手段として、通常ジフェニルカルバジドが用いられているので、これを標識法として利用することが考えられる。

ＣＣＡ処理材は、量的にみても混入率は低いためか、一括集荷された作業現場において、処理木材を選別し見つけることは容易ではない。しかし、量的には少ないとはいえ、分別収集が行われなければ、解体の廃材中にＣＣＡ処理木材が混入してくる確立は高い。一方で、最終段階に至るまでの過程が、マクラギや電柱など特定業者が管理する場合に比較して複雑である。また、現状では、再資源化を行っている業者にはＣＣＡの取り扱いに対してかなり意識が浸透してきているが、解体や流通段階に携わっている業者には十分な認識は得られているとは言い難い。したがって、ＣＣＡ廃材の取り扱いについては十分注意して行うことを知らしめるとともに、米国で行われているようなＣＩＳ（Consumers Information Sheet）による注意義務の表示について、わが国においても検討していく必要があろう。

こんご増大するでろうエクステリアウッドについては、その多くが行政等の公共事業に関連して施工されるため、薬剤種別なども明確で、その点からは管理が容易であるが、一方で屋外での使用のため劣化の危険度が高く、不定期な交換によって処理材料が分散して排出される可能性も存在する。今後、エクステリアに用いられた保存処理木材が廃棄物として排出される量は増加することが確実なため、それらのアフターケアには十分留意する必要がある。

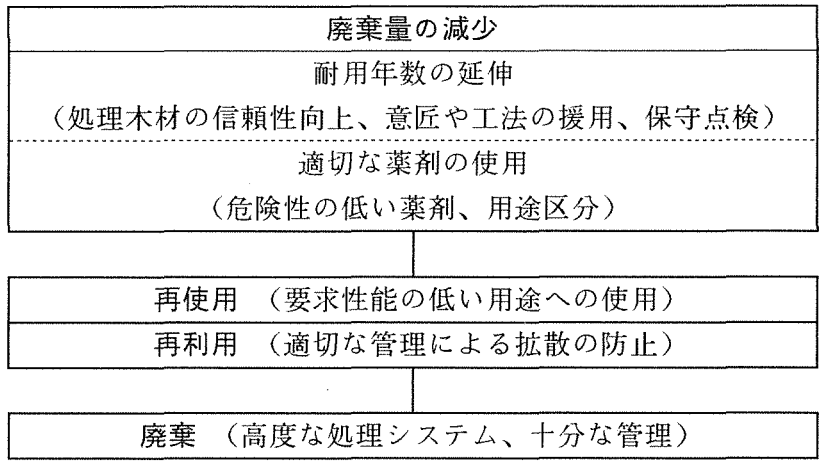
３　保存処理木材のリサイクルシステム

木材が材料として省エネルギー的で地球環境にやさしいということ、あるいはその耐用年数をのばすことが森林資源利用の節減になることからみて、木質資源を大切に長く使っていくことは人間と地球環境との整合性をもった共存に大きく寄与することは明らかである。このためには、耐用年数の増大が今後ますます重要となってくるが、一方で、木質資源の利用循環系の中に保存処理をどう組み入れていくかが解決しなければならない課題であろう。

処理木材の信頼性を向上させると同時に意匠や工法を十分に援用して耐用年数をのばし、まず処理木材そのものの廃棄量を減少させることが重要である。もちろん、危険性の低い薬剤を開発して使用し、さらに適切な用途区分を確立して、ライフサイクルコストの低い材料として利用して行くことも大切である。

薬剤処理木材の廃棄にあたっては、できるだけ再使用、再利用につとめるべきであろうが、これには危険な薬剤成分の拡散にならないよう適切な注意が必要である。従来使用されてきた薬剤処理木材の最終的な廃棄に際しては、安全な管理と高度な廃棄処理システムの確立が重要であることはいうまでもない。

保存処理木材の廃棄処理スキーム



成果の活用方法

薬品処理廃材の取り扱いにおいて、とくに問題となるのは分別収集が困難と予測される住宅解体材からの処理木材であろう。この報告では、廃棄の現状と見通しについて検討したが、今後の住まいづくりにあたっては耐久性の付与とともに、解体時の分別収集を考慮したシステムの構築を提案したい。

今後の課題

木材の焼却処分は他材料に比較して省エネルギー的で無公害に実施が可能であり、熱源としても利用できる。しかし、薬剤処理木材の場合は、木質以外の薬剤成分の熱による挙動を把握することが大切である。

木材の埋め立てによる廃棄では、本来木質が生分解可能な有機質材料であることから無公害的に自然に還元することができる。しかし、薬剤処理された防腐・防虫・防蟻木材および木質材料は、木質の組成以外の薬物あるいは毒性物質を含んでいる。無公害的に埋め立てするには、薬剤成分が廃棄の過程でどのような性状や挙動を示すか、また、如何に自然界に拡散あるいは還元するのかを明らかにしておく必要がある。

