

平成5年度 農林水産省補助事業
(財)日本住宅・木材技術センター事業

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)

平成6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（Ⅲ）

（再資源化技術開発事業）

目 次

まえがき	1
調査研究要綱	2
第1章 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	9
第2章 異物分離装置の開発・実用化	22
第3章 木質廃棄物の粉碎方法の検討	29
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（Ⅰ）	45
第5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）	60
第6章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（Ⅰ）	85
第6章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（Ⅱ）	99
第7章 炭化技術と炭化物の機能利用開発	105
第8章 木炭を利用した水質浄化法	131
第9章 木炭による床下気象環境の改善に係る効果調査	149
第10章 木質系水産資材の開発	190
第11章 木材の可溶化技術の開発	236
第12章 保存処理木材の分別技術と再利用技術の実態調査	262
第13章 薬品処理廃材の再利用技術の開発・性能評価	275

まえがき

平成4年度からスタートした木質廃棄物再資源化技術開発事業は、3つの部会、つまり①発生・再利用実態調査 ②発生抑制技術開発 ③再資源化技術開発により構成されているが、本報告書は③について平成5年度に取り組まれた課題を取りまとめたものである。事業の主な目的は、樹皮、製材廃材、建築廃材、コンクリート型枠廃材、パレット廃材などいろいろな形で排出される木質系廃棄物をできるだけ付加価値を高めた形で再利用するための方法を開発することである。

平成5年度に取り上げられた課題は多岐にわたるが、木質系廃棄物をボード類の原料として利用する場合に問題になるチップに含まれる金属片などの異物の分離技術の開発、および廃棄物を利用したボードや木炭などの製造技術およびその性能評価に大きく分けられる。チップに含まれる主に鉄や非鉄金属等の異物を分離するための実用機の開発は、繊維板工業会が主体となって平成4年度から2年間にわたって実施してきたが、ほぼ当初の目的を達成し、異物分離技術の一つの方向を示し得たと思われるので本年度で一応終了とした。

ボード類の開発については、廃コンクリート型枠や薬品処理木材等の廃棄物から木質セメントボードや高耐久性ボードを製造する試み、また廃棄物を木炭として利用する場合の炭化技術の開発あるいは木炭の持つ吸油、土壌改良、水質浄化、床下気象環境改善機能等の評価、さらに木屑を利用した人工漁礁や発泡材の開発等について検討してきたが、これらの課題は平成5年度から開始されたものが多く、今後継続して取り組む予定になっており、本報告書では中間報告として示した。

平成6年3月

木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会

再資源化技術開発部会長 木下 紘幸

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・再利用実態調査事業
- (2) 発生抑制・環境保全技術開発事業
- (3) 再資源化技術開発事業

*この報告書は、上記事業のうち、(3) 再資源化技術開発事業について取りまとめたものである。

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委員

(敬称略・五十音順)

委員長	中野 達夫	森林総合研究所 木材利用部長
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
"	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 講師
"	木下 敝幸	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
"	高橋 泰一	建設省建築研究所 第2研究部長
"	土橋 平太郎	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
"	村上 泰司	(社)日本木造住宅産業協会 産業廃棄物プロジェクト委員
"	山岸 宏一	北海道立林産試験場技術部 主任研究員

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・再利用実態調査

宮村 雅史 建設省建築研究所第2研究部 研究員
鈴木 武 (財)林政総合研究所 研究員

○ 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
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
高谷 典良 北海道立林産試験場技術部 合板科長
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 嘱託
海老原 徹 森林総合研究所木材化工部 複合化研究室長
遠藤 展 北海道立林産試験場技術部 機械科長
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

(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)

(建築廃材等木炭床下環境効果調査)

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)	4	5	6	7	8
(1) 異物分離装置の開発	<p>① 解体材の機械的処理とチップの品質基準、利用技術の検討 ...処理技術の現状、チップの品質と用途との関係、新しい処理方法の検討...</p> <p>② 異物分離装置の開発・実用化 ...風選による...</p> <p>③ 粉砕石膏の分離技術 ...異物分離を考慮した粉砕及び石膏の分離技術の検討...</p>	○	○	○		
(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 廃コンクリート型枠等を利用した木質セメントボード等の開発	○	○	○		
1) 木質ボード等建材の開発	① 炭化処理と保管、利用技術 ...段階的炭化法とその保存特性と再利用の検討...	○	○	○		
2) 炭化技術及び木炭の機能評価と利用技術	② 炭化技術と炭化物の機能利用技術の開発 ...吸湿、吸油機能の評価、木炭ボードの開発、農林水産業への活用...	○	○	○	○	○
3) 混合木くずの利用技術開発	③ 木炭による床下気象環境効果調査 ...実際の居住環境での効果調査... ④ 木炭を利用した水質浄化法	○	○	○	○	○
4) 樹皮の利用技術開発	① 人工魚礁の開発		○	○	○	○
5) 薬品処理木材の再利用技術の開発、規格の合理化等	② 可溶化技術 ...混合木くずによる発泡材等の開発... ① 樹皮の高度利用技術の開発 ...粉砕、分級、重金属吸着技術の開発... ① 保存処理木材の分別技術と再利用技術の実態調査 ② 高耐久性ボードへの転換利用技術の開発・性能評価 ③ パーティクルボード製造技術の開発 ④ 薬品処理木材の合理的な規格・規準作成のためのデーター整理	○	○	○	○	○

5 平成5年度の事業概要

平成5年度は、前年度に引続き木質廃棄物を、パーティクルボード原料として利用促進するための調査・研究を行うとともに、異物分離装置の実用化を行った。また、多用途への利用開発を図るため、木炭の炭化技術・調湿材料・水質浄化材料等への利用、木質セメントボード原料としての利用について検討した。更に、薬品処理廃材の分別・再利用の調査及び再利用技術の開発・性能評価を行うとともに、本年度から、新たに木質系水産資源（解体材チップを利用した人工魚礁）の開発に着手した。

なお、項目別概要は、以下のとおりである。

- (1) 解体材の機械的処理とチップの品質及びボードへの利用
パーティクルボード工業における木質廃材の利用実態の調査並びに解体材等古材チップの品質及びパーティクルボードへの利用調査
- (2) 異物分離装置の開発・実用化
解体材をパーティクルボード原料として利用するため、平成5年度に試作した異物分離装置の原料処理ラインへの設置及び試作装置による実用化試験の実施
- (3) 木質廃棄物の粉碎方法の検討
木質系廃棄物の粉碎技術の現状把握並びに廃コンクリート型枠及び廃棄物に混入する石膏ボードの粉碎処理方法について検討
- (4) 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（Ⅰ）
廃コンクリート型枠を利用したセメントボードの試作及び性能評価
- (5) 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）
廃コンクリート型枠及び解体材を利用（それぞれの材料別）したセメントボードの製造及び性能試験の実施
- (6) 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能
木質残廃材の炭化条件（温度・時間）別の炭化物の吸着性試験及び炭化物の吸湿・保水試験の実施
- (7) 炭化技術と炭化物の機能利用開発
解体材による木炭の製造試験及び農業的利用を目的とした木炭粉の吸着性能試験の実施
- (8) 木炭を利用した水質浄化法
アカマツ、カラマツ等5種の木炭の物性・水質浄化機能の測定及び水質浄化の検討
- (9) 木炭による床下気象環境の改善に係る効果調査
木炭敷設による木造住宅床下環境の環境改善影響評価の分析、解体材等を利用した木炭の調湿機能の解明及びリサイクル資源としての解体材の有効利用の検討
- (10) 木質系水産資材の開発

- 解体材（チップ）を利用した人工魚礁の試作及び海中投入試験の実施
- (11) 木材の可溶化技術の開発
廃材、粉末材等のリサイクル材を活用した液化技術の検討及びその応用について検討。特に、生分解性材料としての造成の可能性について検討した。
- (12) 薬品処理木材の分別技術再利用技術の実態調査
まくらぎ廃材の実態・再利用調査、解体材のリサイクル技術・解体材に含まれるCCA処理廃材の実態調査及び土台以外の用途におけるCCA処理木材の廃棄量の予測
- (13) 薬品処理廃材の再利用技術の開発・性能評価
薬品処理廃材を原料に製造したパーティクルボードの防霉・防蟻性能試験の実施及び薬品処理廃材の紙・パルプへの転換利用上の問題点の解明

第1章 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

1. はじめに

木質系廃材の利用はこれまで燃料としての価値基準により対処されてきたといえよう。銭湯などの熱源が木材から石油系に変化した昭和30年代の後半から昭和40年代の初頭の変化¹⁾は、燃料消費構造の急激な変化により残廃材の燃料としての価値が低下したことが背景にある。木材が燃焼されなくなって問題化したのである。時を隔て オイルショックの時代には、化石燃料への不安と不足から一時的に燃料消費構造が変化し、建築解体材の燃料としての価値が再認識された。その後、昭和50年代後半に再度浮上した要因には、建築解体材が産業廃棄物に格上げされたことによる処理コストの問題とからんで燃焼するかどうかの判断が付きまわっていると考えるよからう。

昨今、話題に再度上っている理由は、いわゆる環境・資源問題が背景にある。地球温暖化の原因となる二酸化炭素について考えるならば、木材中に固定されたカーボンをいかに長期間にわたって保持させるかが課題であり、これは、いかに燃焼させないで利用するかが課題となる。しかし、単に燃料としての価値基準だけでなく、グローバルな課題として再度浮上してきたところが、これまでの変化と若干趣を異にするといえよう。

燃焼させることは最終的な処理と考え、木材を可能なかぎり再利用するためには、エレメントは徐々に小さくならざるを得ない。パーティクルボードは雑多な木質廃材を原料として再度板材料へ復活させる有力な手段であり、燃焼させる手前で木質資源の価値を再度高める役割も果たせるのがボード工業であるといえよう。本稿では、リサイクルされた木質廃材の受け皿として、パーティクルボードへの期待が大きいことから、パーティクルボード工業における木質廃材の利用実態の調査を試みた。また、各種木質材料をチップ化して、その品質を形状の面から検討した。

2. パーティクルボード工業における木質廃材の利用

木質廃材の利用に関する量的な動向と将来の予測および異物除去技術等の課題を中心にパーティクルボード工場6社の聞き取り調査およびアンケート調査を行った。アンケート調査では11社の回答が得られた。これらの結果に既報の関連資料を加えて概要の把握に努めた。

2.1 古材チップ使用量

パーティクルボード工場は現在15社(16工場)が稼働しており、11社の回答はその約7割を代表している。生産量を平成4年度実績で見ると11社の合計は63.8万トンとなり全国生産量の約8割に達している。したがって、ここで得られた結果は概ね日本のパーティクルボード全体の状況を反映しているものと考えることができる。

図1-1に回答の寄せられた11社の生産量を示した。図中の斜線部は各社ごとの原料に占

める古材（再資源化原料）チップの比率を生産量に当てはめた値である。たとえば、原料に占める古材の割合が30%であれば、製品の30%が古材から製造されたと単純に計算した。11社中3社が古材を全く使用しておらず、古材を使用している場合も利用率は数%から90%程度までさまざまである。

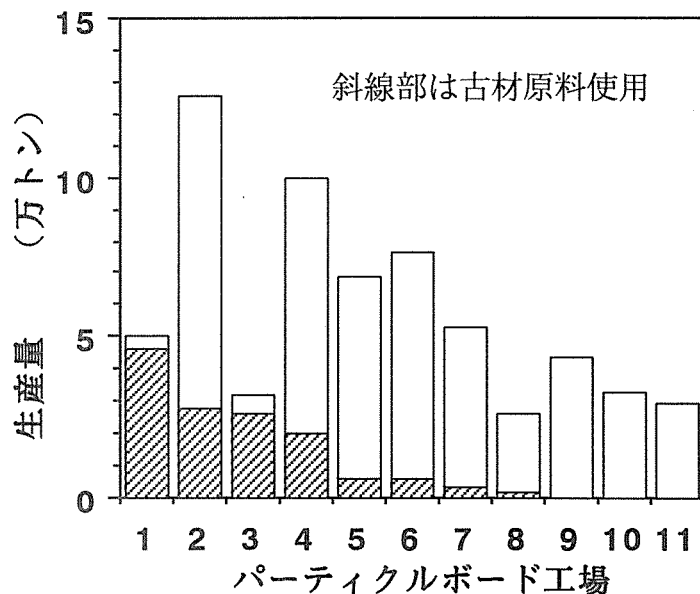


図1-1 パーティクルボード11社の平成4年製造実績と古材原料利用率

古材利用率を生産量に当てはめ斜線で示した

工場の立地等の条件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。古材の発生量と集荷距離など、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。集荷距離の長い地域では古材処理業者が少なく、また古材の野焼きが実質的に可能な地域ではボード原料としての量的な集荷が行われていないなど地域差が大きい。

パーティクルボード原料に占める古材原料の比率に各社の生産量を加味して計算すると、生産量63.8万トンに対して13.6万トンが古材原料から製造されたとみなすことができる。これは原料全体の21%に相当する。回答の得られた工場の立地が北海道から九州まで及んでいることを考慮すると、国内で製造されるパーティクルボードの2割ほどが古材を原料としていると結論することができる。

次にボード原料の将来の見通しについて検討した。5年後および将来の古材使用量の予測を伺ったところ、11社中9社が予測値を回答し、2社が現時点では予測困難との回答を寄せた。図1-2は、9社の将来における古材の使用比率予測値を平成4年度の製造実績に掛け合わせて内数として示したものである。

古材使用率が100%に達するであろうと回答した会社が2社、6割以上との回答が2社、4～5割が2社となった。いずれの場合も、現在古材を使用している会社では今後増加するとの予測をもっていることが明らかとなった。予測困難とした2社については古材使用率0%とみなして、11社全体について製造量の重みをつけて計算すると、5年後の予測値は供給原料の37%、「将来」は45%となった。

国内における木質ボードの原料供給バランスが今後どのように変化するのか、未確定な部分も多いが、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

が古材原料に依存するであろう、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結論することができよう。

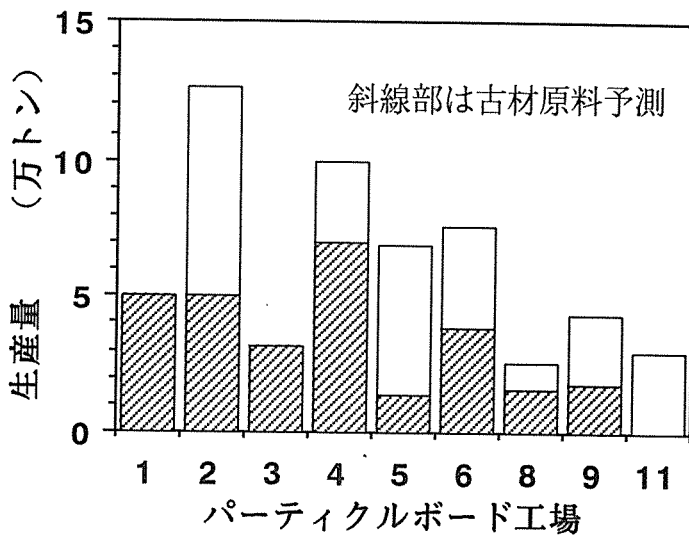


図1-2 パーティクルボード9社の古材原料使用率の将来予測
将来の予測使用率を平成4年の製造実績に当てはめた

パーティクルボード工場における古材チップの使用状況は前述のように工場ごとに異なっている。聞き取り調査をもとに、一般的な傾向として使用量推移の特徴を大づかみに表現すると以下ようになる。

①かつては自社あるいは関連合板工場から排出される合板廃材を主原料としてパーティクルボードを製造していた。②合板製造量は価格その他の理由により変動は見られるものの減少傾向にあり、逆に、パーティクルボードの製造量は増加傾向にある。③したがって原料の自給率（合板廃材使用率）は減少にあり、原料の確保が問題となる。④購入チップが増加し、立地によっては古材チップの利用率が増加した。⑤古材チップは異物等の問題もあるが、原料として使用したい、あるいは使用せざるを得ないであろう。いずれにしても、注目している。

2. 2 古材の種類

アンケート調査では古材を解体材、梱包材、パレット、型枠合板、その他に分類して回

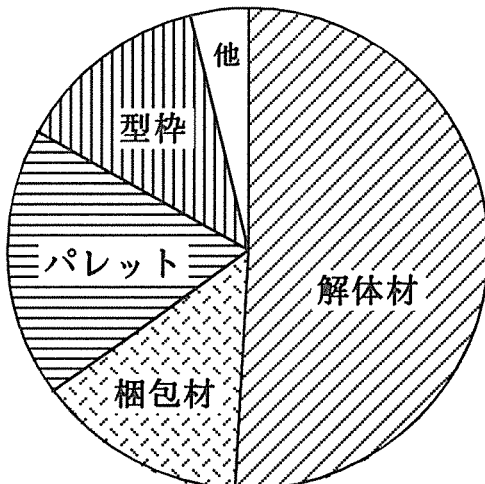


図1-3 パーティクルボードに使用される古材の種類

5項目の回答項目別の比率を平成4年の古材使用実績に当てはめて全体の比率を求めた

答を求めた。回答が得られた7社について、平成4年の製造実績に基づいて重み付けをして、これらの割合を求めた。結果を図1-3に示す。解体材が51%と最も多く、ついでパレットが18%、梱包材が14%、型枠合板13%、そのほか4%となった。解体材はその発生源が広いことと発生量が多いことが利用量に反映しているものと思われる。梱包材およびパレットは工場の立地などの状況により異なり、工場ごとに使用量は大きく異なっている。

2. 3 古材チップの入手方法および難易度

古材チップの入手方法を、どこでチップ化し選別するかという視点、すなわちボードメーカーがどこまでかかわるかという視点で分類すると、①チップ納入業者から選別された古材チップを入荷する、②未選別の古材チップを入荷し自社で選別する、③古材を入荷し自社でチップ化する、④自社あるいは関連会社が解体しチップ化する、⑤その他、およびこれらの併用に分けられる。

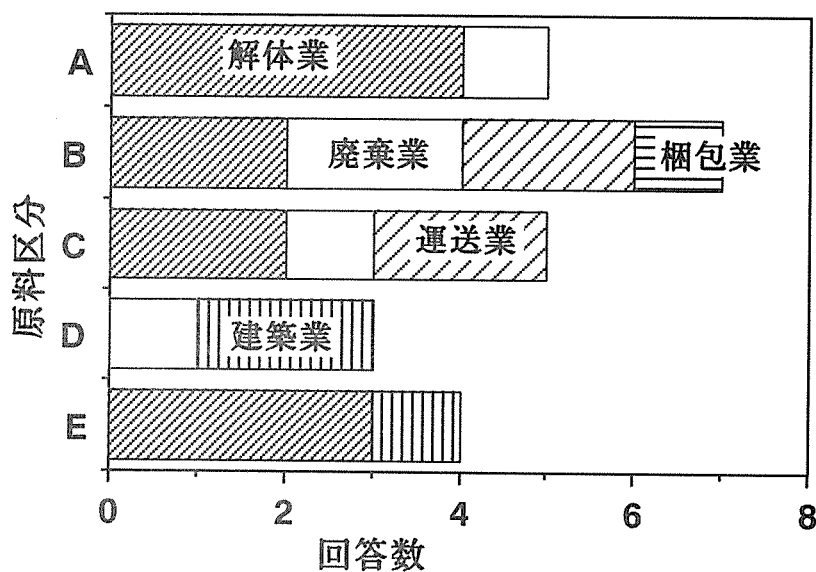


図1-4 原形のままの原料の入手先

A: 解体材 B: 梱包材
C: パレット
D: 型枠材 E: その他

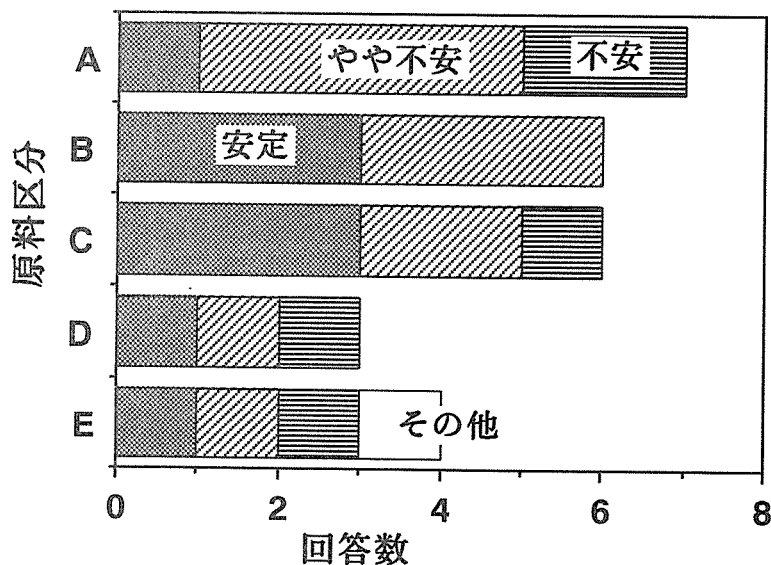


図1-5 原料入手の難易度

A: 解体材
B: 梱包材
C: パレット
D: 型枠材
E: その他

次に、古材（再資源化原料）を原形のまま入荷する場合の入手先または搬入業者について検討した。図1-4に原料の入手先を原料区分（A：解体材、B：梱包材、C：パレット材、D：型枠材、E：その他）別に示した。なお回答は納入実績のある4社から得られたものである。入手先としては解体業が多く、次いで廃棄物収集運搬業（図中では廃棄業）ならびに運送業、建築業となっている。解体業者は廃棄物収集運搬業および中間処理業を兼ねている場合が多く、ボード原料としての古材は解体業への依存度が高いといえよう。

図1-5はチップも含めた古材原料の入手の難易度を原料区分別に取りまとめたものである。「安定して入手できる」、「やや不安」、「不安」、「その他」の4項目から選択する形式で得られた7工場からの回答に基づいている。全体としては、「安定」または「やや不安」となっている。梱包材およびパレット材については「安定」が半数を占めている。これは解体材と比較して、入手先が特定されているため原料の発生量が予測しやすいことによるものと推測できる。

2. 4 古材を原料とする際の問題点について

解体材等を原料としてボードを製造する上での問題点について、以下の8項目の選択肢の中から重要度に応じて順位をつけた回答を11社から得た。原料の供給方法、原料の品質、異物除去、設備投資、製品の品質、再生品への買い手の理解、コスト、その他の8項目である。得られた結果を上位3項目について重み付けをして評価すると、①異物除去、②原料の品質、③原料の供給、④コスト、⑤製品の品質、⑥設備投資、⑦再生品への買い手の理解、の順となった（図1-6）。

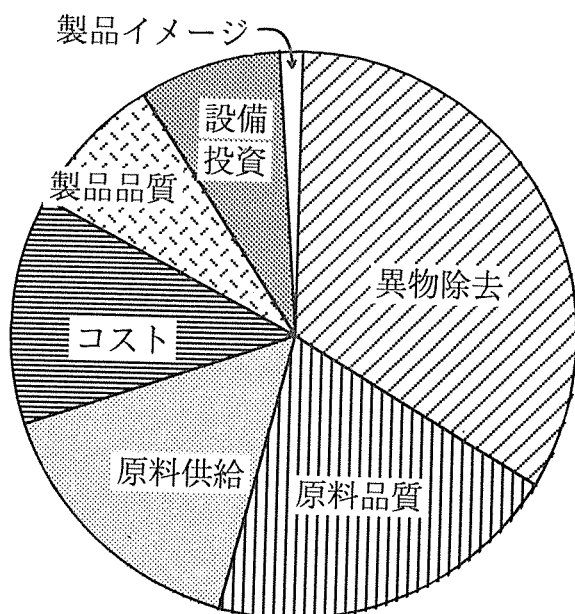


図1-6 解体材等を原料とする上での問題点

重要度の高い上位3項目の回答に重みをつけ数値化した。

原料に混入する異物に対する不安が最も大きくなった理由は、異物が製造ラインの中で刃物などを損傷させるなど工程全般にわたって問題となることに加えて、製品となって出荷された後も、二次加工の際にトラブルの原因となるなど常時問題となることへの懸念があるものと思われる。また、解体材などを原料としていることに対するイメージダウンが

問題であるとの指摘もあるが、工場へのアンケート調査では特に重要視されていないことがわかる。

異物除去および設備投資に対する考え方は、ボード原料と製品の販売に関する工場の経営方針によって大きく異なっている。図1-6に示された結果は、解体材などの古材についての一般的な評価としては妥当なものであるが、工場によってこの評価の基準は差が見られた。

2. 5 チップの品質

解体材から工業原料として得られるチップは、PチップとSチップに大別されている³⁾。Pチップは「古材、特に建築解体材の中でも柱、梁など比較的断面の大きい木材から切削加工により製造された上質なチップの総称で、主として製紙用に用いられる。」と定義され、Sチップは「解体木材の中でも、柱、梁材の他に、小角類や板類などから破砕加工により製造されたチップの総称で、品質のよいものから順にS-1チップは製紙用、S-2チップは木質ボード用、S-3チップは燃料用に各々用いられる。」と説明されている。

品質は古材チップを購入する場合問題となる。建築解体材の中でも柱、梁など比較的断面の大きい木材から切削加工により製造されたPチップについては、異物の混入がなければ、全く問題はないと考えられる。Sチップについては、木材としての材質には特に問題はないと思われるが、破砕タイプのチップでは形状（大きさ）が規準になる場合がある。

古材チップを原料として製造した実験室製パーティクルボードのめげ性能を図1-7に示した。ボード原料のパーティクルaはPチップを切削加工して得られたもの、bはPチップを煮沸処理後に破砕加工により得られたもの、cはSチップを蒸煮処理の後に破砕加工したものである。c1とc2は実験シリーズの違いを示している。パーティクルaで製造したボードのMORは300kgf/cm²を超えており、Pチップが原料として品質的には十分であることを示すものである。また、三層化することで劣化を含んだ古材もボード原料となりうることを示している。

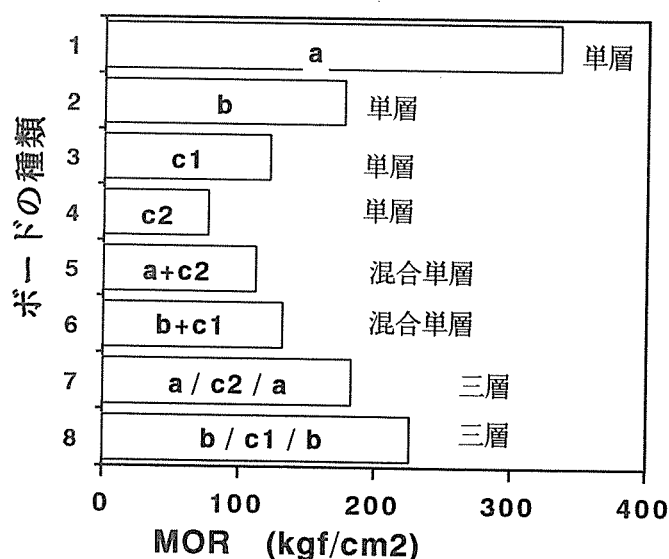


図1-7 古材を原料としたパーティクルボードの曲げ強さ

a : Pチップを切削加工
 b : Pチップを煮沸処理後破砕加工
 c1, c2 : Sチップを蒸煮処理後破砕加工
 比重 : 0.7
 レジン : PF 10%

図1-8に古材チップのサンプルを示した。AはPチップでありチップ加工されている。B、C、DはSチップの定義に当てはまるものであり、シュレッダーにより破碎加工されている。このうちBは水洗が施されている。いずれの場合も、木質部に劣化がなく異物の混入がなければ、原料チップとしての質に特に問題は生じない。

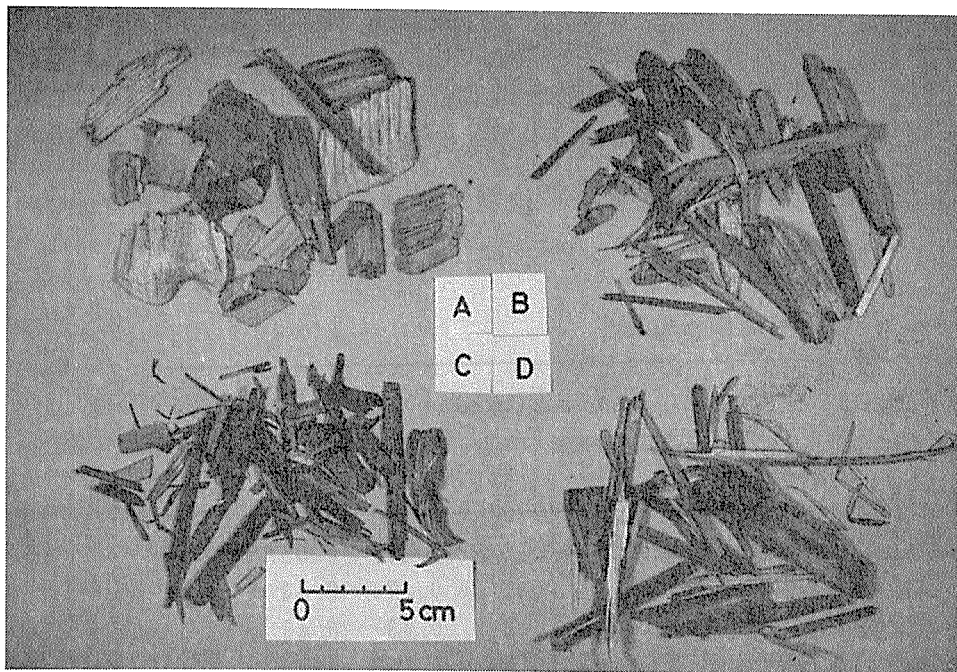


図1-8
古材チップの
サンプル

古材チップの品質で最も重要視されるのは異物除去の程度である。聞き取り調査およびアンケート調査の結果をまとめると、現時点では異物混入について明文化できるような規準は無く、担当者の判断規準に依拠していると言することができる。特定の業者がチップを納入する場合には、混入異物についての情報のやり取りがボードメーカーとの間で行われ、ボード工場の要求品質についてチップ業者が理解を深めながら納入を継続しているのが現状である。

3. 各種木質材料のチップ化

現在使用されている廃木材および建築解体材は柱材や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が、大部分は焼却処分されている。現在解体が進んでいる住宅の多くは20年以上前に建てられたとみなしうることから、その後の工法の変化にともなって住宅に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今後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いる。

ここでは、接着剤を含んだ木質材料の再利用を取り上げ、これらをチップ加工する際の品質評価の第一歩として粗砕チップの形状を分析した。

3. 1 供試材料

素材としてスギ正角材および板材（断面2×12cm）の2種、軸材料としてスギ集成材、PSLの2種、パネル材料として針葉樹合板、ラワン合板、パーティクルボード、OSB、MDF、ハードボードの6種、合計10種類の木質材料を使用した（表1-1）。

これらを長さ20~30cmに鋸断した後、水中浸漬処理を行い、ドラムチッパー（富士工業：TBC-300型）を用いて粗砕した。このチッパーは直径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。材料のチッパー投入寸法、比重、吸水処理時間、処理後の見かけ比重を表1-1に示した。

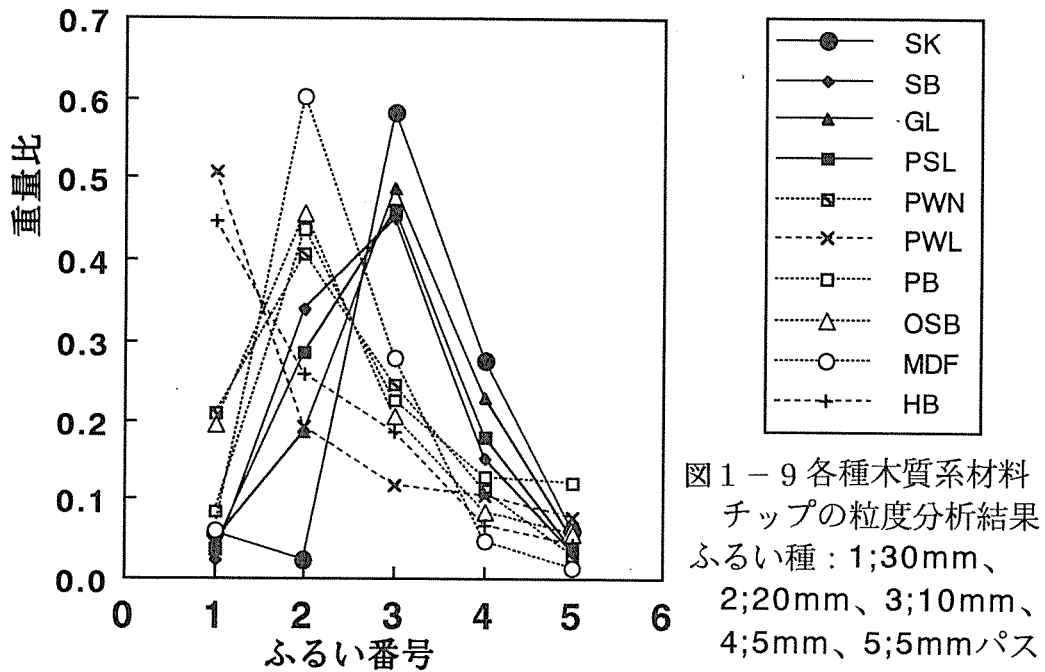
表1-1 供試材料の投入寸法

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	
SK	素材 角材	20	10.5	10.5	0.46	0.50	2
SB	素材 板材	30	12	2	0.37	0.54	4
GL	集成材	25	12	12	0.43	0.48	2
PSL	パララム	25	10	10	0.60	0.74	2
PWN	針葉樹合板	25	15	2	0.55	0.72	2
PWL	ラワン合板	30	15	0.9	0.52	0.54	2
PB	パーティクルボード	30	15	1.5	0.81	1.06	4
OSB	オーエスピー	30	15	1.5	0.68	0.74	2
MDF	中質繊維板	30	15	2.5	0.64	0.80	4
HB	硬質繊維板	30	15	0.5	1.00	1.03	2

3. 2 粗砕チップの形状

粗砕したチップを4種類の自作のふるい（目開き：30mm、20mm、10mm、5mm）を用いて30mmオンから5mmパスまでの5フラクションにふるい分けした。各フラクションの重量比を図1-9に示す。同図に見られるように、10種類の材料は3つのグループに大別できた。30mmふるい（図中のふるい番号1）上の重量比が最も多いハードボード（HB）、ラワン合板（PWL）のグループ、20mmふるい（ふるい番号2）上の比率が最も大きいMDF、パーティクルボード（PB）、OSB、針葉樹合板（PWN）のグループ、10mmふるい（番号3）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のグループである。

次に、粗砕チップの寸法を測定した。30、20、10、5mmふるい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だし、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ヶのチップの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。長さについて例示する。各フラクションの長さのデータをもとに次式により、チップ全体の長さの累積密度分布 $F(x)$ を求めた。

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

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ふるい上のチップの長さを小さい順に並べ、 $F_1(x) = i / (n+1)$ 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。

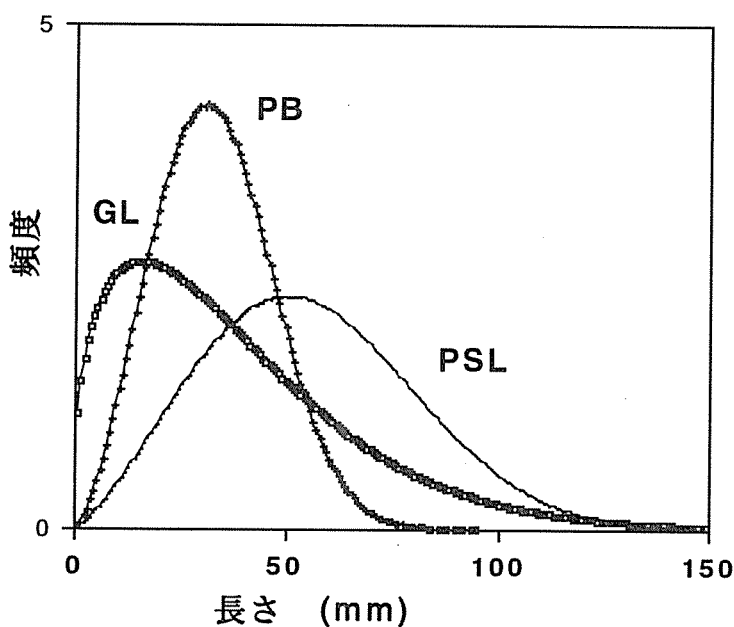


図1-10に結果の一例として、集成材（GL）、PSL、パーティクルボードの長さの分布を示した。PSLは平均寸法が約60mmとPB、GLよりも長くなっている。これは厚さ約3mmの単板を幅20mm程度の幅で裁断したストランドの集合体であるため、それらがほぐれるような形でチップ化されたためであろう。パーティクルボードと集成材の平均寸法はほぼ等しいが分布に差がみられる。PBでは長さ60mm以内にほとんどが分布しているのに対して、集成材では短いものから長いものまで幅広く分布している。これは、素材角材と類似した傾向を示している。

図1-11に各種木質材料チップの平均寸法を示した。また、写真1-1、写真1-2に30mmふるいを通し、20mmふるい上に残留した集成材、PSL、ラワン合板、パーティクルボードのチップのサンプルを示した。

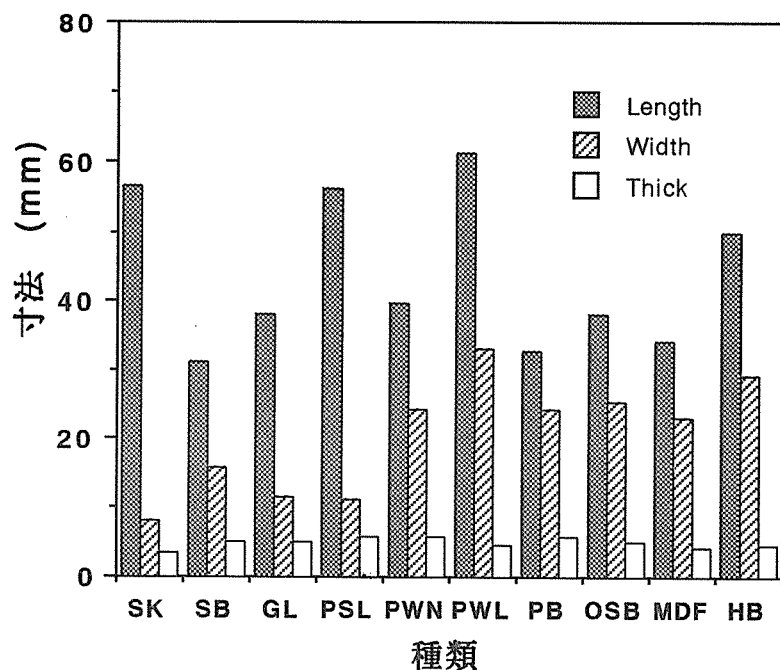


図1-11 ドラムチッパー加工された各種木質材料チップの平均寸法

4種のふるいにより分類されたフラクションからの値を2母数のワイブル分布にあてはめ計算した。

図1-11から各種材料チップの平均長さおよび平均幅に差が認められる。図1-9で素材および軸材料（SK、SB、GL、PSL）が同一グループに分類された理由は、これらの平均長さが30~60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。このため、20mmふるいを通し10mmふるい上の比率が高まったものと考えられる。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ふるい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異なり、30mmふるい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られる。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り、ラワン合板、ハードボードであることが直接の理由ではないと考えられる。

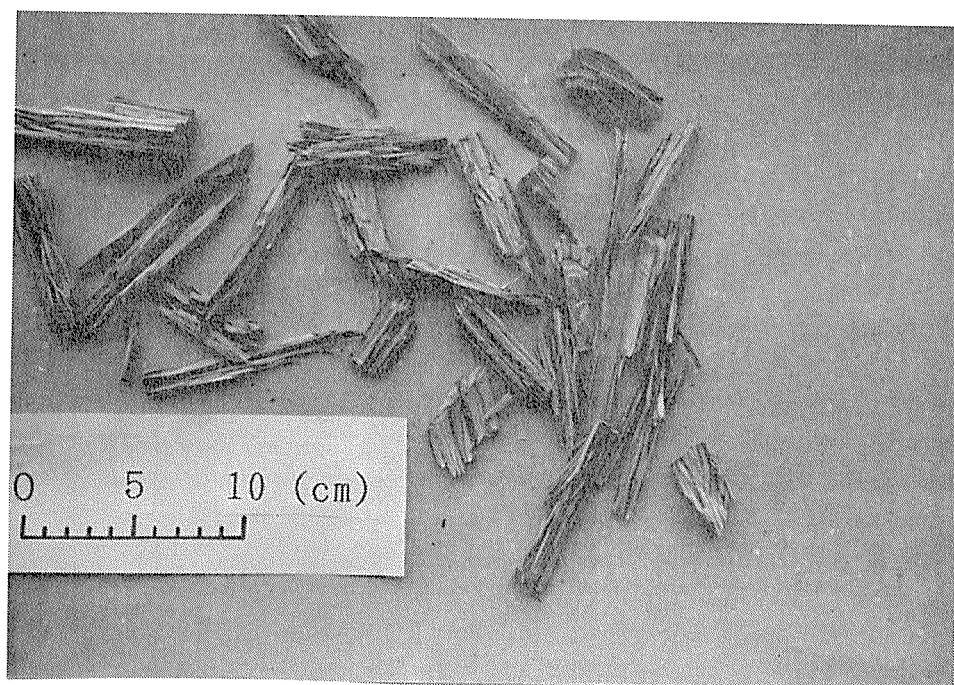
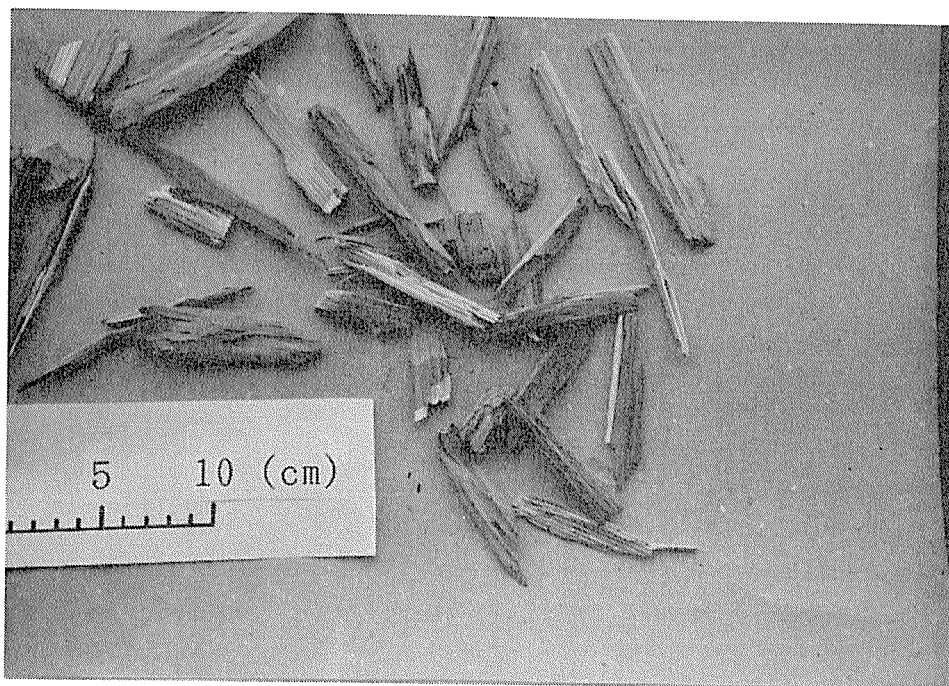


写真1-1 ドラムチッパー加工されたチップ

註 上：集成材

下：PSL（パララム）

20mmふるい上のサンプル

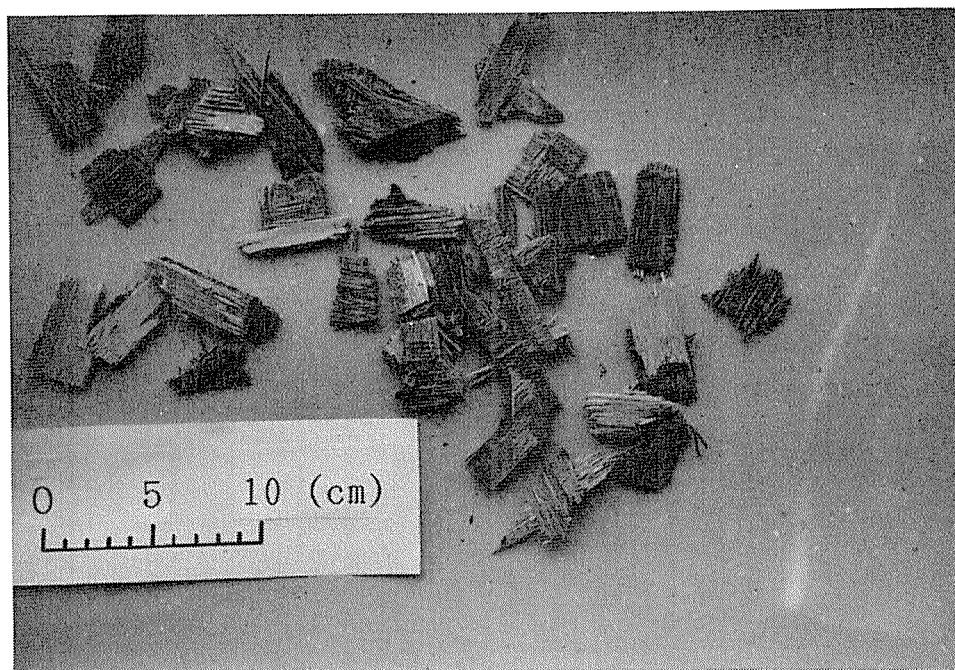


写真1-2 ドラムチッパー加工されたチップ

註 上：ラワン合板
下：パーティクルボード
20mmふるい上のサンプル

4. まとめ

- 1) 現在パーティクルボード工業で使用されている古材は原料全体の約2割である。
- 2) 古材の利用率は増加の傾向にある。将来は45%程度まで増加するとの予測値もある。
- 3) 合板工場廃材の減少が古材の使用を増加させる要因である。
- 4) 古材の使用は工場の立地に強く依存する。
- 5) チップの質についてはメーカーとチップ業者間で個別に情報の交換が行われている。
- 6) 古材チップ使用時の最大の課題は混入異物である。異物除去の強化が不可欠となる。
- 7) 古材チップはボードの原料として品質が特に劣ることはないと考えられる。
- 8) 接着剤を含む各種木質材料の原料特製を評価する手段の一つとして、粗砕チップの形状を分析した。
- 9) チップの形状には木質材料の種類と寸法が影響する。

文献

- 1) 木材工業の廃材とその利用：科学技術庁資源調査会編、(社)日本木材加工技術協会、昭和46年2月
- 2) 廃棄物の建設事業への再利用技術に関する研究：建設省建築研究所、(財)国土開発技術研究センター、昭和61年3月
- 3) 鈴木滋彦、斉藤藤市、有馬孝禮：木材工業、40(1)、15-20 (1985).

1 技術開発の目的

建築解体材やその他の廃材利用のパターンは図2-1に示すとおりで、解体廃材は産業廃棄物であり、その他の一般廃棄物としては新築工事から発生する木くず、コンパネ廃材、解梱材、パレット廃材等がある。後者の一般廃棄物は比較的良好な廃材であり、ボード原料として使用する際に支障をきたす異物は釘など比較的限られたものである。しかし、前者の解体材からのチップには、異物として鉄、非鉄金属、紙、ビニール、発泡ウレタン等のプラスチック類、コンクリート片、ゴム類等雑多なものが混入している。

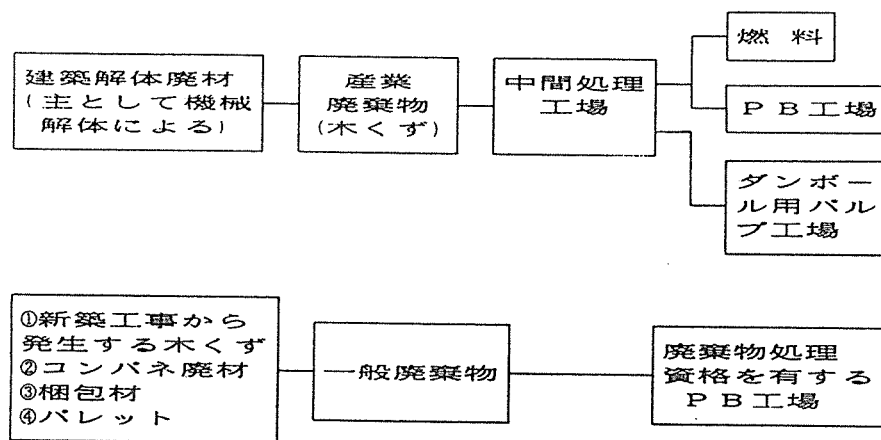


図2-1. 建築解体材、その他廃材利用のフロー

これら建築解体材は解体業者によって中間処理工場に持ち込まれ、図2-2のようなフローによりチップ化され、鉄片その他の異物は一応取り除く努力が払われているが、そこから出てくるチップには排除しきれない異物が相当量含まれ、直接ボード原料としての利

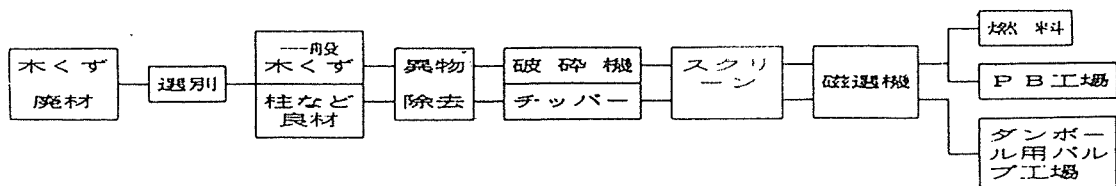


図2-2. 中間処理工場のフロー

用を阻んでおり、そのほとんどは燃料にされている。したがって、これら廃材チップをボード原料として活用するためには異物の除去が絶対条件である。したがって、本技術開発では、工場で受け入れた解体材チップを、さらに厳密に異物の分別作業を行うための装置を開発し、異物除去の実際を検討しようとするものである。

2 事業内容

- (1) 原料処理ラインへの試作異物分離装置（平成4年度作成）の設置
- (2) 試作装置による異物分離試験の実施

3 実施場所

永大産業（株）（福井県敦賀市永大町）

4 装置開発の基本構想

異物分離の方法は、従来から磁気選別、気流（比重）選別、水洗等、種々の方式があるが、ここでは、中心になる分離装置に気流（比重）振動選別の方式を採用した。

中間処理業者から持ち込まれるチップ状木質廃棄物には、なお相等量の異物（鉄片類、非鉄金属などの非磁性体）が含まれている。これらの異物は木質片にくい込こんだ形で付着しているため、これをまず解きほぐす必要がある。

そのため、まずマグ・コンベア等で磁気選別を行うと同時に、破碎機により細片化し、異物と木質の結合をルーズにし、さらにマグネット・ロール等により鉄片等磁性体を可及的に取り除く。しかし、その段階では非磁性体を主体とする異物は完全に取り除くことはできない。そこで、それら異物を含む木質破細片を今回開発した気流振動異物分離装置に投入、非磁性体異物を100%完全に取り除き、ボード原料としての歩留まりを上げようとするものである（図2-3）。

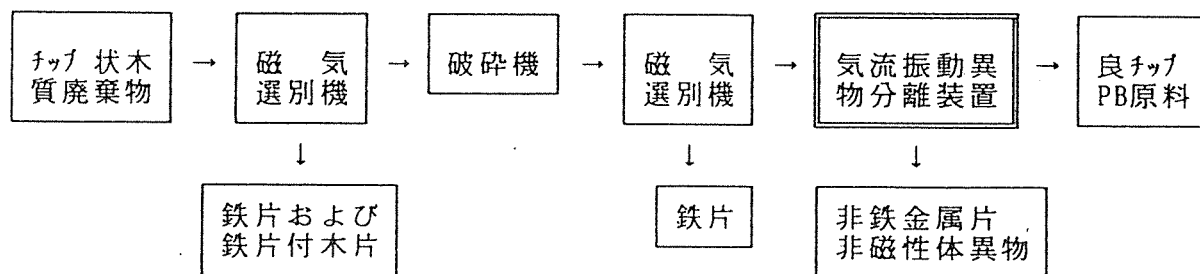


図2-3. 異物分離ライン概念図

5 装置概要

図2-4に示すように振動スクリーンは3～5度の傾斜角を有し、下部から整流された空気とスクリーンの振動により、上部から投入されたチップ中の比重の大きい金属類はス

クリーン上を傾斜上方に向かって移動し、木質チップは傾斜下方に移動する。

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

スクリーンのメッシュ、傾斜角、送風量、振動数、振幅、吸引風量の諸元の最適条件は実験によって選定する。チップの設計処理能力は1.5t/hである。

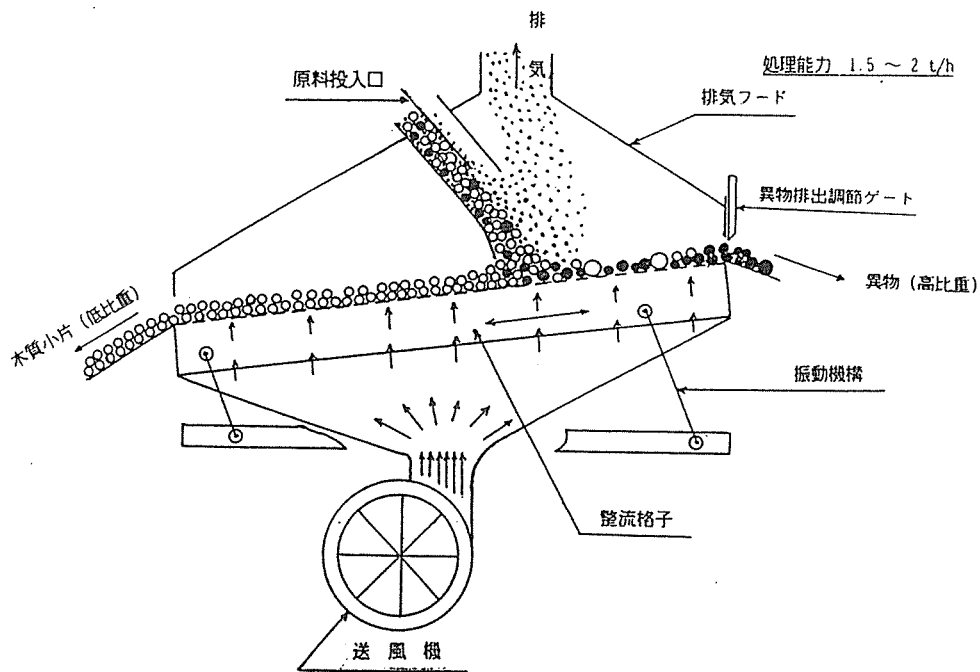


図 2 - 4 . 異物分離装置要領図

6 平成5年度の実施内容

6. 1 実験方法

昨年度仮設置した試作機を原料処理ラインの中に組み込み、その上で原料種類の明らかなチップと鉄その他の異物を予め混合し、装置に投入し、分離効率を調べた。

6. 2 委託事業（開発）の結果及び考察

6. 2. 1 装置自体の異物分離効率を調べるため、4種類の原料（ラワン合単板屑、針葉樹皮付き製材廃材、解体材ラワン—シュレッダー破砕片、解体材チップ—シュレッダー破砕片）（写真2-1～4）を図2-3の原料処理ラインに流し、それぞれ良チップを採取し、それに種々の非磁性体異物（11種類12個体）（写真2-5）を混合し、手作業で本装置に投入した。その結果、いずれの異物混合チップの場合も、確実に100%異物が回収された（表2-1）。

表2-1. 気流(比重)選別機による異物回収状況

チップ種類	チップ投入量 (kg) (全乾) (含水率%)	投入異物 ¹⁾	排出異物	スクリーン上 滞留 ²⁾	回収率 (%)
A. ラワン合単板屑	13 (46.8)	No.1~No.12	No.2,3,4,5 7,8,9,10	No.1,6,11,12	100
B. 針葉樹皮付き 製材廃材	11.3 (67.2)	〃	No.2,3,4,5 6,8,9,11	No.1,7,10,12	100
C. 解体材ラワン (シュレッダー破砕片)	12.4 (58.2)	〃	No.1,2,3,4,5 8,9,10,11	No.6,7,12	100
D. 解体材チップ (シュレッダー破砕片)	15 (40.3)	〃	No.1~No.12	0	100

注 1) 異物の種類: 1. 砲金、2. アルミ片、3. ねじ片(鉛)、4. クリップ(アルミ)、5. ビス(真鍮)
6. SUSスクリュウ釘、7. SUS釘、8. 真鍮又は銅、9. アルミ棒、10. SUSホチキス
11. SUSホチキス、12. 銅線、以上すべて磁性を帯びてないもの。
総重量29g(混入比率%: 0.19~0.26)
2) 一定時間内には排出されなかったが、最終的には排出されたもの

6. 2. 2 実際生産のラインに原料を流した場合、この装置が比重分級であるため、金属異物と一緒に形状の大きな(重い)木片が排出される。その概数は1日処理量80,000kgの原料チップに対して異物とともに排出される木質のロスは約20kgであった。すなわちロス率としては0.025%である。

6. 2. 3 本機は気流選別を行うために下からの整流を送る機構になっているが、新鮮空気を直接外部から取り入れるようにしたため、塵埃等による整流板の目詰まりによる分級効率の低下を防止することができた。又、微粉の排出もバグフィルターを通して確実に行われるため、作業環境はクリーンで極めて良好である。

6. 3 本装置を設置したことによる効果

6. 3. 1 異物混入がなくなったため、後のチップの切削工程(パルマンミル)の刃傷みが少なくなり、刃もちがよくなった。したがって、刃物の交換回数が減ると同時に切削小片の品質が向上した。

6. 3. 2 解体材が全面的に使用可能なため、チップ含水率が低下し、ドライヤー効率

が向上し、エネルギー消費の削減に貢献している。

6. 3. 3 購入チップに混入された異物を確実に把握することができるため、チップ納入業者別の納入チップの品質をチェックすることができる。表2-2は購入チップを本装置により異物分離した結果であるが、これによると、異物の混入量は日によって大幅に変

表2-2. 古材購入チップ異物混入調査結果 (永大産業株式会社敦賀事業所)

年月日	チップ種類	チップ重量 (絶乾kg)	異物(鉄片) 重量(g)	混入比率 (%)	
5. 9.20	解体材チップ (シュレッダー)	10,485	110.6	0.0011	
〃		10,094	1,240	0.0123	
5. 9.21		10,804	1,394	0.0129	
〃		7,278	390	0.0054	
5.12.13		8,199	209	0.0025	
〃		9,271	208	0.0022	
6. 1.11		8,975	1,865	0.0208	
6. 1.12		7,797	175	0.0022	
		平均			0.0074
5. 9.22		製材廃材 (N皮付きバタ材)	9,705	183	0.0019
〃	6,278		91.4	0.0015	
5. 9.23	9,158		99	0.0011	
6. 1.13	8,965		323	0.0036	
6. 1.14	5,479		123	0.0022	
6. 1.17	5,218		167	0.0032	
6. 1.18	7,881		63	0.0008	
	平均				0.0020
5. 9.23	単合板屑(ラワン)	8,984	78	0.0009	
6. 1.13	解体材ラワン (シュレッダー)	7,596	1,761	0.0232	
6. 1.17		9,008	48	0.0005	
	平均			0.0119	

動しており、建築解体材からのチップの異物混入量は、ラワン廃材や製材廃材からのそれに比べ、きわめて多いことが分かる。

6. 4 今後の問題点

6. 4. 1 チップに砂の混入量が多い場合、スクリーンの網目より下部に落下し、整流板に入り、風の流れが乱れ易くなる。

6. 4. 2 銅線やSUS細線等が混入すると、スクリーンの網目に刺さり、異物排出の流れに支障をきたすおそれがある。

6. 4. 3 本機は比重分級により金属などの比較的高比重の異物を除去することを主眼として設計し、その目的はほぼ100%達したと考えられるが、建築解体材には今回除去することができた金属異物以外に種々雑多なものが含まれていると考えなければならない。特に紙、薄いプラスチックシートなど比重の軽いものは、破碎されて絡み合いの強いものとなり、スクリーン上に、また、その後の工程中で削片の均一な流れを阻害し、さらに製品ボードに混入すれば、その材質を損なう恐れがある。

したがって、今後はこれら低比重異物の除去を振動スクリーンならびに風選により、確実に除去し、今回完成した高比重異物分級装置に併置して、解体材チップの100%利用とボード材質の向上をはらなければならない。



写真2-1. ラワン合単板

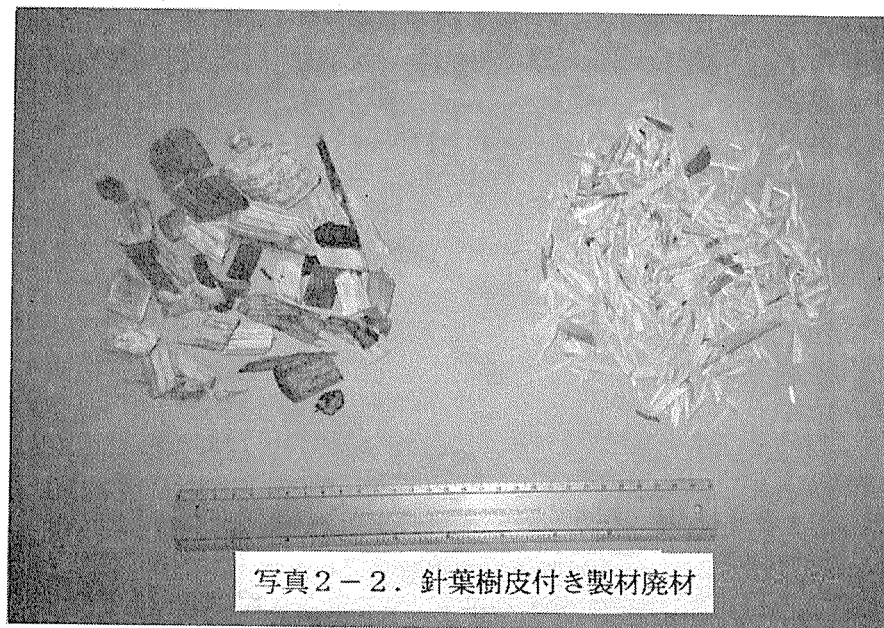


写真2-2. 針葉樹皮付き製材廃材



写真2-3. 解体材ラワン (シュレッダー破砕片)



写真2-4. 解体材チップ (シュレッダー破砕片)

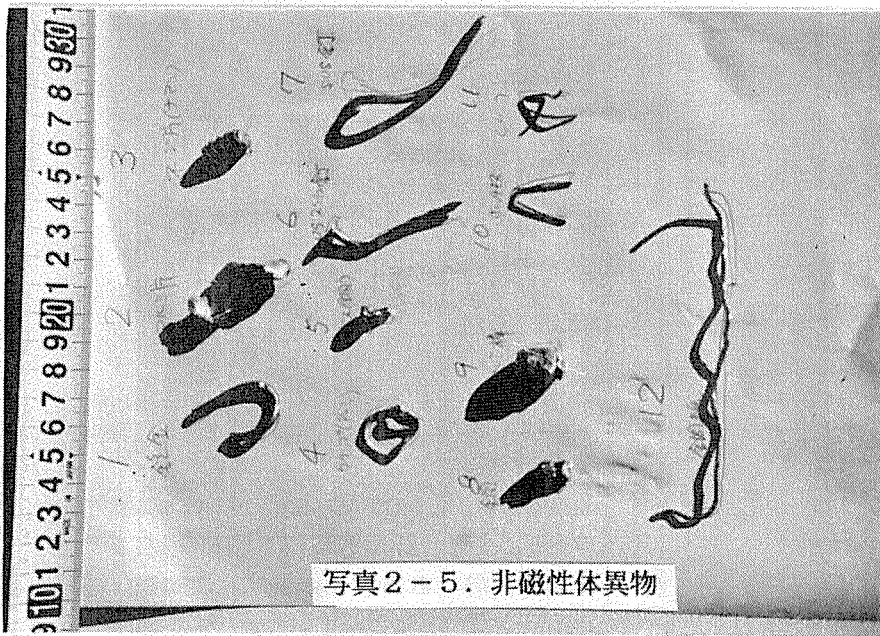


写真2-5. 非磁性体異物

第3章 木質廃棄物の粉碎方法の検討

1 はじめに

木質系廃棄物の粉碎方法は、新鮮材の粉碎と基本的に同じである。そこで、先ず現状の木材の粉碎技術について概観し、次に具体的原料として廃コンパネならびに廃棄物に混入している石膏（石膏ボードに由来する）の粉碎による分離について述べる。

2 木材工業において用いられる粉碎機

粉碎機は粉碎機構の差異によって、切削型・衝撃型・摩砕型の3種類に分類できる。切削型粉碎機は、刃物による切削力で木材を細かくするものである。具体的にはパルプ用のチップを作るデスクチッパー、チップからパーティクルボードの原料削片をつくるパールマンチッパー（商品名）、小径木や背板からノコクズをつくるノコクズ製造機がある。衝撃型粉碎機は、主に回転するハンマーが木材に与える衝撃力で木材を細かくするもので、通常はハンマークラッシャーと呼ばれている。製作が容易なためいろいろな商品名で市販されている。摩砕型粉碎機は、木材にせん断力を加え木材を細かくするものである。代表的なものは、パルプや繊維板の原料ファイバーを作るためのデスクリファイナーがある。このような粉碎機の中から用途に適合した粉碎機が選定される。

3 粉碎物の形状と用途

木質粉碎物の利用において、要求される性能は、主としてその形状と粒度である。木材の粉碎物の代表的形状を図3-1に示した。それぞれ固有の用途がある。この屑の特徴は、形状が球形に近いということである。したがって、絡み合いが少ないので、その流動性が大きい。したがって、これを原料とする場合、非常に制御しやすい。例えば、ホッパーなどから流れ易く、定量供給し易いという利点がある。しかし、この屑を原料として成形物を作る場合はこの利点は欠点となる。即ち、形状がほぼ球形のため絡み合いが少なく、成形品の強度が小さい。

この屑と全く逆の性質を示すのが、ファイバーである。この粒子は、形状が繊維状でかつ基本繊維から派生した髭のような多くの手を有している。したがって、この手同志が絡み合うため、その流動性が小さく、これを原料とする場合、非常に制御しにくい。例えば、ホッパーなどから流れにくく、定量供給しづらいという欠点がある。しかし、このファイバーを原料として成形物を作る場合、この欠点は利点となる。即ち、形状が複雑なので絡み合いが大きく成形品の強度が大きくなる。したがって、基本的には、この屑状の粉体は主に家畜敷料やキノコ培地など、粉の状態ですることになる。逆にファイバーは粉の

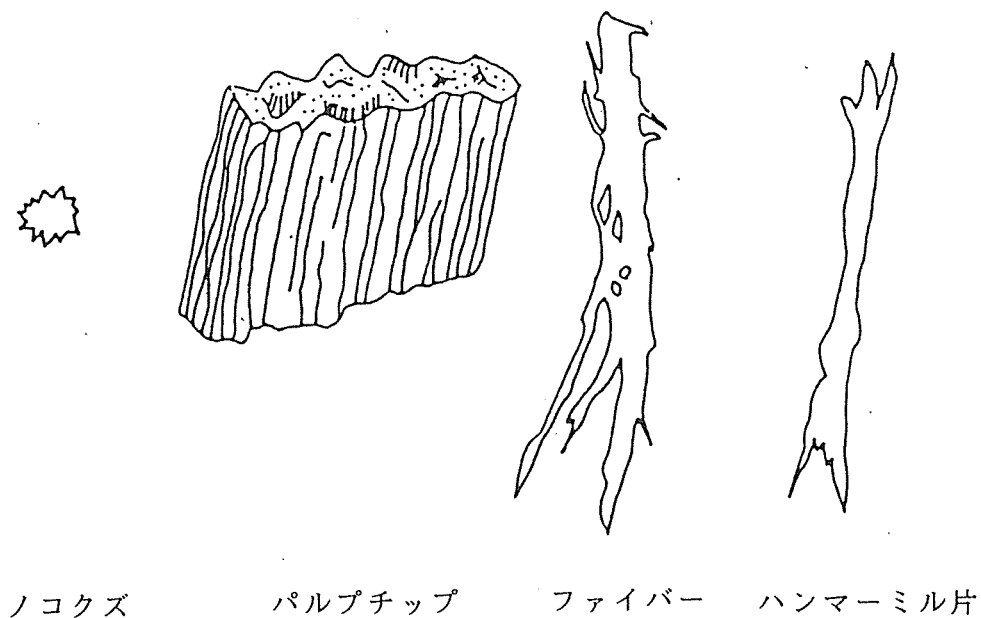


図3-1 粉碎物の代表的形状

ままでの用途は限られ、主に成形品の原料となる。

この他に、パルプチップがある。チップには、絡み合いは勿論期待できないが、のこ屑のような高い流動性も期待できない。したがって、チップ工場のサイロはよく詰まる。しかし、この形状は、木材への蒸解薬液の浸透が繊維方向が繊維に直角の方向より早いということから決められており、パルプ化工程に適している。

最後は、ハンマーミル片である。この粉碎物は主に衝撃型粉碎機によって得られるが、ファイバーの形状から髭をなくした様な形状を示す。この粉碎物は、安価な衝撃型粉碎機によって得られるごく一般的な物で、主に家畜の敷料や燃料に用いられている。

4 用途に適合した粉碎機の選定

次に、一般的にどのような方法でこれらの形状を有する粉碎物を得るかということである。まず、のこ屑やチップ状の粉碎物は、基本的には、強度の大きい繊維方向も切断しなければならないので、原料はしっかり固定されていなければならない。したがって、その原料は丸太や、小さいものでせいぜい背板程度のものに限定され、チップではこのような形状のものはできない。しかし、ノコクスのような完全な球形でなくとも良いと言う場合は、チップを目皿付き切削型粉碎機で、チップの繊維方向を切断するようにすれば、ある

程度のものは作れる。次は、髭のある粉砕物である。髭をだすためには、粉砕のまえに木材を6 (kg/cm²) 程度の飽和水蒸気で蒸煮する工程が必要であり、かつその条件は、それぞれの樹種に固有である。シナノキのような樹種は、比較的マイルドな条件が、カラマツでは過酷な条件が必要である。粉砕機としては、摩砕型粉砕機のような粉砕機が適当であるが、衝撃型粉砕機でも15 (kg/cm²) 以上の過酷な蒸煮条件をとれば、このような形状を得ることは可能である。しかし、この場合、繊維が劣化を起こしているため、成形品の強度の低下はまぬがれない。したがって、用途は、粉体のままでの用途に限定される。このように、特定の形状が要求される時以外は、衝撃型粉砕機が用いられる。

5 粉砕物の大きさの定義

粉砕をとりあげる場合、粉砕物の大きさを表現するための共通の指標が必要である。粉砕物の大きさは通常ふるい分けによって粒度分布を測定し評価する。通常は無機物系粉粒体は、ほぼ球形に近く、ふるい分けでその大きさを測定することができる。しかし、木材を粉砕した場合、繊維方向の強度が大きいため、繊維方向が長く、球形からは大きく逸脱した形状をとる。一般にこのような形状の粉粒体を、球形近似可能な無機物系の粉粒体と比較するには、その粒子と同じ体積を持つ球の直径、即ち球相等径を用いて行う。

図3-2には、粉砕物の粒度分布の一例をシナノキについてRosin-Rammler粒度線図上に示した。摩砕型粉砕機としてはダブルデスクリファイナー、切削型粉砕機としてはパールマンチッパー、衝撃型粉砕機としてはユニバーサルクラッシャーを用いた。それぞれの粒度分布は、ほぼ同じ傾向を示しているが、ダブルデスクリファイナーによる粉砕物については、分布の幅が若干広い。しかし、木材の粉砕物についても、通常粉粒体の粒度分布の測定に用いられるRosin-Rammler分布が適用されることが分かる。

木材は、その繊維方向の強度と繊維に直角方向の強度に約10倍程度の差があるため、粉砕物の形状は繊維方向が長い長方形となる。従って、通常ふるい分けのみでは、粉砕物の大きさは決定できない。そこで、通常ふるい分け試験とともに、ふるい分けされた粉砕物の大きさを直接測定した。

図3-3には、各粉砕機による粉砕物の代表的な形状の模式図を示した。

摩砕型粉砕機（ダブルデスクリファイナーを用いた）による粉砕物は、“髭”と称される細長い繊維の派生した複雑な形状となっており、この場合は、 w_2 はファイバー骨格部の平均的な幅を、 w_1 は骨格とヒゲが占有する面積をも含めた最大幅である。

衝撃型粉砕機（ユニバーサルクラッシャーを用いた）による粉砕物は、リファイナーによる粉砕物のような極端な髭は見られないが、粉砕物の端部にはそのようなものがみられる。衝撃型粉砕機による粉砕物についても、 w_2 は骨格部の平均的な幅を、 w_1 は骨格と髭が占有する面積をも含めた最大幅である。

切削型粉砕機（パールマンチッパーを用いた）による粉砕物は、他の粉砕機による粉砕

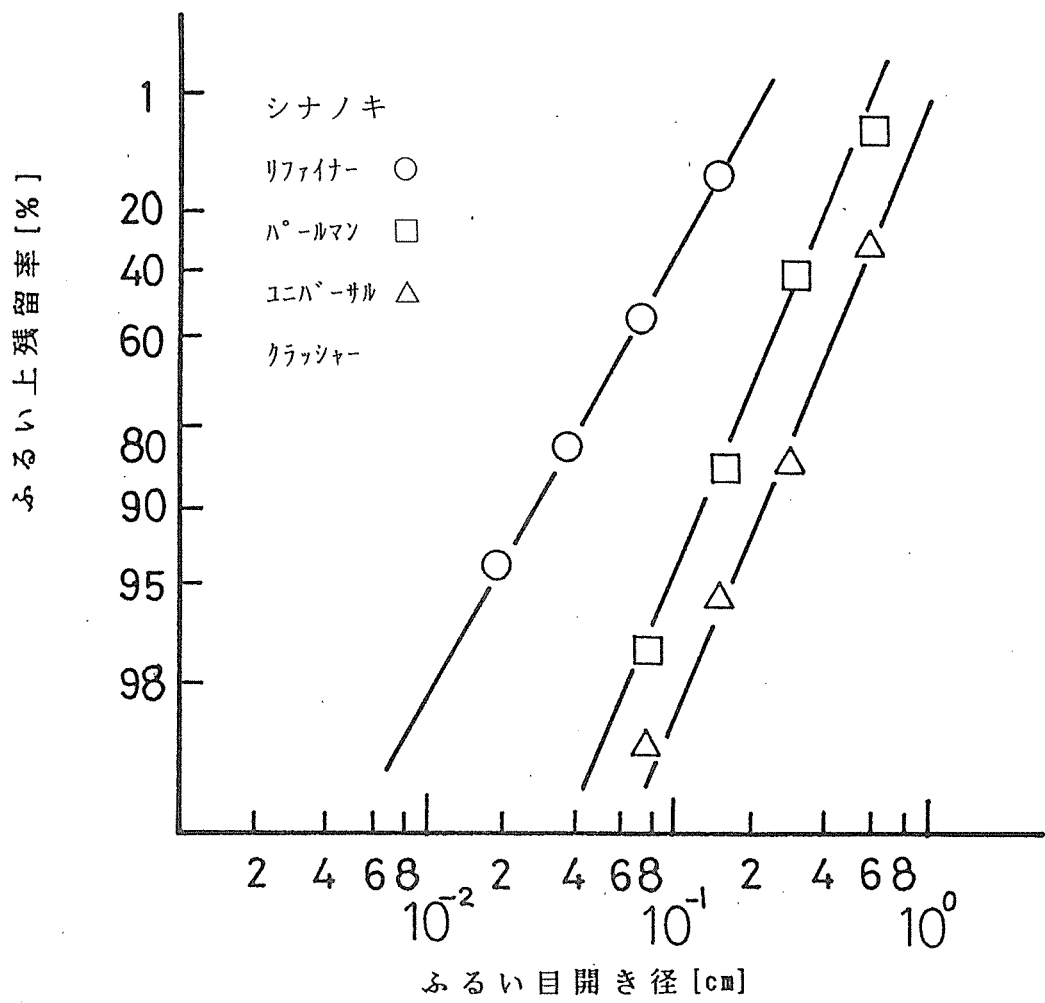


図3-2 粉砕物の粒度分布

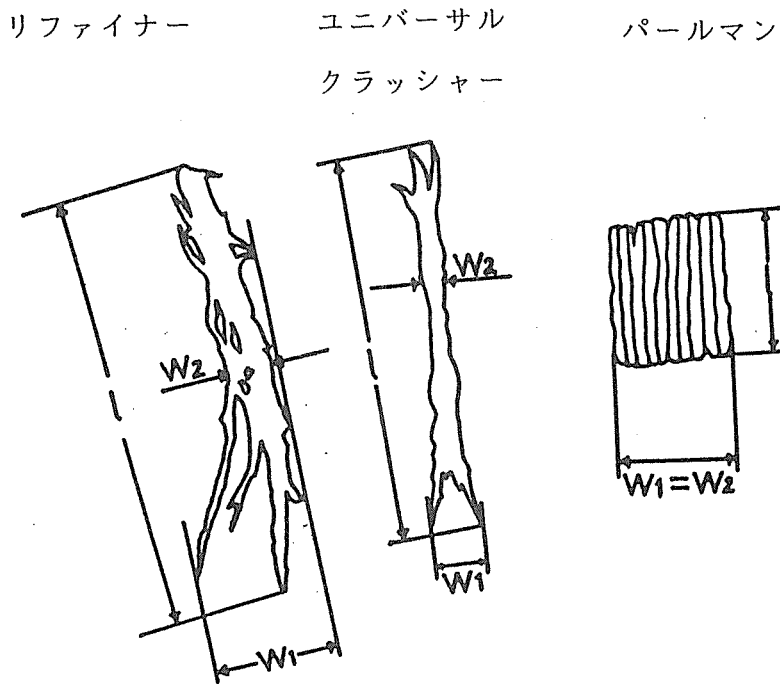


図3-3 粉砕物の寸法形状

物のような髭は見られず、ほぼ $w_1 = w_2$ であった。

木質粉砕物は、前述のような長方形となるため、ふるい分けのみでは粉砕物の大きさを決定できない。木質粉砕物のふるい分けでは、粉砕物の幅で分けられているのか、厚さで分けられているのかが問題となる。

そこで、粉砕物の各寸法とふるい目開き径との関係を調べたところ、粉砕物の骨格と髭が占有する面積をも含む最大幅、すなわち w_1 がふるい目開き径と1体1に対応することが分かった。図3-4には、パールマン、リファイナー、クラッシャーの各粉砕機の各フラクションにおける w_1 の実測値と目開き径との関係を示した。このことにより、木質粉砕物のふるい分けは、粉砕物がふるい目を縦にすりぬけるように通過する機構であると考えられる。次に、各フラクションにおける粉砕物の、長さ l 、厚さ t 、及び w_1 、 w_2 相互の関係を調べた。

図3-5には w_1 と長さ l との関係を示した。同図より、木質粉砕機については、樹種、粉砕機によらず w_1 と長さ l は、一義的関係を示すが、樹皮の場合その長さは、木材の1/4であった。このことは樹皮の繊維方向の強度が木材より小さいためと考えられる。長さの最大値が現れるのは、原料チップの繊維方向の長さが15mm程度であったことによるためであろう。さらに、 w_1 と厚さ t との関係を求めたところ良好な関係は得られず、厚さ t は w_1 よりも w_2 すなわち骨格部の幅と良好な相関を有することが見いだされた。

図3-6には w_2 と厚さ t との関係を示した。この場合、パールマンチップパーによる粉砕機は、厚さ方向に刃物でスライスしていく方式であるため、刃出しにより厚さが変化する。しかし、その他については、粉砕機種によらず一義的相関を有しているといえる。さらに図3-7には w_1 と w_2 との関係を示した。パールマンチップパーによる粉砕物は $w_1 = w_2$ 、また、同図よりユニバーサルクラッシャー、及びリファイナーの間隙10mmの条件については w_2 は w_1 の約80%、リファイナーの間隙の小さい条件においては同図に示したように、この相関から大きくはずれることが分かった。

以上の結果より、粒度分布の測定により50%重量径 d_{50} を求めれば、その目開き径に対応する粉砕機の形状が図3-4~7の結果から求めることができる。粉砕物の形状はほぼ長方形と考えられるので、その体積は、 $w_2 \times l \times t$ で求められる。そこで、粉砕物の大きさを50%重量径 d_{50} に対応する粉砕物の体積を基準とした球相等径 d_v とした。

6 廃材の粉砕処理

6.1 廃材の特徴

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るので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。

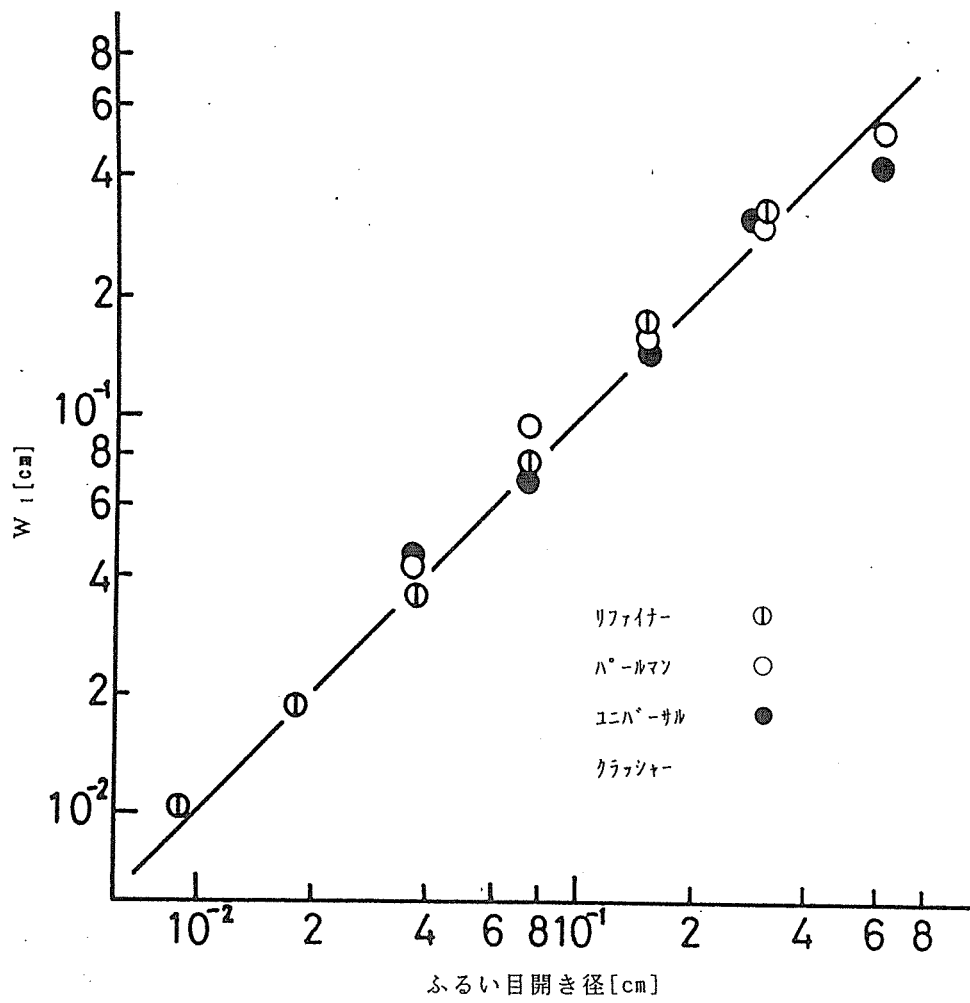


図3-4 ふるい目開き径と W_1 との関係

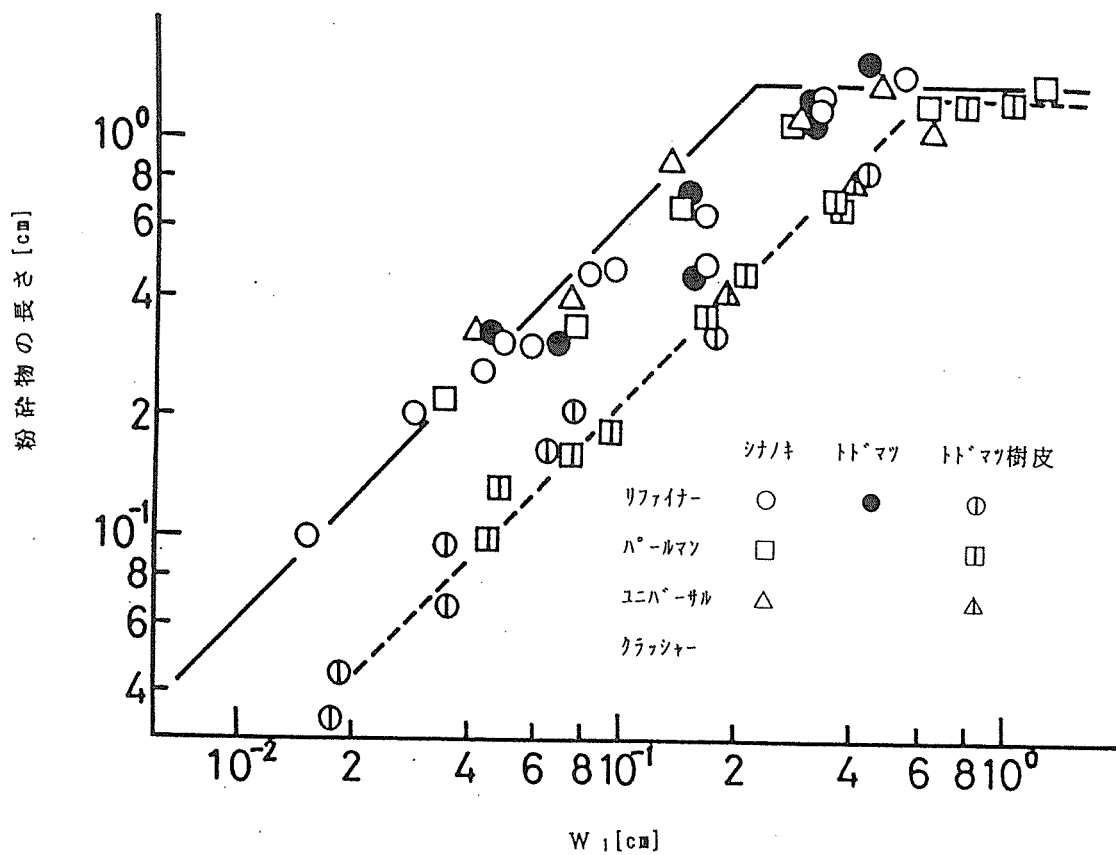


図3-5 W_1 と粉碎物の長さとの関係

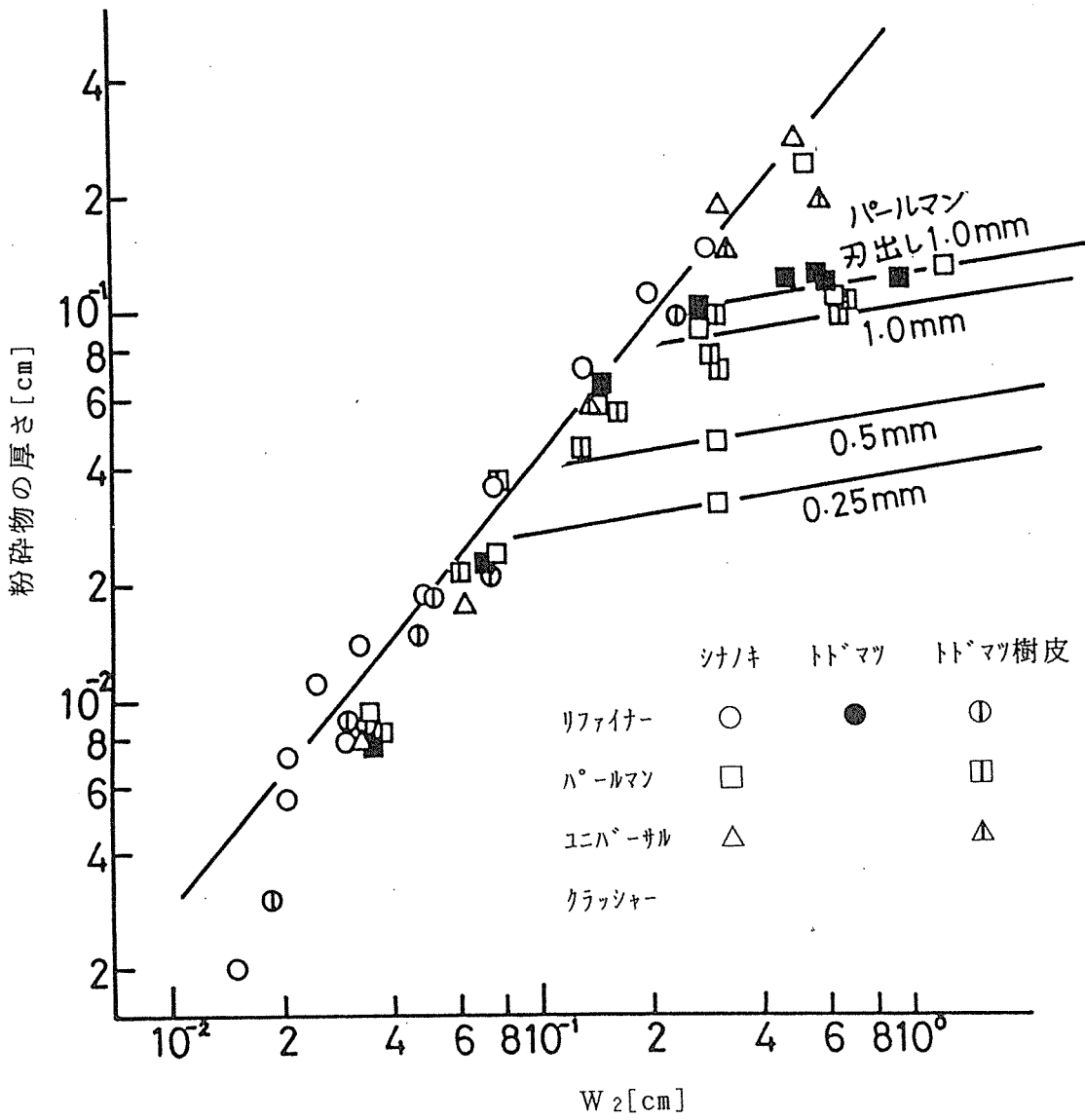


図3-6 W₂と粉砕物の厚さとの関係

その測定方法を以下にのべる。

粉砕性の測定にはボールミルを用いた。用いたボールミルの仕様を表3-1に示した。まず廃コンパネを粉砕し、ふるい分けによって1~2mmのフラクションのもの試料とする。つぎに、表3-1の仕様のボールミルにボールの総体積の30%に当る見かけ体積の試料を入れ一定時間粉砕したのちミルから取り出す。これを1mmのふるいを用いてふるい、ふるい下の重量をその粉砕時間で除し粉砕速度を求める。ミル内の試料量を常に一定とするため、ふるい上にふるい下と同じ重量の新しい試料を加え、再びミルに入れる。つぎに、Bondの仕事指数(ボールミル法)の測定法を用いて次の粉砕時間を求め、その時間ミルを動かす。この作業を粉砕速度が一定になるまで繰り返す。最後に、ミルに充填した試料重量をこの一定になった粉砕速度で除し、その試料の滞留時間を求め、この値をこの試料の粉砕性を示す指標、粉砕特性時間 τ とする。図3-8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 τ は1.74時間となった。表3-2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マトチップの

