

平成6年度 農林水産省補助事業
木質資源利用分野開発促進対策事業費

木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書

平成7年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

再資源化技術開発事業報告書目次

まえがき	1
調査研究要綱	2
第1章 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	7
*チップの形状評価、3層ウエファーボード	
第2章 木質廃棄物の粉碎技術	21
*廃コンクリート型枠の粉碎方法	
第3章 廃コンクリート型枠等を利用したボードの開発	38
*セメントボード、パーティクルボードの製造	
第4章 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	54
*適性脱型時間・養生期間の検討、実大セメントボードの製造等	
第5章 パーティクルボード製造技術の開発	83
*構造用パーティクルボード（OSB）の製造	
第6章 木質残廢材の炭化と炭化物の吸着性能	91
*吸着性能・吸湿性能、樹種による性能	
第7章 炭化技術と炭化物の機能利用開発	109
*土壌改良材としての機能	
第8章 木炭を利用した水質浄化法	123
*木炭の微生物担体としての機能	
第9章 木炭による床下気象環境の改善に係る効果調査	135
第10章 木質系水産資源の開発	172
*木材、セメント複合人工藻礁の試作、海草の繁茂状況調査	
第11章 木材の液化技術の開発	199
*フェノール化木材の製造、成形物の生分解	
第12章 保存処理木材の分別技術と再利用技術の開発	231
*分別集荷、薬剤の回収技術	
第13章 薬品処理廢材の再利用技術の開発・性能評価	253
*パーティクルボードの耐久性、力学的性質	
第14章 木質資源の有効利用による炭素固定と放出量削減	261
*既存資料の整理、枠組壁工法住宅の建設時の炭素放出量	

まえがき

地球規模の環境悪化を防ぐため、再生資源の利用促進の重要性が世界的に認識されつつあり、これを受けて、林野庁では、平成4年度から5か年の事業として、「木質廃棄物再資源化技術開発事業」をスタートさせた。この事業は、①発生・再利用実態調査事業、②発生抑制・環境保全技術開発事業及び③再資源化技術開発事業の三つからなっていたが、①については、平成5年度で事業が終了したので、ここにまとめられたのは、②と③の事業である。

平成6年度に取り上げられた課題は多岐にわたっているが、中でもパーティクルボードやセメントボード等ボード類への利用、それと木炭としての多角的利用についてのテーマが多い。例えば、木炭の床下環境改善材料、土壌改良材料としての利用である。また、ユニークな研究としては、木材、セメント複合の人工藻礁がある。

また、木質資源について、その生産・利用過程における炭素固定・放出、廃棄等、環境問題を軸とする評価方法の確立をねらいに、生産過程における炭素放出量の調査等を行っている。

どの課題も、具体的活用までには、今後の研究に待つ部分が多いが、関係者の努力により着々と成果を収めつつあると認識している。折角の成果であり、広く活用されるよう、分かりやすい形で広く技術を普及させる方法を是考えてほしいものである。

本事業については、多くの委員の方々に、また、この報告書に記載されていない委員以外の方々にも大変お世話になっている。ここに各位に対し厚くお礼申し上げる次第である。本報告が木質資源のリサイクルを考える一助となれば幸いである。

平成7年3月

木質廃棄物再資源化技術開発検討委員会
委員長 中野達夫

調査研究要綱

1 目的

近年、産業廃棄物及び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、食品等多くの業界において、これ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ている。また、廃棄物の処理、再利用を生産活動の一環として位置づける各産業界の新しい方向ができつつある。

このような中で、木製品の製造過程や建築・建設現場で発生する木質系の廃棄物については、以前から調査研究及び技術上の提案も行われ、回収、集荷、選別などを含めた周辺システム技術についても取り組まれてきており、比較的利用率が高いといわれているが、実態はまだ十分なものとはいえない状況にあり、木材関連産業分野においても、一層の合理的な処理、再利用を促進することが求められている。

そこで、本事業では、木質廃棄物の発生抑制、再資源化を促進することをねらいに、木質廃棄物の発生・再利用の実態調査及び発生抑制、再利用技術に必要な関連技術の開発・改良等について検討するものとする。

2 事業区分

- (1) 発生抑制・環境保全技術開発事業
- (2) 再資源化技術開発事業

3 調査・技術開発体制

本事業は、(財)日本住宅・木材技術センターにおいて、学識経験者、木材・建築関係者、廃棄物処理業者、行政関係者等で構成する委員会を設け実施する。

各委員会の構成は以下のとおり。

木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会

(敬称略・五十音順)

委員長	中野 達夫	信州大学農学部
委員	秋山 禎孝	日本合板工業組合連合会 理事業務部長
”	阿部 宏史	(社)建築業協会 廃棄物対策部会長
”	雨宮 礼一	(社)全国木工機械工業会 技術課長
”	有馬 孝禮	東京大学農学部 助教授
”	伊東 英武	北海道立林産試験場性能部 主任研究員
”	岩崎 克己	(社)日本木材保存協会 常務理事
”	川井 秀一	京都大学木質科学研究所 助教授
”	菊池 雅史	明治大学理工学部建築学科 講師
”	木下 敍幸	森林総合研究所木材利用部 加工技術科長
”	桑原 一男	(株)クワバラ解体 代表取締役
”	佐々木義治	(社)日本木造住宅産業協会 産業廃棄物プロジェクト委員
”	高橋 泰一	建設省建築研究所 第2研究部長
”	西川 盛二	日本製紙連合会 資源委員長
”	根岸 晴男	東京都清掃局 産業廃棄物指導課 主事
”	八野 行正	建設省住宅局住宅生産課 課長補佐
”	浜田 宗男	日本木材青壮年団体連合会 事務局長
”	原田 博士	全国木材チップ工業連合会 専務理事
”	東島 孝	関東木材資源リサイクル協会 会長
”	姫野 富幸	日本繊維板工業会 常務理事
”	藤井 道三	(社)全国燃料協会 専務理事
”	細貝 一則	(社)全国木材組合連合会 指導課長
”	三城 昭義	新潟大学農学部 助教授

本委員会委員以外で本事業にご協力いただいた方々は、次のとおり。

(敬称略・順不同)

○ 発生抑制技術開発

大江 秀章	全国木造住宅機械プレカット協会
宮村 雅史	建設省建築研究所第2研究部 研究員
藤原 勝敏	森林総合研究所木材利用部 製材研究室長

○ 再資源化技術開発

岩下 睦	日本繊維板工業会 囑託
堀江 秀夫	北海道立林産試験場技術部 科長
谷田貝光克	森林総合研究所生物機能開発部 森林化学科長
屋代 真	新潟大学 教授
信田 聡	東京大学
鈴木 滋彦	静岡大学
白石 信夫	京都大学 教授
吉岡まり子	京都大学
木方 洋二	名古屋大学 名誉教授

(薬品処理廃木材再利用技術開発)

今村 祐嗣	京都大学木質科学研究所 助教授
石原 茂久	同 上 教授
角田 邦夫	同 上 助教授
吉村 剛	同 上
梶田 熙	京都府立大学農学部 教授
柏崎 清作	越井木材工業(株)
綾木 光弘	神崎製紙(株)
岡 一則	大倉工業(株)
大羽 伸和	積水ハウス(株)
貫上 佳則	大阪市立大学工学部

(建築廃材等木炭床下環境改善効果調査)

藤田 晋輔	鹿児島大学農学部 教授
橘田 紘洋	愛知教育大学技術科 教授
葉石 猛夫	森林総合研究所木材利用部 構造利用科長
服部 芳明	鹿児島大学農学部 助教授
元木 英生	富山県林務部

4 再資源化技術開発事業の枠組み

大・中 課題	小 課題 (担当機関等)	実行年度→	4	5	6	7	8
A 再資源化技術開発 (1) 異物分離装置、粉碎技術の開発 (2) 建築廃材等を利用したボード等製造、利用技術の開発 1) 木質ボード等建材の開発 2) 炭化技術及び木炭の機能評価と利用技術	① 解体材の機械的処理とチップの品質基準及びボードへの利用 ② 異物分離装置の開発・実用化 ③ 粉碎技術		○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○		
	① 廃コンクリート型枠等を利用した木質ボード等の開発 (セメントボード、パーティクルボード、OSB等)		○	○	○	○	○
	① 炭化処理と吸着性能 ② 炭化技術と炭化物の機能利用技術開発(土壌改良材等) ③ 木炭による床下気象環境改善効果調査 ④ 木炭を利用した水質浄化法		○	○	○	○	○
	① 木質系水産資源の開発(人工藻礁) ② 可溶化技術(液化技術)		○	○	○	○	○
	① 樹皮の高度利用技術の開発(重金属吸着性能)		○				
B 発生抑制技術開発事業	① 保存処理木材の分別技術と再利用技術開発(薬品の回収) ② 薬品処理廃材の再利用技術の開発・性能評価(ボードの耐久性、力学的性質の評価) ③ 薬品処理木材の合理的な規格・規準作成のためのデータ整理		○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○	
	① 木造住宅の建築時における木質廃棄物の発生抑制からみた木質建材の加工に関する調査		○	○	○	○	
	② 木質資源の有効利用による炭素固定と排出量の削減					○	○
	③ コンクリート型枠用合板の繰り返し使用技術開発		○	○			
	④ コンクリート型枠用合板の使用回数延長による木質廃棄物の発生抑制に関する調査 ⑤ 木質廃棄物発生抑制の視点		○ ○	○ ○			

注) この表に掲げた課題名は、数個のテーマをまとめたものもあり、報告書の目次の課題名と必ずしも一致しない。

5 平成6年度の事業概要（要約、キーワード）

（1）再資源化技術開発事業

木質廃棄物のリサイクルをねらいとして、木質ボードへの利用、木炭としての利用等について検討した。主要事項は次のとおり。

①チップ化と形状評価、3層ウエファーボードへの利用技術、②木質廃棄物の粉碎処理技術、③廃コンクリート型枠を利用したボード開発、④構造用パーティクルボード（OSB）の製造、⑤木質廃棄物の炭化と炭化物の吸着性能、機能利用開発、⑥木炭を利用した水質浄化法、⑦木炭による床下気象環境効果調査、⑧木質系水産資源の開発（木材、セメント複合人工藻礁の試作）、⑨木材の液化技術の開発、⑩保存処理木材の分別技術とボードへの転換技術（耐久性）などである。

（2）発生・環境保全技術開発事業

木質資源について、その生産・利用過程における炭素固定・放出、廃棄等、環境問題を軸とする評価を確立することをねらに調査を行った。主要事項は次のとおり。

①炭素資源貯蔵庫としての森林生態系の役割、②木材資源の有効利用と炭素放出量の削減
③枠組壁工法住宅の建設時の炭素放出量調査

キーワード

廃棄物、廃材、粉碎、炭化、木炭、水質浄化、土壌改良、床下、吸湿、藻礁、薬品処理、防腐、型枠、パーティクルボード、セメントボード、チップ、リサイクル、CCA<エネルギー、炭素放出、炭素固定

第1章 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

*チップの形状評価、3層ウエファーボード

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、本稿では、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した。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した。

1 はじめに

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調査した昨年度の報告(1)では、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との結論を導いている。アンケート調査に基づく国内平均の今後の予想として、「5年後の使用量」が37%、「将来」的には45%まで増加するであろうと予想している。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った。

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、木質系廃材としての再利用が課題となってきている。

2 木質材料のチップ化と形状評価

接着剤を含んだ再構成木質材料の再利用を行うにあたって、破碎加工したチップの品質を評価し、原料の種類による特徴を把握することを目的とした。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プ加工してボード原料等に使用する際の品質評価を行う目的で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。

表1-1 供試材料の投入寸法

記号	供試材	投入寸法(cm)			比重		吸水処理 (日)
		長	幅	厚	常態	処理後	
S K	素材 角材	20	10.5	10.5	0.46	0.50	2
S B	素材 板材	30	12	2	0.37	0.54	4
G L	集成材	25	12	12	0.43	0.48	2
P S L	パララム	25	10	10	0.60	0.74	2
P W N	針葉樹合板	25	15	2	0.55	0.72	2
P W L	ラワン合板	30	15	0.9	0.52	0.54	2
P B	パーティクルボード	30	15	1.5	0.81	1.06	4
O S B	オーエスビー	30	15	1.5	0.68	0.74	2
M D F	中質繊維板	30	15	2.5	0.64	0.80	4
H B	硬質繊維板	30	15	0.5	1.00	1.03	2

2.1 供試材料

木質系の軸材料としてスギ集成材およびP S L（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、O S B（オリエンテッド・ストランド・ボード）、M D F（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。供試材料の略記号、寸法等を表1-1に示した。

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、ドラムチップパー（富士工業：TBC-300型）を用いて粗砕した。このチップパーは直径380mmのローターに幅40mm、歯先角度33度の切歯が3枚ずつ120度ずれて合計9枚付いており、処理能力は見かけ容積で約5m³/hほどである。材料のチップパーへの投入寸法、気乾比重、吸水処

理時間、ならびに処理後の見かけ比重を表1-1に示した。

10種類の粗砕チップのうち4種類（PWL、PB、PSL、MDF）については、3層ボードのコア原料とするため、さらにハンマーミル加工して粒度分析を行った。

2. 2 粗砕チップの形状

粗砕したチップを4種類の自作の篩（目開き：30mm、20mm、10mm、5mm）を用いて30mm篩上に残留したチップから5mm篩を通過したチップまでの5フラクションに篩分けした。図1-1に各木質材料の篩分析の結果を示した。篩の種類1は目開き30mmの上に残留したチップの重量比を示している。ハードボード（HB）とラワン合板（PWL）はこのフラクションが最も大きくなっている。それに対して、MDF、パーティクルボード（PB）、OSB、針葉樹合板（PWN）は篩の種類2、すなわち目開き20mmの篩の上に残留したフラクションが最も大きくなっており、第2のグループを形成している。10mm篩上のフラクションが最も多い素材角材（SK）、素材板材（SB）、集成材（GL）、PSLは第3のグループに属している。

つづいて、粗砕チップの寸法を測定した。30、20、10、5mmの篩の上に残ったチップから、各フラクションごとに20ヶのチップを無作為に選び出し、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。1種類の材料について、約80ヶのチップを選出してそれぞれ3方向の寸法を求めた。粒度の異なるチップの寸法を以下の方法で評価した。長さを例にして述べる。はじめに各フラクションの長さのデータからそのフラクションの累積密度分布を求める。つづいて4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長さ全体の累積密度分布を数値計算する。この累積密度分布の結果から確率密度曲線を求める。

チップ全体の長さの累積密度分布 $F(x)$ は次式によって求めることができる。

$$F(x) = w_1 F_1(x) + w_2 F_2(x) + w_3 F_3(x) + w_4 F_4(x)$$

ここで、 $w_1 \sim w_4$ は4フラクションの重みである。 $F_1(x) \sim F_4$ は各フラクションの長さの累積密度関数であり、おのおの平均ランク法により求めた。例えば、 F_1 は30mm篩上のチップの長さを小さい順に並べ、 $F_1(x_i) = i / (n+1)$ として計算した。同様の方法で幅、厚さの分布を求め、続いて、10種類の材料の寸法に関する $F(x)$ を2母数のワイブル分布に当てはめた。

図1-2にドラムチッパーにより破砕加工された10種類の種木質材料チップの長さの分布を示した。集成材（GL）は素材角材（SK）と類似した分布を示している。すなわち、50mm以内に分布のピークがあり、長いものは150mmに達するものもが存在することを示している。針葉樹合板（PWN）は素材板材に近い分布形状となっている。また、ラワン合板（PWL）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（PB）、OSB、MDFは短いところにシャープに分布している。この傾向はMDFが著しい。

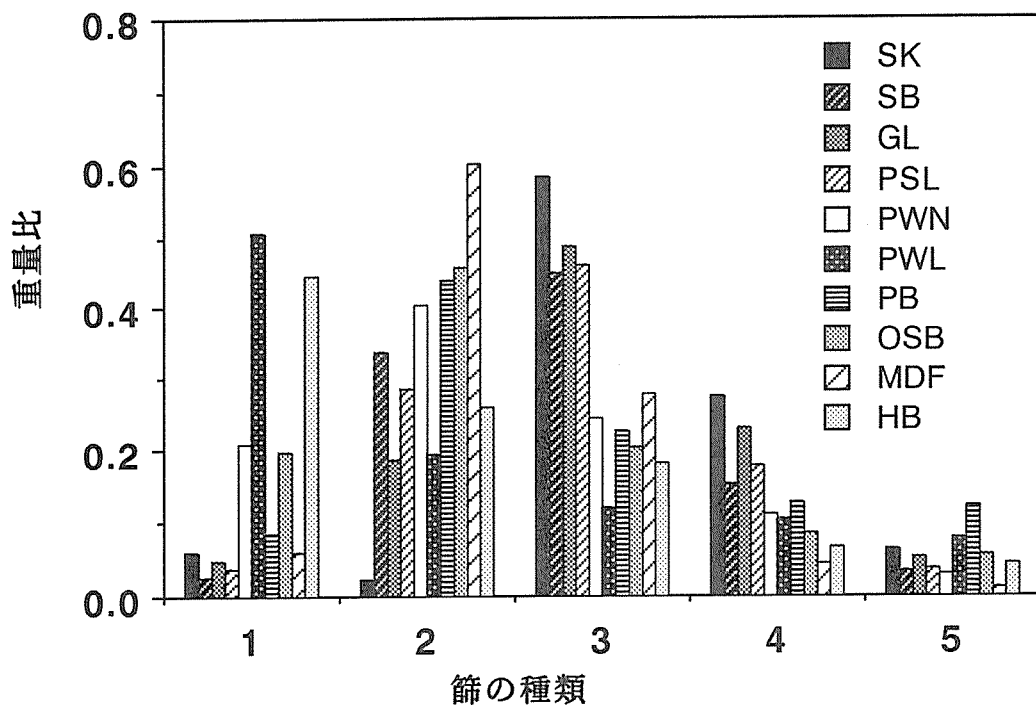


図1-1 ドラムチップ加工されたチップの篩い分析結果

各篩の目開き、1 : 30mm、2 : 20mm、3 : 10mm、4 : 5mm
5 : 5mm通過

P S Lは平均寸法が約60mmとパーティクルボードや集成材よりも長くなっている。これは厚さ約3mmの単板を幅20mm程度の幅で裁断したストランドの集合体であるため、それらがほぐれるような形でチップ化されたためであろう。パーティクルボードと集成材の平均寸法はほぼ等しいが分布に差がみられる。P Bでは長さ60mm以内にほとんどが分布しているのに対して、集成材では短いものから長いものまで幅広く分布している。同じ繊維板であっても、M D Fは小さく碎かれるのに対して、ハードボードはM D Fよりも薄いこともあって比較的大きなチップが混在していることを示している。

図1-3は同様にして求めた、10種類のチップの幅の分布を示している。およそ20mm以内の狭い範囲に分布している素材角材 (SK)、集成材 (GL) およびP S Lと、PWN、PWL、P B、O S B、M D F、H Bなどの面材とに大別することができる。前者は木材の繊維方向に細長い形状をしているが、後者はそれぞれの製造方法により形状は異なっている。図1-4に参考までにチップの厚さの分布を示した。図1-1に示されるように、素材および軸材料 (SK、SB、GL、PSL) は目開き10mm上に残留した成分 (篩の種類3) が最も多くなっており、同一グループを形成している。これは平均長さが30~60mmと異なっているにもかかわらず、幅ならびに厚さの平均寸法が20mm以下であることに依るものと考えることができる。そのため、20mm篩を通過し10mm篩上の比率が高まったものと

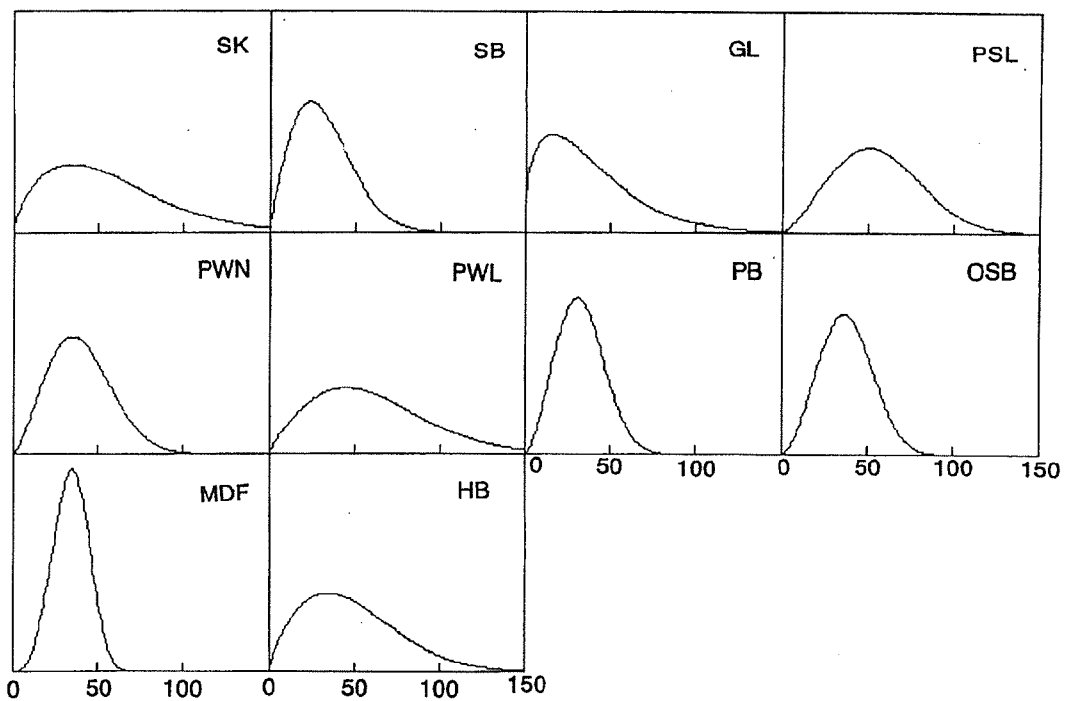


図1-2 ドラムチッパー加工された10種類の木質材料チップの長さ分布
(単位：mm)

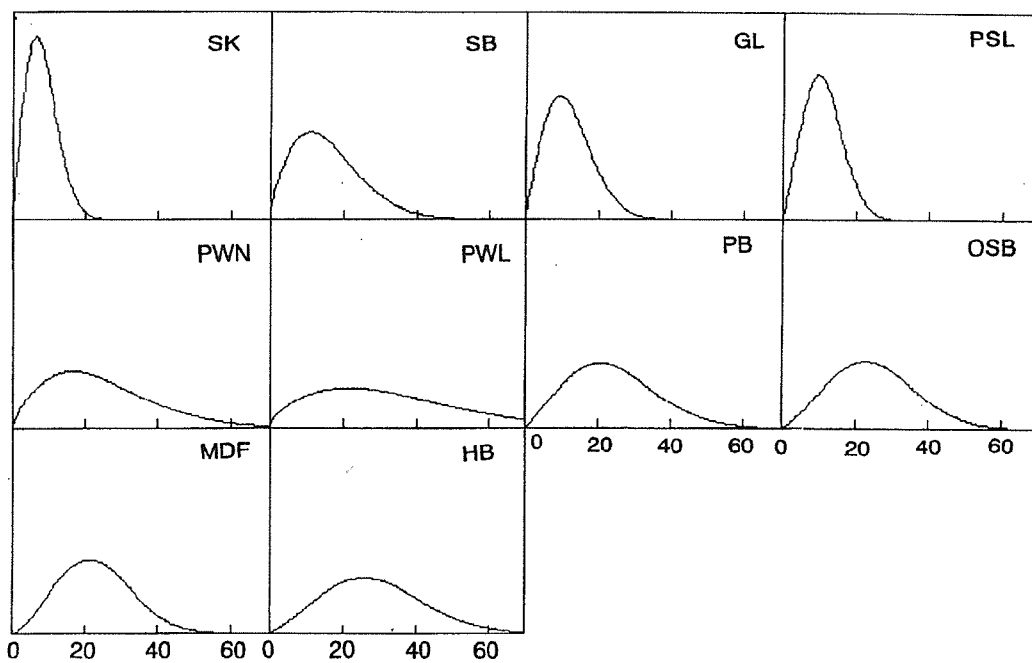


図1-3 ドラムチッパー加工された10種類の木質材料チップの幅さ分布
(単位：mm)

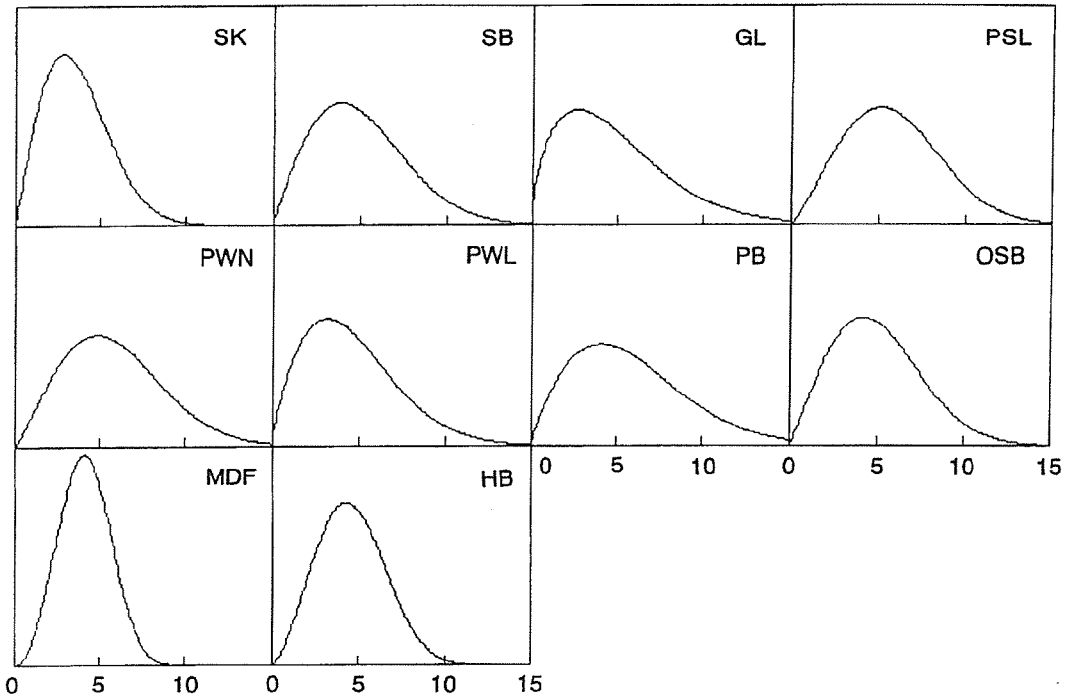


図1-4 (a) ドラムチッパー加工された10種類の木質材料チップの厚さ分布
(単位: mm)

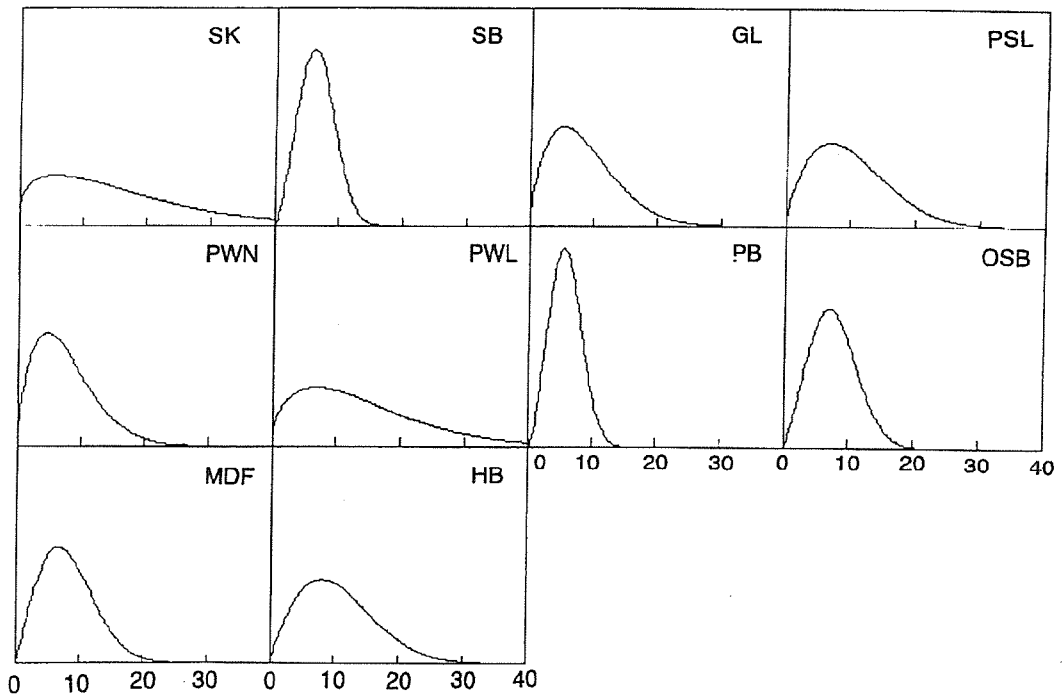


図1-4 (b) ドラムチッパー加工された木質材料チップの細長比(長/厚)分布

考えられる。それに対して、板材料（PB、OSB、MDF、PWN）は長さとの幅の差が小さく、ともに平均寸法が20mm以上であるため、20mm篩上の比率が高くなったものと思われる。

ラワン合板（PWL）とハードボード（HB）が板材料のグループとは異なり、30mm篩上のフラクションの量が増えた理由は、チップの平均長さが長くなったことに依るものと考えている。これは、原料の厚さが0.9cmおよび0.5cmであり、上記の板材料グループよりも薄いことが主な原因であると思われる。

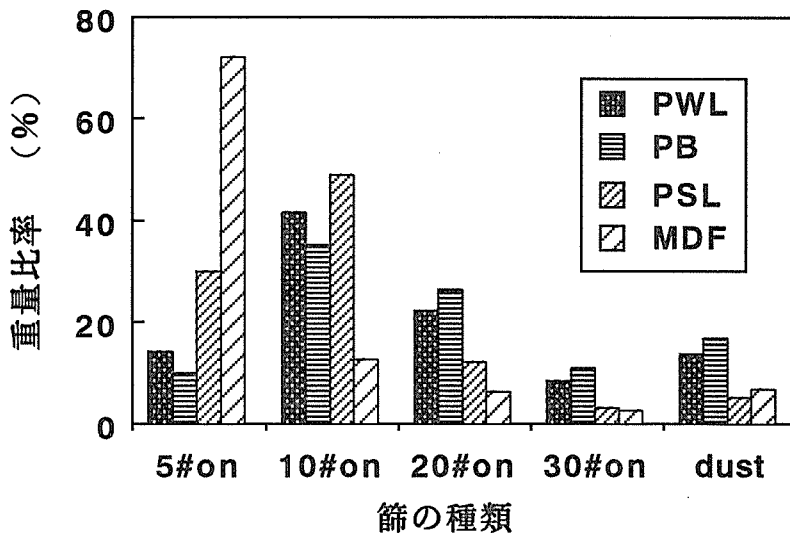


図1-5 細碎加工された木材小片の篩分析結果

2. 3 細碎小片の形状

前述の10種類の木質系材料の中から4種類を選出して、さらに細化することでボード原料としての形状評価を試みた。ラワン合板（PWL）、パーティクルボード（PB）、平行・ストランド・ランバー（PSL）、中質繊維板（MDF）の粗碎チップをハンマーミルにより細碎加工した。ここでは混乱をさけるため粗碎片をチップ、細碎片をパーティクルと呼ぶこととする。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。結果を図1-5に示した。

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の細碎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。また、各パーティクルの各粒度ごとの形状をまとめて図1-6に示した。5メッシュ篩上に残留したパーティクル（図の最上段）を比較すると形状の違いが明らかになる。パーティクルボード（PB）

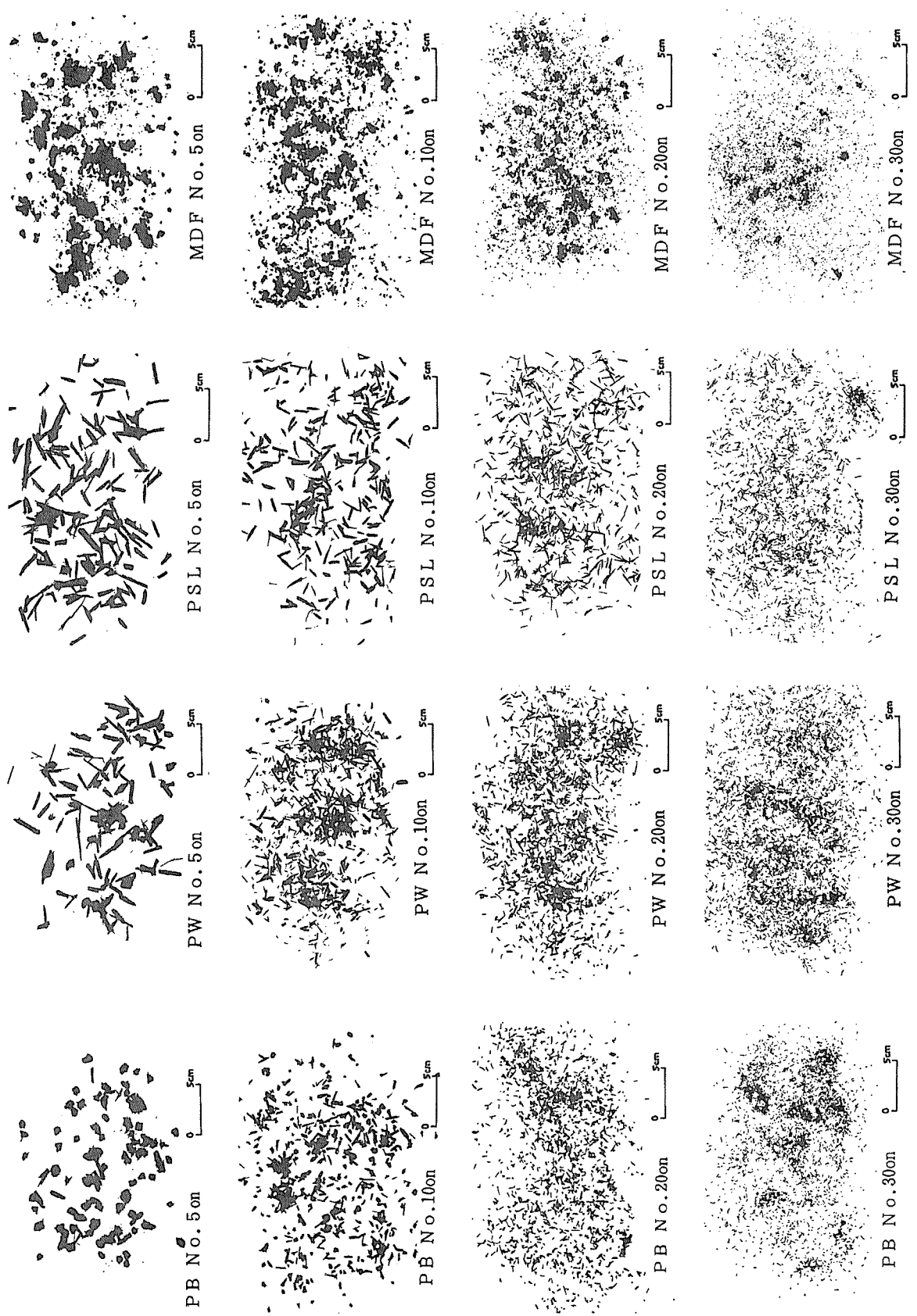


図1-6 破碎加工された各種木質材料の篩分析結果 (図中のNo.は篩のメッシュ数)

およびMDFは異方度が小さいため、長さや幅に近い形状を示している。特に、5メッシュ上のPBの小片はブロック状を呈した。これに対して、合板(PW)とPSLは木材の繊維方向に長い小片となっている。この特徴は粒度が小さくなくても認められる。

このように、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

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。本節では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た。

3.1 製造試験

3層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。これにより、強度の増強が可能となり、従来のパーティクルボードよりも曲げ性能の優れたパネルが製造可能となる。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。

ボードの製造条件は以下の通りである。寸法：370×370×12mm、目標比重：0.65、接着剤：液体フェノール系樹脂接着剤、接着剤添加率(RC)：6% (表層ストランド)、10%解体材コア小片、ワックス：無添加、熱圧条件：温度180℃、圧力26kgf/cm²、熱圧時間：10分。フォーミングは手まきにより行った。表層ストランドは無配向である。

3.2 材質評価

図1-7に3層ボードの曲げ強さ(MOR)、図1-8に曲げヤング係数(MOE)を示した。図の横軸は表層に用いたスギ・ストランドの重量比率である。したがって、表層構成率0%とは、解体材小片のみの単層ボードを意味し、100%とはスギ・ストランドの単層ボード(ウエハーボードに相当する)を指している。また、表層構成率20%とは、ストランドが表裏に10%ずつ配置され、コアに解体材小片を80%使用した3層ボードを示している。

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/cm²であるのに対して、ストランドのみのボード(ウエハーボード)のMORは377kgf/cm²となっている。この間を、表層構成率の変化にともなってMORは変化している。表層構成率20%では243

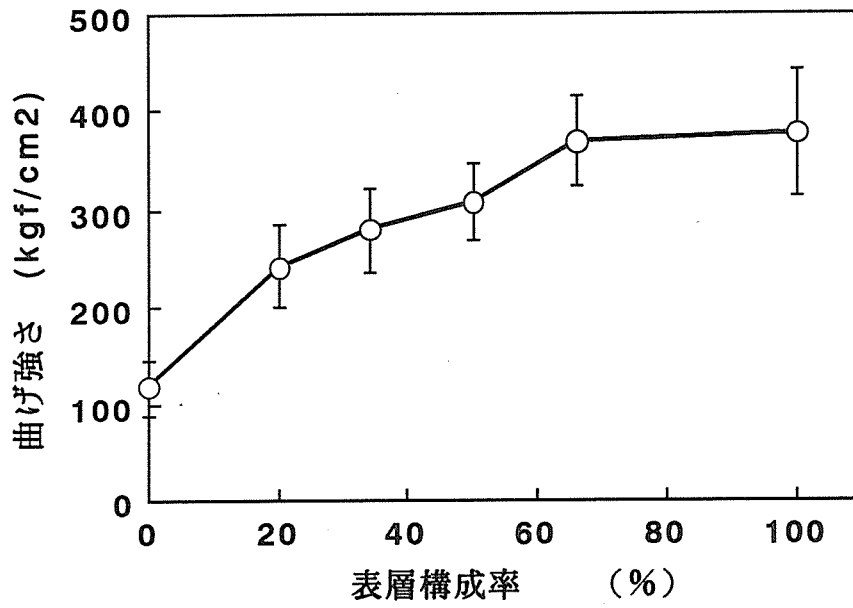


図 1-7 3層ボードの表層構成率と曲げ強さの関係

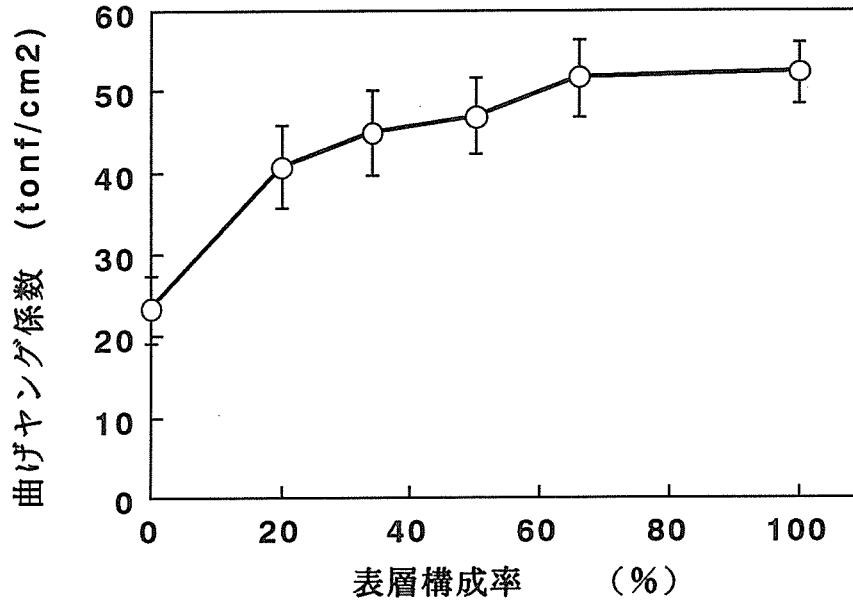


図 1-8 3層ボードの表層構成率と曲げヤング係数の関係

kgf/cm²と増加した。また表層構成率66%では369kgf/cm²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ている。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/cm²と、一般のパーティクルボードよりも高い値を示している。

曲げヤング係数も同様に、表層ストランドの増加にともなって23tonf/cm²から52tonf/cm²へと連続的に変化している。曲げ強さの場合よりも、表層ストランドによる増強効果が著しく、表層構成率20%で41tonf/cm²の値を示している。これは、単に表層にMOEの高いストランドが配置されただけの効果ではなく、コアに粗い小片があるために表層の圧密度が高まっていることも要因の一つと考えられる。

つづいて、図1-9にはく離強さと表層構成率の関係を示した。表層構成率の増加とともにく離強さは徐々に減少する傾向を示している。この傾向は、パーティクルボード小片形状とはく離強さの関係に見られる一般的な傾向と合致している。はく離破壊は主にストランド層内で生じた。ストランドへの接着剤の添加率がコア小片よりも低いことも理由の一つであろうが、一般に表面積の広いストランドの方が内部結合力が低くなることも原因の一つと考えられる。

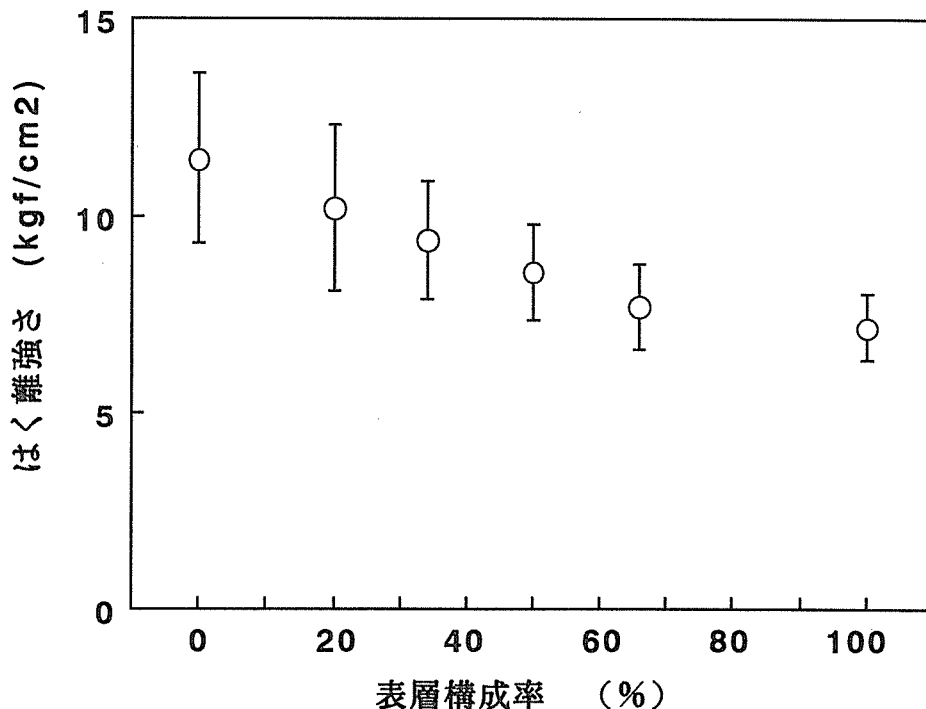


図1-9 3層ボードの表層構成率とはく離強さの関係

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。本節では、第2節で細砕加工した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。

4.1 製造試験

コア原料は前述のパーティクルボード (PB)、ラワン合板 (PWL)、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。ドラムチップ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。原料パーティクルは乾燥後、含水率約3%で用いた。表層に用いたスギ・ストランドは平均寸法、厚さ0.6mm、幅20mm、長さ50mmである。

製造条件は、前節と同様である。フォーミンブは手撒きとし、厚さは12mm厚のディスタンスバーにより規制した。

4種類の木質材料から調整した原料をコア材料として用い、表層：芯層：表層の構成を重量比で1：2：1として3層ボードを製造した。また、コア材料のみを原料とする単層ボードも製造した。また、破砕加工したパーティクルボードを原料とする3層ボードについては、構成比率を変化させたボードを比較用に製造した。

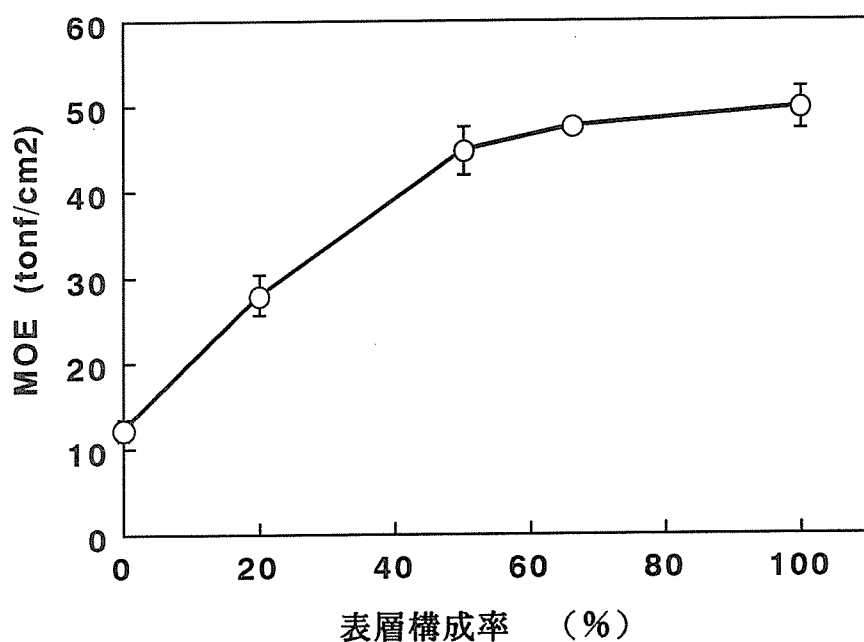


図1-10 パーティクルボード破砕片を芯材とする3層ボードの曲げヤング係数と表層構成率の関係

4. 2 材質評価

表層に前述のストランドを配置しコア層にパーティクルボードを破碎加工した小片を用いた3層ボードの曲げヤング係数と表層構成率の関係を図1-10に示した。これは、図1-8と同様の材質評価試験を、コア材料として市販のパーティクルボードを小片化して使用したものである。木質系の面材料の代表としてパーティクルボードのリサイクルを試みたものである。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。

つぎに、図1-11に、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示した。単層ボードとは、木質材料をドラムチップで粗砕したのちハンマーマイ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/cm²、MDFで15tonf/cm²となっているのに対して、PSLでは24tonf/cm²、針葉樹合板で27tonf/cm²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碎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の方が破碎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。

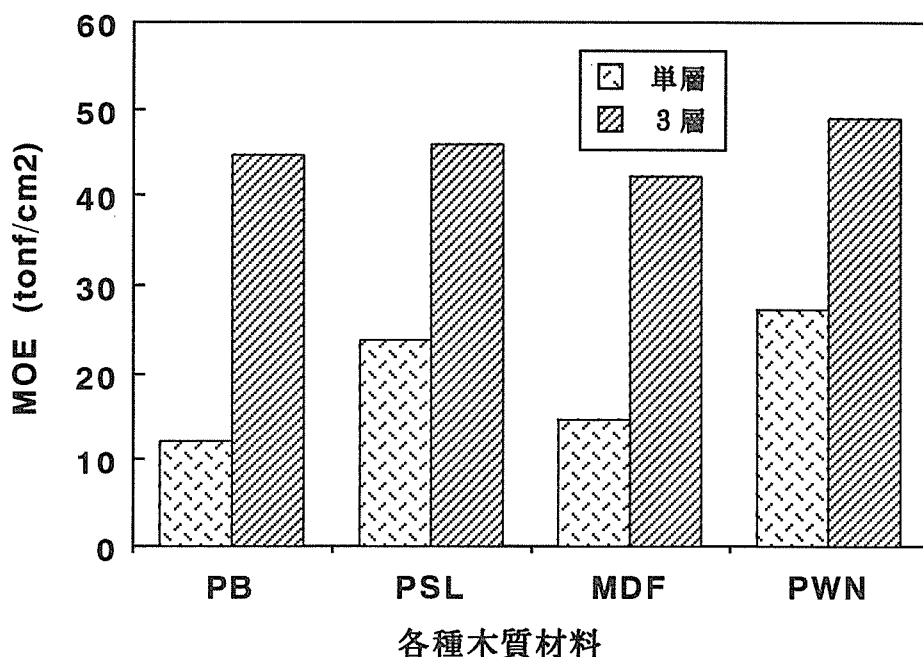


図1-11 再構成木質材料の破砕小片を原料とする単層ボードならびに3層ボードの曲げヤング係数

ストランドを表層に有する3層ボードではこの差は小さくなっている。表層や芯層の圧密度の変化などを考慮しなければ、すなわち単純な弾性モデルを仮定すると、表層効果は表層厚さの3乗で効くため、表層ストランドの影響が大きく現れるのは当然の結果である。この図はまた、ファイバー、パーティクル、ストランド、単板をエレメントとする再構成木質材料をリサイクルする場合、3層ボードのコア材料として使用するのであれば、図1-6に示したように小片の形状に大きな差があっても利用可能であることを示すものである。

参考資料

- 1) 「解体材の機械的処理とチップの品質およびボードへの利用」、木質廃棄物再生資源化技術開発事業報告書(III)、財団法人日本住宅・木材技術センター、平成6年3月

第2章 木質廃棄物の粉砕技術

1 はじめに

昨年度の報告においては、現状の粉砕技術について述べるとともに、廃コンパネの粉砕方法や粉砕による石膏（石膏ボードに由来する）について報告した。本年度の検討内容の概要を以下に述べる。

1.1 廃コンパネの粉砕

廃コンパネを、長さは原料状態の1.8mとし、巾を粉砕機の投入口の関係で5cm、10cmとし、衝撃型粉砕機（ハンマーミル）で粉砕した。粉砕物の大きさや粉砕動力の測定を行った。同一の粉砕機の操作条件下における原料の巾の影響については、巾の大きい原料のほうが粉砕物の大きさも大きく、逆に粉砕動力は小さかった。新鮮材との比較では、粉砕動力については約1/10、粉砕物の大きさはほぼ同一であった。

1.2 解体材の繊維化

昨年度の報告でも述べた様に、木質系粉砕物の形態は図2-1に示した様に、大きくは4つの形態に分類される。この中でも最も付加価値がつく形態がファイバー（繊維）である。本項目では、解体材から繊維を取り出す方法について報告する。

2 廃コンパネの粉砕

2.1 廃コンパネの粉砕性

粉砕処理の点から見た廃材の特徴を以下にあげる。長所としては、水分が低くかつ使用方法によってはその強度が低下している場合があり、粉砕しやすいことである。短所としては、異物が混入していることである。そこで、まず廃コンパネの粉砕性を測定した。粉砕性の測定方法については前年度に報告した。

図2-2に廃コンパネの粉砕速度の測定結果を示した。使用した廃コンパネの粉砕特性時間は1.74時間となった。表2-1には、木材も含めた各種の材料の粉砕特性時間を示した。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であった。

2.2 廃コンパネの粉砕試験

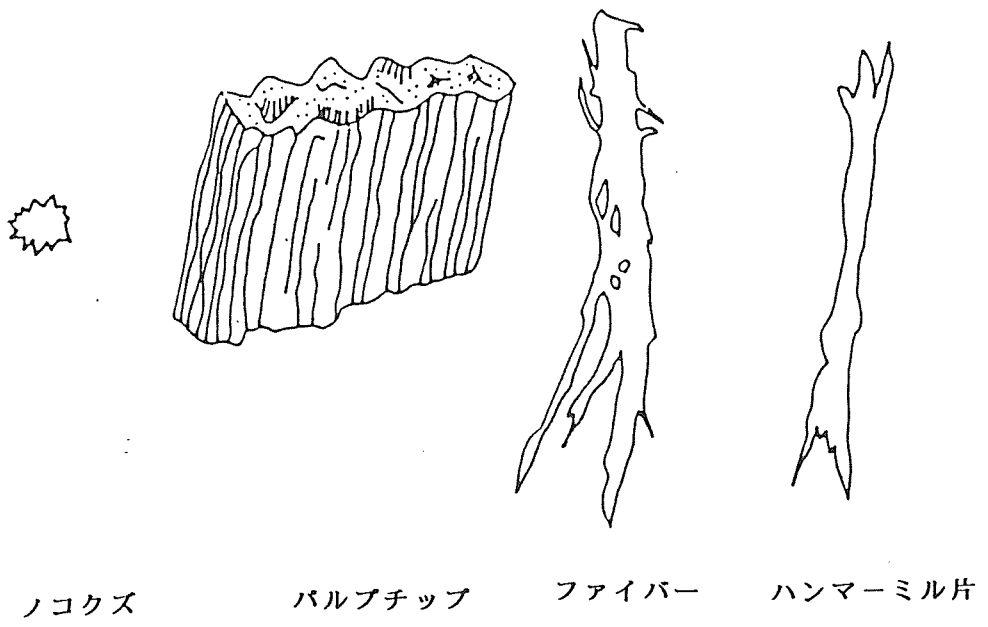


図 2 - 1 木質系粉碎物の代表的形態

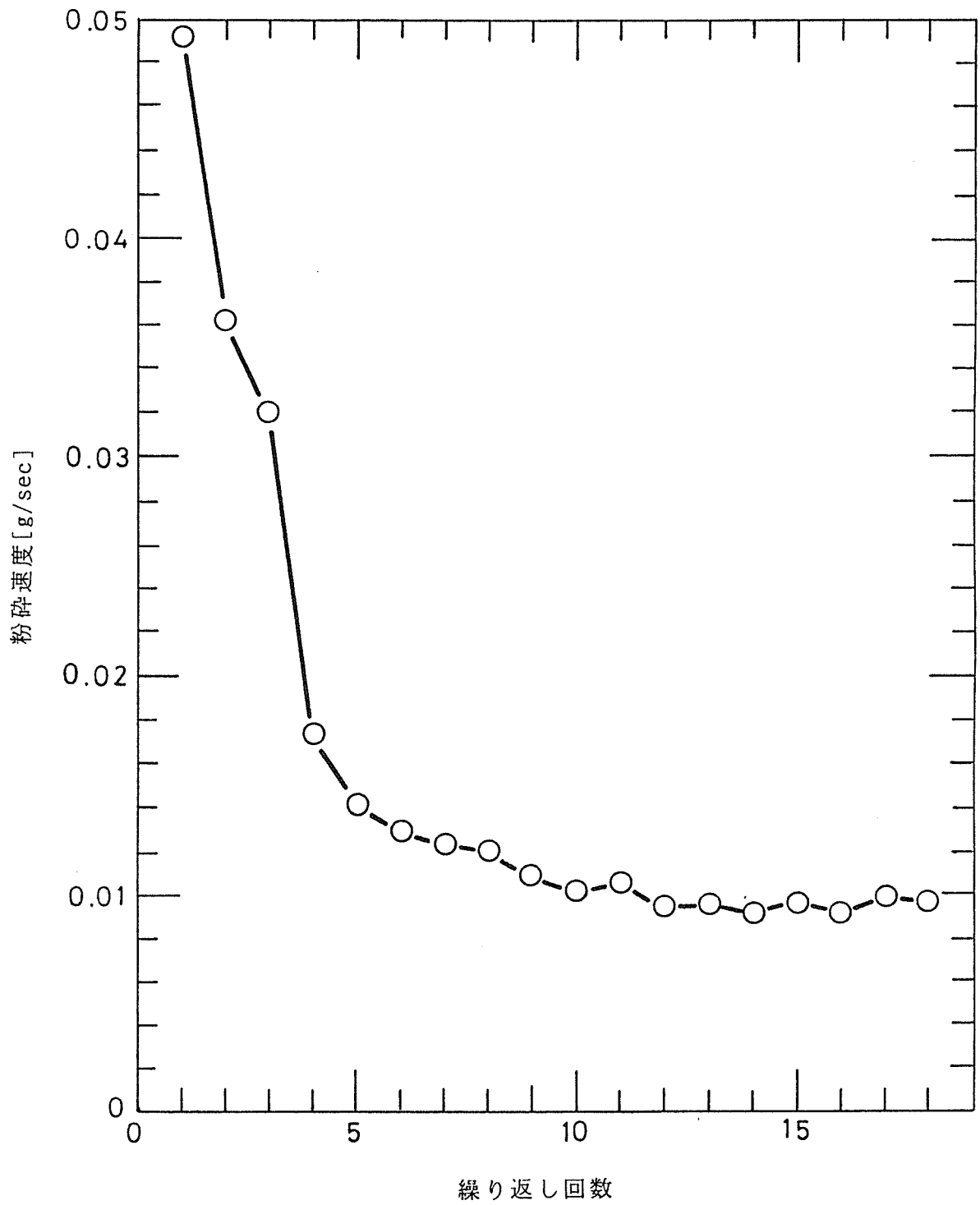


図 2 - 2 廃コンパネの粉碎繰り返し回数と粉碎速度の関係

表 2 - 1 各種材料の粉碎特性時間

材料	水分(%)*	粉碎特性時間(h)
シナキ	30	9.51
ミスナラ	30	11.6
シラカソバ	30	4.0
カラマツ	30	8.7
カラマツ	6.7	5.8
トドマツ	30	17.2
トドマツ樹皮	30	0.69
トドマツ樹皮	11.3	0.29
エゾマツ樹皮	30	0.71
木炭	1.8	0.096
石炭	4.2	0.15
砂	0	0.34
ゴム	0	325
廃コシハ	8.2	1.74
石膏	0	0.0292

* 湿量基準の水分

2. 2. 1 試験方法

粉碎試験には、写真2-1、2-2に示したハンマーミルを用いた。粉碎の機構は図2-3に示した。この粉碎機は左側の様に目皿を使わない状態、真中の様に目皿を使う状態、右のように粉碎機を傾斜させる状態の3つの状態をとれる。今回の試験では、真中の様に目皿を使う状態とした。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、巾を粉碎機の投入口の關係で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。粉碎時の粉碎動力、粉碎物の平均粒度を求めた。

2. 2. 2 平均粒度の測定方法

以下に本試験で用いた平均粒度の測定方法を示した。

使用したふるいは、目開きでいえば、3.962mm（以下では4mmとする）、1.981mm（以下では2mmとする）、0.991mm（以下では1mmとする）、0.495mm（以下では0.5mmとする）、0.246mm（以下では0.25mmとする）、0.124mm、0.061mmのものを用いた。即ち、目開きが順次1/2程度となるように選択した。なお、ファイバーのような絡み合いの大きい粉碎物をふるう場合には、それぞれのふるいに100g程度の直径約5mmの鉛玉を入れる。これは、ファイバーをほぐすためである。

次に、見かけで約1リットルの試料をふるいに入れ、ロータップ型振とう機でタッピング回数毎分137回、振動数毎分240回の条件で30分処理する。

ふるい分けの結果は、例えば、表2-2のような粒度分布測定表に記入し、各ふるい上の重量を測定し、その積算%を求める。木質系粉碎物の粒度分布はRosin、Rammelerの分布式に従うとされている。そこで平均粒度の測定には、図2-4に示したRosin-Rammeler粒度線図（RRS粒度線図と略す）をもちいた。測定・計算された積算の%は、4~2mmが表2-2の例の様に46.1%であれば、図2-5に示したように、4と2mmの中間3mm辺り（目開きの中央値という）に46.1%とプロットする。この作業をそれぞれの留分について行い、図2-5に示した結果を得る。このプロットに一番近い直線を引き、50%重量相当径、 d_s (mm)を求める。これを平均粒度とする。図の場合平均粒度は約2.5mmとなった。

2. 2. 3 試験結果

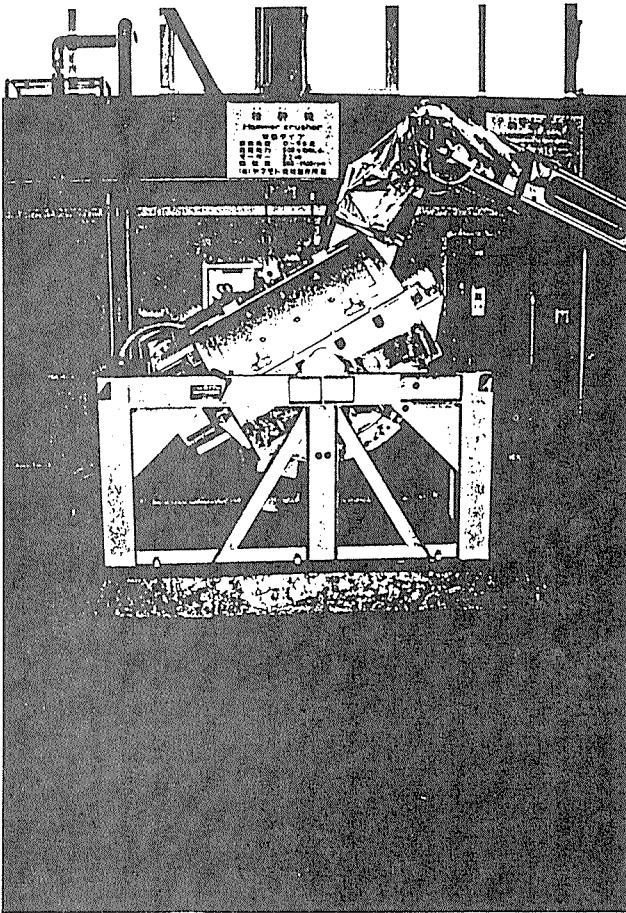


写真 2-1 ハンマーミル

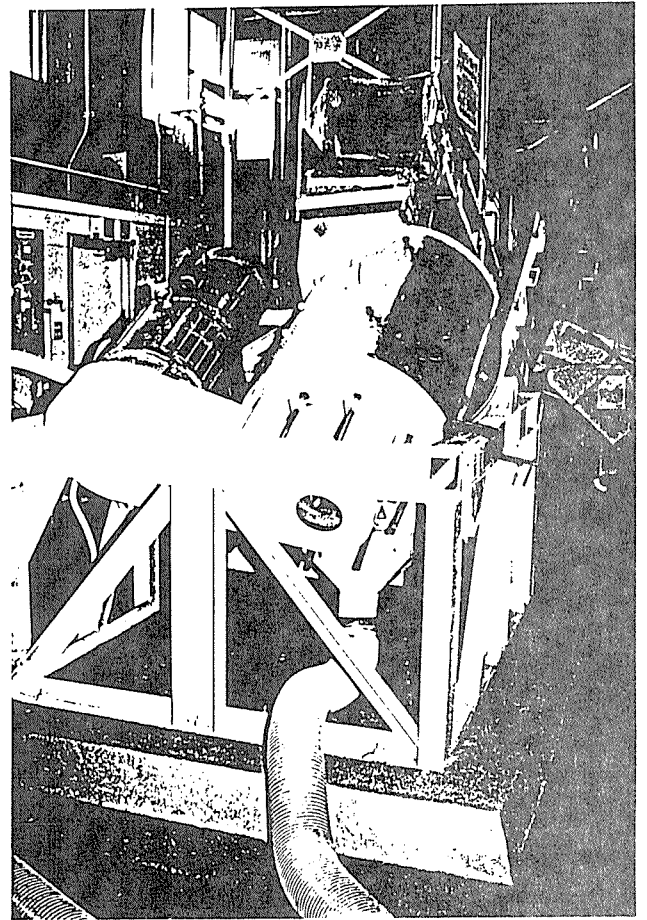
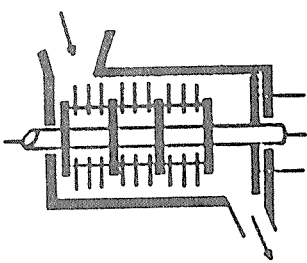
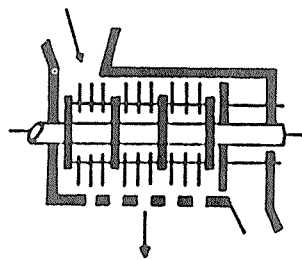


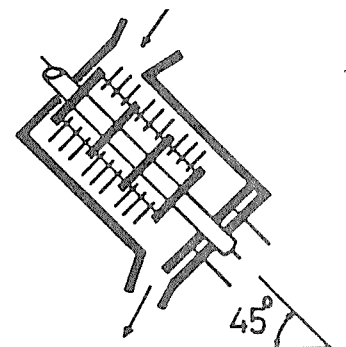
写真 2-2 ハンマーミルの粉碎部



目皿を使わない状態



目皿を使う状態



粉碎機を傾斜させた状態

図 2-3 ハンマーミルの粉碎の機構

表 2 - 2 粒度分布測定表

ふるい 目開き (mm)	4 on	4 - 2	2 - 1	1-0.5	0.5- 0.25	0.25- 0.124	0.124- 0.061	0.061 pass
全重量(g)	527.99	578.73	515.43	438.57	379.36	355.47	344.65	322.84
ふるい 重量(g)	515.10	499.83	453.53	404.23	370.31	354.07	344.49	322.66
ふるい上 重量(g)	12.89	78.9	61.9	34.34	9.05	1.4	0.16	0.18
積算 重量(g)		91.79	153.69	188.03	197.08	198.48	198.64	198.82
積算 %	6.4	46.1	77.3	94.6	99.1	99.8	99.9	100

RRS 粒度線図

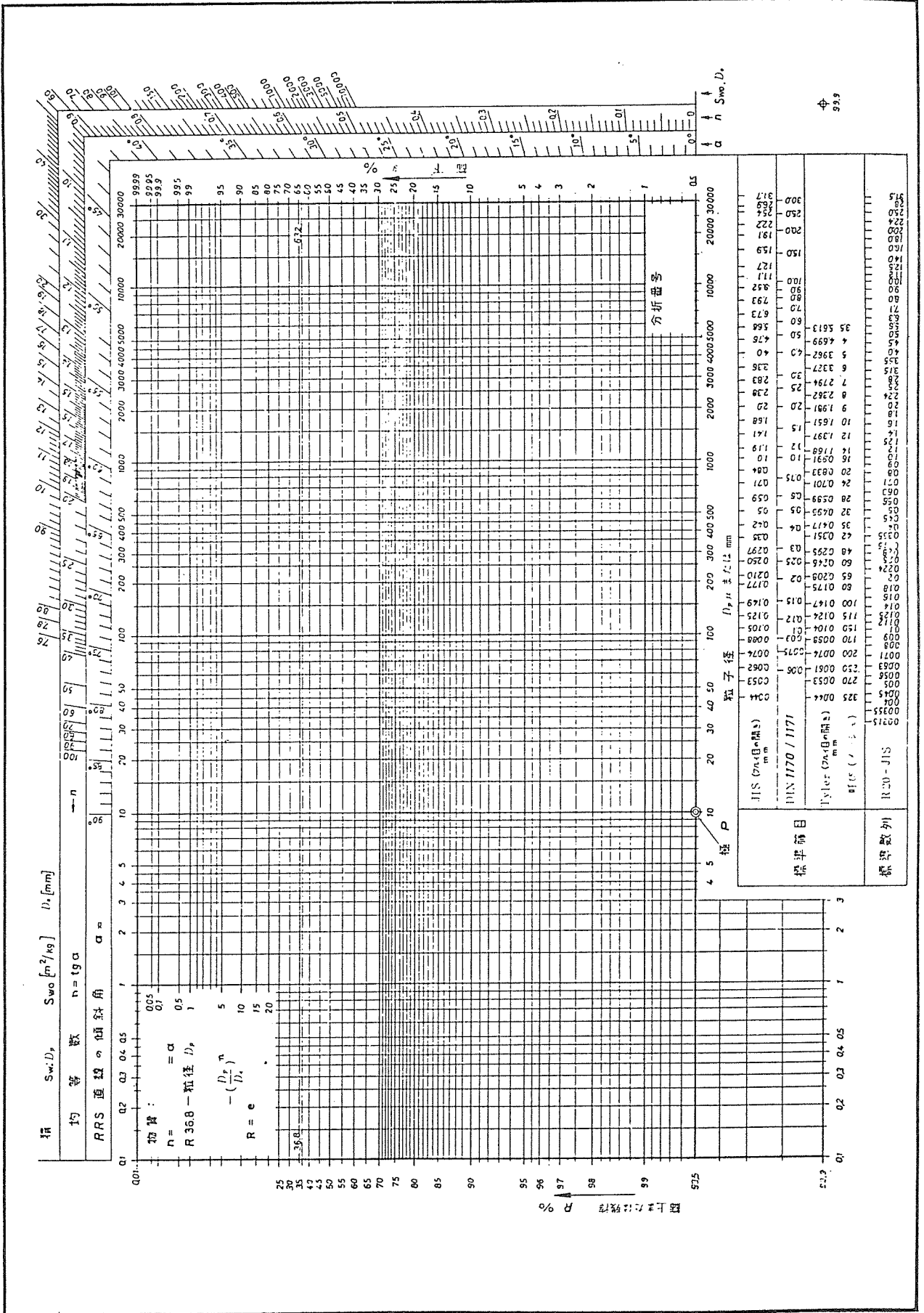


図 2-4 Rosin-Rammler 粒度線図 (RRS 粒度線図と略す)

RRS 粒度線図

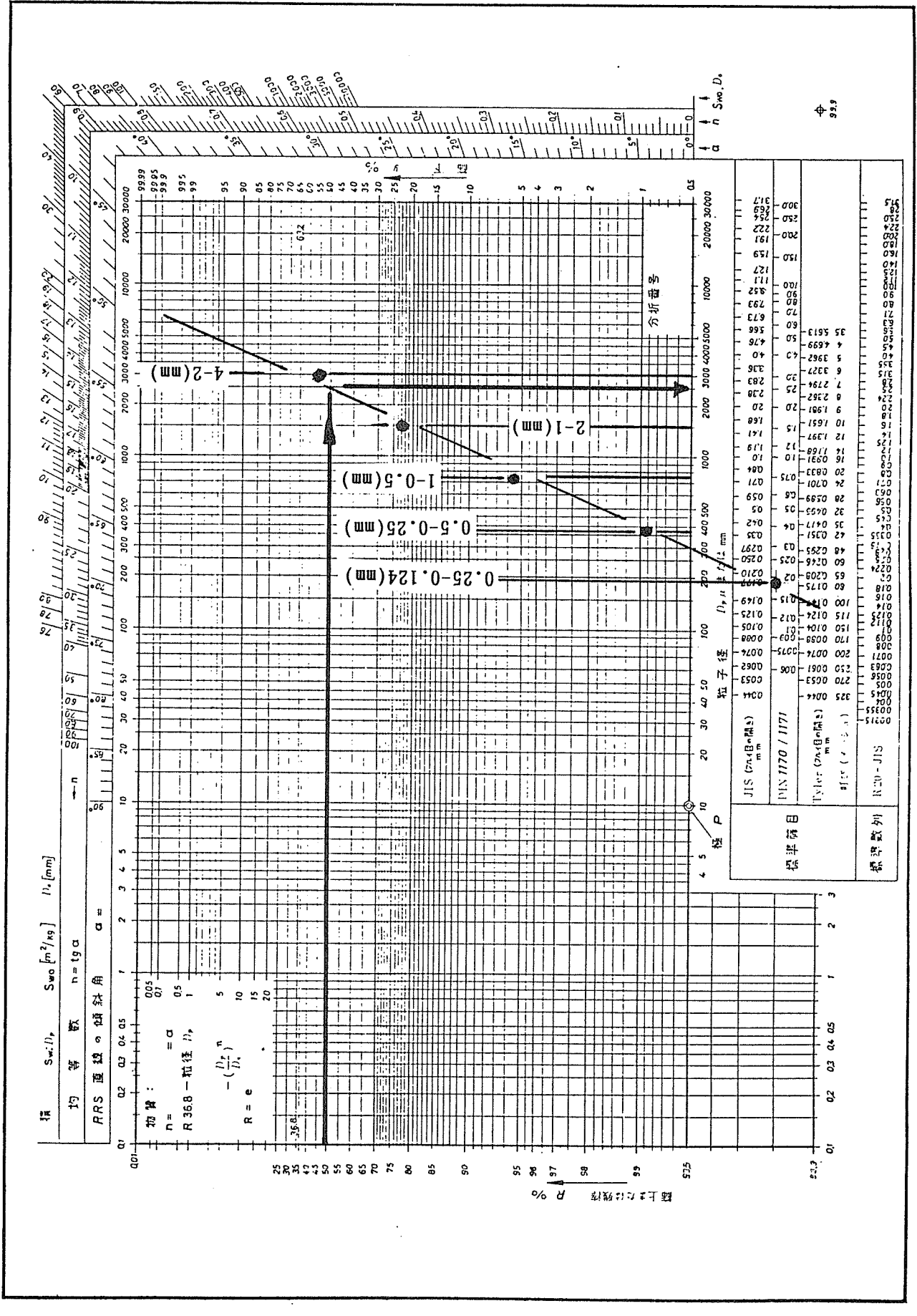


図 2-5 Rosin-Rammler 粒度線図による測定結果の一例

図2-6には、粉碎ハンマーの回転数と粉碎物の平均粒度との関係を示した。粉碎物の粒度は2.5mmから0.5mm、原料の巾が大きいと同一条件でも粉碎物は大きかった。ただし、カラマツチップの新鮮材はその中間の粒度であった。

図2-7には原料の全乾燥物1トンあたりの粉碎動力を示した。粉碎動力は、6~19kWh/t程度で、原料の巾が大きいと同一条件でも粉碎動力は小さかった。カラマツチップの新鮮材をハンマー回転数1700rpmで粉碎した場合、その粉碎動力は131kWh/tであった。この理由は、廃コンパネの粉碎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。

3 解体材の繊維化

3.1 試験の目的

前述した図2-1には、木質系の各種粉碎物のモデルを示した。この粉碎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。この形態の粉碎物は飽和水蒸気で蒸された後、写真2-3、2-4、及び図2-8に示したダブルディスクリファイナーと呼ばれる摩砕型粉碎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碎機である。この粉碎の機構を以下に述べる。

粉碎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碎（一般的には解繊と呼ばれる）される機構となっている。粉碎物の大きさは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。この粉碎機に、解体廃材のような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ぎされない。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、先ほどの試験で用いた衝撃型粉碎機による繊維化について検討した。

3.2 繊維化の指標 a' / a の測定方法

試験結果の報告の前に、繊維化の程度の判断基準 a' / a について述べる。

これは、粉碎ファイバーの良さを定量する要素である。この物理的意味は、図2-9に示したよう、ファイバー骨格部の面積 a ($a = l \times b$) と、「ひげ」が占有する面積 a' ($a' = l' \times b'$) 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、図2-10に示したように大きく

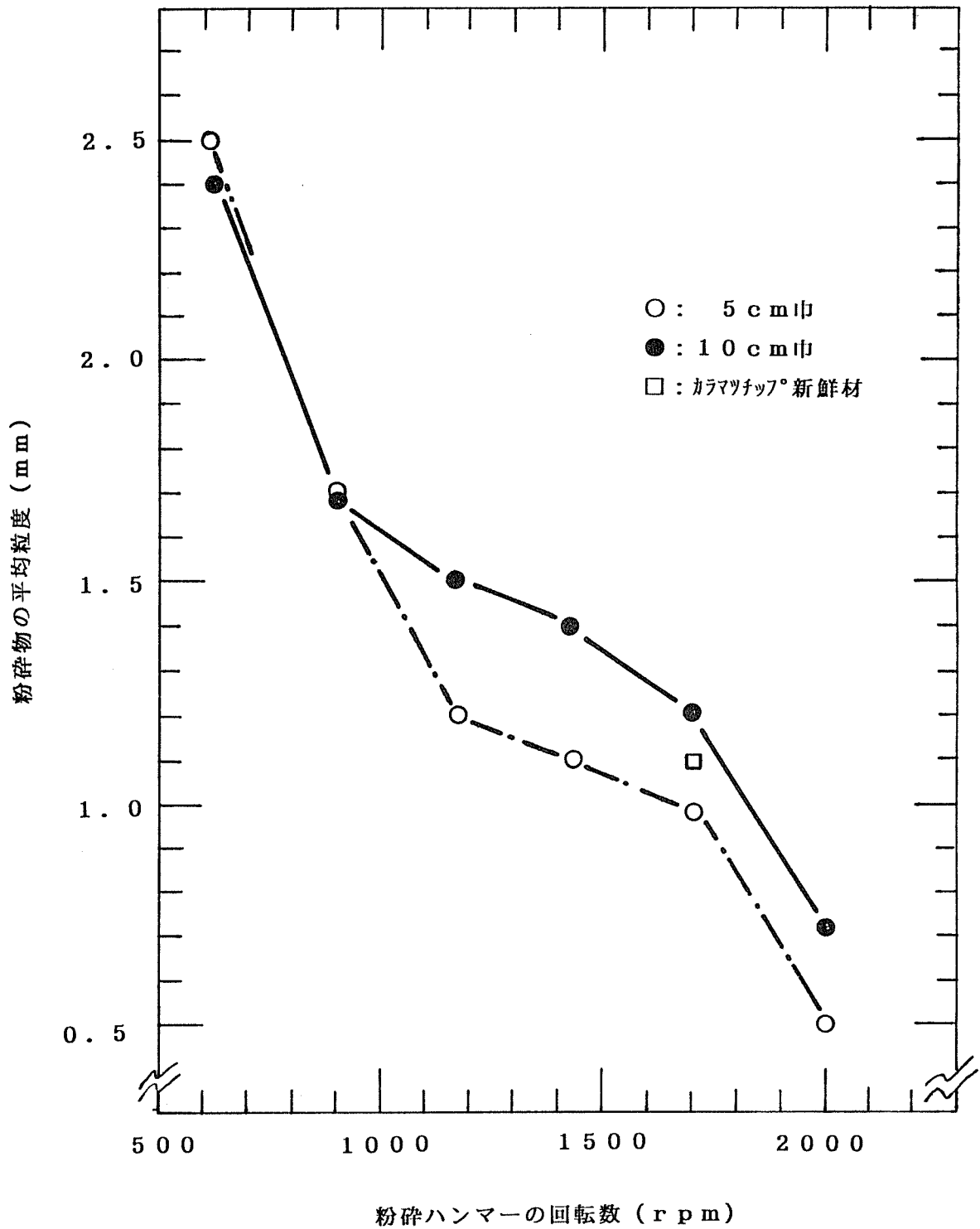


図 2 - 6 粉砕ハンマーの回転数と粉砕物の平均粒度との関係

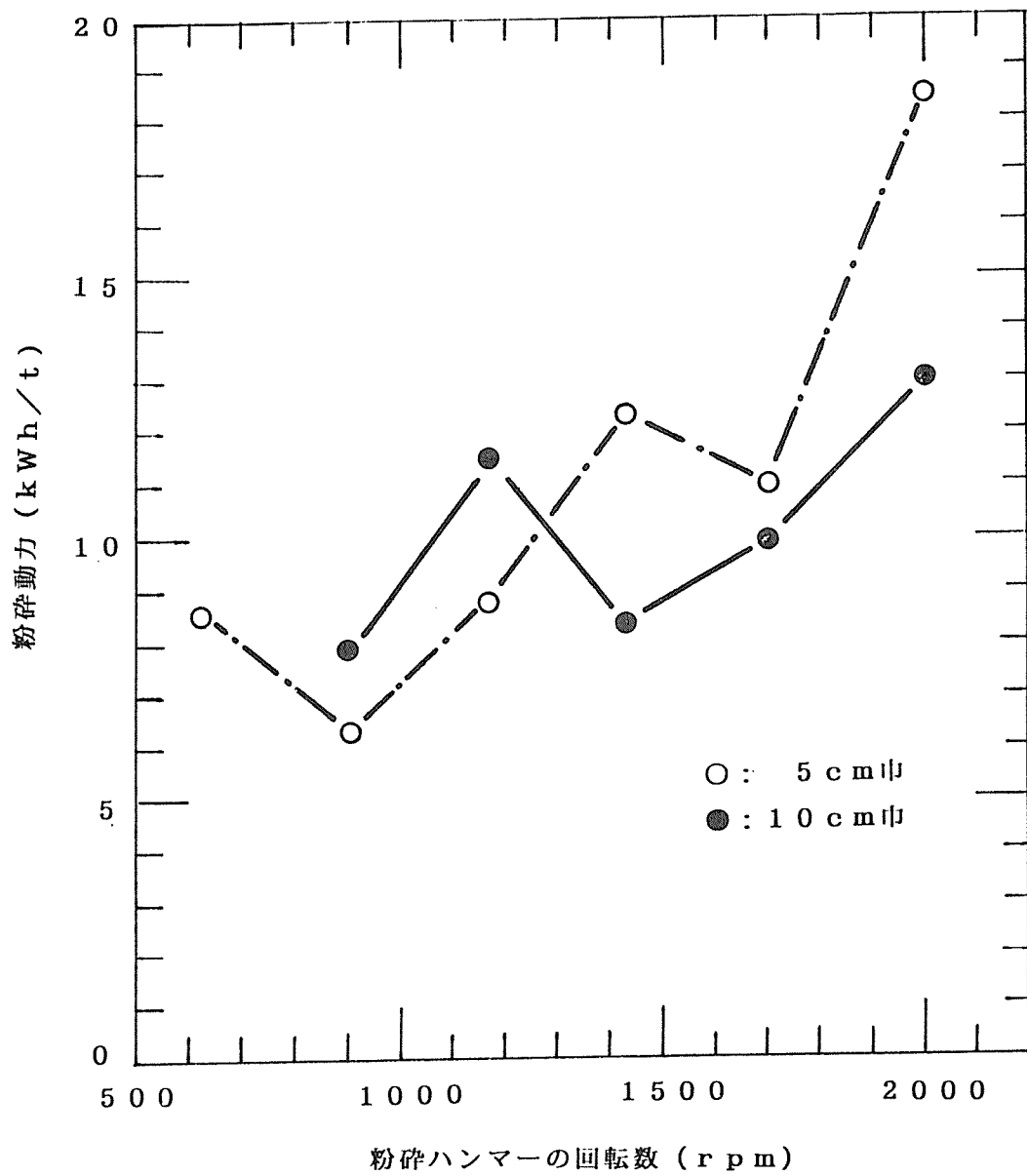


図 2 - 7 粉砕ハンマーの回転数と原料の全乾燥物
1 トンあたりの粉砕動力との関係

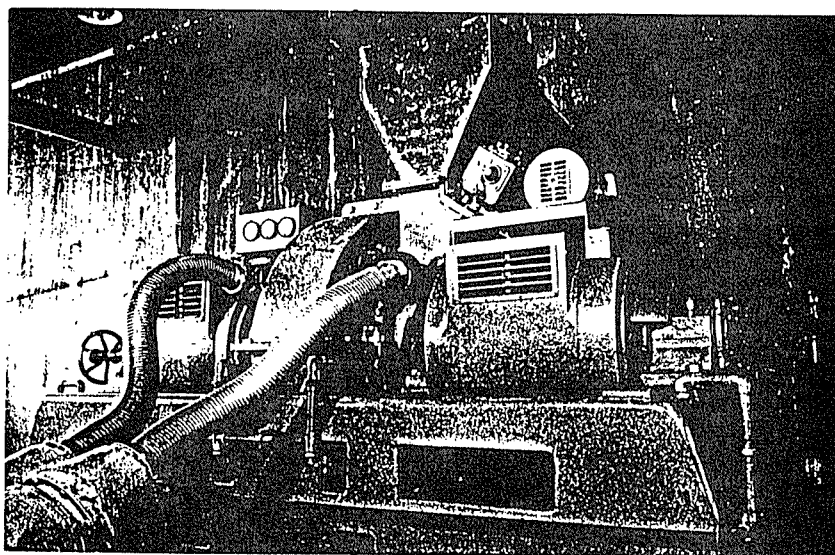


写真 2 - 3 ダブルディスクリファイナー

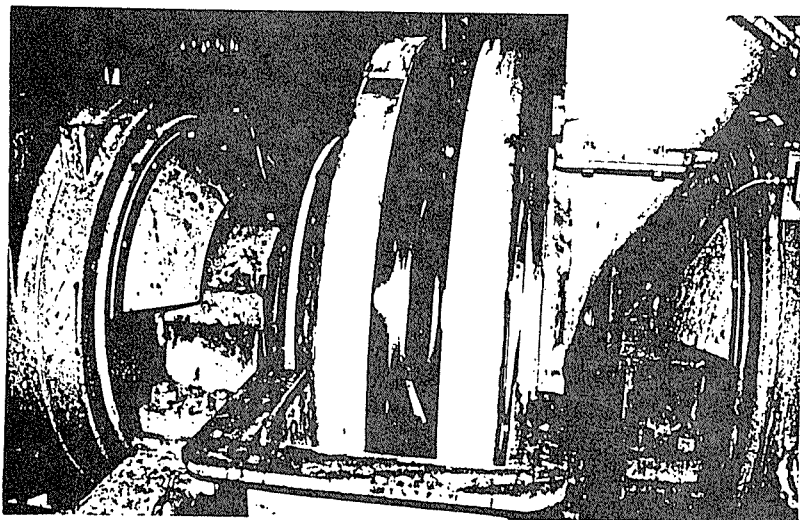


写真 2 - 4 ダブルディスクリファイナーの粉碎部

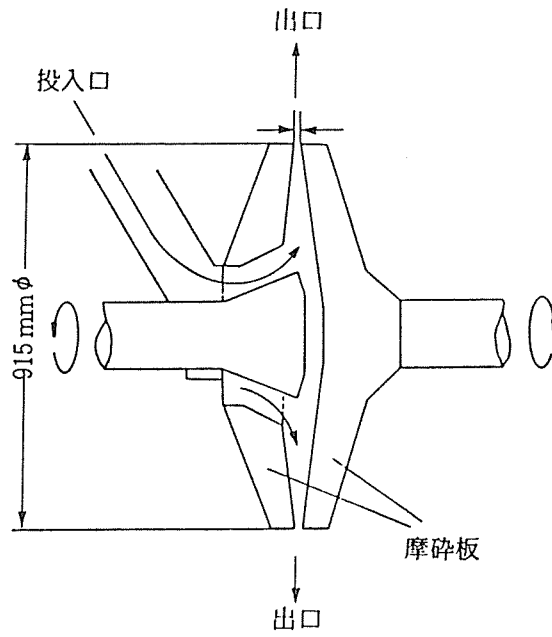


図2-8 ダブルディスクリファイナーのモデル

ファイバー骨格部の面積 a ($a = l \times b$)

「ひげ」が占有する面積 a' ($a' = l' \times b'$)

$$a' / a = (l' \times b') / (l \times b)$$

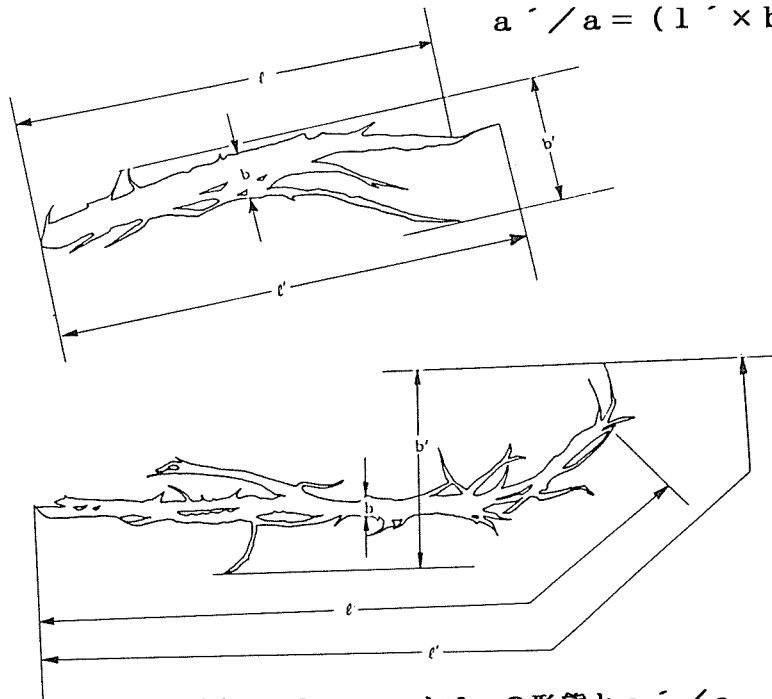
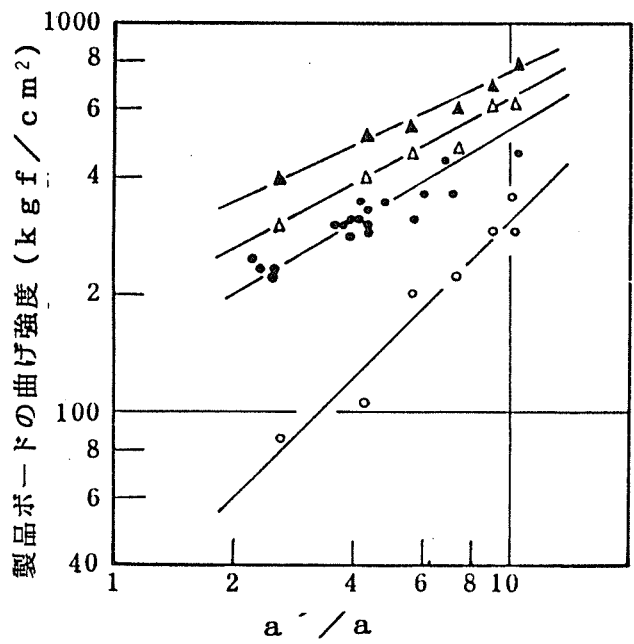


図2-9 ファイバーの形態と a' / a



ボード密度：1.0 (g / cc)

接着剤添加率

○：なし

●：2%

△：4%

▲：8%

図 2-10 製品ボードの曲げ強度と a' / a との関係

なる。この測定方法は、嵩密度の測定と平均粒度の測定からなっている。

3. 2. 1 嵩密度の測定方法。

(1)

測定試料を見かけで10リットル程度とり、乾燥機で105℃12時間程度乾燥し、乾燥後、大気中に三日程度放置し、静電気が起きない程度の水分とする。水分（湿量基準）は8%程度となる。

(2)

試料中から、バラツキがないように、試料を採取する。試料が十分にほぐれる程度のふるい（ファイバーの場合は、目開き4mm程度で、状況を見て2mm、または8mmのふるいを用いる。）を用いて、小型のほうき等を用いてよくほくしながら1リットル程度の容器に充填する。（林産試では、直径105mm、深さ115mmの塩化ビニルの容器をもちいている。）充填時には、容器を振動させたり、圧縮力を加えたりせず自然に充填することが必要である。

(3)

充填後、嵩密度を測定する。 ρ_b (g/cc)とする。

3. 2. 2 平均粒度の測定

測定方法は、2. 2. 2で述べた方法と同様である。但し、そこで述べたように鉛玉をもちいる。

3. 2. 3 a^{\sim}/a の計算

結果がでたら、以下の式によって a^{\sim}/a を求る。

$$a^{\sim}/a = 0.433 (\rho_b)^{-0.721} (d_s)^{-0.236}$$

ρ_b の単位はg/cc、 d_s の単位はmmである。

3.3 実験方法と結果

実験方法と結果を表2-3に示した。本実験の場合、原料は新鮮なチップを用いた。粉碎機の条件は、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。繊維化の程度を 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。図2-10によると、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。

表2-3 解体材の繊維化の可能性

樹種	蒸煮圧力 kgf/cm ²	蒸煮時間 分	目皿開孔比 %	かさ密度 g/cc	平均粒度 mm	a' / a
カラマツ	16	15	38	0.075	1.3	2.63
イゾット混	6	30	38	0.0298	1.3	5.12
イゾット混	16	15	38	0.0195	1.0	7.4
イゾット混	16	7.5	17.2	0.0200	0.7	7.9
イゾット混	16	11.5	17.2	0.0198	1.5	6.65
イゾット混	16	15	17.2	0.0167	1.02	8.3

第3章 廃コンクリート型枠等を利用したボードの開発

はじめに

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、量的に大きな割合を占めていると思われる、使用済み（すなわち耐用期限の過ぎた）コンクリート型枠合板は一部において、例外的に再使用されているが、まだ決定的な再利用の方法は確立していないように思われ、せいぜい燃料に使われるか、単に焼却処分されている場合も多いように思われる。われわれのグループでは、これまでに引き続いて、分担課題の、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と、今年度より新たに取り上げたパーテクルボードの製造実験を次のような目的で行った。すなわち、既存の工業化されているセメントボード及びパーテクルボードはそれぞれに適した原料を用い、優れた品質の製品を製造し、市場において受け入れられている一定の確立した用途を持っている。従って、型枠廃材という品質の劣る原料を用いて、これらの製品と同等のあるいはこれらより優れた新製品を作りだし、これらの製品に対抗することは容易ではないと思われる。そこで、これらの製品（窯業系無機木質複合材料やパーテクルボード、MDF等）の既往の用途にとらわれない、何らかの目的で使用に耐える性能を持った製品を製造することを最終目標として、最適の製造条件を探るための基礎実験を行った。昨年度迄の研究により、2、3回迄使用された型枠合板を原料として、ある程度の品質を持った木質セメント板を製造することができることが明かになった。これらを背景として、今年度は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、新しい使用方法の可能性を追及するために、ボードの性質の中で、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、ある用途にとって必要最小限度の強度及び特徴を備えたボードを製造することを目的として実験を行った。現在までにえられた2種類のボード製造実験の結果の概要は次の通りである。

要約及びキーワード

要約：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原料をさらに小型のハンマークラッシャーで破碎し、スクリーン上に残った部分を再度破碎し、得られた大きさの異なるチップをそのまま、あるいは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、厚さ膨潤率等を測定して、製造条件と材質の関係を調べ、最適な製造条件を検討した。

キーワード：廃コンクリート型枠合板、ハンマークラッシャー、チップセメントボード、パーテクルボード、曲げ強さ、曲げヤング係数、剥離強度、吸水率、厚さ膨潤率、篩別、比重、セメント／チップ比(C/W 比) 精細チップ、粗大チップ、再利用、資源化

1. チップセメントボード

前述の通り、昨年度迄の、われわれのグループ及び北海道立林産試験場のグループの研究で、使用済み型枠合板を原料として、ある程度の品質を備えた木質セメントボードを製造することは可能であることが明らかになった。しかも、われわれの実験によれば、硬化不良を惹き起こす可能性があるラワン合板が型枠として使用されることによって、セメントの硬化を阻害すると思われる物質が除去され、セメント硬化性はむしろ改善されていると推測された。しかし、型枠としての使用回数がおおよそ3回を越えると木材の劣化が進み、セメントボードの原料としての適性も低下することがわかった。また、われわれが採用したチップ化の方法では均一なチップの製造ができないため均一なマットを作るホーミングが困難となり、このため北海道グループに比べて、セメント木材複合材料の通常の使用のために十分な曲げ強度を達成することができなかった。そこで今回は新しい方法で製造された前回と異なる形状のチップを用い、さらにこれをかなり狭い範囲に篩別することにより、大きさのそろったチップを用い均一なマットをホーミングし、材質の改善を試みた。

1.1 試料

原料チップは名古屋木材倉庫（株）チップ工場（廃材処理工場）において大型ハンマークラッシャーによって破碎された廃コンクリートパネルの粗大チップをさらに小型のハンマークラッシャーで粉碎して製造した。ボード製造に供したチップの製造フローと各区分の収率は図3-1の通りである。

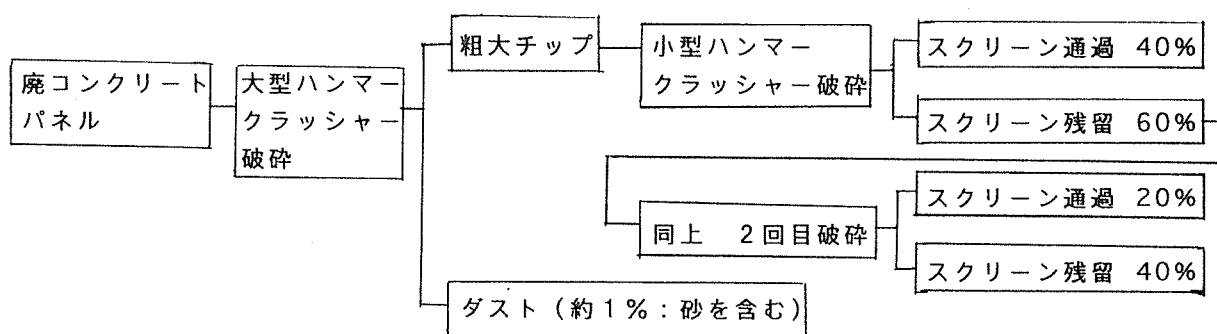


図3-1 原料チップ製造フローと各区分収率

1.2 製造条件

まず、上記の粗大(L;クラッシャーのスクリーン上に残ったもの) または精細(S;クラッ

シャーのスクリーンを通過したもの)の2種類のチップを用い、セメント／チップ比を2.0,2.5及び3.0の3段階に変えて、チップセメントボードを製造した。

次に、この結果から、チップをさらに均一にして使用すればさらにすぐれた材質のボードがえられることが予想されたので、これらのチップをさらに狭い範囲に篩別してボードを製造することにした。

そこで上記のSをさらに5mm及び20meshのスクリーンで篩別し、その中間に留まったものを用いた(これを記号fで表わす)。

さらに上記Lを10mmの篩に通し、5mmから10mmの中間に留まったものを使用した(これを記号gで表わす)。

得られた、チップを写真3-1に示す。

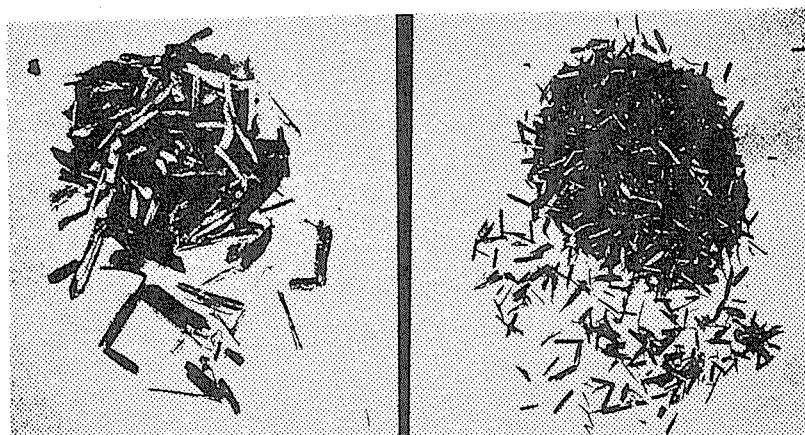


写真3-1 篩別されたチップ：左側；粗大チップ(g),右側；精細チップ(f)

製造条件の種類は、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、圧縮圧力を10kg/cm²(記号10で表わす)、15kg/cm²(同じく記号15)及び20kg/cm²(同じく記号20)の3段階に変え、チップは細かいものと粗大なものの2種類(記号fとg)を用いたので、組み合わせは12通りとなる。これにさらに精細チップと粗大チップを均等に混合したもの(fg)を2種類加えたので、製造条件は次の都合14通りとなった。

製造条件の種類(記号)

A10g; A10f; B10g; B10f

A15g; A15f; B15g; B15f

A20g; A20f; B20g; B20f

B15fg; B20fg

(註) 例えば、A10fはセメント／チップ比(C/W)=2.0(条件A)、圧縮圧力10kg/cm²(=10)、精細チップ使用(f)の意味。

ボードの大きさは30cm×30cm×1.3-1.8cm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%くわえ、セメント／水比は条件Aで1.85、条件Bで1.51とした。

1枚のボードの原料配合比は次の通りである。

	A	B
C/W	2.0	1.5
セメント	720g	650g
チップ	360g	430g
塩化カルシウム	22g	20g
水	390g	400g

1.3 測定項目

製造された30cm×30cmの1枚のボードから幅4cm長さ24cmの曲げ試験片を4個ずつ採取し、曲げ試験を行い、曲げ破壊係数及び曲げヤング係数を測定した。また同じく1枚のボードから5cm×5cmの試験片を4個ずつ採取し、25℃の恒温水槽中に24時間浸漬後厚さ膨潤率及び吸水率を測定した。

1.4 結果及び考察

1.4.1 曲げ強さ

まず、大型ハンマーミルで粗砕されたチップをさらに小型ハンマーミルで破碎して製造されたチップのうち、ミルに付属したスクリーンを通過したものと通過しなかったものを篩別せず、そのまま使用して製造したボードの曲げ強さ及び比重は表3-1の通りである。スクリーン上に残留した粗大なものをL、スクリーンを通過した細かいものをSという記号で表わした。なお、ここで用いた篩別されていないチップを、本実験で用いた厳密に篩別したチップとを区別するために、同じ粗大チップで篩別していないものをL、本実験で用いた篩別されたチップをg、同様に篩別されていない精細チップをS、本実験で使用した篩別されたチップをfという記号で表わすことにした。

表3-1 未篩別チップを用いたボードの曲げ強さ（平均値）

種類	比重	曲げ強度(kgf/cm ²)
La	1.12	64.1
Lb	1.18	64.2
Lc	1.27	48.6
Sa	1.18	86.8
Sb	1.27	82.3
Sc	1.31	71.7

(註) 値は30cm×30cm、厚さ約25mmのチップセメントボードの製造後1か月に測定されたもので、各条件ごとに2枚のボードからそれぞれ5個の曲げ試験片を採取し、強度を測定したので、いずれも10個のデータの平均値である。なお、ここではセメント/チップ比は次のように表わしてある；C/W=2.0(これを記号aで示す)、C/W=2.5(これを記号bで示す)、C/W=3.0(記号cで示す)(C:セメント、W:チップの各重量を示す)

これらの曲げ強さの値を昨年度の結果と比較すると、比重の範囲は殆ど変わらないが、曲げ強さが、昨年度の30～40kgf/cm²から50～85kgf/cm²と約2倍に改善された。チップの大きさの違いを比較すると、粗大チップを用いたもの(L)の平均曲げ強さは59.0kgf/cm²、精細チップを用いたもの(S)の平均は80.3kgf/cm²となり、精細チップを原料としたものの方が約36%ほど大きな値を示した。またセメント/チップ比の効果を見ると、ラージチップ(L)、スモールチップ(S)のいずれの場合もc、すなわちセメント/チップ比が最も大きい3.0の場合の曲げ強さが最も低く、他の2条件間(aとb)では明瞭な違いが認められなかった。

しかし、昨年度の強度に比べて改善されているとはいえ、この曲げ強さは、比重の割合に(例えばに市販されているセメントボードのそれに比べて)それほど高くないので、こ

表3-2 製造したチップセメントボードの比重、曲げ強さ及び曲げヤング係数

種類	比重	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (×10 ⁴ kgf/cm ²)
A10f	0.97	32.3	1.44
A15f	1.08	60.3	2.25
A20f	1.09	68.1	2.37
A10g	1.00	51.9	2.06
A15g	1.02	54.5	1.97
A20g	1.09	61.0	2.83
B10f	0.96	45.9	1.42
B15f	1.03	44.4	1.51
B20f	1.03	41.4	1.53
B10g	0.88	33.2	1.05
B15g	0.91	40.4	1.12
B20g	0.99	40.9	1.24
B15fg	1.02	41.4	1.76
B20fg	1.04	72.0	2.42

これは、篩別してチップの均一性を高くするとともに比重の範囲を広げ、様々な材質を持ったボードを製造することを目標にして、新たに上記の通りの条件によりボードを製造した。なお、上記のチップのサイズ別の分布から、2回のハンマークラッシャー破碎によって、精細チップが、原料の約60%えられ、また粗大チップが約40%えられ、いずれも原料として使用可能であることが明かになったので、原料の利用効率は非常に高い(図3-1参照)。

次に、前述の予備実験結果に基づいて設定した本実験結果を説明する。製造されたボードの比重、曲げ強さ、曲げヤング係数の測定結果を一括して表3-2に示す。すべての条件によって製造されたボードの曲げ強さを比重に対してプロットすると、図3-2のようになる。予備実験のボードは製造後1カ月の値であるのに対して、これらは製造後2週間養生したものの測定値であるので、曲げ強さは1カ月後にはさらに10-15%程度向上し、比重も若干低い値となると予想される。

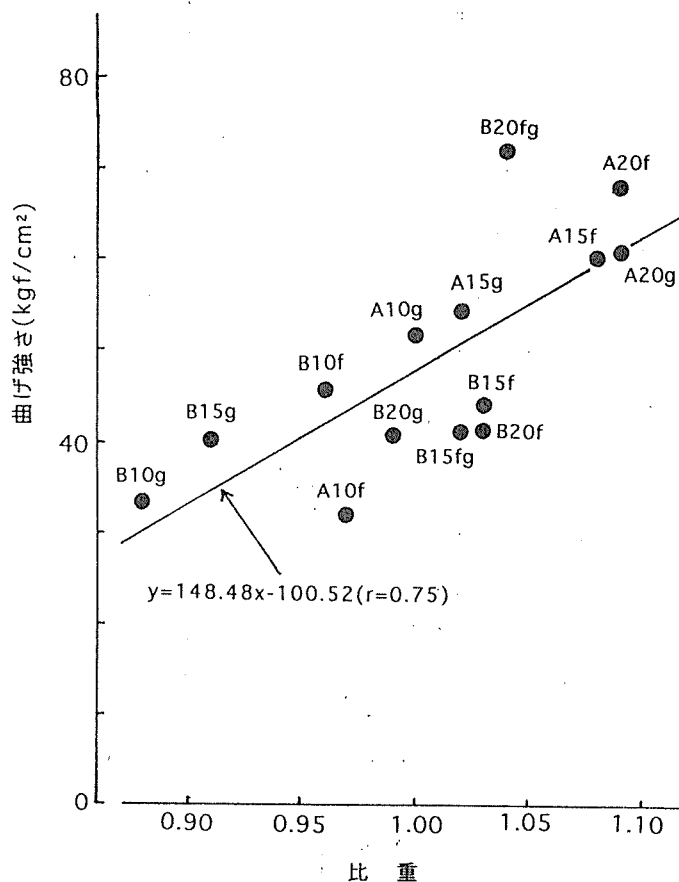


図3-2 製造された全ての種類のチップセメントボードの比重と曲げ強さの分布

図によれば、製造されたボードの比重及び曲げ強さの範囲はそれぞれ、比重約0.88から1.10、曲げ強さ約30kgf/cm²から75kgf/cm²である。これは、前述の予備実験の結果、