将来の薬剤処理木材の廃棄に関しては、過去使用されてきたＣＣＡなどについてばかりではなく、新しく使用されてきている薬剤についても十分考慮しておく必要があろう。

テーマ	保存処理木材のパーティクルボードへのリサイクル利用技術
開発の目的	最近、地球規模における資源・環境問題が顕在化し、木質資源の有効利用がますます重要となってきている。さらに大都市周辺では廃棄公害も大きな問題となりつつあり、建築解体材の再利用が注目されている。木材は、そのエレメントを順次小さくしていくことによって、比較的小さなエネルギで二次的あるいは三次的な再利用が可能であり、元来リサイクル性が非常に高い材料である。木材保存分野においても、毒性が高く、難分解性の薬剤は環境への負荷が大きいため、薬効持続性が長くても排除される傾向にあり、環境保全に適した低毒性薬剤の開発研究が盛んに行われている。一方、戦後建設された住宅が順次解体時期を迎えており、ＣＣＡ処理された土台角などの保存処理木材の安全廃棄が、近い将来重要な問題になるものと予想される。 故材をリサイクル資源として活用する最も手近かな方法は、これをチップ化し、ボード原料にすることであろう。このような処理材を木質材料に転換利用する際には、材料の腐朽劣化や薬剤の接着性能に及ぼす影響が懸念される。一方、枕木に利用されている広葉樹材のブナやケンパスは高比重材であり、材質そのものの強度的性能が非常に高いとともにすでに防腐処理されているので、高い耐朽性が期待できる。また、ＣＣＡなどの防腐薬剤処理された故材もまた高耐朽性パーティクルボードの原材料とすることができる。 したがって、本技術開発では、ＣＣＡ処理およびクレオソート処理故材などの木質資源の有効利用をはかるべく、これらをボード原料として再生利用して、高耐朽性パーティクルボードの製造法を開発しようとするものである。
開発の内容	本技術開発では、まず、１９６９年、１９７２年、１９７７年、１９８３年、１９８４年にそれぞれクレオソート注入処理されたケンパス（Koompassia malacccensis）枕木および築後１５年の鉄筋プレハブ住宅の解体材からベイツガ（Tsuga heterophylla）大引を採取した。比較試料としては同一樹種の無処理材を用いた。まず、このようなクレオソート処理およびＣＣＡ処理故材中における薬剤分布を明らかにし、次いで５種類の木材接着用の接着剤を用いて処理故材の接着特性を明らかにした。さらに、これらの処理故材をチップ化し、現在ボード製造に用いられている４種類の接着剤による単層パーティクルボードの製造法およびそのボードの材質について検討した。
成果の概要	（１）保存処理故材における薬剤分布 ジフェニールカルバジドによる呈色反応および蛍光X線分析法により、故材のＣＣＡの浸潤状態を検討した結果、土台角の端部ではかなり防腐薬剤が浸潤しているが、その他の部分では８ｃｍ角の材表面付近にのみ浸潤しているにすぎず、中心部分にはほとんど薬剤は浸潤していない。クレオソート処理故材の場合は、ＪＩＳ Ａ ９１０４により分析した結果、全体的に外部の吸収量が内部のそれより高く、この場合も枕木の木口に近い部分の吸収量が高い傾向が認められた。なお、故材表面に油状物がしみだしてくる、いわゆる発汗現象が、吸液量の多い試験体で認められた。

（２）保存処理故材の接着性能

ユリア、ユリア・メラミン、フェノールおよびレゾルシノール樹脂並びにイソシアネート系接着剤を用いて、ＣＣＡ処理およびクレオソート処理故材の常態接着力試験を行った結果、試験片の採取部位による接着力の差異はほとんど認められず、長期使用による劣化の影響や薬剤の影響による接着力の低下は認められない。また、クレオソート処理故材の場合、年代間で接着力に有意差は認められない。ただし、６９年と７２年の処理故材はかなり劣化している部分があり、利用するに当たっては問題となるであろう。

（３）保存処理故材を原料とするパーティクルボードの性質

ＣＣＡ処理およクレオソート処理故材を、それぞれチップ化した後、衝突型フレーカー（Pallmann PZ-8）を用いてパーティクルを作成し、含水率を２～８％程度に調整した。ＣＣＡ処理故材のパーティクルの寸法は15.0mm（長さ）×1.9mm（幅）×0.5mm（厚さ）、クレオソート処理故材のそれは16.5mm（長さ）×1.8mm（幅）×0.5mm（厚さ）であった。含脂率は、ユリア、ユリア・メラミンおよびフェノール樹脂接着剤は１０％、イソシアネート系接着剤は５％とした。目標ボード比重を０．６として、40cm×40cm×1cmの単層ボードを製造した。熱圧温度は、ユリア樹脂は130℃、ユリア・メラミン樹脂は150℃、フェノール樹脂とイソシアネート系は170℃とし、圧締圧力は35kgf／cm²、時間は8分とした。

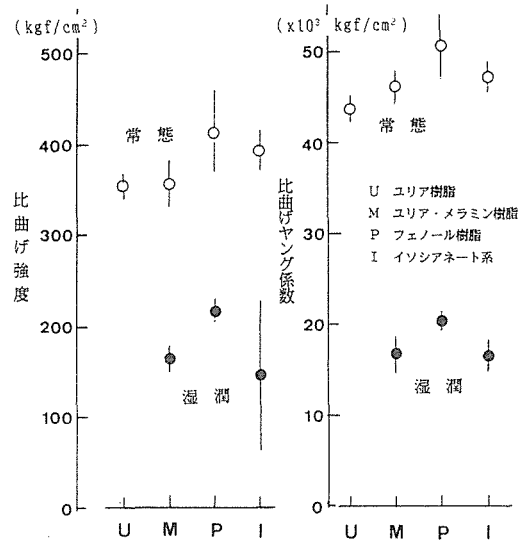


図１　ＣＣＡ処理故材ボードの曲げ性能

ＣＣＡ処理故材ボードの常態比曲げヤング係数（曲げヤング係数をボード比重で除した値）は、フェノール樹脂を使用したボードが最も高い値を示し、フェノール樹脂およびイソシアネート系接着剤を用いたボードは、ともにＪＩＳの２００タイプに合格しているが湿潤時の残存率は50％を下回り、耐水性能が低い。比曲げ強度は、いずれもＪＩＳの２００タイプに合格し、特にフェノール樹脂ボードの曲げ性能が優れている（図１）。

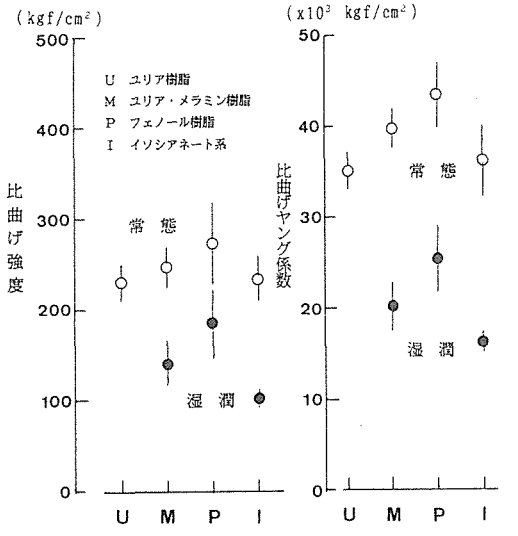


図２　クレオソート処理故材ボードの曲げ性能

クレオソート処理故材ボードの常態比曲げヤング係数も、フェノール樹脂ボー

ドが最も高い値を示し、湿潤時の残存率は７７年製の故材を原料としたボード（図２）では５８％、ユリア・メラミン樹脂ボードのそれも5.2％となるが、圧縮比（ボード比重／原木比重）がＣＣＡ処理故材よりも小さいため、曲げ性能がＣＣＡ処理故材ボードよりも低く、このような構造用接着剤の場合でもＪＩＳの１５０タイプに合格する程度である。イソシアネート系接着剤を用いたボードの曲げ性能は、供試接着剤中で最も低いが、処理薬剤に硬化阻害成分が含まれている可能性がある。なお、クレオソート処理故材ボードの曲げ性能に関しては、製造年代が変化しても、比曲げ強度および比曲げヤング係数の両者で有意差は認められなかったが、いずれもフェノール樹脂を用いたボードで高い曲げ性能が得られた。