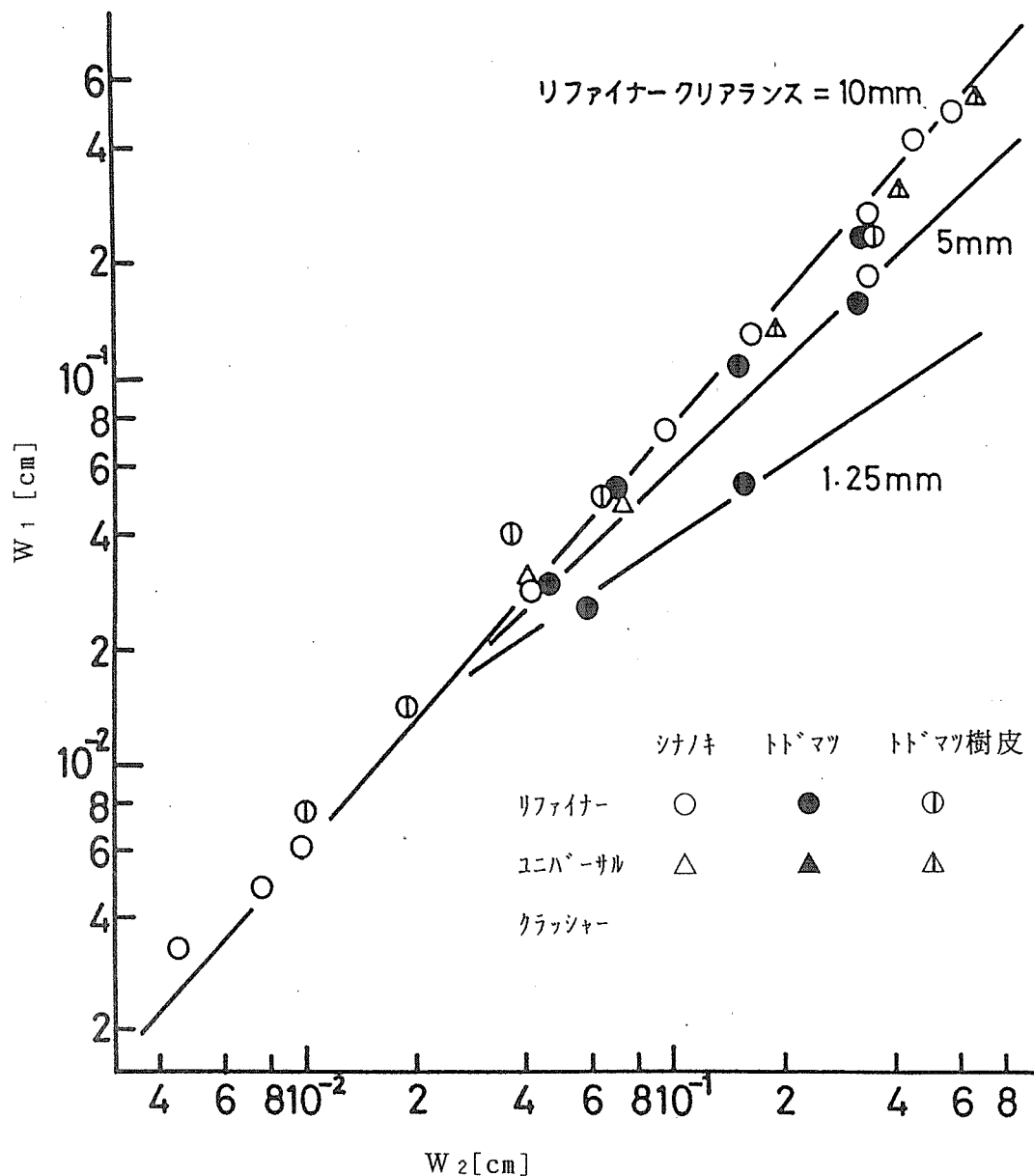


図3-7 W_1 と W_2 との関係

約1/10程度であった。従って、新鮮材と比較して粉砕されやすいと考えられる。この値を用いて廃材の粉砕処理に良く用いられる目皿付き衝撃型粉砕機の処理能力は、新鮮材と同様に以下の方法で求められる。

6. 2 最大処理能力を決定する2つの要素について

目皿付き衝撃型粉砕機の処理能力は図3-9に示したように、最大原料滞留量 $H_{u \cdot \max}$ と平均滞留時間 t の二つの要素によって決定される。即ち、粉砕機の原動機出力が最大処理能力より大きい場合、処理能力の大きい粉砕機とは、原料滞留量が大で、滞留時間が小、即ちより大量の原料を収納でき、それをより短時間で処理可能な粉砕機である。また、最大処

表3-1 ボールミルの仕様

直径 (cm)	長さ (cm)	回転数 (rad/s)	ボール直径 (cm)	ボール数	ボール密度 (g/cc)
22.3	20.0	6.46	3.3	59	2.4

表3-2 ボールミルによる粉砕特性時間

材料	水分(%)*	粉砕特性時間(h)
シナキ	30	9.51
ミスナラ	30	11.6
シラカンバ	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
廃コハク	8.2	1.74
石膏粉	0	0.0292

* 湿量基準の水分

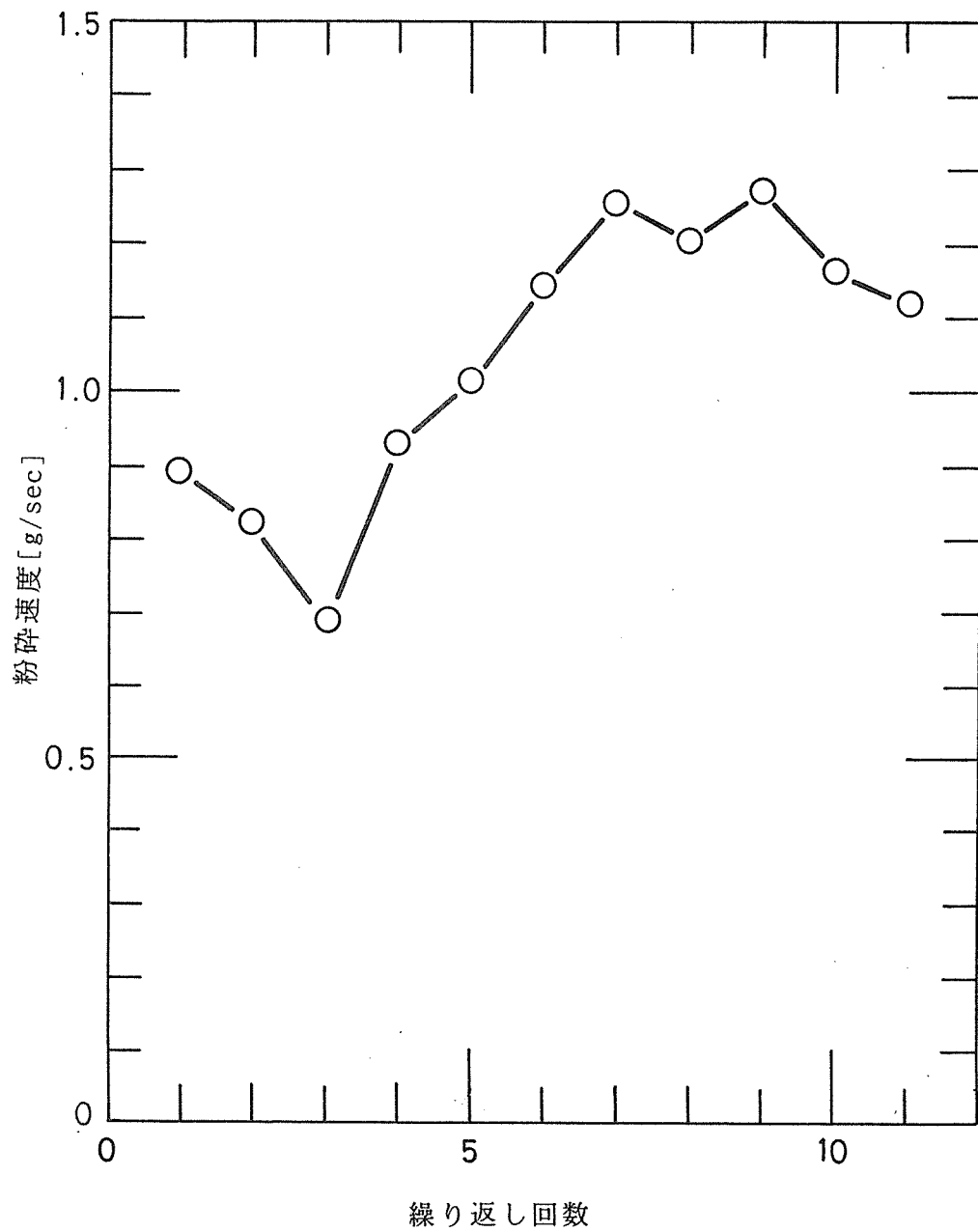


図3-8 石膏ボードの粉碎繰り返し回数と粉碎速度との関係

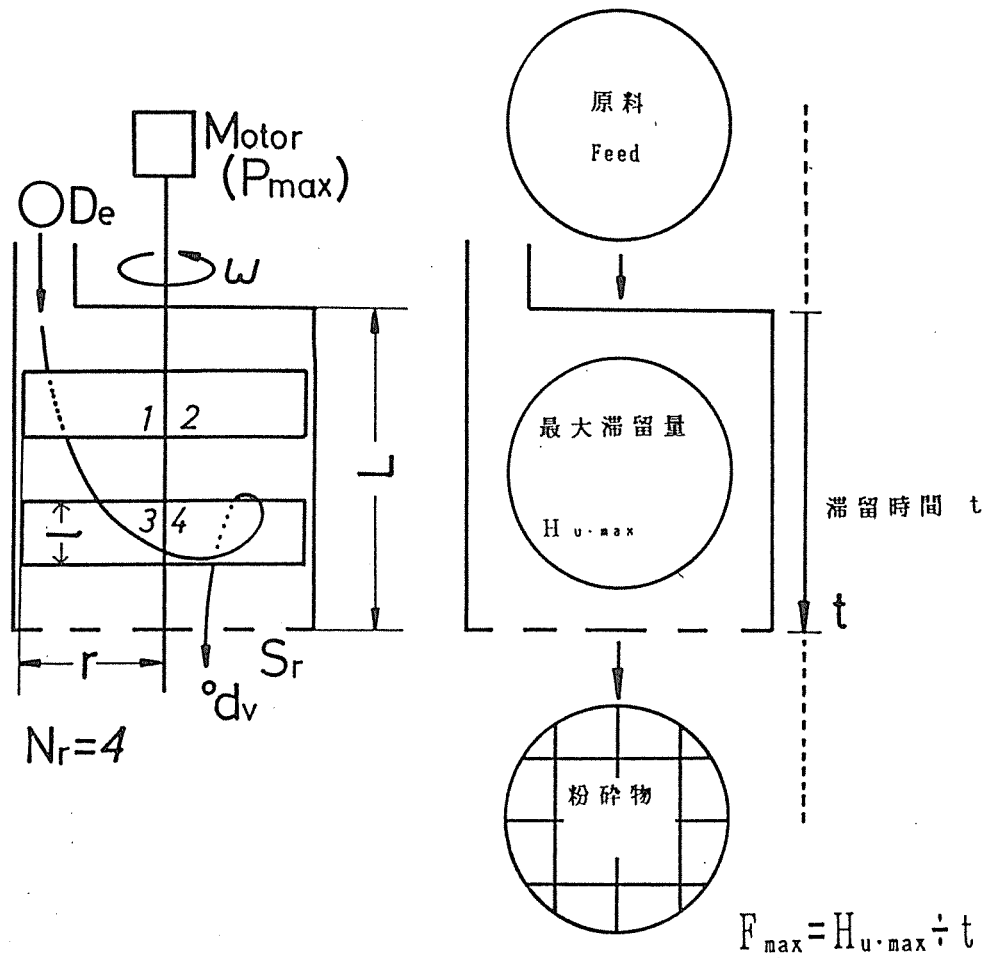


図3-9 目皿付き衝撃型粉砕機のモデル

理能力と比較し、粉砕機原動機が小さい場合、処理能力は原動機大きさによって決定される。したがって、粉砕機原動機出力は、最大処理能力に適合したものでなければならない。まず、平均滞留時間 t の求め方について述べる。

6.3 衝撃型粉砕機における滞留時間と粉砕機操作条件の関係

衝撃型粉砕機の操作条件と滞留時間との関係は次式で示される。

$$t = 3.98 \times 10^3 \tau [0.693 - (d_v/D_e)^N] / (d_v^{1.3} \omega^2 L^{-2/3}) \quad (1)$$

ただし、 t は原料の滞留時間 (hr)、 τ は粉砕特性時間 (hr)、 d_v は粉砕物の Rosin-Rammler 粒度分布の 50% 重量径における球相等径 (mm)、 D_e は原料の Rosin-Rammler 粒度分布の粒度特性数における球相等径 (mm)、 ω は粉砕ハンマーの回転角速度 (rad/s)、 L は粉砕室の長さ (m) である。(図3-9参照)

最大処理能力を決定するもう一つの要素である最大原料滞留量は次式で示される。

$$H_{u \cdot \max} = 3.95 \times 10^{-2} \rho_b N_r r S_r^{1/2} \quad (2)$$

上式において $H_{u \cdot \max}$ (kg) は、定常状態で運転可能な最大の乾物滞留量、 ρ_b (kg/m³)

は原料に外力を加えず充填した時の乾物かさ密度、 N_r はハンマーの数、 r はハンマーの先端から粉砕機の回転軸までの距離 (m)、 l はハンマーの回転方向の幅 (m)、 S_r (%) は目皿の開孔比である。(図3-9参照)

6. 4 衝撃型粉砕機による廃コンパネの最大処理能力の推定

前述の図9に示したように、粉砕機の最大処理能力は二つの要素で決定される。それは、粉砕機の最大滞留量 $H_{u \cdot \max}$ と、粉砕機内の原料の滞留時間 t であり、この二つにより最大処理能力 F_{\max} (kg/hr) は次式で示される。

$$F_{\max} = H_{u \cdot \max} / t \quad \text{③}$$

したがって、式①、②、③から、最大処理能力を推定するための実験式は次式で示される。

$$F_{\max} = H_{u \cdot \max} / t = 9.92 \times 10^{-6} \rho_b N_r r l S_r^{1/2} d_v^{1.3} \omega^2 L^{-2/3} / \tau [0.693 - (d_v / D_e)^N] \quad \text{④}$$

この式からわかるように、同じ粉砕機を用いて同じ大きさの原料を同じ大きさに粉砕する場合、最大処理能力は粉砕特性時間 (τ) に反比例することになる。したがって、廃コンパネは対象物が新鮮なトドマツ生チップであれば約10倍早く処理できることになる。(表3-2参照) 逆に、処理能力が同じ程度で良い場合は粉砕機を小さくできる。

6. 5 衝撃型粉砕機による廃コンパネの最大処理能力に適合した原動機の出力の推定

粉砕機の最大処理能力は、先に述べた二つの要素によって決定され、その値は実験式④によって与えられる。最後に残る課題は、粉砕機の原動機出力である。粉砕機の原動機出力がその最大処理能力より大きい場合、粉砕機はその最大処理能力で操業することができる。しかし、必要以上に大きい出力の電動機を設備することは、不経済である。逆に、最大処理能力と比較し、粉砕機に設備した原動機が小さい場合、その処理能力は原動機の高さによって決定される。したがって、粉砕機に設備すべき原動機の出力は、その最大処理能力に適合したものでなければならない。

粉砕における動力の消費量 E (kWh/t)と、粉砕機への原料の供給速度 F (t/h)、設備すべき原動機の出力 P (kW)の間には次式の関係がある。

$$P = F \times E \quad \text{⑤}$$

粉砕機がその最大処理能力 F_{\max} で操業するためには、原動機の設備動力は次式で示される設備動力 P_{\max} でなければならない。

$$P_{\max} = F_{\max} \times E \quad \text{⑥}$$

したがって、粉砕における動力の消費量 E (kWh/t)と、原料の物性、使用する粉砕機の高さや操作条件との関係が分かれば、設備すべき原動機の出力を決めることができる。

実験の結果、乾物原料1 t当りの積算動力 E (kWh/t)は、滞留時間 t との間に次式の関係

が見いだされた。

$$E=700 \times t \quad (7)$$

前述したように滞留時間と粉碎特性時間の関係は次式で示される。

$$t=3.98 \times 10^3 \tau [0.693-(d_v/D_e)^N]/(d_v^{1.3} \omega^2 L^{-2/3}) \quad (8)$$

したがって、新鮮材と比較して粉碎特性時間 τ が短い廃コンパネは粉碎に必要な動力も少なくて済むということになる。

⑤式から定常状態の粉碎における瞬時動力は次式で示される。

$$P=F \times 700t \quad (9)$$

粉碎機の最大処理能力に適合した原動機の瞬時動力 P_{max} は、式⑧から滞留時間を求め、式⑨において、供給速度 F に最大処理能力 F_{max} を代入することによって得られる。

7 粉碎による石膏部の分離について

7. 1 方法1

前項において、目皿付き衝撃型粉碎機の粉碎動力は、以下の式で表わせることを示した。

$$E=700 \times t \quad (7)$$

$$t=3.98 \times 10^3 \tau [0.693-(d_v/D_e)^N]/(d_v^{1.3} \omega^2 L^{-2/3}) \quad (8)$$

即ち

$$E=2.79 \times 10^6 \tau [0.693-(d_v/D_e)^N]/(d_v^{1.3} \omega^2 L^{-2/3}) \quad (10)$$

回転数、粉碎部の長さ一定の場合。上式は次式となる

$$E=K_1 \tau [0.693-(d_v/D_e)^N]/(d_v^{1.3}) \quad (11)$$

粒度の同一な原料に、同一の粉碎動力が与えられた場合、上式によると、 $\tau [0.693-(d_v/D_e)^N]/(d_v^{1.3})$ の値は常に一定とならなければならない。 $0.693-(d_v/D_e)^N$ の値は、粉碎が進めば進むほど一定値0.693に近づくので、 $\tau/(d_v^{1.3})$ は粉碎の進行とともに一定値にならなければならない。したがって、定性的に、上記の条件においては、粉碎特性時間が短い原料の粉碎物の粒度は小さく、逆に長い原料では大きくならなければならない。したがって、粉碎特性時間の異なる原料を粉碎した場合、それぞれの粉碎物の粒度が異なるので、ふるい分けにより、分離ができることになる。

7. 2 方法2

次に式⑤において、原料粒度、粉碎物粒度、回転数一定の場合、同式は次式となる。

$$t=K_2 \tau L^{2/3} \quad (12)$$

上式より、粉碎室の長さ L が一定の場合、粉碎特性時間が大きいと滞留時間は大きく、粉碎特性時間が小さいと滞留時間は小さくなることが分かる。したがって、粉碎物の粒度

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

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

7. 3 廃コンパネ中の石膏の分離

そこで、この方法が解体廃材中の石膏ボードの分離に利用できるかの検討のために、石膏ボードの粉砕特性時間を前項と同様の方法で測定した。粉砕速度の測定結果を図3-10に示した。石膏ボードの粉砕特性時間は、0.0292時間であった。この値は表3-2の各種材料の粉砕特性時間の中の最低値である。従って、粉砕による分離が最も容易な原料といえる。しかし、廃棄物中の石膏ボードは粉砕機の操作条件が、木質部の粉砕に設定している場合、粉砕石膏の粒度が小さくなりすぎ、粉砕石膏の飛散や粉砕した木質部等への付着などの問題が生ずる。したがって、粉砕条件は石膏ボードが細かくなりすぎない条件を設定しなければならない。

廃コンパネの粉砕特性時間は1.74時間、石膏ボードは0.0292時間である。廃コンパネと石膏ボードの混合物を目皿付き衝撃型粉砕機で粉砕すると、石膏は廃コンパネの約1/24に細かく粉砕される。したがって、廃コンパネを10cm程度に粉砕する条件では、石膏ボードは約5mm程度となる。図3-11には、この条件で粉砕した場合の廃コンパネと石膏ボードの粒度分布の推定値を示した。同図から、それぞれ同じ重量の廃コンパネと石膏ボードの混合物を粉砕し、6cmのふるいでふるい分けると、ふるい下には木材の20%が含まれるが、石膏の90%が含まれ、石膏はほとんど分離することができると考えがえられる。

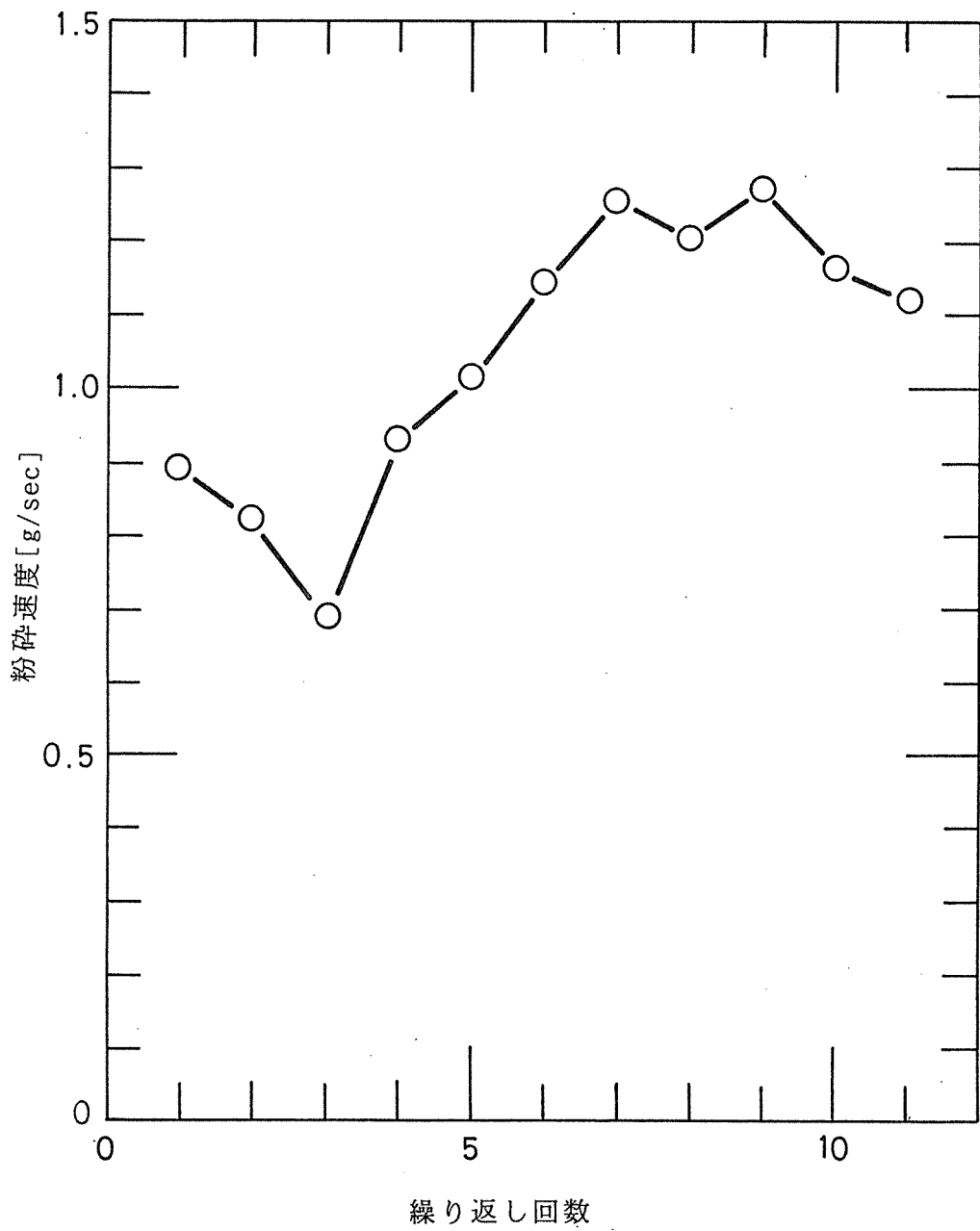


図3-10 石膏ボードの粉碎繰返し回数と粉碎速度との関係

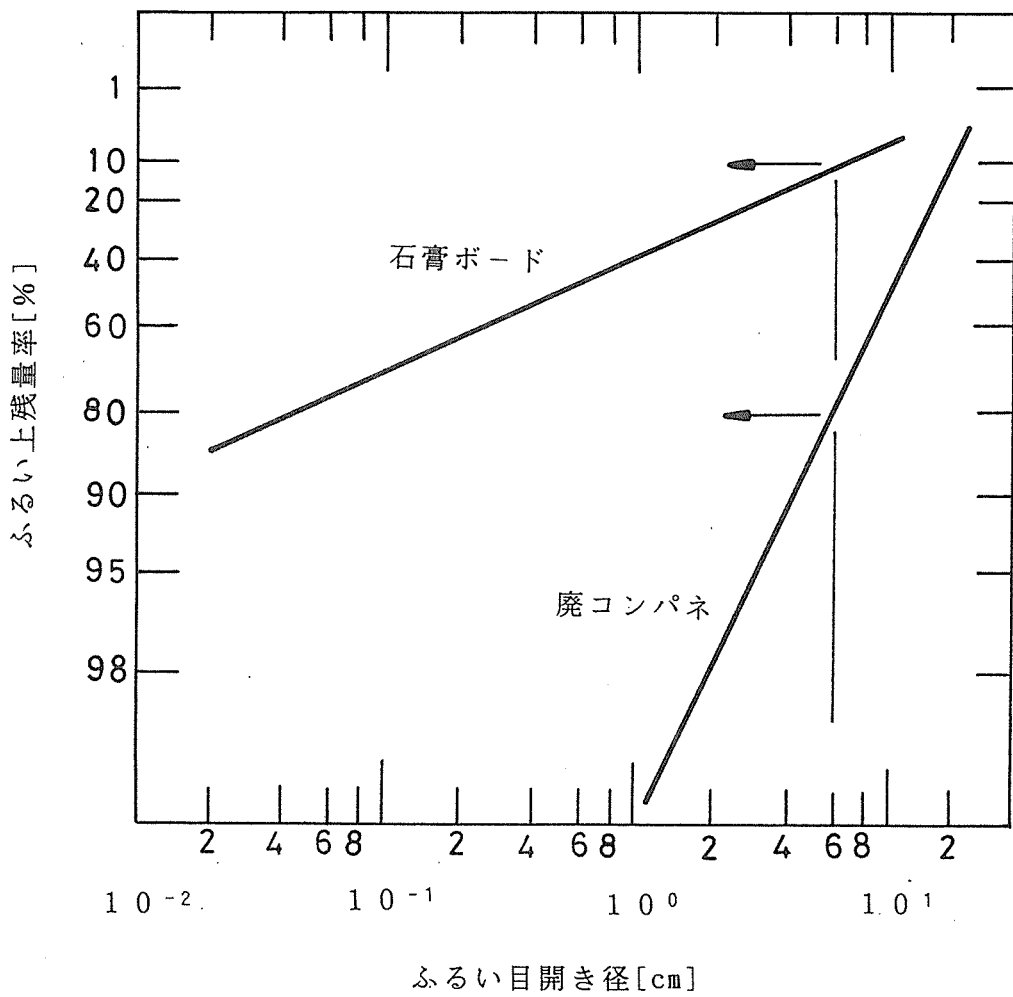


図3-11 廃コンパネと石膏ボード混合粉碎におけるそれぞれの粒度分布

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(Ⅰ)

1. はじめに

近年木材は地球上で循環する炭素を一定期間固定する材料として、炭酸ガスの放出を抑制することによって地球温暖化を防ぐことによって環境を保全する機能が認められ、新たに注目を集めている。すなわち、樹木は大気中の炭酸ガスを利用して光合成を行うことによって、有機化合物の混合物である木材を合成して樹体内に蓄積する。樹木はそのままの状態ですべて生存を続ける場合も、或いは伐倒されて人間に利用される場合でも、それが分解される迄は体内に固定した炭素を保持し続ける。木材を人間が利用する場合には、人間が利用するために木材から加工または製造してできた製品は一定の寿命を持っているので、その使命を終えた後には、何らかの方法で分解を受け、自然の循環のサイクルの中に還元される。しかし、もしこのような一定の寿命を終えた後にその木材製品をなんらかの方法で再生または再利用して新たな製品を製造して利用すれば、資源の節約になるばかりでなく、炭素を固定する期間を延長することができる。さらに、それをもう一度繰り返し利用する方法が開発されれば、それだけ資源の節約と炭素の固定が延長される。従って、木質廃材を利用して新たな製品を開発することは、単なる資源の節約に留まらず、地球環境保全のうえからも有意義なことである。

現在日本においては、全合板需要量の約2割の175-210万 m^2 がコンクリート型枠用として使用されており、これを丸太に換算すると269-323万 m^2 と推定されている(1)。型枠合板は繰り返し使用されるとされているが、調査によれば、普通合板の平成3年度における平均に繰り返し使用回数は2.6回となっている(1)。しかも、繰り返し使用を困難にさせる原因が次第に増えており、型枠合板は1回しか使用されない、いわゆる使い捨ての材料になりつつあるとも言える。しかも使用回数を減少させている原因を見ると、あながち、贅沢な無駄使いによるとはいえない尤もなものが多いことがわかる。たとえば建造物の構造が複雑になっており、型枠をそのままの形では再利用できない、あるいは再利用する際にも合板を補修、清掃する必要があり、人件費と時間を考慮すると、再利用がかえって不経済になる場合がある、またコンクリート仕上げ面を上質に上げるためには1回しか使用できない等がその理由である。そのような状況から、型枠用コンクリート合板の再利用(リサイクル)の方法を研究することは、われわれ木材にかかわるものにとって

緊急の課題の1つであるといっても過言ではない。

このような背景のもとで、われわれは1-3回程度使用された型枠用合板を原料として、比較的簡単な方法で転用が可能ではないかと考えられる、セメントとの複合材料—木質セメントボードを製造するために検討すべき基礎的な条件を解明することを目的としてボードの製造実験を行っている。これ迄に使用済み型枠合板から15-20kgf/cm²程度の曲げ強さを持ったボードが製造可能であることを報告(2)しているが、この強度を少なくともこの2倍程度には大きくする必要がありと考えられるので、今回は比重を多少高めの1.1-1.3程度にすることによって、強度の優れたボードを製造することを目的としてボード製造の実験を行った。

2. 試 験

2.1 供試材料

試験には次の2種類の合板を使用した。

- (1) 市販コンクリート型枠用合板(厚さ15mm, 表板ラワン=石巻合板(株)製)
を実験室において、セメント処理を行ったもの
- (2) 使用済みコンクリート型枠用合板(厚さ15mm =石巻合板(株)製)

(1)の処理方法は、現場における型枠合板が使われる条件を想定して、研究室において試料合板の表面に一定割合の水/セメント比で練ったセメントスラリーを厚さ約3cmの層になるように塗布し5日間放置する処理を合板の両面に対して1-3回繰り返した。無処理のものをS0、両面を1,2及び3回処理したものをそれぞれ、S1、S2及びS3とする。

(2)は2種類あり、1つは片面1回使用、もう1面2回使用された型枠合板(これをU12とする)、もう1つは片面2回使用、もう1面を3回使用された型枠合板(これをU23とする)である。これを整理して表4-1にまとめて示す。

これらの原料をチップ化する際に、チップパーの歯の損傷を防ぐために合板の表面に付着したセメントを十分に除去する必要がある。いくつかの方法を試みたが、最も効果的であったのは、ハンドベルトサンダー(マキタ製)(手で研磨する面に押し付けて操作する小型のベルトサンダー)に、木工用の代わりに石材研磨用のベルトを装着し、表面をサンディングする方法であった。このサンダーを回転させ(100VのAC電源で作動する)、これ

表4-1 供試材料

合板の種類	処理または使用回数	記号
市販型枠用合板	無処理	S0
	両面を各1回処理したもの	S1
	両面を各2回処理したもの	S2
	両面を各3回処理したもの	S3
現場で使用された型枠合板	片面1回、もう1面2回使用したもの	U12
	片面2回、もう1面3回使用したもの	U23

註) 処理とは、セメントスラリーを塗布して5日間放置すること。2回以上の処理は同じ処理を繰り返したものである。

を片手で持って、セメントその他の付着物が付着している面に押し付け、アイロンをかけるような要領で表面を研磨すればよい。

実際に工場規模で処理する場合は合板工場等で使用されているワイドベルトサンダーを利用すれば、効果的にセメントが除去できると思われる。セメント除去後これらの原料をパルプチップ製造用チップパー（上越開発株式会社）を2回通してチップ化した。えられたチップは合板の特性（繊維方向が直交した層が交互に並んでいてしかも、それらが互いに強固に接着されている）のため、均一なチップが製造されにくく、大きさも形もかなり不均一であったので、過大なものはさらに手で細かく割りながら分離した後、クリアランス約10mmの篩で篩分けして大小の2種類に分けこれを大：小=3：1の比で混合して使用することにした。このような普通のチップパーでは合板から、パーテクルボード用のような均一なチップを製造することは困難であることがわかった。

2.2 木質セメントボードの製造条件

前述のチップの一定量を予め105℃の電気恒温乾燥器で24時間乾燥させ、ボード製造に供した。まず、表4-2に示す混合比でセメント、水、チップ、硬化剤（塩化カルシウム）をmixing panの中で手で十分に混ぜ、30cm×30cm×15cmのforming frame(案

内枠) をのせたコール板上 (表面に塩化ビニルのシートを敷いておく) にできるだけ均一になるように散布しながらフォーミングを行った。でき上がったマットは2枚のコール板で挟み、さらに厚さ約30 mmの合板でサンドイッチ状に挟んで、プレスで圧縮した。圧縮圧力10kgf/cm² で15分間圧縮後、クランプを締めて固定し、約24時間室内で放置後、20°C、RH約50%の恒温恒湿室で一定期間養生させた。

まずセメント：チップ比がボードの材質にどのような影響を与えるかを知るために、表4-2に示す6条件において試験用ボードを製造し、材質の試験を行った。硬化剤の塩化カルシウムはセメントの重量に対して3%とした。なお、塩化カルシウムは市販の試薬1級無水塩化カルシウム (純正化学製) を用いた。また、水の量は式(1)によって算出した。

表4-2 配合比がボード材質に与える影響を調べる実験 (単位:g)

C/W*	セメント	チップ*	塩化カルシウム	蒸留水
1.2	590	490	17.7	442
1.5	650	430	19.5	427
2.0	720	360	21.6	410
2.5	770	310	23.1	398
3.0	810	270	24.3	389
3.5	840	240	25.2	382

註) * : セメント/チップ比

$$W = 0.3C \times KP \quad (1)$$

ただし、C:セメント重量、P:チップ重量、K:チップ1gの吸水量、これは実際に測定した結果からここでは $K = 0.54 \text{ g}$ を用いた。

2.3 ボードの養生期間

無処理合板からつくられたチップ S0 を用い、 $C/W = 2.5$ の混合比でボードを製造し、養生期間3日、7日、21日及び28日間後の各3枚のボードの曲げ試験を行って、養生期間のボード材質に及ぼす影響を調べた。なお、ボードは24時間圧縮後、解圧し、

20 ± 1°C、50 ± 5%の恒温恒湿室中で養生した。

2.4 試験項目

2.4.1 曲げ試験

幅2 cm スパン 20 cm の試験片（なお厚さはセメント／チップ比により、1.2 ～1.5 の範囲で変動した）により、万能引張り試験機（島津オートグラフ AGS-1000）を用い、荷重速度10 mm/min.、中央集中荷重3点曲げ試験により、曲げ破壊係数、曲げヤング率を測定した。同時に各試験片について、体積と重量を測定して比重を算出し、また同時に含水率を測定した。

2.4.2 吸水試験

JIS パーテクルボードの吸水試験法に準じて行った。すなわち、あらかじめ、重量及び厚さを測定した、5 × 5 cm² の試験片を水温25 ± 1°Cの恒温水槽の中に試験片の上表面が5 cm の深さになるように浸漬し、24時間後に取り出して表面についた水を拭き取った後、重量及び厚さを測定し、厚さ膨潤率及び吸水率を算出した。

2.4.3 熱伝導率

英弘精機（株）製サーマルコンダクトメータ（H-C-072型）を用い、平板熱流計法の一枚熱計方式によって測定した。試験片の大きさは20cm × 20cm、高温部30°C及び低温部0°Cの2つの温度を設定し、30°Cの温度差において定常法によって測定した。

3. 結果及び考察

3.1 セメント／チップ比と曲げ強さおよび曲げヤング係数との関係

セメント／チップ比がボードの曲げ強さ及び曲げヤング係数に与える影響をセメント／チップ比に対してプロットして示す(図4-1)。また同様にボードの比重に与える影響を図4-2に示す。これらによれば、まず曲げ破壊係数は、はじめセメント／チップ比が増大するに従って、すなわち、セメントの割合が増大するにつれて、増大するが、セメント／チップ比2.5 でほぼ一定の値に到達し、それよりセメントの割合が増大しても強度は変わらないことを示している。これに対して、曲げヤング係数はセメント／チップ比が増大するに従って一貫して増大する傾向を示しており、両者がかならずしも対応して変化していない

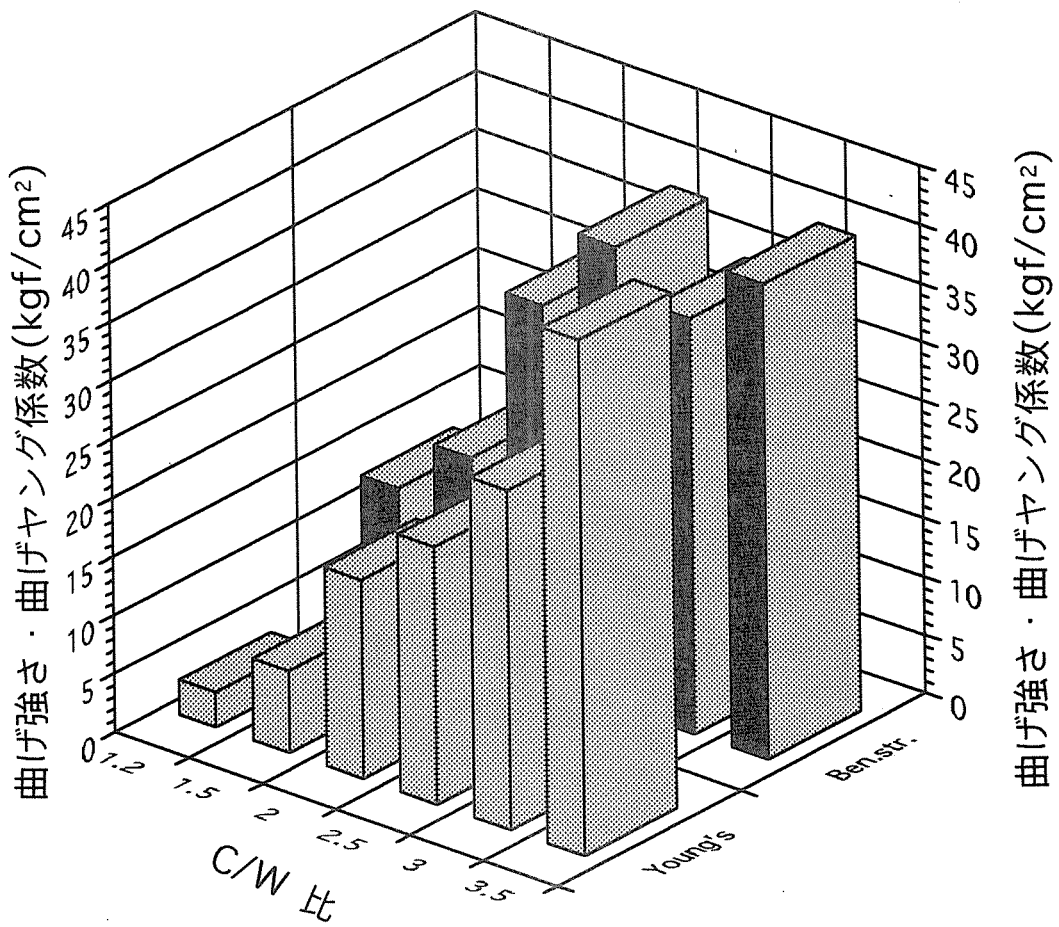


図4-1 C/W比と曲げ強さ及び曲げヤング係数との関係

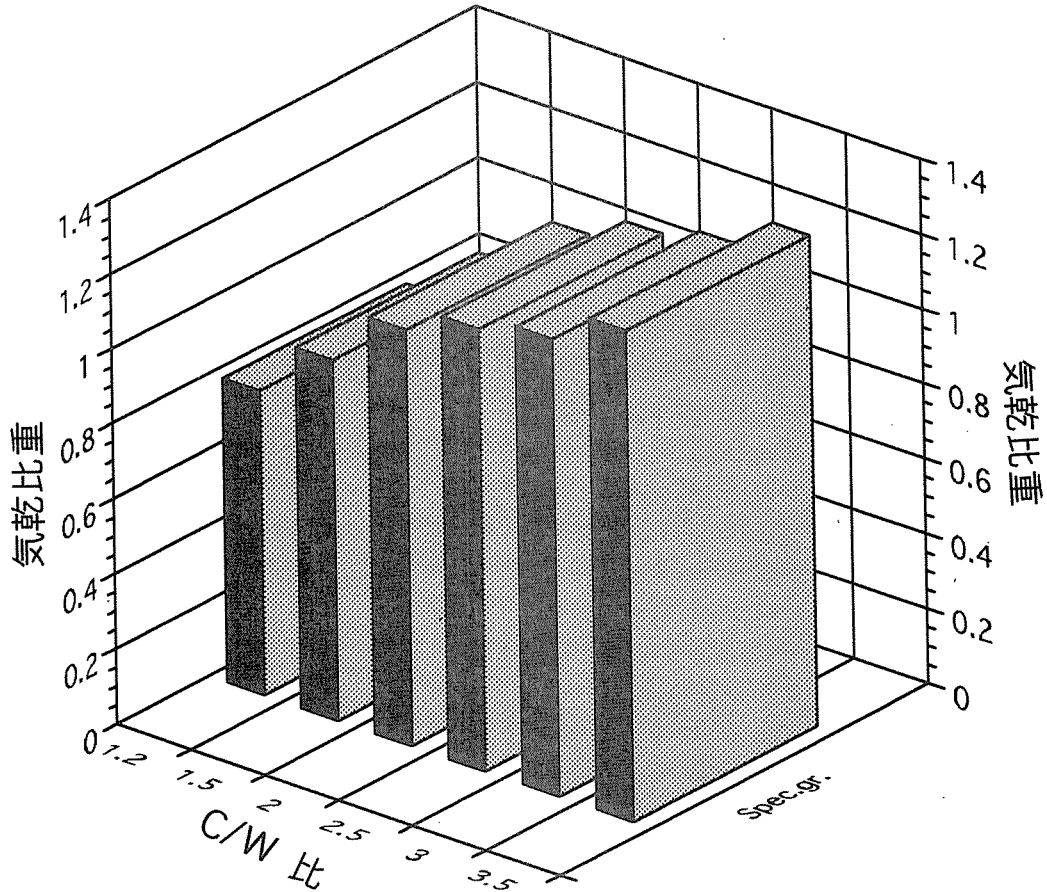


図4-2 C/W比と気乾比重との関係

ことを示している。同様にこの間に比重の値も徐々にではあるが、一貫して増大している。従って、この場合木材の強度とは違って、比重と強度との間の相関性はそれほど高くなく、比重と相関性が高いのはヤング係数の方である。これは、セメント／チップ比が増大するにつれてチップの結合にあずかるセメント層の厚さが増し、その層は木材に比べて固くて剛性が高いのでヤング率の増大には寄与するが、脆いために強度の増大とは必ずしも結び付かないからではないかと推測される。なお JIS の木毛セメント板の規格による荷重を曲げ強さに換算すると約 27kgf/cm^2 となり、セメント／チップ比 2.0 以上においてこの値を上回るが、厚さ 12mm の木片セメント板の規格値である 60kgf/cm^2 、すなわち約 90-100 kgf/cm^2 にははるかに及ばない。セメント／チップ比が 1.2 から 3.5 に約 2.9 倍増大するのに、この間に比重は約 1.6 倍に増大するにすぎない。ある程度の強度を得るために、今回は多少比重の軽さを犠牲にして木毛セメント板よりもやや重いボードを製造することになった。しかし、曲げ強さ約 30kgf/cm^2 を越えるセメント／チップ比における気乾比重の範囲 1.11-1.31 はボードとしてやや重い、用途によっては使用できないほどではないと思われる。さらに、詳細なセメント／チップ比は、主としてボードがどのような用途に使われ、どのような強度や材質を必要とするかによって決めることができるであろう。しかし、木質セメント板がもっと広い用途に使用されるためには、やはり曲げ強さを向上させ、少なくとも 100kgf/cm^2 の強度が必要であると思われる。本実験でえられたすべてのボードの強度がそこまで達しなかった最大の理由は、合板は通常のチップパーによればチップ化が極めて難しく、形、大きさとも非常に不均一なチップしかえられず、このためにボードを製造するときフォーミングの不均一と、強度の原因となるセメントによって接着される面積が小さくなったことにあると推測される。

3.2 養生期間の効果

無処理合板を原料として製造したボードの曲げ強さ、曲げヤング係数及び比重に及ぼす養生期間の効果についてえられた実験結果をまとめて図 4-3 に示す。図によって、曲げ強度の養生日数の経過に伴う上昇の経過を見ると、最初の測定時の 3 日後までにすでに 30kgf/cm^2 に達しており、それ以降は 14 日後まではなだらかな上昇を示すが、それ以降は殆ど増大していない。これに対応して、曲げヤング係数も日数の経過に対してほぼ類似した傾向を示しており、14 日以降の増大は極めて僅かである。これまで報告されている木質セメントでは、その曲げ強度は 28-49 日頃迄はかなり急速に増大するが、それ以

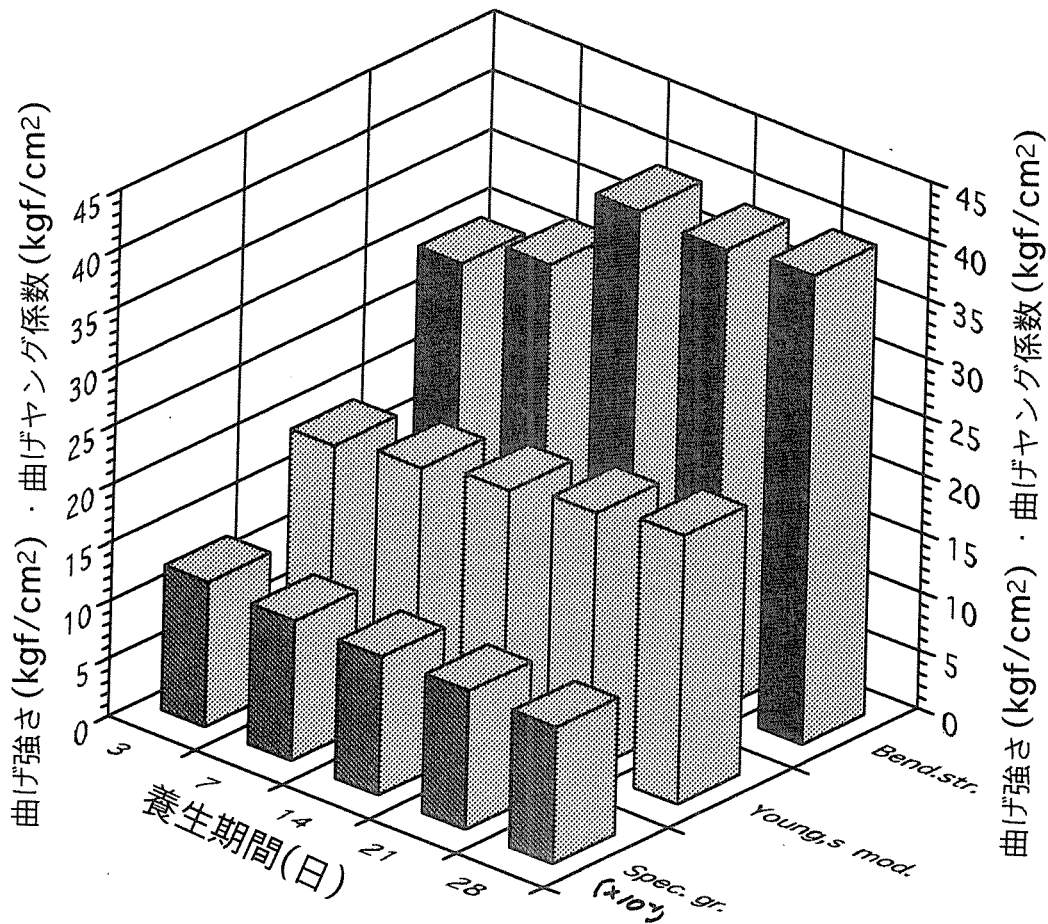


図4-3 養生期間と曲げ強さ、曲げヤング係数及び比重との関係

降は頭打ち、あるいはわずかな低下を示す(3)。2週間後において強度がほぼ最大値に達するという事は、セメント/木材間の相互作用がセメントの効果を阻害せず、硬化反応が順調に進行したこと及びセメント自体の硬化反応はある程度まで進むと、それ以上の進行はボードの強度上昇に寄与しないことを示しているものと思われる。養生期間とともに、含水率が低下する傾向は従来の結果と一致しており、硬化反応の進行を示すものと思われる。強度がもはや増大しなくなる14日以降も含水率はさらに低下を続けているので、この点からも、セメントの硬化反応の進行は必ずしもボードの強度を増大させるとは限らないことを推測できるように思われる。この間に図4-3のように比重の低下もゆるやかに進行しており、セメントの硬化反応とボードの強度との関係については、今後詳細に検討する必要がある。

3.3 セメント処理がボードの材質の及ぼす影響

無処理の型枠用ラワン合板を実験室において、表面にセメントペーストを塗布後5日間放置する処理を1~3回繰り返した後チップを製造した。これから製造したボードの材質の測定結果について説明する。まず、処理条件別の曲げ強度を図4-4に示す。全体として、

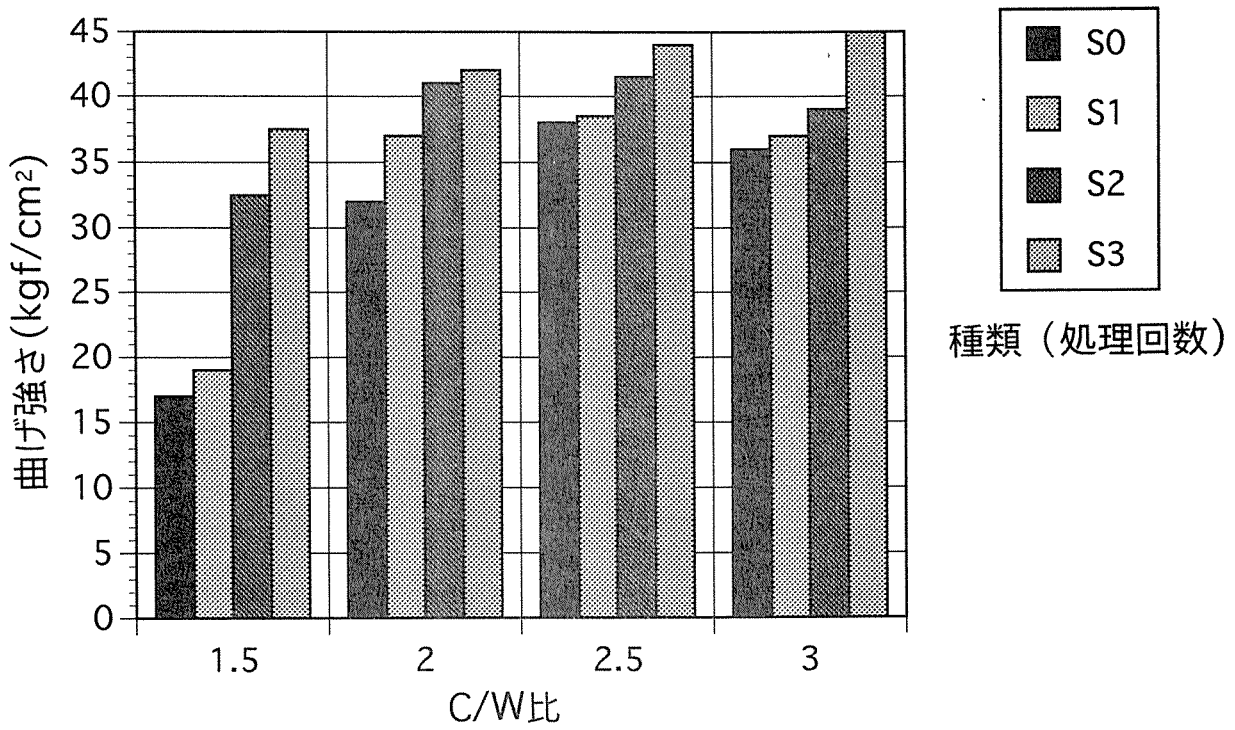


図4-4 C/W比と曲げ強さとの関係(処理合板)

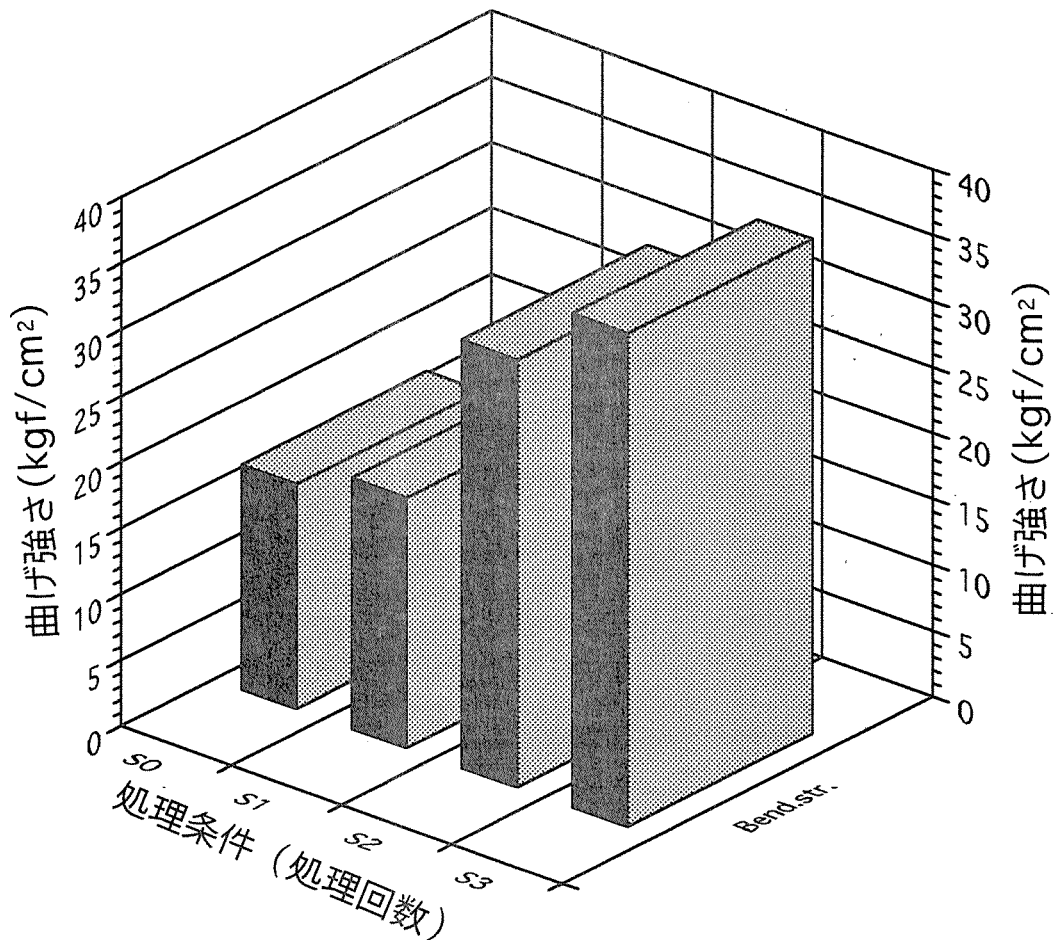


図4-5 処理条件と曲げ強さとの関係

セメント／チップ比が2.5 迄は、その比が増大するにつれて、どの種類も曲げ強度および曲げヤング係数が増大する傾向を示しているが、2.5を過ぎると、一部はやや低下する傾向が現われてくる。ただし、これらの傾向は強度とヤング係数との間で正確に対応していない。また、同一のセメント／チップ比において比較すると、強度は $S0 < S1 < S2 < S3$ という順序で、すなわち、セメント処理回数が増すに従って増大する傾向を示している。図4-5はセメント／チップ比=1.5における処理回数別の強度の比較を示したもので、処理回数が増えるほど強度が増大している。しかし、この傾向は曲げヤング係数では明確ではない。これは、ラワン合板がセメント処理を受けることによって、ボード原料としての適性が改善されていることを示しているものと思われる。具体的には、セメント処理という強アルカリ処理によって、合板の表面からアルカリ抽出物の一部が抽出除去され、これによってセメントの硬化を阻害する物質の一部が除かれることによるとと思われる(4)。しかし、この処理によって同時に木材のアルカリによる劣化も起こっていると思われるので、これがボードの耐久性に影響を与える可能性もある。この点についても今後検討する必要がある。上の2種類の原料ともに木質セメントボードの原料として本質的に適していないわけではなく、合板からチップを製造しなければならないという悪条件のために、理想的な形状と大きさの分布を持ったチップの製造が困難な点にあると思われる。

3.4 使用済み型枠合板から製造したボードの材質

3.3において、実験室で現場の条件を再現して無処理コンクリート型枠用合板のセメント処理を行い、処理合板からチップをつくりボードを製造し、材質を調べた。これに対して、ここでは実際に現場において数回使用された合板から同じ条件でチップをつくり、これからボードを製造してその材質を調べた。3種類の合板から製造されたボードの曲げ強さとヤング係数をそれぞれ、図4-6に示す。まず、セメント／チップ比と曲げ強さとの関係は図4-4のセメント処理合板を原料としたものと類似した傾向を示し、はじめセメント／チップ比が増大するに従って増大するが、この比が2.5を過ぎるとやや低下する傾向が認められる。この点に関して前述の通り無処理の合板を用いた実験でもほぼ類似した傾向が認められており、原料(ここで用いたラワン合板)に共通するものであると思われる。次に、種類(使用回数)間の違いについては、セメント処理の場合(図4-4及び5)ほど明瞭ではないが、無処理に比べて、使用された原料から作られたボードの方が強度はやや高くなる傾向が認められる。しかし、使用回数間の違いについては、必ずしも回数が多い

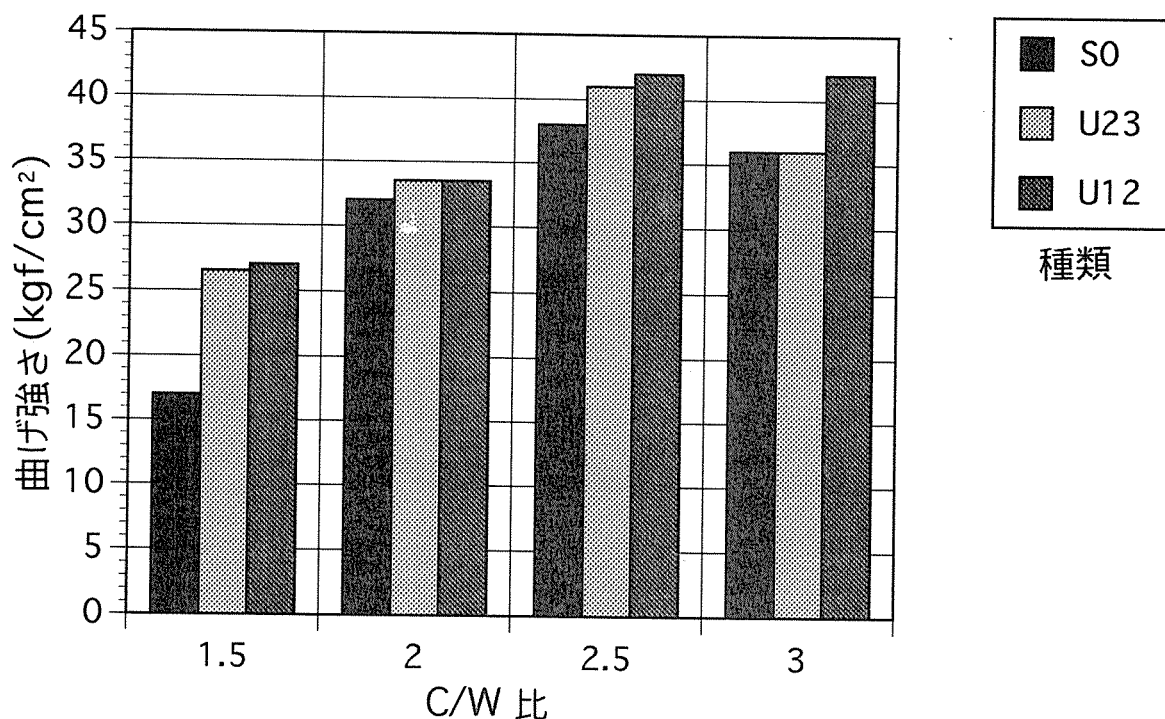


図4-6 C/W比と曲げ強さとの関係

ほど、強度が大きくなるという傾向は認められなかった。この場合にはアルカリ処理による劣化の影響が実験室における処理を受けたものよりも大きかった可能性を示しているものと思われる。しかし、少なくとも、型枠として、現場において使用された合板から作られたボードの強度は無処理の合板から作られたボードのそれよりも低くならなかったことは明らかである。

次に試料U23（現場において片面2回、もう1面3回型枠として使用された合板）を用いて製造したボードの熱伝導率の測定結果を図4-7に示す。図によれば、ボードのセメント/チップ比が増大するにつれて熱伝導率は高くなるが、ラワン合板の値 0.1333 と純粋なセメントを硬化させて作った板の 0.2633 Kcal/m · h · °C の間にあり、それらと一本の連続した曲線を構成している。これらの値は比重 0.7 の木毛セメント板の熱伝導率 0.26 前後⁽⁵⁾ に比べて劣っていない。従って、このボードの断熱性は比重の割合からすれば比較的優れているといえると思われる。

パーテクルボードの試験方法に準じて行った使用済み型枠合板を原料として製造したボード（S0, U12 及び U23）の吸水試験結果（いずれも24時間後）を図4-8（吸水率）及び

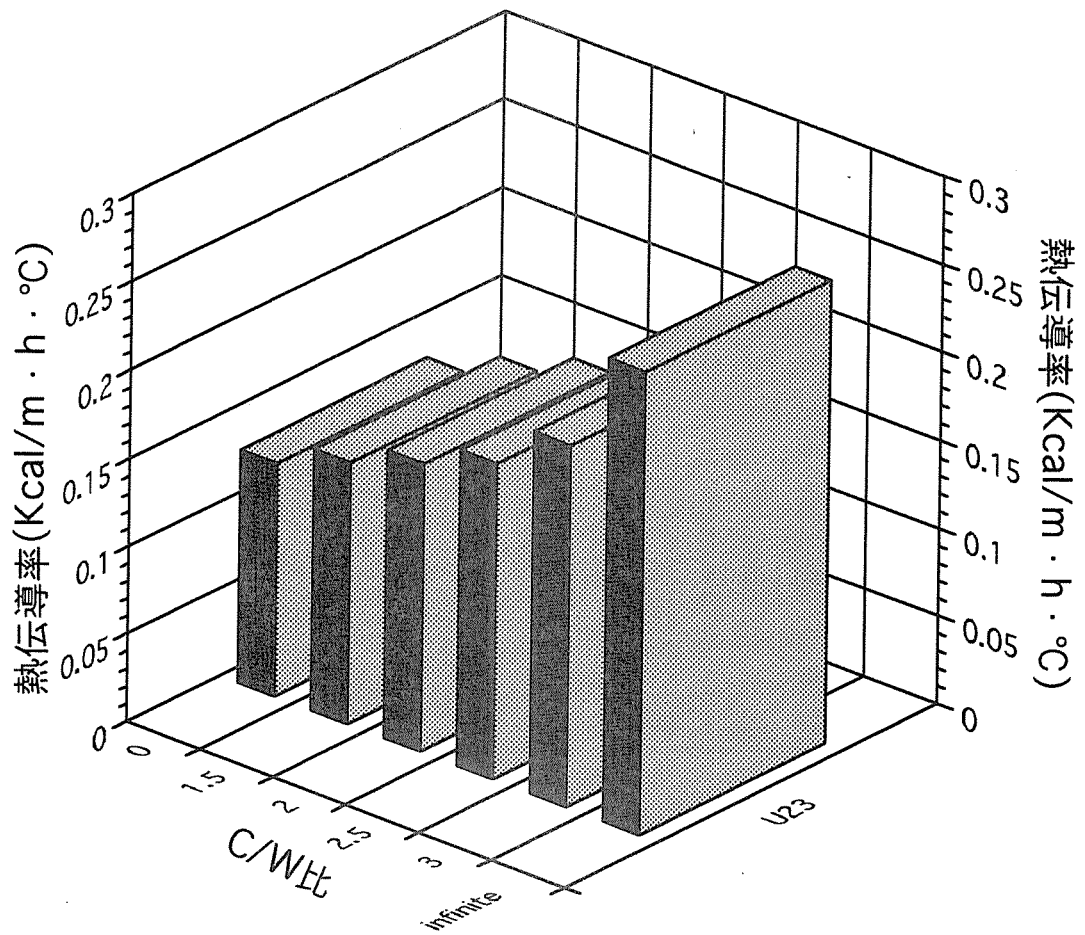


図4-7 C/W比と熱伝導率との関係

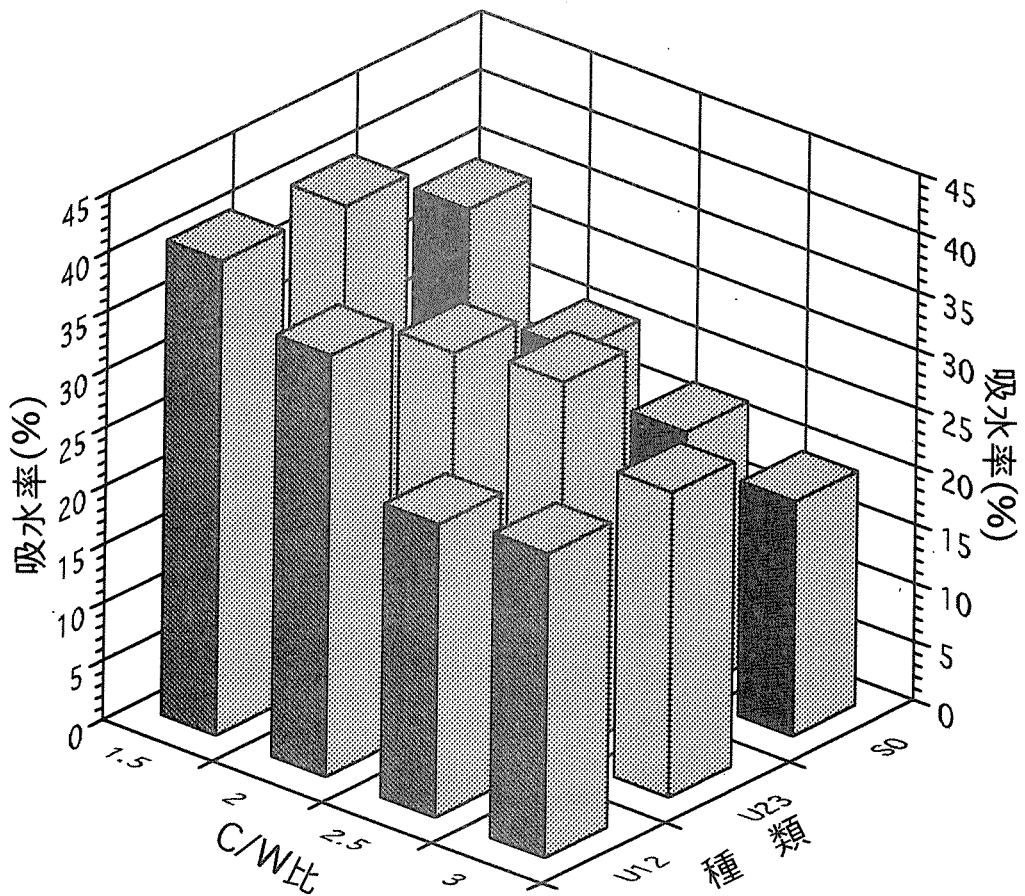


図4-8 C/W比と吸水率との関係

図4-9（厚さ膨張率）に示す。吸水率の値は原料の種類とセメント／チップ比によってかなり変動するが、ほぼ20-40%の範囲に入っている。この値はユリア樹種を用い、含脂率4-11%のパーテクルボードの吸水率40-80%⁽⁶⁾よりもかなり低い。また厚さ膨潤率についても、同一の実験で報告されている22-38%の値⁽⁶⁾よりも、はるかに低い4-13%である。型枠の使用回数間の違いは強度ほど明瞭ではないが、使用された合板から作られたボードの値は無処理のそれに比べて劣っていることはなく、むしろすぐれている場合が多い。これら2つの測定値から、ここでえられた型枠合板から作られたボードの耐水性は少なくとも一般的なユリア樹種接着剤を用いて製造されたパーテクルボードよりはすぐれていると推定できる。

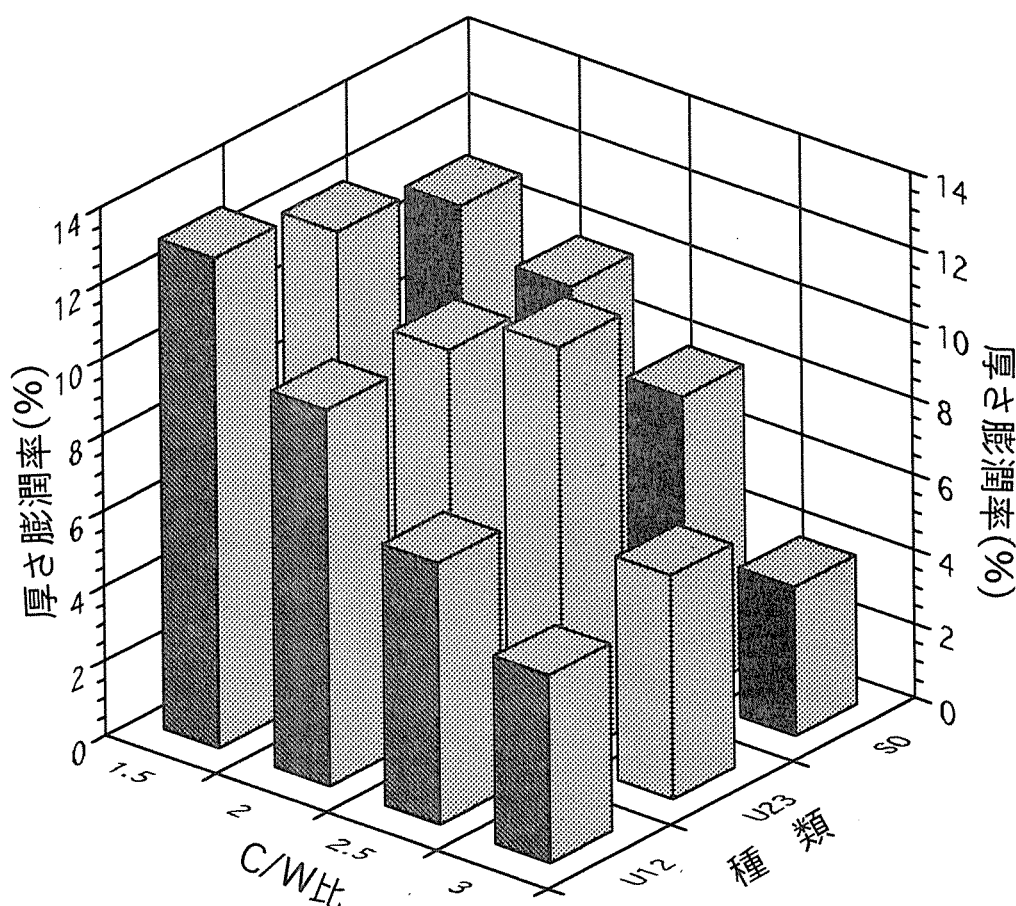


図4-9 C/W比と厚さ膨潤率との関係

4. 総括

未使用のラワン型枠用合板を実験室でセメント処理をしたもの及び現場で数回使用された同じ種類の型枠用合板の2種類の原料からチップを作り木質セメント板を製造して曲げ試験と浸漬試験及び熱伝導率の測定を行った。結果を要約すると次のようになる。

- (1) 使用済み、あるいはコンクリート処理された合板の表面に強固に付着したセメントはハンドベルトサンダーを用いて容易に除去できることがわかった。もし、これを工場規模で行う場合にはワイドベルトサンダーを利用しうると思われる。
- (2) 型枠用合板を通常のチップパーで処理すると、形及び大きさのいずれもきわめて不揃いの不均一なチップができることがわかった。今後合板を大量に原料として使う場合には、この原料に適したチップパーを開発する必要がある。
- (3) 製造した合板の曲げ強度は処理条件及び使用回数によって異なるが、比重 1.1-1.3 で30～40 kgf/cm²の範囲であった。強度が上がらなかった最大の理由は木材の劣化ではなく、均一なチップがつかれなかったことのあると思われる。
- (4) 型枠としての使用により、あるいはセメント処理によってボードの強度はむしろ増大する傾向が認められたが、使用回数が3回以上になると強度が低下することが示唆された。
- (5) 製造されたボードの熱伝導率は合板とセメントのその間の値を示したが、普通木毛セメント板のそれには及ばなかったが、断熱性は比較的優れていた。
- (6) 製造されたボードの吸水率と厚さ膨潤率から求めた耐水性はいずれも、ユリア樹種を用いて製造された標準的なパーテクルボードのそれよりもかなりすぐれていた。
- (7) 全体として今後の最大の課題は、もっと強度のすぐれたボードを製造しうるために、型枠合板から均一なチップを製造する方法を研究することであると思われる。
- (8) もし、上記(7)が解決するならば、以上の結果から型枠として合板を使用したことが、木質セメント板の強度低下をもたらさず、むしろ強度が改善される場合が多いことが判明したので、工業的に木質セメント板を製造する原料として、廃(または使用済み)型枠合板を十分利用できると思われる。

引用文献

- 1) (財)日本住宅・木材技術センター編：木質系廃棄物リサイクル調査報告書 (1992), p.69
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター編：木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書 (Ⅲ) (1993), p. 31
- 3) 牧 広、島村昭治編：複合材料技術集成、産業技術センター (1976), p.330

- 4) 屋代 眞、川村恵洋、佐々木毅三男、継田視明：木材工業，Vol.23,
No.11(1968) p. 15
- 5) 林業試験場編：木材工業ハンドブック、丸善 (1973) p.943
- 6) 同 上 p. 768

第5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、木造住宅解体材(柱・梁)や廃パレット等は、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⁾。一方、熱帯林の環境保護の面から批判されているコンパネは、現在、数回の使用後に廃棄されるままになっており、そのリサイクルが望まれている。この廃コンパネは、建築現場でまとまって使用および廃棄されるため、集荷の面からは有望なリサイクル資源である。

このような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、

- ① 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
- ② 泥、石、金属等の異物の混入に、あまり敏感でないこと
- ③ ボード用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、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)における最適製造条件を確立することを目的に、図5-1に示した研究の流れで試験を行った。

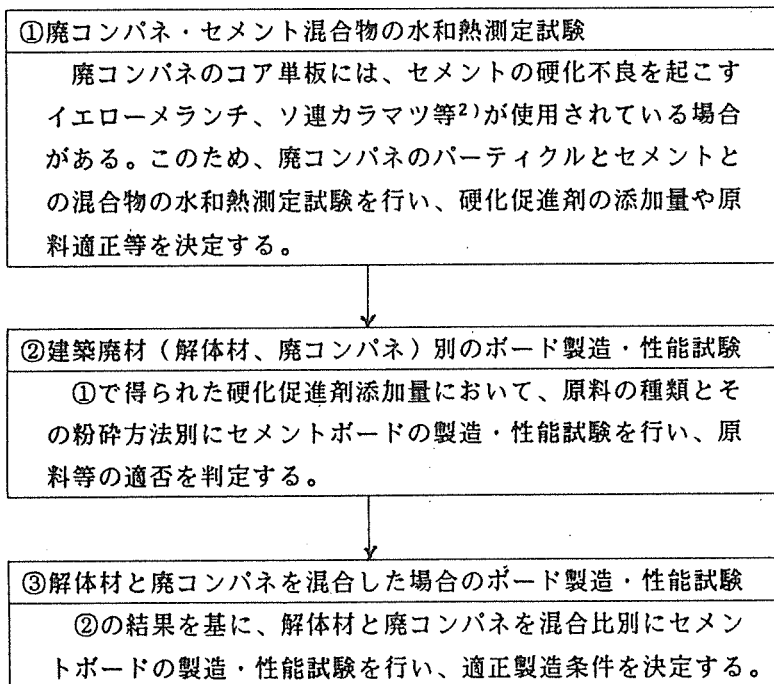


図5-1 研究の流れ

2. 廃コンパネ・セメント混合物の水和熱測定試験

廃コンパネのコア単板には、セメントの効果不良を起こすイエローメランチ類、ソ連カラマツ等²⁾が使用されている場合がある。このため、廃コンパネのパーティクルとセメントとの混合物の水和熱測定試験を行い、セメントボード原料としての廃コンパネの可能性を検討した。また、適正な硬化促進剤の添加率も検討した。

2.1 原 料

試験に供した廃コンパネは、札幌市の建設業者が廃棄した12mm厚ラワンコンクリート型枠用合板で、詳細な樹種、使用回数、比重は不明である。

廃コンパネは、釘・コンクリート塊等は除去したのち、約 5cm×10cmの角片に鋸断・水洗した。この角片（含水率25%前後）をハンマークラッシャーで粉碎し、その後、遠心リング型チップパーで粉碎し、原料パーティクルとした。

得られたパーティクルの粒度分布を、図5-2に示す。

(注) ハンマークラッシャー：(株)ヤマモト機械製作所製（摩砕板内臓型）

モーター15Kw、処理能力259kg/h

回転数800rpm、摩砕板間隔11mmで使用

遠心リング型チップパー：パールマン社製

モーター15Kw×1、22.5Kw×1、処理能力500kg/h

刃出し0.6mmで使用

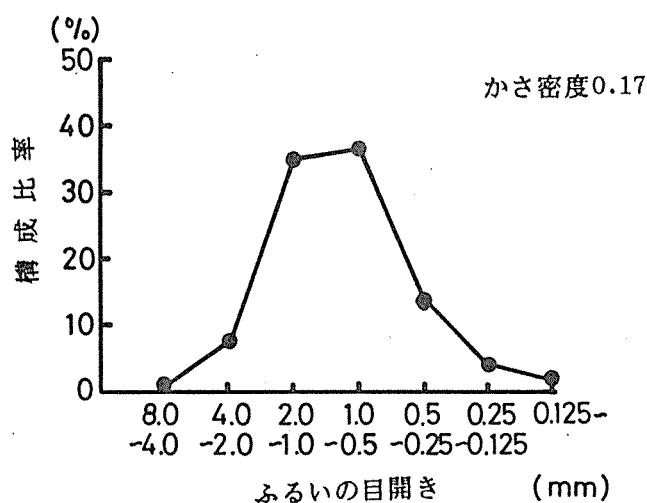


図5-2 水和熱測定試験用パーティクルの粒度分布

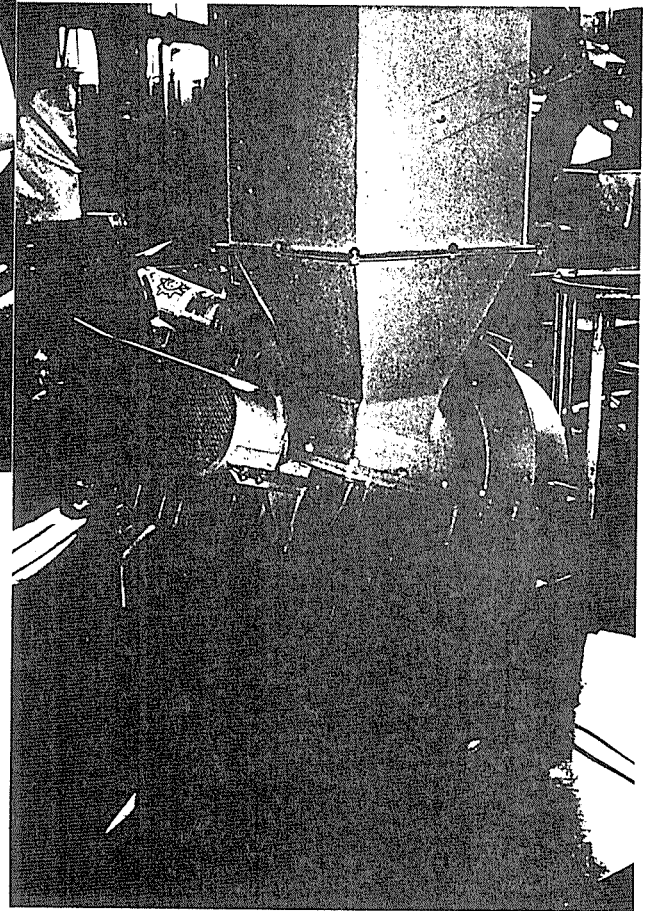
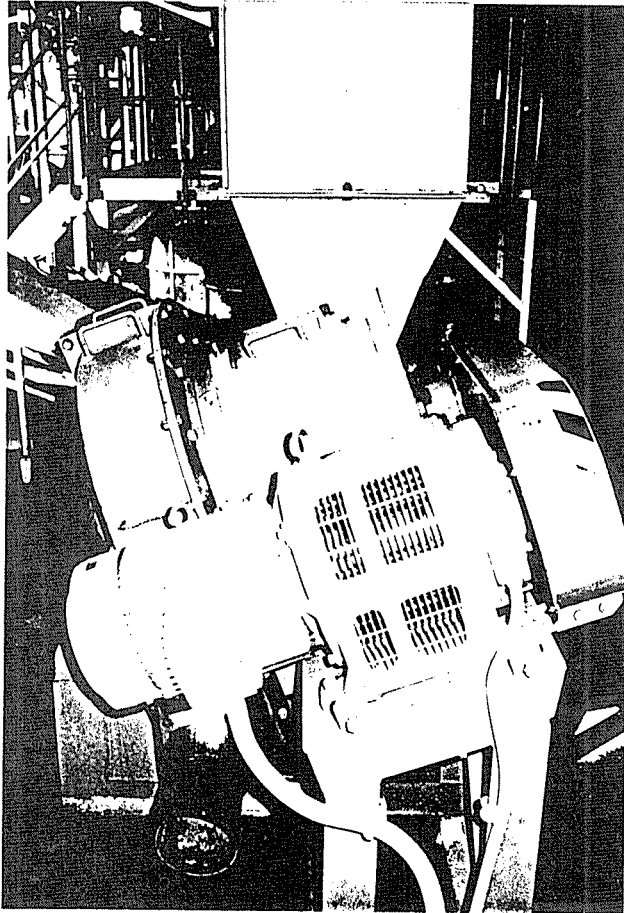