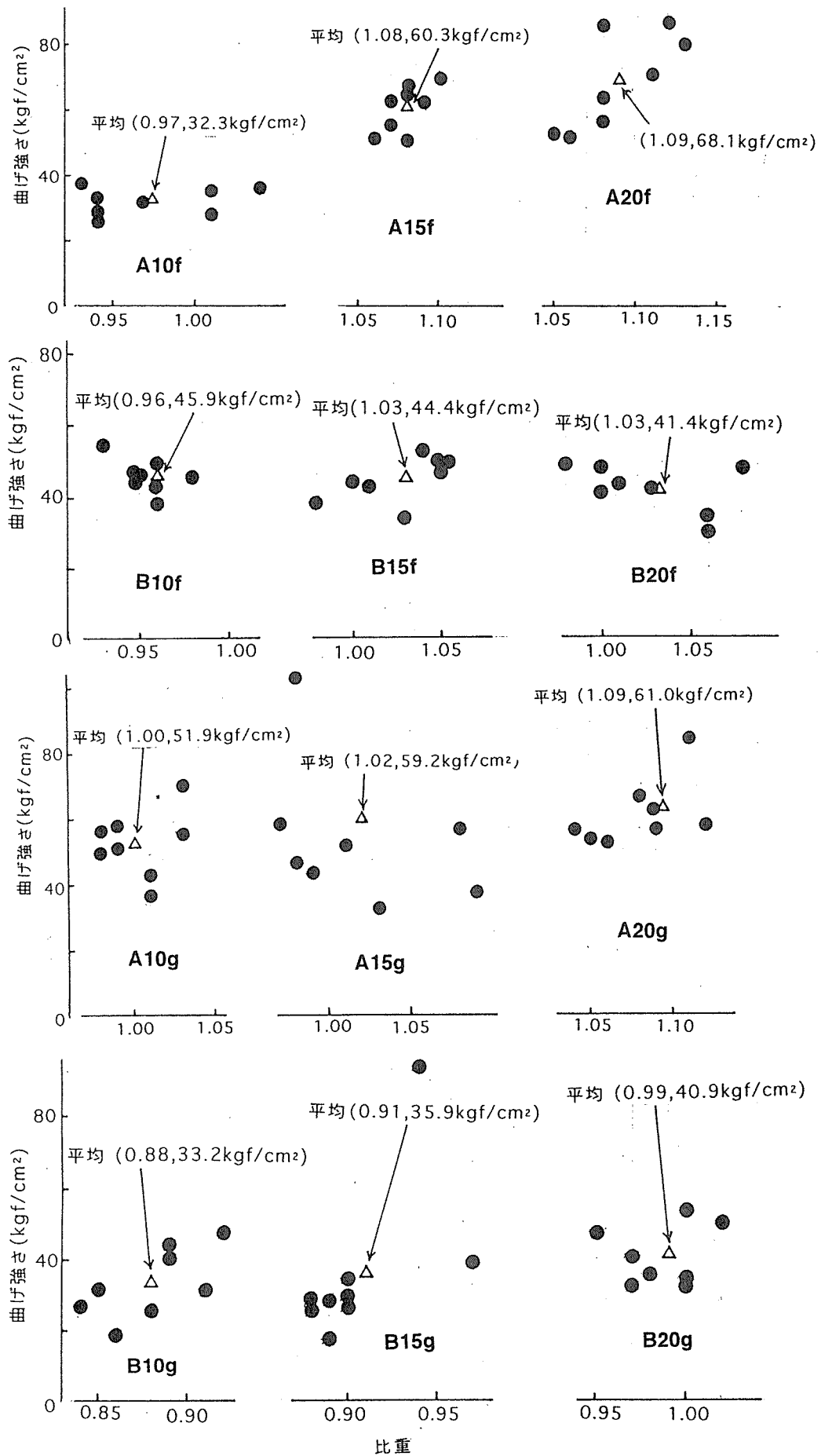


図3-3 圧縮圧力の曲げ強さに対する効果

即ち、比重1.12から1.30、曲げ強さ、約64-87kgf/cm²に比べると、比重が約1.5-2.0%軽くなっている割合に強度はそれほど低くないという点ですぐれた材質であると評価できると思われる。これらの中で平均よりも優れた強度を示した種類（プロットが回帰直線よりも上側に存在するもの）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、圧縮圧力20kg/cm²で製造したB20fgが比重1.05に対しては高い曲げ強さ約72kgf/cm²という値を示した。

圧縮圧力の効果を見るために、チップ/セメント比及びチップサイズ別に比重と曲げ強さの関係をプロットすると図3-3のようになる。これらによれば、圧縮圧力のに対する効果が最も顕著な組み合わせはAf、即ちA(セメントリッチ)で細かいチップ(f)を使用したもので、圧縮圧力が10→15→20kg/cm²と増大するに伴い、曲げ強さは32.3→60.3→68.1kgf/cm²と急激な増加を示している。また同時に比重も0.97→1.08→1.09と増大しているが、圧縮圧力10→15の増大区間に比べて、15→20 kg/cm²の増大による比重の増加は僅かである。ついで曲げ強さに効果があったのはAg(セメントリッチ&粗大チップ)の組み合わせで、これは10→15kgf/cm²の間の効果が大きく15→20kg/cm²の間の曲げ強さの増加は僅かである。これら2つの条件(AfとAg)では、圧縮圧力の増大が比重を増大させる効果も認められる。これに対して、Bすなわちセメントプア(=チップリッチ)の条件のものは圧縮圧力の強度に対する効果が低く、特にBfの組み合わせ、即ち、セメントプアで細かいチップを使用したものでは、圧縮圧力が強度にまったく効果を示さないのみか、むしろマイナスの効果を示し、圧縮圧力が高くなるにつれて曲げ強さが45.9→44.4→41.4kgf/cm²と低下している。この条件では比重も圧縮圧力10→15kg/cm²と増大する間に0.96から1.03と増加しているが、15→20kg/cm²の増大に対してはまったく効果を示さず、比重はどちらも1.03と変わらない。Bg(セメントプア及び粗大チップの組み合わせ)ではあまり顕著ではないが、強度にも比重にも圧縮圧力の増大に伴って、増大を示す傾向が認められる。

次に、セメント/チップ配合比の効果を見るために、チップサイズ別(fとg)に比重と曲げ強さの関係をプロットすると図3-4のようになる。

まずファインチップの場合(f)では、比重1.05以上の領域に存在するプロットは大部分がAすなわちセメントリッチのもので、これらは相対的に強度も高い。しかし、比重が1.05よりも低い領域ではB(セメントプア)のプロットの方がA(セメントリッチ)のプロットよりも上に存在し、比重がある程度低いボードを製造するにはセメント配合率を低くした方が有利であることを示している。しかし、この図において最も注目すべきことは、セメント配合比Bの条件でのみ製造されたfg(細かいチップと粗大なチップを1対1で混合して製造したボード：図中の三角のプロット)が比重1.00から1.08の範囲において、A及びBのプロットのかなり上側に存在していることである。fgはセメント配合比の低いBのみで製造されたので、比重が1.08よりも高いものはできなかったが、このグラフはfgが中間の比重の範囲1.00から1.08では強度のすぐれたボードを与えることを示している。

次に、粗大チップの場合（g）には、比重が0.95よりも低い範囲及びfgのプロット（△）を除くと、比重が高くなっても、強度がほとんど増加しない傾向が認められる。また比重0.95以下の範囲に存在するプロットは全部B、即ちセメントプアの配合比のものである。またここでも、fgのプロットは比重1.01から1.08の範囲で他のプロットよりも上に存在し、すぐれたボードを与える条件であることを示している。

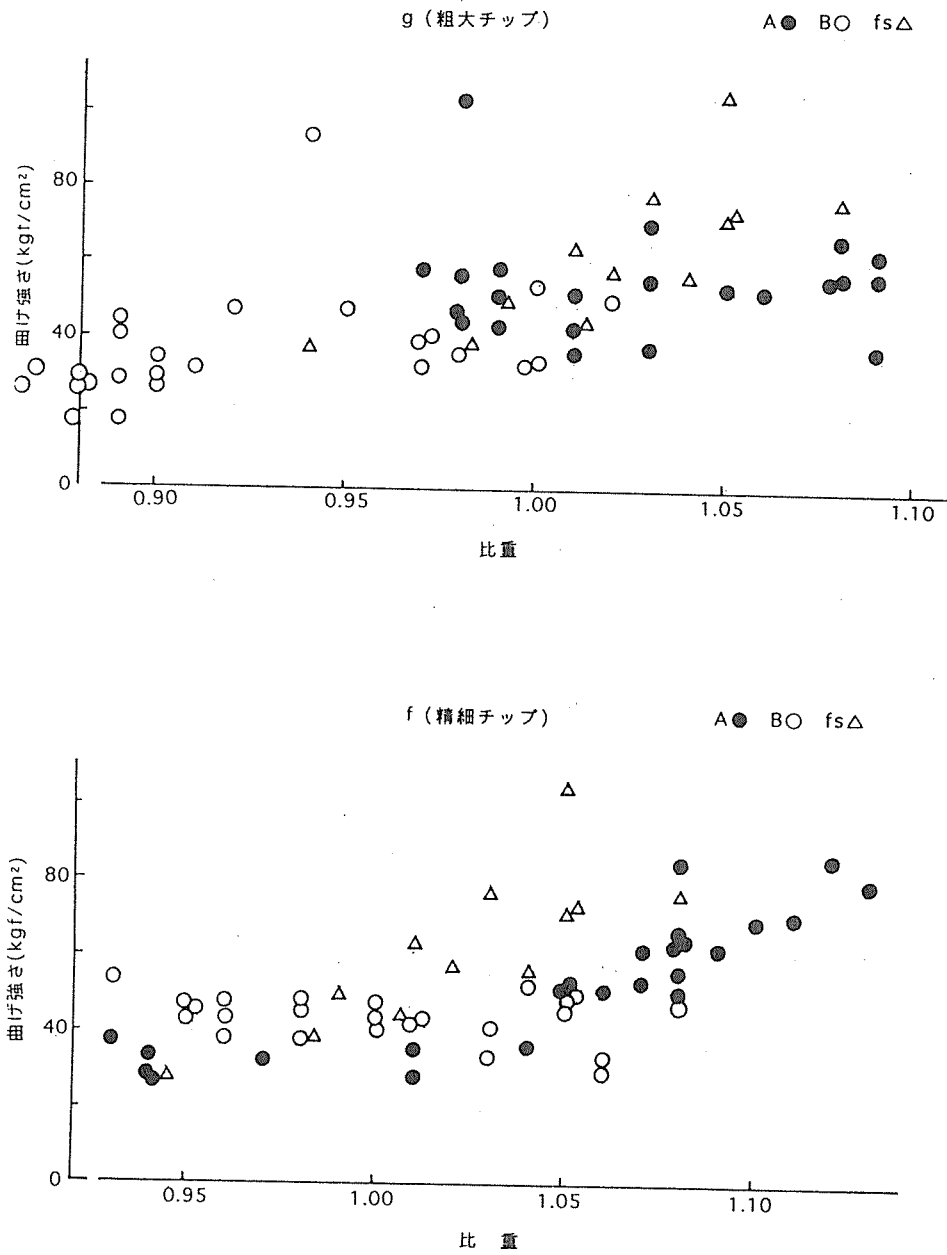


図3-4 セメント/チップ配合比の効果

1.4.2 厚さ膨潤率及び吸水率

次にボードの厚さ膨潤率と吸水率の測定結果をまとめて表3-3に示す。

表3-3 チップセメントボードの厚さ膨潤率と吸水率

種 類	厚さ膨潤率 (%)	吸水率 (%)
A10f	2.9	15.3
A15f	3.9	12.5
A20f	2.5	13.0
B10g	4.1	19.6
B15g	5.2	22.3
B20g	5.2	22.5
B10f	3.7	26.2
B15f	2.7	23.8
B20f	3.5	22.2
A10g	3.6	18.0
A15g	3.3	18.0
A20g	4.3	17.6
B15fg	3.3	21.0
B20fg	3.3	19.6

表によれば、製造したボードの厚さ膨潤率は約3%から5%、吸水率は約13%から26%の範囲にある。セメント配合比AとBの間ではセメントリッチのAの方が膨潤率、吸水率ともにBよりも低くすぐれている。チップのサイズに関しては一定の傾向が認められず、圧縮圧力とセメント配合比の2条件との組み合わせによって左右される。

2. パーテクルボード

2.1 原料

木質セメントボードの用いたものと同じの原料と一部は廃材処理工場で生成した2種類のダストを加えて使用した。チップの大きさにより次の各種類がある。

f: 上記の通り大型ハンマクラッシャーで1次破碎された原料を小型ハンマクラッシャーでさらに1回破碎し、クラッシャー付属のスクリーンを通過したものを実験室でさらに5mm及20meshの篩で篩別しその中間に留まったもの

g: 同じく大型ハンマクラッシャーで1次破碎された原料を小型ハンマクラッシャーで2回粉碎し(1回目の粉碎で3mmのスクリーン上に残留した部分を再度粉碎する)、同

- じスクリーン上に残留したものをさらに実験室において5mm篩で篩別し、通過した部分
- C : 名古屋木材倉庫の廃材粉碎装置（ハンマークラッシャー）から出たダストを実験室で篩別し、2mmより粗大な部分と40meshよりも微細な部分をカットした
- D : 針葉樹ダスト、2mmの篩に残留する部分と40meshを通過する部分をカットし

2.2 製造条件

製造条件は次の通りである。

●単層ボードと3層ボード

単層ボードは上記f及gを原料として製造した。3層ボードは上記の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 (f:内層、C:表層)、D-g-D (g:内層、D:表層) 及C-g-C(g:内層、C:表層) の3種類

●接着剤：フェノール接着剤（大鹿振興株式会社製、パーテクルボード用接着剤；大鹿レジンPB-1310号、不揮発分44-48%、比重1.15-1.20、PH10-11）

接着剤添加量（含脂率）：単層の場合；5%、10%、15%

3層の場合；表層15%、内層5%

●目標比重：単層ボード；0.5、3層ボード；0.7

●目標厚さ：単層15mm、3層10mm

●最高圧縮圧力：25kgf/cm²(3層ボード)、12.5kgf/cm²(単層ボード)

●圧縮温度：180℃

なお、製造したボードの寸法は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を用い、含脂率5%で製造したもの）

f10（同じく、含脂率10%で製造したもの）

f15（同じく、含脂率15%で製造したもの）

g5（チップBを用い、含脂率5%で製造したもの）

g10（同じく、含脂率10%で製造したもの）

g15（同じく、含脂率15%で製造したもの）

単層ボードはいずれも最高圧縮圧力12.5kgf/cm²、目標比重0.5、厚さ15mm

○3層ボード：

C-f-C（チップCを表層にチップfを内層に使用し製造したもの）

D-g-D（同様にチップDを表層に、チップgを内層にして製造したもの）

C-g-C（同様にチップCを表層に、チップgを内層にして製造したもの）

3層ボードは最高圧縮圧力25kgf/cm²、目標比重0.7、厚さ10mmで製造した。

2.3 結果

2.3.1 曲げ強さ

(1) 単層ボード

チップを用いた3層ボードの曲げ強度を、含脂率別に比重を横軸にとってプロットすると図3-5のようになる。同じ圧縮圧力でも、含脂率が増加するに従って、約0.5から0.6まで比重が増大した。

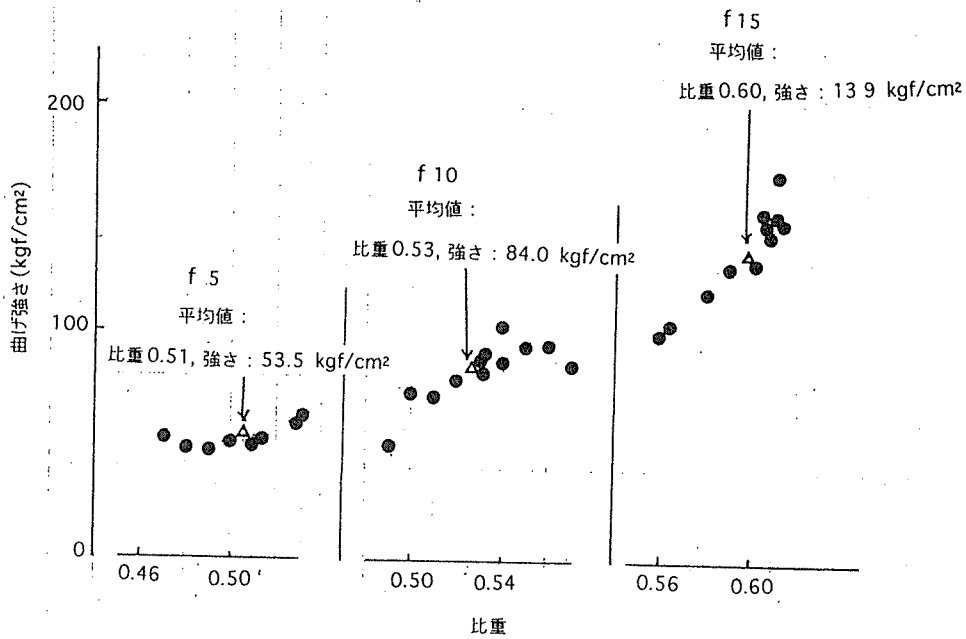


図3-5 チップfを用いた単層ボードの比重と曲げ強さとの関係

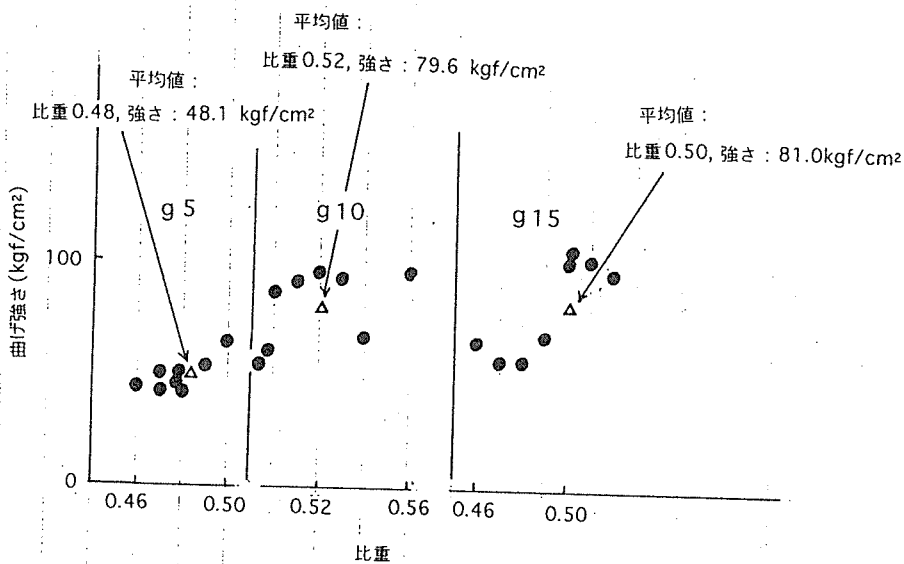


図3-6 チップgを用いた単層ボードの曲げ強さと比重の関係

それに伴って曲げ強さも上昇する傾向を示した。しかし、全体に圧縮圧力が比較的低いため、比重は最高で0.6程度の比較的軽いボードとなり、曲げ強さは最高で180kgf/cm²程度とやや不十分であった。

同じくチップgを用いたものを図3-6に示す。この場合は含脂率増大による比重と強度の増大の傾向が、チップfの場合のように明瞭に現われず、g10とg15の間では殆ど差が認められない。この理由は、チップgはチップfに比べて形が粗大であるために、均一なホーミングが困難となり、そのためボードの内部の構造が緊密にならず、接着剤を増やした効果が現われにくく、比重も低めになることにあると推測される。従って、この2つのチップサイズを比較すると、パーテクルボード製造の原料チップの形状としては、少なくとも、ここで用いたf,g間では5mm以下のやや微細なもの(f)の方が適していると思われる。実験室においてはさらに最適のチップの形状を追及することができるが、原料が合板であるため、既存のチップ製造装置では作られるチップの形状はある程度限定されるので、これからの課題は、チップをここで実験した以外のメッシュで篩別し、どのぐらいのメッシュのチップを使用するのがボードの材質にとって最も有利なのかを決定することである。

(2) 3層ボード

3種類の単層ボードの比重と曲げ強さとの関係を図3-7に示す。

3種類の単層ボードの強度の平均値はC-f-C (228.0 kgf/cm²) > C-g-C (219.3 kgf/cm²) > D-g-D (198.0 kgf/cm²) の順となる。これに対して、比重の順序は、差はわずかであるがこれと反対となっている。これはボードC-f-Cが比重が低い割に強度が高

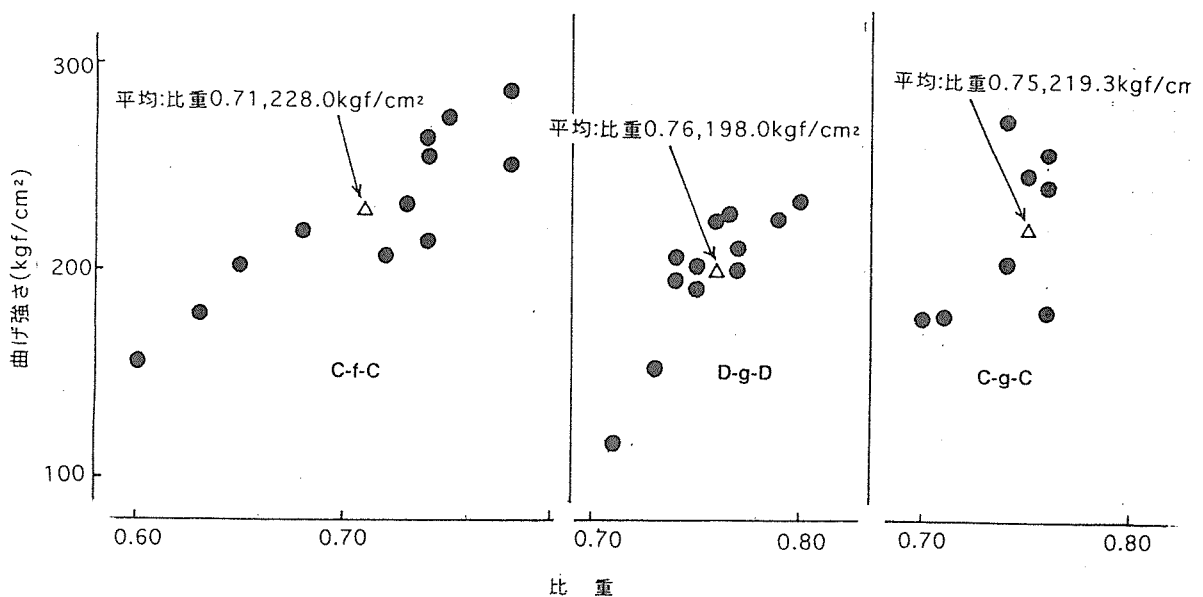


図3-7 3層ボードの比重と曲げ強さとの関係

いことを示しており、比重のパラツキが大きい点を除くと優れた材質を持つことを意味し

ている。なお、fとgはチップのサイズが異なり、fの方が細かく、また、CとDとはメッシュは同じであるがCは一般の廃材のダストであり、Dは針葉樹だけの廃材のダストである。これらの結果からf,g種類のチップを比較すると、単層の場合でも3層の場合でもチップ、すなわち5mmのスクリーンを通過したものが、5mmのスクリーン上に残留した粗大なものgよりも、均質で、ある程度強度の大きなボードが製造できることがわかった。また型枠廃材チップを原料として、フェノール樹脂接着剤を用い、含脂率10%程度で単層または、3層ボードを製造すると、チップが均一であること、すなわち、十分に篩別されたチップを用いれば、比重0.6-0.7程度で、曲げ強さ220 kgf/cm²以上の製品が製造できることがわかった。

2.3.2 剥離強度

剥離強度の測定結果は次の通りである。

種類	剥離強度(kgf/cm ²)
f 5	2.4
f 10	4.1
f 15	10.8
C-f-C	6.7
C-g-C	8.3
D-g-D	5.9

剥離強度の値はf 15を除いて、10 kgf/cm²以下であり、それぞれのボードの曲げ強度の水準から考えるとやや低めである。また、曲げ強度は殆どの場合、単層ボードよりも3層ボードの方が大きかったのに対して、剥離強度はこれと反対に単層の接着剤15%の場合が高くなっている。この理由は剥離は殆どの場合に内層で起り、この層の接着剤添加量（含脂率）は最も低い5%であるからであると推測される。

2.3.3 厚さ膨潤率及び吸水率

次にボードの25℃における24時間浸漬後の厚さ膨潤率及び吸水率の測定結果を図3-8に示す。なお、単層ボードについては細かい方のチップを用いたfシリーズの結果のみを示してある。単層ボードの場合吸水率は75-130%の範囲に分布しているが、f5→f10→f15と含脂率が增大するに従って、急激に低下を示しており、接着剤の効果が明瞭に現われている。しかし、膨潤率については、接着剤量の効果が認められるが、数値の上ではその効果は吸水率ほど顕著ではない。しかし、f15においてはf5に比べて約30%から約15%迄半分に低下しているので、接着剤の効果はやはりはっきりと現われていると見るべきであろう。

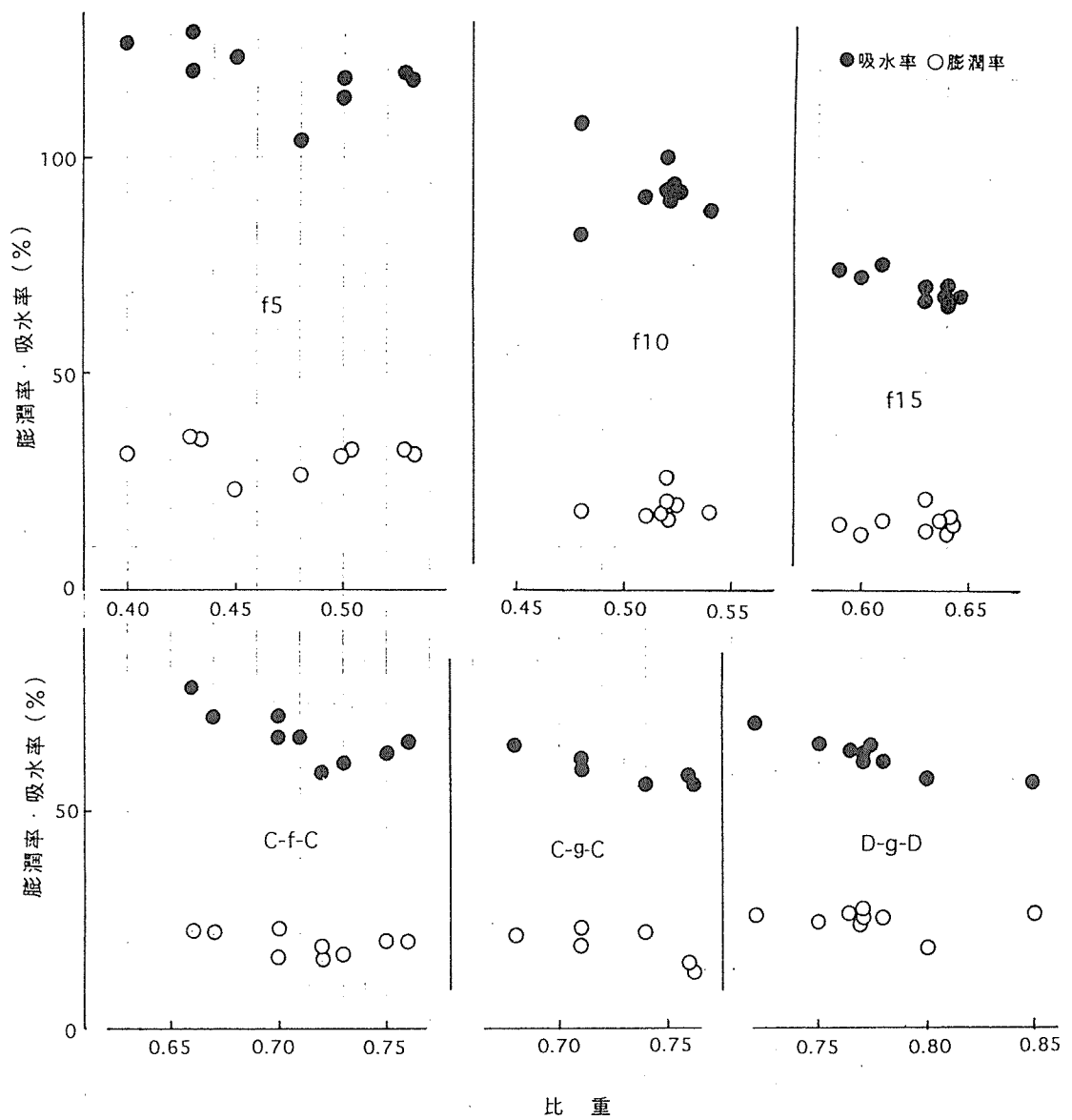


図3-8 24時間浸漬後の厚さ膨潤率及び吸水率

3. まとめ

使用済みコンクリート型枠合板を廃材処理工場においてハンマークラッシャーで粗砕した原料を小型ハンマークラッシャーで破碎してえられた原料から大きさのことなる2種類のチップを用いて、幅広い比重範囲のチップセメントボード及びパーテクルボードを製造し、その強度と2、3の物性を測定した。得られた結果をチップセメントボードとパーテクルボードに分けて要約すると次の通りとなる。

3.1 チップセメントボード

- (1) 型枠合板廃材の2段階または3段階のハンマークラッシャーによる破碎処理によって原料の90%以上が、本実験で使用した粗大チップまたは精細チップのいずれかに入ること、またこれらはいずれもボードの原料として適していることがわかった。
- (2) 篩別せずに原料としてセメントボードを製造すると粗大チップよりも精細チップの方が強度の高いボードを与え、ある条件下では比重約1.2で曲げ強さ約90kgf/cm²がえられた。しかし、粗大チップは比重が低いボードの製造には適していた。
- (3) 十分に篩別された精細チップと粗大チップを用い、2種類のセメント/チップ比、3段階の圧縮圧力で製造したチップセメントボードの比重、曲げ強さ、曲げヤング係数の範囲は、それぞれ、0.90-1.10、32-72kgf/cm²、及び11,200-28,800kgf/cm²であり、比較的軽く、ある程度強いボードが製造できることがわかった。
- (4) 14通りの条件のうち、最も優れた材質のセメントボードを与えたものは、いずれも篩別された精細チップ及び粗大チップを1対1の比で混合した原料を用い、C/W（セメント/チップ）比1.5、圧縮圧力20kg/cm²で製造されたもので、比重1.04、曲げ強さ72.0kgf/cm²、厚さ膨潤率3.3%、吸水率19.6%であった。
- (5) 精細チップ及び粗大チップはいずれも単独で原料として使用することができ、それぞれ特徴を持ったボードを与えるが、全体的に精細チップの方がセメントボード原料としてはやや適性が高いように思われる。

3.2 パーテクルボード

- (1) 単層ボードの比重及び曲げ強さの範囲はそれぞれ、0.46-0.62、48-140kgf/cm²であり、比重はやや低いが強度も十分ではなかった。
- (2) 単層ボードについては、3段階のすべての含脂率において、精細チップの方がすぐれたボードを与えることがわかった。
- (3) 特に粗大チップを原料とした場合には、含脂率を高くしてもその効果が明瞭に現われなかった。
- (4) 3層ボードは比重をやや高め0.70-0.75にして製造したため、3種類とも、曲げ強さは約200から230kgf/cm²となり、通常の使用に十分耐えるボードが得られた。
- (5) 3層ボードのうち、最もすぐれた材質のボードを与えた条件はC-f-C、すなわち、表層に廃材処理工場で生成したハンマークラッシャーダスト（篩別して2mm-40 meshの部分のみを使用）を、内層に精細チップを用い含脂率は表層15%、内層5%、最高圧縮圧力25kgf/cm²、圧縮温度180℃で、比重0.71、曲げ強さ228kgf/cm²であった。

第4章 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Ⅱ

1 はじめに

木質系廃棄物のうち、建築解体材や廃パレットや廃コンパネ等は、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¹⁾が、そのリサイクル化率は低い。特に、北海道にはボード工場が1社しかないため、資源とな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³⁾。

一方、廃コンパネおよび建築廃材のリサイクル化の用途・製品を考えると、

●廃コンパネに付着したコンクリートが悪影響を与えないこと

●泥、石、金属等の異物の混入に、あまり敏感でないこと

●ボード原料としてみた場合、良質な形状のパーティクルでなくともかまわないこと

といった条件を満たすものとして、セメントボードが考えられる。

このような背景から、北海道で発生する木質系建築廃材（解体材、廃コンパネ）を原料とした硬質木片セメント板（耐火野地板）の適正製造条件の確立、を目的とした一連の研究を行った。

前年度²⁾は、入手した1種類の廃コンパネを原料として、廃コンパネ・セメント混合物の水和熱測定試験を行い、セメント硬化促進剤（塩化マグネシウム）を3%程度添加すれば、セメントの硬化不良の心配がないことを確かめた。次に、廃コンパネと解体材を混合した木質セメントボードの製造・性能試験を行い、強度性能（曲げ強さが低い）および難燃性能（難燃2級に合格しない）の点から廃コンパネのみのボードは無理なことが分かった。ボード原料としては、解体材（柱・梁が主体）に0～3割程度の廃コンパネを混合したものが適していることが分かった。こうした一連の試験から、木質系廃棄物（廃コンパネ・解体材）を原料とした耐火野地板用硬質木片セメント板の適正製造条件を確立し、市販品と同等の性能を持たせることができた。

今年度は、次の3課題について検討し、北海道で発生する木質系建築廃材（解体材・廃コンパネ）を原料とした耐火野地板用硬質木片セメント板の製造方法の確立および性能評価を行った。

①適正な脱型時間・養生期間の検討

②適正製造条件による実大セメントボード（1m×2m）の製造とその性能評価

③今後のセメントボード原料なる木質系廃棄物の水和熱測定試験による原料適正の確認

2 解体材を原料としたセメントボードの脱型・養生期間の検討

セメントボードの生産工程では、生産性を高めるため、なるべく短時間の脱型時間および養生期間が求められる。このため、前年求めた適正製造条件に近い条件に製造因子の水準を固定して小型ボードを製造し、脱型時間毎・養生期間毎にその基本的性能試験を行った。この結果から、適正脱型時間および養生期間について検討した。

2.1 原料

原料には、(財)札幌市環境事業公社が市販している建築解体材チップを用いた。この解体材チップは、住宅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碎し、7~40mmの篩で分級選別した木チップである。この建築解体材チップの樹種構成は、四分法により重量構成率を調べた結果、エゾマツ・トドマツ針葉樹88%、ラワン製材 7%、ラワン合板 5%であった。

ボード原料としてのパーティクルは、この解体材チップ(含水率35%前後)を遠心リング型チップパー(刃出し 0.6mm)で粉碎したものを、ボード製造時には含水率を約70%に調整した。なお、このパーティクルは前年度の試験に用いたパーティクル③(記号: LC-P)に相当し、その概要を写真5-1に、粒度分布を図4-1に示す。

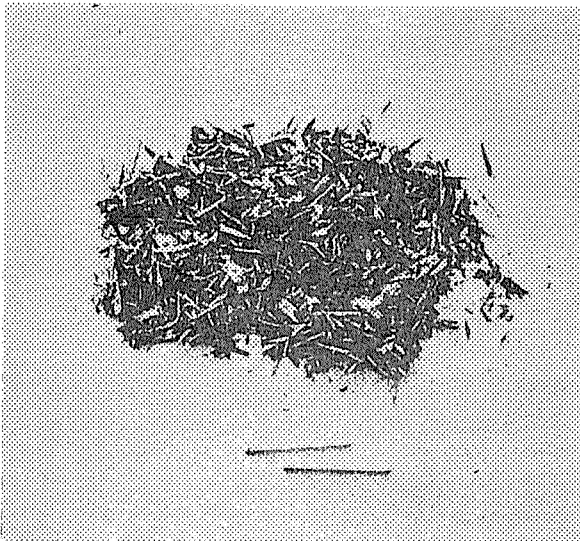


写真4-1 ボード原料の概要

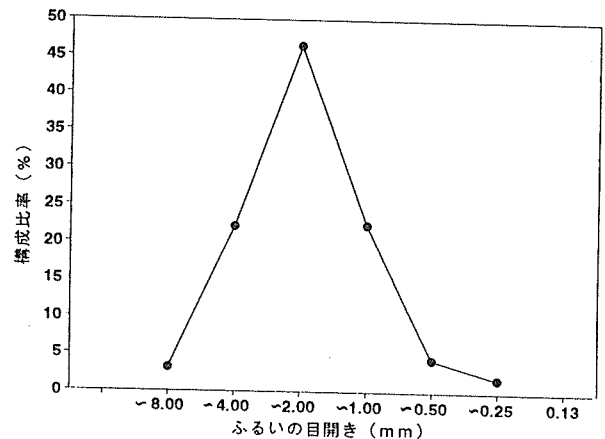


図4-1 パーティクルの粒度分布

2.2 ボードの製造条件と性能試験方法

表4-1に示した製造条件で小型セメントボード(厚さ20mm×縦320mm×横340mm)を32枚製造した(繰返し数1)。具体的な小型セメントボードの製造方法は、前年度と同じである。

製造されたボードは、設定した脱型時間に達した順に圧縮クランプをはずし、直ちに20℃・RH65%の恒温恒湿室内で開放養生した。ただし、養生期間 0週間のボードは、クランプをはずしたのち、直ちに試験片を木取り性能試験に供した。その他のボードは、設定した養生期間に達した後、試験体を木取り性能試験に供した。

行った性能試験を、表4-2に示す。

表4-1 小型セメントボードの製造条件

因 子		水準数	水 準							
実験因子 A . 脱型時間 (時)		8	8	10	12	14	16	18	20	24
B . 養生期間 (週)		5	0	1	2	3	4			
固定因子	水 / セメント 比	0.60								
	セメント / 木 比	2.6								
	設定比重	1.2								
	設定厚さ	20 mm								
	硬化促進剤添加率	3 % (塩化マグネシウム)								

表4-2 性能試験項目

試験項目	測定内容	試験規格
吸水厚さ膨張率	吸水厚さ膨張率 吸水率	JIS A 5908
剥離強さ	: 剥離強さ	JIS A 5908
常態曲げ強さ	: 常態ヤング係数 常態曲げ強さ	JIS A 5908

2.3 性能試験結果

養生期間 0週間のボードの性能試験結果を表4-3に、養生期間1~4週間のボードの性能試験結果を表4-4に示す。両表中の数値は、5個の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。

表4-3から、脱型時間が長くなるほど、各性能が向上しているのが分かる。

表4-4から、養生期間が長くなるほど、僅ではあるが吸水率と吸水厚さ膨張率は大きくなっている。これは、養生期間が短いちはまだセメントの水和反応が進行中で、ボード内に自由水が多くあるために低い吸水率・吸水厚さ膨張率を示すものと思われる。一方、養生期間が長くなると、ボード内の自由水がほとんど水和反応に使われてしまい、強度が向上すると同時に乾燥状態となるため、吸水量が増えるためと思われる。

表4-3 養生期間 0週間のボードの性能試験結果

FACTOR A 脱型時間	FACTOR B 養生期間	吸水率	厚さ膨張率	剥離強さ	常態 ヤング係数	常態 曲げ強さ
(hour)	(week)	WA (%)	TS (%)	IB (kgf/cm ²)	MOE1 (tonf/cm ²)	MOR1 (kgf/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0
8	0	7.9	0.73	2.7	11.0	22
10	0	6.6	0.87	3.0	13.9	30
12	0	6.4	0.35	4.7	20.1	45
14	0	5.9	0.45	5.1	20.7	48
16	0	5.3	0.40	5.7	21.3	46
18	0	5.8	0.43	5.5	22.5	49
20	0	5.4	0.38	5.8	23.0	53
24	0	6.6	0.31	5.4	23.6	58

表4-4 養生期間1~4週間のボードの性能試験結果

FACTOR A 脱型時間	FACTOR B 養生期間	吸水率	厚さ膨張率	剥離強さ	常態 ヤング係数	常態 曲げ強さ
(hour)	(week)	WA (%)	TS (%)	IB (kgf/cm ²)	MOE1 (tonf/cm ²)	MOR1 (kgf/cm ²)
8	1	13.0	0.88	10.0	38.5	107
8	2	13.0	0.86	11.2	43.4	117
8	3	12.8	0.99	14.0	46.3	123
8	4	13.6	0.94	12.5	49.4	127
10	1	12.9	0.79	12.4	39.5	113
10	2	12.5	0.85	11.8	45.3	127
10	3	12.5	0.84	13.7	47.1	130
10	4	12.8	0.89	13.0	49.7	133
12	1	11.2	0.85	12.0	38.9	112
12	2	12.3	0.86	12.4	42.5	115
12	3	12.7	0.88	12.1	45.6	121
12	4	13.3	0.97	12.3	48.9	123
14	1	11.1	0.61	11.8	40.2	112
14	2	12.0	0.92	13.1	42.8	113
14	3	13.0	1.05	12.2	44.9	122
14	4	14.2	1.04	12.4	44.2	121
16	1	12.5	0.86	10.9	40.1	106
16	2	14.5	1.02	12.1	42.4	116
16	3	12.8	0.79	12.8	44.2	113
16	4	12.4	0.85	13.3	48.5	117
18	1	12.2	0.85	11.8	39.3	105
18	2	12.2	0.96	13.0	42.9	113
18	3	12.9	0.95	12.7	45.1	115
18	4	12.7	0.84	13.9	46.5	121
20	1	11.6	0.65	11.1	41.3	112
20	2	12.0	0.78	13.0	44.1	119
20	3	12.5	0.88	13.3	44.3	122
20	4	13.1	0.79	12.2	47.6	122
24	1	11.1	0.76	12.3	38.9	107
24	2	11.5	0.68	12.8	43.4	122
24	3	12.2	0.76	13.3	46.3	116
24	4	13.9	0.66	13.0	47.1	115

2.4 結論

板垣ら⁴⁾は、セメントボードの実生産における脱型・養生の条件として、次表の強度性能が必要であると論じている。

表4-5 脱型時・養生後に必要な強度性能⁴⁾

項目	最低必要強度値
脱型時 ○剥離強さ	5.5 kgf/cm ²
○曲げヤング係数	25 tonf/cm ²
○曲げ強さ	40 kgf/cm ²
養生後 ○曲げ強さ	100 kgf/cm ²

この最低必要強度値を基準として、今回の試験結果を考察する。

図4-2に脱型時間と強度性能の関係を示す。曲げヤング係数については、どの脱型時間でも基準を満足していないが、12時間以上では、剥離強さをほぼ満足および曲げ強さを十分満足し、どの強度性能も安定してくる。このことから、脱型時間は12時間が適正と判断される。

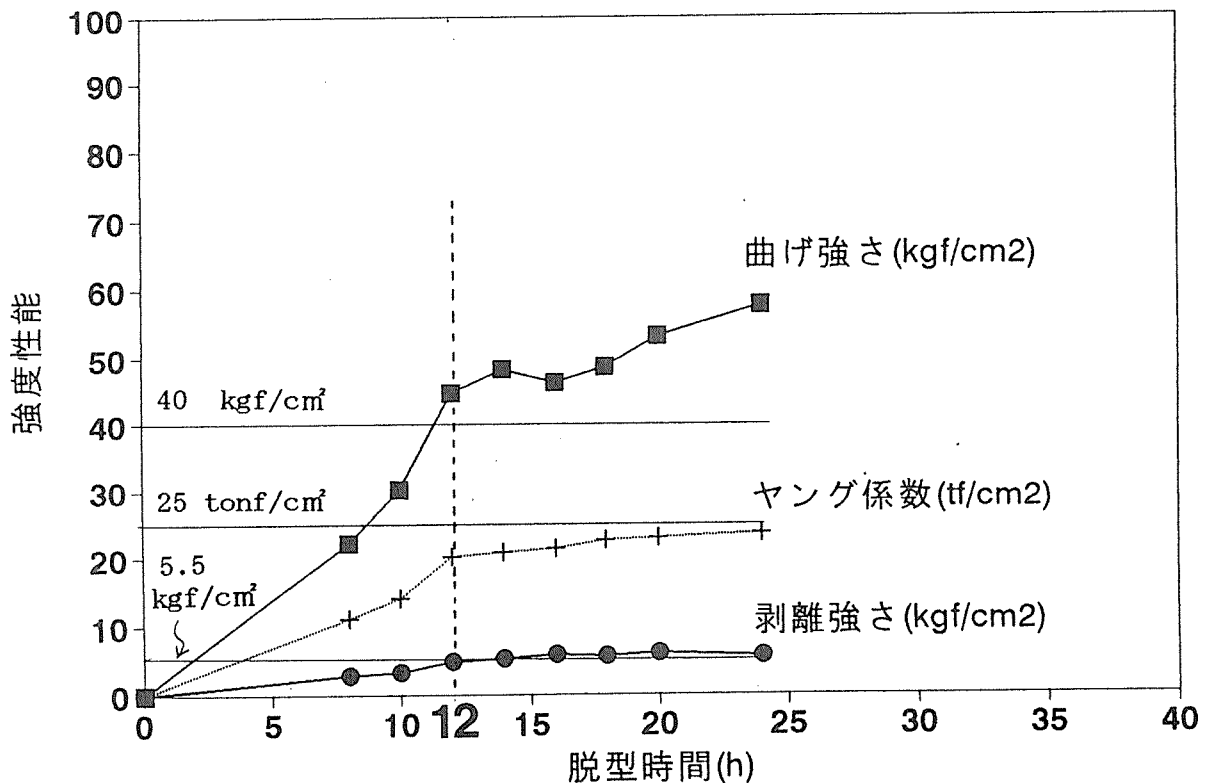


図4-2 脱型時間と強度性能の関係

表4-4に示された結果を二元配置法による分散分析を行った結果、有意な差は認められなかった。これは、脱型時間の差によってボード性能に変化が生じない、ことを示している。

このため、図4-3に、適正脱型時間12時間の場合の養生期間と強度性能の関係を示す。この図から、養生期間が1週間以上であれば基準を満足する、ことが分かる。このことから、養生期間は1週間が適正と判断される。

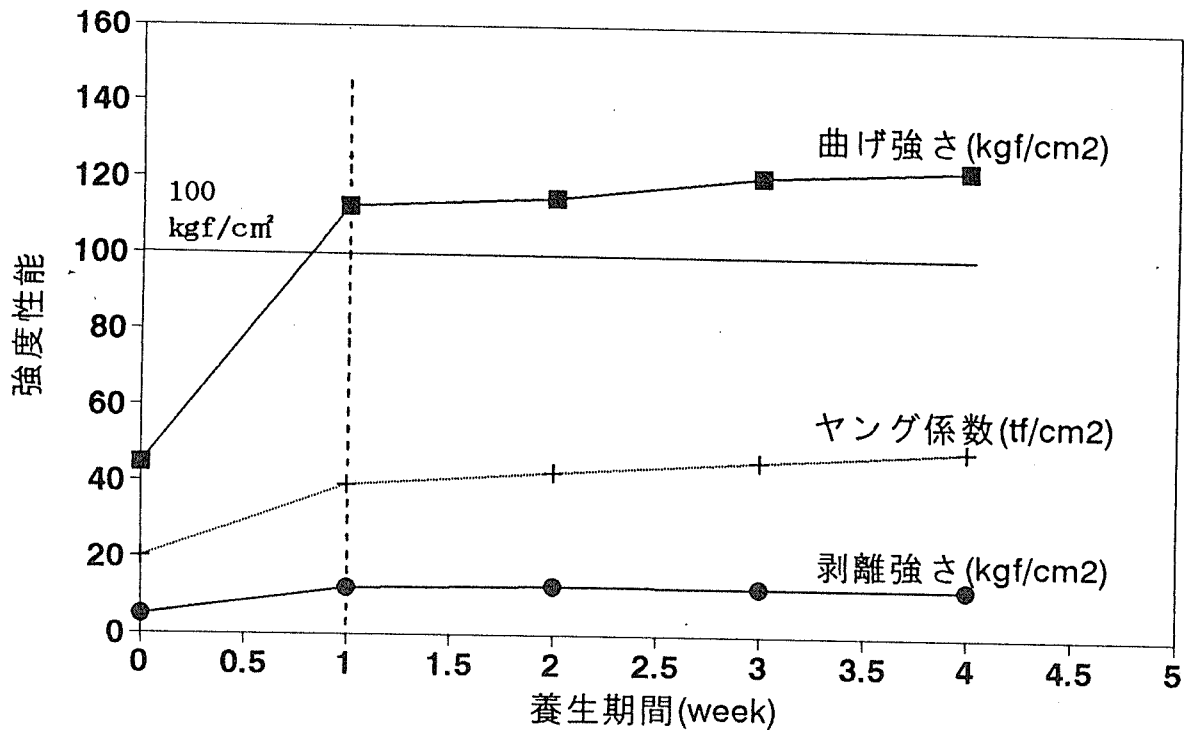


図4-3 適正脱型時間12時間の場合の養生期間と強度性能の関係

3 実大セメントボードの製造・性能試験

これまでに小型試験体で得られた適正製造条件に基づき、実大の建築解体材を原料とした耐火野地板用セメントボード（1m×2m）を製造し、その性能試験を行った。

3.1 実大ボードの製造条件

表4-6に示す製造条件で、実大ボードを2枚製造した。

原料パーティクルは、前節と同じ解体材チップを遠心リング型チッパー（刃出し0.6mm）で2回粉碎したもので（ボード製造時の含水率は85%）、その粒度分布を図4-4に示す。

脱型・養生期間は、前節の成果である脱型時間12時間以上および養生期間1週間以上とした。

木パーティクルとセメントの混合は写真4-2の混合機で3回に分けて行い、フォーミングは型枠を用いて手蒔きで行った。圧縮は、室温状態の大型ホットプレスを用いて行った。

表4-6 実大ボードの製造条件

水／セメント比	: 0.60
セメント／木比	: 2.6
硬化促進剤添加率	: 3%（塩化マグネシウム）
設定比重	: 1.2
設定厚さ	: 18 mm
脱型時間	: 19 時間
養生期間	: 45 日（室内に放置）

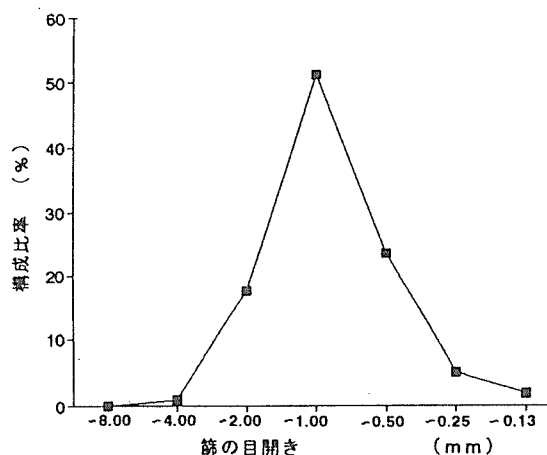


図4-4 原料パーティクルの粒度分布

3.2 実大ボードの性能試験方法

養生後のボードは、JIS A 5417「木片セメント板」に準拠して性能試験を行った。

また、これまでの行ってきた小型試験片での性能試験²⁾と同様に、JIS A 5908「パーティクルボード」およびASTM D 1037 に準拠して小試験片を採取し、その性能試験を行った。

行った性能試験項目を、表4-7に示す。

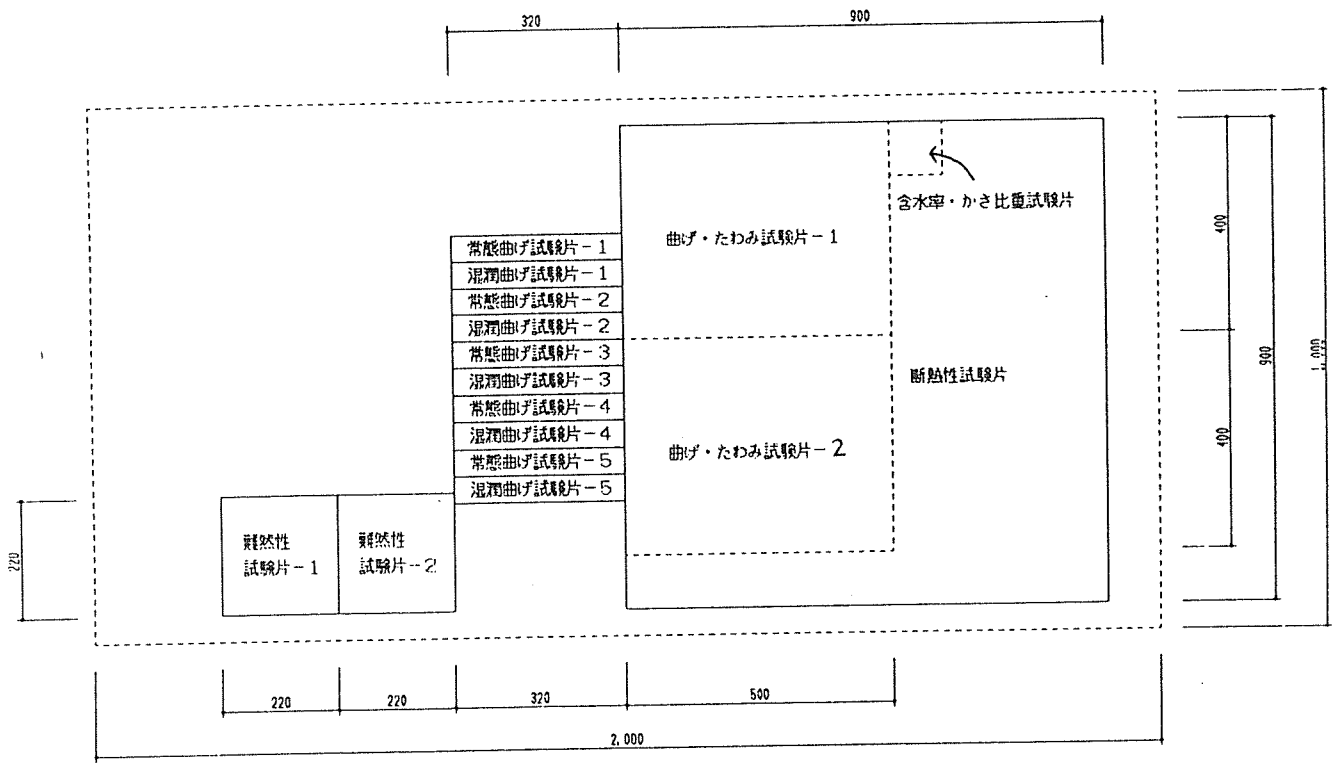
試験片の採取位置を、図4-5に示す。

なお、断熱性試験は、本来はJIS A 1420に準拠して行うところであるが、当場の測定装置の都合からJIS A 4710(1989)「建具の断熱試験方法」に準拠して行った。断熱性試験の方法を、図4- 6に示す。

表4- 7 性能試験項目

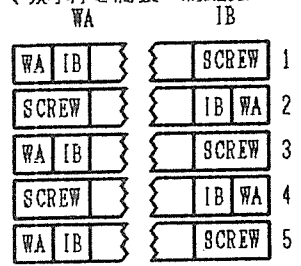
試験項目	測定内容	試験規格	
大 型 試験片	1 曲げ及びたわみ試験	常態曲げヤング係数 常態曲げ強さ	JIS A 5417 (JIS A 1408)
	2 含水率及びかさ比重試験	含水率 比重	JIS A 5417
	3 難燃性（難燃2級）	発熱指数（ $T_c \cdot d\theta$ ） T_c 発煙係数（ C_a ） 残炎時間（s）	JIS A 5417 (JIS A 1321)
	4 断熱性試験	熱抵抗	JIS A 5417 (JIS A 4710)
小 型 試験片	1 吸水厚さ膨張率	吸水厚さ膨張率 吸水率	JIS A 5908
	2 剥離強さ	剥離強さ	JIS A 5908
	3 常態曲げ強さ	常態ヤング係数 常態曲げ強さ	JIS A 5908
	4 木ネジ保持力	引抜抵抗 頭貫通力 側面抵抗	ASTM D 1037
	5 湿潤時曲げ強さ	湿潤ヤング係数 湿潤曲げ強さ 吸水長さ膨張率	JIS A 5908

（注）木ネジ保持力試験に使用した木ネジ：4mm×50mmタッピングA型ナベ頭
湿潤時曲げ強さ試験：試験片→25℃水中に24hr浸せき→試験



常態曲げ試験後の破壊試験体からの他の試験体採取位置

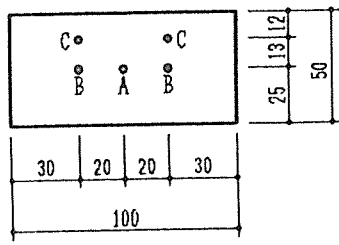
(吸水厚さ膨張・剥離強さ・木ネジ保持力試験体)



試験体の寸法

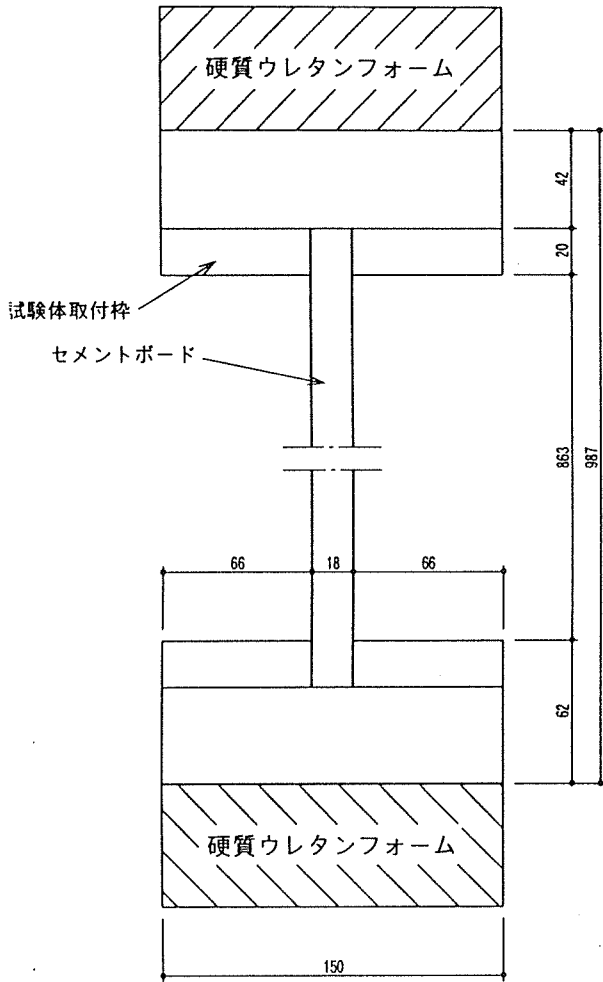
吸水厚さ膨張 (吸水率)	: 50mm × 50mm
剥離強さ	: 50mm × 50mm
常態曲げ	: 50mm × 300mm
湿潤曲げ (吸水長さ膨張率)	: 50mm × 300mm
木ネジ保持力	: 50mm × 100mm

木ネジ保持力試験体の詳細図



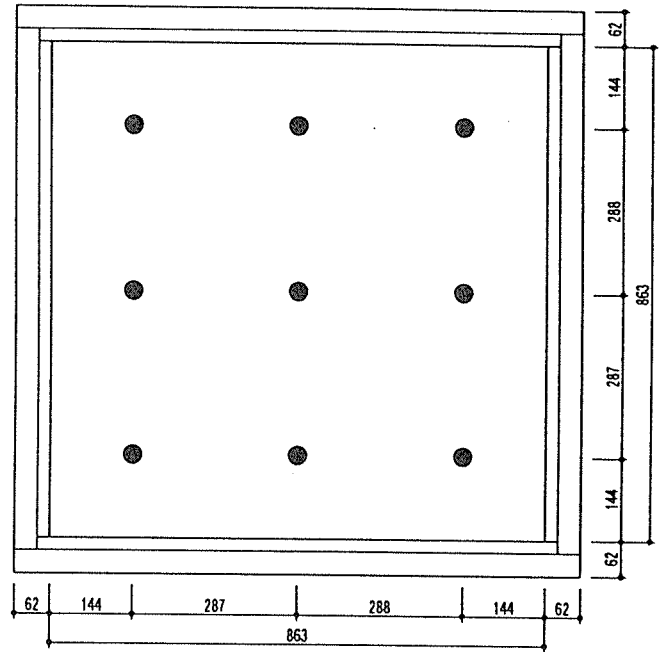
- A : 引抜抵抗
- B : 頭貫通力 (先穴 : 直径2.3mm)
- C : 側面抵抗 (先穴 : 直径2.3mm)

図4-5 実大ボードからの試験片の採取位置

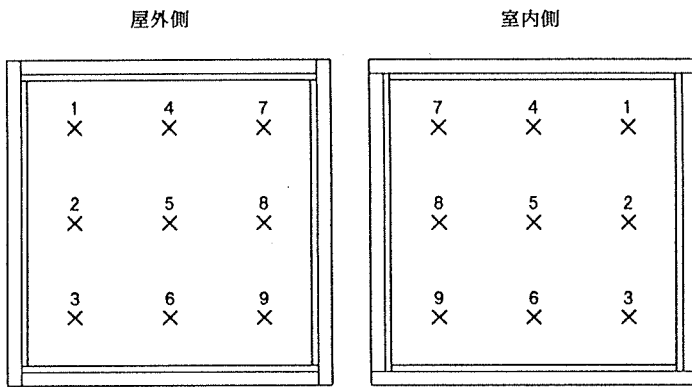


試験体垂直断面図

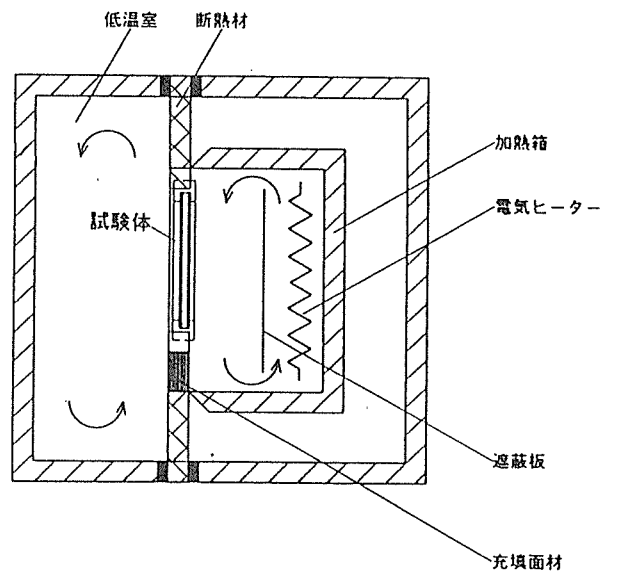
試験体寸法	幅：0.987m 高さ：0.987m
-------	--------------------



試験体立面および表面温度測定位置図



(試験体立面図および表面温度測定位置図)



加熱箱を用いた断熱試験装置

図4-6 断熱性試験方法

3.3 実大ボードの性能試験結果

JIS A 5417「木片セメント板」の大型試験片での性能試験結果を、表4-8に示す。

JIS A 5908「パーティクルボード」およびASTM D 1037の小型試験片での性能試験結果を、表4-9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。また、表中には、3社の市販耐火野地板（厚さ18mm、3尺×6尺）各1枚から採取した小型試験片の性能値（平均値）も参考として表示した。

表4-8 JIS A 5417「木片セメント板」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				燃焼試験			断熱性試験 熱抵抗	
		試験時 含水率 (%)	試験時 比重	常態 ヤグ係数 (tf/cm)	常態 破壊係数 (kgf/cm ²)	発熱指数 TdQ (°C·min)	発煙係数 Ca	Tc (min)		残炎時間 (sec)
1	1	8.3	1.14	55.4	129	14	1	8 : 33	4	0.096
	2	8.6	1.11	65.7	155	20	1	7 : 39	7	
2	1	9.1	1.17	55.2	123	29	1	7 : 12	11	0.094
	2	8.5	1.16	61.7	149	24	1	7 : 27	7	
JIS規格の合格値 (厚さ18mm硬質木片セメント板、難燃2級)				7.6以上	51以上	100以下	60以下	3分以上	30以内	0.09以上

表4-9 JIS A 5908「パーティクルボード」およびASTM D 1037の性能試験結果

実大 ボード No.	試験片 No.	曲げ試験										タビングスクリュージ性能試験		
		吸水率 WA (%)	吸水厚さ 膨張率 TS (%)	吸水長さ 膨張率 LS (%)	剥離 強さ IB (kgf/cm ²)	常態 ヤグ係数 MOE1 (tf/cm ²)	常態 破壊係数 MOR1 (kgf/cm ²)	湿潤 ヤグ係数 MOE2 (tf/cm ²)	湿潤 破壊係数 MOR2 (kgf/cm ²)	MOE2 /MOE1	MOR2 /MOR1	引抜 抵抗 S1 (kgf/cm)	貫通力 S2 (kgf/cm)	側面 抵抗 S3 (kgf/cm)
1	1	11.9	1.08	0.170	12.4	53.4	126	35.0	70	0.66	0.55		158	158
	2	13.1	0.96	0.170	12.1	58.7	126	41.0	86	0.70	0.69	99	146	166
	3	11.4	1.29	0.170	11.9	56.5	140	37.8	86	0.67	0.61	99	154	145
	4	9.4	1.18	0.164		54.8	130	42.3	86	0.77	0.66	112	146	131
	5	8.1	1.11	0.158		57.1	131	48.9	107	0.82	0.82	96	159	105
	平均値	10.8	1.12	0.166	12.1	56.1	131	40.6	87	0.72	0.67	102	153	139
	最小値	8.1	0.96	0.158	11.9	53.4	126	35.0	70	0.66	0.55	96	146	105
最大値	13.1	1.29	0.170	12.4	58.7	140	48.9	107	0.82	0.82	112	159	156	
標準偏差	1.8	0.11	0.005	0.2	1.8	5	4.0	12	0.06	0.09	6	6	19	
試験片数	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	4	5	5	
2	1	12.1	1.21	0.238	12.1	46.9	117	38.7	92	0.83	0.78	110	162	153
	2	10.9	1.28	0.227	13.8	44.5	114	42.8	100	0.96	0.88	122	170	152
	3	11.8	1.22	0.233	12.0	49.1	119	38.9	93	0.79	0.78	127	200	163
	4	12.5	1.37	0.230	13.4	47.5	121	38.6	92	0.81	0.77	130	194	
	5	11.7	1.26	0.230	13.4	48.2	105	37.8	97	0.78	0.92	115	205	146
	平均値	11.8	1.27	0.231	12.9	47.2	115	39.3	95	0.84	0.83	121	186	153
	最小値	10.9	1.21	0.227	12.0	44.5	105	37.8	92	0.78	0.77	110	162	146
最大値	12.5	1.37	0.238	13.8	49.1	121	42.8	100	0.96	0.92	130	205	163	
標準偏差	0.5	0.06	0.003	0.7	1.5	6	1.8	3	0.06	0.08	7	17	6	
試験片数	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	
(参考)														
3社の市販品性能値		18.7	0.91	—	7.8	44.0	198	—	—	—	—	91	144	116

なお、表4-10に断熱性試験結果の詳細を示す。

表4-10 セメントボードの断熱性試験結果

		試験片 1			試験片 2			
測定回		第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	
断熱性 性能 試験 結果	発熱量 Q (kcal/h)	66.6	66.2	66.3	67.3	67.1	67.4	
	試験体周壁の流出熱量 Q_w (kcal/h)	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	
	試験体通過熱量 Q_t (kcal/h)	57.9	57.6	57.7	58.6	57.6	58.7	
	冷却側空気平均温度 θ_{ca} (°C)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	
	ガラス中央部 表面温度	冷却側 θ_{cs} (°C)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2
		加熱側 θ_{hs} (°C)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.6	10.6
	加熱側空気平均温度 θ_{ha} (°C)	20.0	20.0	20.0	19.9	19.9	19.9	
	試験体両側空気温度差 $\theta_{ha}-\theta_{ca}$ (°C)	19.9	19.9	19.9	19.9	19.8	19.8	
	試験体熱流通過面積 A (m ²)	0.745 (0.863m×0.863m)			0.745 (0.863m×0.863m)			
	熱貫流率 K (kcal/m ² h°C)	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.0	
熱貫流抵抗 $R=1/K$ (m ² h°C/kcal)	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25		
表面熱伝 達抵抗	冷却側 R_o (m ² h°C/kcal)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
	加熱側 R_i (m ² h°C/kcal)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
熱コンダクタンス C (kcal/m ² h°C)	10.39	10.42	10.44	10.62	10.52	10.70		
熱抵抗 R_o (m ² h°C/kcal)	0.096	0.096	0.096	0.094	0.095	0.093		
表面熱伝達抵抗補正值 ΔR (m ² h°C/kcal)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

3.4 結論

表4-8から、北海道で発生する木質系建築廃材（解体材チップ）を原料とした硬質木片セメント板（耐火野地板）は、JIS A 5417「木片セメント板」の規格値を十分満足していることが分かる。また、表4-9に示したJIS A 5908「パーティクルボード」およびASTM D 1037の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が分かる。

以上のことから、北海道で発生する木質系建築廃材（解体材チップ等）を原料とした硬質木片セメント板（耐火野地板）は、本研究で得られた適正製造条件（表4-6参照）を用いることにより、十分な性能をもつことを確認した。

4 木質系廃棄物の水和熱測定試験

セメントボード原料の可能性のある木質系廃棄物について水和熱測定試験を行い、その樹種適正を確認した。

4.1 原料

表4-11に示した、今後セメントボードの原料となると思われる木質系廃棄物を対象とした。ただし、材料の物性を一定にするため、コンクリート型枠用合板（通称コンパネ、ユリア・メラミン共縮合樹脂接着剤使用）は使用前の新品の状態です。

合板剥芯は、チップーにかけてパルプチップとした後、さらに遠心リング型チップー（刃出し 0.6mm）で 2回粉砕して原料パーティクルとした。

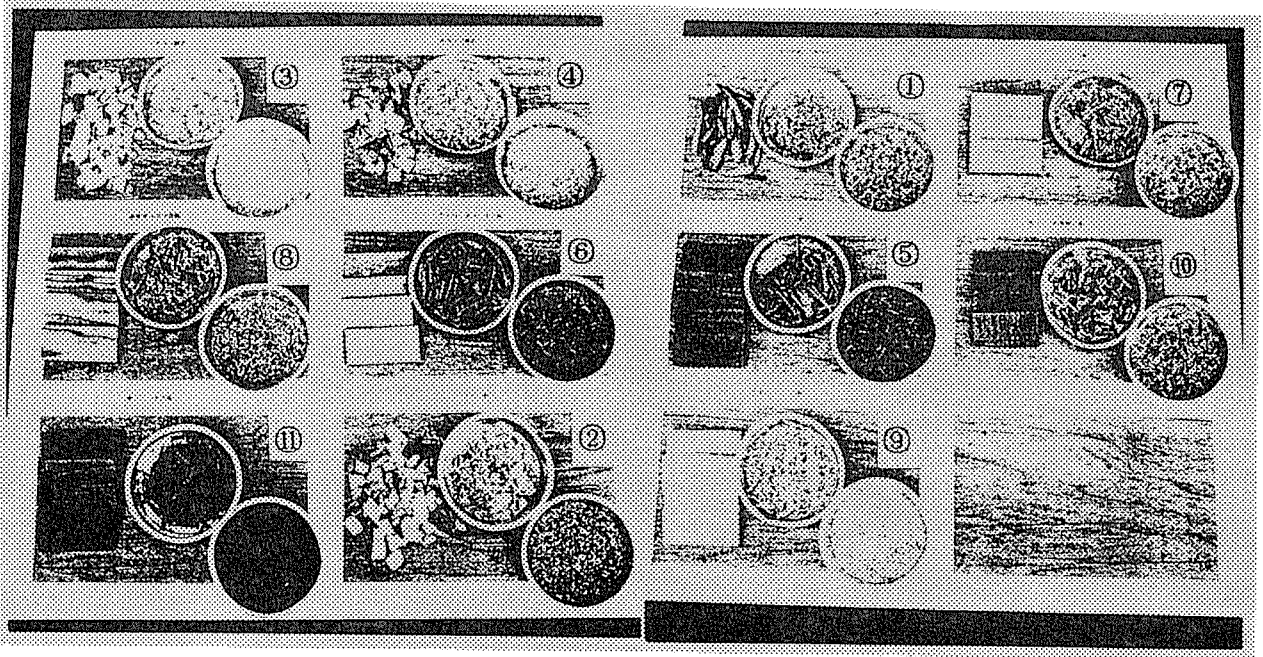
建築解体材チップは、前節で原料としたもので（樹種構成は、エゾマツ・トドマツ針葉樹88%、ラワン製材 7%、ラワン合板 5%）、遠心リング型チップー（刃出し 0.6mm）で 2回粉砕して原料パーティクルとした。

合板・廃コンパネ（釘・コンクリート塊等の異物を除去したもの）は、約 5cm×10cmの角片に鋸断・水洗し、ハンマークラッシャーで粗砕した後、さらに遠心リング型チップー（刃出し 0.6mm）で 1回粉砕して原料パーティクルとした。

各原料の粗砕前、粗砕後、原料パーティクルの概要を写真4-2に示す。

表4-11 原料の種類

	区 分	樹 種 等	原料No.	気乾比重
現在の原料	建築解体材チップ	主にエゾマツ・トドマツ	①	
	ラワン合板の剥芯	レッドラワン	②	
将来の原料	針葉樹合板の剥芯	道産トドマツ	③	
		道産カラマツ	④	
	廃コンパネ	レッドラワン合板	⑤	0.73
		イエローメラチ合板	⑥	0.56
		シベリアカラマツ合板	⑦	0.66
		道産カラマツ合板	⑧	0.60
		道産トドマツ合板	⑨	0.46
		ラワン・ラジアータパイン複合合板	⑩	0.66
		廃棄されたラワンコンパネ	⑪	0.69



	区 分	樹 種 等	原料No.
現在の原料	建築解体材チップ	主にエゾマツ・トドマツ	①
	ラワン合板の剥芯	レッドラワン	②
将来の原料	針葉樹合板の剥芯	道産トドマツ	③
		道産カラマツ	④
廃コンパネ		レッドラワン合板	⑤
		イエローメランチ合板	⑥
		シベリアカラマツ合板	⑦
		道産カラマツ合板	⑧
		道産トドマツ合板	⑨
		ラワン・ラジアータパイン複合合板	⑩
		廃棄されたラワンコンパネ	⑪

写真4-2 各原料の粗砕前、粗砕後、原料パーティクルの概要

4.2 水和熱測定試験の方法

原料パーティクルは、含水率を約70%に調整して用いた。

普通ポルトランドセメント100gに対して、試験条件比率の水と硬化促進剤と木パーティクルをビーカー内で十分に混合（3分間）した後、ビニール袋に移し、その袋をジュワービン内に挿入し保温した。このとき、ビニール袋内にはC-C型熱電対を挿入しておき、水和反応による混合物の温度上昇を30分おきに測定した。測定時には、原料パーティクルを混入しないセメントのみを測定しコントロールとしたため、1回の測定には5個のジュワービン測定した。このため、5個のジュワービンがセットされた時点（最初のセメントと木パーティクルの混合から約25分を要した）から、測定を開始した。

試験は、表4-12に示す条件（固定因子は前年度求めた適正製造条件）で、1条件2回繰り返しの二元配置実験とし、全ての作業・測定は、20°C R H 65% 恒温恒湿室内で行った。

表4-12 水和熱測定試験の条件

因子	水準数	水準
水/セメント比	1	0.60
セメント/木比	1	2.4
A. 原料の種類	1	表5-11参照
B. 硬化促進剤添加率	4	0% 1% 2% 3%

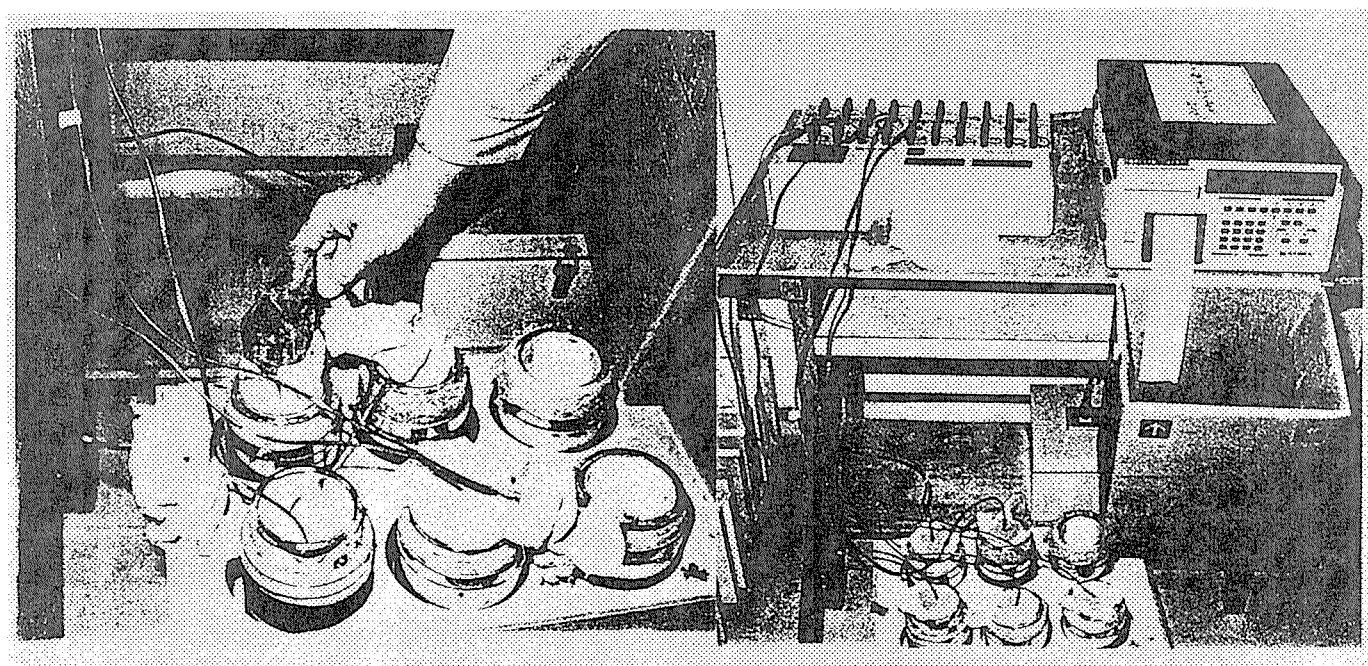


写真4-3 水和熱測定試験風景

4.3 水和熱測定試験の結果

図4-8に、水和反応曲線モデルを示す。

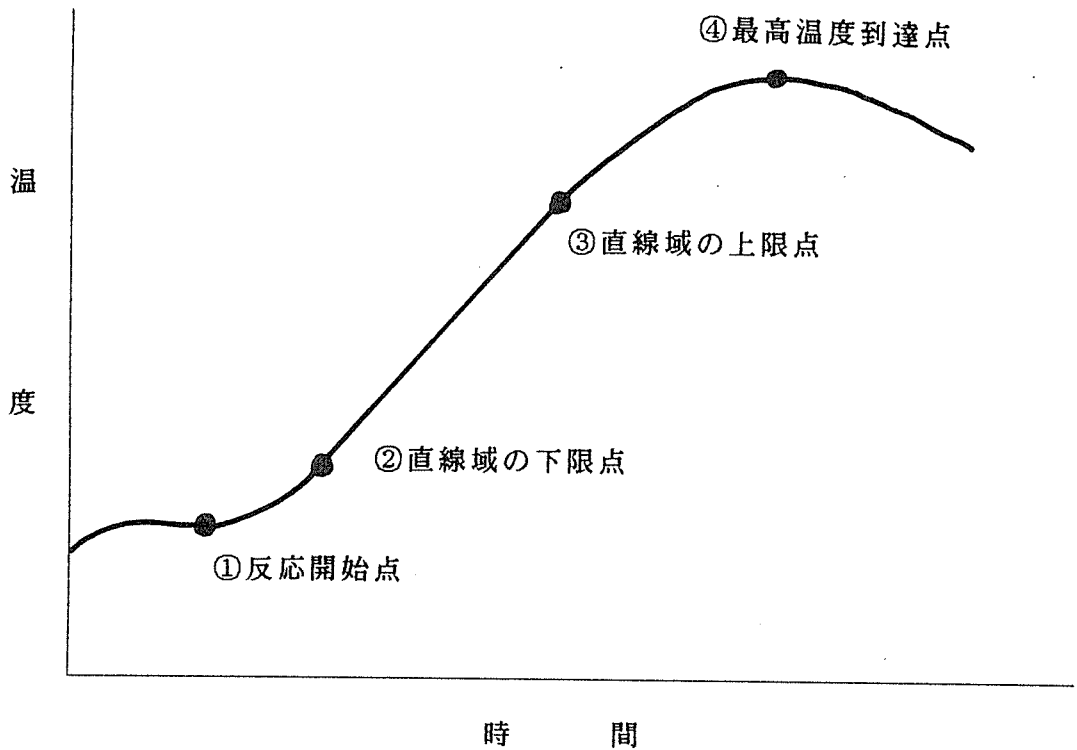


図4-8 水和反応曲線モデル

各条件毎に得られた温度測定値から水和反応曲線（水和熱の時間－温度曲線）を作図し、次の値を読みとった。

- ① 反応の開始点の時間・温度
- ② 直線域の下限点の //
- ③ // の上限点の //
- ④ 最高温度到達点の //

この読みとった値から、阻害指数⁵⁾を求め、表5-13に示した（2回の平均値）。

なお、カラマツ類（道産カラマツ剥芯、シベリアカラマツ合板、道産カラマツ合板）は、総てセメントの硬化不良を起こし、阻害指数が算出できなかった。また、イエローメランチ合板も、硬化促進剤が少ない場合（0%、1%）には、硬化不良のため阻害指数が算出できなかった。

表 4-13 各原料の水和熱測定試験結果から求めた阻害指数

原料パーティクル の種類	硬化促進剤添加率			
	0%	1%	2%	3%
① 建築解体材チップ	7.5	0.0	-1.2	-0.3
② レッドラワン剥芯	5.4	-0.1	-0.6	-0.1
③ 道産トドマツ剥芯	5.5	-0.7	-2.5	-1.9
④ 道産カラマツ剥芯	-	-	-	-
⑤ レッドラワン合板	0.1	-0.2	-0.5	-3.3
⑥ イエローメランチ合板	-	-	-0.3	0.2
⑦ シベリアカラマツ合板	-	-	-	-
⑧ 道産カラマツ合板	-	-	-	-
⑨ 道産トドマツ合板	0.5	-0.3	-0.5	0.0
⑩ ラワン・ラジ'ア-タル'イン複合合板	0.1	0.0	-0.2	-0.6
⑪ 廃ラワン合板（廃コハ'ネ）	0.0	-0.2	0.0	-0.5

4. 4 結 論

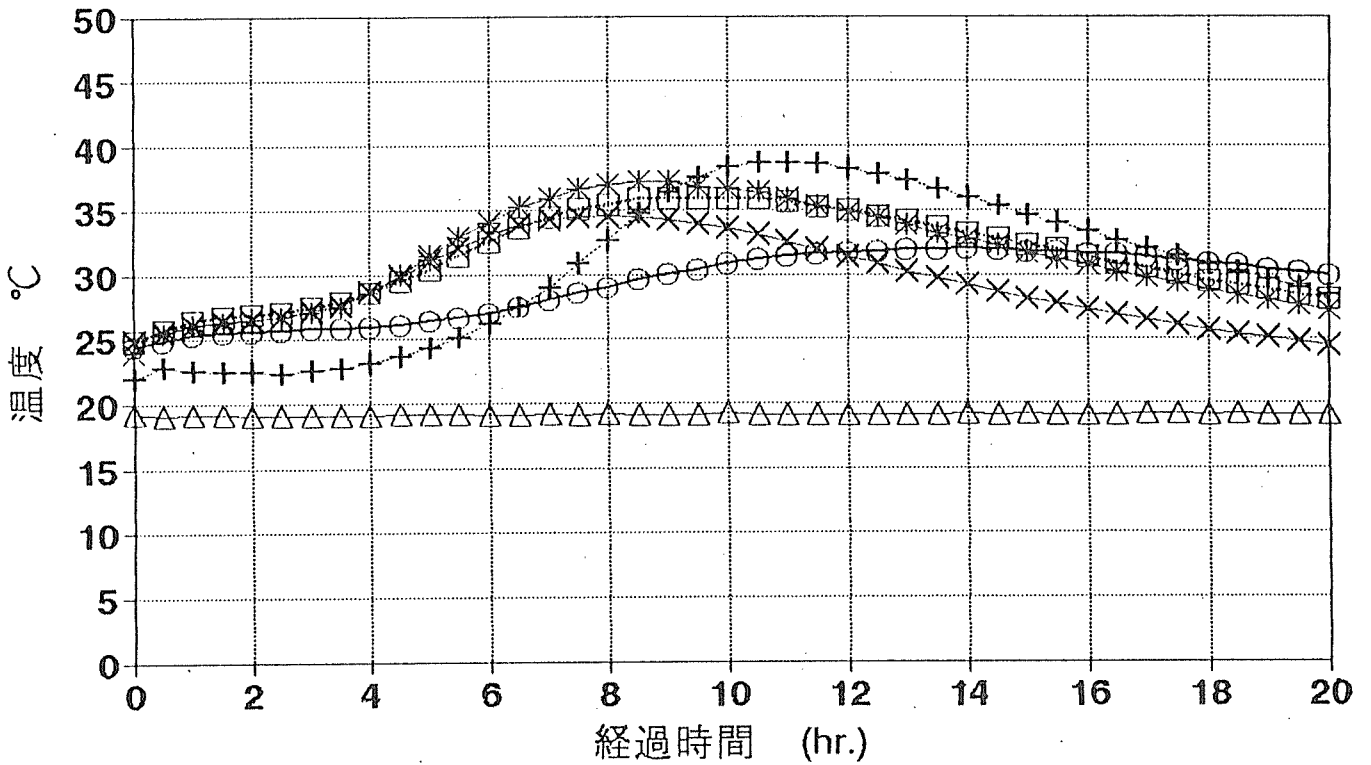
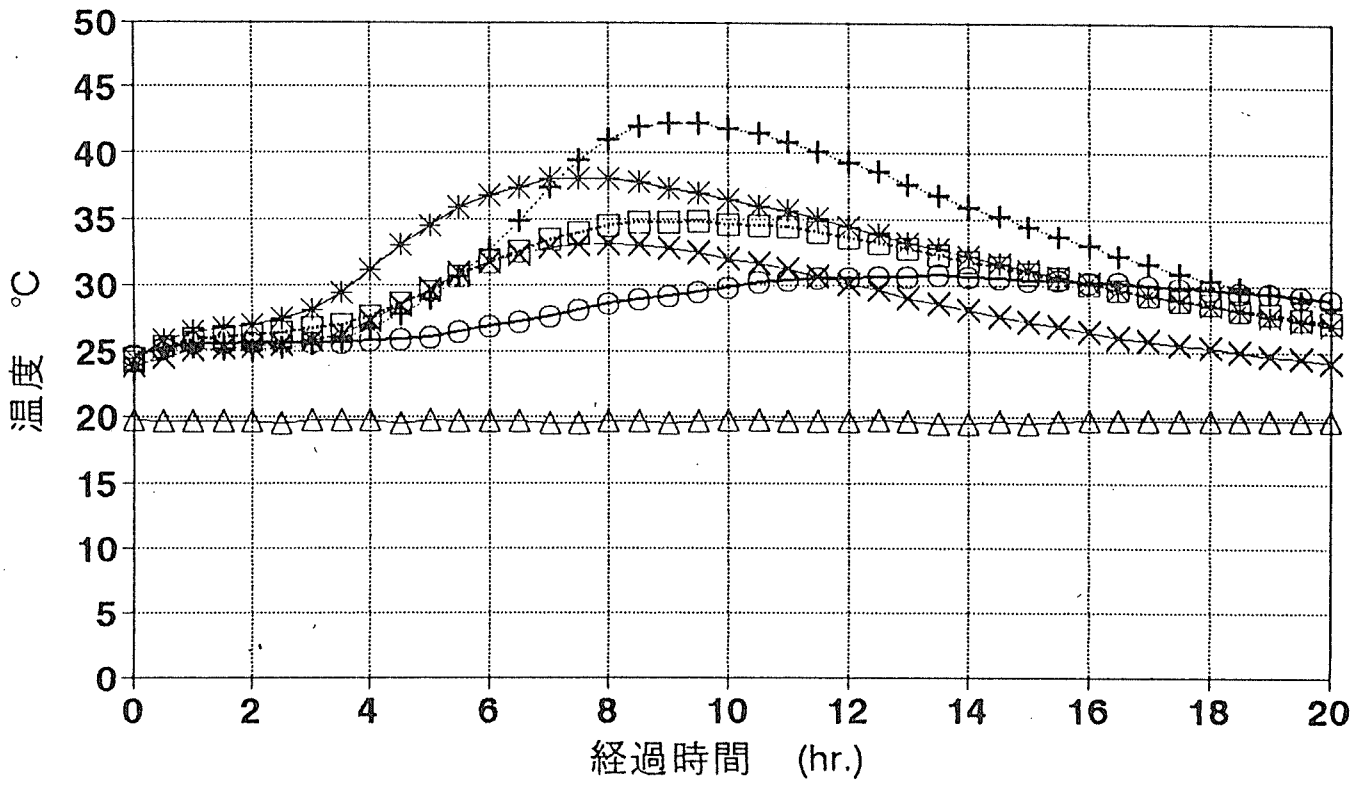
表4-13から、全般に、同一樹種において、剥芯よりも合板の方がセメントの硬化を阻害する程度は低かった（阻害指数が小さい）。

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大きな阻害指数を示すが、硬化促進剤を1%以上添加すれば問題はなくなることが分かった。

カラマツ類は、硬化促進剤を添加してもセメントの硬化不良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2%以上添加すれば問題はなくなることが分かった。

以上のことから、特殊な処理をしない通常の製造ラインでセメントボードを製造する場合には、カラマツ類の混入さえ避ければ、原料の選択に気をつかう必要がないことを確認した。

図4- 9に、各原料毎の水和反応曲線（1条件 2回測定）を示した。



△ 室温	+ セメントのみ	○ 木混合(促進剤0%)
□ 木混合(促進剤1%)	× 木混合(促進剤2%)	* 木混合(促進剤3%)

図4-9 ①建築解体材チップの水和反応曲線

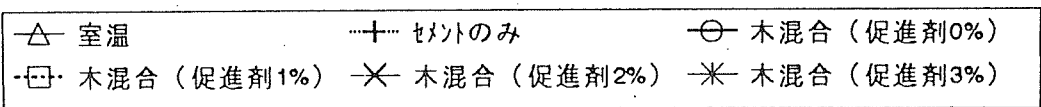
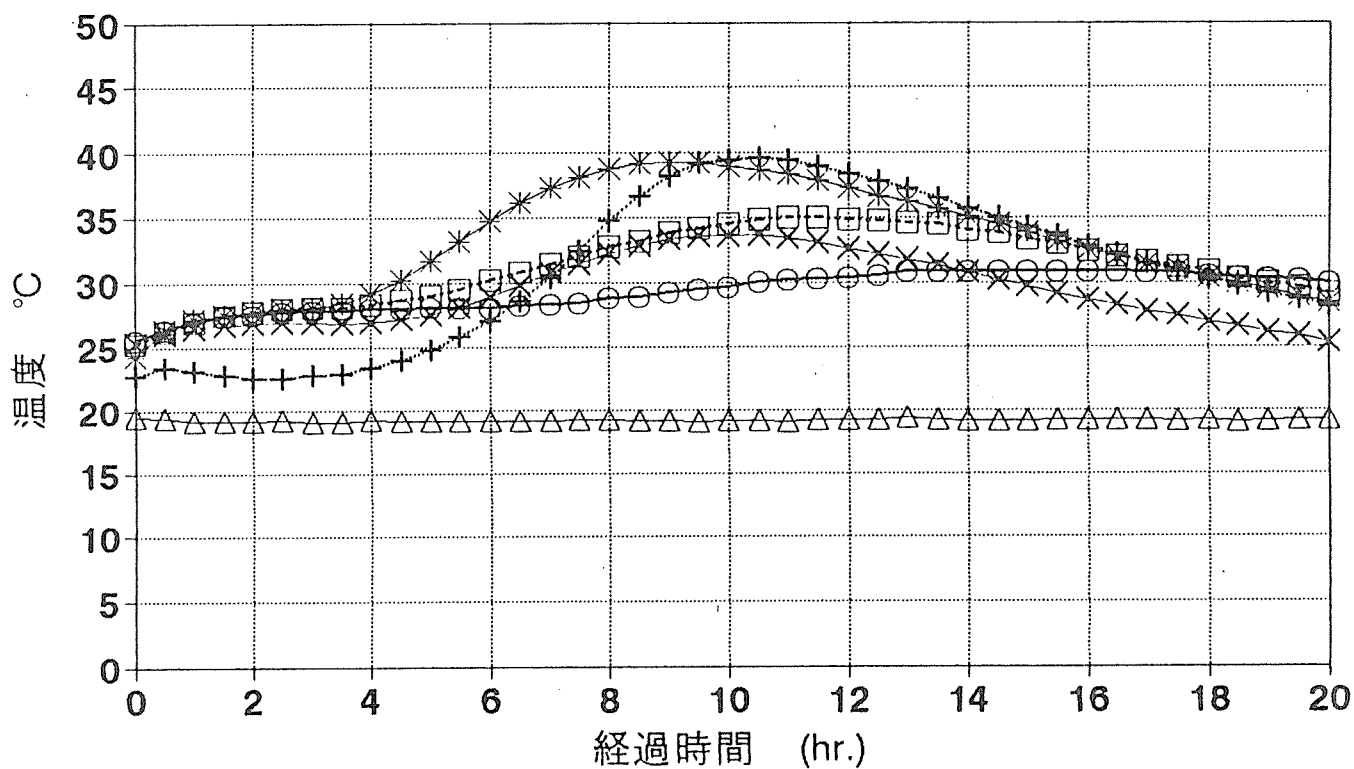
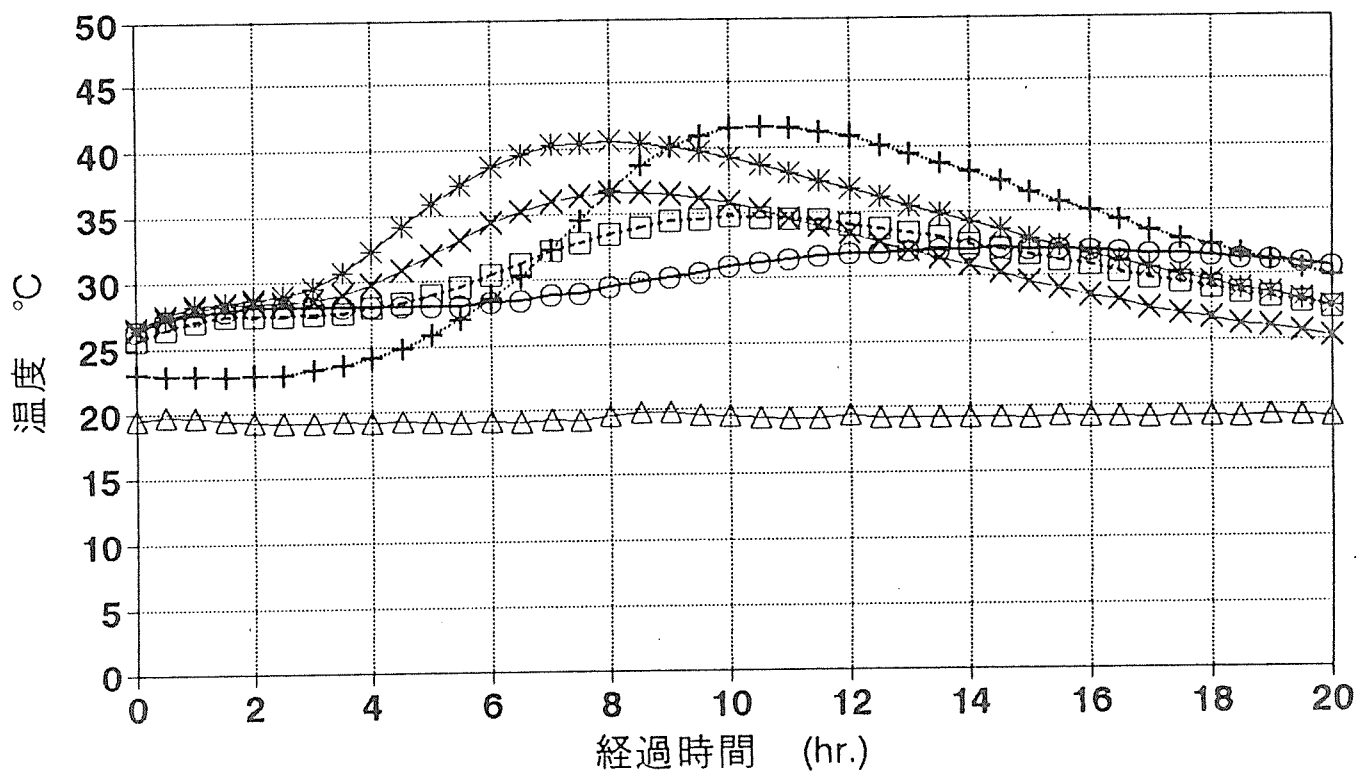
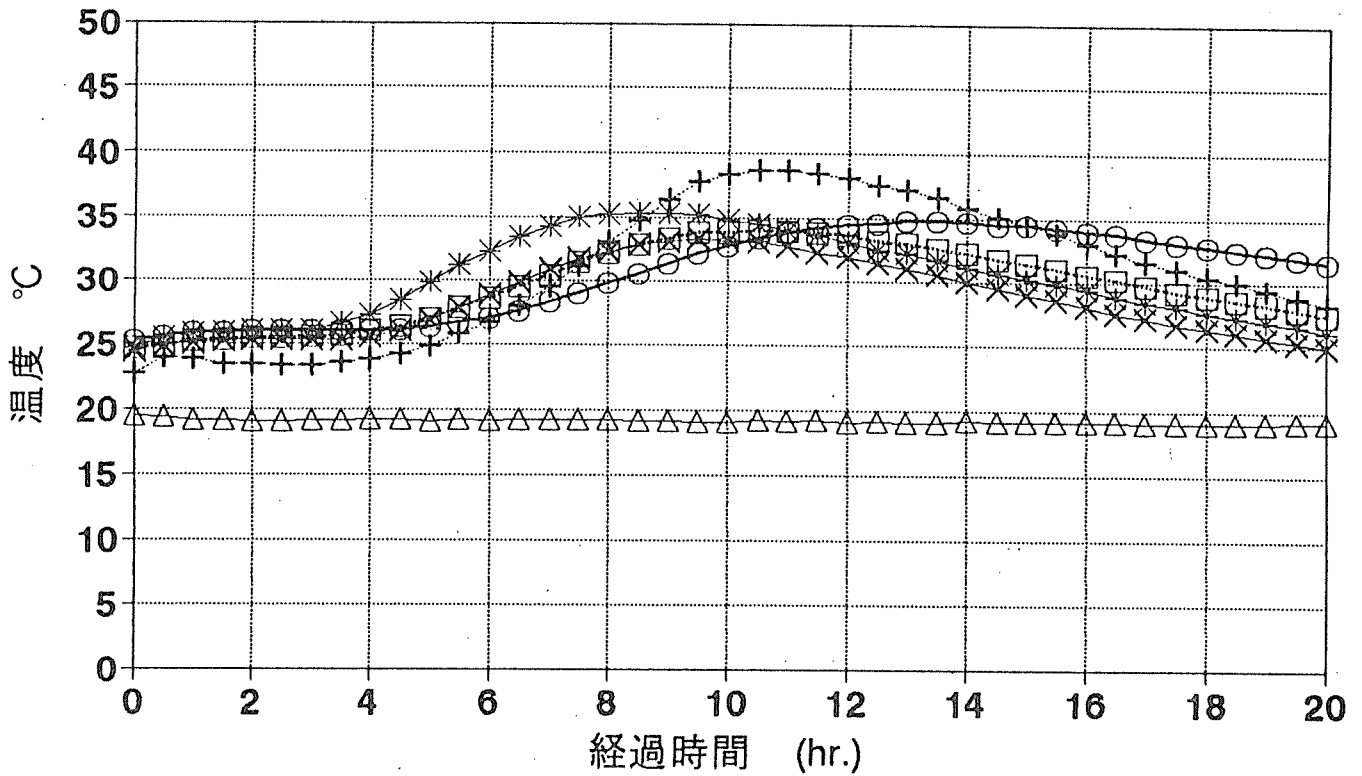
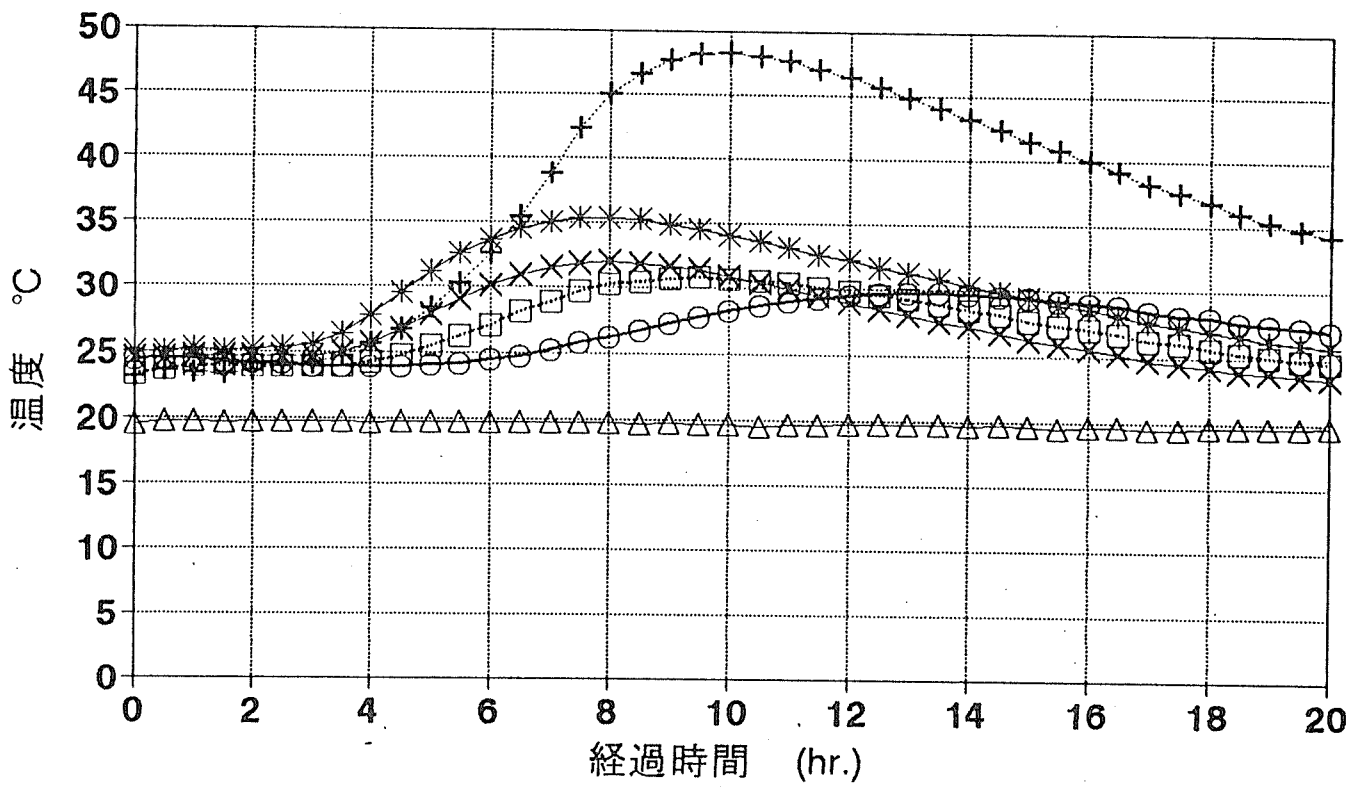
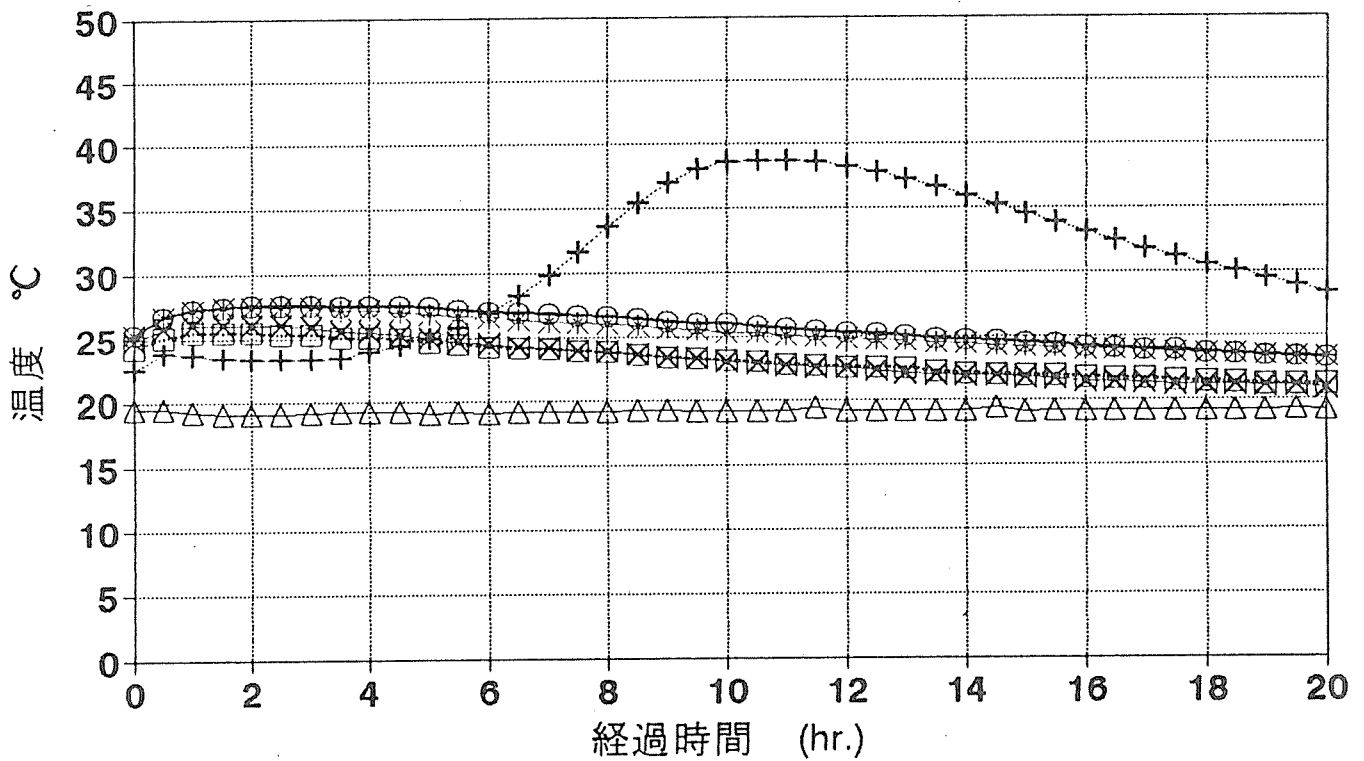
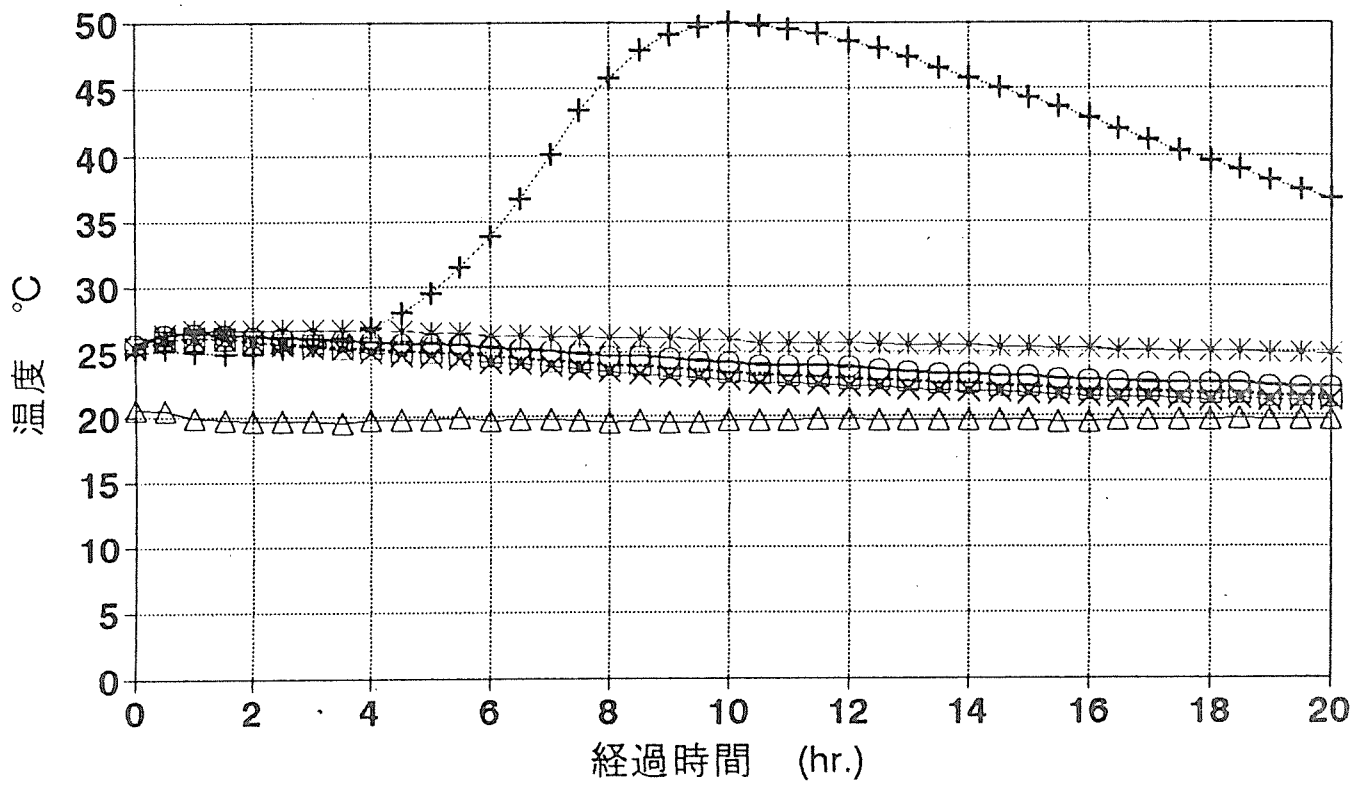