ＣＣＡ処理故材ボードの常態比はく離強度は、ユリア・メラミン樹脂接着剤で11.6kgf／cm²であるが、湿潤処理後に気乾状態に調湿した後のはく離強度は、常態時の63％に低下する。一方、フェノール樹脂接着剤では、常態時が9.3 kgf／cm²であるが、湿潤・乾燥後は常態時の86％を保持しており、フェノール樹脂がＣＣＡ処理故材ボードに対して高い耐水性を持っているとみられる。それに対して、イソシアネート系接着剤では、曲げ性能と同様に、常態および湿潤比はく離強度ともに、４接着剤間で最も低い値を示した（図３）。

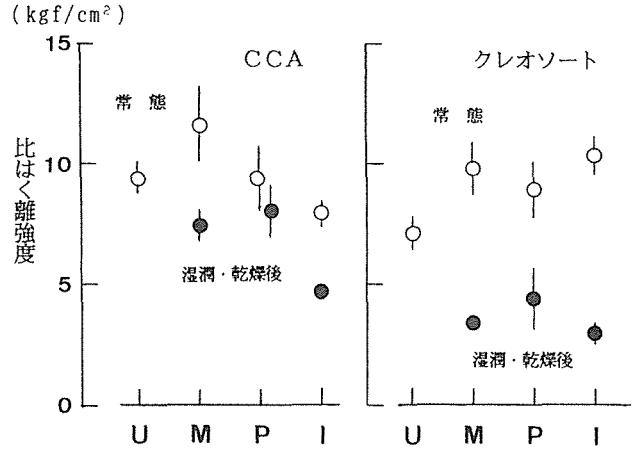


図３　ボードの比はく離強度

クレオソート処理故材ボードの場合の常態比はく離強度は、全ての接着剤でＪＩＳの２００タイプに要求される性能を満足している。ＣＣＡ処理故材ボードの場合とは反対に、イソシアネート系接着剤での常態比はく離強度が高くなっているが、湿潤・乾燥後の比はく離強度では常態時の約28％、またユリア・メラミン樹脂接着剤では35％と非常に低い値となり、促進劣化処理後の強度低下が著しい。また、フェノール樹脂接着剤の場合は、湿潤時のはく離強度は常態時の48％であり、４種類の接着剤中では最も耐久性があることを示した。なお、図３には、７７年製の故材の結果を示したが、その他の年代の場合も、ほぼ同様の結果となった。

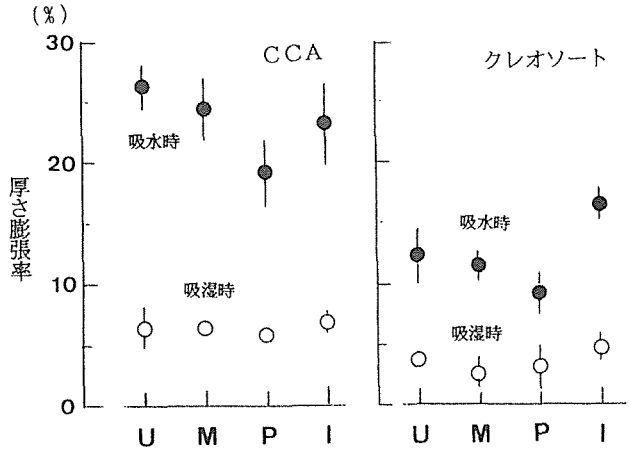


図４　ボードの厚さ膨張率

ＣＣＡ処理故材ボードの含水率１％当たりの板面寸法変化率は、0.013～0.019％／％の範囲にあり、

	接着剤間での有意差は認められない。また、床下地用パーティクルボードの板面寸法変化率は0.03％／％とされているので、これらの値はその１／３程度の低い値を示し、優れた面内寸法安定性を持つことが明らかとなった。 クレオソート処理故材ボードの板面寸法変化率は、いずれのボードでも0.02％／％程度であり、この場合も各接着剤間および年代間でも有意差は認められなかった。 24時間吸水厚さ膨張率（図４）は、ＣＣＡ処理故材ボードでは各接着剤ともに、大きな値を示しており、ＪＩＳ規格値（12%以下）をはるかに越えているが、これは圧縮比が大きいことに原因している。クレオソート処理故材ボードの場合は、ＣＣＡ処理故材のそれの約半分の吸水厚さ膨張率を示し、クレオソート処理故材ボードの圧縮比が小さいことが原因して、スプリングバック量が少なくなったものと推察される。また図４には、２０℃で相対湿度９０％にした場合のボードの厚さ膨張率（２０℃、相対湿度６０％の時の寸法を基準にして計算した）を示した。厚さ膨張率に関しても、年代間では有意差は認められなかった。
活用の方法	ＣＣＡ処理およびクレオソート処理故材を原料としたパーティクルボードの製造およびその材質について検討したが、ＣＣＡ処理故材の常態接着力にはあまり問題はないので、チップ化して接着することにより容易に再構成ボードとすることができる。しかし、処理故材内のＣＣＡ薬剤の分布状態を調べた結果、薬剤は表面付近の僅かな部分にしか浸潤していないことが明らかになり、そのような故材をチップ化しても、パーティクル全てが保存薬剤処理されているわけではないので、再構成したパーティクルボードに十分な耐朽性を期待することはできないであろう。クレオソート処理故材の場合には、フェノール樹脂接着剤との相性がよいので、高耐朽性のパーティクルボードが得られる可能性があるが、ボードの色と臭いが強烈であるので、このまま住宅部材として用いることはむずかしいであろうが、外構用部材としては十分利用できるものと思われる。
今後の課題	保存処理故材の接着性能について検討し、ＣＣＡおよびクレオソート油防腐薬剤の常態接着性能に対する影響はほとんど認められず、接着不良も観察されなかったが、今後、材料の構造用途としての適性を明らかにするためには、接着耐久性についての検討が必要である。また、保存処理故材を原料としてイソシアネート系接着剤でパーティクルボードを製造する場合には、保存薬剤がイソシアネート系接着剤の硬化に及ぼす影響について明らかにしておく必要があろう。 なお、今回使用した原材料は手解体により得られたものであり、また故材が処理された時期の明確なものについて検討したが、実際には種々の年代を経た様々の樹種のものが廃棄物に含まれるものと思われる。ボード原料として様々な樹種が混入する場合には、ボードの材質が一定しない場合があるので、そのような点についても明らかにしておく必要があろう。