写真5-1 試験に用いたハンマークラッシャー

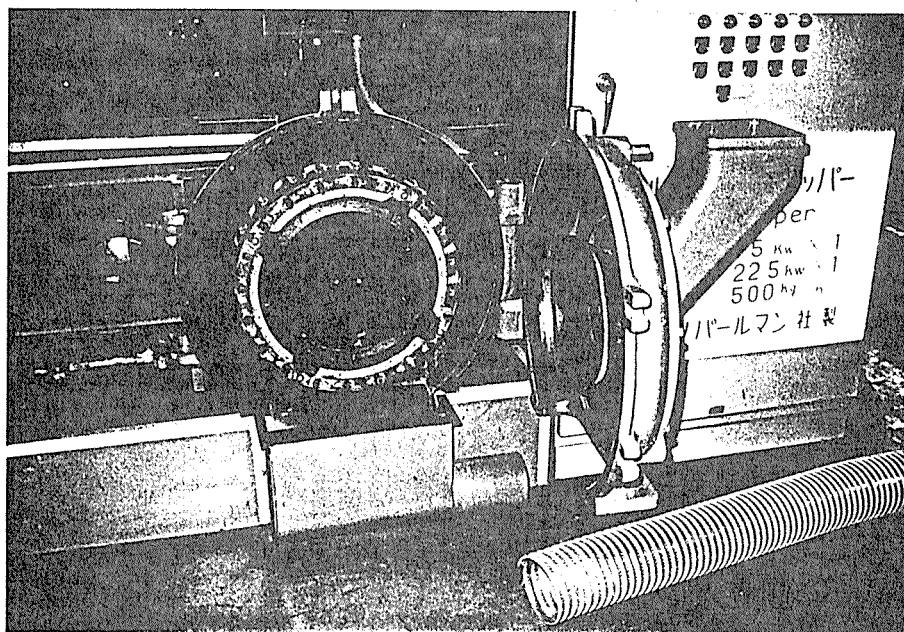
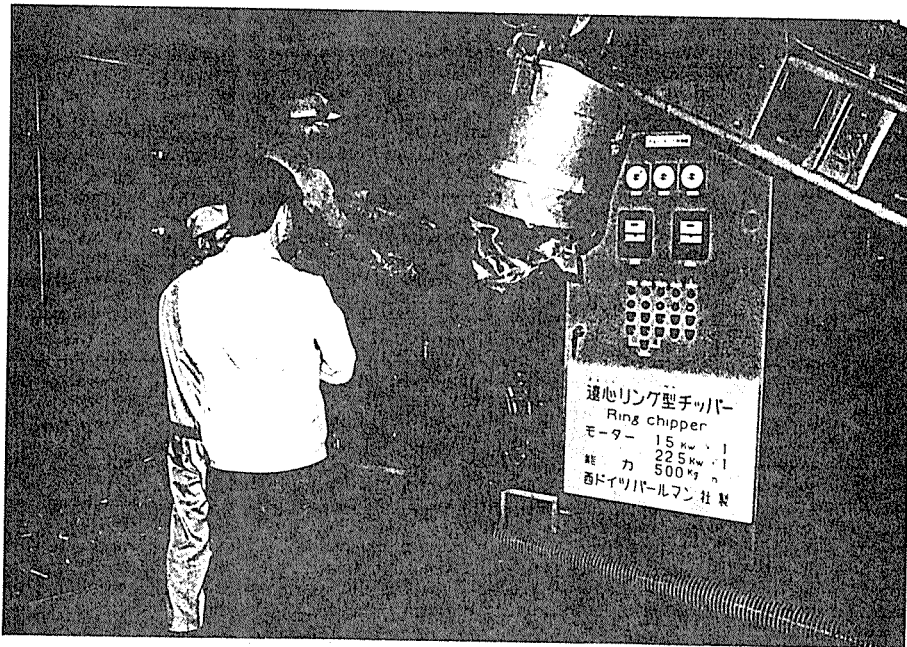
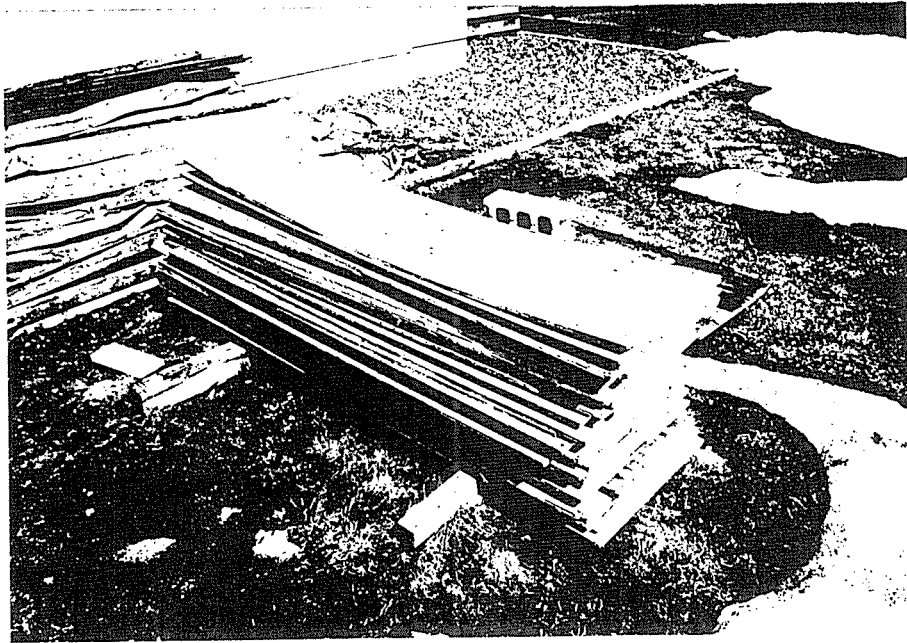


写真5-1 試験に用いた遠心リング型チッパー



原料としての廃コンパネ

廃コンパネ
↓
角片 (約5cm×10cm)
↓
ハンマークラッシャー
↓
遠心リング型チッパー

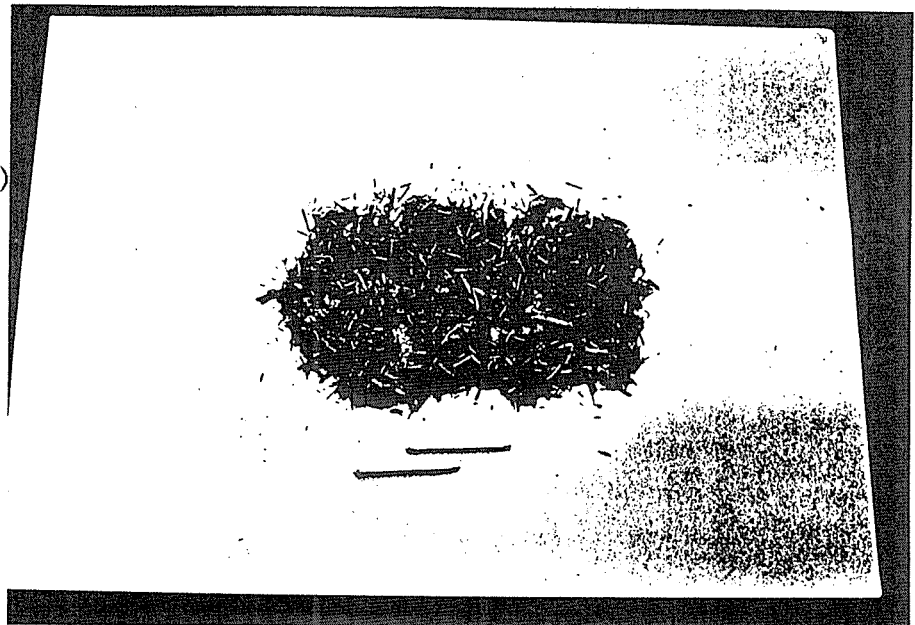


写真5-2 水和熱測定試験に用いたパーティクル

2. 2 試験方法

本試験では、硬化促進剤として、既往の文献³⁾から、セメントの硬化を促進すると同時に、他の硬化促進剤よりも比較的難燃性についても寄与する無機塩類として、塩化マグネシウムを用いた。

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。得られた測定値から、図5-3に示す最高温度と最高温度到達時間を求めた。

試験は、表5-1に示す条件で、1条件1回（反復数1）の3元配置法で行った。

表5-1 水和熱測定試験条件

因子	水準数	水準			
A. 水/セメント比	4	0.55	0.60	0.65	0.70
B. セメント/木比	4	2.4	2.6	2.8	3.0
C. 硬化促進剤添加率	3	1.3%	3.0%	4.0%	

(注) 水/セメント比およびセメント/木比は、絶乾重量比である。
 硬化促進剤添加率は、セメントに対する固形分重量比である。

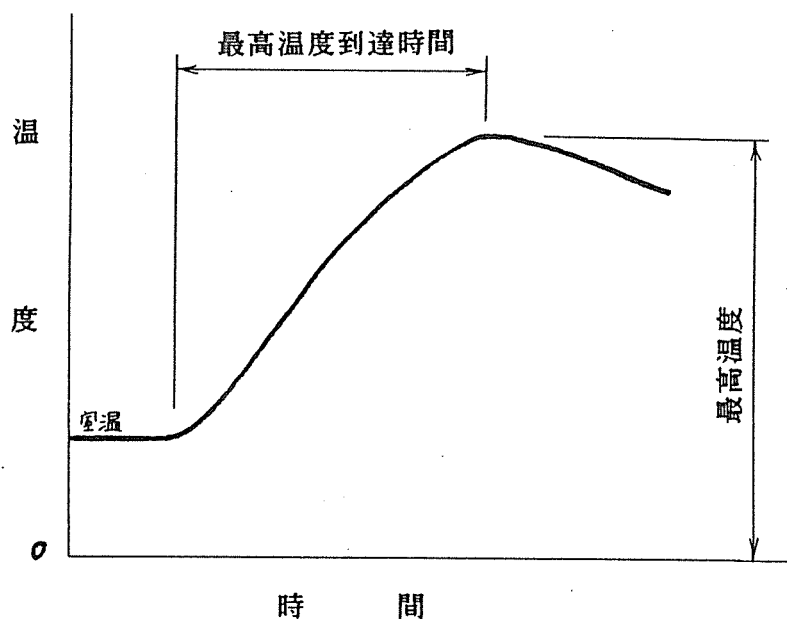


図5-3 水和反応曲線モデルと最高温度・最高温度到達時間

2.3 試験結果

水和熱測定試験結果（最高温度、最高温度到達時間）を表5-2に、その分散分析結果を表5-3に示す。ここでは、試験をランダムに行わなかったことから実験誤差が大きいことを考慮し、危険率1%で有意となった因子のみを考察の対象とすることとする。

有意となった要因効果図を図5-4に示す。

表5-2 水和熱測定試験結果（最高温度、最高温度到達時間）

FACTOR A 水/セメント 比	FACTOR B セメント/木 比	FACTOR C 硬化促進剤 添加率 (%)	水和熱 最高温度 Temp-max (°C)	水和熱 最高温度 到達時間 Time-max (hr)
0.55	2.4	1.3	54.6	7.0
0.55	2.4	3.0	51.5	6.5
0.55	2.4	4.0	57.9	6.0
0.55	2.6	1.3	56.3	7.0
0.55	2.6	3.0	55.9	5.5
0.55	2.6	4.0	60.7	5.5
0.55	2.8	1.3	52.7	7.5
0.55	2.8	3.0	58.7	6.5
0.55	2.8	4.0	59.1	5.5
0.55	3.0	1.3	51.4	8.0
0.55	3.0	3.0	52.2	6.0
0.55	3.0	4.0	58.8	5.5
0.60	2.4	1.3	51.2	8.0
0.60	2.4	3.0	51.0	7.5
0.60	2.4	4.0	57.2	6.0
0.60	2.6	1.3	52.9	7.0
0.60	2.6	3.0	57.3	6.5
0.60	2.6	4.0	57.6	5.5
0.60	2.8	1.3	53.3	7.5
0.60	2.8	3.0	57.8	6.5
0.60	2.8	4.0	57.4	5.5
0.60	3.0	1.3	52.2	7.0
0.60	3.0	3.0	52.3	7.0
0.60	3.0	4.0	57.8	6.0
0.65	2.4	1.3	54.9	9.0
0.65	2.4	3.0	55.7	8.5
0.65	2.4	4.0	59.0	7.5
0.65	2.6	1.3	56.1	8.0
0.65	2.6	3.0	56.0	6.5
0.65	2.6	4.0	58.7	7.0
0.65	2.8	1.3	54.8	8.0
0.65	2.8	3.0	57.8	8.0
0.65	2.8	4.0	62.9	6.5
0.65	3.0	1.3	55.9	9.5
0.65	3.0	3.0	55.5	8.0
0.65	3.0	4.0	61.5	7.0
0.70	2.4	1.3	57.0	9.5
0.70	2.4	3.0	58.2	9.5
0.70	2.4	4.0	62.9	8.0
0.70	2.6	1.3	52.7	7.5
0.70	2.6	3.0	58.7	6.5
0.70	2.6	4.0	59.1	5.5
0.70	2.8	1.3	58.2	9.0
0.70	2.8	3.0	61.4	8.5
0.70	2.8	4.0	66.7	7.0
0.70	3.0	1.3	53.5	8.5
0.70	3.0	3.0	56.9	8.5
0.70	3.0	4.0	60.5	7.5

表5-3 水和熱測定試験の分散分析結果

Factor	Sum of square	D.F.	Mean square	F0	F-value
A	110.734	3	36.912	19.78**	(5.09)
b	53.813	3	17.938	9.61**	(5.09)
c	264.094	2	132.047	70.75**	(6.01)
A*B	52.953	9	5.884	3.15*	(2.46)
B*C	32.125	6	5.354	2.87*	(2.66)
A*C	11.828	6	1.971	1.06	(2.66)
Error	33.594	18	1.866		
Total	559.141	47			

最高温度

最高温度
到達時間

Factor	Sum of square	D.F.	Mean square	F0	F-value
A	22.682	3	7.561	53.31**	(5.09)
b	9.891	3	3.297	23.24**	(5.09)
c	22.012	2	11.006	77.60**	(6.01)
A*B	4.464	9	0.496	3.50*	(2.46)
B*C	1.155	6	0.193	1.36	(2.66)
A*C	1.114	6	0.186	1.31	(2.66)
Error	2.553	18	0.142		
Total	63.870	47			

(注) **: 危険率1%で有意

* : 危険率5%で有意

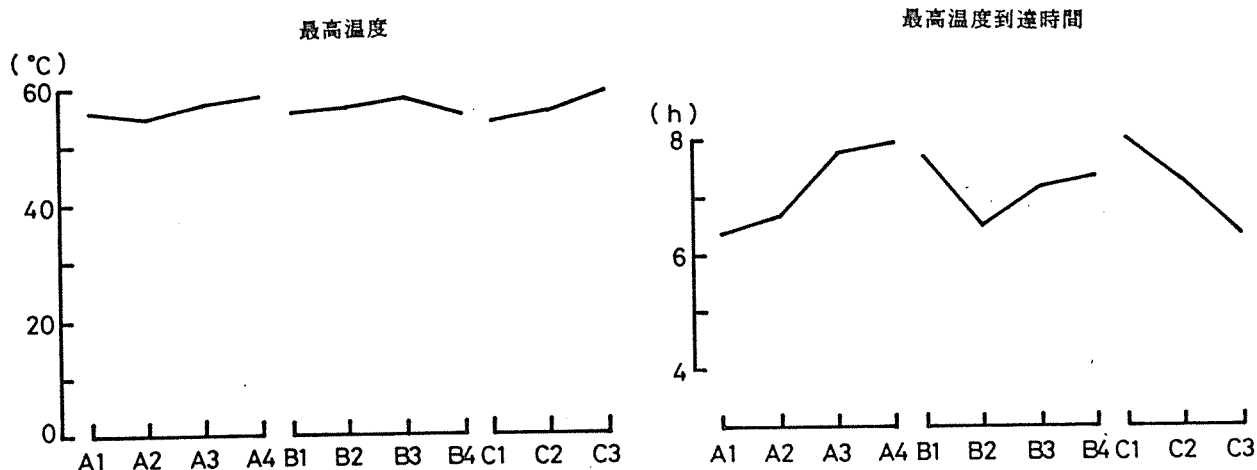


図5-4 水和熱測定試験の要因効果図

2.4 結 論

最高温度については、C. 硬化促進剤添加率が最も影響し、セメントボード製造時の養生期間の短縮から、添加率が多い方が良い。しかし、C3 (4.0%) 以上の添加率として最高温度が60℃以上となると、ボード強度に悪影響を与えることが予想される。これは、あまりにも高温で水和反応が促進されると、生成した水和物がセメント粒子のまわりに密実な皮膜を作り、水の拡散を阻害し新しい水和層の生成を妨げ絶対水和量が減少し、しかも開放的な微細構造を残しやすくその分布が不均一で密実性に欠けるため³⁾とされている。一方、硬化促進剤の添加量が増えると、コストやボードの施工に使用する釘等の錆の問題を生じるため、添加率は3%が限度である。

最高温度到達時間については、A. 水/セメント比、B. セメント/木比、C. 硬化促進剤添加率の3因子とも影響が大きく、A1 (0.55)、B2 (2.6)、C3 (4.0%) の水準が、養生期間の短縮からみると最適である。

以上の検討から、今回原料として用いた廃コンパネは、適切な製造条件を選ぶことにより、水和反応の面では、十分にセメントボード原料として使用できることを確認した。また、今後の試験では、硬化促進剤の添加率は3%が妥当と判断された。

3. 建築廃材（解体材、廃コンパネ）別のボード製造・性能試験

前節では、廃コンパネは、適切な製造条件を選ぶことにより、セメントボード原料となり得ることを確認した。しかし、廃コンパネは、合板の種類であるため、単板の繊維方向が直交されて接着されており、これを粉砕した場合に、形状の良いパーティクルにならず、ボードの強度低下が心配される。

このため、ここでは、廃コンパネの粉砕を2種類の方法で行い、得られたパーティクルから小型ボード（厚さ20mm×縦320mm×横340mm）を製造し、そのボードの性能試験をJIS規格等に依り行った。この性能試験結果から、セメントボード原料としての廃コンパネの可能性を検討した。なお、試験は解体材を粉砕したチップについても行った。

3.2 原 料

廃コンパネと解体材チップを原料とした。

廃コンパネは、前節と同じ廃棄された12mm厚ラワンコンクリート型枠用合板である。

解体材チップは、札幌市環境事業公社がパーティクルボード原料として生産している木パーティクルである。これは、解体材（柱・梁が主）をハンマークラッシャーで粉砕した後、ふるいで分級し粒度を7~40mmにそろえた木パーティクルで、樹種の割合はエゾマツ・トドマツが88%、ラワン製材・ラワン合板が12%のものである。

これらの原料から、次表に示した3種類のボード用パーティクルを製造した。このとき

用いた廃コンパネおよび粉碎装置は、前節の水和熱測定試験と同じ原料および装置である。
3種類のボード用パーティクルの粒度分布を、図5-5に示す。

表5-4 ボード用パーティクルの種類

種類	製造方法
パーティクル① (記号：PW-HH)	廃コンパネの釘、コンクリート塊は除去したのち、約5cm×10cmの角片に鋸断・水洗した角片（含水率25%前後）をハンマークラッシャー（1200rpm）で粉碎し、その後、再度ハンマークラッシャー（1200rpm）で粉碎したもの
パーティクル② (記号：PW-HP)	廃コンパネの釘、コンクリート塊は除去したのち、約5cm×10cmの角片に鋸断・水洗した角片（含水率25%前後）をハンマークラッシャー（800rpm）で粉碎し、その後、遠心リング型チップパーで粉碎したもの。
パーティクル③ (記号：LC-P)	解体材チップ（含水率25%前後）を遠心リング型チップパーで粉碎したもの。

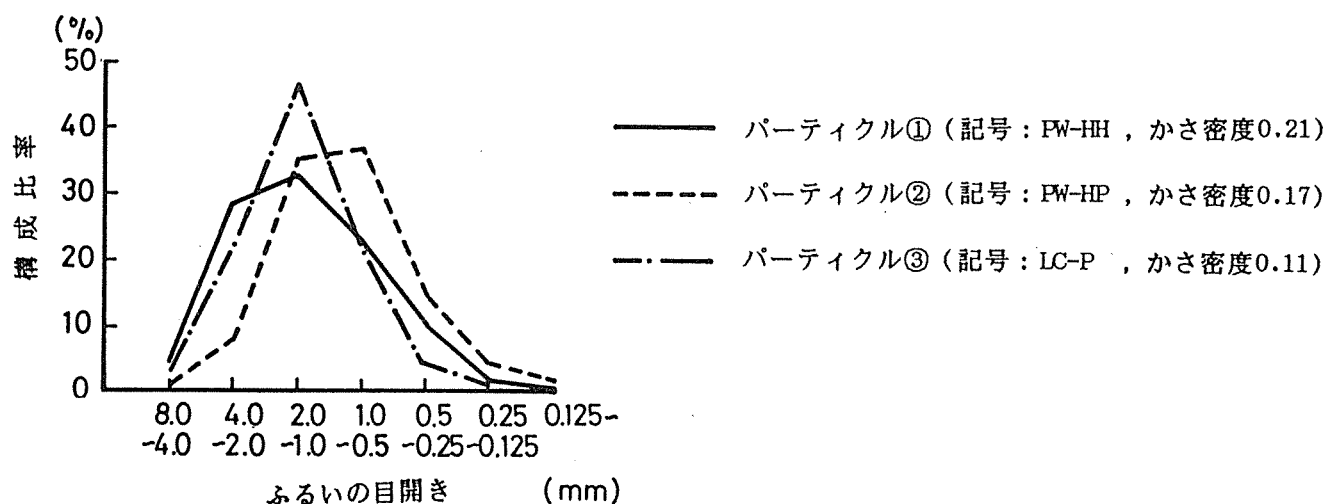


図5-5 3種類のボード用パーティクルの粒度分布

3.2 試験方法

本試験では、前節の試験結果に基づき、表5-5に示す製造条件で小型セメントボード（厚さ20mm×縦320mm×横340mm）を、3元配置法により1条件につき3枚製造した（反復数1）。

ボードの製造手順は、次のとおりである。

- ① 約70%に含水率調整したパーティクルに硬化促進剤水溶液を添加して約1.5分間混合した後、普通ポルトランドセメントを添加してさらに約1.5分間混合した。
- ② 混合物は、直ちに34cm×32cmのフォーミングボックス内に手蒔きしてマットを作り、このマットをコールドプレスで20mm厚さにプレスし、クランプ治具で固定した。この作業は1条件（ボード枚数3枚）毎に行った。
- ③ クランプしたボードを16時間常温で養生したのち脱型し、さらに20°C RH65%の恒温恒湿室内で4週間以上養生した。

表5-5 小型セメントボード製造条件

因子	水準数	水準		
A. ボード用パーティクル	3	PW-HH	PW-HP	LC-P
B. 水/セメント比	3	0.55	0.60	0.65
C. セメント/木比	3	2.4	2.6	2.8

固定因子	
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)

養生後のボードは、JIS規格（JIS A 5417「木片セメント板」、JIS A 5908「パーティクルボード」、JIS A 1321「建築物の内装材料及び工法の難燃性試験方法」）およびASTM D 1037の中から、表5-6に示した試験項目の性能試験に供した。

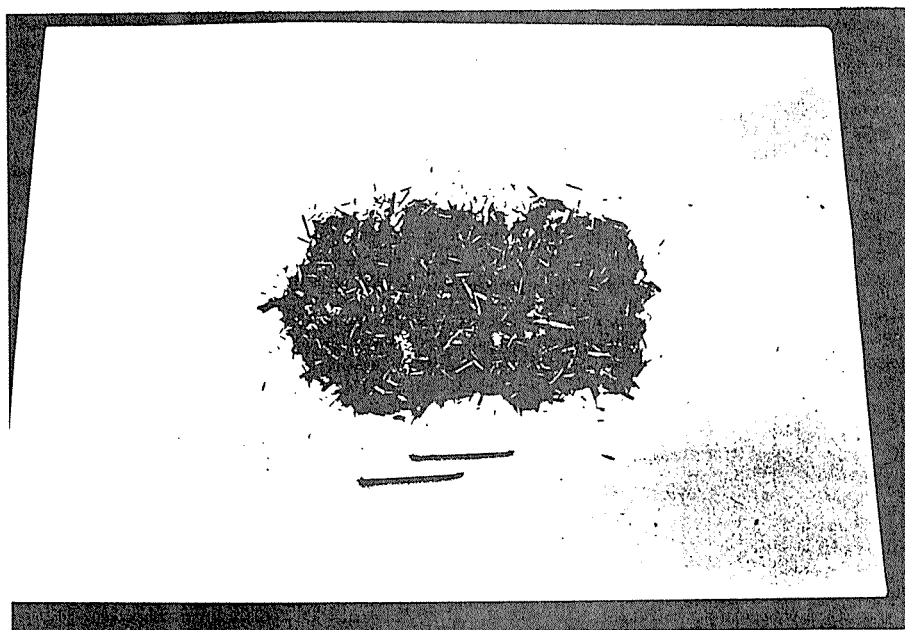
このときの試験体の木取り方法を図5-6に示す。

角片
↓
ハンマークラッシャー
↓
ハンマークラッシャー



パーティクル① (PW-HH)

角片
↓
ハンマークラッシャー
↓
遠心リング型チップパー



パーティクル② (PW-HP)

写真5-3 3種類のボード用パーティクル



チップになる前の解体材



粒度7~40mmの解体材チップ

解体材チップ
↓
遠心リング型チッパー

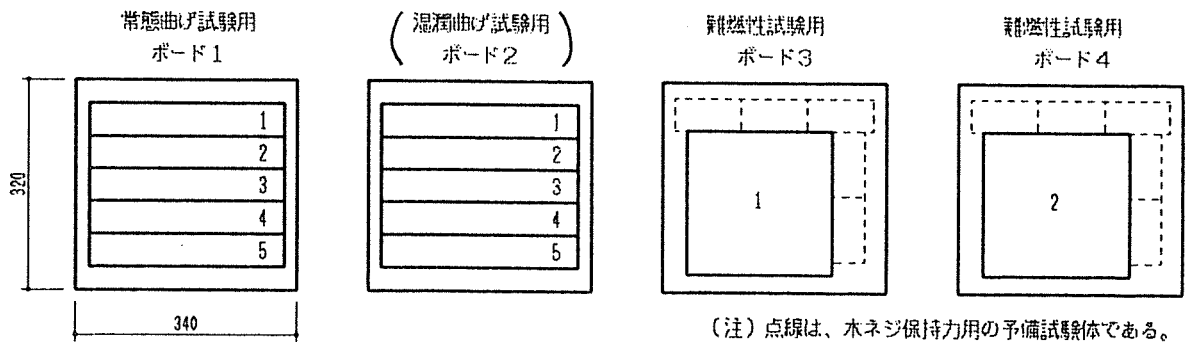


写真5-3 3種類のボード用パーティクル

表5-6 試験項目

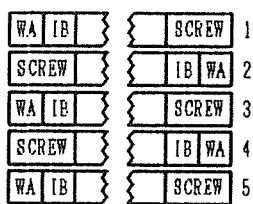
試験項目	測定内容	試験規格
吸水厚さ膨張率	吸水厚さ膨張率 吸水率	JIS A 5908
剥離強さ	剥離強さ	JIS A 5908
常態曲げ強さ	常態ヤング係数 常態曲げ強さ	JIS A 5908
木ネジ保持力	引抜抵抗 頭貫通力 側面抵抗	ASTM D 1037
難燃性 (難燃2級)	発熱指数 (Td θ) Tc 発煙係数 (Ca) 残炎時間 (s)	JIS A 5417

(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



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・剝離強さ・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
剝離強さ	: 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
難燃性	: 220mm × 220mm

木ネジ保持力試験体の詳細図

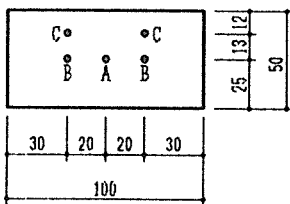


図5-6 試験体の木取り方法

3.3 試験結果

各条件で製造されたボードの性能試験結果を、表5-7に示す。表中の数値は、5個または2個の試験体の平均値であり、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枚から木取った試験体の性能値(平均値)も参考として表示した。

性能試験の分散分析結果を表5-8に示す。ここでは、試験をランダムに行わなかったことから実験誤差が大きいことを考慮し、危険率1%で有意となった因子のみを考察の対象とすることとする。

有意となった要因効果図を図5-7に示す。

表5-7 各条件で製造されたボードの性能試験結果

因子A 原 料	因子B 水/ モット 比	因子C モット /木 比	曲げ試験					クレンジングスクレイプ性能試験			燃焼試験				
			吸水率 WA (%)	吸水厚さ TS (%)	剥離強さ IB (kgf/cm ²)	常態ヤング係数 MOE1 (kgf/cm ²)	異常態曲げ強さ MOR1 (kgf/cm ²)	引抵抗 S1 (kgf/cm)	頭貫通力 S2 (kgf/cm)	側面抵抗 S3 (kgf/cm)	発熱指数 TdQ (°C·min)	発煙係数 Ca F1 (%)	F2 F3 (%)	F4 F4 (%)	残炎時間 (sec)
PW-101	0.55	2.4	16.4	1.1	11.7	33.5	73	98	151	103	95			5 : 54	15
	0.55	2.6	14.6	1.0	12.8	33.3	67	100	142	94	58			6 : 39	12
	0.55	2.8	14.7	1.0	14.7	32.9	67	104	149	91	61			6 : 51	11
	0.60	2.4	16.3	1.2	12.5	34.7	73	96	151	99	41			7 : 28	1
	0.60	2.6	14.3	1.0	14.5	35.0	71	110	160	95	18			8 : 15	2
	0.60	2.8	13.4	0.8	16.1	33.2	62	100	162	86	4			9 : 15	0
	0.65	2.4	15.3	1.0	14.4	34.3	74	106	164	98	25			7 : 40	1
	0.65	2.6	12.7	0.8	15.7	34.3	67	114	174	85	4			9 : 15	0
	0.65	2.8	13.8	0.8	16.5	34.4	59	118	176	85	2			9 : 35	0
PW-11P	0.55	2.4	15.4	1.4	9.1	33.3	79	83	161	105	90			6 : 13	11
	0.55	2.6	15.2	1.3	9.8	33.5	77	99	163	104	134			5 : 50	15
	0.55	2.8	16.3	1.2	11.2	35.5	77	97	159	94	135			5 : 41	15
	0.60	2.4	18.2	1.5	10.9	37.5	86	100	156	114	140			5 : 35	5
	0.60	2.6	17.4	1.3	11.5	38.9	83	108	161	102	94			6 : 11	3
	0.60	2.8	16.0	1.2	12.8	37.3	71	105	177	104	64			6 : 48	3
	0.65	2.4	16.0	1.3	12.3	34.4	79	105	186	116	112			5 : 52	6
	0.65	2.6	16.6	1.1	13.0	38.3	77	122	172	101	82			6 : 15	3
	0.65	2.8	15.9	1.1	13.6	36.1	70	106	178	103	45			7 : 15	0
LC-P	0.55	2.4	13.5	1.0	10.5	48.6	146	138	190	144	16			8 : 15	0
	0.55	2.6	12.5	1.0	10.8	48.4	137	128	172	146	0			>10 : 0	0
	0.55	2.8	13.8	1.0	11.3	46.4	127	122	160	140	0			>10 : 0	0
	0.60	2.4	12.2	1.0	11.9	47.4	144	124	178	169	0			>10 : 0	0
	0.60	2.6	13.4	1.0	13.0	47.7	143	126	162	149	0			>10 : 0	0
	0.60	2.8	14.7	0.9	13.0	45.8	124	127	158	141	0			>10 : 0	0
	0.65	2.4	11.8	1.0	12.5	49.6	136	137	173	159	0			>10 : 0	0
	0.65	2.6	12.1	0.8	12.7	45.5	131	131	180	142	0			>10 : 0	0
	0.65	2.8	15.6	0.9	13.2	44.7	122	132	172	145	0			>10 : 0	0
参 考 (市販品の性能値)			18.7	0.9	7.8	44.0	108	91	144	116					

表5-8 性能試験結果の分散分析

因子	ケトン/スクロース/性能試験										燃焼試験			
	吸水率 WA (%)	吸水厚さ 膨張率 TS (%)	剥離強さ IB (kgf/cm ²)	常態曲げ ヤング係数 MOE1 (kgf/cm ²)	常態曲げ ヤング係数 MOE2 (kgf/cm ²)	引張強度 S1 (kgf/cm ²)	引張強度 S2 (kgf/cm ²)	引張強度 S3 (kgf/cm ²)	側面抵抗 抵抗 Ca F1	側面抵抗 抵抗 Cb F2	側面抵抗 抵抗 Cc F3	側面抵抗 抵抗 Cd F4	発熱指数 Tc (°C·min)	発熱係数 Tc (m ²)
A	**	**	**	**	**	**	*	**	**	-	-	**	-	-
B		**	**	**	**	**	**		*	-	-	*	-	**
C		**	**	**	**			**		-	-	-	-	-
A×B			*							-	-	-	-	**
B×C		*								-	-	-	-	-
C×A	*	*	**							-	-	-	-	-

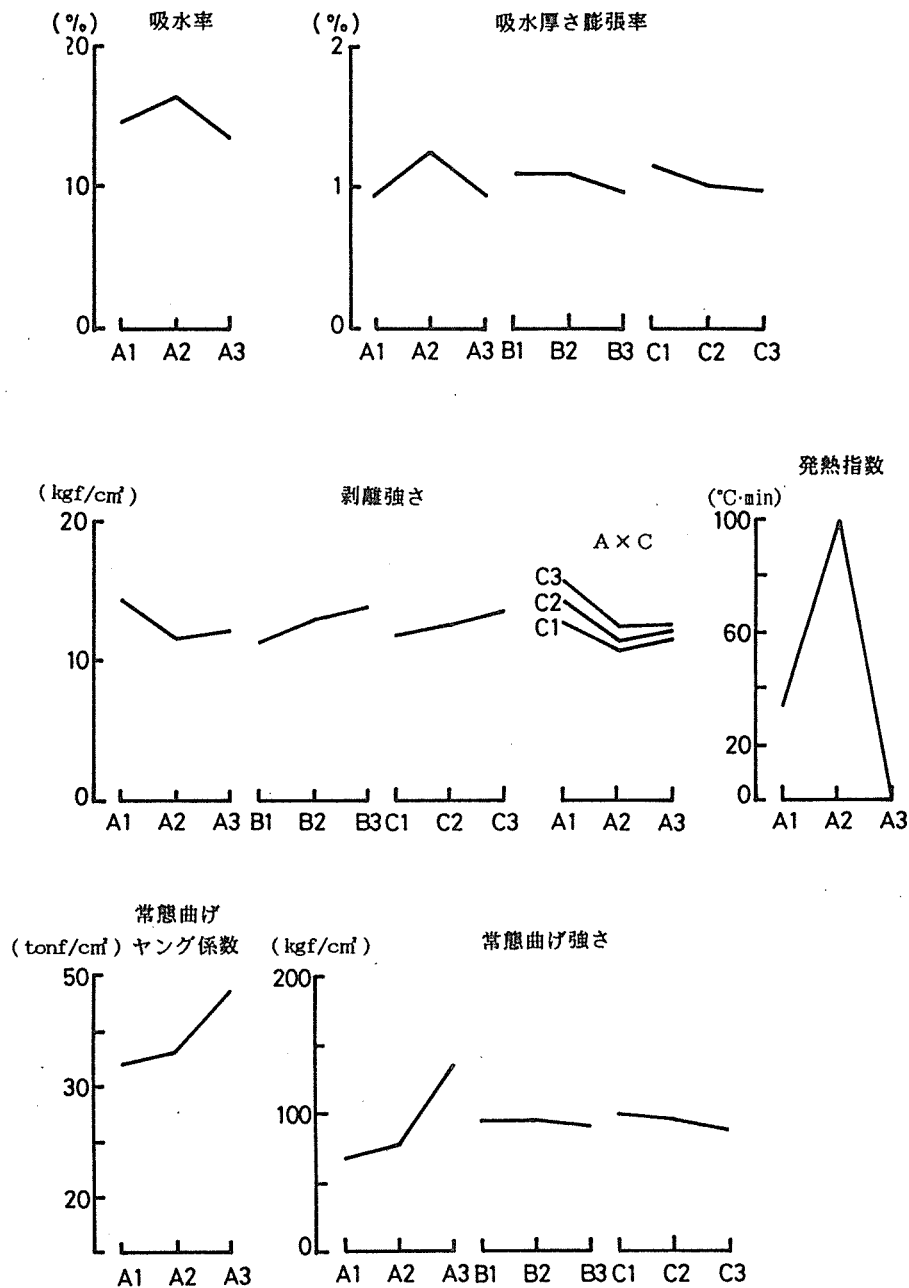


図5-7 性能試験結果の要因効果図

3.4 結 論

難燃性については、A. ボード用パーティクルの種類が最も影響し、A2 (PW-HP) では難燃2級の基準に不合格となる結果となっている。

吸水時の寸法安定性については、おおよそ、A3 (LC-P)、B1 (0.55)、C3 (2.8) の組み合わせが良いようである。

強度性能については、A. ボード用パーティクルの種類が最も影響し、A1 (PW-HH) とA2 (PW-HP) では市販ボードの強度値を下まわりるが、A3 (LC-P) では上まわっている。

以上の検討から、廃コンパネのみをセメントボード原料とすることは、難燃性能および強度性能の面から無理があり、解体材チップと廃コンパネを混合したものを原料とすることが現実的であることが分かった。

4. 解体材と廃コンパネを混合した場合のボード製造・性能試験

前節では、廃コンパネのみをセメントボード原料とすることは、難燃性能および強度性能の面から無理があり、解体材チップと廃コンパネを混合したものを原料とすることが現実的である、という結論を得た。このため、前節と同様のボードの製造・性能試験を、解体材チップを主体に廃コンパネを添加していった場合について行った。

この試験結果から、建築廃材から耐火野地板用セメントボードの適正製造条件について検討した。

4.1 原 料

廃コンパネからのボード用パーティクルは、ボードの強度性能を重視して、前節でのパーティクル② (記号:PW-HP) とし、解体材チップ (エゾマツ・トドマツ: 84.5%、ラワン製材・ラワン合板: 15.5%) からのボード用パーティクルは、前節と同じパーティクル③ (記号:LC-P) である。今回の試験に供した2種類のボード用パーティクルを次表に示す。

2種類のボード用パーティクルの粒度分布を、図5-8に示す。

4.2 試験方法

本試験では、前節と同様に、表5-10に示す製造条件で小型セメントボード (厚さ20mm×縦320mm×横340mm) を、3元配置法により1条件につき4枚製造した (反復数1)。

各条件で製造されたボードの性能試験も前節と同じ試験項目・方法で行った。

表5-9 ボード用パーティクルの種類

種類	製造方法
パーティクル② (記号: PW-HP)	廃コンパネの釘、コンクリート塊は除去したのち、約5cm×10cmの角片に鋸断・水洗した角片(含水率25%前後)をハンマークラッシャー(800rpm)で粉碎し、その後、遠心リング型チップで粉碎したものを。
パーティクル③ (記号: LC-P)	解体材チップ(含水率35%前後)を遠心リング型チップで粉碎したものを。

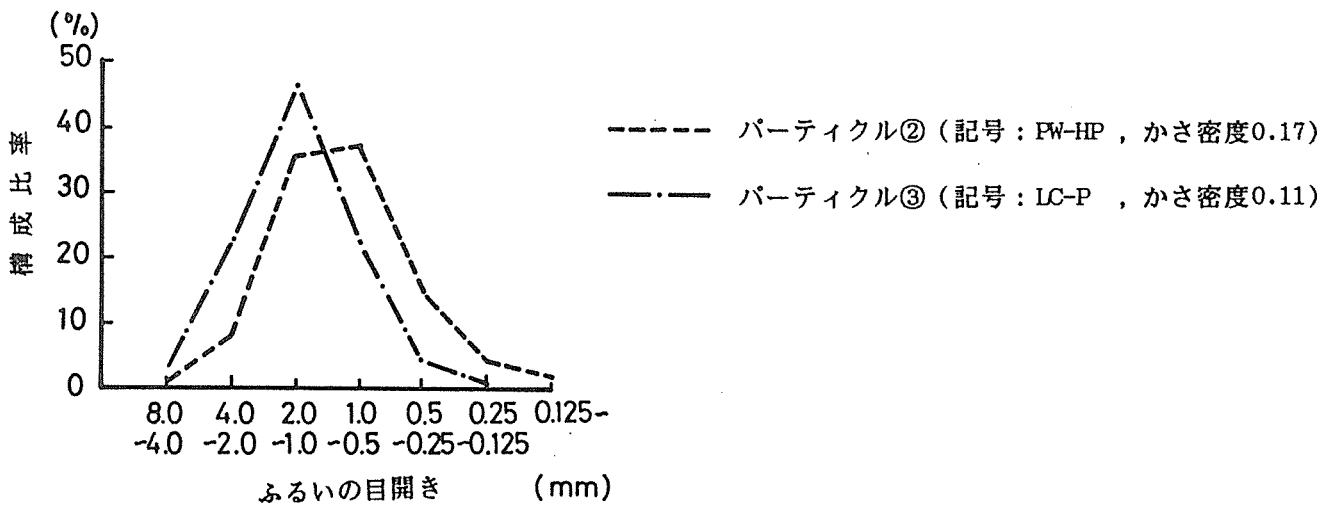


図5-8 2種類のボード用パーティクルの粒度分布

表5-10 小型セメントボード製造条件

因 子	水準数	水 準				
		100:0	90:10	80:20	70:30	60:40
A. 解体材と廃コンパネ の混合率(%)	5	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40
B. 水/セメント比	2	0.60	0.65			
C. セメント/木比	3	2.4	2.6	2.8		
固定因子						
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5-11 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
木ネジ保持力	引抜抵抗 頭貫通力 側面抵抗	ASTM D 1037
難燃性 (難燃2級)	発熱指数 (Tdθ) Tc 発煙係数 (Ca) 残炎時間 (s)	JIS A 5417
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 に準拠

(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→曲げ試験

4.3 試験結果

各条件で製造されたボードの性能試験結果を、表5-12に示す。表中の数値は、数個の試験体の平均値であり、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、表5-7でも示した3社の市販耐火野地板の性能値(平均値)も、参考として表示した。

性能試験結果の分散分析を表5-13に示す。ここでは、試験をランダムに行わなかったことから実験誤差が大きいことを考慮し、危険率1%で有意となった因子のみを考察の対象とすることとする。

有意となった要因効果図を図5-9に示す。

表5-12 各条件で製造されたボードの性能試験結果

因子A 解体剤と 磨粉の 混合率 (%)	因子B 水/ セメント の 比率	因子C セメント/ 木 粉 の 比率	曲げ試験											タッピングスクリュー性能試験			燃焼試験			
			吸水率 WA (%)	吸水厚さ TS (mm)	吸水長さ LS (mm)	剥離強さ IB (kgf/cm)	常態ヤング係数 MOE1 (tf/cm ²)	異常態ヤング係数 MOR1 (kgf/cm ²)	常態弾性係数 MOE2 (tf/cm ²)	異常態弾性係数 MOR2 (kgf/cm ²)	MOE1 /MOE2	MOR1 /MOR2	引抵抗 S1 (kgf/cm)	抜抵抗 S2 (kgf/cm)	貫通抵抗 S3 (kgf/cm)	発熱指数 Tdθ (°C·min)	炭化係数 Ca (mm)	Tc (sec)	残炎時間 F4 (sec)	
0	0.60	2.4	11.7	0.82	0.151	12.8	45.2	131	37.8	85	0.84	0.71	119	177	141	8	0	8:50	3	
0	0.60	2.6	11.5	0.67	0.148	13.0	45.9	117	37.9	85	0.83	0.72	115	158	128	0	0	>10:	0	
0	0.60	2.8	13.7	0.55	0.154	13.1	44.2	112	34.3	78	0.78	0.69	111	159	116	52	0	4:30	0	
0	0.65	2.4	11.5	0.60	0.148	14.0	44.7	130	36.0	91	0.81	0.69	122	152	135	0	0	>10:	0	
0	0.65	2.6	13.2	0.67	0.161	13.6	42.2	120	34.0	75	0.81	0.63	111	158	127	0	4	>10:	0	
0	0.65	2.8	13.8	0.61	0.169	13.9	40.5	107	32.8	71	0.81	0.67	110	148	120	0	3	>10:	0	
10	0.60	2.4	11.8	0.62	0.141	13.0	45.0	120	37.2	89	0.83	0.74	119	160	125	5	4	9:20	0	
10	0.60	2.6	12.3	0.55	0.139	12.9	45.1	119	37.7	83	0.84	0.70	116	161	117	0	4	>10:	0	
10	0.60	2.8	12.7	0.55	0.149	13.6	44.2	109	34.5	75	0.78	0.69	115	152	113	0	3	>10:	0	
10	0.65	2.4	11.7	0.61	0.150	14.3	43.9	127	34.5	90	0.79	0.71	119	161	130	0	3	>10:	0	
10	0.65	2.6	12.0	0.64	0.161	14.4	42.3	115	33.2	82	0.78	0.71	118	151	121	0	3	>10:	0	
10	0.65	2.8	13.4	0.62	0.174	13.7	41.1	103	24.8	56	0.60	0.54	117	155	117	0	4	>10:	0	
20	0.60	2.4	12.4	0.76	0.162	12.2	41.4	106	32.3	77	0.78	0.72	115	161	120	6	3	8:39	2	
20	0.60	2.6	13.0	0.79	0.157	12.4	42.5	109	31.8	74	0.75	0.67	106	142	117	0	3	>10:	0	
20	0.60	2.8	12.6	0.64	0.160	12.8	40.0	98	31.1	70	0.78	0.72	109	138	118	0	3	>10:	0	
20	0.65	2.4	12.3	0.71	0.150	13.8	43.7	120	32.6	77	0.75	0.64	121	161	134	0	3	>10:	0	
20	0.65	2.6	12.7	0.64	0.157	13.8	41.6	106	30.7	66	0.74	0.62	115	162	125	0	3	>10:	0	
20	0.65	2.8	13.3	0.60	0.159	12.9	41.1	97	29.6	62	0.72	0.64	115	146	114	0	3	>10:	0	
30	0.60	2.4	11.3	0.78	0.141	12.8	43.0	114	31.4	78	0.73	0.69	102	146	121	0	4	>10:	0	
30	0.60	2.6	12.4	0.70	0.150	12.6	41.3	101	30.6	67	0.74	0.66	108	138	111	0	3	>10:	0	
30	0.60	2.8	12.9	0.67	0.168	12.6	40.4	91	29.5	59	0.73	0.65	106	145	117	0	3	>10:	0	
30	0.65	2.4	12.6	0.84	0.160	14.0	41.9	109	31.0	73	0.74	0.67	119	165	123	0	3	>10:	0	
30	0.65	2.6	11.9	0.71	0.159	12.8	40.3	98	31.7	69	0.79	0.70	114	161	117	0	3	>10:	0	
30	0.65	2.8	13.4	0.73	0.168	11.7	39.2	95	28.7	58	0.73	0.62	104	141	107	0	3	>10:	0	
40	0.60	2.4	11.8	0.71	0.138	12.4	41.5	105	31.1	72	0.75	0.69	110	155	116	1	3	9:46	0	
40	0.60	2.6	13.2	0.78	0.143	12.7	40.5	95	29.5	62	0.73	0.66	102	140	104	0	3	>10:	0	
40	0.60	2.8	13.4	0.68	0.154	11.9	39.5	91	29.2	56	0.74	0.61	103	136	103	0	3	>10:	0	
40	0.65	2.4	12.7	0.74	0.150	13.1	41.5	104	30.4	70	0.73	0.68	110	154	113	0	3	>10:	0	
40	0.65	2.6	13.9	0.82	0.164	12.3	39.7	94	29.2	62	0.74	0.66	111	152	106	0	3	>10:	0	
40	0.65	2.8	14.2	0.63	0.171	12.3	38.2	84	29.4	53	0.77	0.63	106	148	106	0	3	>10:	0	
参考 (市販品の性能値)			18.7	0.91		7.8	44.0	108					91	144	116					

表5-13 性能試験結果の分散分析

因子	曲げ試験											タッピングスクリュー性能試験			燃焼試験			
	吸水率 WA (%)	吸水厚さ TS (mm)	吸水長さ LS (mm)	剥離強さ IB (kgf/cm)	常態ヤング係数 MOE1 (tf/cm ²)	異常態ヤング係数 MOR1 (kgf/cm ²)	常態弾性係数 MOE2 (tf/cm ²)	異常態弾性係数 MOR2 (kgf/cm ²)	MOE1 /MOE2	MOR1 /MOR2	引抵抗 S1 (kgf/cm)	抜抵抗 S2 (kgf/cm)	貫通抵抗 S3 (kgf/cm)	発熱指数 Tdθ (°C·min)	炭化係数 Ca (mm)	Tc (sec)	残炎時間 F4 (sec)	
A	*	**	**	**	**	**	**	*	*	**	**	**	—	—	—	—		
B		**	**	**	**	**	*		*	*	*	*	—	—	—	—		
C	**	*	**	**	**	**	**	*	*	*	*	**	—	—	—	—		
A×B		*		**	**	*	*		*	*	*	*	—	—	—	—		
B×C			*	*	*	*	*		*	*	*	*	—	—	—	—		
C×A				*	*	*	*		*	*	*	*	—	—	—	—		

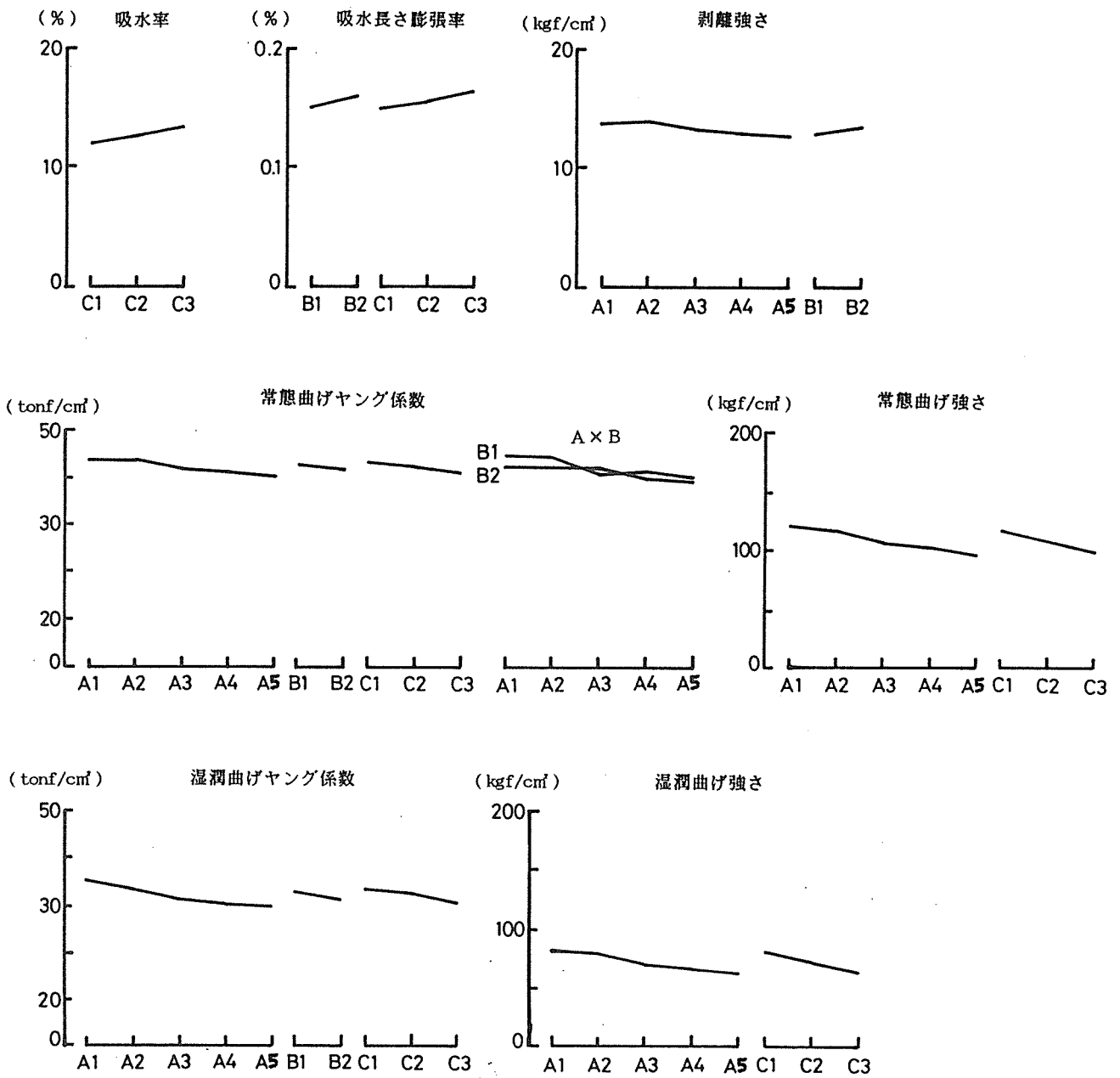


図5-9 性能試験結果の要因効果図

4.4 結 論

難燃性については、全ての試験片がJIS難燃2級の基準値を満足している（発熱指数：100以下、発煙係数：60以下、Tc：3分以上、残煙時間：30秒以上）。

吸水時の寸法安定性については、A．解体材と廃コンパネの混合率には無関係で、B1（0.60）、C1（2.4）の組み合わせが良いようである。

強度性能については、3因子の全てが影響している。A．解体材と廃コンパネの混合率は、廃コンパネ率が増すほど強度低下を招き、市販ボードとの比較から、廃コンパネ率はおおよそ30%を限度とすべきである。B．水／セメント比は、今回の水準ではあまり差が出ないことが分かった。C．セメント／木比は、C1（2.4）が良い。

以上のことを総合的に判断すると、建築廃材（解体材、廃コンパネ）からの耐火野地板用セメントボードの適正製造条件は、次表のとおりである。

表5-14 建築廃材からの耐火野地板用セメントボード
の適正製造条件

因 子	水 準
A．解体材と廃コンパネの混合率	100：0～70：30
B．水／セメント比	0.60
C．セメント／木比	2.4

5 おわりに

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、セメント効果促進剤（塩化マグネシウム）を3%程度添加すれば、セメントの効果不良の心配は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、強度性能および難燃性能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。

参考文献

- 1) 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) 木材利用の化学：pp175-188
- 3) 波岡保夫ほか3名：木質セメントボードの製造に関する研究，北林産試研報，No.65,
pp88-142 (1976)

第6章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能 (I)

1. はじめに

地球環境問題やゴミ問題が世界的に大きな話題となっている。リサイクルと言う点ではこれまで木材工業は優等生であったが、近年建築解体現場や物流拠点などから出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。ゴミになれば埋立か焼却処分されるが、これはいろいろな環境問題を引き起こしている。特に焼却された場合にはCO₂が発生し、地球温暖化の一因となる。このような古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木質資源を無駄にしないための技術開発が重要な課題となっている。ここでは、木質残廃材のカスケード型利用の1つとして炭化処理を取り上げ、炭化と炭化物の吸着性能を次の2つについて検討した。

- (1) プレカット工場から排出されたスギ、ヒノキの残廃材を炭化し、この炭化物（一次炭）の吸着性能を高めるために水蒸気賦活法で賦活した（賦活活性炭）。そして、これらの吸着性能を市販の活性炭と比較した（実験1）。
- (2) コンパネ廃材チップを炭化し、炭化物の吸着性能に及ぼすいくつかの因子について調べた（実験2）。

2. 実験方法

2.1 供試材

実験1：供試材はプレカット工場から排出されたスギとヒノキの残廃材である。炭化供した試験片の大きさは50×50×50mm（気乾材）である。

実験2：供試材はコンクリートパネル廃材チップである。チップの大きさによって製紙用チップ（チップ用チップ）、ボード用チップ、燃料用チップ、肥料用チップに分けられる。このチップにはアガチス、メランテイ、エソマツ、トガサワラ、アカマツ（クロマツ）、スギなどの樹種が含まれていた。

2.2 炭化試験

炭化には木材乾溜装置（内容積18リットル）を用いた（図6-1）。所定の条件で炭化した後、約一日自然放冷して出炭した。実験1、実験2の炭化条件は次の通りである。

実験1：温度400°C、炭化時間2時間

実験 2 : 温度 400°C、炭化時間 1時間・2時間・4時間

写真 6-1 に 400°C、2 時間で炭化したコンパネ廃材チップ炭化物を、表 6-1 に炭化した各チップの大きさとその構成割合を示す。

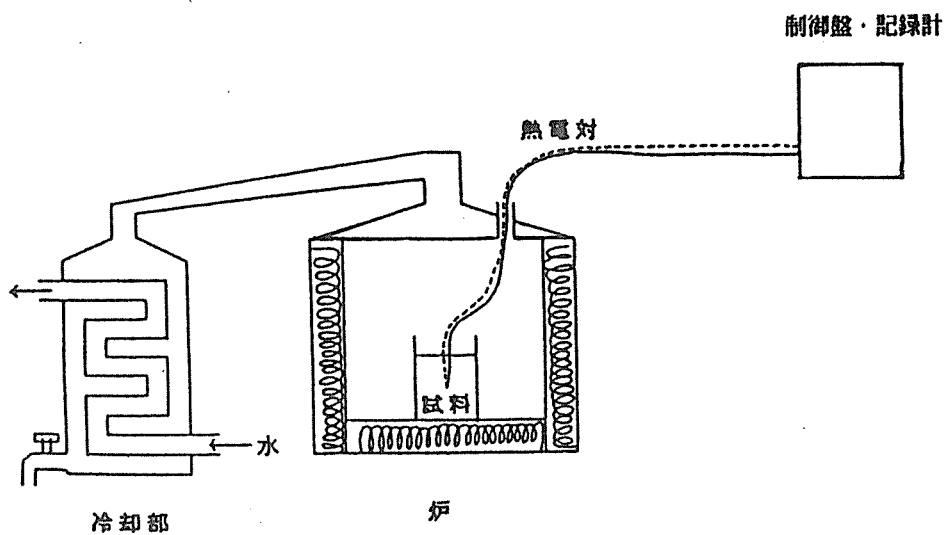


図 6-1 木材乾溜装置の模式図

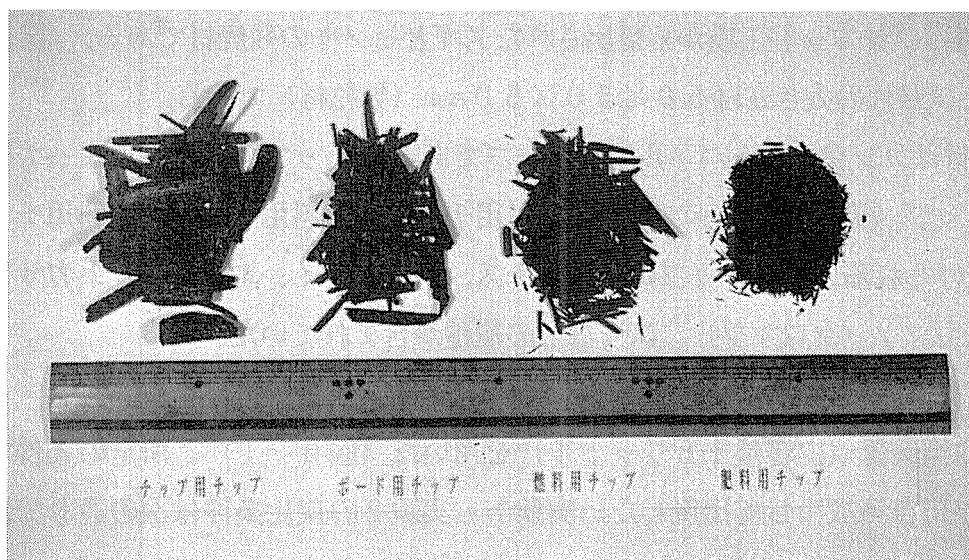


写真 6-1 炭化したコンパネ廃材チップ

表 6-1 炭化コンパネ廃材チップの寸法

		長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	含有率 (%)
チップ用	大	40.8	5.3	3.8	70
	中	26.0	3.3	2.3	20
	小	8.2	0.2	0.2	10
ボード用	大	43.3	3.3	2.2	50
	中	26.3	2.3	1.7	20
	小	10.0	0.2	0.2	30
燃料用	大	-	-	-	0
	中	29.0	2.5	2.2	60
	小	5.5	0.2	0.2	40
肥料用	大	-	-	-	0
	中	-	-	-	0
	小	4.4	0.2	0.1	100

2.3 収率：炭化物の収率は次式で計算した。

$$\text{収率 (\%)} = \{ \text{炭化物の質量 (乾燥状態)} / \text{試料質量 (気乾状態)} \} \times 100$$

2.4 賦活実験 (実験1)

2.4.1 賦活装置：賦活法にはいろいろな方法があるが、ここでは水蒸気賦活法を行った。賦活装置の概要を図6-2に示す。装置は水蒸気供給用の三角フラスコ、電気炉、賦活管、試料容器、流量計、アスピレーター、温度調節器、記録計より成っている。賦活管は長さ約70cm、外径約3.3cmの石英ガラス製である。試料容器は外径2.2cm、内径1.9cm、長さ約18cmの金属製で、両端には30メッシュ程度のスチール網の蓋が付いている。三角フラスコはガラス管によって賦活管、流量計を通過してアスピレーターに連結している。三角フラスコで発生した水蒸気はアスピレーターによって強制流動させられる。水蒸気の流量は賦活中は一定になるようにアスピレーターで調節する。賦活温度は賦活管中央部の温度である。

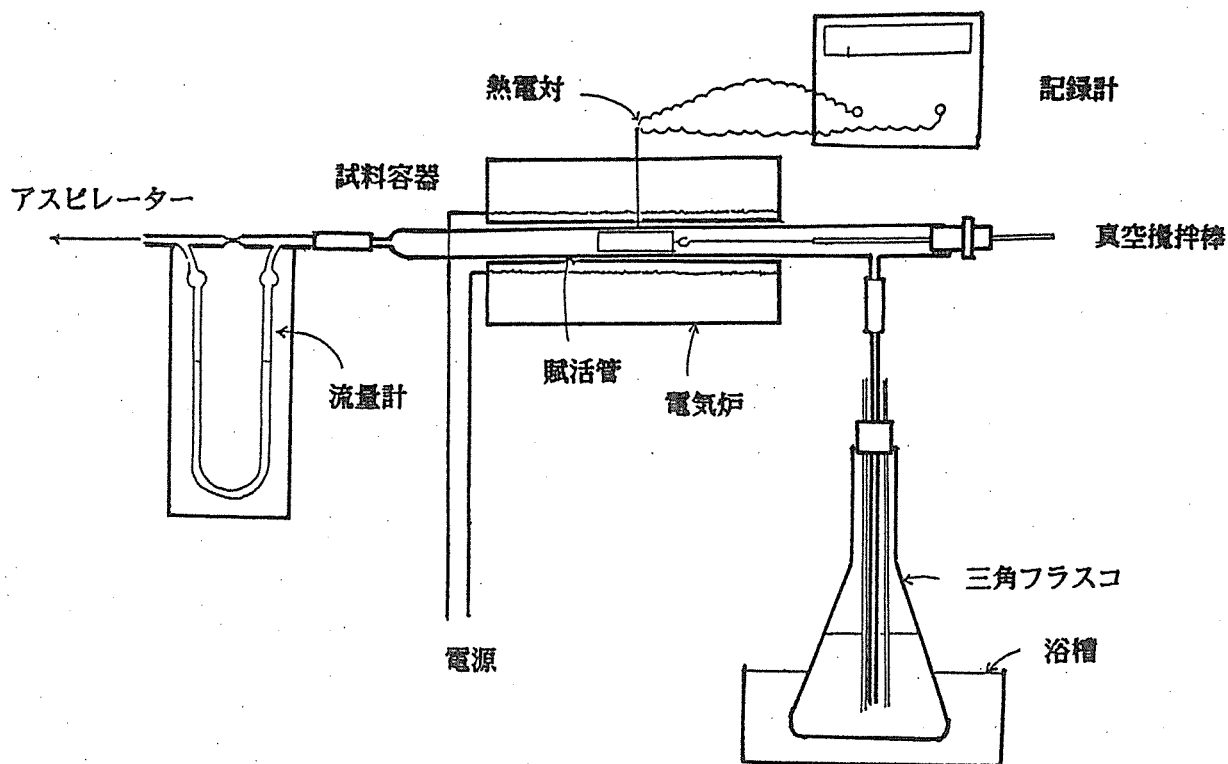


図 6-2 水蒸気賦活装置の模式図

2.4.2 賦活方法

試料容器に全乾状態の試料 5 g を入れ、蓋をして秤量する。浴槽を約 70°C に加熱して三角フラスコ内に水蒸気を発生させる。電気炉の温度を所定の温度に設定し、水蒸気の流量 (330~440 ml/分) をアスピレーターで調節する。賦活管の温度が上昇を始めたら試料の賦活を均一にするために真空攪拌棒を適宜回転させ、所定の温度で一定時間賦活する。賦活後電気炉の温度が約 60°C に下がったら試料容器を取り出し、 $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ で一定時間乾燥し秤量して収率を求める。

2.4.3 賦活条件

賦活は温度 $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 、時間 15~60 分の間の 11 の条件で行った。 500°C 以上の温度でも賦活を試みたが、装置の関係上か、うまく行かなかった。

2.4.4 吸着性能試験

実験 1：ヨウ素吸着性能を日本工業規格・活性炭試験方法（JIS K-1474）に準じて測定した。

実験 2：日本工業規格・活性炭試験方法（JIS K-1474）で使用するメチレンブルー溶液を 50 倍に希釈し、この溶液を原液として炭化物の吸着性能を浸漬法とろ過法で調べた。

(1) 浸漬法：100 ml の原液にガーゼに包んだ 5 g の試料を浸漬し、一定時間ごとに溶液の濃度を分光光度計（波長 665 nm）で測定した。

(2) ろ過法：ガーゼに包んだ 5 g の試料を濾紙をつけたロートの上に置き、100 ml の原液を流し、ろ過する。この操作を所定の回数行い、ろ液の濃度を分光光度計（波長 665 nm）で測定した。

浸漬法及びろ過法による原液濃度の変化は吸光度比として次式で表した。

$$\text{吸光度比 (\%)} = \frac{\text{各測定時間における吸光度}}{\text{原液の吸光度}} \times 100$$

原液（吸光度比：100%）の色と各吸光度比の溶液の色調の様子を写真 6-2 に示す。

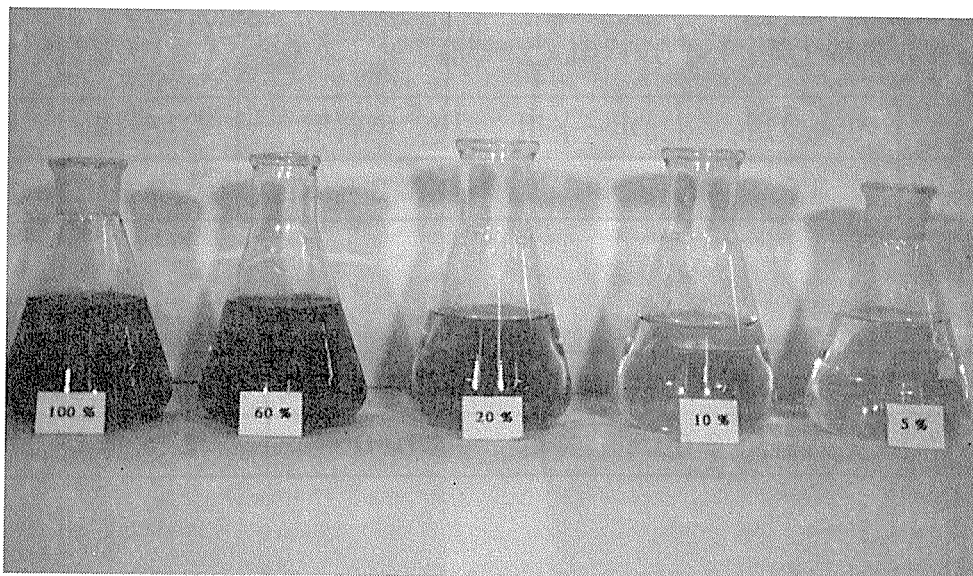


写真 6-2 メチレンブルー溶液の吸光度比と色調

2.4.4-1 吸着試験用試料

スギ、ヒノキの一次炭及び水蒸気賦活活性炭はメノウ乳鉢で粉碎した後、80メッシュのふるいを通したものを試料とした。コンパネ廃材チップ炭化物はそのまま試料とした。また、ボード用チップ炭化物についてはその一部をメノウ乳鉢で粉碎した後、20、40及び80メッシュのふるいを通すものを試料とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 試料の収率

表6-2に一次炭の収率を示す。スギ、ヒノキの収率は約36%、コンパネ廃材チップの収率は30~34%であった。

表6-2 供試材料の収率

(1) スギ、ヒノキの収率 (炭化：400°C、2時間)

	スギ	ヒノキ
収率 (%)	37.0	35.5

(2) 各チップの収率 (炭化：400°C、2時間)

	チップ用	ボード用	燃料用	肥料用
収率 (%)	30.9	30.0	30.7	34.4

(3) 製造条件と収率

	400°C、1時間	400°C、2時間	400°C、4時間
収率 (%)	30.5	30.0	29.8

図 6-3 に収率と水蒸気賦活時間との関係の一例を、図 6-4 に収率と水蒸気賦活温度との関係の一例を示す。図から見られるように、賦活時間が長くなるほど、また賦活温度が高くなるほど収率は低下する傾向にある。

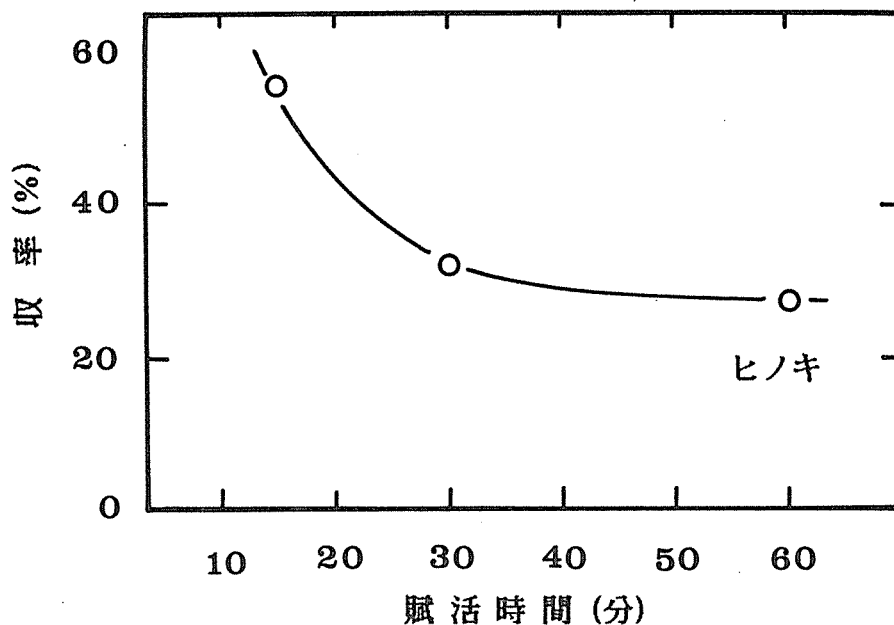


図 6-3 収率と賦活時間との関係
(賦活温度：300°C)

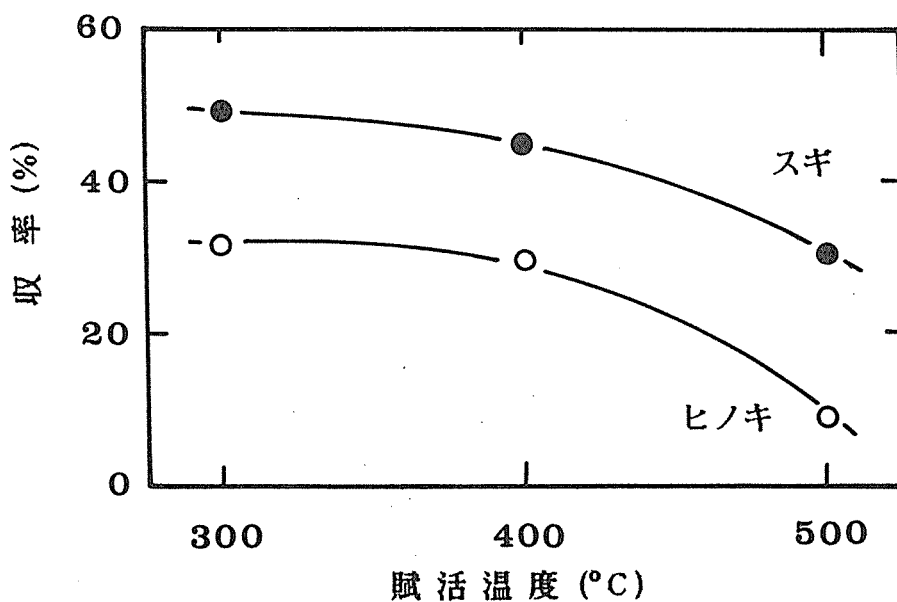


図 6-4 収率と賦活温度との関係
(賦活時間：30分)

3.2 賦活条件と吸着性能

図6-5にヨウ素吸着性能と賦活温度との関係の一例を示す。賦活温度が高くなる程収率は低下するが(図6-4参照)、吸着性能は向上する。

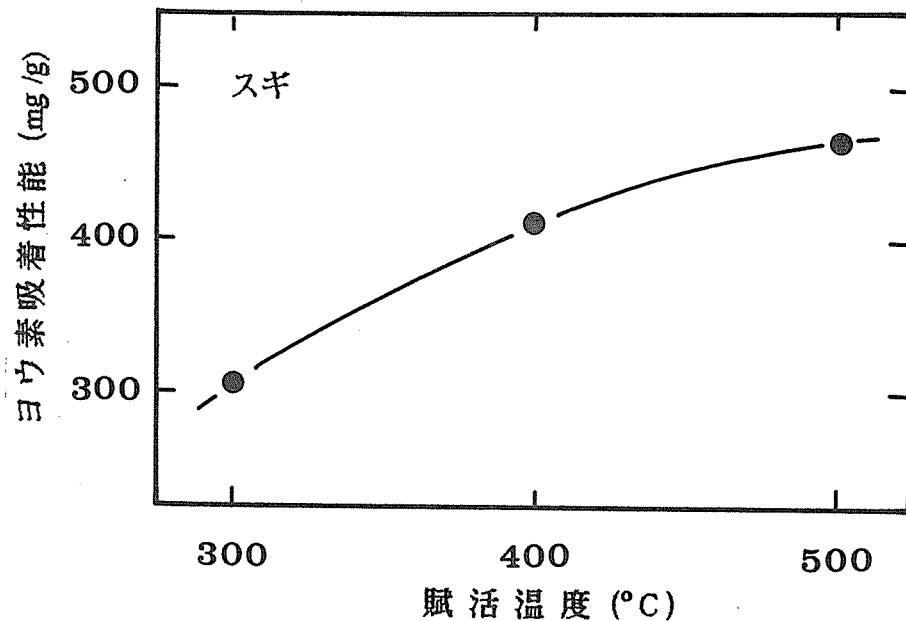


図6-5 ヨウ素吸着性能と賦活温度との関係
(賦活時間：30分)

3.3 水蒸気賦活条件とヨウ素吸着性能

賦活温度300°C~500°C、賦活時間15分~30分の賦活条件下では、スギでは500°C、15~30分、ヒノキでは500°C、15分の場合がヨウ素吸着性能は最も優れていた。

表6-3にスギ、ヒノキの一次炭、スギ、ヒノキの水蒸気賦活活性炭、市販活性炭のヨウ素吸着性能の結果を示す。

表6-3 一次炭、水蒸気賦活活性炭及び市販活性炭のヨウ素吸着性能

試料		ヨウ素吸着性能 (mg/g)
一次炭	スギ	220
	ヒノキ	273
水蒸気賦活活性炭	スギ	465
	ヒノキ	469
市販活性炭		814

表6-3から見られるように、水蒸気賦活活性炭は一次炭の約2倍、市販活性炭は水蒸気賦活活性炭の約2倍（一次炭の約4倍）のヨウ素吸着性能を示した。

3.4 原料単位重量当りの吸着性能

炭化物を製造する場合、一般に炭化温度が高いほど吸着性能はよくなるが、収率は低下する。一次炭を賦活すれば吸着性能は更によくなるが、収率（原料に対する）は更に低下する。吸着性能の点からだけみれば、炭化温度を高くし、場合によっては賦活処理を行う必要がある。しかし、炭化温度を高くしたり、賦活処理にはいろいろなリスクを伴う。そこで、原料単位重量当りのヨウ素吸着性能を求めた。その結果スギでは温度500°C、時間15分の賦活では一次炭より高いヨウ素吸着性能を示したが、ヒノキの場合は一次炭の方が水蒸気賦活活性炭より高いヨウ素吸着性能を示す結果となった。

3.5 浸漬法によるメチレンブルー溶液濃度の経時変化

図6-6に試料の種類によるメチレンブルー溶液濃度の経時変化を温度別に示す。縦軸は吸光度比、横軸は時間である。スギ、ヒノキおよびコンパネ廃材炭化物（ボード用）は80メッシュのふるいを通過した試料である。市販活性炭は150メッシュのふるいを通過する試料であった。図から見られ様に、コンパネ廃材炭化物はスギ、ヒノキの炭化物よりも溶液濃度の低下が少なく、吸着性能が劣っていた。これはコンパネ廃材にはいくつかの樹種が含まれてことと、いわゆるコンクリートなどの異物が混入しているためと思われる。スギとヒノキでは吸着性能に大きな違いは見られない。市販活性炭は3時間で吸着能力がすでに飽和に達し、溶液濃度の変化見られない。いずれの試料においても、溶液の温度が高くなるほど初期（3時間）の溶液濃度は低くなる傾向にある。溶液濃度の経時変化に対する温度の影響はコンパネ廃材炭化物において顕著であった。

図6-7にコンパネ廃材チップの大きさの違いによる結果を示す。図から見られるように、チップが小さいものほど、溶液濃度の低下割合が大きい。いずれのチップにおいても、温度が高くなるほど初期（3時間）及び48時間後の溶液濃度は低くなっている。また、いずれのチップでも、24時間以降は溶液濃度の変化はほとんど見られなかった。

メチレンブルー溶液濃度の経時変化に及ぼす試料の粒度（20～80メッシュ）や炭化時間（1～4時間）の影響は明かではなかった。

3.6 ろ過法によるメチレンブルー溶液濃度の変化

図6-8に試料の種類によるメチレンブルー溶液濃度の変化とろ過回数との関係を示す。

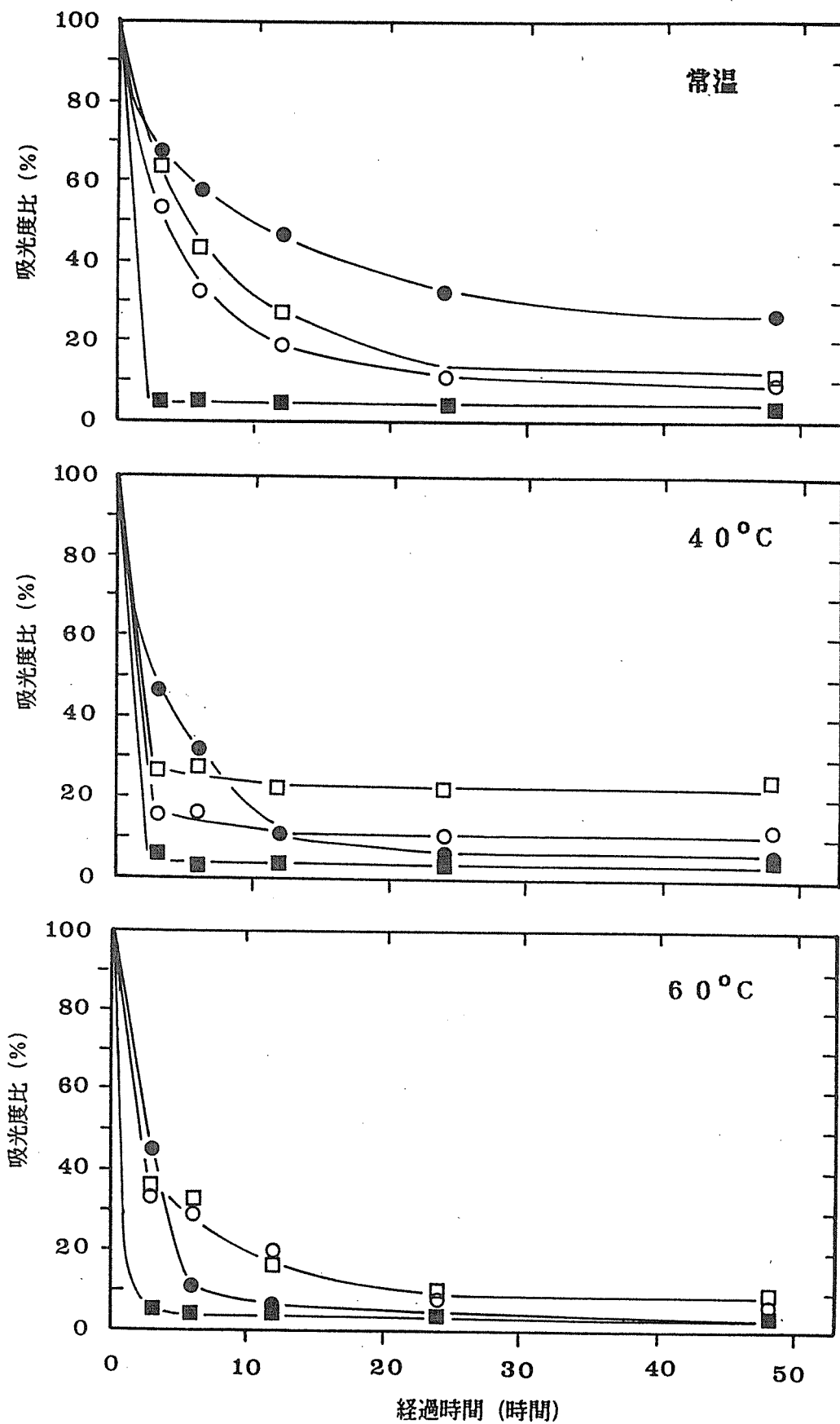


図6-6 試料の種類による吸光度比の経時変化 (浸漬法)

□:スギ ○:ヒノキ ●:コンパネ廃材 (ボード用) ■:市販活性炭

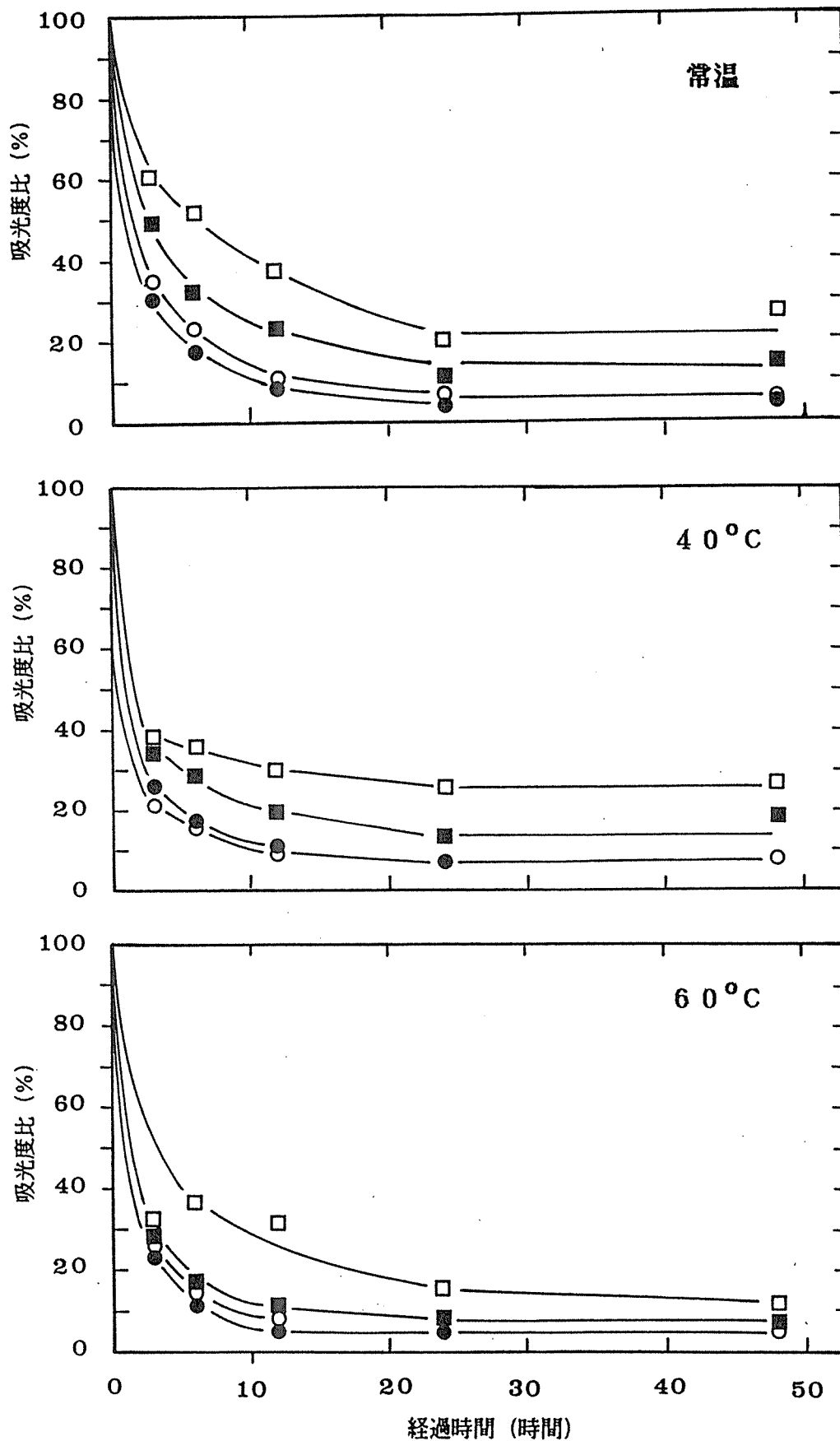


図6-7 チップの大きさによる吸光度比の経時変化 (浸漬法)