図4-9 (つづき) ②レッドrawn (剥芯) の水和反応曲線



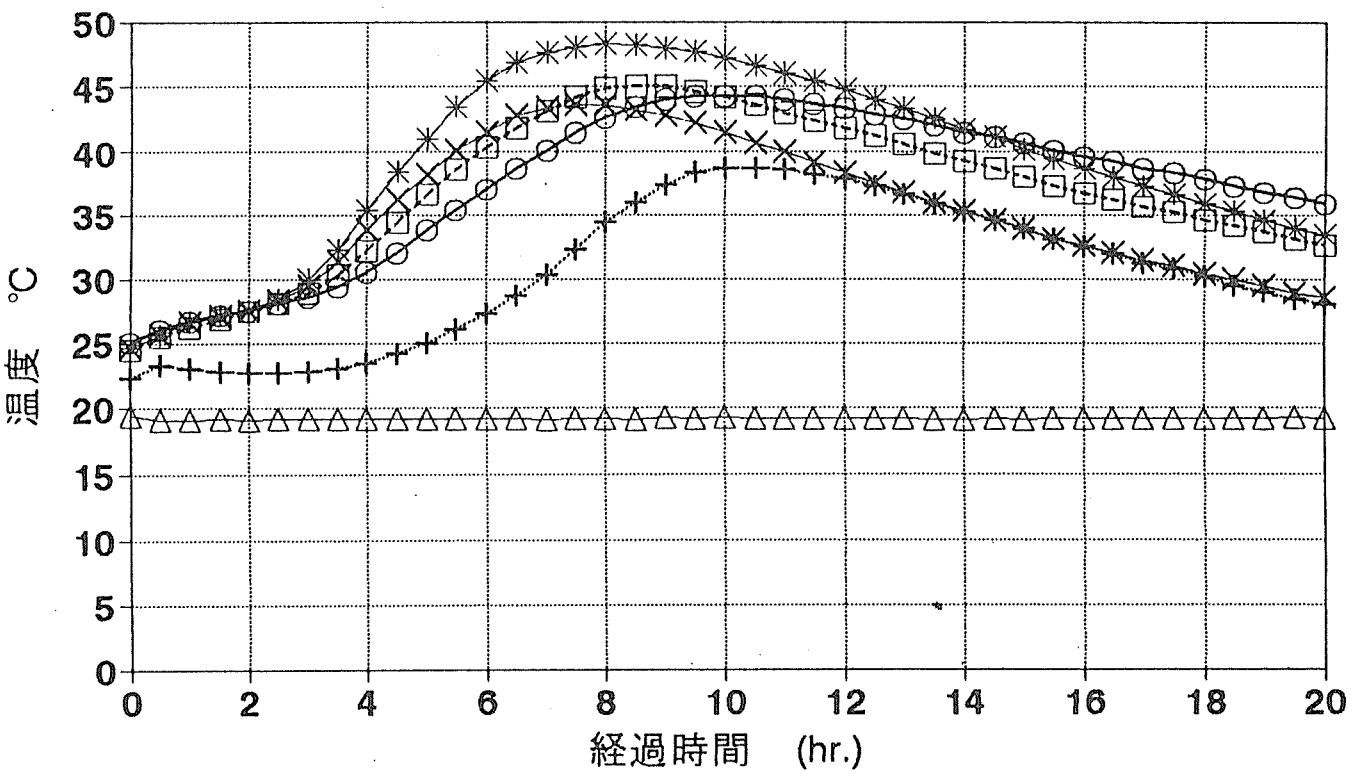
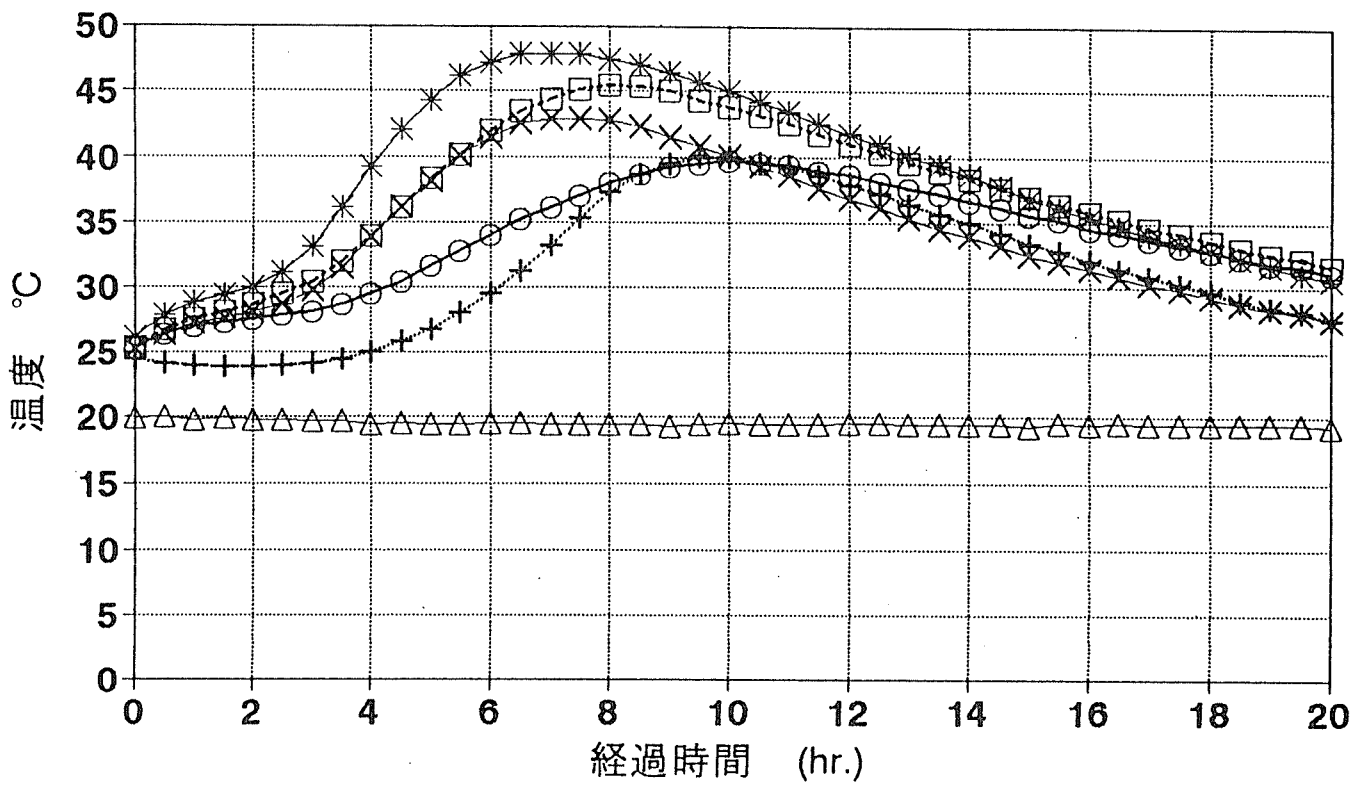
△ 室温 + セトのみ ⊙ 木混合(促進剤0%)
 □ 木混合(促進剤1%) × 木混合(促進剤2%) * 木混合(促進剤3%)

図4-9 (つづき) ③道産トドマツ (剥芯) の水和反応曲線



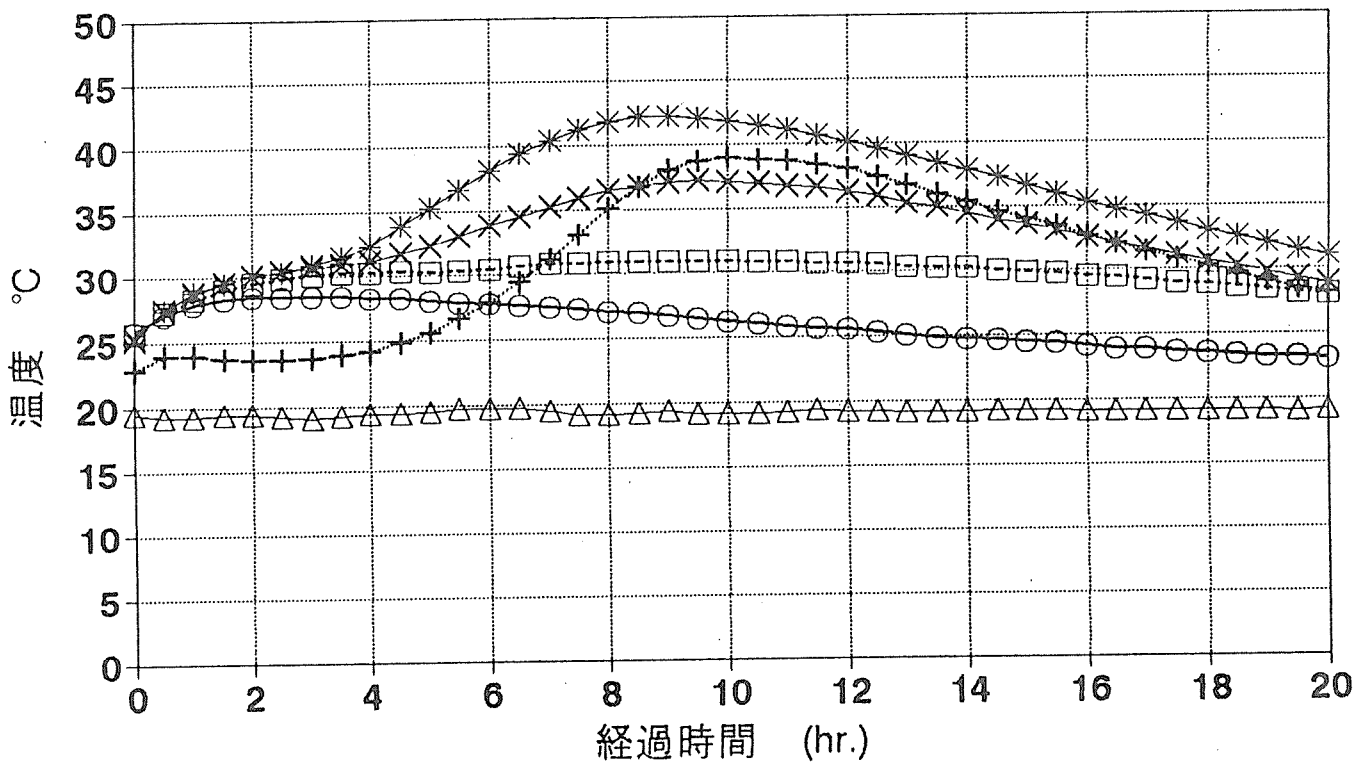
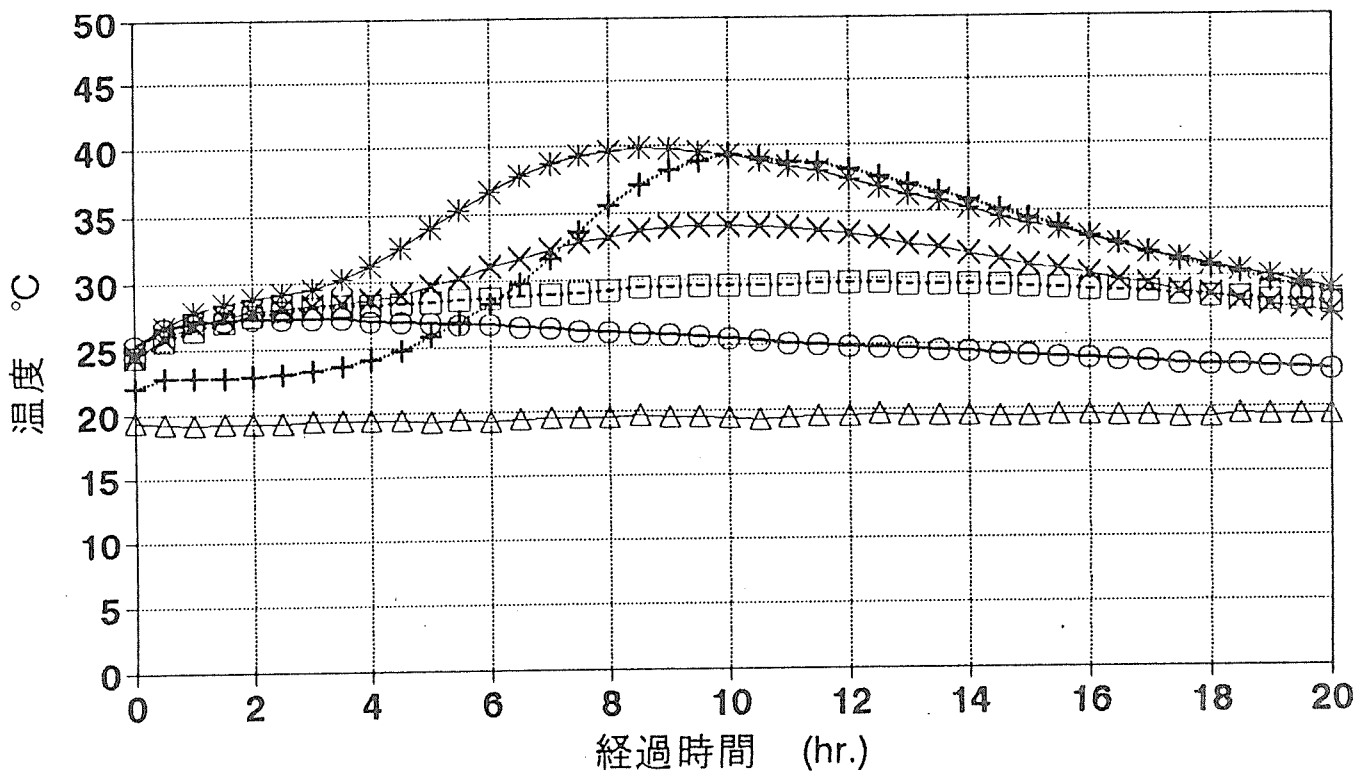
- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| △ 室温 | + セメントのみ | ○ 木混合(促進剤0%) |
| □ 木混合(促進剤1%) | × 木混合(促進剤2%) | ＊ 木混合(促進剤3%) |

図4-9 (つづき) ④道産カラマツ (剥芯) の水和反応曲線



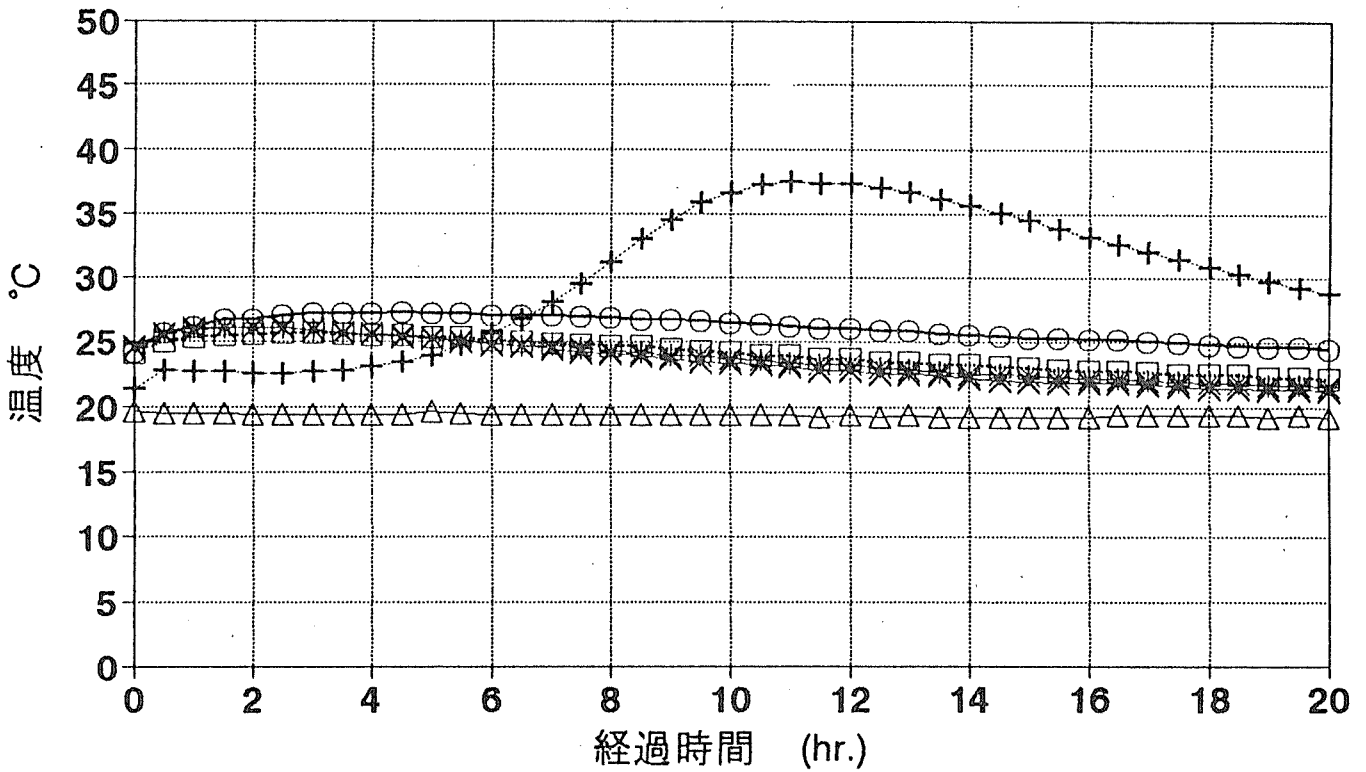
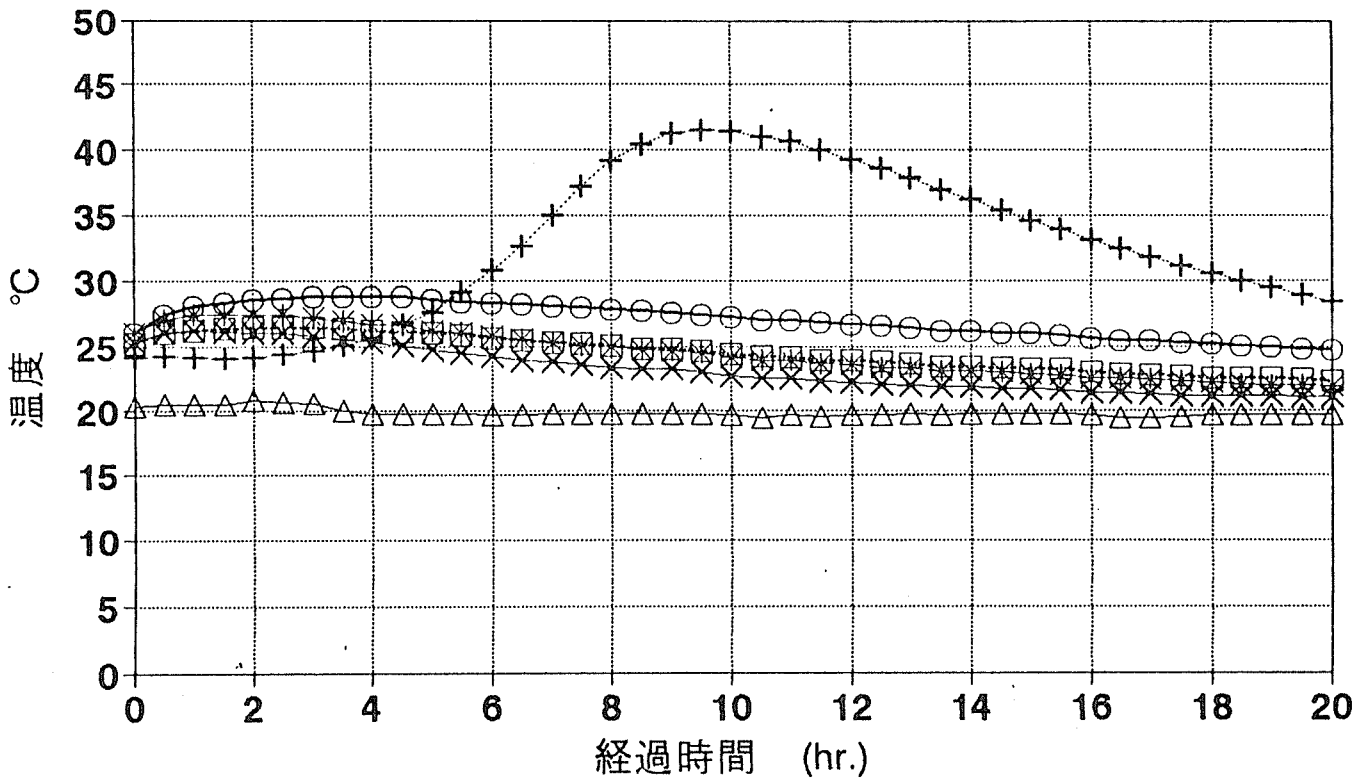
- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| △ 室温 | + セメントのみ | ○ 木混合 (促進剤0%) |
| □ 木混合 (促進剤1%) | × 木混合 (促進剤2%) | ＊ 木混合 (促進剤3%) |

図4-9 (つづき) ⑤レッドラワン合板(コンパネ)の水和反応曲線



△ 室温	+ セメントのみ	○ 木混合(促進剤0%)
□ 木混合(促進剤1%)	× 木混合(促進剤2%)	* 木混合(促進剤3%)

図4-9(つづき) ⑥イエローメランチ合板(コンパネ)の水和反応曲線



△ 室温 + セルのみ ○ 木混合(促進剤0%)
 □ 木混合(促進剤1%) × 木混合(促進剤2%) * 木混合(促進剤3%)

図4-9(つづき) ⑦シベリアカラマツ合板(コンパネ)の水和反応曲線

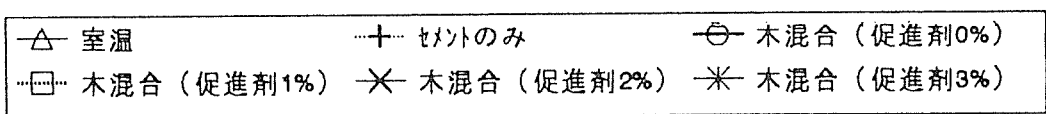
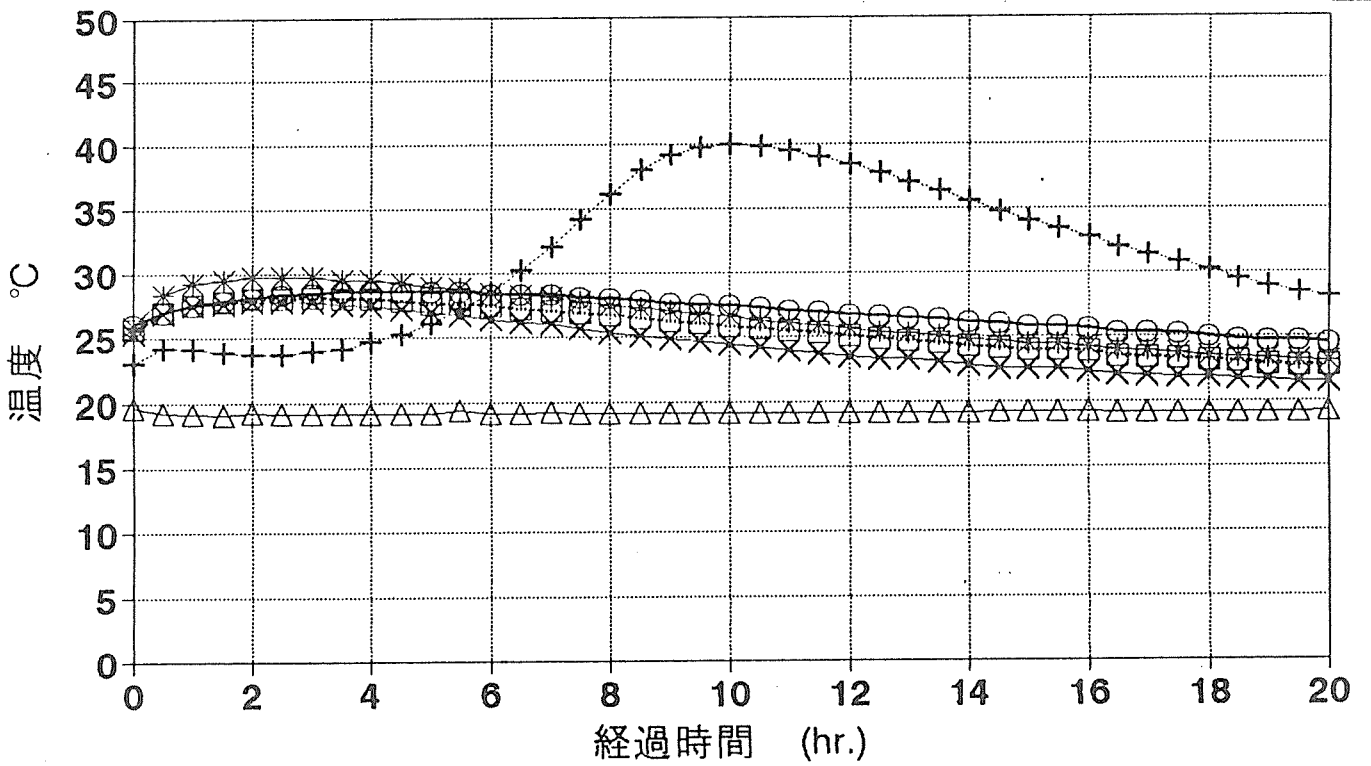
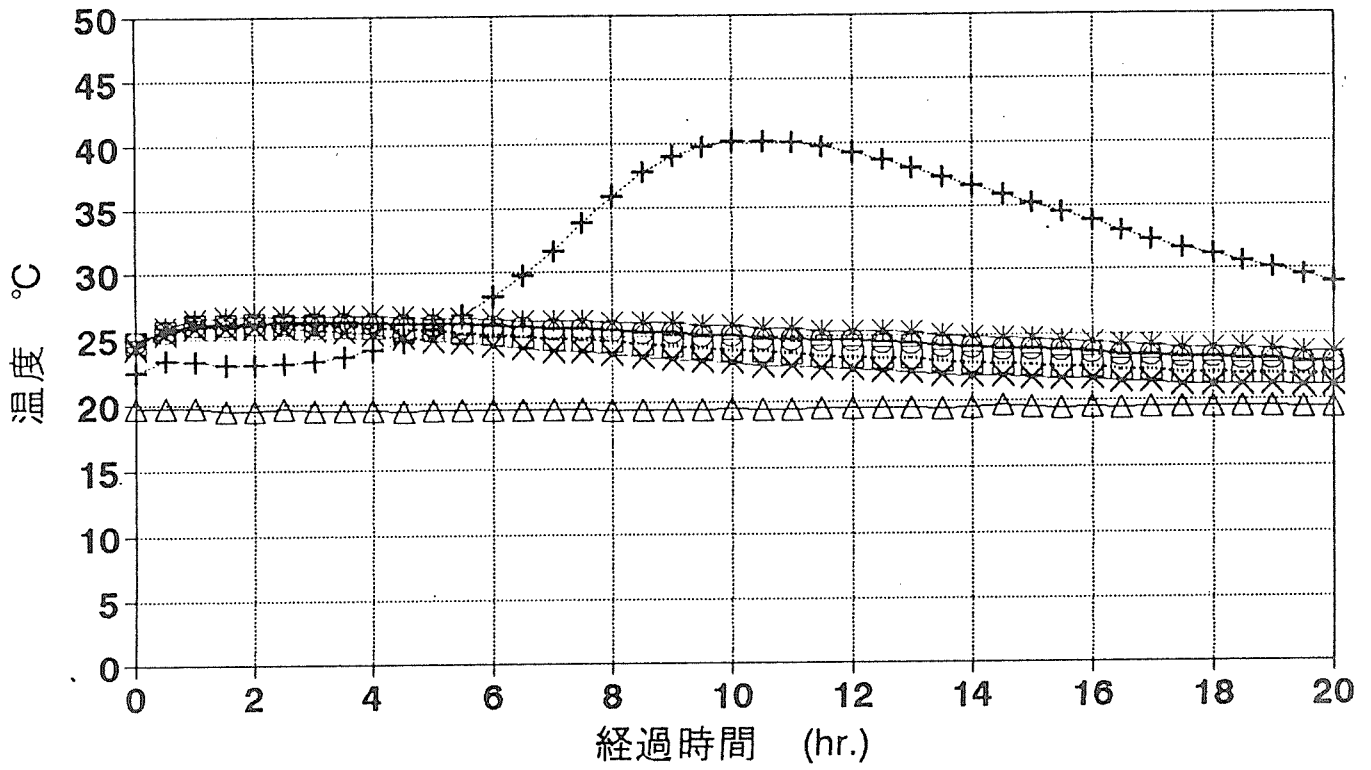
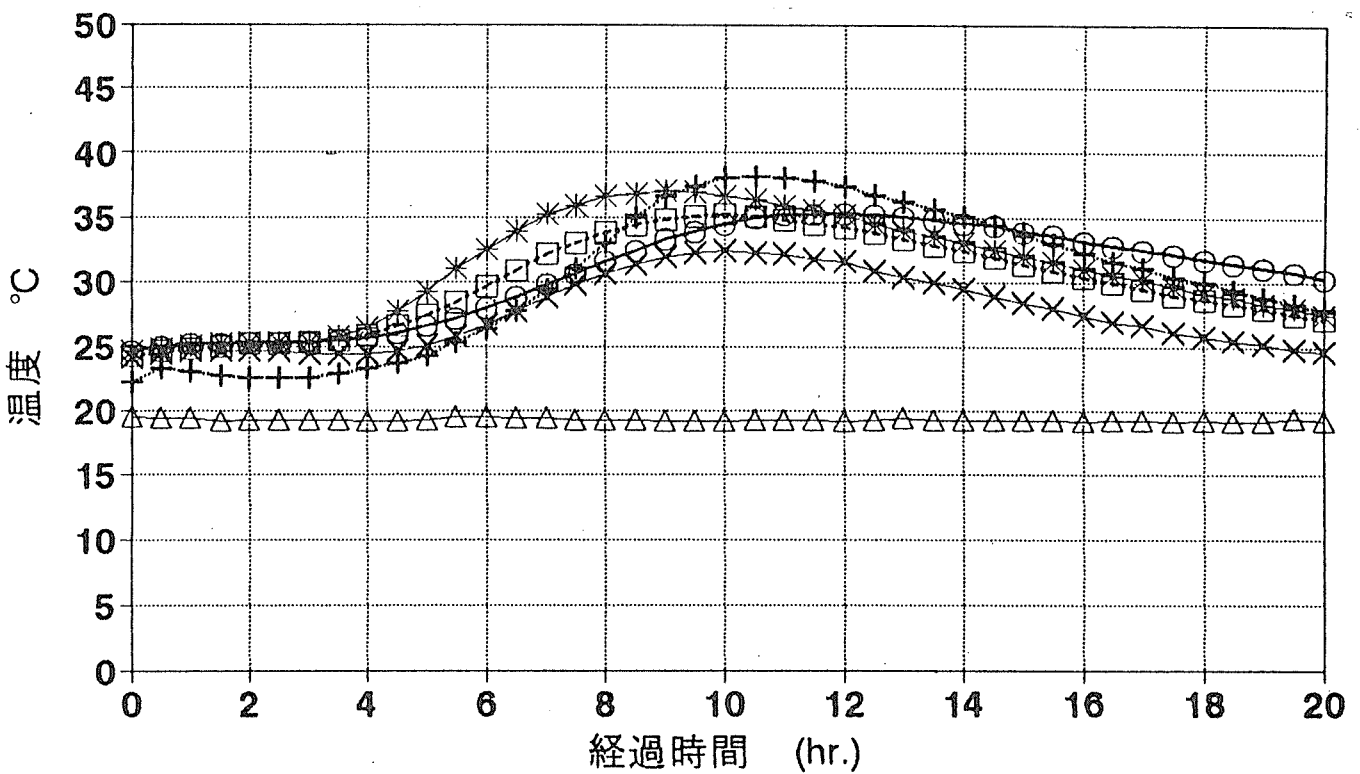
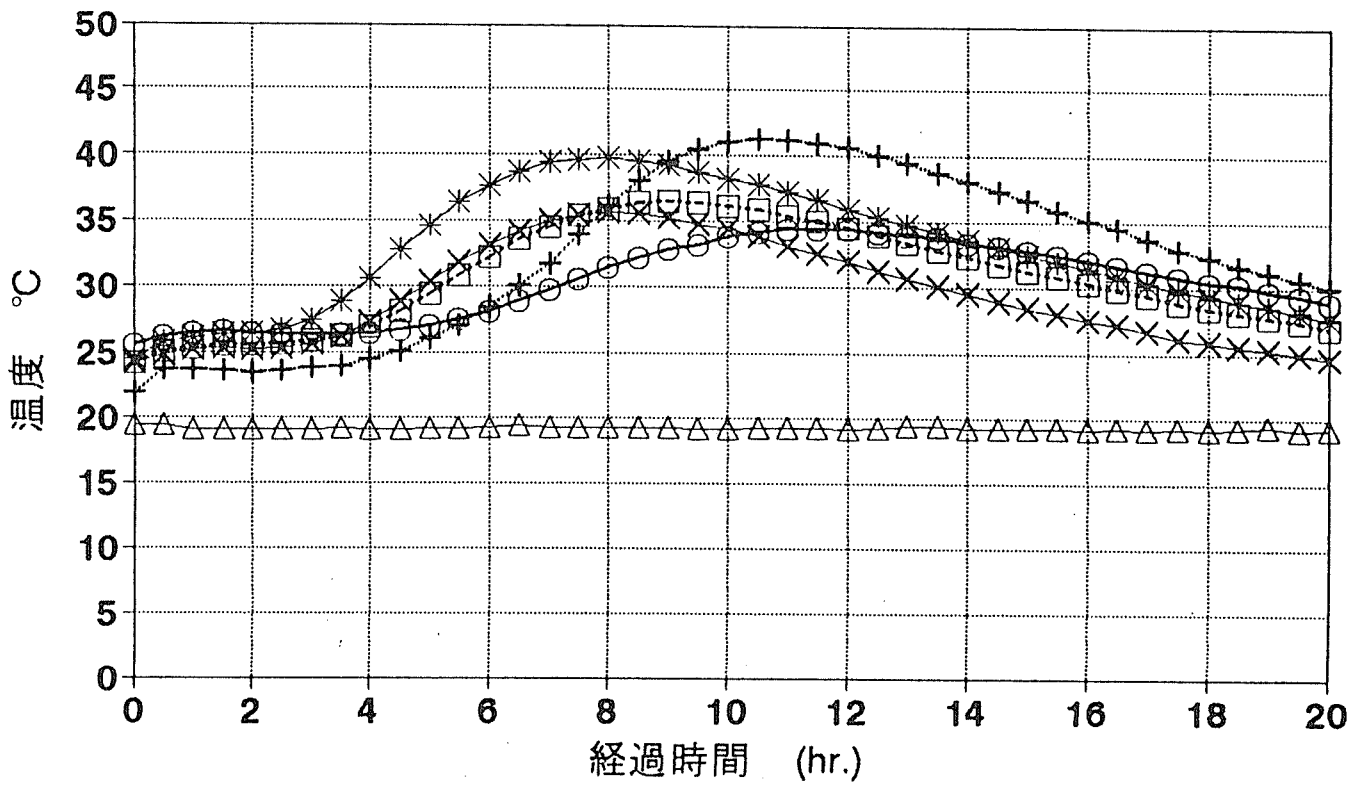
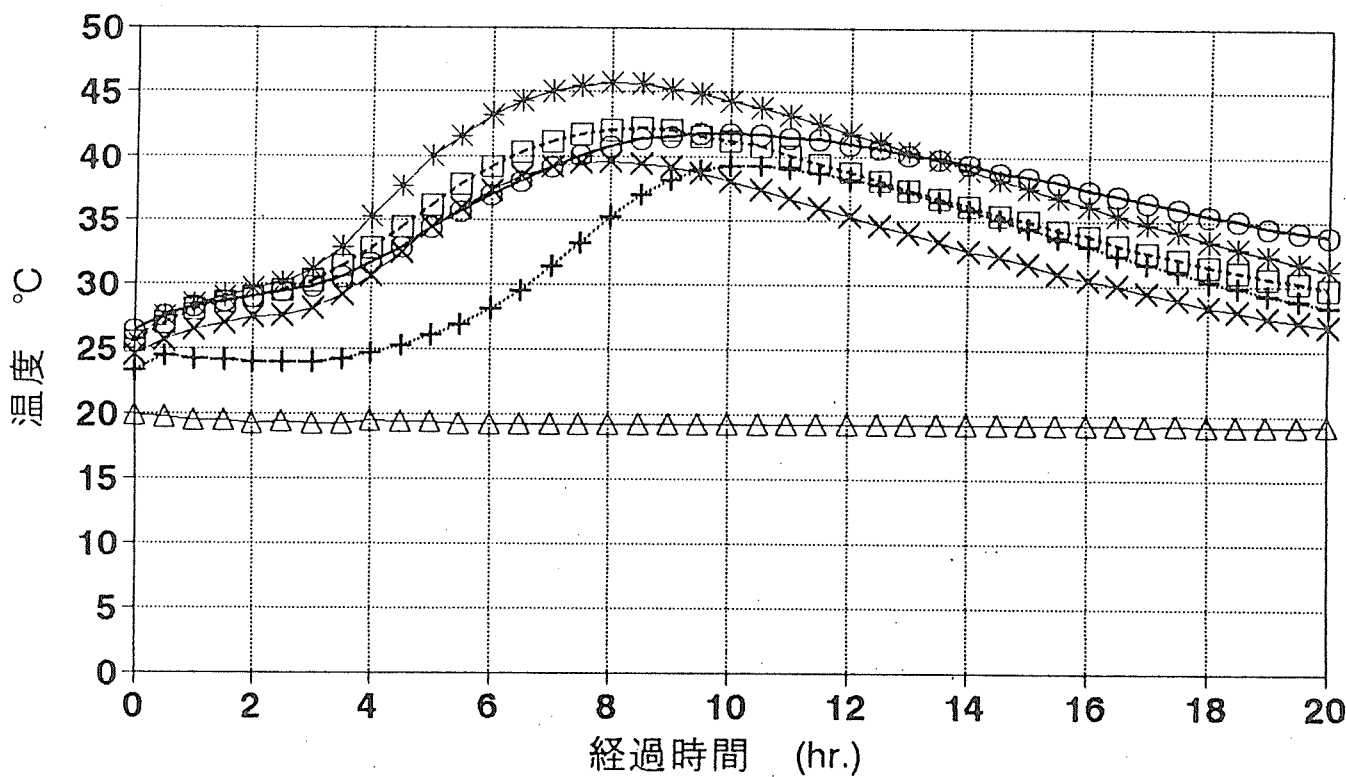
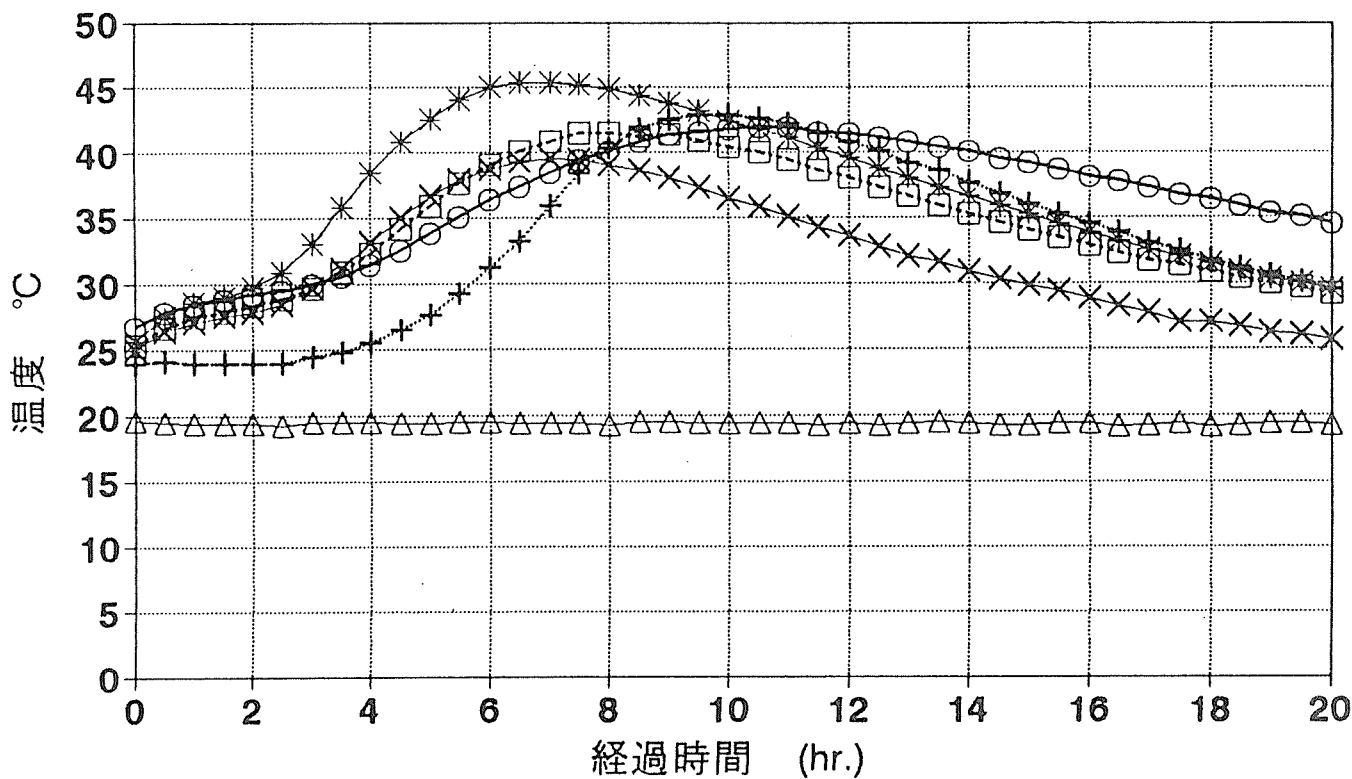


図4-9 (つづき) ③道産カラマツ合板 (コンパネ) の水和反応曲線



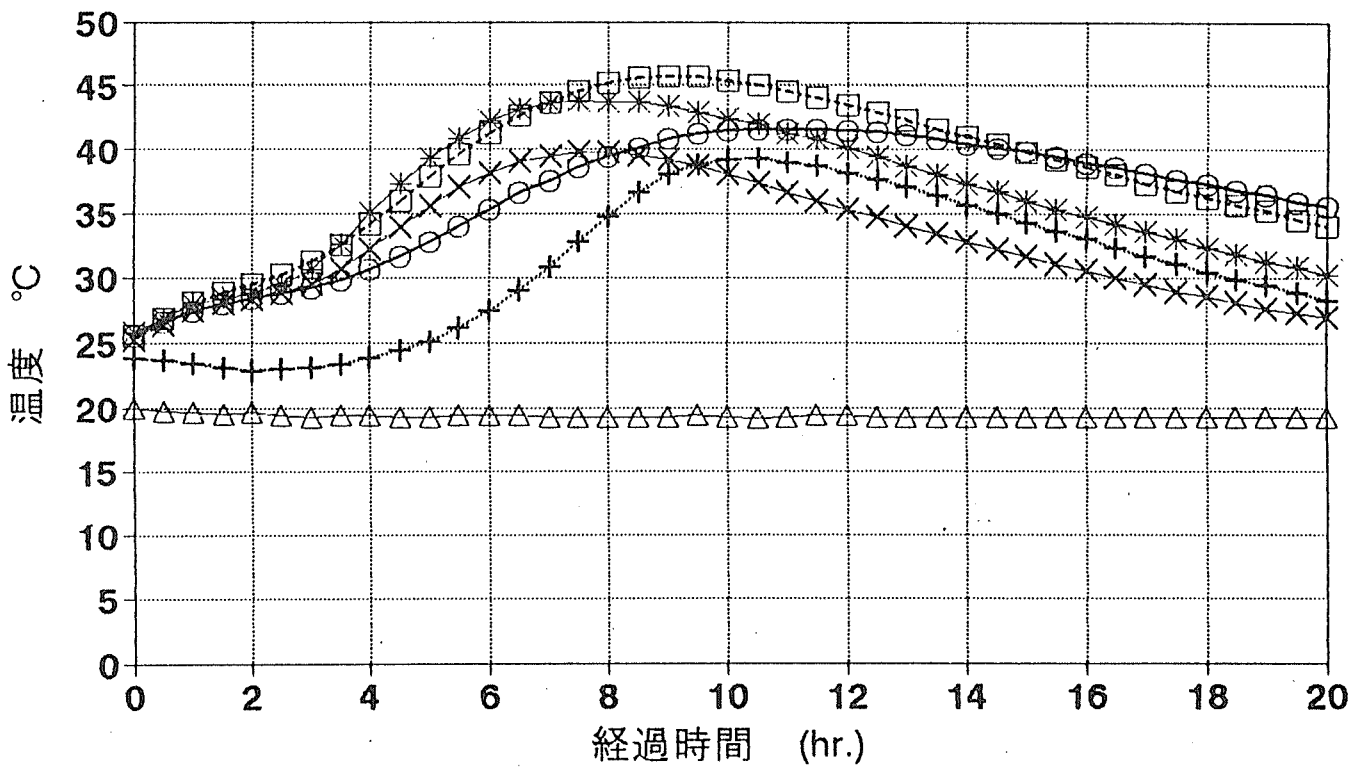
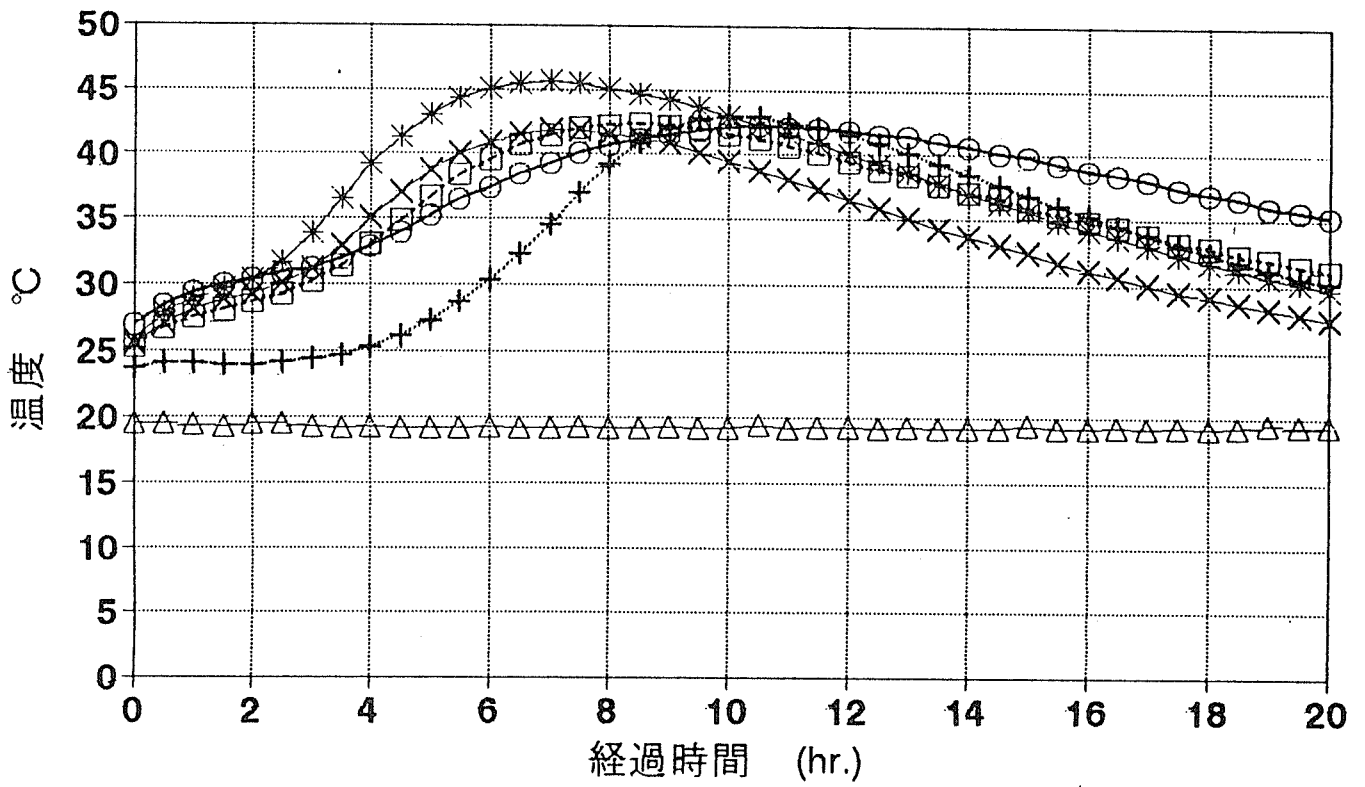
- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| △ 室温 | + セメントのみ | ○ 木混合(促進剤0%) |
| □ 木混合(促進剤1%) | × 木混合(促進剤2%) | ＊ 木混合(促進剤3%) |

図4-9(つづき) ⑨道産トドマツ合板(コンパネ)の水和反応曲線



- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| △ 室温 | + セメントのみ | ○ 木配合(促進材0%) |
| □ 木混合(促進剤1%) | × 木混合(促進剤2%) | ＊ 木混合(促進剤3%) |

図4-9 (つづき) ⑩ラワン・ラジアータパイン複合合板(コンパネ)の水和反応曲線



△ 室温	—+— セトのみ	○ 木混合(促進剤0%)
□ 木混合(促進剤1%)	× 木混合(促進剤2%)	＊ 木混合(促進剤3%)

図4-9 (つづき) ⑪ 廃棄されたラワン合板(コンパネ)の水和反応曲線

参考文献

- 1) (財)日本住宅・木材技術センター：平成5年度「木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書－木質廃棄物再資源化に関するアンケート調査結果－」
(1994)
- 2) (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報告書(Ⅲ)
(再資源化技術開発事業)」, pp60-84 (1994)
- 3) 北海道林務部林産振興課：北海道木質廃棄物再資源利用促進体制整備事業報告書
(北海道木質廃棄物再資源化検討委員会) (1994)
- 4) 板垣博一ほか5名：木質セメントボードの強度発現過程の研究－脱型・養生期間とボード材質について－, 北林産試月報, Vol.2, No.1, pp20-26
(1988)
- 5) 木材の化学と利用技術Ⅲ－4. 木質複合材料－：日本木材学会編(1993), p75

第5章 パーティクルボード製造技術の開発

1 はじめに

木質系廃棄物のうち、建築解体材・廃パレット・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。我が国のパーティクルボード工場は、これら木質系廃棄物を使用する比率が増えているとはいえ、まだラワン合板工場残廃材に依存している面が強い。しかし、ラワン合板製造の将来を考えると木質系廃棄物をさらに使いこなしてゆかなければならない。

一方、北米においてはOSB (Oriented Strand Boards) の生産が1980年初頭より本格的に開始されて以来、現在では、合板も含めた全構造用パネル生産量の約1/3の生産量を占めるに至っている。これらは、カナダ・米国北部ではアスペンを、米国南部ではサザンパイン、雑広葉樹といった安価な樹種を主な原料とし、その丸太からストランドを製造している。また、輸入された北米産OSBの利用は、梱包用を中心に我が国に定着しつつある。しかしながら、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いる。

こうした背景から、ここでは、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を原料とした構造用OSB製造の可能性を検討した。具体的には、表層を配向および芯層をランダムとした3層パーティクルボード(OSB)を製造し、そのボードが構造用の性能を発揮するかを確認した。

2 ボードの製造・性能試験方法

2.1 ストランドの製造方法

原料には、(財)札幌市環境事業公社が市販している建築解体材チップを用いた。この解体材チップは、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碎し、7~40mmの篩で分級選別した木チップである。この建築解体材チップの樹種構成は、四分法により重量構成率を調べた結果、エゾマツ・トドマツ針葉樹88%、ラワン製材7%、ラワン合板5%であった。

この解体材チップ(含水率30%前後)を遠心リング型チップパー(パールマン社製、刃出し0.6mm)で切削しストランドとした。次に、2.2mmと4.3mm目開きの篩で分級し、表層用及び芯層用のストランドを得た。

ストランドの製造方法を図1に示す。

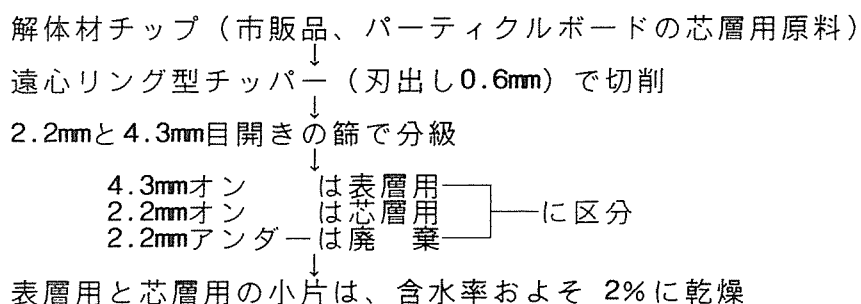


図1 ストランドの製造方法

得られた表層用及び芯層用ストランドの比率および形状は、次のとおりである。

表1 表層用及び芯層用ストランドの比率および形状

ストランドの種類	重量構成比	形状（103枚の平均値）（mm）
4.3mmオン（表層用）	28%	長さ：21.36 幅：2.99 厚さ：0.84
2.2mmオン（芯層用）	37%	長さ：9.76 幅：1.50 厚さ：0.55
2.2mmアンダー（廃棄）	35%	
計	100%	

ストランドの概要を写真1に、形状の度数分布を図2に示す。

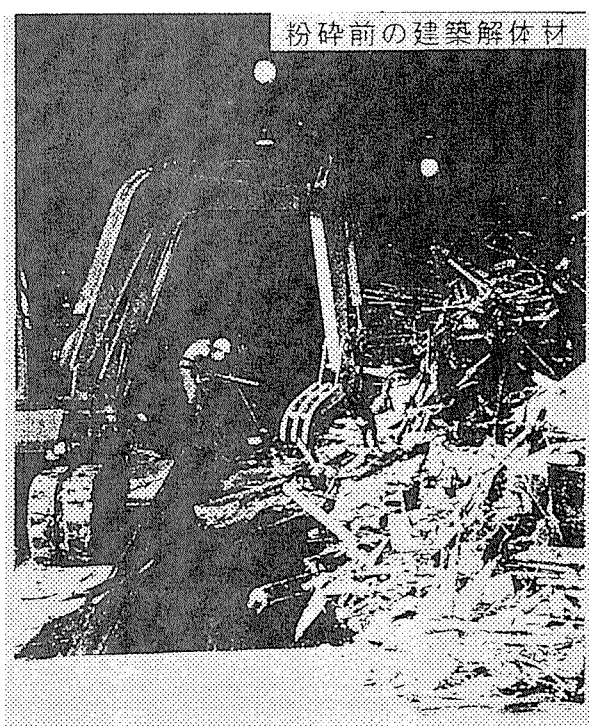


写真1 表層用及び芯層用ストランドの概要

表層用ストランド (篩目4.3mmオ)

芯層用ストランド (篩目2.2mmオ)

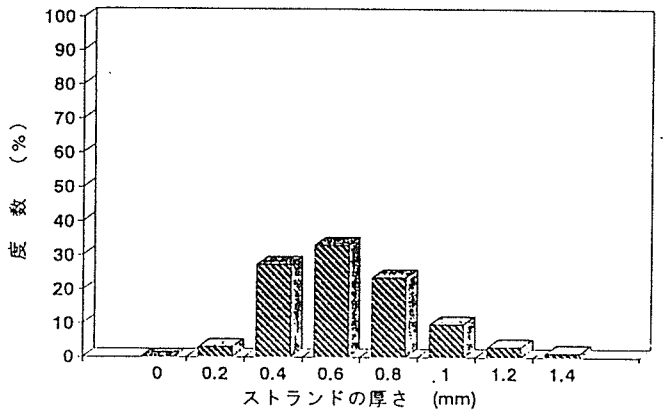
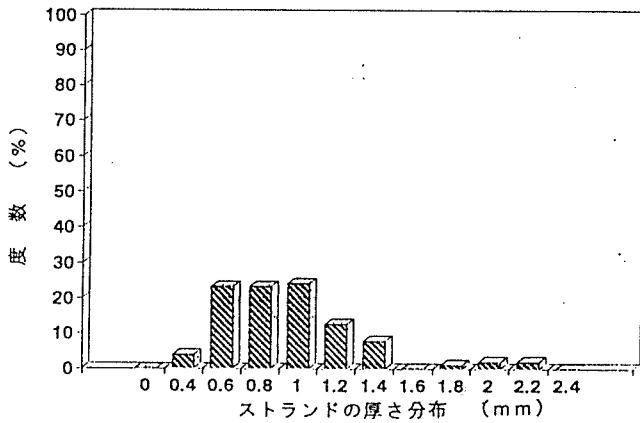
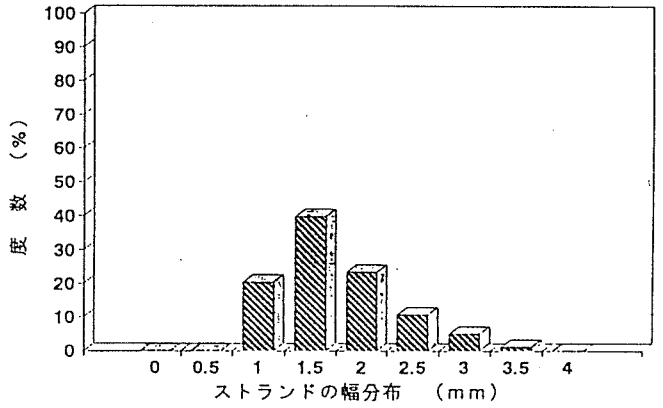
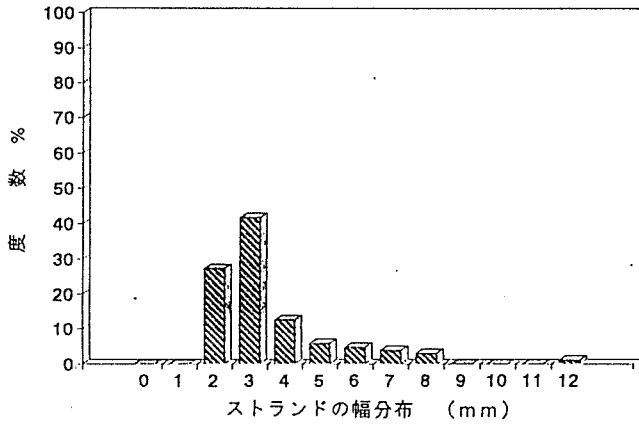
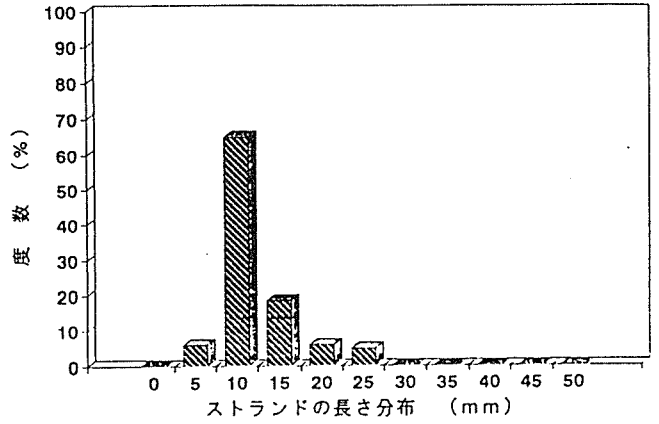
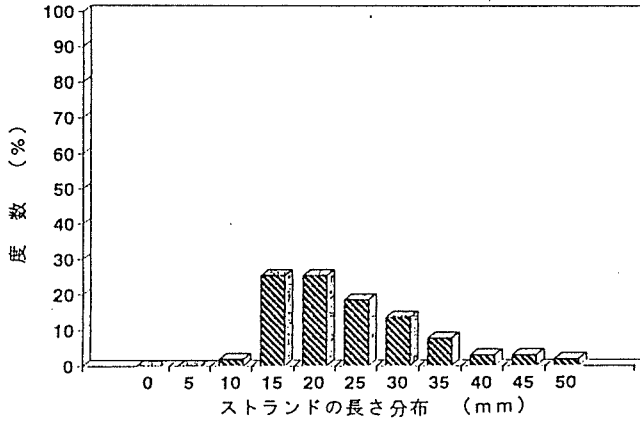


図2 削片形状の度数分布

2. 2 ボードの製造方法

ボードの製造条件は表2のとおりであり、表3に示した6種類のボードを各3枚ずつ計18枚製造した。

接着剤の添加は、表層と芯層別々に、エアレス・スプレーガンと回転型ドラムブレンダーを用いて行った。ワックスは添加しなかった。

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は約20mmで行った。

なお、各条件のボードの製造順番はランダムとした。

表2 ボードの製造条件

○ストランド

①表層用：4.3mmオン

②芯層用：2.2mmオン

○表層構成

重量比は（表層1：芯層2：表層1）の3層構成

A1：ランダム（表層：ランダム，芯層：ランダム）

A2,A3:配向（表層：配向，芯層：ランダム）

○接着剤

ユリア・メラミン共縮合樹脂（大日本インダストリアル製 PA-100、固形分率60.2%）

硬化剤：塩化アモニウム 0.8%（接着剤固形分重量に対して）

○接着剤添加率

10%（絶乾ストランド重量に対する接着剤固形分重量）

（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

B1:0.55（圧縮比およそ1.3）

B2:0.65（圧縮比およそ1.5）

○熱圧条件

温度：180℃、時間：6分

表3 製造したボードの種類

試験体 No.	A : 表層構成	B : 設定比重	備 考
R -L R -H	A1 : ランダム	B1 : 0.55 B2 : 0.65	
O -L O -H	A2 : 平 行	B1 : 0.55 B2 : 0.65	表層配向方向と曲げ試験片の 長手方向が平行
O ⊥ -L O ⊥ -H	A2 : 直 交	B1 : 0.55 B2 : 0.65	表層配向方向と曲げ試験片の 長手方向が直交

2. 3 ボード性能試験方法

製造したボードは、20℃65%の恒温恒湿室で 4週間以上調湿した後、試験片を採取した。性能試験は、表4に示した4項目について行った。

試験体の種類と寸法は表5のとおりで、1枚のボードから図3に示す位置から試験体を採取した。

表4 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
①曲げ強さ試験	JIS A 5908「パーティクルボード」に準拠
②湿潤時曲げ強さB試験	同上
③吸水厚さ膨張率試験	同上
④剥離強さ試験	同上

表5 試験片の種類と寸法

種 類	厚さ	幅	長さ
曲げ強さ試験片 (記号 : B)	12mm	50mm	230mm
吸水厚さ膨張率 試験片 (記号 : TS)	12mm	50mm	50mm
剥離強さ試験片 (記号 : IB)	12mm	50mm	50mm

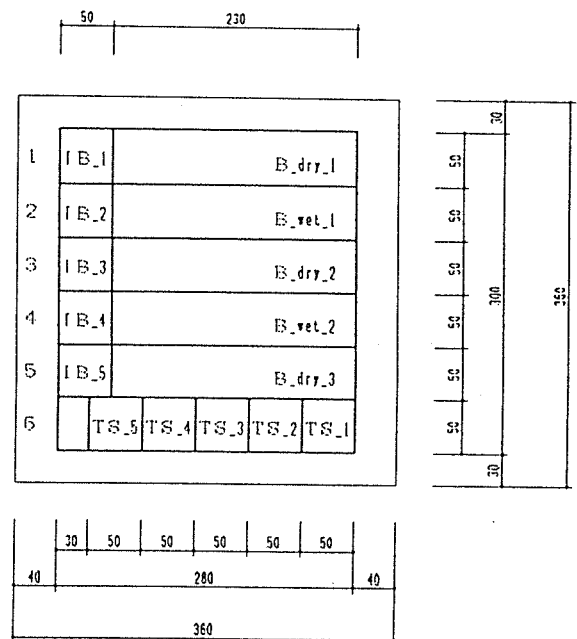


図3 試験片の採取位置

3 ボードの性能試験結果

性能試験結果を表6に示す。

また、ボードの性能試験結果とJIS（24-10タイプ）基準値との比較を図4に示す。

表6 ボードの性能試験結果

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

図4から、吸水厚さ膨張率（TS）は、どのボードも構造用の基準値である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（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のものであるため、ワックスを1%程度添加すれば基準値を満足できるものと思われる。

剥離強さ（IB）は、どのボードも基準値を満足している。

常態曲げヤング係数（MOEd）は、比重0.55のランダムを除いて基準値を満足した。

常態曲げ強さ（MORd）は、どのボードも基準値を満足していないが、比重を0.70程度まで上げれば満足するものと思われる。

湿潤曲げ強さ（MORw）は、曲げ残存率（＝湿潤曲げ強さ／常態曲げ強さ）として表示した図4のとおり、表層配向の比重0.65のボードは残存率0.50以下となったが、ワックスの添加により基準値を満足できるものと思われる。

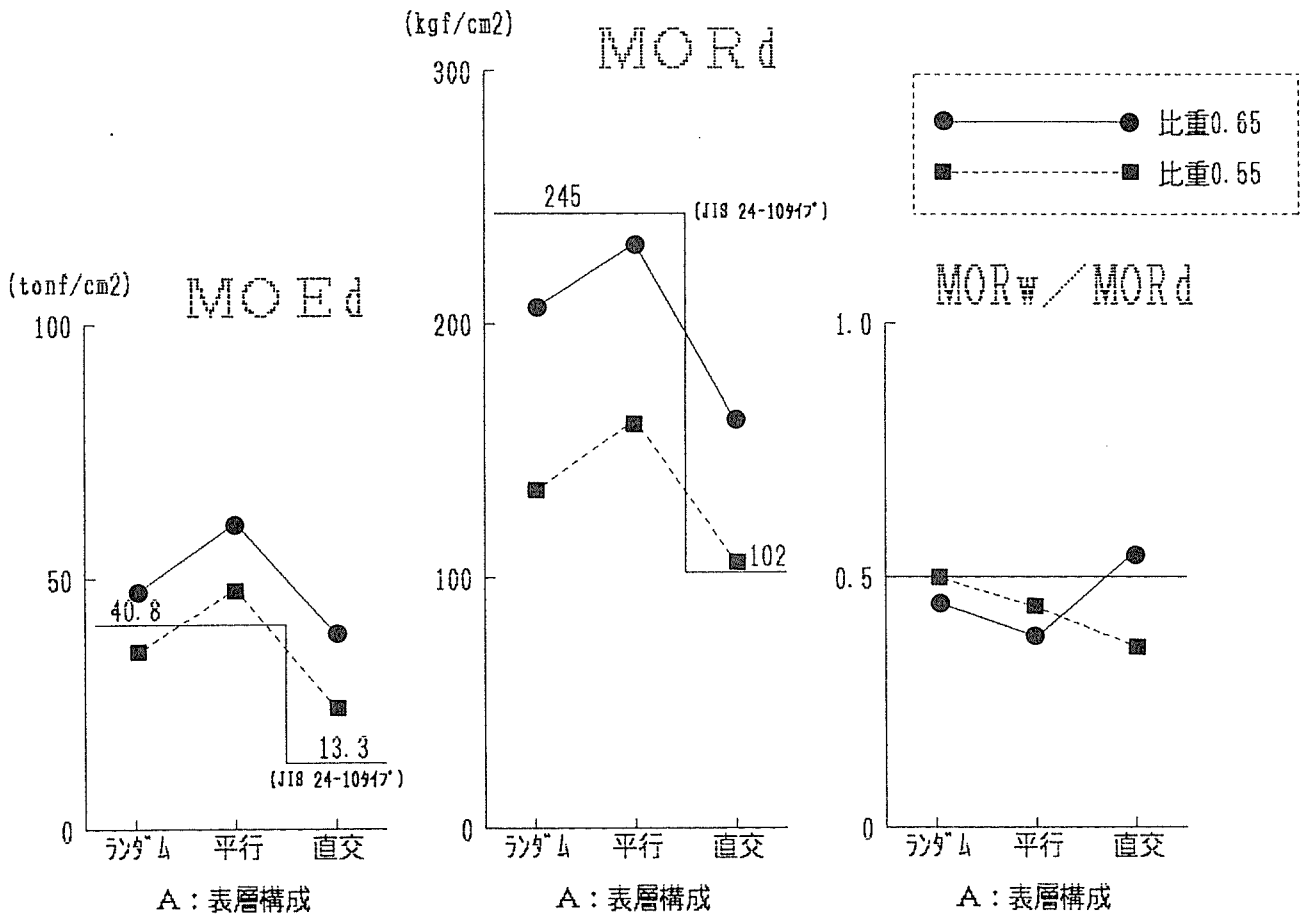
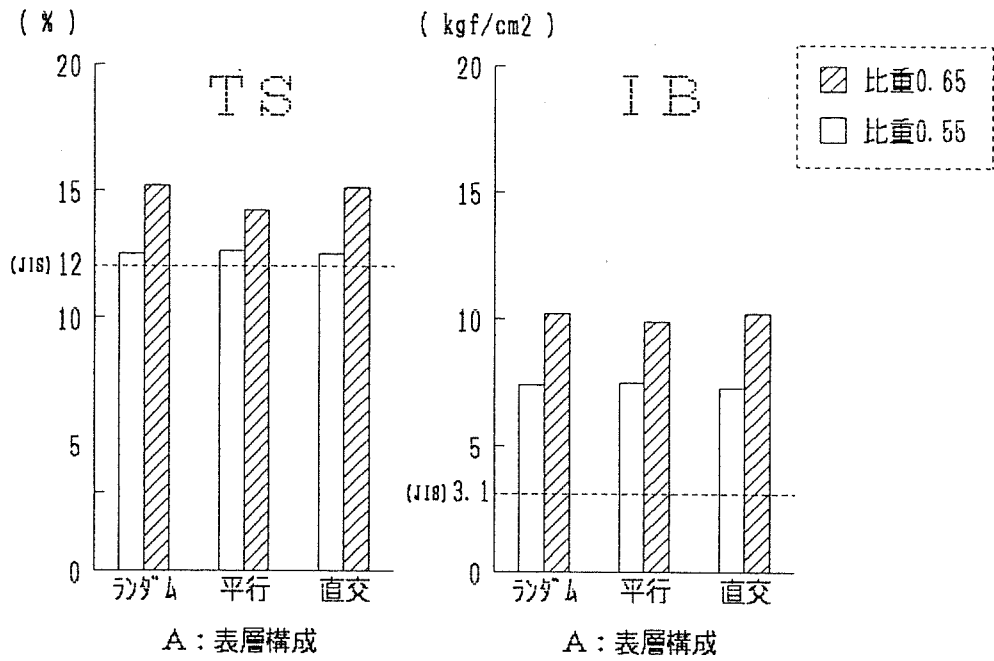


図4 ボードの性能試験結果とJIS(24-10タイプ)基準値との比較

4 おわりに

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を原料とした構造用OSB製造の可能性を検討した。具体的には、表層を配向および芯層をランダムとした3層パーティクルボード(OSB)を製造し、そのボードが構造用の性能を発揮するかを検討した結果、表層を配向したボードに少しの改良(ワックスを添加する、比重を0,70程度にする)を加えることにより、十分な構造用の性能を発揮することを確認した。

第6章 木質残廃材の炭化と炭化物の機能性 (I)

1.はじめに

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变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、これら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、軽量化と共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も必要である。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。なお、対照試料として市販の木質系活性炭を用いた。

2.実験方法

2.1: 供試材

実験に用いた樹種、炭化前の含水率及び試験片の寸法を表6-1に示す。

表6-1 供試樹種、含水率及び試験片の寸法

樹種	含水率 (%)	寸法 (cm)
スギ	11.8	5 (L) x 5 (R) x 5 (T)
ベイスギ	12.3	5 (L) x 5 (R) x 5 (T)
ネズコ	12.4	5 (L) x 5 (R) x 1 (T)
ケヤキ	9.7	2 (L) x 5 (R) x 3 (T)
ミズナラ	12.7	4 (L) x 5 (R) x 5 (T)
ブナ	12.5	4 (L) x 9 (R) x 5 (T)
モウソウチク	13.9	直径：8、高さ：10

注) L：繊維方向、R：半径方向、T：接線方向

2.2 炭化装置と炭化条件

- (1) 炭化には木材乾溜装置(内容積：1.8ℓ)を用いた。所定の条件で炭化した後、約1日自然放冷して実験に供した。
- (2) 炭化条件：400℃、2時間(昇温度速度：9.3℃/min)

2.3 試料

炭化物を乳鉢で粉碎し、60 meshのふるいを通したものを試料とした(JIS規格に準ずる)。ま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。

2.4 炭化物の性質・性能評価

- (1) 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：24mg/ℓ、但し、活性炭の場合は720mg/ℓ、流量：100、300、500ml）を一定速度（10±1ml/分）でピュレットから試料に滴下し、ろ液について波長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。
- (2) 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。
- (3) pH値：JIS規格に準じて測定した。なお、人工酸性雨は、水300mlに95%硫酸2mlと61%硝酸1mlを加えてpH1の酸性雨を作り、このpH1の人工酸性雨0.4mlに水500mlを加えてpH4の人工酸性雨を調整した。

これ以外のもは常法に従って測定した。

3.実験結果

(1) 収率（表6-1）

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
収率(%)	32.5	30.8	33.3	31.4	29.6	27.5	32.0

（全乾質量に対する生成炭化物の全乾質量の割合）

①：ブナが若干低い値を示したが、それ以外の試料では30%前後であった。

(2) 平衡含水率（20℃、RH60%）（表6-2）

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
EMC(%)	3.9	4.0	5.1	4.7	4.4	3.9	5.1	11.6

①：ネズコ、ケヤキ、モウソウチクはスギ、ベイツガ、ブナより1%程度高い値を、活性炭はこれらの2倍以上の値を示した。

(3) pH値と灰分（表6-3）

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℃/minの場合

**：炭化前の試料重量を基準にしたもの（重量%）

①：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、ケヤキのpH値は高かった。しかし、三番目に灰分の多いブナのpH値は低かった。灰分にはカルシウムやカリウムなどの金属成分、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値が低くなったとも考えられる。

(4) メチレンブルー吸着性能

①：メチレンブルー吸着量とろ過回数との関係を図6-1、図6-2に示す。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ている。

②：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。

(5) メチレンブルー吸着量と平衡含水率との関係

①：活性炭を除いた試料について、ろ過10回後のメチレンブルー吸着量と平衡含水率との関係を図6-3に示す。ネズコが少しはずれているが、平衡含水率が高いほどメチレンブルー吸着量は多くなる傾向が見られた。

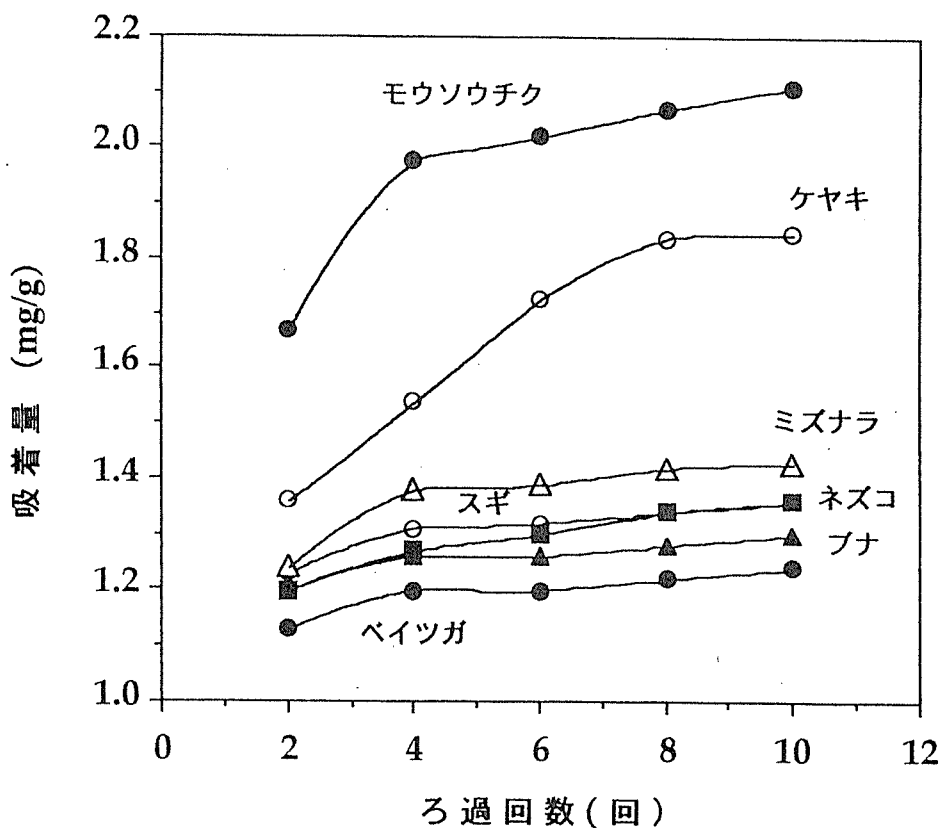


図6-1 メチレンブルー吸着量とろ過回数との関係

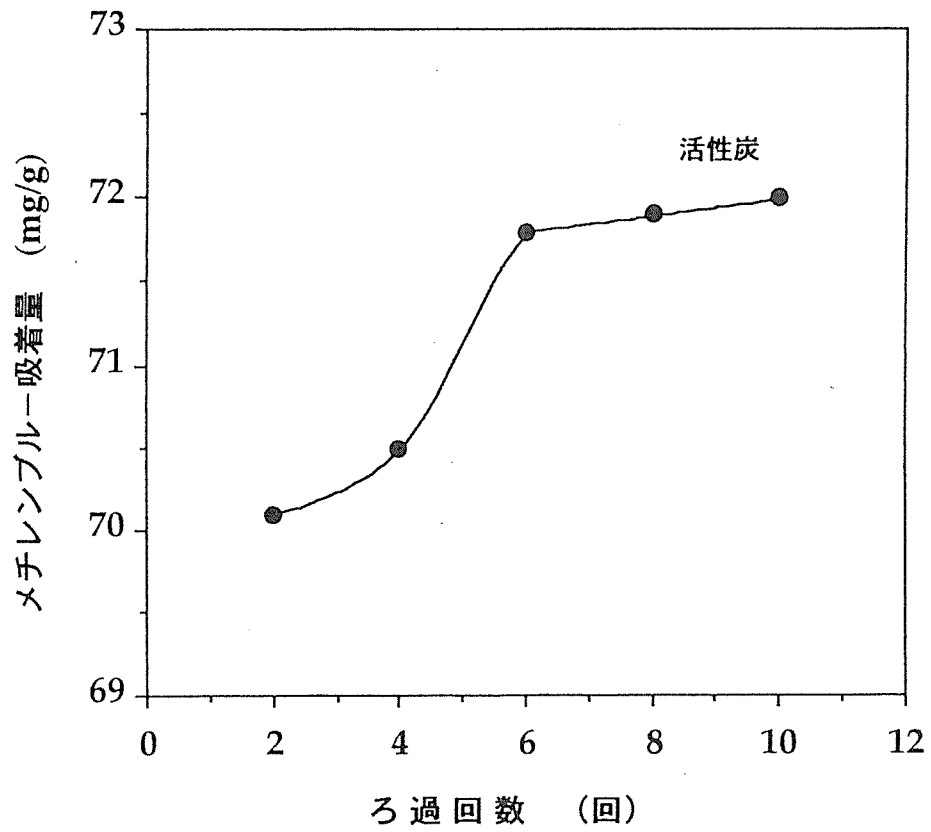


図6-2 メチレンブルー吸着量とろ過回数との関係

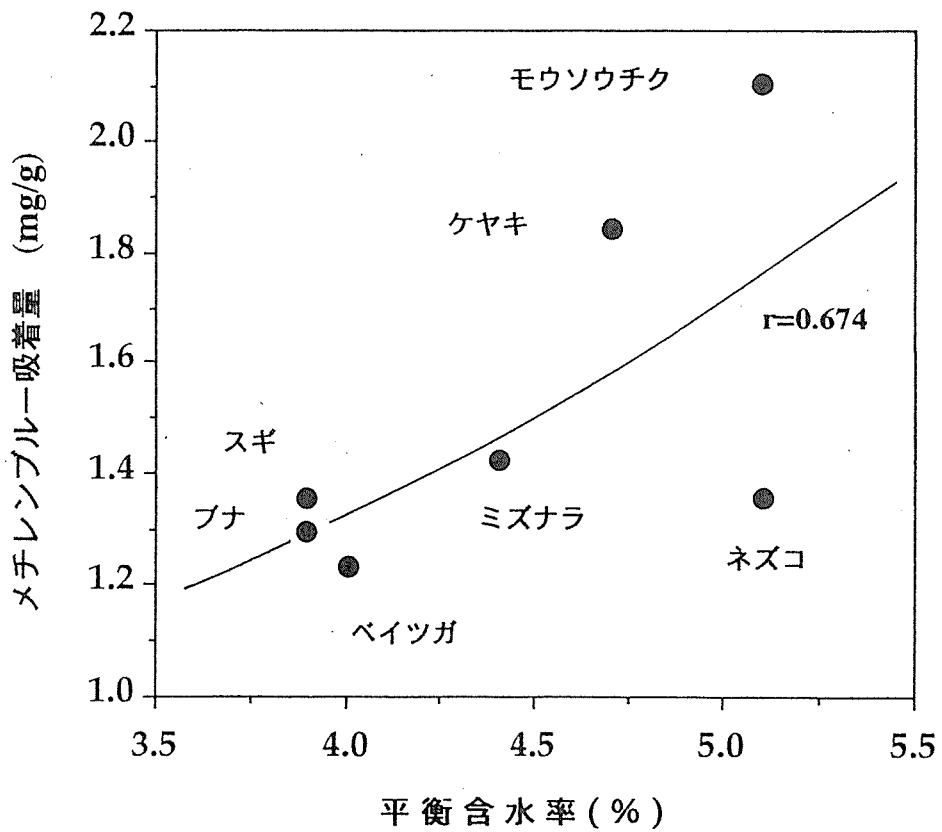


図6-3 メチレンブルー吸着量と平衡含水率との関係

(6) 細孔直径分布

- ①：図6-4～図6-8にスギ、ベイツガ、ケヤキ、モウソウチク及び木質系活性炭の細孔直径分布を示す。ネズコ、ブナでは $1\mu\text{m}$ から $60\mu\text{m}$ の間に細孔直径が分布し、 $20\mu\text{m}$ 前後のものが多かった。これに対してケヤキ、ミズナラ、モウソウチクでは $1\mu\text{m}$ 以下のものは少なかったが、 $0.01\mu\text{m}\sim 60\mu\text{m}$ に幅広く分布し、 $4\mu\text{m}$ 前後のものが多かった。
- ②：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、ブナよりもメチレンブルー吸着量が多かった。

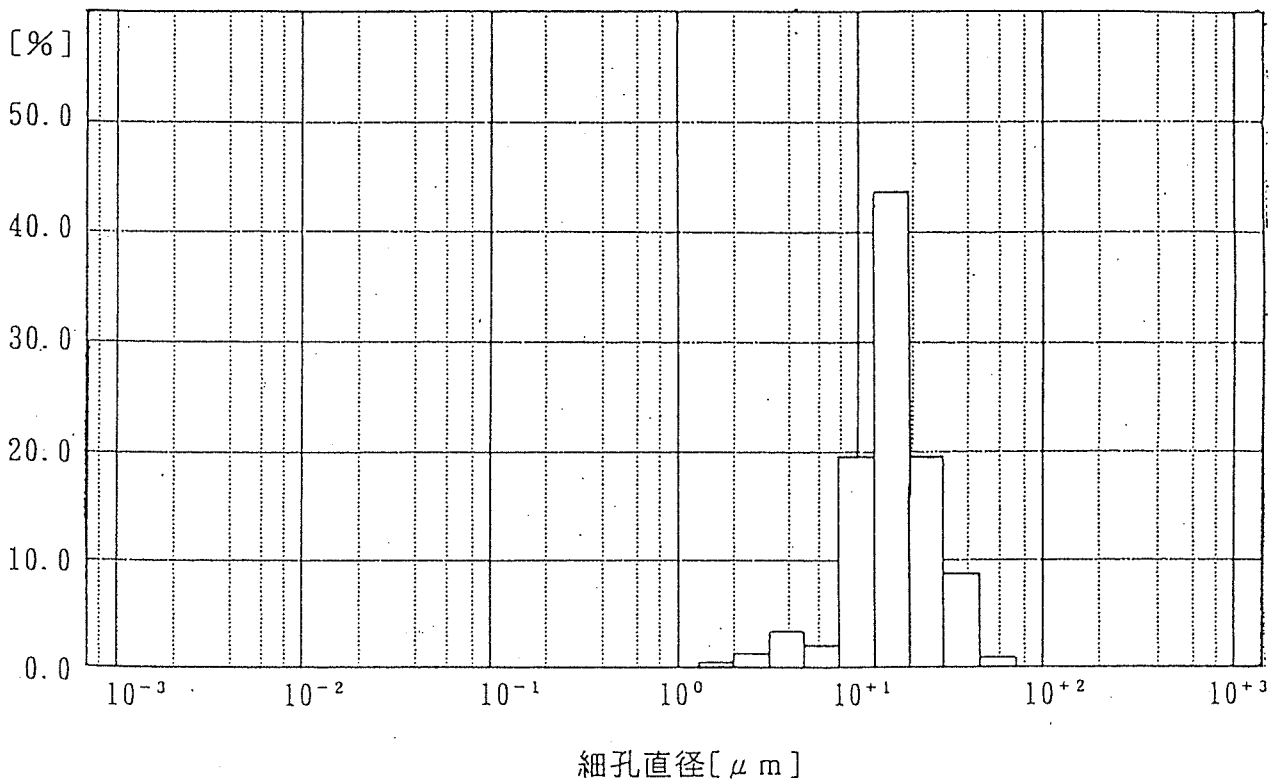


図6-4 スギの細孔直径分布

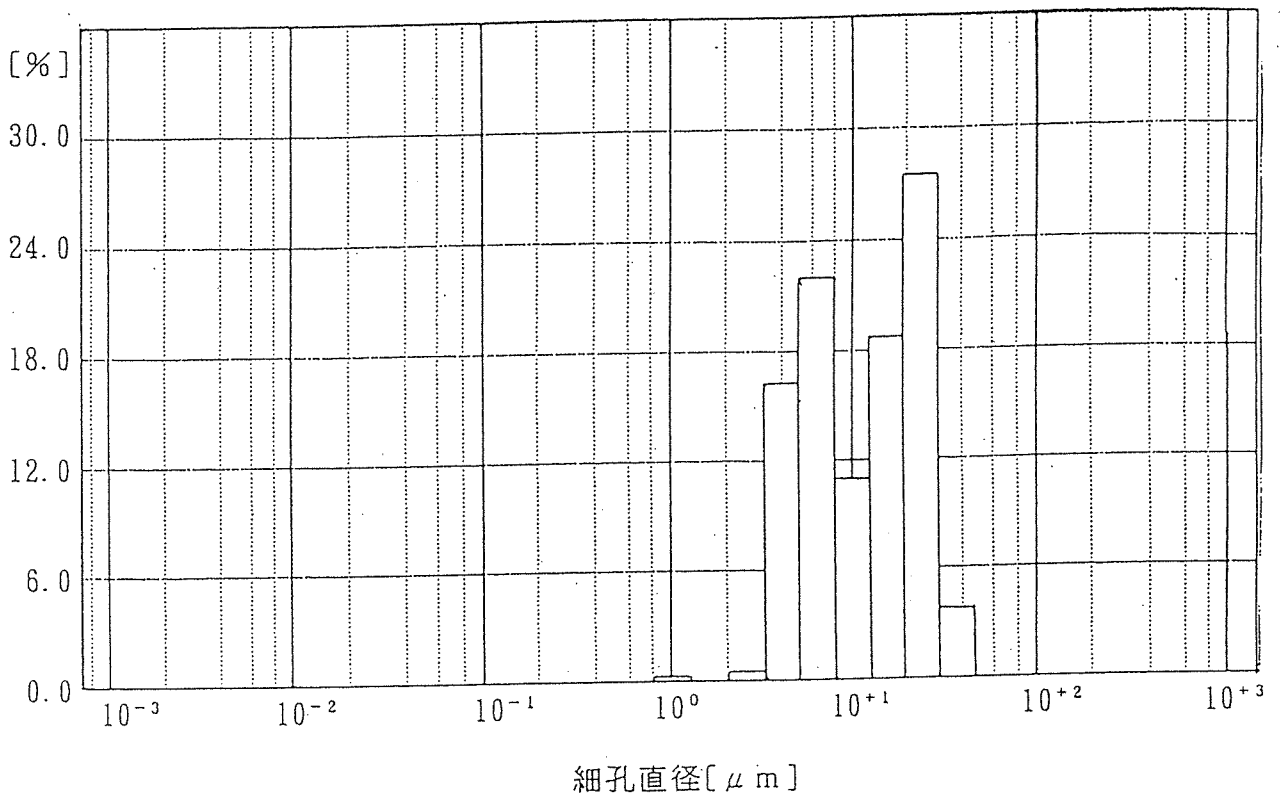


図6-5 ベイツガの細孔直径分布

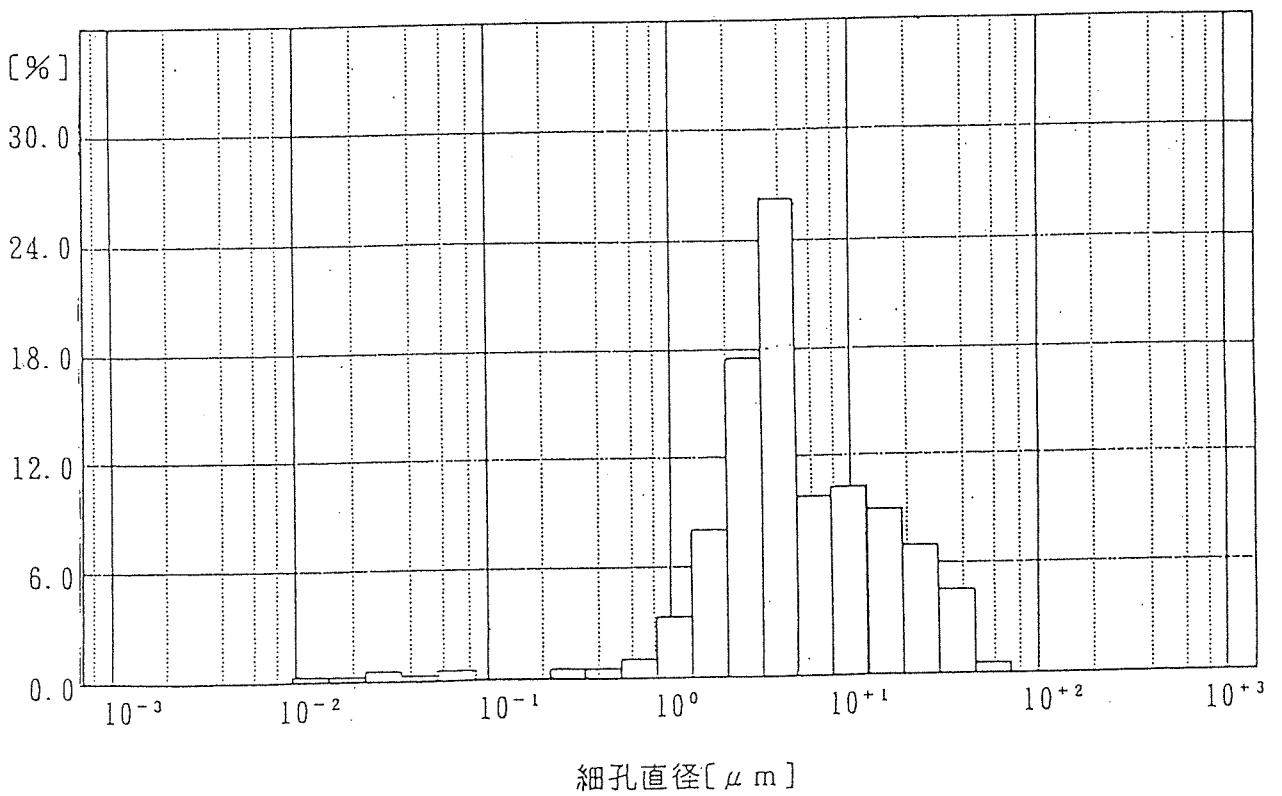


図6-6 ケヤキの細孔直径分布

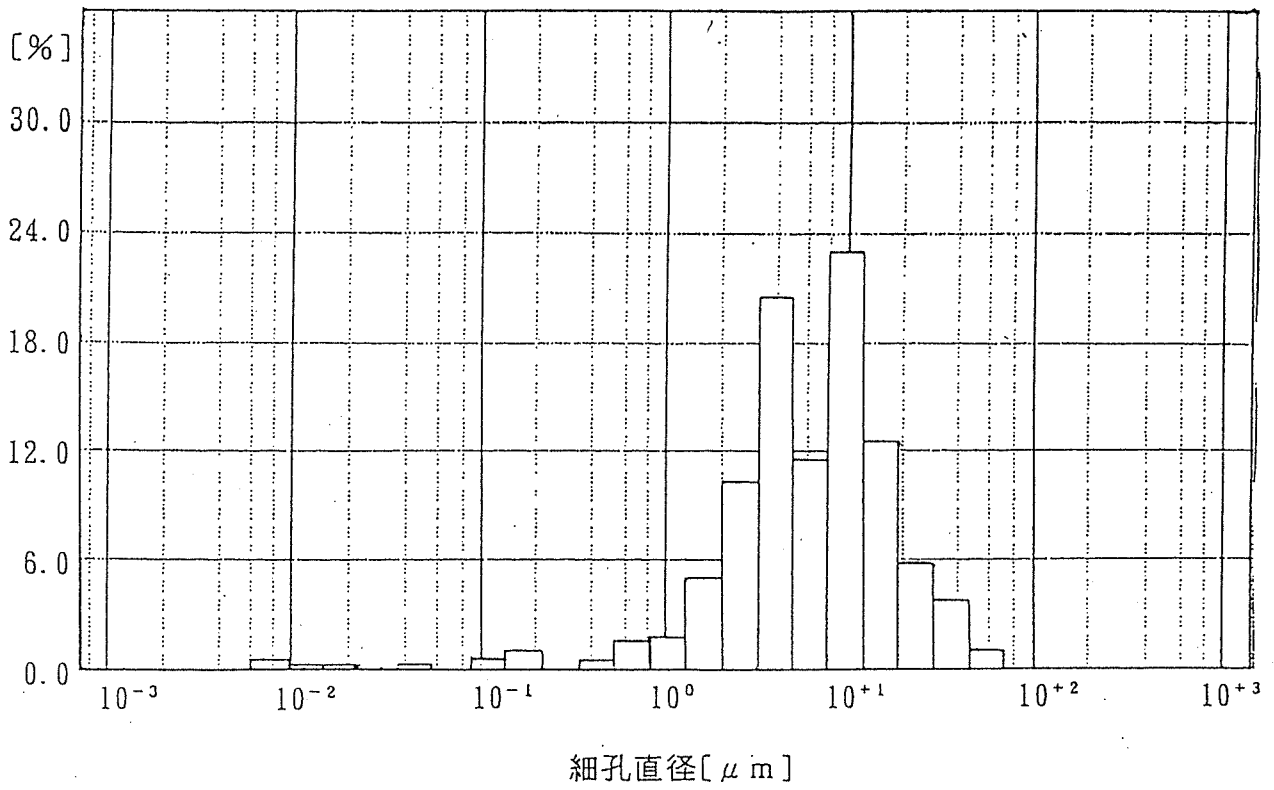


図6-7 モウソウチクの細孔直径分布

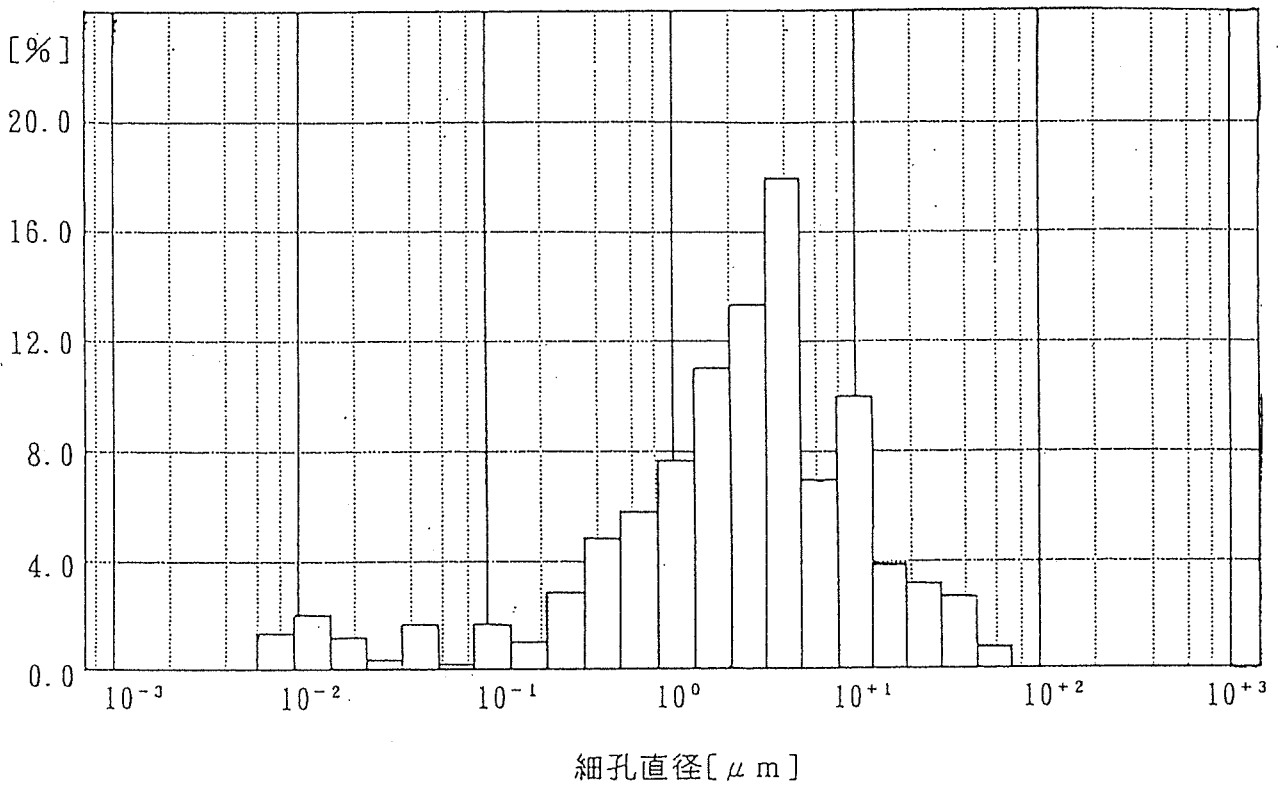


図6-8 木質系活性炭の細孔直径分布

(7) 人工酸性雨のpH値変化

①：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6-9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、ケヤキの炭化物では滴下を繰り返して平衡に達するまで、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び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、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。