テ　ー　マ	保存処理廃材を原料にしたパーティクルボードの防腐・防蟻性能
開発の目的	保存処理は耐久性を付与し、使用年限を延長するとともに使用期間中の性能低下を阻止するために行われるものである。そのため、建築物の取壊しやまくら木・電柱の撤去で生じる保存処理廃材は、素材と比較すると優れた保存性能（防腐・防虫・防蟻性）を備えていると判断される。保存処理廃材を他の無処理廃材から分別し、その優位性を活用した再　利用技術の開発は重要である。しかしながら、１９７０年代半ばから商業化された可燃性建築廃材のエネルギー源としての利用と除くと、再資源化されていないのが現実である。　わが国では、保存薬剤で処理された木材の廃棄時の処分方法としては、焼却や地中への埋設などが想定されるが、環境への影響を考慮すれば、最善の方法とは判断できない。 一方、保存処理廃材の再利用に関する研究・開発の事例はほとんどなく、今後の研究・開発努力が大いに期待されるところである。電柱やまくら木は勿論のこと、第二次世界大戦後に急速に一般木造住宅に取り入れられた防腐・防蟻処理土台や最近では保存処理された部材を利用した外構建造物などが将来的には保存処理廃材の源になることは疑う余地がない。保存処理廃材の再利用としては、回収された廃材、即ち原料の形状を小さくして他の材料への変換を図ることが一般的な発想である。そこで、今回は回収されたＣＣＡ２号処理ベイツガ大引およびクレオソート油処理ケンパスまくら木からパーティクルを調製し、それらを原料にして製造したパーティクルボードの防腐・防蟻性能を室内試験で検討し、保存処理廃材の再利用化実現の一助とする。
開発の内容	保存処理木材が廃棄される場合の分別・回収システムの確立に始まり、再利用が終了し、再々利用や廃棄処分に至る全工程が環境への影響を除去あるいは、軽減できるような再利用方法の開発が緊急かつ極めて重要である。この共通した認識に立脚し、保存処理廃材からの薬剤成分の抽出・回収・再資源化（再利用）、保存処理廃材の形状を小型化して再利用する１手段としてのパーティクルボードの製造、製造したパーティクルボードの物理・力学的性能および保存性能を検討した。当該テーマでは、最後の検討項目である

	パーティクルボードの防腐・防蟻性能を検討した。素材の場合と異なり、パーティクルボードの保存性能は、使用されている保存薬剤の効力持続期間内であっても、吸湿による寸法や形状変化にともなう接着強度の低下や接着不良による剥離が実用の継続を不可能にする。すなわち、試験的に製造されたパーティクルボードの諸性能が同時に解明されなければ、保存処理廃材の再利用技術の開発は困難である。
成果の概要	（１）クレオソート油とＣＣＡの基本的木材保存性能 これから廃棄される保存処理木材は、クレオソート油とＣＣＡが使用されていることが多いことから、これらの保存薬剤の基本的木材保存性能を既往の研究から検討した。 クレオソート油は、原液のまま木材１立米当り１００～３００ｋｇが注入される。耐候性や溶脱抵抗性が高く、長期の効力持続が期待されることからまくら木や電柱の処理に利用されてきた。室内試験および野外試験結果もこれらの事実を支持するものである。 ＣＣＡは、水溶性で注入処理後の乾燥過程で木材中に固着するため、クレオソート油と同じく、接地条件の腐朽や蟻害の危険性が高い使用環境で実用される木材の処理に適しており、通常５～７ｋｇ／m^3の吸収量で処理されることが多い。樹種によっＣＣＡによる処理効果が異なり、室内腐朽試験から樹種別に腐朽抑制の最低吸収量を求めると、スギ、ベイツガ、ラジアータパインでは、各々２～４、７～９、４．５～９ｋｇ／m^3であった。 ほぼ同レベルの吸収量で高い防蟻性が得られることも知られている。 （２）保存処理廃材を原料に製造したパーティクルボードの防腐性 ＪＩＳ　Ａ　９２０１（１９９１）に規定されている腐朽試験方法にしたがって室内試験を実施し、腐朽による質量減少率を求めた。試験体はパーティクルボードから採取した寸法２．５ｃｍ平方ｘ１ｃｍ（ボード厚さ）であり、各供試菌（白色腐朽菌：カワラタケ、褐色腐朽菌：オオウズラタケ）について９枚を用意した。 クレオソート油処理したケンパスまくら木から得たパーティクルを原料に製造したボードは、質量減少率からすると腐朽菌による侵害をほとんどうけなかった。ボード製造に使用した接着剤の種類による差異は認められなかった。一方、ＣＣＡ２号で処理ベイツガ大引から製造されたパーティクルボー

ドでは、予想外に腐朽抵抗性が低く、ボード製造に使用した接着剤のや供試菌の種類にかかわらず、２種の腐朽菌によって１０％以上の質量減少率が生じた。

（３）保存処理廃材を原料に製造したパーティクルボードの防蟻性

処理薬剤の種類やボード製造に用いた接着剤の種類に関係なく、良好な防蟻性が得られた。すなわち、シロアリの食害に起因する重量減少率が低く、２１日の試験期間中に全供試シロアリが死亡した。

（４）保存処理廃材を原料にしたパーティクルボードの無殺菌土壌による腐朽後の曲げ強度の低下

４０ｘ１８０ｘ１０ｍｍの試験体の中央部６０ｍｍを無殺菌土壌に接触させ、７あるいは１２週間腐朽させた。腐朽による質量減少率、試験体回収時の含水率を求めた後、スパン１６０ｍｍ、３点支持、中央集中荷重で曲げ試験を行った。測定された曲げ強度と曲げヤング率を腐朽前のそれらと比較して残存率を算出した。

回収時の含水率は１４～２１％で、腐朽期間の影響はほとんど認められなかった。平均質量減少率は１．２～４．５％で、対照にしたベイツガ素材の０．３％と比較すると大きく、室内試験での単一菌種による腐朽と複雑な微生物相が関与する無殺菌土壌では、腐朽の様相が異なることを示唆した。

図１および２にそれぞれ曲げ強度残存率と曲げヤング率残存率示す。図中ＵＦ，ＵＭＦ，ＰＦ，ＭＤＩはパーティクルボード製造に利用した接着剤であり、それぞれユリア、ユリア・メラミン、フェノール、イソシアネートである。