□: チップ用 ■: ボード用 ○: 燃料用 ●: 肥料用

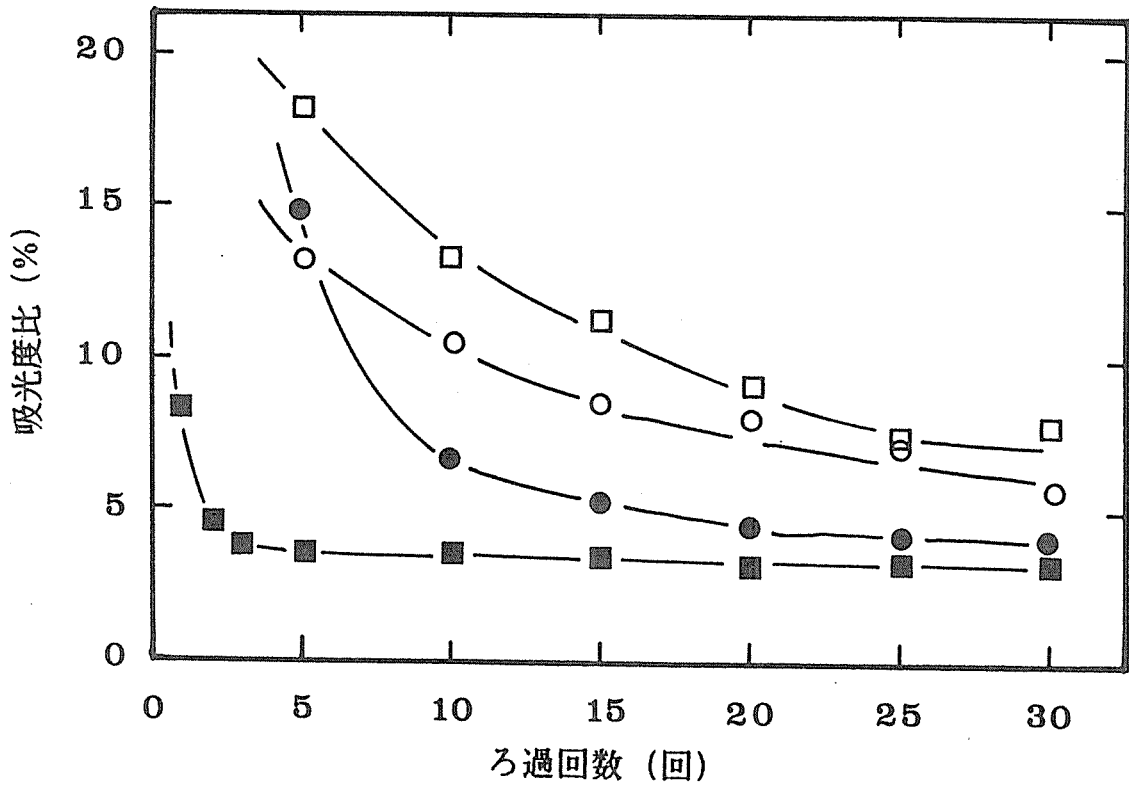


図6-8 試料の種類による吸光度比とろ過回数との関係

□：スギ ○：ヒノキ ●：コンパネ廃材 (ボード用) ■：市販活性炭

試料は80メッシュを通過したものである。いずれの試料もろ過回数が増えるに従って溶液濃度は低下する傾向にある。市販活性炭は1回のろ過で吸光度比は8%に低下し、5回以降はほとんど変化しなかった。スギ、ヒノキ及びコンパネ廃材チップは5回のろ過で吸光度比はすでに20%以下のになっている。30回のろ過後でも、試料によって吸光度比に若干の差異が見られた。

図6-9にコンパネ廃材チップの大きさによるメチレンブルー溶液濃度の変化とろ過回数との関係(常温)を示す。図から見られるように、チップが小さいものほど溶液濃度の低下速度が大きくなっている。

図6-10に試料粒度の違いによるメチレンブルー溶液濃度の変化とろ過回数との関係(常温)を示す。浸漬法の場合には試料粒度の影響は明かではなかったが、ろ過法の場合には試料粒度が小さいほど、溶液濃度の低下が大きくなっている。

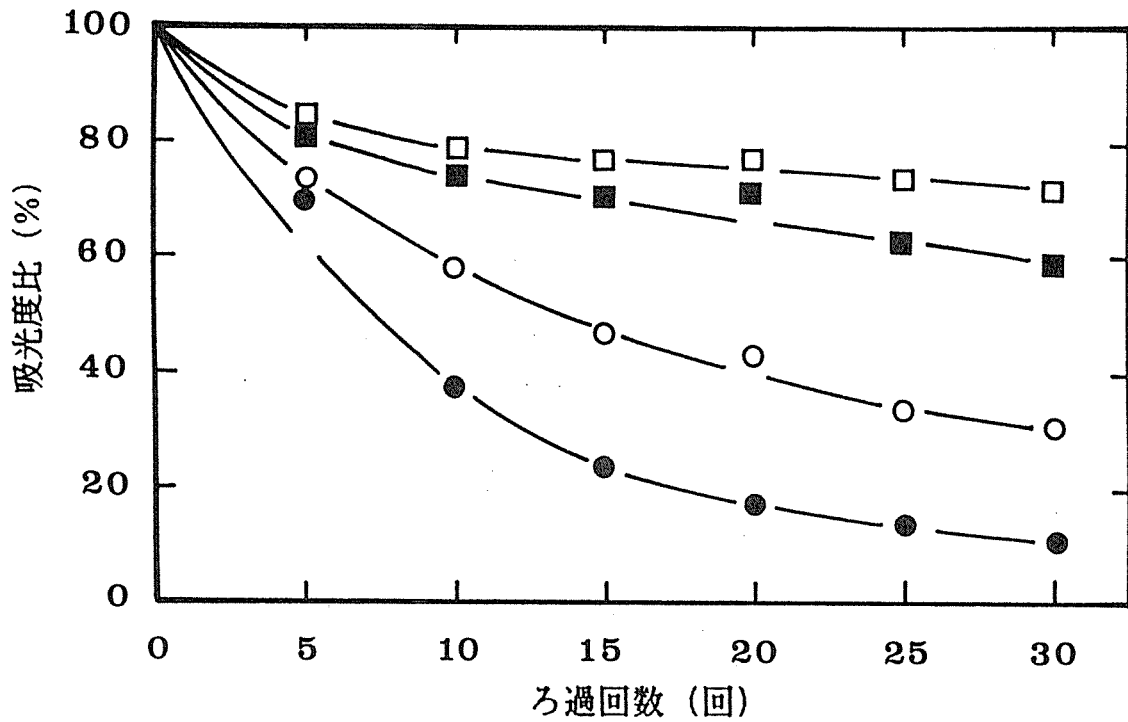


図6-9 チップの大きさによる吸光度比とろ過回数との関係

□: チップ用 ■: ボード用 ○: 燃料用 ●: 肥料用

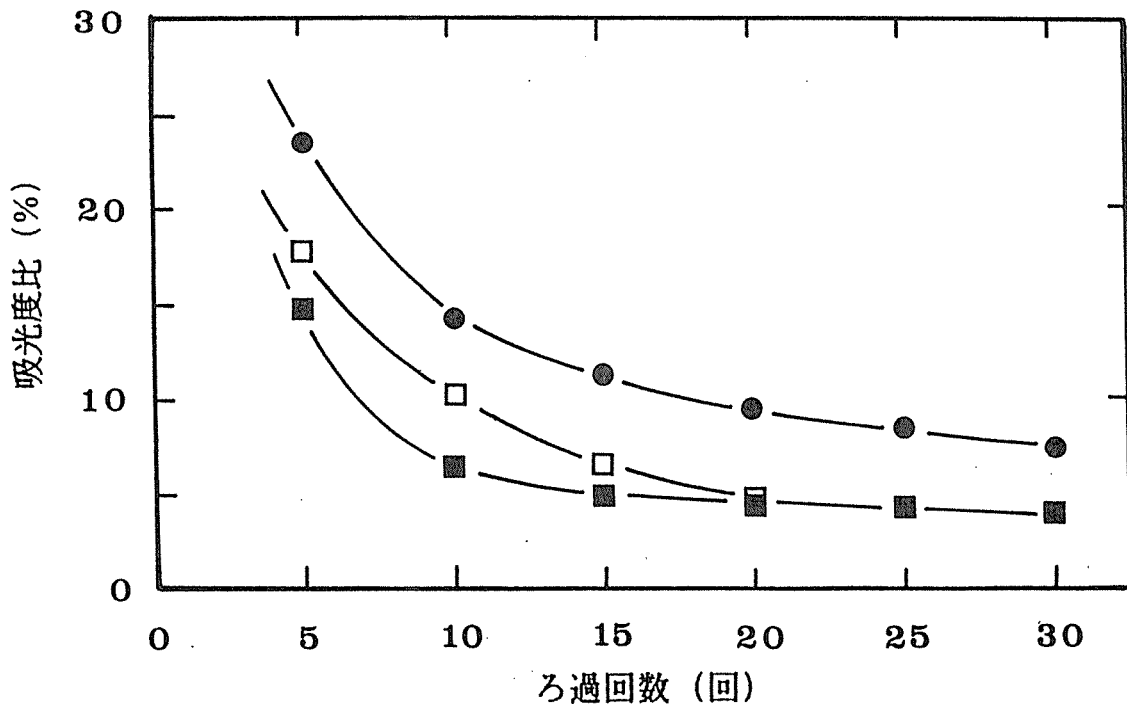


図6-10 吸光度比とろ過回数に及ぼす試料粒度の影響

●: 20メッシュ □: 40メッシュ ■: 80メッシュ

4. おわりに

木質残廃材の多段階利用の1つとして炭化処理を取り上げ、性能は少々劣っても安価で容易にできる炭化物を得ることを目的に炭化と炭化物の吸着性能を調べた。まず、一次炭の吸着性能を向上させるために水蒸気賦活を行ない、それらのヨウ素吸着性能を市販活性炭のそれと比較した。また、試料の異なる炭化物やサイズの異なる炭化物について、メチレンブルー溶液濃度の経時変化を浸漬法とろ過法で調べた。その結果、1) 水蒸気賦活活性炭のヨウ素吸着性能は一次炭の約2倍、市販活性炭のそれは水蒸気賦活活性炭の約2倍（一次炭の約4倍）であった。2) コンパネ廃材炭化物はスギ、ヒノキの炭化物よりもメチレンブルー溶液濃度の低下割合が小さかった。すなわち、吸着性能が劣っていた。3) 溶液の温度が高くなるほど、初期（3時間）におけるメチレンブルー溶液濃度は低くなる傾向にあった。温度の影響はコンパネ廃材炭化物において顕著であった。4) コンパネ廃材チップではサイズが小さいものほどメチレンブルー溶液濃度の低下割合が速く、また大きかった。5) メチレンブルー溶液濃度の低下に及ぼす試料の種類やチップの大きさの影響はろ過法の場合も浸漬法の場合とほぼ同様であった。6) 浸漬法ではメチレンブルー溶液濃度の低下に及ぼす試料粒度の影響は明かではなかったが、ろ過法では粒度が小さい試料ほど、メチレンブルー溶液濃度の低下速度が大きい傾向にあった。

第6章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能（Ⅱ）

－ 炭化処理と木炭の吸湿、保水性 －

1. 木質廃棄物における熱処理、炭化処理の視点

廃木材の迅速な減容と有機的な炭の保管、利用開発を目的としたもので、従来の木炭や機能性付与の炭製造、すなわち建築廃材でない比較的きれいな素材の炭化と異なる視点は以下のとおりである。

（1）処理量が多いので比較的短時間で炭化させるため温度上昇を高める。一般に解体材は乾燥しているので温度上昇は容易である。急激な温度上昇の結果、形の崩れない良い炭や木酢液の採取は少々犠牲になるが、短時間で減容、軽量化は可能になる。

（2）木炭あるいはその前段階の熱処理によって熱的あるいは劣化に対して比較的安定化させ、廃棄による安全性、汚染の危惧を少なくする。

（3）炭化温度によって物性が異なるので、用途はそれに対応するようにする。比較的低温炭化した後、釘などの異物除去し、種々の目的に応じた精練を行う。高度な炭化、機能の付与をするには二段炭化とし、一段炭化で異物の除去がかなりなされていることと、分解ガスなどの発生が少ないので装置の耐久性、外部エネルギーが合理化される。

（4）土壌改良、脱臭など水分などの吸着、保持機能、微生物の活動を活かす。また、河川など水質浄化、物質吸着回収

（5）比重の軽量化、多孔性を活かす。圧密性と粒度などから充填、緩衝、断熱、吸湿資材としてあるいは複合資材としての機能付与。

とくに（4）（5）で効果が見出しうるならば積極的なカスケード型利用と評価されるであろうし、さほど効果がなかったとしても安全性が確保できるのであれば捨て場、保管場の拡大を意味する。この両面の視点は廃棄物の問題では常に必要であり、カスケード利用については顕著な効果でなく、適度な効果程度であっても社会的な評価を付与すべきであり、経済的、効率のみで評価することは避けるべきであろう。なぜならば、用途がないと捨て場が必要であり、焼却に廻るからである。この捨て場に相当する保管場所は可能な限り大きく、分散していた方が良く、用途機能がわずかなりとも付与されればより好ましい。最終的な土壌への還元を考慮すると、汚染がない、吸湿性、保水性、圧密性などが重要な要素である。

2. 加熱炉による熱処理と物性変化

図6-11は加熱処理温度と重量減少の関係を収率で示した。

図6-12、13はそれぞれ超音波の伝播速度、およびそれから求めたヤング係数の比率を示す。200℃あたりまで超音波速度、ヤング係数の上昇の傾向がみられるが、以後熱分解の進行による重量減少に伴い超音波速度などの減少が顕著に顕れ、組織の崩壊がみられる。

図6-14の20℃相対湿度65%の平衡含水率にみられるように吸湿性は260℃あたりで最低を示すが、以後炭化によって増加に転ずる。したがって260℃あたりまでの木材の熱処理では寸法の安定性、疎水性、生物劣化への安定性が増すので、残存強度に応じた簡易用途が考えられる。

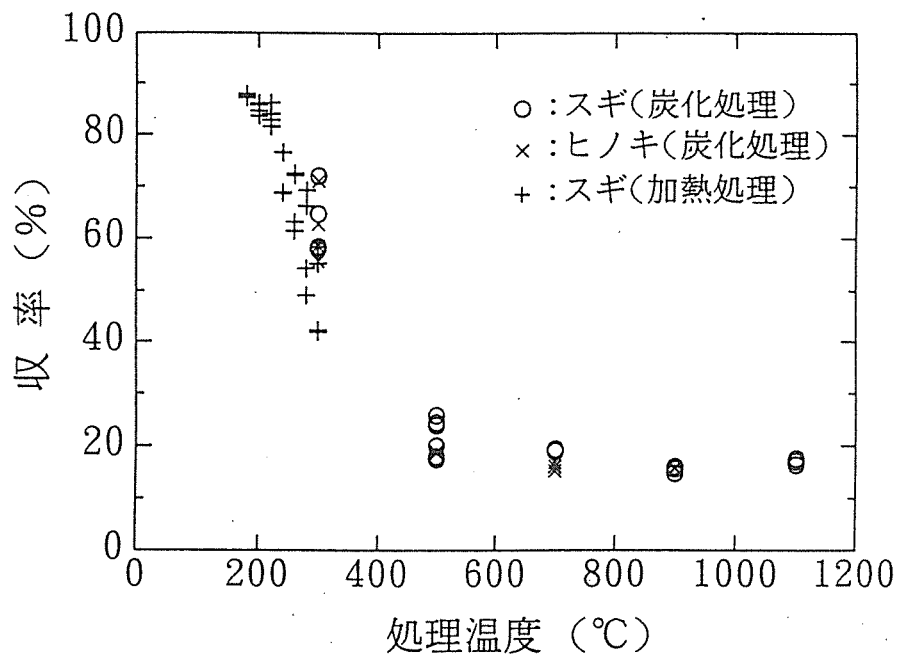


図6-11 加熱処理温度と重量減少の関係

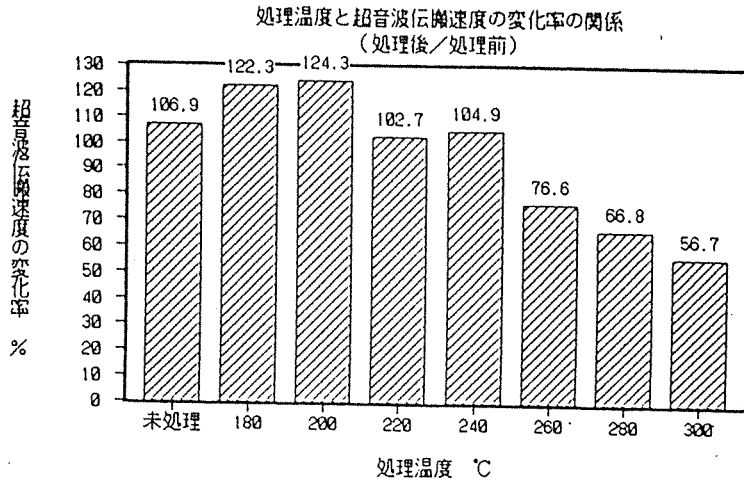


図 6-1 2 超音波の伝播速度の変化率と処理温度の関係

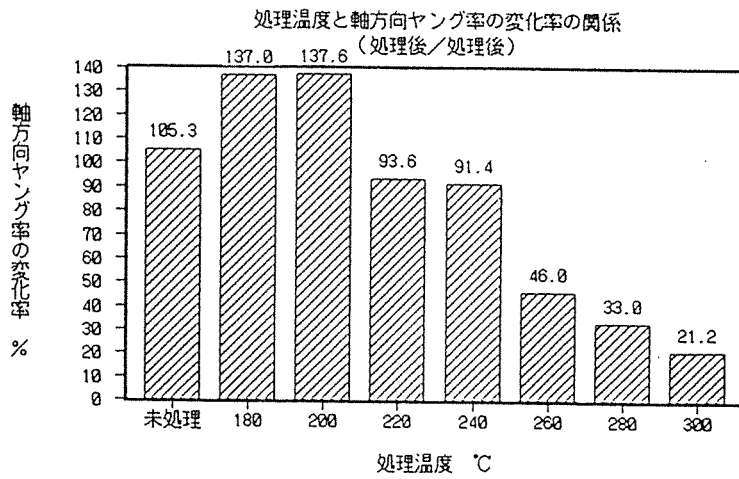


図 6-1 3 縦方向ヤング係数の比率と処理温度の関係

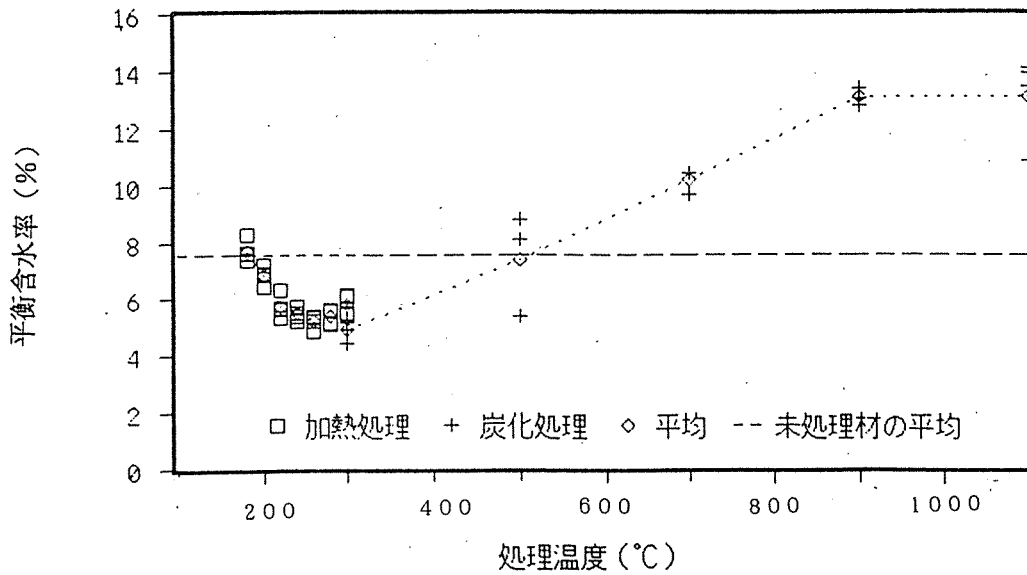


図 6-1 4 20°C、相対湿度 65%の平衡含水率と処理温度の関係

3. 移動式簡易炭化炉による解体材炭化と粒度分別による吸湿、保水性

実際の解体廃材を図6-15(1)、(2)のように自然によって加熱約1時間で最高温度500(低温)、加熱約2.5時間で最高温度800(高温)℃で炭化させた。これは先に述べたように乾燥材であることと断熱および空気調節による比較的短時間炭化を試みたものである。崩れない良い炭や木酢液の採取は無理であったが減容、軽量化は可能であり、高温ではかなりの精錬度を満たした。

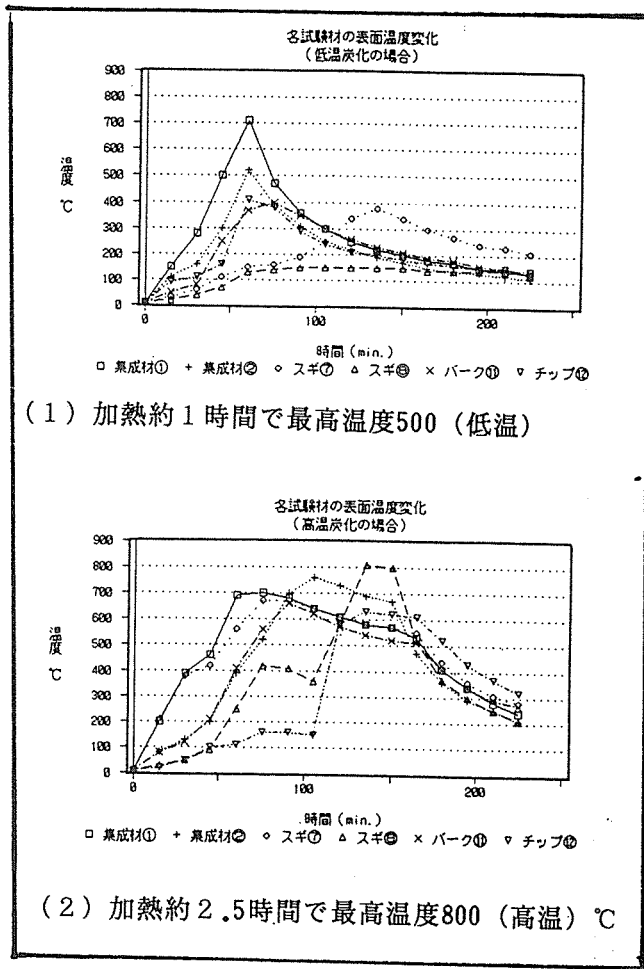


図6-15 炭化加熱温度

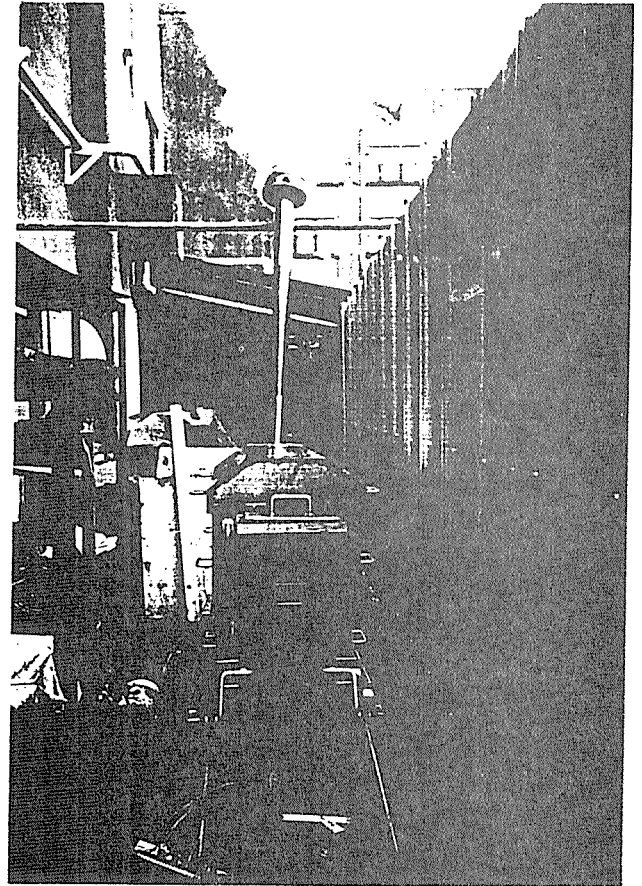


写真6-3

粒度ごとに吸湿性を示したのが図6-16である。吸湿は加熱炉の結果同様、高温の方が大きい傾向にあり、しかも粒度の小さいほど大きい。組織構造の影響が大きい粒子は平衡に達する時間が長期化する。

図6-17に示した各種解体柱材、腐朽材、チップ、のこくず、樹皮などの炭のうちスギは吸着能が比較的大きい。

粒度ごとに吸水後および乾燥状況（保水性）を示したのが図6-18である。保水性は炭化温度の影響は粒度が大きいほど大きく、粒度が小さいほど保水性が高い傾向にある。したがって、利用については状況に応じた粒度、炭化度が選択されるべきであろう。

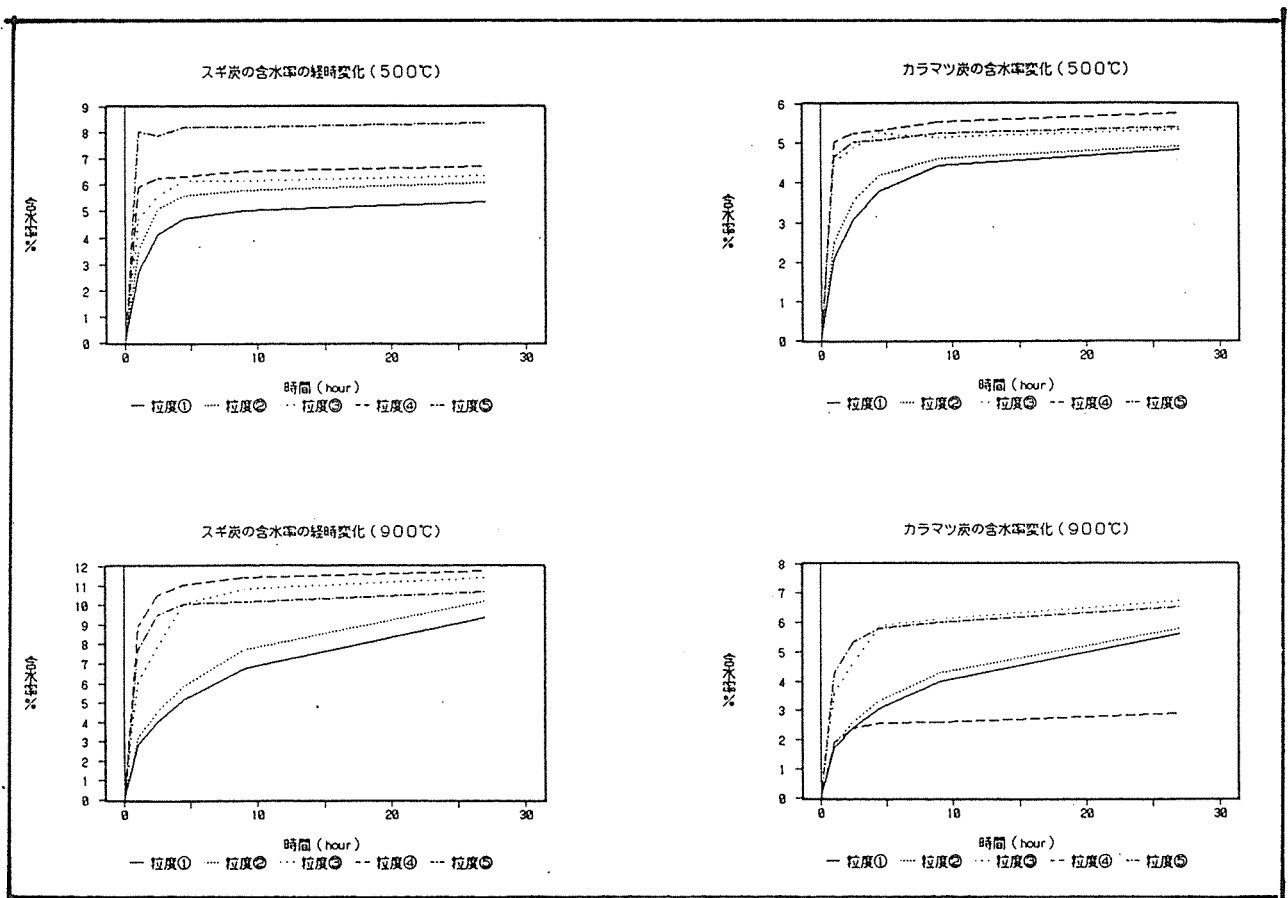


図6-16 粒度と吸湿性の関係

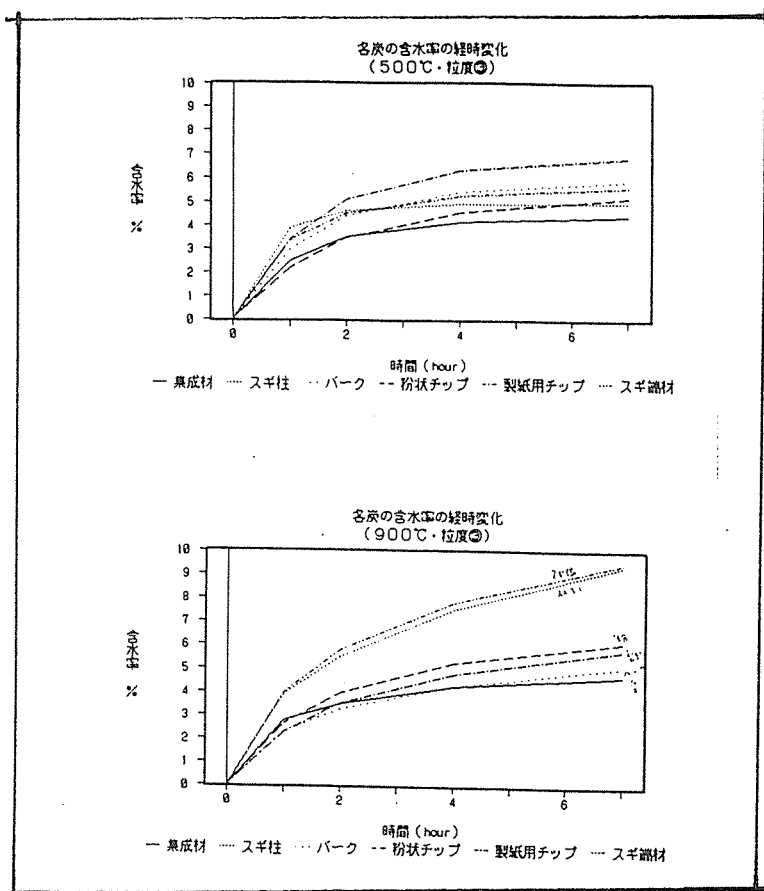


図 6-17 各種解体柱材、腐朽材、チップ、のこくず、樹皮などの炭の吸着能

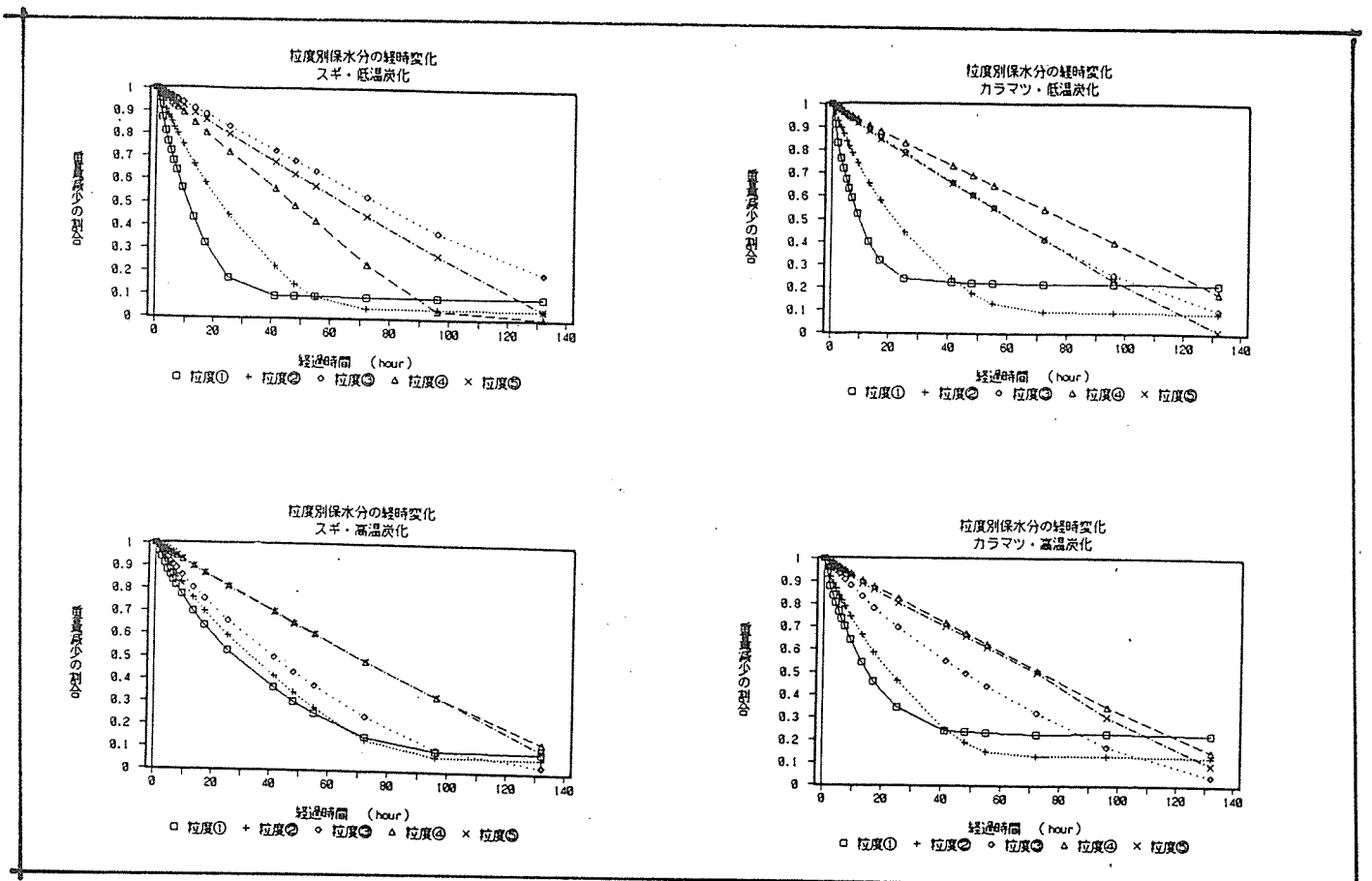


図 6-18 粒度ごとに吸水後および乾燥状況 (保水性)

第7章 炭化技術と炭化物の機能利用開発

1. はじめに

木材産業活動の中では、のこくず、端材、背板、樹皮、腐朽材、色汚染材などが、廃材として排出される。排出される廃材は、最近まで燃料や補助燃料として使われたり、住宅解体材はゴミとして捨てられていた。最近では資源の再利用という立場から、のこくずは、きのこの培地、家畜の敷料、木炭粉の原料として利用され、不足がちなので、のこくずを生産しているところもあるが、場所によっては廃材として排出している。端材、背板は木材チップとして製紙会社に販売していたが、最近では紙の生産量が減少し、輸入木材チップや古紙に押されて、需要が減少し、チップ業者はその売却に苦慮している。そこで、これらの廃材を利用するいろいろな試みがなされている。ここでは、のこくず、樹皮、間伐材（本来ここには含まれないが）、住宅解体材を対象として炭化し、その農業的利用の一部としての吸着性能に着目して検討した。はじめに、炭化物の製造およびその評価について、次に農業利用にかかわる木炭粉の吸着機能評価について述べる。

2. 炭化物の製造およびその評価

2. 1 実験方法

2. 1. 1 供試用木炭粉の製造

炭化温度、炭化時間の影響を把握するために、実験用の外熱式回転炭化炉（以下、外熱式炉と略記する。）と実験用の自燃式立置円筒型急速炭化炉（以下、自燃式炉と略記する。）を用いて、種々の条件で炭化し、炭化度の異なる木炭粉を製造し、炭化条件と収率を含めた木炭粉の物性と収量との関係について検討した。次いで、製造温度別木炭の有機有害物質に対する吸着機能の評価に及ぼす影響などを把握するために、平炉、流動層炉およびブロック炉の実用炉での木炭粉製造試験を行った。

(1) 原料および原料調整

実験炉による木炭粉製造に用いた原料はカラマツののこくずであり、水分約35%のものを、風乾後、115メッシュのふるいにより、微粉分を除去したものと、4および32メッシュのふるいにより、粗大分および微粉分を除去したものとを用いた。

実用規模の木炭粉製造用原料は、カラマツ小径間伐材、製材工場・円柱加工工場から排出されたカラマツのこくず、樹皮、および住宅解体材（エゾマツ・トドマツ）である。

(2) 実験炉による炭化

外熱式炉としては、直径22.5cm、長さ26.5cm、容量10ℓ、5 kWの横型回転炉を用い、試料1 kgを充填し、回転速度3 rpmでかくはんしながら、昇温速度3 °C/分、炭化温度300、400、500、600°C（保持温度）、炭化時間1、5、20（5時間×4回）時間の条件で製造し

た。(表7-1)。本試験では強制的に送風機により排気した。

また、自燃炉としては、直径550×高さ960mm、容量50ℓの自燃式炉「すみぞうくん」(伊勢工業所製)を用いた。のこくずを炭化するため、本体内のカゴ(直径365×高さ420mm)に、熱気流が縦にとおるように、穴あきステンレス板で作った筒7本を垂直に固定した。カゴ内の温度センサー取り付け位置は、カゴ底部から43mm上に1か所、中心部(底から210mm)および上部(底部から378mm)の左右それぞれに2か所の計5か所とした。試料のこくず6.5kgをカゴに充填し、内部の炭化温度が300、400、500、600、700℃(温度センサーで確認)になるように、空気開閉弁、昇温バルブ、火止めダンパーのほか、焚き口お

表7-1 供試木炭の種類とその製造条件

木炭粉の種類*1)	炭化条件(温度、時間)		木炭粉の種類	炭化条件(温度、時間)*3)	
A 0 *2)	原料(カラマツのこくず)		D 0	原料(カラマツのこくず)	
A 1	300℃、	10分	D 1	300℃、	10分
A 2	300℃、	1時間	D 2	300℃、	1時間
A 3	300℃、	5時間			
A 4	300℃、	20時間			
A 5	400℃、	10分	D 3	400℃、	10分
A 6	400℃、	1時間	D 4	400℃、	1時間
A 7	400℃、	5時間			
A 8	400℃、	20時間			
			D 5	500℃、	10分
A 9	500℃、	1時間	D 6	500℃、	1時間
A 10	500℃、	5時間			
A 11	500℃、	20時間			
			D 7	600℃、	10分
A 12	600℃、	1時間	D 8	600℃、	1時間
A 13	600℃、	5時間			
A 14	600℃、	20時間			
			D 9	700℃、	10分
			D 10	700℃、	1時間
A 15	800℃、	1時間			

木炭粉の種類	炭化炉	原料	炭化条件(温度、時間)	
B 1	平炉	カラマツのこくず	370~400℃、	6日間
B 2	平炉	カラマツ樹皮	370~400℃、	6日間
B 3	角型ブロック炉	カラマツ間伐材(皮付)	550℃(最高700℃)、	2週間
B 4	レンガ製ブロック炉	カラマツ間伐材(皮付)	750℃~800℃、	3日間
B 5	レンガ製ブロック炉	カラマツ間伐材(皮付)	750℃~800℃、	3日間
B 6	流動層	カラマツのこくず	400℃、	30~40分
C 1	—	ヤシガラ(粒状)	—	—
C 2	—	ヤシガラ(粒状)	—	—
C 3	—	カラマツ(粉末)	—	—

注*1) 木炭粉の種類Aは外熱式炉で作ったことを意味し、炭化時間は炉内部保持時間を示す。

*2) 木炭粉の種類Dは自燃式炉で作ったことを意味する。

*3) Dの温度は炉底部の試料内部の温度である。時間は同温度の保持時間を示す。

よび排煙口を開閉して調節した。そして最下部の温度センサーの温度を上記の温度に10分および60分間保持した後、保温カバーを取り外し、全開閉口を密閉した。次いで、ほぼ室温まで放冷した後、炭化物を取り出し収量を求めた。(表7-2)

表7-2 外熱式炉および実用炉木炭粉の物性

炭化物種類	炭化収率 (%)	水分 (%)	容積重 (現物) (g/nl)	容積重 (乾物) (g/nl)	粒度 (60メッシュ以下) (%)	粒度 (平均) (mm)	pH	工業分析値 (乾物)			孔隙性			熱水可溶分 (%)
								揮発分 (%)	固定炭素 (%)	灰分 (%)	比表面積 (m ² /g)	全細孔容積 (x10 ⁻³ cm ³ /g)	平均細孔半径 (Å)	
A 0	—	9.57	0.186	0.168	15.3	0.48	4.42	84.15	15.75	0.10	1.12	4.50	62.58	10.70
A 1	70.1	2.45	0.164	0.160	33.1	0.34	5.24	61.20	38.59	0.21	1.06	3.85	72.74	1.27
A 2	59.1	2.46	0.132	0.129	28.0	0.38	4.32	58.83	41.00	0.17	0.98	4.05	82.52	0.47
A 3	51.2	2.14	0.132	0.129	21.2	0.42	4.37	47.28	52.51	0.21	1.36	5.29	77.89	0.11
A 4	48.8	2.28	0.138	0.135	25.2	0.38	4.07	42.59	57.18	0.23	0.98	4.92	100.51	0.03
A 5	37.4	3.12	0.134	0.130	28.5	0.37	4.70	31.55	68.17	0.28	0.53	4.27	160.48	0.52
A 6	36.6	3.33	0.138	0.133	36.8	0.33	5.16	29.80	69.85	0.35	0.69	4.35	126.94	0.30
A 7	35.8	3.23	0.140	0.135	32.0	0.36	5.33	26.99	72.71	0.30	—	—	—	0.04
A 8	34.2	3.87	0.142	0.136	34.5	0.35	6.18	24.09	75.60	0.31	—	—	—	0.03
A 9	29.7	3.33	0.140	0.135	42.4	0.30	6.70	16.32	83.30	0.38	272.39	160.01	11.74	0.12
A 10	29.4	2.54	0.140	0.136	37.4	0.32	7.18	13.36	86.27	0.37	353.84	193.94	10.96	0.04
A 11	29.8	2.05	0.143	0.140	43.4	0.29	7.60	10.71	88.95	0.34	369.16	206.05	11.16	0.02
A 12	28.0	2.06	0.142	0.139	51.6	0.25	9.21	7.74	91.88	0.38	378.18	201.35	10.64	0.10
A 13	28.6	2.13	0.139	0.136	41.2	0.30	9.12	5.97	93.64	0.39	356.14	189.64	10.64	0.02
A 14	27.8	2.66	0.151	0.147	42.2	0.30	8.74	4.52	95.10	0.38	340.41	181.45	10.66	0.02
A 15	25.2	4.84	0.135	0.129	43.4	0.30	9.91	3.49	95.26	1.25	—	—	—	0.76
B 1	—	18.23	0.248	0.203	26.8	0.70	8.57	15.38	60.43	24.19	30.22	26.34	17.42	1.21
B 2	—	27.11	0.197	0.144	15.3	0.51	8.54	21.66	68.79	9.55	30.83	24.75	16.05	1.41
B 3	—	16.93	0.184	0.153	22.9	0.78	8.02	14.15	82.87	2.98	156.99	89.14	11.35	0.36
B 4	—	8.33	0.158	0.145	22.9	1.25	7.88	17.60	80.13	2.27	216.32	133.04	12.30	0.86
B 5	—	8.60	0.114	0.105	33.4	0.74	9.01	12.83	83.50	2.67	120.81	81.96	13.56	0.60
B 6	—	4.85	0.126	0.120	25.2	0.47	4.57	28.98	68.36	2.66	1.48	6.92	93.35	2.86
C 1	—	8.19	0.548	0.503	2.0	2.15	9.82	12.72	81.97	5.31	23.55	19.56	16.61	0.50
C 2	—	32.31	0.248	0.168	99.2	0.06	9.76	16.03	75.12	8.85	966.56	649.12	13.43	1.75
C 3	—	5.55	0.345	0.326	99.7	0.06	10.08	3.20	92.03	4.77	1049.95	633.67	12.07	1.45

注 1) 実用炉炭化収率の測定は行っていない。
2) 孔隙性の空欄は窒素ガス吸着法では測定値が得られない。

(3) 実用炉による炭化

実用炉による木炭粉の製造は、A社の平炉および角型ブロック炉、B社の流動層炉、C社のレンガ製ブロック炉により行った。平炉型炭化装置の使用では、カラマツ樹皮およびのこくずを炭化温度370~400℃で6日間炭化し、木炭粉を得た。また、角型ブロック炉の使用では、カラマツ小径間伐材を平均温度550℃、最高温度700℃で2週間炭化したくず炭を粉碎し、木炭粉を製造した。流動層炉の使用では、カラマツのこくずを400℃で30~40分間炭化したものを木炭粉とした。また、レンガ製ブロック炉ではカラマツ小径間伐材および住宅解体材(エゾマツ、トドマツ)を750~800℃で3日間炭化し、くず炭を粉碎して木炭粉とした(表7-1)。

2. 1. 2 炭化物の物性

実用規模炉、実験用外熱式炉および自燃式炉を用いて製造した木炭粉の物性評価を行った。なお、実用炉で製造した活性炭についても比較検討した。

各種条件で製造した木炭粉の物性を、公定試験法を準用して解析した。なお、のこくず原料についても同様の試験を行った。公定試験法としては、土壌改良材(木炭)品質表示基準、JIS K 1470 粉末活性炭試験法、JIS K 1474 粒状活性炭試験法、JIS P 8005 パルプ

材の熱水可溶分試験法、JIS M 8812 石炭類およびコークス類の工業分析法を用いた。

(1) 容積重

試料を内容積500ml（内径10cm）の円筒容器に静かに入れ、試料表面をならし、容器中の重量を計り、容器の内容積で割って、単位容積当たりの重量を求めた。

(2) 粒度

試料20gを標準ふるいを用いて、ふるい振とう機によって、12分間振とうした。そのうちふるい上に残った試料重量から粒度分布を求めた。

(3) 水分

試料2gを秤量びんにとり、105±3℃、16時間乾燥後、デシケーター中で放冷したのち重量を測定して水分を算出した。

(4) 熱水可溶分

試料2gを300ml三角フラスコにとり、蒸留水100mlを加え、フラスコに還流冷却器をつけ、3時間静かに沸騰させたのち、ろ紙（No. 5C、保留粒子1μm）でろ過し、熱水洗浄後、乾燥秤量し求めた。

(5) 灰分

試料2gをC.1型磁製るつぼにとり、105±3℃、16時間乾燥して水分を求めた後、徐々に加熱炭化させ、さらに強熱（815±10℃）して完全に灰化後、るつぼをデシケーター中で放冷し秤量して求めた。

(6) 揮発分および固定炭素

試料1gを揮発分測定用磁製るつぼにとり、900±5℃縦型電気炉（揮発分測定用）で7分間加熱後、デシケーター中で冷却後秤量し、揮発分を算出した。固定炭素は試料重量から水分、灰分、揮発分を引いて求めた。

(7) pH

試料5gを100ml三角フラスコにとり、蒸留水50mlを加えて1時間振とう後、高速遠心機で分離し、上澄液のpHを、pHメーターで測定した。

(8) 孔隙性

木炭粉および活性炭の内部表面積、細孔構造の測定は、全自動ガス吸着測定装置によって行った。すなわち、一定容積の器内で窒素ガスの木炭粉への吸着に伴う圧力変化を、データ処理装置を用いて、BET法により内部表面積（比表面積）、全細孔容積、平均細孔半径を求めた。なお、試料の量は比表面積値によって変え、0.15～2gとした。

(9) 水銀圧入法による孔隙性

水銀圧入式ポロシメータ220型（イタリアのカルロ・エルバ社製）を用い、前処理として、105℃で16時間の乾燥（のこくず原料は40℃、五酸化りん（P₂O₅）雰囲気中で240時間真空排気）後、測定した。

なお、この方法による細孔測定範囲は、37（0.0037μm）～75,000Å、圧力範囲は0～

2,000kgf/cm²である。測定した項目は、比表面積、全細孔容積、平均細孔半径である。木炭粉の測定には、日本薬局方カプセルNo.3を用い、このカプセル3個に入れて測定した。

(10) 精練度

精練度は、炭化物の表面2点間の電気抵抗値によって炭化の状態を示すが、0～9の10段階で表す。なお、数字が小さいほど精練度が高くて白炭に近く、数字が大きい程、炭化度が低いことになる。ここでは、三陽電機製木炭精練計で測定した。

2.2 実験結果と考察

2.2.1 原料の物性

実験炉炭化試験に用いた原料のこくずの物性を表7-2、表7-3に示した。容積重、粒度(60メッシュ以下)、熱水可溶分は大きく、pH、平均粒度(mm)、灰分は小さい。また、比表面積、全細孔容積も若干小さかった。

2.2.2 炭化物の物性

(1) 実験炉および実用炉における炭化物の種類と物性

外熱式炉による炭化試験とその炭化物の物性を実用炉木炭粉と対比して表7-2に、自燃式炉による結果を表7-3に、結果の一部を図7-1～2に示した。なお、図には外熱式炉による場合は、炭化温度300～600℃で炭化時間1、5、20時間の測定値の平均値を実線△印で示した。自燃式炉による場合は、炭化温度300～600℃で炭化時間1時間の測定値の平均値を破線○印で示した。

表7-3 自燃式炉および実用炉木炭粉の物性

木炭粉の種類	炭化収率 (%)	水分 (%)	容積重 (現物) (g/ml)	容積重 (乾物) (g/ml)	pH	工業分析値 (乾物)				孔隙性					
						揮発分 (%)	固定炭素 (%)	灰分 (%)	精練度	比表面積 (m ² /g)		全細孔容積 (x10 ⁻³ cm ³ /g)		平均細孔半径 (Å)	
										N ₂ 法	Hg法 ^{*1)}	N ₂ 法	Hg法	N ₂ 法	Hg法
D0	-	13.2	0.188	0.163	5.11	85.26	14.56	0.18	9.0	-	6.91	-	226.6	-	656
D1	39.0	8.9	0.181	0.165	4.53	33.58	65.92	0.50	9.0	-	-	-	-	-	-
D2	36.0	7.3	0.137	0.127	4.49	30.55	68.89	0.56	9.0	9.00	8.07	0.01	645.8	15.57	1,601
D3	29.1	6.2	0.137	0.128	6.41	20.77	78.76	0.47	9.0	44.43	12.12	25.76	814.9	12.99	1,345
D4	24.5	7.2	0.167	0.155	6.62	22.95	76.45	0.60	9.0	101.25	9.35	55.95	806.2	12.31	1,725
D5	19.7	8.2	0.149	0.137	7.25	17.48	81.69	0.83	9.0	296.76	6.90	154.39	742.3	11.68	2,152
D6	17.8	9.8	0.170	0.153	6.69	21.21	78.03	0.76	9.0	440.31	7.83	215.09	771.4	11.45	2,185
D7	16.7	8.0	0.164	0.151	7.99	12.12	86.67	1.20	7.4	222.32	-	153.97	-	11.61	-
D8	12.7	11.0	0.182	0.162	7.59	13.40	85.43	1.17	7.2	442.09	7.08	241.02	885.7	12.56	2,502
D9	16.4	9.0	0.162	0.147	8.45	6.61	92.21	1.18	4.2	336.08	-	157.89	-	11.05	-
D10	8.4	10.7	0.183	0.163	9.20	7.19	91.51	1.30	3.6	395.56	3.53	185.88	785.3	11.14	4,061
B2	-	18.4~30.7	0.148~0.192	0.111~0.140	7.32~8.86	21.7~31.1	62.6~68.7	6.1~10.3	6.2	6.76~125.61	11.51~17.17	11.22~78.03	2,054~2,223	12.42~33.18	2,392~3,864
B3	-	16.5~39.5	0.184~0.255	0.153~0.159	8.02~8.88	14.2~18.3	76.2~82.8	3.0~7.4	6.6	136.99~214.69	16.02~26.2	89.14~131.09	1,938~2,298	11.35~12.21	1,478~2,870
B6	-	4.8~31.7	0.126~0.152	0.104~0.120	4.01~4.57	29.0~32.2	64.8~68.4	2.6~3.0	9.0	1.48~1.68	25.69	6.92~8.79	2,020	93.35~104.73	1,710

注*1) 実験炉製木炭粉(記号DとA)のHg法測定値は参考値である。

*2) 外熱式の原料のこくずA0のHg法での孔隙性の測定値は、それぞれ13.37m²/g、252.4x10⁻³cm³/g、377.6Åであった。

*3) (-)は測定したが検出されなかったことを示す。

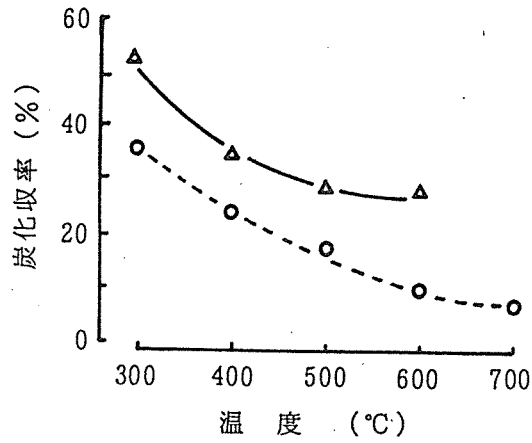


図 7-1 実験炉の炭化条件と炭化収率との関係

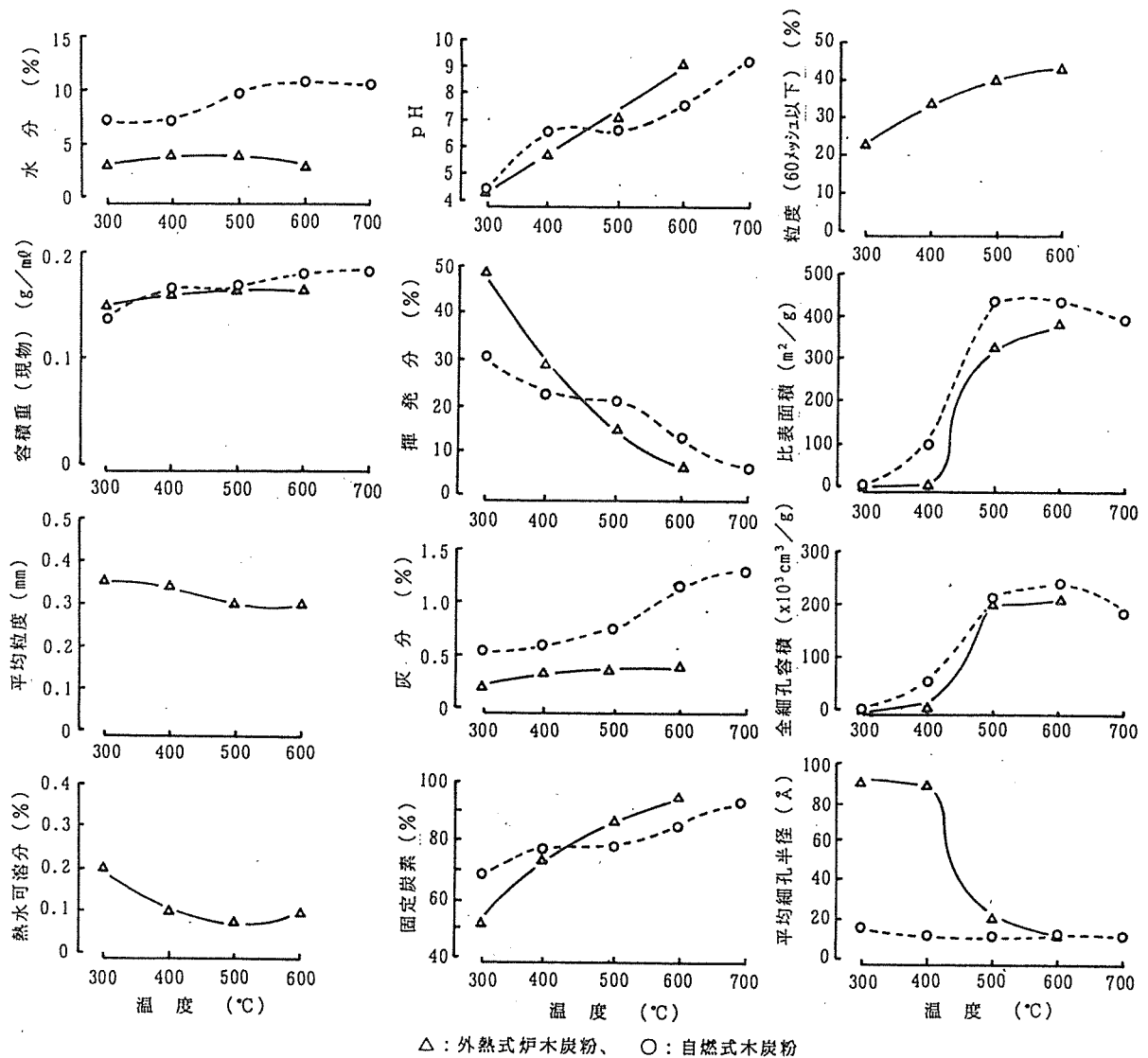


図 7-2 実験炉炭化物と物性との関係

外熱式炉では炭化収率は、500℃までは温度とともに減少するが、600℃では500℃とほとんど同じであった。

自燃式炉の炭化工程時間は、着火開始から炭化炉全密閉（保温カバー取り外し）までの時間である。低温条件では発熱反応を抑制するために、長時間を要した。また、各測定点における設定温度に到達する時間にバラツキがあった。炭化後の炉内状況から、温度センサーは先端部の温度を感知しているに過ぎないことがわかった。このため、部分的な灰化や未炭化物があり、炭化収率に影響を及ぼした。炭化温度が低い300℃および400℃で10分間保持した炭化物の中には、未炭化物があったので、未炭化物を除いて物性を測定した。

自燃式炉の原料のこくずは、外熱式炉に用いたのこくずに比べ、容積重、揮発分はほぼ同じ値であったが、灰分、pHは若干高い値を示した。

水分は実験炉のものでは炭化温度および時間の影響は少なかった。実用炉では、A社製が、工程上で水分調整を行っているため、15%以上であった。

容積重については実験炉では炭化温度に影響されなかった。実用炉木炭粉ではA社製が大きかった。

60メッシュ以下の粒度の割合は、外熱式炉で製造したものでは、炭化温度とともに増加した。実用炉の種類別では、平炉のこくず炭が少なかった。平均粒度（mm）は外熱式炉で製造したものでは、炭化温度の増加とともに小さくなった。これは炭化による体積収縮と回転による摩耗に起因していると思われる。外熱式炉のものは実用炉のものより小さかった。実用炉の比較では流動層炉、平炉のこくず炭が小さかった。

炭化物のpHについては、実験炉の炭化物の場合、炭化温度300℃では酸性を示すが、炭化温度の上昇とともに高くなり、500℃以上ではアルカリ性を呈する。実験炉の自燃式と外熱式を比較すると、自燃式の方が高いが、600℃では外熱式より低くなった。実用炉と比較すると、流動層炉木炭粉（B6）は酸性を示し、300℃で炭化した場合とほぼ同じ値を示した。平炉（B2）とブロック炉の木炭粉は、500～700℃の木炭粉に近い値のアルカリ性を呈した。

揮発分については、外熱式木炭粉の場合、炭化温度の増加とともに減少する。自燃式炉木炭粉の場合は、若干の違いがあるが、高温炭化の方が小さくなった。流動層炉のものは外熱式炉の400℃に相当し、その他の木炭粉は450～500℃の炭化温度に相当した。

固定炭素については、自燃式は外熱式木炭粉に比べ、低温域では高かった。実用炉木炭粉と比較すると、平炉と流動層炉が300～400℃に、ブロック炉が500～600℃に相当する値を示した。

灰分については、自燃式木炭粉は外熱式木炭粉よりも多く、炭化温度とともに増加するが、実用炉木炭粉よりは少なかった。

精練度は高温炭化ほど小さい値を示し、固定炭素と相関した。

比表面積については、外熱式炉のものは炭化温度400℃までは未炭化とほとんど変化ないが、500℃では急激に増加した。自燃式は外熱式木炭粉より大きく、特に500℃以上で顕著

であった。また、実用ブロック炉のものより大きくなった。流動層炉のものは、未炭化のこくず程度の小さい値であった。

全細孔容積についても、比表面積と同様の傾向を示した。

平均細孔半径は、外熱式炉のものは、炭化温度400°Cまでは未炭化とほぼ同程度か若干大きかった。500°C以上では小さくなり、活性炭程度の値を示した。実用炉のものは流動層炉木炭粉が、外熱式炉の300°Cより若干大きい。自燃式は外熱式に比べて小さく、400°C以上では実用平炉、ブロック炉のものは、外熱式炉の450~600°Cに相当する値を示した。

熱水可溶分については実験炉のものは炭化温度とともに漸次低下するが、強制排気を行ったこともあって、全般的に低かった。流動層炉のこくず炭は熱水可溶分が多く、炭化度は低いことが分かる。

(2) 木炭粉物性間の相関性

実用炉木炭粉の物性を相互に比較すると、特に相関性の高いのは、比表面積と全細孔容積、比表面積と平均粒度(mm)、平均粒度と全細孔容積、熱水可溶分と揮発分、熱水可溶分と平均細孔半径である。

実験炉のものでは炭化収率と揮発分・固定炭素との相関性が高かった。また、粒度とpHおよび孔隙性との相関性並びに、pHと孔隙性および粒度相互間の相関性が高かった。さらに比表面積と全細孔容積およびpH相互間が高い相関性を示した。

実用炉および実験炉を通して、ともに相関性が高いのは、比表面積と全細孔容積であった。

3 木炭粉の吸着機能評価

3.1 実験方法

3.1.1 木炭粉の吸着機能評価

実験炉および実用炉で製造した各種木炭粉を供試し、肥料成分(N、P、K)および重金属等の無機化学物質(Zn、Cu、Cd、Ni、Pb)および水田除草剤(ベンチオカーブ)の吸着機能とあわせて、木炭粉の脱臭力を粒状コンポストを用いて検討した。

(1) 供試木炭粉の製造条件とその理化学的性質

供試木炭粉の製造条件は表7-1のとおりである。それらの理化学的性質を表7-5、7-5、7-6に示した。

(2) 肥料成分の吸着試験

ア. 供試物質: N (酢酸アンモニウム)、P ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$)

K · NO_3 -N (硝酸カリウム)、P · NH_3 -N (リン酸一アンモニウム)

イ. 方法: 1N 酢安溶液 (pH5.5、pH7.0) およびM/5リン酸溶液 (pH5.5、pH

表 7-4 木炭粉の物理的性質

木炭の 種類	容積重 (g/100m ³)	最 大 容水量 (m ³ /100g)	p F*1.5にお ける保水量 (m ³ /100g)	有効水分 (m ³ /100g、各 p F 間)		
				1.5~2.7	2.7~4.2	合計
A 0	17.4	475	189	66	64	130
A 1	17.9	328	97	23	24	47
A 2	16.2	366	94	20	27	47
A 3	16.3	348	71	26	19	45
A 4	16.7	327	80	27	22	49
A 5	15.1	431	157	75	43	118
A 6	16.4	423	171	84	46	130
A 7	16.7	465	201	109	49	158
A 8	17.1	470	219	123	53	176
A 9	16.2	479	220	123	48	171
A 10	17.0	457	226	131	43	174
A 11	15.9	502	250	147	49	196
A 12	18.5	444	233	146	39	185
A 13	18.0	459	230	131	47	178
A 14	18.3	470	235	130	50	180
A 15	19.5	422	226	128	55	183
<hr/>						
B 1	35.4	161	115	52	11	63
B 2	21.6	266	196	105	44	149
B 3	22.5	261	242	141	55	196
B 4	20.7	277	249	85	74	159
B 5	15.3	478	376	218	80	298
B 6	14.6	511	251	95	103	198
<hr/>						
C 1	56.7	75	37	2	6	8
C 2	28.7	213	208	40	100	140
C 3	46.7	165	153	23	65	88
<hr/>						
D 2	20.9	218	166	26	—	—
D 4	21.1	484	325	131	—	—
D 6	21.6	478	335	160	—	—
D 8	23.3	441	324	170	—	—
D 10	23.6	450	299	136	—	—

* p F : 土壌水の保持力を示すもの。p F 値が大きいほど保持力が強くなり、作物による吸収が困難になる。

7.0) を調整し、粉状 (0.5mm以下) 試料2.5gに対して溶液25m³を加えて24時間室温 (15~20°C) で振とうした。ろ液の N、P 含量を測定し、ブランクとの差を吸着量とした。

1 N N a O H で p H 7.0 に合わせた M / 5 硝酸カリウムおよび M / 5 リン酸一アンモニウム溶液を調製し、粉状試料 (0.5mm以下) 2.5g に対して溶液25m³を加え、24時間室温 (15~20°C) で振とうした。ろ液の N、P、K 含量を測定し、ブランクとの差を吸着量とした。

(3) 重金属の吸着試験 (I)

ア. 供試物質 : Zn (硫酸亜鉛)、Cu (硫酸銅)、Cd (硫酸カドミウム)、Pb (硝酸鉛)、Ni (硫酸ニッケル)

表 7-5 木炭粉の化学的性質

木炭の 種類	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm) *	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	1N 酢安抽出塩基 (mg/100g)				Truog-P ₂ O ₅ (mg/100g)
						CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
A 0	4.7	0.08	51.3	0.08	9.0	-	-	-	-	3.3
A 1	5.2	0.05	61.3	0.07	16.3	35	7	55	42	2.1
A 2	4.6	0.04	66.1	0.09	18.1	18	7	49	9	1.0
A 3	4.2	0.03	71.1	0.11	18.0	18	4	37	6	1.8
A 4	4.3	0.03	72.6	0.10	16.3	16	4	34	6	1.4
A 5	4.7	0.02	77.0	0.10	17.4	21	4	59	11	1.8
A 6	4.9	0.02	78.6	0.11	14.1	19	5	50	17	1.3
A 7	5.1	0.02	80.6	0.11	9.6	21	5	79	13	2.3
A 8	5.7	0.02	82.7	0.14	8.6	21	4	81	13	1.9
A 9	6.0	0.03	89.3	0.11	6.0	18	3	93	27	1.9
A 10	6.3	0.04	89.8	0.14	3.6	18	3	90	14	1.4
A 11	6.7	0.06	92.8	0.12	3.0	15	4	101	15	1.3
A 12	8.3	0.16	94.6	0.13	3.2	18	5	103	35	1.1
A 13	8.8	0.18	95.7	0.11	3.8	20	5	101	23	2.0
A 14	8.6	0.14	95.6	0.13	3.5	156	6	101	17	2.0
A 15	9.7	1.31	93.6	0.11	4.5	42	5	79	568	1.8
<hr/>										
B 1	9.0	1.22	64.6	0.69	19.1	860	84	1003	134	191
B 2	8.4	0.16	80.4	0.37	10.6	383	28	324	15	55
B 3	8.0	0.09	89.3	0.27	18.2	119	19	226	50	40
B 4	8.7	0.23	94.4	0.11	6.2	159	16	225	6	21
B 5	9.0	0.12	85.6	0.17	7.4	331	27	173	23	9
B 6	4.2	0.22	78.7	0.19	17.6	191	23	140	18	21
<hr/>										
C 1	9.6	0.33	85.5	0.20	11.2	89	15	556	79	24
C 2	9.4	1.56	89.2	0.21	19.9	2273	322	1132	274	147
C 3	9.8	2.25	90.7	0.19	8.8	172	91	970	155	150

* mS/cm : 電気伝導率の単位 (ミリジーメンス/cm)

表 7-6 木炭粉の化学的性質

木炭の 種類	pH (H ₂ O)	EC (μS/cm)	T-N (%)	CEC (me/100g)	1N 酢安抽出塩基 (mg/100g)				水溶性塩基 (mg/100g)				全含量 (mg/100g)				リン酸含量		
					CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	水溶性-P ₂ O ₅ (mg/100g)	Truog-P ₂ O ₅ (mg/100g)	T-P ₂ O ₅ (mg/100g)
D 2	4.40	108	0.11	24.4	16	3	16	3	15	5	14	0.3	129	46	108	40	2.3	2.1	143
D 4	6.35	67	0.13	9.2	23	5	31	4	7	4	11	0.3	140	46	121	30	1.8	6.7	68
D 6	6.21	86	0.13	11.2	99	25	140	8	2	1	17	2.7	199	62	142	37	2.8	15.1	193
D 8	7.26	205	0.13	9.2	175	49	193	11	2	1	42	3.0	276	71	214	30	0.9	24.5	108
D 10	9.67	385	0.11	2.0	70	17	98	5	6	5	81	3.8	252	83	208	40	1.2	26.2	114

* 酢安抽出塩基：酢酸アンモニウムに抽出される塩基 (交換性塩基)

イ. 方法：M/10酢酸緩衝溶液（以下酢酸buffer、pH5.5）を用いて約10ppmの溶液を調製し、粉状試料0.5gに溶液50mℓを加え、室温（20℃前後）で2時間振とうした。ろ液の重金属含量を測定し、ブランクとの差を吸着量とした。また、溶液中の全含量に対する吸着量の比を吸着率とした。

(4) 重金属の吸着試験 (II)

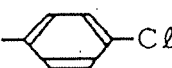
ア. 供試物質：試験 I と同じ

イ. 方法：M/10酢酸buffer (pH5.5) を用いて10~500ppmの溶液を作製し、粉状試料1gに溶液50mℓを加え、室温（15~20℃）で24時間振とうした。ろ液の重金属含量を測定し、ブランクとの差を吸着量とした。

(5) ベンチオカーブの吸着試験

ア. 供試物質：水田除草剤ベンチオカーブ (表 7-7)

表 7-7 ベンチオカーブの概要

構造式	$(C_2H_5)_2N\overset{O}{\parallel}CSCH_2-$ 
(化学名)	S-p-クロロベンジルN, N-ジエチルチオカーバメイト
分類	有機イオウ化合物 (チオカーバメイト)
用途	主に水田の一年生雑草防除のため、混合剤として茎葉あるいは土壌の処理に用いる。
物性	淡黄色液体、mp=3.3°C、bp=126~129°C 難溶性 (30ppm/20°C) 酸・アルカリに安定 魚毒性B類

イ. 方法：各濃度のベンチオカーブ水溶液に木炭粉を加えて振とうし、水溶液中に残ったベンチオカーブをガスクロマトグラフで定量した (図 7-3)。供試液含有

サンプル 3 g、ベンチオカーブ水溶液*30mℓ *100ppm液調製時
 ↓ 乳化剤100ppm添加
 振とう：150str/min (8の字)、60分
 ↓
 ろ過：自然ろ過
 ↓
 ジクロロメタン転溶：ジクロロメタン50mℓ 2回と5% NaCl 80mℓで転溶
 ↓
 脱水：無水硫酸ナトリウムと液相分離ろ紙で脱水
 ↓
 留去：ジクロロメタン留去
 ↓
 アセトン転溶：アセトン2.5mℓ
 ↓
 ・GC： GC 島津GC-7A
 検出器 FTD
 カラム 5%DC-200、クロモソルブAW、3.2mm×1m
 温度 カラム 200°C 注入口 270°C
 キャリアー He 40mℓ/min

図 7-3 ベンチオカーブ分析手順

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。

(6) 粒状コンポスト臭の吸着試験

ア. 供試物質：粒状コンポスト（粒径1～5mm）

イ. 方法：粒状コンポストに木炭粉を10g加えて軽く混和し、一時間以上放置した後、ニオイセンサー（相互薬工（株）製SF-105）を用いて臭気物質を測定した。そして粒状コンポストの測定値から木炭粉を加えて放置した後の測定値を引いた値を臭い物質の減少量とし、その割合を減少率とした。

3. 1. 2 木炭粉の施用が肥料成分および重金属の吸収に及ぼす影響

木炭粉施用が窒素、リン酸、カリの肥料成分およびZn、Cu等重金属の吸収に及ぼす影響を検討した。

(1) 肥料成分の作物吸収試験（ポット試験）

ア. 供試作物：コマツナ（VA菌根菌、根粒菌の非共生物）

イ. 供試土壌：腐植質黒ボク土（pH：5.5、土性：SL（砂壤土））

ウ. 木炭施用量：土壌に対し乾物重比で5%相当量

エ. 施肥量 1作目 N：0.5、P₂O₅：0.82、K₂O：0.55g/ポット（S182）

2作目 N：0.25+0.25、P₂O₅：0.41、K₂O：0.27g/ポット（S182
+硫安追肥）

オ. 栽培期間：1作目7月5日～8月6日、2作目8月19日～9月26日

カ. 試験規模：1/5000a（乾土2kg/ポット）、2反復

(2) 肥料成分の作物吸収試験（植木鉢試験）

ア. 供試作物：ダイズ「スズマル」（VA菌根菌、根粒菌の共生物）

イ. 供試土壌：腐植質黒ボク土

ウ. 木炭施用量：土壌に対し乾物重比で5%相当量

エ. 施肥量：S182 0.5g/鉢

オ. 栽培条件：播種：7月5日、収穫：9月2日、2本立/鉢

カ. 試験規模：5号鉢（乾土0.65kg/鉢）、2反復

(3) 重金属の作物吸収試験（ポット試験）

ア. 添加資材

試薬：Zn（硫酸亜鉛）+Cu（硫酸銅）、各100mg/ポット添加（乾土中50ppm）

高分子系下水汚泥：乾物100g/ポット（Zn 122.4、Cu 26.2、Cd 0.1mg/ポット）

豚糞コンポスト：乾物125g/ポット添加（Zn 90.5、Cu 27.4mg/ポット）

イ. ポット試験の概要

3. 1. 2の(1)と同じ

（但し、高分子系下水汚泥および豚糞コンポスト施用区の1作目は無肥料で栽培）

3. 2 実験結果と考察

3. 2. 1 木炭粉の吸着機能評価

(1) 肥料成分の吸着 (表 7-8)

実験炉および実用炉木炭粉のN吸着量は、pH5.5の場合0.3~1.3mg/g、pH7.0の場合1.8~5.0mg/gの範囲で、pHによって相違した。これらは、ゼオライトのN吸着量と比較

表 7-8 木炭粉による窒素とリンの吸着

木炭の 種類	N吸着量 (mg/乾物g)		P吸着量 (mg/乾物g)	
	pH5.5	pH7.0	pH5.5	pH7.0
A1~4 (平均)	0.4	2.4(0.0)*	-0.6	-0.8
A5~8 (//)	0.3	2.6(0.7)	-1.2	-0.4
A9~11 (//)	0.4	1.8(1.2)	-1.9	-0.6
A12~14 (//)	0.4	1.9(1.4)	-1.8	-1.2
A15	1.1	2.6(2.0)	-2.1	-1.0
B1	0.8	5.0(2.3)	0.2	0.4
B2	1.3	3.0(1.5)	-0.6	0.1
B3	0.8	4.2(1.7)	-0.7	-0.1
B4	0.3	3.2(2.3)	-0.9	0.1
B5	0.9	4.7(3.7)	-0.5	-0.8
B6	0.5	2.5(0.0)	-2.6	-2.1
C1	0.6	1.9(0.3)	-1.1	0.2
C2	15.1	24.9(22.1)	10.6	11.0
C3	4.4	9.1(7.9)	1.4	1.2
ゼオライト**	18.3	18.0(0.2)	3.3	9.6

* : () は非交換性の吸着量

** : ゼオライトの化学性はpH:6.4、CEC:127me/乾土100g。

すると著しく小さく、pH5.5では1/10以下、pH7.0では1/10~1/4程度であった。

pH7.0におけるN吸着量をみると、大部分の木炭が塩基交換容量(CEC)を上まわるものであった。そこで全N吸着量のうちCECを上まわる分を非交換性のN吸着とみなすと、実験炉木炭粉の場合炭化温度が高いほど非交換性のN吸着が大きくなる傾向を示した。なお、このような非交換性N吸着は、一方ゼオライトではほとんど認められなかった。

次にPの吸着量をみると、木炭粉はpH5.5、pH7.0いずれの場合も大部分がマイナスを示しており、見かけ上P吸着は認められなかった。これに対してゼオライトの場合は3.3mg/g(pH5.5)および9.6mg/g(pH7.0)のP吸着が認められた。

木炭粉の物理的性質を表7-4に示した。自然式炉のサンプルは、すべての項目で外熱式炉サンプルよりも値が高かったが、炭化温度との関係は、概ね似た傾向を示した。ただし、300℃炭化のサンプルは、水をはじいたため正確な測定ができなかった。容積重につい

てみると、炭化温度に比例して重くなる傾向がみられ、これと連動して最大容水量が減少する傾向があった。その値は、一般土壌に比べ2～3割程度だった。一方、易有効性水分は、600℃まで増加の傾向を示すが、700℃で減少し400℃の水準まで落ち込んだ。なお、この値は、300℃を除くと畑地基準値の10倍弱の値であり、高い保水能を示した。以上の結果から、木炭の保水性を期待する場合、炭化温度は、必ずしも高温である必要はないと推定された。

(2) 重金属の吸着 (表7-9)

表7-9 各種木炭粉による重金属の吸着能比較 (試験I)

木炭 の種類	Zn		Cu		Cd		Ni		Pb	
	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)
A 1～4	0.03	2.8	0.07	7.2	0.02	2.0	0.01	1.1	0.07	7.8
A 5～8	0.02	1.9	0.07	7.2	0.03	3.0	0.02	2.1	0.09	9.4
A 9～11	0.03	2.8	0.05	5.2	0.03	3.0	0.02	2.1	0.05	5.2
A 12～14	0.01	0.9	0.09	9.3	0.04	4.0	0.04	4.2	0.13	13.5
A 15	0.06	5.7	0.08	8.2	0.04	4.0	0.05	5.3	0.18	18.8
B 1	0.29	27.4	0.61	62.9	0.26	26.3	0.28	29.5	0.85	88.5
B 2	0.13	12.3	0.33	34.0	0.09	9.1	0.11	11.6	0.47	49.0
B 3	0.20	18.9	0.41	42.3	0.19	19.2	0.16	16.8	0.65	67.7
B 4	0.14	13.2	0.46	47.4	0.09	9.1	0.13	13.7	0.45	46.9
B 5	0.01	0.9	0.23	23.7	0.06	6.1	0.07	7.4	0.27	28.1
B 6	0.02	1.9	0.09	9.3	0.02	2.0	0.01	1.1	0.16	16.7
C 1	0.12	11.3	0.24	24.7	0.08	8.1	0.08	8.4	0.36	37.5
C 2	0.78	73.6	0.96	99.0	0.49	49.5	0.82	86.3	0.94	97.9
C 3	0.51	48.1	0.95	97.9	0.31	31.3	0.53	55.8	0.92	95.8

まず、各種木炭粉の重金属吸着能を比較した結果をみると、重金属の種類によって多少変動はみられたが、おおむね次の順であった。B 1 (平炉樹皮) > B 3 (ブロック炉間伐材) ≥ B 4 (レンガ製ブロック炉間伐材) ≥ B 2 (平炉のこくず) > B 5 (レンガ製ブロック炉解体材) > B 6 (流動層炉のこくず)、A 1～15 (外熱式炉のこくず)。

このことから、木炭粉の重金属吸着能は、原料の種類別にみれば、樹皮 > 間伐材 > のこくずと解体材、炭化炉別では平炉 > 流動層炉と外熱式炉の傾向があった。しかし、外熱式木炭粉から明らかなように、炭化温度の影響は判然としなかった。

一方、重金属の種類別にその吸着量を比較すると、木炭粉の種類によって多少の相違はみられたが、おおむねPbが最も多く、次いでCuであった。Zn、CdおよびNi間では一定の傾向が認められなかった。

次に、各重金属の濃度を4～5段階に設定し、木炭粉 (B 1、B 3)、ゼオライトを供

試して、これらの重金属吸着特性を調査した。その結果、各重金属の吸着量はいずれの設定濃度においても木炭（B1）>木炭（B3）>ゼオライトの順に多かった（表7-10～11）。

表7-10 ZnとCuとCdの吸着特性（試験II）

資材名	Zn				Cu				Cd			
	設定濃度 (ppm)	吸着平衡濃度 (ppm)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	設定濃度 (ppm)	吸着平衡濃度 (ppm)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	設定濃度 (ppm)	吸着平衡濃度 (ppm)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)
木炭 (B1)	10.1	5.0	0.25	50	19.8	4.0	0.79	80	10.3	4.9	0.27	52
	20.4	11.1	0.47	46	50.6	18.2	1.62	64	20.0	11.2	0.44	44
	50.2	33.4	0.84	34	99.4	51.4	2.40	48	49.9	31.3	0.93	37
	102.8	74.1	1.44	28	201.0	129.0	3.60	36	102.5	73.6	1.45	28
	207.0	171.7	1.77	17	506.3	399.4	5.35	21	200.1	160.4	1.99	20
木炭 (B3)	10.1	6.2	0.19	40	19.8	6.7	0.66	66	10.3	5.9	0.22	43
	20.4	13.8	0.33	33	50.6	27.7	1.15	45	20.0	13.1	0.35	35
	50.2	39.9	0.52	23	99.4	68.9	1.53	31	49.9	37.9	0.60	24
	102.8	90.5	0.62	12	201.0	163.3	1.88	19	102.5	85.2	0.87	17
	207.0	192.9	0.71	7	506.3	458.1	2.41	10	200.1	-	-	-
活性炭 (C3)	10.1	0.7	0.47	93	19.8	0.0	0.99	100	10.3	2.3	0.40	78
	20.4	2.3	0.91	89	50.6	0.1	2.53	100	20.0	5.4	0.73	73
	50.2	10.0	2.01	80	99.4	0.6	4.94	99	49.9	17.7	1.61	65
	102.8	31.7	3.56	69	201.0	5.6	9.77	92	102.5	43.6	2.95	58
	207.0	92.4	5.73	55	506.3	67.5	21.9	87	200.1	106.3	4.69	47
ゼオライト	10.1	8.8	0.06	13	19.8	17.5	0.11	12	10.3	9.4	0.04	8
	20.4	17.8	0.13	13	50.6	46.4	0.21	8	20.0	19.1	0.05	5
	50.2	46.3	0.20	8	99.4	92.9	0.33	7	49.9	48.1	0.09	4
	102.8	94.4	0.42	8	201.0	190.0	0.55	6	102.5	100.4	0.11	2
	207.0	194.7	0.62	6	506.3	488.1	0.91	4	200.1	196.5	0.18	2

表7-11 NiとPbの吸着特性（試験II）

資材名	Ni				Pb			
	設定濃度 (ppm)	吸着平衡濃度 (ppm)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	設定濃度 (ppm)	吸着平衡濃度 (ppm)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)
木炭 (B1)	9.8	4.9	0.24	49	10.4	0.5	0.49	95
	19.7	12.1	0.38	38	21.1	1.7	0.97	92
	48.8	36.6	0.61	25	52.8	11.0	2.09	79
	97.6	80.9	0.84	17	103.3	38.4	3.24	63
	195.5	176.5	0.95	10				
木炭 (B3)	9.8	6.7	0.15	32	10.4	1.0	0.47	91
	19.7	15.0	0.23	24	21.1	3.7	0.87	82
	48.8	42.4	0.32	13	52.8	20.6	1.61	61
	97.6	89.7	0.40	7	103.3	62.3	2.05	40
	195.5	186.8	0.44	4				
活性炭 (C3)	9.8	0.7	0.45	93	10.4	0.0	0.52	100
	19.7	1.9	0.89	90	21.1	0.2	1.05	99
	48.8	9.7	1.95	80	52.8	2.7	2.51	95
	97.6	34.4	3.16	65	103.3	13.0	4.51	87
	195.5	108.4	4.36	45				
ゼオライト	9.8	8.3	0.07	15	10.4	7.0	0.17	32
	19.7	17.1	0.13	13	21.1	15.8	0.27	25
	48.8	44.0	0.24	10	52.8	41.0	0.59	22
	97.6	90.8	0.34	7	103.3	82.6	1.03	20
	195.5	187.5	0.40	4				

注) Pb溶液のpHは10.4ppm: 5.4、21.1ppm: 5.2、52.8ppm: 4.8、103.3ppm: 4.2

一方、各重金属の吸着等温線をみると（図7-4～5）、ゼオライトはNiを除くといずれも直線で示されたが、木炭粉の場合はCu以外はすべて曲線で示された。特にB3については、平衡濃度が100ppmを超えるとZn、Niの吸着量が頭打ち傾向となり、さらに200ppmを超えるとこれらの吸着量がゼオライトと逆転する可能性もうかがわれた。

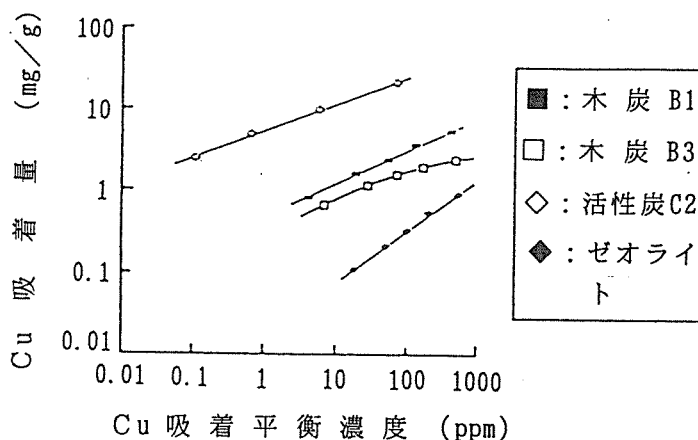


図7-4 Cu吸着等温線

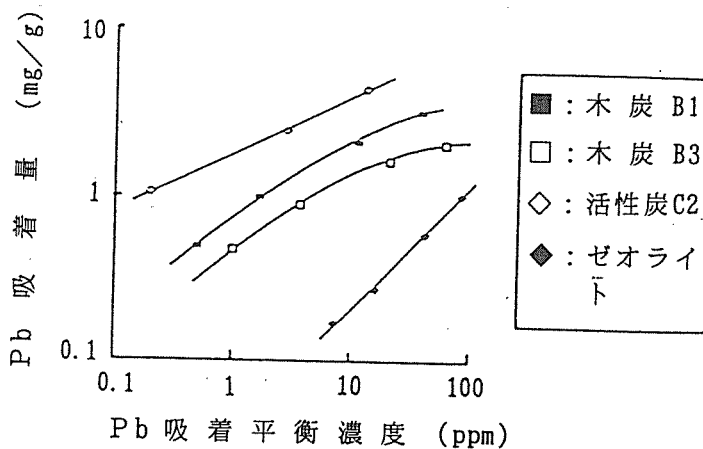


図7-5 Pb吸着等温線

3. 2. 2 木炭粉の施用が肥料成分および重金属の吸収に及ぼす影響

(1) コマツナによる肥料成分の吸収（表7-12）

木炭施用区のN吸収量は、平炉樹皮（B1）を除いていずれも無施用区より劣る傾向を示した。このようなNの吸収抑制は、外熱式炉では炭化温度の高いものほど、また実用炉でも、比較的炭化温度の高いレンガ製ブロック炉（B4）で大きいようであった。これらは、無機態Nが木炭粉の細孔に吸着固定された結果と推察された。一方、炭化温度の低い

表 7-12 木炭施用がコマツナの乾物重および要素吸収に及ぼす影響

処理内容	乾物重 (g/ポット)			N		P ₂ O ₅		K ₂ O		MgO		CaO	
	1作目	2作目	合計	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目
無施用	14.9	12.4	27.3	441	626	164	144	764	611	128	109	299	219
木炭 A 4	99	106	102	96	95	94	104	97	100	98	118	103	116
A 8	104	77	92	94	79	96	81	105	90	112	83	115	86
A 11	95	110	101	83	87	87	100	101	106	91	112	99	111
A 14	92	80	86	77	68	88	78	106	85	86	84	94	84
木炭 B 1	108	111	110	100	98	98	96	148	153	101	100	113	106
B 2	100	104	102	93	92	93	99	113	112	95	103	106	100
B 3	107	90	99	87	94	92	82	115	98	91	93	101	97
B 4	93	94	93	81	88	89	87	116	109	85	94	94	92
B 6	97	123	109	85	91	98	121	111	108	85	127	96	132
活性炭 C 1	99	85	93	94	81	97	69	132	121	95	82	94	80
C 2	111	98	105	96	90	96	91	159	143	102	99	131	125
石灰 pH6.0	101	113	106	103	102	102	110	102	109	81	102	159	170
pH6.5	113	105	109	104	104	116	90	106	98	75	72	233	233