②：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)の変化の様子を図6-10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、ベイツガでは500ml 滴下した場合pH ほとんど4に近くなっている。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く、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。

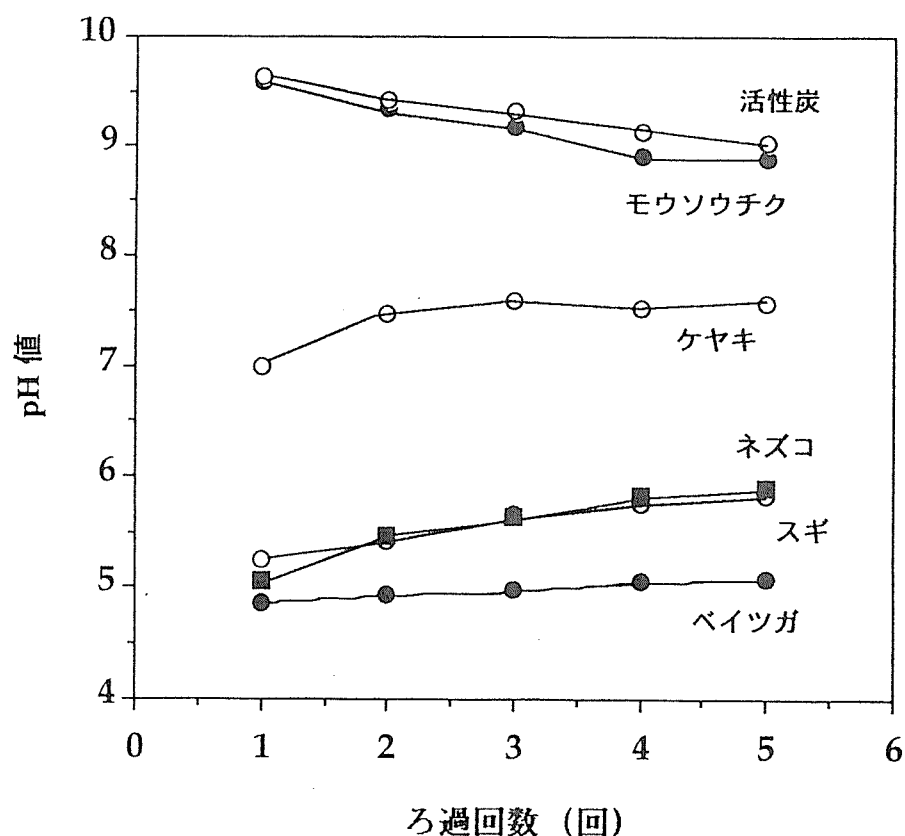


図6-9 pH 4 の人工酸性雨のpH 変化とろ過回数との関係

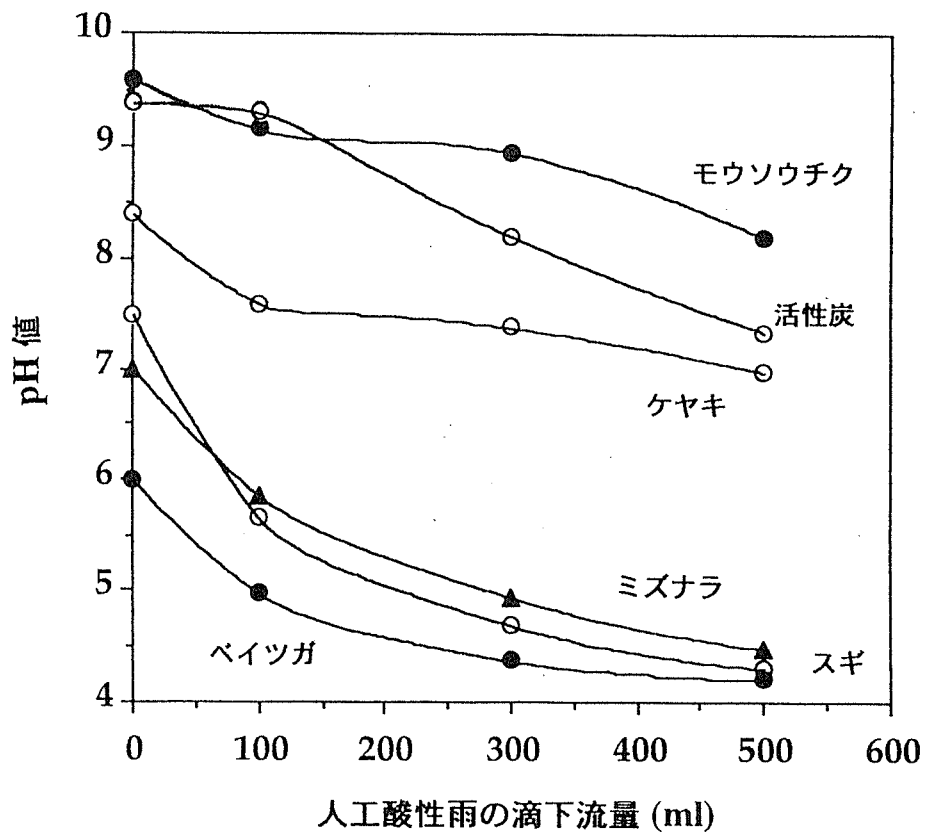


図6-10 人工酸性雨のpH変化に及ぼす流量の影響

木質残廃材の炭化と炭化物の機能性（Ⅱ）

木質廃棄物の炭化による性状とその特性

1. はじめに

住宅に代表される解体現場や土木現場、物流拠点から出る古材や木質廃棄物は、その質的变化や競争原理からゴミ化している。というのも、木質廃棄物は多段階的に部分的に生かされてはいるが、接着剤等の混入により不純物が生じるため、最終的にはそれらは廃棄されるからである。そしてカスケード型利用された木質材料もいずれは廃棄される。

現在はそれらの減容化のために大部分を焼却処分に頼っている。貴重な炭素源であるにも関わらず、二酸化炭素の放出源になる可能性を持っている。

今回は木質廃棄物のカスケード型利用の一つとして、生物界に安定な材料としての炭化処理を取り上げた。最終的に生物界に安定な材料であれば、使用後に減容化したり、投棄しても問題にならないはずであるからである。

そこで本研究では、木質廃棄物の中で更なる増加が見込まれ、またその木質材料から作られる炭が、そういった問題のない材料足り得るのかを念頭に置いて行った。

2. 試料

実際の住宅解体現場から出る木質廃棄物は、今の所30%が再資源化されているが、その他は焼却処分をするにとどまっているのが現状である。それを踏まえて、住宅解体材と考えられる材料として、素材ではスギ、木質材料では針葉樹・広葉樹MDF、ユリヤメラミン樹脂・フェノール樹脂パーティクルボード、針葉樹(ラジアータパイン)合板を用いた。

(1)炭化

全ての試料は、まず屋外簡易炭化炉によって、粗い炭化を行った。これをここでは1次炭化と呼ぶ。これにより室内電気炉で行う2次炭化時に、電気炉に負担が掛かりにくくなる。1次炭化により、分解ガスの大部分が除かれ、また自燃の炭化であるため、エネルギー消費量も少なくすむという利点がある。

1次炭化のみ行った試料を、低温炭化物と呼ぶ。

2次炭化として、室内電気炉で、1000℃で低温炭化物試料を再度炭化した試料を、高温炭化物と呼ぶことにする。

(2)粒度

全ての試料は、粉碎し、振とう器にかけて粒度別に分類した。粒度は、振とう器のメッシュサイズにより、2mm、850 μ m、500 μ m、355 μ mおよびそれ以下の微粉の5種類とした。

3. 吸湿試験

本実験は、木質廃棄物の木炭を床下調湿材等として用いた場合を想定して行った。

(1)試料

用いた試料は、低温炭化物と高温炭化物試料の各5種類の粒度別木炭とした。

(2)実験

試料をそれぞれシャーレに所定量取り、105℃ 4 hで全乾にした後、20℃ 65% RHの恒温室中に放置し、重量の経時変化および含水率変化を測定した。

(3)結果

グラフにおける粒度は、1から5まで順に、2mm、850 μ m、500 μ m、355 μ mおよび微粉とした。図-1より低温炭化試料は、同じ木質材料どうし、非常に似た傾向を現していた。炭化が不十分なために、種類の性質が残っていると考えられる。

図-2より高温炭化試料は、低温炭化試料で見られた傾向は認められなかった。これは炭化が完全に均一に行われているために、樹種および材質の違いは目立たないことが示唆される。

低温炭化と高温炭化の大きな違いは、含水率の達する平衡値の差に現れた。これにより、高温炭化の方が吸湿能が高いことが認められた。

図-3の粒度別含水率について、不均一な燃焼による含水率のバラツキの大きなものが多く認められた。

ここで、吸湿能の時間との関係を表す。含水率はじきに平衡に達すると考えられるので、その漸近線の値をGと置き、ほぼ漸近値とみられる値を任意に設定した。時間当たりの含水率N(t)を、Gから引いたものの対数を取り、それと時間との関係を見ると、1次の近似曲線に当てはまった。その傾き λ は、吸湿速度を現す係数であるといえる。すなわち、以下のような式となる。

$$N(t) = G(1 - e^{-\lambda t})$$

変形すると以下のようなになる。

$$\frac{dN}{dt} = \lambda(G - N(t))$$

$$\log(G - N(t)) = y$$

$$y = -\lambda x + b$$

図-3、図-4のグラフは式に近似した。

回帰式より求めた λ と木炭それぞれの粒度は、良好な相関を示した。同様の傾向が、高温炭化物にも当てはまった。これにより、粒度が小さいほど吸着速度が大きいことが認められた。ただし、高温炭化の方がその程度は強いことが分かった。

4. 流出pH試験

木質材料からできた木炭は水に対して安全であるのだろうか。そこで、その問題を検討するために、木質材料に含まれる木質部や接着剤等分解物の水に対する影響を調べる1指標として、pHの測定を行った。

(1)試料

試料には、振とう器のメッシュサイズ355 μ mより小さな粒度（微粉に分類される試料）のスギと木質材料の低温炭化物と高温炭化物を用いた。

(2)実験

高温炭化物の試料を12g取り、蒸留水300gにスターラーで攪拌しながら溶かした。10分経過後、pHの値が安定したところでpH値を測定した。

低温炭化物は、pH測定後さらにその溶液を吸引ろ過し、溶質である炭化物を取り出し、再び蒸留水に溶かし、10分攪拌後pH測定という操作を繰り返した。ここでは、ろ紙上に残留する炭化物および水は誤差の範囲であった。

(3)結果

表-1より高温炭化物は、低温炭化物に比べアルカリ性が強いことが認められた。

表-2、図-9より低温炭化物は繰り返し測定を行うことで、アルカリ成分が水に溶けだし、液性は中性に傾くことが認められた。

ユリヤ樹脂接着剤およびフェノール樹脂接着剤等それぞれの影響は、pH測定値では確認できなかった。

5. 吸着試験

本実験は、河川等の浄化材として木炭を用いた場合を想定して行った。

本試験は、新潟大学三城昭義氏の「木質残廃材の炭化と炭化物の機能性」で用いられた方法に準じて行った。

(1)試料

5種類の粒度別で低温炭化物のスギ炭を用いた。

(2)実験

溶液として、JIS K1474ではメチレンブルー原液を使用することを規定しているが、本実験では50倍に希釈した溶液を原液と呼んで使用した。

内径56mm高さ30cmのアクリルチューブに粒度別の試料を詰め、これにメチレンブルー原液を1000ml流し込み、ろ過されて出てきた溶液を、再びチューブに流した。この操作を所定回数行って、ろ液を分光光度計により（波長665nm）で測定した。

(3)結果

図-10より、吸着機構における粒度の違いが認められた。ここでも粒度の小さい方が吸着性能が大きいことが認められたが、この理由として初期の吸着能の違いが考えられる。

5. まとめ

木質材料の木炭は、粒度および炭化温度によって、吸湿性能および透水時の性能に差異が認められた。

また木質材料の木炭の適正利用は、廃棄物処理及び環境保全の極めて重要な立場をしめると考えられる。

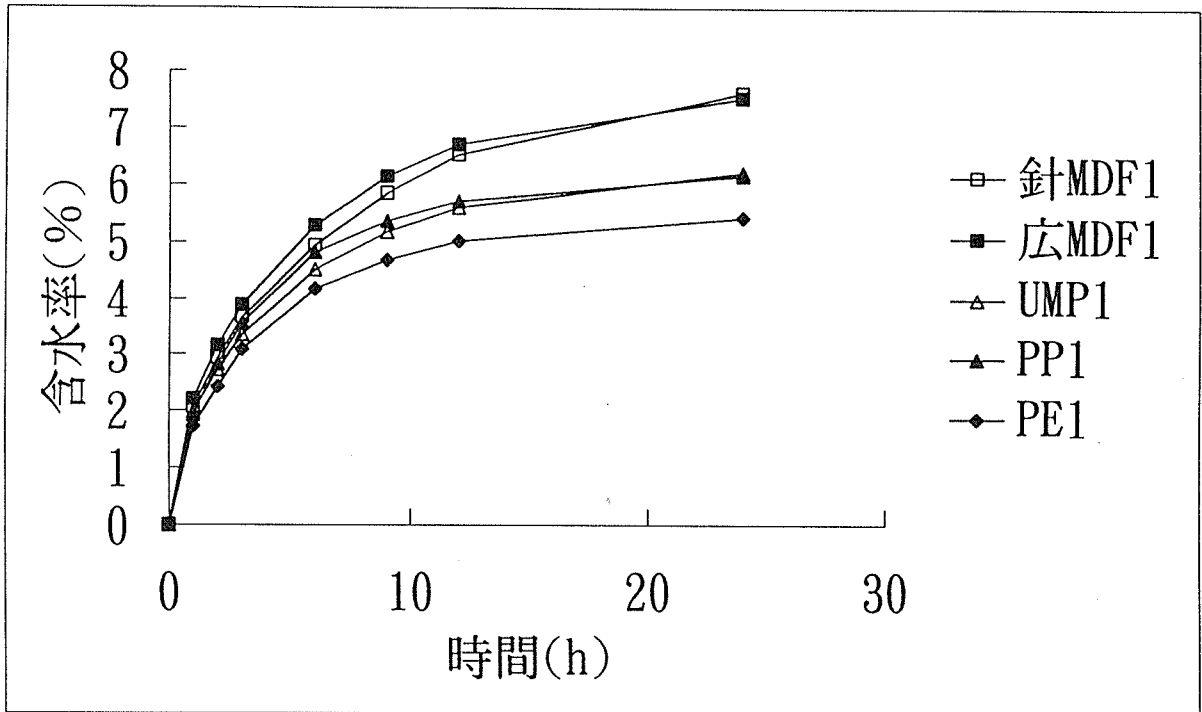


図-1 低温炭化物の樹種別含水率変化

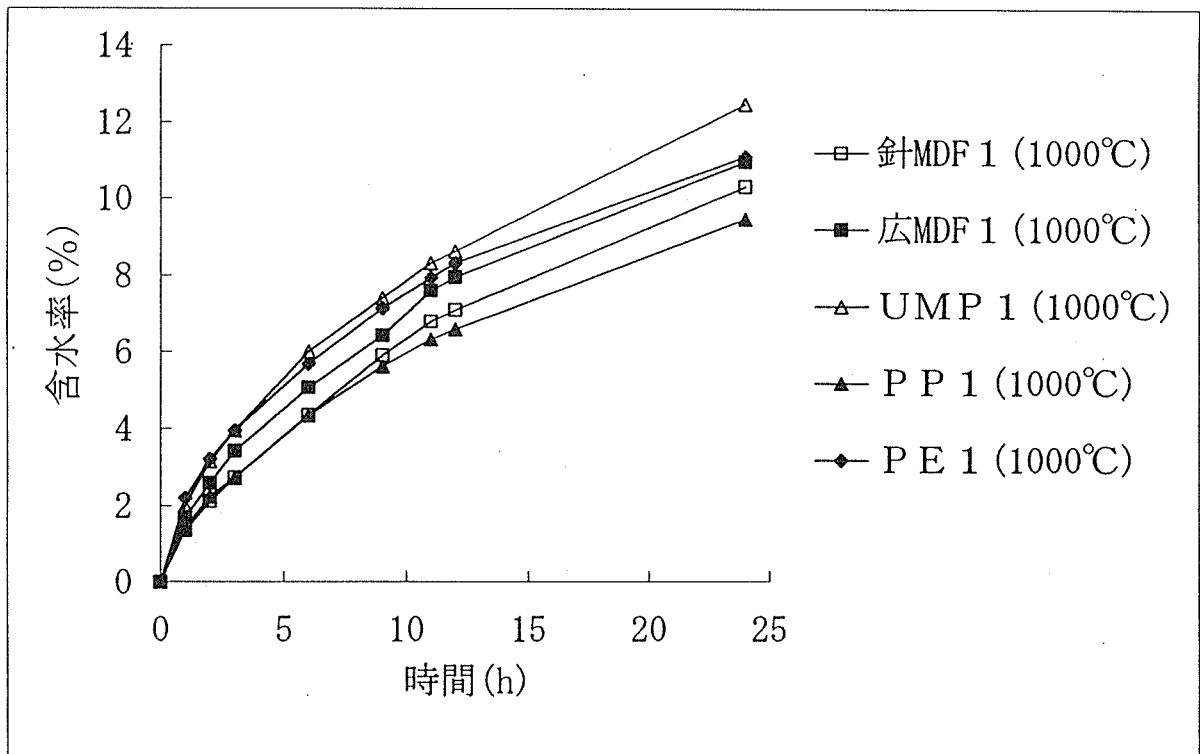


図-2 高温炭化物の樹種別含水率変化

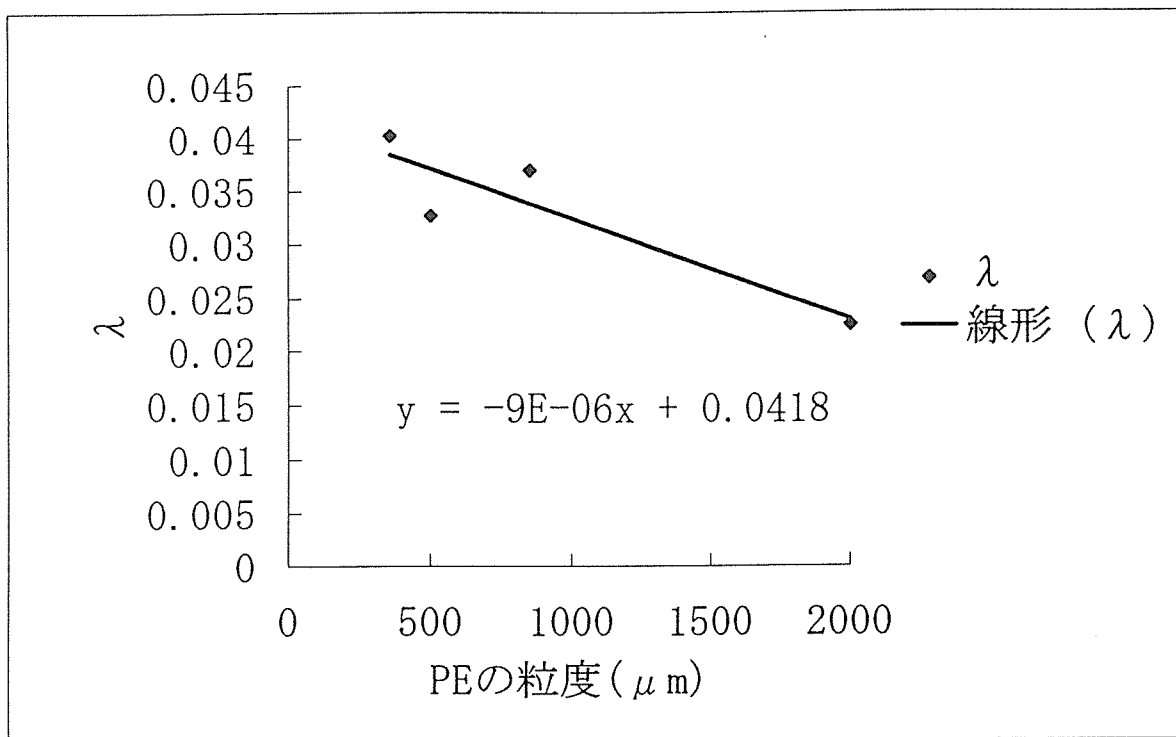


図-5 PEにおける吸着速度の係数と粒度の関係

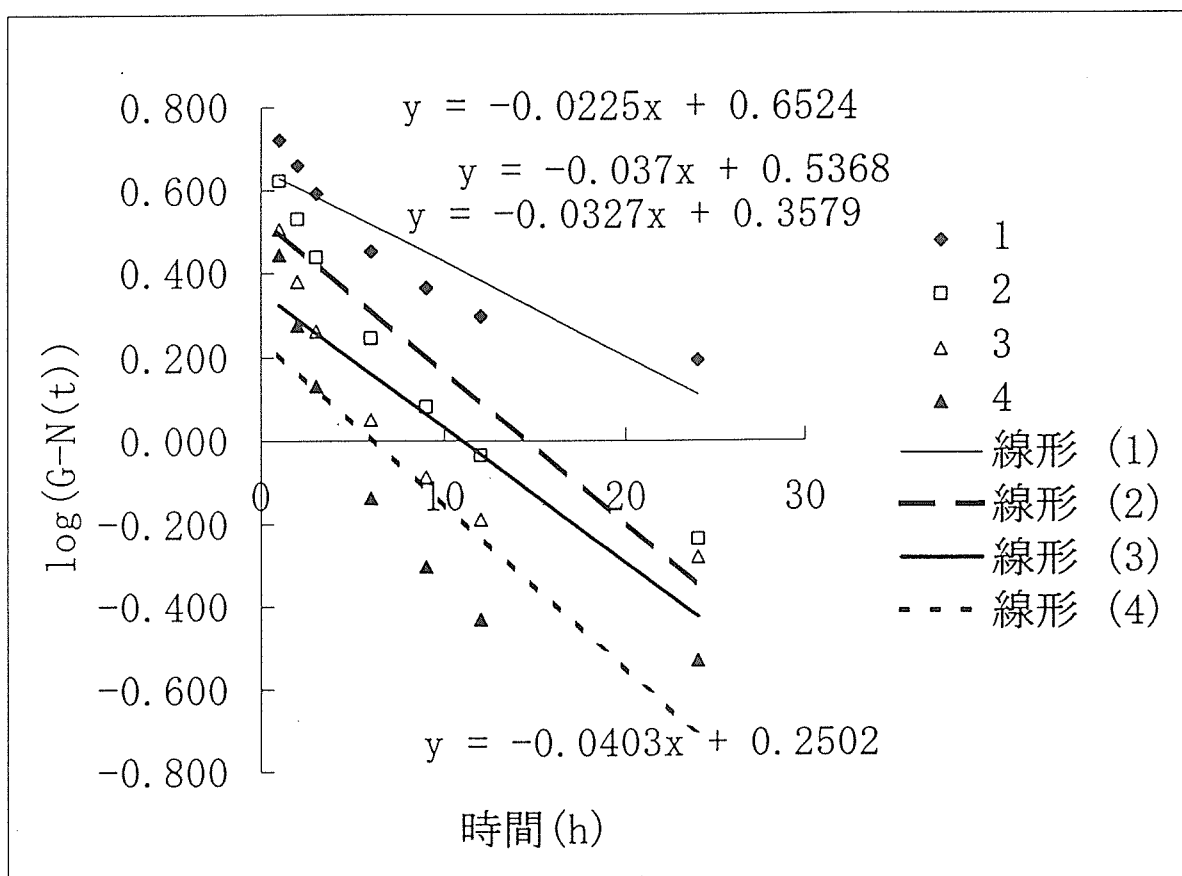


図-6 PEにおける時間と $\log(G-N(t))$

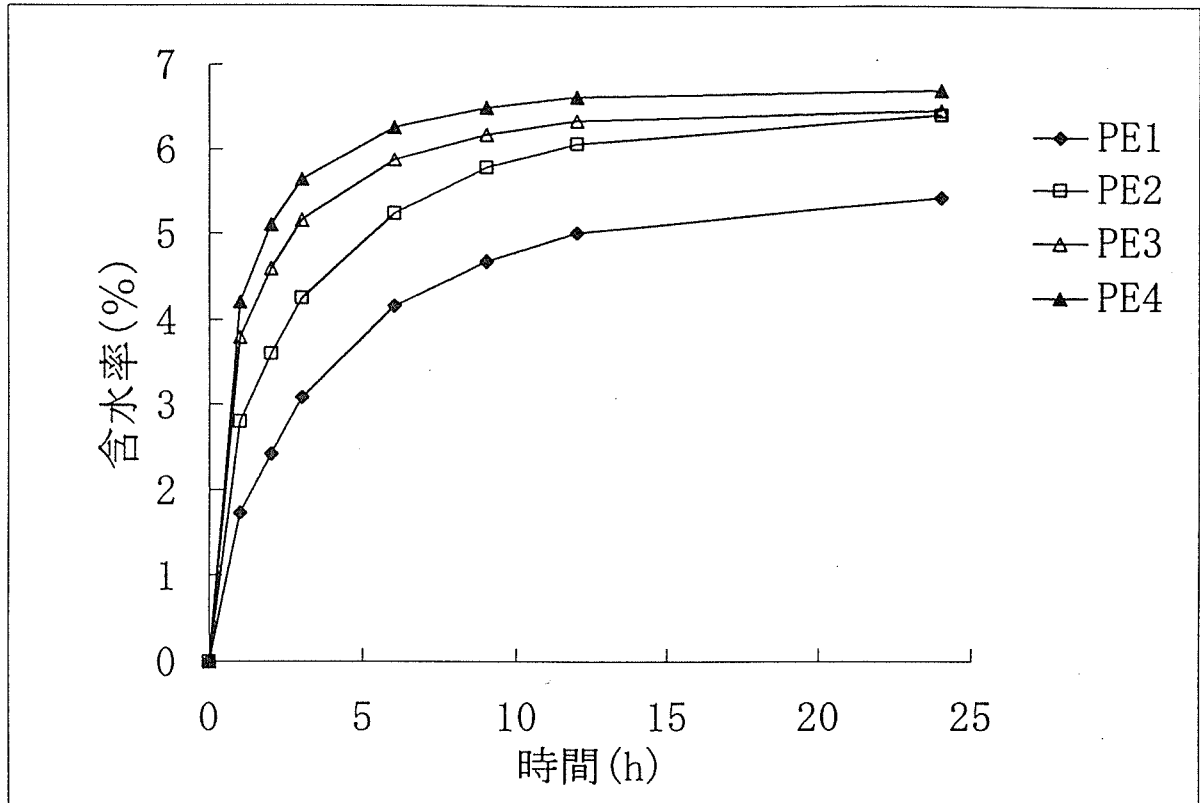


図-3 PE (低温炭化物) の含水率変化

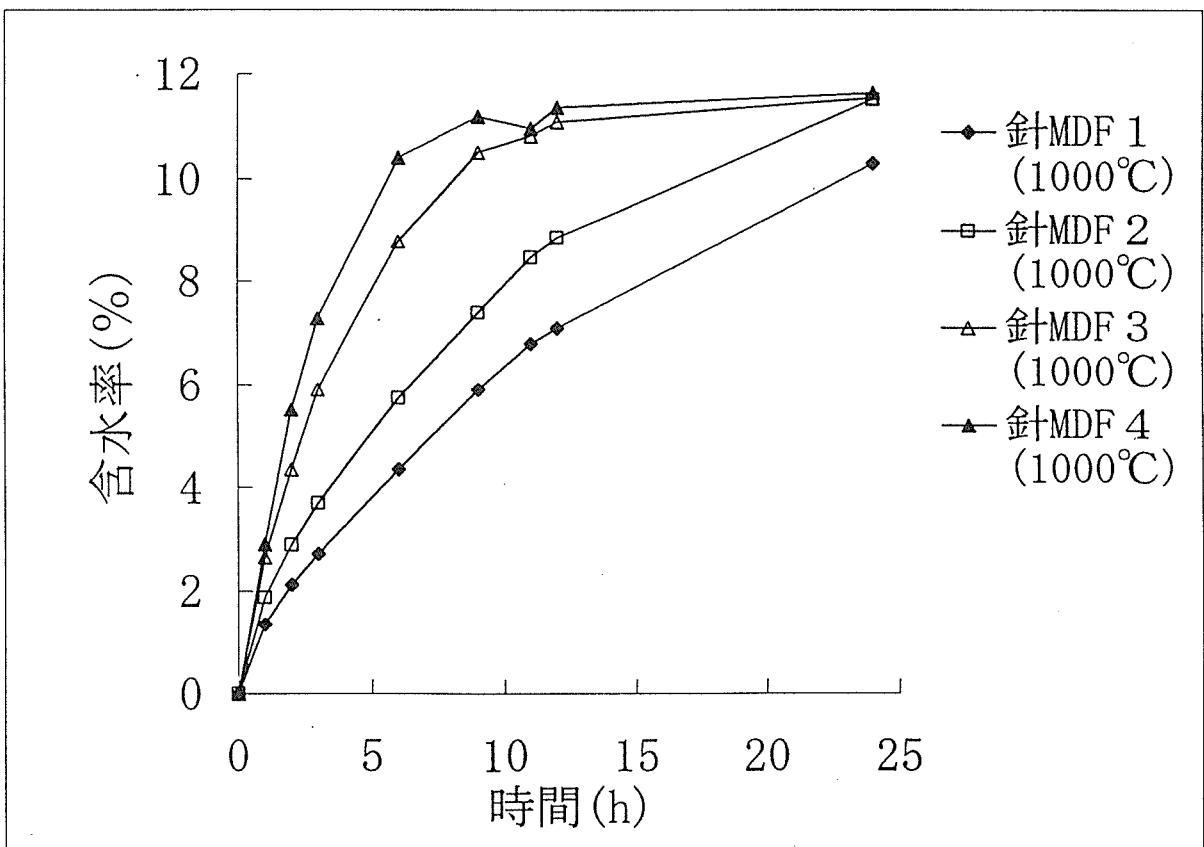


図-4 針葉樹MDF (高温炭化物) の含水率変化

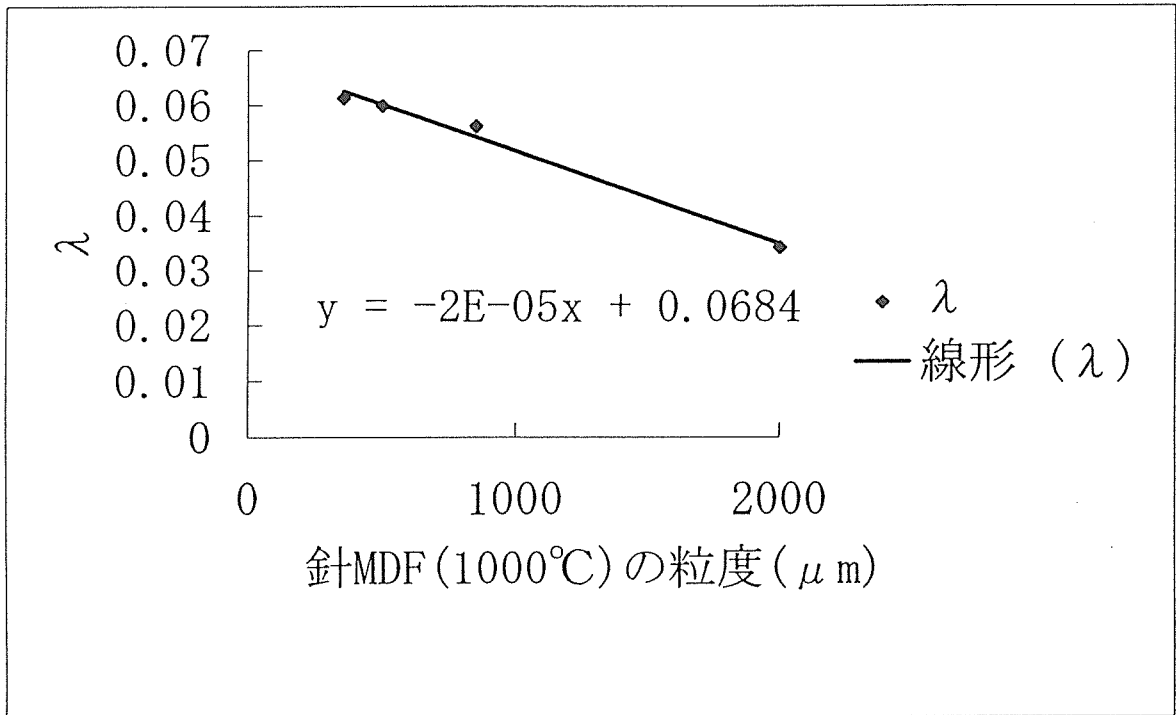


図-8 針葉樹MDFにおける吸着速度の係数と粒度の関係

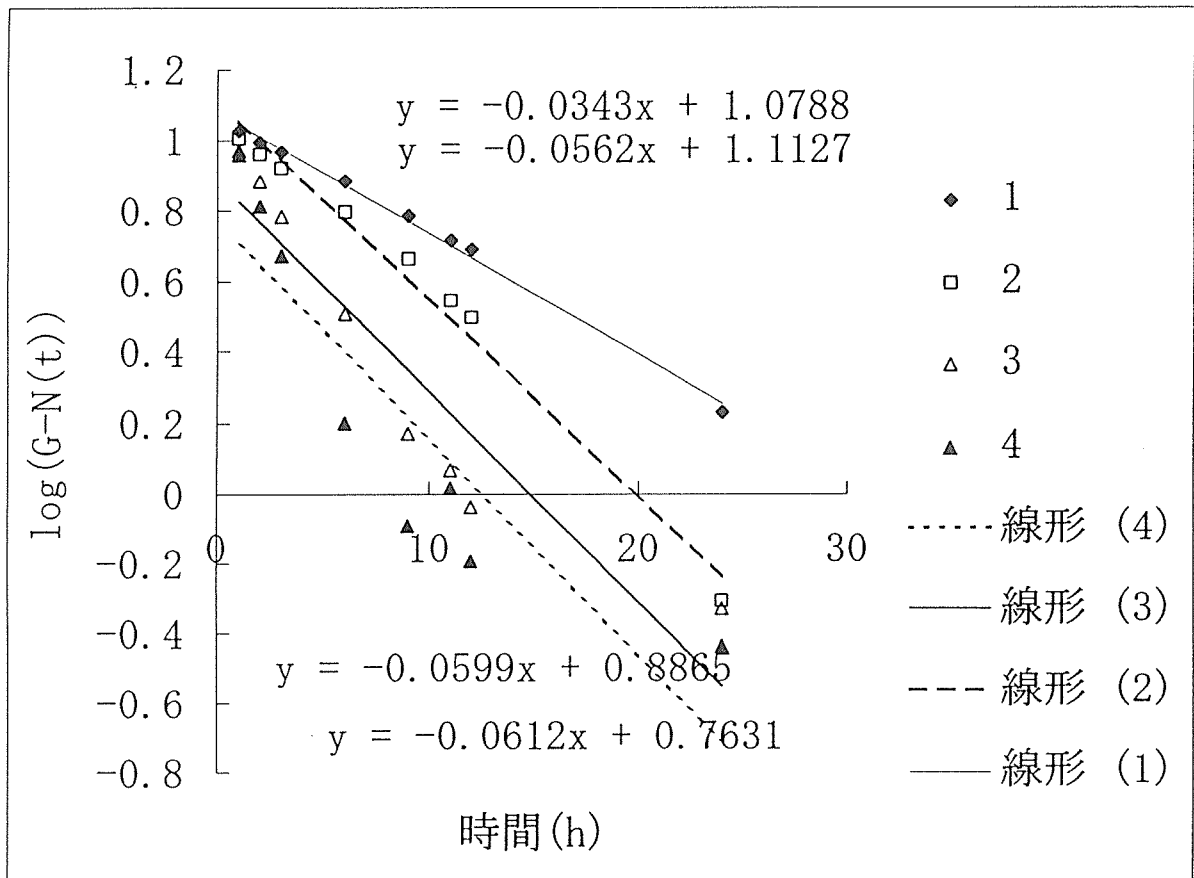


図-7 針葉樹MDFにおける時間と $\log(G-N(t))$

表-2 低温炭化物のpH値変化

繰り返し回数(回)	1	2	3	4
針MDF	8.32	6.73	6.15	5.88
広MDF	10.03	8.6	8.11	7.76
UMP	9.18	7.33	7.03	6.93
PP	8.72	8.44	7.67	7.29
PE	9.9	8.27	7.33	8.13
スギ(素材)	9.72	8.58	7.61	7.1

表-1 高温炭化物のpH値

	pH値
針MDF (1000°C)	9
広MDF (1000°C)	10.81
UMP (1000°C)	10.51
PP (1000°C)	10.33
PE (1000°C)	10.68

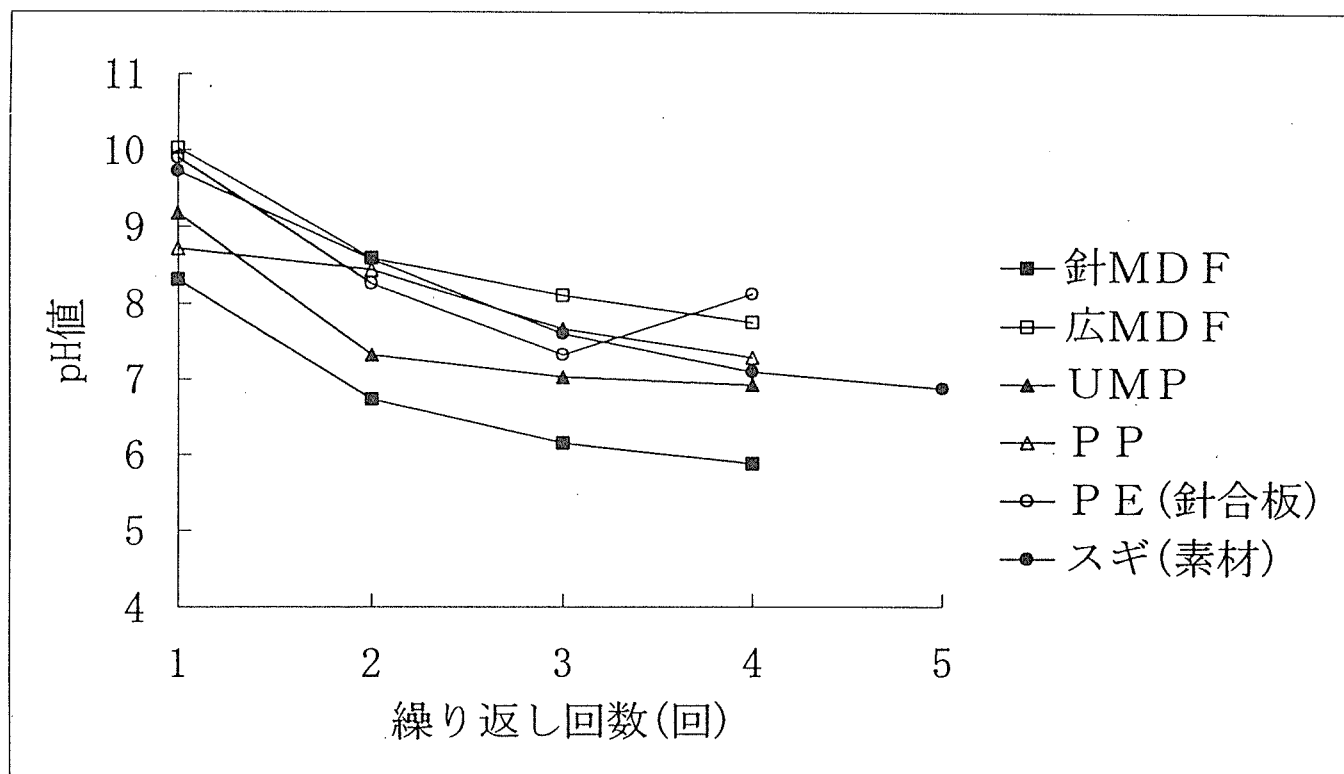


図-9 低温炭化物のpH変化

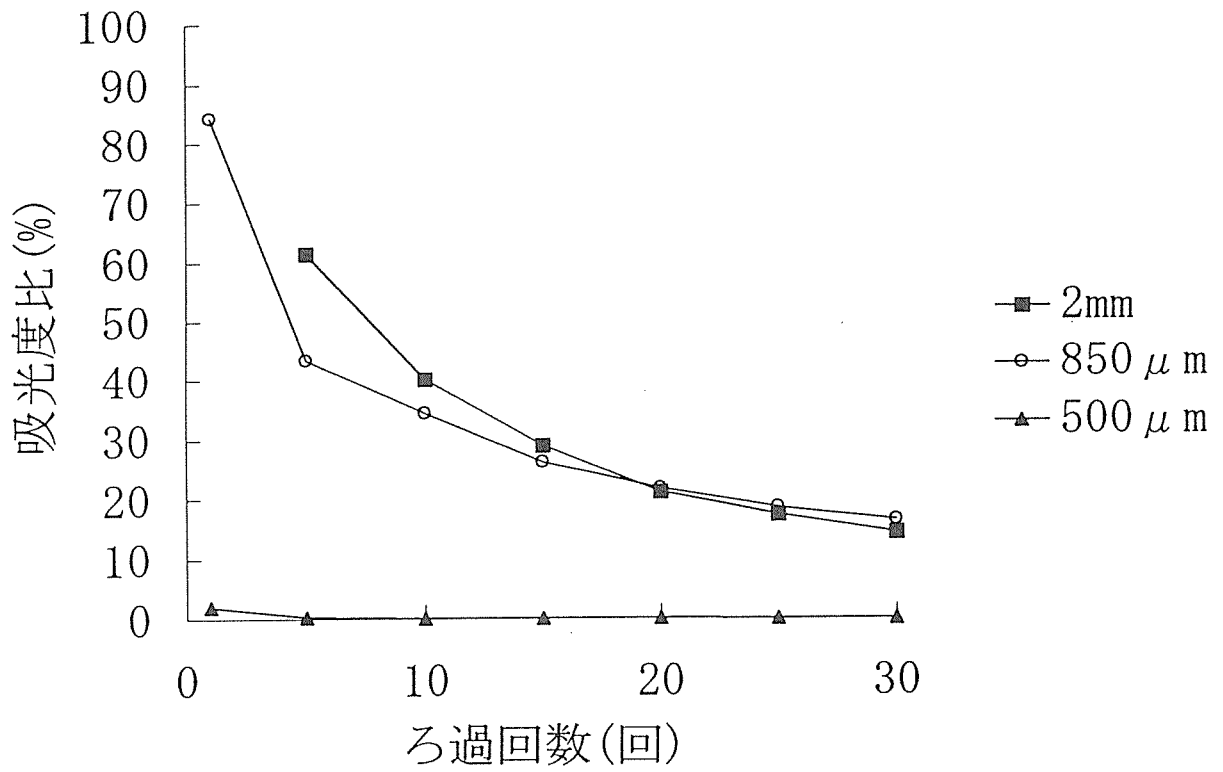


図-10 メチレンブルーによる吸光度比

第7章 炭化技術と炭化物の機能利用開発

1 はじめに

木材産業活動のなかでは、樹皮、のこくず、端材、背板、腐朽材、汚染材などが廃材として排出される。これらの廃材は、最近まで一部が燃料として利用されるほかは、ゴミとして捨てられていた。しかし資源の再利用の立場から、のこくず、樹皮、間伐材、住宅解体材を炭化し、その農業への利用を検討した。平成5年度に実施した木炭粉の吸着機能に続いて、土壌改良材としての機能について述べる。

2 炭化物の物性

2.1 実用炉による炭化

農業用木炭粉を表 7-1に示す。のこくず炭製造の概略は、あらかじめ 6mm目のふるいで粗大部分を除去したのこくずをスクリー炉（耐火煉瓦製）により、炭化温度約 700℃、10～15分の炭化によった。のこくずの処理量は、日産50～55m³、炭化筒は、内径約45cm、長さ 3 m（有効長さ）× 5段である。この木炭粉は、農業用および建築資材として出荷されているものである。この研究では、物性試験のほか、水田除草剤および施設圃場の亜酸化窒素ガス吸着試験に供試した。

表 7-1 農業用施用供試木炭粉の種類と試験内容

木炭粉類の種類	吸着試験		塩類吸着能試験	施用効果確認試験
	水田 除草剤	亜酸化 窒素ガス	トマト ハウレンソウ	ハウレンソウ
B4 平炉炭 のこくず炭	○		○	
B1 ブロック炉 間伐材炭	○	○	○	○

2.2 実用炉製木炭粉の物性

公定試験法を準用して木炭粉（スクリー炉のこくず炭）を分析した。公定試験では、土壌改良基準、木質系成形燃料規格および JIS M 8812 石炭類およびコークス類の工業分析法を用いた。容積重、水分、灰分、揮発分、固定炭素および pH の測定方法は、前年度報告のとおりである。なお比表面積（内部表面積）は、島津製マイクロメリティックス・フローソーブ II 2300 型によった。本機も吸着法によって試料の比表面積を求める装置で、吸着量の測定は熱伝導度（TCD）を用いた 1点法である。スクリー炉のこくず炭（以下スクリー炉炭と略記する）の物性を表 7-2に流動層炉、平炉およびブロック炉炭と対比して示した。スクリー炉炭の水分は、27.4%で、平炉のこくず炭とほぼ同じ値を示して高い。これは取り扱い上から、水分調整を行なってあるためである。容積重については、高水分であるにもかかわらず、最も小さく、ブロック炉間伐材炭（B2）とほぼ同じ値であ

表 7-2 農業用供試木炭粉の物性

No.		F 3	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
		スクリュウ炉	ブロック炉	ブロック炉		平	炉	流動層炉
項目		のこず炭	間伐材炭	樹皮炭	樹皮炭	のこず炭	のこず炭	のこず炭
水分	(%)	27.4	16.9	8.3	18.2	27.1	30.7	4.8
容積重	(g/ml)	0.156	0.184	0.158	0.243	0.192	0.170	0.216
粒度(60メッシュ以下)	(%)	7.3	22.9	22.9	26.8	15.3	1.3	25.2
平均粒度	(mm)	1.16	0.78	1.25	0.70	0.51	1.33	0.47
工業分析値(乾物)								
揮発分	(%)	20.7	14.2	17.6	15.4	21.7	21.7	29.0
灰分	(%)	2.9	3.0	8.3	24.2	9.6	10.3	2.6
固定炭素	(%)	76.4	82.8	80.1	60.4	68.7	68.4	68.4
孔隙性								
比表面積	(m ² /g)	26.71	156.99	216.32	30.22	30.83	125.61	1.48
全細孔容積	(×10 ⁻³ cm ³ /g)	—	89.14	133.04	26.34	24.75	78.03	6.92
平均細孔半径	()	—	11.35	12.30	17.42	16.05	12.42	93.35
pH		8.55	8.02	7.86	8.57	8.54	8.86	4.57
熱水可溶分	(%)	—	0.36	0.86	1.21	1.41	0.89	2.86
精練度		7.8	6.6	8.5	5.7	6.3	—	9

った。粒度については60メッシュ以下が 7.3%で、平炉のこくず炭 (B5) に次いで少なく 7種中では粗い方であった。揮発分については20.7%であり、平炉のこくず炭とほぼ同じでブロック炉炭より高かった。灰分は、 2.9%で流動層炉炭、ブロック炉炭(B1)とほぼ同じ値で少なく、平炉樹皮炭の 24.2 %に比べると少なかった。固定炭素については揮発分とは逆の傾向を示し、ブロック炉炭に次いでスクリュウ炉炭が多かった。比表面積についてはスクリュウ炉炭 (26.71m²/g) は、 1点法のため厳密な比較はできないが、流動層炉炭より大きい傾向があり、平炉炭 (B3, B4) とほぼ同じ値で、ブロック炉炭 (157~216m²/g) よりも小さいかった。pHについては 8.55 とほぼ平炉炭と同じ値を示した。精練度については、流動層炉炭のように大きな値 (大きな値ほど精練度は低い) ではなくほぼ平均的な値であった。以上の結果からスクリュウ炉炭の炭化度は、揮発分、固定炭素、比表面積からみると、流動層炉炭より高くブロック炉炭よりも低い、平炉炭に近いものであった。

3 木炭粉の吸着性

3. 1 バッチ法による水田除草剤ベンチオカーブの吸着

各濃度のベンチオカーブ水溶液20ml (液温度18℃) に各種木炭粉 2 gを加えて150 str./min で1時間振盪し、振盪液中に残ったベンチオカーブ量を高速液体クロマトグラフィーで測定した。これと供試液含有量との差を吸着量とし、供試液含有量に対する吸着量の比を吸着率とした。なお、高速液体クロマトグラフィーの分析条件は、以下のとおりである。

カラム：ODS-Cu (4.6mm× 150mm) , 移動相：アセトニトリル-水 (80:20),
 流速：1.0 ml/min , 検出波長： 224 nm, カラム温度：37℃, 注入量：30~70μl

表7-3 バッチ法によるベンチオカーブの吸着（吸着率％）

炭化炉	原料	供試ベンチオカーブ液濃度				
		1ppm	10ppm	100ppm	250ppm	500ppm
平炉 ブロック炉	のこくず 間伐材	94.5	98.6	89.4	91.7	95.6
		93.5	97.6	93.2	92.3	94.6
活性炭	粉末	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
原料のこくず	林産試	95.0	92.7	92.9	90.7	-

表7-4 水浸せき処理の影響（吸着率％）

		無処理	水浸せき
のこくず	林産試	90.7	90.9
スクリー炉炭		91.0	90.6

バッチ法による木炭粉と原料のこくずに各濃度のベンチオカーブを吸着させた結果を表7-3に示した。各木炭粉は、ベンチオカーブ 100 ppm溶液に対して90%以上の吸着率を示し、500 ppmでも吸着率は、低下しなかった。一方原料のこくずでもベンチオカーブ 100 ppm溶液に対して90%以上の率を示し、一部木炭より高い吸着率を示した。この結果が資材の吸水力による差によるものでないことを確認するため、予め資材に吸水させてから吸着試験を行なったが、原料のこくずの吸着率が高いのは、表7-4に示すように、吸水し膨張する際に一時的に起こる現象ではないことが分かった。このように原料のこくずの高い吸着能は、一般に云われている比表面積などの孔隙性では説明できない。したがって、ベンチオカーブは、原料のこくずと接触した際、吸着作用以外に分解作用を受けている可能性があるかと推察された。

3. 2 連続流下法によるベンチオカーブの吸着

内径 1.5cmのガラス製クロマト管に、20 ppmベンチオカーブ溶液30mlと木炭粉2 gをなじませながら詰めて木炭粉カラムを作成した。このカラムに20 ppmベンチオカーブ溶液を150 ml 流下して経時的に流出液をサンプリングし、上記の方法で吸着率を求めた。結果は表7-5に示すように流下時間の差によって吸着率が大きく異なった。即ち粒度の粗いものを詰めたカラムほど通水する孔隙が大きく、流下速度が速いため、吸着率が低下したと推定した。実際に水田の排水口などにろ材として設置する場合、資材そのものから汚染物質が溶出する場合は考えられるが、クロマトグラムの結果から流動層炉のこくず炭粉及び原料のこくずは、水により溶出する成分を多く含むので、この点を考慮する必要がある。

表7-5 連続流下法によるベンチオカーブの吸着

炭化炉	原料	30~60 流下間		120~150 流下間	
		吸着率%	経過秒数	吸着率%	経過秒数
平炉 角型ブロック炉	のこくず 間伐材	97.7	3947	93.8	2044
		99.1	1732	84.8	1038
原料のこくず	林産試	68.5	17	76.7	18

注1)ベンチオカーブ20ppm
注2)カラマツ材使用

表7-6 亜酸化窒素ガス発生量

窒素施用量 (kg)	資材・施用量	N ₂ Oガス (μg/nf・hr)
10	無施用	196
10	木炭粉1t/10a	240

注) 測定期間は 8/16~10/12

3. 2 亜酸化窒素の土壤中での吸着

近年農地から発生する温室効果ガスとして亜酸化窒素が取り上げられ、現在全国的にその発生実態の調査が行なわれている。そこでビニールハウス内の 1m² 枠の土壤に窒素肥料 10kg とブロック炉木炭粉を施用し、土壤から発生する亜酸化窒素を経時的に測定して木炭粉による吸着効果を検討した。しかし表 7-6 に示すように木炭粉の施用により、亜酸化窒素の発生量は、20% 程度増加し、吸着効果は認められなかった。これはアルカリ性である木炭粉を施用したため、木炭粉付近で窒素の無機化が盛んになったためと推定される。

4 施設栽培におけるハウレンソウおよびトマトの生育に対する木炭粉の施用効果

4. 1 供試木炭

供試木炭粉の炭化条件および物理的性質を表 7-7、化学的性質を表 7-8 に示す。

表 7-7 供試木炭粉の炭化条件及び物理的性質

木炭粉の種類	原料	炭化炉	容積重 (g/100ml)	最大容積重 (ml/100g)	pF1.5 における保水量 (ml/100g)
平炉炭	カラマツのこくず	平炉	21.6	266	196
ブロック炉炭	カラマツ間伐材	ブロック炉	22.5	261	242

表 7-8 供試木炭粉の化学的性質

木炭粉の種類	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	交換性塩基 (mg/100g)			
						CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
平炉炭	8.4	0.16	80.4	0.37	10.6	383	28	324	15
ブロック炉炭	8.0	0.09	89.3	0.27	18.2	119	19	226	50

4. 2 木炭粉の用量試験

4. 2. 1 場内試験 I

供試土壤：中粗粒質褐色土壤

試験規模：1 m²/区 2 反復 (ハウス栽培)

試験処理：平成 4 年度に木炭粉の用量試験を実施した圃場で、肥料のみを施し、試験を継続した。なお前年度の試験処理は、表 7-9 に示すとおりであった。

表 7-9 供試木炭粉および施用量

土壤条件	供試木炭粉および施用量 (t/10a)					
	平炉炭		ブロック炉炭			無施用
	2	5	2	5	10	
対照土壤	○	○	○	○	○	○
塩類集積土壤	○	○	○	○	○	○

塩類集積土壤は、供試土壤に炭酸カルシウム 100kg/10a、硝酸アンモニウム 50/10a を深さ 20cm まで混合した土壤で、木炭粉を深さ 10cm まで全層に施用した。

供試作物および施肥量：表 7-10 に示す。

表7-10 年度別供試作物、耕種概要および施肥量

供試作物 品種名	1年目		2年目		
	トマト ハウス桃太郎	ハウレンソウ ソロモン	トマト ハウス桃太郎	ハウレンソウ トニック	ハウレンソウ ソロモン
播種、定植	5/1	9/28	4/28	8/19	10/20
収穫	7/1~8/24	11/26	7/7~9/20	9/20	12/7
施肥量(kg/10a)					
N	35	10	40	0	0
P ₂ O ₅	20	10	20	0	0
K ₂ O	40	12	40	0	0

施肥形態, 施肥位置 N: 硝安、P₂O₅: 過石、K₂O: 硫加、それぞれ全層施肥(10cm)

なお、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、ハウレンソウにはFTE (Fritted Trace Element, 溶性微量元素複合肥料; マンガン19%, ホウ素 9%) を 4kg/10a 施用した区を各々の木炭処理区に併設した。

4. 2. 2 場内試験II

供試品種: トニック

供試土壌: 中粗粒質褐色低地土

試験規模: 2.4 m², 3反復 (ハウス栽培)

供試木炭粉および施用量: ブロック炉炭 0.1, 0.2 t/10a, 無施用。木炭粉は、施肥混合後、約 5cmの深さに作条施用し、軽く土と混合後播種した。

施肥量 (kg/10a), 施肥形態: N 10 (硝安), P₂O₅ 10 (過石), K₂O 12 (硫加力) 全層施肥 (10cm)

4. 2. 3 現地試験

供試圃場: 七重町内の農家ハウス 3ヵ所

土壌条件: A 圃場 黒ボク土

B 圃場 褐色低地土

C 圃場 黒ボク土

試験規模: 6 m² 2反復

供試木炭粉および施用量: ブロック炉炭 0.1, 0.25, 0.5, 1.0 t/10a, 無施用

施肥量: 農家の慣行法による

4. 2. 4 土壌塩類 (N) 吸着試験

栽培前の土壌中 (場内試験 I) の無機態 N含量と施肥 N量および栽培後の作物 N吸収量と跡地土壌の無機態 N含量から、木炭による土壌集積塩類 (N) の吸着能を検討した。

4. 2. 5 ホウレンソウの生育に対する木炭粉施用の影響評価

平成 4年度の場内試験の結果、ハウレンソウの収量は、木炭粉施用により増加した。木炭無施用区では、新葉の黄化が認められ、木炭粉施用区では、無施用区に比較してホウ素含量が高かった (表 7-11)。

表7-11 木炭粉施用によるハウレンソウの収量および無機成分の変動
(場内試験)

木炭粉 施用量 (t/10a)	収量 (kg/10a)	(%) 水分	無機成分含有率 (%)											(kg/10a) B吸収量	
			N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe	Ni	B		
-	0	912	87.9	4.20	0.66	0.35	0.64	356	136	6.4	100	599	0.08	2.80	0.31
ブロック炉炭	2	1113	88.4	4.03	0.65	0.37	0.68	311	150	6.4	113	482	0.11	3.99	0.52
ブロック炉炭	5	1176	88.3	3.53	0.75	0.32	0.77	245	170	6.4	81	429	0.11	10.28	1.41
ブロック炉炭	10	1131	87.8	3.70	0.91	0.41	0.99	235	243	6.4	108	291	0.12	17.55	2.42

また、木炭粉無施用区の栽培跡地土壌の熱水可溶性ホウ素含量は、0.2 ppm と低く、熱水可溶性ホウ素含量は、木炭粉の施用により高まった(表7-12)。一般にハウレンソウは、ホウ素要求量の比較的高い作物と云われ、このことから、木炭粉施用によるハウレンソウの収量増加の原因として、ホウ素含量が約16 ppm(ブロック炉)である木炭粉の施用により(表7-13)、土壌のホウ素含量が高まり、結果としてハウレンソウのホウ素含量が高まって増収したと考えられた。

表7-12 ハウレンソウ栽培跡地土壌の化学性(場内試験)

木炭粉 施用量 (t/10a)	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	NO ₃ -N (mg/100g)	交換性塩基(mg/100g)			交換性	熱水	
				K ₂ O	MgO	CaO	Mn (ppm)	可溶B (ppm)	
-	0	5.14	0.18	7.05	34.5	28.4	233.8	8.1	0.20
ブロック炉炭	2	5.28	0.20	6.91	37.8	25.4	277.9	5.8	0.21
ブロック炉炭	5	5.21	0.20	5.90	40.7	26.9	253.0	6.5	0.27
ブロック炉炭	10	5.25	0.20	4.46	45.5	27.3	287.5	5.5	0.34

表7-13 木炭粉のB含量

木炭粉種類	ブロック炉炭
ホウ素含量(ppm)	16.07
0.5N塩酸可溶性ホウ素含量	

そこで、木炭粉に含有されるホウ素のハウレンソウに対する肥料的効果を、ホウ素含量が異なる土壌で検討するため、FTE 施肥量を変えて熱水可溶性ホウ素含量の差を付けた条件を設け、ハウレンソウの生育に対する木炭粉施用の効果を検討した。この結果、熱水可溶性ホウ素含量が低い FTE 施肥条件では、ハウレンソウの収量に対する木炭粉施用の効果は小さかった(表7-14, 7-15, 図7-1)。なお、土壌の熱水可溶性ホウ素とハウレンソウの収量との関係を検討した結果、0.5 ppm までは土壌の熱水可溶性ホウ素含量の増加とともにハウレンソウの収量は増加したが、0.5 ppm 以上では熱水可溶性ホウ素とハウレンソウの収量の間には、判然としなかった(図7-1)。

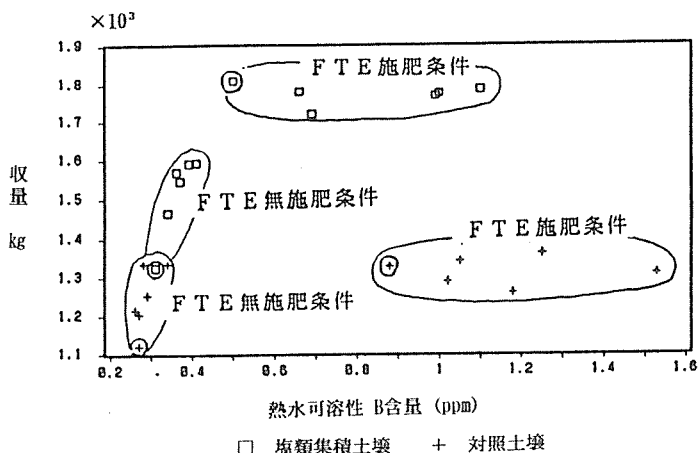


図7-1 栽培跡地土壌熱水可溶性 B 含量 (ppm) とハウレンソウの収量 (kg/10a) の関係

表7-14 FTE施肥量を異にする土壌におけるハウレンソウに
対する木炭粉施用効果 (場内試験 I 10/20播種)

処理	土壌 条件	木炭粉 施用量 (t/10a)	草丈 収量 (cm) (kg/10a)	乾物重 (kg/10a)	乾物当たり含量								
					(%)					(ppm)			
					N	P	K	Ca	Mg	B			
FTE 無 施肥 条件	塩類	—	0	20.6	1326	134.6	2.30	0.58	6.69	0.74	0.75	12.3	
	集積	ブロック炉炭	2	20.9	1466	147.3	2.37	0.60	6.78	0.66	0.75	12.8	
	土壌	ブロック炉炭	5	21.4	1590	156.6	2.29	0.62	6.32	0.74	0.76	15.6	
		ブロック炉炭	10	21.8	1593	158.3	2.46	0.60	6.13	0.73	0.76	25.6	
	平	炉炭	2	21.5	1546	164.6	2.33	0.51	6.65	0.73	0.78	12.3	
		炉炭	5	21.4	1570	148.4	2.41	0.53	7.66	0.87	0.86	14.3	
	対照	土壌	—	0	16.1	1120	119.1	2.13	0.66	6.03	0.65	0.70	12.3
		ブロック炉炭	2	19.7	1215	125.7	2.24	0.59	6.92	0.64	0.75	12.3	
		ブロック炉炭	5	20.9	1255	125.9	2.24	0.59	5.97	0.71	0.80	17.1	
		ブロック炉炭	10	20.3	1335	135.4	2.33	0.62	7.12	0.54	0.74	22.1	
平		炉炭	2	18.6	1203	124.7	2.33	0.58	7.20	0.67	0.76	12.6	
平		炉炭	5	19.3	1335	136.6	2.33	0.58	7.22	0.63	0.77	14.6	
FTE 施 肥 条件	塩類	—	0	21.8	1720	172.0	2.39	0.56	6.25	0.70	0.75	14.1	
	集積	ブロック炉炭	2	22.6	1768	177.0	2.47	0.59	6.34	0.77	0.82	14.9	
	土壌	ブロック炉炭	5	22.6	1775	177.3	2.47	0.57	6.86	0.80	0.81	17.6	
		ブロック炉炭	10	22.6	1785	182.8	2.52	0.55	6.70	0.73	0.81	19.6	
	平	炉炭	2	22.6	1780	179.6	2.52	0.56	7.72	0.61	0.73	14.8	
		炉炭	5	22.7	1809	184.3	2.52	0.56	7.32	0.63	0.77	16.5	
	対照	土壌	—	0	19.8	1261	134.9	2.33	0.58	5.42	0.73	0.75	15.9
		ブロック炉炭	2	20.2	1362	137.2	2.36	0.60	6.11	0.73	0.81	17.6	
		ブロック炉炭	5	20.0	1308	131.7	2.35	0.63	6.30	0.67	0.78	18.4	
		ブロック炉炭	10	20.5	1343	131.3	2.30	0.65	6.72	0.52	0.71	21.5	
平		炉炭	2	19.8	1289	131.9	2.33	0.62	6.37	0.65	0.74	15.9	
平		炉炭	5	21.0	1329	129.6	2.44	0.60	6.45	0.68	0.80	16.2	

表7-15 ハウレンソウ栽培跡地の土壌化学性 (場内試験 I 10/20播種)

処理	土壌 条件	木炭粉 施用量(t/10a)	pH	EC (mS/cm)	NO ₃ -N (mg/100g)	交換性塩基(mg/100g)			熱水可溶 性B(ppm)		
						CaO	MgO	K ₂ O			
FTE 無 施肥 条件	塩類	—	0	5.45	0.20	8.01	258.5	36.4	33.1	0.31	
	集積	ブロック炉炭	2	5.69	0.15	8.29	269.3	40.3	34.7	0.34	
	土壌	ブロック炉炭	5	5.71	0.23	8.42	290.2	31.6	32.7	0.39	
		ブロック炉炭	10	6.09	0.23	8.97	302.4	32.0	33.2	0.41	
	平	炉炭	2	5.90	0.17	5.19	262.1	31.3	24.1	0.37	
		炉炭	5	5.99	0.17	5.55	239.8	38.2	27.3	0.36	
	対照	土壌	—	0	6.03	0.12	1.46	285.6	38.9	44.4	0.27
		ブロック炉炭	2	6.23	0.12	0.43	297.4	39.0	43.6	0.26	
		ブロック炉炭	5	5.93	0.15	0.99	280.0	32.4	36.7	0.29	
		ブロック炉炭	10	6.05	0.19	1.21	280.7	30.7	37.4	0.34	
平		炉炭	2	6.10	0.20	0.93	302.2	38.2	39.9	0.27	
平		炉炭	5	6.14	0.21	1.67	293.6	43.4	45.8	0.28	
FTE 施 肥 条件	塩類	—	0	5.73	0.12	1.22	138.1	19.1	24.6	0.69	
	集積	ブロック炉炭	2	5.76	0.16	1.48	143.6	20.5	21.8	0.99	
	土壌	ブロック炉炭	5	5.99	0.15	1.06	148.7	20.8	24.8	1.00	
		ブロック炉炭	10	6.07	0.13	0.63	149.1	21.3	23.4	1.10	
	平	炉炭	2	6.08	0.13	0.81	155.2	21.7	26.8	0.66	
		炉炭	5	5.81	0.18	1.20	163.4	21.8	25.2	0.50	
	対照	土壌	—	0	5.54	0.29	15.25	166.2	20.5	20.2	1.18
		ブロック炉炭	2	5.65	0.34	14.48	172.3	25.1	22.5	1.25	
		ブロック炉炭	5	5.86	0.34	14.94	180.9	22.9	20.9	1.53	
		ブロック炉炭	10	5.82	0.36	15.56	176.2	22.0	19.1	1.55	
平		炉炭	2	5.75	0.32	15.44	173.6	21.6	28.7	1.02	
平		炉炭	5	5.66	0.32	11.29	167.6	21.0	25.1	0.88	

表7-16 ホウレンソウに対する木炭粉施用の影響（現地試験）

農家	木炭粉施用量(t/10a)	収量(g/m)	10株重(g)	草丈(cm)	株数(本/m)	養分含有率(%) (乾物当たり)						水分(%)
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	B	
A	0.0	1618	197	22.4	15.0	5.66	0.76	9.05	1.21	0.95	31.4	6.47
	0.25	1456	185	20.3	14.0	5.58	0.73	9.67	0.95	0.93	29.5	6.53
	0.5	1667	210	21.0	14.3	5.66	0.68	10.56	1.03	0.97	28.0	6.77
	1.0	1667	214	21.8	14.7	5.77	0.69	10.08	0.96	1.01	27.5	6.57
B 1作目	0.0	1793	335	30.3	11.0	4.15	0.63	6.97	0.74	0.76	32.1	7.27
	0.25	1795	278	27.3	7.9	4.48	0.57	6.85	0.95	0.61	30.7	8.13
	0.5	1652	339	28.0	8.1	4.99	0.61	6.41	1.03	0.64	31.1	7.84
	1.0	1729	344	27.1	9.0	4.31	0.58	6.71	0.63	0.74	32.1	7.92
B 2作目	0.0	1233	137	25.5	15.3	5.19	1.73	6.78	1.75	1.33	30.6	7.28
	0.1	1286	144	24.9	16.5	5.16	1.58	6.39	1.83	1.44	31.0	7.36
	0.25	1245	97	25.9	15.7	5.27	1.69	6.60	1.85	1.40	30.3	7.35
	0.5	1240	138	24.4	16.7	4.99	1.53	6.45	1.74	1.37	29.9	7.73
B 3作目	0.0	1861	-	34.0	-	5.16	1.47	10.39	1.14	1.12	-	6.29
	0.1	1900	-	33.6	-	5.24	1.55	7.88	1.26	1.16	-	6.36
	0.25	1978	-	34.9	-	5.35	1.57	10.99	1.31	1.24	-	6.37
	0.5	2024	-	32.7	-	5.19	1.57	10.60	1.18	1.25	-	6.57
B 4作目	0.0	1980	-	30.2	-	4.99	1.70	10.94	1.09	0.92	-	8.03
	0.1	2017	-	30.8	-	5.10	1.78	11.89	1.23	1.04	-	7.88
	0.25	2083	-	31.9	-	4.99	1.88	12.80	1.14	0.96	-	7.65
	0.5	2171	-	32.5	-	5.10	1.84	12.47	1.09	0.92	-	7.74
C 1作目	0.0	1241	138	24.2	12.3	4.63	1.36	10.79	1.13	1.71	22.1	-
	0.25	1505	151	26.0	16.1	4.88	1.39	11.52	1.06	1.74	25.3	-
	0.5	1470	163	28.4	15.0	5.02	1.36	9.98	1.12	1.86	25.0	-
	1.0	1558	159	26.7	15.3	5.05	1.34	11.56	1.13	1.81	25.7	-
C 2作目	0.0	2783	-	24.8	-	4.43	1.61	10.11	1.58	1.33	23.3	10.10
	0.25	2782	-	24.9	-	4.49	1.69	9.36	1.52	1.28	22.6	10.34
	0.5	3018	-	25.1	-	4.57	1.67	9.61	1.61	1.36	27.3	10.81
	1.0	3113	-	25.8	-	4.46	1.62	9.36	1.53	1.30	25.3	10.31

・収穫日 A圃場5/26、B圃場 1作目 6/30、2作目 8/4、3作目 収穫9/20 4作目 収穫11/16
 C圃場 1作目 収穫6/28、2作目 収穫11/ 8
 ・一はデータ欠損を示す。

表7-17 ホウレンソウ栽培跡地土壌の化学性（現地試験）

農家	木炭粉施用量(t/10a)	pH	EC	NO ₃ -N	(mg/100g)				(ppm) 熱水B
					トウモロコシ	P ₂ O ₅	Ex-CaO	Ex-K ₂ O	
A	0.0	5.89	1.81	68.7	50.8	1015	19.8	67.3	1.96
	0.25	5.84	1.87	75.6	47.4	1030	28.9	63.4	2.06
	0.5	5.97	1.46	57.2	47.7	994	36.7	67.4	1.93
	1.0	6.03	1.23	45.5	45.3	888	35.4	62.4	1.82
B 1作目	0.0	6.89	0.49	14.7	210.8	632	47.2	36.6	2.25
	0.25	6.79	0.34	14.6	219.6	594	37.3	40.6	1.79
	0.5	6.55	0.52	18.9	212.6	633	47.2	35.7	2.12
	1.0	6.71	0.58	23.5	205.5	577	47.9	40.6	2.10
B 2作目	0.0	5.86	0.53	26.9	185.6	315	21.0	20.4	1.96
	0.1	5.68	0.50	25.4	171.2	376	23.5	25.8	2.06
	0.25	5.89	0.49	25.1	193.4	312	26.2	21.1	1.93
	0.5	5.89	0.55	28.2	175.8	282	19.1	18.9	1.82
B 3作目	0.0	6.75	0.25	24.2	214.5	302	46.5	26.3	1.91
	0.1	6.28	0.50	25.5	214.5	339	52.4	32.5	1.93
	0.25	6.40	0.51	25.7	217.2	343	67.1	32.3	2.15
	0.5	6.19	0.60	28.0	203.9	286	40.0	25.7	2.39
B 4作目	0.0	6.34	0.16	4.0	105.4	736	105.6	38.5	1.22
	0.1	6.15	0.44	9.4	104.3	758	109.1	48.3	1.63
	0.25	6.30	0.28	5.2	102.4	763	124.4	50.3	1.84
	0.5	6.34	0.25	4.4	101.7	755	92.9	47.3	2.15
C 1作目	0.0	6.10	1.32	15.8	135.2	522	38.6	100.5	1.49
	0.25	6.10	1.56	16.1	138.7	469	38.7	107.6	1.38
	0.5	6.16	1.52	15.7	128.1	533	44.8	104.3	1.45
	1.0	6.17	1.23	18.8	144.0	500	51.3	116.0	1.48
C 2作目	0.0	6.59	0.63	2.7	59.8	597	45.2	120.4	1.20
	0.25	6.38	0.97	2.6	68.2	620	43.6	125.6	1.28
	0.5	6.42	0.90	4.0	70.6	593	47.8	113.6	1.35
	1.0	6.42	0.98	2.9	73.1	611	64.7	126.0	1.46

以上の結果を総合すると、ハウレンソウの収量に対する木炭粉施用効果の要因のひとつとして、土壌へのハウ素の供給が考えられ、熱水可溶性ハウ素が 0.5 ppm以下の土壌ではハウレンソウの収量に対する木炭施用効果が期待される。

ところで、現地試験に於いては、C 圃場でのみ木炭粉施用によりハウレンソウの収量の増加が認められた。C 圃場では、A および B圃場と比較して土壌熱水可溶性ハウ素含量が低く、ハウレンソウのハウ素含量も低かったが、C 圃場の土壌熱水可溶性ハウ素は、1 ppm以上と高く、ハウレンソウのハウ素含量も約20 ppm（乾物当り）と一般のハウレンソウの茎葉部ハウ素含量 10 ppm（乾物当り）に比較して高く、木炭粉施用による増収要因として、土壌へのハウ素の供給効果は考えられなかった。そこでC 圃場における増収要因をハウ素以外の面から検討した結果、木炭粉施用による株数の確保が認められた（表 7-16, 7-17）。

木炭粉施用による株数の確保とハウレンソウの増収は、木炭粉の用量試験でも認められた。場内試験Ⅱの場合、ハウレンソウに立ち枯れ症状が発生したが、木炭粉 0.2 t作条施用条件では立ち枯れ症状の影響が少なく、結果として、収穫期における株数が木炭無施用条件に比較して多かった（表 7-18）。一般にハウレンソウは、連作すると地温が高まる夏場には、立ち枯れ症状が発生し易くなると云われる。C圃場における木炭粉施用区における株数が木炭粉無施用区に比較して株数が多かった原因は、明らかではないが、当圃場ではハウレンソウが連作されており、立ち枯れ症状の発生が予測された。このため、木炭施用により収穫期におけるハウレンソウの株数が確保された要因を、土壌微生物の面から今後検討の必要があった。

なお、ハウレンソウの栽培では、一般に灌水は、施肥直前一回のみで、播種後の灌水は行なわれないこと、木炭粉施用により易有効水が増加することから、木炭粉施用により株数が確保された要因として、土壌の易有効水分（pF 1.5～2.3）の増加による発芽数の確保も考えられた。

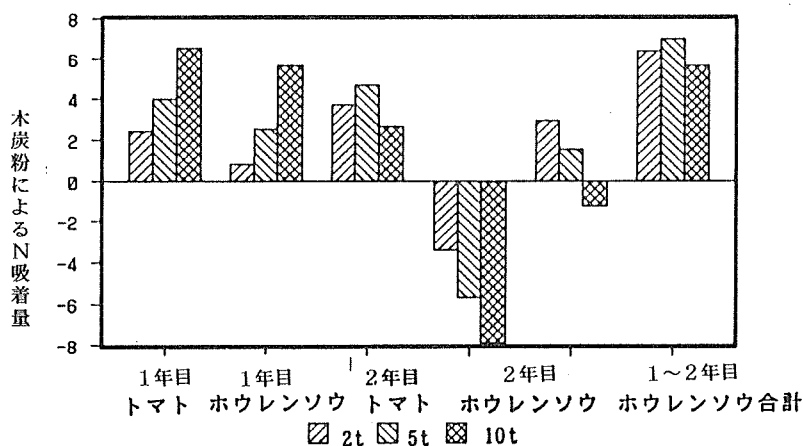


図7-2 木炭粉によるN吸着量の経時的変化（場内試験Ⅰ）

表7-18 ホウレンソウの収量結果(場内試験II)

木炭粉施用量 (t/10a)	収量 (kg/10a)	株数 (本/m)	土壌化学性 EC(mS/cm)
—	0.0	1135	10.1
ブロック炉炭 0.1	1263	9.4	0.24
ブロック炉炭 0.2	1346	23.0	0.29

注) 株数は間引き前の値。

4. 2. 6 土壌集積 (N)吸着試験

1年目に実施した試験の結果から、木炭粉 1 t施用により約 1kgの土壌無機態 Nが吸着されると考えられた。この試験跡地でトマトとホウレンソウを栽培し、試験 2年目における施用木炭粉による土壌塩類吸着能と、木炭に吸着されたと考えられる Nの作物による吸収利用について検討した。

表 7-19 に木炭施用土壌における作物による N吸収量と栽培跡地土壌の無機態 N量の平成 4年度から 5年度における推移をまとめた。また作土深さを20cmとして、栽培前の作土層中の硝酸態 N量と施肥 N量の和から作物に吸収された N量と栽培跡地の作土層中の硝酸態 N量を差し引いた値を培期間中に不可給化された N量と仮定して表 7-19 に併記した。

表で見るとおり、同一圃場で 2年間作物を継続して栽培した結果、作物による N総吸収量は、木炭粉施用条件で木炭粉無施用条件に比較して少なかった。平成 4年度は木炭粉施用量の増加に伴い栽培期間中に不可給化された N量が増加した。しかし平成 5年度では、木炭粉施用量が多いほど不可給化された N量は、少ない傾向が認められた(図 7-2)。トマトの収量調査結果を表 7-20, 7-21に、ホウレンソウの生育に及ぼす木炭粉施用の影響とホウレンソウ栽培跡地土壌の化学性を表 7-22, 7-23, 7-24, 7-25 に示す。

以上のことから、木炭粉を施用した当年に木炭に吸着された施肥 Nも含む土壌中の無機態 Nが、木炭施用した次年度に、一部が作物に吸収されたと考えられた。なお、木炭粉施用区と木炭粉無施用区の不可給化された N量の差を、木炭粉により吸着された N量と仮定すると、平成 4年度にトマト、ホウレンソウを栽培した期間中に木炭粉に吸着されたと考えられる N量はブロック炉炭 2 t, 5 t, 10 t施用区で、それぞれ10a 当り 3.2kg, 6.5kg, 12.2kgで、ブロック炉炭 1 t 当り約 1kgと考えられた。

なお、木炭に Nが吸着される機構は、今回の試験では確認できなかったが、ブロック炉木炭粉の CFCは、約18me/100 g 程度であったこと、活性炭に硝酸は吸着されないことから、主としてアンモニウムイオンの形で吸着されると考えられたが、化学的、物理的 N吸着以外に、木炭粉施用による土壌中の微生物の増加とこれら微生物による Nの吸収等、生物的吸着の面からの検討が必要と考えられた。

表7-19 木炭粉施用土壌における作物によるN吸収と跡地土壌無機態N量および栽培期間中に不可給化されたN量の推移 (場内試験 I 対照土壌)

木炭粉施用 量(t/10a)	トマト		ホウレン ソウ		トマト		ホウレン ソウ		合計
	トマト	ホウレン ソウ	トマト	ホウレン ソウ	トマト	ホウレン ソウ	トマト	ホウレン ソウ	
施肥 N量(kg/10a)	35	10	40	0	0	0	0	0	85
対照土壌									
作物 N吸収量 (kg/10a)	-	0	34.2	4.6	39.0	6.0	2.5	2.5	86.3
(A)	平 炉 炭 2		29.4	-	42.0	6.9	2.9	2.9	-
	平 炉 炭 5		31.1	-	38.4	6.9	3.2	3.2	-
	ブロック炉炭 2		30.8	5.2	37.1	6.2	2.8	2.8	82.1
	ブロック炉炭 5		29.8	4.9	37.8	5.3	2.8	2.8	80.6
	ブロック炉炭 10		26.7	5.1	40.6	5.7	3.1	3.1	81.2
跡地土壌NO ₃ -N 含量(mg/100g)	-	0	3.0	7.1	10.0	2.6	1.5	1.5	
(B)	平 炉 炭 2		3.9	-	4.6	3.8	0.9	0.9	
	平 炉 炭 5		5.0	-	6.5	3.8	1.7	1.7	
	ブロック炉炭 2		3.5	6.9	8.9	3.1	0.4	0.4	
	ブロック炉炭 5		3.2	5.9	7.2	3.0	1.0	1.0	
	ブロック炉炭 10		3.5	4.5	5.3	2.0	1.2	1.2	
栽培期間中に 不可給化され たN量 (kg/10a)	-	0	-2.8	-2.8	-4.8	8.8	-0.3	-0.3	-1.9
(C)	平 炉 炭 2		0.2	-	-	-5.3	2.9	2.9	-
	平 炉 炭 5		-3.7	-	-	-1.5	1.0	1.0	-
	ブロック炉炭 2		-0.4	-2.0	-1.1	5.4	2.6	2.6	4.5
	ブロック炉炭 5		1.2	-0.3	-0.1	3.1	1.2	1.2	5.1
	ブロック炉炭 10		3.7	2.9	-2.2	0.9	-1.5	-1.5	3.8

注) 試験開始時の土壌NO₃-N: 1.2mg/100g
 $C = (\text{施肥量} + \text{前作} B \times 2) - (A + B \times 2)$ 、数字が大きいことは栽培期間中に不可給化されたN量が多いことを示し、木炭粉無施用区に比較して木炭粉施用区のC値が大きい場合は、施用木炭粉によりNが不可給化されたと考えられた。
 -はデータの欠損を示す。

表7-20 トマトの収量調査結果 (場内試験 I 対照土壌)

処理	木炭粉施用 量(t/10a)	果実収量 (kg/10a)					(kg/10a)		水分(%)							
		1段	2段	3段	4段	5段	合計	茎重	葉重	1段	2段	3段	4段	5段	茎	葉
-	0	1418	1945	4203	1973	3275	12814	2600	1035	93.2	93.7	94.0	93.8	93.1	16.3	15.5
ブロック炉炭	2	1554	1672	4546	1760	2905	12437	2225	945	93.5	94.3	94.4	93.3	92.9	16.6	15.6
ブロック炉炭	5	1339	1867	4315	2763	2995	13279	2630	1040	93.8	94.1	94.4	93.7	93.1	16.6	15.4
ブロック炉炭	10	1436	1916	4802	1950	2490	12594	3150	1175	94.0	94.1	93.3	93.2	92.9	16.4	15.2
平 炉 炭	2	1222	2005	4853	2413	3163	13656	2615	1045	93.8	93.8	93.5	93.4	93.1	16.6	14.9
平 炉 炭	5	1437	2237	4060	1873	3040	12647	2865	1115	93.6	93.6	93.6	93.2	92.8	16.4	15.4

表7-21 トマトの収量調査結果 (場内試験 I 対照土壌)

処理	木炭粉施用 量(t/10a)	N (%)						
		果実					茎	葉
		1段	2段	3段	4段	5段	茎	葉
-	0	2.47	2.18	1.95	1.81	1.76	1.55	2.15
ブロック炉炭	2	2.49	2.28	2.10	1.69	1.75	1.50	2.30
ブロック炉炭	5	2.43	1.98	2.03	1.75	1.94	1.55	2.10
ブロック炉炭	10	2.56	2.13	1.79	1.74	1.97	1.60	2.10
平 炉 炭	2	2.30	2.10	1.85	1.70	1.67	1.50	2.40
平 炉 炭	5	2.17	2.10	1.85	1.62	1.72	1.50	2.20

表7-23 ホウレンソウ栽培跡地土壌の化学性
(場内試験 I 1回目 対照土壌)

土壌木炭粉施用 量(t/10a)	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	NO ₃ -N (mg/100g)	
—	0	5.16	0.24	2.6
ブロック炉炭	2	5.16	0.25	3.1
ブロック炉炭	5	5.18	0.35	3.0
ブロック炉炭	10	5.23	0.20	2.0
平 炉 炭	2	4.93	0.29	3.8
平 炉 炭	5	4.81	0.26	3.8

表7-22 ホウレンソウの生育に及ぼす木炭粉施用の影響
(場内試験 I 1回目 対照土壌)

土壌	木炭粉施用 量(t/10a)	収量 (g/m)	10株重 (g)	草丈 (cm)	養分含有率(%) (乾物当たり) (ppm)						
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	B	
—	0	1391	139.1	23.8	5.33	1.48	12.3	1.66	1.33	15.8	
ブロック炉炭	2	1478	147.8	24.8	5.32	1.78	11.7	1.73	1.22	15.2	
ブロック炉炭	5	1412	153.6	23.7	4.71	1.44	9.5	1.41	1.07	14.3	
ブロック炉炭	10	1474	147.4	23.7	4.79	1.90	12.2	1.43	1.07	23.7	
平 炉 炭	2	1447	144.7	22.9	5.32	1.40	12.1	1.69	1.06	13.4	
平 炉 炭	5	1441	144.1	22.5	5.33	1.44	13.6	1.71	1.20	15.6	

表7-24 ホウレンソウの生育に及ぼす木炭粉施用の影響
(場内試験 I 2回目 対照土壌)

土壌木炭粉施用 量(t/10a)	収量 (g/m)	草丈 (cm)	養分含有率(%) (乾物当たり) (ppm)						
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	B	
—	0	875	16.1	4.26	1.51	7.26	1.24	0.99	12.3
ブロック炉炭	2	1317	19.7	4.48	1.34	8.34	1.24	0.90	12.3
ブロック炉炭	5	1458	20.9	4.48	1.35	7.10	1.32	0.99	17.1
ブロック炉炭	10	1532	19.5	4.66	1.41	8.92	1.23	0.75	22.1
平 炉 炭	2	1126	17.8	4.66	1.33	7.87	1.28	0.93	12.6
平 炉 炭	5	1406	19.3	4.66	1.32	8.69	1.26	0.87	14.6

表7-25 ホウレンソウ栽培跡地土壌の化学性
(場内試験 I 2回目 対照土壌)

土壌木炭粉施用 量(t/10a)	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	NO ₃ -N	(mg/100g)					(ppm) 熱水可溶性B
				トウモロコシ	P ₂ O ₅	Ex-CaO	Ex-K ₂ O	Ex-MgO	
—	0	6.03	0.12	1.46	68.7	285.6	38.9	44.4	0.27
ブロック炉炭	2	6.23	0.12	0.43	67.1	297.4	39.0	43.6	0.26
ブロック炉炭	5	5.93	0.15	0.99	66.2	280.0	32.4	36.7	0.29
ブロック炉炭	10	6.05	0.19	1.21	65.8	280.7	30.7	37.4	0.34
平 炉 炭	2	6.10	0.20	0.93	65.1	302.2	38.2	39.9	0.27
平 炉 炭	5	6.14	0.21	1.67	69.4	293.6	43.4	45.8	0.28

5 まとめ

5.1 木炭粉の理化学性

市販されている数種の炭化物についてその理化学性を検討したところ、以下の結果をえた。

- (1) 流動層のこくず炭以外は、一部にバラツキ(平炉炭)もあるが、比較的炭化は進んでいる。特にブロック炉炭の炭化度は高い。したがって、平炉炭がブロック炉、流

動層炉炭に比べて炭化による物性のバラツキが多くなる可能性があり、また、スクリュウ炉炭も原料供給、炭化温度を一定にしないとバラツキがやすい。

- (2) 灰分は、流動層炉炭が低く、平炉樹皮炭が高い。
- (3) ブロック炉炭の比表面積は大きい。しかしスクリュウ炉炭および流動層炉炭についても炭化温度を高くするか炭化時間を長くすれば、比表面積の向上は可能であろう。
- (4) 流動層のこくず炭は、平均細孔半径および最大容水量が大きく、pF 1.5保水量も比較的多かった。逆に、容積重は小さかった。
- (5) pHは、流動層炉以外すべてアルカリ性であった。
- (6) 各炭化物とも交換性カリ含量が高かった。
- (7) 化学性の値は、平炉樹皮炭が他の炭化物より多い。

5. 2 木炭粉の吸着性

実用炉木炭粉による水田除草剤ベンチオカーブの吸着量は濃度によって差異がみられ、平炉のこくず炭89~99%、ブロック炉炭92~98%、レンガ製ブロック炉炭98~100%であった。また、活性炭では100%の高い吸着力を示した。この結果から、比表面積の大きいものが、高い吸着力を示すことが分かった。農地から発生する温室効果ガスとして、亜酸化窒素ガスの吸着では、木炭粉施用により、亜酸化窒素ガスが20%程度増加し、その効果はみられなかった。これは、アルカリ性の木炭の近傍でNの無機化が促進されたと推定した。

5. 3 木炭粉が塩類(N)集積土壌に及ぼす影響

施設内栽培(ハウス栽培)では、土壌の表層に塩類が集積し、作物生育を阻害することがある。塩類は、連作が増すにしたがって集積するが、しばしば多施肥による高塩類集積土壌が生成され、生育阻害がみられる。このことから、塩類(N)集積土壌での木炭粉施用効果を検討し、以下の結果をえた。

- (1) 木炭粉施用によりトマトの収量は変化しなかったが、地上部乾物重は減少した。一方、ハウレンソウの収量は増加し、現地試験でも増加する例が認められた。
- (2) 上記の原因として、トマトは木炭粉施用により、施肥Nが吸着、不可給化されたことが考えられる。即ち、トマトのN吸着量は、木炭粉施用により減少したが、栽培跡地土壌の NO_3^- -N含量に影響はなかった。これは、作物が吸収できるNが木炭粉施用により減少したことを意味する。木炭粉無施用区と施用区のトマトのN吸収量の差を木炭粉に吸着されたN量とすると、吸着されたN量は、木炭粉1t当たり約1kgと考えられる。
- (3) 木炭粉施用によるハウレンソウの増収要因として、土壌の易有効水が増加した結果出芽と生育を促進したことが考えられる。また立ち枯れ症状の抑制と株数が確保された。これは、施用による保水性の向上のほか、土壌病害関連微生物の影響が考えられる。
- (4) また、土壌の熱水抽出ホウ素含量の増加によるハウレンソウのホウ素吸収量の増加

が考えられる。なお、供試木炭粉（ブロック炉炭）は、1 t当り、16 gのホウ素を含んでおり、熱水抽出ホウ素の低い土壌では、木炭粉施用によりホウレンソウのホウ素含量の増加と収量の増加は顕著であったが、ホウ素含量の高い土壌では、木炭粉の施用効果は、小さかった。

5. 4 施設栽培における木炭粉の施用効果

作物の収量には、前述した木炭粉施用による土壌への理化学性が影響しているが、ホウレンソウおよびトマトに対して以下の実用炉製木炭粉施用の結果をえた。

5. 4. 1 ホウレンソウ（ソロモン、一部トニック）

- (1) ブロック炉木炭粉を 2~5 t/10a (2~5 %に相当) 施用すると草丈は14~27%、収量は22~29%、栄養価（ビタミン C）は14~50%、またホウ素含量も43~ 268%増加した。平炉のこくず炭では 5t/10a を施用すると 7%の増収になった。
- (2) 塩類集積土壌では、ブロック炉木炭粉を 2~ 5t/10a 施用すると、無施用区に比較して収量で57%増収し、対照区より収量が多く、木炭粉の効果が認められた。
- (3) 経済性を考慮して、木炭粉を 0.1~0.2t/10a (0.1~0.2%相当) 施用した区でも、11~19%の増収を得られ、株数も 128%増加した。ECも121~125%増加した。また、ホウ素の少ない農家での現地試験でも、0.25t/10a 施用すると20%増加し、株数も31%増加した。さらに、草丈の成長及び収穫も早まり、したがって農家の収入も増えた。なお 2 作目の収穫についても、調査した結果、0.5t/10a 施用すると、 8%の増収が得られた。

5. 4. 2 トマト（ハウス桃太郎）

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。下記のような減収もみられる。これは、木炭粉施用により、施肥 Nが吸着、不可給化されたことも考えられる。

- (1) 平炉のこくず炭を 2t/10a 施用すると、 6%増収した。しかし5t/10a施用では、 2 %減収した。
- (2) ブロック炉炭では、 5t/10a 施用すると 4%増収した。しかし2t/10aでは 3%減収した。

第8章 木炭を利用した水質浄化法

1. はじめに

昨年、数種の木炭の物性を調べ、特に細孔容積、比表面積等細孔関連の分析を行い、また木炭の種類による水質浄化機能の差を実験室レベルで明らかにした。さらに、木炭の細孔と吸着による水質浄化能との関連性を検討し、木炭の水質浄化能が木炭の比表面積だけでなく全細孔容積、細孔直径、有孔率に大きく依存していることを明らかにした。また、全細孔容積、有孔率、平均細孔直径が大きく、最も水質浄化能の高いアカマツ炭を池の排水溝に設置した。

今年度は排水溝に設置した木炭の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した。

2. 実験方法

2.1 材料

本実験では(有)谷地林業(岩手県山形村)製のアカマツ炭、コナラ炭を用いた。いずれの木炭も黒炭窯により炭化温度 600~800℃で炭化されたものである。コントロールとしては40~80メッシュの海砂(ナカライテスク(株)製 海砂C)を使用した。

2.2 水質浄化試験

2.2.1 木炭の敷設

直径5~10cmのアカマツ炭を10~15cmの長さに切断し、その4kgをタマネギネットに詰め立方体状の木炭入りネットを作成した。このネット5袋(木炭の総重量 20kg)を面積1800m²(2540m³)の貯留池の出水口に、池からの留出水が木炭を通過するように敷き詰めた。

2.2.2 水質試験

木炭あるいは海砂を通過させる前後の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(日本水道協会 1973年)に従い測定した。

アンモニア性窒素はネスラー法、亜硝酸性窒素はGR法、有機リン化合物はモリブデンブルー法、CODは過マンガン酸カリウム法、pHはガラス電極法を用いた。

2.3 木炭の微生物担体としての機能

2.3.1 木炭の敷設

20メッシュに粉碎したコナラ、アカマツ炭を10cm×10cmの網袋(サランネット、網目約0.2×0.2mm)に20gずつ封入し、8時間エチレンオキサイドガスで滅菌した。滅菌ガスを

除去後、一週間放置。その後、畑、貯留池底、養鶏場の地表よりの深さ約10cmの個所に埋設した。

2.3.2 木炭の物性

恒温恒湿室（ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $65 \pm 2\%$ ）に試料を24時間放置後、水分、灰分、揮発分、固定炭素をJIS M8812（1963）に準じ、pHは、JIS K1470（1967）に準じて測定した。

2.3.3 細孔分布の測定

ミクロな細孔（測定範囲 $0.001 - 0.15 \mu\text{m}$ ）の分布および表面積は、 200°C で15時間真空排気処理後、 N_2 ガスを用いるガス吸着法でアサップ 2000（島津—マイクロメリテックス）により測定した。

マクロな細孔（測定範囲 $0.006 - 180 \mu\text{m}$ ）の分布および表面積は、 $50 \mu\text{mHg}$ まで真空排気処理後、水銀圧入法でポアサイザ 9320（島津—マイクロメリテックス）により測定した。

2.3.4 微生物の採取、培養

埋設した木炭を所定の日に取り出し、10gを乳ばちですりつぶし、平板希釈法、最確数法により微生物を分離、培養した。対照として木炭を埋設した地点から約1m離れた地点の地表から10cmの土壌を毎回、5個所から採取し混合して、10gを滅菌水中で3分間超音波粉碎し、平板希釈法、最確数法により微生物を分離、培養した。培地は、アルブミン寒天培地、ローズベンガル寒天培地、無窒素寒天培地、改変 Meiklejkon 培地で、前3者は 25°C 、暗所で7日間、後者は 25°C 、暗所で30日間培養後、コロニー数を数え、土壌あるいは木炭の乾燥重量当たりの菌数、c f u (colony forming unit) として表示した。なお、バクテリア、放線菌はアルブミン寒天培地、非共生的窒素固定菌は無窒素寒天培地、糸状菌はローズベンガル寒天培地、硝化菌は改変 Meiklejkon 培地でのコロニー数を測定した。

3. 結果と考察

3.1 木炭の水質浄化能

表8-1に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を示した。pHは木炭処理前後であまり変化が見られなかった。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。有機リン化合物は50%以上の除去率、CODは90%近い低下率を示し、今回使用した試験水くらいの汚染度では、アカマツ木炭は有機リン化合物の除去、CODの低下に効果があることがわかった。

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、前年度に実施した家庭排水のアカマツ木炭による水質浄化試験では、家庭排水原液の

表 8 - 1 木炭の水質浄化能*

	pH	アンモニア性窒素 (ppm)	除去率 (%)	亜硝酸性窒素 (ppm)	除去率 (%)	有機リン化合物 (ppm)	除去率 (%)	COD (ppm)	低下率 (%)
木炭処理前	6.00	0.140	-	0.00605	-	0.00379	-	4.05	-
木炭処理後	6.04	0.100	28.6	0.00456	24.6	0.00166	56.2	0.472	88.3

*貯留池の出水口に木炭(アカマツ)を敷設, 1ヵ月後に水質浄化能を測定

表 8 - 2 木炭の物性

木炭	水分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	灰分 (%)	発熱量 (cal/g 乾重)	比重 (g/cm ³)	pH
コナラ炭	9.73	9.28	79.51	1.48	7088	0.33	8.6
アカマツ炭	11.38	9.82	77.92	0.88	6959	0.21	8.0

アンモニア性窒素，亜硝酸性窒素，有機リン化合物，CODがそれぞれ，3.44ppm,0.0877ppm, 9.21ppm, 87.8ppm で，家庭排水をアカマツ木炭のカラムで濾過した後の除去率，低下率はそれぞれ順に62.2%，36.4%，49.7%，38.3%である。水の汚染度は家庭排水の方が今回の貯留池の水よりも高い。除去率あるいは低下率でアカマツ木炭の水質浄化能と水の汚染度との関係を見ると，アンモニア性窒素，亜硝酸性窒素の除去率は，貯留池の水より一桁高い汚染度を示す家庭排水の場合の方が高く，この試験に使用した家庭排水よりもさらに汚染度の高い水の浄化にも木炭の効果が期待できる。有機リン化合物では家庭排水より三桁低い汚染度を示す貯留池の水に対する除去率の方が高く，高濃度の有機リン化合物の除去には木炭は適せず，せいぜい1ppm以下の汚染度の場合に木炭の効果を期待できそうである。CODの場合にも同様なことが言える。すなわち，COD87.8ppmの家庭排水ではアカマツ木炭によるCOD低下率は38.3%に過ぎないが，COD4.05ppmの貯留池の水のアカマツ木炭によるCOD低下率は88.3%にも達する。

3.2 木炭の微生物担体としての機能

3.2.1 木炭の物性

表8-2に木炭の物性を示した。固定炭素80%弱，揮発分10%弱のこれらの木炭は燃料としては並のものである。カルシウム，カリウム，ナトリウムなどのアルカリ金属，アルカリ土類を含む灰分は木炭のアルカリ性の原因物質であるが，コナラ炭が1.48%，アカマツ炭が0.88%の灰分を含み，pHもコナラ炭が8.6，アカマツ炭が8.0でコナラ炭の方がアルカリ性が強い。

水分はコナラ，アカマツ炭それぞれ9.73，11.38%であった。

3.2.2 木炭の細孔分析

表8-3にアカマツ炭，コナラ炭の0.01 μm 以上の細孔の分析結果，表8-4に0.01 μm 以下の細孔の分析結果を示した。

マクロな細孔分析（表8-3）ではアカマツ炭がコナラ炭の約2倍の全細孔容積を持ち平均細孔直径では約40倍の大きさであることがわかる。細孔分布測定の結果ではアカマツ炭は0.1-100 μm の間にあり，中でも直径4-30 μm の細孔は全細孔容積の80%を占めていた。コナラ炭の細孔は0.01-150 μm の間に幅広く分布し，直径0.3-2 μm の範囲のものが全細孔容積の50%を占めていた。また，全細孔比表面積はコナラ炭の方がアカマツ炭の約18倍であった。これらの値からアカマツ炭はコナラ炭よりも大きな細孔を多く持っていることがわかる。

ミクロな細孔分析（表8-4）では，アカマツ炭とコナラ炭の間に全細孔容積，全細孔比表面積，平均細孔直径の差はほとんど見られなかった。

表 8 - 3 木炭の細孔分析 (I) *

木 炭	全細孔容積 (cc/g)	全細孔比表面積 (m ² /g)	平均細孔直径 (μm)
アカマツ炭	1.749	1.7	4.1
コナラ炭	0.805	30.0	0.1

*水銀圧入法による0.01μm以上の細孔の分析

表 8 - 4 木炭の細孔分析 (II) *

木 炭	全細孔容積 (cc/g)	全細孔比表面積 (m ² /g)	B J H脱着 平均細孔直径(μm)	B J H吸着 平均細孔直径(μm)
アカマツ炭	0.188	343	0.00170	0.00166
カラマツ炭	0.195	368	0.00173	0.00161

*窒素ガス吸着法による0.01μm以下の細孔の分析

3. 2. 3 微生物の種類と微生物数

畑に木炭を埋設した場合、木炭に付着する微生物数の最も多い時期は木炭埋設後60日目であった（時期 6月）。この時の微生物数を示したのが図8-1である。

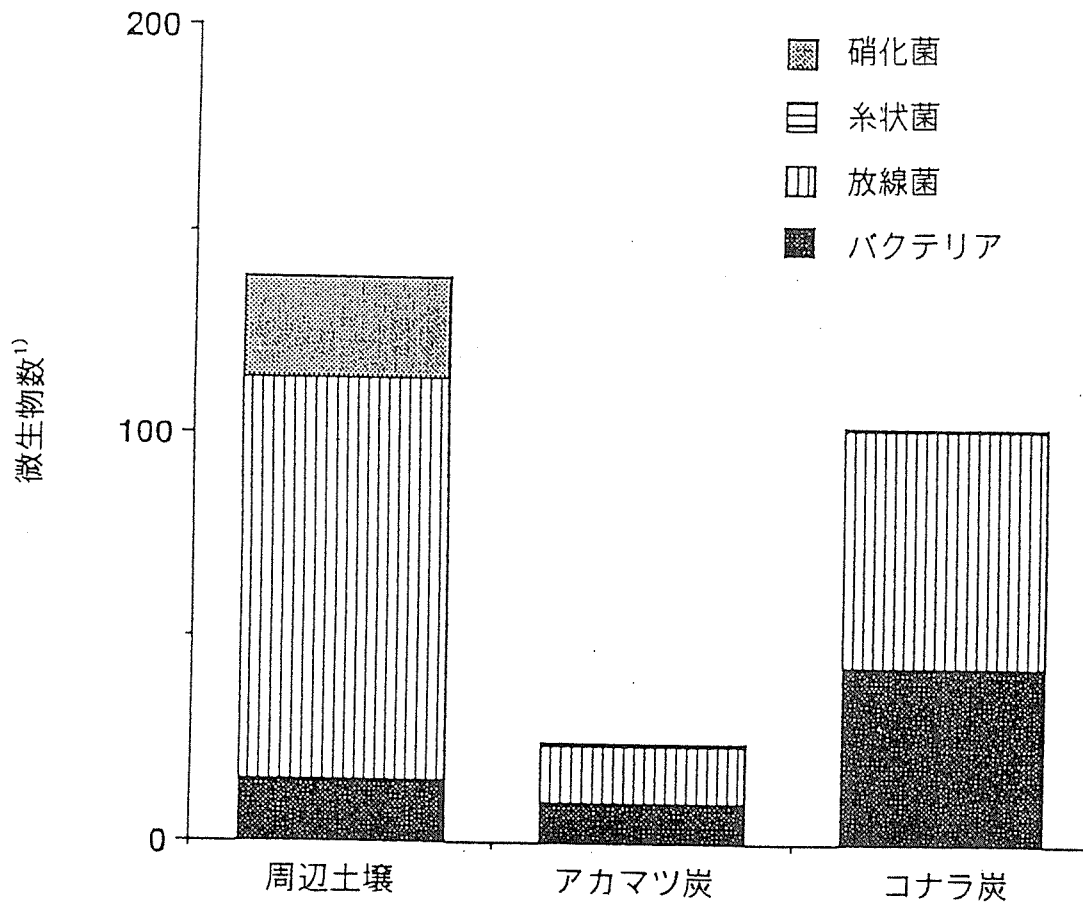


図8-1 畑の土壌とそこに埋設した木炭の埋設60日後の微生物数

¹) 乾土又は木炭1g当りの菌数又はコロニー数

周辺土壌中では 放射線>硝化菌>非共生的窒素固定菌を含むバクテリア>糸状菌 の順に微生物数は多く、微生物数の合計では 周辺土壌>コナラ炭>アカマツ炭 の順であった。バクテリアの菌数では コナラ炭>周辺土壌>アカマツ炭 の順で、コナラ炭が土壌中のバクテリアを集積する力が大きいことが明らかとなった。この結果は全期間を通して見られた(図8-2)。