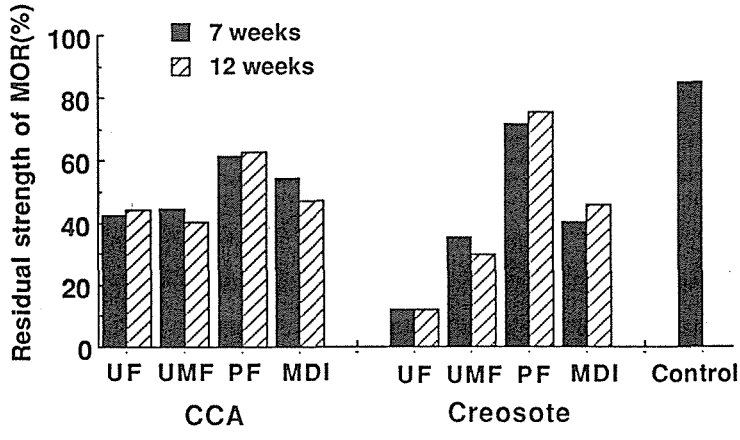


図１　無殺菌土壌接触後のパーティクルボードの曲げ強度残存率

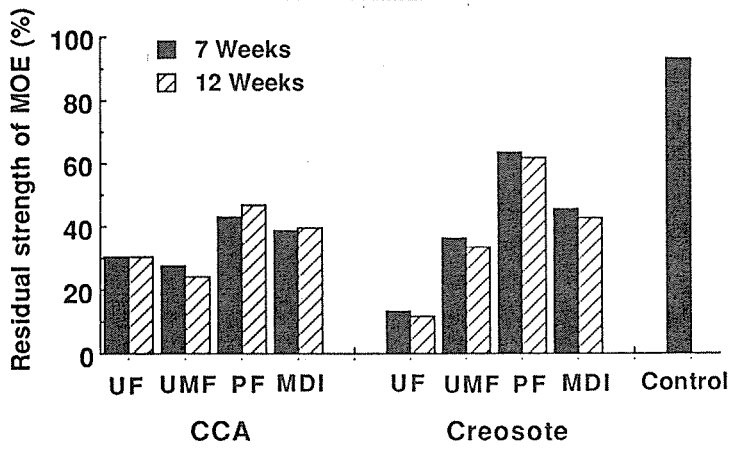


図２　無殺菌土壌接触後のパーティクルボードの曲げヤング率残存率

図に示したように、試験体中央部の微生物による劣化は曲げ性能に大きく影響した。また、生物劣化抵抗性では判然としなかった接着剤の影響も顕著に認められ、耐水性が大きい接着剤の残存強度が高い傾向があった。ベイツガ素材との比較から、パーティクルボードの残存率がきわめて低いと判断され、接着剤とパーティクル、とくに接着剤周辺部のパーティクルの劣化が原因であると推定された。

成果の活用方法	ＣＣＡ処理廃材から製造されたパーティクルボードの腐朽抵抗性は予想外に低かったとはいえ、防蟻性が高かったことから、「腐朽の危険性があまりなく、防蟻・防虫を配慮する必要のある部材の代替品」として実用できる可能性があろう。一方、クレオソート油処理材からのパーティクルボードは、防腐・防蟻性が高い反面、特有の臭気があるため屋内使用には不適である。屋外で雨露の影響をほとんど受けない箇所に用いることが考えられよう。
今後の課題	ベイツガは薬液による注入処理性が良好でなく、薬液の浸透や分布の均一化を助長するインサイジングが施されることが多い。したがって、回収された保存処理廃材の内部には薬液が浸透していないと考えられる。この部分を除外せずにパーティクルの原料にすれば、満足できる生物劣化抵抗性は期待できない。保存処理廃材の厳密な選別と同時に、廃材からの薬剤処理部の採取、利用が製造されるパーティクルボードの防腐・防虫・防蟻性を保証するものである。

テーマ	保存処理廃材の紙・パルプへのリサイクル利用上の問題

研究の目的

薬剤処理解体材の多くは土台や大引などの骨組み材料であり、解体材としてチップ化される場合には、通常分別段階で燃料用に回されている。しかし、解体材のリサイクル利用が進むにしたがって、薬剤処理廃材が紙・パルプ用解体チップに混入する場合も十分に予想される。

ここでは、ＣＣＡおよびクレオソート油処理故材が紙・パルプ用解体チップに混入、利用された場合を想定して、蒸解工程や解繊工程における薬剤の経路や行き先を実験的に明らかにして、その問題点を考察した。したがって、本研究は今後の紙・パルプ製品の安全性管理や工場廃液・排水処理を考える際の基礎資料となるものである。

研究の内容

（１）供試材料

使用期間１５年（1977－1992）のケンパス（*Koompassia malaccencis* Maing. ex Benth.）まくら木および築後15年（1977－1992）の鉄骨プレハブ住宅の解体材からベイツガ（*Tsuga heterophylla* Sarg.）大引の試料を採取し、これをチップ化して、分析用サンプルとした。前者はクレオソート油処理が、また後者はＣＣＡ（２号）処理がなされている。ケンパスおよびベイツガの全乾比重は、それぞれ0.84および0.53であった。

（２）チップの蒸解・解繊と試料の採集

蒸解容器（オートクレーブ）に、200メッシュpassの木粉を除去した全乾重量300ｇのチップと所定量の白液および水を加え、表１に示す条件下で蒸解したのちブローによって常圧に戻した。このとき排出される黒液はほぼ回収された。

一方、オートクレーブに残ったパルプ（若干の黒液を含む）は、大型のＴＡＰＰＩ解繊機で解繊後、フラットスクリーンで洗浄した。スクリーンを通過したメッシュ袋上のウエットパルプの重量を測定したのち、乾燥して、パルプ濃度および未晒しパルプ歩留りを算出した。パルプ濃度および未晒しパルプ歩留りは、ケンパスの場合、それぞれ31.2％、および41.8％、ベイツガでは25.1％および44.4％であった。なお、スクリーン未通過のものには、とくにケンパスの場合、大きな道管が多く認められた。なお、洗浄の際、微細物質やアルカリを洗浄水で中和したときに排水として流出する物質の回収は行われていない。

蒸解ならびに解繊工程のフローチャートを図１に示す。

表１　蒸解条件

項　目		① 米ツガ（大引材）	② ケンパス（古枕木）
チップ重量			
風乾	g	342.0	346.0
絶乾	g	300.0	300.0
水分	%	12.3	13.3
白液濃度(as Na2O)	g／l	108.3	108.3
硫化率	%	25.1	25.1
ｱﾙｶﾘ添加率	%	20.0	20.0
液比		4.5	4
全液量	ml	1350	1200
添加白液量	ml	554	554
チップ水分量	ml	42	46
追加水	ml	754	600
昇温時間	min	30	30
最高温度	°C	170	170
最高保持時間	min	120	120
最高圧力	kg／cm2	6.7	6.7