注) 無施用区を100とする指数で示す。

流動層炉 (B 6) でも、N吸収抑制がみられたが、これは主として無機態Nの有機化によるものと考えられた。なお、活性炭 (C 2、C 3) については、表 7-8 に示すように、溶液中でのN吸着量が、木炭粉よりも顕著に多かったにもかかわらず、N吸収抑制は、木炭粉と同程度のレベルであった。

木炭施用区のP吸収量は、炭化温度の低い実験炉 (A 6) および流動層炉 (B 6) を除いていずれも無施用区より劣る傾向であった。また、このようなPの吸収抑制は、Nの場合と同様に、炭化温度の高いもので大きくなるようであった。しかし、P吸収抑制の要因については、溶液中でのP吸着が認められないこと、および跡地土壤のTruogリン酸 (0.002N 硫酸に溶出するリン酸で作物に吸収利用される (有効態) リン酸含量) が、無施用区よりも低くないこと (表 7-13) 等を考慮すると、吸着固定以外の要因が想定されるが、これについては今後さらに検討を要するものと思われる。

一方、カリの場合は、いずれの木炭粉にもN、Pのような吸収抑制は、認められなかった。カリ吸収量は、木炭の種類によって著しく相違したが、これは、表 7-6-1 に示すように、木炭自体のカリ含量の多少を反映した結果とみなされた。

(2) ダイズによる肥料成分の吸収 (表 7-14)

ダイズのN、P吸収に及ぼす木炭施用の影響は、コマツナの場合とは逆の傾向を示した。すなわち、木炭施用区のN、P吸収量は、炭化温度の低い場合 (A 3、A 6、B 6) には無施用区よりも劣るようであったが、高温で炭化した場合は明らかに無施用区を上まわった。この傾向はとりわけ実験炉木炭で明りようで、炭化温度の高いものほどN、P吸収量は増加した。

表 7-13 跡地土壤の化学性 (ポット試験、1作目)

処理内容	pH (H ₂ O)	EC (μ S/cm)	CEC (me/100g)	交換性塩基 (mg/100g)			T ruog P ₂ O ₅ (mg/100g)
				CaO	MgO	K ₂ O	
無施用	5.5	83	27.6	144	27	16	9.9
木炭 A 4	5.1	93	25.2	132	26	16	11.5
A 8	5.1	68	27.1	134	26	15	11.1
A 11	5.2	66	26.9	132	24	16	11.6
A 14	5.3	76	27.9	131	26	17	9.5
木炭 B 1	5.5	111	27.6	162	28	46	10.6
B 2	5.3	80	25.4	150	28	20	10.2
B 3	5.2	76	26.4	140	27	17	9.7
B 4	5.2	77	26.8	142	25	20	9.8
B 6	5.2	79	27.4	143	27	17	9.6
活性炭 C 1	5.7	105	26.8	236	42	41	10.4
C 2	5.3	89	25.9	142	28	27	8.9
石灰 pH6.0	5.6	112	27.4	284	29	15	12.0
pH6.5	6.2	167	28.2	609	27	15	14.9

表 7-14 木炭施用がダイズの生育および要素吸収に及ぼす影響 (植木鉢試験)

処理内容	乾物重 (g/鉢)			要素含有量 (mg/鉢)		
	地上部	根	根粒重	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
無施用	8.8	2.0	0.60	219	27	160
木炭 A 2	104	102	98	95	90	108
A 4	105	111	98	95	91	94
A 6	104	113	107	100	103	108
A 8	107	117	107	108	113	114
A 9	106	118	122	116	129	124
A 11	110	106	130	122	130	124
A 12	123	105	140	131	137	128
A 14	118	104	148	135	147	118
A 15	115	113	163	147	169	135
木炭 B 1	120	104	113	117	120	159
B 2	111	101	118	106	110	129
B 3	119	102	127	118	119	129
B 4	111	109	125	121	131	128
B 5	130	116	123	124	125	134
B 6	108	100	93	95	94	109
活性炭 C 1	117	112	110	112	116	154
C 2	107	137	105	110	123	129
石灰 pH6.0	121	115	122	122	117	116

注) 無施用区を100とする指数で示す。

ダイズのN吸収量は、図7-6に示すように根粒重と直線的な関係が認められた。したがって、木炭施用条件でのN吸収量の増加は、根粒菌によるN固定の促進によるものとみなされた。一方、根粒重の増加は、図7-7に示すようにP吸収量の増加と密接な関係 ($Y = X$ の関係) が認められた。

このようなことから、炭化温度の高い木炭粉の施用は、VA菌根菌の活性を高めてP吸収を促進し、また同時に、根粒菌の活性をも高めてN吸収を促進したものと考えられた。

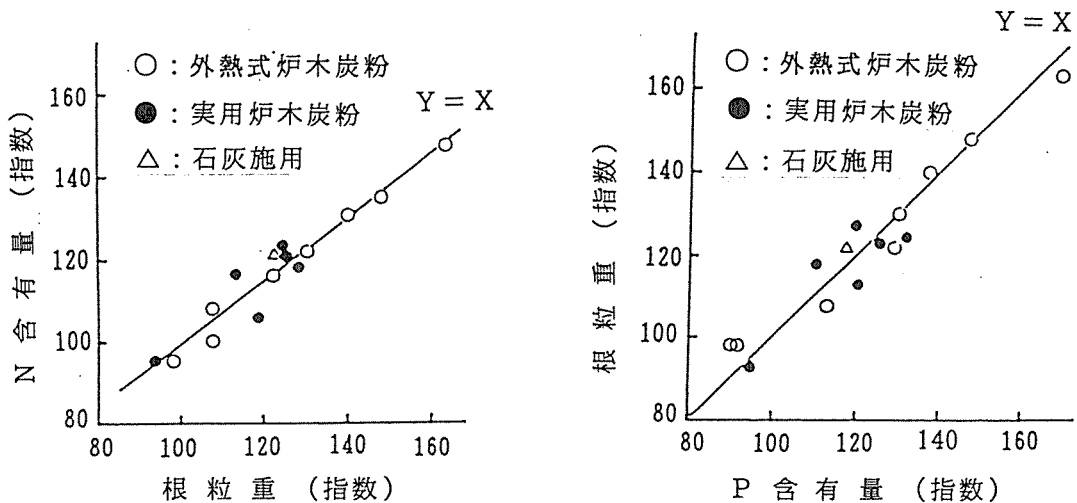


図7-6 ダイズの根粒重とN含有量との関係 図7-7 ダイズのP含有量との関係

なお、これらの効果は、石灰や活性炭の施用でも認められることから、アルカリ資材としての効果が大きかったものと思われる。ただし、跡地土壌のpH (表7-15) が石灰や活性炭の施用区と同程度でも、木炭施用区の方が高い効果を示す事例も認められることから、(外熱式炉A11、A14)、有用微生物のすみかを提供するなど、石灰のみでは代替できない効果も推察された。

(3) コマツナによる重金属の吸収 (表7-16)

ZnとCuの試薬を添加した土壌を供試して、これらの重金属吸収に及ぼす木炭粉施用の影響をみると、流動層炉 (B6) 以外の木炭は、ZnおよびCuの吸収を抑制する傾向を示した。さらに木炭の種類別でみると、平炉のこくず (B2) とレンガ製ブロック炉 (B4) の吸収抑制が比較的大きく、これらは活性炭とほぼ同程度の吸収抑制を示すことが認められた。しかし、石灰を施用して土壌pHを高めた処理区と比較すると、いずれの木炭もこれを上まわるほどの吸収抑制は認められなかった。

一方、高分子系下水汚泥や豚糞コンポストを添加した土壌の場合にも、木炭粉によるZn、CuおよびCdの吸収抑制が認められた。吸収抑制の大きさは、高分子系下水汚泥添加の場合レンガ製ブロック炉 (B4) で大きく、流動層炉 (B6) で小さい傾向が認められた。

表 7-15 跡地土壌の化学性 (植木鉢試験)

処理内容	pH (H ₂ O)	EC (μ S/cm)	CEC (me/100g)	交換性塩基 (mg/100g)			Truog P ₂ O ₅ (mg/100g)
				CaO	MgO	K ₂ O	
無施用	5.2	108	26.5	146	55	1.6	10.0
木炭 A 2	5.4	113	26.8	129	58	7.0	9.3
A 4	5.3	105	26.1	143	61	7.2	8.3
A 6	5.2	107	26.6	132	59	7.1	8.7
A 8	5.3	101	26.5	137	58	6.7	8.5
A 9	5.3	102	25.8	140	66	7.2	7.3
A 11	5.4	105	24.9	138	63	7.5	8.4
A 12	5.5	94	25.7	145	69	8.2	8.4
A 14	5.6	84	25.7	142	79	9.6	10.4
A 15	5.9	101	26.8	148	74	8.6	8.4
木炭 B 1	5.5	122	26.9	160	65	25.8	10.3
B 2	5.4	107	27.0	152	63	13.8	12.9
B 3	5.4	112	26.1	140	64	7.4	8.9
B 4	5.4	89	26.9	142	62	8.7	7.6
B 5	5.4	102	27.4	154	68	7.6	8.4
B 6	5.3	114	27.6	146	58	7.8	8.6
活性炭 C 1	5.5	101	26.7	147	69	16.1	8.7
C 2	5.7	163	26.8	221	80	35.2	10.0
石灰 pH6.0	5.6	102	27.0	282	53	5.3	9.1

次に、跡地土壌の重金属含量をみると (表 7-17)、0.1N HCl-Zn および Cu 含量は石灰施用区および活性炭 (C 3) 施用区で低い傾向であったが、木炭施用区の場合無施用区と比較して一定の傾向は認められなかった。しかし、1N 酢安-Zn および Cu 含量については、木炭施用区でも若干低下する傾向が認められた。

以上の結果から、木炭粉の施用は作物の重金属吸収を多かれ少なかれ抑制する効果を示したが、重金属賦存量の多い土壌での積極的な吸収抑制等を期待することは困難と思われた。

(2) 肥料成分の吸着試験

まず肥料の吸着実験を行う前に木炭粉の化学的性質を検討し表 7-6-2 に示した。pH・EC・CEC は表 7-6-1 とほぼ同じ値を示したが、無機成分は表 7-6-1 より温度による変動が大きかった。また、水溶性の塩基、P がわずかながら認められた。有効態の P もわずかに認められ、高温になるにつれて微増した。したがって、これら無機成分の吸着能はあまりないと推定された。次に肥料成分の吸着実験を行ったが、N・P・K の吸着はみられず、逆にこれらが溶出してくることがあった。そのため結果の表は割愛した。

表7-16 コマツナのZnとCuの含有率(乾物中ppm)および吸収量(mg/ポット)

重金属	資材	処理内容	コマツナの含有率(乾物中ppm)				コマツナの吸収量(mg/ポット)					
			Zn		Cu		Zn			Cu		
			1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	合計	1作目	2作目	合計
試 菜	木 炭	無施用	166	175	12.3	16.0	2.48	2.17	4.65	0.183	0.198	0.381
		A 4	146	170	10.5	15.7	86	103	94	84	105	95
		A 8	158	217	10.0	19.3	99	95	97	85	92	89
		A 11	152	181	10.1	17.3	86	113	99	78	119	99
	A 14	162	177	11.1	17.8	90	81	85	83	89	86	
	木 炭	B 1	144	158	9.3	13.2	94	100	97	82	92	87
		B 2	139	147	9.4	12.7	84	88	86	77	83	80
		B 3	148	174	9.7	15.9	95	90	92	84	90	87
		B 4	150	174	9.4	15.5	83	93	88	71	91	81
		B 5	159	193	13.2	19.4	93	136	113	104	150	128
		B 6	159	193	13.2	19.4	93	136	113	104	150	128
	活性炭	C 1	156	171	11.0	13.2	92	83	88	89	71	79
		C 2	122	158	9.1	14.4	81	88	85	83	88	85
	石灰	pH6.0	88	123	8.1	13.2	53	79	65	67	93	81
		pH6.5	37	63	7.2	10.9	25	38	31	66	72	69
下水汚泥	無施用	167	186	8.7	11.1	3.16	1.65	4.81	0.164	0.099	0.263	
	木 炭	B 1	89	130	7.1	7.3	61	117	80	93	110	100
		B 2	102	132	7.0	7.2	64	111	80	85	101	91
		B 3	102	157	7.4	10.1	61	135	86	85	144	108
		B 4	85	115	6.8	7.5	51	110	71	78	120	94
		B 5	100	140	7.6	10.3	55	164	93	80	202	126
		B 6	100	140	7.6	10.3	55	164	93	80	202	126
豚 糞	無施用	62	58	7.0	7.3	0.89	1.21	2.10	0.100	0.151	0.251	
	木 炭	B 1	56	65	6.2	5.9	93	94	94	92	68	78
		B 2	53	47	6.4	4.5	88	76	81	95	59	73
		B 3	59	54	6.8	6.1	98	80	88	101	72	84
		B 4	59	51	7.1	6.6	94	79	86	102	82	90
		B 5	60	46	6.6	5.9	74	78	76	73	79	77
		B 6	60	46	6.6	5.9	74	78	76	73	79	77

注) 含有率は無施用区を100とする指数で示す。

(3) ベンチオカーブの吸着試験

バッチ法により各サンプルにベンチオカーブを吸着させたところ、ベンチオカーブをほとんど吸着し、特に炭化前ののこくずにも高い吸着力がみられた(表7-18)。まず、自燃式炉サンプルについて炭化温度の影響をみると(図7-8)、吸着率は温度に比例して高くなったが、500℃以上のサンプル間では吸着率の差がほとんどみられず、ほぼ100%の吸着率だった。炭化時間の影響をみると、時間が長いほうが吸着率は高くなったが、その差は非常に小さかった。また、吸着特性を吸着等温線で見ると(図7-9)、500℃以上の場合は濃度が高くなるにつれ吸着力が少し落ちたが、400℃のサンプルでは逆に低い濃度で吸着力が落ちた。以上より、500℃以上の炭化物であればベンチオカーブはほぼ100%吸着され、炭化時間の影響も少ないことがわかった。次に、実用炉で生産された木炭粉の吸着力をみると、吸着率は概ね90%以上だったが、これは炭化前ののこくずとほぼ同じ値

表7-17 跡地土壌のpHとZnおよびCu含量(乾土中ppm)

重金属 資材	処理内容	pH (H ₂ O)		0.1NH ₄ Cl - Zn		1N酢安 - Zn		0.1NH ₄ Cl - Cu		1N酢安 - Cu		
		1作	2作	1作	2作	1作	2作	1作	2作	1作	2作	
試 菜	無施用	5.3	5.1	24.9	26.1	4.1	5.0	6.0	6.6	3.4	3.7	
	木炭 A	A 4	5.1	5.0	24.9	25.2	3.8	5.2	7.0	7.0	3.2	3.7
		A 8	5.1	5.0	24.3	26.2	3.1	4.7	7.8	7.4	3.3	3.5
		A 11	5.2	4.9	24.3	26.9	3.4	5.0	6.9	8.4	3.7	3.5
		A 14	5.3	5.0	23.4	25.6	3.2	4.4	6.0	7.1	2.4	3.3
	木炭 B	B 1	5.5	5.2	25.8	25.5	3.8	4.7	7.5	6.3	3.1	3.3
		B 2	5.3	5.2	23.6	24.7	3.6	4.9	6.3	6.8	3.5	3.4
		B 3	5.2	5.0	24.6	24.8	4.0	5.5	7.0	6.6	3.3	3.3
		B 4	5.2	5.1	26.1	24.8	3.4	4.9	6.3	6.4	2.9	3.0
		B 6	5.2	5.0	24.6	25.9	3.6	5.9	6.7	7.9	3.1	3.7
		活性炭 C	C 1	5.7	5.4	24.3	22.2	2.5	2.5	3.4	3.1	1.1
	C 2		5.3	5.0	26.2	25.3	4.2	4.6	7.1	6.7	3.5	3.5
	石灰	pH6.0	5.6	5.4	23.2	23.0	2.8	3.5	6.4	5.9	3.2	3.3
		pH6.5	6.2	6.0	23.2	17.9	1.0	0.9	4.2	3.7	2.4	2.6
下水汚泥	無施用	4.9	4.6	23.0	22.6	2.4	4.6	1.74	2.20	1.1	1.4	
	木炭 B	B 1	5.1	5.0	21.8	21.1	1.8	3.8	1.77	2.02	1.1	1.2
		B 2	4.9	4.8	22.0	20.2	1.8	4.5	1.80	1.94	1.3	0.8
		B 3	4.9	4.9	23.1	20.7	1.8	4.6	-	1.86	0.9	1.3
		B 4	4.9	4.9	24.1	21.8	1.9	3.2	1.65	2.02	1.4	0.9
		B 6	5.0	4.9	23.3	21.3	1.9	4.0	2.06	2.04	1.1	1.1
豚 糞	無施用	5.6	5.7	24.0	21.3	1.7	2.1	0.61	0.46	1.1	1.0	
	木炭 B	B 1	5.9	5.8	25.0	23.1	trace	1.4	0.64	0.49	0.8	0.7
		B 2	5.9	5.8	27.1	23.0	0.4	0.9	0.64	0.64	0.8	0.9
		B 3	5.9	5.8	27.0	22.1	0.1	1.2	0.50	0.49	0.7	0.7
		B 4	5.9	5.9	25.3	26.1	0.1	0.9	0.59	0.53	0.7	1.0
		B 6	5.7	5.8	24.3	22.5	0.4	1.0	0.88	0.75	0.8	0.5

であり、今回の実験で実用炉木炭粉の有用性を示せなかった。しかし、効果の持続性などの点で木炭粉の方が優れていると思われるので、カラム法での検証が必要と思われる。

(4) 粒状コンポスト臭の吸着試験

人間の臭覚と高い相関を示すニオイセンサーを用い木炭粉の脱臭力を測定した。まず、粒状コンポストに実験炉木炭粉を10% (重量%) 加え、脱臭力を比較したところ、500°Cが最も強い脱臭力を示し、炭化温度が上がるにつれ脱臭力が落ちていった (表7-19、図7-10)。

次に、700°C 60分炭化木炭粉を使って添加量と脱臭力の関係を見たところ、添加量に比例して脱臭力が強くなった (表7-20、図7-11)。あわせて官能試験を行ったところ、10%添加でかなり臭気が薄くなり、50%添加でほとんど臭いが無くなった。以上より脱臭効果を期待する場合、炭化温度を高温にする必要はなく、500°C程度の炭化温度で十分であることがわかった。

表 7-18 木炭によるベンチオカーブの吸着

木炭の種類	設定濃度 (ppm)	平衡濃度 (ppm)	吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)
D 0	1	0.05	0.00945	95.0
	10	0.73	0.0927	92.7
	100	7.1	0.929	92.9
D 3	1	0.097	0.00903	90.3
	10	0.1	0.0990	99.0
	100	2.1	0.979	97.9
D 4	1	0.072	0.00928	92.8
	10	0.13	0.0987	98.7
	100	2.2	0.978	97.8
D 5	1	0	0.01	100
	10	0.056	0.0994	99.4
	100	0.99	0.990	99.0
D 6	1	0	0.01	100
	10	0.069	0.0993	99.3
	100	0.22	0.998	99.8
D 7	1	0	0.01	100
	10	0	0.1	100
	100	0.1	0.999	99.9
D 8	1	0	0.01	100
	10	0	0.1	100
	100	0.052	0.999	99.9
D 9	1	0	0.01	100
	10	0	0.1	100
	100	0.17	0.998	99.8
D 10	1	0	0.01	100
	10	0	0.1	100
	100	0.52	0.995	99.5
B 2	1	0.055	0.00945	94.5
	10	0.15	0.0986	98.6
	100	10.6	0.894	89.4
B 3	1	0.065	0.00935	93.5
	10	0.24	0.0976	97.6
	100	6.8	0.932	93.2
C 2	1	0	0.01	100
	10	0	0.1	100
	100	0	1	100

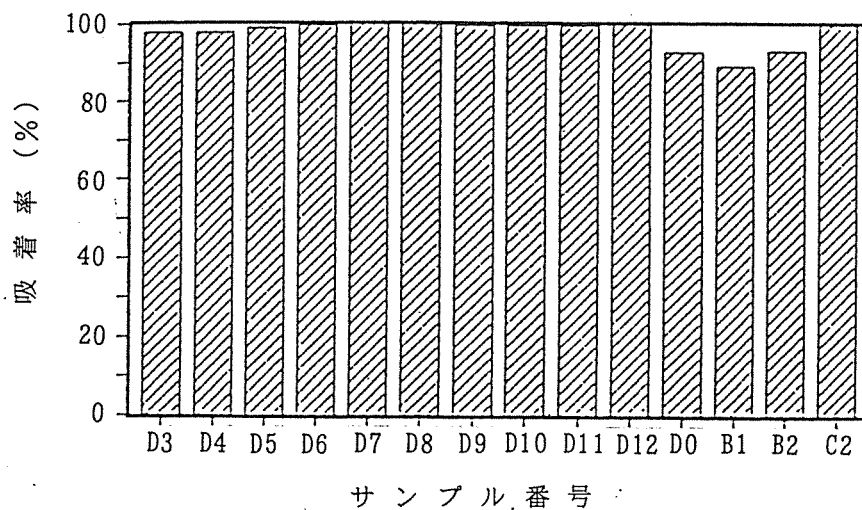


図 7-8 ベンチオカーブ吸着力の資材間差
(ベンチオカーブ100ppm溶液の吸着率)

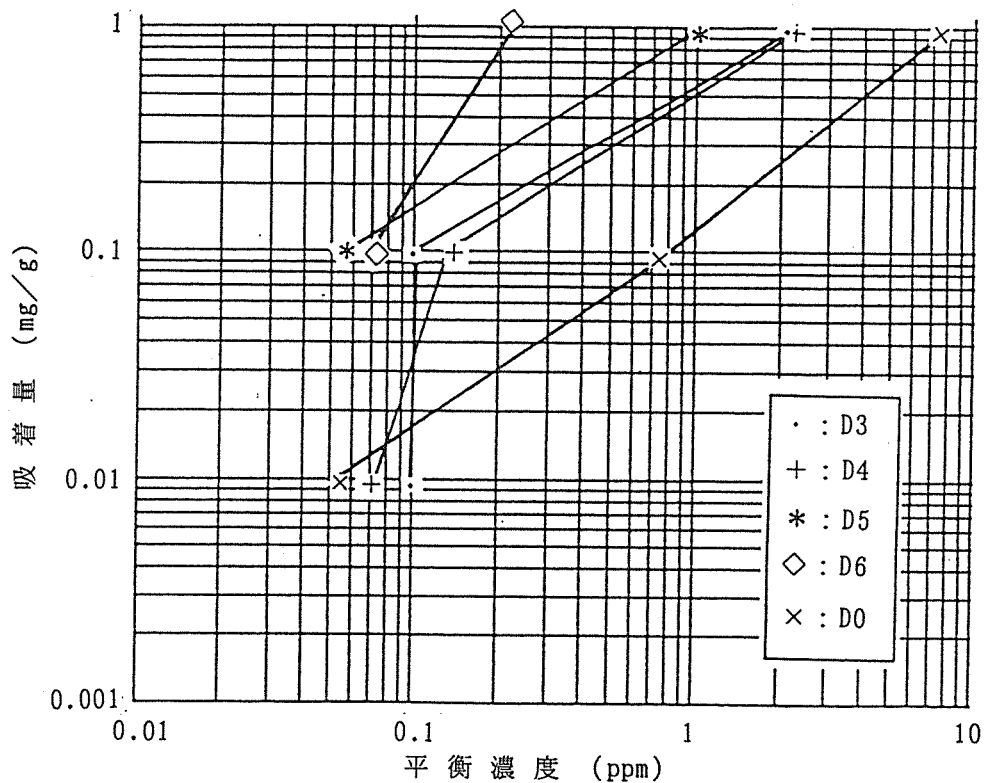


図 7-9 ベンチオカーブの吸着等温線

表 7-19 木炭粉の脱臭力比較

サンプル NO.	臭気物質測定値 (Hz)		減少量 (Hz)	減少率 (%)
	粒状コンポスト	木炭粉添加		
D 0	610	600	10	2
D 3	560	460	100	18
D 4	557	484	73	13
D 5	560	430	130	23
D 6	557	480	77	14
D 7	560	438	122	22
D 8	557	496	61	11
D 9	560	450	110	20
D 10	557	538	19	3
C 2	560	475	85	15

※木炭粉10% (重量パーセント) 添加時の測定値

3. 3 まとめ

実験室での外熱式炉および実用炉木炭粉のN吸着量は、著しく小さく、見かけ上P吸着は認められなかった。コマツナによる肥料成分の吸収をみると、木炭施用区のNおよびP吸収量は、無施用区より劣る傾向を示した。しかし、NもPも木炭粉によって、植物体の吸収が、カリの吸収量は木炭の種類によって著しく相違しており、木炭自体のカリ含量の多少を反映した結果とみなされた。肥料成分(N・P・K)の吸着性は、今回供試したサンプルにはみられず、これら「肥料成分」に対して木炭粉はあまり効果がないと思われた。

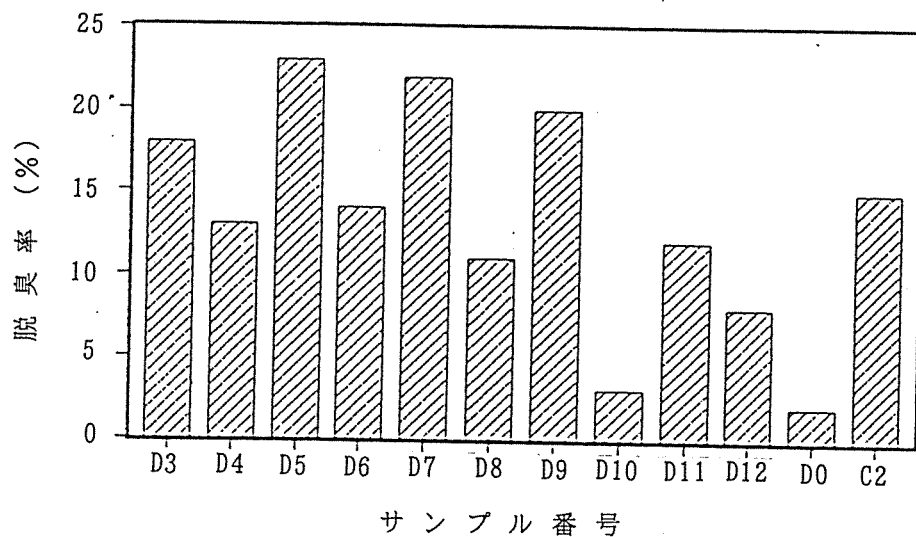


図 7 - 1 0 脱臭率の資材間差
(木炭粉10%添加)

表 7 - 2 0 添加量と脱臭力の関係

添加量 (%-W/W)	臭気物質測定値 (Hz)		減少量 (Hz)	減少率 (%)
	粒状コンポスト	木炭粉添加		
1	542	531	11	2
5	542	512	30	6
10	542	505	37	7
50	542	448	94	17

※700°C、60分間炭化のサンプル使用

しかし、ダイズによる肥料成分の吸収をみると、木炭施用区のN、P吸収量は、炭化温度の低い場合には無施用区よりも劣ったが、高温で炭化した場合は明らかに無施用区を上まわった。この傾向はとりわけ外熱式炉木炭で明りょうで、炭化温度の高いものほどN、P吸収量は増加した。ダイズのN吸収量には、根粒重と直線的な関係が認められた。したがって、木炭施用条件でのN吸収量の増加は、根粒菌によるN固定の促進によるものとみなされた。一方、根粒重の増加は、P吸収量の増加と密接な関係が認められた。炭化温度の高い木炭粉の施用は、VA菌根菌の活性を高めてP吸収を促進し、また同時に根粒菌の活性をも高めてN吸収を促進したものと考えられた。

木炭粉の吸着能は重金属の種類により多少変動するが、平炉樹皮炭>ブロック間伐材炭≥レンガ製ブロック炉間伐材炭≥平炉のこくず炭>流動層炉のこくず炭の順であった。活性炭はさらに高かった。また、重金属の中では、CuとPbの吸着率が高かった。

木炭粉の施用は作物の重金属吸収を多かれ少なかれ抑制する効果を示したが、重金属賦

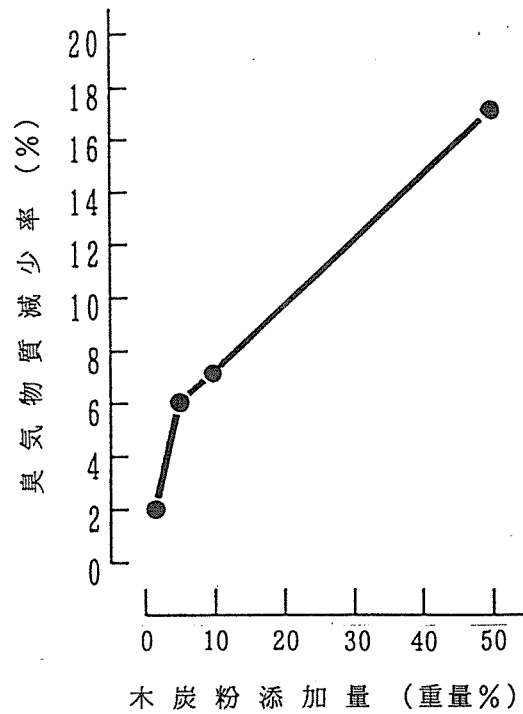


図 7 - 1 1 木炭粉添加量と脱臭力の関係

※700℃、60分間炭化のサンプル使用

存量の多い土壌での積極的な吸収抑制等を期待することは困難と思われた。

木炭粉の保水性、水田除草剤ベンチオカーブの吸着性および臭気物質の吸着性について炭化温度の影響をみたところ、必ずしも高温で炭化したサンプルがよいわけではなく、500℃以上の炭化条件であれば効果を持つことがわかった。

第8章 木炭を利用した水質浄化法

1. はじめに

ここ数年来、木炭および木酢液等炭化副産物の新しい用途開発が活発に行われ、その生産量、消費量もわずかながら年々増加の傾向を示している。木炭に関しては木炭の多孔性、吸着性等の特性を生かし、土壌改良資材、水質浄化用資材、家屋の調湿用資材としての利用、木酢液に関しては多成分からなる木酢液の特長を生かした植物成長調節材としての利用等木炭の燃料以外への用途開発、および木酢液の利用拡大が最近の木炭生産量の増加を助長させているためである。

しかしながら、木炭の水質浄化に関する研究は木炭の物性、研究室内規模でのモデル実験等の報告が散見されるものの詳細な研究が行われていないのが実状である。また、屋外での実際的な水質浄化試験は、市町村等の地方公共団体および婦人会等の民間団体によって精力的に行われているが、いずれもその場限りのものが多く、木炭の物性と水質浄化機能の関係を普遍的な観点から考察したものはほとんど見られない。水質浄化用としての木炭の使用形態、使用済み木炭の処理等にも問題が残されている。データの裏づけが少ない状態で河川や生活排水等を用いて実際的な試みがなされているのが現状である。

そこで、木炭の物性、特に表面積、内部容積等と水質浄化機能との関連性を実験室レベルで調べるとともに水質浄化に適した木炭について検討することを目的とした。

2. 実験方法

2. 1 材料

本実験に使用した炭化物はアカマツ炭、カラムツ炭、コナラ炭、モウソウチク炭、ヤシガラ炭の5種である。

アカマツ炭、コナラ炭、モウソウチク炭は、黒炭窯により炭化温度 600～800℃で炭化されたもの、カラムツ炭はブロック窯により炭化温度 600～800℃で炭化されたもの、ヤシガラ炭はドラム缶製炭化炉で 600～700℃で炭化されたものを入手し、使用した。

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。

粉末あるいは細片を必要とするものには実験に先立ち、鉄製の乳鉢で所定の大きさに粉碎し、実験に供した。

2. 2 各種木炭の物性の測定

2. 2. 1 木炭品質の分析

pHは JIS K 1470(1967) に準じて、木炭から溶出してくる灰分を含む水の液性を測定することによって決定した。

水分、灰分、揮発分、固定炭素含量は JIS M 8812(1963) に準じて測定した。

精錬度は木炭精錬計（山陽電機製作所製）、硬度は三浦式木炭硬度計を用いて測定した。容積重は、大きさ約1 cm³ 程度の木炭を使用し、常法のメスシリンダー法によって行った。

2. 2. 2 細孔分布、全細孔容積等の測定

(1) ミクロポア測定

島津-マイクロメリティックス アサップ2000により、窒素ガスによるガス吸着法で測定した。測定範囲 0.001-0.28 μm

(2) マクロポア測定

島津-マイクロメリティックス ポロシメータ ポアサイザ9320により、水銀圧入法により測定した。測定範囲 0.006-180 μm

2. 3 水質浄化能の測定

2. 3. 1 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. 2 カラムによる濾過試験

5~10メッシュに粉碎した木炭5種、および40~80メッシュ海砂をそれぞれガラスカラム（内径25mm、長さ50cm）に充填した。充填後のカラム内の木炭あるいは海砂の高さは約30~40cmであった。このカラムの上部から家庭生活排水 400mlをカラム下部のコックを調節することによって毎分1~3mlの速度で滴下した。カラムから留出した生活排水を再びカラム上部から落とし、合計3回カラムで濾過後の生活排水と濾過前の水質を調べた。

3. 結果と考察

3. 1 各種炭化物の物性

3. 1. 1 工業分析値

表8-1に各種木炭の工業分析値を示した。カラマツのpH値が6.48と異常に低いが、他の炭化物のpH値は7~9以内に入り、通常の燃料として使用される炭化物のpH値を示している。カラマツ炭は58.54%の揮発分を含み、従って固定炭素が36.04%と他の炭化物に比べ最も少ない。これは炭化が完全に行われていなかったことを示すもので、精錬

度が9という異常に高い値からも未炭化であることがうかがえる。pH値が低いのも未炭化のためである。

通常の木炭の灰分含有率は高々2%前後である。今回の測定では、モウソウチク炭が極めて高い灰分含有率(17.82%)を示した。タケ炭は以前の実験からもケイ素含有率が高いことが知られており、今回も高いケイ素含有率のため、灰分含有率が高くなったものと思われる。モウソウチク炭は揮発分含量も高く(31.36%)、従って固定炭素含有率は50%にみならず、燃料としての品質は良くない。

アカマツ炭、コナラ炭は揮発分、灰分含有率が小さく(揮発分それぞれ16.78、13.08%、灰分 0.95、1.77%)、固定炭素含有率が大きい(それぞれ77.28、78.59%)ので、炭化過程の進んだ燃料で、また、炭素原料としては品質の優れた木炭と言える。

3. 1. 2 細孔分析

表8-2に水銀圧入法による直径 $0.006\mu\text{m}$ より大きなマクロな細孔の分析結果を示した。アカマツ炭、カラマツ炭は全細孔容積が大きく、 2.5cc/g 付近の値を示したが、コナラ炭、モウソウチク炭は、アカマツ炭、カラマツ炭の $1/3\sim 1/4$ 程度で、ヤシガラ炭、海砂はさらに小さく 0.4cc/g 弱であった。

平均細孔直径は全細孔容積同様、アカマツ炭、カラマツ炭が大きく $0.9\sim 1.0\mu\text{m}$ 付近で、これに比べコナラ炭、モウソウチク炭、ヤシガラ炭はかなり小さく 0.05 付近であった。

図8-1~8-6に各種炭化物および海砂の細孔直径の分布を示した。それぞれ特徴ある分布を示しているが、アカマツ炭、カラマツ炭は $0.1\sim 50\mu\text{m}$ に細孔直径が分布し、最も頻度の大きい分布がアカマツ炭では $8\sim 9\mu\text{m}$ 、カラマツ炭では $0.8\sim 0.9\mu\text{m}$ に見られる。

これに比べ、コナラ炭、ヤシガラ炭、モウソウチク炭の細孔直径の分布は $0.01\sim 100\mu\text{m}$ に幅広く分布し、頻度の高い分布もアカマツ炭、カラマツ炭に比べ小さい。

全細孔比表面積ではアカマツ炭、カラマツ炭がコナラ炭、モウソウチク炭、ヤシガラ炭に比べ、 $1/3\sim 1/5$ 程度の値を示している。

以上のことをまとめて考察してみると、アカマツ炭、カラマツ炭が比較的大きな細孔を有するのに比べ、コナラ炭、モウソウチク炭、ヤシガラ炭は小さな細孔を有していることがわかる。

表8-3に直径 $0.001\sim 0.28\mu\text{m}$ のミクロな細孔の分析結果を示した。全細孔容積はアカマツ炭の方がコナラ炭より幾分大きいけれどもそれほど大きな差はない。比表面積は三方法による結果を示したが、この場合もアカマツ炭の方がコナラ炭より幾分大きいけれども、黒炭としての標準的な値である。

3. 2 炭化物の水質浄化能

3. 2. 1 水質試験結果

表8-4に各種炭化物処理後の家庭排水の水質浄化試験結果を示した。アンモニア性窒

素、亜硝酸性窒素、有機リン化合物の除去率、CODの低下率のいずれもアカマツ炭が最も高く、カラマツ炭が有機リン化合物の除去率は低かったものの、その他の除去率あるいは低下率ではいずれもアカマツ炭に次いで良好な結果を示した。

表8-5に各種炭化物処理後の家庭排水の性状を示した。

透視度はいずれの場合も原水よりも高くなり透明度が改善されたが、特に、カラマツ炭アカマツ炭ではその改善度が高かった。色はアカマツ、カラマツ、コナラ炭、海砂では白色の原水と変わりなかったが、モウソウチク炭、ヤシガラ炭では家庭排水を通過させることにより、それらに含まれる灰分等の異物質が溶け出してくるために淡黄色の着色した。モウソウチク炭の場合には沈澱物も生じた。従ってモウソウチク炭、ヤシガラ炭を水質浄化用に使用する場合には、念入りな水洗が必要である。

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

表8-6は各種炭化物に家庭排水を通過させた時の炭化物への排水の吸着量を示した。アカマツ、カラマツ、モウソウチク炭が約40ml以上の値を示し、コナラ、ヤシガラ炭、海砂は30ml以下であった。

表8-7に各種炭化物で処理後の家庭排水のpH値の変化を示した。いずれの場合も炭化物で処理前の家庭排水のpH値よりも処理後は大幅に大きな値を示し、カラマツ炭の場合を例外とし、炭化物からのミネラル等のアルカリ性側にpHを移動させる要因となる物質の溶出を推定させた。

3.2.2 炭化物の水質浄化機能と細孔との関係

木炭の水質浄化機能や消臭機能は多孔性に起因する比表面積の大きさによると言われている。直径 $0.002\mu\text{m}$ 以下のミクロな細孔の比表面積はアカマツ炭、コナラ炭、ヤシガラ炭でそれぞれ236、187、 $44\text{m}^2/\text{g}$ となっているが、今回の水質浄化実験では、4種の試験項目、即ち、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、有機リン化合物、CODのうち多少の例外はあるものの木炭の水質浄化力は比表面積の大きさの順になっている。しかしながら、表8-2に示す各種木炭の直径 $0.006\sim 180\mu\text{m}$ のマクロな細孔の全細孔比表面積の大きさと水質浄化力の大きさの順位は一致せず、むしろ比表面積は小さくても全細孔容積の大きい炭化物、即ち直径の大きな細孔をたくさん有する炭化物が水質浄化力が大きいという結果になっている。従って炭化物の水質浄化力はミクロな細孔の比表面積の大きさだけでなくマクロな細孔の全細孔容積と平均細孔直径の大きさも考慮して判断すべきものと思われる。

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

で、製鉄、二硫化炭素の製造などに使われる。

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

木材中の導管は水分や気体の移動を司っている。同じ広葉樹でもブナ材はクルイン材と比べ導管分布数は一桁多いが、その直径は小さい。導管の面積率は両者ともほぼ同じであるにもかかわらず、気体透過効率はクルイン材の方が一桁も高い（森林総研 鈴木養樹氏による）。これらの例からも類推できるように化学反応性や通導性には単に細孔の数だけでなく、その大きさが大きく関与しているものと思われる。炭化物の水質浄化では気体ではなく液体が関係しているが、液体の場合にも細孔の大きさが透水性や反応性に大きく関与していることが予想される。また、今回の実験は炭化物の吸着に主眼を置いた研究であるが、水質浄化は多孔性の炭化物に繁殖する微生物による汚染物質の分解機構も考えられるので、その面からの考察も必要である。

4. まとめ

4. 1 各種木炭の物理恒数について

アカマツ、カラマツ、コナラ、ヤシガラ、モウソウチクを炭材とした炭5種および対照として使用した海砂のpH、水分、灰分、揮発分、固定炭素、精錬度、硬度、容積重等を測定し、それぞれの炭の間での差異を検討した。

さらに、木炭の水質浄化能に最も影響を及ぼすと考えられる細孔関連のデータ、すなわち、全細孔容積、全細孔比表面積、平均細孔直径、有孔率等を測定、あるいは算出した。

4. 2 各種木炭による家庭排水の水質浄化

上記木炭および海砂をカラムに詰め、家庭排水を通過させることにより各種木炭の水質浄化能を測定した。アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、有機リン化合物除去率およびCOD低下率いずれの場合もアカマツ木炭の場合が最も高い値を示し、これらの値が単に木炭の比表面積の大小だけでなく、全細孔容積、平均細孔直径等に影響されることを明らかにした。

表 8-1 各種炭化物の工業分析

	pH	水分 (%)	灰分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	精錬度	硬度
アカマツ	8.10	4.99	0.95	16.78	77.28	6.8	1>
カラマツ	6.48	4.35	1.14	58.54	36.04	9	1>
コナラ	8.35	6.56	1.77	13.08	78.59	5.9	1
モウソウチク	8.25	6.37	17.82	31.36	44.45	5.8	1>
ヤシガラ	7.53	7.13	1.53	23.16	68.18	7.8	1>
海砂 ¹⁾	5.35	0.0087	99.96	0.010	0.0795	-	-

¹⁾ 対照として実験に使用

表 8 - 2 各種炭化物等の細孔分析 (I) ¹⁾

	全細孔容積 (cc/g)	全細孔比表面積 (m ² /g)	平均細孔直径 (μ m)	容積重 (g/cc)	真比重 (g/cc)	有孔率 (%)
アカマツ炭	2.5792	9.8280	1.0498	0.2828	1.0455	72.9473
カラマツ炭	2.4866	11.4178	0.8711	0.2886	1.0223	71.7671
コナラ炭	0.7529	55.7715	0.0540	0.6864	1.4202	51.6732
モウソウチク炭	0.6587	49.1600	0.0536	0.6576	1.1602	43.3174
ヤシガラ炭	0.3764	33.4178	0.0451	0.8809	1.3179	33.1584
海砂	0.3656	0.0259	56.4988	1.3048	2.4950	47.7045

¹⁾ 水銀圧力法によるマクロな細孔分布の測定
測定範囲 直径0.006-180 μ m

表 8-3 木炭のミクロな細孔分析 (II) ¹⁾

	全細孔容積 (cc/g)	比 表 面 積 (m ² /g)		
		BET法による	Langmuir法による	直径0.002μm以下の 細孔の比表面積
アカマツ炭	0.136	324	426	295 (236) ²⁾
コナラ炭	0.089	243	331	203 (187)
ヤシガラ炭	-	-	-	- (44)

¹⁾ 島津アサップ2000による窒素ガス吸着法によるミクロな細孔の分析

測定範囲 直径0.001-0.28μm

²⁾ かつこ内は島津比表面積自動測定装置2200による窒素ガス吸着法による測定

表8-4 各種炭化物による家庭排水の水質浄化

	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 (%)
原液	3.44	—	0.0877	—	9.21	—	87.8	—
処理炭化物	アカマツ	1.30	0.0558	36.4	4.63	49.7	54.2	38.3
	カラマツ	1.79	0.0562	35.9	7.69	16.5	64.3	26.8
	コナラ	2.10	0.0657	25.1	5.06	45.1	64.9	26.1
	モウソウチク	2.00	0.0770	12.2	7.78	15.5	75.8	13.7
	ヤシガラ	1.96	43.0	0.0827	5.7	6.96	24.4	84.5
海砂	2.22	35.5	0.0922	—	7.30	20.7	127.6	—

表 8-5 各種炭化物処理後¹⁾の家庭排水の性状

	透視度 ²⁾	色			懸濁物 ³⁾			におい ⁴⁾			その他
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	
原水	7.8	白色			+			++			
処理炭化物		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	
アカマツ	18.0	白色	白色	白色	-	-	-	+	-	-	1回目処理後の水面に泡、 2度目以降には見られず。 アカマツに同じ
カラマツ	19.8	白色	白色	白色	-	-	-	+	-	-	
コナラ	16.0	白色	白色	白色	-	-	-	++	-	-	
モウソウチク	16.7	淡黄色	淡黄色	淡黄色	+	-	-	++	+	+	アカマツに同じ
ヤシガラ	14.0	淡黄色	淡黄色	淡黄色	+	-	-	++	++	+	
海砂	11.7	白色	白色	白色	-	-	-	++	++	++	

1) 家庭排水400mlを25gの木炭、あるいは海砂に滴下、3回通過させたもの

2) 木炭あるいは海砂で3回処理後の透視度、透視度計(柴田科学製)による測定値

3) 懸濁物：有 +、無 -

4) におい：強い悪臭 ++、弱い悪臭 +、無臭 -

表 8 - 6 家庭排水の
各種炭化物への吸着量¹⁾

炭化物	吸着量(ml)
アカマツ	39
カラマツ	71
コナラ	26
モウソウチク	49
ヤシガラ	22
海砂	28

¹⁾ 木炭あるいは海砂25gに家庭排水400mlを
3回通過させた後の吸着量

表 8-7 各種炭化物で処理後の
家庭排水の pH 値

処理前の 家庭排水の pH	pH	
	4.64	
炭化物	炭化物で処理後の pH	処理前の炭化物の pH
アカマツ	6.42	8.10
カラマツ	6.60	6.48
コナラ	7.77	8.35
モウソウチク	7.33	8.25
ヤシガラ	6.14	7.53
海砂	4.76	5.35

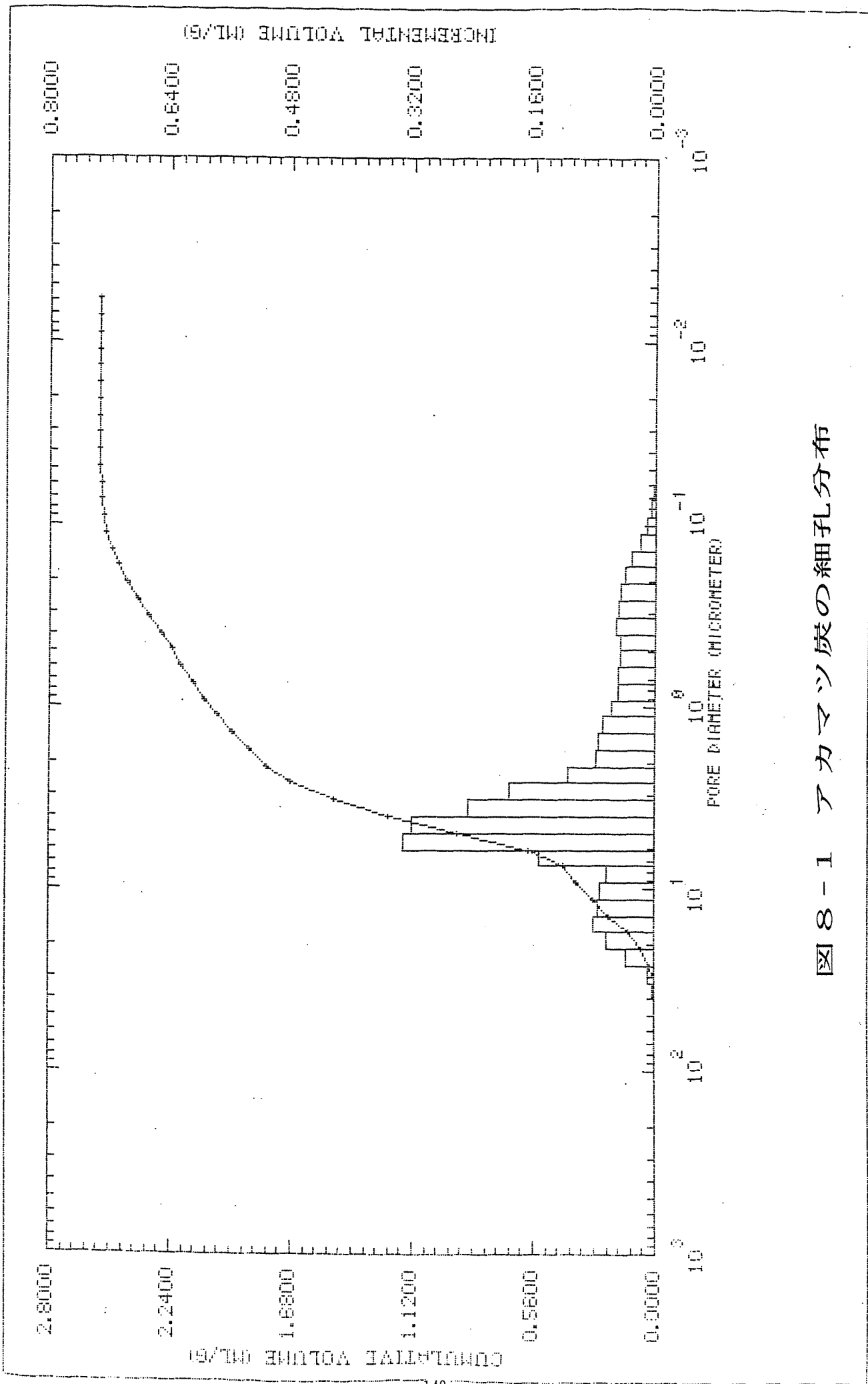
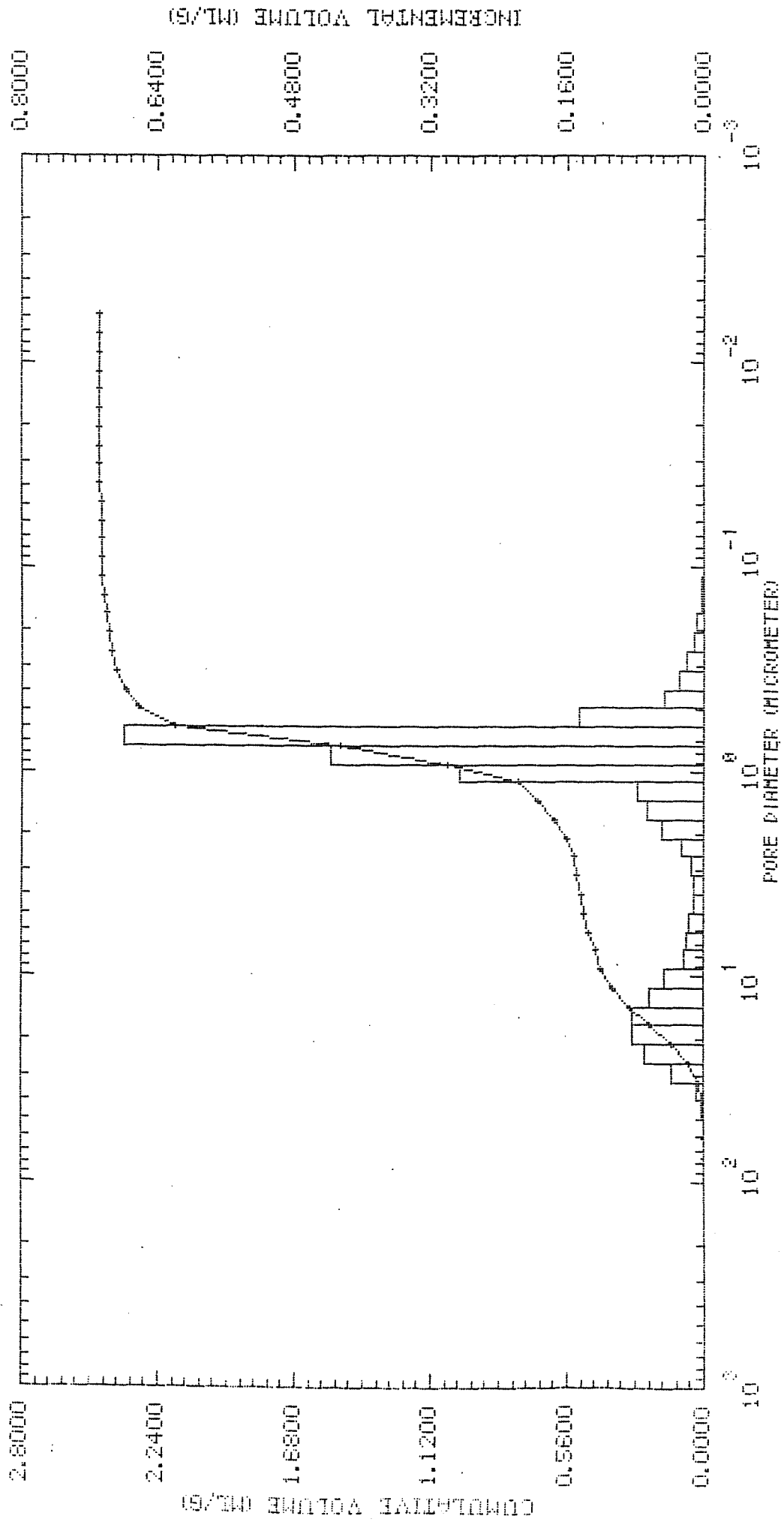


図 8-1 アカマツ炭の細孔分布

図 8-2 カラマツ炭の細孔分布



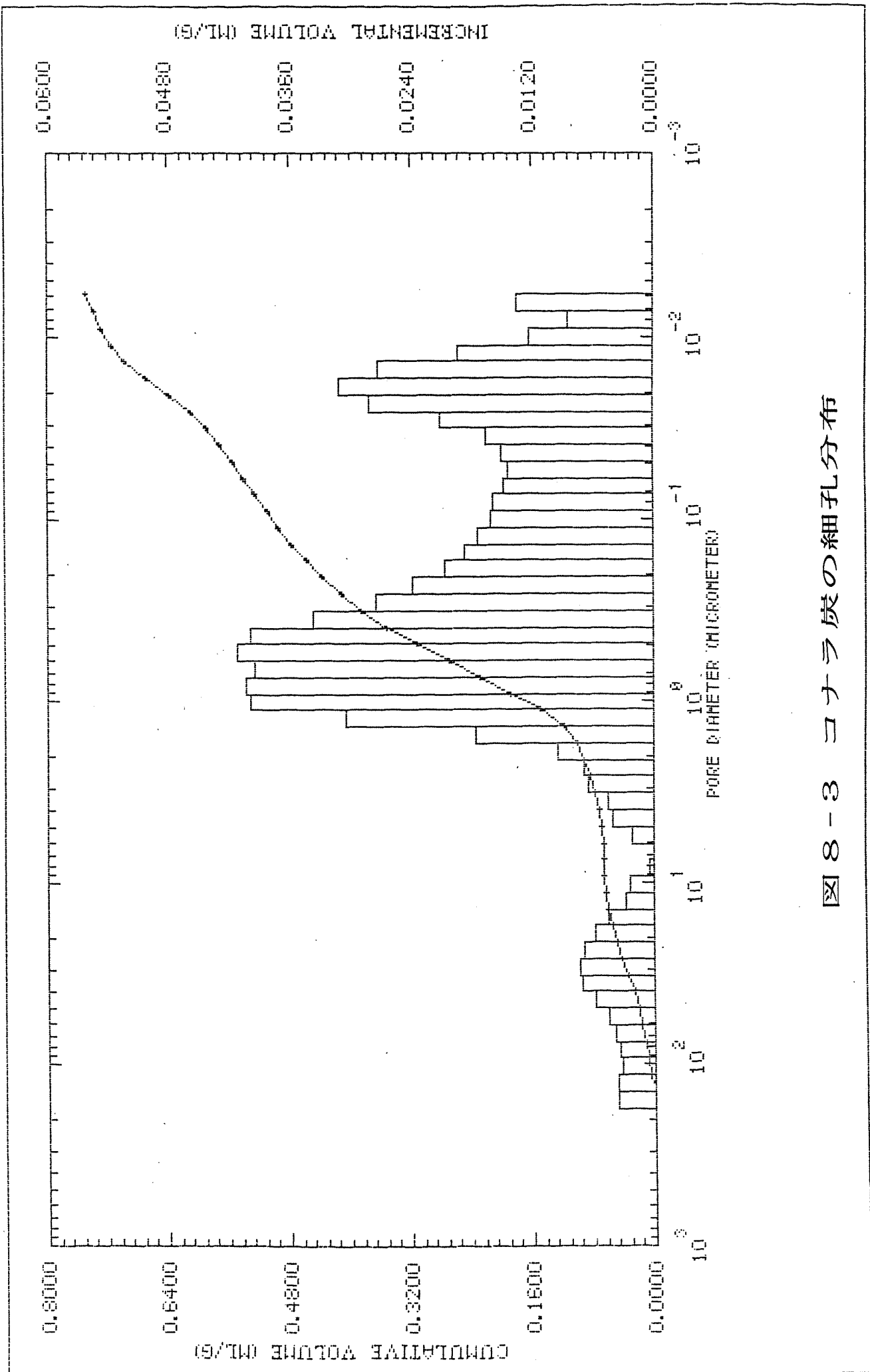


図 8-3 コナラ炭の細孔分布

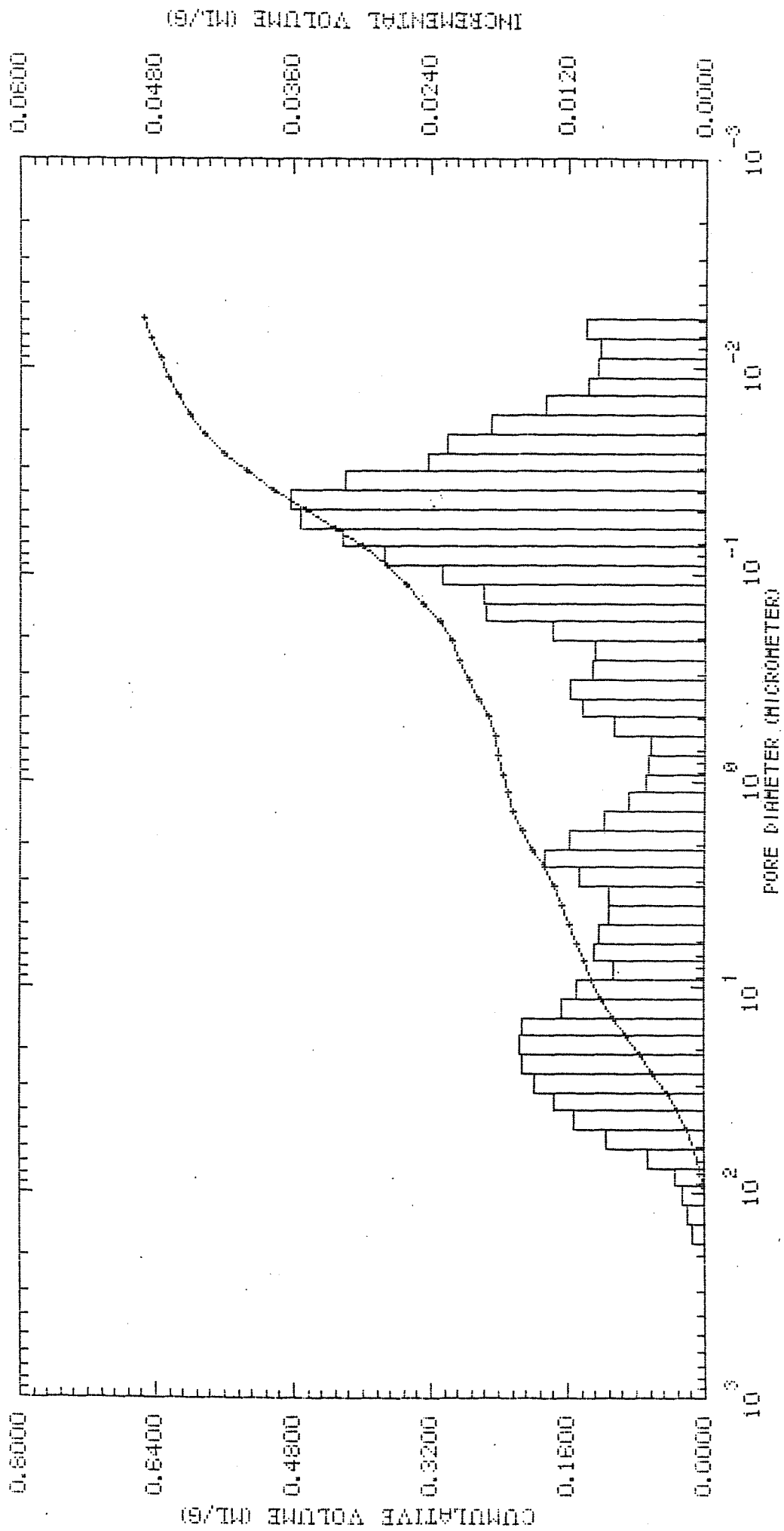


図 8-4 モウソウ活性炭の細孔分布

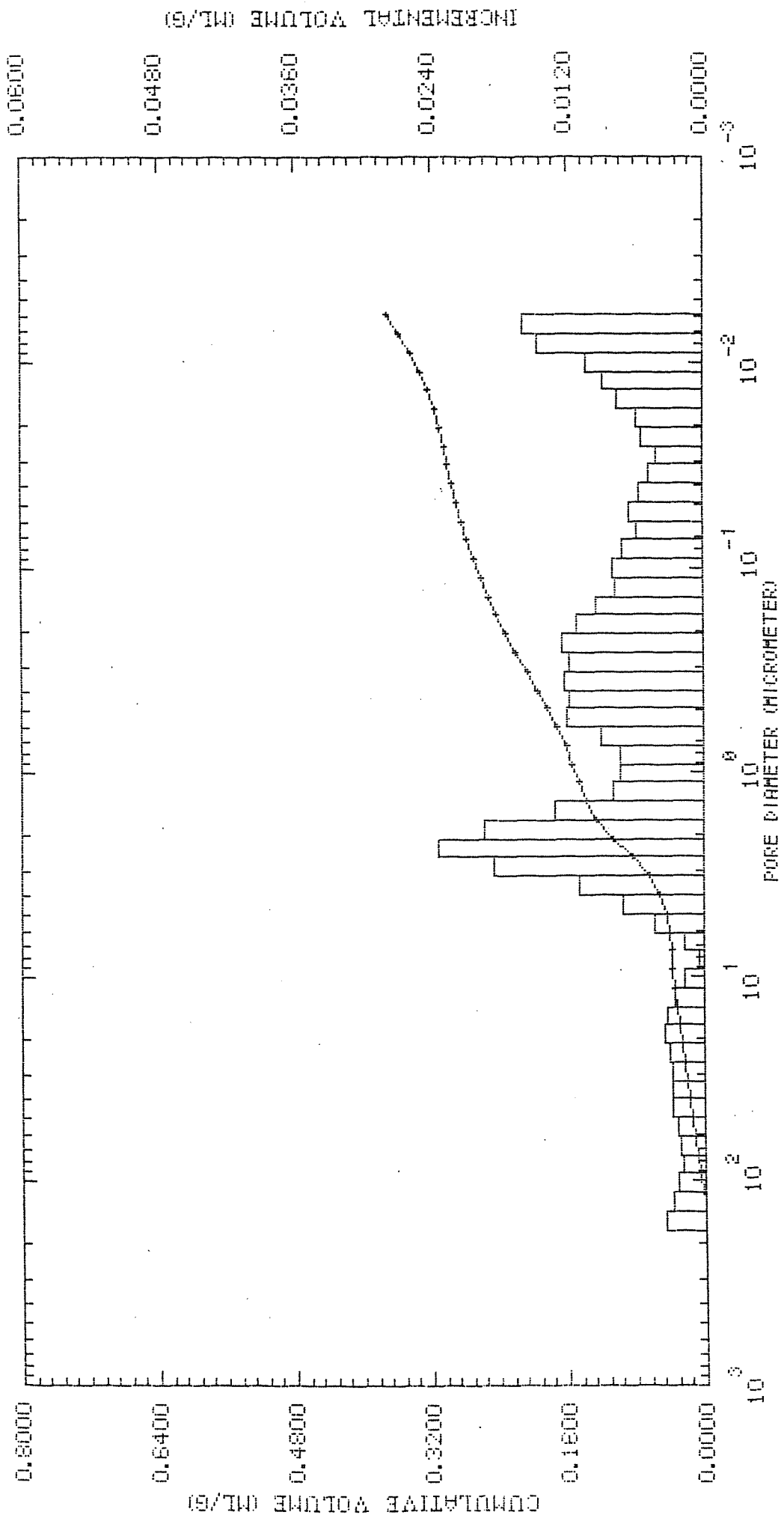


図 8-5 ヤシガラ灰の細孔分布

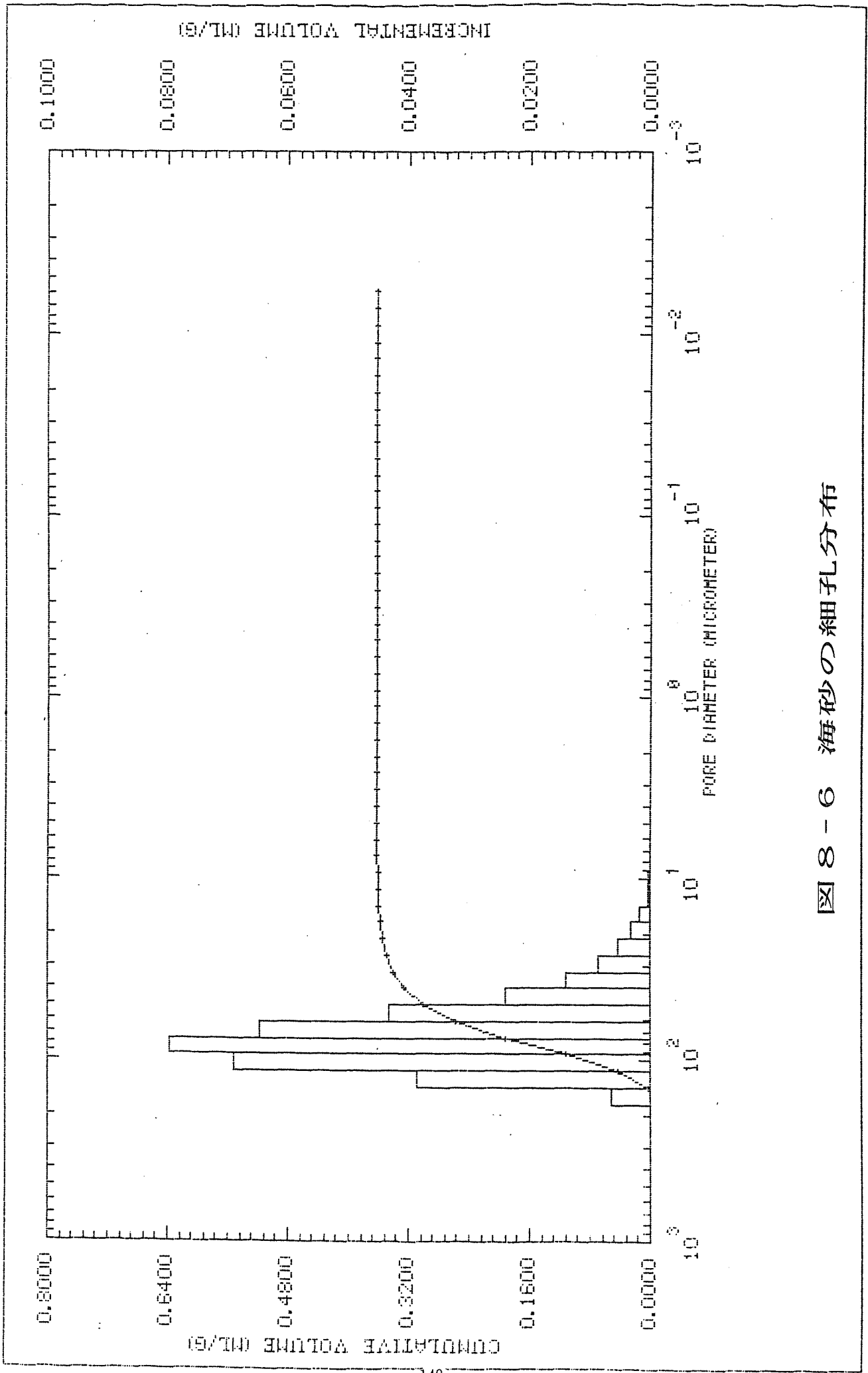


図 8 - 6 海砂の細孔分布

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

一般に木造住宅の基礎はコンクリート布基礎が使用されている。布基礎の換気孔が小さかったり、不足している場合や、宅地が湿気の多い場所に建築された場合など、木造住宅の床下は湿気がこもり、木造住宅の耐久性に影響及ぼすことが多く、これの対応策が求められている。一方、身近にはごみ処理等による環境汚染などが大きな問題となり、限りある資源のリサイクルが叫ばれている。本報告ではこれらの2つの異なると考えられるテーマを組み合わせることにより、我々の生活環境の改善を図ろうとする試みである。

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、その大部分がただのゴミとして棄却されていることが多い。

近年、木材の炭化製品がレジャー用燃料、土壌改良材料、水質浄化材料や脱臭材などへの活用先として見直されると同時に、加工廃材に加えて建築廃材や物流廃材を炭化することによって、広い範囲の分野にわたって有効に活用しようとする試みがなされている。したがって、これらの課題提起はここに来て再び木質資源に対するリサイクル資源としての一層の促進が求められるようになった所以である。

一方、上述したように過去において木造住宅の束石（つかいし）は建築基準の改正により、基礎は「コンクリート布基礎」として規制され、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床下環境は劣悪なものとなり、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覆っている場合が見られるが、これは多くの問題点をかかえており、床下環境を好転させる最善の方法とは考えられない。

そこで、リサイクル材料としての加工廃材・建築廃材等木炭の利用が、地球環境の保全のみならず、床下に木炭を敷設することによる床下環境に対する効果が明白となれば、より良い居住環境を提供することにもなる。しかし、いまだ廃材木炭が床下の湿度調節にどれだけ機能するかはまだ十分実証されていない。

このような理由から、建築廃材等により製造される木炭を各種住宅の床下に調湿乾燥剤として用いることを試み、より良い床下環境を提供できるかどうか、その効果を明らかにする。そして、我々の生活環境、特に好ましい室内環境の形成にも役立たせ、今後のリサイクル物質としての木質加工廃材や建築廃材の有効利用の促進を提示することを目的としている。

本章（第9章）は次の課題についてこれまで得られた結果を報告する。

すなわち、

（1） モデル住宅における床下気象環境と木炭敷設に対する床下気象環境の改善

鹿児島にすでに建設されているモデル住宅を利用することによって、床下土壌表面を建築廃材による木炭敷設区、ビニールシート敷設区、モルタル敷設区および土壌露出区における3年間の床下環境（相対湿度）を比較検討する。以下、本文ではそれぞれ木炭区、ビニール区、モルタル区および対照区とする。

（2） 実際に居住している木造住宅の床下気象環境の実態

「関東地区（つくば市、浦和市）、北陸地区（富山市）、中部地区（岡崎市）および南九州地区（鹿児島市）」の4地域・5調査区にある実際に居住中の木造住宅の床下環境を測定・調査対象とする。これらの床下の気象環境の実態、さらに、これまで2調査区（浦和市および岡崎市）に得られた建築廃材等木炭を床下調湿乾燥材としての効果を明らかにする。したがって、本研究の主たる調査はまだ第2年目に入ったところであり、実際に居住している住宅への木炭敷設は1993年12月（または1994年1月）に敷設したばかりであるためあくまでも途中経過の報告であることをお断りする。

2 モデル住宅における床下気象環境改善のための基礎実験

2.1 実験方法

2.1.1 モデル住宅の構造様式と基礎伏図

モデル住宅を用いた床下の温度・相対湿度の環境の測定は1988年より開始し、現在まで6年間にわたり測定してきた。その後、1990年からは木炭、ビニールシートおよびモルタルを敷設することによる床下環境の改善を試みる。

使用したモデル住宅の構造様式は、

①木質系枠組み工法（第一号住宅）、②在来木造工法（第二号住宅）、③ログハウス工法（第三号住宅）、④RC造（第四号住宅）、⑤プレカット工法（第五号住宅）の五棟で、いずれも平屋建て、床面積4 m²、基礎はコンクリートブロック二段積み、地上から床下高40 cmでそれぞれ異なる外壁及び内壁を設定した。それぞれの布基礎伏図は図9-1に、換気孔の配置は表9-1に示すとおりである。

これらの実験住宅は、鹿児島大学農学部構内の附属演習林苗畑の一角に設置した。

2.1.2 外気及び床下環境（温度・相対湿度）の測定方法

外気の温度および相対湿度を測定するためのセンサーは、一号住宅の南軒下の直射日光が当たらないように設置した。一方、床下環境の温度・相対湿度はすでに述べたように床面積4 m²の中央部に地上高20 cm高さの位置に設置した。

それぞれのセンサーから得たデータはデータ集録ターミナル（DA2500:横河電機製）により30分ごとに計測し、パソコンに取り込んだ。詳細については既報¹⁾を参照願いたい。

ただし、1988年（昭和63年）から開始し、1990年（平成3年）6月までは床下に木炭を敷き込まず土壌露出の状態での測定した。その後、1990年（平成3年）6月11日から、各モデル住宅の床下は木炭、ビニールもしくはモルタルを敷き込んだ状態（表9-1参照）で、現在も継続測定している。

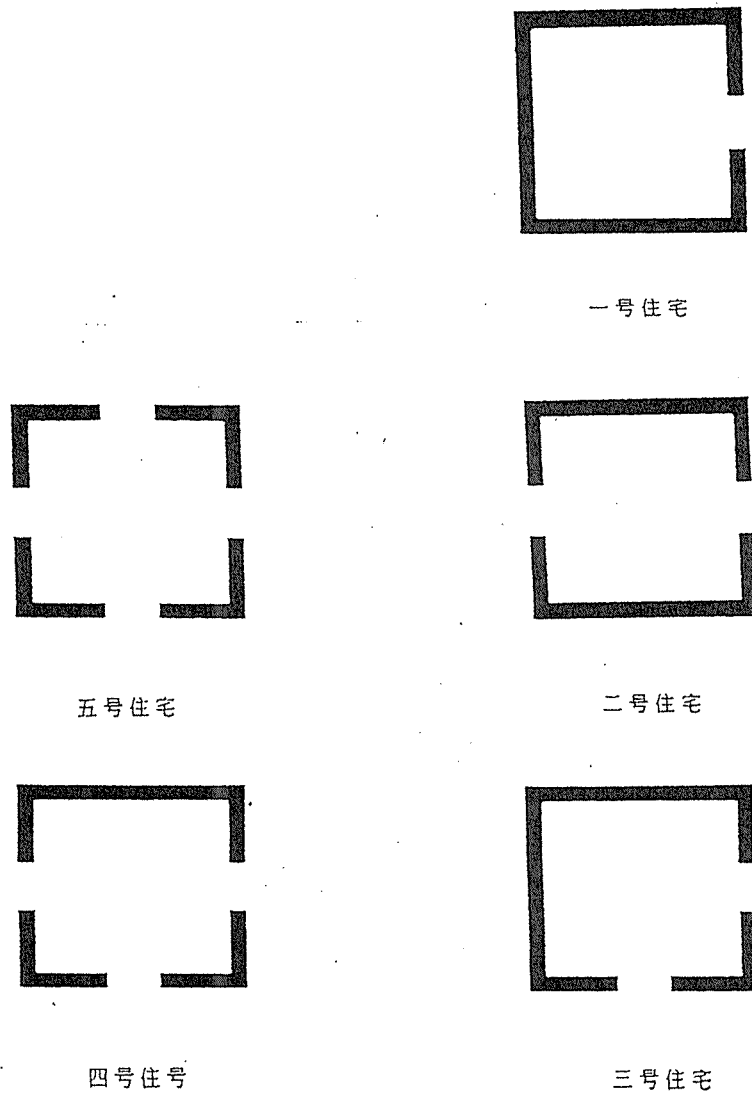


図9-1 実験に供したモデル住宅の布基礎伏図

表9-1 モデル住宅の換気孔数と床下の改善のための各種敷設（1990年6月）

実験住宅	換気孔の数と位置	床下の敷設状況	名称
一号住宅	1	布袋入り木炭（ $1.26\text{m}^3/\text{m}^2$ ）	木炭区
二号住宅	2（対称）	袋出し木炭（厚さ約15cm）	木炭区
三号住宅	2（直角）	ビニールシート	ビニール区
四号住宅	3	モルタル（厚さ10cm）	モルタル区
五号住宅	4	土壌露出	対照区

2. 2 実験結果の概要と考察

2. 1. 1 建築廃材より製造した木炭の脱・吸湿過程の木炭含水率の推移

床下に敷設した建築廃材木炭は、ビニール大袋に約3kgの4袋を1個として、工場よりそれぞれの測定地に直接配達した。生産工場から輸送中にビニール袋内の木炭から蒸散したと考えられる水分が、袋内面に結露状態となって生じていた。これは火災の関係から木炭を不綿織袋に挿入する段階で、スプリンクラーにより散水した木炭をビニール袋中に封入しているため、木炭に含まれた水分が不綿織袋中において蒸散していることを示している。

そこで、配送された木炭を即座に床下に敷設することは、床下の相対湿度を上昇させる一因となることが考えられた。したがって、この結露状態を引き起す建築廃材木炭を即座に各モデル住宅床下に敷設した場合、どの程度の時間経過にともなって、結露を生じない程度の含水率を持つに至るかを検討しておくことが必要である。今回使用した木炭は工場出荷後3日目に到着した時の建築廃材木炭の含水率は約24%~27%を示し、敷設後の床下における建築廃材木炭の含水率の変動がどのようなものであるかを検討した。

以上の考え方から、5タイプの各モデル住宅の床下に敷設した木炭の一部を不綿織袋に木炭を小分け（約1kg）し、これを含水率測定用とし、1週間経過毎に取り出し、含水率の経過を約7週間にわたって、次の2工程についての木炭の含水率の推移を検討した。

(1) 木炭が保有する水分が脱湿する場合

各モデル住宅の床下に置いた木炭から含有水分が脱するときの脱湿一時間曲線は図9-

2に見られるように、初期の平均含水率24～27%にある建築廃材木炭は脱湿にともなって約1週間以内に平均7%～12%の範囲に落ちつき、以後安定する。この図から明らかなように第4号モデル住宅に敷設した木炭の含水率が比較的早く低下・安定したのは、外気との流通が多いため、当然のことながら短い期間で低い平衡含水率となった。これは換気孔が多いことの加えて、コンクリート敷設に起因していることの原因していると考えられる。

(2) 乾燥している木炭が水分を吸湿する場合

一方、敷設現場に到着後、直ちに重量測定後、 $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ の恒温乾燥器で一昼夜乾燥を行い、初期含水率をほぼ3%とした後、(1)脱湿過程の測定と同様な手法でそれぞれのモデル住宅の床下に敷設した。

各モデル住宅の床下に乾燥した木炭を置いたことにより木炭が水分を吸湿するときの吸湿-時間曲線は図9-3に見られるように、測定開始後約1週間で平衡含水率を示すようになる。吸着の場合は4号モデル住宅でやや高い平衡含水率を示すが、それでも約10%を示している。

以上のことから、建築廃材利用の木炭は生産工場より出荷されたあと、直ちに床下に敷設すれば、一時的に床下は相対湿度が上昇することが考えられるが、1週間も経過すれば10%前後の含水率に落ちつくことが明らかとなった。従って、生産工場から到着後、ただちに床下に敷設してもそれほど問題にするほどではないが、木炭は敷設するまで一時的(約1～2週間)に、雨のかからない場所において保管・養生した後、敷設することが望ましい。

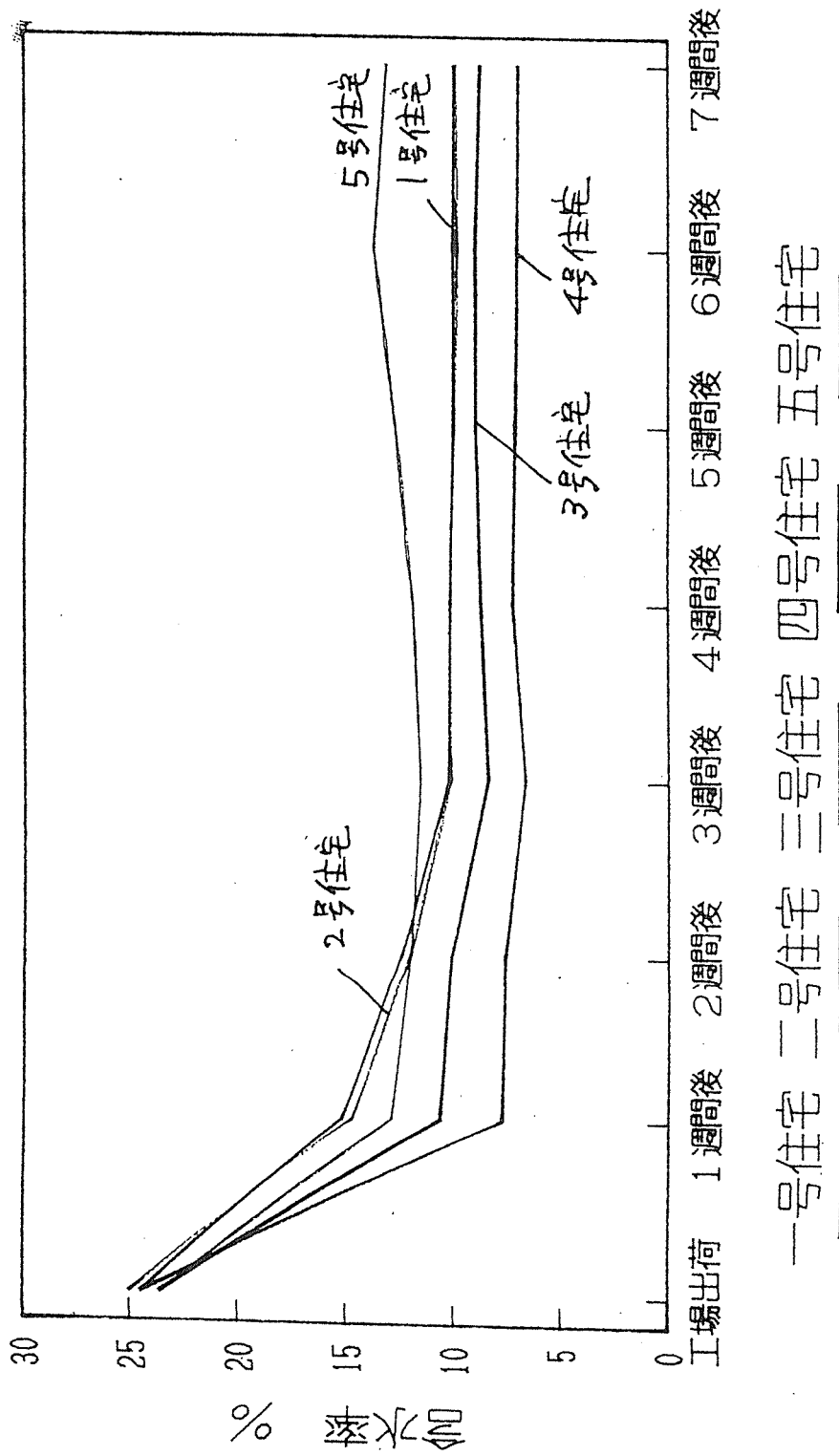


図9-2 工場出荷状態で床下に敷設した木炭の含水率の推移 (脱湿一時間の関係)

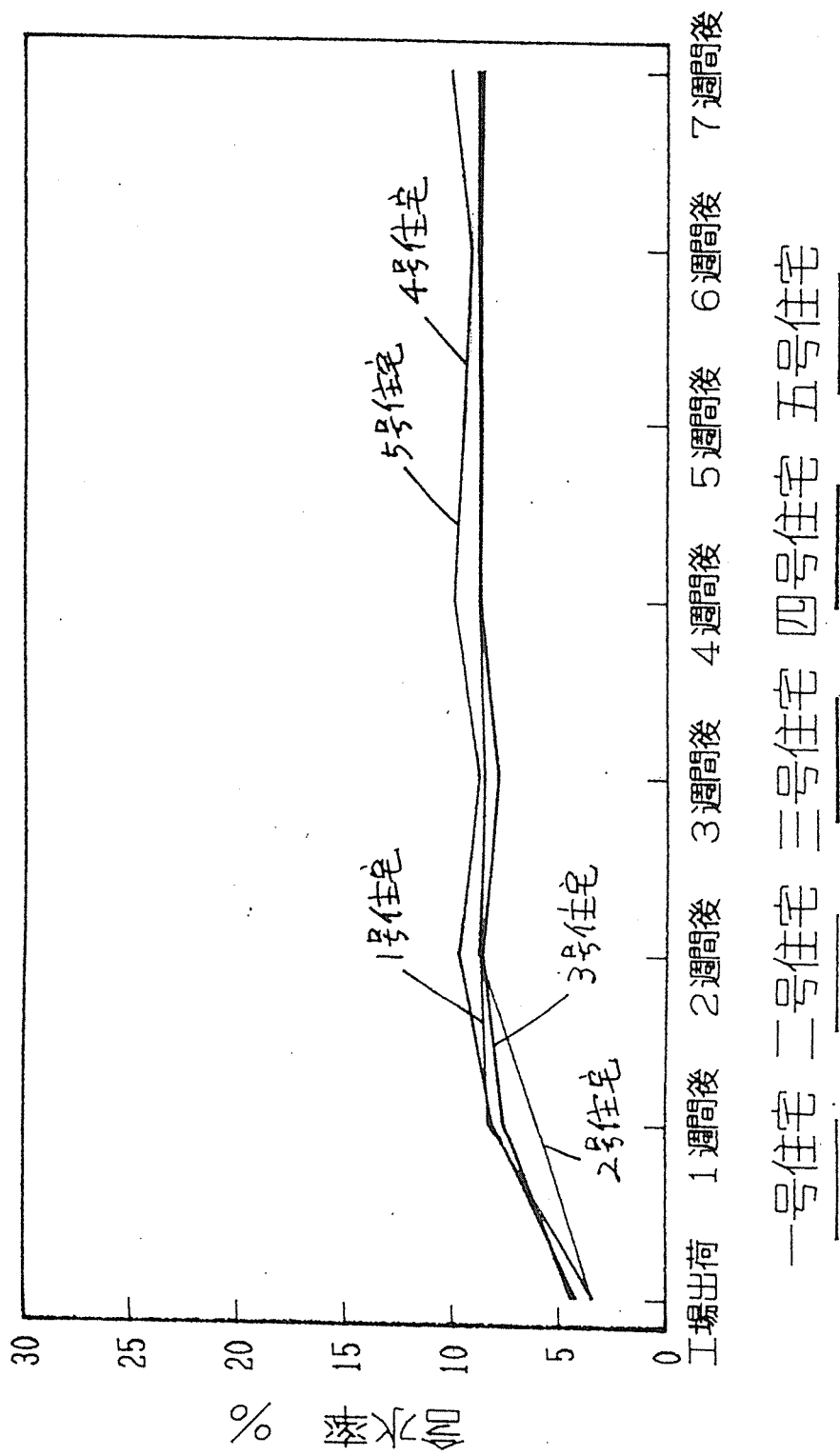


図9-3 乾燥状態で床下に敷設した木炭の含水率の推移（吸湿一時間の関係）

2. 1. 2 木炭敷設後の温度・相対湿度の変動について

1990年6月に表9-1に示した各モデル住宅の床下に設置した木炭区、ビニール区、モルタル区および対照区についての床下気象環境の測定結果から、床下敷設材料が異なることによる床下気象環境の差を見る。すなわち、図9-4～6にそれぞれのモデル住宅の1991～1993年の1月から12月までのクリモグラフを示した。なお、1993年においては、7月から9月にかけて鹿児島地方に大きな気象変動をもたらした集中豪雨、台風のために、特に5および8月はセンサーが破損し、測定不可能となり、データに欠損がでている。