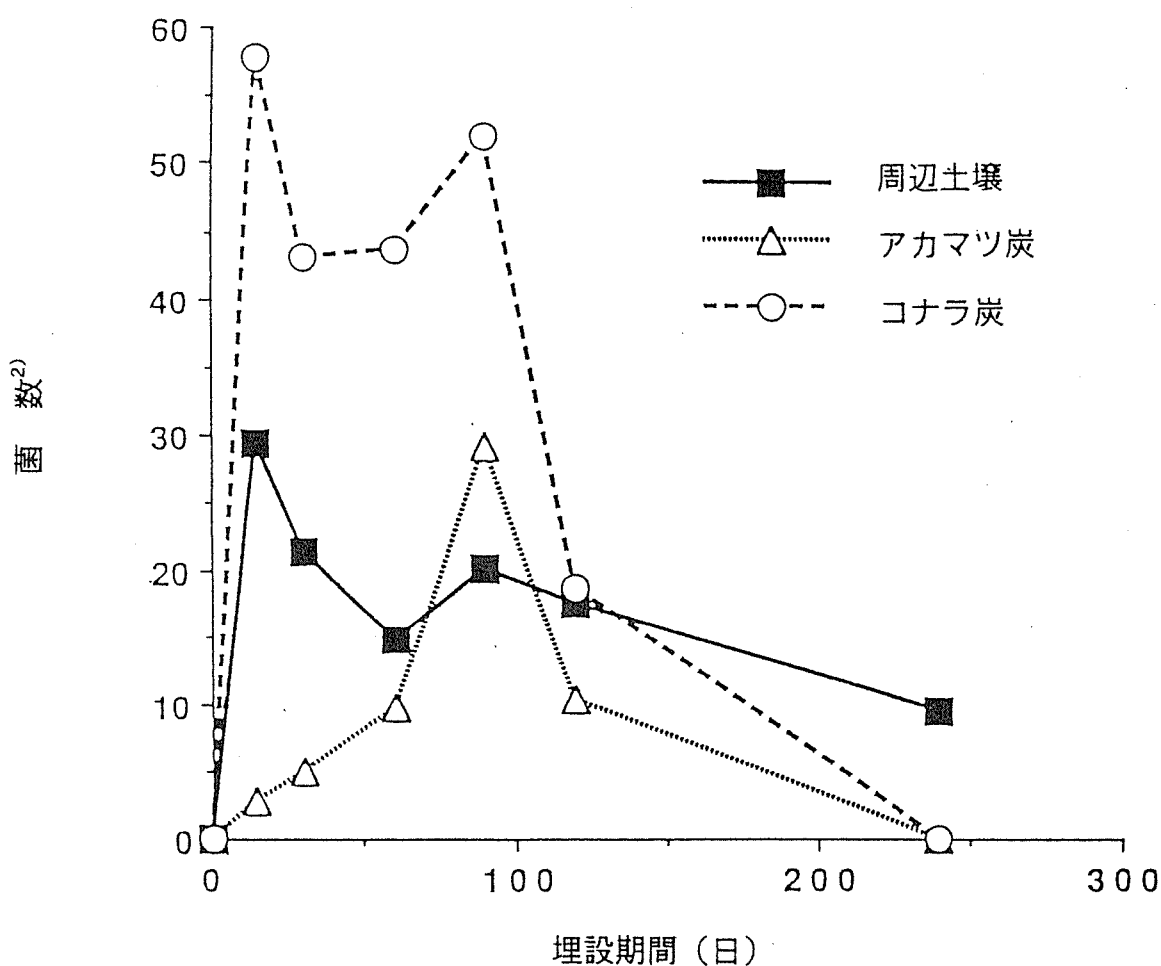


図8-2 バクテリアの菌数の経時変化¹⁾

¹⁾ 畑に埋設、アルブミン培地にて培養

²⁾ 乾土又は木炭1g当りの菌数

図8-2において100日以降バクテリア数が減少し、240日前後でゼロになってしまうのは秋に入り気温が低下し、繁殖力が小さくなったためである。コナラ炭のバクテリア数が他のものに比べ多いという現象は窒素固定菌であるアゾトバクターに対しても見られた(図8-3)。

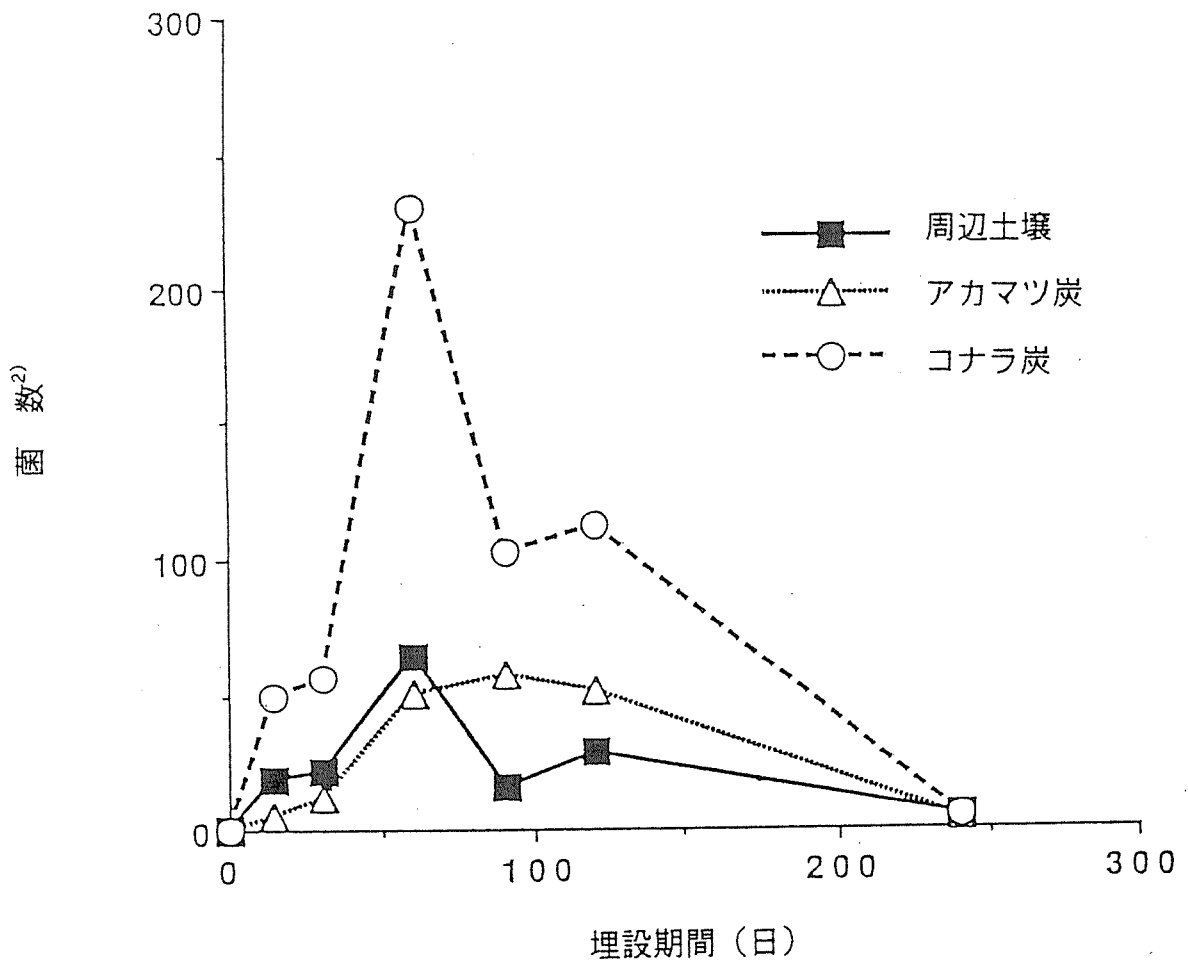


図8-3 アゾトバクター（窒素固定菌）の菌数の経時変化¹⁾

¹⁾ 畑に埋設、培地77にて培養

²⁾ 乾土又は木炭1g当りの菌数

微生物は土壌中で、その細孔に生育しており、土壌の水分保持力が微生物数の繁殖に関わっていて、細孔径が小さい方が水分保持力が高いことが知られている。この事実から類推するとコナラ炭の水分保持力が最も高いことになる。そこで、畑に埋設した木炭と周辺土壌の水分の変化を測定してみると、図8-4に示すように、微生物数の最も多かった木炭埋設後60日目の水分は、アカマツ炭50%、コナラ炭41%、周辺土壌38%であった。このことから今回の実験では木炭の水分保持力は微生物増殖にあまり影響を与えていないことが推定できる。実験全期間を通して木炭と土壌中の水分は、初期を除いて35-50%の間を変動しており、あまり大きな差は見られなかった。

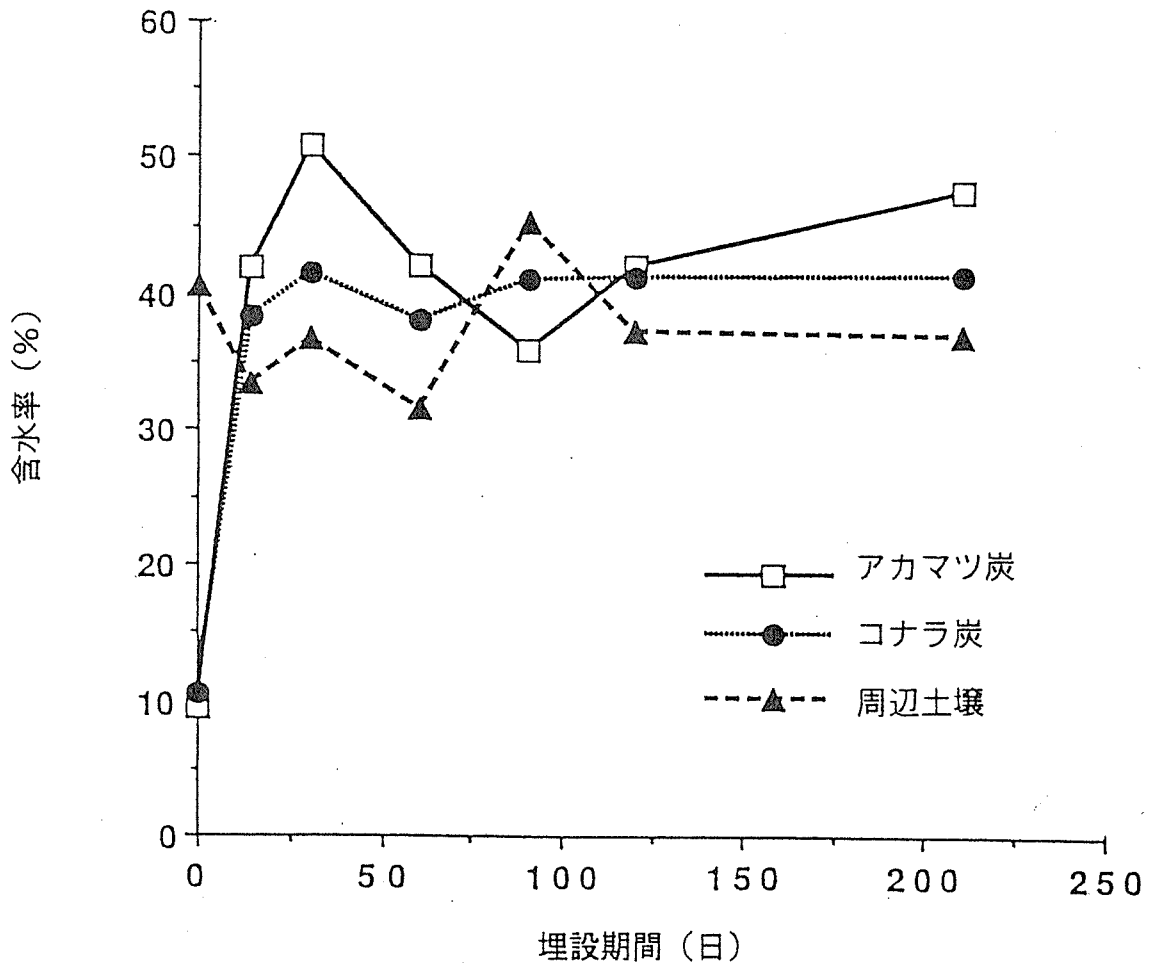


図8-4 畑に埋設された木炭と周辺土壌の水分の変化

コナラ炭はアカマツ炭同様弱アルカリ性で、バクテリアなどの細菌類の増殖に適している。コナラ炭の方がアカマツ炭よりわずかであるがアルカリ性が高い。また、コナラ炭は細菌などの大きさ（ $0.5\sim 2.0\times 1\sim 5\mu\text{m}$ ）とほぼ同じ直径の細孔が多く、細孔直径が $0.4\sim 5\mu\text{m}$ のものが58%を占めているのに対し、アカマツ炭ではこの範囲のものが22%しか存在しない。コナラ炭が非共生的窒素固定菌を含むバクテリアの集積能が高いのは、そのpH値が弱アルカリ性であることと、細孔分布がバクテリアなどに適した大きさのものが多くことによると考えられる。

図8-5は、養鶏場において微生物数の最も多かった埋設後30日目の微生物数を示している。

土壌中には、畑の場合と同様、放線菌>非共生的窒素固定菌を含むバクテリア>硝化菌>糸状菌の順に微生物数が多かった。4種の微生物数の合計は 土壌>コナラ炭>アカマツ炭の順であった。

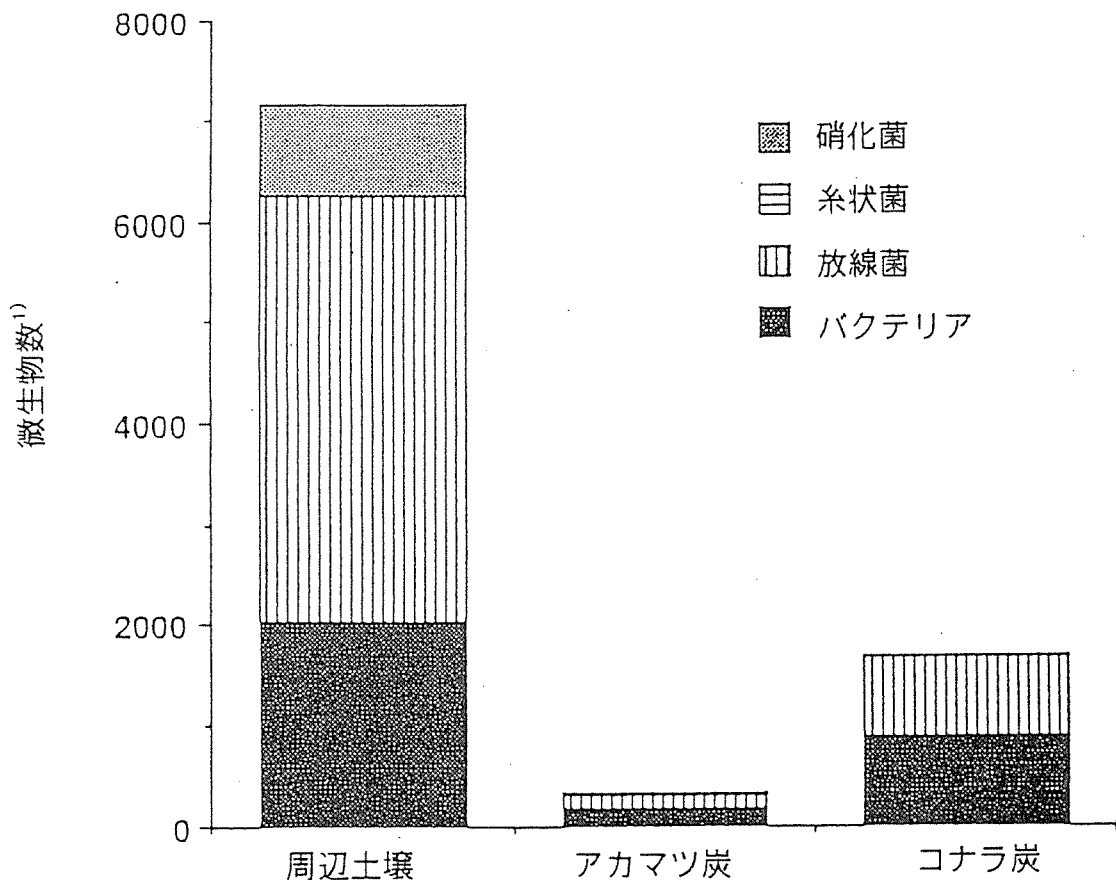


図8-5 養鶏場の土壌とそこに埋設した木炭の埋設30日後の微生物数

¹⁾ 乾土又は木炭1g当りの菌数又はコロニー数

池底土壌中では埋設後14日目に微生物数が最大となった。この時の微生物数を示したのが図8-6である。

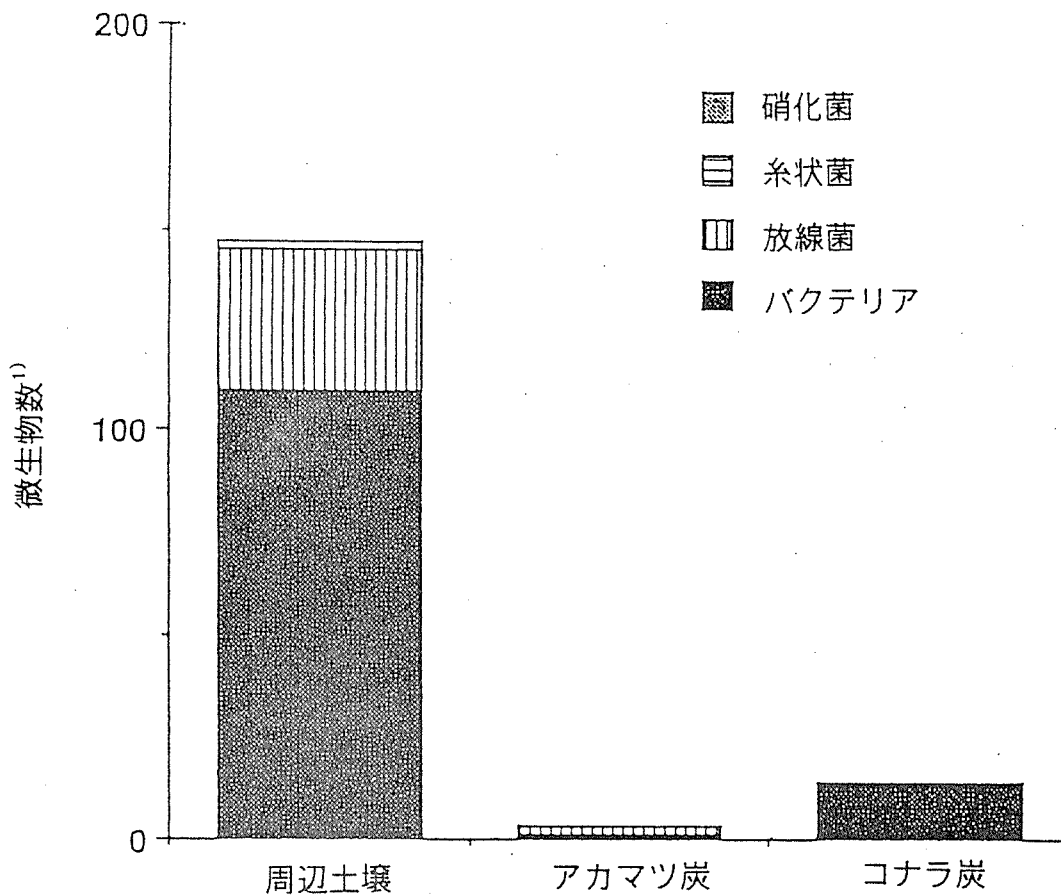


図8-6 池底土壌及びそこに埋設した木炭の埋設14日後の微生物数
¹⁾ 乾土又は木炭1g当りの菌数又はコロニー数

土壌中では、非共生的窒素固定菌を含むバクテリアが大半を占め75%、放線菌が23%であった。木炭中から捕捉できた微生物数は少なく、コナラ炭からは非共生的窒素固定菌を含むバクテリアが、アカマツ炭からは放線菌を主として捕捉できた。

4. まとめ

4.1 木炭の水質浄化能

アカマツ炭を貯留池の出水口に埋設した結果、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後の水は処理前に比べ減少し、木炭の水質浄化効果が認められた。

木炭を水質浄化に使用する場合は、木炭の水質浄化能を過信せず、その能力内で木炭を使用すべきである。すなわち、汚染度の極端に高い汚水に対しては、多孔性で、水質浄化能の高い木炭といえども、その能力を発揮し得ず、単なる石ころと化してしまう。汚染度の高い水質に対しては木炭に接触する以前に、何段階かの前処理が必要であろう。

4. 2 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箇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くることによるものであることがわかった。

第9章 木炭による床下気象環境の改善に係る効果調査

1. はじめに

近年資源の大量消費はグローバルな観点からとらえれば、地球温暖化現象、身近にはゴミ処理等による環境汚染など大きな問題をかかえている。

これまで木質資源はリサイクル資源として最も有効に利用されてきた唯一の資源であるにもかかわらず、戦後の工業の発達によりそのリサイクル材料としての利用がすっかり忘れられてしまった。特に、これまで木材加工工程に排出される加工廃材の大部分が、熱源材料として利用されてきたが、石油製品による燃料革命が始まって以来、現状におけるわが国の熱源材料としての木工廃材の利用は著しく減少して、現在ではその大部分がただゴミとして棄却されてしまっている。

このような背景の中で1986年(昭和61年)「地力増進法」施工令の一部が改正され、木炭が「土壌改良材」として、政令指定を受けたことから、木炭が持つ透水性、保水性、吸着性、地温上昇効果など優れた特性が再認識されるようになった。一方、大気汚染の防止や生活排水の浄化、脱臭、吸着などに対する環境に優しい機能が評価され、木炭を生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。これまで木炭の活用は燃料としての利用以外に、経験的に大気浄化や水質環境等の「生活環境を改善する資材」として古くから利用されてきていた。しかし、調湿資材としての木炭の具体的な効能に関する研究は、ほとんど行われてこなかった。

一方、これまで日本は徒然草にもあるように四季の気候を取り入れた独特の住文化があった。しかし、建築基準の改正により、古くから使用されてきた木造住宅の東石(つかいし)は「コンクリート布基礎」へと規制された。このことにより住宅に対して自然な気候を排斥して、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ってきている。爾来、住宅の床下気象環境は建築の場所や施工法によっては、床下の湿気の上昇にともなって劣悪なものとなり、建築物の耐久性を低下させている例が多くなっている。現在、良好な床下環境を保つためと称し、床下の土壌表面をビニールシートやコンクリートモルタルで被覆する方法や床下換気扇を換気孔に設置する方法等が行われているが、これは多くの問題点をかかえており、床下気象

環境を好転させる最善の方法となっていない。そして、気候を無視した日本の住宅の住み手に健康被害が囁かれている現状である。

このようなことから、我々は木質系産業廃棄物をはじめ、林地残存材、木工廃材、建築廃材等から製造された低コスト木炭の活用の一環として、床下に木炭を敷設することにより、床下気象環境の改善につなぐことができれば、より良い居住環境を提供することになると考えるようになった。しかし、未だ木炭が床下の環境改善にどの程度機能するか、十分に実証されていない。

さらに、木材工業界はリサイクル材料としての木工廃材、建築廃材の有効利用の促進技術の提供を求められている。このような理由から、今「産業廃棄物等から製造される木炭が住宅の床下に敷設することによることによる床下気象環境の改善になる！」を明確にすることが求められている。本調査研究は1989年より本格的に取り組まれている課題である。

本章（第9章）では次の2課題について、これまでに得られた結果を報告する。

(1) 木炭の調湿機能について

供試されている産業廃棄物からの木炭は、①どの程度吸湿があるのか、②木炭は繰り返しによる吸、脱着が可能な材料であるか、③樹種による影響はあるか、を検討した。

(2) 実際に居住している木造住宅の床下気象環境の実態と改善

関東地区（つくば市、浦和市）、中部地区（岡崎市）及び南九州地区（鹿児島市）の4地区、5調査区にある実際に供重している木造住宅の床下気象環境の実態と木炭敷設後、1年間の改善効果を検討する。

2. 木炭の調湿機能について

2.1 実験方法

デシケーターの中に濡れた土を投入し、これがデシケーター中の相対湿度が常時95%前後に保たれるように水分補給装置を組み込み設定した。デシケーターは温

度30℃に設定したインキュベーター中に置いた。このデシケーター中に木炭（スギ、及びヒノキ）、そして、コントロール材料として吸・脱湿のできるシリカゲルを挿入した。デシケーター中に挿入したそれぞれの木炭及びシリカゲルは毎日重量を測定し、重量がほとんど変化しなくなった実験開始後2週間目にデシケーターより取り出し、温度30℃のインキュベーター中に出した状態で、約2週間のあいだ重量測定を行った。このようにして、スギ、ヒノキ木炭およびシリカゲルの吸・脱湿の繰り返しの可能性を検討した。

2. 2 実験結果の検討

木炭およびコントロール資材として使用したシリカゲルは、図9-1、2に示すように吸・脱湿繰り返しが可能であることが明らかとなった。それぞれの材料が吸収した水分量を水分率として表すと、吸・脱湿のできるシリカゲルは図9-1に示すように、約60%程度の水分率になるまで吸湿可能で、放湿の場合は約10%の水分率迄で、完全に0%にならない。一方、図9-2に見られるように、木炭は約2週間でほぼ水分率8~10%まで吸湿することが可能で、それ以上は吸湿しにくくなることが明らかとなった。このことは裏返して考えれば、大気中における木炭がこれ以上の水分を含むことは、困難であることを意味するものであろう。このことは前年度において²⁾、モデル住宅の床下に敷設した木炭の水分率に得られた10%前後の値で落ちついたことの結果を裏づけるものとなった。しかし、それぞれの相対湿度を有する雰囲気中に木炭を放置すると、相対湿度95%レベルで含水率18~19%、相対湿度85%レベルで14~16%レベルまで吸収する結果も得ている（図9-3）。

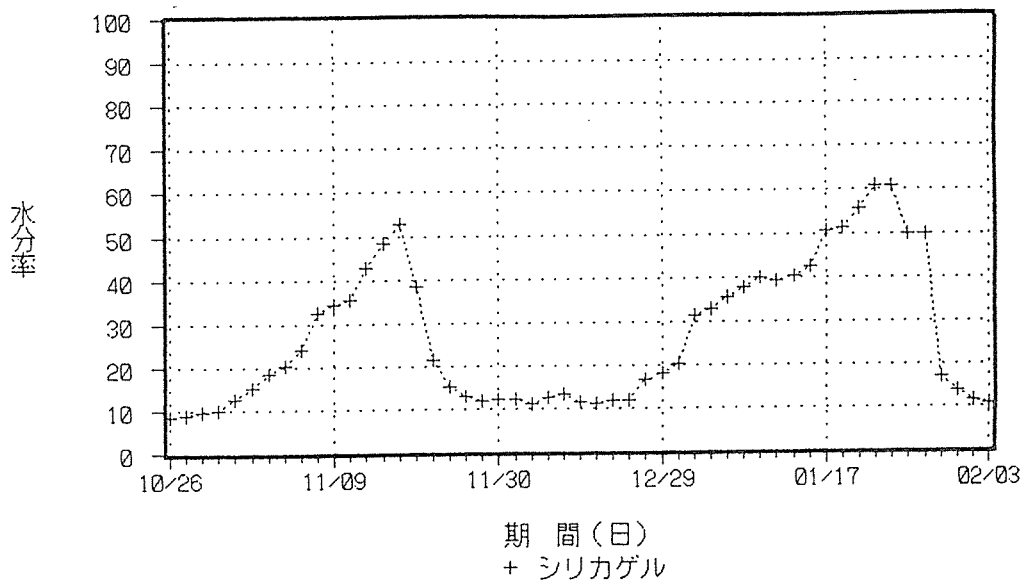


図9-1 吸・脱湿の繰り返し可能なシリカゲルの水分率の変動

一方、これまで、「木炭は吸・脱湿が可能であるか」との質問を常に受けていたが、図9-2に見られるように、木炭を数回にわたる吸・脱湿の繰り返しを行った内、2サイクル分を示したが、第1回目の水分率と第2回目のそれとほぼ類似した値まで吸湿、脱湿が行われたことを示しており、これまで述べてきたように木炭は吸・脱湿可能な材料であることが確認された。また、木炭の樹種（品種）による吸湿した含水率の差を見ると、スギがヒノキよりわずかに高い値を示した。この図から明らかなように、確定はできないが、樹種によりわずかな差がでるのかもしれない。産業廃棄物からの木炭を含め、今後詳細に検討する必要がある。

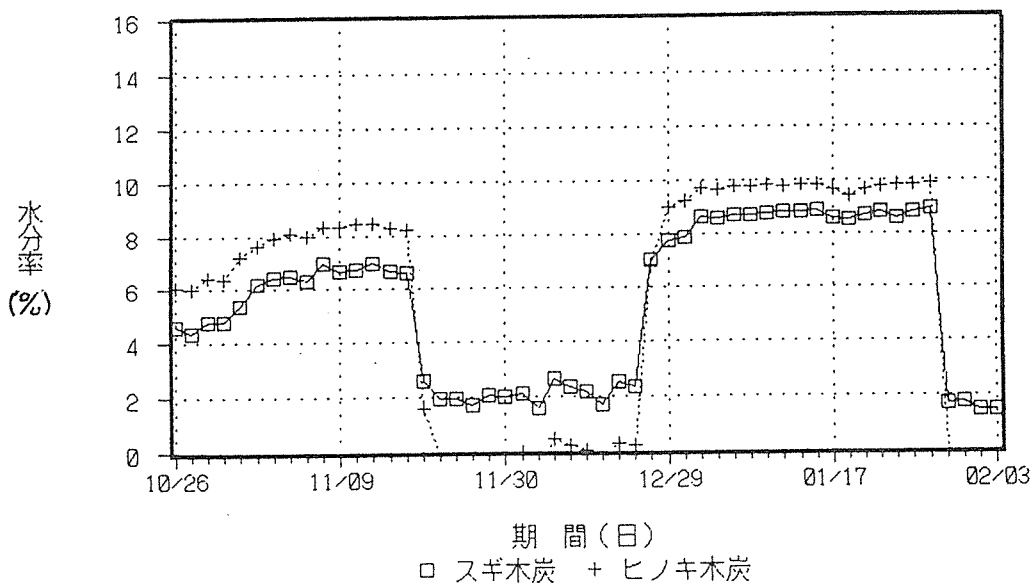


図9-2 針葉樹（スギ、ヒノキ）木炭の吸・脱湿繰り返しに伴う水分率の変動

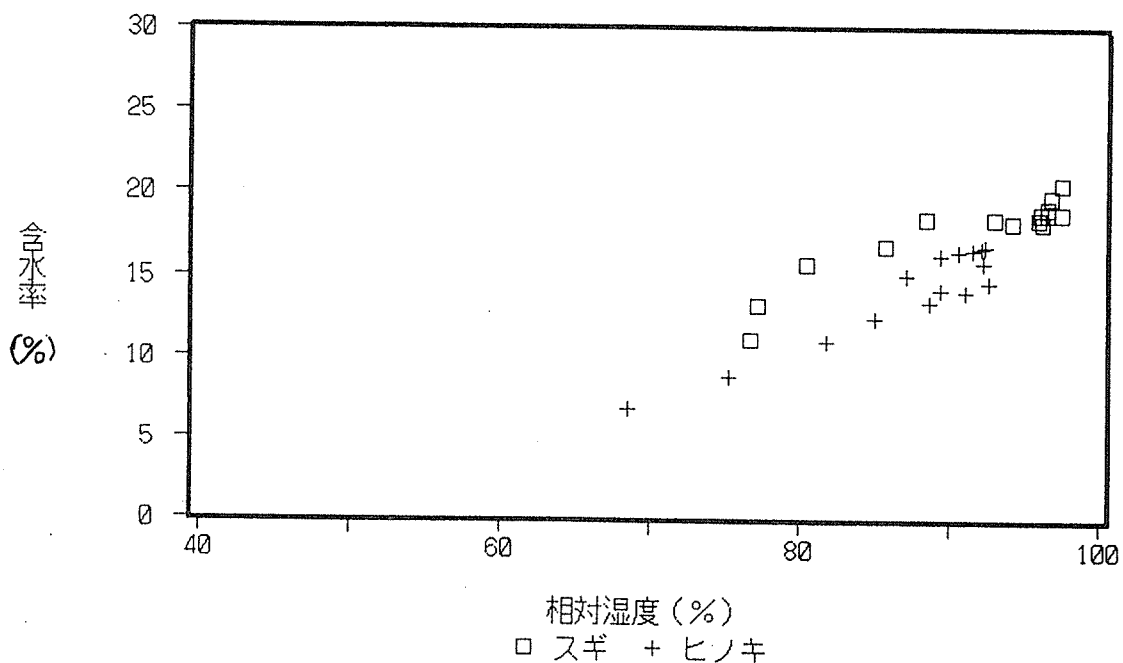


図9-3 木炭の含水率と各相対湿度の関係

3. 実際に居住している4地区・5調査区の木造住宅の床下環境の改善

3. 1. 実験方法

3. 1. 1 実験に供する木造住宅の現状の床下気象環境の実態について

表9-1に示すように、1992年12月より国内において気候的に特徴があると考えられる5地域の実際に居住している個人木造住宅の床下気象環境の現況調査、とくに温度・相対湿度の測定を開始した。これらの調査区における温度、相対湿度およびそれぞれの場所の木材の含水率の測定を年間を通して継続測定し、床下内部の温度、相対湿度の季節変動と四季ごとの特性を明らかにすることとした。

1992年12月から1993年11月までは床下に木炭を敷設しない状態（以下、対照区（木炭予）と記す）における温度および相対湿度を測定し、1993年12月10日に木炭を敷設（以下、「木炭区」と記す）し、1994年12月で木炭敷設後第2年目を迎える。

表9-1 調査対照とした地区

地区	調査区	担当機関
関東	茨城県 つくば市	森林総合研究所
	埼玉県 浦和市	森林総合研究所
中部	愛知県 岡崎市	愛知教育大学
北陸	富山県 富山市	富山県林業技術センター
南九州	鹿児島県 鹿児島市	鹿児島大学

本年度の考察は木炭敷設後1年が経過した状態における床下の気象環境が、敷設しない初年度および住宅内で木炭区に隣接する対照区と比較して、どのように変化したかを検討した。

なお、本年度の報告では、埼玉県浦和市における測定結果は、1994年度において報告した²⁾ので、割愛した。

3. 1. 2. 測定方法²⁾

各地域の木造住宅の床下の温度および相対湿度センサー（トレンド・データロガー：JMS&ACR社製 XT-101シリーズ：外観図等は既報²⁾を参照のこと）は、あらかじめ決められた設置場所に設置してある²⁾。従前どおり、住宅内の設置場所は原則として外気、床下2カ所および室内もしくは押入等とした。

（ただし、埼玉県浦和市を除く4地域ともに1992年（平成2年）12月10日から同時に開始した木炭を敷設しない状況の床下気象環境の測定は、1993年（平成3年）12月初旬で終了した。）

他の4地区は引き続き、1993年（平成3年）12月初旬に木炭の敷設を行うことを原則とし、この時期に敷設できない場合は、各調査区の事情により1ヶ月以内に敷設することにした（つくば市は1994年1月）。それぞれ設定した木炭敷設に伴う床下環境の測定調査へと展開し、本年度で木炭敷設後1994年12月で1年が経過した（ただし、つくば市は1995年1月で1年経過）。木炭の敷設場所はそれぞれの住宅の床下気象環境調査の木炭敷設区（以後「木炭区」という）

は、原則としてその住宅の北側もしくは台所の1カ所とし、これと比較検討するために、木炭を敷設しない区（以後、「対照区」という）はそれに隣接する場所とする。いずれにしても各測定住宅の間取りのいずれかの場所を指定するが、これらの指定はそれぞれの住宅の事情に委ねることにした。

これらの各木造住宅床下の温度・相対湿度のデータは「トレンドデータロガー」に30分間隔に収録される。これらのトレンドロガーは約3～4カ月毎に各地域から郵送により、鹿児島へ回収した。それぞれのトレンドロガーからデータを回収し、パソコンにより解析を行った。

一方、含水率測定は木材片を外気、床下1カ所（その住宅の南または北側）および室内（または押入）の3ヶ所に設置し、定められた曜日にこれの重量を測定し、含水率に換算した。なお、試験片は森林総合研究所において作製し、1ヶ所宛1個のアカマツ辺材（気乾密度0.44～0.46）を、毎週（原則とし、やむを得ない場合は隔週おき）に計測した。なお、これの設置・実施および測定は一律の制約のもとでは、実行が困難な場合もあるので、それぞれの住宅の環境の事情に委ねることにしてある。

3. 2. 実験結果の概要と考察

3. 2. 1 各測定地域の外気および床下対照区の相対湿度の季節変動

1992年12月から1994年12月までに回収された期間における2年間にわたる、つくば、岡崎、富山および鹿児島各市の外気の月平均の相対湿度の変動を図9-4に示した。この図に明らかなように、1993年度は全国的に降雨量の多い年で梅雨期も明確に現れているが、1994年4月以降のそれぞれの推移は非常に乱れ、全国的に降雨量の少ない年であったため、何時梅雨に入ったかわからない状態であった。このことは図9-4の右側半分（1993年3月以降）に見られる年間挙動から見ても良くわかる。

ところで、通常の年間の月平均の湿度変動は、図9-4の1992年12月から1993年9月の間に見られるように、いずれの地域でも7月前、中旬をピークに前後2ヶ月半が相対湿度80%以上の期間であり、10月～5月までは床下においても相対湿度80%以下になることがわかる。ただし、鹿児島地区は高温多湿と言

われているように、この範囲からはずれ、12月～4月の間のみが

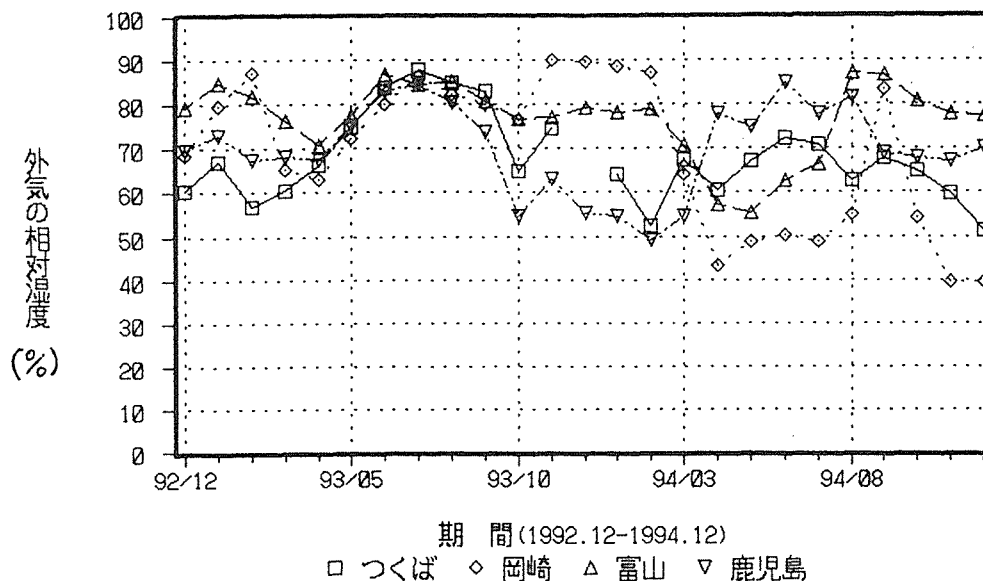


図9-4 各測定地の外気の相対湿度の平均値の年間変動

80%以下になるが、他の地域のように冬期において70%以下になることが少ないが読み取れる。

また、この図に見られるように、全国的に非常に降雨量の多い年であった1993年度は高湿側に、逆に全国的に雨不足の年であったことを示すように1994年は低湿側にある。そこで、測定している各地域の1993年および1994年の外気の相対湿度(月平均値)のクリモグラフ(図9-5～8)を見ると、鹿児島市以外は1994年の相対湿度の挙動は1993年より低い位置にあるが、鹿児島市は年間の差はほとんど見られない。

表9-2は4調査地域の2年間にわたる外気温度および相対湿度の平均値を示し、更に梅雨期、冬期の外気温度および相対湿度の平均—最大値—最低値を表9-3～6に示した。

これら表に見られるように、それぞれの地域の月間の外気の平均相対湿度は50～86%と、どの地域においても大差ない。

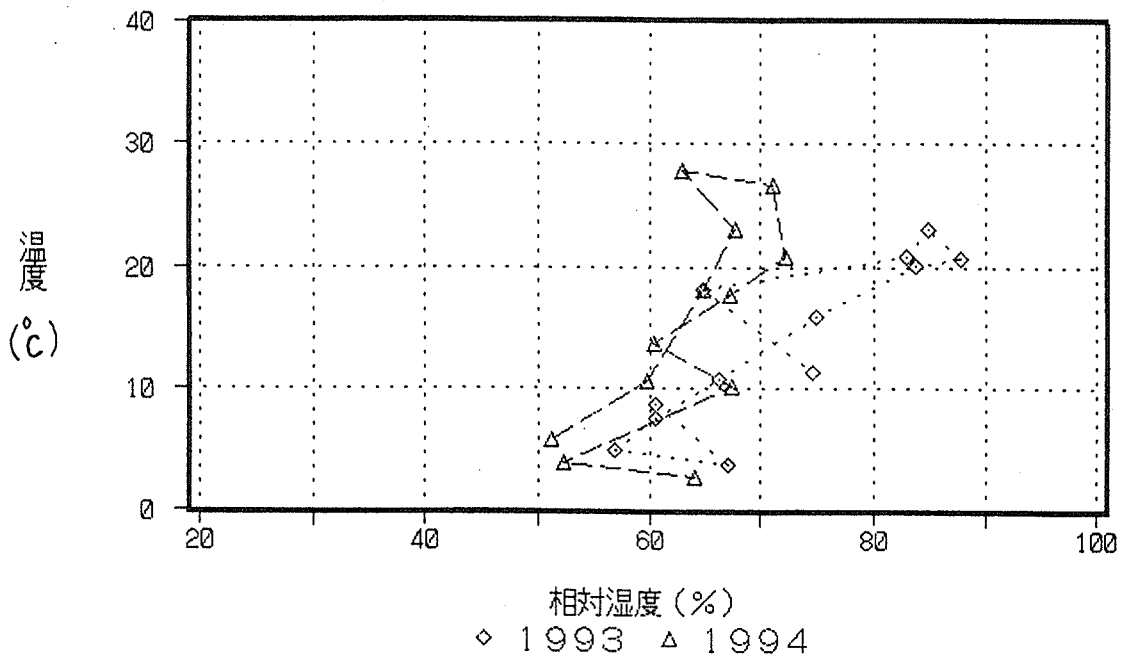


図9-5 つくば市における1993年および1994年の外気のクリモグラフ

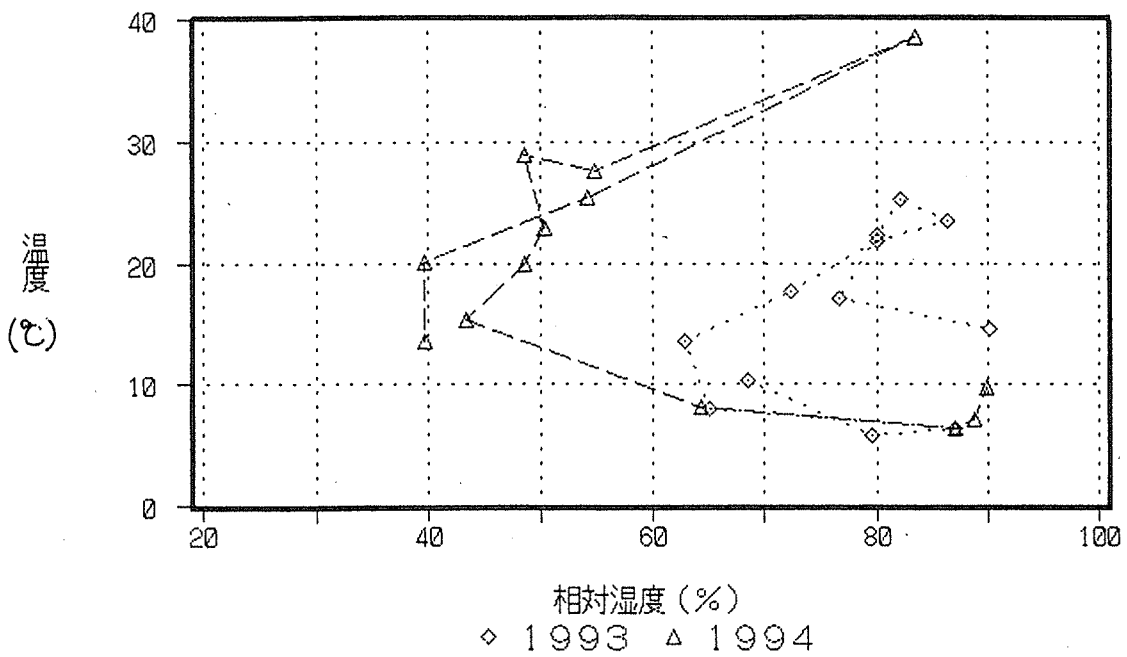


図9-6 岡崎市における1993年および1994年の外気のクリモグラフ

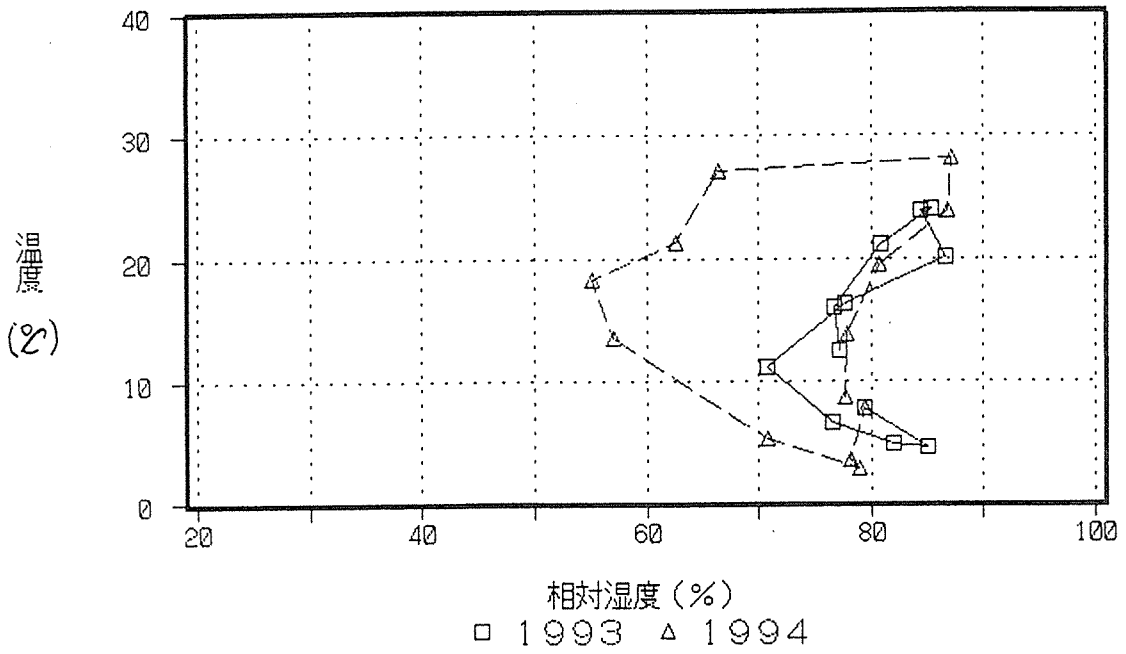


図9-7 富山市における1993年および1994年の外気のクリモグラフ

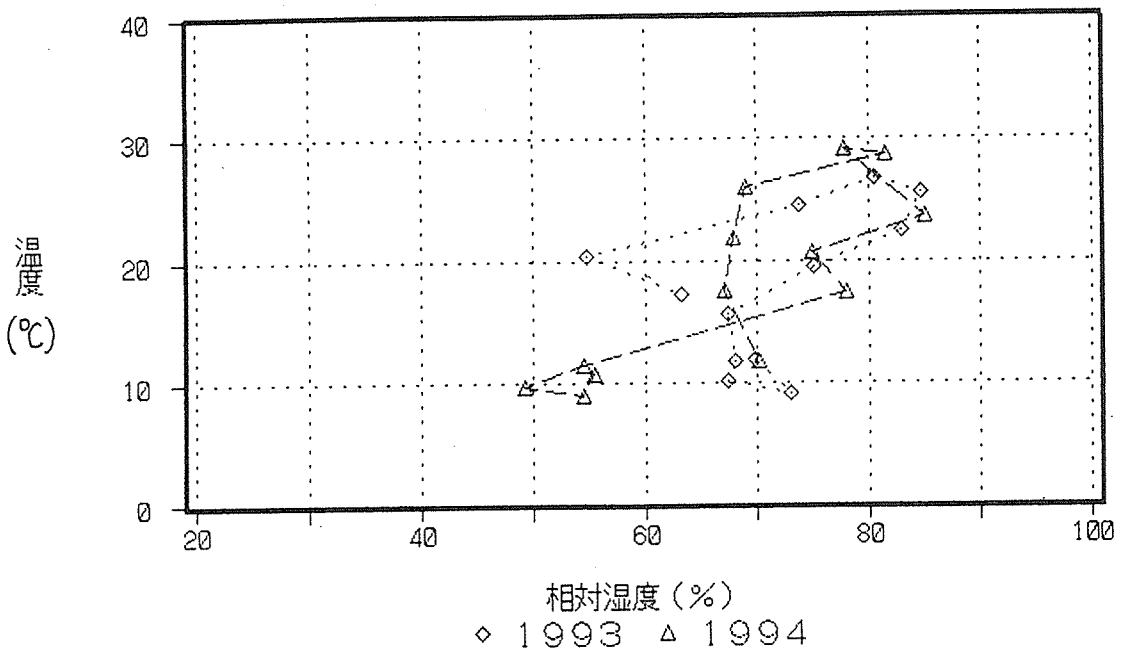


図9-8 鹿児島市における1993年および1994年の外気のクリモグラフ

表9-2 4調査地域の2年間にわたる外気温度および相対湿度の平均値

地 月	つくば市		岡崎市		富山市		鹿児島市		備 考
	平均 気温 (°C)	平均 相対 湿度 (%)	平均 気温 (°C)	平均 相対 湿度 (%)	平均 気温 (°C)	平均 相対 湿度 (%)	平均 気温 (°C)	平均 相対 湿度 (%)	
12	8.6	57.2	7.8	79.5	10.2	68.5	11.9	69.9	(平成2年)
1	3.4	65.1	4.5	84.9	5.8	79.6	9.2	72.9	(平成3年)
2	4.9	52.8	4.9	82.0	6.3	69.9	10.2	67.4	
3	6.2	63.8	6.7	76.5	8.2	65.3	12.0	67.6	
4	10.8	66.3	11.3	72.4	13.5	63.0	15.7	67.4	
5	16.0	78.9	16.4	77.6	17.7	72.4	19.4	75.1	
6	20.0	83.7	20.1	86.6	21.8	80.0	22.9	85.5	
7	20.6	87.7	23.7	84.9	23.5	86.3	25.5	84.7	
8	23.1	84.8	23.9	85.4	25.3	82.1	26.6	81.4	
9	20.9	82.9	21.2	81.2	22.2	80.0	24.5	73.0	
10	15.2	78.4	16.1	76.7	17.7	73.4	20.4	54.8	
11	11.3	74.6	12.6	77.2	12.6	77.2	17.3	63.2	
12	—	—	9.7	89.8	7.8	79.6	10.8	55.5	
1	2.7	64.1	7.1	88.7	3.5	78.2	9.0	54.7	(平成4年)
2	3.9	52.3	6.4	92.6	2.8	78.9	9.7	49.2	
3	6.0	60.6	8.1	64.3	5.3	70.8	11.5	54.5	
4	13.7	60.4	15.4	43.3	13.6	57.0	17.4	77.9	
5	17.7	67.3	20.0	48.5	18.4	55.2	20.7	74.9	
6	20.8	72.2	22.9	50.4	21.3	62.3	23.6	84.9	
7	26.5	71.2	29.0	48.6	27.0	66.5	29.2	77.8	
8	27.8	62.9	—	—	28.1	87.1	28.6	81.4	
9	23.9	67.8	25.3	54.2	23.7	86.8	26.0	69.1	
10	18.2	64.9	20.1	39.6	19.5	80.6	21.9	67.9	
11	10.6	59.8	13.5	23.6	13.9	77.8	17.5	67.1	
12	5.7	51.4	—	—	8.6	77.7	11.7	70.1	

表9-3 梅雨期（1993年5月～7月）の間の外気の温度及び相対湿度

観測地	外気温度（℃）			外気相対湿度（％）			備考
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
つくば市	18.9	32.2	4.9	82.1	100.0	15.8	
岡崎市	21.0	34.1	8.0	79.6	96.1	22.6	
富山市	20.1	36.9	7.7	82.9	99.5	22.6	
鹿児島市	22.4	36.5	8.8	80.9	100.0	33.9	

表9-4 梅雨期（1994年5月～7月）の間の外気の温度及び相対湿度

観測地	外気温度（℃）			外気相対湿度（％）			備考
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
つくば市	21.7	34.9	8.4	71.2	88.0	24.2	
岡崎市	24.0	41.2	8.5	49.2	88.9	35.6	
富山市	22.2	35.7	8.8	61.4	85.9	34.2	
鹿児島市	24.5	40.3	11.1	79.2	100.0	35.8	

表9-5 冬期（1992年12月～1993年2月）の外気の温度および相対湿度

観測地	温度（℃）			相対湿度（％）			備考
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
つくば市	5.8	21.2	-4.9	61.5	99.4	31.3	
岡崎市	7.5	24.1	-1.7	78.3	100.0	38.5	
富山市	5.7	21.6	-2.6	82.1	100.0	21.4	
鹿児島市	13.2	30.6	-2.1	70.0	100.0	17.6	

表9-6 冬期（1993年12月～1994年2月）の外気の温度および相対湿度

観測地	温度（℃）			相対湿度（％）			備考
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
つくば市	3.3	16.5	-7.9	58.2	92.2	21.9	
岡崎市	7.7	13.9	-4.2	88.5	92.6	71.1	
富山市	4.7	23.4	-3.9	78.9	100.0	21.9	
鹿児島市	9.8	30.6	-3.0	53.1	100.0	17.6	

しかし、月間内の最高値を見ると、鹿児島において年間を通して100%であり、多湿な地域であることを示し、富山においては、当然のことながら冬季の降雪の期間である12～5月の5カ月にわたって100%を示している。

図9-9～12は各測定地の1992年12月～1994年12月までの2年間にわたる木炭区（1992年12月～1993年12月までは木炭は敷設していない）と対照区および外気の相対湿度の変動を示した。

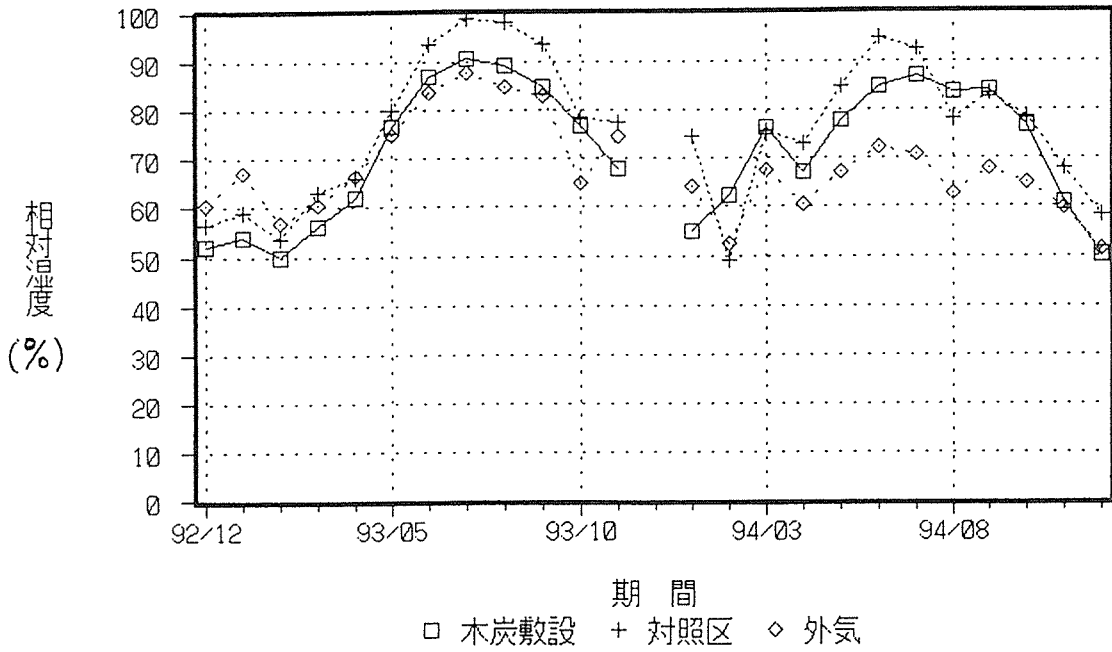


図9-9 つくば市における1992年12月～1994年12月までの2年間の木炭区および対照区の相対湿度の月平均の変動

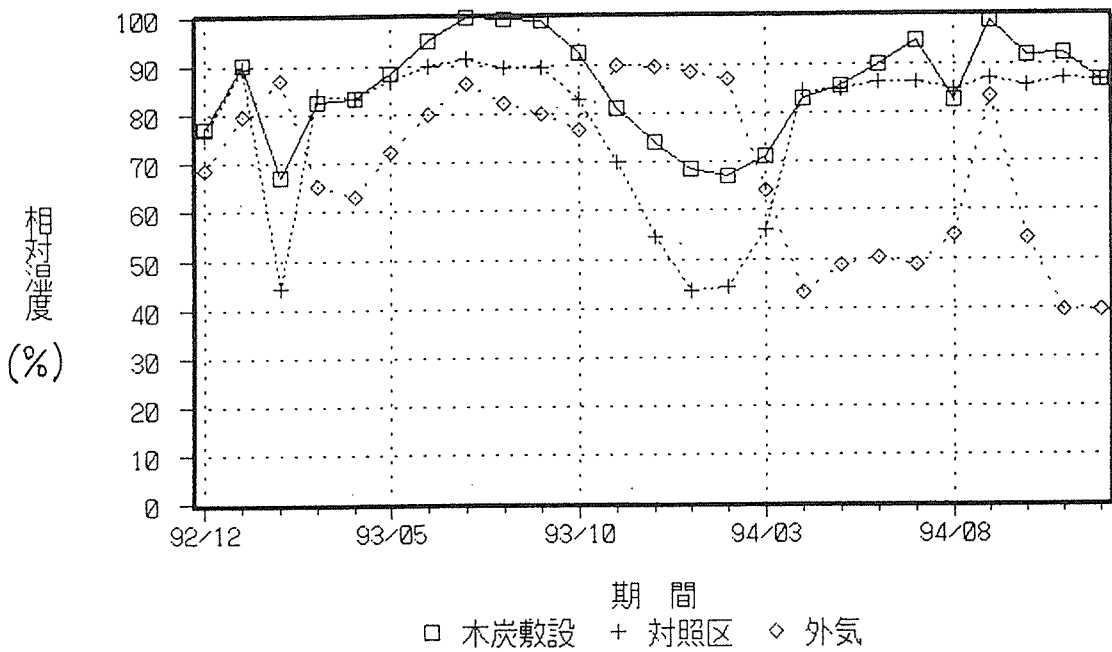


図9-10 岡崎市における1992年12月～1994年12月までの2年間の木炭区及び対照区の相対湿度の月平均の変動

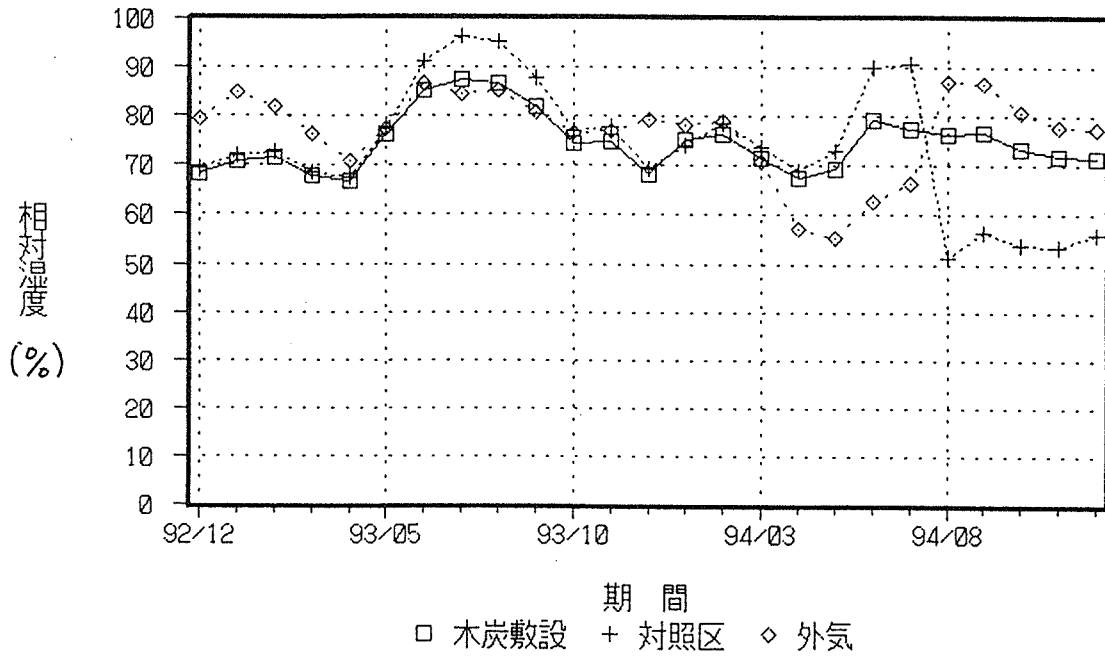


図9-11 富山市における1992年12月～1994年12月までの2年間の木炭区および対照区の相対湿度の月平均の変動

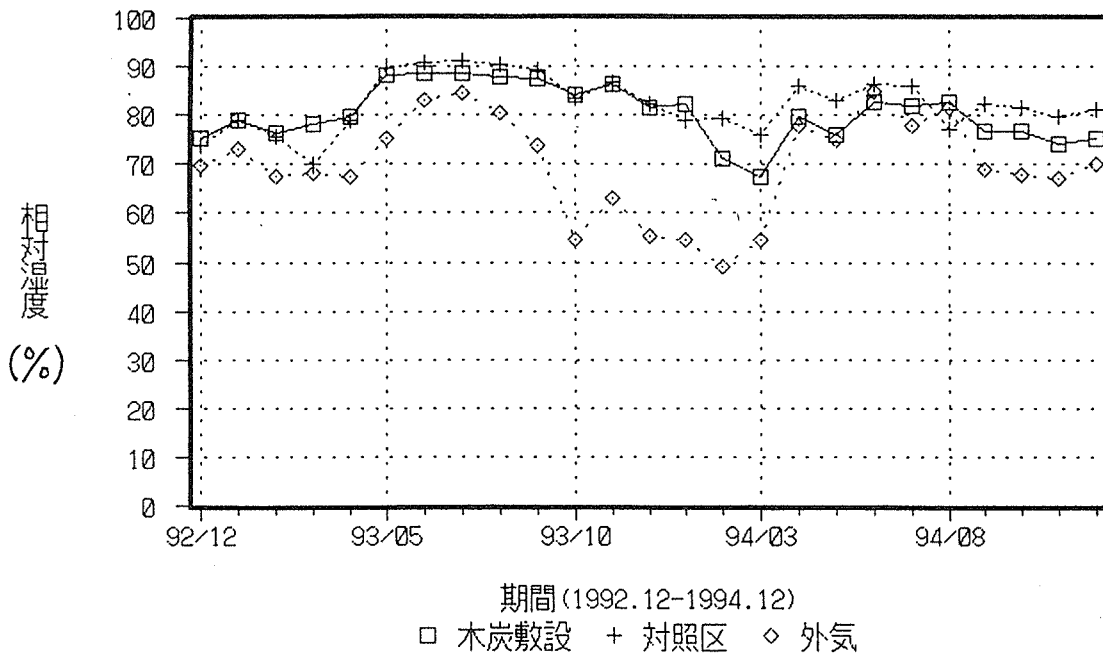


図9-12 鹿児島市における1992年12月～1994年12月までの2年間の木炭区および対照区の相対湿度の月平均の変動

この図に見られるように、1992—1993年の間は木炭区（木炭敷設予定区）および対照区は、当然のことながらともにほぼ類似の変動を示しているが、1993—1994年になると、木炭区の相対湿度は対照区のそれよりも低い位置で推移するようになることがわかる。

そこで、各地域の各月の木炭の敷設の有無による特徴を見るためにクリモグラフを作成した。そこで、まず今後の検討を容易にするために、それぞれの地域の1993年の木炭敷設予定区と対照区に得られた床下のクリモグラフの近似性を検討するために図示したのが図9-13～16である。この図に見られるように、測定している住宅の配置により若干の差が見られるが、ほぼ類似していると見て良い。このことから、今後得られた各地域にある住宅の床下の木炭敷設の有無に対する気象環境の比較は、それぞれの住宅において設置された木炭区（木炭敷設）と隣接する対照区のデータで比較することにした。

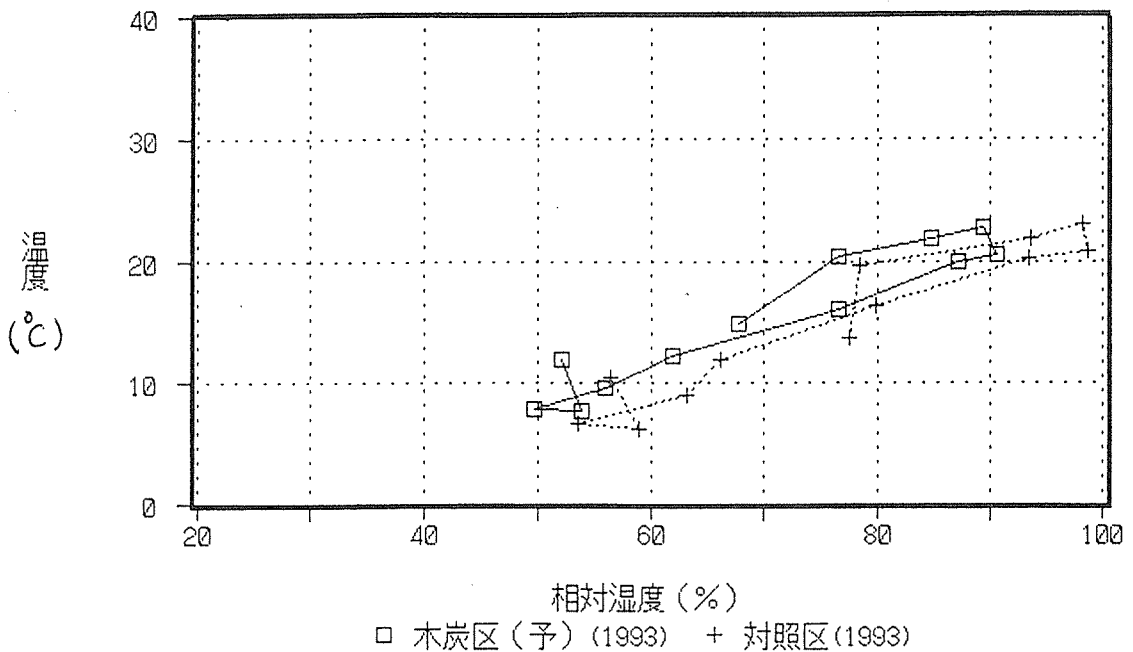


図9-13 つくば市における1992年12月～1993年12月までの木炭敷設予定区と対照区のクリモグラフ

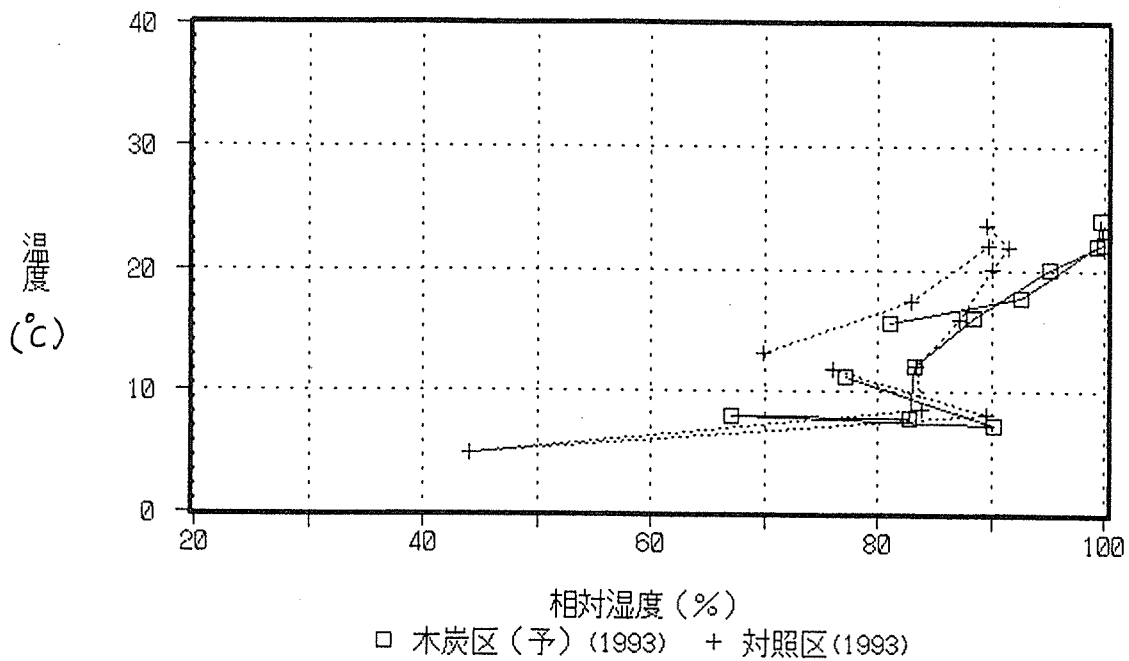


図9-14 岡崎市における1992年12月～1993年12月までの
木炭敷設予定区と対照区のクリモグラフ

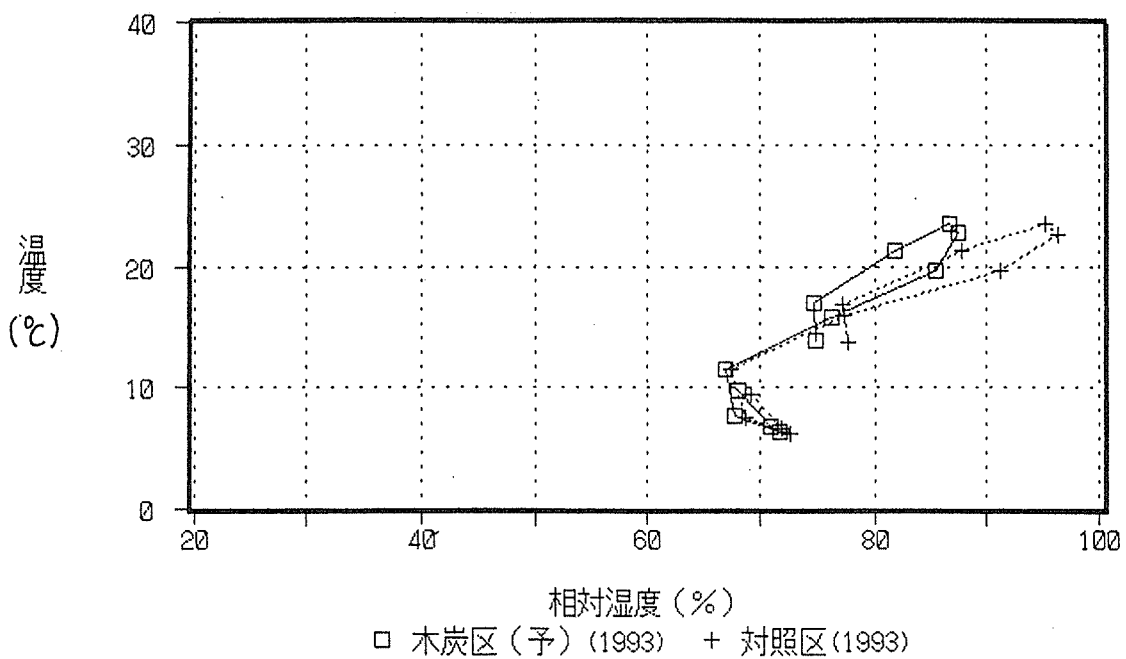


図9-15 富山市における1992年12月～1993年12月までの木
炭敷設予定区と対照区のクリモグラフ

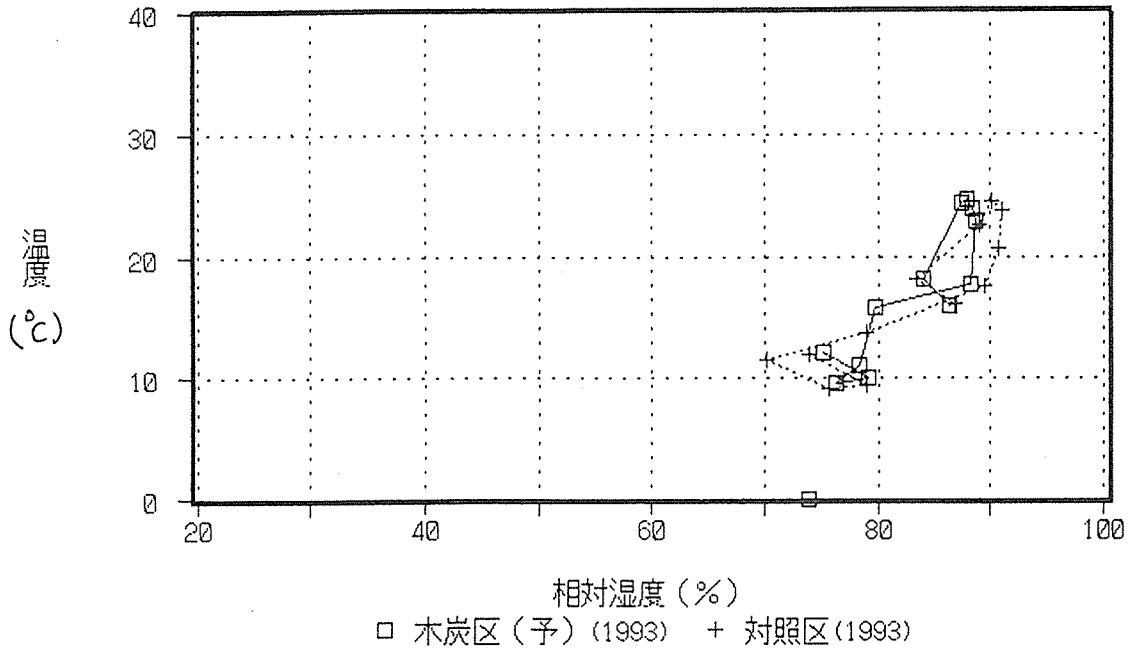


図9-16 鹿児島市における1992年12月～1993年12月までの木炭敷設予定区と対照区のクリモグラフ

3.3 4調査区の木炭区の床下の気象環境

まず、床下の木炭区（ただし、1993年度は木炭は敷設していない）および対照区の2年間の温度および相対湿度のトレンドグラフを図9-17～20に示した。この図から明らかなように年間の気候変動は7月中旬をピークに前後2ヶ月半が相対湿度80%以上の期間であり、10月～5月までは床下においても相対湿度80%以下になることがわかる。ただし、鹿児島地区は高温多湿と言われているように、この範囲からはずれ、12月～4月の間のみが80%以下になるが、他の地域のように冬期において70%以下にあることがない。図9-17～20および表7～10に明らかなように、測定4ヶ所の冬期の気温は鹿児島が他の地区に比較して、年中高い位置にあり、つくば市が最も低く、岡崎市、富山市は四季の変動が激しい。一方、相対湿度は冬期の月較差は鹿児島市が最も高く、ついでつくば市、富山市、そして岡崎市の順となる。このように冬期においても鹿児島の相対湿度の月較差は大きく、高温多湿と言われていることを裏づけるデータとなった。特に、1993

年夏の鹿児島は、100年に一度と言われる集中豪雨が2度にわたり見舞われたがその影響は前述した通り、木材片の含水率の変動に明確に現れた。

4. 木炭を床下に敷設すればの床下の気象環境は改善されるか？

これまでのモデル実験による結果^{1, 2)}から、木炭が床下環境の改善に効果があることが推定された。そこで、実際に居住している住宅の床下環境における木炭の効果を見るため、1992年12月より全国4ヶ所の木造住宅における温度・相対湿度の測定を開始した。そして、1992年12月より1993年11月まで木炭を敷設せず、1993年12月に木炭を敷設から1994年12月で1年間が経過した。本報告ではわずか敷設後1年間であり十分ではないが、全調査地区の住宅における床下気象環境の改善に対する木炭の効用を検討するまでにいたった。

ここでは、すでに結果を公表した関東地区（浦和市）における床下の相対湿度の変動・推移を除き、他の4調査区である関東（つくば市）、中部（岡崎市）、北陸（富山市）および南九州（鹿児島市）について分析しながら、木炭を敷き込む以前の床下の温湿度の季節変動の検討とともに、木炭の調湿効果について検討する。

まず、つくば市、岡崎市、富山）および鹿児島市における木炭を敷設しない1992年12月から1993年11月まで、と木炭を敷設した1993年12月から1994年12月までの2年間の木炭区の温度、相対湿度のトレンドグラフを図9-17～20まで示した。これらの図から明らかなようにつくば市、富山市および鹿児島市の相対湿度の年間の推移は、1992～1993年度より1993～1994年度がわずかながら低下している傾向が見られる。一方、岡崎市は94年9月の外気相対湿度が極端に高かったことに原因していると考えられるが、木炭区の相対湿度が高くても、ここも全体的には1993年度よりも低くなっていることがわかる。

次に、1993年12月～1994年12月までに得られた木炭区および隣接の対照区のクリモグラフを図9-21～24に示した。この図から明らかなように岡崎市を除いた3地区は年間を通して対照区より木炭区が低温側に移動していることがわかる。ただし、岡崎市の1993年12月～1994年3月まで、富山市の1994年8月～1994年12月の間の外気の相対湿度が平年通りであるにもかかわらず

わらず、この間の対照区の相対湿度が低いデータとなってしまった。この間について
 の原因は再度詳細に検討したい。

しかし、全体的に見るといずれの地域においても最も高い床下相対湿度を示す5
 月～9月までの間においては、対照区よりも木炭区において平均の相対湿度は低下
 しており、床下に木炭を敷設することによる相対湿度の低下は明らかとなった。

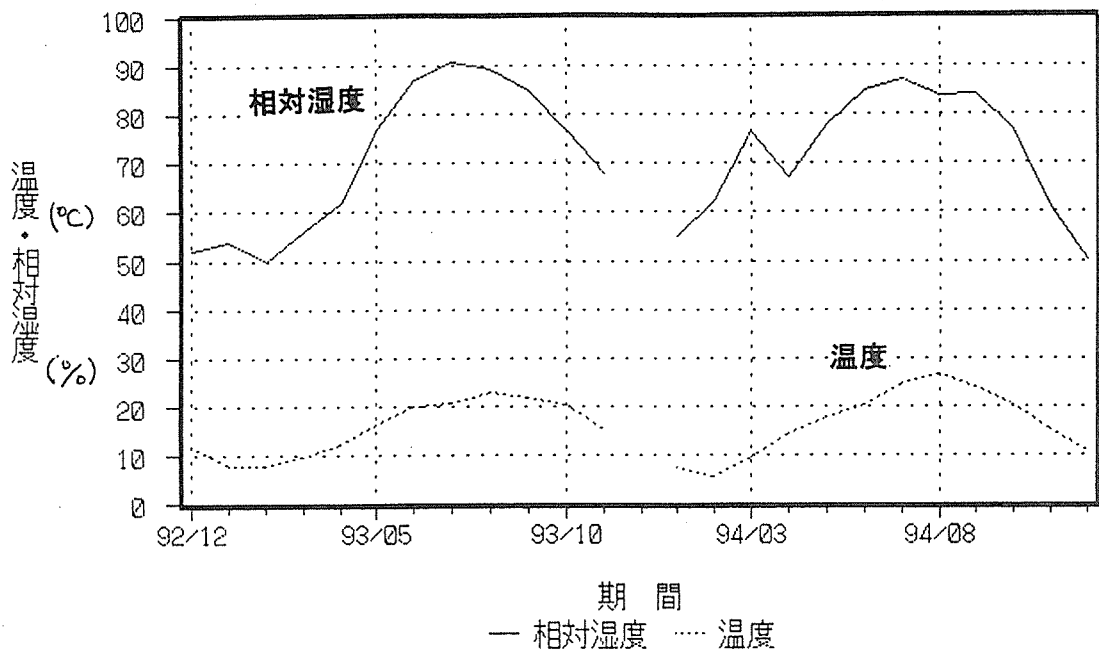


図9-17 つくば市における1992年12月～1994年12月までの木炭区
 の温度、相対湿度のトレンドグラフ

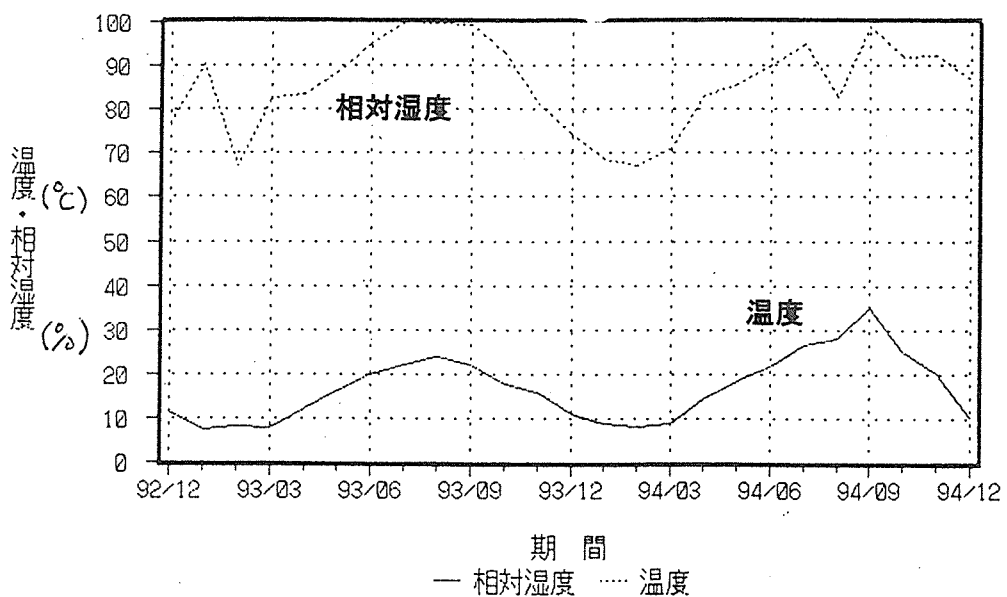


図9-18 岡崎市における1992年12月～1994年12月までの木炭
 区の温度、相対湿度のトレンドグラフ

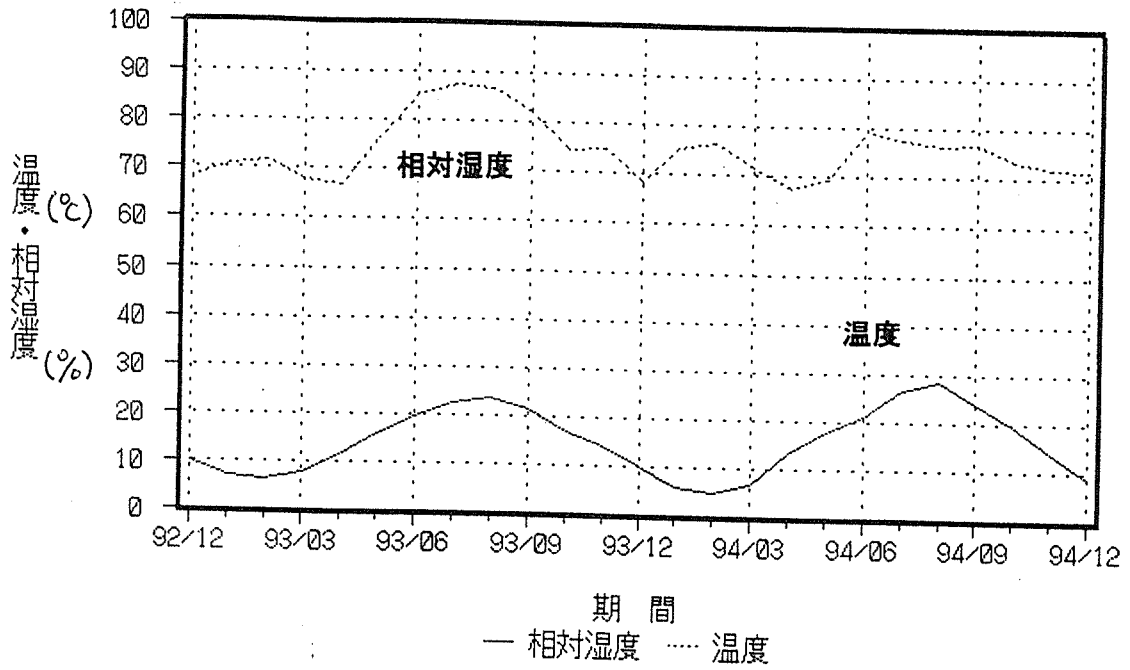


図9-19 富山市における1992年12月～1994年12月までの木炭
区の温度、相対湿度のトレンドグラフ

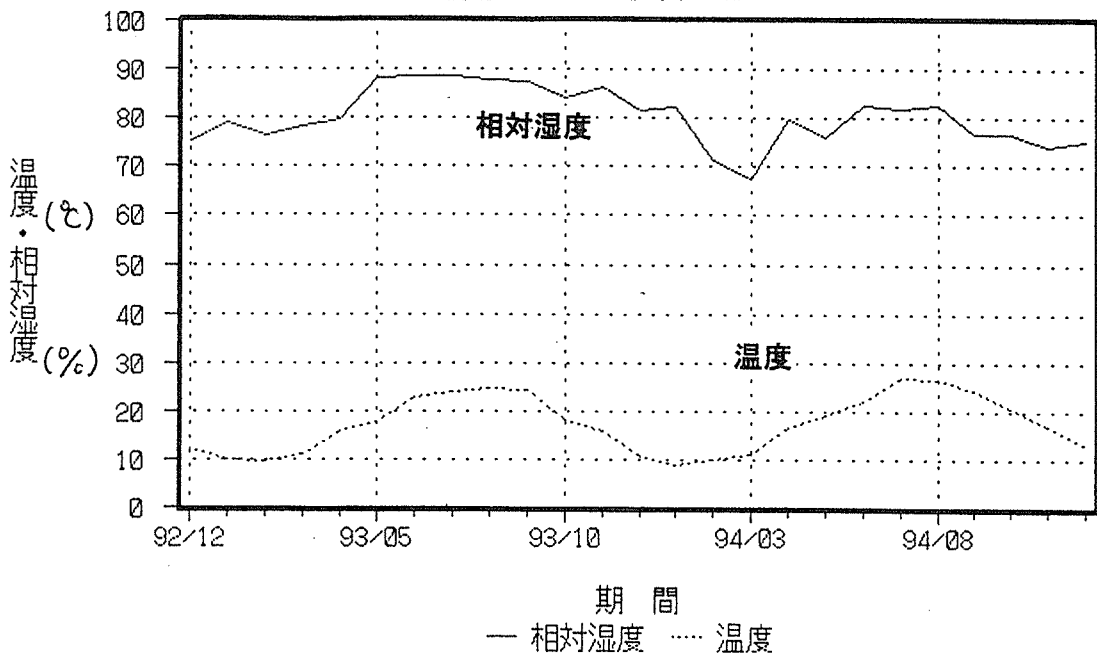


図9-20 鹿児島市における1992年12月～1994年12月までの木
炭区の温度、相対湿度のトレンドグラフ

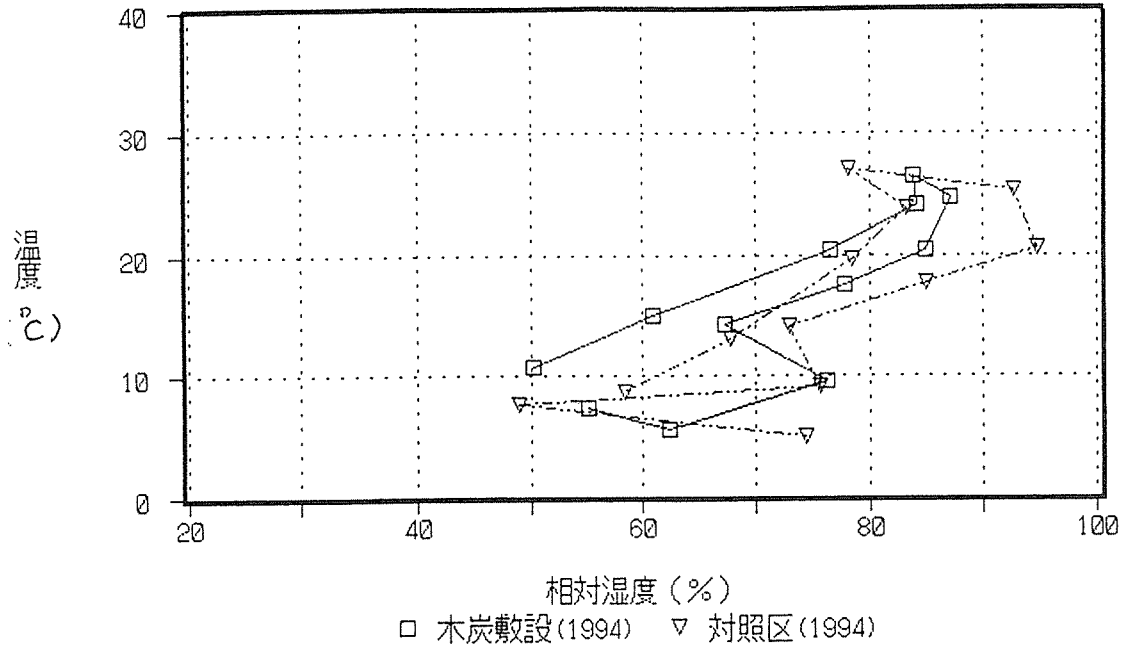


図9-21 つくば市における1993年12月～1994年11月までの木炭区および対照区のクリモグラフ

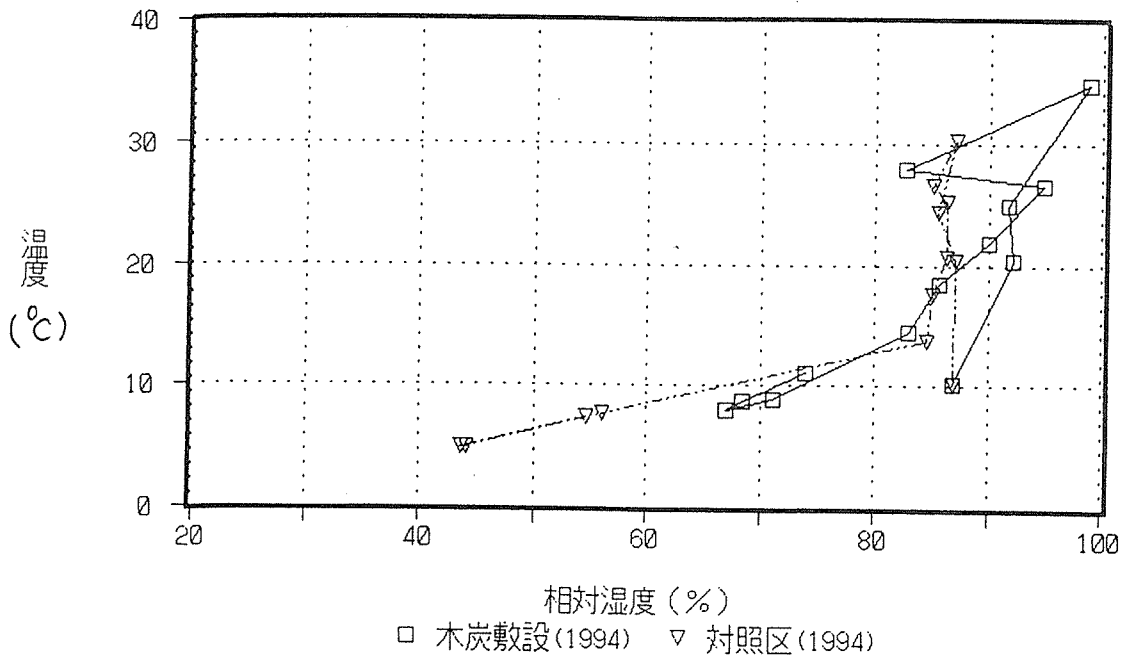


図9-22 岡崎市における1993年12月～1994年11月までの木炭区および対照区のクリモグラフ

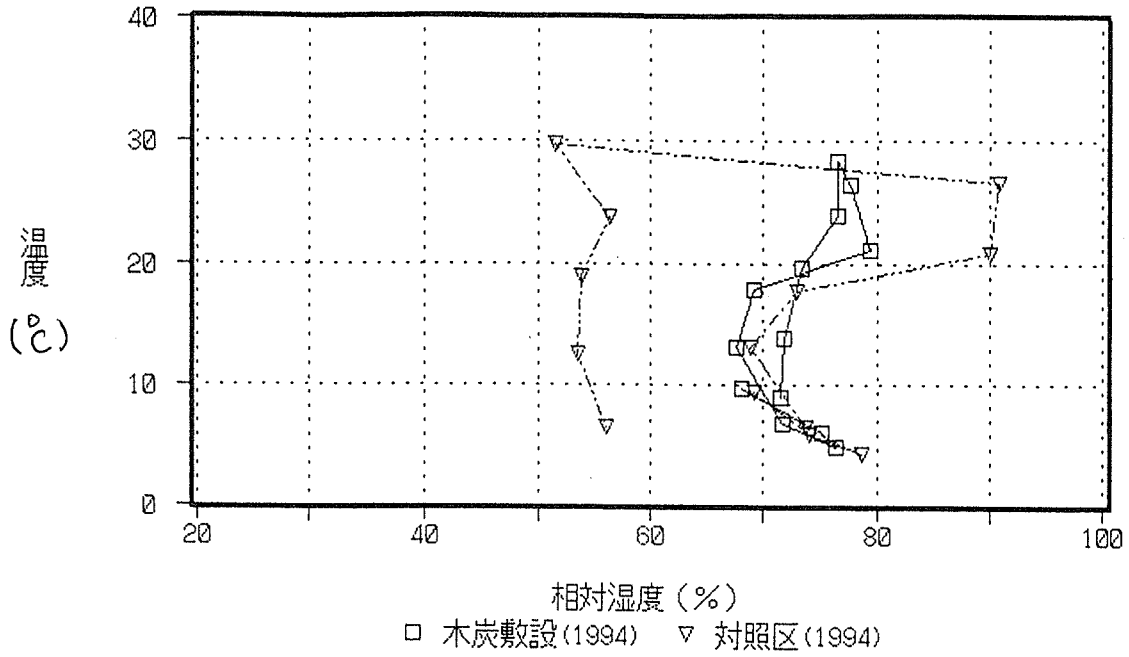


図9-23 富山市における1993年12月～1994年11月までの木炭区および対照区のクリモグラフ

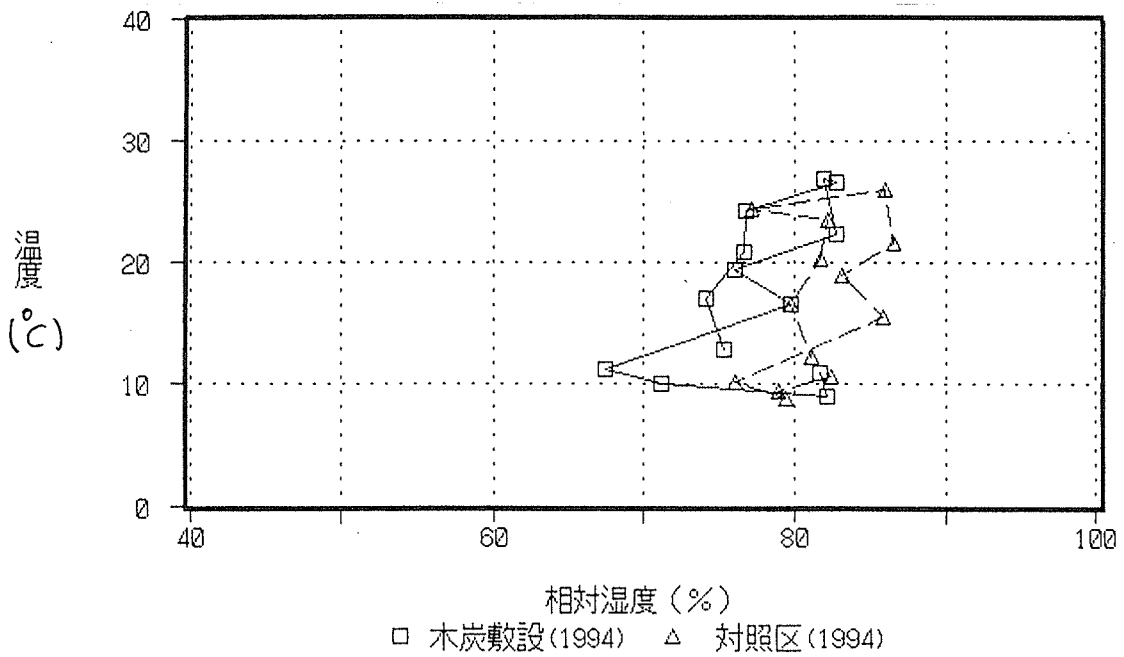


図9-20 鹿児島市における1993年12月～1994年11月までの木炭区および対照区のクリモグラフ

次に木炭を敷設しない冬期（1992年12月10日から1993年3月）および、梅雨期（1993年6月から9月）間に得られた4調査区の木炭の敷設予定の北側もしくは水周り（台所）区における木炭を敷設しない現況の床下気象環境（温度、相対湿度）の測定結果と月内較差をそれぞれ表9-7～10に示した。前述したように年間を通しての相対湿度の変動は、対照区では1992年12月を除いて84%から100%の範囲にあるのに対して、木炭区は7、8月は90%を越えることもあるが、測定の期間を通じて60%から90%の範囲にある。この対照区との比較に於いて、明らかに木炭の敷設の効果が見られる。

表9-7 冬期（1992年12月～1993年3月）の木炭敷設予定区と対照区の床下の期間内の相対湿度（%）

観測地	対照区				木炭区（予定）			
	平均	最高	最低	較差	平均	最高	最低	較差
つくば市	58.0	99.4	35.1	64.3	52.9	86.5	34.5	52.0
岡崎市	73.4	94.1	39.0	55.1	79.3	98.0	42.8	55.2
富山市	70.6	96.0	51.8	44.2	69.6	94.1	45.6	48.5
鹿児島市	75.9	100.0	49.3	50.7	79.3	90.8	46.5	48.8

表9-8 冬期（1993年12月～1994年3月）の木炭区のと対照区の床下の相対湿度（％）

観測地	対照区				木炭区			
	平均	最高	最低	較差	平均	最高	最低	較差
つくば市	66.3	100.0	33.5	66.5	64.6	99.9	32.7	67.2
岡崎市	49.6	95.4	--	--	70.2	93.8	55.3	38.5
高山市	72.8	100.0	37.6	62.4	73.9	88.5	45.6	42.9
鹿児島市	79.2	95.0	50.6	43.4	75.6	92.7	49.2	43.5

表9-9 梅雨期（1993年5月～1993年9月まで）の木炭敷設予定区の対照区の床下の期間内の相対湿度（％）

観測地	対照区				木炭区			
	平均	最高	最低	較差	平均	最高	最低	較差
つくば市	92.8	100.0	42.9	57.1	85.7	95.7	50.3	45.4
岡崎市	91.4	100.0	71.4	28.6	96.5	98.6	72.5	26.1
高山市	89.6	100.0	54.4	48.6	83.5	95.3	50.6	44.6
鹿児島市	90.1	96.9	75.1	21.8	88.1	94.5	78.2	16.3

表9-10 梅雨期（1994年5月～1994年9月まで）の木炭区と対照区の床下の
期間内の相対湿度（％）

観測地	対照区				木炭区			
	平均	最高	最低	月較差	平均	最高	最低	月較差
つくば市	86.8	100.0	40.8	59.4	83.6	92.8	46.6	46.2
岡崎市	90.5	100.0	69.7	30.3	85.9	92.7	69.2	23.5
富山市	72.3	100.0	45.6	54.4	75.8	89.4	33.3	50.1
鹿児島市	82.9	91.7	46.0	45.8	80.0	87.4	35.9	51.5

4. 2 実際に居住している住宅の床下における木材片の含水率の推移

1992年冬から1994年の冬にかけての2年間にわたる4地域（つくば、岡崎、富山、および鹿児島各市）における床下、対照区（押入）および外気に設置した木材の含水率の推移を図9-25～28に示した。ただし、木炭区については、1992年12月から1993年11月までは木炭を敷設していない。これらの図にも見れるように、いずれの地域においても木材の含水率はそれぞれの場所の相対湿度の変動に応じて変動している。すなわち、毎年4月から8月にかけて上昇し、夏は高含水率で推移するが、9月以降になると低下することがわかる。一方、対照区とした押入の木材の含水率は、当然のことながらいずれの地域でも13～14%であり、教科書通りである。

図9-25に示したようにつくば市においてはほぼ毎月のように外気において含水率がピークを示す位置があるが、これは毎月のように1回程度相当量の強い雨が降ったことに原因すると思われる。しかし、1993年の梅雨期における含水率はいずれの場所においても23～25%であったものが、1994年の同時期のそれは、高くても21%もしくは、それ以下となる。図9-26の岡崎市の1993年1月から1994年12月までの含水率の推移を見ると、木炭を敷設しない期間の梅雨期の木材片の含水率はすべて20%を越えている。空梅雨の年と言われたが、木炭を敷設した1994年の梅雨期は16～18%となり、1993年より低い位

置で推移しており、冬期と類似した含水率の推移を示した。一方、富山市（図9—27）の場合、外気、床下および木炭敷設予定の床下ともに夏、梅雨時期に20%近い高い含水率を示す時があったが、年間を通して総じて15%と非常に良い条件にある。ここでも、木炭を敷設することにより前年度より、含水率は低下する傾向を示している。次に鹿児島市（図9—28）の場合、この地域でも木材の含水率は1993年の冬において14%と低かったが、梅雨期に至って、100年に一度といわれる5月中旬から9月初旬にかけての未曾有の豪雨と台風が襲った異常気象を証明するように、この時期は外気、木炭を敷設しない床下の木材片の含水率は25%と非常に高い含水率の推移を示した。しかし、冬季にいたり外気が安定することにより、木材の含水率は14、5%を示し、水回りである台所床下における木材片の含水率も類似した値を示すようになった。ただし、1993年12月から1994年1月にかけて含水率が上昇した（矢印部分）のは、木炭区に出荷直後の木炭を敷設したことにより高い含水率を示したものと考えられる。その後、木炭を敷設後、翌年の5月から8月にかけての梅雨期～夏期における木炭区の含水率は、16、7%に増加するが、9月初旬には15%台に落ちつく。そして、冬場にいたると、木材片の含水率は14%程度を示し、対照区（押入）にある木材片も13%へと推移する。