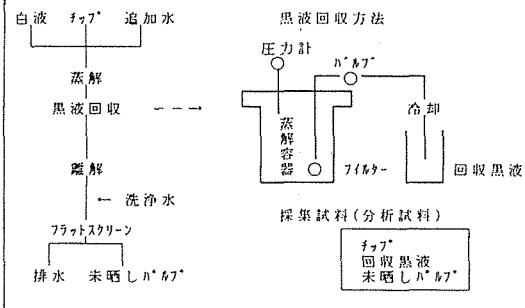


図１　蒸解ならびに解繊工程のフローチャート

（３）Ｃｕ・Ｃｒ・Ａｓおよびクレオソート油の分析法

１）Ｃｕ・Ｃｒ・Ａｓの定量分析

分析用試料はケンパスおよびベイツガの２樹種について、それぞれの故材チップ、回収黒液、未晒しパルプおよび蒸解の際に加えた白水・追加水である。チップについては、約１００個のチップをランダムに採取し、各チップから１部をナイフで削り取り、分析用試料とした。また、残りのチップも灰化し、Ｃｕ・Ｃｒ分析の一部とした。

底質調査方法（環水管第１２７号）およびＪＩＳ－Ｋ０１０２（工場排水試験法）に準じ、試料中のＣｕ、ＣｒおよびＡｓ含有量を測定した。すなわち、ＪＩＳ－Ｋ０１０２に規定される硝酸・硫酸分解法を用いたのち、前２者の場合は原子吸光光度法により、また後者の場合はジエチルジチオカルバミン酸銀吸光光度法により、それぞれの含有量を測定した。

２）クレオソート油の定量分析

クレオソート油定量分析のための、実験法および分離法は未だ十分に確立していない。ここでは簡易試験法として、分光光度計による測定を試みた。すなわち、クレオソート油にはクレゾール系、フェノール系、ナフトール系などの物質が含まれており、それらはいずれも化学構造的に紫外線吸収のある物質である。そこで、標準クレオソート油（越井プレザービング株式会社製）のクロロホルム抽出物を分光光度計（吸収ピーク：２５４ｎｍ）で測定し、これを基準として各試料のクロロホルム抽出物を測定し、クレオソート油の定量を試みた。

成果の概要

（１）Ｃｕ・Ｃｒ・Ａｓの分析結果

故材チップ、回収黒液、未晒しパルプおよび蒸解の際に加えた白水・追加水それぞれの試料１ｋｇ中に含まれるＣｕ・Ｃｒ・Ａｓ含有量（ｍｇ）の分析結果を表２に示す。当然ながら、ＣＣＡ処理されたベイツガ以外の試料にはこれらの元素の検出はほとんど認められない。

一方、ベイツガ各試料には、いずれにもＣｕ・Ｃｒ・Ａｓ成分の残存が認められる。このほかに、本実験では回収されていないので明らかではないが、フラットスクリーン洗浄時に流出した排水にも相当量の成分がふくまれているものと推定される。なお、ベイツガチップからのＣｕ・Ｃｒ・Ａｓ成分の移動バランスについては（３）において論じる。

表２　Ｃｕ・Ｃｒ・Ａｓ含有量の分析結果

	Cu	Cr	As
使用市水	< 0.5	< 0.5	< 0.1
使用白水	< 0.5	< 0.5	< 0.1
ｹﾝﾊﾟｽﾁｯﾌﾟ	< 2.0	< 2.0	< 5.0
ｹﾝﾊﾟｽ回収黒液	< 1.0	< 1.0	< 0.5
ｹﾝﾊﾟｽ未晒しﾊﾟﾙﾌﾟ	<10.0	<10.0	< 1.0
米ﾂｶﾞﾁｯﾌﾟ	600	750	1800
米ﾂｶﾞ回収黒液	9.3	79	180
米ﾂｶﾞ未晒しﾊﾟﾙﾌﾟ	520	170	62

（単位 mg/Kg　ﾁｯﾌﾟ・ﾊﾟﾙﾌﾟは絶乾重量）

（２）クレオソート油の分析結果

各試料１ｋｇに含まれるクロロホルム抽出物濃度および標準クレオソート換算量の分析結果を表３に示す。ベイツガ試料については吸収ピークパターンがクロロホルム抽出物のそれと異なるという基本的な問題のほか、抽出物に占めるクレオソート油の量が10％以下であったので、ここでは議論から除外する。

ケンパス試料ついては、チップ、回収黒液、未晒しパルプから得られた抽出物のうち、クレオソート油の量はそれぞれ８１％、４４％および６７％であった。なお、ケンパスチップからのクレオソート油の移動バランスについては、（３）において論じる。

表３　クレオソート油含有量の分析結果

	クロロホルム抽出物濃度		クレオソート油原液換算（提供物）
	抽出物	クレオソート油	
使用市水	－－	－－	－－
使用白水	－－	－－	－－
ケンパスチップ	50.0	40.4	67
ケンパス回収黒液	1.46	0.64	1.1
ケンパス未晒しパルプ	35.4	23.7	40
米ツガチップ	10.4	－－	－－
米ツガ回収黒液	0.44	－－	－－
米ツガ未晒しパルプ	8.89	－－	－－

（単位　g/Kg　チップ・パルプは絶乾重量）

（３）薬剤の移動経路

全乾重量３００ｇｒのベイツガおよびケンパスチップに含まれる薬剤各成分の移動バランスを表４に示す。表より、ＣＣＡ処理されたベイツガ故材に含まれる薬剤のうち、Ｃｕは主として未晒しパルプに残留するのに対し、ＣｒおよびＡｓは回収黒液に主として残留する。前者については、セルロースがＣｕを強く吸着するためと推定される。一方、洗浄時に排水中に混入したと推定される未回収成分はいずれもも４２％～５４％に達する。

ケンパスチップに含まれるクレオソート油もまた回収黒液や未晒しパルプ中にそれぞれ７％および２５％が残留していることが認められたが、未回収部分が６８％に達している。ケンパスチップにおいては、洗浄時の排液として流出したもののほか、蒸解容器に付着しているものも多く認められた。

表４　ベイツガおよびケンパスチップに含まれる薬剤各成分の移動バランス

	米ツガ			ケンパス
	Cu	Cr	As	クレオソート油
チップ	180	225	540	20100
回収黒液	13	107	243	1320
パルプ	69	23	8	5020
合計	82	130	251	6340
未回収？	98 (54%)	95 (42%)	289 (54%)	13760 (68%)