これらの図から明らかなように、対照区とした第5号住宅は外気の前相対湿度が87%を示す6月で、床下内の相対湿度は95%と高く、年間を通して外気の相対湿度より約7～15%程度高い値を示している。

一方、木炭を敷設するか、ビニールシートもしくはモルタルを敷設した住宅の床下の相対湿度を外気のそれを比較しながら、各年度内の変動を検討すると、それぞれの年度内の相対湿度の平均値の差は約3%程度高いが、換気孔が4箇所もある第4号住宅のモルタル区の相対湿度は逆に3～5%程度、外気より低く、比較的良い床下環境を示している。

そこで、もう少し詳細に見るために、1990～1993年にわたる木炭敷設後、半年または1年以上経過した時の床下の気象環境について検討する。すなわち、図9-7、8に示した各モデル住宅の床下に木炭、またはビニール、モルタルを敷設したのが1990年6月であったので、1990年は6月から12月までの半年、それ以後が各年ともに1年間のクリモグラフについて見ることにした。木炭区である第1および2号モデル住宅について見ると、1991年のそれぞれの住宅の年間を通した床下の相対湿度は、外気の相対湿度よりわずかに高い値を示しながらも、相対湿度は約70～90%の範囲を示していたが、1年半を経過した1992年になると相対湿度は約65～83%を示すようになり、明らかに木炭の調湿効果が現れている。しかし、ビニール区である第3号住宅でも、敷設した年度よりも相対湿度は下降する傾向にあるが、敷設後数カ月でビニールシートと土壌の接触面には「白色系のかび」が蔓延しており、今後ビニールシートを敷設する効果の経年変動を注意深く観察することが必要であろう。

1992年の相対湿度が最も高い6月を見ると、敷設材料よりも換気孔の効果も関与すると思われる。しかし、わずか4m²の面積であるために外気のクリモグラフに近くなる。したがって、この程度の面積では床下に敷設する材料による効果は明確にできなかったが、1993年度においては、いずれのモデル住宅でも集中豪雨などの影響により、6、7月には約90%近い相対湿度を示した値も、10月には相対湿度約75%と木炭敷設の効果が見られた1991、1992年レベルまで低下した。当然のことながら、どの年次においても相対湿度の平均値は冬季において低く、梅雨期、夏期において高い位置にあることがわかる。このように外気の相対湿度が高い梅雨・夏期が長く続いた場合、前年度の相対湿度まで戻るのに9～10月に至り、ようやく床下の相対湿度が平年のそれに戻っていることから、平年の床下気象環境に戻るまでおおよそ数ヶ月程度必要であると考えられる。しかし、年間を通して見

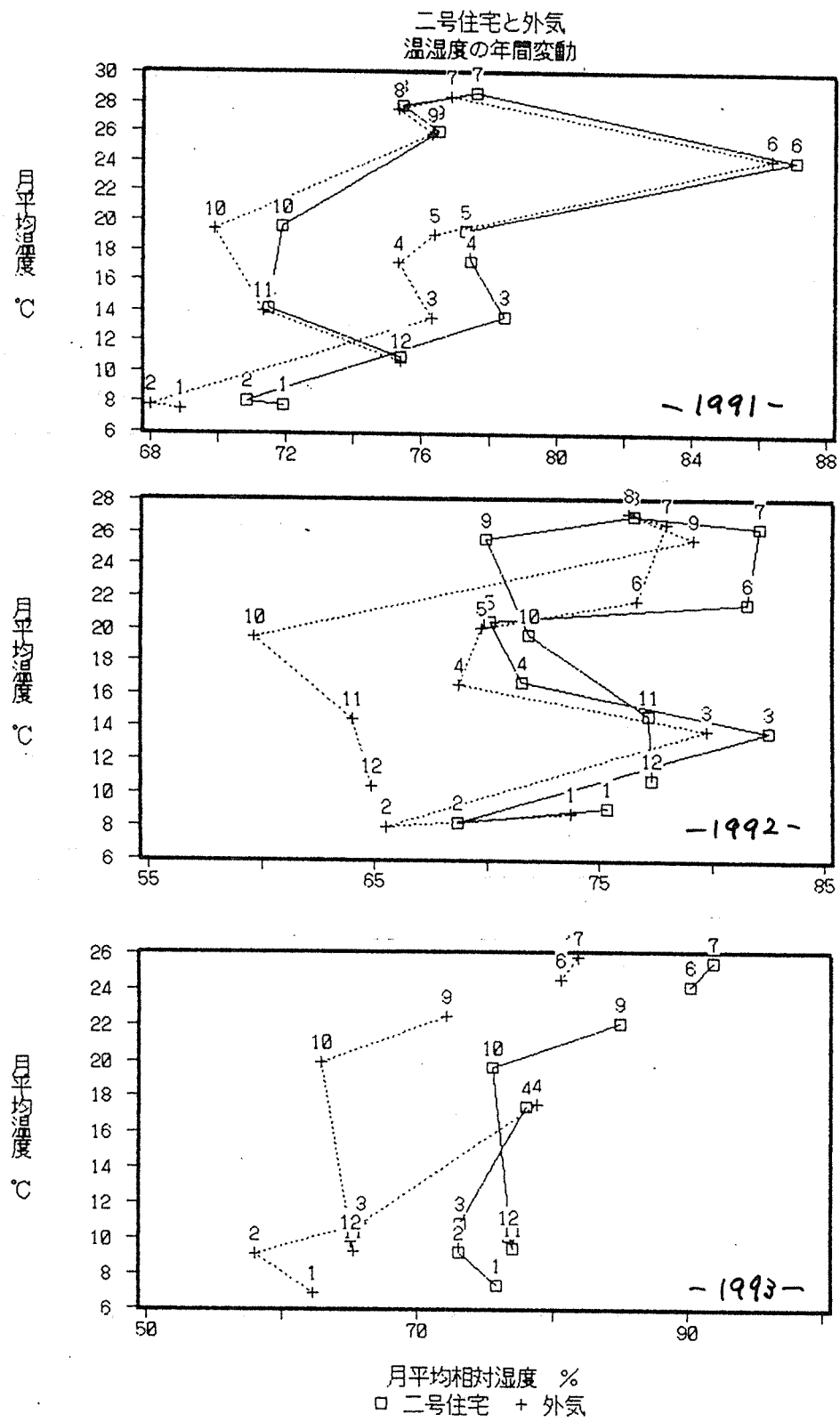


図9-4 1991~1993年の第2号モデル住宅(木炭区)の床下気象環境(クリモグラフ)

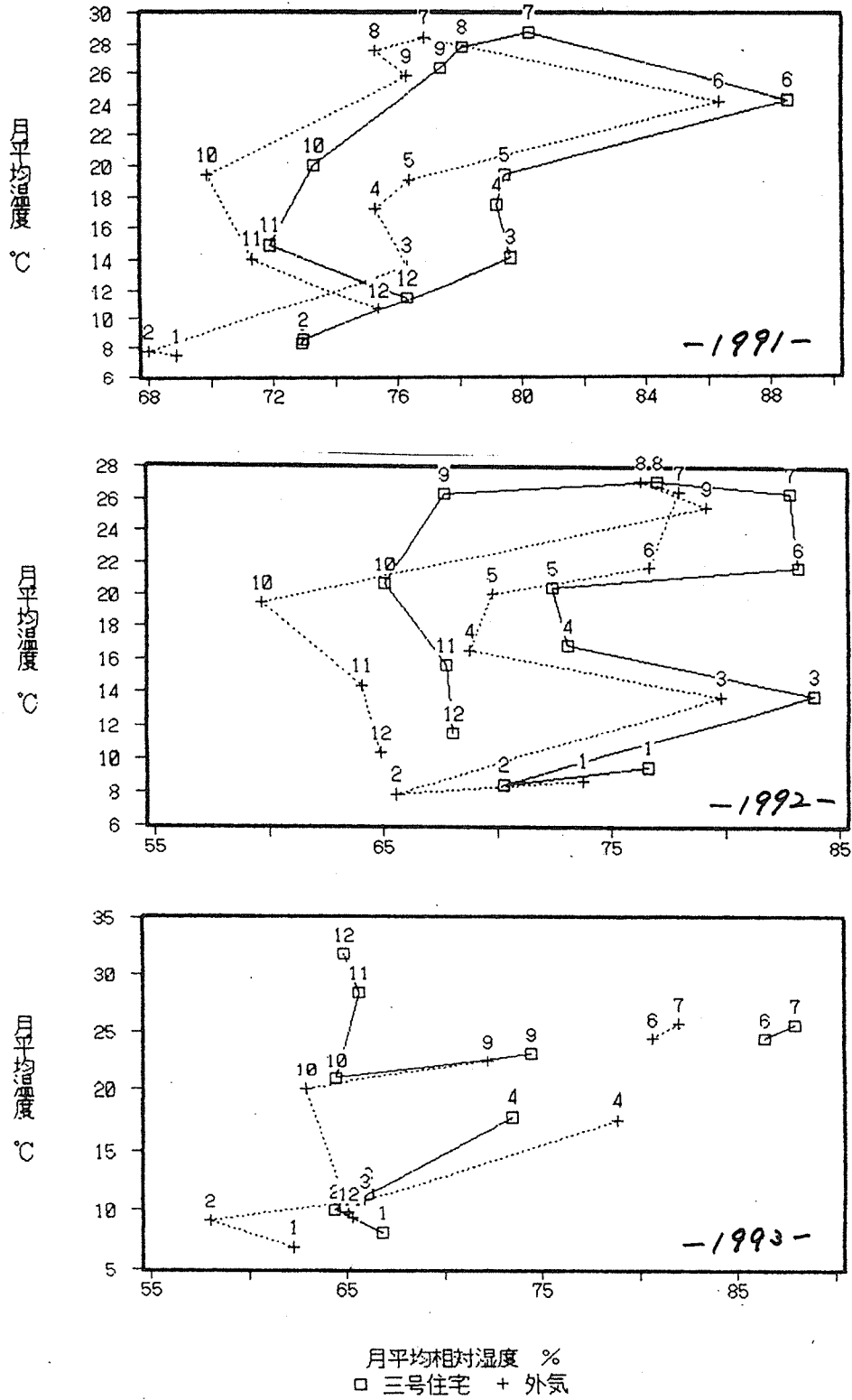


図9-5 1991~1993年の第3号モデル住宅（ビニール区）の床下気象環境（クリモグラフ）

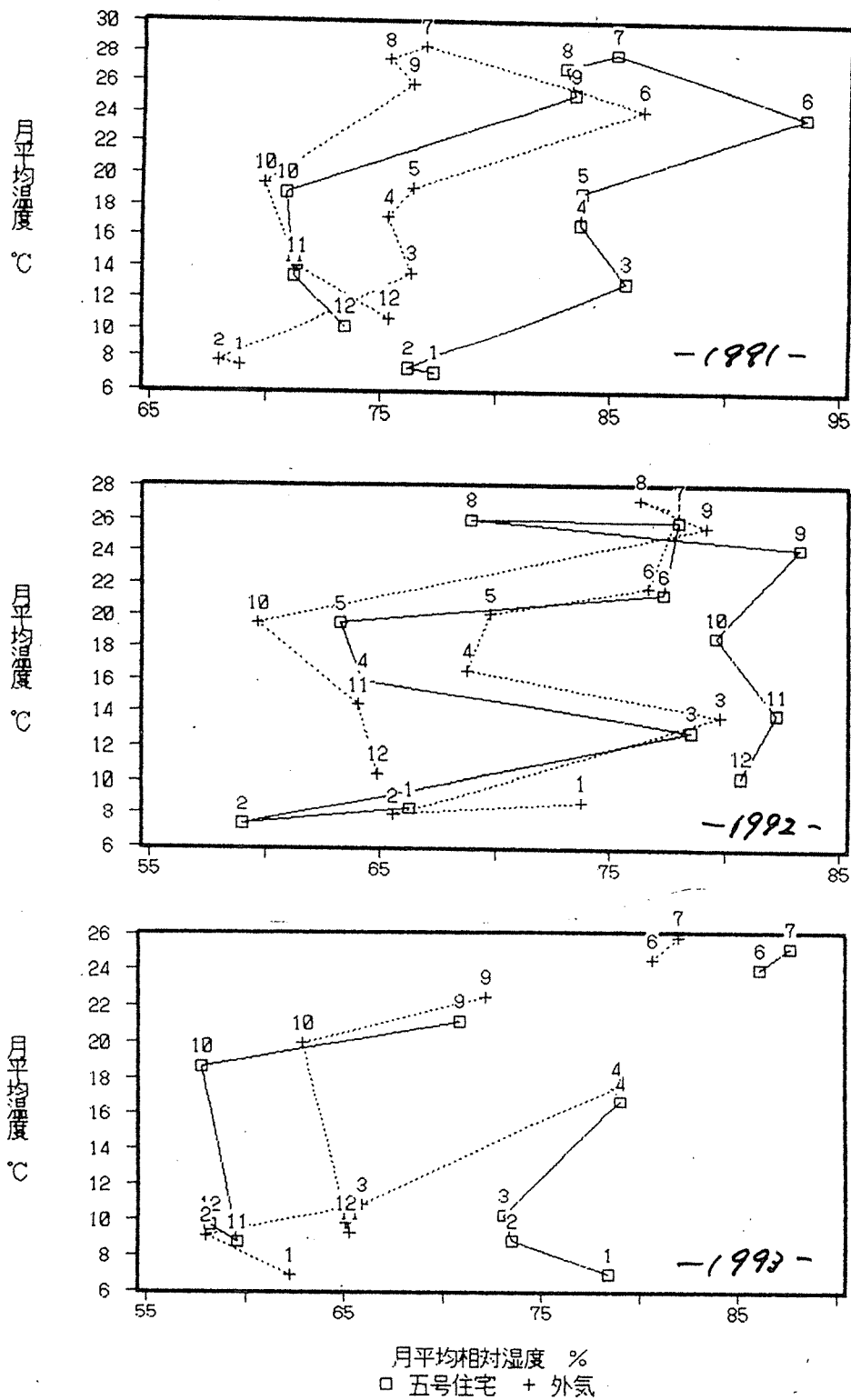


図 9-6 1991~1993年の第5号モデル住宅(対照区)の床下気象環境(クリモグラフ)

ると、たとえ高い相対湿度を示す期間が長く続いても、木炭を敷設してから年数を重ねるにしたがって、床下の相対湿度は低下した。当然のことながら、どの年次においても相対湿度の平均値は冬季において低く、梅雨期、夏期において高い位置にあることがわかる。このように外気の相対湿度が高い梅雨・夏期が長く続いた場合、前年度の相対湿度まで戻るのに9～10月に至り、ようやく床下の相対湿度が平年のそれに戻っていることから、平年の床下気象環境に戻るまでおおよそ数ヶ月程度必要であると考えられる。しかし、年間を通して見ると、たとえ高い相対湿度を示す期間が長く続いても、木炭を敷設してから年数を重ねるにしたがって、床下の相対湿度は徐々に低下する傾向を示している。したがって、床下の相対湿度は外気のその変動に連動して、床下に敷設した木炭が床下に存在する湿分の吸・放湿を繰り返しながら、結果的に床下の相対湿度は低下する傾向をとることがわかる。したがって、一般的に言って梅雨期などのような外気と同様に床下の相対湿度は高くなっても、木炭は床下に隠れている湿分を吸湿し、床下の相対湿度を低く保ち、逆に外気の相対湿度が低くなると、床下の相対湿度は高くなることから、木炭は放湿を行なっていると考えられる。

以上のようなことから、換気孔の配置、数、木炭の敷設の有無が効果の程度を判断できると考えられる。今後はこれらの敷設した木炭の吸・放湿がどの程度まで繰り返されるかを検討する必要があるだろう。

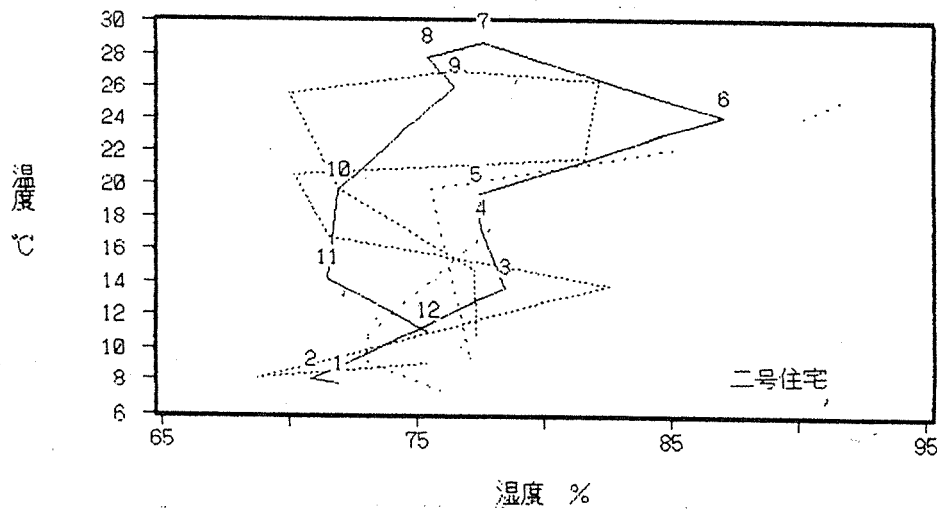
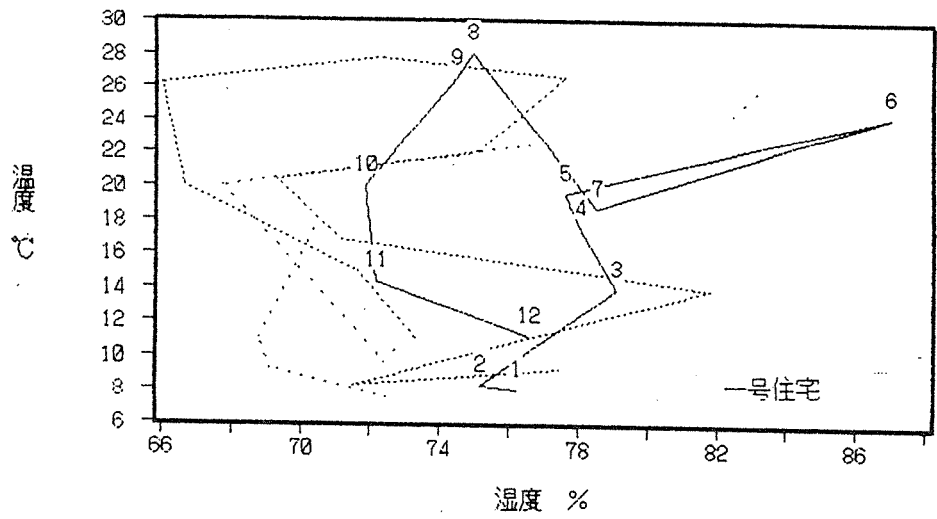
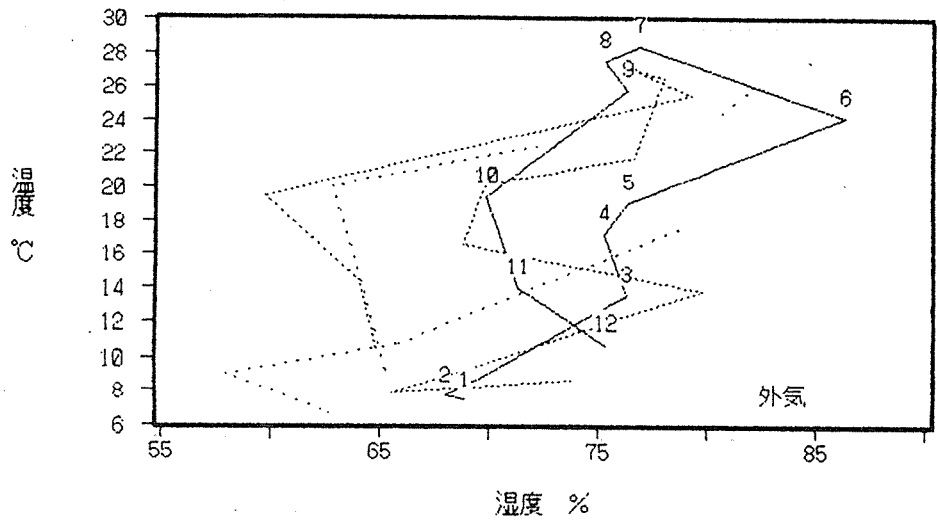
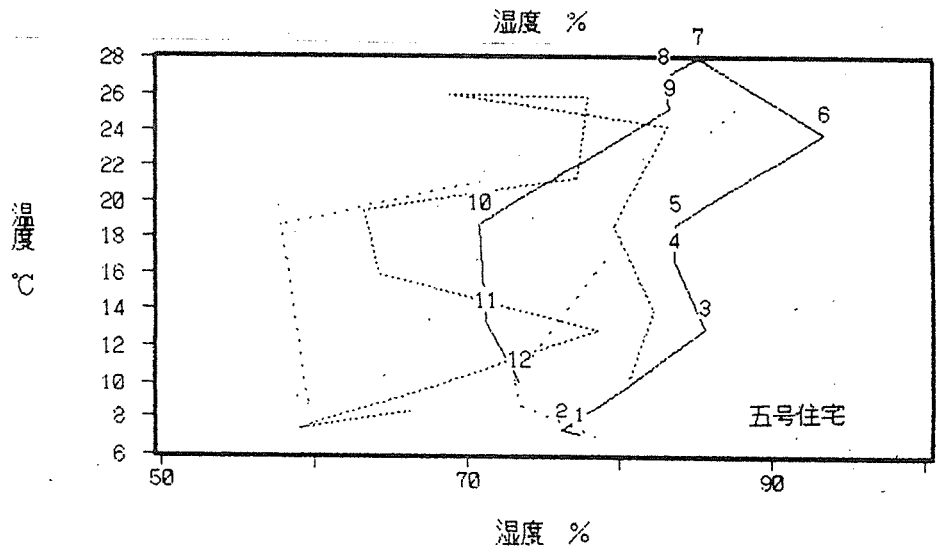
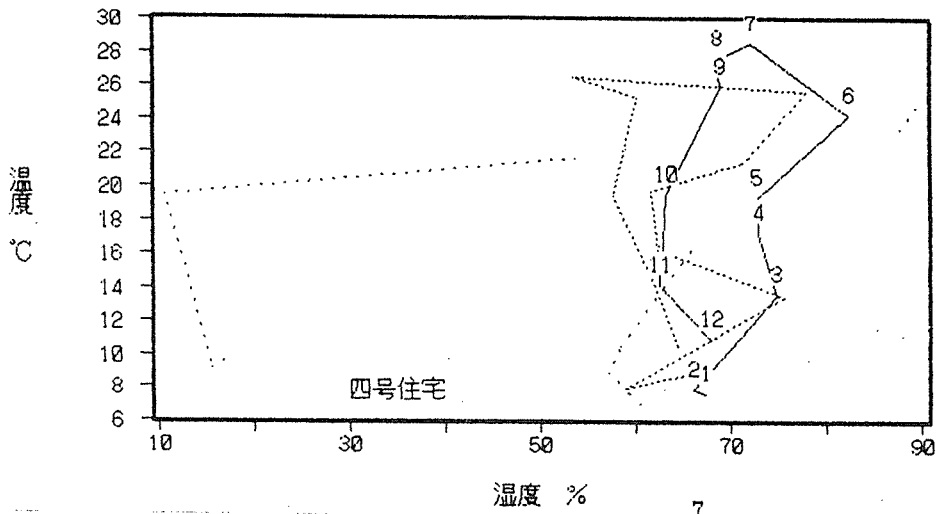
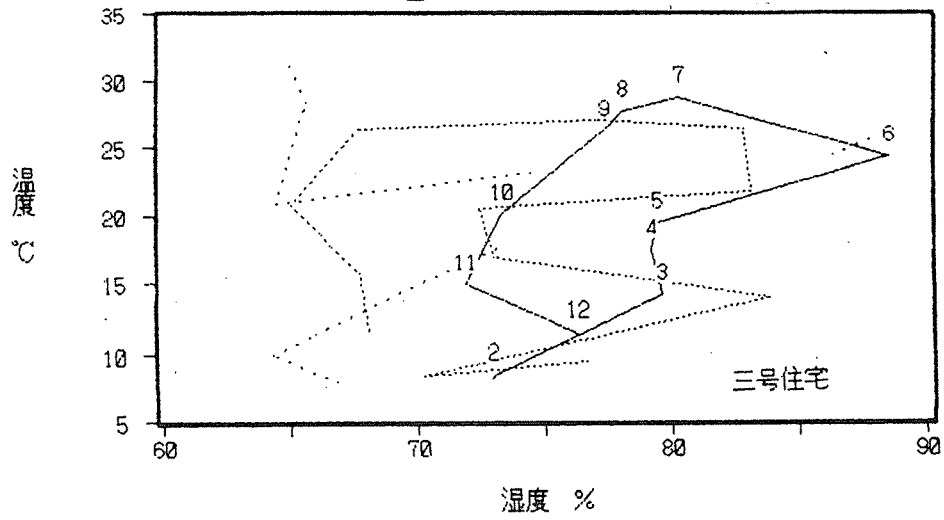


図9-7 1991年～1993年の3年にわたる外気、木炭区（1号住宅、2号住宅）のクライモグラフ
 — 91年 — 92年 — 93年



— 91年 — 92年 — 93年

図9-8 1991年～1993年の3年にわたるビニール区(3号住宅)、モルタル区(4号住宅)および対照区(5号住宅)のクリモグラフ

3 実際に居住している4地域・5調査区の木造住宅の床下気象環境の現況

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

1992年（平成4年）度より以下の5調査区の実際に居住している住宅（主に木造家屋）の床下気象環境の現況環境調査、とくに温・湿度の測定を開始した。5調査区とは気候的に特徴があると考えられる次の5地域の実際に居住している個人木造住宅を床下気象環境の調査地点として設定した。

これらの調査区における温・湿度及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、床下内の温湿度の季節変動と四季ごとの温湿度特性を明らかにすることにした。

すなわち、5調査区は

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

である。

なお、現状の床下環境の測定開始は平成4年12月10日である。したがって、本年度の報告は木炭を床下に敷かない状態における各測定地区の床下における床下環境調査の結果の検討が主であるが、関東地区の浦和市及び中部地区の岡崎市においては、一部先行して木炭を敷設してあるので、これを少し検討に加えた。

9.3.2 測定方法

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：外観図を図9-9、10に示す）の設置場所は、各調査区の木造住宅の基礎伏図は図9-11～15に示した。原則として外気、床下2カ所（その住宅の

床下気象環境効果調査の概要

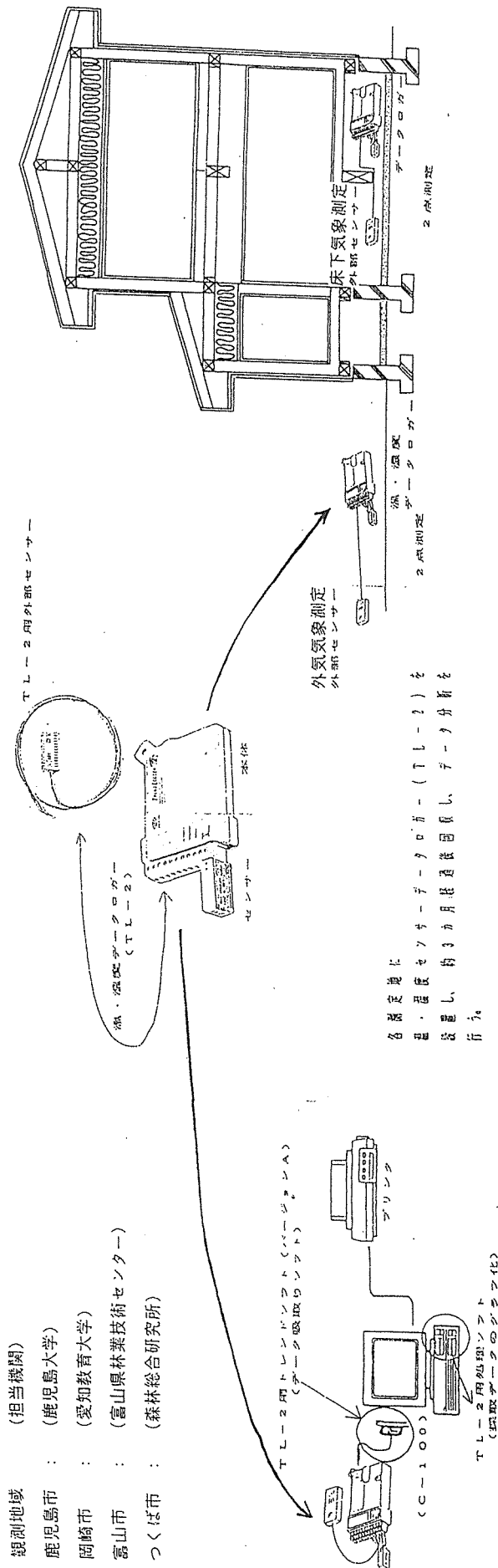
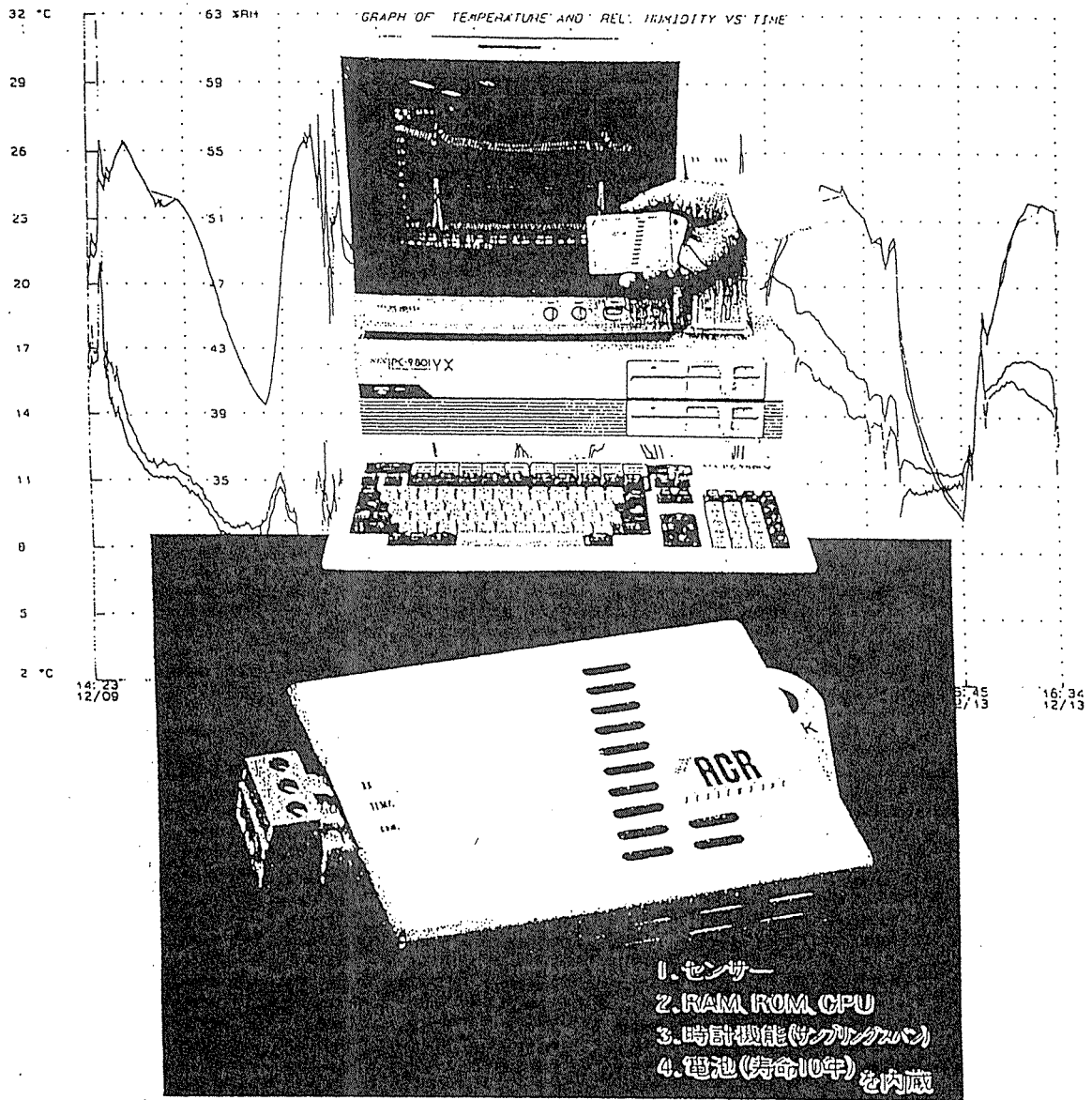


図9-9 木造住宅の床下気象環境測定およびデータ処理の鳥瞰図



MODEL XT-101

図9-10 床下の温度、相対湿度を測定したトレンドデータロガー

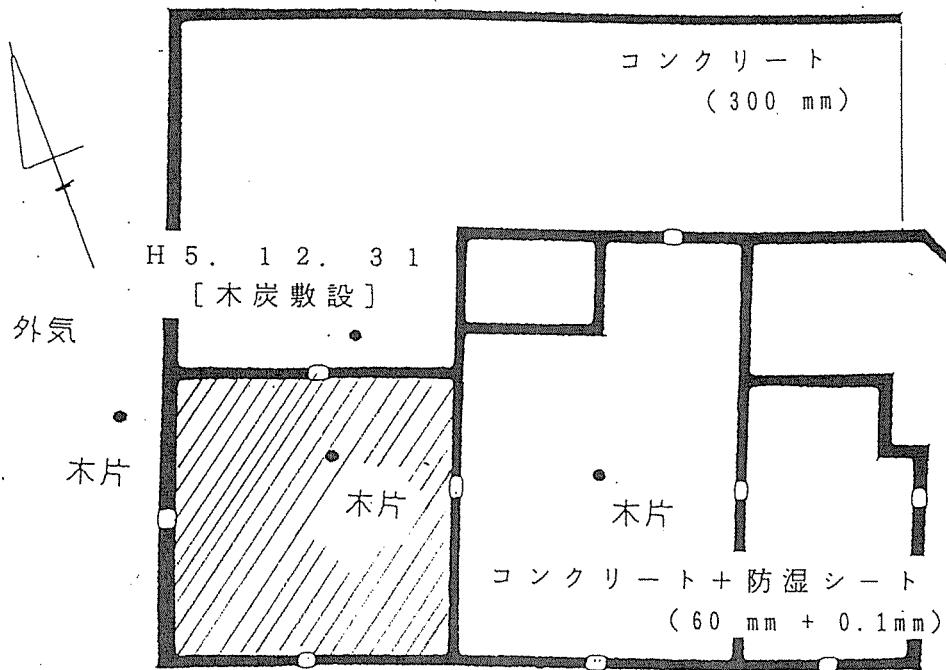


図9-11 実験住宅の布基礎図（つくば市）

●：データロガー（センサー）設置場所、木片：含水率測定用試験片設置

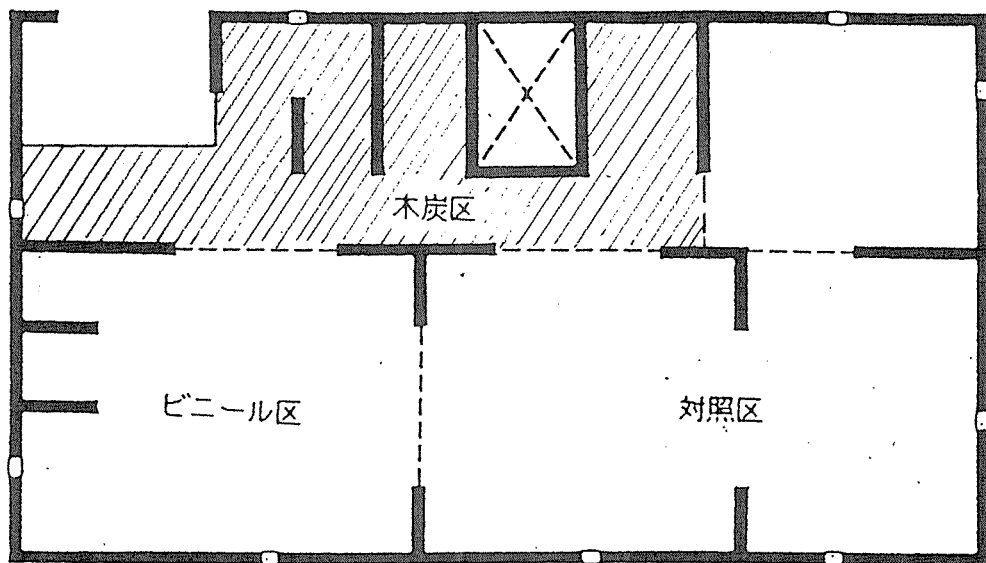


図9-12 実験住宅の布基礎図（浦和市）

●：データロガー（センサー）設置場所、木片：含水率測定用試験片設置

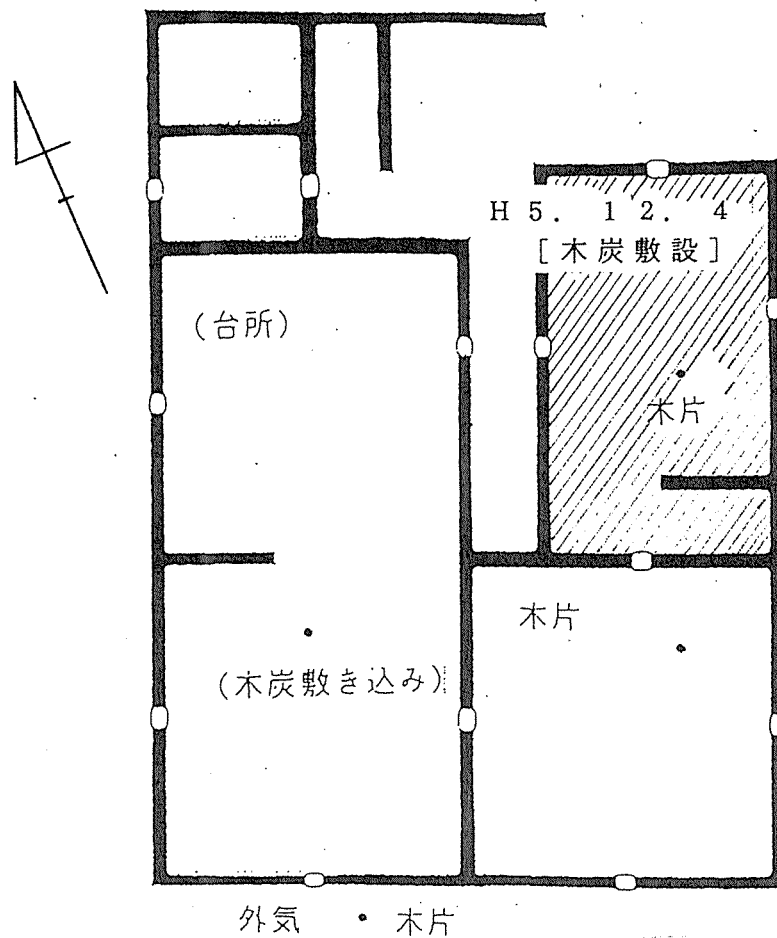


図9-13 実験住宅の布基礎図（岡崎市）

● : データロガー（センサー）設置場所、木片：含水率測定用試験片設置

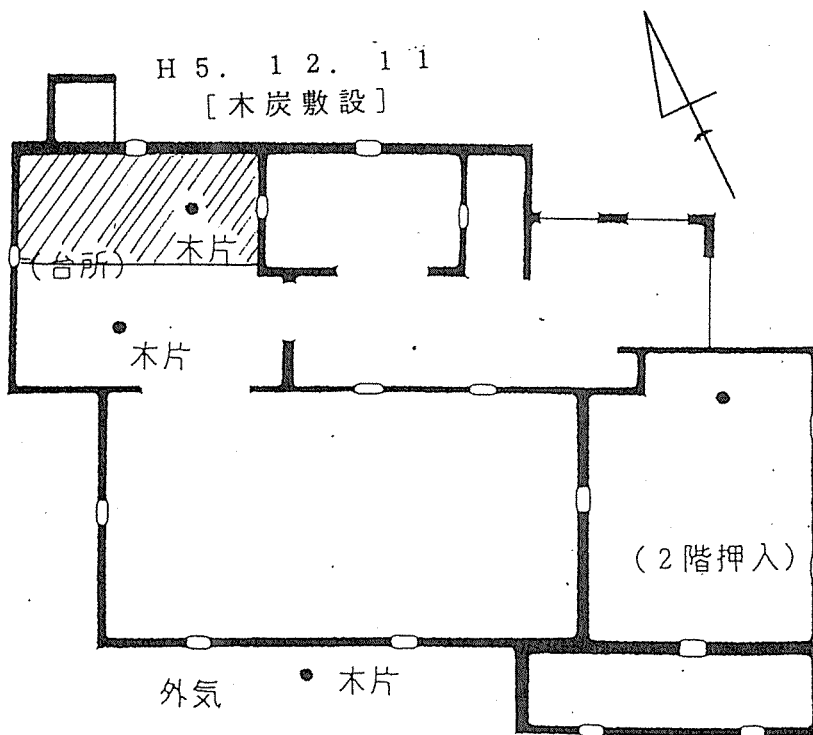


図9-14 実験住宅の布基礎図（富山市）

● : データロガー（センサー）設置場所、木片：含水率測定用試験片設置

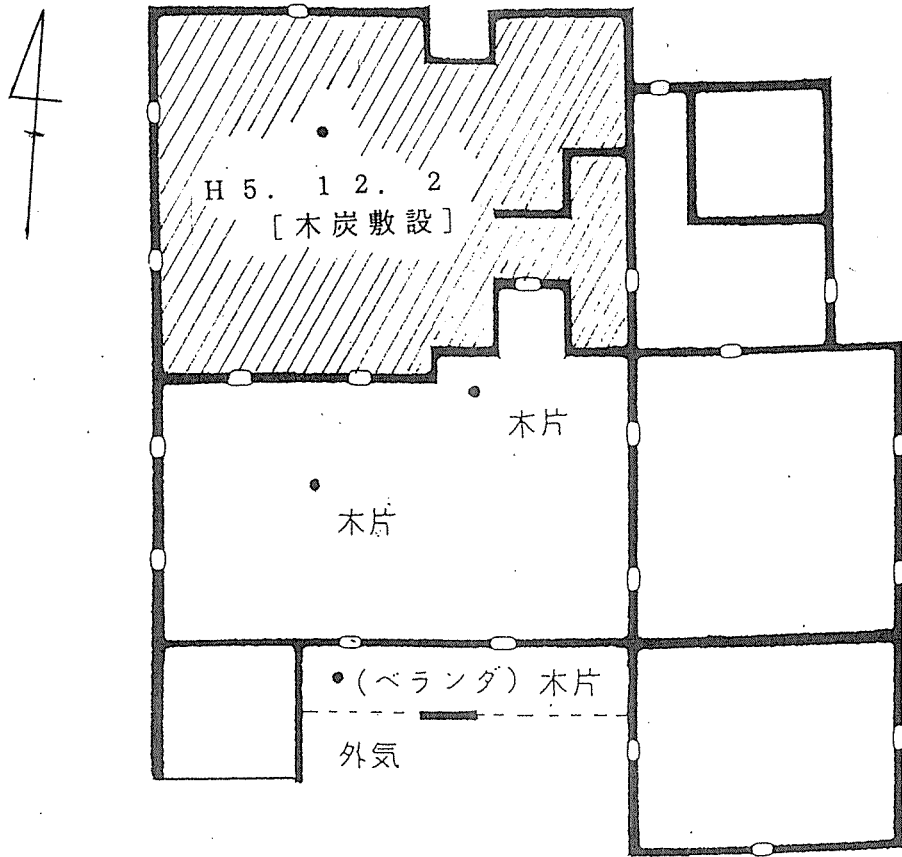


図9-15 実験住宅の布基礎図（鹿児島市）

● : データロガー（センサー）設置場所、木片 : 含水率測定用試験片設置

南または北側または水回り）および室内もしくは押入等とした。すなわち、それぞれの住宅の基礎伏図の●印の位置の地上20cmの場所に吊り下げて設置した（写真9-1）。

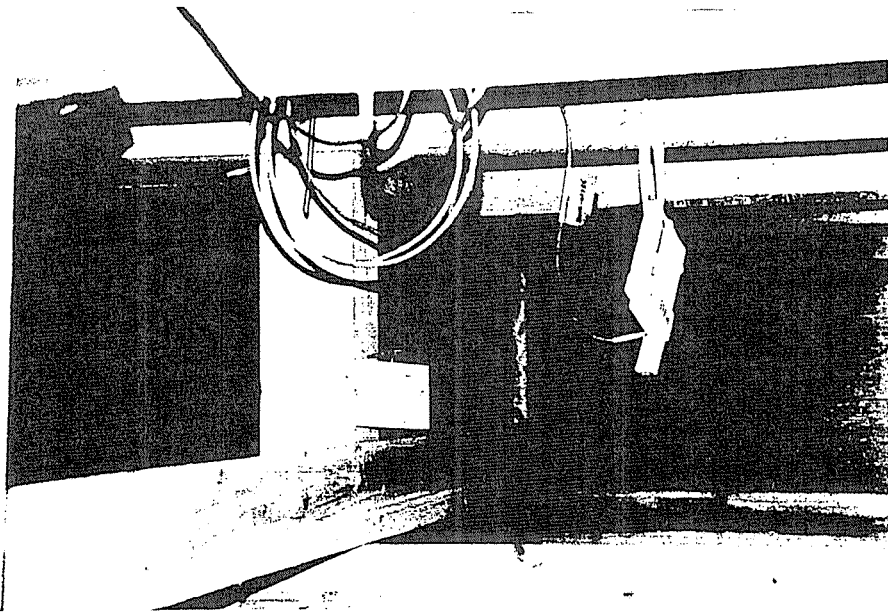


写真9-1 床下に設置したトレンドロガー

各地域ともに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現状の床下環境の測定は、1993年（平成3年）12月初旬までで終了し、引き続き12月初旬（つくば市においては1994年1月）から木炭敷設に伴う床下環境の測定調査へと展開している。これらの各木造住宅床下の温度・相対湿度のデータは、図9-10に示したトレンドデータロガーに30分間隔に記録される。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、鹿児島へ収集した。トレンドロガーを回収後、それぞれのデータロガーよりデータを回収し、パソコンにより解析を行った。（なお、トレンドデータロガーには、8種類のモデルがあり、温度、相対湿度、圧力、電流、電圧等の可変データを計測、記録することが出来る。これらのデータはTrend Softwareを使用することによりIBM PC/XT、IBM互換機、又はNEC PC98シリーズにすべてのデータを取り込むことが出来る。）

一方、含水率の測定は外気、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ヶ所に木材片（設置した場所は図9-11～12の基礎布図に「木片」と記入してある）を設置し、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、毎月2回（隔週おき）に計測した。なお、これの設置・実施は一律な制約のもとでは、実行が困難な場合もあるので、詳細についてはそれぞれの住宅の環境の事情に委ねることとした設置場所については、各住宅の事情に委ねることとした。

なお、床下1カ所（その住宅の北側もしくは台所）については、1993年（平成3年）12月初旬に木炭の敷き込み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。なお、これらの住宅の床下気象環境調査の「木炭敷き込み区（または予定区）」及び「対照区」として、各測定住宅の間取りのいずれかの場所を指定することにするが、これらの指定はそれぞれの住宅の事情に委ねることとした。

3. 2. 実験結果の概要と考察

3. 2. 1 各測定地域の外気の相対湿度の季節変動

1992年12月から1993年10月までに回収された期間におけるつくば、岡崎、富山および鹿児島市の各測定地の外気の相対湿度の平均値を表9-2に、更に冬期、梅雨期および秋期の外気温度および相対湿度の平均-最高値-最低値を表9-3～5に示した。これらの表から明らかなように、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ことがわかる。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12～4月の5カ月にわたって100%を示している。

表9-2 4 調査地域の外気温度および相対湿度の平均値

地	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			12.6	77.2			17.3	63.2	
12							10.8	55.5	

表9-3 冬期（1992年12月10日～1993年1月10日まで）の外気の
温度および相対湿度

観測地	外気温度(°C)			外気相対湿度(%)			備考 月較差(%)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
つくば市	5.0	17.4	-4.9	58.2	92.2	21.9	70.2
岡崎市	6.8	17.1	-14.8	75.5	100.0	39.0	61.0
富山市	5.3	5.0	-2.1	84.1	100.0	36.1	63.9
鹿児島市	10.6	30.6	-2.1	67.4	100.0	17.6	82.4

表9-4 梅雨期（1993年6月1日～6月31日まで）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	月較差(%)
つくば市	20.0	32.2	11.7	83.7	93.8	43.7	50.1
岡崎市	21.8	34.1	13.9	80.0	96.1	37.8	58.3
富山市	20.1	29.1	13.5	86.6	98.1	32.0	66.1
鹿児島市	22.9	34.1	13.9	85.9	100.0	28.9	71.1

表9-5 秋期（1993年11月1日～1993年10月31日まで）の外気の温度および相対湿度

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	月較差(%)
つくば市	15.2	26.9	3.8	78.4	91.9	25.6	66.3
岡崎市	17.7	25.2	13.1	73.4	88.9	49.2	39.7
富山市	16.1	28.4	6.9	76.7	94.3	27.9	66.4
鹿児島市	20.4	34.2	8.1	54.8	100.0	30.5	69.5

3. 2. 2 4 調査区の床下の気象環境の測定結果の一例

本節では冬期（1992年12月10日から1993年1月10日）、梅雨期（1993年6月1日から6月30日）及び秋期（1993年10月1日から10月31日）の間に得られた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）の測定結果の一例をそれぞれ表9-6～8に、温度、相対湿度のトレンドグラフを図9-16～19に示した。これらの表、図に明らかなように、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、つくば地区は最も低く、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最も月較差は大きく、意外であったが、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、鹿児島に於いては、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。

この表から明らかなように床下の相対湿度が高い地域は、岡崎市、鹿児島市、富山市となり、つくば市の床下の相対湿度は、最高でも77%と理想的な値を示している。図9-16にも明らかなように、つくば市における相対湿度の月間変動はほぼフラット状態にあり、名古屋市（図9-17）は85%～95%の間を変動しており、床下の湿度条件としてはあまり良くない。一方、富山市（図9-18）は平均して66%～85%の間の変動であり、平均70%を中心とした相対湿度の変動である。鹿児島市（図9-19）は中央値が79.4%とやや高い位置に分布しており、やはりなんらかの対策が必要である。

表9-6 冬期（1992年12月10日～1993年1月10日まで）の床下（北側もしくは台所近郊）の気温、相対湿度

観測地	温度(℃)			相対湿度(%)			備考 月較差(%)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
つくば市	7.5	14.2	2.5	49.9	77.4	31.1	46.2
岡崎市	8.3	14.2	5.4	87.6	95.9	68.1	27.7
富山市	7.6	14.5	2.6	71.7	84.9	57.9	27.0
鹿児島市	11.1	14.9	6.1	79.3	90.8	60.2	30.6

表9-7 梅雨期（1993年6月1日～1993年6月31日まで）の床下（北側もしくは台所近郊）の気温、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	月較差（％）
つくば市	20.2	25.9	16.1	93.6	100.0	69.2	30.8
岡崎市	21.2	24.8	18.1	87.3	100.0	63.1	36.9
富山市	19.6	24.5	15.2	85.4	93.5	52.4	41.1
鹿児島市	23.4	25.5	21.6	88.9	93.1	39.7	53.4

表9-8 秋期（1993年10月1日～1993年10月31日まで）の床下（北側もしくは台所付近）の気温、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	月較差（％）
つくば市	17.1	24.1	12.1	83.8	100.0	45.3	54.7
岡崎市	18.2	21.3	13.2	72.4	89.9	6.6	83.3
富山市	16.9	21.6	11.7	74.6	89.6	58.4	31.2
鹿児島市	18.2	21.3	13.2	84.0	90.5	61.5	23.0

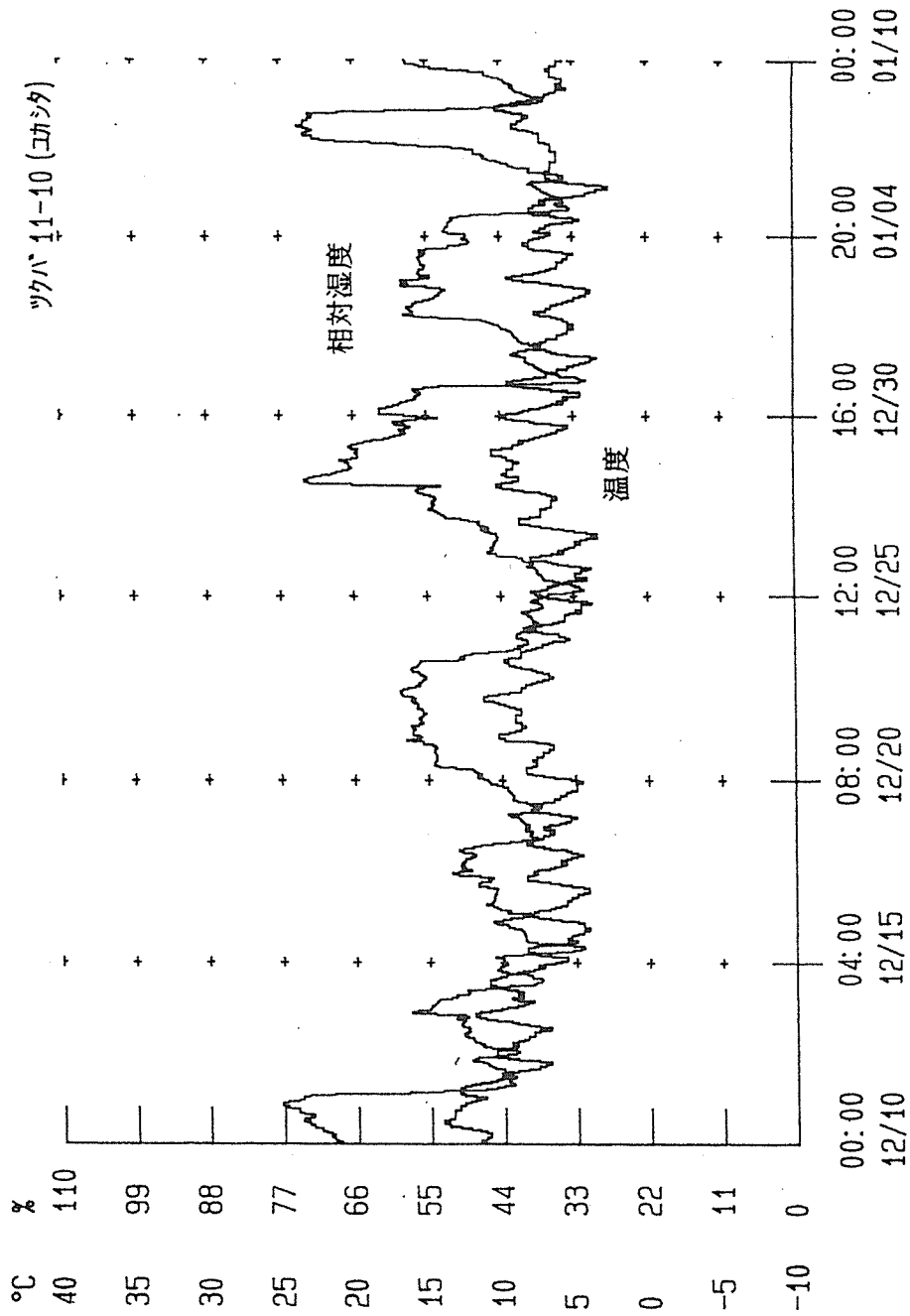


図9-16 木造住宅床下の気象環境 (つくば市) (1992.12.10 ~1994. 1.10)

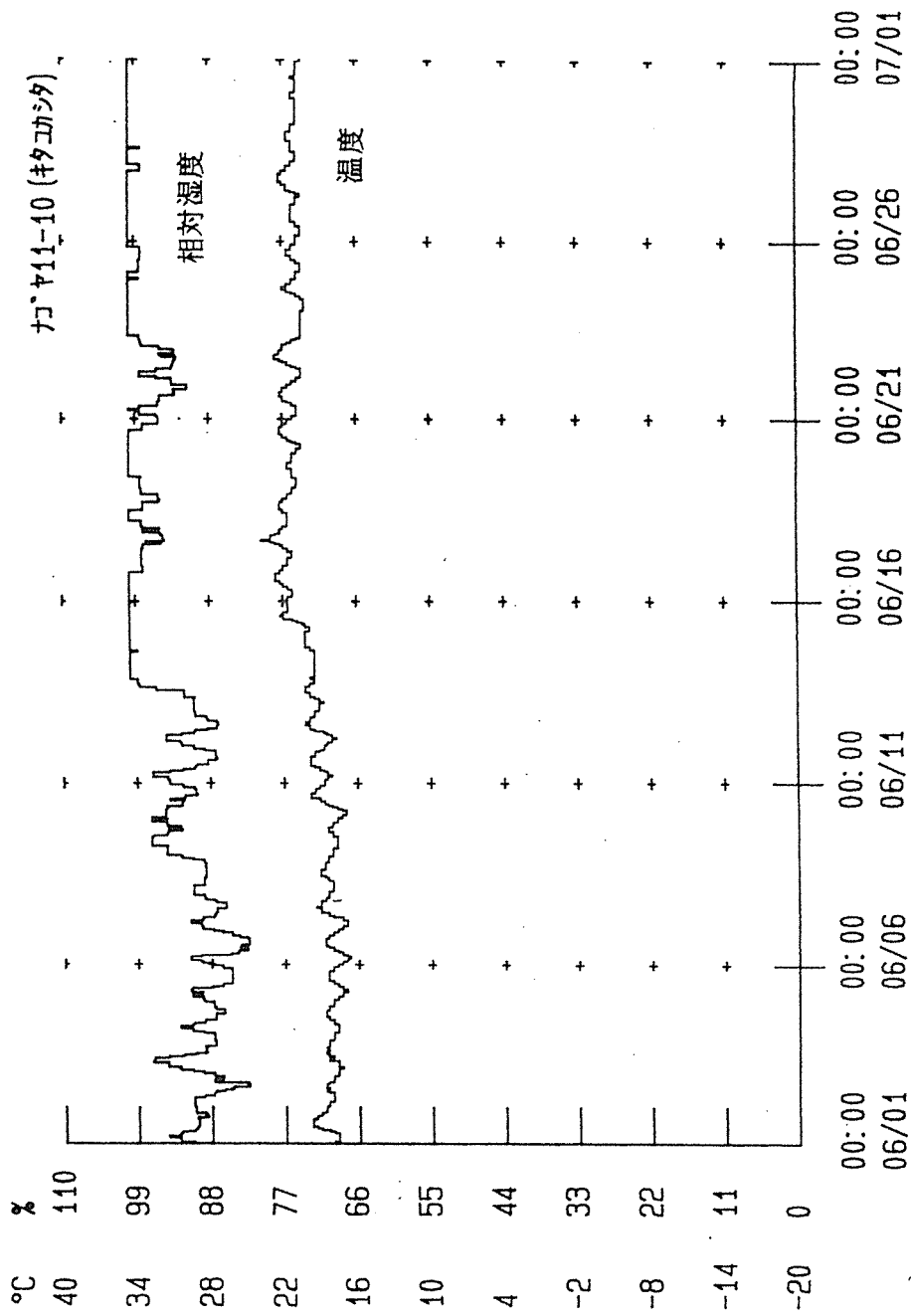


図9-17 木造住宅床下の気象環境 (岡崎市) (1994. 6. 10 ~1993. 7. 1)

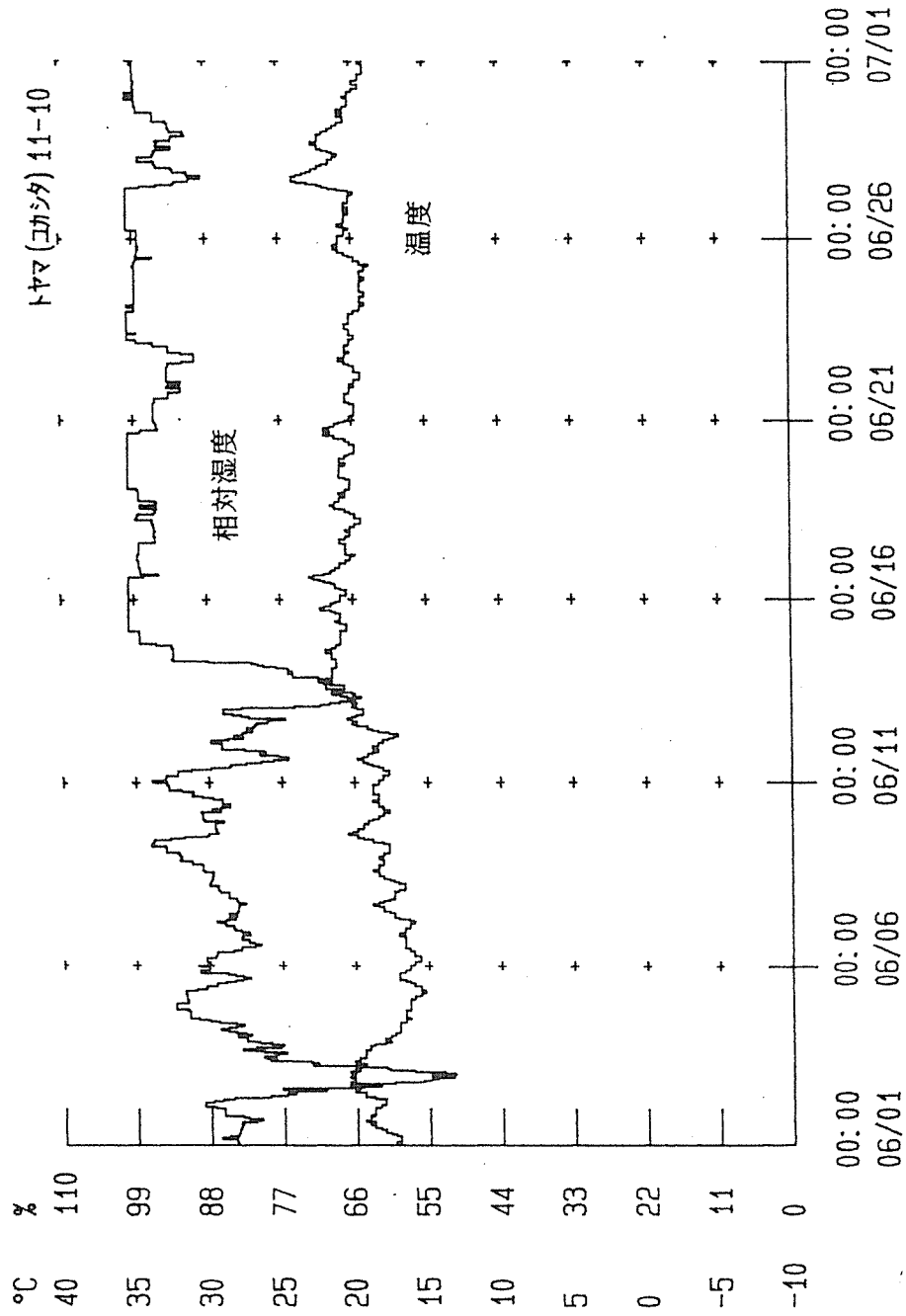


図9-18 木造住宅床下の気象環境 (富山市) (1993. 6. 1 ~1993. 7. 1)

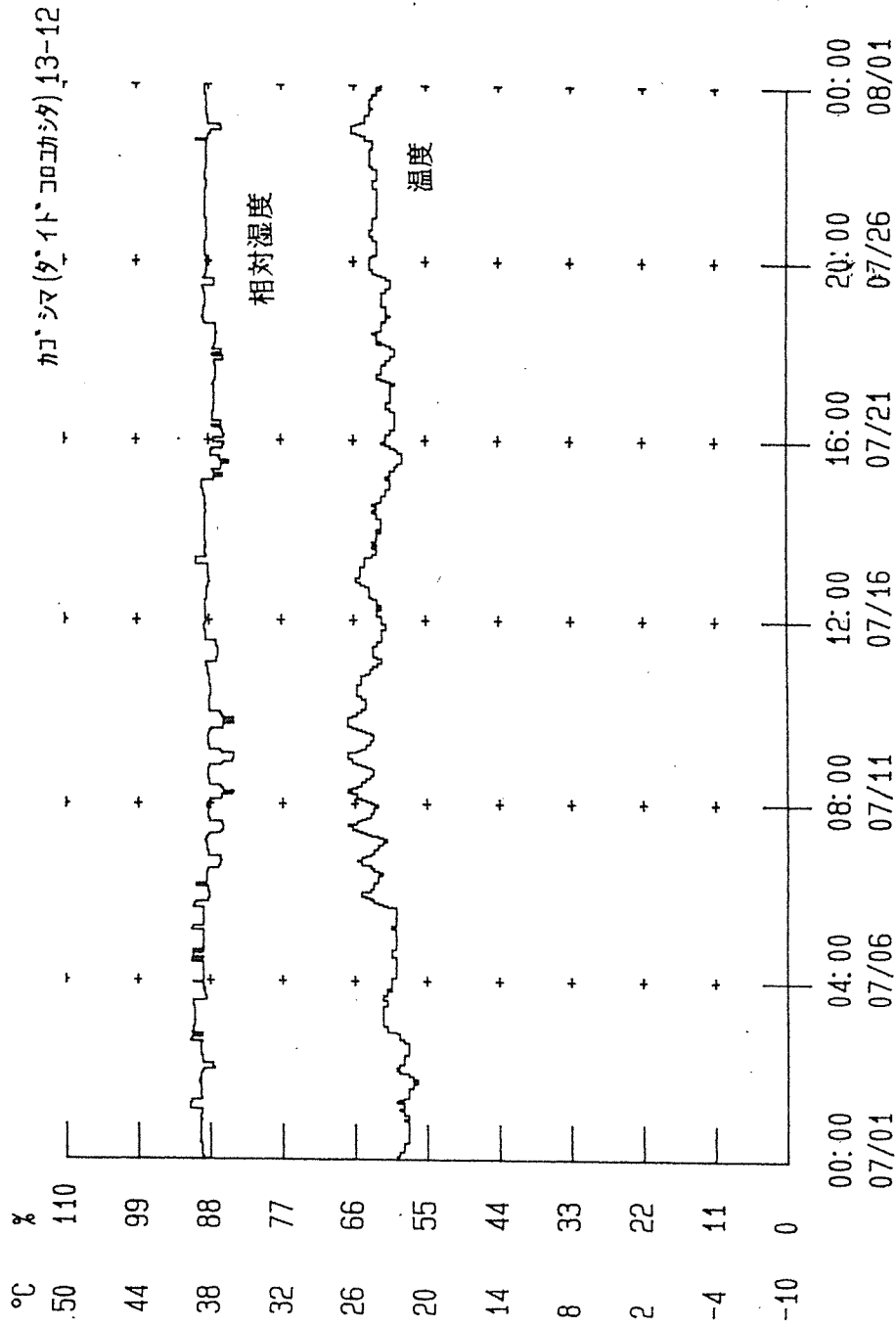


図9-19 木造住宅床下の気象環境 (鹿児島市) (1993. 7. 1 ~ 1993. 8. 1)

4 木炭敷設による床下気象環境の改善の可能性

4.1 実験結果から得た床下の気象環境の改善について

— 浦和市・岡崎市の成果を例に —

本章[2.1.2]に述べたようにモデル住宅における測定による検討結果から、木炭が床下環境の改善に効果があることが明らかとなった。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11月末より全国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。ただし、中部(岡崎市)および関東地区(浦和市)を除き、木炭を敷き込んだのは1993年冬期(12月または1月)である。よって、本報告では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ていない。ここでは木炭を床下に敷き込んで3年となる測定が先行している中部地区(岡崎市)および1.5年を経過の関東地区(浦和市)における床下の相対湿度の変動・推移を分析しながら、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、中部地区における床下に木炭を敷設してある場所に得られた結果の一例を比較検討する。1992年12月から1993年10月までの木炭区(木炭を敷設してある台所)、対照区(北側床下)及び外気の温度、相対湿度の変動を見るために図9-20にクリモグラフを、表9-9にそれぞれの平均値を示した。この1年間の各測定区(①外気、②南床下、③北床下(対照区)、④木炭区)のクリモグラフを示した。

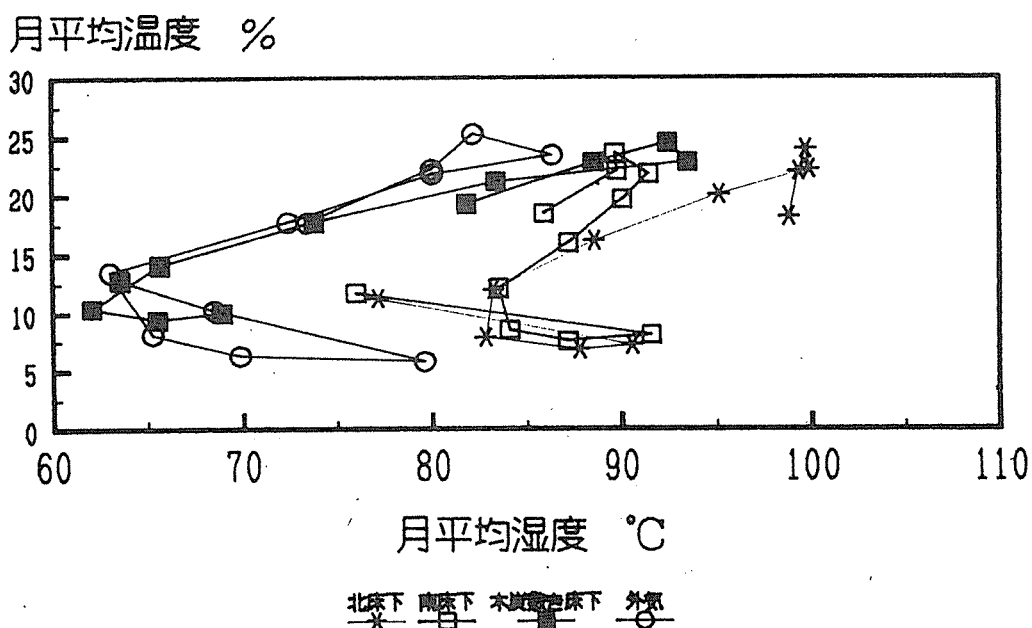


図9-20 岡崎市における木造住宅床下のクリモグラフ

これらの図、表から明らかな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。

このことをより明確にみるために、外気の相対湿度とそれぞれの調査区のその日較差の月平均を示したのが図9-21である。この図に見られるように相対湿度の中央値は68.6%、最高値77.9%、最低値39.9%、月内較差は24.1%と非常に良い環境条件となっている。

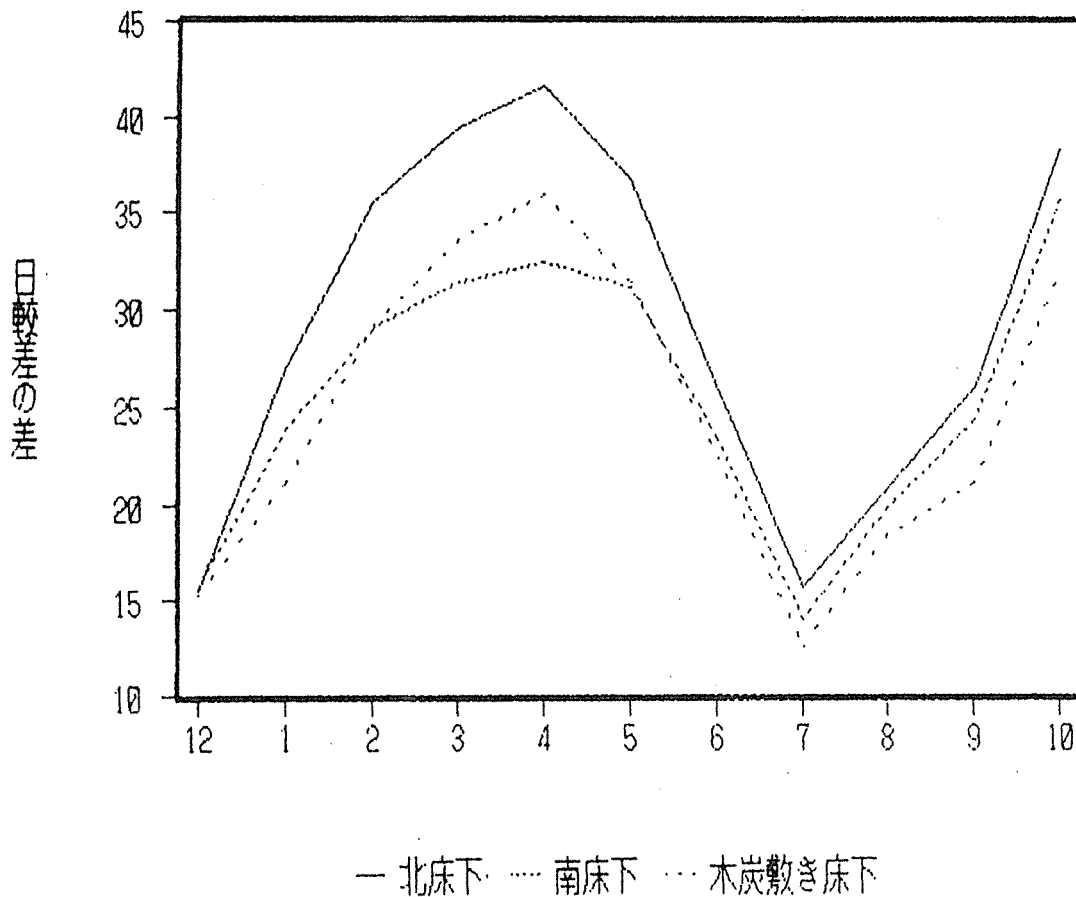


図9-21 外気の相対湿度と床下の相対湿度のそれぞれの日較差の差 (岡崎市)

表9-9 中部地区（岡崎市）の外気および床下における温度及び相対湿度
（1992年12月～1993年10月）

年	月	外 気		北床下（対照区）		木炭敷設（木炭区）		備考
		温 度 （℃）	相対湿度 （％）	温度 （℃）	相対湿度 （％）	温 度 （℃）	相対湿度 （％）	
1992	1 2	10.3	68.5	11.3	77.2	12.8	63.6	
1993	1	5.8	79.6	7.2	90.6	10.0	68.9	
	2	6.3	69.9	6.8	87.8	9.4	65.5	
	3	8.1	65.3	7.9	82.8	10.4	62.0	
	4	13.5	63.0	12.1	83.2	14.9	65.7	
	5	17.7	72.4	16.1	88.6	17.7	73.8	
	6	21.8	80.2	20.1	95.2	21.2	83.4	
	7	23.5	86.4	22.2	99.9	22.9	93.5	
	8	25.3	82.1	24.0	99.8	24.5	92.5	
	9	22.2	80.0	22.0	99.4	22.8	88.5	
	1 0	17.7	73.4	18.2	98.9	19.2	81.8	

次に関東地区（浦和市）における床下に木炭を敷設してある場所に得られた結果を比較検討する。1991年の夏期3ヶ月と冬期3ヶ月の木炭区、ビニール区および対照区の日間の平均変動を図9-22, 23に、1991年1月～5月の一週間の平均相対湿度の変動を図9-24に示した。関東平野にある浦和市では冬期は1年の中で相対湿度が最っとも下がり、夏期は最も上がる。これらのことから、一般的には冬期から夏期にかけて相対湿度は上昇し、夏期から冬期にかけて相対湿度は下降する推移を繰り返すことになる。

今、図9-22、24に見られるように夏期の高い相対湿度を示す時期にあってもビニール区、対照区の変動はほぼ等しく、連日100%を推移するが、木炭区の相対湿度が低く、95%以下で推移している。このような変動で秋の10月頃まで推移し、10月下旬に至り、床下の相対湿度は下降をはじる。一方、冬期における床下の相対湿度は、ビニール区で最も低く、木炭区、対照区の順に高くなる。床下の相対湿度の最低値はビニール区で40%台、木炭区で50%、対照区で60%台まで低下する。これらの推移の中で木炭区と対照区の相対湿度差を3ヶ年について比較すると、年度の経過とともに両者の差が大きくなる傾向が見られる。この傾向は9.2.において既に同様な結果を述べたが、このことは木炭の効果は年とともに現れてきていることを示唆していると考えられる。

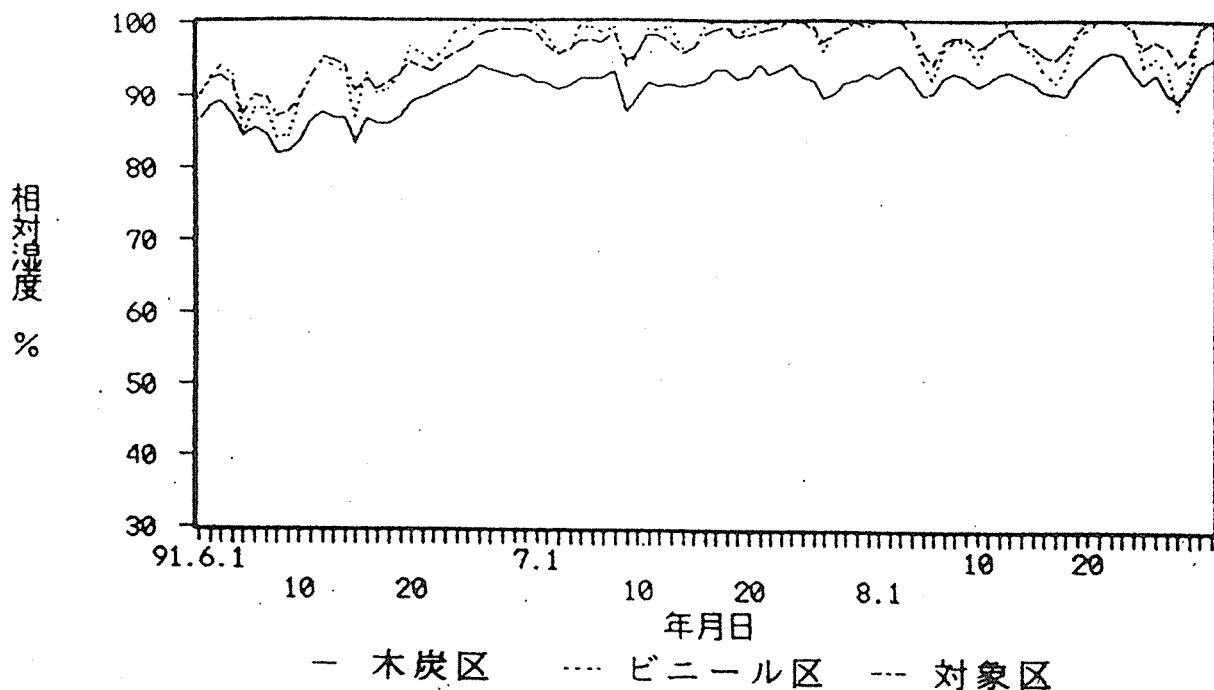


図9-22 1991年夏期における各測定場所の相対湿度の日平均の推移

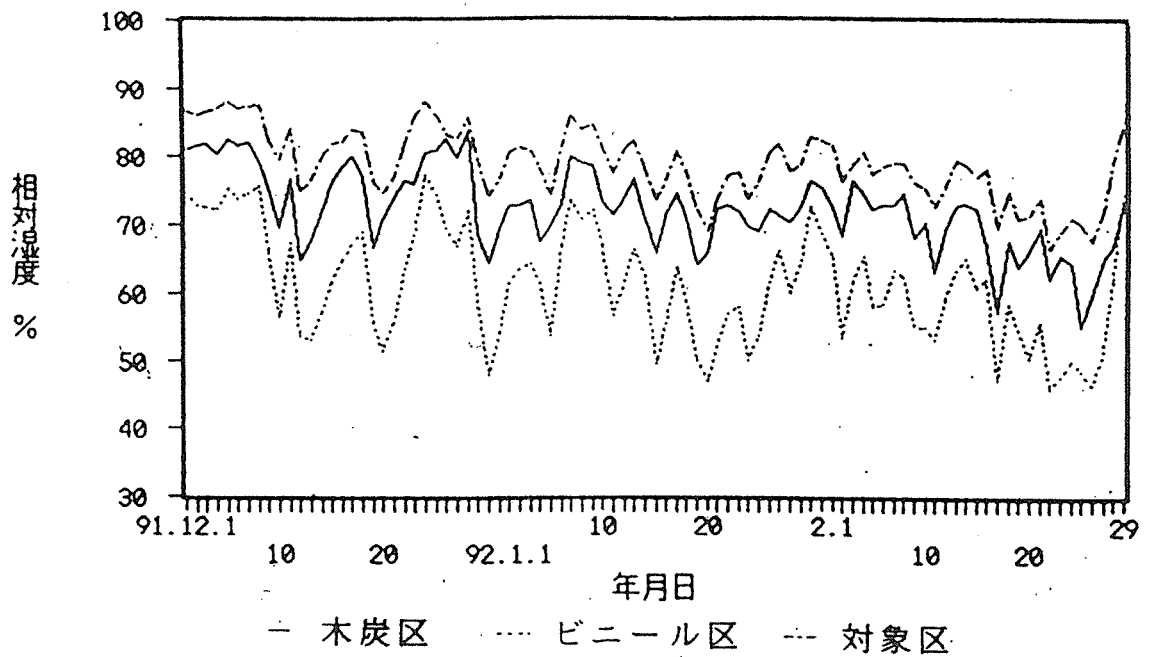


図9-23 1991年冬期における各測定場所の相対湿度の日平均の推移

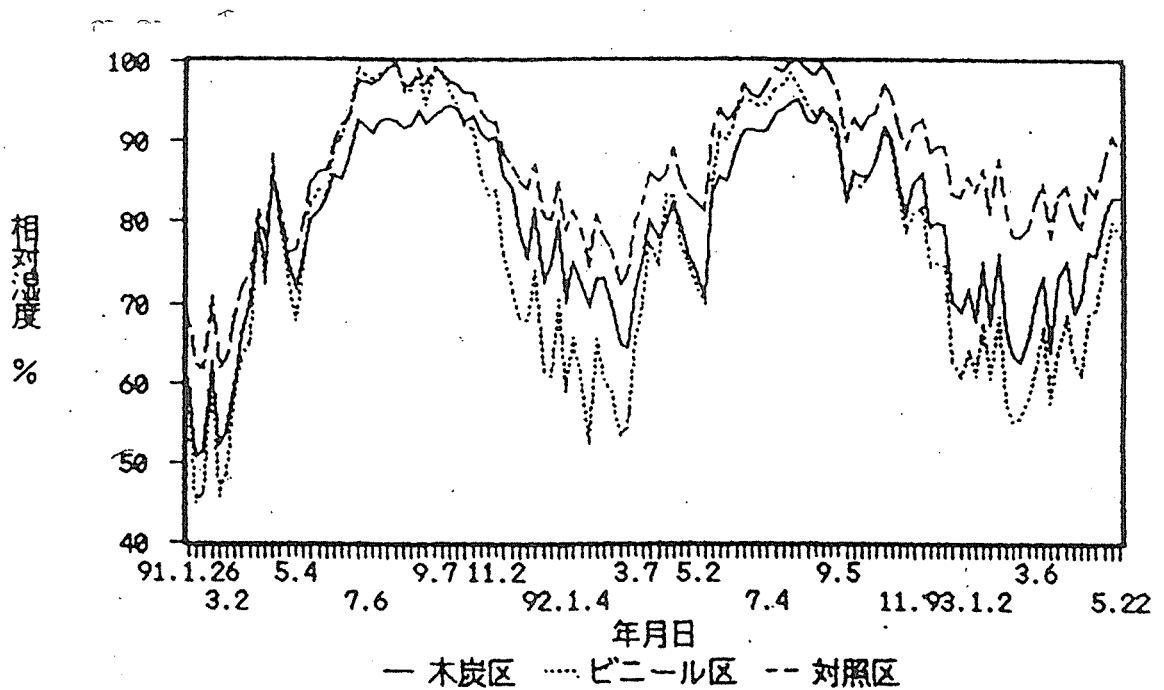


図9-24 1991年～1993年5月までの相対湿度の週平均値の推移

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年の冬にかけての一年間にわたる4ヶ所（つくば、岡崎、富山、および鹿児島市の各市）における床下の木材の含水率の推移を図9-25～28に示した。いずれの地域においても床下においた木材の含水率は相対湿度の変動に応じて変動している。すなわち、1992年冬から1993年夏にかけて上昇し、夏は高含水率で推移するが、秋から冬にかけて低下していることがわかる。

ただし、図9-25に示したようにつくば市において、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、これはほぼ毎月のように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。

岡崎市の1993年1月から1994年3月までの含水率の推移を見る。図9-26に見られるように、床下における木材の含水率は外気、押入のそれよりも高い位置で推移しており、他の地域よりも高い含水率を示している。一方、富山市（図9-27）の木材の含水率の推移は、外気、床下及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ときがあるが、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わずかながら含水率は低下する傾向を示している。

次に鹿児島市について見る。図9-28に明らかなように、この地域でも木材の含水率は1992年の冬において低く、夏に至るに従って高くなり、秋から冬に至り低下する推移を示している。鹿児島地区で特徴があるのは5月の中旬から9月初旬にかけての豪雨、台風と異常気象とも思われる天候状態であったことを証明するように、この時期は25%と非常に高い木材の含水率の推移を示した。しかし、冬季にいたり外気の木材の含水率は9%を示すようになり、水回りである台所床下における木材の含水率も15%を示している。ただし、1993年12月に木炭敷設から1994年1月にかけて含水率が上昇したのは、工場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。