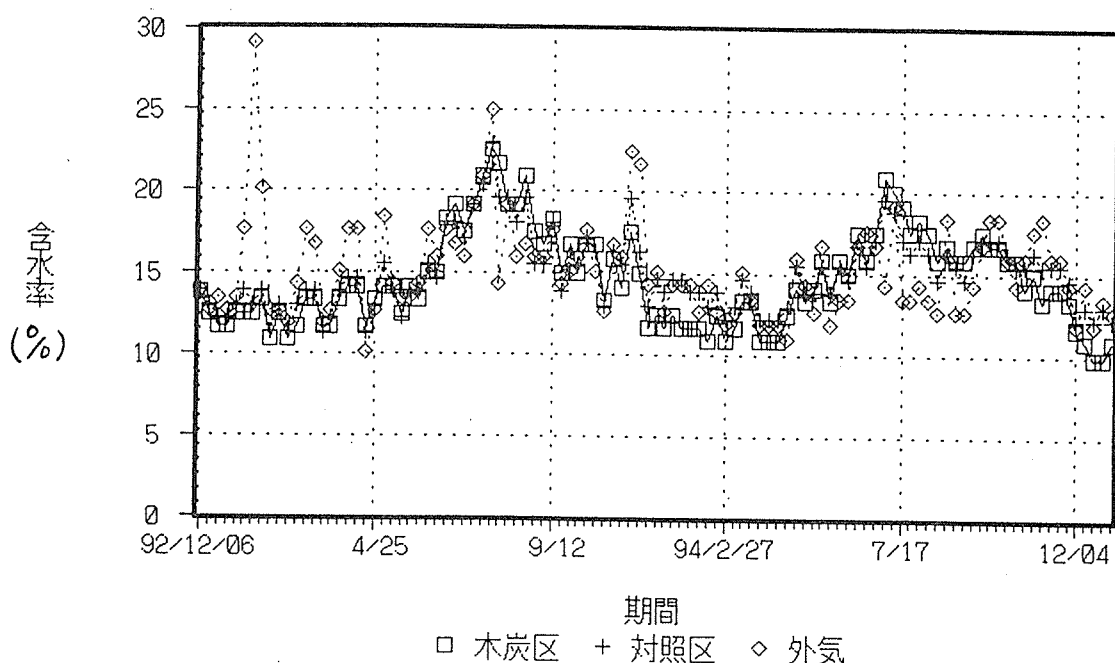


図9—25 つくば市における1992年12月～1994年12月までの木材片の週平均の含水率の推移

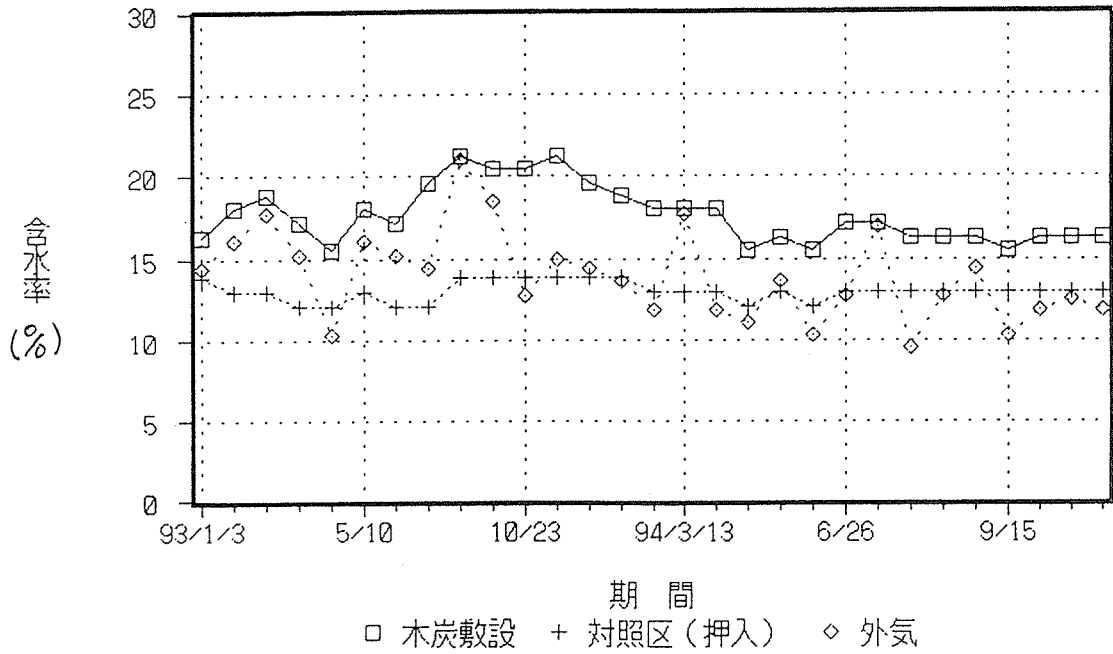


図9-26 岡崎市における1993年1月～1994年12月までの各測定場所の木材片の週平均の含水率の推移

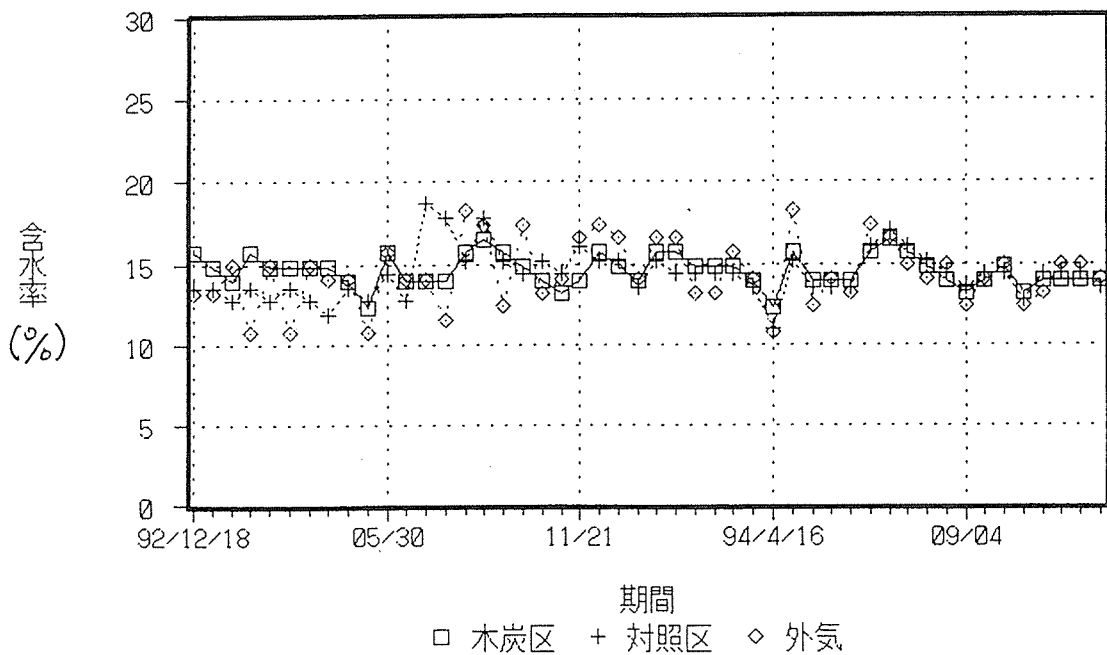


図9-27 富山市における1993年12月～1994年12月までの各測定場所の木材片の週平均の含水率の推移

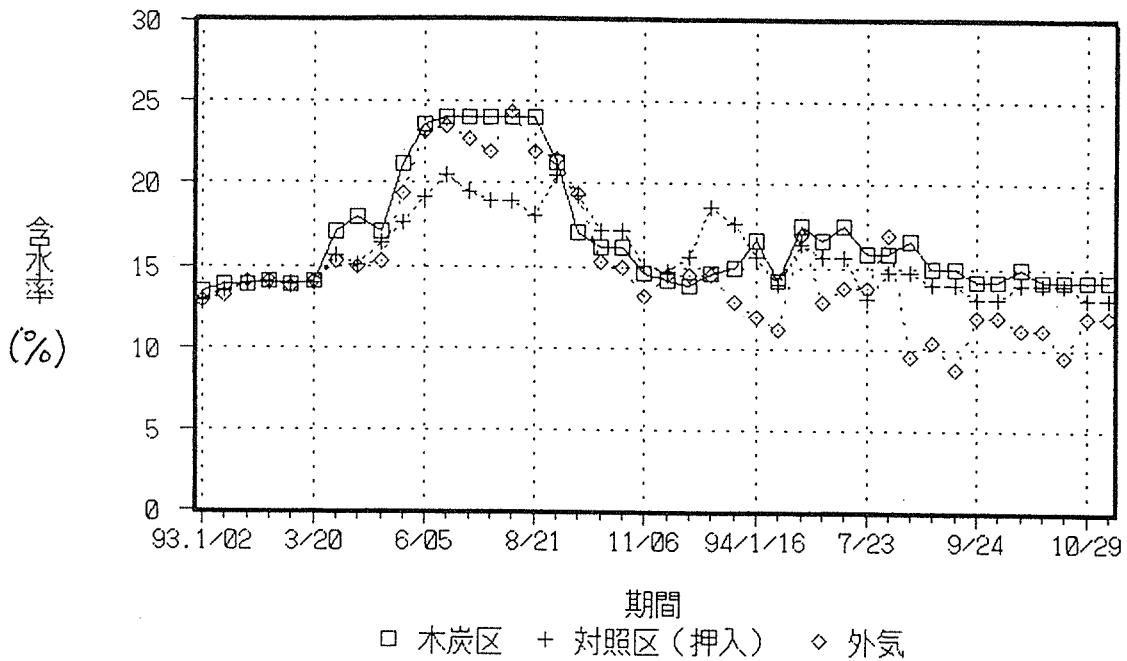


図9-28 鹿児島市における1992年12月～1994年12月までの各測定場所の木材片の週平均の含水率の推移

そこで、各地域の1992年12月～1994年12月までのそれぞれの測定場所の相対湿度とそれぞれの木材片の含水率の関係を、図9-29～32に示した。これらの図に見られるように、つくば市においては含水率が20%を超える場合は少ないが、飽湿状態に近い状態であると考えられる数字である。しかし、相対湿度が90～100%にあるにもかかわらず、含水率が低い。この原因は相対湿度の計測は瞬間のデータであるのに対し、含水率は1週間の蓄積量の値であることと、床下が防湿コンクリートに仕上げられていることに原因しているのかもしれない(図9-29)。

一方、図9-30に見られるように、岡崎市では木炭を敷設してない1992年12月から1993年11月までの相対湿度の間は80～100%を示すが、含水率は高々20%を示している。これが木炭を敷設した1993年12月以降になると、相対湿度の最大値は95%とわずかであるが、低下傾向を示し、含水率も16～17%へと減少している。

次に富山市における相対湿度と含水率の関係は図9-31に見られるように、含水率を測定した期間の相対湿度は対照区において90%以上になるが、他の場所は

高々90%である。しかし、天候そのものは年間を通じて相対湿度は100%となる日もあるので、この住宅の通常の床下換気が非常にうまく行われていることが考えられる。最後に鹿児島市の場合をみると、図9-32に見られるように、含水率を測定した期日前の1週間の相対湿度の平均値は90%を超えることが少ないが、外気及び対照区の含水率は20%を越え、当然飽和状態にあるが、1993年12月～1994年12月までの木炭敷設後の相対湿度は85%、含水率は18%程度まで低下してきた。

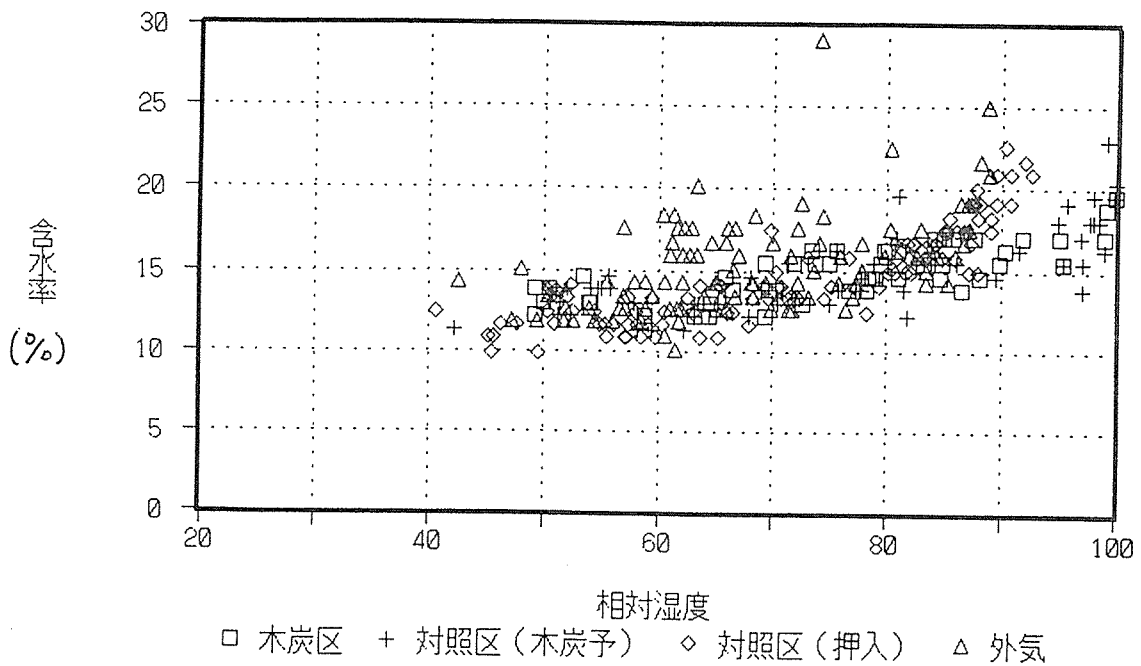


図9-29 つくば市における1992年12月から1994年12月までの週平均の相対湿度と木材の含水率の関係

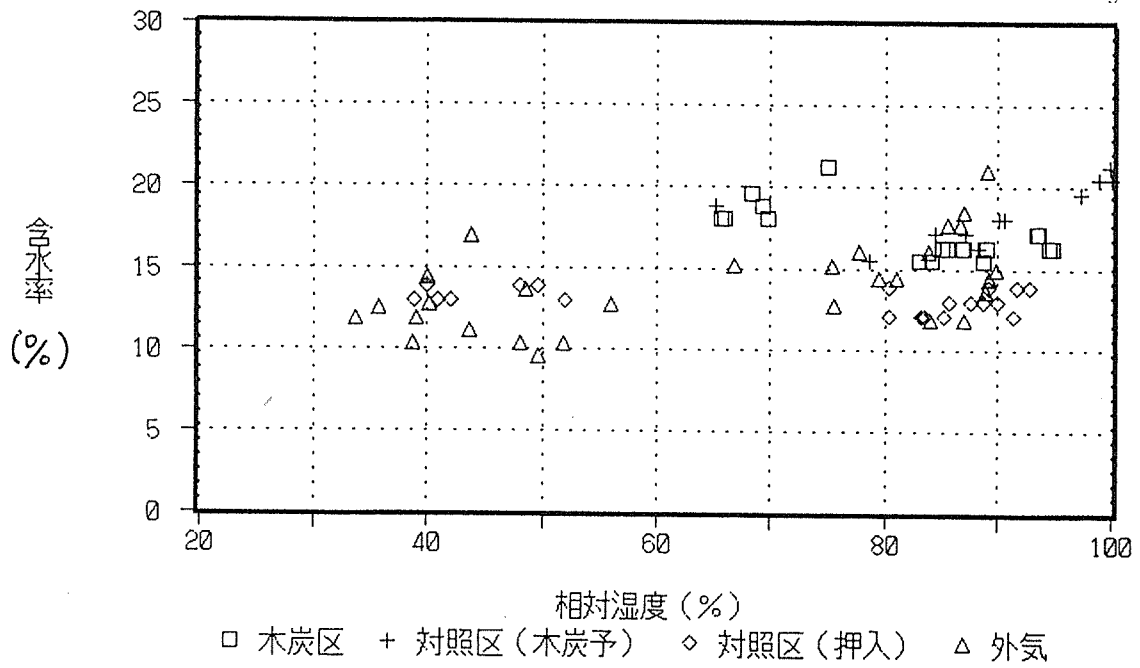


図9-30 岡崎市における1992年12月から1994年12月までの週平均の相対湿度と木材の含水率の関係

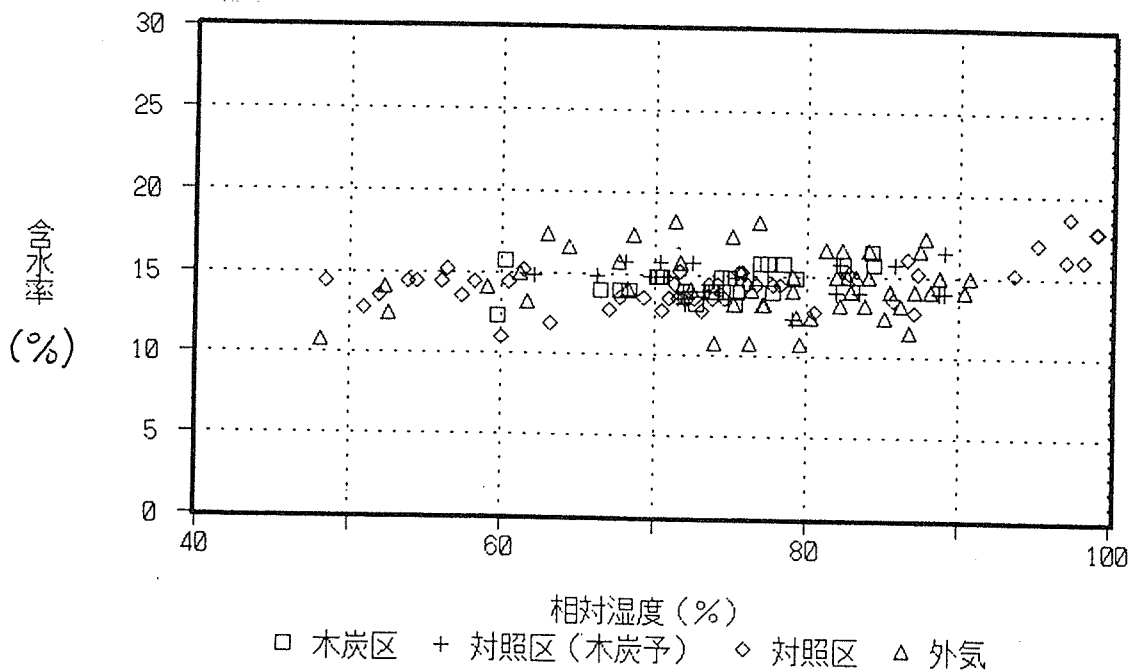


図9-31 富山市における1992年12月から1994年12月までの週平均の相対湿度と木材の含水率の関係

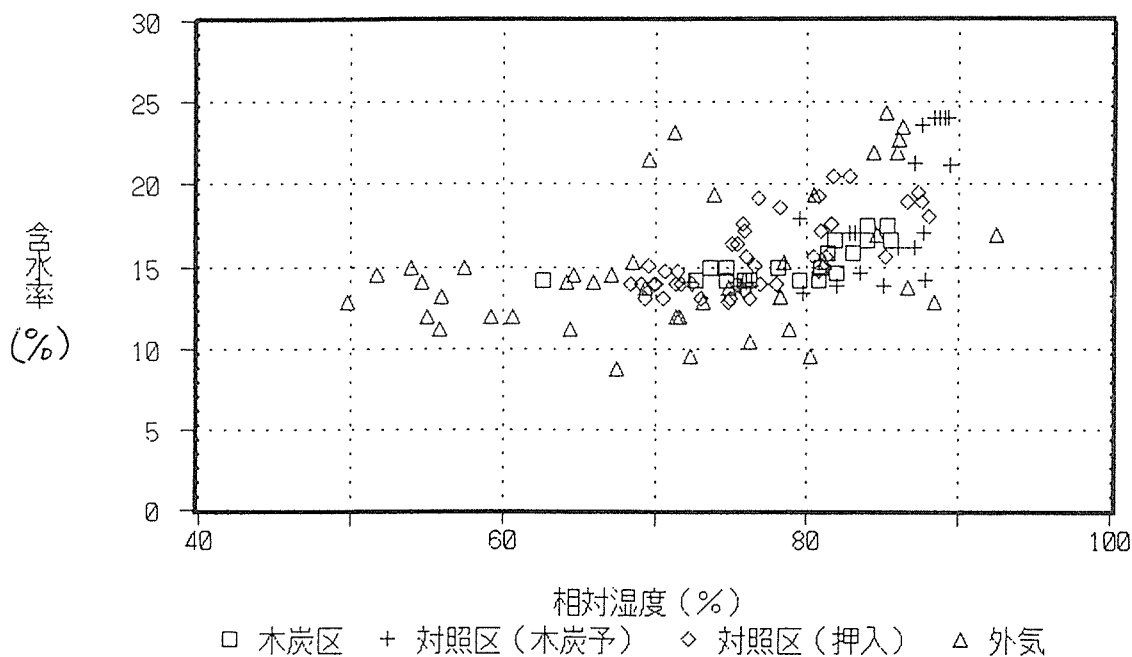


図9-32 鹿児島市における1992年12月から1994年12月までの週平均の相対湿度と木材の含水率の関係

次に、図9-33～34は各測定地域の木炭区（1992年12月から～1993年11月までは木炭の敷設なし）の2年にわたる床下の相対湿度と木材片の含水率の変動を示した。この図から明らかなように、全地域ともに木炭を敷設していない期間は相対湿度が上昇するにしたがって、木材の含水率も上昇する傾向を示す。この期間の木材含水率は同じ相対湿度でも木炭区の含水率よりもかなり高い値を示すことがわかる。これらの図から木炭を敷設しない期間の木炭区と敷設後の1993年12月から1994年12月までの木材の含水率と相対湿度の関係を、①相対湿度が上昇する5月から9月までと、②相対湿度が低下する10月から翌年の4月までに区分すると、1993年5月から9月にかけての木材含水率は相対湿度の上昇に伴って上昇するが、7月にはいると相対湿度は100%に近ずき、含水率も20%に近づく。一方、10月から11月にかけて相対湿度の低下にともなって、木材の含水率も低下する。

このように梅雨期になっても相対湿度は85%程度となり、含水率は15から17%（鹿児島市）へと低くなり、木炭敷設後の床下の気象環境は相対湿度100%

近くなることは少なくなり、含水率も14～16%程度に落ちつく。そして、冬場に入り、10月から12月にかけて14～16%になる。このような環境が継続されれば、次年度の相対湿度の高い夏期にはいっても、木材への吸湿量は小さく、低い含水率で推移することになるため、年間を通して低い含水率の期間が長くあることが期待されることになる。

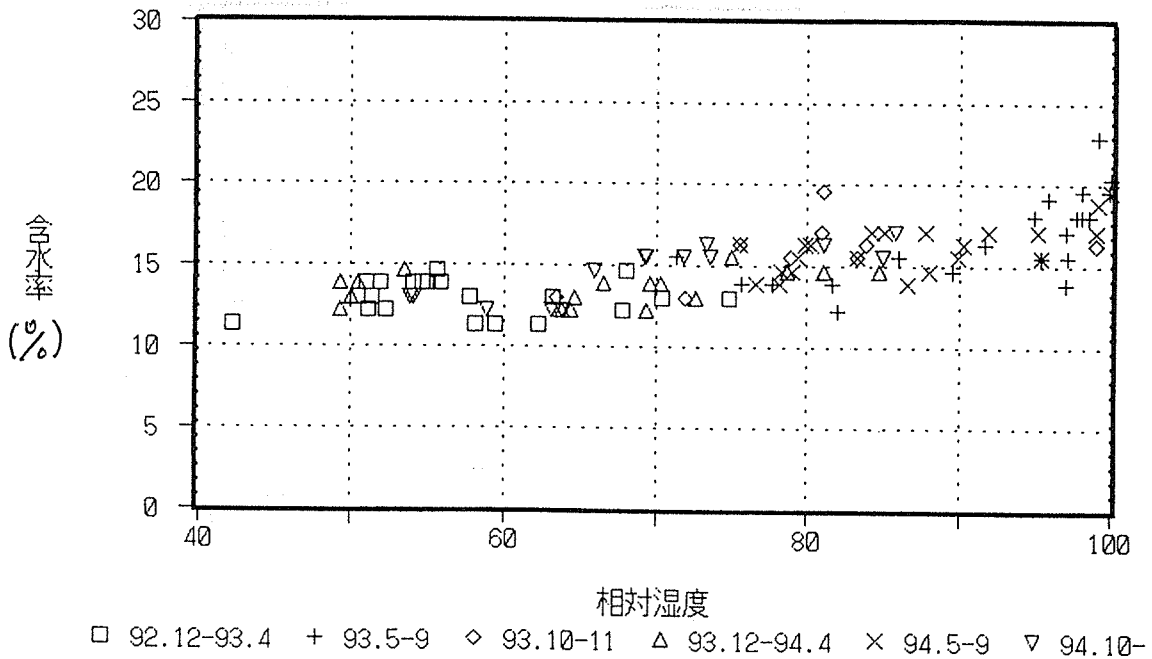


図9-33 つくば市における1992年12月から1994年12月まで木炭区における週平均相対湿度と木材含水率 (ただし、1992年12月～1993年11月までは木炭なし)

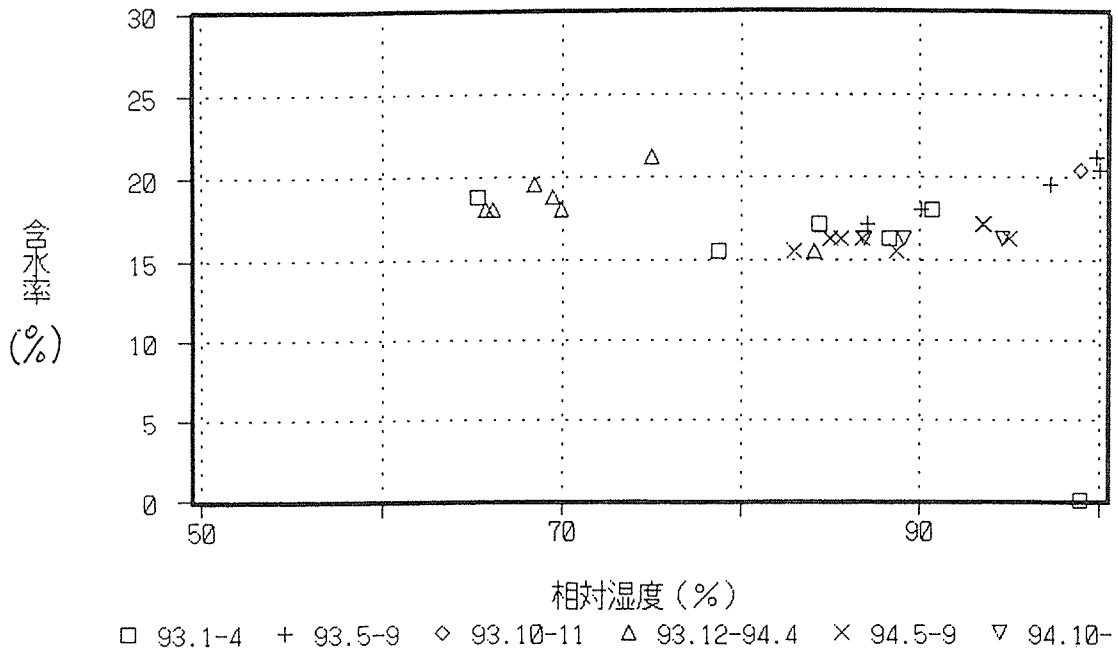


図9-34 岡崎市における1992年12月から1994年12月まで木炭区における週平均相対湿度と木材含水率 (ただし、1992年12月~1993年11月までは木炭なし)

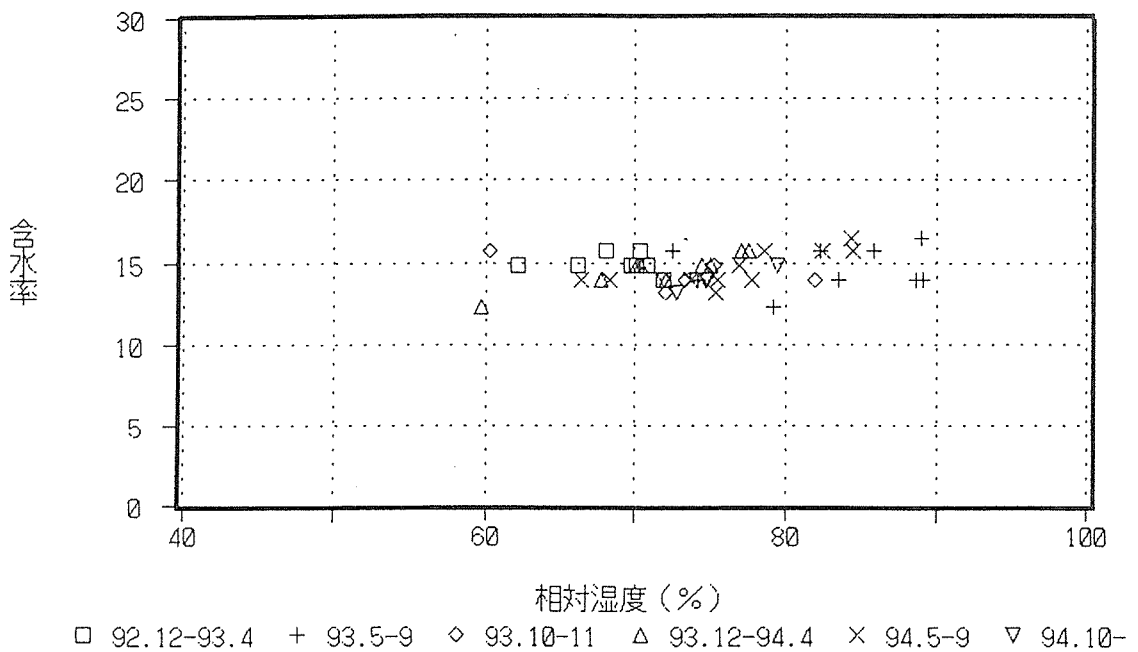


図9-35 富山市における1992年12月から1994年12月まで木炭区における週平均相対湿度と木材含水率 (ただし、1992年12月~1993年11月までは木炭なし)

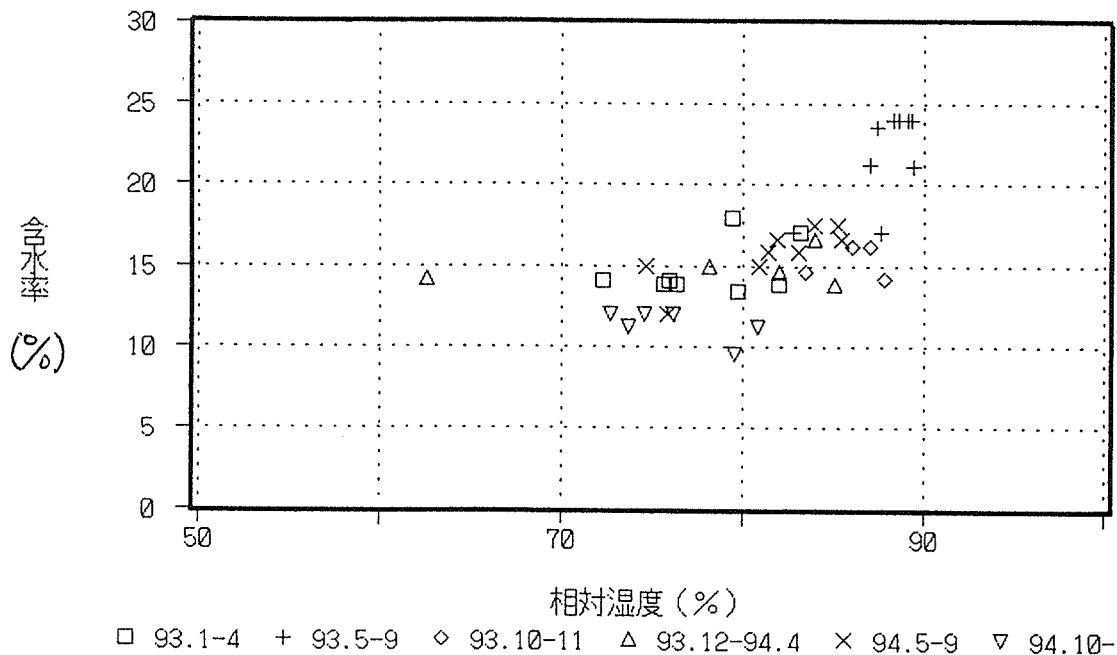


図9-36 鹿児島市における1992年12月から1994年12月まで木炭区における週平均相対湿度と木材含水率 (ただし、1992年12月～1993年11月までは木炭なし)

5. おわりに

住居とは、そこで暮らす人が肉体的・精神的にも安全で、健康に、快適に、満足して住める空間であり、住居の環境においては、居住者が生活するのに適したものでなければならない。

今日の住宅では、高機密性、高断熱性が叫ばれるが、室内は勿論、床下換気が十分でなく、床下部が外気と比べ相対湿度が高いという傾向がみられる。床下地盤部からの水蒸気を防ぐため、コンクリートによる布基礎や、ビニールシートが用いられる例も増えてきた。しかし、そういった状態では、自然の水循環が行われず、長い年月では水の腐敗も考えられる。このことはその上部に居住する人間の健康に決して良いとはいえない。そこで、1988年より床下の温度・相対湿度を、さらに、19

90年からは木炭を用いて床下環境の改善を試みるなど、モデル住宅を用いて過去6年間にわたり床下環境を測定してきた。これらの研究成果より、木炭を敷設することによる床下の気象環境の改善が見いだされたので、さらに、1992年11月末より実際に人が居住している木造住宅の床下における温・相対湿度の測定を行ってきている。これまでに得られた結果から、本報告では木炭を敷き込むことが床下環境の改善にどのように影響するかを解析し、木炭（建築廃材等木炭）の調湿機能を明らかにした。

すでに述べたように、居住中の住宅を使用するような実験は、各地域、各住宅の建築条件などがバラバラであり、大変難しい。この実験は本格的に開始後3年目であり、木炭の敷設による測定ははじめて1年目であり、今始まったばかりであるにもかかわらず、モデル実験住宅のデータ等も加えて考え合わせれば、床下への調湿材としての活用は有効であることの可能性が出てきた。

これまでの3年間にわたる木炭敷設による気象環境の改善の研究が、まだ途中にもかかわらず、平成7年3月（平成6年度予算）に鹿児島県大島郡和泊町内城小学校の木造校舎の新築（1,100m²）に伴い、町当局、町教育委員会の御理解により、校舎の全面積に木炭を敷設することができた。これまでの数年間の研究成果がまだ完成でなく、途中経過であるにもかかわらず、公的機関で取り上げていただいたことは、誠に光栄であり、本当に喜ばしいことである。関係機関に対してお礼を申し上げたい。このことから、大規模木造建築への応用例として、本研究の延長の実用例と位置づけ、平成7年3月よりデータロガーを設置し、床下気象環境の調査を開始した。平成7年度から8年度までの2年間にわたりデータ収集の予定であり、大規模面積のデータとしても格好の研究に結論にいたることが期待されている。

本調査研究は本計画の中で、これからさらに2年間にわたり、全国各地で同時平行して行われる。この研究を続け、なるべく早急に成果を得て、地域の林業、林産業界への提案が出来ればと考えている。

この研究を取り上げるに際し、無理にお願いしたにもかかわらず、自宅を提供いただいた皆様にただ感謝するのみである。そして、今後の御協力方お願いする次第である。

参考文献

- 1) 木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会：木質廃棄物再資源化技術開発事業報告（Ⅱ）、（再資源化技術開発事業）、（財）日本住宅・木材技術センター（平成5年3月）
- 2) 木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会：木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書（Ⅲ）、（再資源化技術開発事業）、（財）日本住宅・木材技術センター（平成6年3月）

第10章 木質系水産資材の開発

1 はじめに

木材は過去に何度となく「木材魚礁」という形で提案されてきた。一般に魚礁とは集魚施設を指し、昭和初期から国策として造成が進められ現在に至っている。魚礁として用いられる材料の主流はコンクリートブロックであるが、近年はプラスチック、ゴム、鋼、石など、多種多様のものが用いられるようになり、木材もそれら材料の一つとして数えられている。しかし、木材は海中における耐久性の不安定さから積極的に利用された例は少なく、木質系材料の海中設置が海洋生態に及ぼす効果についての評価も様々である^{1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)}。

本研究で取り組む木質系水産資材とは、前述の集魚施設ではなく、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^{14), 16)}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^{15), 16)}を期待する「藻礁」である。この藻礁を目標とした理由は、次のとおりである。

- ① 北海道の日本海沿岸部で発生して大きな問題となっている、磯焼け^{9), 10), 11), 12)}の対策として需要が期待できる。
- ② 木質材料とセメントの成形体を藻礁とすることにより、海草の付着に影響を及ぼす表面性、空隙度、形状、耐久性をコントロールすることができる。

本研究は、木材の用途拡大に大きな期待の寄せられる水産資材として木質・セメント成形体による藻礁を取り上げ、試作した藻礁の海中設置とその経時観察により、その有効性を検討したものである。

2. 木質・セメント成形体による藻礁の試作

木質材料を海中投入する場合、海中での耐久性が問題視される。海中での耐久性には、波力に対する強度などの物理的性能よりも、フナクイムシやキクイムシによる生物的劣化（食害）に対する耐久性が大きな問題である。また、木質系廃棄物を再資源化して利用する場合、有害物質の除去（例えば防腐土台の除去など）には細心の注意を払わねばならない。

本研究においては、実験室レベルで人工藻礁の試作を行ったため、木質の有害部分、異物などは手作業で完全に排除し、また、海中での耐久性を向上させるために、セメントを結合材として木質・セメント成形体とした。

2.1 原料

試験片の製造に用いた原料を、表10-1に示す。

木質原料は、安価で現在流通している5種類の木質小片とした。

表10-1 試験片の製造に用いた原料

木質原料

①建築解体材チップ

柱・梁等の住宅解体材から大きな異物を手作業で除去した後、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チップ（パーティクルボード原料）。樹種は主にエゾマツ、トドマツであるが、ラワン等の広葉樹も含まれる。

（(財)札幌市環境事業公社より入手）

②製材背板からの小片

製材工程から出る背板を長さ30cm程度に切断したものを、ハンマークラッシャーで粉砕したもの。樹種はトドマツ。

（当場内にて入手）

③原木の剥皮時に出る細片

原木をヘッドバーカーで剥皮する際に生じるスリット状のもの。樹種はトドマツ。

（当場内にて入手）

④パルプチップ

製材工程で出る端材をチップパーでパルプチップ用に粉砕した際、再粉砕を要する程度の大型小片を篩部分で採取したもの。樹種はトドマツ。

⑤木毛

木毛セメント板工場から入手した木毛。樹種はエゾマツ。

（成井農林綸より入手）

補助材料

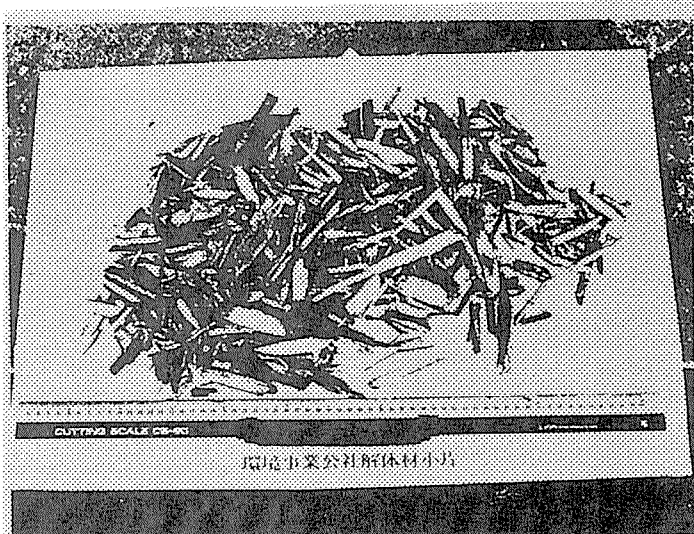
○市販の粒炭（北海道上川郡、下川森林組合製）

結合材

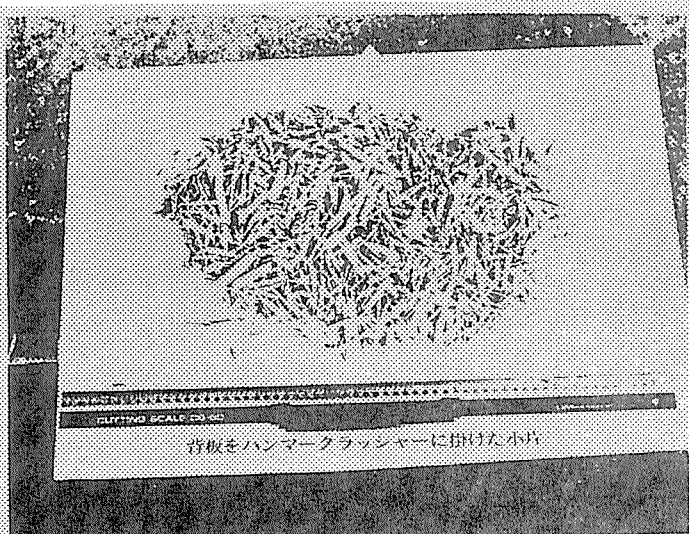
○普通ポルトランドセメント

添加剤

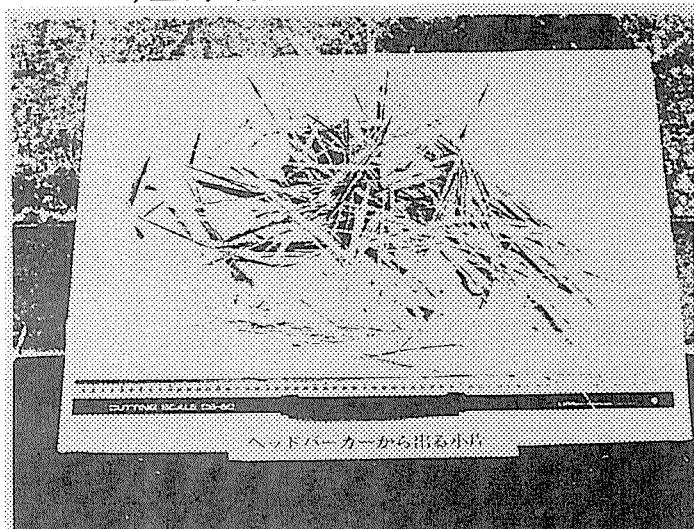
○セメント硬化促進剤（塩化マグネシウム）



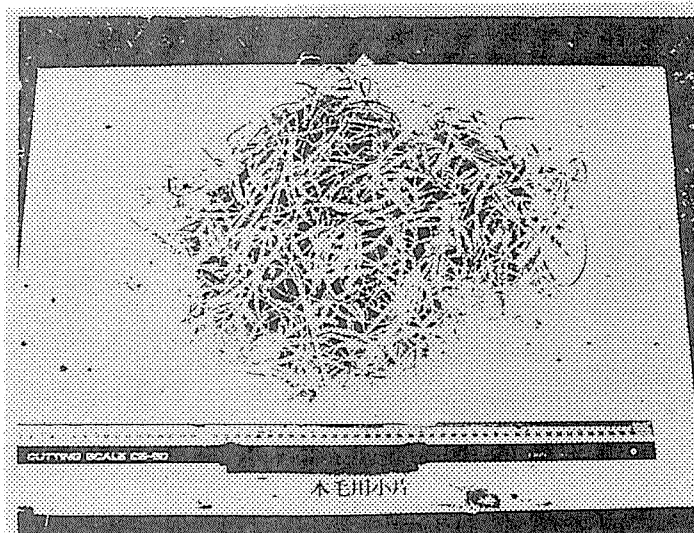
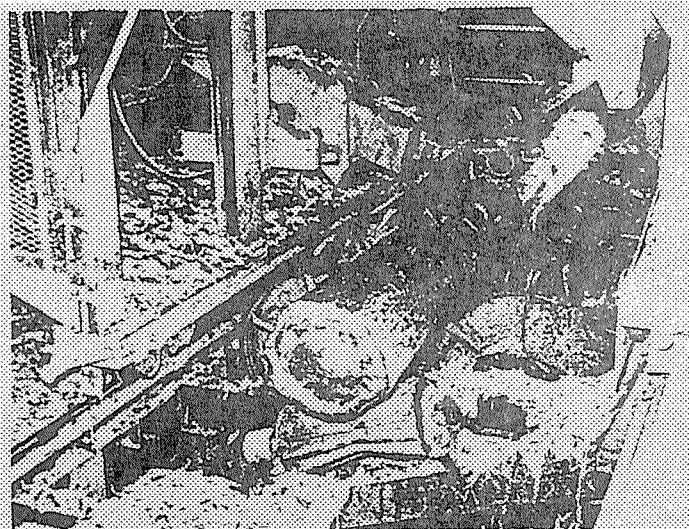
建築解体材チップ



製材背板からの小片



剥皮時に出る細片



木毛



パルプチップ



炭素（粉状）

普通ポルトランドセメント

硬化促進剤

写真10-2 補助材料・結合材・添加剤

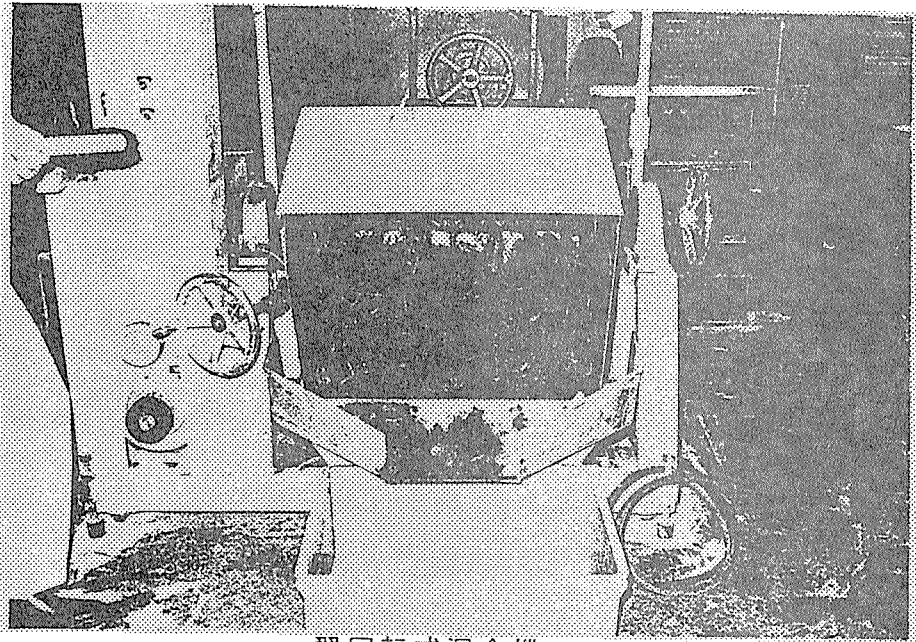
2.2 試験片（木質・セメント成形体）の製造

試験片は、表10-2に示す製造条件で製造した。

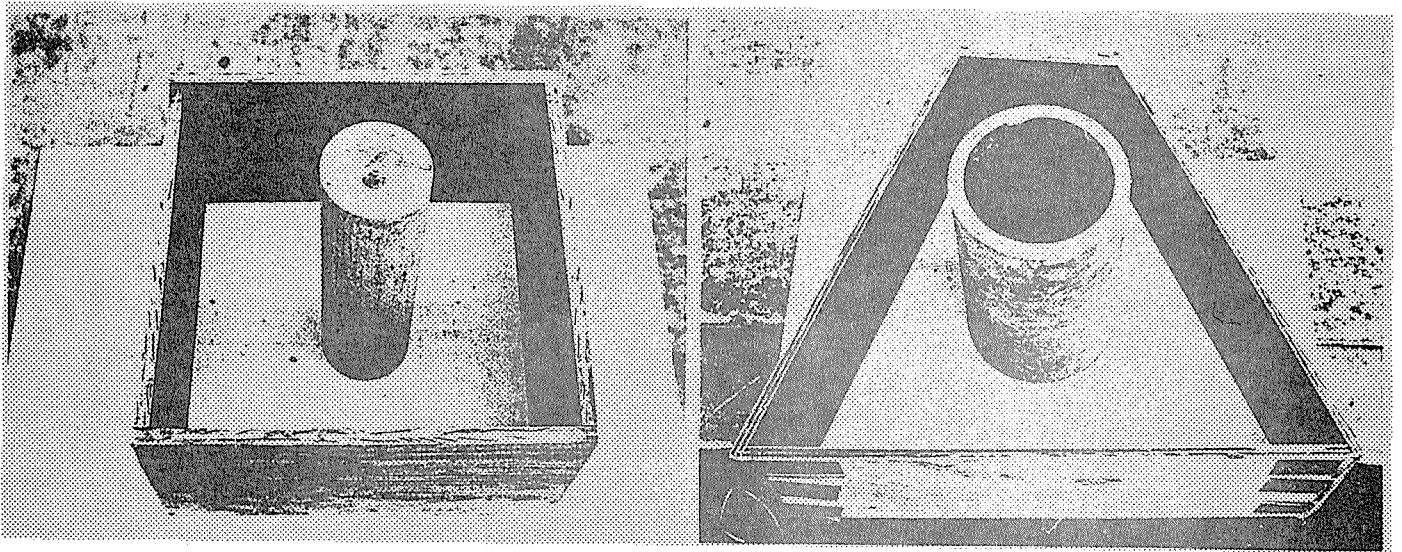
原料の混合は、翼回転式混合機で行った。混合物のマットフォーミングは、型枠を用いて手作業で行い、試験片中央部に波力の抵抗を減少させる目的で、直径8cmの貫通孔を設けた。圧縮には手動コールドプレスを用い、厚さ規制によって加圧した。養生は加圧状態で室温中に一昼夜、その後解圧して20℃・RH65%の恒温恒湿室で一週間程度養生した。なお、成形体の厚さは、当初10cmを目標値としたが、原料の調達状況から一定ではない（表10-3参照）。

表10-2 試験片（木質・セメント成形体）の製造条件

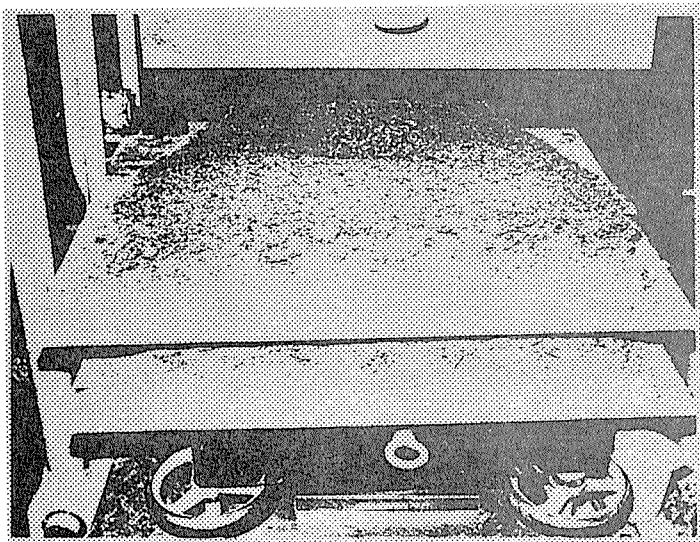
試作 年度 (平成)	試作 条件	木質原料 の種類	木質／セメント比 (絶乾重量比)	補助材料 添加率 (対セメント重量(%))	硬化促進剤 添加率 (対セメント重量(%))
5	A	製材背板からの小片	20/80	—	3
	B	剥皮時に出る細片	20/80	—	3
	C	建築解体材チップ	40/60	5	3
	D	建築解体材チップ	30/70	—	3
	E	パルプチップ	30/70	—	3
6	F	建築解体材チップ(95%) +木毛(5%)	25/75	—	3



翼回転式混合機



フォーミング用型枠



ハンドコールドプレス

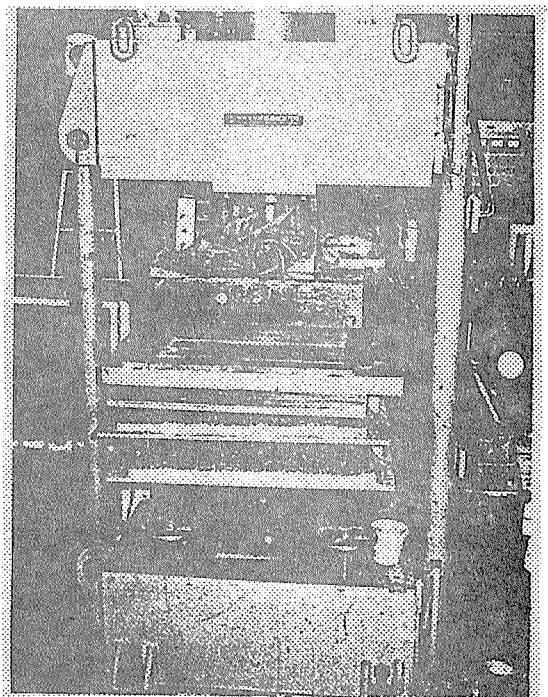


写真10-3 試験片の製造に用いた装置類

2.3 試験体の組立て

鋼材を溶接して作った架台に試験片を止め付けて試験体とした。

架台は、写真10-4および図10-1に示した水平設置型と傾斜設置型の2種類である。

組立てた5種類の試験体の構成を、表10-3に示す。水平設置型架台の試験体は、1試験体に4種類の成形体と、比較材料としてコンクリートブロックおよび木材単体（トドマツ板材）、計6試験片を取り付けた。傾斜設置型架台の試験体は、1種類の成形体を4面に取り付けた。

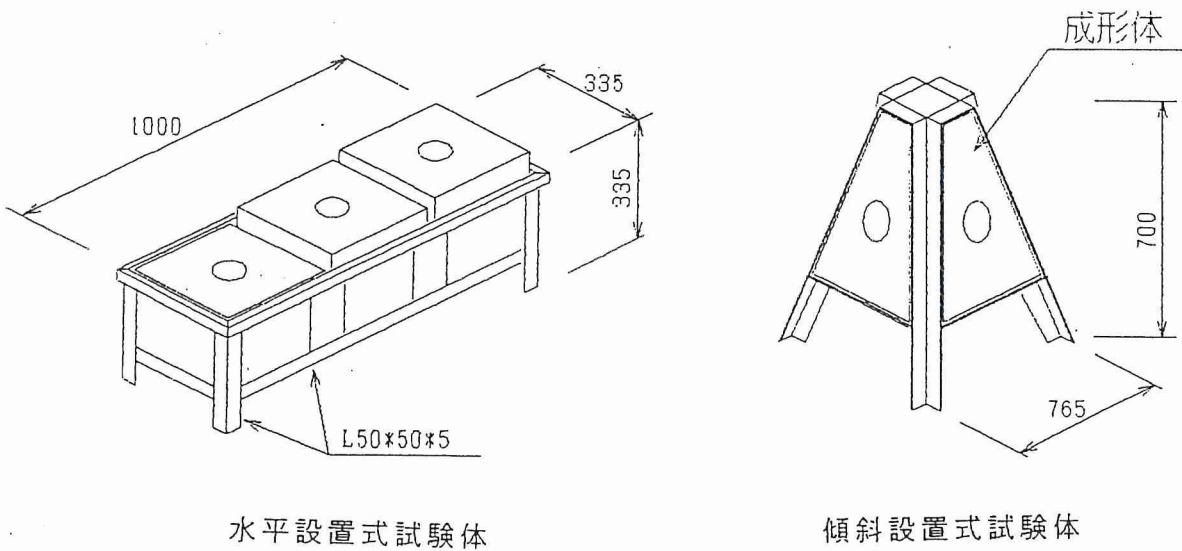


図10-1 2種類の架台の概要

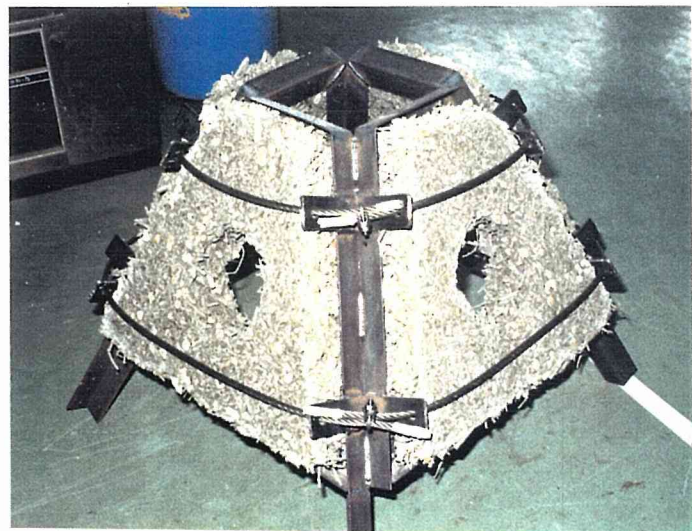
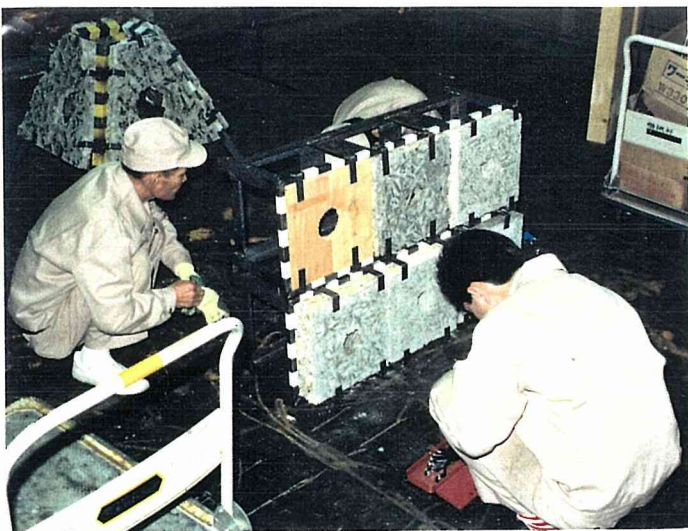


写真10-4 水平設置型架台試験体と傾斜設置型架台試験体の概要

表10-3 5種類の試験体の構成

投入 年度 (平成)	試験体架台 No. の種類	取り付けた試験片の種類	厚さ (cm)
5	I 水平設置型	1. 試作条件Aの成形体(製材背板からの小片)	10
		2. 試作条件Dの成形体(建築解体材チップ)	10
		3. コンクリート板	8
		4. 試作条件Bの成形体(剥皮時に出る細片)	7
		5. 木材単体(トドマツ板)	4
		6. 試作条件Cの成形体(建築解体材チップに炭添加)	5
5	II 水平設置型	1. 試作条件Dの成形体(建築解体材チップ)	10
		2. コンクリート板	8
		3. 試作条件Aの成形体(製材背板からの小片)	10
		4. 試作条件Cの成形体(建築解体材チップに炭添加)	5
		5. 試作条件Bの成形体(剥皮時に出る細片)	7
		6. 木材単体(トドマツ板)	4
5	III 水平設置型	1. コンクリート板	8
		2. 試作条件Aの成形体(製材背板からの小片)	10
		3. 試作条件Dの成形体(建築解体材チップ)	10
		4. 試作条件Bの成形体(剥皮時に出る細片)	7
		5. 試作条件Cの成形体(建築解体材チップに炭添加)	5
		6. 木材単体(トドマツ板)	4
5	IV 傾斜設置型	1. 4面ともに試作条件Eの成形体(パルプチップ)	6
6	V 傾斜設置型	2. 4面ともに試作条件Eの成形体 (建築解体材チップ+木毛)	10

3 試験体の海中投入試験

3.1 海中投入試験地

北海道立中央水産試験場、北海道東海大学工学部海洋開発工学科の指導と、小樽漁業協同組合、北海道大学理学部臨海実験場の協力を得て、北海道小樽市忍路町にある忍路湾(オシロワン)に試験地を設定した。

試験体の投入箇所を、図10-2および写真10-5に示す。

試験体の投入は、地元漁業協同組合の協力を得て、小型漁船から海中に投入し、ギャフを用いて安定の良い海底に設置した。試験体の設置箇所は水深1.2m~2.0mで、藻類が生育するのに十分な日射が試験体に到達し、海上、海面からの観察が容易な場所とした。

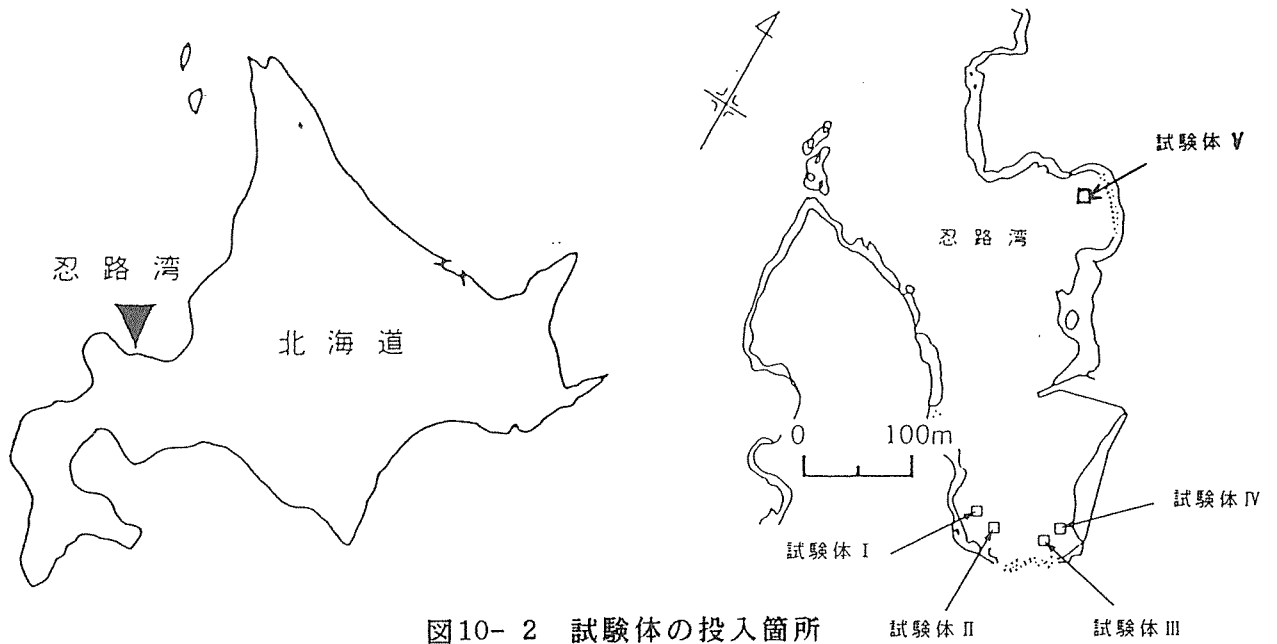


図10-2 試験体の投入箇所

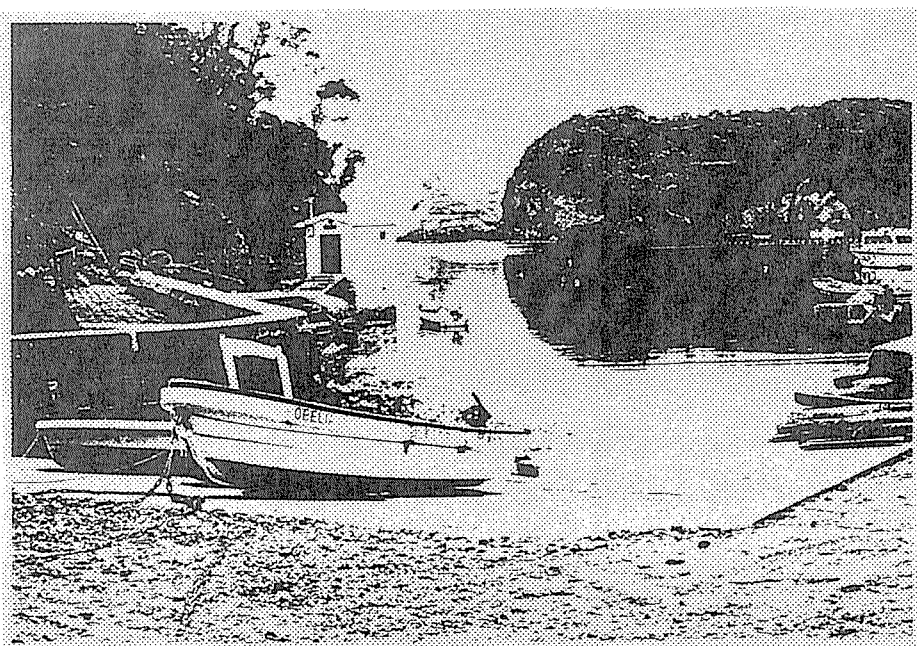


写真10-5 試験地(忍路湾)の概観

3.2 試験体の観察方法

試験体への付着を期待するコンブなどの藻類は、10~12月に遊走子を放出し、1~2月に発芽して5月頃まで活発に伸長生長する¹⁴⁾ため、試験体の経時観察は冬期から春期となる。

観察方法は、潜水の講習を受けた者がドライスーツを着用し、シュノーケリングしながら水中カメラによる写真撮影である。また、天候が良い時は、試験体を小型漁船に引き上げて、試験体の劣化状況、生物害（食害等）の発生状況、藻類の付着状況、海棲生物のい集状況などを調査した。

試験体の経時観察風景を写真10-6に示す。



写真10-6 試験体の経時観察風景

3.2 観察結果

試験体の海中投入および観察経過を、表10-4に示す。

試験体Ⅰ・Ⅱの設置箇所は水深約2m、試験体Ⅲ・Ⅳの設置箇所は水深約1.5m、試験体Ⅴの設置箇所は水深約1.2mである（図10-2参照）。

表10-4 試験体の海中投入および観察経過

投入 年度 (平成)	投入日	投入後の経過日数			観察内容等
		試験体 Ⅰ,Ⅱ	試験体 Ⅲ,Ⅳ	試験体 Ⅴ	
5	1993/10/25-26	-	-	-	投入海域の事前調査
	10/28	0	-	-	試験体Ⅰ,Ⅱの投入
	11/6	8	-	-	調査1（水中写真撮影）
	12/1	33	0	-	試験体Ⅲ,Ⅳの投入
	1994/1/31	94	61	-	調査2（船上から観察）
	2/28	122	89	-	調査3（試験体Ⅰを船上に引き上げ観察）
6	3/17	139	106	-	調査4（試験体Ⅰ,Ⅳを船上に引き上げ観察。水中写真撮影）
	9/29	335	302	-	調査5（水中写真撮影。全試験体を船上に引き上げ観察）
	12/1	398	365	0	試験体Ⅴの投入
	1995/2/23	482	449	84	調査7（水中写真撮影。全試験体を船上に引き上げ観察）
6	3/23	510	477	112	調査8（水中写真撮影。試験体Ⅰ以外を船上に引き上げ観察）
					調査9（水中写真撮影。全試験体を船上に引き上げ観察）

3.2.1 試験体 I の観察結果

試験体 I の経時観察結果を、表10-5および写真10-7に示す。

表10-5 試験体 I の経時観察結果

観察日	試験片 1 背板小片	試験片 2 解体材 チップ	試験片 3 コンクリート板	試験片 4 剥皮細片	試験片 5 トドマツ板	試験片 6 解体材 チップ + 炭	備考
93.10.28							投入日
11.6	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	
12.1	//	//	//	//	//	//	
94.1.31	//	//	//	//	ウルシグサ	//	
2.28	アオサ	アオサ	アオサ	アオサ	アオサ 少々	アオサ	
3.17	アオサ 少々 ホンダワラ	アオサ ホンダワラ	アオサ 少々 ホンダワラ	アオサ ホンダワラ 少々	アオサ 少々 ウルシグサ	アオサ ホンダワラ	
9.29	アオサ	アオサ ホンダワラ	全面アオサ	アオサ ホンダワラ 少々	ホンダワラ	アオサ コンブ 1本	
12.1	ホンダワラ	ホンダワラ	アオサ 15本	ホンダワラ	ホンダワラ	ホンダワラ コンブ 1本	トドマツ板に キクイ・フナクイムシ
95.2.23	-----	-----	ホンダワラが目立つ	-----	-----	-----	//
3.23	-----	-----	全体的にホンダワラ	-----	-----	-----	//
		裏面の 木チップ 剥がれ	ワカメ 少々	アオサ 少々		裏面の 木チップ 剥がれ	



(1994年 3月 投入後139日)



(1994年 9月 投入後335日)

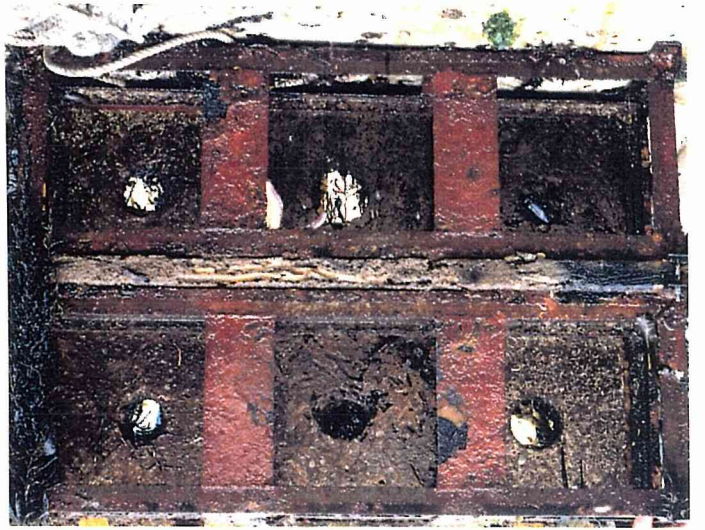


(1994年12月 投入後398日)

写真10-7 試験体 I の経時観察結果



(1995年 2月 投入後482日)



(1995年 3月 投入後510日)

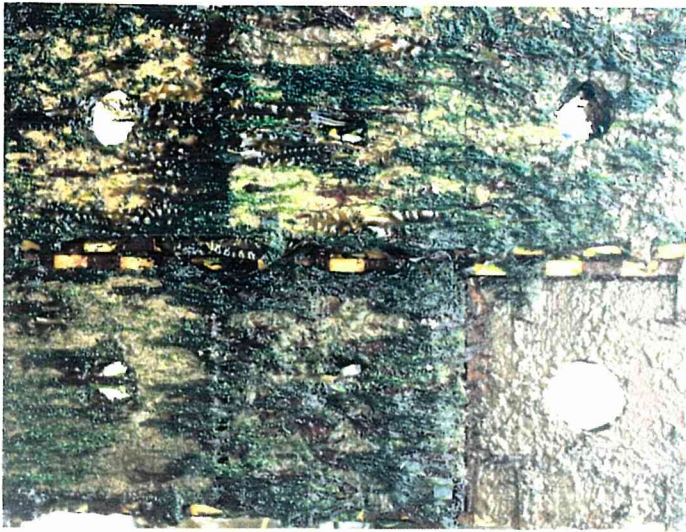
写真10-7 試験体 I の経時観察結果 (つづき)

3.2.2 試験体Ⅱの観察結果

試験体Ⅱの経時観察結果を、表10-6および写真10-8に示す。

表10-6 試験体Ⅱの経時観察結果

観察日	試験片 1 解体材 チップ	試験片 2 コンクリート板	試験片 3 背板小片	試験片 4 解体材 チップ + 炭	試験片 5 剥皮細片	試験片 6 トドマツ板	備考
93.11. 6							投入日
11. 6	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	
12. 1	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	
94. 1.31	〃	〃	〃	〃	〃	ウルシグサ	
2.28	-----全体としてアサが見られた-----						
3.17	アサ ホンダワラ	アサ 少々 ウルシグサ	アサ 多数 ウルシグサ	アサ 少々 ホンダワラ	アサ ウルシグサ	アサ 少々 ウルシグサ	
9.29	アサ ホンダワラ	アサ	全面アサ	アサ 少々 ホンダワラ	アサ 少々 ホンダワラ	ホンダワラ 少々	
12. 1	ホンダワラ	ホンダワラ	全面アサ	ホンダワラ	ホンダワラ	ホンダワラ	トドマツ板に キイ・フナクイムシ
95. 2.23	ホンダワラ	ホンダワラ	アサ 5本 ワカメ	ホンダワラ	ホンダワラ	ホンダワラ	〃
3.23	-----全体的にホンダワラ-----						〃
		ワカメ 2本		アサ			



(1994年 3月 投入後139日)



(1994年 9月 投入後335日)

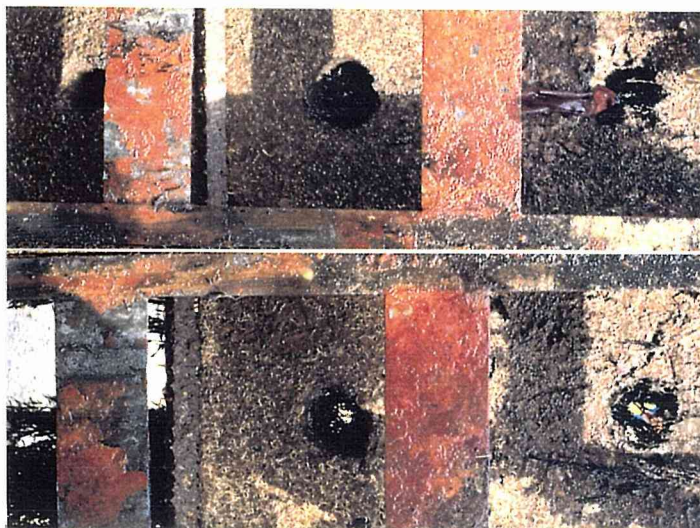


(1994年12月 投入後398日)

写真10-8 試験体Ⅱの経時観察結果



(1995年 2月 投入後482日)



(1995年 3月 投入後510日)

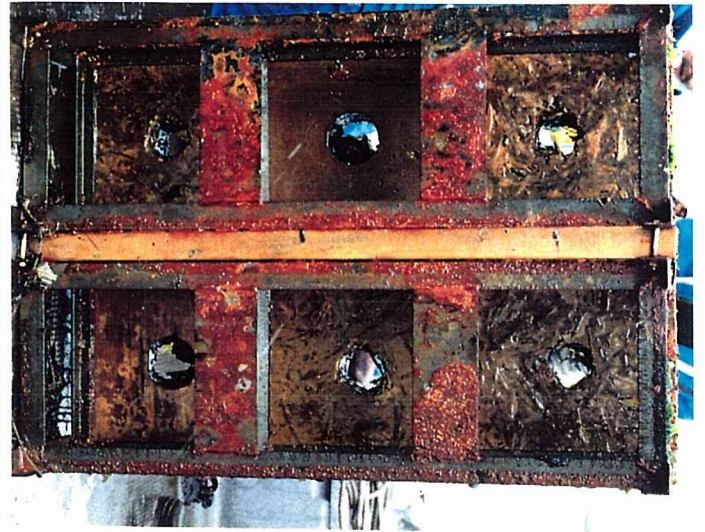
写真10-8 試験体Ⅱの経時観察結果(つづき)

3.2.3 試験体Ⅲの観察結果

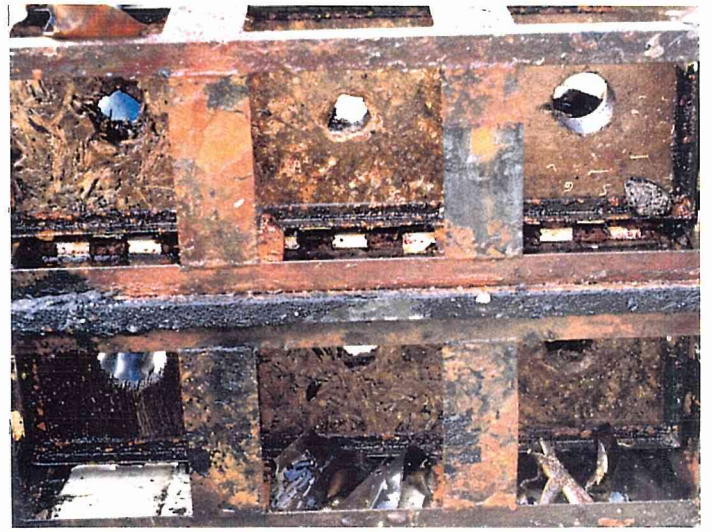
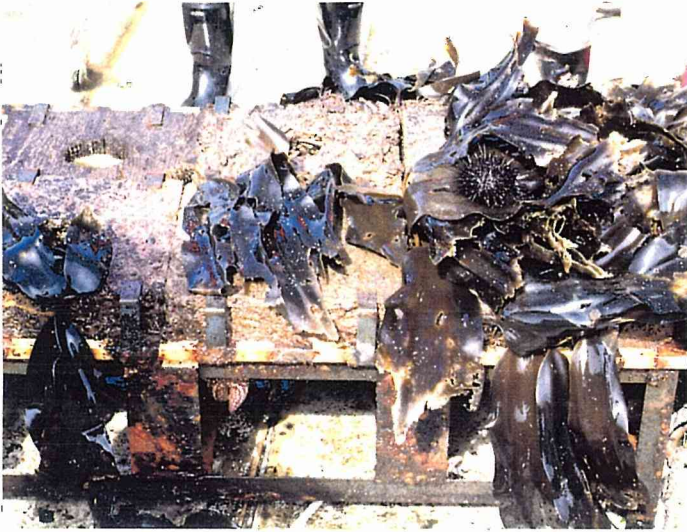
試験体Ⅲの経時観察結果を、表10-7および写真10-9に示す。

表10-7 試験体Ⅲの経時観察結果

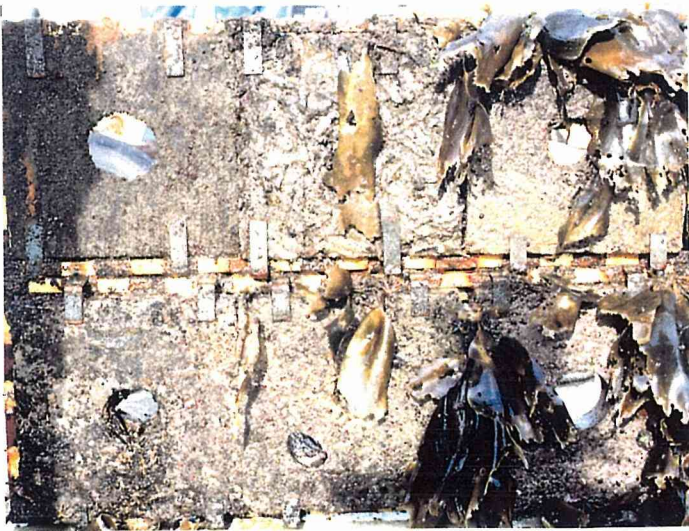
観察日	試験片1 解体材 チップ	試験片2 コンクリート板	試験片3 背板小片	試験片4 解体材 チップ+炭	試験片5 剥皮細片	試験片6 トドマツ板	備考
93.12.1							投入日
94.1.31	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	
2.28	-----全体としてアサが見られた-----						
3.17	アサ コンブ	アサ コンブ	アサ コンブ	アサ コンブ	アサ コンブ	変化なし	
9.29	コンブ 多数	コンブ	コンブ	コンブ	コンブ 少々	なし	トドマツ板に キクイ・フナクイムシ
12.1	コンブ 37本	コンブ 17本	コンブ 5本	コンブ 26本	コンブ 4本	なし	〃
95.2.23	ワカメ 7本 コンブ 5本	ワカメ	フクロリ	ワカメ 少々	全面ワカメ	なし	〃
3.23	ワカメ コンブ	ワカメ	ワカメ 多数	ワカメ 少々	全面ワカメ	ワカメ 少々	〃



(1994年 3月 投入後106日)



(1994年 9月 投入後302日)

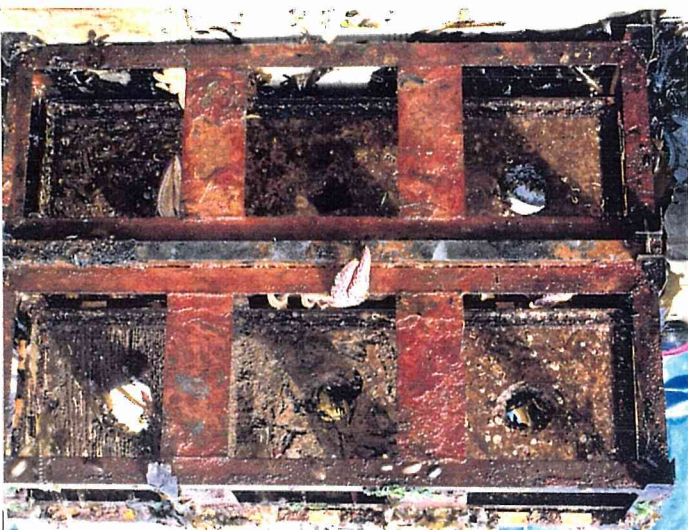


(1994年12月 投入後365日)

写真10-8 試験体Ⅲの経時観察結果



(1995年 2月 投入後449日)



(1995年 3月 投入後477日)

写真10-8 試験体Ⅲの経時観察結果(つづき)

3.2.4 試験体Ⅳ，Ⅴの観察結果

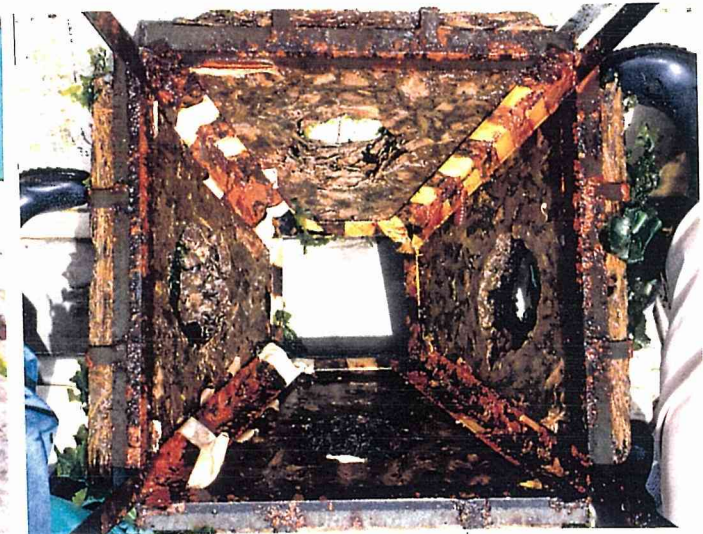
試験体Ⅳ，Ⅴの経時観察結果を、表10-8および写真10-10に示す。

表10-8 試験体Ⅳ，Ⅴの経時観察結果

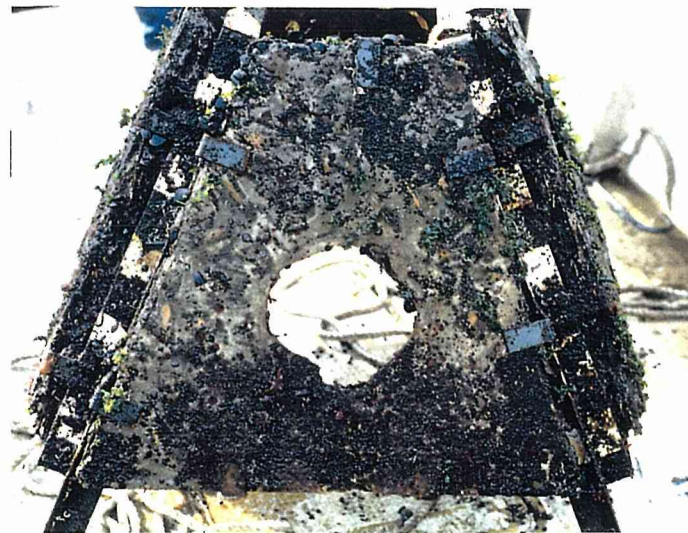
観察日	試験体Ⅳ 試験片：パルプチップ	試験体Ⅴ 試験片：解体材チップ + 木毛	備考
93.12.1			試験体Ⅳの投入日
94.1.31	変化なし		
2.28	アオサ		
3.17	全面アオサ、コンブ少々		
9.29	架台部にアオサ		
12.1	アオサ、ホンダワラ少々		試験体Ⅴの投入日
95.2.23	アオサ、アラメ、コンブ、 フクノリ等		
3.23	約15種類の藻類 アオサ、コンブ、アラメ、フクノリ、 イワリ等	アオサ、コンブ クコ付着	



(1994年 3月 投入後106日)

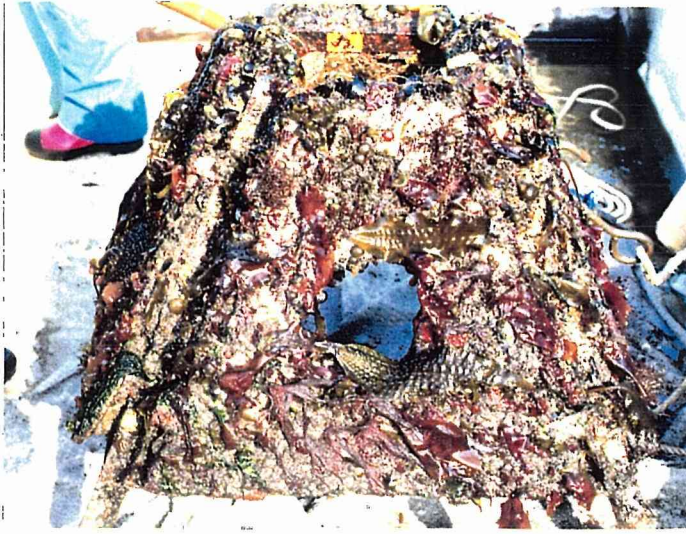


(1994年 9月 投入後302日)



(1994年12月 投入後365日)

写真10-10 試験体Ⅳの経時観察結果

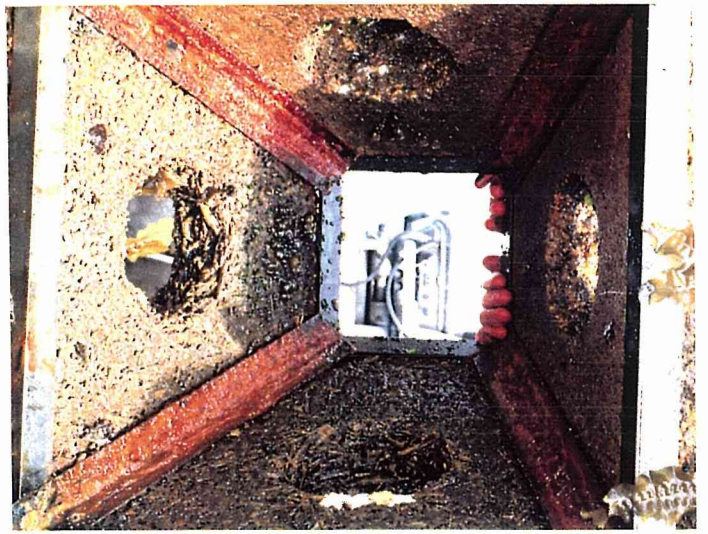
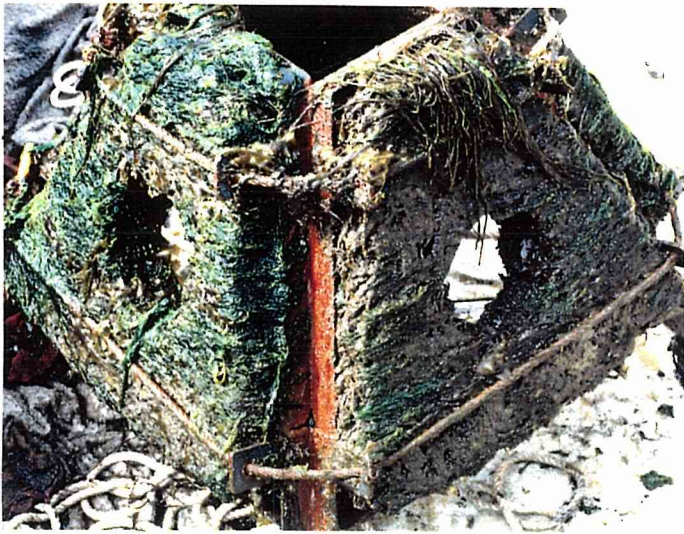


(1995年 2月 投入後449日)



(1995年 3月 投入後477日)

写真10-10 試験体Ⅳの経時観察結果(つづき)



(1995年 3月 投入後112日)

写真10-11 試験体Vの経時観察結果

3.3 観察結果のまとめ

3.3.1 前年度観察結果のまとめ

- ① 試作した試験体の形状は、波力により破壊されることなく、経時観察に適することが確認できた。
- ② 試験体面が水平なものより、傾斜をつけたもののほうが藻類の繁茂状況が良かった。
- ③ 木材単体（トドマツ）には、他の成形体やコンクリート板に比べて、比較的短期間に特定の藻類（ウルシグサの一種）が生育した。
- ④ 木材単体（トドマツ）には、他の成形体やコンクリート板に比べて、藻類の付着が極端に悪かった。

3.3.2 今年度観察結果のまとめ

- ① 水平設置型架台の試験体ⅠおよびⅡには、ほとんどホンダワラ・アオサが付着していた。
- ② 水平設置型架台の試験体Ⅲには、コンブ・アオサ・フクノリ・アラメ等、多くの藻類が付着していた。
- ③ 傾斜設置型架台の試験体Ⅳには、コンブ・アオサ・フクノリ・アラメ等、多くの藻類が付着していた。
- ④ 傾斜設置型架台の試験体Ⅴには、アオサ・コンブが付着していた。
- ⑤ 水平設置型架台の試験体Ⅰ・Ⅱ・Ⅲに取り付けた木材単体（トドマツ板）は、設置場所に係わらず、藻類の付着が他材料と比較して極端に悪かった。

また、投入から10ヶ月を過ぎるとキクイムシおよびフナクイムシの食害が激しく、トドマツ板はスポンジ状になっていた。

- ⑥ 投入後15ヶ月経過した時点で、水平設置型架台の試験体Ⅰ・Ⅱ・Ⅲのコンクリート板の表面にピンク色をしたサンゴ藻類の石灰藻の付着が確認された。また、傾斜設置型架台の試験体Ⅳの成形体セメント部にも同様の石灰藻の付着が確認された。
- ⑦ 投入後16ヶ月経過した時点では、どの試験体にも破損は生じていなかった。

しかし、投入後17ヶ月経過した時点で、建築解体材チップの成形体および建築解体材チップに炭を添加した成形体については、裏面から木チップが少しずつ剥がれているのが確認された。

なお、以上の観察結果は、波の静かな湾内（忍路湾）の水深1.2m～2.0mという限られた試験フィールドかつ2シーズンという短期間の観察から得られたものであり、海洋一般を対象に拡大解釈すべきものではない。このため、さらに数年間の経時観察と試験体の改良を行い、木質・セメント成形体の「藻礁」としての有効性を確認する必要がある。

本事業の中でその有効性が認められた場合には、試験フィールドを湾内から外洋（北海道の日本海沿岸部）に移し、多数の大型試験体による投入試験へと展開することになるだ

ろう。外洋に面する沿岸部では、50～100トンもの重量を有し安定性を十分に考慮されたテトラポッドでさえ、時化にあたっては数十mも押し流されることから、木質・セメント成形体「藻礁」に用いる架台の検討が重要と思われる。

4 おわりに

この2ヶ年間の観察から、木質・セメント成形体が、木材単体より藻類の付着、生長に有効であることを確認した。これは、現段階では一般論とすべきではないが、このような実効性の検証を積み重ねることにより、本研究の目的とする、水産資材としての木質材料の有効性の明確化が可能となるものと考ええる。

これからの林業・林産業にとって、木材の新たな利用分野、用途を開発することは重要な課題である。水産資材としての木質材料の利用研究は、過去数々成されてはいるが、いずれも単発的なものであり、結論的な実効を確認するには至っていない。また、我が国の水産業は獲る漁業から育てる漁業への転換促進、日本海沿岸で発生している磯焼けの原因究明と防止対策の確立が急務とされている。木質系材料に、藻礁としての明確な有効性が確認できれば、これまで木質系材料が普及していなかった利用分野への用途拡大になるとともに、日本の養殖漁業に貢献できるものと考ええる。

参考文献

- 1) 今川 一志 : 間伐材による魚礁の可能性、北方林業 Vol.36 , No.3 (1984)
- 2) 末吉 隆 : 原木魚礁の特性と耐久性、水産庁東西海区ブロック会議第7回魚礁研究会報告資料 (1988)
- 3) 大森 五郎ら : 樹木魚礁の追跡調査について、水産庁東西海区ブロック会議第7回魚礁研究会報告資料 (1988)
- 4) 協同組合羽幌システム開発センター : ” やさしい海 ” 魚介のユートピアを創造する新規構造物 (HSブロック) 研究開発の歩み (1992)
- 5) 北海道東海大学 : 漁場造成用構造物の実海域調査研究報告書 (1990)
- 6) 北海道立中央水産試験場 : 平成2年度木材魚礁機能性調査報告書 (1990)
- 7) 土居 修一 : 間伐材を使った人工魚礁、木材工業 Vol.46 , No.11 (1991)
- 8) 山田 敦 : カラマツ間伐材を利用した漁礁、林産試だより (1991)
- 9) 藤原 弘 : 本道漁業の新しい可能性を探る、しゃりぼり Vol.3 , No.138 (1993)
- 10) 北海道立地下資源研究所 : 平成3年度日本海海域における海洋豊度化技術の研究調査報告 (1992)
- 11) 徳田 広ら : 海藻の生態と藻礁、緑書房
- 12) 徳田 広ら : 海藻資源養殖学、緑書房
- 13) 寺澤 寛 : 地球環境問題と木材 (その3)、ウッドイーエイジ 第42巻 , 通巻489号 (1994)
- 14) 水産庁 : 大規模増殖場開発事業調査総合報告書 I (北海道戸井地区、八雲地区、今別地区、種市地区) (1977)
- 15) 水産庁 : 大規模増殖場開発事業調査総合報告書 (千葉県夷隅地区) (1978)
- 16) 中村 充 : 水産土木学-生態系海洋環境エンジニアリング-、工業時事通信社 (1991)

第11章 木材の液化と応用技術の開発

はじめに

昨年度の報告書で述べた研究の背景を念頭において木材の液化と応用に関する研究を継続している。本年度はとくに、フェノール化木材のノボラック型樹脂としての加工性すなわち熱流動性の向上とそれらからの成形物の物性の向上を意図した検討を進展させた。他方で、この種の成形物の生分解性を市販ノボラック樹脂と対比させての検討も行った。それらについて、2項に分けて、以下にそれぞれ報告する。

1 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の合成と物性

要約

フェノール存在下で木材を液化したのち、木材成分との反応にあずからなかった未反応のフェノールを留去して得られる液化木材濃縮物（フェノール化木材）は、ノボラック樹脂と類似の反応性、成形性を有することが知られているが、その熱流動性（加工性）がノボラック樹脂に比べ劣っていること、さらには反応性にも少々難があることが問題にされてきている。そこで、本研究で、液化ののち、未反応フェノールを留去せずにフォルムアルデヒドと反応させ、フェノール化木材、フェノールおよびフォルムアルデヒド間で共縮合反応を起こさせる手法を検討し、ノボラック樹脂と類似の流動性と反応性を有する木材由来の樹脂を得ることに成功した。

キーワード： 木材、フェノール、液化、フェノール化木材、ノボラック樹脂、共縮合反応

1.1 緒言

木材のフェノール存在下での液化は、この数年、当研究室、木質新素材技術開発研究組合、その他の機関で検討が始まり、進められているが、無触媒高温高圧法と硫酸触媒法で行われてきた。それに対して、本技術開発委員会の分担課題としてのフェノール存在下での木材の液化の研究においては触媒として、塩酸、リン酸など硫酸以外の酸をとりあげ、それらの存在下での液化を硫酸での場合と比較して検討してきており、年次報告で関連の検討結果を報告して来ている。これは、硫酸が触媒として優れているものの、揮発除去性がなく、金属性反応容器を腐食させるという問題点を持っているという点か

らも検討すべきと考えたからである。事実、塩酸は留去により除去できるので、液化後中和を要しないという利点があり、またリン酸は強酸でないという利点と共に、中和により生ずる塩が耐火防災剤となりうるという魅力を持っている。

昨年までの報告で、これら硫酸以外の酸触媒を用いても木材の液化を満足に行えるということ、すなわち、50～80%の結合フェノールと4～50%の残渣量を有する液化木材が得られることを明らかにした。また、液化木材から未反応の遊離のフェノールを留去することにより、ノボラック初期縮合物と類似の反応性を有する一種のフェノール樹脂が得られることを示したが、そのもの、すなわち、フェノール化木材の熱流動特性が結合フェノール量に依存するものの、その熱流動性は必ずしもノボラック樹脂のそれに比較して十分高くないことも知られた。そこで、その改良が必要ということになり、いくつかの検討を始めることとした。その一つとして、ここでは、フェノール存在下での木材液化後に反応系に存在する未反応のフェノールを留去せずに、そのままフォルムアルデヒドと反応させてノボラック樹脂を生成させる手法を調べた。すなわち、木材をフェノール存在下で酸触媒を用いて、まずフェノール化木材を作り、次いでフォルマリンを加えて反応させて、液化段階で低分子化木材成分と反応せず、残っているフェノールを樹脂成分に変換させる共縮合反応を行った。以下に述べる様に、この操作により、液化後に反応系に残っている殆ど全てのフェノールを樹脂に変換させることが知られ、そしてこれにより液化技術の実際性を著しく高めることとなった。事実、この操作によって、フェノール化木材樹脂の熱流動性を著しく改善し、市販ノボラック樹脂のそれと同等のものになし得たと共に、その成形物の力学的特性を向上させることが出来た。

1.2 実験

1.2.1 実験試料

液化に用いた木材試料は20～80メッシュのマカンバ木粉であり、使用前に8時間、105℃で乾燥し、その後室温の真空条件下で保存しておき、必要に応じ供試した。液化木材の成形のさい充填剤として用いた木粉は日立化成工業（株）がノボラック樹脂成形用に用いている200メッシュパスの寸度のもの（セルロシン）であった。市販ノボラック樹脂としては日立化成工業（株）製のNovolac HP-700を供試した。また、一部の実験では、木材液化実験から得られた不溶解残渣を乾燥、粉碎し、200メッシュパスの寸度としたものを、充填剤として用いた。ヘキサメチレンテトラミン（ヘキサミン）は三菱瓦斯化学工業（株）供与のものを用いた。その他の化学薬品は試薬グレードのものをそのまま供試した。

1.2.2 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の調製

木材の液化法については前年度の報告で述べた手法を用いた。本研究では、液化触媒としてリン酸とシュウ酸をそれぞれ用いた。なお、液化されなかった残渣は、稀釈溶媒

であるメタノールにより十分洗浄し、次いで105℃で24時間乾燥した後秤量して残渣量を求めた。

なお、液化後の木材残渣量と液化された木材成分に結合したフェノールの量は次式により求めた。

$$\text{残渣量} = (W_r/W_0) \times 100 (\%)$$

$$\text{結合フェノール} = \{ (W_1 - W_2) / (W_0 - W_r) \} \times 100 (\%)$$

ここで、 W_0 ：液化に用いた木粉の重さ、 W_r ：未液化残渣の重さ、 W_1 ：液化に用いたフェノールの重量、 W_2 ：液化後未反応で残ったフェノールの重量（遊離フェノール）である。

液化の後、液化混合物の温度を160℃から105℃に下げ、次いで計算量のホルマリン（37%水溶液）を液化混合物に加えた。全ての場合、液化後の未反応フェノールとホルムアルデヒドのモル比は1：0.8に固定した。液化混合物中に残っている酸はフェノール化木材、フェノールおよびホルムアルデヒドの間の共縮合反応の触媒として働かせた。共縮合反応は105℃で80分間環流下で行った。液化触媒としてシュウ酸を用いた時には、共縮合反応のための酸性度を得るため、ホルマリンを加えるとき必要に応じシュウ酸を所定量再び加えた。所定の反応時間ののち、共縮合樹脂をアセトンで希釈し、ガラス濾紙（Toyo GA 100）を用いて濾過した。濾液を酸化マグネシウムで中和し、次いで減圧濃縮器を用いて、約20mmHg、50℃、その後165℃で濃縮し、希釈溶媒と未反応フェノールを除去して、フェノール液化木材/フェノール/ホルムアルデヒド共縮合樹脂を得た。

なお、液化のさいに低分子化木材成分と結合（反応）しなかったフェノールが共縮合反応中に樹脂に変換される割合（フェノールの変換割合： V_r ）は次式で求められる。

$$V_r = \{ (W_2 - W_1) / W_p \} \times 100 (\%)$$

ここで、 W_2 ：最終的に得られる共縮合樹脂の重量、 W_1 ：フェノール化木材重量、 W_p ：液化後の未反応フェノールの重量である。

1.2.3 測定法

フェノール化木材/フェノール/ホルムアルデヒド共縮合樹脂、フェノール液化木材および市販ノボラック樹脂の分子量およびその分散度は6000AウォーターズGPC装置を用いて測定した。カラムとしては、Shodex GPC KF 802 と KF 803 をその順につないで使い、また展開剤としてはテトラヒドロフラン（THF）を用いた。試料濃度は0.2～0.5 wt%であり、測定のさいのインジェクション量は150 μ lであった。試料の分子量は単分散ポリスチレン標準品を用いて校正した。

全ての試料の熱流動性はGFT-500A フロー・テスター（島津製作所製）を用いて測定した。直径1mm×長さ2mm寸法のダイを用いた。全ての試料についての予備加熱時間は200秒であり、また、熱流動温度の測定のための昇温速度は10℃/分であった。試料の見かけの粘度は 6.129×10^6 dyne/cm²という一定剪断応力の下120℃で測定した。

1.2.4 成形試片の作製と曲げ力学特性の測定

37.7重量%のフェノール化木材/フェノール/フォルムアルデヒド共縮合樹脂、フェノール化木材あるいは市販ノボラック樹脂、9.4重量%のヘキサミン、49.5重量%の木粉充填剤、2.4重量%の水酸化カルシウム、および1.0重量%のステアリン酸亜鉛から成る組成物を用いて成形試片を調製し、力学特性を測定した。成形試片作製のための上記組成物のうち、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などマトリックス樹脂以外のものを、まず、乳鉢にとり、2分間混ぜ合わせ、次いで所定量の上記マトリックス樹脂のいずれかを含んだアセトン溶液を添加し、混ぜ合わせを続けて均一な混合物を得た。得られた混合物を70℃で1時間乾燥し、その後再び粉碎したうえで、JIS規格に定められた曲げ試験用試片（長さ8cm、幅1cm、厚さ4mm）作製用の金型を用いて成形した。すなわち、上述のように調製したコンパウンドを190℃に調整した金型に充填し、300kgf/cm²で5分間圧縮して成形物を得た。

得られた成形物を成形後約48時間恒温恒湿室内（20℃、60%RH）で調湿した後、試験片の幅、厚さ、および長さをノギスを用いて測定し、次いで（株）島津製作所製オートグラフ DSC-500R および、曲げ試験用付属装置を用いて曲げ試験を行った。試験方法は JIS K-6911 に準拠した。

1.3 結果と考察

表1にはリン酸ないしシュウ酸を触媒として木材を液化する条件と液化物組成を示している。表より未反応のまま残るフェノール量が全組成中で48.0~72.0%とかなり多いことが知られる。従って、それら未反応フェノールを回収してリサイクルするよりもそれらを樹脂に直接変換した方が合理的ということもできる。一方、液化物中での残渣木材量はリン酸触媒の場合少く、シュウ酸を触媒に用いる場合多いと云えるが、それでも1.7~12.7%と絶対値としては少ない。その意味では、木材残渣を除かずに、共縮合反応を液化後直ちに行い得るともいえる。

1.3.1 リン酸触媒法

リン酸は比較的強い酸である。そのためもあり、液化後でも、液化物は高い酸性を持っており（pH=1.0~1.5）、共縮合反応を引続いて行うことができる。共縮合反応混合物中のリン酸濃度がフェノール樹脂への変換率にどのような影響を持つかについて検討した結果が表2に示されている。表より、リン酸濃度1.2%のとき変換率V_rは57.4%と著しく

表1. 液化条件^{a)}と液化混合物の組成。

	触媒濃度 %	フェノール/木材 比	液化混合物の組成 ^{b)} (%)				
			残渣	フェノール 化木材	(結合フェ ノール量)	未反応 フェノール	触媒 酸
リン酸	4.5	2	8.0	39.4	(64)	48.0	4.5
	1.7	3	9.8	21.5	(45)	67.0	1.7
	2.5	3	7.6	25.8	(52)	64.1	2.5
	5.2	3	2.9	36.4	(75)	55.5	5.2
	6.0	3	1.7	39.3	(78)	53.0	6.0
シュウ酸	4.5	3	12.7	15.5	(38)	67.0	4.5
	6.0	3	12.5	16.0	(45)	65.5	6.0
	4.8	4	12.6	13.0	(44)	72.0	4.8

a) 液化温度 160℃；液化時間 120分。

b) 組成は液化混合物の総重量あたりで計算。

c) カッコ内の数字はフェノール化木材中の結合フェノール量。

低いことが知られる。リン酸濃度を1.2%から2.5%へと増加させると、変換率 V_r は急激に増加し、リン酸濃度をそれ以上に増加させても変換率の上昇の度合いは小さくなることも知られる。本実験では、通常リン酸触媒濃度は3.7%としているので、液化終了後の共縮合反応を十分に進めることが出来ると云える。他方、表2の変換率の値は高い値に達してお

り、フェノール化木材の存在が、未反応フェノールの樹脂への変換を妨げないとも云える。本研究で得られた種々の共縮合樹脂の熱流動性、数平均分子量、分散度 (M_w/M_n) を測定し、市販ノボラック樹脂およびフェノール化木材のそれらと比較して表3に示した。表より、共縮合樹脂の熱流動温度と溶融粘度の両者とも、フェノール化木材の量の減少と共に単調に減少すること、そしてその傾向は、触媒濃度やフェノール化木材中の結合フェノール量に依存しないことがまず知られる。また、最も大きなフェノール化木材含量 (62.5%) の場合でも、共縮合樹脂は単なるフェノール化木材のそれらよりかなり低い熱流動温度と溶融粘度を持つこと、しかもそれらの値は市販ノボラック樹脂の場合の値と類似のものに容易になりうるものであることも知られる。当研究室における別の実験で、市販のノボラック樹脂をフェノール化木材に機械的に混合する場合、フェノール化木材の熱流動性を市販ノボラック樹脂混合割合に比例した形で改善するにすぎないことが知られた。従って、共縮合反応はフェノール化木材とそれと共存下で合成されたノボラック樹脂との親和性を根本的に改善するものであり、フェノール化木材をノボラック樹脂が効果的に可塑化するものとなると考えられる。その結果として、共縮合樹脂の熱流動性が著しく改善されたものといえよう。また、表3より、液化および樹脂化条件は、すぐれた熱流動性を得るための支配因子でないことも指摘できよう。すなわち、合成条件や組成に関係なく、得られたすべての共縮合樹脂が満足すべき熱流動性を獲得していることが知られる。一方、表より、共縮合樹脂の数平均分子量は反応条件や樹脂の組成の変化と共に規則的に変化せず比較的小さな範囲である434~682の間でばらついていること、また、分子量分散度も2.81~5.01の範囲でばらつく傾向があることも認められる。