単位：ｍｇ／全乾チップ３００ｇ

活用の方法	薬剤処理故材を原料にパルプ蒸解実験を行い、蒸解およびパルプ化工程における薬剤の移動経路を大筋で明らかにした。すなわち、 1）ＣＣＡ処理ベイツガの場合、Ｃｕは未晒しパルプに、逆にＣｒおよびＡｓは回収黒液に比較的多く残留することが認められた。また、いずれの成分も未回収排液中におよそ５０％程度流出していることが推定された。 2）クレオソート油処理ケンパス故材の場合、未晒しパルプに多く（25％）残留するが、未回収排液にもおよそ６８％が流出することが推定された。 3）ベイツガのＣＣＡ成分およびケンパスのクレオソート油成分共に、蒸解後の回収黒液、洗浄水、未晒しパルプに別れて残留する。 したがって、薬剤処理廃材がパルプチップに混入した場合には、黒液回収工程、洗浄水の回収浄化工程、および未晒しパルプの使用の各段階で適切な対応を取ることが必要である。 薬剤処理チップが混入した場合には、製品である紙の用途は制約を受けざるを得ないが、ダンボールなどの利用が考えられる。また、断熱材として積極的に建材への用途展開をはかることも可能であろう。いずれにしても、今後の製品の安全管理や工場廃液・排水処理に対する対策を講じるうえで、有益な示唆が得られた。
今後の課題	1）未回収排液中の残留成分の検討 2）黒液、洗浄水の浄化、廃液・排水処理の検討 3）未晒しパルプ中の薬剤の除去、製品の安全管理に関する検討

テーマ	保存処理廃材からの薬剤の分別回収技術
開発の目的	わが国ではＣＣＡ処理木材は1960年代から生産され，現在では年間約30万m^3生産されている．したがって，使用当初から既に30年近く経過しており，順次廃材として排出されていくものと推定される．一般に，廃木材は構造材や製紙用原料として再利用されるものもあるが，残りは焼却処理されている．焼却される廃材の中にＣＣＡで防腐処理された木材が混入していると，廃ガス中にヒ素が混入したり，焼却灰に高濃度のクロム，銅およびヒ素が含まれたりして環境汚染を引き起こす恐れがある． これらのＣＣＡ防腐木材の処理・処分方法には，①重金属を補集できる廃ガス処理施設を完備した炉で焼却処理し，その焼却灰に重金属の溶出防止策を施したのち埋立処分する方法，②破砕したのち埋立処分する方法，③溶媒に重金属を抽出させて除去する方法などが考えられる．このうち①の方法では，燃焼廃ガスにヒ素が含まれ，その除去技術が必要になるばかりでなく，高濃度の重金属を含む焼却灰を生み出すことになる．また，②の方法では，埋立処分地内で腐敗分解し，長期にわたって高濃度の有機成分を含む浸出汚水を発生させることになる．これに対して③の方法では，抽出薬剤によってこれら重金属を木材から確実に除去し，生じる廃液を防腐処理薬剤として再利用できる可能性を秘めているものである． そこで，ＣＣＡ処理木材から銅，クロム，およびヒ素を湿式で抽出除去する際の基礎的な抽出条件に関して実験的に検討を行った．また，抽出処理法の実用化を考慮した場合の連続処理装置の設計・操作因子と処理効果との関係を類推するために，数値計算を行った．さらに，溶媒である希硫酸中に回収されたＣＣＡ薬剤成分，すなわちクロム，銅，ヒ素　を再度ＣＣＡ薬剤として再利用するための処理方法について検討を加えた．
開発の内容	本技術開発は，ＣＣＡで薬剤処理され，チップ化された廃木材から，薬剤成分であるクロム，銅，およびヒ素を抽出除去するための条件について実験的に検討したものである．また，連続的に抽出処理する際の装置の操作・設計因子と得られる抽出廃液中の銅，クロム，ヒ素濃度を求める計算方法を示した．さらに，抽出廃液を再度CCA薬剤として再利用するための処理条件についても検討したものである．
成果の概要	(1) ＣＣＡ処理廃木材からのクロム，銅，およびヒ素の抽出条件 まず，抽出処理に適切な溶媒とその溶媒濃度について検討するため，硫酸をはじめ塩酸，硝酸などの鉱酸や有機酸，パルプ製造時に用いる中性またはアルカリ性の蒸解薬剤を比較検討した．その結果，鉱酸を用いた場合の銅，クロム，ヒ素のいずれの抽出率も80％以上の高い値を示したが，これら以外の溶媒ではいずれかの抽出率が極端に低い値を示した．また，硝酸を用いた場合，溶媒中に難分解性とみられる有機物が同時に多く抽出されることがわかった．さらに，塩酸は揮発性酸であることも考慮すると，不揮発性である硫酸が溶媒として適切であると判断された． つぎに，適切な溶媒温度について検討したところ，抽出温度が上がるにしたがっ

成果の概要（続き）	

て各々の抽出率が高くなり，80℃から120℃では95％以上の高い値を示した．ただ，抽出温度を100℃以上にしようとすれば，加圧処理を行う必要が生じて装置の構造が複雑になり，より多くのエネルギーが必要になるため，温度は100℃以下に設定することが望ましいといえる．したがって，適切な抽出温度の範囲は80～100℃であると判断された．

さらに，抽出処理に必要な抽出時間について，木材チップの大きさと溶媒である硫酸濃度との関係を調べたところ，木材チップが大きくなるにつれて当然のことながら抽出時間は長く必要になり，溶媒である硫酸の濃度が高いほど抽出時間が短くなる結果が得られた．また，３つの元素のうち，クロムの必要抽出時間が他の２つの元素の値より大きい傾向があった．木片が20mm以下では，0.25N～1N程度の硫酸で約5時間抽出処理を行うことで95％以上の銅，クロム，ヒ素が除去できた．ただ，抽出処理によって微生物分解されにくいと考えられる有機性の炭素も同時に抽出されることがわかった．

(2) 抽出処理システム

抽出処理における上述のような処理基本条件をもとに，連続処理装置を具現化すると図１のような概略図を描くことができる．図１では抽出槽が5槽の場合の概略図を示しているが，抽出槽にはそれぞれ80～100℃に熱せられた希硫酸を入れる．ＣＣＡ防腐処理廃木材は，あらかじめ10～20mmの大きさのチップに加工した後，一定量ずつ耐酸性の容器に入れて移動式クレーンでつり下げ，図の矢印のように順次抽出槽内に浸漬させて重金属を溶媒に抽出させる．抽出操作を続けることによって，左端の抽出槽から，重金属を含んだ抽出廃液が排出され，逆に抽出処理されたチップが図の右方向に送られることになる．