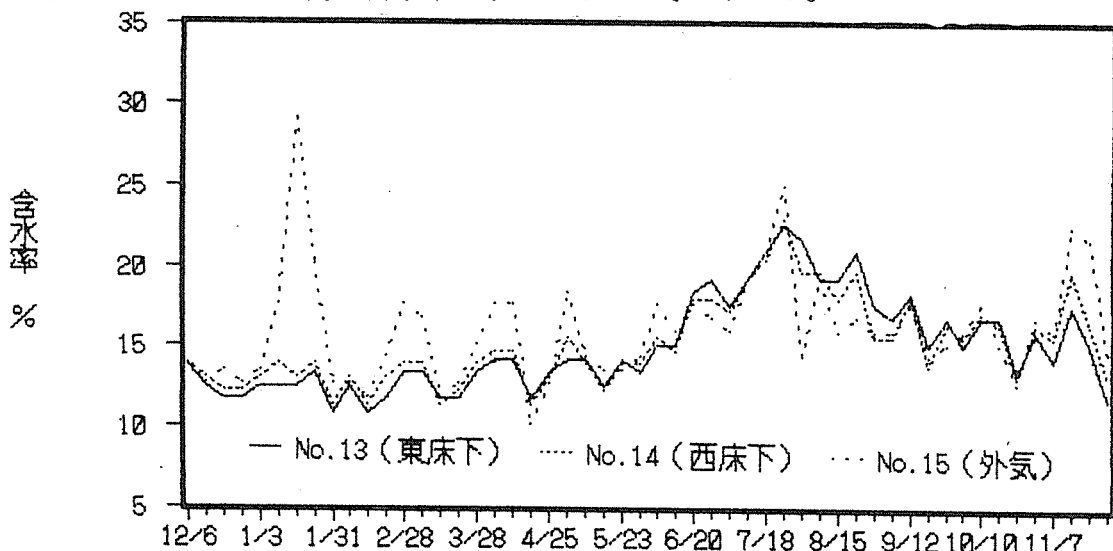


図9-25 つくば市における1992年12月～1993年12月までも各測定場所の木材片の含水率の推移

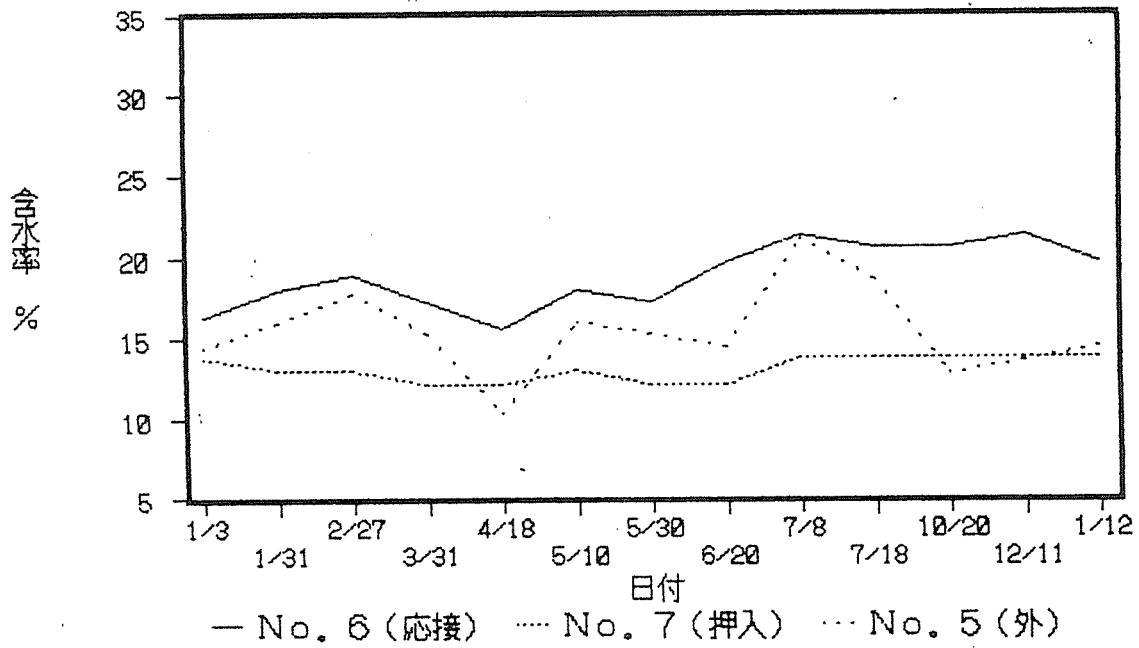


図9-26 岡崎市における1993年1月～1994年1月までも各測定場所の木材片の含水率の推移

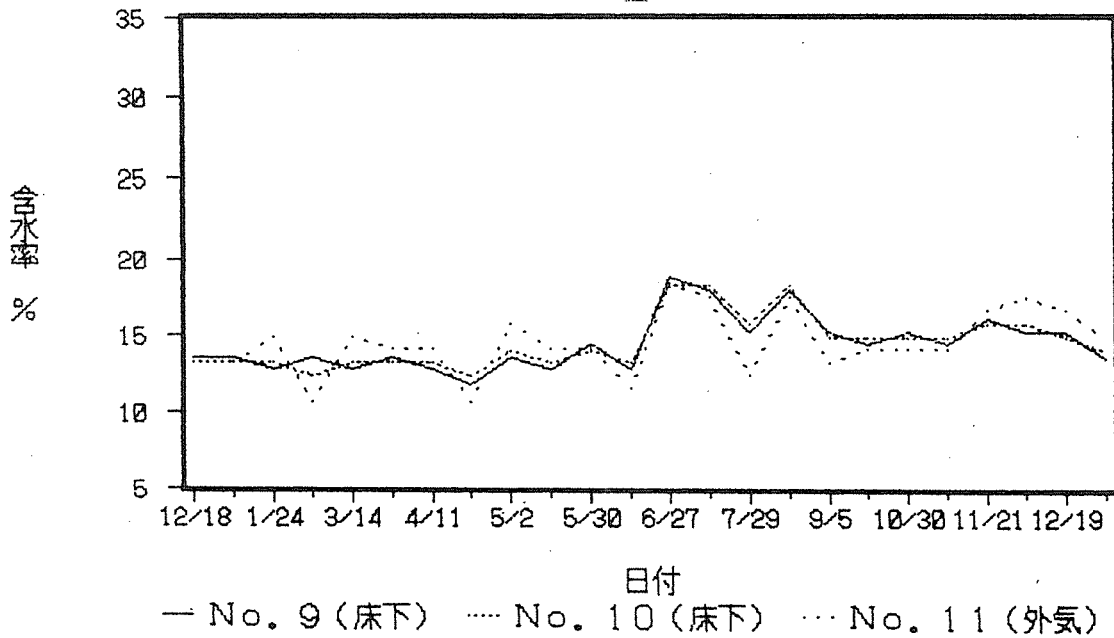


図9-27 富山市における1993年12月～1993年12月までも各測定場所の木材片の含水率の推移

含水率測定結果
鹿児島('93-'94)

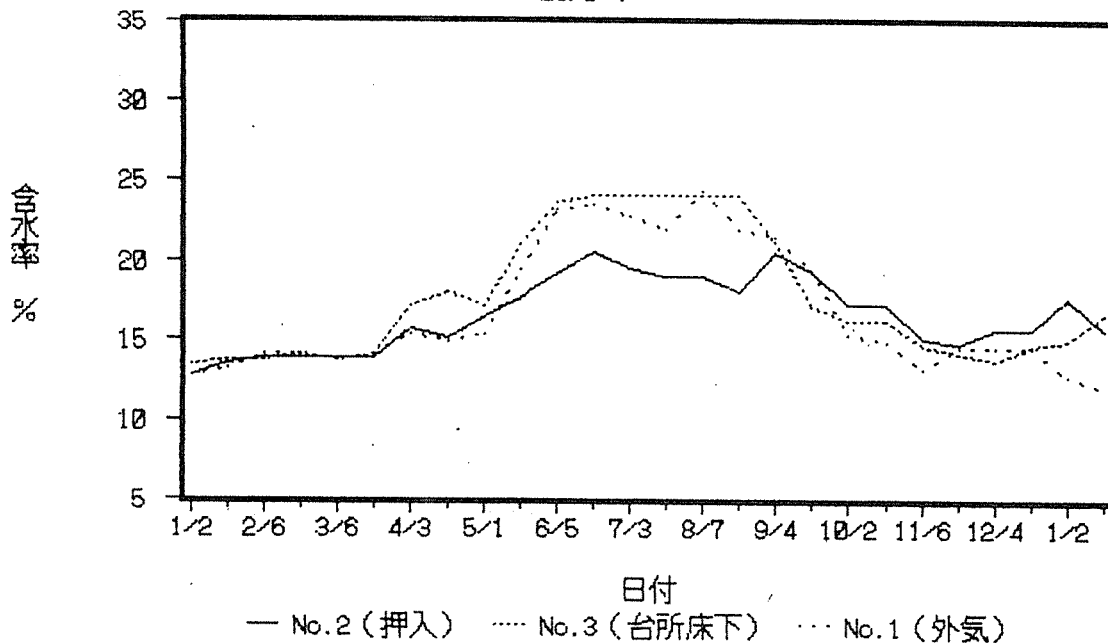


図9-28 鹿児島市における1993年1月～1994年1月までも各測定場所の木材片の含水率の推移

他方、実験結果の解析が先行している関東地区（浦和市）の木材含水率について見ると、床下における木材の含水率は相対湿度の変動に応じて変動し、図9-29に見られるように1990年冬から1991年夏にかけて上昇し、夏は高含水率状態で推移し、秋から冬にかけて低下している。そこで、この木材含水率の変動を図9-30の相対湿度の変動と比較してみると、床下に置いた木材の含水率は相対湿度の変動に対応して変動し、1990年の冬から1991年の夏にかけて上昇し、夏期は高含水率で推移している。この時期の対照区の木材片の含水率は23.5%とほぼ飽湿状態と考えられる数字であり、秋から冬期にかけ20%まで低下していることがわかる。この期間の木炭区にある木材片の含水率は、対照区のそれより常に低く、夏期は約3.5%の差が見られが、冬期では約4.5%とその差は大きくなる。この差は年々開く傾向が認められ、対照区と木炭区の相対湿度の差の差より、含水率の差がかなり大きくなる傾向が見られることは注目されることである。

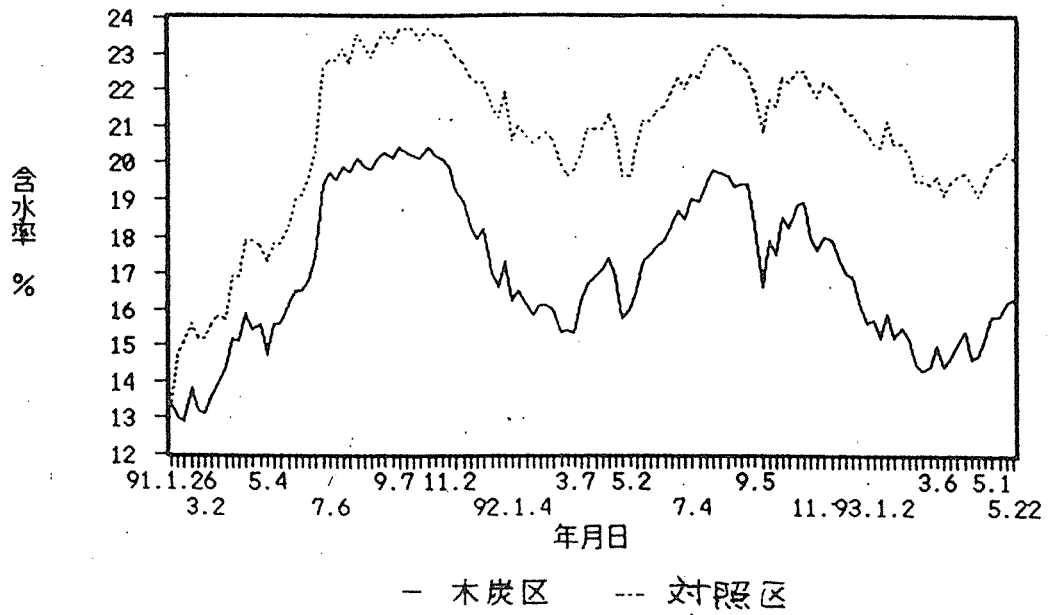


図9-29 浦和市における1991年1月から1993年5月までの木材含水率の推移

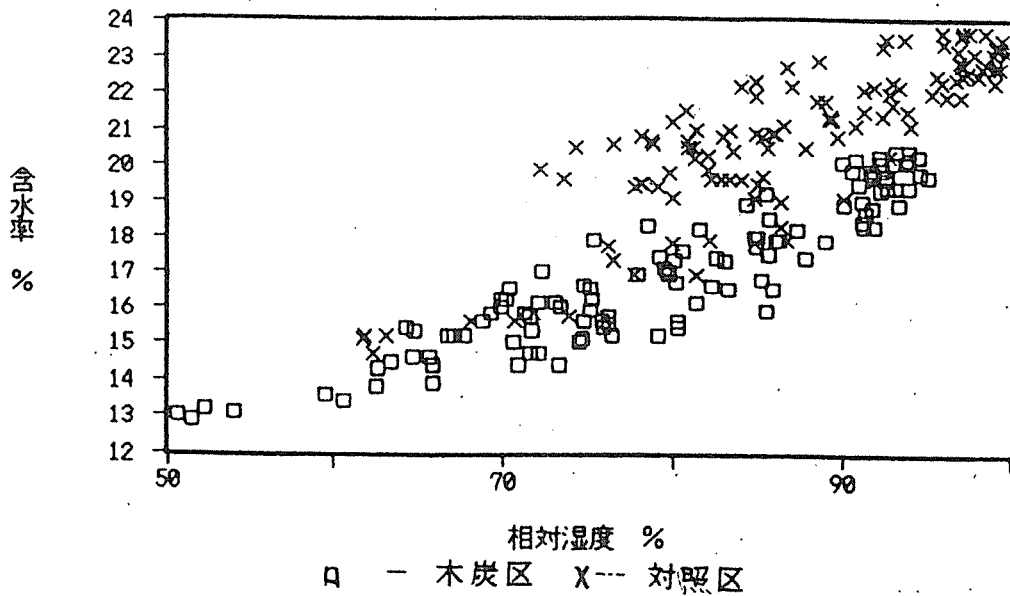


図9-30 浦和市における1991年1月から1993年5月までの相対湿度（週平均）と木材含水率の関係

4. 3 床下の相対湿度と木材含水率の関係について

データの解析が先行している浦和市を例について述べることにする。この地区は木炭を敷設していない床下（対照区）と敷設してある床下（木炭区）との両者を対比して検討が可能である。図9-31、32に見られるように、両区ともに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が、対照区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。そこで、対照区および木炭区の木材の含水率と相対湿度の関係を相対湿度が上昇する1月から8月まで、相対湿度が低下する9月から翌年の2月までに区分し、年度別に見ると、対照区（図9-31）について見ると、1991年1月から8月まで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24%に近づく。一方、9月から翌年の2月までのについて見ると、相対湿度の低下にともなって、木材の含水率も低下する。しかし、その低下の推移は1月から8月までの上昇の推移とことなり、はるかに徐々に低下している。これらの結果から、冬季に相対湿度が最も低下し、約70%に至ったとき、木材の含水率は約20%となり、上昇時のほぼ同じ相対湿度のときの木材含水率約16%とは大きく異なる。

一方、木炭区について見ても、図9-32に見られるように同様な傾向が認められる。しかし、木炭区では夏期の相対湿度が約95%にとどまり、また冬季の相対湿度が対照区より

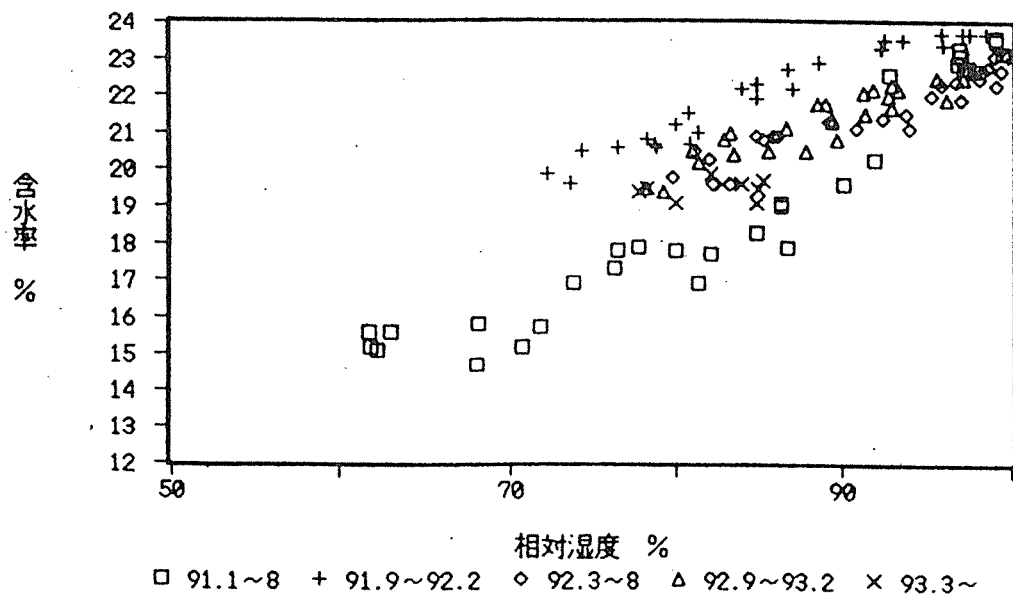


図9-31 浦和市における1991年1月～1993年3月までの対照区における週平均相対湿度と木材含水率

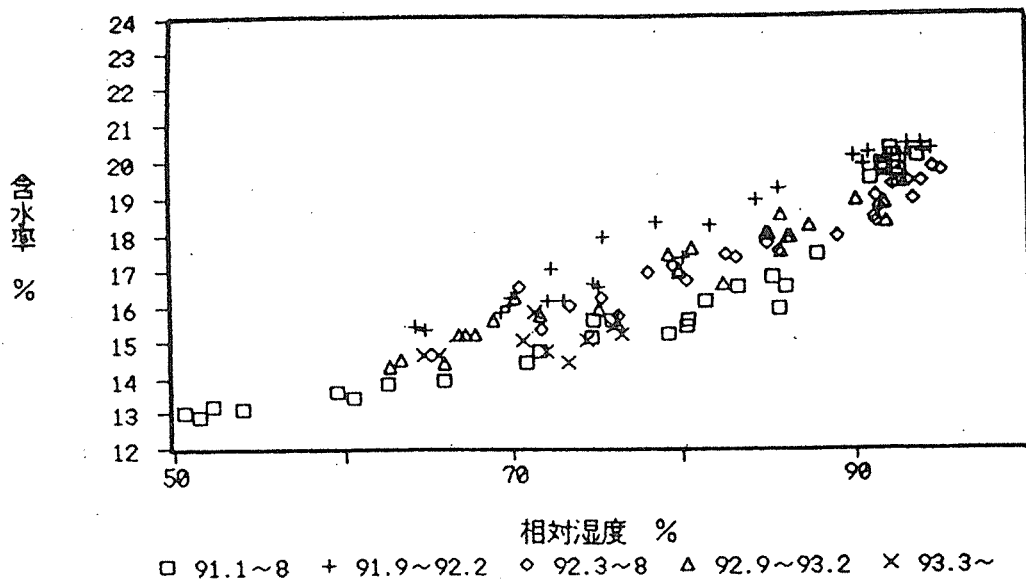


図9-32 浦和市における1991年1月～1993年3月までの木炭区における週平均相対湿度と木材含水率

低く、約60%まで低下するので木材含水率の相対湿度の上昇と低下は対照区に比較して低い含水率域で推移することになる。このように対照区の木材含水率は木炭区と同じ相対湿度でも、より高い値を示しており、対照区の木材含水率は14%から24%の範囲で推移するのに対し、木炭区のそれは14%から20%の範囲で推移し、これらの両者の木材含水率の間の差は予想以上に大きいことが認められている。

これまで一般に夏期の床下の相対湿度が、床下の木材の耐久性に大きく影響すると考えられていたが、相対湿度と木材含水率との関係から、冬期における相対湿度も非常に重要であることが明らかとなった。特に寒冷地においては冬期における結露の問題があり、十分に考慮しなければならないことである。

すなわち、冬期における床下の相対湿度が十二分に低下すれば、床下にある木材含水率も低下することになる。したがって、このような状態で相対湿度の高い夏期に入っても、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、年間を通じて低い含水率の期間が長くなることが期待されることになる。

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、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、永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、1990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い、現在も継続中である。

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、リサイクル資源としての有効利用の是非を検討した。

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2年目であり、木炭の敷設による測定ははじめて3ヶ月であり、今始まったばかりである。木炭の効果をより明確にするには、ただ1ヶ所のデータだけで結論はできないが、もっとおおくの場所で実験を繰り返して、普遍的なデータを得ることが必要である。モデル実験住宅のデータ等を考え合わせれば、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。さらに、各地の多くのデータを蓄積する等、更なる観測の継続が必要である。

これから数年間にわたり、全国各地で同時平行してこの研究を続けることは、相当な努力と応援のもとに行われる予定である。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、快く自宅を提供いただいた皆様に、ただ感謝するのみである。

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5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、前述の集魚施設に加え、コンブなどの海藻を繁殖させ、その海藻を餌とするウニやアワビなどのい集効果を期待するもの（いわゆる藻礁）を含む広義の魚礁である。この用途は、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)}の対策としても需要が期待できるものである。

また、環境問題から漁業と林業の接点が指摘される昨今、海に隣接した森林の伐採により、河川からの土砂の流入が増加し、沿岸部の海底が砂漠化している事実や、沿海森林の消失により、腐葉土からの化学成分の供給が停止し、それが磯焼けを助長するとの報告もされている¹³⁾。よって、木材産業が何等かの形で水産業の振興に寄与すべき社会的使命もあるものと考えられる。

前述したように、海中に設置した木製施設の実効に対する評価は様々であり、これらを総括することは意義は大きい。また、過去の研究成果を踏まえて、木材の耐久性の低さを逆に利用するような形（木材を栄養部分として把える）で、水産資材の中でも消耗品的に扱われている分野での製品化が図れば、理想的なリサイクルになると考えられる。

本研究では、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の木質材料の位置づけをより明確にすることを目的とするものである。

2. 木質系水産資材の試作

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に加え、フナクイムシやキクイムシによる生物的劣化に対する耐久性が大きな問題である。また、木質廃棄物を再資源化し利用する場合、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魚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

木質原料：1) 建築解体材チップ（写真10-1）

建築解体材を機械＋人力で選別し、チップパーで疎粉碎したもの（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，稀に広葉樹も含まれる。

（(財)札幌市環境事業公社より入手）

2) 製材背板からの小片（写真10-2）

製材工程から出る背板を30cm程度に切断したものを，ハンマークラッシャー（写真10-3）で疎粉碎したもの。樹種はトドマツ。

（当場内にて入手）

3) 剥皮時に出る細片（写真10-4）

原木をヘッドバーカー（写真10-5）で剥皮する際に生じる木片。樹種はトドマツ。

（当場内にて入手）

4) チッパー小片（写真10-6）

製材工程で出る端材をチップパーで粉碎した際，再粉碎を要する程度の大型小片をスクリーン部分で採取したもの（写真10-7）。樹種はトドマツ。

補助材料：市販の粒炭（写真10-8）

（下川森林組合製）

結 合 材：普通ポルトランドセメント（写真10-9）

添 加 剤：セメント硬化促進剤（写真10-10）



写真10-1 建築解体材チップ

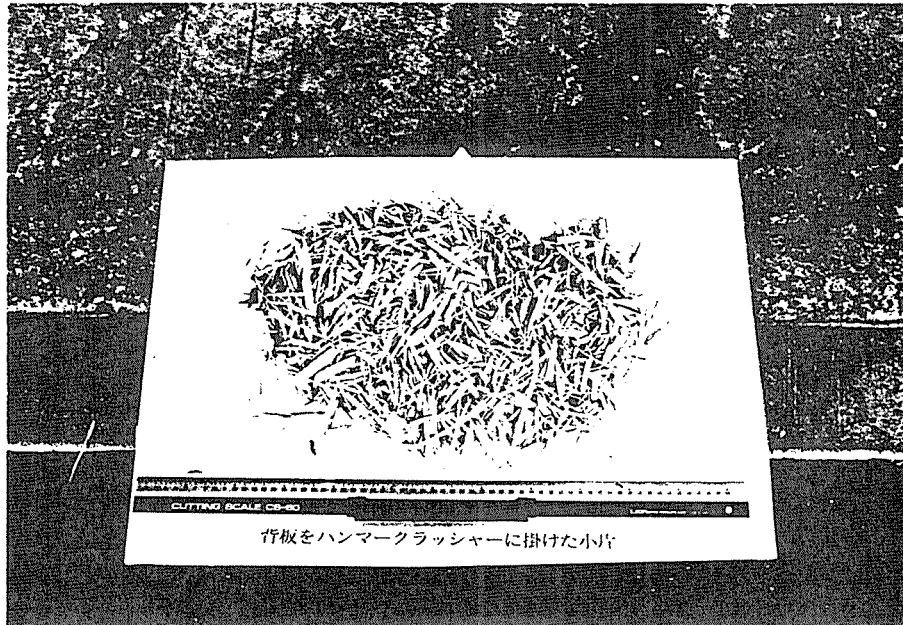


写真10-2 製材背板からの小片

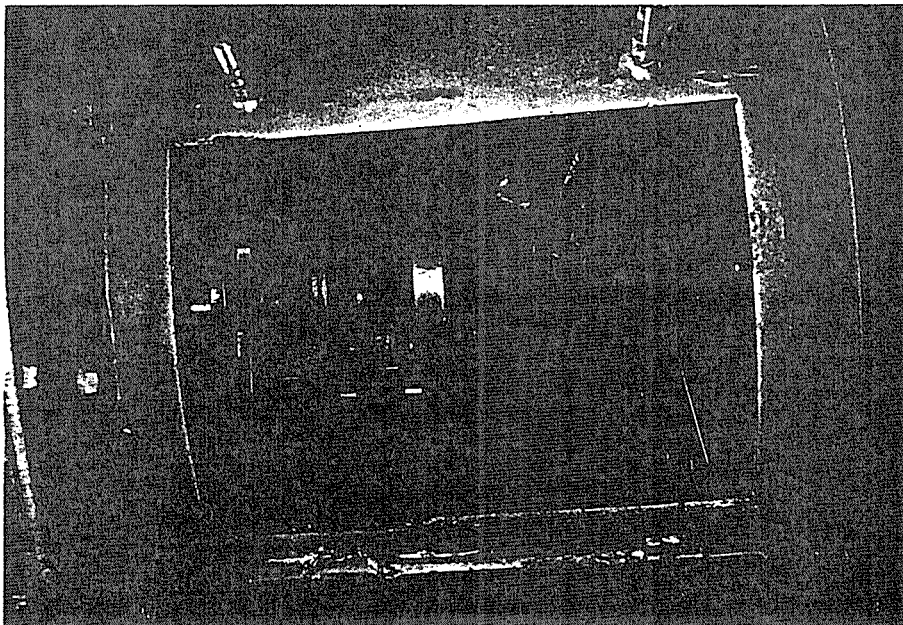


写真10-3 ハンマークラッシャー

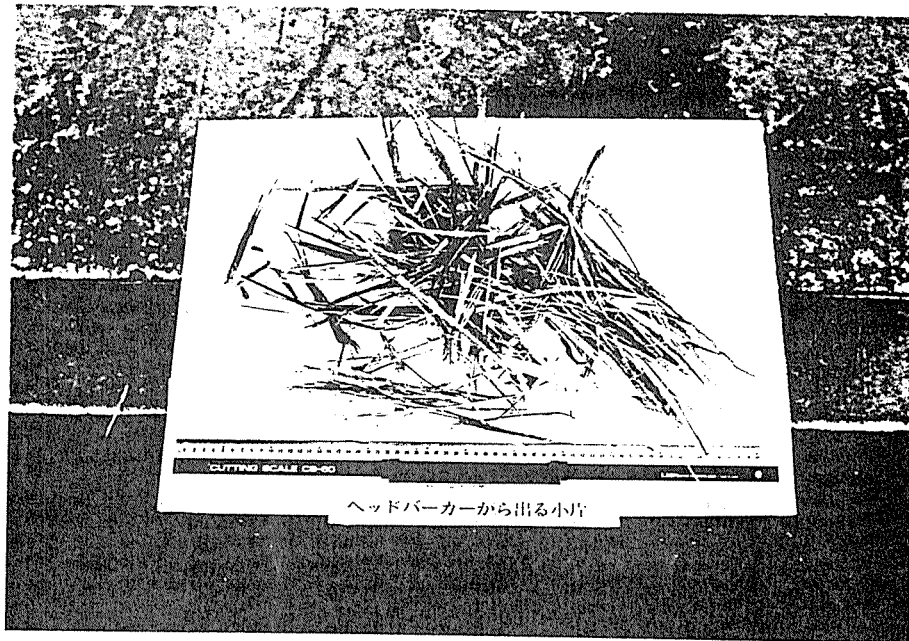


写真10-4 剥皮時に出る細片

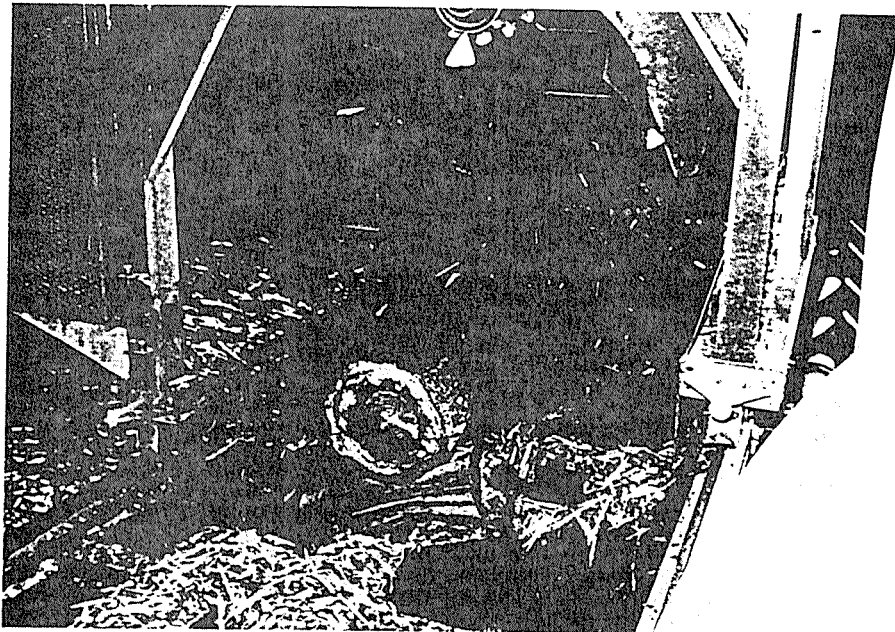


写真10-5 ヘッドバーカーでの剥皮工程

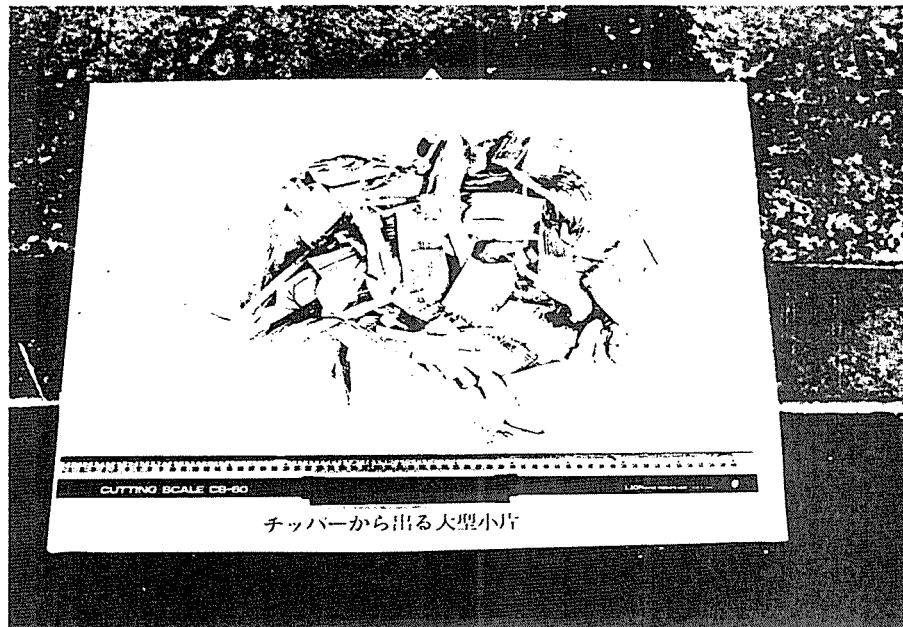


写真10-6 チッパー小片

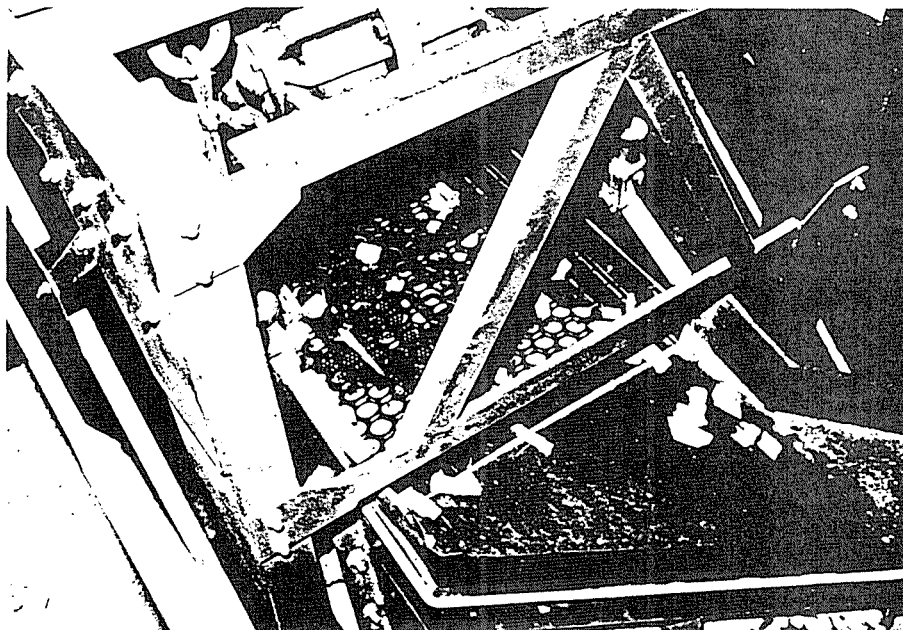


写真10-7 チップ化工程のスクリーン部分

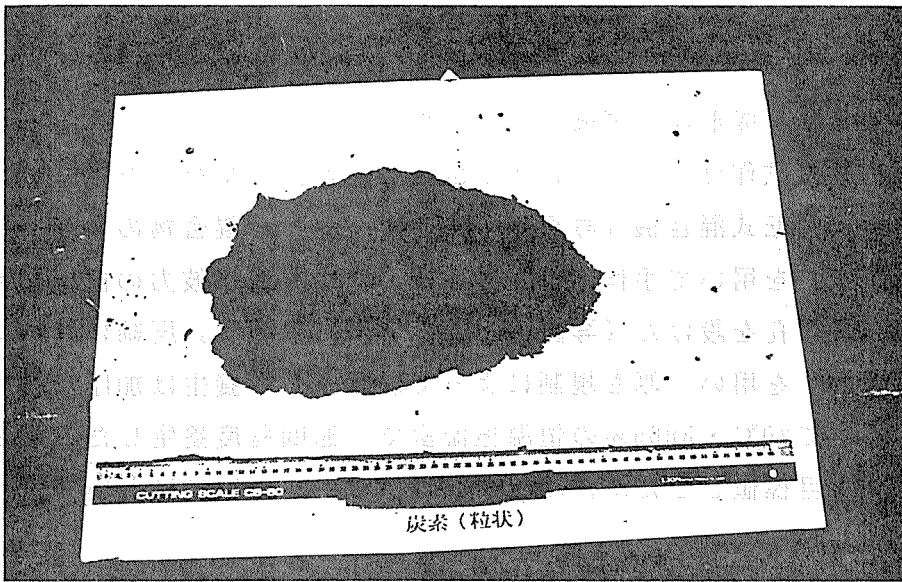


写真10-8 市販の粒炭

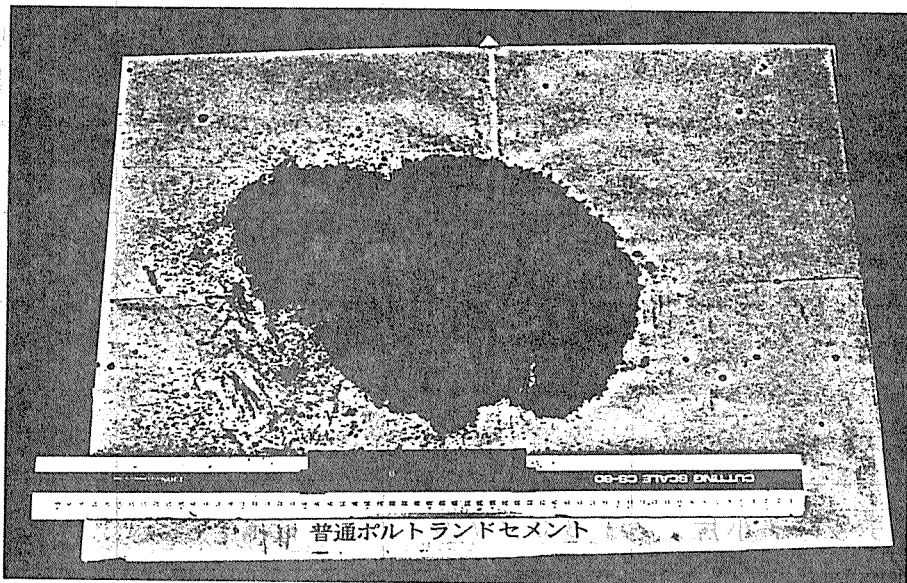


写真10-9 普通ポルトランドセメント

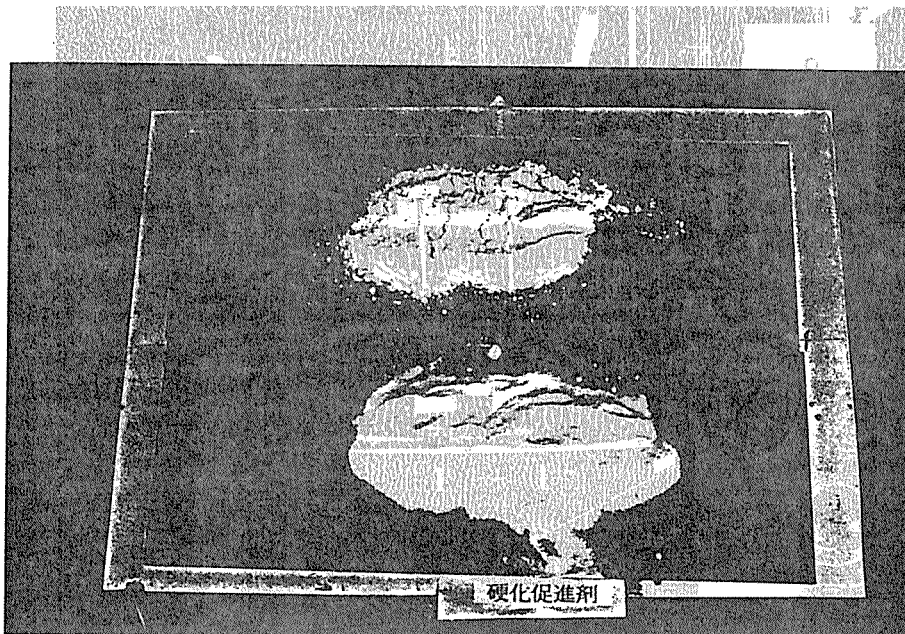


写真10-10 セメント硬化促進剤

2. 2 木質・セメント成形体（試験片）の試作

成形体（試験片）の試作は，表10-1に示す混合条件に沿って行った。

材料の混合は，翼回転式混合機（写真10-11）で行った。混合物のマットフォーミングは，型枠（35×35cm）を用いて手作業で行い，成形体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（写真10-12，10-13参照）。圧縮にはハンドコールドプレス（写真10-14）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10-2参照）。

表10-1 木質・セメント成形体の試作条件

試作条件	木質原料 種別	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(%))	硬化剤添加率 (対セメント重量(%))
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	チップー小片	30/70	—	3

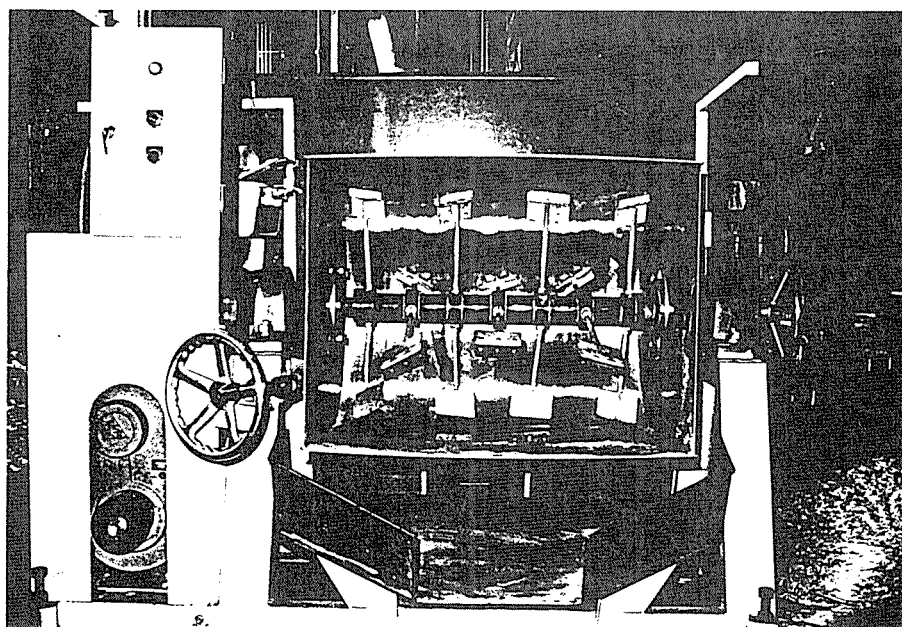


写真10-11 翼回転式混合機

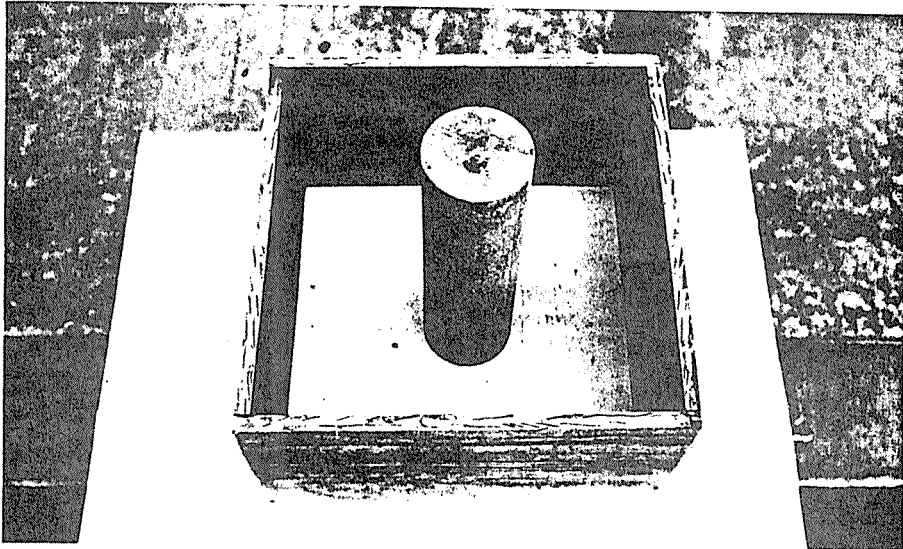


写真10-12 フォーミング用型枠

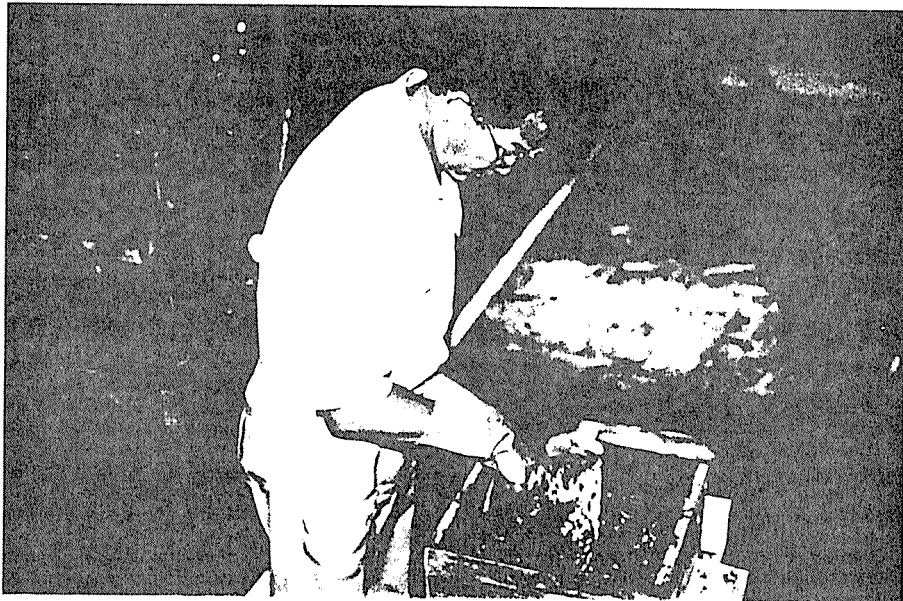


写真10-13 ハンドフォーミング

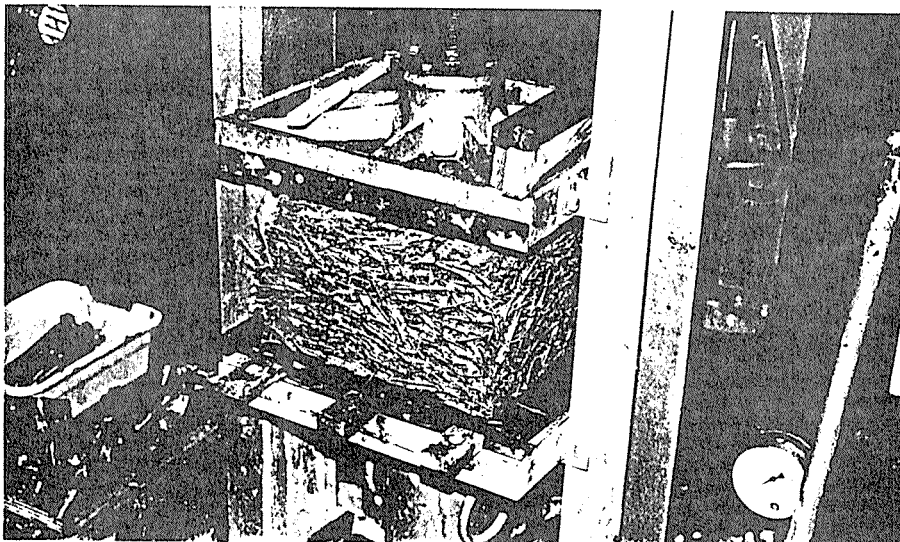


写真10-14 ハンドコールドプレス

3. 海中投入試験

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（写真10-15，図10-1）に試験地を設定した。試験体の投入箇所は図10-2に示す通りである。

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1.5～2m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。

試験体の経時観察は，冬期から厳冬期となるため（着床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ため¹⁴⁾），潜水の講習を受けた観察者が，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を行った（写真10-16）。また，一部の試験体は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，植物体の付着，着床状況，海棲生物の集状況などを観察した。

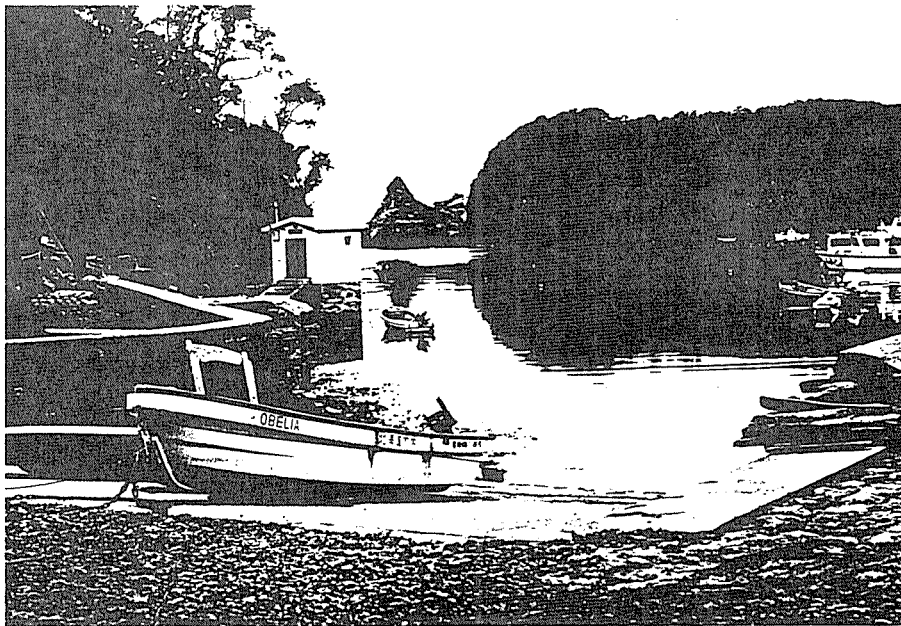


写真10-15 忍路湾の概観

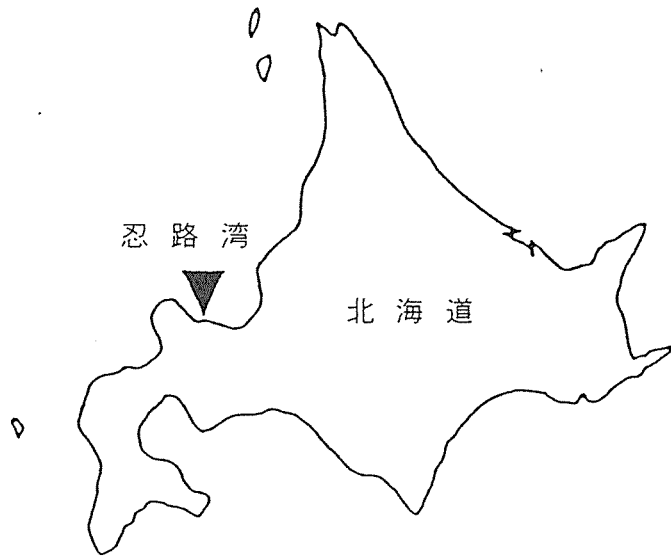


図10-1-① 忍路湾の位置

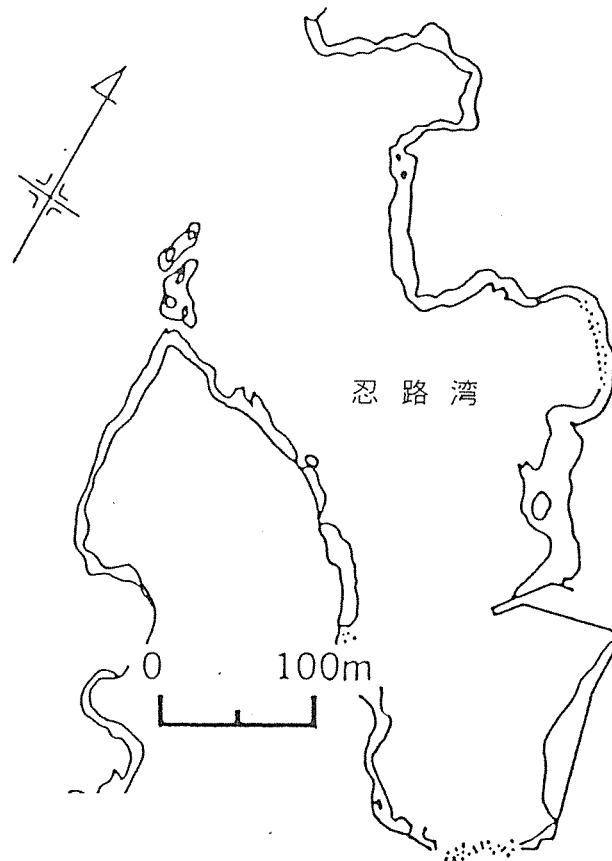


図10-1-② 忍路湾の概要

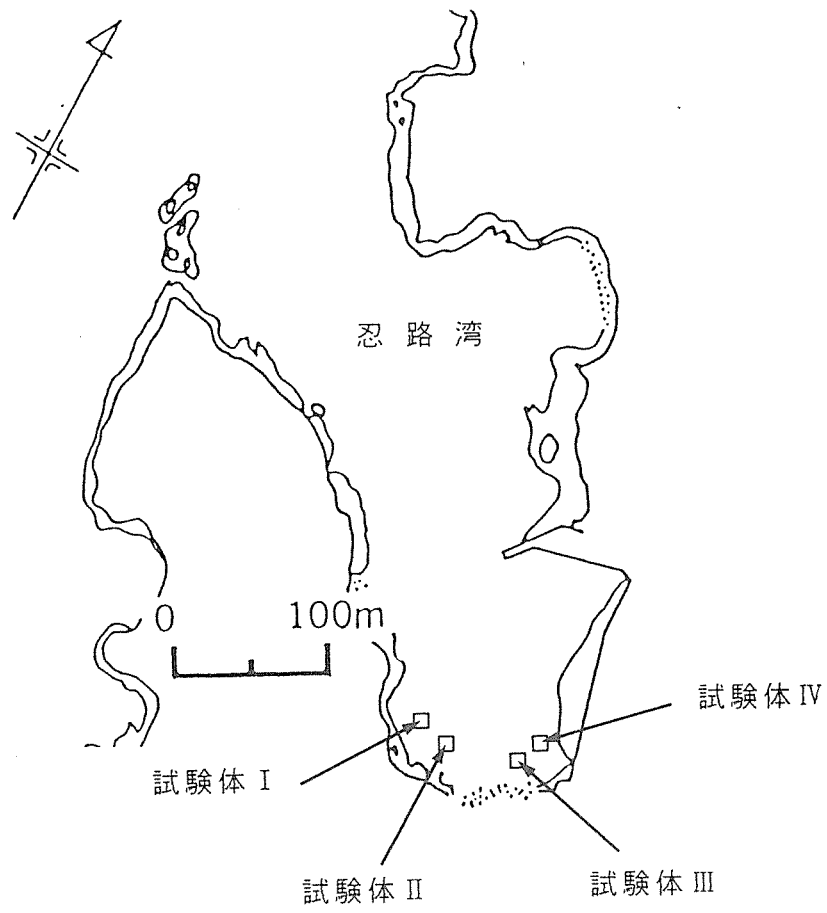


図10-2 試験体投入箇所

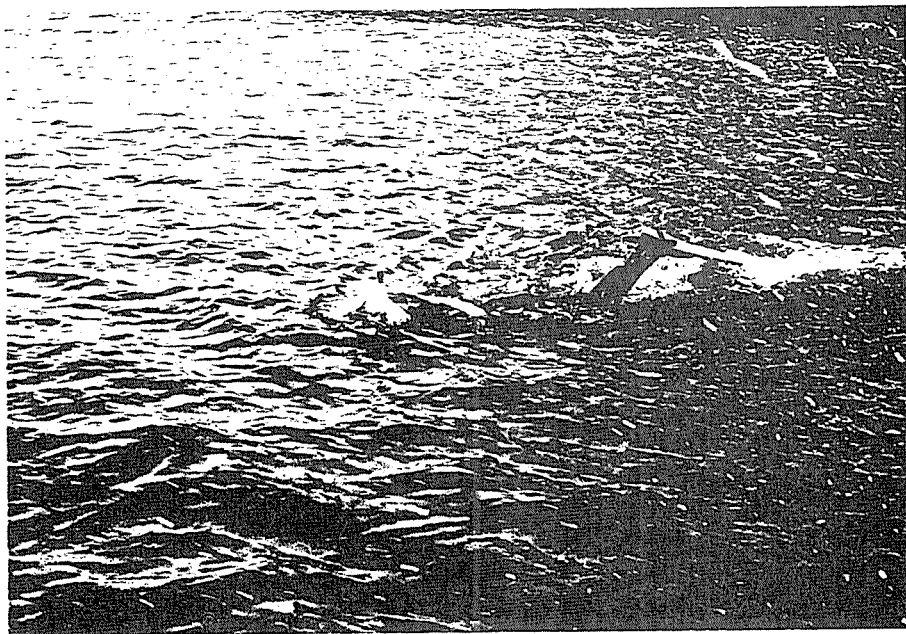


写真10-16 シュノーケリングによる観察

3. 1 試験体の形状・構成

試験体は図10-3に示すように、成形体を水平に設置するもの（試験体Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，写真10-17）と，図10-4に示すように，成形体を傾斜させて設置するもの（試験体Ⅳ，写真10-18）の2種類とし，鋼材を溶接した骨組に，表10-2に示すような材料を止め付けて試験体とした。また，水平設置型の試験体は，さらに安定性を増すために，図10-3の試験体を2列並べて溶接し，1試験体に6種類の成形体および比較材料を取り付けるものとした（写真10-19，10-20）。

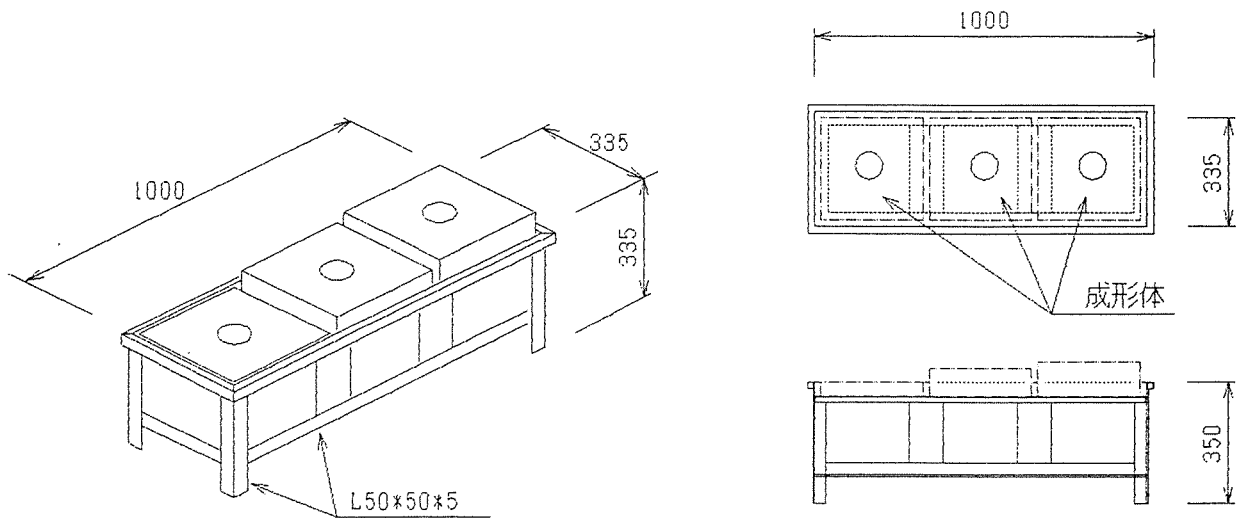


図10-3 水平設置式試験体設計図

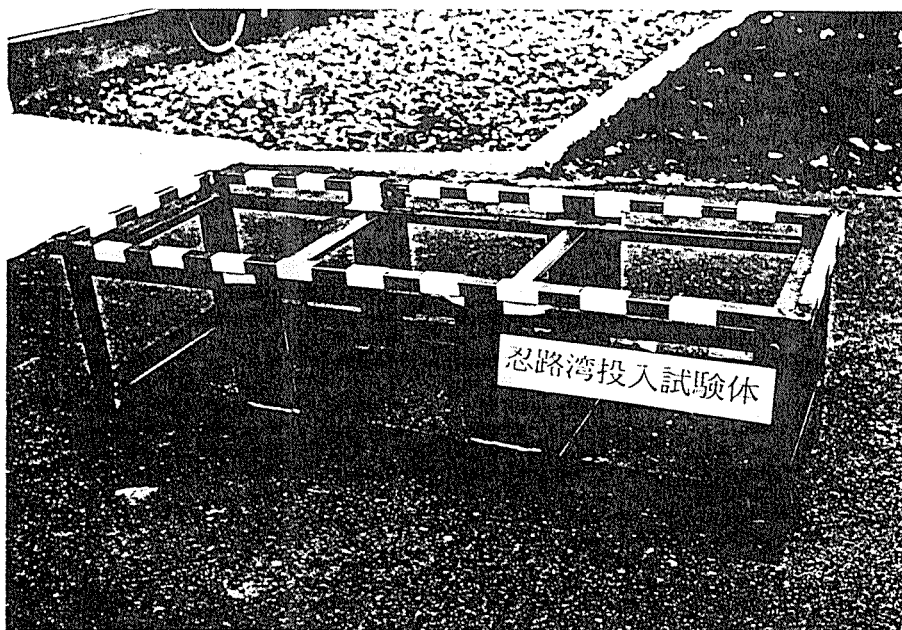


写真10-17 水平設置式試験体の概要

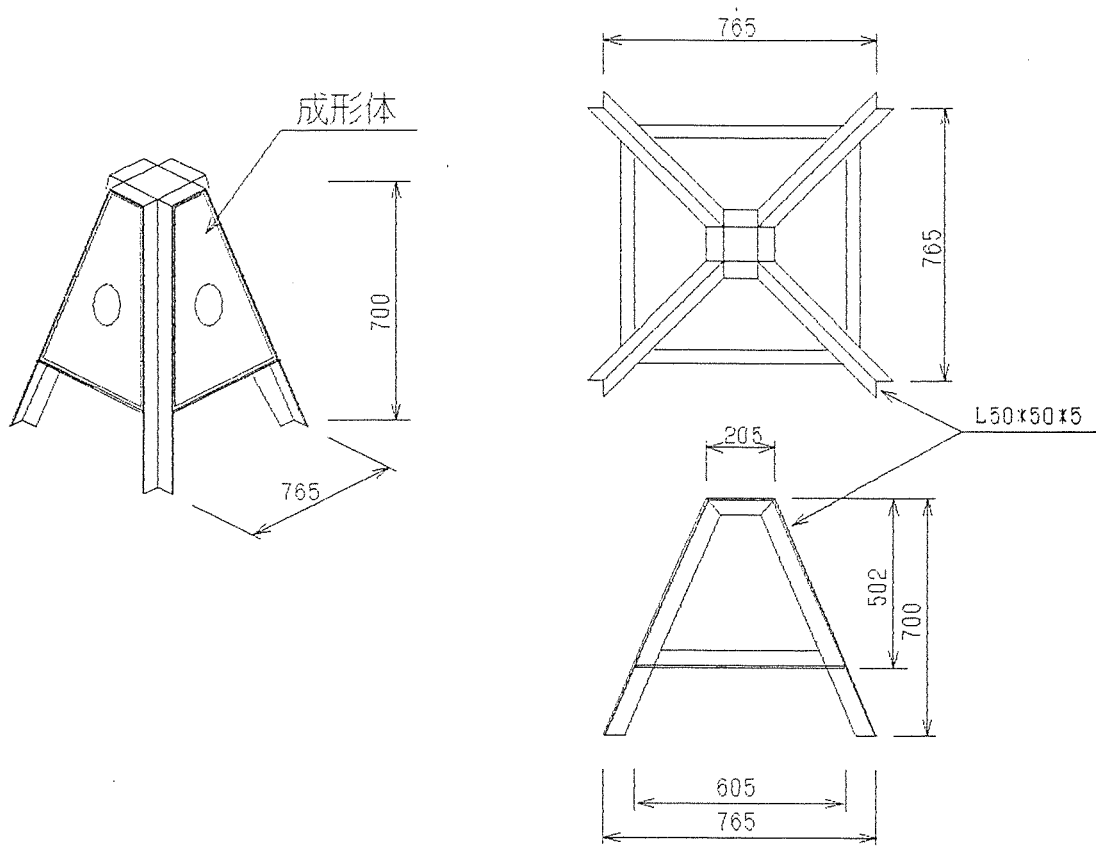


図10-4 傾斜設置式試験体設計図

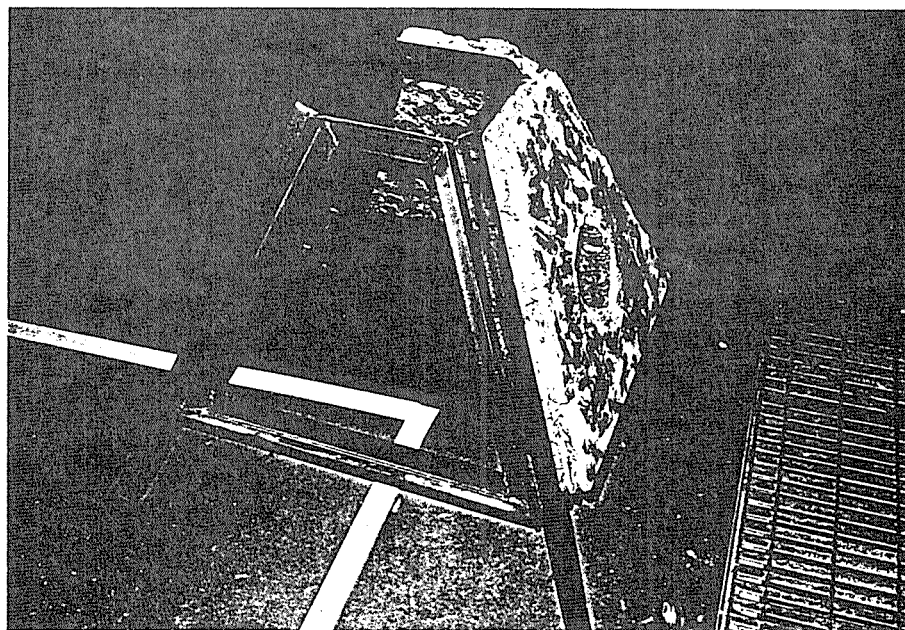


写真10-18 傾斜設置式試験体の概要

表10-2 試験体構成

試験体No.	形状	取り付け材料および順序	厚さ (cm)
I	水平設置式	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. コンクリートブロック	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)	4
		6. 試作条件Cの成形体 (建築解体材チップに炭添加)	5
II	水平設置式	1. 試作条件Dの成形体 (建築解体材チップ)	10
		2. コンクリートブロック	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)	4
III	水平設置式	1. コンクリートブロック	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)	4
IV	傾斜設置式	4面ともに試作条件Eの成形体 (チップー小片)	6

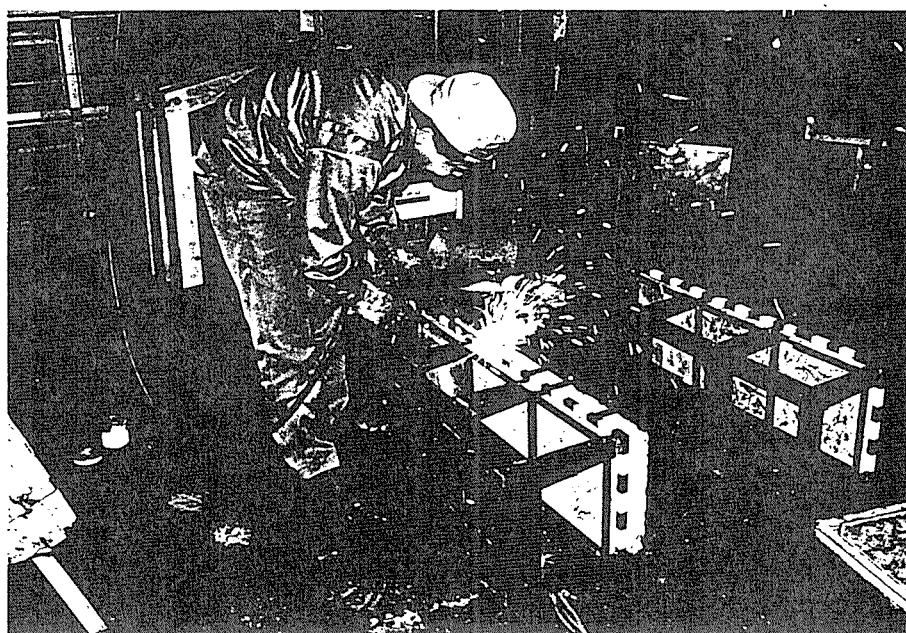


写真10-19 水平設置式試験体の溶接による連結

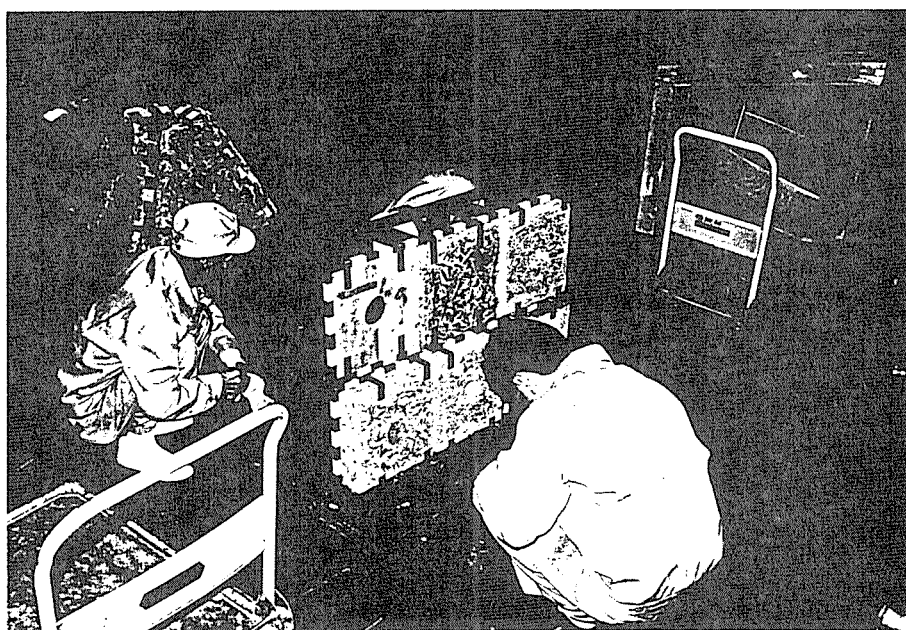


写真10-20 実際に投入する水平設置式試験体の概要

3. 2 投入経過および結果

試験体の海中投入，および観察経過は表10-3に示す通りである。

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

3. 2. 1 調査 1（平成 5 年 11 月 6 日）

試験体 I，II を海中投入後，8 日経過時に水中観察，水中写真撮影を行った。

海藻の付着や試験体の劣化，破損等の発生はない。しかしながら，試験体の鋼材部分に錆（電食によると考えられる）が発生していた。

調査 1 の結果は，写真 10-21，10-22，10-23 に示す。

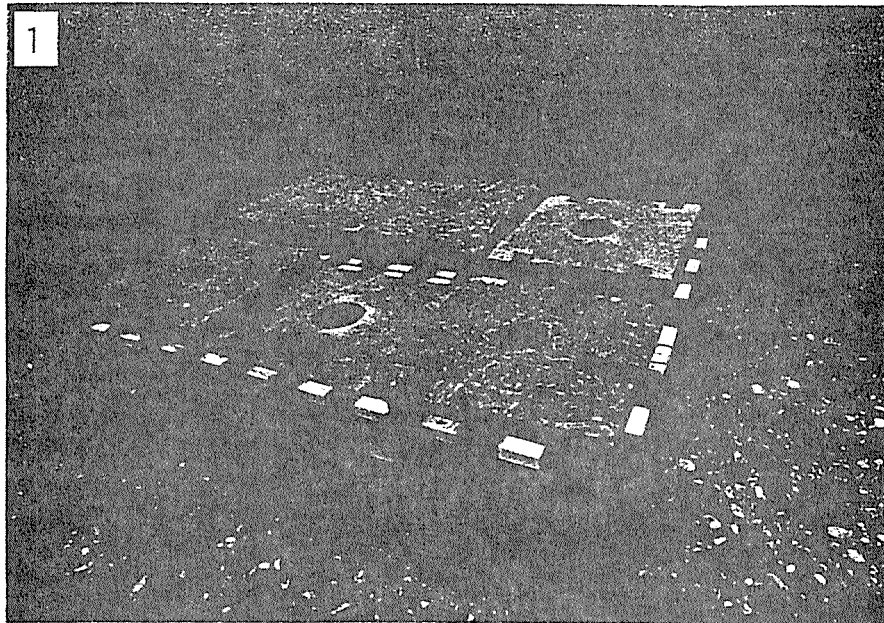


写真10-21 調査 1 での潜水観察①（試験体 I）

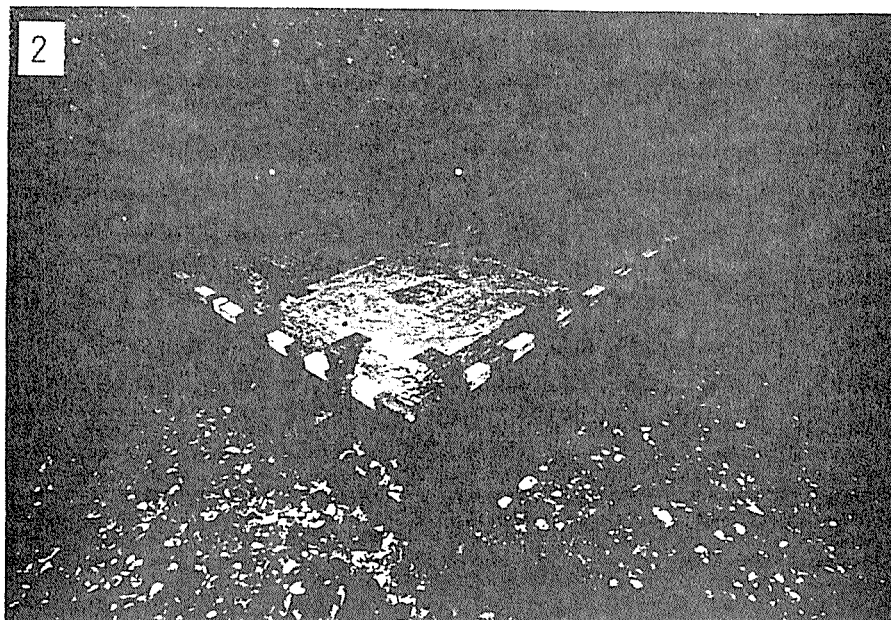


写真10-22 調査 1 での潜水観察②（試験体 I）

表10-3 試験体の投入・観察経過

ステップ	期 日	投入後の経過日数		実 施 内 容
		試験体 I, II	試験体 III, IV	
1	1993/10/25-26	—	—	投入海域の事前調査
2	1993/10/28	0	—	試験体 I, II の投入
3	1993/11/ 6	8	—	調査 1 (水中写真撮影)
4	1993/12/ 1	3 3	0	試験体 III, IV の投入 調査 2 (船上から観察)
5	1994/ 1/31	9 4	6 1	調査 3 (試験体 I を船上に引き上げ 観察)
6	1994/ 2/28	1 2 2	8 9	調査 4 (試験体 I, IV を船上に引き 上げ観察。水中写真撮影)
7	1994/ 3/17	1 3 9	1 0 6	調査 5 (水中写真撮影。全試験体を 船上に引き上げて観察)

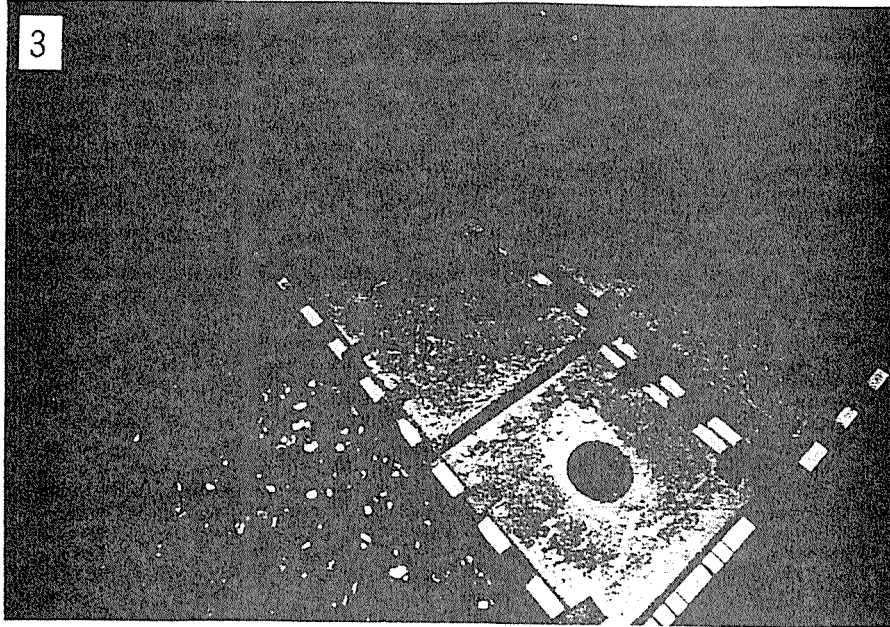


写真10-23 調査1での潜水観察③（試験体II）

3. 2. 2 調査2（平成5年12月1日）

試験体III, IVを海中投入した。加えて船上より試験体I, IIの観察を行った。

調査1で試験体I, IIの鋼材部分に発生していた錆は、その後あまり変化していないようであった。また、他の部分にも変化は認められなかった。

調査2の結果は、写真10-24, 10-25に示す。

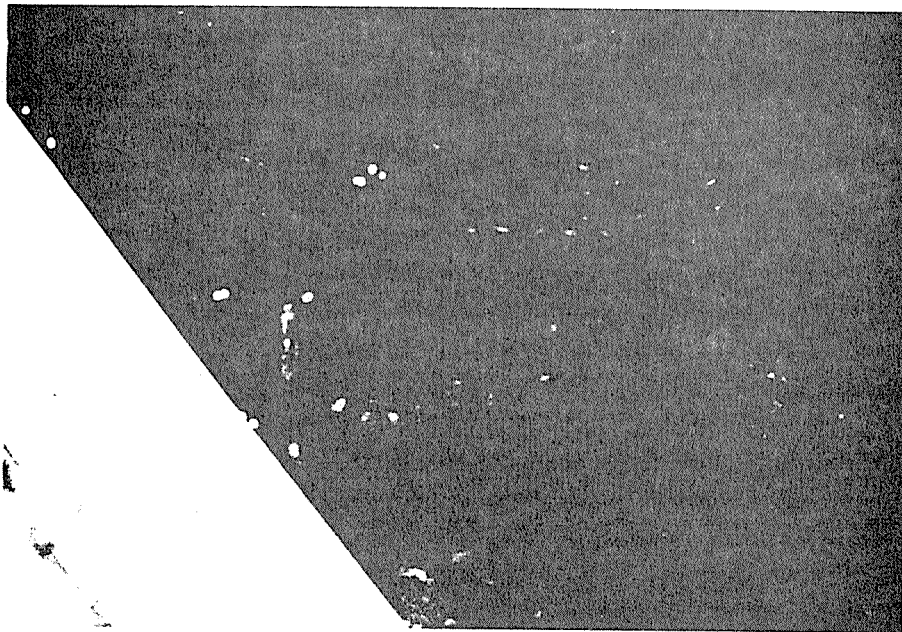


写真10-24 調査2での船上よりの観察①（試験体I）

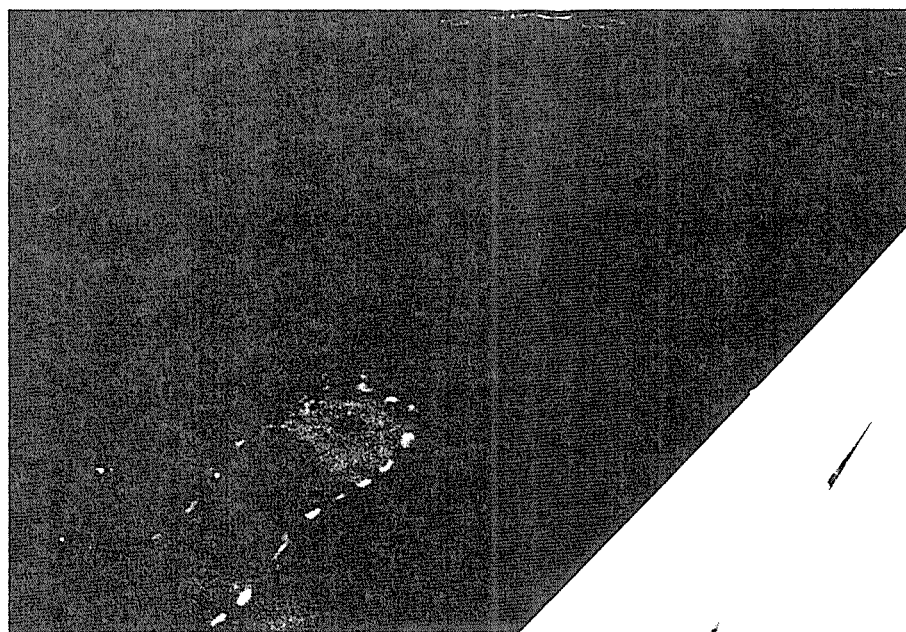


写真10-25 調査2での船上よりの観察②（試験体Ⅱ）

3. 2. 3 調査3（平成6年1月31日）

試験体Ⅰを船上に引き上げ、観察、写真撮影を行った（写真10-26～32）。

6種類の成形体および比較材料のうち、木材単体（トドマツ）にのみ、特異的に海藻が付着していた（写真10-31）。この海藻は、ウルシグサの一種と特定されたが、これは有用な藻類ではなく、漁網や漁具を溶かし、むしろ有害な藻類に属するとのことである。その他の材料は、全体に泥様の物質で覆われていたが、破損等は認められなかった。