共縮合樹脂から調製された成形材料の曲げ強度特性を表4に示す。表より、まず、共縮合樹脂からの曲げ強度および曲げ強じん性はフェノール化木材からの成形材料のそれら

表2. 液化後液化混液中に残存する未反応フェノールの重縮合率に及ぼす共縮合反応混合物のリン酸濃度の影響。

リン酸濃度 ^{a)} (%)	1.2	2.5	3.2	3.7	3.8
フェノールの重縮合率 (%)	57.4	88.8	90.1	92.5	94.0

a) 共縮合反応混合物 (液化混合物とホルマリンを含む) のリン酸濃度は液化段階で加えたリン酸量に基づいて計算。

表3. ノボラック樹脂、リン酸を触媒として用いて調製したフェノール化木材樹脂および共縮合樹脂の数平均分子量 (\overline{M}_n)、分散度 ($\overline{M}_w/\overline{M}_n$) および熱流動性。

リン酸濃度 ^{a)} (%)	共縮合樹脂中のフェノール化木材量 (%)	結合フェノール量 ^{b)} (%)	\overline{M}_n	$\overline{M}_w/\overline{M}_n$	熱流動温度 (°C)	溶融粘度 (ポイズ)
-	ノボラック、HP-700	-	872	5.2	89.9	270
-	フェノール化木材樹脂	70	516	2.7	126.4	21,450
3.7	62.5	75	682	5.0	95.1	1,540
3.8	52.6	65	526	3.5	94.8	1,201
3.0	50.0	63	540	3.5	90.0	463
2.45	50.0	55	-	-	89.8	465
1.2	37.0	45	434	2.8	89.0	259
3.7	35.7	70	588	4.4	80.2	252

a) 共縮合反応混液の酸濃度。

b) フェノール化木材中の結合フェノール量。

よりかなり大きく、しかも市販ノボラック樹脂からの成形材料の値よりもやや大きいことが知られる。共縮合樹脂中のフェノール化木材含量が62.5%のものであってもそうである。曲げ特性は共縮合樹脂中のフェノール化木材含量によって大きく変化するとは云えず、例えば、フェノール化木材含量が62.5%から35.7%に減少しても、曲げ強度と強じん性は僅かに上昇する傾向を示すのみと云える。他方、表3とこの表4とより、これらの曲げ特性に及ぼす結合フェノールの影響は重要でないことも知られる。この場合、結合フェノール量は45%から75%の範囲で変化している（表3）。

これらの結果は、共縮合が樹脂の熱流動性を向上させるのみならず、それらからの成形物の力学的性質を向上させることを示している。この関連で、当研究室の実験結果の一つとして、フェノール化木材樹脂はノボラック樹脂よりも木粉充填剤との相互作用が大きいことが証明されている。従って、共縮合樹脂から成形される成形物がすぐれた特性、物性を持っていることは、フェノール化木材成分と典型的フェノール・フォルムアルデヒド樹脂成分との協同効果に起因されるといえよう。

1.3.2 シュウ酸触媒法

シュウ酸は木材液化に使うには弱い酸触媒であると考えられる。事実、表1から知られる様に、低分子化した木材成分と結合したフェノールの量（結合フェノール量）は少量であり、液化されなかった木材残渣と未反応のフェノールは多量になっている。この場合液化条件を厳しくしても（但し、液化温度は240℃以下にする）、結合フェノールと木材残渣の量のいずれもあまり変化しない。シュウ酸触媒下での液化物が少量の結合フェノール量しかとり得ないということは、そこから未反応のフェノールを留去して得られるフェノール化木材樹脂の反応性を悪いものとする。事実、このフェノール化木材樹脂から作られる成形材料の物性は市販のノボラック樹脂からのそれよりかなり悪い。

以上のように、触媒としてシュウ酸を用いることは木材液化にとっても、また最終的に得られる成形物の物性という観点からもあまり見るべき点のないやり方ということになる。一方でシュウ酸は金属製装置の腐食の妨除という点では非常に優れた酸触媒であり捨てがたい。そこで、この触媒を用いることにより生ずる欠点を次の二つの考え方で乗りこえられるか否かを以下検討した。

その一つは、液化のさいに比較的少量に生ずる木材残渣をその後の成形材料製造のさいの充填剤として用いられないかということである。この場合、触媒の酸が弱酸であるということは残渣物の物性が大きく損なわれず、利点となること、これまでの多くの検

表4. リン酸を触媒として合成した共縮合樹脂から成形した試片の曲げ特性。

共縮合樹脂中の フェノール化 木材含量 (%)	結合フェ ノール ^{a)} (%)	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (MPa)	曲げ強靱性 (MPa・×10 ³)
ノボラック、HP-700	—	96.0	8012	58.0
フェノール化木材樹脂 ^{b)}	70	75.0	8750	33.5
62.5	75	99.4	8846	57.0
52.6	65	97.2	8405	57.6
50.0	63	97.7	8287	59.1
50.0	65	97.5	8738	57.2
37.0	45	102.2	8308	65.0
35.7	70	102.6	8150	65.6

a) フェノール化木材中の結合フェノール量。

b) リン酸触媒法により合成したフェノール化木材樹脂。

討、さらには類似の技術であるオルガノソルブパルプ化も考慮するならば、残渣物は主としてセルロースから成ると考えられること、しかも残渣物表面にはフェノールの結合が考えられるため、充填剤として、フェノール樹脂様のマトリックス樹脂との相互作用が大きくなると考えられることが指摘できる。

もう一つの考え方は、液化後大量に存在する未反応フェノールを、フォルムアルデヒドと反応させノボラック樹脂へと変換し、同時にこの共縮合反応によってフェノール化木材をも変性することによって、樹脂としての反応性を高め、最終成形物の物性を市販ノボラック樹脂からのそれと同等ないしそれ以上のものに出来ないかというものである。

このような考え方を以下実験的に検討した。

まず、前述のように実験条件を厳しくしても、木材の液化の程度を意味のあるほど大きく出来ない。例えば、触媒として用いるシュウ酸の濃度を増加させても、液化の程度をある限度以上増大させることが出来ない。そこで、本研究では液化段階で仕込むシュウ酸の量は低い割合に抑え、その上でより大きな変換率 V_r を得るために、共縮合反応の段階で追加量のシュウ酸を加えることとした。その様な検討を行った結果を、シュウ酸触媒濃度および添加法の生成共縮合樹脂の分子量、および熱流動性に及ぼす影響として、表5に示す。

表より、まずシュウ酸の場合の触媒濃度の変換率 V_r （フェノールの重縮合率）に及ぼす影響はリン酸の場合と同様な傾向を示し、シュウ酸濃度の増加と共に、変換率は徐々に増加することが知られる。また、シュウ酸の全濃度が4.2%に達すると変

表5. シュウ酸濃度の重縮合率、数平均分子量(\overline{M}_n)、分散度($\overline{M}_w/\overline{M}_n$)および共縮合樹脂の熱流動性に及ぼす影響。

シュウ酸濃度 ^{a)}		結合フェノール ^{b)} (%)	フェノールの重縮合率 (%)	共縮合樹脂中のフェノール化木材含量 (%)	共縮合樹脂の特性			
A (%)	B (%)				\overline{M}_n	$\overline{M}_w/\overline{M}_n$	熱流動温度 (°C)	溶融粘度 (ポイズ)
0.0	0.4	40	28.6	49.0	—	—	—	—
0.0	0.9	40	34.5	44.2	—	—	—	—
2.2	0.0	35	70.2	28.0	515	4.3	80.5	255
2.5	0.0	36	79.6	25.5	519	4.1	89.0	414
3.0	0.0	38	83.5	24.6	518	4.2	95.0	522
3.0	0.4	38	91.6	23.0	588	4.1	99.5	817
3.0	0.6	40	92.4	22.8	676	3.8	100.4	1218
3.0	0.8	42	94.6	22.4	806	4.2	104.0	3770
3.0	1.2	40	103.5	21.0	825	4.6	105.2	3789
3.0	1.5	40	106.0	20.5	878	4.8	110.0	5808

a) シュウ酸触媒は必要に応じて、2段階に添加した。

Aは液化過程で、またBは共縮合樹脂化の前にフォルマリンと一緒に加えるものである。

換率は100%以上となり、ノボラック樹脂製造のさいの工業的収率(107%)と全く匹敵しうるものとなることも知られた。一方で、シュウ酸触媒濃度の増加と共に、共縮合樹脂の数平均分子量、熱流動温度、および溶融粘度といった全ての性質は、フェノール化木材含量の減少にも拘わらず、単調に増加すること、ただし、比較的低い酸濃度で合成された樹脂は、市販ノボラック樹脂のそれらと匹敵する低い流動温度と溶融粘度を持つことが知られるが、これらの結果はリン酸触媒での場合とかなり異なる。リン酸触媒の場合、前述のように、共縮合樹脂の熱流動性は触媒濃度に関係なく、フェノール化木材含量の増加と共に僅かに減少している。これら二つの酸触媒の異なった挙動に対する解釈は今後の研究を要する課題として残されている。

次に、フェノール化木材の含有率が上述の熱流動及び分子量特性に影響するかどうかを調べた。そのために、液化段階でのフェノールと木材の仕込み重量比（液比）を変化させ、シュウ酸触媒量は2.5%と一定にして、種々のフェノール化木材含量を持つ共縮合樹脂を合成した。検討の結果を表6に示す。

表より、全てのサンプルの熱流動温度と熔融粘度は市販ノボラック樹脂のそれらと類似したものとなっており、フェノール化木材含量を減少させても、これらの特性は著しく変化しないことが知られる。これらの結果は、比較的低いシュウ酸濃度を用いることにより、すぐれた樹脂が得られること、および、それら樹脂の特性は、研究した範囲内で、仕込み組成に影響されることはないということを示している。

ここで得られた関連の共縮合樹脂から成形物を調製し、曲げ特性を調べた。

得られた結果を表7に示す。表より、全ての試料の曲げ物性は、弾性を除けば、市販ノボラック樹脂からのそれらより大きな値を持っていること、また、それらの値はフェノール化木材から成形した試片より、かなり大きな値となっていることが知られる。また、フェノール化木材含量の変化はこれらの力学的特性に影響しないことも知られる。これらの結果はリン酸触媒の場合の結果とよく一致しており、フェノール化木材成分とフェノール共縮合樹脂成分が互いに著しく相互作用出来ており、その結果として、すぐれた物性を得るためにそれらの割合が制限因子とならないということ、実験的に再び示しているといえる。

前述の様に、表1からシュウ酸触媒法の場合、木材残渣量はリン酸触媒法の場合と比べて比較的多い。そこでこの残渣物を成形材料の充填剤として用いるという検討を行った。その結果は表7の中に示されている。表より明らかのように、木材残渣物を充填剤として用いて作製した成形材料の曲げ強度と強じん性は、通常の木粉を充填剤として用いた対応する成形材料のそれらと同等のものとなるが、前者の曲げ弾性率は後者のそれよりもかなり大きくなることが知られた。この事実は、シュウ酸は液化中に残渣物中の主要成分となるセルロースの構造を急速に、かつ、完全に破壊するにはあまりに弱い酸であり、その結果、残渣中に残存するセルロース繊維は、最終的に成形される成形材料の物性を損なうことなく充填剤として再び使うということを示していると云えよう。

表6. 一定のシュウ酸濃度 2.5% で合成した共縮合樹脂の数平均分子量(Mn)、多分散性(Mw/Mn)および熱流動性。

共縮合樹脂中のフェノール化木材含量 (%)	結合フェノール (%)	Mn	Mw/Mn	熱流動温度 (°C)	熔融粘度 (ポイズ)
ノボラック、HP-700	—	872	5.2	89.9	270
フェノール化木材樹脂	43	505	3.5	105.0	3,789
26.3	38	502	4.3	85.0	285
20.8	39	518	4.1	89.0	414
19.6	45	585	4.0	90.5	522
17.9	42	519	4.3	89.8	455

表7. シュウ酸を触媒として用いて合成した共縮合樹脂を成形して得た試片の曲げ特性。

フェノール化木材含量 (%)	結合フェノール (%)	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (MPa)	曲げ強靱性 (MPa, ×10 ³)
ノボラック、HP-700	—	96.0	8,012	58.0
シュウ酸触媒法で合成したフェノール化木材樹脂	43	49.7	8,471	14.5
26.3	38	(103.6 99.9 ^{a)})	(8,882 1,0142 ^{a)})	(64.5 55.0)
20.8	39	104.0	7,965	68.2
19.6	45	103.5	8,135	65.4
17.9	42	103.9	8,043	67.0

a) 液化反応より得られた残渣を成形試片中の充填剤として用いている。

1.4 まとめ

本検討の結果、液化段階ののち、フェノール化木材、フェノール、及び、フォルムアルデヒド間で起こる共縮合反応は、残存フェノールを樹脂に変換するだけでなく、すぐれた木材由来のノボラック樹脂を得るためでもある新しい技術であることが知られた。とくに、この共縮合反応により、フェノール化木材の樹脂用途への利用の場合に問題になっていた熱流動温度と熔融粘度が、通常市販ノボラック樹脂のそれらに比べ大きな値となっていたという点、および最終成形材料の物性が、対応するノボラック樹脂成形物のそれに比べやや劣ったものになりがちであるという点で画期的な改善が認められたことは特筆に値する。

リン酸を触媒として用いるときには、液化反応後の液化混合液の酸性は、引き続き行う共縮合反応のために十分に強いものである。そのさいのフェノールから樹脂への変換率は、触媒の特性やフェノール化木材成分の存在に拘わらず、ノボラック樹脂の工業的収率のそれと匹敵しうるものである。結果として得られる共縮合樹脂は、市販ノボラック樹脂のそれらと同等のすぐれた熱流動性を示した。それら共縮合樹脂から作られた成形材料の力学特性はフェノール化木材樹脂からの成形材料のそれらより優れていた。

シュウ酸はリン酸より弱い酸であり、木材の液化の進行に根本的影響が出るが、反応条件の適格な選択により、成形加工性（熱流動温度と熔融粘度）が市販ノボラック樹脂に近い共縮合樹脂に導き得ると共に、最終成形物の物性も市販ノボラック樹脂からのそれと同等ないしそれ以上のものとするのが可能となった。また、液化せずに残った残渣を成形材料の充填剤として用いることも知られた。

2 フェノール存在下で液化した木材より製造した成形物の生分解性

要約

フェノールの存在下で木材を液化したものよりフェノールを留去して得られる液化木材濃縮物（フェノール化木材）をマトリックス樹脂とし、200メッシュパスの寸度の木粉を充填剤として50～80重量%加え、硬化剤等を常法通り加えて製造した成形物（曲げ試験片）の生分解性について検討した。一定組成の土壌を用いる土中埋没試験（30℃、80%RH）を行った結果、上記成形物はノボラック樹脂対照物に比べ、格段に生分解性に優れた材料となっていることが知られた。今後、地球環境保全の必要性が高まることが予想される現在、開発されるべき材料の一つと考えられるものである。

キーワード： 木材、フェノール、フェノール化木材、ノボラック樹脂、成形材料、生分解性、土中埋没試験

2.1 緒言

フェノールとフォルムアルデヒドとの酸触媒付加縮合樹脂初期縮合物であるノボラック樹脂は50～60%量の木粉など充填剤、数%のヘキサミン（硬化剤）、少量の水酸化カルシウムなどの硬化促進剤、およびステアリン酸亜鉛（離型剤）とともに混練後金型成形して各種の用途に用いられている。3次元硬化型の熱硬化性樹脂のなかでこの種のノボラック樹脂は最も大量に使われるものの一つである。それらのノボラック樹脂成形物は廃棄にあたって産業廃棄物として取り扱われるものが多い。

そこで、それらノボラック樹脂類似物として、成形性や強度など物性に遜色がないのみならず、生分解性に優れたものが木材液化物より得られるならば、地球環境保全といった観点からも望ましいこととなる。事実、フェノール存在下での木材液化物から木材ないし木材起源のものを70%以上含むノボラック様成形物を調製し得ているが、木材含量が多いだけに、これらには生分解性という特性が特徴的に付与されている可能性が考えられる。そこでこの点についての検討を行っている。

2.2 実験

2.2.1 実験材料

液化に用いた木材試料は20～80メッシュのマカンバ木粉であり、使用前に約8時間105℃で乾燥し、その後室温の真空条件下で保存しておき、必要に応じて供試した。液化木材の成形の際に充填剤として用いた木粉（200メッシュパス）およびノボラック樹脂（Novolac HP-700）は日立化成工業（株）より供与されたものを用いた。フェノールなどその他の化学薬品は試薬グレードのものをそのまま供試した。

2.2.2 木材の液化と液化木材濃縮物（フェノール化木材）の調製

液化反応は攪拌装置と還流冷却器を備えた500ml容の三ツ口セパラブルフラスコ中で160℃に設定した油浴を用いて行った。リン酸を触媒として、フェノールに対し3.5～5重量%に加え、フェノールと木粉の比（液比）は3として、120分間加熱して反応を行った。

反応終了後、反応物を大過剰のメタノールで稀釈し、次いで東洋GA100ガラス繊維濾紙を用いて濾過した。濾液の容積をメタノールを加えて500mlとし、その一部、一定量を秤り取ってHPLCにより未反応のフェノールの定量を行った。残りの大部分の濾液は、まず酸化マグネシウムを加えて中和したのちエバポレーターで濃縮し、メタノールを除去、次いで180℃油浴中、1時間減圧蒸留を行って遊離フェノールを留去した。この操作により蒸留残渣として液化木材濃縮物（以下これをフェノール化木材と呼ぶ）を得た。

2.2.3 フェノール化木材コンパウンドの調製と成形及び曲げ強度測定

ここではフェノール化木材37.2～14.9重量%、ヘキサミン（硬化剤）9.4～3.7重量%、

木粉（セルロシン；充填剤）50～80重量%、水酸化カルシウム2.4～1.0重量%、およびステアリン酸亜鉛1.0～0.4重量%から成る組成物を用いた。この組成物のうち、フェノール化木材以外のすべてのものをまず乳鉢にとり、2分間混ぜ合わせ、次いで所定量のフェノール化木材を含んだアセトン溶液を添加し、混ぜ合わせを続けて均一な混合物を得た。得られた混合物を70℃で1時間乾燥し、その後再び粉碎した上で、JIS規格に定められた曲げ試験用試片（長さ8cm、幅1cm、厚さ4mm）作製用の金型を用いて成形した。すなわち、上述の様に調製したコンパウンドを190℃に調整した金型に装填し、300kgf/cm²で5分間圧縮して成形物を得た。

得られた成形物さらには生分解試験後の成形物はそれぞれ成形後ないし恒量まで乾燥後、約48時間恒温恒湿室内（20℃、60%RH）で調湿した後、試験片の幅、厚さおよび長さをノギスを用いて測定し、次いで（株）島津製作所製オートグラフ DSC-500Rおよび曲げ試験用付属装置を用いて曲げ試験を行った。試験方法はJIS K-6911に準拠した。

2.2.4 土中埋没による生分解性試験

2.2.3で調製した曲げ試験用試片を、温度30℃、相対湿度80%に調整した恒温恒湿室（株）日本医化器械製作所製、NK式LP-1H）中に静置した市販ポリプロピレン製バット（長さ41×幅32×深さ11cm）内に盛った土壌中に埋没し、必要に応じて水道水を散布した。これらの土中埋没試験を、30日又は45日さらには12ヶ月行い、その後掘り出して、簡単な水洗を注意深く行い、付着している土壌を除いた後、乾燥させ、重量測定、曲げ強度の測定を行うと共に、形状変化の観察を行った。

なお、土壌の見かけの配合体積比は、培養土：腐葉土：バーミキュライト=8：1：1であり、一つのバットにつき総量10Lの混合土壌を用いて試験を行った。培養土は淡京物産（株）製、また、腐葉土およびバーミキュライトはニッタイ（株）製のものをそれぞれ使用した。

形状変化の観察は肉眼によるものと走査型電子顕微鏡（SEM）によるものを行い、土壌埋没前のものとそれぞれ比較して評価した。SEM観察は日本電子（株）製 JSM-T300A を用い、加速電圧10kVおよびWD（Working Distance）15mmで行った。

2.3 結果と考察

木粉充填剤含量50～80重量%のフェノール化木材-木粉成形試片およびノボラック樹脂-木粉成形試片（いずれもJIS規格により作製した曲げ試験用試片；長さ8×幅1.0×厚さ0.4cm）をそれぞれ12ヶ月間土中埋没処理したのについて、その処理による重量減少率と曲げ強度の減少率を表1に示す。表より、重量減少率からは、フェノール化木材系成形物がノボラック樹脂系成形物よりも生分解性が高いとは必ずしも言い切れないのに対し、曲げ強度の減少値からはそれが非常に明確になっていることが知られる。しかも、もし重量減少率の値によって判断するとすれば、この場合生分解性の度合いが過小評価されることになるということも数値に現われている。これは後出の顕微鏡写真か

らも明らかな様に、菌糸が、試片の内部にまで著量存在しているため、その重量の加算を考える必要があること、また、その度合いは両試片に差があり、菌糸がより多量に存在するものがより過小評価されているためと云えよう。

曲げ強度減少率が生分解性の度合いの評価のために有用であることが知られたが、そうであるとする、同時に曲げ強度の値がどの様なものであるかも、木粉充填剤量との関連も含めて興味があるということになる。そこで、表2にそれらの値を示した。処理前のフェノール化木材系試片の持つ曲げ強度の値はノボラック樹脂系試片のそれらには及ばないが、上級のノボラック樹脂系成形体についてJIS規格で求めている7.0 kgf/mm²以上の値は得られている。充填剤量が最大で80重量%と非常に大きく、フェノール化木材はマトリ

ックス樹脂として14.9重量%しか入っていない試片も含めて、木粉充填剤含量が増えるに従って曲げ強度値が漸増していることは興味深い。木粉充填剤が多くなるほど、表1において土中埋没処理による重量減少率が微増し、また曲げ強度減少値も漸増する傾向が見られるが、後者の場合、木粉充填剤含量50%のフェノール化木材系成形試片は例外となっている。この試片の場合、他と比較して明らかに試片中に小さなクラックが認められ、クラックの発生を促す他の原因により曲げ強度減少値が51%とはね上がっているものと考えられる。

以上のデータより、フェノール化木材系成形物はJIS規格値を超える力学的性質を常態で持つと共に、ノボラック樹脂成形物とは十分有意差のあるより大きな生分解性を持つものであることが結論できる。なお、市販のノボラック樹脂系成形物も土中で全く生分解されないものではないことも知られた。

次に関連の肉眼観察結果を写真1~3と部分的に写真4~6に示す。写真1では、上部に木粉充填剤含量50~80%のフェノール化木材系成形物(LW)の12ヶ月の土中埋没処理前および後の試片の表面の状況を示している。また下部にはノボラック樹脂系成形試片の場合の同様な比較を示している。ノボラック樹脂系成形物に比べ、フェノール化木材系成形物の方が、また、木粉充填剤含量の多いものの方が、それぞれより著量の菌糸に覆われていることが知られる。同様のことが、12ヶ月の土中埋没処理後のフェノール化

表1 土中埋没12ヶ月後のフェノール化木材-木粉成形試片およびノボラック樹脂-木粉成形試片の重量減少率および曲げ強度減少率

試片	木粉充填剤含量 ^a	重量減少率	曲げ強度減少率
	(wt %)	(%)	(%)
フェノール化木材 -木粉成形試片	50	7.5	51.0
	68	8.0	32.0
	80	9.5	36.2
ノボラック樹脂- 木粉成形試片	50	5.9	7.7
	68	6.3	17.7
	80	6.3	18.5

a: 成形試片中の木粉含量.

表2 フェノール化木材-木粉成形試片及びノボラック樹脂-木粉成形試片の土中埋没12ヶ月処理前と後の曲げ強度値と処理後の曲げ強度減少率

試片	充填剤含量 (%)	曲げ強度		減少率 (%)	
		処理前 (kgf/mm ²)	処理後 (kgf/mm ²)		
ノボラック樹脂 -木粉成形試片	80	11.5	9.4	18.5	
	//	68	10.6	8.7	17.7
	//	50	9.5	8.8	7.7
フェノール化木 材-木粉成形試片	80	8.9	5.7	36.2	
	//	68	8.8	6.0	32.0
	//	50	7.0	3.4	51.0

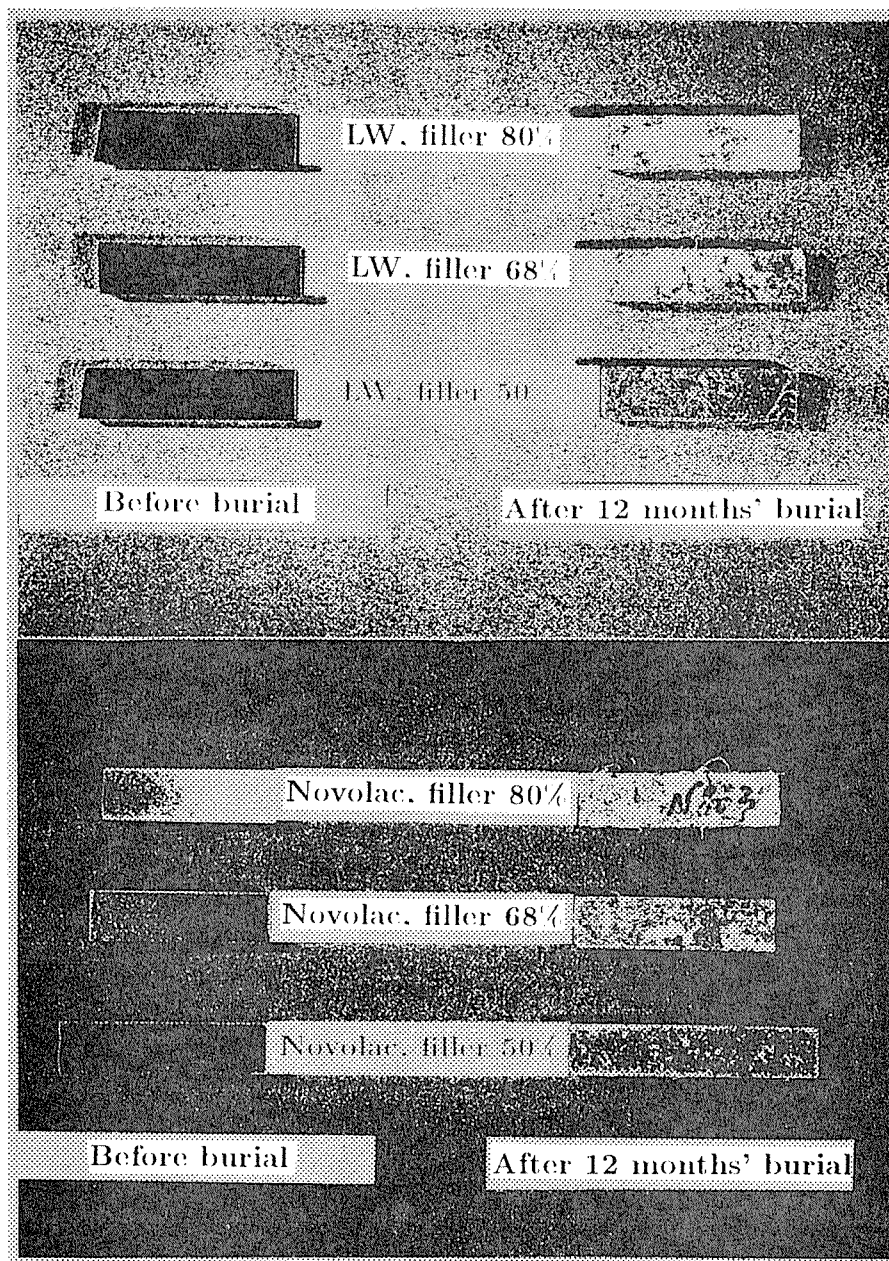


写真 1

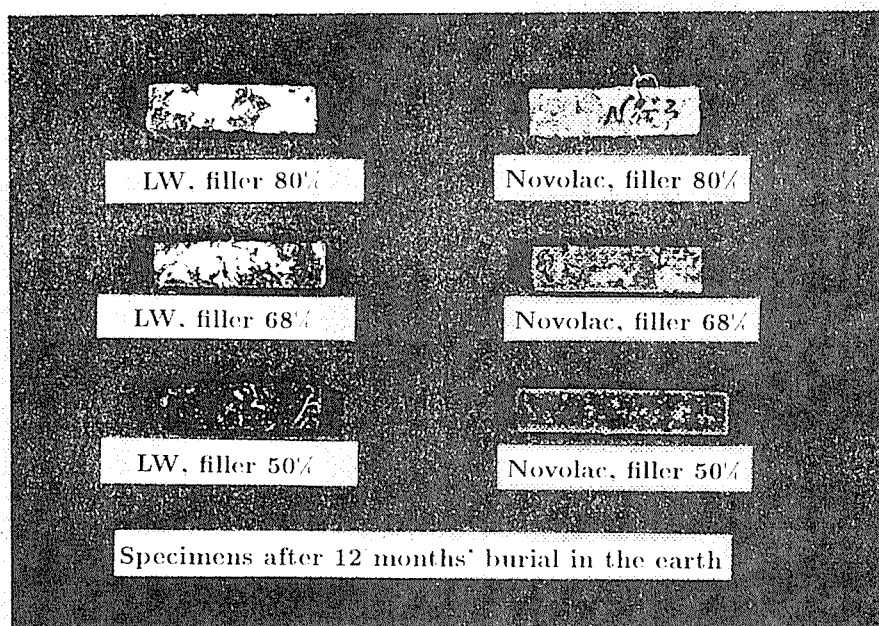


写真 2

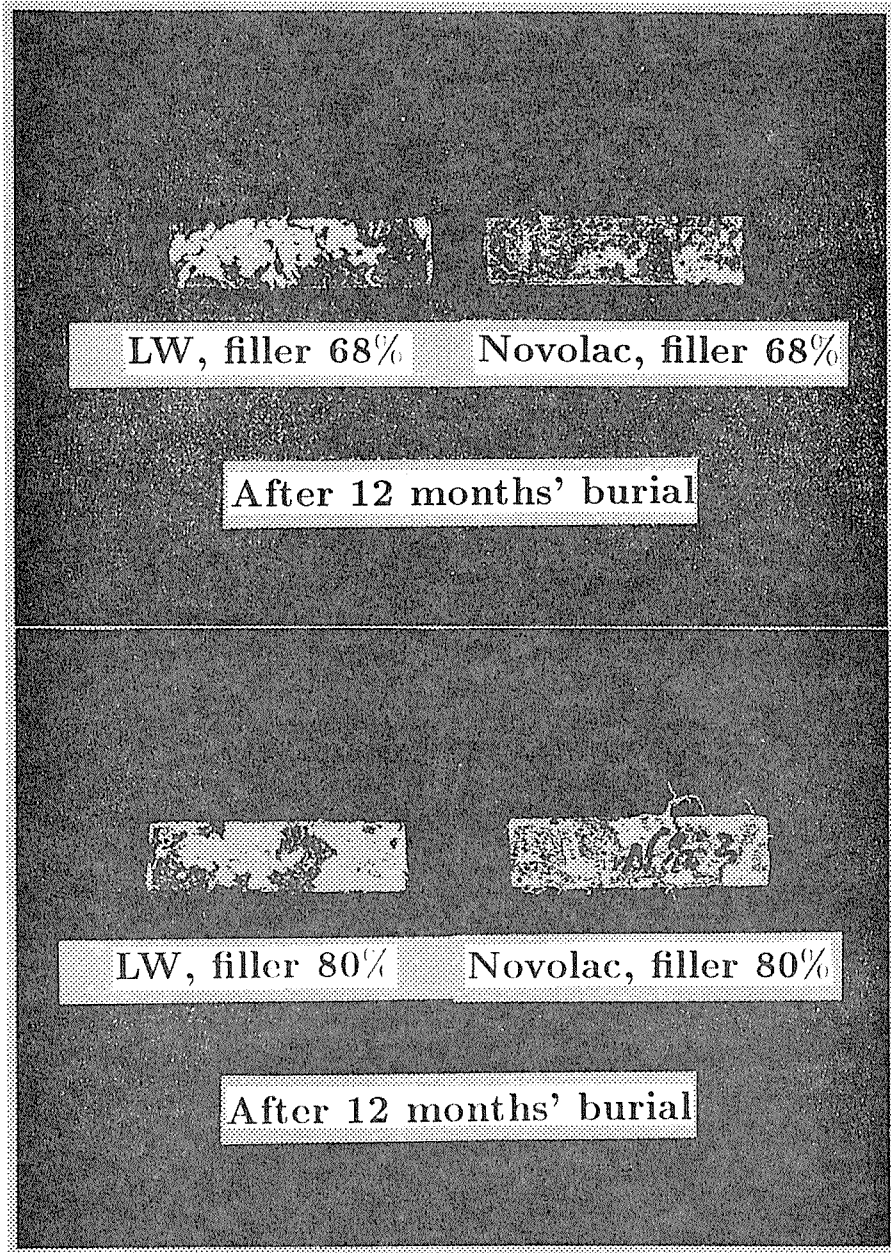
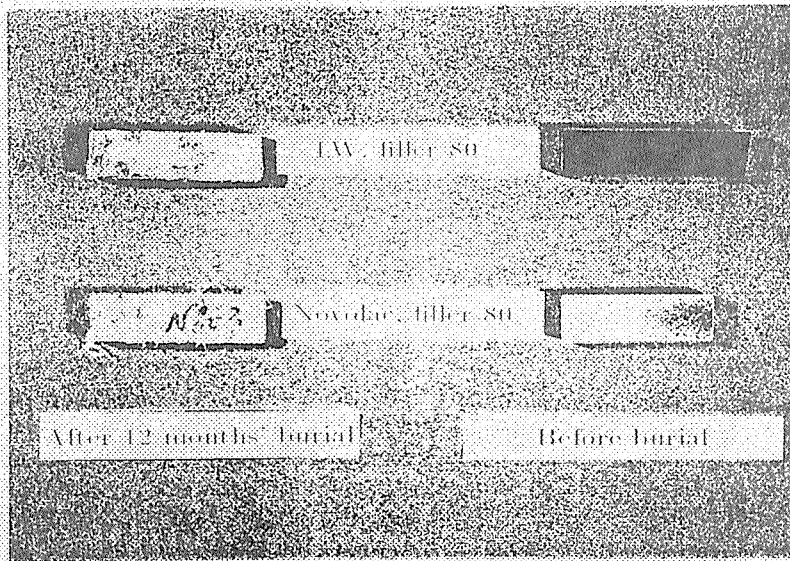
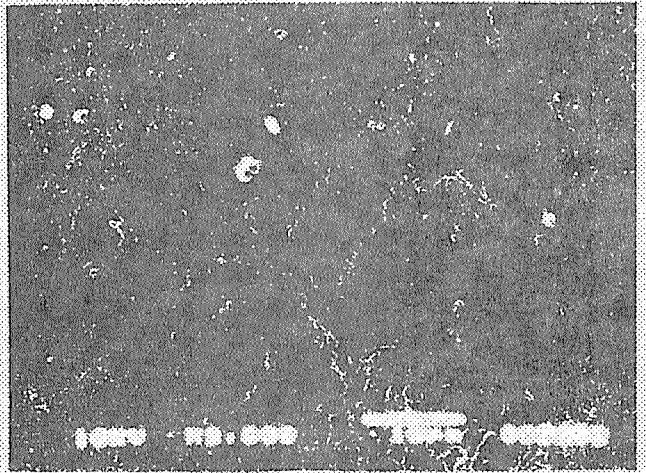
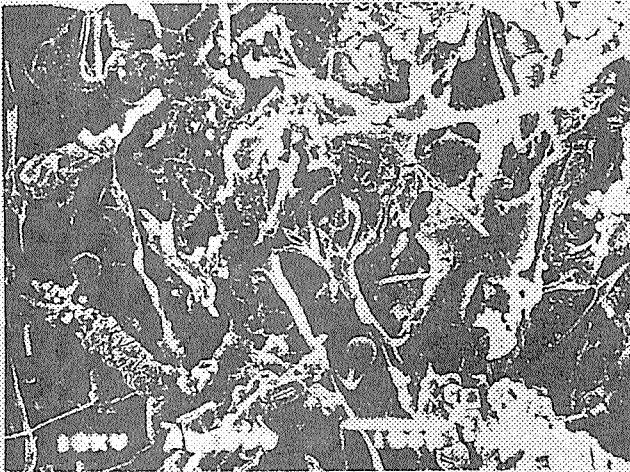


写真 3



Liquefied Wood (surface), filler 80%



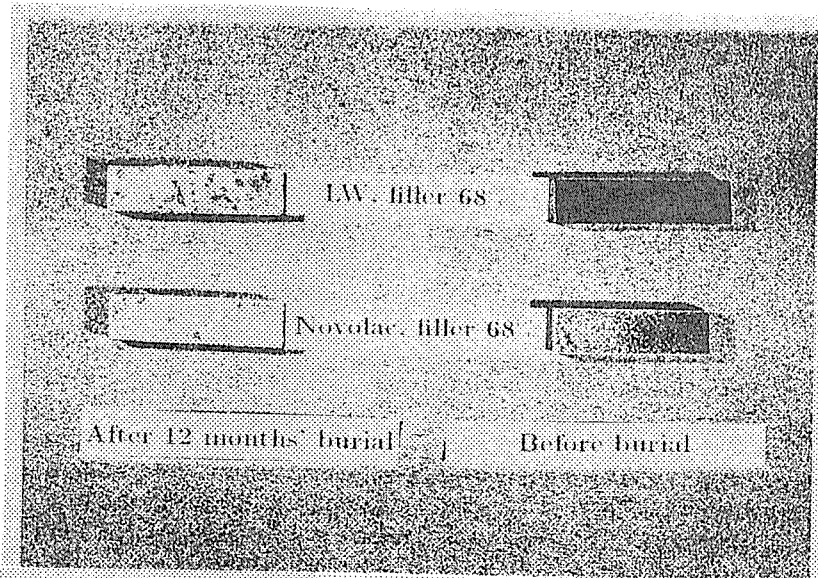
Novolac (surface), filler 80%



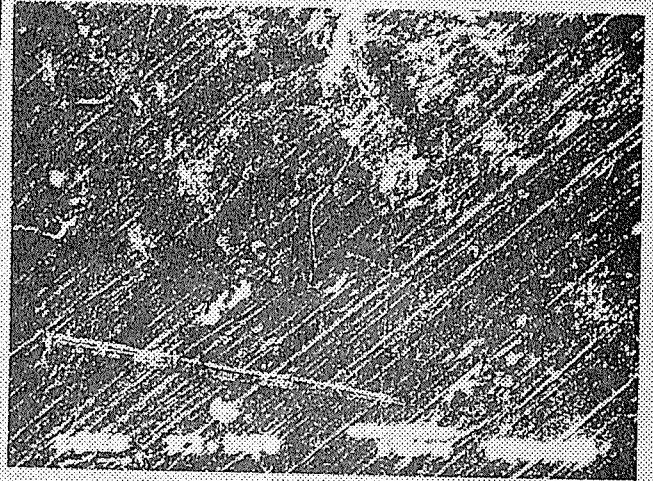
After 12 months burial

Before burial

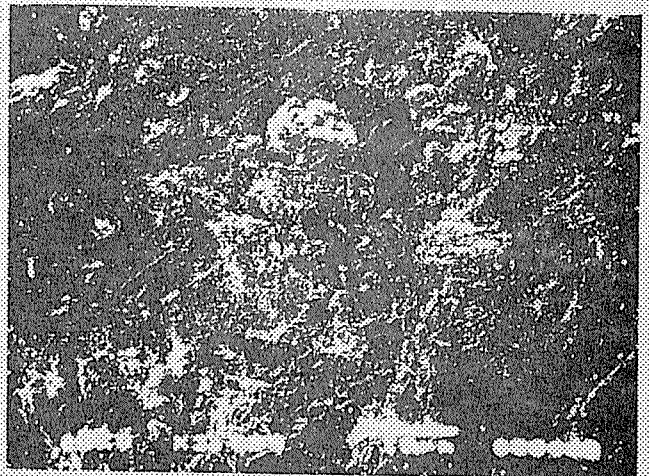
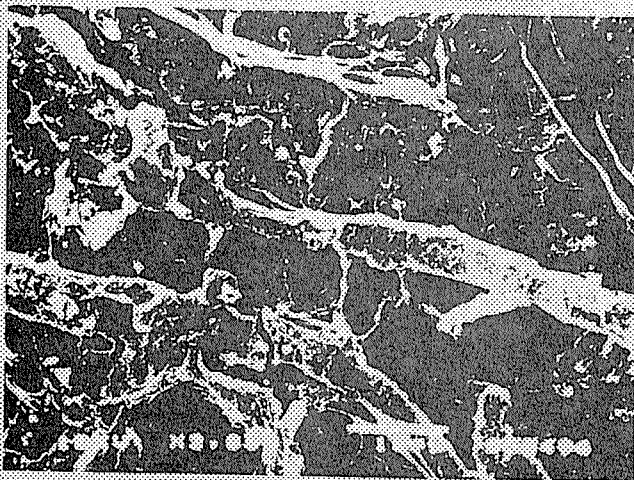
写真4



Liquefied Wood (surface), filler 68%



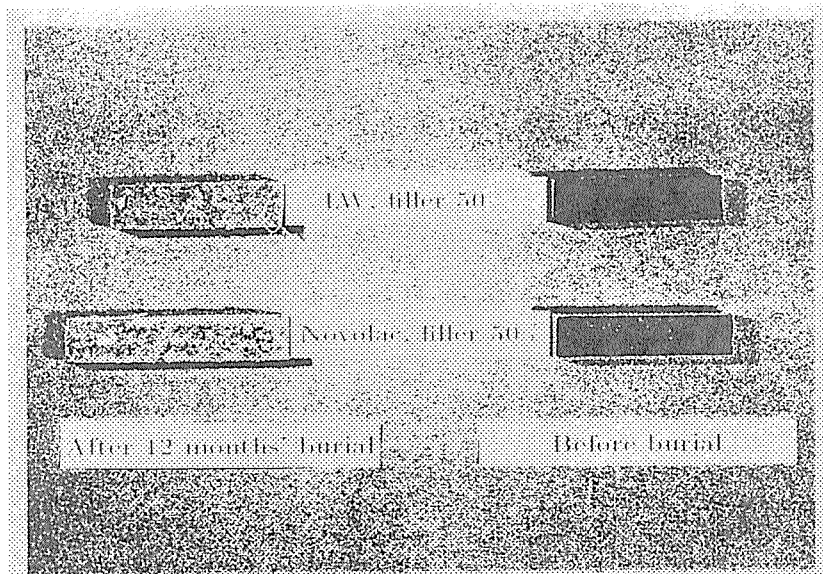
Novolac (surface), filler 68%



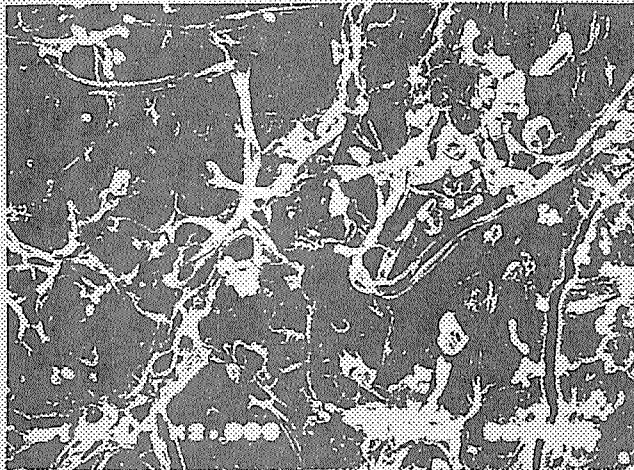
After 12 months burial

Before burial

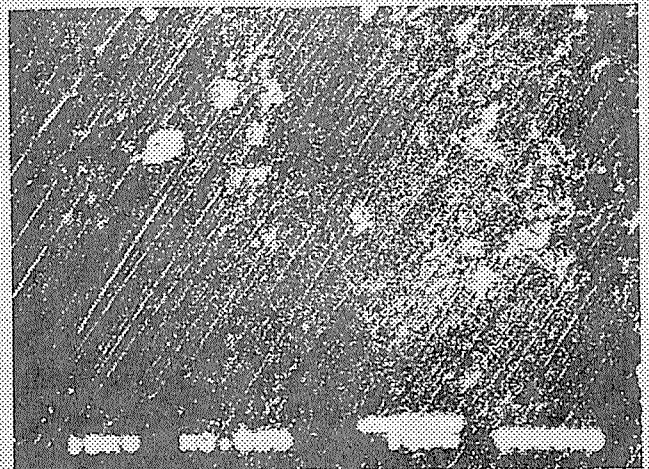
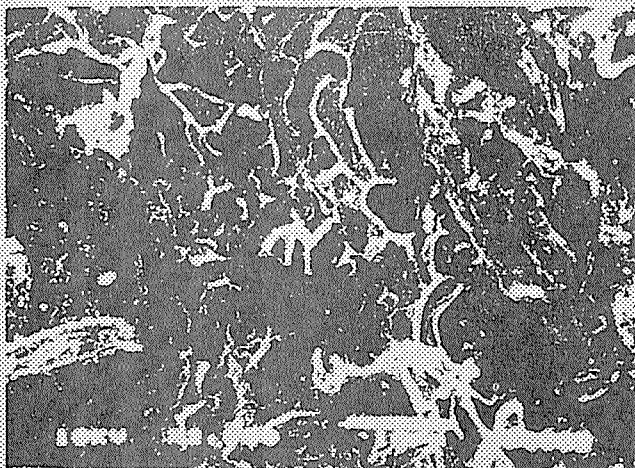
写真 5



Liquefied Wood (surface), filler 50%



Novolac (surface), filler 50%



After 12 months burial

Before burial

写真 6

木材系成形物とノボラック樹脂系成形物とを比較した写真2、および、写真2の中で木粉充填剤含量68%および80%のものを大撮しで比較した写真3からも云える。

写真4～6では、それぞれ木粉充填剤含量50、68あるいは80%のフェノール化木材系成形物およびノボラック樹脂系成形物についての12ヶ月間の土中埋没試験前および後の肉眼観察結果とSEM観察結果の一例ずつとを対比させて示している。これらの場合も、フェノール化木材系成形物の方がノボラック樹脂系成形物よりも生分解が進みやすいこと、また木粉充填剤含量が大きいものの方が生分解されやすいことが明らかである。なお、写真4の12ヶ月土中埋没処理後のフェノール化木材系成形試片のSEM写真（中段左）にはクラックが写っているが、この様なクラックの存在がこの試片の特徴であることは前述した。

写真7～9には、それぞれ木粉充填剤含量50、70、あるいは80%のフェノール化木材系成形物（左半分）およびノボラック樹脂系成形物（右半分）についての土中埋没処理前、30日または45日および12ヶ月間の土中埋没処理後のSEM観察結果を対比させて示している。これらより、30日または45日の処理に比べ12ヶ月後には菌糸の存在密度がはっきりと著しく高まっていること、および、これまで述べられて来た事がらと同様に知られた。フェノール化木材系成形物で木粉充填剤含有量50%のものは30日の土中埋没試験後のものでも、クラックが12ヶ月処理後の場合と同様に認められ、前述の関連の記述を裏付けている。

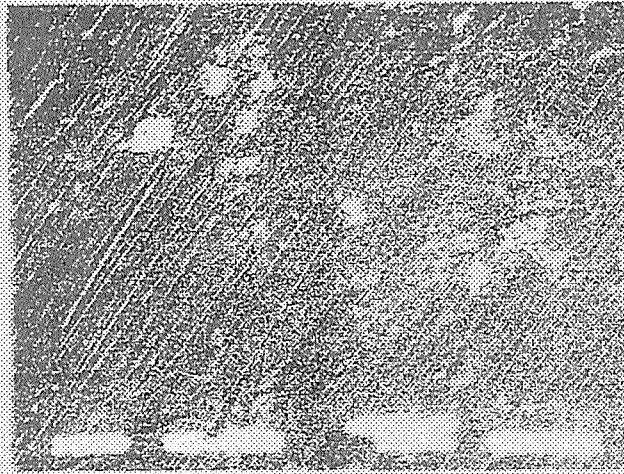
写真10～12には、それぞれ、直前の写真7～9の場合と同様なサンプルについてその横断面をSEM観察した結果が示されている。全体としてこれまで述べてきたことを裏付ける写真となっているが、新たに、菌糸の発育が表面のみでなく試験体の厚み方向全面にわたっていること、30日や40日の土中埋没処理でもかなりの度合いのものとなっていること、12ヶ月処理後には、非常に著しいものとなっていることが知られる。この場合も、フェノール化木材系成形物で木粉充填剤含量50%のものは、30日土中埋没処理のものを含め、土中埋没処理により試片中にクラックを著量発生させていることが知られる。

2.4 まとめ

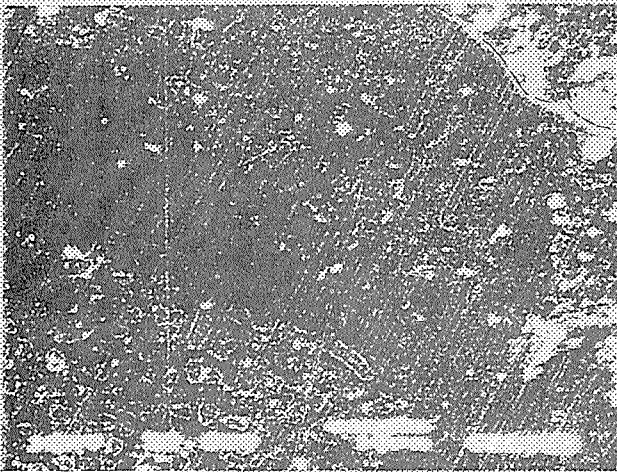
フェノールの存在下で木材を液化したものよりフェノールを減圧留去したもの（フェノール化木材）をマトリックス樹脂とし200メッシュパスの寸度の木粉（セルロシン）を充填剤として50～80重量%加え、硬化剤、硬化促進剤および離型剤を常法通り加えて製造した成形物（曲げ試験片）の生分解性について、市販ノボラック樹脂をマトリックス樹脂とする対応の成形物と比較して、土中埋没試験（30℃、80%RH）により評価した。その結果、土中埋没処理に伴う重量減少率による評価が必ずしも有効でないのに対し、曲げ強度の減少率からの評価およびSEM観察による評価が有効であることが知られた。

ノボラック樹脂系成形物でもある程度のはっきりした生分解を示すことが認められた。更に、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系成形物の2倍な

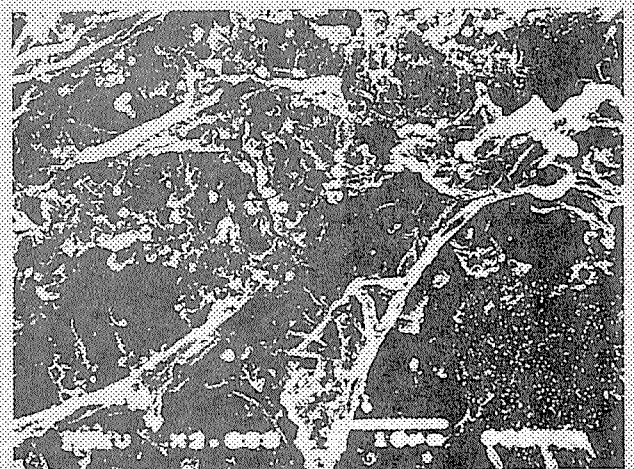
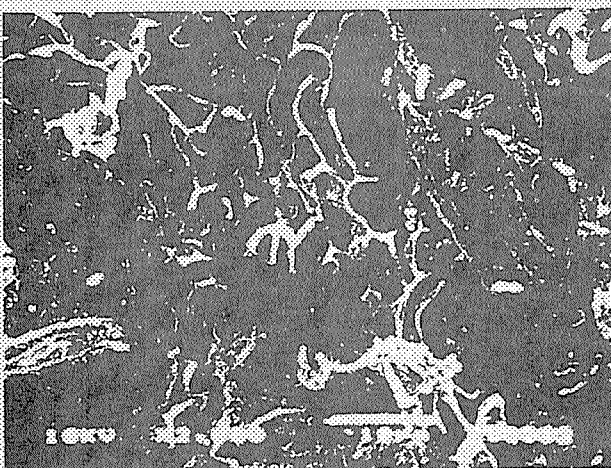
Novolac (surface), filler 50%



Before burial



After 45 days burial



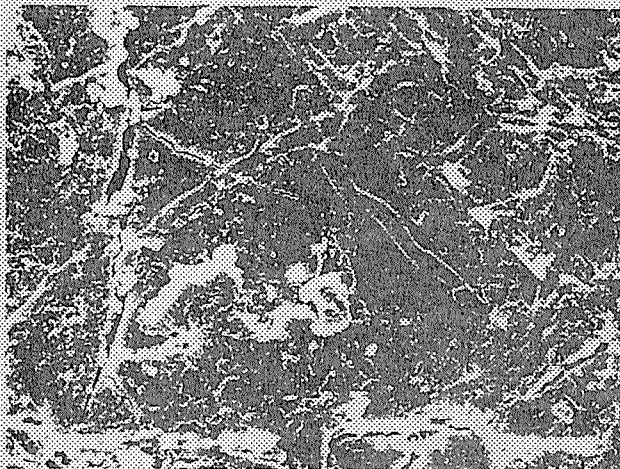
After 12 months burial

Liquefied Wood (surface), filler 50%

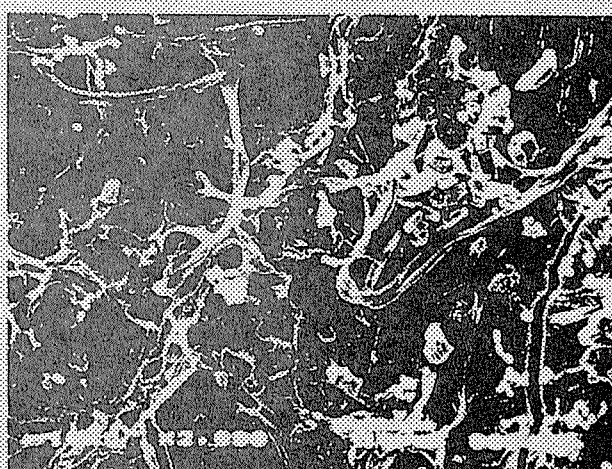
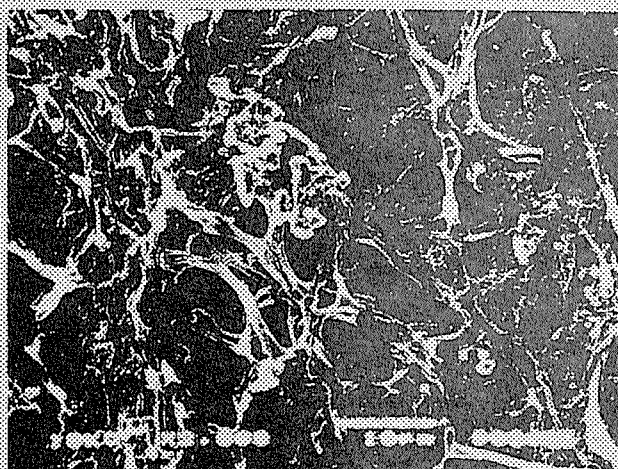
写真7(2)



Before burial

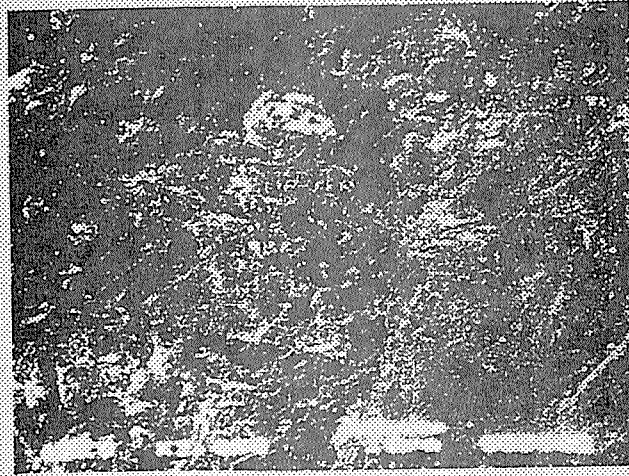


After 30 days burial

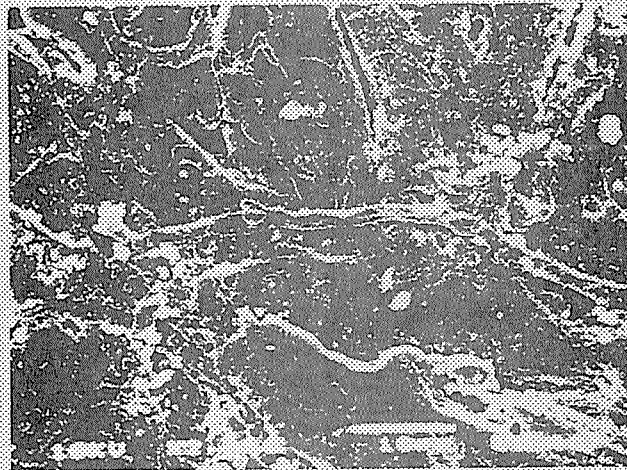


After 12 months burial

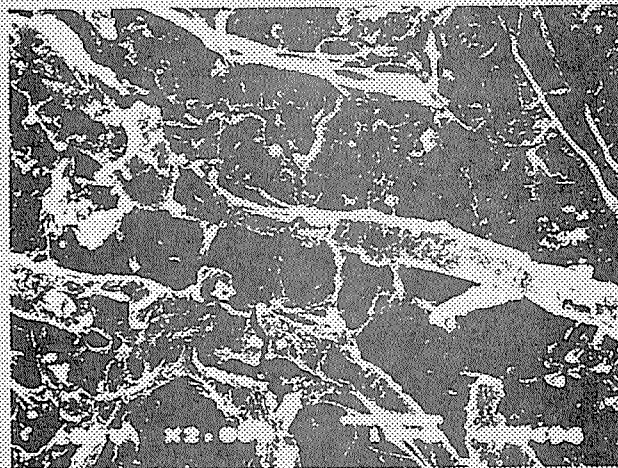
Novolac (surface), filler 70%



Before burial

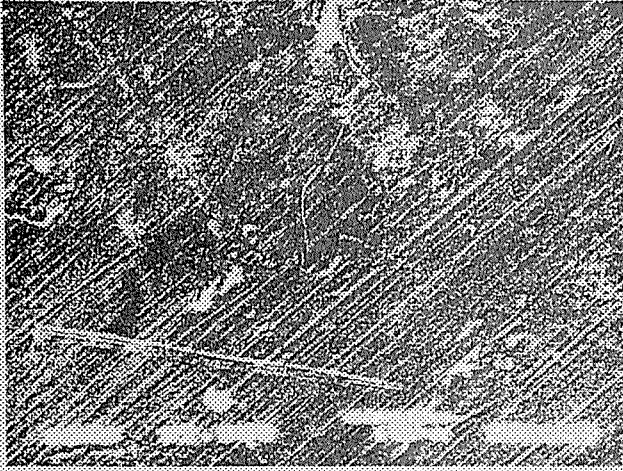


After 45 days burial

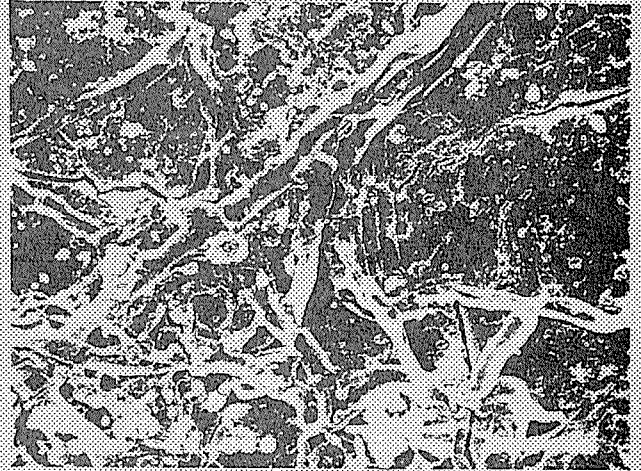


After 12 months burial

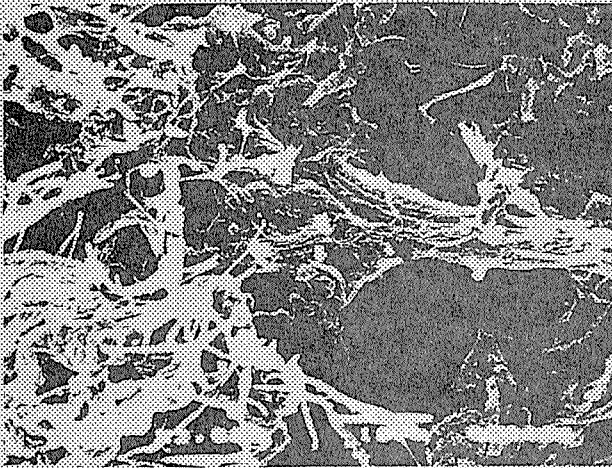
Liquefied Wood (surface), filler 70%



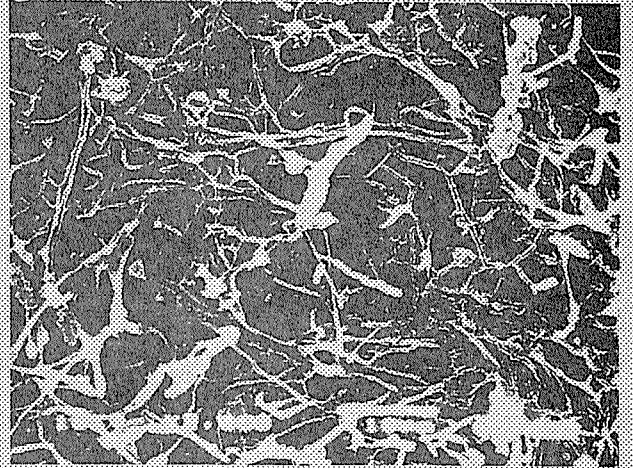
Before burial



After 30 days burial



After 12 months burial

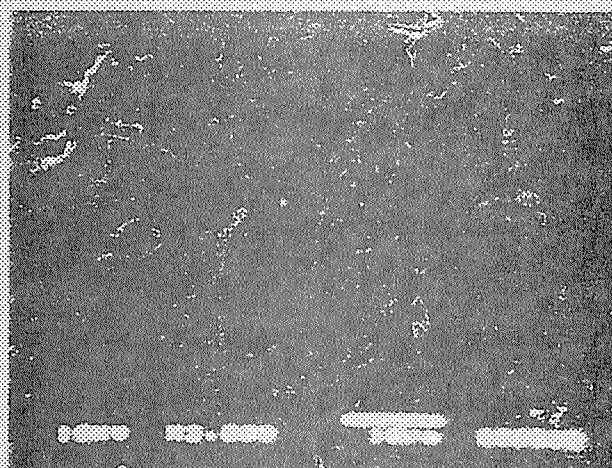


After 12 months burial

Novolac (surface), filler 80%



Before burial



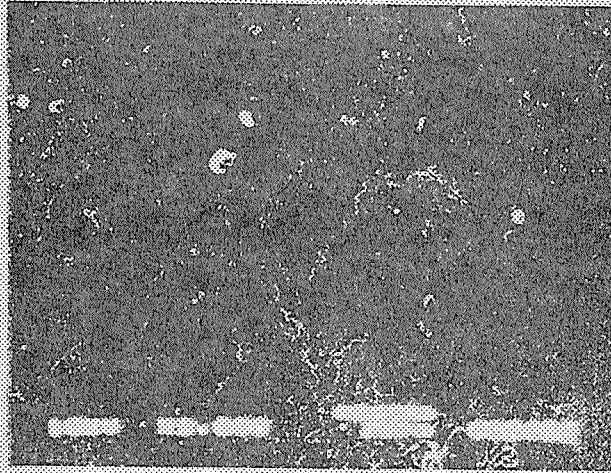
Before burial



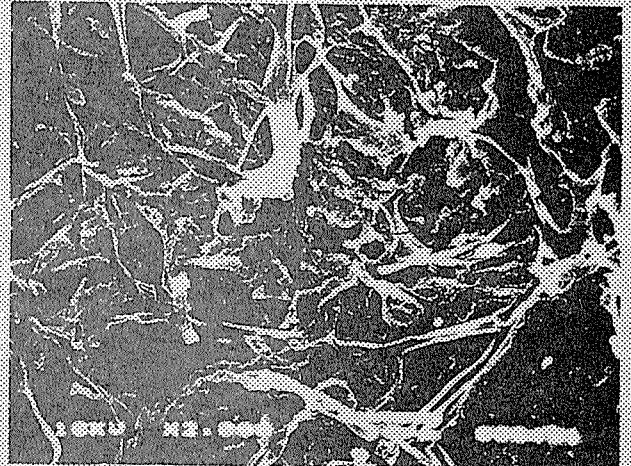
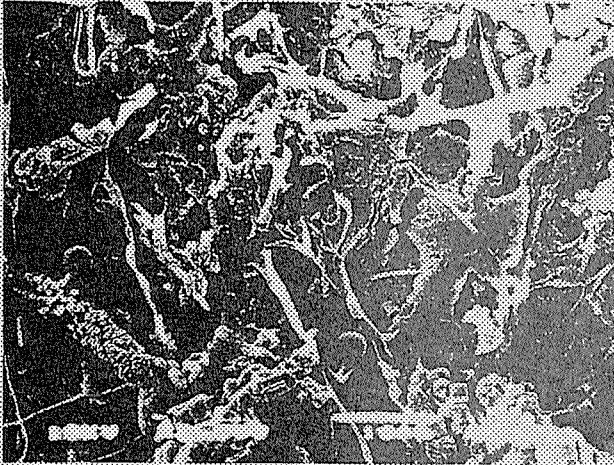
After 12 months burial

Liquefied Wood (surface), filler 80%

写真9(2)



Before burial

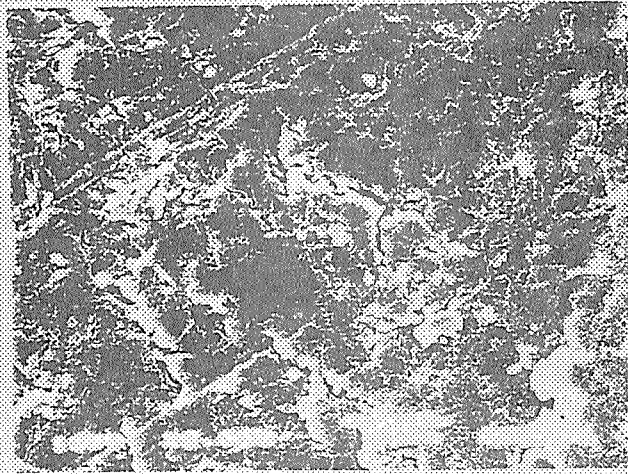


After 12 months burial

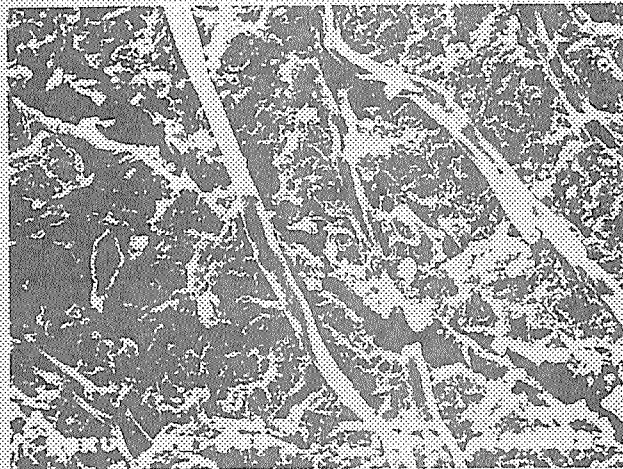


After 12 months burial

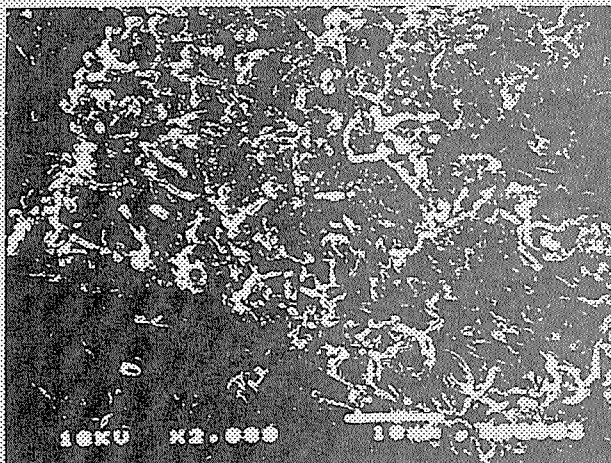
Novolac (cross section), filler 50%



Before burial

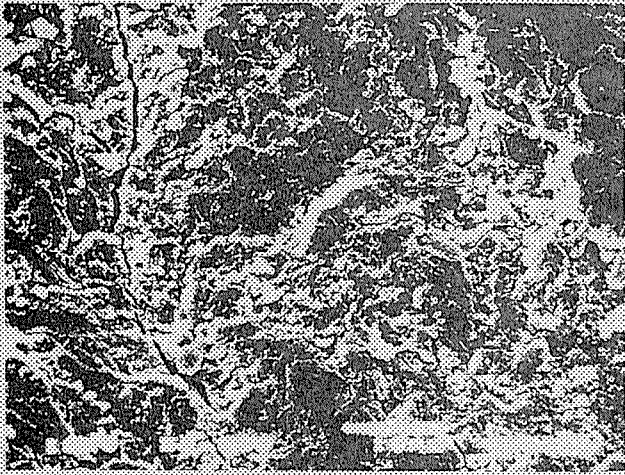


After 45 days burial



After 12 months burial

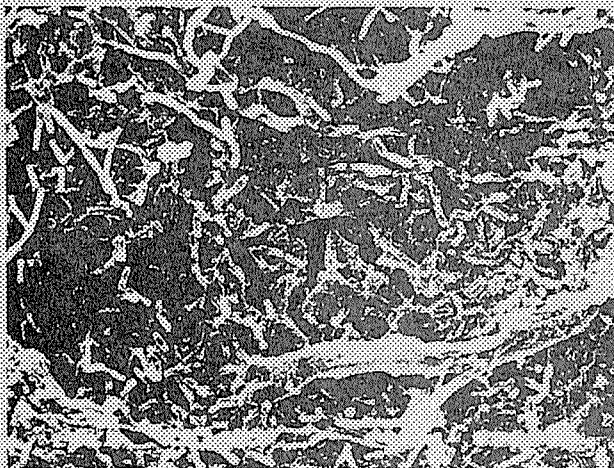
Liquefied Wood (cross section), filler 50% 写真10(2)



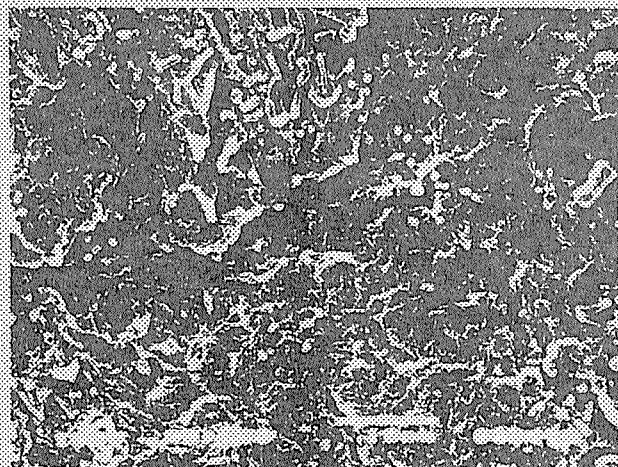
Before burial



After 30 days burial

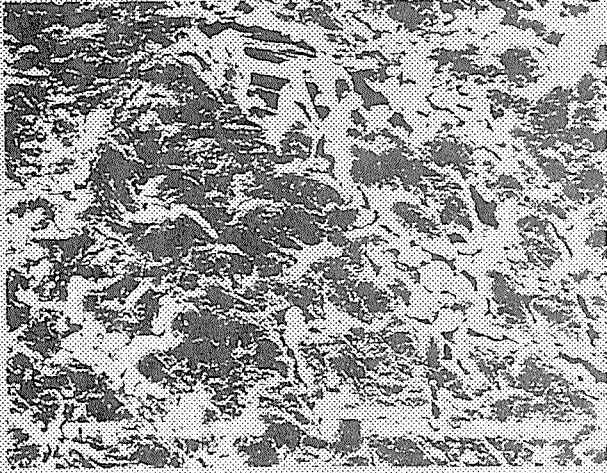


After 12 months burial



After 12 months burial

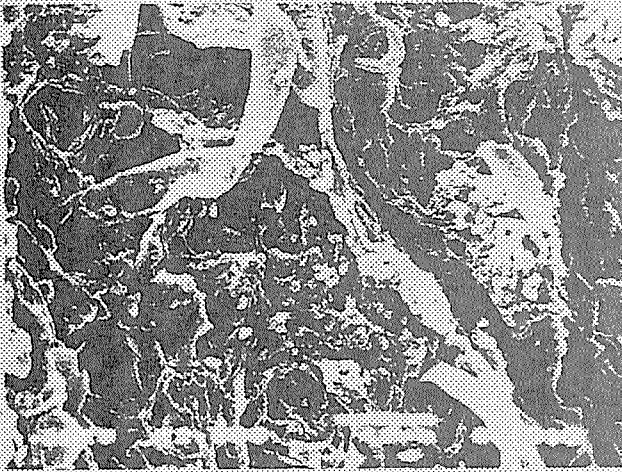
Novolac (cross section), filler 70%



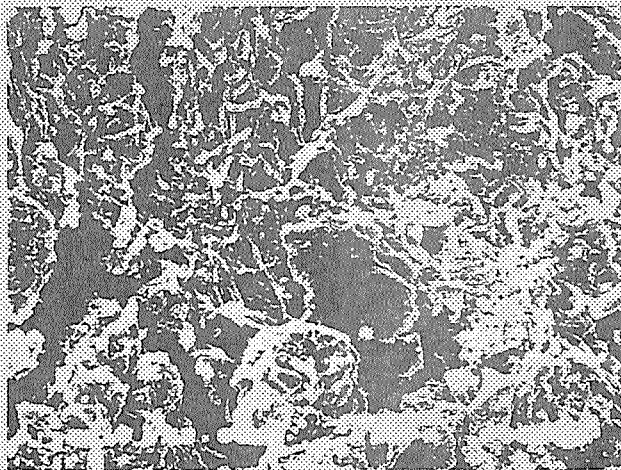
Before burial



After 45 days burial

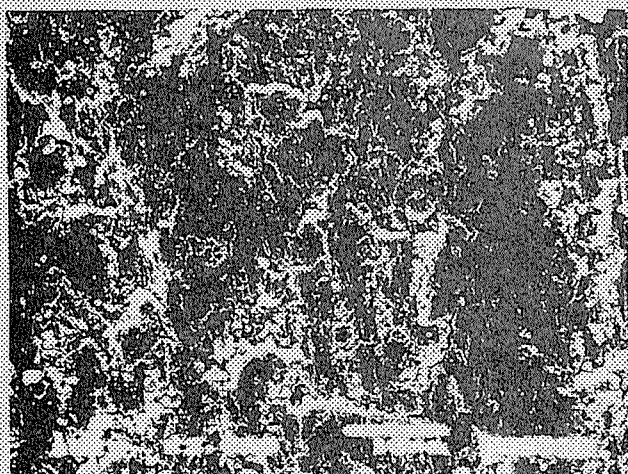


After 12 months burial



After 12 months burial

Liquefied Wood (cross section), filler 70% 写真11(2)



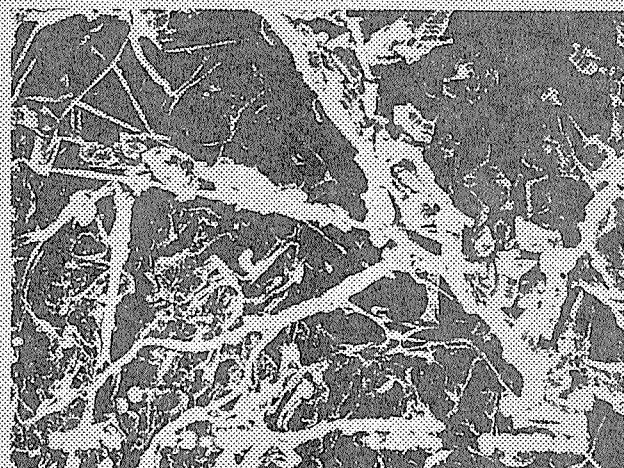
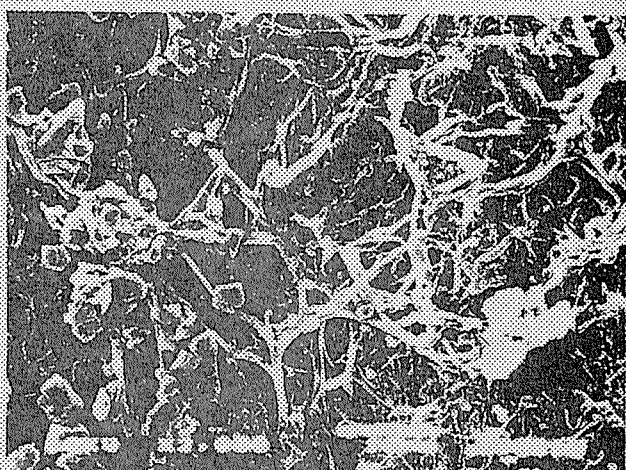
Before burial



After 30 days burial



After 12 months burial

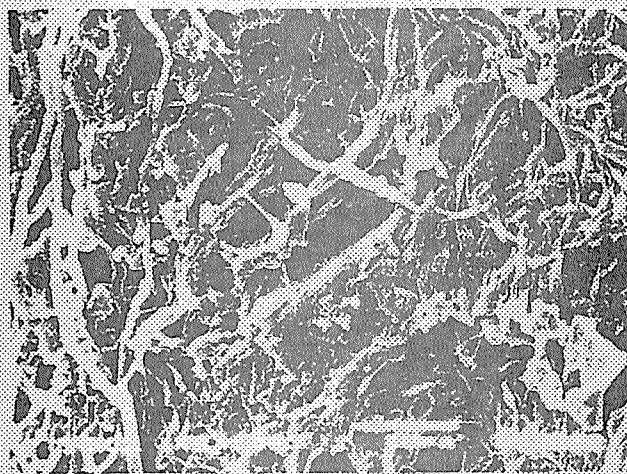


After 12 months burial

Novolac (cross section), filler 80%



Before burial

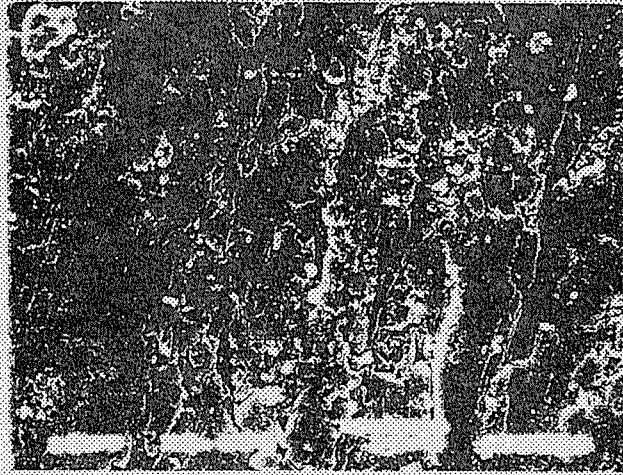


After 12 months burial

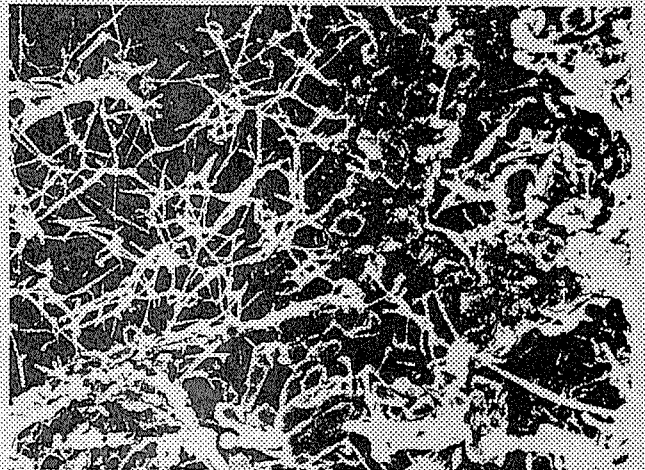


After 12 months burial

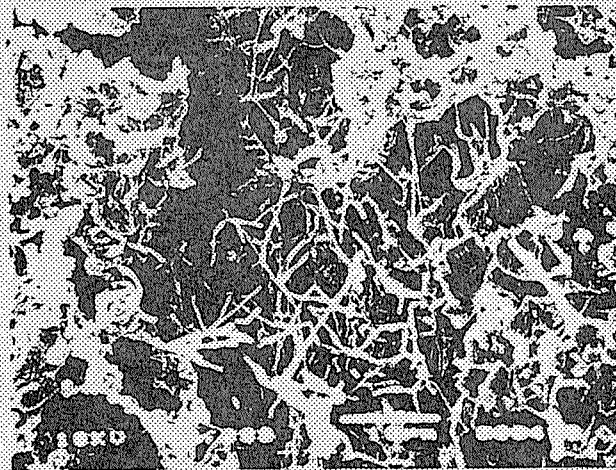
Liquefied Wood (cross section), filler 80%



Before burial



After 12 months burial



After 12 months burial

いしそれ以上の値をとり、SEM観察でもより進んだ生分解性が認められ、格段に生分解性に優れた材料となっていることが明白になった。他方、充填剤木粉量を増すと共に、成形材料の生分解性が大きくなることも知られた。

第12章 保存処理木材の分別技術と再利用技術の開発

1. CCA処理廃材からのクロム・銅およびヒ素の抽出除去技術に関する基礎的検討

1.1 はじめに

防腐・防蟻処理木材とは、白蟻や木材腐朽菌などに対して長期間保護するために防腐剤で加工した木材を指し、木造住宅の床下材や建築用材、電柱、枕木、遊具、ベンチなどに用いられてきた。現在では、生産されている防腐・防蟻処理木材の70%以上がCCAと呼ばれる水溶性防腐剤で処理したもの(以下CCA処理木材と略す)である。CCA薬剤は、銅(以下Cuと略す)、クロム(以下Crと略す)、およびヒ素(以下Asと略す)各々の化合物で構成されたものである。1938年にアメリカでCCA薬剤が開発されて以来、CCA処理木材は世界60ヶ国以上の国々で50年以上にわたって使用されており、長期間防腐・防蟻効果を高く維持できるだけでなく、臭いもなく木材の強度・吸湿性・塗装性などにも影響を及ぼさないことが確認されている。CCA薬剤は水溶性であるが、木材に圧入加工して定着させることによって、木材中のセルロースやリグニンなどと結合して化学的に安定する。このため、降雨などによってCCA処理木材から薬剤成分が流出したり、CCA処理木材を手でさわって薬剤が手に付着したりすることはなく、周辺環境にも悪影響を及ぼさないことから、現在では最も優れたものとして位置づけられ、わが国でもJIS¹⁾・²⁾で規定されている。

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m³生産されている。したがって、CCA処理木材は使用当初から既に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³⁾。廃木材は、通常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Asが混入したり、焼却灰に高濃度のCu, Cr, およびAsが含まれたりして環境汚染を引き起こす恐れがある。バーゼル条約でもCCA薬剤が対象物に取り上げられており⁴⁾、アメリカやイギリスではCCA処理木材の加工や廃棄に対して注意を促している³⁾。

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破碎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⁵⁾・⁶⁾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、技術的に不明な点が多いものの、抽出条件によっては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。

このような背景から、CCA処理木材からCu, Cr, およびAs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。

1.2 実験方法

1.2.1 サンプルの作成とサンプル量の決定方法

実験には、CCA薬剤で防腐・防蟻処理を施し、1カ月間の薬剤定着を終えたアメリカ産のツガ材を用いた。通常CCA薬剤で防腐・防蟻処理される際には、薬剤が木材表面から1~2cmほどの深さまでしか浸透しないため、防腐・防蟻処理された角材の表面約1cmの部分チップと2軸せん断破砕機、およびウィレー氏式粉砕機で処理して、ふるいで所定の粒度にふるい分けたものをサンプルとし、四分法で縮分して所定のサンプル量を取り分けた。実験1および2では、チップ中Cu, Cr, As量のばらつきの影響を極力避けるため、1mm以下のサンプルを用いた。

実験3では、サンプルの粒径を5段階にわけて実験をおこなったが、1回の実験に用いるサンプル量を決めるために、サンプル量と含有率のばらつきとの関係を以下に示すような簡便法で調べた。まず最初に、各段階のサンプルの全体量の10%を塗料でマーキングして十分に混合した。ここから四分法で縮分して代表サンプルを取り出して全重量を測定し、この代表サンプルからマーキングされたチップを選り分けてその重量を測定して全重量に対する比率を計算した。この操作を繰り返し、サンプル量とマーキングされたチップの割合との関係を粒径ごとにグラフ化して、値のばらつき具合から適切なサンプル量を求めた。ただし、1mm以下の粒径サンプルは、マーキングされたものを選り分けることが不可能であるため、実験3に限って便宜上1-5mmの場合と同じ値をサンプル量とした。

木材チップ中のCu, Cr, As量の測定は、チップ径の大きなものは細かく粉砕したのちJIS-A9107の付属書にしたがって硫酸と過酸化水素水で加熱分解し、この試験液中のCu, Cr, As濃度をICP発光分析装置（島津製作所製、ICP-1000Ⅲ）で測定して、含有量の平均値と標準偏差、および変動係数を求めた。

1.2.2 実験条件

CCA薬剤によって防腐・防蟻処理された廃木材からCu, Cr, Asを除去するための抽出処理法の処理条件について検討するために、3種類の実験を行った。実験1は、抽出処理に適切な溶媒を選定するための回分実験であり、実験2は抽出処理に適切な溶媒温度を選定するための回分実験、実験3は処理に必要な抽出時間と適切な溶媒濃度を選定するための回分実験である。各実験によって適切な抽出条件を選定しながら実験を進めていき、結果として表12-1に示すような条件で実験を行った。実験1で比較した溶媒は、無機酸、有機酸、およびパルプ製造時に用いる蒸解薬品を参考にして⁷⁾表12-2に示した8種類の溶媒を用いた。

実験1および実験2では、所定量のサンプルを各溶媒とともに容量120mlの耐圧密閉容器に入れ、オートクレーブで所定時間加熱した。溶媒量は、サンプルの浸漬程度から判断

表12-1 実験条件

実験番号	1	2	3
溶媒	8種類 (表-2参照)	硫酸	硫酸
チップの大きさ (mm)	<1	<1	5段階
抽出温度 (°C)	120	40~120 (5段階)	90~100
抽出時間 (hr)	1	1	7
固液比 (ml/g)	20	20	20

表12-2 比較検討した溶媒の組成

溶 媒	組 成
NaOH & Na ₂ S *	NaOH:25.8g と Na ₂ S:12.6g を1Lの蒸留水に溶かす
NaOH *	NaOH:25g を1Lの蒸留水に溶かす
CH ₃ COOH	0.25N
HNO ₃	0.25N
H ₂ SO ₄	0.25N
HCl	0.25N
Na ₂ SO ₃ & NaHCO ₃ **	Na ₂ SO ₃ :120g とNaHCO ₃ :20gを1Lの蒸留水に溶かす
Na ₂ SO ₃ & H ₂ SO ₃ ***	Na ₂ SO ₃ :150g とH ₂ SO ₃ :27ml を1Lの蒸留水に溶かす

* : クラフトパルプ法による

** : 中性亜硫酸塩法による

*** : 酸性亜硫酸塩法による

してサンプル1gあたり20ccの溶媒を用いた。実験終了後、溶液をガラスフィルター（東洋濾紙、GS-25）で吸引濾過し、濾液中のCu, Cr, Asの各濃度を I C P 発光分析装置で測定した。また、抽出処理によって木材成分であるリグニンなどの難分解性有機成分も抽出されてくるため、これら難分解性有機成分量の指標として抽出液の全有機炭素濃度をTOC計

(島津製作所製、TOC-500)で測定し、木材チップの単位量あたりの抽出TOC量を計算した。

実験3では、各粒径のサンプルと0.1N、0.25N、あるいは1Nの硫酸を容量2Lのガラス容器に入れ、攪拌しながらオイルバスによって溶媒温度が90～100℃になるよう加温しながら抽出処理を行った。また、実験1および実験2と同様に、抽出容器に加える硫酸液量はサンプル量との比が20cc : 1gとなるように定めた。抽出処理は最大7時間としてこの間溶媒を経時的に採水し、ガラスフィルターで吸引濾過したのち濾液中のCu, Cr, Asの各濃度とTOC濃度をICP発光分析装置とTOC計で測定した。

1.3 実験結果と考察

1.3.1 サンプル量の決定とチップ中の銅、クロムおよびヒ素量

チップ中のCu, Cr, As量のばらつきを調べるために行った簡便法の結果を図12-1に示す。

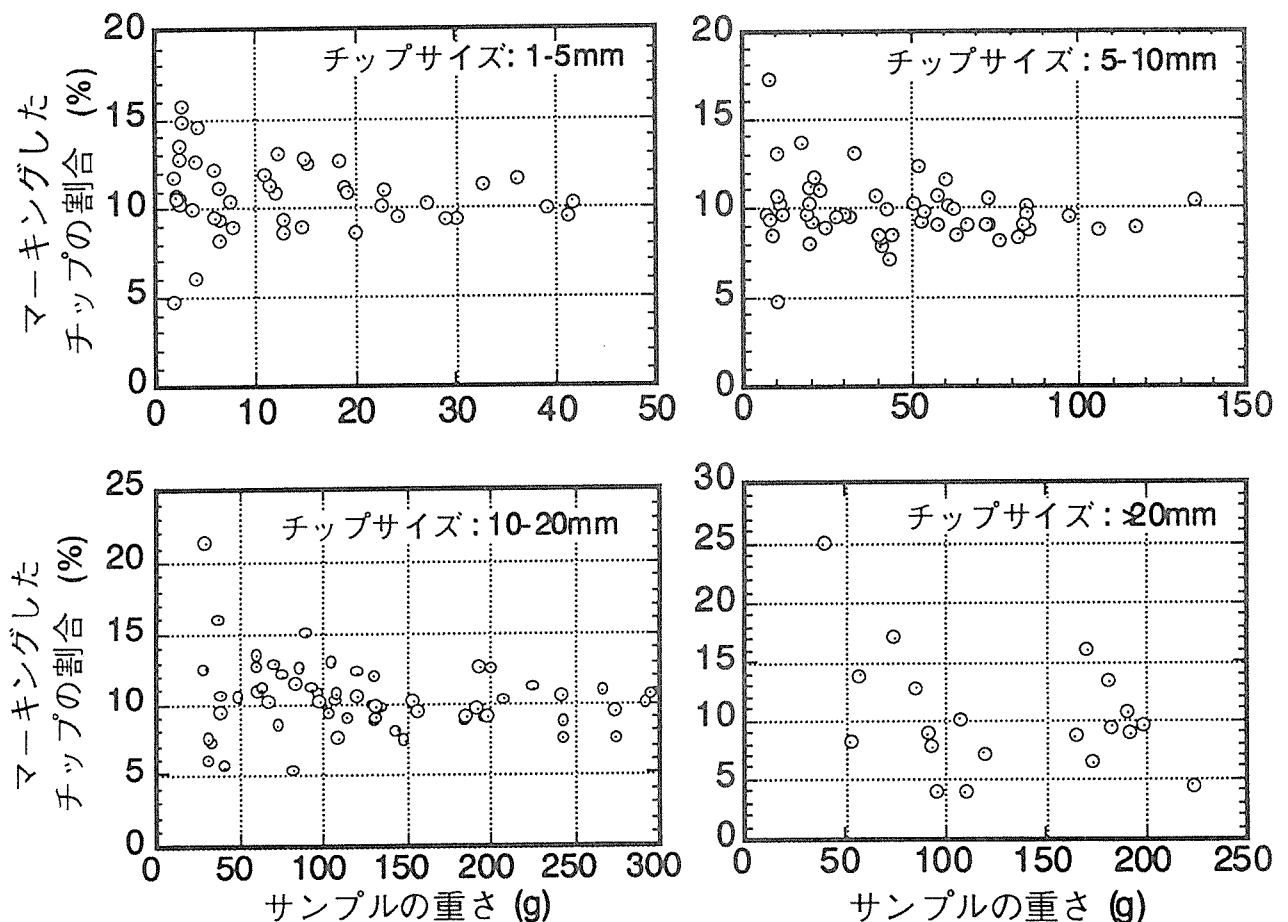


図12-1 サンプルの重さとマーキングしたチップの割合との関係

サンプル量を増やすにつれてマーキングされたチップの割合のばらつきが小さくなる傾向がみられるが、一定値以上にサンプル量を増やしてもばらつきはほとんど変わらないことがわかる。実験上の便宜を考慮して、実験3で用いる各径のサンプル量は、1mm以下のものと1-5mmのものはそれぞれ50g、その他は100gとした。また、このようにして量を決めたサンプル中のCu, Cr, As含有量の分析結果を表12-3に示す。粒径が小さい場合は変動係数が数%であるが、10mm以上になると変動係数が10%以上の大きな値になって含有量の値が大きくばらついていることがわかる。

表12-3 サンプル中のCr, Cu, As量

チップの大きさ (mm)	元素	平均値 (mg/g)	標準偏差 (mg/g)	変動係数 (%)
< 1	Cr	1.47	0.0172	1.17
	Cu	0.978	0.00882	0.902
	As	1.81	0.0289	1.60
1 - 5	Cr	1.50	0.0272	1.81
	Cu	0.970	0.0195	2.01
	As	1.75	0.0335	1.91
5 - 10	Cr	1.39	0.0675	4.85
	Cu	0.915	0.0377	4.12
	As	1.66	0.0549	3.31
10 - 20	Cr	1.21	0.159	13.2
	Cu	0.857	0.0981	11.4
	As	1.56	0.162	10.3
> 20	Cr	1.14	0.158	13.9
	Cu	0.781	0.0999	12.8
	As	1.48	0.179	12.1

1.3.2 溶媒選定のための回分実験（実験1）

図12-2 に、各々の溶媒を用いた場合の木材チップからのCu, Cr, Asの抽出率と、単位チップ当たりのTOC抽出量を示す。図中の抽出率とは、溶媒中のCu, Cr, As量を抽出前の含有量で除した値であり、抽出TOC量は溶媒中のTOC量を試料量で除した値である。この中で抽

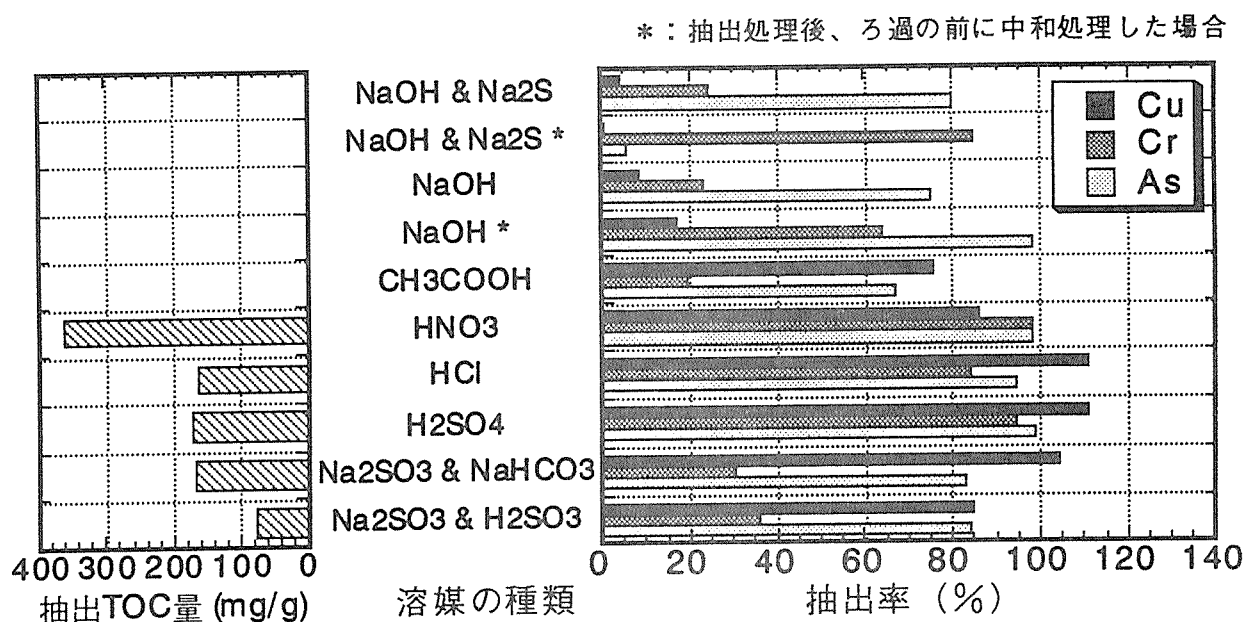


図12-2 各溶媒によるCr, Cu, As抽出率と抽出TOC量

抽出TOC量が測定されていないものがあるが、TOC計による分析が不可能であったか、分析値自身無意味であるため測定しなかったものである。また、各々の抽出率の値の中には100%を越えるものがあるが、これは種々の誤差が積み重なったためとみられる。

図12-2から、硫酸をはじめ塩酸、硝酸などの無機酸を溶媒として用いた場合、Cu, Cr, Asのいずれの抽出率も80%以上の高い値を示すが、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すことがわかる。また、抽出TOC量の値で比較すると硝酸を用いた場合に高い値を示し、塩酸、硫酸を用いた場合は硝酸の場合の半分程度の値となる。抽出するTOCは難分解性の有機成分が大半を占め、この値が高ければ抽出処理後の溶媒の処理がやっかいになるため、抽出TOC量はできる限り少ないことが望ましい。したがって、抽出処理の溶媒には塩酸あるいは硫酸が適切なものとして選定される。さらに、硫酸は不揮発性の酸であるのに対し塩酸は揮発性酸であるため、溶媒の取扱いを考慮すれば最終的に不揮発性である硫酸が適切であると判断できる。

1.3.3 抽出温度選定のための回分実験 (実験2)

実験1の結果を踏まえて、抽出溶媒として0.25N硫酸を用いた場合の抽出温度Cu, Cr, Asの抽出率の関係を図12-3に示す。抽出温度が上がるにしたがっ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ていることがわかる。ただ、抽出温度を100℃

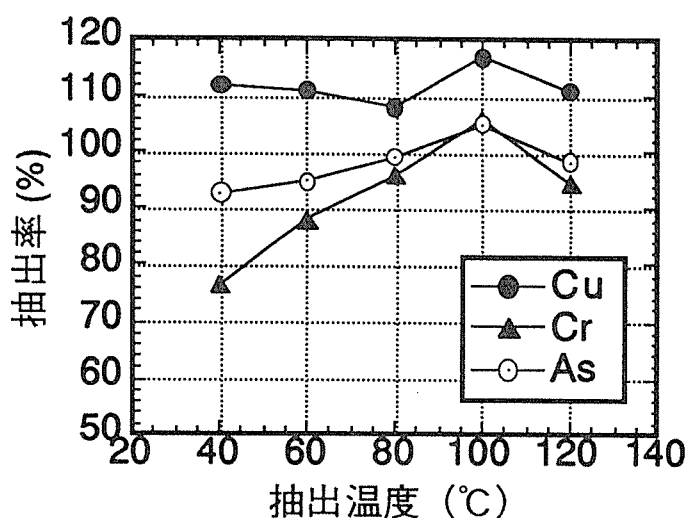


図12-3 抽出温度と抽出率との関係

以上にしようとするれば、抽出容器を加圧する必要があり、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。以上の点から抽出温度は80～100℃が適切であると判断できる。

1.3.4 抽出時間と溶媒濃度の選定とチップ径の影響の把握のための実験（実験3）

0.25Nの硫酸を用いて各チップ径のサンプルを抽出処理した場合のCu, Cr, Asの抽出率の経時変化を図12-4に示し、各濃度の硫酸を用いて10-20mmのチップを抽出処理した場合のCu, Cr, Asの抽出率の経時変化を図12-5に示す。図12-4および図12-5のいずれの結果から、時間とともにCu, Cr, As各々の抽出率が増加し、100%近辺で飽和値に達する傾向がうかがえる。また、図12-4からはチップの粒径が小さいほど短い時間で飽和値に達して抽出が完了することが読み取れ、図12-5からは硫酸の濃度が高いほど早く抽出されることがわかる。抽出処理効果の確認のため、実験終了後の木材チップ中の未抽出のCu, Cr, As量を分析した結果、抽出処理前のCu, Cr, As含有量の5%未満であった。したがって、飽和値に達した段階でCu, Cr, As各々95%以上の抽出率が得られたことになる。

そこでこの抽出率が飽和値に達した時点までの抽出時間を必要抽出時間と定義し、木材チップの粒径別に、また溶媒である硫酸の濃度ごとに必要抽出時間をグラフに表示すると図12-6が得られる。図からは、木材チップが大きくなるにつれて当然のことながら必要抽出時間は長くなり、溶媒である硫酸の濃度が高いほど必要抽出時間は短くなる傾向がうかがえる。また、3つの元素のうち、Crの必要抽出時間が他の2つの元素の値より大きい傾