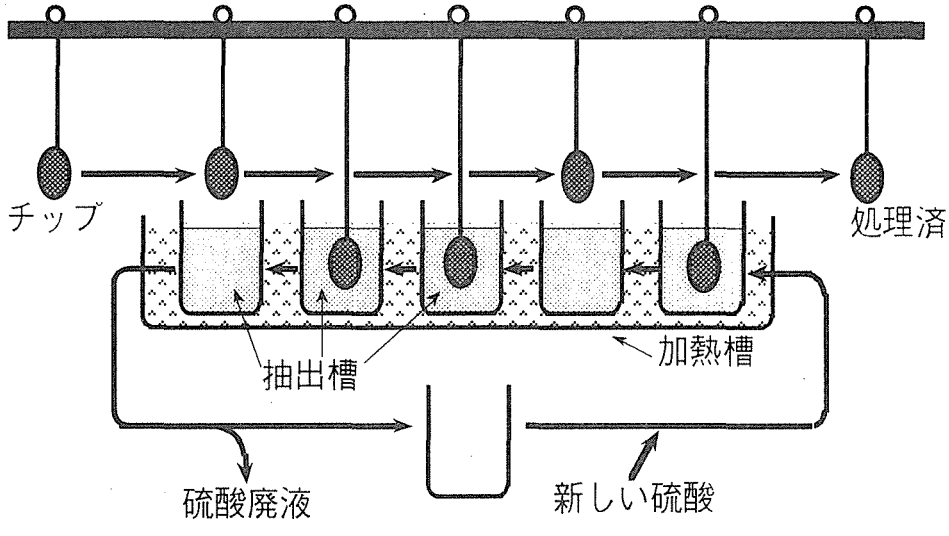


図1　多段槽抽出処理方式の概略図

成果の概要（続き）	この場合，物質収支と実験で得られた抽出速度係数から，抽出槽における浸漬時間，１槽あたりの溶媒の液量，単位時間当たりの処理チップ量から抽出廃液中の銅，クロム，ヒ素濃度を求める計算方法を示すことができた． (3) CCA処理廃木材からの抽出廃液の木材防腐剤としての再利用方法 抽出廃液をＣＣＡ薬剤として再利用するために必要な条件は，①有効成分の濃度（銅，クロム，ヒ素各々の酸化物としての濃度の和）が1%以上であること，②JIS-A9201に定められた木材防腐剤としての性能基準を満たすこと，③クロム，銅，ヒ素がすべて最高酸化数であること，の３つである． 予備実験から，抽出廃液の有効成分濃度が約1,300mg/Lと低いことと，硫酸イオンを多量に含んでいることがわかった．そこで，抽出廃液中の有効成分濃度を高める方法と，抽出廃液からの硫酸イオンの除去方法について検討した． 有効成分濃度を高めるには，水分を蒸発させる方法と，抽出廃液を抽出液として繰り返し使用することによってより多くの廃木材から有効成分を抽出する方法が考えられる．実験を行ったところ，いずれの方法でも目標である有効成分濃度：10,000mg/Lを満足できることがわかった．ただ，前者の方法では，除去すべき硫酸イオンの濃度も同時に高くなるが，後者の方法では硫酸イオン濃度があまり変化しなかったことから，後者の方法がより望ましいものであるといえる． 次に，抽出廃液からの硫酸イオンの除去方法には，化学的な除去方法の適用性を検討することとし，$Ca(OH)_2$を添加することによって抽出廃液中の硫酸イオンを硫酸カルシウム（石膏）として沈殿分離・回収する方法の適用性について検討した．この場合，ＣＣＡ薬剤に関する旧JIS規格で1号Aとして定められていたものを硫酸イオンの除去目標値とした．すなわち，旧JIS規格では，CCA薬剤成分の規格としてクロム，銅，ヒ素それぞれの含有量を，$K_2Cr_2O_7$，$CuSO_4 \cdot 5H_2O$，$As_2O_5 \cdot 2H_2O$の化合物に換算した値で規定されており，銅と等しいモル数まで硫酸イオンの混入を認めていることになる．そこで，この旧JIS規格による硫酸イオン濃度（すなわち，銅イオン１mg/ℓあたり0.0157mmol/ℓの硫酸イオン）を今回の除去目標値として扱うこととした． 実験の結果，$Ca(OH)_2$を添加するにつれて，液のpHが高くなり，残留する硫酸イオン濃度が低下することがわかった．しかし，硫酸イオン除去目標値と実験結果を対比すると，目標値を満足させるためには廃液中の有効成分濃度を10,000ppmまで高めた後，$Ca(OH)_2$を添加してpHを2.5以上にする必要があることがわかった． そこで次に，$Ca(OH)_2$添加による抽出廃液中のクロム，銅，ヒ素の沈殿への移行の有無を調べた．その結果，いずれも処理前の有効成分濃度が高いほどpHが高くなるにつれて沈殿へ移行しやすくなることがわかった．また，pHが2以下であれば沈殿にはあまり移行しないことがわかった．これらの結果を総合すると，今回の実験からは，硫酸イオンの除去と沈殿へのクロム，銅，ヒ素の移行の両方を満足する条件を得ることはできなかった．

成果の活用方法	動植物などの自然環境や人体に対する毒性・発ガン性などを有する物質による汚染が注目されるようになり，これらを含んだ製品の製造工程だけでなく，流通，消費，および廃棄段階に至るそれぞれの工程で「環境」に対する負荷の軽減が求められつつある．このような中で，クロム，銅，ヒ素という重金属を含むCCA防腐木材の廃棄時における環境負荷の軽減についても何らかの対応が必要となってくると予想される． 今後，廃棄量が増加すると予測されている防腐木材に対して，今回開発した抽出処理技術が実用化すれば，含まれているクロム，銅，ヒ素の95％以上が除去でき，自然環境中への拡散を未然に防ぐことができるとみられる．さらに，今回の結果からは満足できる結果が得られなかったが，抽出処理で得られる廃液からCCA薬剤を回収・再利用できれば，天然資源を保護でき，木材防腐業界の循環型産業への転換を可能とする非常に意義深い技術であるといえる．
今後の課題	1)今回の結果からは，抽出廃液からの硫酸イオンの除去が目標値を満足することができなかったため，$Ca(OH)_2$以外の薬品による化学的な除去法か，物理的あるいは電気化学的な方法等による硫酸イオンの除去条件を見いだす必要がある． 2)抽出廃液から回収されたCCA薬剤成分の防腐性能についての検討が必要である． 3)抽出処理操作のスケールアップ時の諸問題についての検討が必要である． 4)廃木材には防腐処理されていないものが多く含まれるため，抽出除去の効率化の観点から，CCA処理された木材を廃木材の中から選別する方法について検討する必要がある．