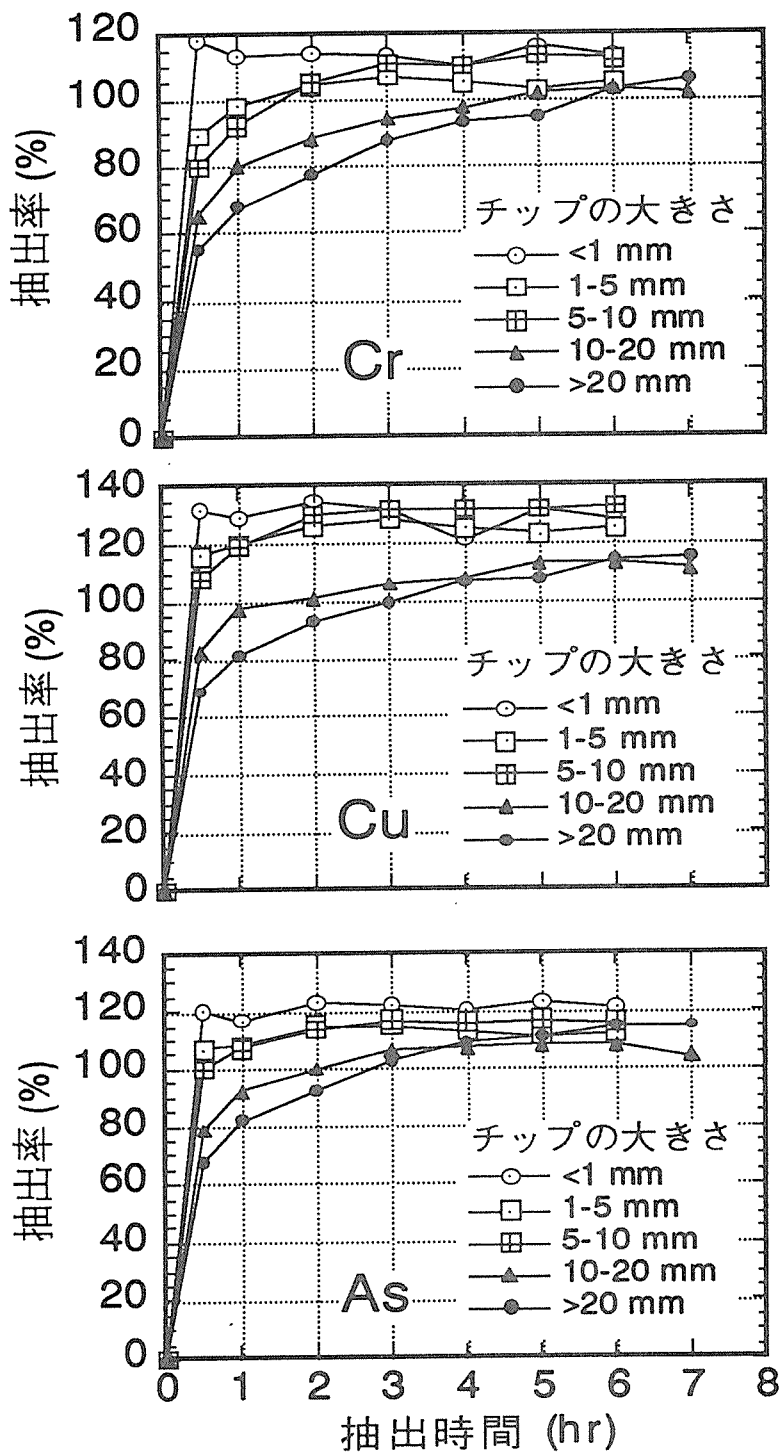


図12-4 チップの大きさと抽出率の経時変化との関係

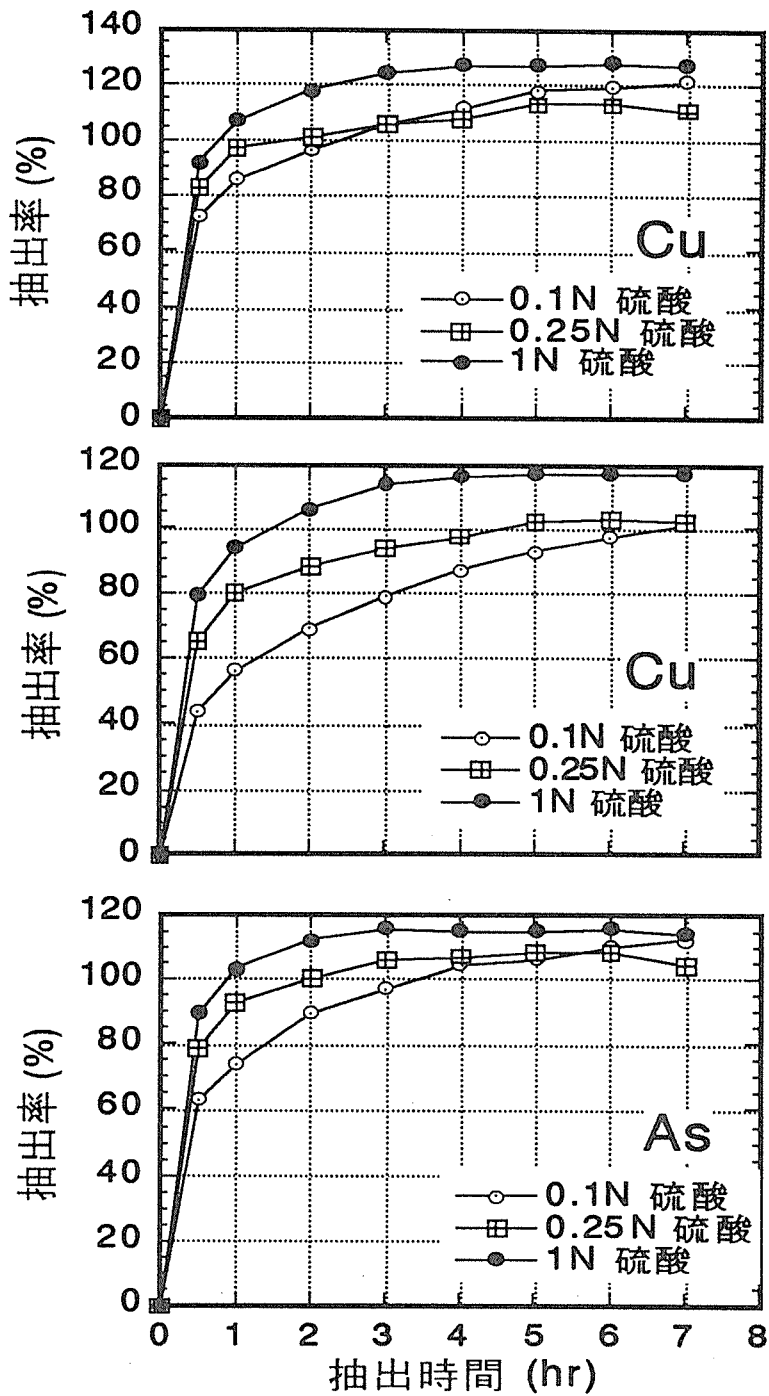


図12-5 溶媒の濃度と抽出率の経時変化との関係

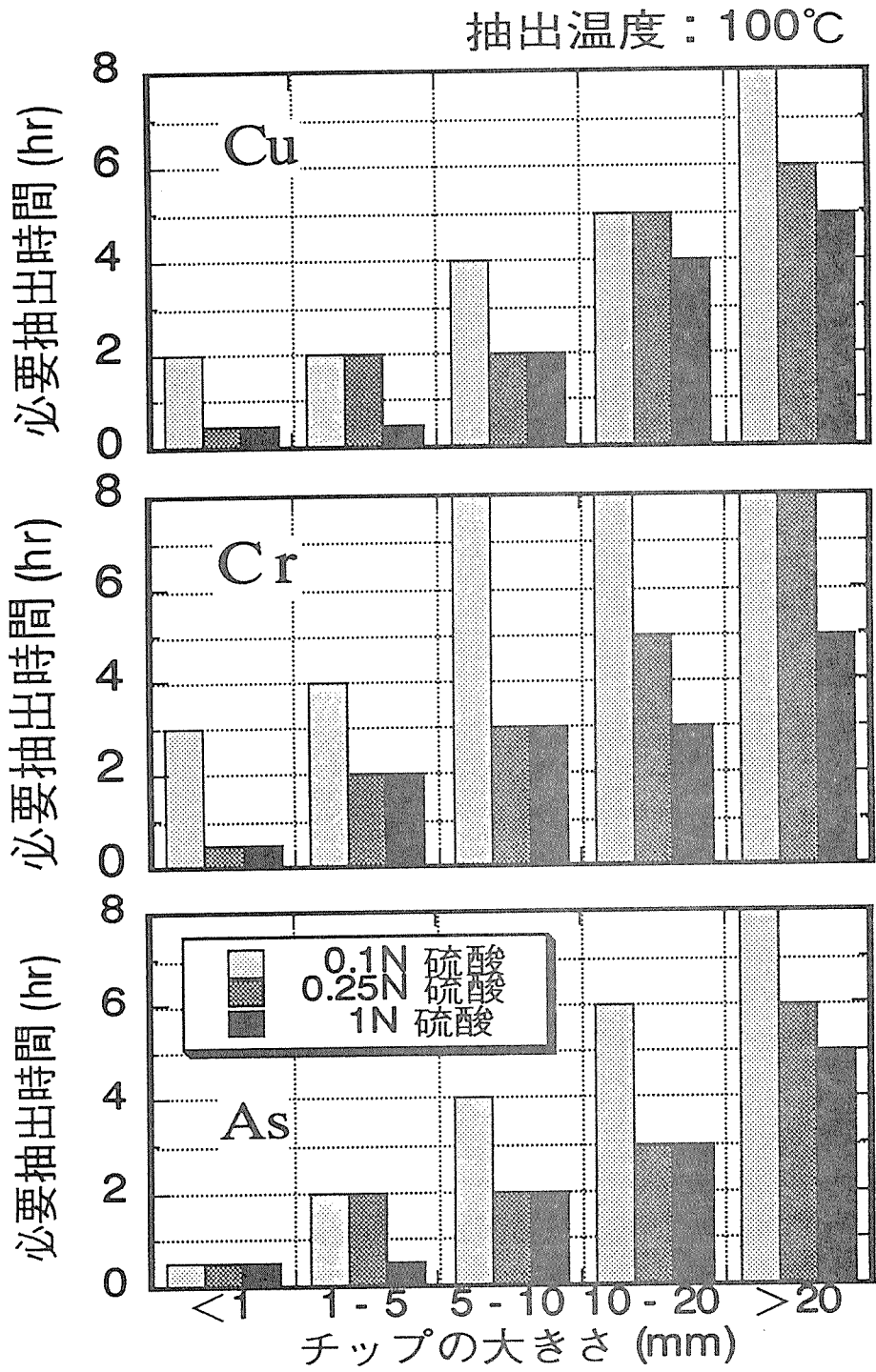


図12-6 チップの大きさと必要抽出時間との関係

向があることから、3つの元素の中ではCrが最も抽出しにくいことがわかる。これは Warnerら⁸⁾の実験からも同様の結果が得られており、木材をCCA薬剤で防腐・防蟻処理する際にCrが木材中のリグニンとかなり強固に結合しているためであると推察されている。これに対してCuは木材中のセルロース成分と結合し、AsはCuあるいはCrと酸性ひ酸銅 (CuHAsO_4) あるいはひ酸クロム (CrAsO_4) の形で木材中に存在していると考えられており、Crの結合よりやや弱いため酸によって抽出されやすいものとみられる。通常木材をチップ化した場合、長径が10~20mmの薄板状のチップが多く含まれることから、10~20mmのサンプルに対する必要抽出時間の値が実際に硫酸を用いて抽出除去する場合の1つの目安になる。実験結果から判断すれば、20mm以下のチップでは、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Cu, Cr, Asが除去できることがわかる。

10-20mmの大きさのチップを抽出処理した場合の単位チップ当たりの抽出TOC量の経時変化を図12-7に示す。

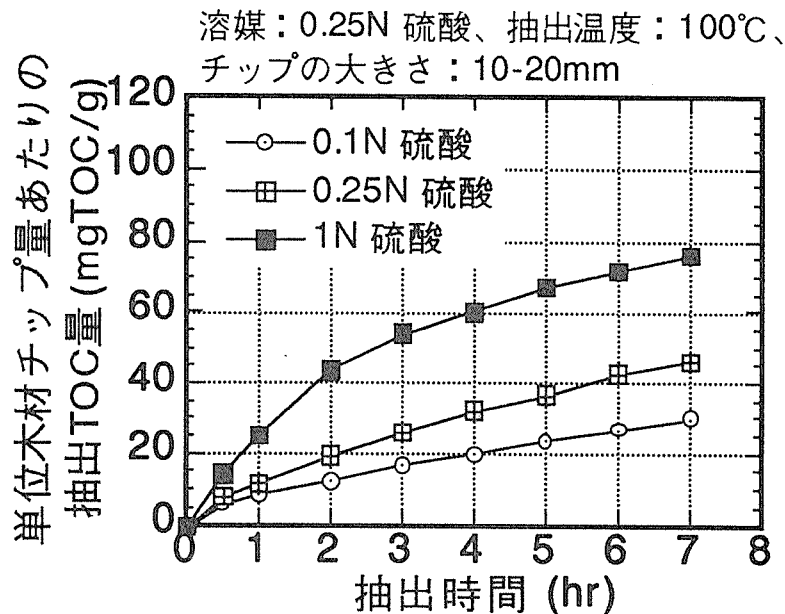


図12-7 抽出時間と抽出TOC量との関係

抽出時間が長くなるにつれて抽出TOC量も多くなり、溶媒である硫酸濃度が高いほどその値も多くなることがわかる。図12-6と図12-7とをあわせて判断すると、1Nの硫酸を用いた場合の必要抽出時間は0.25Nの硫酸の結果の約80%程度であるが、1.5倍以上のTOC量が同時に抽出されることがわかる。上述したように、このTOCの成分はリグニンなどの難分解性有機成分であり、値が高いほど廃液の後処理が困難になるため、抽出TOC量はできるだけ低く抑えることが望ましい。したがって、抽出装置の大きさや維持管理面に影響する必

要抽出時間と、抽出廃液の処理との両面を考慮すれば、硫酸濃度には適正な範囲が存在することが示唆される。

1.4 まとめ

CCA防腐・防蟻処理木材からCu, Cr, およびAsを湿式で抽出除去する場合の基礎条件を得る目的で室内実験を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- (1) 0.25N~1Nの硫酸を用いて90~100℃で5時間抽出処理することによって、20mm以下の大きさのチップから含まれているCu, Cr, およびAsの95%以上を溶媒に抽出することができた。
- (2) チップの大きさと必要な抽出時間、同時に抽出される有機性炭素量との関係を把握できた。
- (3) 硫酸濃度と抽出に必要な時間、および抽出する有機性炭素量との関係から、硫酸濃度には適切な範囲が存在することが示唆された。

【参考文献】

- (1) JIS-K1556 : クロム・銅・ヒ素化合物系木材防腐剤 (1985)
- (2) JIS-A9107 : 加圧式クロム・銅・ヒ素化合物系木材防腐剤防腐処理木柱 (1986)
- (3) 高月紘、酒井伸一 : 有害廃棄物、中央法規、pp.160-170 (1993)
- (4) 東レリサーチセンター : バーゼル条約と行政・企業の対応、pp.114-127 (1992)
- (5) 西谷隆司 : CCA処理木材の燃焼におけるヒ素の挙動と捕捉に関する基礎実験、第33回大気汚染学会講演概要集 (1992)
- (6) 小林孝彰、馬場建次 : CCA防腐剤で処理された木材の燃焼にともなうヒ素の挙動、環境科学会1992年年会講演概要集 (1992)
- (7) E.スヨストロム : 木材化学 (基礎と応用)、講談社、pp.104-147 (1983)
- (8) Warner, J.E. and Solomon, K.R. : Acidity As a Factor in Leaching of Copper, Chromium and Arsenic from CCA-Treated Dimension Lumber, Environ. Toxicol. & Chem., Vol.9, pp.1331-1337 (1990)

2. 保存処理廃材の分別集荷システムの開発

2.1 まくら木の廃棄と再利用

木マクラギ（JIS等ではひらがなの”まくらぎ”と定めているがここでは”マクラギ”として呼称することにする）に用いられる樹種は、時代とともに変遷を重ね、かつてはクリ、ヒバ、ヒノキ、マツが主要なものであったが、その後、ブナが防腐剤と注入方法の改善によってマクラギに導入され、昭和20年代後半では国鉄で年間100万本以上使用されるまでになった。さらに、昭和39年頃から南洋材のケンパスが、その高い機械的性質と心材への易注入性の点からマクラギの適材として注目されて用途展開がはかられ、急速に使用実績を増大させてきた。ケンパスは在来線とともに新幹線にもその後大量に使用され、昭和61年度では国鉄購入の全マクラギの約90%を占めるに至った。

旧国鉄規格の最終版（現在は廃版で各鉄道会社の規格に移行）に示されているマクラギ用樹種のうち、ヒバ、カプール、ヒノキの心材、および北海道で使用されるセンノキ、ナラ、ヤチダモは素材のまま、その他、ケンパス、カプール、ナラ、シデなど一般的には防腐処理して用いられてきた¹⁾。

マクラギの寸法は、国鉄（JR）では明治40年以来一貫して210 x 20 x 14cmのものが標準的に用いられてきており、その他、私鉄においては240 x 15 x 23cmのものが使用されている。一本当たりの重量は平均50kgとされており、これはPC（プレストレストコンクリート）マクラギの150kg/本に比較して軽量で、取り扱いの容易な木マクラギの特徴を示している²⁾。

防腐処理マクラギの生産量を過去にさかのぼり、表12-4に示す。木マクラギの処理に使用されている防腐剤は、一部のCCAを除いて大半がクレオソートである。クレオソートは数少ない油性（状）防腐剤で、石炭の高温乾留によってできるコールタールを蒸留してつくられたもので、アンスラセン、ナフタレン、フェナンスレンなど200種以上の成分を含み、それらの総合効果ですぐれた防腐効果を発揮して耐候性も高い³⁾。また、クレオソートの場合、材の中央部分に注入の不完全な部分を残していても後期浸潤によって徐々に浸透していく効果を有している。

ケンパスマクラギに注入されるクレオソート油の規準注入量は、国鉄規格では160kg/m³以上となっていたが、実際の測定結果によると200kg/m³以上注入されている結果も報告されている¹⁾。

防腐処理された木マクラギの耐用年数は、樹種や防腐剤の注入条件によって支配されることはもちろんであるが、設置される場所の状況や使用状態によって影響される。その大半は腐れの発生によって新しいものに取り替えられるが、レール底面の木材への食い込みや犬クギの保持力減退などによって交換されることもある。したがって、マクラギの耐用

表12-4 わが国における防腐処理マクラギの生産量
(単位は千m³、日本木材防腐工業組合資料)

年度	量	年度	量	年度	量
昭和		51	105	61	67
42	262	52	114	62	47
43	293	53	142	63	59
44	216	54	145	平成 1	61
45	159	55	147	2	60
46	143	56	138	3	63
47	175	57	121	4	43
48	167	58	113	5	34
49	168	59	95		
50	120	60	100		

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年とされてきた¹⁾。廃棄される量は、表12-4の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。

使用中に木材から失われる薬剤量は、用いられる薬剤の種類や使用環境によって大きく異なる。クレオソートなど油状防腐剤あるいはPCPなど油溶性薬剤の場合、薬剤成分は木材中で固着されておらず、重力の影響や溶剤の蒸発によって木材中で移動する。薬剤成分は柱などでは下方へ移動し、さらに周囲の土壌へと移行する。とくに処理木材の表層付近から失われることが多い。

交換された廃木マクラギは、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木マクラギは、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、かつ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。下級の廃木マクラギは、かつ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。全体としてみると、

搬入される廃木マクラギのうち、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れているという状況である（平成6年度報告書参照）。

2.2 防腐処理木製電柱の廃棄と再利用

表12-5に、防腐処理電柱の廃棄量を、各年の生産量を元にして予測してみた結果を示す。電柱材については、ほぼその半分がCCAで処理されているものとし、耐用年数を15年として算出してみたものである。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m³から3万m³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。この数字は防腐工業組合加盟の企業のみを生産量をもとにしており、その他の企業のもを加えると10～20%の大きめの廃棄量を考える必要があろう。

表12-5 耐用年数を15年とした場合の防腐処理電柱の廃棄量予測

年	廃棄量	CCA処理分
1995	132	66
1996	111	56
1997	82	41
1998	62	31
1999	44	22
2000	33	17
2001	23	12
2002	17	9
2003	15	8

(単位は千m³)

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、および白物と称される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、選別や加工にかか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。

2.3 住宅解体材から排出されるCCA処理土台

2.3.1 排出量予測

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、この数年では年間30万m³が生産されている。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。もちろん、電柱やその他の用途に使用された防腐木材にもCCA処理されたものが多く含まれているが、ここでは住宅解体材から排出される処理木材として土台材に限定して、その量を推定してみた。

表12-6は、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20年、25年、30年と仮定した場合の排出量を推定したものである。住宅の改築時期については画一的な耐用年数で判断できないため、20～30年と仮に想定してみた。また、この数字は、日本木材防腐工業組合に加盟している組合員の生産量をもとにしており、実際には非加盟企業の生産量として10～20%が上積みされるものと考えられる。

表12-6 CCA処理した住宅土台材の排出予想量

年	仮定耐用年数		
	20年 千m ³ (トン)	25年 千m ³ (トン)	30年 千m ³ (トン)
1995	137 (493)	82 (295)	-
1996	165 (594)	72 (259)	-
1997	162 (583)	94 (338)	22 (79)
1998	200 (720)	127 (457)	51 (184)
1999	230 (828)	122 (439)	79 (284)
2000	212 (763)	137 (493)	82 (295)
2001	162 (583)	165 (594)	72 (259)
2002	180 (648)	162 (583)	94 (338)
2003	158 (569)	200 (720)	127 (457)
2004	148 (533)	230 (828)	122 (439)
2005	160 (576)	212 (763)	137 (493)
2006	163 (587)	162 (583)	165 (594)
2007	210 (756)	180 (648)	162 (583)

()の数字はCCAの薬剤量

なお、CCA処理木材の排出量予測については、別途詳細な検討が行われている⁴⁾。

薬剤量の算出については、CCA水溶液が木材中へ平均的に約300kg/m³注入されるものとし、薬剤の濃度を酸化物で1.2%として計算した値である。

表12-7 解体材から産出されるC C A土台材の量比予測

年*	木造床面積** 百万m ²	木材量*** 千m ³	C C A土台量 千m ³	土台比率 %
42	50	7,500	25	0.3
43	59	8,850	59	0.7
44	65	9,750	91	0.9
45	71	10,650	94	0.9
46	69	10,350	83	0.8
47	81	12,150	108	0.9
48	90	13,500	146	1.1
49	74	11,100	140	1.3
50	78	11,700	158	1.4
51	85	12,750	189	1.5
52	84	12,600	186	1.5
53	90	13,500	230	1.7
54	89	13,350	264	2.0
55	75	11,250	243	2.2

* 建築年度

** 建築統計年報より求めた木造住宅の床面積

*** 家屋の解体によって排出される木クズの原単位⁵⁾として、機械解体と手解体の平均値である0.15m³/m²をもとに算出した。

表12-7 は、木造住宅が解体されたときに含まれるであろうC C A処理土台材の量を、その年の木造住宅の床面積とC C A土台の生産量をもとに概算してみたものである。解体によって排出される木クズの原単位は、機械解体で0.108m³/m²、手解体で0.191m³/m²とされているので⁵⁾、仮に0.15m³/m²とにおいて計算してみた。解体材のなかに占めるC C A土台の量の比率は、昭和40年代以降徐々に増加していくが多く見積もっても2%程度であると考えられる。また、地域によってC C A土台の利用率が異なること、あるいは統計値的に土台の量としてあがっているものの中には大引（一部プレハブ住宅において防腐処理大引が使用されている）が含まれていることなども考えられるが、一つの目安として妥当なところであろう。

廃棄処分時における薬剤保有量に関しては、C C Aが固着型の水溶性防腐剤であり、また、住宅土台そのものが土壌や雨水に直に接する可能性が低いことからそれほど変化しないと思われる。このことは、遊具からのC C A成分の溶脱についてはきわめて小さいものであったという報告⁶⁾にもみられる。

2.3.2 分別集荷システム

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、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るだろうが、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。この方法は、ジフェニルカルバジドの0.5gをイソプロピルアルコール50mlと水50mlの混合液に溶解させ、処理木材に塗布あるいは噴霧すると、銅が茶色に発色する原理を応用するものである。

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、解体の廃材中にCCA処理木材が混入していることは明らかであり、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の取り扱いに対する注意が深くなっているが、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ない。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、集荷、選別、適切な再利用または廃棄法を確立しておく必要がある。

また、米国で行われているようなCISの表示(Consumers Information Sheet CCAについては米国では埋設を行うか、収集にまかせるかし、家庭用のストーブ等で燃やさないよう注意しているほか、加工時の注意義務についても述べている⁷⁾)について、わが国においても検討していく必要がある。

2.4 その他の用途での保存処理木材の廃棄

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、ウォーターフロント再開発におけるボードウォークや栈橋、公園施設におけるベンチや遊具、あるいはリゾートや自然公園における東屋や遊歩道、木造橋、さらには住宅エクステリアにおけるデッキ、フェンスなどアウト・ドア・ユースの木材である。これらは、木材のもつ暖かさなどの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。

従来、外構部材として主要な位置を占めてきたのはCCAによる防腐処理木材であり、

廃棄されるものもそれらが主体であると考えられる。

表12-8 に、“その他の用途”での保存処理木材の廃棄量予測を示す。遊具類や農業用資材としての C C A 処理木材の予測廃棄量については、薬剤別の防腐木材の生産量統計の C C A 処理木材の量から、土台の全量と電柱の50%を除くと”その他”の用途の生産量のほぼ90%に達しているため（昭和50～60年の概数平均）、これを C C A 処理木材の比率の根拠にし、かつ耐用年数を15年と仮定して算出した。前述のように、電柱材の廃棄量は減少していくものの、“その他”の用途での C C A 処理木材の廃棄量はむしろ徐々に増加していく傾向を示している。また、この数字には防腐工業組合加盟の企業のみを生産量をもとにしており、その他の企業のもを加えると10～20%の大きめの廃棄量を考える必要がある。

表12-8 耐用年数を15年とした場合の”その他の用途”での
保存処理木材の廃棄量予測

年	廃棄量	C C A 処理分
1995	67	60
1996	59	53
1997	66	59
1998	67	60
1999	75	68
2000	75	68
2001	88	79
2002	96	86
2003	104	94

(単位は千m³)

これらのエクステリアウッドは、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、不定期的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の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。

ところで、新しく加圧注入用の防腐薬剤が J A S 規格に制定された。すなわち、従来のクレオソート、C C A、ホウ素化合物以外に、アルキルアンモニウム化合物 (A A C)、銅・アルキルアンモニウム化合物 (A C Q)、ナフテン酸銅 (N C U)、ナフテン酸亜鉛 (N Z N) である。これらは以前から用いられてはきていたが、J A S 化されることによって、今後生産量、ひいては廃棄量が増大していくものと予想される。

2.5 保存処理木材の廃棄における課題

資源の有効利用の立場からも建築解体や土木工事によって発生した廃材の再資源化、再利用はきわめて重要な課題であるが、一方で労働力不足や解体技術の機械化などにより、その多くが焼却処分されているのが実状である。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しておく必要がある。

防虫・防蟻薬剤のうち、かつて使用されたディルドリやアルドリンあるいはクロルデンという有機塩素系化合物は、防虫剤として使用することが禁止されており、現在では有機リン系化合物がその主役を努めるようになっている。しかし、現在使用されていない有機塩素系化合物も、数十年前～数年前まで多用されてきており、建築解体廃材には含まれていると考えるべきであろう。

クロルデン処理されたラワン材、スギ材およびラワン合板を、民間工場で焼却実験を行った結果によると、1段階焼却に準じた方法に供した場合は、テクニカルクロルデンを構成するほとんどの同素体が検出され、2段階焼却に供した場合も同様であったが、とくに猛毒とされるダイオキシンに移行するといわれているheptachlorが微量検出されたと報告されている。このことから、クロルデン処理木材の燃焼廃棄にはより高度な手法を導入する必要が認められたとしているが、有機リン系化合物などクロルデン以外の防虫薬剤で処理された木材および合板の燃焼試験の結果では、薬剤原体の検出はなかった⁸⁾。

CCA処理木材の焼却では、ヒ素化合物の煙による拡散、クロムおよび銅の燃焼残渣からの溶出等について、環境汚染の立場から問題視され、煙へのヒ素化合物を含む環境汚染物質の生成や⁹⁾、保存処理木材からの溶脱量の測定法¹⁰⁾など検討がなされてきた。平田らの研究によると、CCA処理された木材が熱分解を受けた際、ヒ素は加熱温度の上昇および周囲の酸素割合の増大によってガス化する比率が増加し、600℃周辺の温度で10～20%、1000℃付近ではそのほとんどの80～90%がガス化する。他方、クロムと銅については、木質成分が300℃付近で熱分解して灰分とガスを生成し、そのうちガスだけが高温になるのであれば、クロムと銅からは気体生成物は発生しないと考えられている¹¹⁾。また、灰分中に残ったヒ素やクロムを定量した報告では、水に溶ける分量はきわめてわずかであった¹²⁾。これらのことから、灰分中のCCA元素はほとんどが水に溶けない形になっていると推定される。クロムや銅など沸点の高い金属類がほとんど焼却残滓として排出されることは、ごみ焼却炉の現場測定からも報告されている¹³⁾。

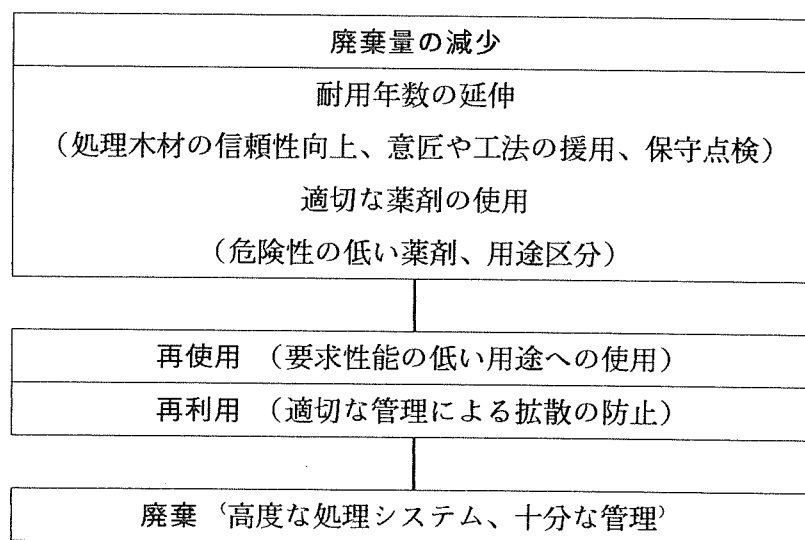
さらに、CCA処理木材の実験室的な燃焼実験によると、単純な燃焼では処理木材中に含まれていたヒ素成分をすべて灰中に残存させたり、あるいは灰から追い出すのは困難であるが¹⁴⁾、揮散したヒ素はフィルターとして消石灰粉体層を用いるとかなりの高い濃度で捕捉され得ることが報告されている¹⁵⁾。トラップの改良など燃焼炉の改善はもちろん必要であるが、灰残渣の処分についても十分な管理のもとに行い、不注意な拡散を引き起こしてならない。

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。現状では、とくに米国やカナダにおいて、CCA廃材は埋め立て廃棄されているが、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。

CCA処理した丸太あるいはチップを1m²の土壤に前者は0.15m³、後者は0.085m³程度の割合で土の中に埋め、6年経過後にその周辺土壤を採取して、木材中から移行したと考えられる無機成分を測定した。その結果では、ヒ素、クロム、銅のいずれについても、試験地と同じエリア内の対象土壤での値を大きく越えるものではなかった¹⁶⁾。しかし、固着型の防腐剤であっても木材中には溶脱され得る成分が存在する可能性があり、養生不足など製造過程の不備とも関連して十分注意すべきである。

一方、処理材であっても攻撃、分解できる微生物を探し、これをCCA廃材に接種して固着された無機塩を分離しようという試みも行われている。それによると、ある種の褐色腐朽菌は銅を可溶性にすることが知られている¹⁷⁾。また、PCP処理材についても微生物による無毒化の試みが検討されている¹⁸⁾。

表12-9 保存処理木材の廃棄処理スキーム



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。そのためには、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（表12-9）。

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。

参考文献

- 1) 山名成雄: "木マクラギ回顧"、木材保存、62巻、2-17(1992)
- 2) 大井清一郎: "まくら木(?)の話"、土木学会誌、74巻、40-42(1989)
- 3) (社)日本木材保存協会編、"木材保存学"、文教出版、1982
- 4) (財)クリーン・ジャパン・センター: "適性処理が困難廃棄物に関する再資源化・処理技術等の調査検討" 事業報告書(1989)
- 5) 有馬孝礼: "森林資源利用と地球環境保全の整合性に関する総合的研究" (平成4年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書(1993))
- 6) B. Henningsson and B. Carlson: IRG Document, No. IRG/WP/3149-1984
- 7) (財)日本住宅・木材技術センター: "米国における木材耐久性向上技術の状況と我が国の課題" 調査報告書(1991)
- 8) 石原茂久: "保存処理廃材のリサイクル利用技術ならびに安全廃棄技術" [(社)日本木材保存協会保存処理廃材の有効再利用技術部会編]、pp. 47-58, 1994
- 9) T. Hirata, M. Inoue and Y. Fukui: Wood Sci. Technol., Vol. 27, 35-47(1993)
- 10) 児島佳世子、石原茂久: 木材学会誌、36巻、1069-1075(1990)
- 11) 平田利美: 木材工業、43巻、297-302(1988)
- 12) A. J. Dobbs and C. Grant: Holzforsch., Vol. 32, 32-36(1978)
- 13) 伊藤尚夫ほか: 大阪市環境科学研究所報告、54号、30-35(1992)
- 14) 西谷隆司: 第33回日本大気汚染学会大会要旨集、p. 19, 1992
- 15) 小林孝彰、馬場健次: 日本環境科学学会大会要旨集、p. 20, 1992
- 16) 鈴木憲太郎、園部宝積: 木材保存、19巻、154-160(1993)
- 17) R-D. Peek, I. Stephan and H. B. Leithoff: 2nd Int. Symp. on Wood preserv., France, 314-325 (1993)
- 18) A. McBain, F. Cui and J. Ruddick: 同上、349-359(1993)

1. はじめに

木質材料の生物劣化抵抗性を比較検討するために、室内でまず材料を強制腐朽させ、一定期間後に回収し、その力学的性能を測定する手法が、良く知られている。しかしながら、腐朽促進室（ファンガルセラー）を利用して、無殺菌土壌に試料を直に接触させる劣化法と力学的性能測定を組み合わせた評価はこれまでほとんど事例がない。

本研究では、CCA処理建築廃材およびクレオソート油処理枕木廃材を用いて製造されたパーティクルボードを無殺菌土壌中の埋設して腐朽劣化試験を行ない、その力学的性能の低下を検討した。

2. 実験

CCA 2号処理大引き（1977-1992）廃材およびクレオソート油処理ケンパス枕木（1977-1992）廃材から調製されたパーティクルに、ユリア樹脂（UF）、ユリア・メラミン樹脂（UMF）、フェノール樹脂（PF）およびイソシアネート樹脂（MDI）の4種類の接着剤を噴霧添加して製造されたパーティクルボードを供試した。ボードの気乾比重は0.64-0.68であり、その平均値は0.668であった。ボードの製造条件は、前報（平成5年3月 本事業会報告書）において、詳しく述べているのでここでは省略する。

製造されたパーティクルボードより、40×180mm、厚さ10mmの試験体を採取し、図13.1に示したように合板製ボックス2個を利用して、同一種類の試験体を6体セットした。無殺菌土壌と接している部分は60mm、各試験体間の距離は30mm、両端の試験体はボックス端から60mm離してセットし、図13.2および図13.3にあるようにフタをして重ね、腐朽促進室（26℃、90%RH以上）に、7週間あるいは12週間静置した（図13.4）。なお、比較参照のために、パーティクルボード試験体と同一寸法に切り出したベイツガ素材の試験体についても、同様に腐朽試験を行なった。

各試験体は、無殺菌土壌に接触させた前後の乾燥重量と、所定期間腐朽させたのち回収時の重量を測定し、腐朽による質量減少率と回収時の含水率を求めた。

さらに、これら試験体を気乾状態に戻したのち、曲げ試験を行なった。荷重方式は、スパン160mm、3点支持、中央集中荷重で行っているため、腐朽劣化が進んでいる試料中央部に最大曲げモーメントが生じ、したがって、強度性能の著しい低下が予想される。得られた曲げ強度および曲げヤング率のデータと前報の無処理試験体のデータから残存曲げ強

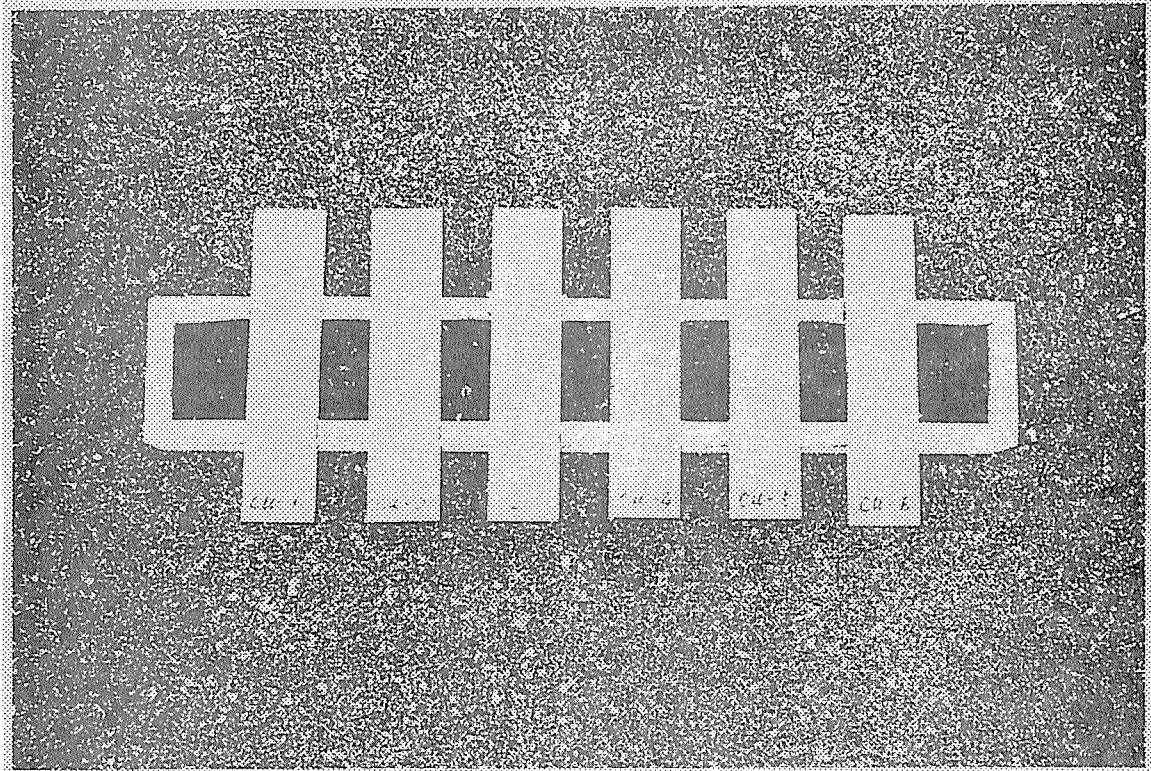


図13-1 試験体の無殺菌土壌への埋設（1）

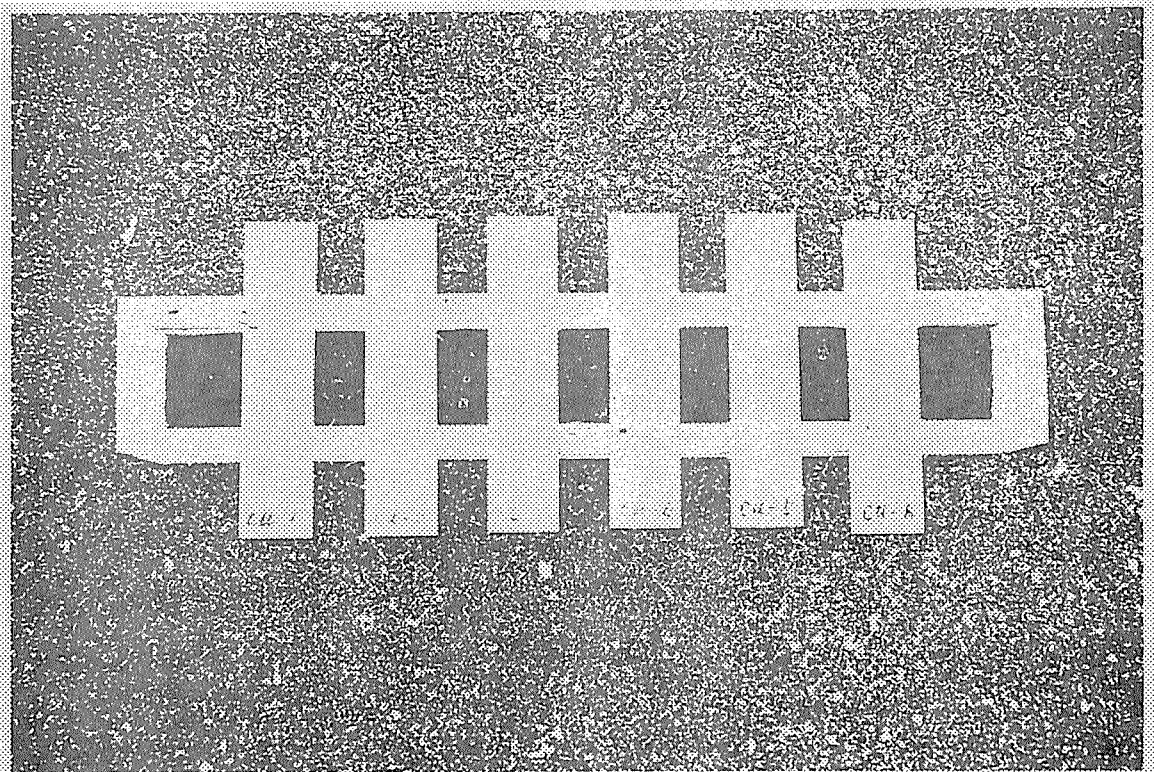


図13-2 試験体の無殺菌土壌への埋設（2）

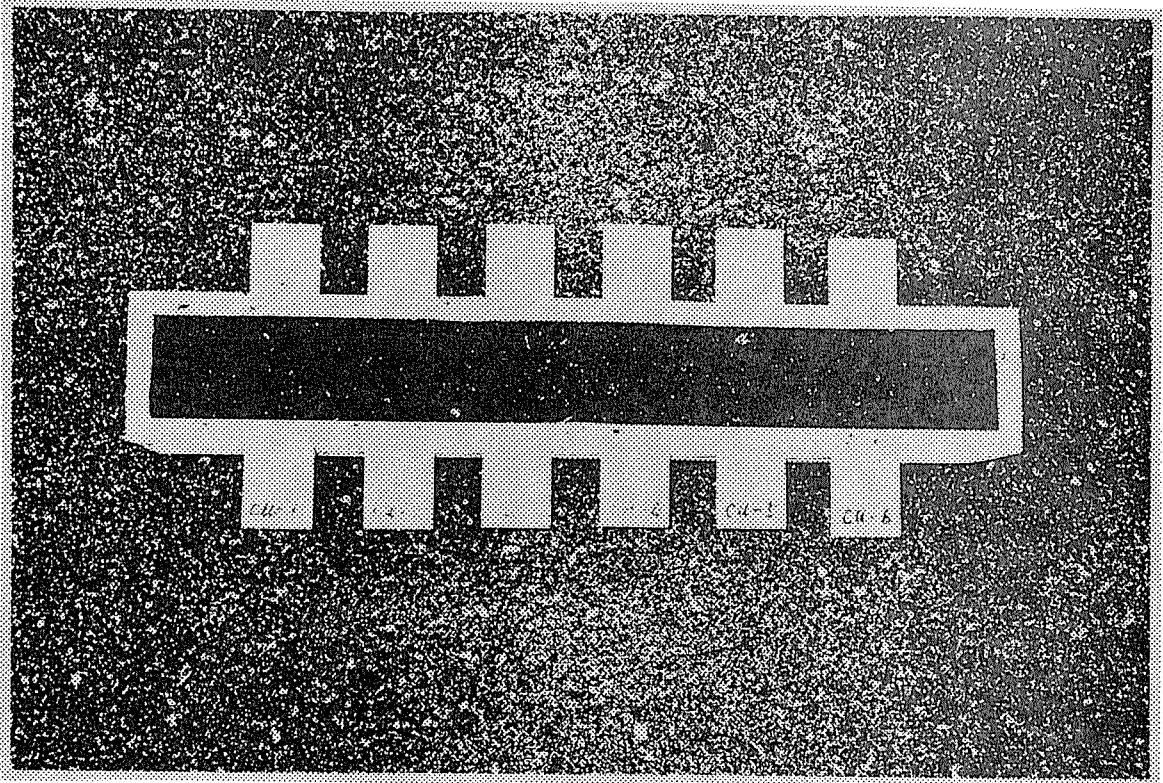


図 1 3 - 3 試験体の無殺菌土壌への埋設 (3)

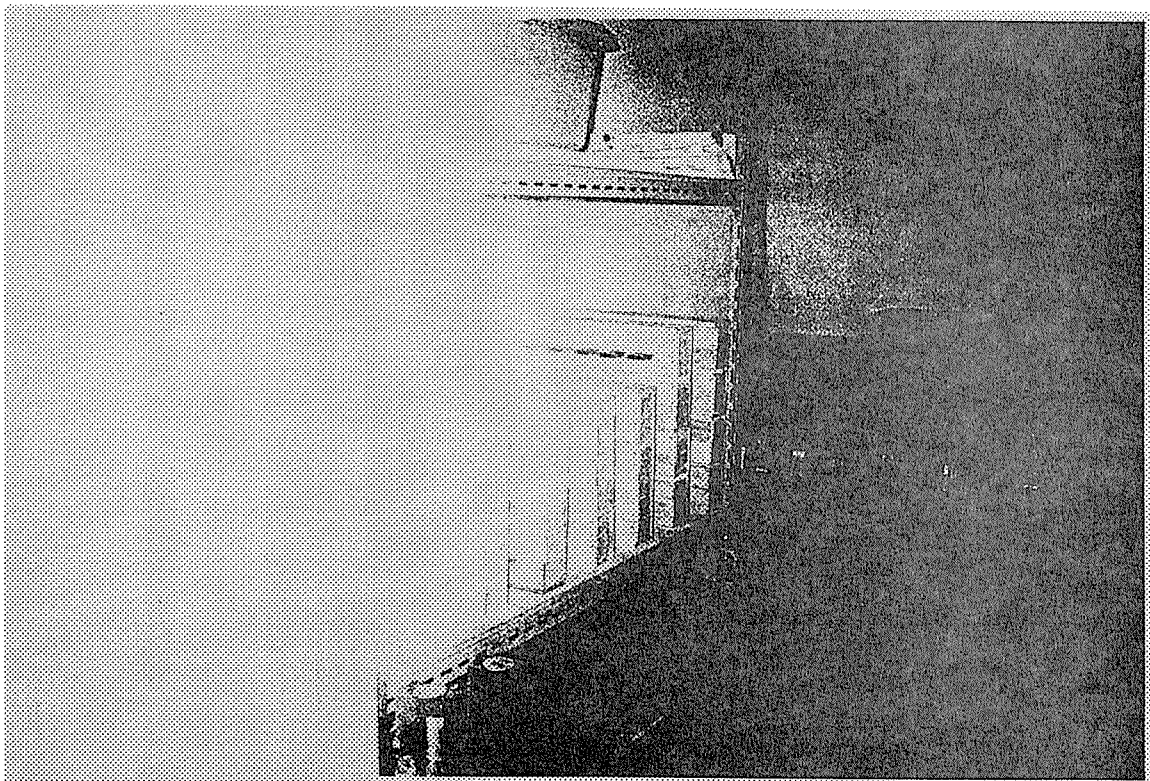


図 1 3 - 4 腐朽促進室における無殺菌土壌埋設試験

度および残存曲げヤング率を求めた。

3. 結果と考察

3.1 腐朽処理後の含水率および質量減少率

所定期間無殺菌土壌に接触させて、腐朽処理後の試験体の含水率と質量減少率を表13-1に示す。ただし、後者の質量減少率は、土壌埋設部分が試料全体の1/3であることを考慮して、埋設部分の質量減少率に換算して示している。

表13-1 無殺菌土壌に7週間あるいは12週間接触後のパーティクルボードの含水率と質量減少率

接着剤の種類	腐朽期間7週間		腐朽期間12週間	
	平均含水率 (%)	平均質量減少率 (%)	平均含水率 (%)	平均質量減少率 (%)
大引き故材				
UF	19.6	0.9	17.5	1.2
UMF	20.0	2.4	20.5	4.2
PF	20.5	6.6	17.1	1.5
MDI	19.0	1.8	18.8	2.1
枕木廃材				
UF	15.2	4.5	13.9	3.0
UMF	14.6	4.2	14.5	3.9
PF	16.7	3.6	15.5	4.5
MDI	14.4	3.3	14.5	2.7
ベイツガ素材				
	21.5	0.9	20.2	0.3

表より、腐朽期間の延長が必ずしも質量減少率の増大につながらない場合も多く認められるが、薬剤処理廃材を原料に用いたパーティクルボード試験体の質量減少率はいずれも1%～6%の範囲にある。接着剤の影響は判別し難いが、幾つかの例外を除くと、クレオソート油処理の枕木廃材ボードの方が、CCA処理された大引き故材ボードよりも質量減少率が大きい傾向が認められた。前報において、単一の菌種、カラワタケおよびオオウズ

ラタケをそれぞれ接種し、12週間静置した場合のCCA処理廃材ボードの質量減少率は、それぞれ11%-23%および24%-46%と大変大きく、逆にクレオソート油処理廃材ボードの質量減少率は、それぞれ0%-0.2%および0%-2.0%と極端に小さくなっており、今回の無殺菌土壌の場合とは全く異なる結果となっている。無殺菌土壌下での腐朽は、多様な菌種の存在下で比較的緩慢な腐朽が進行し、単一菌種の場合とは異なり、菌や接着剤、あるいは防腐剤の種類による影響が表れにくいと推定される。

ベイツガ素材の無殺菌土壌下の質量減少率は極めて小さいことも、上記の推論を裏付けている。ちなみに、前報によると、ベイツガ素材のカワラタケおよびオオウズラタケを用いた腐朽試験での質量減少率は、それぞれ45%および51%であった。

薬剤処理がされていない、腐朽しやすい素材と比較してもなお、これら薬剤処理廃材ボードの質量減少率は大変大きいと言える。残念ながら、本実験ではコントロールとして、薬剤処理の無いパーティクルボードを用いることができなかったため、廃材に含有される薬剤の効果を直接判定する手掛かりを欠いている。

いずれにしても、今回得られた無殺菌土壌下での腐朽試験の結果は、腐朽菌の種類や試験体の形状効果、含有薬剤の効果等、考慮すべき因子が多いので、今後さらに詳細な検討が必要と思われる。

3.2 力学的性能

所定期間、無殺菌土壌に接触させ、腐朽処理した後の試験体の曲げ強度、およびその初期強度に対する残留強度を表13-2に示す。また、曲げヤング率に対するそれらの値を表13-3に示す。さらに、理解を容易にするために、残留曲げ強度および残留曲げヤングを図13-1および図13-2にそれぞれ示した。

結果は、予想どおり、無殺菌土壌中に暴露された試験体の曲げ強度および曲げヤング率の低下が著しい。たとえば、腐朽期間12週間後のCCA処理廃材ボードの平均強度は初期値の50%以下に低下している。クレオソート油処理廃材ボードの場合には、平均残存強度はさらに低く、41%まで達している。質量減少率は数パーセントであっても、大きな曲げモーメントを生じる試片中央の表層部が劣化するため、曲げ性能への影響が大きく表れたと考えられる。

用いた接着剤の影響も顕著であり、PF、MDI、UMF、およびUFの順に残存強度が大きく、耐水性の大きな接着剤ほど残存強度が大きい傾向が伺えた。一方、腐朽試験7週間後のベイツガ素材の残存強度は85%であり、供試したパーティクルボードに比べると、非常に大きい。このことは、腐朽菌が主としてパーティクル間隙から侵入し、接着剤周辺の腐朽劣化が激しいことを示唆している。

残存曲げヤング率についても、残存曲げ強度の場合と同様な傾向が認められたが、腐朽劣化の影響はさらに大きく、CCA処理廃材ボードおよびクレオソート油処理廃材ボード

表 1 3 - 2 無殺菌土壌埋設腐朽処理後の試験体の曲げ強度

接着剤の種類	腐朽期間 7 週間		腐朽期間12週間	
	曲げ強度 (kgf/cm ²)	強度残存率 (%)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	強度残存率 (%)
大引き故材				
U F	100.	42.5	104.	44.0
U M F	102.	44.4	92.3	40.3
P F	174	61.5	177.9	62.8
M D I	138	54.4	119.	47.0
枕木廃材				
U F	18.3	11.9	18.5	12.0
U M F	57.2	35.2	48.2	30.0
P F	132.	71.4	139.	75.4
M D I	63.	40.3	71.8	45.9
ベイツガ素材				
	815	84.9		

表 1 3 - 3 無殺菌土壌埋設腐朽処理後の試験体の曲げヤング率

接着剤の種類	腐朽期間 7 週間		腐朽期間12週間	
	曲げヤング率 ($\times 10^3$ kg/cm ²)	ヤング率残存率 (%)	曲げヤング率 ($\times 10^3$ kg/cm ²)	ヤング率残存率 (%)
大引き故材				
U F	8.8	30.4	8.8	30.4
U M F	8.2	27.7	7.2	24.3
P F	14.8	42.9	16.1	46.6
M D I	11.8	38.9	12.0	39.6
枕木廃材				
U F	3.1	13.3	2.8	11.8
U M F	9.5	36.3	8.7	33.5
P F	18.6	63.4	18.1	61.7
M D I	11.1	45.6	10.3	42.4
ベイツガ素材				
	96.0	92.9		

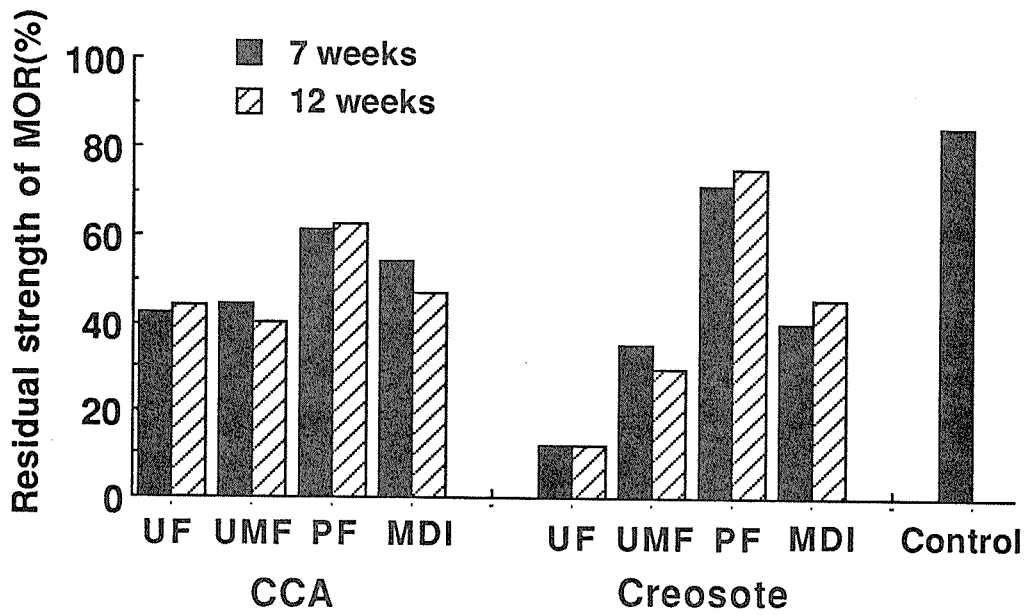


図 1 3 - 5 無殺菌土壌埋設材の曲げ強度残存率

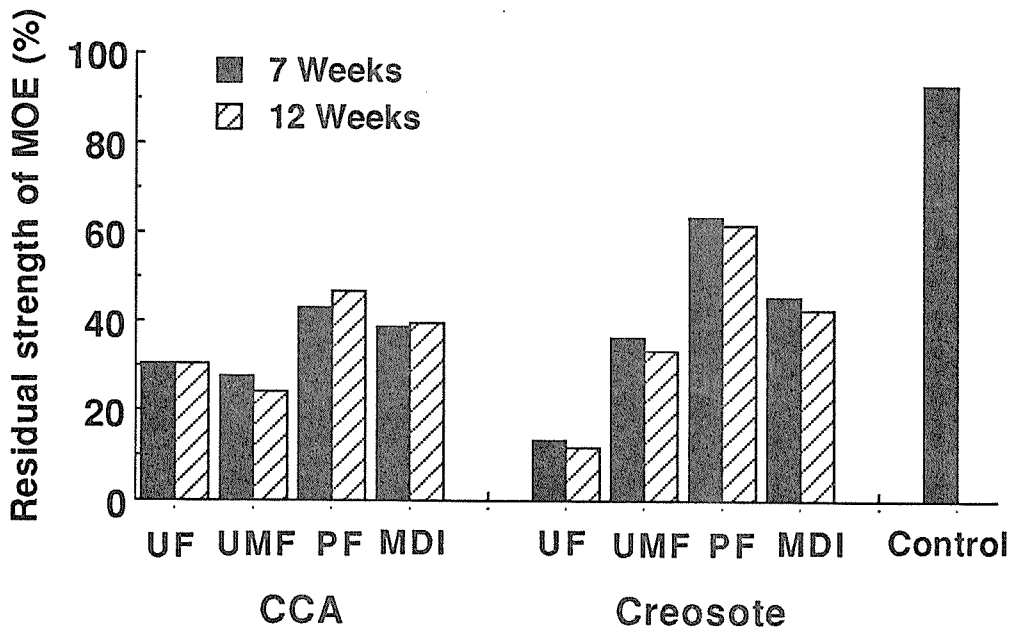


図 1 3 - 6 無殺菌土壌埋設材の曲げヤング率残存率

の12週間腐朽試験後の残存曲げヤング率はそれぞれ35%および37%まで低下している。

4. おわりに

薬剤処理廃材パーティクルボードを無殺菌土壤中に埋設し、腐朽劣化と曲げ性能へ影響を調べた。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 12週間の腐朽処理により、質量減少率は1%-6%であった。ベイツガ素材の質量減少率を見ても、無殺菌土壤中の腐朽は緩慢に進行しているものと思われるが、従来の単一菌種による場合とは全く異なる傾向が認められた。したがって、本試験において残存薬剤の影響は未だ明らかになっていない。今後さらに検討したい。
- 2) 力学的性能の低下は著しく、曲げ強度では初期強度の40%-50%、曲げヤング率では35%程度にまで低減する。
- 3) 残存強度は、使用接着剤に影響され、PF、MDI、UMF、およびUFの順に大きくなった。すなわち、耐水性に優れた接着剤ほど残存強度が大きい傾向が認められた。

第14章 木質資源の有効利用による炭素の固定と放出量削減

1. 調査目的

近代産業において設備を充実し、エネルギーを多量に投入することにより、経済性と効率が著しく高まり、我々はこのようなシステムから生み出されてきた豊かさや快適さの恩恵を現在まで享受してきた。

しかし、これらの基盤となる設備機器等の使用により、化石燃料が多量に消費され、多くの炭酸ガスが先進国を中心として大気中に放出されてきた。その結果、大気中の炭酸ガスの含有率が急上昇し、温暖化・砂漠化等に対する地球規模の環境対策が緊急の課題とされている。

このような状況の中で、我が国は、多くの森林資源を保有しているのにも関わらず、経済性等の理由により、世界最大の熱帯材輸入国となっている。熱帯林の減少は、先進国の急激な輸入だけではなく、発展途上国の焼き畑、盗伐、森林管理の不備等も大きな要因と思われるが、これらの要因により生態系が変化したり、樹木の炭酸ガスの吸収能力が減少する等の地球規模の影響が生じている。また、我が国は、外材が低価格であるので、用材の3/4を輸入材に依存しているが、これらの影響が一因となって国産材の競争力が低下し、経営的に困難な状況となり、森林管理の荒廃が進みつつある。

一方、森林による炭素固定能力は、一般的に成長の旺盛なものほど機能が高く、天然林と比較して若い樹木や人工林は、国内の森林による炭素固定のほとんどを負担している。このことは、成長の早い熱帯林においても共通であり、生態系の維持や植林等の森林管理システムを確立させた上で、計画的な伐採を行うことは、大気中の炭素を削減させることとなる為、我が国は、国際的な環境保全に立脚した対策を先導的に講じて、模範を示す必要がある。その対策として、国産材の有効利用法やリサイクルシステムを確立し、国内外における森林資源の健全かつ協調的な育成をはかり、炭素固定量の増加に努める必要がある。

森林より生産された木質材料・部材は、伐採前に蓄積してきた炭素を引き続き都市部で固定しており、不要となって最終処分されるまでの間、ストックされることとなる。さらに、木質材料を他の材料と比較すると、アルミ、鋼材等は、製造する際に化石燃料エネルギーを多量に消費し、炭酸ガスを放出するが、木質材料は、製造時の炭酸ガスの放出量が著しく少ないことが、調査等により既に明らかとなっている。したがって、木質資源としての伐採から最終処分されるまでの耐用年数を長期化することにより、森林が生長して炭素を固定するまでの

間の時間的猶予を与えることが可能となる。すなわち、木質部材の製造及び廃棄による炭素放出量が、森林の生長による炭素固定量を上回らないならば、大気中の炭酸ガスは、木材の利用により減少することとなる。

本報告は、森林資源の持つ多くの役割（環境保全、生態系維持、災害防止等）の中から、地球温暖化問題と密接な関係がある炭素固定・放出量の問題を取り上げ、これらに関する全体像を概略的に把握し、これまで経済性、機能性（強度特性、耐久性、耐火性、断熱性、遮音性等）、デザイン等により評価され、経済原理に依存されてきたものに対し、環境問題、廃棄物問題を考慮した新たな評価軸を追加することが可能な調査資料を築くものである。これらの資料を参考とする事により、材料選択の際に、環境問題も含めた総合的な判断を下すことが可能になるものと思われる。

2. 木質資源の炭素固定・放出量及びリサイクルに関する既存資料の整理

2.1 炭素貯蔵庫としての森林生態系の役割

2.1.1 森林による炭素固定量の推定(全世界)

森林総合研究所の資料（図14-1参照）によると、大気中に存在する炭酸ガスを炭素換算すると、約7千億トン含有しており、化石燃料の消費により、毎年約30億トン増加していると推定されている。一方、陸上生態系が植物及び土壌有機物としてストックしている炭素量は、約1兆8千億～2兆3千億トンに至っている。このうち、植物体としてストックしている炭素量は、大気中の炭酸ガス量(炭素換算)と同量の6～8千億トンと推定され、その約90%を土壌有機物を除く森林生態系が占める。

これらの森林生態系がストックしている炭素量を区分すると、植物体では熱帯林が60%、温帯林が25%、亜寒帯林が15%であり、土壌有機物では、熱帯林35%、温帯林が25%、亜寒帯林が40%と推定されている。すなわち、森林生態系においてストックされている炭素は、熱帯林では主に植物体として、亜寒帯林では主に土壌有機物として貯留されている。

全陸上植物が1年間に吸収固定する二酸化炭素を炭素換算すると約4～5百億トンであり、このうち森林が70%を占める。ただし、二酸化炭素吸収固定量に見合う量が落葉・落枝等の土壌有機物の分解により大気中へ放出されており、森林の生長～枯死がバランス

している限り、森林と大気炭素循環は、安定していることとなる。

このように、森林は、化石燃料の大量消費により大気中に放出された炭酸ガスを、自然エネルギーにより炭素を固定する能力があるばかりではなく、地上に膨大な炭素貯蔵庫としての役割を担っている。

2.1.2 森林による炭素ストック量の推移（国内）

森林による炭素ストック量の推移は、森林の材積蓄積量の推移により、おおよその推定が可能となるので、我が国の森林面積と材積蓄積量を図14-2に示す。森林面積は、1966年から1990年まで、約2千5百万haとほぼ変化していないが、人工林の面積が30%増加し、天然林は13%低下する水準となった。

一方、ストックは、1966年の約19億m³から1990年の31億m³へと、24年間に約1.7倍の増加となっており、それを構成する天然林及び人工林も増加傾向にある。この全体の増加量を1年間の当たりの増加量で表すと5千2百万m³となる。内訳をみると、天然林が15%増加するに留まるが、人工林は約2.9倍の増加に至っており、人工林は天然林の約11.9倍の速度で増加する状況であった。従って、国内の森林のストックは、ほとんど人工林の成長及び植林等の森林管理により増加しており、天然林は森林資源の増加に対しては、あまり寄与していないことが明らかとなった。

また、森林資源による大気中の二酸化炭素の吸収固定を試算すると、1986年～1990年において、1年間当たりに炭素固定する量は、以下ようになる。

天然林—9百万m³/年(年間幹材積成長量)×1.833ton/m³×12/44=4.5百万ton/年

人工林—59.25百万m³/年(年間幹材積成長量)×1.833ton/m³×12/44=29.6百万ton/年

(1.833：炭酸ガス吸収固定算出係数、12/44：炭酸ガスに対する炭素の割合)

さらに、1ha当たりの年間炭素固定量は、

天然林—4.5百万ton/年÷1,352万ha=0.33ton/ha

人工林—29.6百万ton/年÷1,033万ha=2.87ton/ha

(森林面積は、1990年の統計値を採用)

このように、天然林と人工林は、単位面積当たりの炭素固定量においても、約8.7倍の差が認められた。勿論、森林資源は、炭酸ガスの吸収固定ばかりでなく、生態系の維持、災

害防止等多くの役割を担っているため、画一的な評価は不可能である。しかし、近代産業において、炭酸ガスの放出を抑止することが不可能であるならば、天然林と人工林の役割を考慮した森林管理計画及び供給計画を策定する必要があるものと思われる。

2.2 木材資源の有効利用と炭素放出量の削減

2.2.1 木質資源の木材需要量及び供給量

平成3年度の部門別木材需要量及び供給量（林野庁：木材需給表）を表14-1～3に示す。林野庁の調査によると、平成3年度における我が国の木材需要量は、1億1,413万 m^3 であり、特に、製材、パルプ・チップ、合板用の3部門の需要が最も多く、全体の97%を占めるに至っている。輸出量は、需要量全体の0.1%に留まり、皆無に等しい値であった。

一方、同年度の木材供給量を見ると、国内生産量が26.1%、輸入量が73.9%であり、我が国の木材の需要は、現状においても著しく海外に依存したままとなっている。輸入される用材は、丸太、製材品、チップ、パルプ等により構成されており、特に丸太の輸入量は、国内生産量を上回る値であった。また、丸太とチップの輸入量は、我が国の木材供給量の約1/2を占めるに至っていた。

我が国は、木材の供給量の3/4を海外に依存しているが、その内訳（図14-3参照）をみると、最も多い米材が38%、次いで南洋材が16.3%、北洋材とその他が20.1%であった。

2.2.2 木質資源の残端材発生量と再利用

我が国は、年間1億1千万 m^3 を越える木材を利用しているが、木質系廃棄物が年々増加し、その量は年間約3千6百万 m^3 と推定されている。しかし、再利用されている木質系廃棄物は、約290万 m^3 と推定され、総排出量の1割にも達していないことから、各業種による木質廃棄物の現状と問題点を把握する必要がある。

1)木材工業

木材工業において発生する残端材の発生量は、製材工場が最も多く、1,280万 m^3 と推定されており、約42%が木材チップとして再利用され、焼棄却は6.3%に留まっている。合板工業の残端材の発生量は、約267万 m^3 と推定されており、全体の約99%が再利用され、極めて再利用率の高いことが明らかとなっている。その内訳をみると、製品を乾燥させる場内のボイラーの燃料として利用されるのが68%に至っており、木材チップは、約21%に留まった。このように、加工度の高い木質材料程、木材の形態が細分化し、接着剤等の異物が混入しているので、それから排出される残端材はボード用原料として利用することが困難となり、燃料として利用されることが多くなるものと思われる。その結果、材料内部に固定されていた炭素が、直ちに大気に放出されることとなる。

2)新築混廃

新築時に発生する廃木材量に関する資料は、極めて少なく、正確な値を把握することは不可能であるが、200万 m^3 以上であると推定されている。新築現場より発生する廃木材は、少量かつ個別散在的であり、さらに他の材料と混合されて廃棄されることが多いので、不法投棄や野焼きの対象となり、再利用されることが極めて少ないものと推察される。

3)解体木材

木造建築物における解体廃木材は、解体に要する費用、日数、人手等の要因により、機械解体されることがほとんどであり、その結果、他の廃棄物と混合されるので、新築混廃と同様に、再利用されることが少ないものと推察される。

4)型枠合板等

非木造建物の建設時に排出される型枠等の廃木材は、木造建築物の新築廃木材の発生量を越える260万m³と推定されており、転用回数も少ない内に、そのまま廃棄されることが多い。

5)工場以外で排出される廃棄物

このように工場以外から排出された木質廃棄物が特に再利用されない理由をまとめると、以下の要因が考えられる。

- ① 廃棄物が少量かつ個別散在的であり、収集運搬する経費が高額となりやすい。
- ② 木質廃棄物と他の廃棄物が混合していることが多く、中間処理場等で、人手を使って区分けすることがある為、分別に要する費用が高額となる。
- ③ 中間処理場は、市街地に限らず都市近郊にも建設することが、非常に困難であり、県外の廃棄物持ち込み規制等がある為、収集した廃棄物を現場から遠距離の処理場まで運搬する必要がある。特に、道路交通法が改正された後は、過積載に対する規制が厳しく、一度に運搬できる量が少なくなり、処理費用も負担する必要があるので、モラルの無い収集運搬業者が不法投棄や野焼きを行うことが多い。
- ④ 排出事業者は、通常、廃棄物処理価格の安い業者を選定して発注するので、収集運搬業者は、運搬費や中間処理場等への支払い額が受注費と釣り合いな場合は不法投棄や野焼きを行うことが多い。

このように、特に、工場以外の場所から排出された木質廃棄物は、現状の経済原理のままでは、リサイクルされることが極めて少ないことから、以下の対応が重要と思われる。

- ① 建設廃棄物の分別の義務化と啓蒙
- ② 新築時に発生する木くずを産業廃棄物とすること
- ③ 適正なる解体日数の確保と解体費用の設定
- ④ ミンチ解体の禁止
- ⑤ 合理的な分別解体技術の確立
- ⑥ 解体業者等を建設業者の一分野として区分し、その制度を設けること
- ⑦ 環境保全性を考慮した適正なるリサイクル原料の価格設定
- ⑧ 中間処理場及び最終処理場を増加させること

⑨ 分別解体の容易性と再利用を考慮した建築物の開発と統一モジュールの設定

2.2.3 リサイクル材の利用状況

1) 再資源化工場によるチップ生産状況

工場より排出された残端材や建設廃棄物、解体廃棄物等は、ボード用や燃料用チップとして再資源化工場等で生産され、再利用されている。これらを仕向け先及び用途別に整理したものを、表14-5に示す。再資源化チップを仕向け先でみると、木質ボード工場へは、15.8%に留まっており、パルプ工場、石膏ボード工場、染色工場等が高い比率を占めていた。さらに、用途別にみると、工業原料として再利用されるのは1/4以下であり、燃料用としては3/4以上となっている。燃料用チップは、ボイラーにて燃焼する時に、チップ内に固定していた炭素を大気へ放出してしまうこととなるので、カスケード型の利用が望ましいが、異物分離等の多くの問題が解決されていないので、再資源化技術の確立が早急な課題となっている。

2) 木質ボード工業における再資源化原料の利用実態

木質ボード工場において使用される木質原料の入荷量と用途内訳を、表14-5に示す。パーティクルや繊維板工業で使用される原料は、バージン材が3/4を占めており、再資源化原料の利用は、1/4以下と、現在においてもリサイクル材の利用が少ない状況となっている。また、用途別の内訳では、これらの原料は、ほとんどボード用として利用されていた。

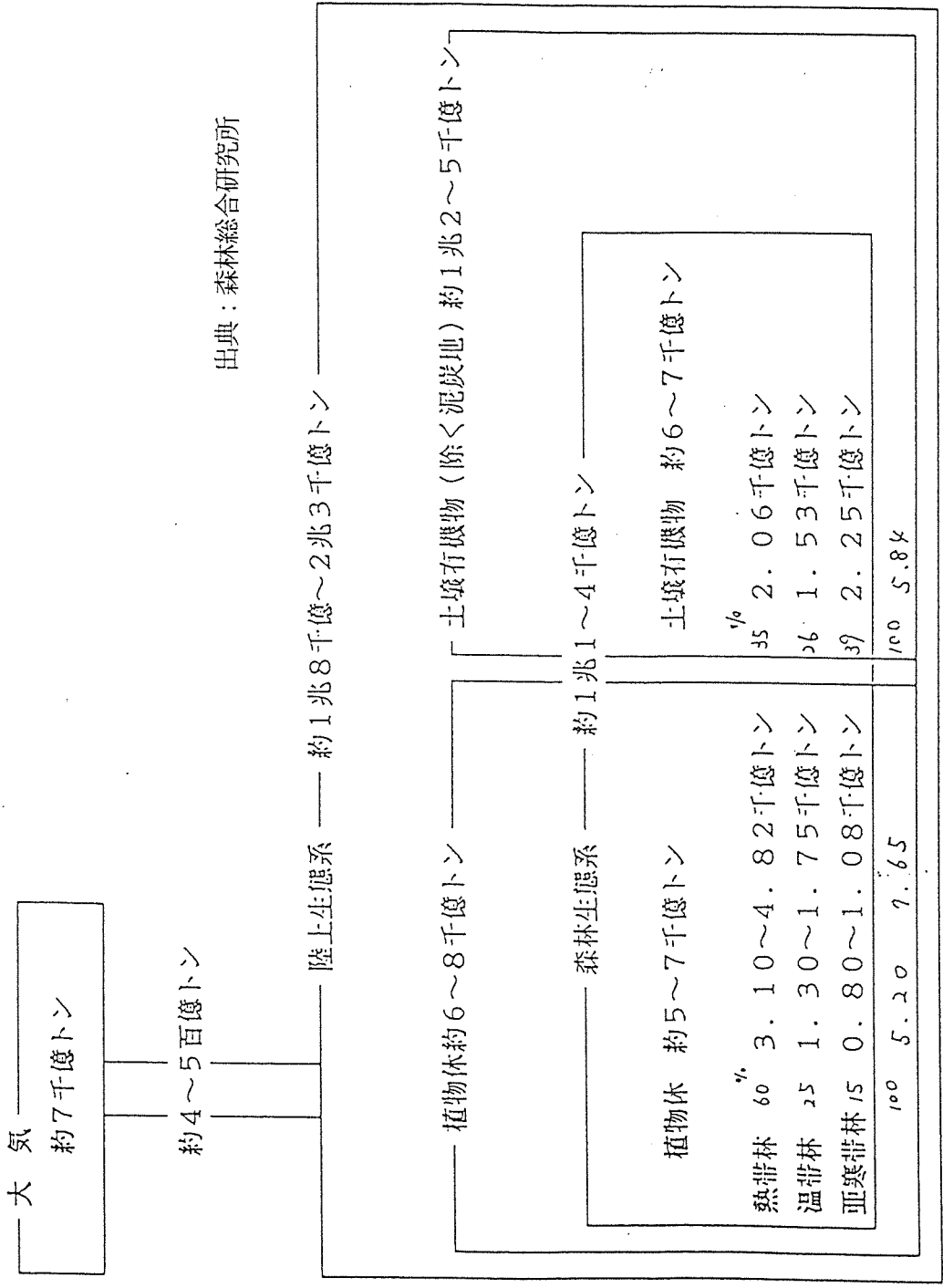


図14-1 炭素貯蔵庫としての森林生態系の役割

Trend of Forest Resources

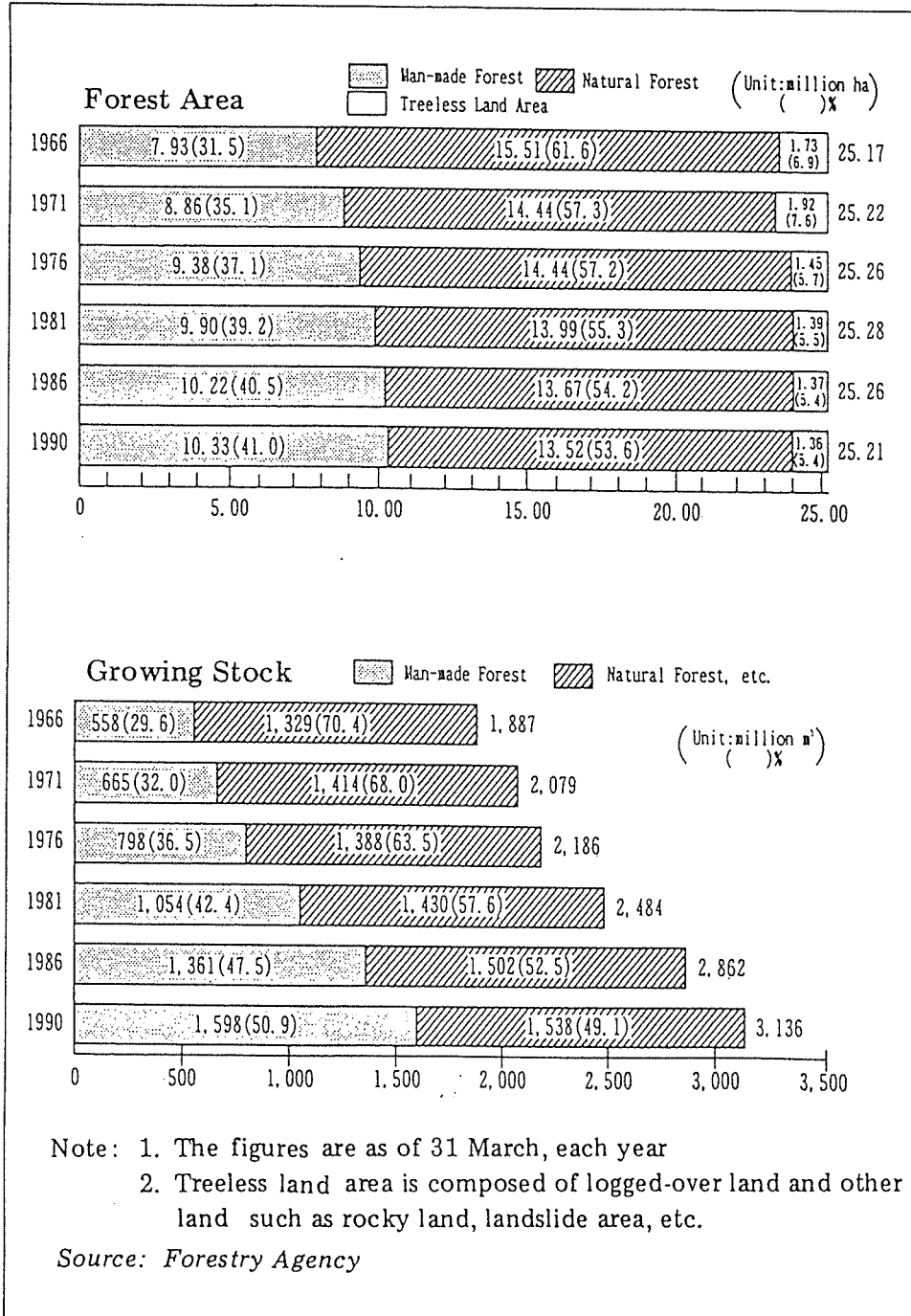


図14-2 我が国の森林面積とストックの推移

表14-1 部門別木材需要量

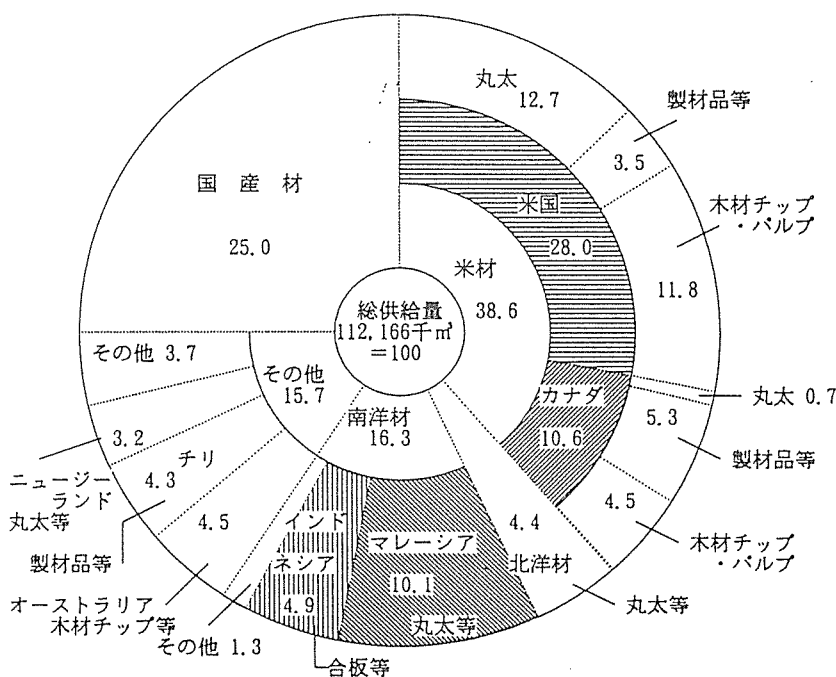
(単位：千m³)

平成3年度	総合計	用材					椎茸原木	薪炭材
		用材総数	製材用	パルプ・チップ用	合板	その他		
総需要量	114,137	112,166	52,230	44,245	14,216	1,475	1,423	548
構成比	100%	98.3%	45.8%	38.8%	12.5%	1.3%	1.2%	0.5%
国内消費	114,010	112,039	52,213	44,206	14,163	1,457	1,423	548
構成比	99.9%	98.2%	45.7%	38.7%	12.4%	1.3%	1.2%	0.5%
輸出量	127	127	17	39	53	18	0	0
構成比	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

表14-2 部門別木材供給量

(単位：千m³)

平成3年度	総合計	用材						椎茸原木	薪炭材
		用材総数	丸太	製材品	チップ	パルプ	その他		
総供給量	114,137	112,166	60,088	—	—	—	52,078	1,423	548
構成比	100%	98.3%	52.6%	—	—	—	45.6%	1.2%	0.5%
国内生産量	29,784	27,999	27,938	—	—	—	61	1,423	362
構成比	26.1%	24.5%	24.5%	—	—	—	0.1%	1.2%	0.3%
輸入量	84,353	84,167	32,150	12,868	23,462	9,878	5,809	—	186
構成比	73.9%	73.7%	28.2%	11.3%	20.6%	8.7%	5.1%	—	0.2%



資料：林野庁「木材需給表」、大蔵省「貿易統計」

- 注：1) 製品については丸太材積に換算したものである。
 2) 四捨五入のため内訳の計が合わないことがある。

図14-3 国産材、外材の供給状況（平成3年）

表 1 4 - 4 廃木材の発生量と再利用 (平成 3 年度)

① 製材工場における残端材の利用と処理 (千m3)			
排出量 排出量 比率	再利用		
	木材チップ 5,443 42.5%	燃料 1,693 13.2%	その他 2,074 16.2%
12,808 100.0%	1,251 9.8%	11,995 93.7%	813 6.3%

② 合板工業における残端材量の排出量 (千m3)			
排出量 排出量 比率	再利用		
	燃料 1,817 68.1%	木材チップ 563 21.1%	その他 270 10.1%
2,668	2,650 99.3%	18 0.7%	

パ・ペイクル・ボード・繊維板工業における残端材の排出量 427,500 m3

③ 集成材工業における残端材量 - 150 千m3			

④ 解体処理業における廃木材材料 単位: m3/m2			
混合木くず 単独木くず 合計	木造家屋解体		改装
	機械解体 0.038 0.070 0.108	手解体 0.071 0.120 0.191	
50,014,170 m ²			
14,177,280 m ²			

(H58~63年資料)
 木造住宅年間滅失戸数 510,000 棟
 非木造住宅年間滅失戸数 208,000 棟
 手解体による解体木材の発生原単位 0.191 m3/m2
 非木造による解体木材の発生原単位 0.038 m3/m2
 木造建築物1戸当たりの床面積 98,067 m2
 非木造建築物1戸当たりの床面積 68.16 m2
 木造建築物の解体廃木材量 9,552,706 m3/年
 非木造建築物の解体廃木材量 538,737 m3/年
 建築物の解体廃木材量 10,091,443 m3/年
 建築統計年報

⑤ 木造住宅の新築時に発生する年間廃木材量 - 投入量(15,000千m3 + α)の約 10 + α% - 2,000 千m3 (グリーン・パ・ペイクル-J1971、79年資料)

⑥ ビル・マンションにおける新築廃木材の発生量 (千m3)			
製材 2,893 63.1%	使用木材量		合計 7,183
	合板 1,690 36.9%	型枠合板 4,583 100%	
		57.7%	23.1%
		100%	100%

⑦ 木製パレット - 2,500,000 m3			
排出量 2,500 100.0%	民間処理場		合計 2,500 100.0%
	焼却 508 20.3%	チップ 440 17.6%	
		0	203
		0.0%	8.1%

⑧ 梱包廃材 ドラム材 200,000 m3 その他の梱包材 500,000 m3 合計 700,000 m3			

(平成3年度調査結果)

表 1 4 - 5 木材原料と利用方法

仕向け先別・用途別再資源化チップ生産量 推定生産量/カット合計 2.8倍 単位：t o n

	工業原料		場内比率		燃料用		場内比率		その他		場内比率		合計		場別比率	
	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率
パティカ工場	82,679	87.7%	11,625	12.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	94,304	5.2%	94,304	5.2%
繊維板工場	10,538	18.6%	46,249	81.4%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	56,787	3.1%	56,787	3.1%
パルプ工場	235,329	48.0%	254,431	52.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	489,759	27.1%	489,759	27.1%
木片チップ板	27,379	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	27,379	1.5%	27,379	1.5%
合板工場	2,650	2.4%	105,752	97.6%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	108,402	6.0%	108,402	6.0%
石膏ボード工場	11,040	2.3%	471,941	97.7%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	482,981	26.8%	482,981	26.8%
染色工場	0	0.0%	345,828	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	345,828	19.2%	345,828	19.2%
その他	13,712	6.9%	174,225	87.4%	11,371	5.7%	11,371	5.7%	11,371	5.7%	11,371	5.7%	199,308	11.0%	199,308	11.0%
合計	383,325		1,410,051		11,371		11,371		11,371		11,371		1,804,747		1,804,747	
使用目的別比率	21.2%		78.1%						0.6%				100.0%		100.0%	

9 2 年度調査

木質系ボード工業の入荷量と用途内訳 推定生産量/カット合計 パティカ工場:1.28 繊維板工場:1.20 単位：t o n

	パティカ工場		再資源化原料		ボード用		燃料(その他)		樹皮(燃料用)	
	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率
パティカ工場	779,633		603,676	77.4%	175,958	22.6%	777,290	99.7%	2,344	0.3%
繊維板工場	691,446		577,229	83.5%	114,217	16.5%	620,000	89.8%	76,747	11.2%
合計	1,471,079		1,180,905	80.2%	289,174	19.8%	1,397,290	94.5%	10,091	0.7%

パルプ工業の原料種類別入荷量 推定生産量/カット合計 パルプ工業

	総入荷量		パティカ工場		再資源化原料	
	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率	入荷量	入荷比率
パルプ工業	39,743	100%	4,970	12.5%	5	0.0%
合計	39,743		4,970	12.5%	5	0.0%

製材工業の原木入荷量

	国産材	輸入材	合計
入荷量	17,332	24,183	41,515
入荷比率	41.7%	58.3%	100.0%

木造建築に使用される木材使用量

	木材使用原単位		木材総使用量	
	着工床面積	合板を除く木材	合板	合計
住居専用	70,910,969	0.163232	11,574,939	1,037,215
その他	11,147,702		12,792,857	1,215,785
合計	82,058,671		24,367,792	2,253,000

増設等が入っていない為、1,500万m3をかなり上回る水準と推定されている

木製パレットの生産台数 - 51,385,000 台 1台当たりの材積=0.056m3 生産量 2,877,56(m3) 7)

梱包材の生産量 - 2,400,000 m3 8)

合板工業の原木入荷量

	国産材	輸入材	合計
入荷量	276	8,924	9,200
入荷比率	3.0%	97.0%	100.0%

3. 枠組壁構法住宅の資源有効利用と消費エネルギーに関する実態調査

本調査は、枠組壁構法の大手住宅メーカーに対して、木質材料を中心とした資源の有効利用とエネルギーの消費に関する実例調査を依頼したものである。

3.1 工場内の木質部材投入量

本調査は、関東地域の二つの工場において生産された枠組壁構法住宅に投入される製材(北米材)や合板の有効利用の実態を把握するものである。これらの工場は、製材の規格による選別や定尺の製材や合板を設計通りに加工する業務を行っているので、丸太から製材や合板に加工する際の残端材の値は、含まれていない。

1) 枠組壁構法製材

表14-6に示すように、6年度の製材原投入量と工場出荷量を比較すると、歩留まりは、93%となり、規格による選別や定尺の製材を加工する際の残端材の発生量は、極めて少ないことが明らかとなった。

平成6年度上期には、2,850棟の住宅が建設されており、1棟当たりの製材投入量を工場出荷量により試算すると、約 $21.8\text{m}^3/\text{棟}$ となった。さらに、これを平均床延べ面積(141.3m^2)当たりで試算すると、 $0.15\text{m}^3/\text{m}^2$ となった。

規格外品や残端材の発生量は、1棟当たり約 2.2m^3 となり、床面積当たりでは、 $0.0155\text{m}^3/\text{m}^2$ となった。なお、規格外の製材は、非構造部材として使用されており、その他の残端材は、8割が無料で銭湯へ、2割が燃料として利用されていた。このように枠組壁構法製材の加工工場における残端材は、投入量の約1/10となっており、資源を有効利用していることが明らかとなった。

2) 床、壁、野地用合板

加工工場内における1棟当たりの合板投入量と端材発生状況を表14-7に示す。床合板の投入量は、1棟当たり 2.1m^3 となり、これを平均床延べ面積(141.3m^2)当たりで試算すると $0.015\text{m}^3/\text{m}^2$ となった。残端材は無く、全て建設現場に搬入されていた。

野地及び壁合板は、全て 4×8 として投入されており、その他の寸法にて使用する際には加工する必要がある為、残端材が発生することがある。その結果、1

棟当たりの残端材は、約0.6m³となり、床面積で試算すると約0.0044m³と極めて低い値となった。その結果、端材発生率は約4%に留まった。また、残端材の8割が梱包材として売却され、2割が場内にて焼却されていた。

3.2 建設時のエネルギー消費原単位

木造住宅の建設時に主として使用される電気エネルギーは、契約方法が臨時電灯甲である為、電気量メーターが設置されていないので、電気エネルギー消費量を正確に把握することは、不可能となっている。しかし、建設時のエネルギーを推定することは、木材・木質資源のLCCO₂の概要を把握する上で欠かすことの出来ない項目であるので、以下の二種類の方法により推定することとした。

試算A－枠組壁構法住宅の監督経験者(約350棟)に調査を依頼し、長年の経験と実績に基づき使用機器の消費電力量から全消費量を試算。

試算B－電力会社の料金体系から消費電力量を概算。

勿論、このような方法では、正確な消費エネルギーを推定することは不可能であるが、建設資材全体から見た木質材料のエネルギー消費量のオーダーを探ることに意味があると思われるので、試算を実施した。

3.2.1 使用機器からの試算(試算A)

本調査は、枠組壁構法住宅に使用される各種機器の使用人数、作業時間、消費電力量を積算することにより、住宅の建設時に必要なエネルギー消費量を試算するものである。1棟の住宅の建設に要する電力消費量は、表14-8に示すように冬期においては、1,158kw、冬期以外では774kwと積算されている。このように冬季は、暖房機器を使用するので、それ以外の季節と比較して、エネルギー消費は、約1.5倍増加するものと試算されている。この結果により、床面積当たりのエネルギー消費量を求めると、以下のようになる。

$$\text{冬期} \quad -1,158\text{kw}/\text{棟} \div 141.3\text{m}^2(\text{延べ床面積}) = 8.2\text{kw}/\text{m}^2$$

$$\text{冬期以外} \quad -774\text{kw}/\text{棟} \div 141.3\text{m}^2(\text{延べ床面積}) = 5.5\text{kw}/\text{m}^2$$

また、単位面積当たりの炭素ガス放出量は、以下の通りとなる。

冬期 $-8.2\text{kW}/\text{m}^2 \times 0.12 = 0.98\text{kg-c}/\text{m}^2$ (炭素換算)

冬期以外 $-5.5\text{kW}/\text{m}^2 \times 0.12 = 0.66\text{kg-c}/\text{m}^2$ (炭素換算)

また、冬期による各種の原単位を以下に示す。

1棟当たりの木材・木質材料投入量 21.8m^3 (製材)+ 2.1m^3 (合板) = 23.9m^3

木質部材 1m^3 当たりのエネルギー消費量 $1,158\text{kWh}/23.9\text{m}^3 = 48.45\text{kWh}/\text{m}^3$

木質部材 1m^3 当たりの炭酸ガス放出量(炭素換算) $48.45\text{kWh}/\text{m}^3 \times 0.12 = 5.81\text{kg-c}/\text{m}^3$

3.2.2 電力料金体系からの試算(試算B)

1) 契約と電気メーターの設置

木造住宅を建設する場合、下記に示すように、電力会社との契約は、臨時電灯と臨時電力がある。臨時電灯においては、契約する電流によりさらに、甲、乙、丙に区分されている。臨時電力は、3相200V以上の動力を使用するものが該当するものであり、契約電力により5kW以下場合は、定額制供給、それ以上の場合は、従量制供給の契約となる。

建設時のエネルギー消費量を知る上で重要な電気メーターは、原則として契約容量が6kVA以上の臨時電灯丙と臨時電力の従量制供給に設置されるが、契約期間が一ヶ月以内のものは、設置していない。

木造住宅における通常の建設工事は、使用する電気機器が3kVA以下であり、また、供給される電気方式も交流単相2線式標準電圧100Vである為、下記に示す『臨時電灯甲』に該当する。臨時電灯甲は、表14-9に示す様に電気量メーターを設置していない為、現在のところ電気エネルギーの消費量を直接的に把握する事が不可能となっている。

2) 電気エネルギー消費量の推定

建設時のエネルギーを推定することは、木材・木質資源のLCCO₂の概要を把握する上で欠かすことの出来ない項目であるので、電力会社の料金から消費量を概算し、推定することとした。勿論、このような方法では、正確な消費エネルギーを推定することは不可能であるが、建設資材全体から見た木質材料のエネルギー消費量のオーダーを探ることに意味があると思われるので、現在においては、表14-10の値を用いた以下のような方法で、建設時のエネルギーの消費量

を試算した。

$$\text{臨時電灯甲の料金} \text{¥135円/日(500VA} \sim \text{1kVA)} \quad \text{¥135} \times \text{30日(約1ヶ月)} = \text{¥4,050}$$

$$\text{従量電灯乙の料金} \text{120kWまでは} \dots \text{単価: ¥17.8円/kW} \quad \text{¥17.8} \times \text{120kW} = \text{¥2,136}$$

$$\text{250kWまでは} \dots \text{単価: ¥23.85円/kW}$$

$$\text{残額} \quad \dots \text{¥4,050} - \text{¥2,136} = \text{¥1,914} \quad \text{¥1,914} / \text{¥23.85} = \text{約80kW}$$

$$\text{一ヶ月当たりの電気消費量} = \quad \quad \quad \text{120kW} + \text{80kW} = \text{約200kW}$$

$$\text{一日当たりの電気消費量} = \quad \text{200kW} / \text{25日(実労働日数)} = \text{約8kW}$$

$$\text{1時間当たりの電気消費量} = \quad \text{8kWh} / \text{8時間(実労働時間)} = \text{約1kW}$$

木造住宅の建設に要する実労働日数を122日(在来構法15棟を対象とした調査結果により概算)、建築延べ床面積を89.3m²(建設省建築統計年報、平成5年度調査)と仮定すると

$$\text{木造建物1棟を建設するのに消費する電気エネルギー} \quad \quad \quad \text{8kW} \times \text{122日} = \quad \quad \quad \text{976kWh}$$

$$\text{1棟当たりの木材投入量} \quad \quad \quad \text{0.187m}^3 / \text{m}^2 \times \text{89.3m}^2 \text{(建設省データ)} = \quad \quad \quad \text{16.7m}^3$$

$$\text{床面積1m}^2 \text{当たりの電気エネルギー消費量} \quad \quad \quad \text{976kWh} / \text{89.3m}^2 = \quad \quad \quad \text{10.9kWh/m}^2$$

$$\text{※ 床面積1m}^2 \text{当たりのCO}_2 \text{放出量(炭素換算)} \quad \quad \quad \text{10.9kWh/m}^2 \times \text{0.12} = \quad \quad \quad \text{1.3kg-c/m}^2$$

$$\text{木材・木質材料1m}^3 \text{当たりのエネルギー消費量} \quad \quad \quad \text{976kWh} / \text{16.7m}^3 = \quad \quad \quad \text{58.44kWh/m}^3$$

$$\text{※ 木材・木質材料1m}^3 \text{当たりのCO}_2 \text{放出量(炭素換算)} \quad \text{58.44kWh/m}^3 \times \text{0.12} = \text{7.0kg-c/m}^3$$

試算の結果、建設時に要する木材・木質材料1m³当たりのCO₂放出量は、7.0kg-c/m³(炭素換算)となり、著しく低い値となったが、今回の試算を試算Aと比較すると約20%高い値となった。これら二つの試算により、建設時に消費されるエネルギーのオーダーが把握することができた。今後においては、建設時に電気メーターを取り付けて、正確度を増したエネルギー消費実態を把握する必要があるものと思われる。

3.3 建設廃棄物の実例調査

木造建物の建設現場において排出される混合廃棄物の組成に関する調査例は、極めて少ない為、本調査では廃棄物を種別毎に区分して組成分析をした。対象となる建物は、枠組壁構法の2階建(延床面積166.97m²)である。表14-11に示すように廃棄物の総量は、重量では7,251kg、容量では37.59m³となり、また、床面積当たりの排出量では、43kg/m²、0.23m³/m²となった。このように建設現

場から排出される廃棄物は、かなり多量であることが明らかとなった。しかも、これらの廃棄物は、通常において分別収集されることはないので、不法投棄や野焼き等の要因となりやすい。木質廃棄物の排出量の状況をみると、木質廃棄物の合計は、廃棄物全体に対して約4割を占めており、合板類は約15%、木くずは25%であった。

その他の廃棄物の中で特に多いものは、ガラス陶磁器系のボート類が最も多く、重量では4割、容量でも約2割となっており、これらの廃棄物は再利用が困難な為、設計時における配慮が必要と思われる。

表14-6 枠組壁工法用製材加工工場の端材発生状況

A工場 (m³)

	平成5年度	6年度上期	6年度下期	6年度累計
製材原投入量	114,656	51,034	39,435	90,469
工場出荷量	102,353	46,093	38,218	84,311
規格外部材発生量	3,850	365	322	687
“ 発生率	3.4%	0.7%	0.8%	0.8%
規格内端材発生量	8,453	4,576	895	5,471
“ 発生率	7.4%	9.0%	2.3%	6.0%
端材発生量合計	12,303	4,941	1,217	6,158
端材発生率(全体)	10.7%	9.7%	3.1%	6.8%

B工場 (m³)

	平成5年度	6年度上期	6年度下期	6年度累計
製材原投入量	26,450	17,333	16,154	33,487
工場出荷量	23,452	16,030	14,991	31,021
規格外部材発生量	393	64	50	114
“ 発生率	1.5%	0.4%	0.3%	0.3%
規格内端材発生量	2,615	1,239	1,113	2,352
“ 発生率	9.9%	7.1%	6.9%	7.0%
端材発生量合計	3,008	1,303	1,163	2,466
端材発生率(全体)	11.4%	7.5%	7.2%	7.4%

合計 (m³)

	平成5年度	6年度上期	6年度下期	6年度累計
製材原投入量	141,106	68,367	55,589	123,956
工場出荷量	125,805	62,123	53,209	115,332
規格外部材発生量	4,243	429	372	801
“ 発生率	3.0%	0.6%	0.7%	0.6%
規格内端材発生量	11,068	5,815	2,008	7,823
“ 発生率	7.8%	8.5%	3.6%	6.3%
端材発生量合計	15,311	6,244	2,380	8,624
端材発生率(全体)	10.9%	9.1%	4.3%	7.0%

- ① 6年度上期に2,850棟分を生産
- ② 平均延床面積：141.3m²/棟
- ③ 調査地域：関東地区

A工場の6年度上期の電気消費量： 195,200 kw

A工場の製材1m³当たりの炭酸ガス放出量(炭素換算)：
A工場の6年度上期炭素放出量/6年度上期工場出荷量
=0.23kg-C/m³

表14-7 平成6年度 枠組壁工法用合板の工場内端材発生状況
(1棟当たり)

処理	種類	厚さ (mm)	寸法形状		枚数 (枚)	面積 (m ²)	容量 (m ³)	材種
			W	L				
投入	床合板	15	910	1,820	86	142.4	2.1	ラワン
	端材発生量	15	—	—	0	0.0	0.0	ラワン
	端材発生率	15	—	—	0	0%	0%	—
投入	野地、壁合板(4X8)	9	1,219	2,438	107	318.5	2.9	米松
カット	(3×8)	9	914.4	2,438	98	217.6	2.0	米松
カット	(1.6×8)	9	488	2,438	10	12.2	0.1	米松
カット	胴廻り等	9	—	—	32	19.5	0.2	米松
	端材売却(梱包等)	9	—	—	—	56.4	0.5	米松
	端材廃棄量	9	—	—	—	12.8	0.1	米松
	端材発生率	9	—	—	—	4.0%	4.0%	—

表14-8 枠組壁工法新築現場電気使用量試算結果

	作業内容	担当者数	作業日数	作業量	使用電気	電力	使用時間	電力使用量
		(人)	(日)	(人日)	器具	(kw/h)	/人・日	合計(kw)
1	暖房	—	—	40	ヒーター	1.2	8.0	384
2	造作	4	10	40	ドライバ	0.6	4.8	115
3	試運転	2	4	8	全般	3	4.8	115
4	建方	4	8	32	コンプレッサ	1.5	1.6	77
5	造作	4	10	40	丸ノコ	0.8	1.6	51
6	造作	4	10	40	コンプレッサ	1.5	0.8	48
7	吹付	2	2	4	コンプレッサ	2.5	4.8	48
8	作業灯	—	—	30	ランプ	1	1.6	48
9	建方	4	8	32	丸ノコ	0.8	1.6	41
10	配線工事	2	5	10	ドライバ	0.6	4.8	29
11	設備取付	4	2	8	ドライバ	0.6	4.8	23
12	空調工事	4	2	8	ドライバ	0.6	4.8	23
13	クリーニング	2	2	4	掃除機	1.5	3.2	19
14	クリーニング	2	2	4	ヒーター	1.5	3.2	19
15	モルタル	4	2	8	ミキサー	2.5	0.8	16
16	給排水工事	2	9	18	セハン、他	1	0.8	14
17	照明取付	2	2	4	ドライバ	0.6	4.8	12
18	フェルト・ラス	2	1	2	コンプレッサ	1.5	3.2	10
19	モルタル	4	2	8	リフター	1.5	0.8	10
20	クロス	3	4	12	リ付機他	0.8	0.8	8
21	屋根工事	3	2	6	リフター	1.5	0.8	7
22	防蟻処理	1	2	2	コンプレッサ	1	3.2	6
23	タイル	1	5	5	サンダー他	0.8	1.6	6
24	カーペット	2	2	4	ヒーター	2	0.8	6
25	箱物取付	2	1	2	ドライバ	0.6	4.8	6
26	塗装	2	4	8	攪拌機他	0.8	0.8	5
27	型枠組	3	2	6	丸ノコ	0.8	0.8	4
28	板金樋	3	1	3	サンダー他	0.8	1.6	4
29	ハツリ	1	1	1	ブレーカー	1.5	2.4	4
(延べ床面積：約141m ² 想定)						冬期合計		1158
						冬期以外合計		1154.4

表14-9 建設時に使用される臨時電灯及び臨時電力の概要

契約方法		契約容量	適用範囲	電気量メーター	基本料金
臨時電灯	甲	3kVA以下	電灯又は小型機器	無し	無し
	乙	40A以上60A以下	〃	電流制限器	¥286/月
	丙	6kVA以上	〃	一ヶ月以上有り	¥286/月
臨時電力	定額制供給	5kW以下	3相200V以上の動力機器	無し	無し
	従量制供給	5kWを超過	〃	一ヶ月以上有り	各20%割増

*臨時電灯甲には、電流が常時20A以下に制限されるノーヒューズブレーカーが設置されている。

*臨時電灯及び電力の契約使用期間は1年未満(毎年、一定期間を限り、反復使用する需要には適用しない)

表14-10 臨時電灯甲と従量電灯乙の概要

契約方法	基本料金	電力量料金	電気量メーター	ブレーカー	主な機器と消費電力
臨時電灯甲	無し	500VAを超え1KVAまで ¥135/月	無し	20A	エアコンプレッサー-1,500W以下 丸鋸 -1,500W以下
従量電灯乙 (20A)	¥520	120kWhまで ¥17.80/kWh 120~250kWh ¥23.85/kWh 250kWh超過 ¥26.32/kWh	有り	20A	

表14-11 枠組壁工法新築現場排出物調査事例

	重 量		容 量	
	k g	構成比	m ³	構成比
コンパネくず	—	—	—	—
ベニヤくず	—	—	—	—
合板加工くず	—	—	—	—
合板類計	1,057.0	14.6%	6.24	16.6%
木くず	1,826.0	25.2%	—	—
平角くず	(木くず、角くず含む)		—	—
角くず			—	—
オガくず	89	1.2%	—	—
木くず計	1,915	26.4%	9.45	25.1%
木質類合計	2,972	41.0%	15.69	41.7%
ダンボール	335	4.6%	4.76	12.7%
紙くず	224	3.1%	2.69	7.2%
紙類合計	559	7.7%	7.45	19.8%
ボード類	2,860	39.4%	8.09	21.5%
グラスウール	32	0.4%	1.08	2.9%
ビン類(ジュース等)	6	0.1%	(ビン類を含む)	
ガラス陶磁器くず合計	2,897	40.0%	9.17	24.4%
発砲スチロール系くず	14	0.2%	1.09	2.9%
PPヒモ類	8	0.1%	0.31	0.8%
ビニール・袋類	94	1.3%	1.45	3.9%
その他廃プラ類(塩ビ等)	62	0.9%	0.80	2.1%
廃プラスチック類合計	178	2.5%	3.65	9.7%
金属くず(非鉄含む)	90	1.2%	0.38	1.0%
ジュース缶類	44	0.6%	0.40	1.1%
金属くず合計	134	1.8%	0.78	2.1%
建設廃材(ガラ・ハツリかす等)	310	4.3%	0.25	0.7%
繊維くず(タオル・軍手・シャツ等)	3	0.0%	0.05	0.1%
その他(弁当くず・ゴミ・カス等)	167	2.3%	0.48	1.3%
処理困難物	32	0.4%	0.07	0.2%
総合計	7,251	100.0%	37.59	100.0%

4. まとめ

本報告は、炭素固定や炭素放出量の削減上、極めて重要な項目を中心に記述してきた。これらの内容を以下にまとめる。

- ① 木質部材の製造及び廃棄による炭素放出量が、森林の生長による炭素固定量を上回らないならば、大気中の炭酸ガスは、木材の利用により減少することとなる。
- ② 森林は、化石燃料の大量消費により大気中に放出された炭酸ガスを、自然エネルギーにより炭素を固定する能力があり、さらに、地上に膨大なる炭素貯蔵庫としての役割を担っている。
- ③ 人工林の単位面積当たりの炭素固定量は、天然林に対し、約8.7倍となることが認められた。
- ④ 枠組壁構法住宅に建設時における単位床面積当たりの炭素ガス放出量は、以下の通りとなる。
冬期 $-8.2\text{kw}/\text{m}^2 \times 0.12 = 0.98\text{kg-c}/\text{m}^2$ (炭素換算)
冬期以外 $-5.5\text{kw}/\text{m}^2 \times 0.12 = 0.66\text{kg-c}/\text{m}^2$ (炭素換算)
- ⑤ 枠組壁構法住宅の建設現場における単位床面積当たり廃棄物量は、 $43\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.23\text{m}^3/\text{m}^2$ となった。木質廃棄物は、廃棄物全体に対して約4割を占めており、合板類は約15%、木くずは25%であった。