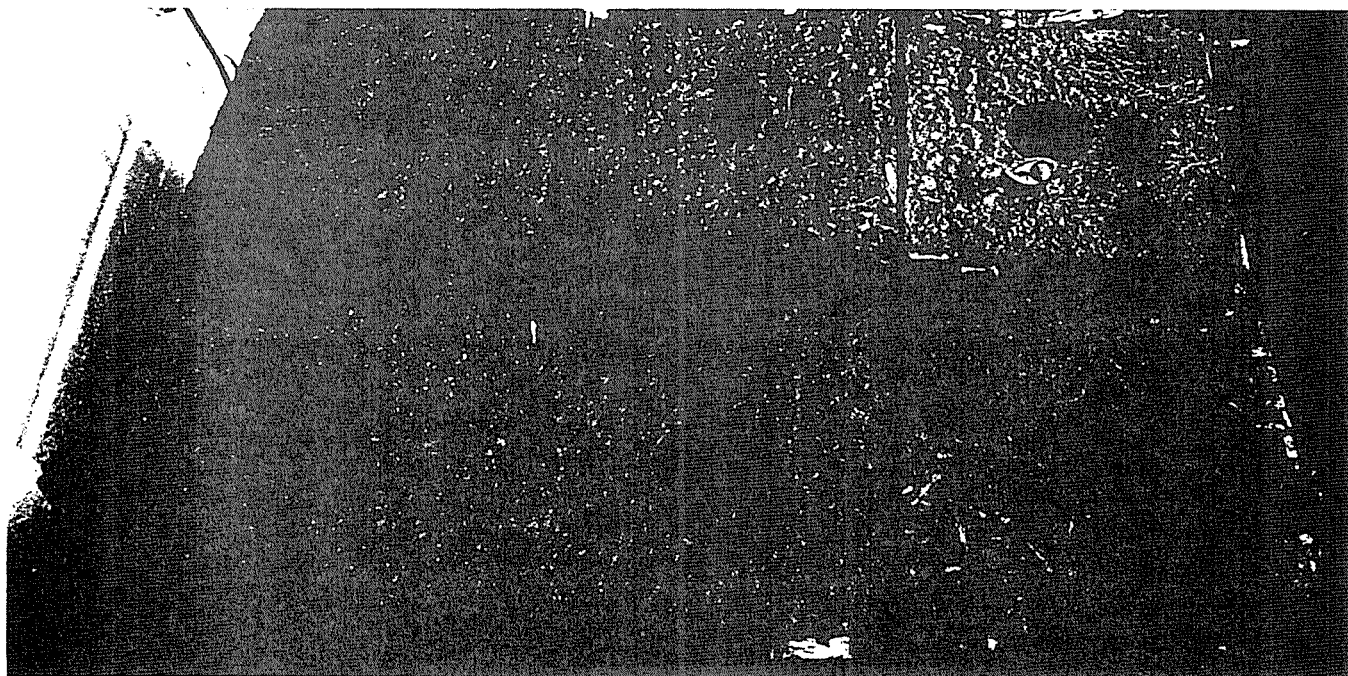


写真10-26 調査3での試験体Ⅰの引き上げ観察①（全体）

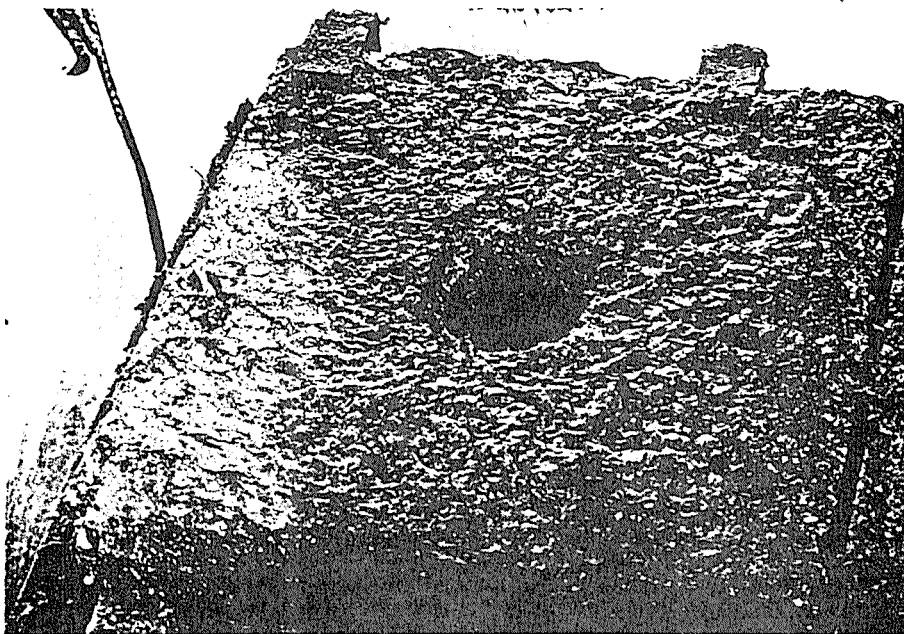


写真10-27 調査3での試験体Iの引き上げ観察②（製材背板からの小片）

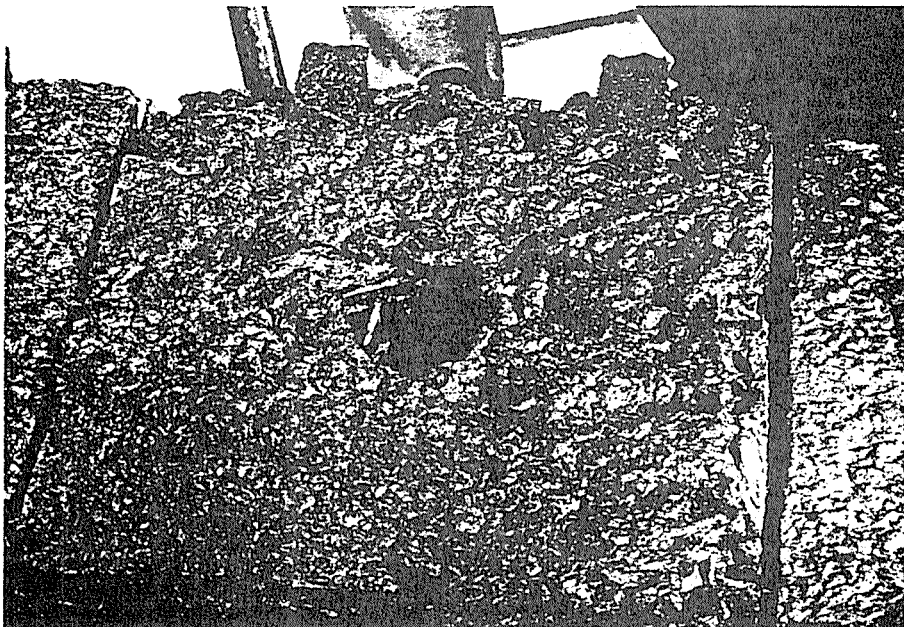


写真10-28 調査3での試験体Iの引き上げ観察③（建築解体材チップ）

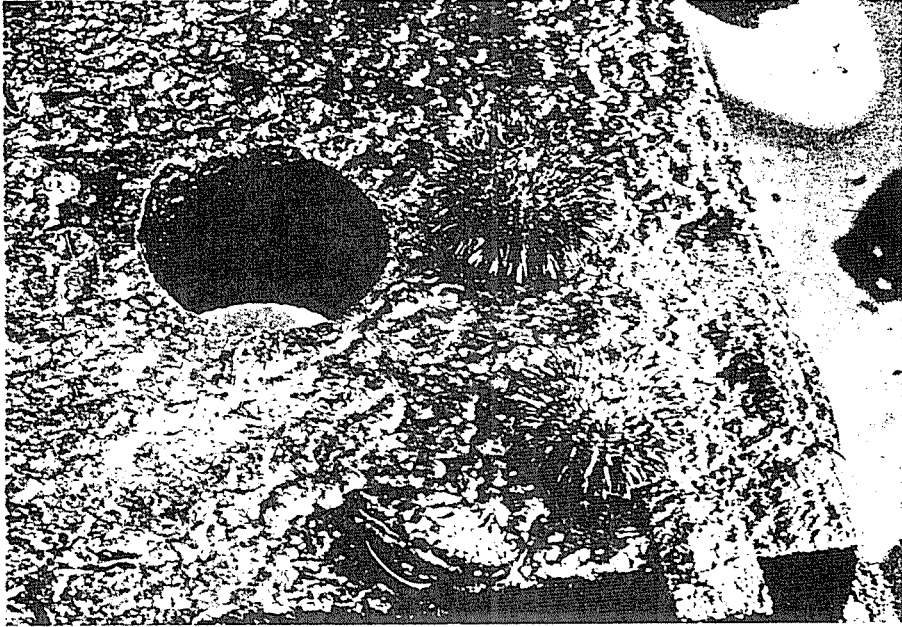


写真10-29 調査3での試験体Iの引き上げ観察④（コンクリートパネル）

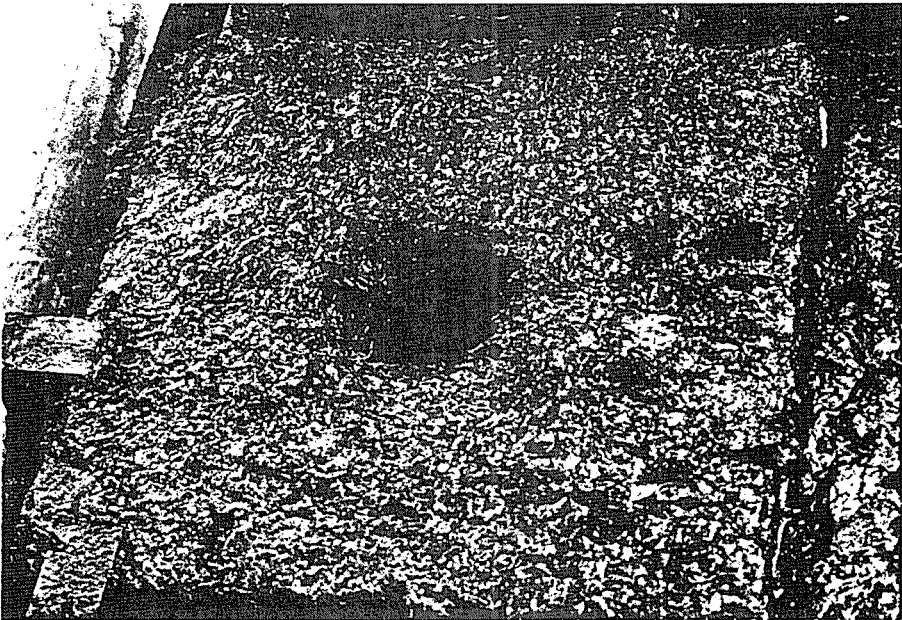


写真10-30 調査3での試験体Iの引き上げ観察⑤（剥皮時に出る細片）

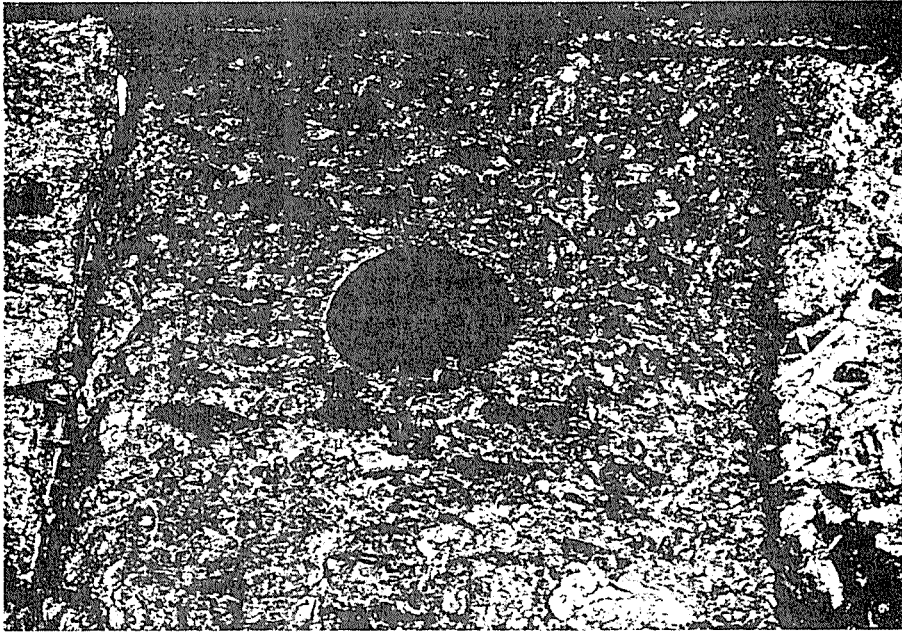


写真10-31 調査3での試験体Iの引き上げ観察⑥（木材単体）

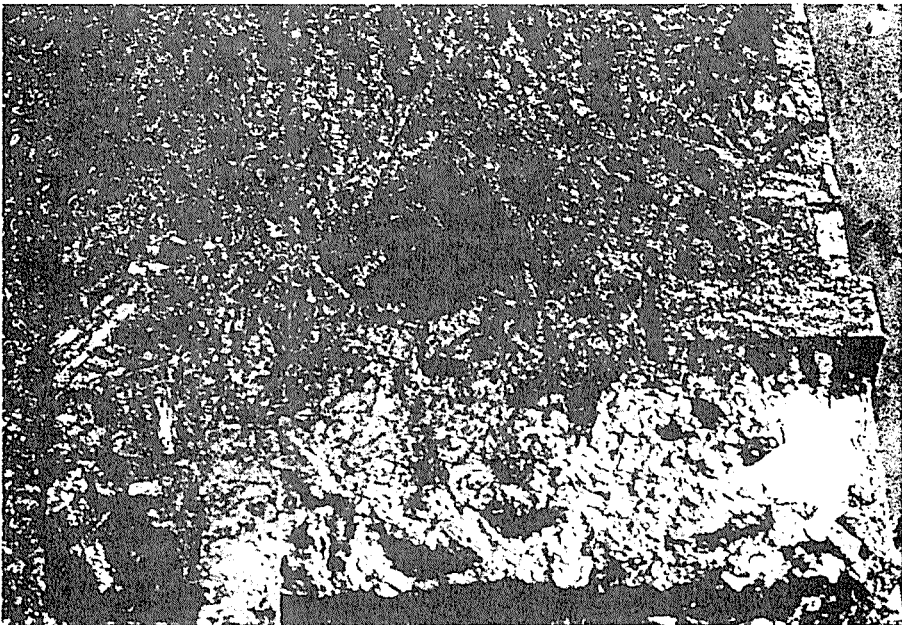


写真10-32 調査3での試験体Iの引き上げ観察⑦（建築解体材チップ+粒炭）

3. 2. 4 調査4 (平成6年2月28日)

試験体 I, IV を船上に引き上げ、観察、写真撮影を行い、試験体 II, III についてはシュノーケリングによる観察、水中カメラでの撮影を行った。

試験体 I, II (投入後 122日経過) と、試験体 III, IV (投入後 89日経過) を比較すると、後者に着床した藻類の密度が断然濃かった。原因としては、投入箇所の水深の違いや、周りの地形により日照量が異なったためと考えられる。

また試験体 I, II, III を通して、木材単体での藻類の生育が他の成形体やコンクリートパネルより極端に劣っていることが観察された。

調査4の結果は写真10-33~36に示す。

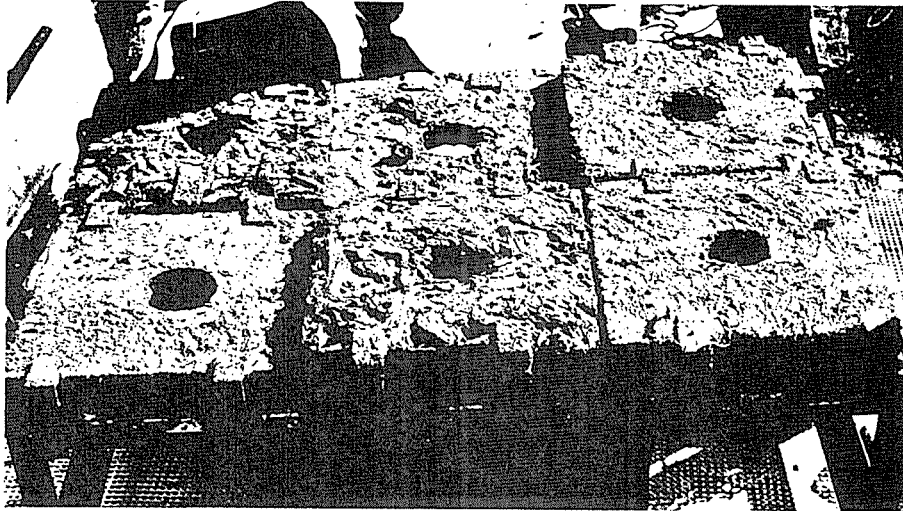


写真10-33 調査4での試験体 I の引き上げ観察

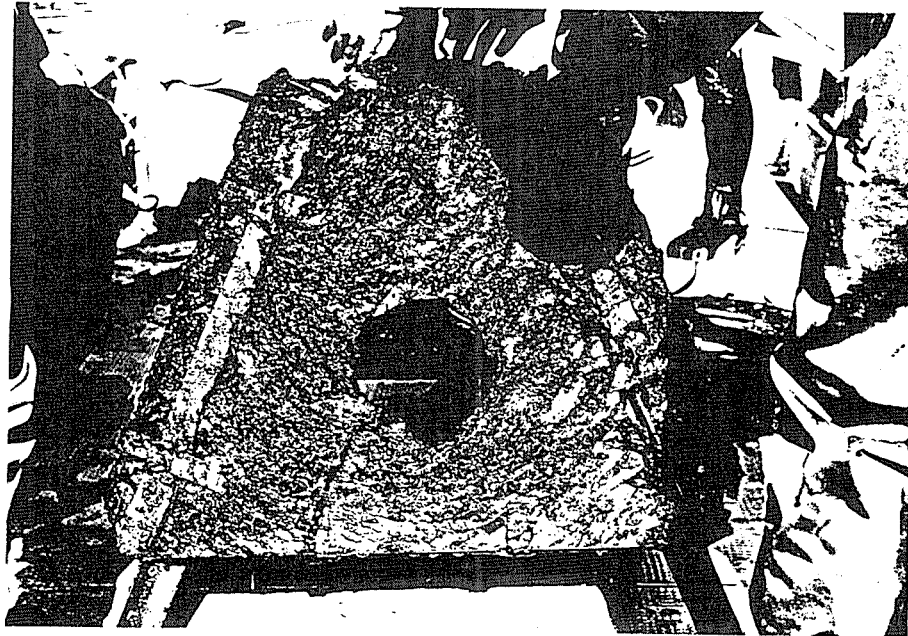


写真10-34 調査4での試験体 IV の引き上げ観察

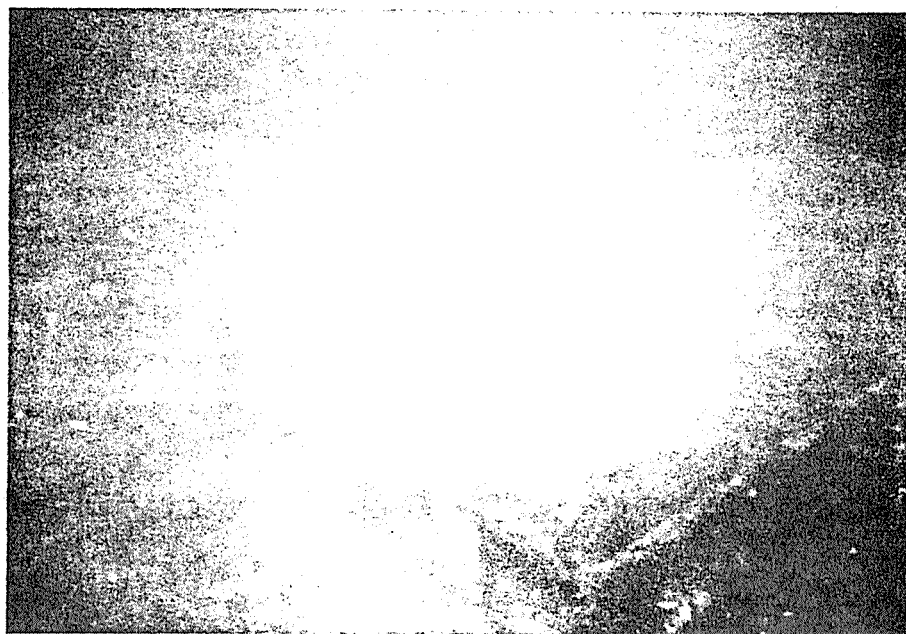


写真10-35 調査4での試験体Ⅱの水中観察

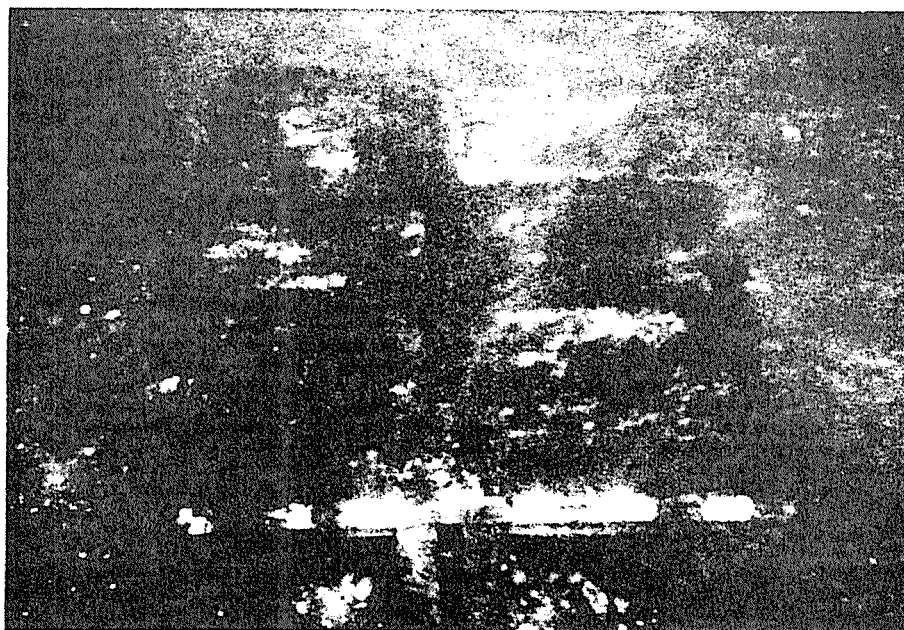


写真10-36 調査4での試験体Ⅲの水中観察

3. 2. 5 調査5（平成6年3月17日）

全試験体を水中カメラで撮影の後、船上に引き上げて観察、写真撮影を行った。試験体Ⅰ、Ⅱ（投入後139日経過）に比べ、試験体Ⅲ、Ⅳ（投入後106日経過）に生育している藻類が明らかに多かった。また、試験体の材料裏面には、投入時から全く変化が発生していなかった。

木材単体への藻類の付着がほとんどみられないのは前回の調査と同様である。この原因については、

- ① トドマツの何等かの成分が藻類の付着を阻害した。
- ② 試験体の構造上、木材単体の材料が4 cmと薄く、その部分が凹みとなり、海流の乱れなどで藻類の付着が阻害された。
- ③ トドマツ部分に短期間で付着したウルシグサの一種によって、他の藻類の着床が阻害された（ウルシグサは枯死すると硫酸を滲出し、これに触れた他の海藻や動物を痛める¹¹⁾）。

などが考えられるが、現時点で特定することはできない。

調査5の結果は写真10-37～73に示す。



写真10-37 調査5での試験体Iの水中観察①

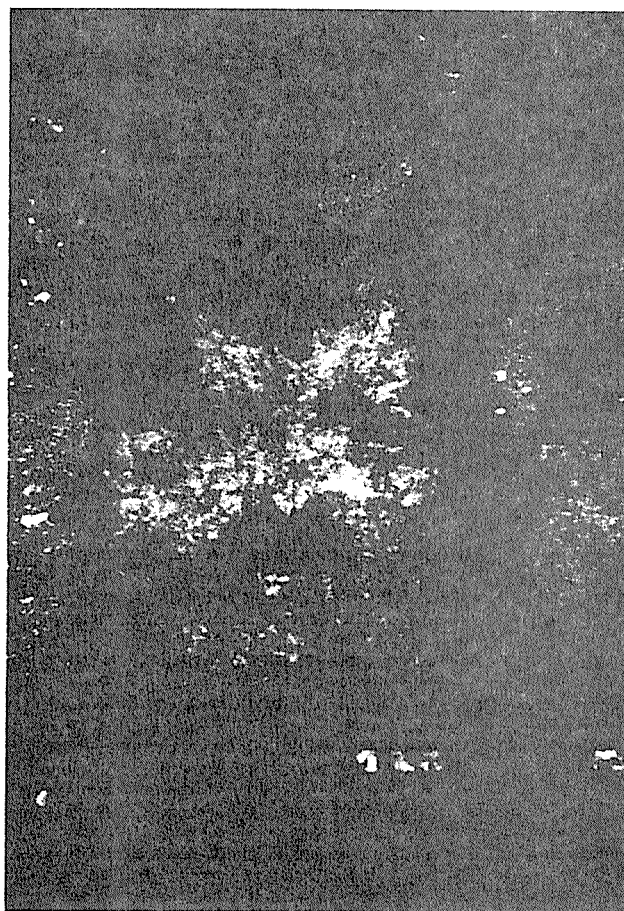


写真10-38 調査5での試験体Iの水中観察②

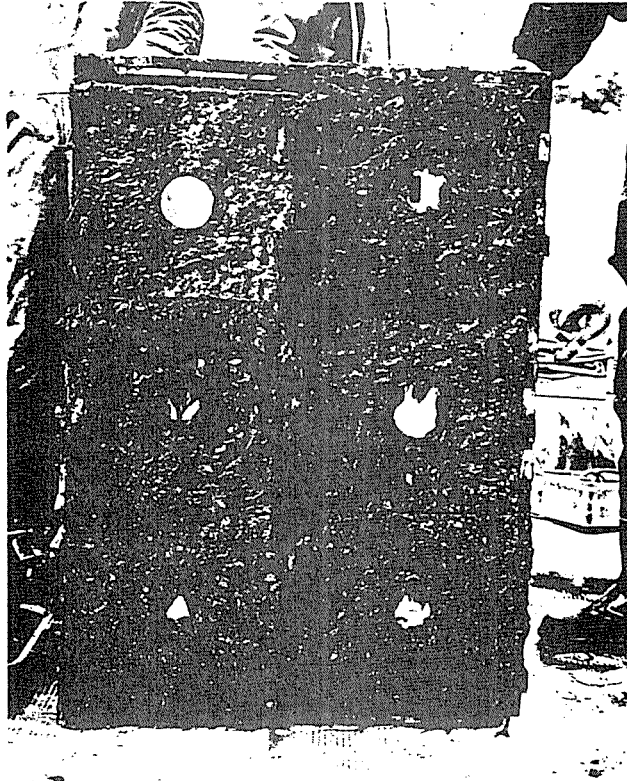


写真10-39 調査5での試験体Iの引き上げ観察①（全体・表面）

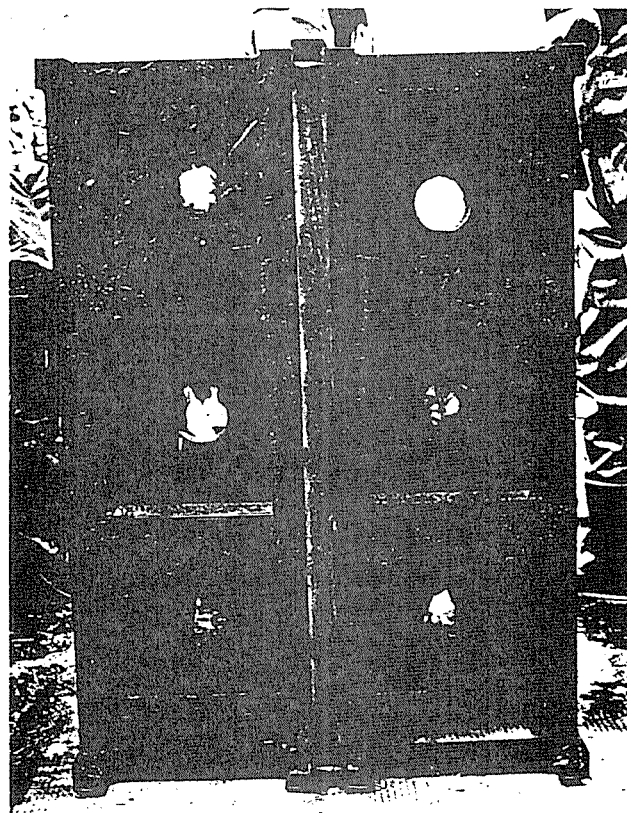


写真10-40 調査5での試験体Iの引き上げ観察②（全体・裏面）

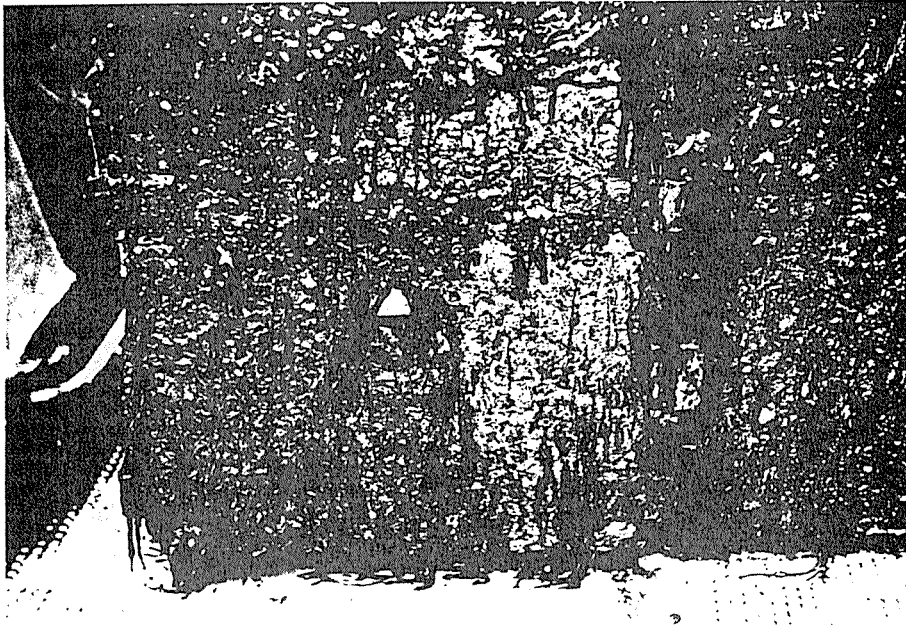


写真10-41 調査5での試験体 I の引き上げ観察③（製材背板からの小片）

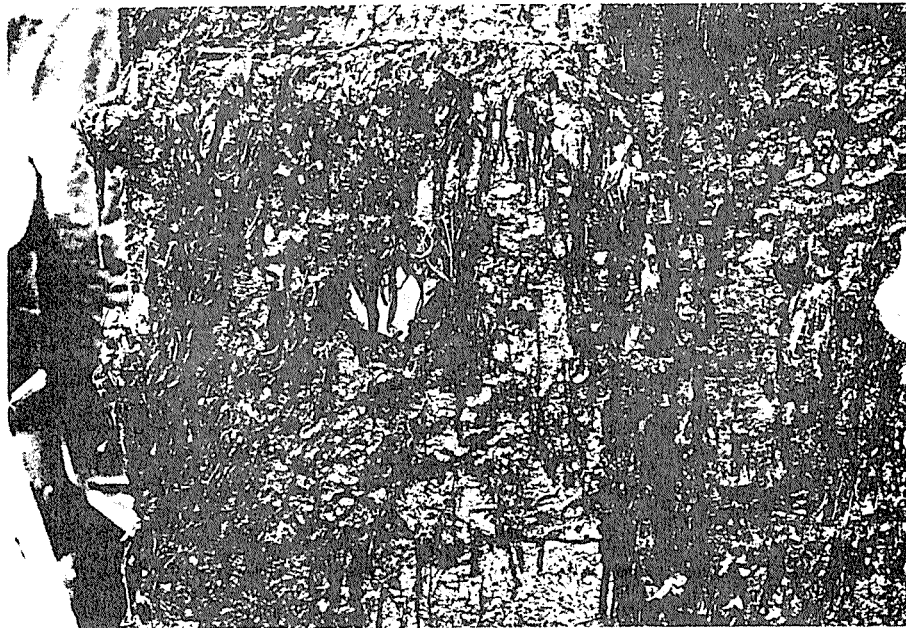


写真10-42 調査5での試験体 I の引き上げ観察④（建築解体材チップ）

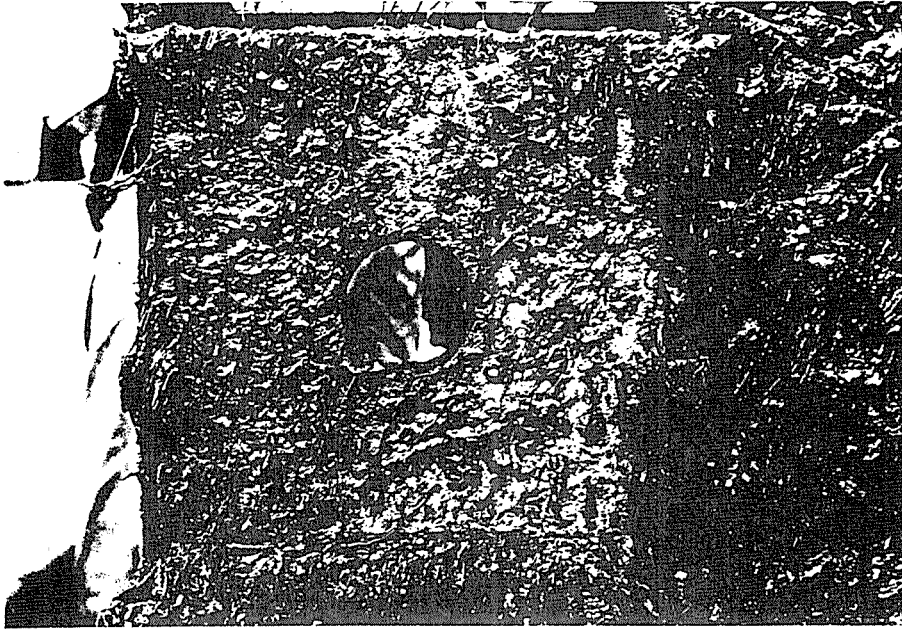


写真10-43 調査5での試験体Iの引き上げ観察⑤（コンクリートパネル）

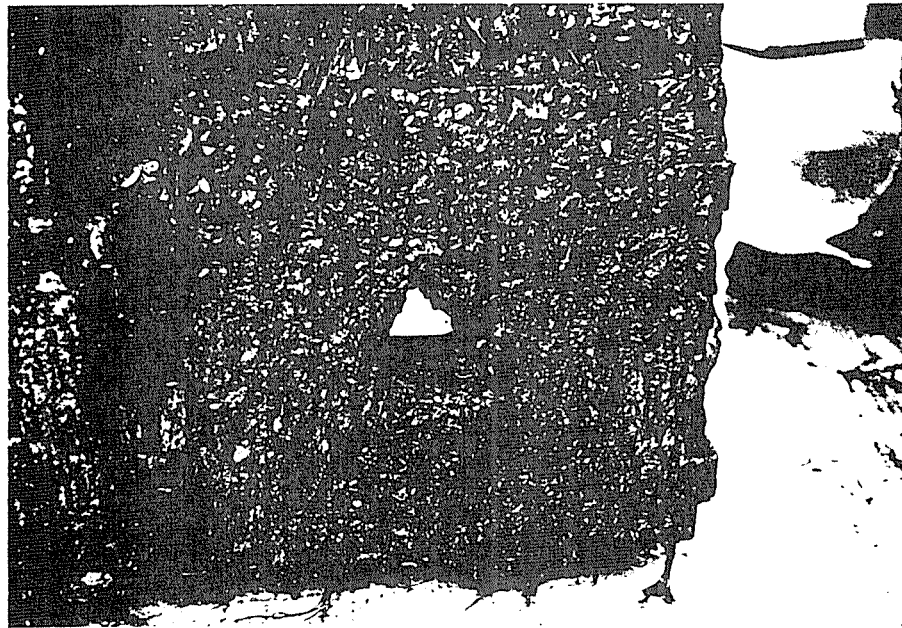


写真10-44 調査5での試験体Iの引き上げ観察⑥（剥皮時に出る細片）

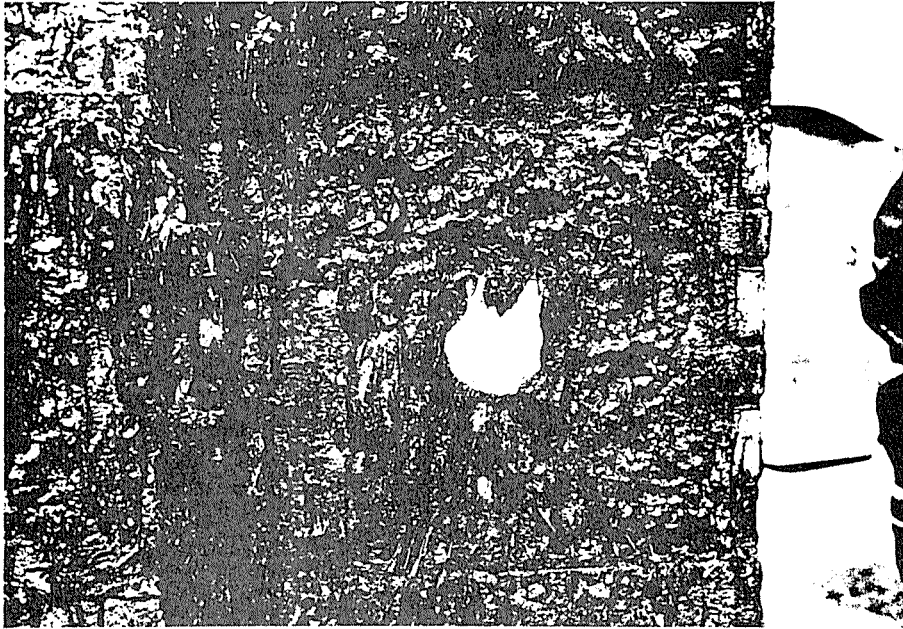


写真10-45 調査5での試験体Iの引き上げ観察⑦（木材単体）

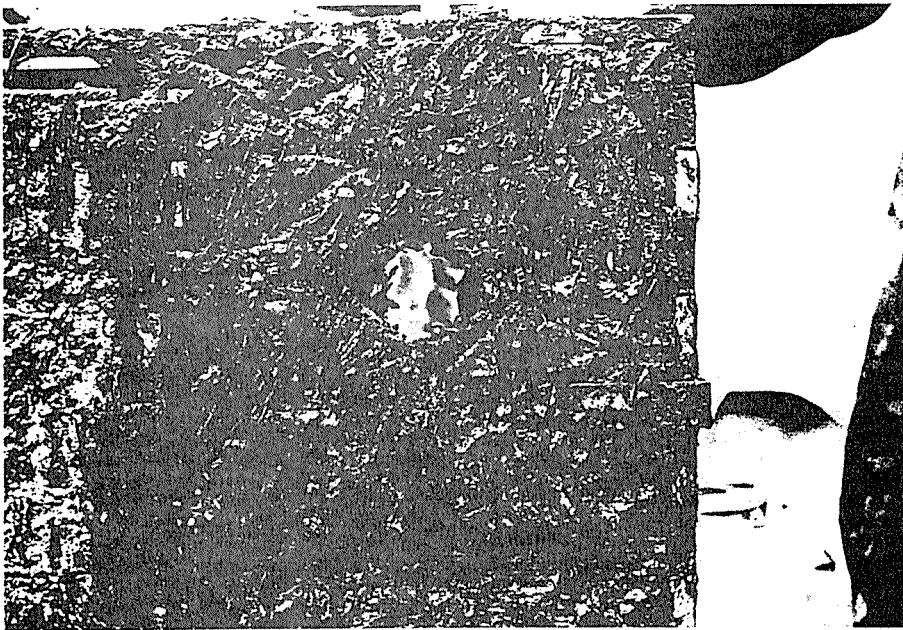


写真10-46 調査5での試験体Iの引き上げ観察⑧（建築解体材チップ+粒炭）

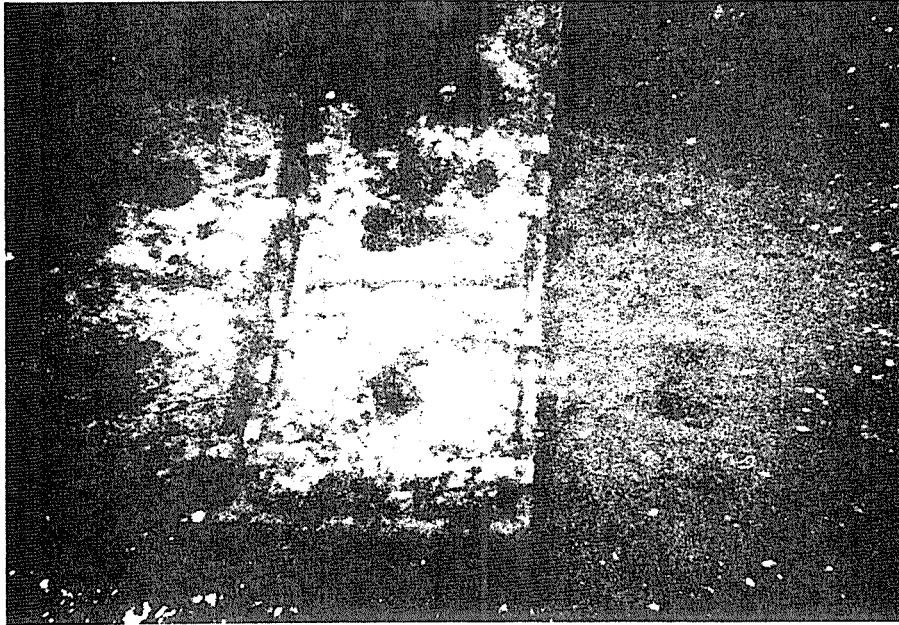


写真10-47 調査5での試験体Ⅱの水中観察①

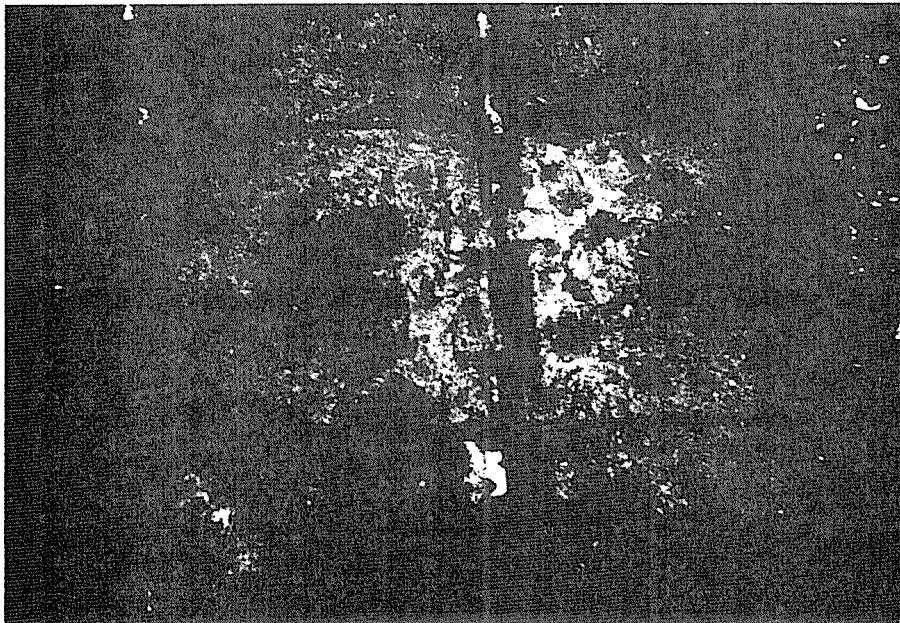


写真10-48 調査5での試験体Ⅱの水中観察②

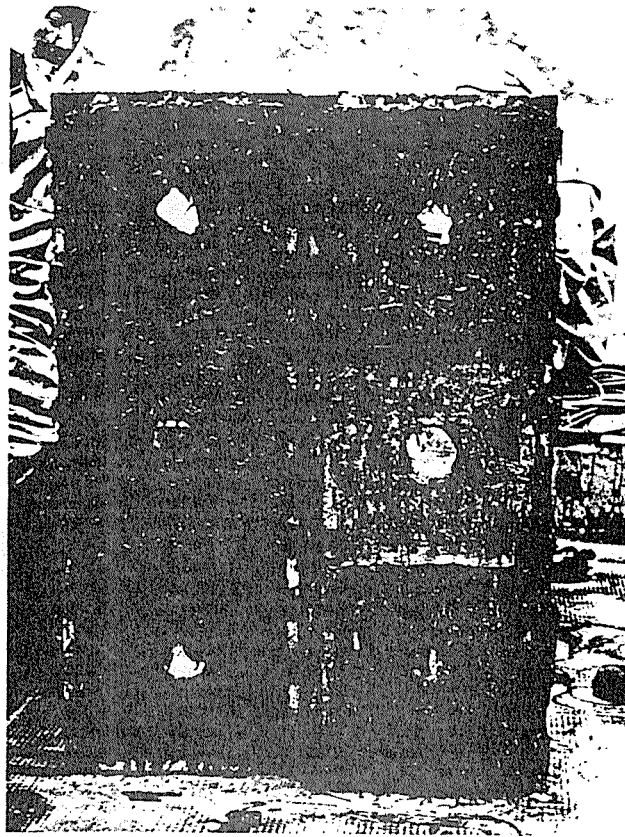


写真10-49 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察①（全体・表面）

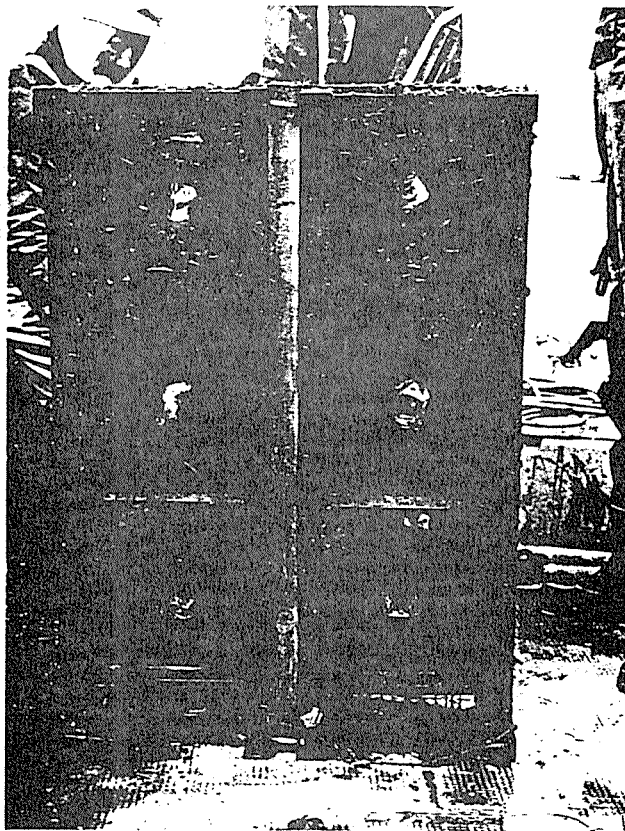


写真10-50 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察②（全体・裏面）

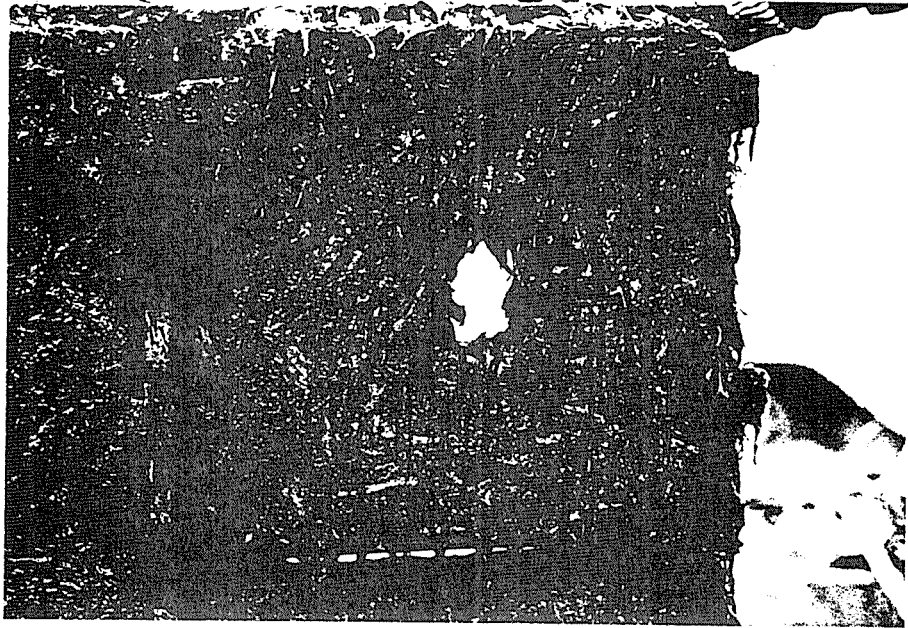


写真10-51 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察③（建築解体材チップ）

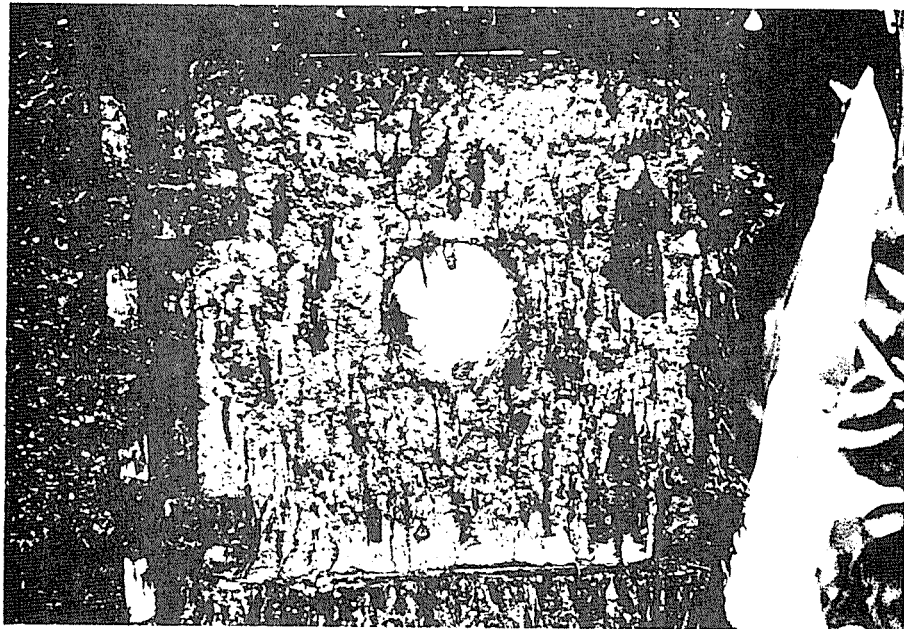


写真10-52 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察④（コンクリートパネル）



写真10-53 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察⑤（製材背板からの小片）

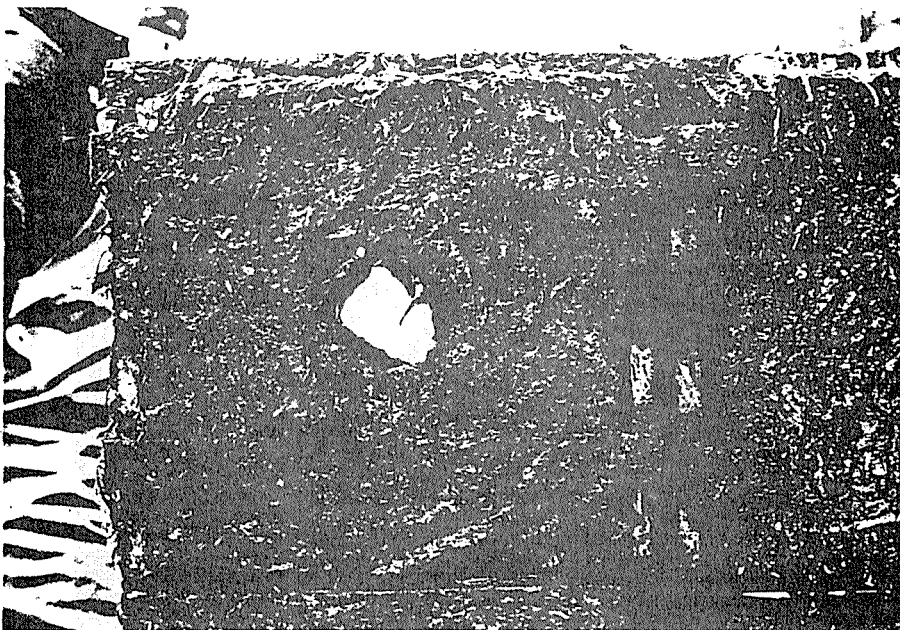


写真10-54 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察⑥（建築解体材チップ+粒炭）

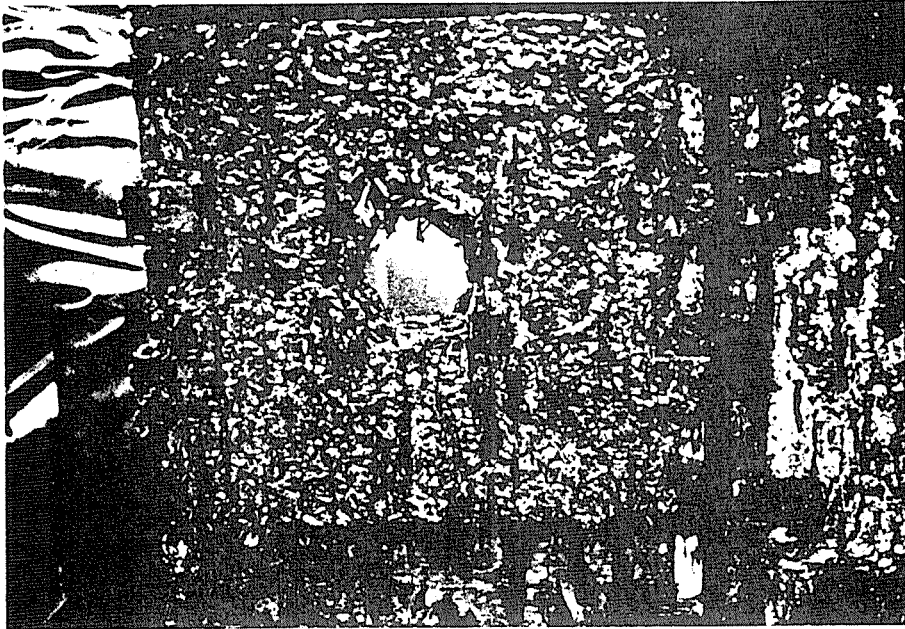


写真10-55 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察⑦（剥皮時に出る細片）

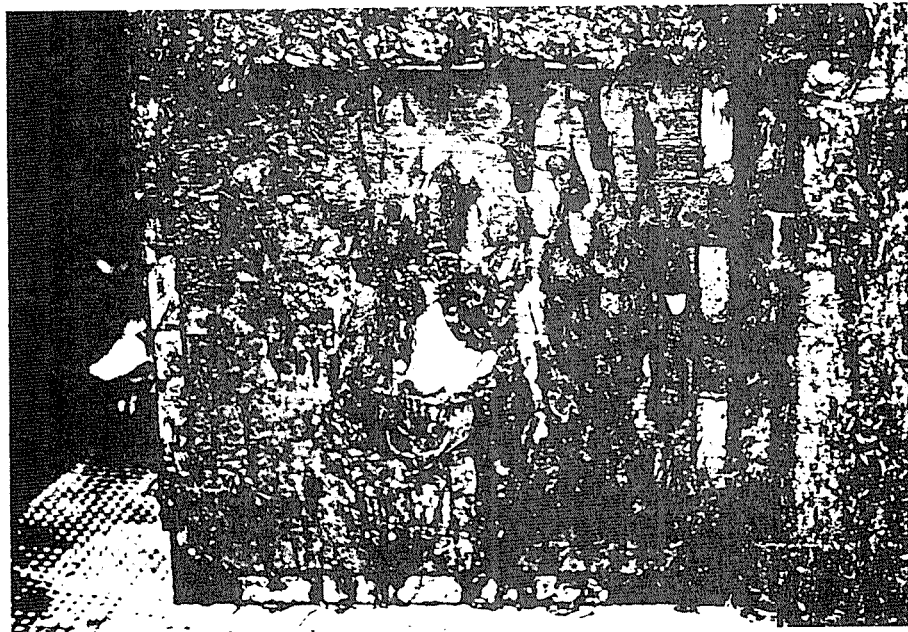


写真10-56 調査5での試験体Ⅱの引き上げ観察⑧（木材単体）



写真10-57 調査5での試験体Ⅲの水中観察①

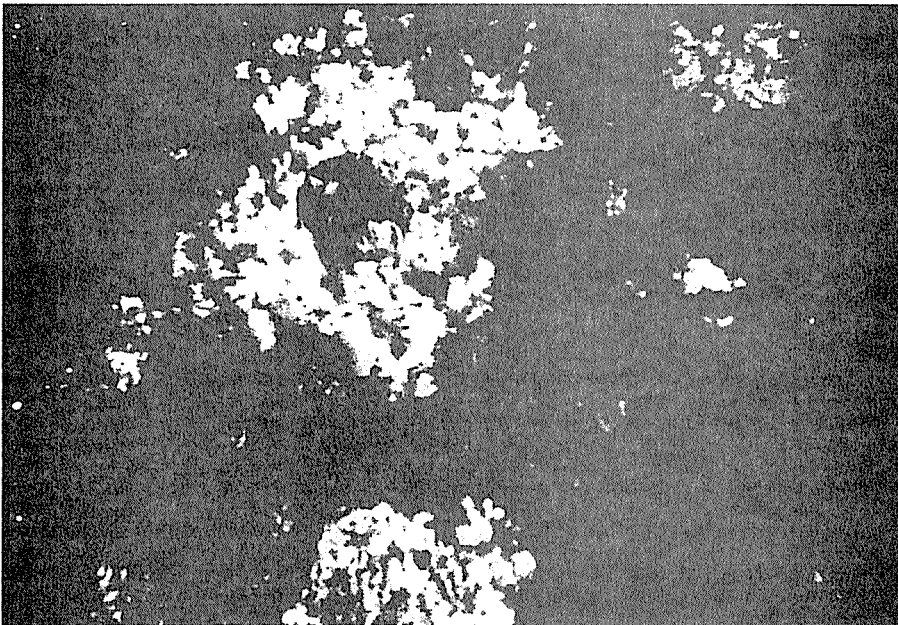


写真10-58 調査5での試験体Ⅲの水中観察②

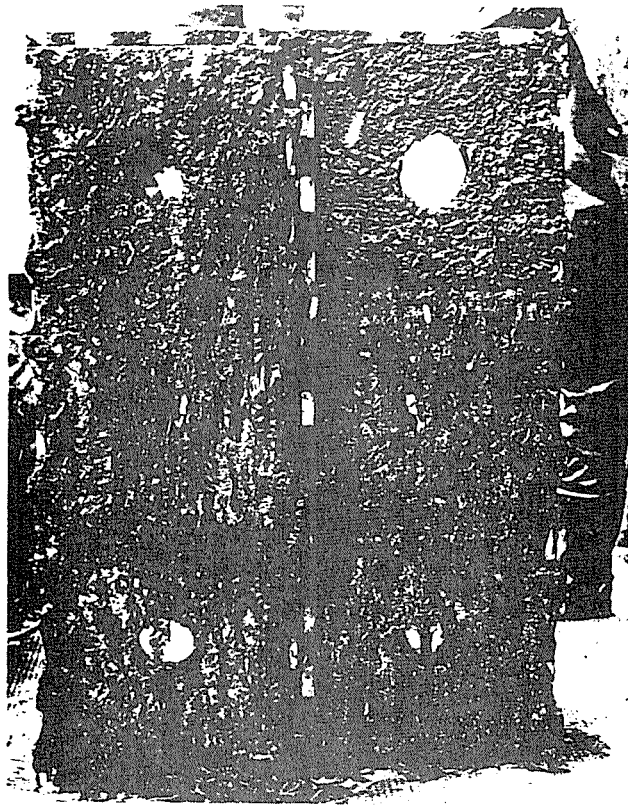


写真10-59 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察①（全体・表面）

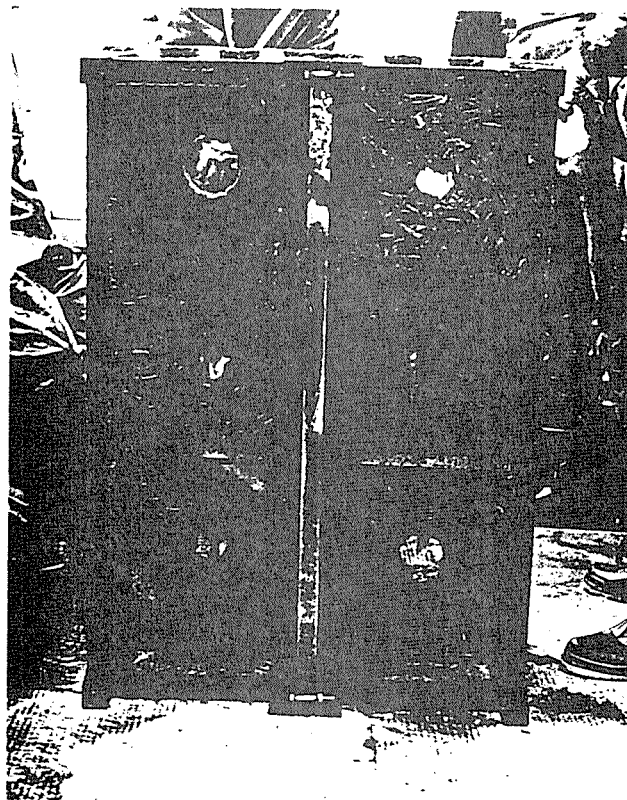


写真10-60 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察②（全体・裏面）

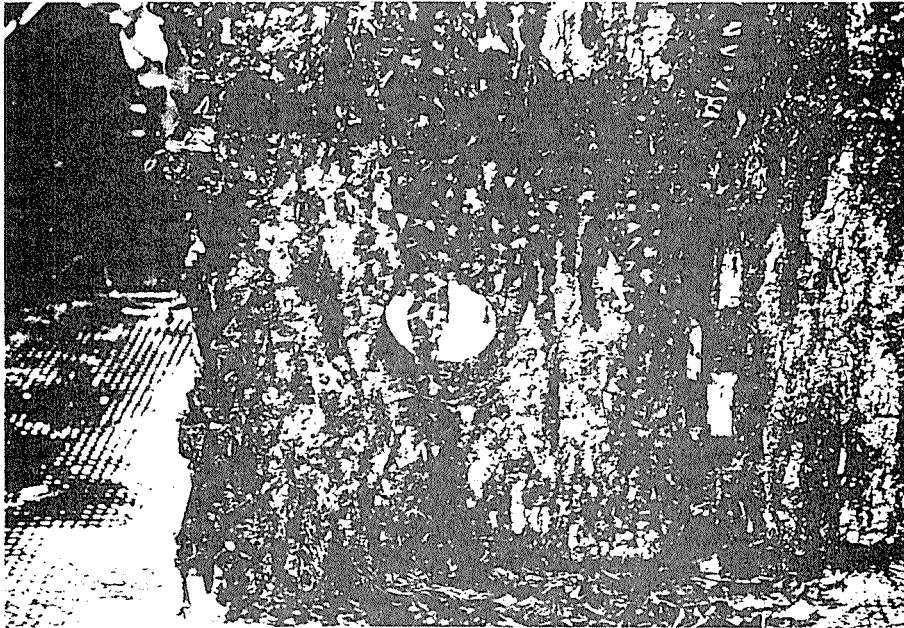


写真10-61 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察③（コンクリートパネル）

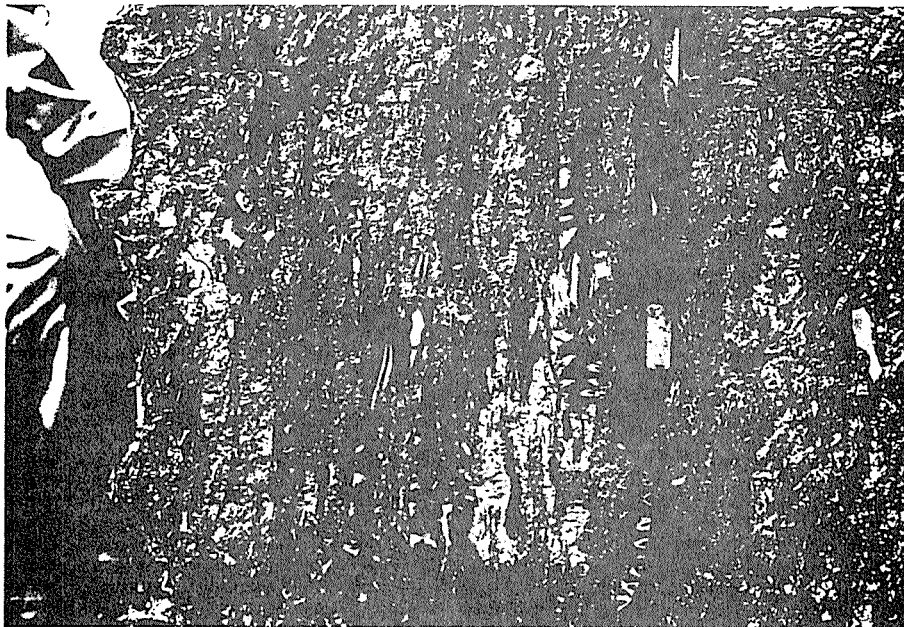


写真10-62 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察④（製材背板からの小片）

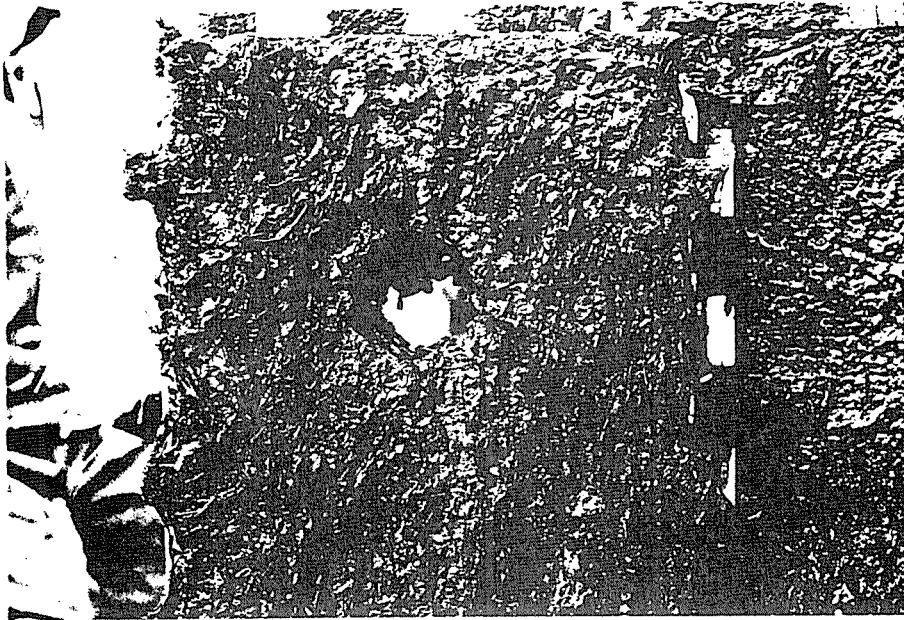


写真10-63 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察⑤（建築解体材チップ）

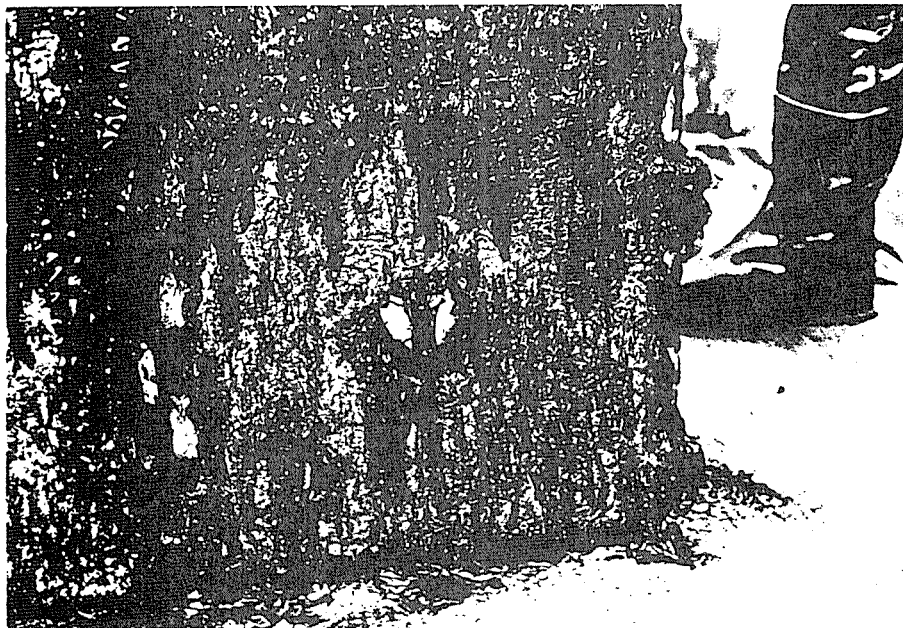


写真10-64 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察⑥（剥皮時に出る細片）

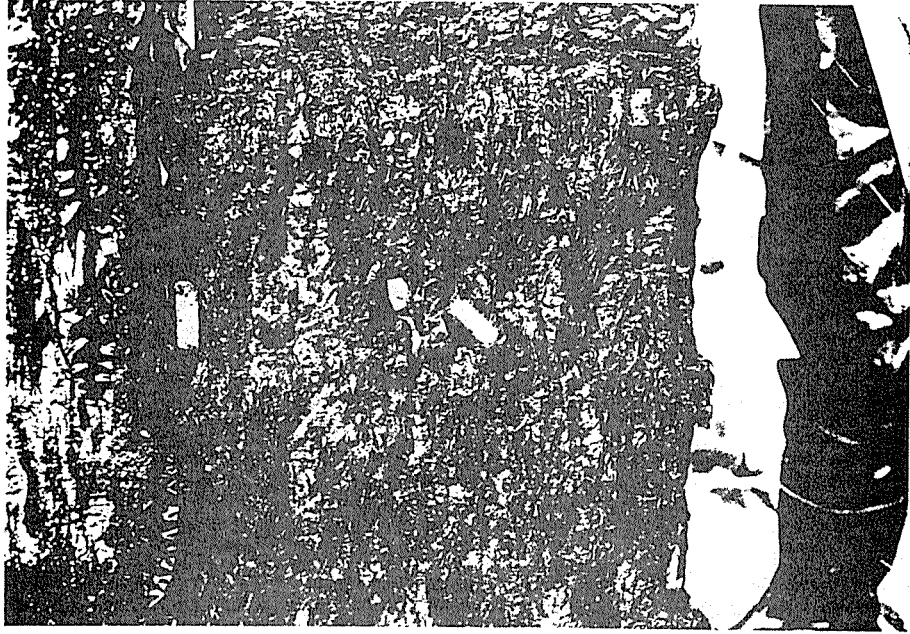


写真10-65 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察⑦（建築解体材チップ+粒炭）

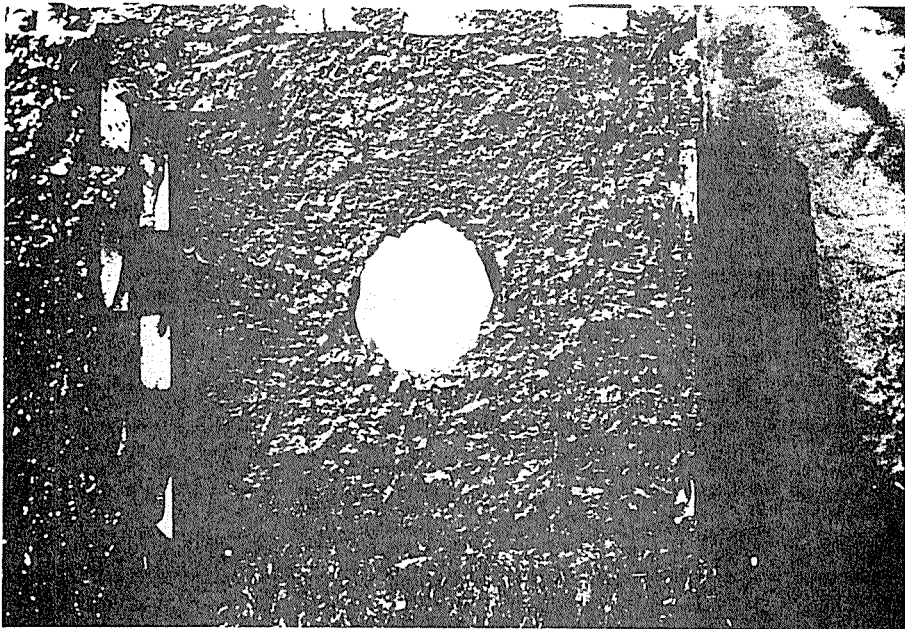


写真10-66 調査5での試験体Ⅲの引き上げ観察⑧（木材単体）

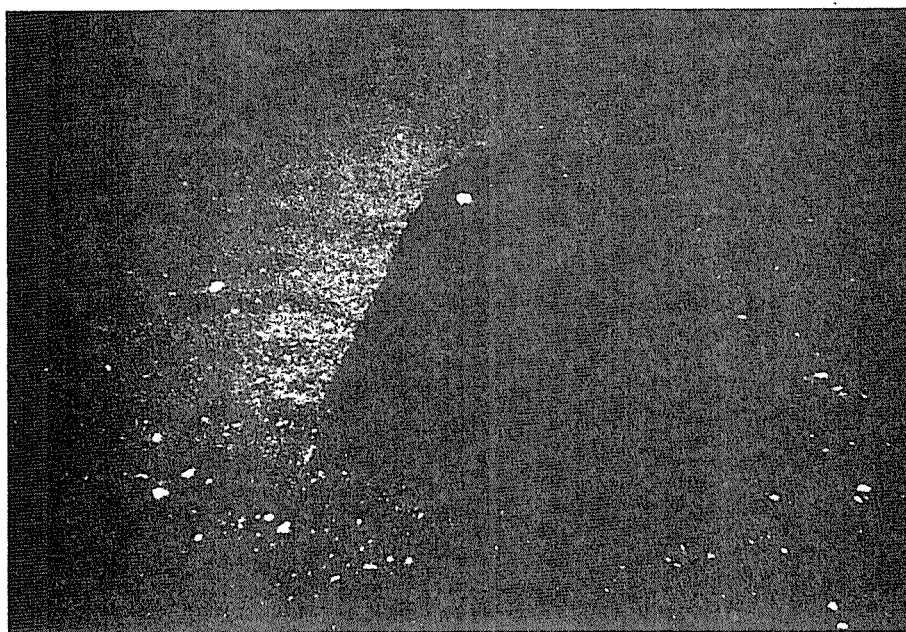


写真10-67 調査5での試験体IVの水中観察①

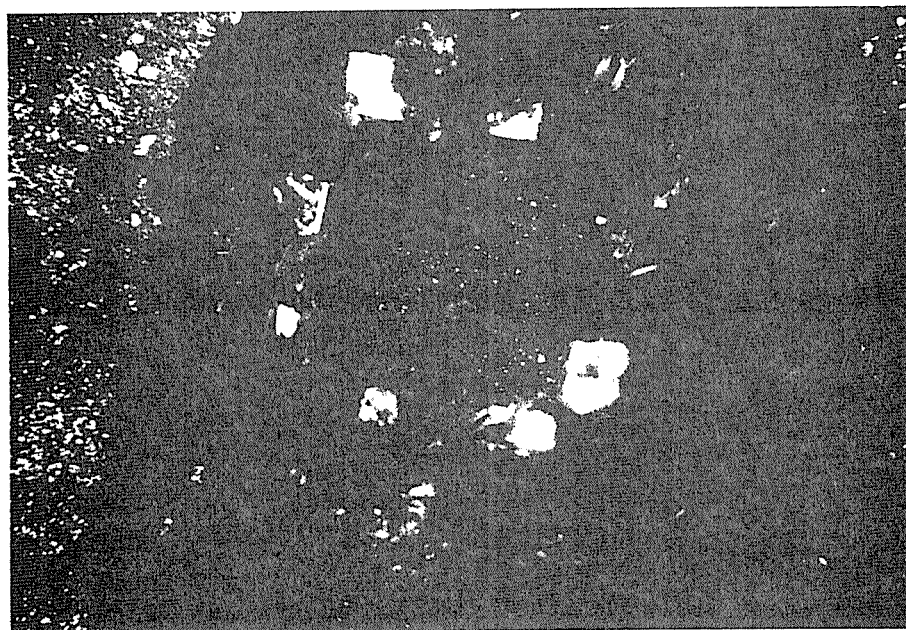


写真10-68 調査5での試験体IVの水中観察②

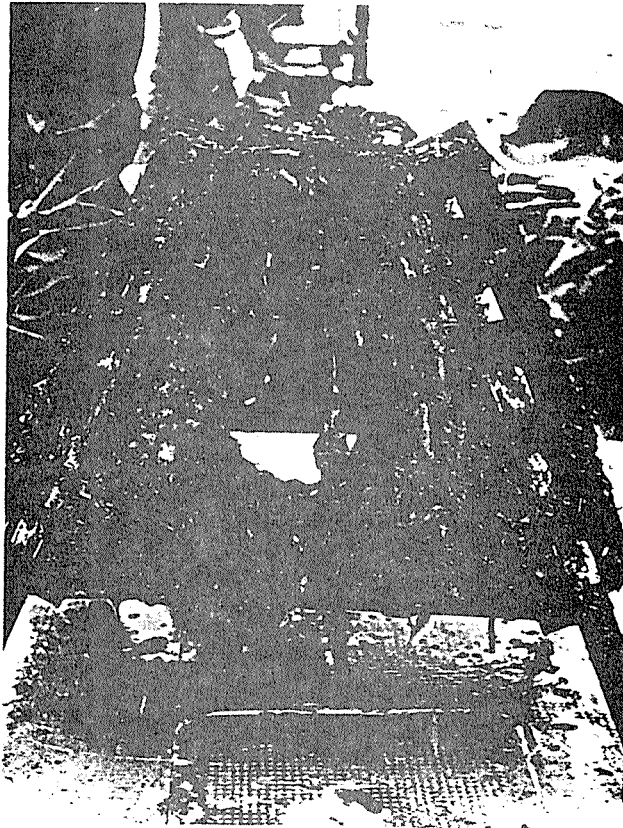


写真10-69 調査5での試験体Ⅳの引き上げ観察①（表面1）

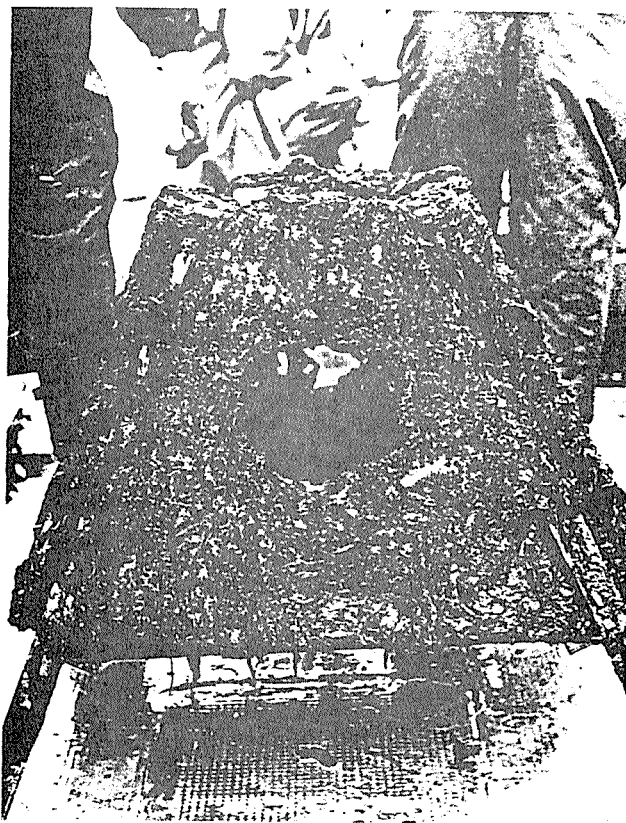


写真10-70 調査5での試験体Ⅳの引き上げ観察②（表面2）

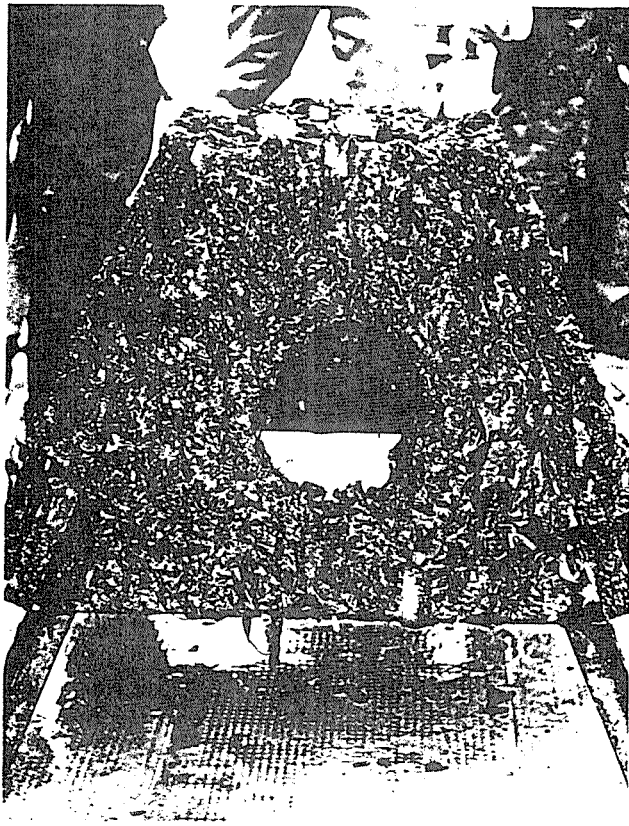


写真10-71 調査5での試験体IVの引き上げ観察③（表面3）



写真10-72 調査5での試験体IVの引き上げ観察④（表面4）

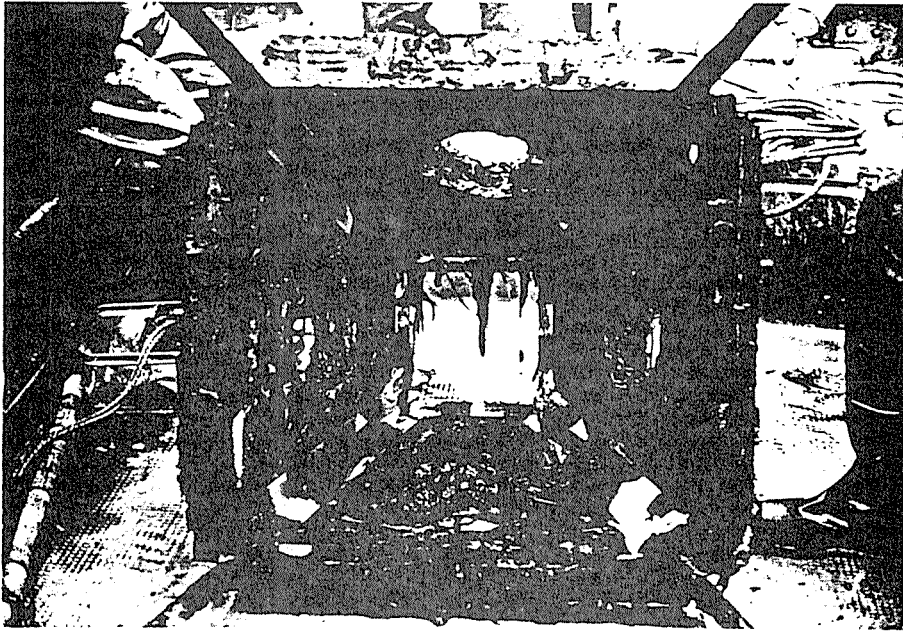


写真10-73 調査5での試験体IVの引き上げ観察⑤（裏面）

4. 結 論

本年度の成果は、次の通りである。

- 1) 今回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、経年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い。
- 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）が生育する。
- 4) 木材単体（トドマツ）では、他の成形体やコンクリート板に比べて、藻類の着床が極端に悪い。

しかしながら、これらの結論は、忍路湾の水深1.5～2mという限られた試験フィールドについてのものであり、また、1シーズンの観察結果でしかないため、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、さらに数年間の経過観察と試験体の改良を行い、木質系水産資材（藻礁）としての有効性を確認する必要がある。その上で実効が認められた場合の利用地域としては、少なくとも北海道の日本海沿岸部全域が対象になると考えられるが、その際には試験フィールドのポイント数を増やし、同様の効果が確認できた上で製品化を検討しなければならない。

さらに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。木質系材料を利用すれば、当然のことながら自重の軽さから、安定性が低下するのは自明のことである。よって、湾や入江、防波堤内部で、大きな波力が及ばないといった限定条件の中で、設置条件（水深や設置密度など）や効果を検討しなければならない。

5. おわりに

これからの林業・林産業にとって、木質系廃棄物の新たな利用分野、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、魚礁や藻礁などの水産資材として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、本道の養殖漁業に貢献できるものとする。本年度は、木質・セメント成形体が、木材単体より藻の着床、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する。

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, しゃりばり 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 實 : 地球環境問題と木材 (その3), ウッディーエイジ 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 (戸井地区, 八雲地区, 今別地区, 種市地区) (1977)

1 開発の背景

最近、資源さらには材料のリサイクルによる利用が必要であるということがますます強く認識されるようになってきた。木材の場合も例外でなく、本総合研究を始めいくつかの検討が始まっている。そんな中で、木材を液化して新規材料を開発しようという行き方も選択肢の一つとして考えられ、本総合研究に組み込まれている。木材液化物から誘導されようとしている対象は、水溶性フェノール樹脂接着剤、シェル鑄型中子用のバインダー、ノボラック樹脂成形物等に対応するもの、およびポリウレタン系発泡体といったものである。これらには石油化学製品として対応する本来のものが存在しており、それらに置き換わるか、あるいは併用されないかぎり、実用化されないという宿命をもっている。廃材利用であるのでコスト的に有利であるとか、対応品より物性機能が優れているといったことがないかぎり日の目を見ることはほとんど考えられず、そこには乗り越えるべき労苦が多く存在する。

すでに「木材の液化とその応用」というテーマに関しては農水省の研究組合、京都産業技術振興財団の開発チーム等の取り組みがこの2、3年進められており、また、我々など大学や国立の研究所でも研究テーマに取り上げられている。研究内容は必ずしも公開されておらず正確に記述しにくい所もあるが、さしさわりのない範囲で大ざっぱにまとめると、次のようなことがいえよう。

まず、変性レゾール樹脂接着剤としては、少なくとも大学、国立研究所、および企業で検討されている。我々の研究室では、ノボラック樹脂のメチロール化といった方向で検討しており、木材をフェノール存在下で液化した後、反応が進みすぎない様注意しながら適切なホルムアルデヒド比でメチロール化し、アルカリ水溶性にした樹脂は、120℃という接着温度でも実用性のある接着時間での木材接着が十分可能であるという結果を得ている。森林総研の小野氏の発表でも、市販レゾール樹脂接着剤と同じ条件で接着して、接着性能的にはむしろより優れた接着剤となるとされている。また、レゾール樹脂接着剤を含め日常的に接着剤を合成して使用している企業の一つも、このテーマにかなり深く取り組んでいる。その場合、詳細は不明なものの、コスト的にはやや安価にこの種の接着剤を製造することが出来る反面、変性フェノール樹脂接着剤として必ずしも十分な接着性能が出てこないといった結果が得られているようである。

シェル鑄型中子用のバインダー<レジジン・コーテッド・サンド用バインダー（結合剤）>としての木材樹脂の開発に取り組んでいるグループの場合は、性能は現在の市販品同等であり、作業時の臭気は、従来品よりやや低度であるといった前向きの結果を得ていると

いう。

ノボラック樹脂成形物に関しては多くの試みがある。従来のノボラック市販品に比べてメリットが見い出せないとして、研究の中断を考えるケースから、成形物を外国を含めサンプル出荷してみたところ評判が良いというケースまで様々である。著者らも昨年の報告の一つにみられるように廃材のみならず、東南アジアの油ヤシの樹幹、スギの樹皮、バガス、コーヒー豆抽出廃残物から十分な強度物性のノボラック様成形物が得られるという事実など、数多くの研究をこの分野で行っている。

他方、木材を多価アルコール、オリゴエステル、ラクトンなどの存在下で液化し、液化物をポリオールとして水酸基価を測定した上で、ポリウレタン系の発泡体とするという研究も、二つの研究機関と一つの企業において進められている。著者らもこの数年検討を続けており、昨年の報告の一つにも記載がある。用途も包装用緩衝材、農業用培地、クッション等様々なものが考えられる。ポリウレタン製造の専門会社の研究所とこの3年間共同研究を続け、このほど実用化の方向に踏み出した企業もあり、成否が注目を浴びている。

これらの検討さらには実用化の成否はコストパフォーマンスであり、また物性および機能性に優れることであることは前述した。全てに優れていればそれ以上のことはないが、特に機能性に著しい特徴付与があるときには、場合によっては多少価格高になっても受け入れられる場合がある。

リサイクルによる利用が推奨されるという冒頭の事柄は時代の要請であり、本検討課題は本質的にそれを備えている。また、同時にバイオマス利用技術であるという特徴も有するが、最近問題になってきている空気中の炭酸ガス濃度の上昇という問題を考えると、これも受け入れられる点となる。すなわち、石油利用の材料は、それを用いれば用いるほど、地下にトラップされている有機物を炭酸ガスとして大気中にばらまくという結果につながるのに対し、地表で、炭酸ガスを固定して成長するバイオマスの利用は、資源の循環利用という大きな大義名分を与えられるものとなる。このような背景をもち、さらに機能の上で、例えば生分解性が明確に付与された材料の開発ということになれば、かなり実際化されやすいものとなるはずである。以上の点を踏まえて、まず、木質系ポリウレタン型発泡体について生分解性を確認した。

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

2.1 はじめに

この数年、地球環境保全の目的で、生分解性高分子および光崩壊性高分子が広く求められるようになった。現在、生分解性高分子として、(1)微生物の作る高分子、(2)合成高分子、および(3)天然高分子由来の高分子など、様々なものが研究されているが、

物性や製造コストの問題で、既存のプラスチックに代替するまでには到っていない。セルロースおよびリグノセルロースは、地球上で量的に最も豊富に産出される物質であり、それから優れた生分解性高分子を得ることができれば非常に理想的である。また、建築廃材などの有効利用をするために、前述のようにそれらにプラスチック性を与えたり、液化して形状を自由に設計し得る材料として利用しようとする技術、手法が開発されつつあるが、最終的に得られた材料が上述のように現在求められている生分解性ないし光崩壊性をもつということになれば、その実際化のための一つのドライビングフォースとなるので重要である。そこで、本研究の一つとして、硫酸触媒とPCL存在下で液化した木材溶液から発泡体を調製し、コントロールの材料と比較しつつ、その生分解性および光崩壊性の可能性について検討した。

2. 2 実験

2. 2. 1 供試材料

木材試料としてはマカンバ (*Betula maximovicziama* Regal) の20-80メッシュ粉末を乾燥状態で用いた。また、充填剤としてデンプン (三和澱粉工業(株)製コーンスターチ) を用いた。

ポリカプロラクトントリオール (ダイセル化学工業(株)製 PLACCEL 303、以下 PCL 303とする)、ジフェニルメタンジイソシアネート (日本ポリウレタン(株)製 ポリメリックMDI) は製造会社よりの供試品を、硫酸、その他の試薬は市販特級試薬をそのまま供試した。

セルラーゼ、リパーゼなど酵素は市販品を用いた。

2. 2. 2 木粉のPCL存在下での液化

前年度の報告書125ページ記載の手法を準用して、PCL 303と木粉とを重量比3/1で含む液化物を得た。

2. 2. 3 液化物からの発泡体の調製 (ハンド発泡)

前年度の報告書126ページ記載の手法を準用してPCL 303存在下で液化して得た液化物とポリメリックMDIより発泡体を調製した。

また液化物にその重量の20wt%量のコーンスターチを充填剤として加えた溶液とポリメリックMDIとからの発泡体、およびPCL 303のみとポリメリックMDIとからの発泡体も調製した。さらに比較のために汎用の発泡スチロールもサンプルとして用いた。一般の試験用には5cm角のカットサンプルを用いた。

2. 2. 4 生分解性および光崩壊性試験

液化木材ポリウレタン発泡体およびコントロール試験用発泡体について、土中埋没試験、酵素試験、バイオサーモアナライザー<(株)日本医化器械製作所製>を用いた活性汚泥法による試験および屋外日光曝露試験を行った。

2. 2. 5 酵素試験

絶乾状態のサンプル約300mg (80 mesh pass) をTricoderma viride cellulase 50mgを含む0.01M酢酸緩衝液 (pH5.0) 30mlに加え、30℃で24, 48時間振とう培養した。反応終了後、反応液を1G4ガラスフィルターで濾過し、残渣を105℃で約24時間乾燥して重量減少率を求めた。濾液は、酵素を失活させ、必要に応じて濃縮した後、HPLC分析を行った。比較のため酵素を除いたブランク試験も行った。

2. 3 結果と考察

2. 3. 1 生分解性と光崩壊性についての同時試験法による検討

生分解性および光崩壊性を一度に調べるためプランター中でサンプルを土中に半分埋没させ、時々必要に応じて散水しながら屋外で7月中旬から翌年の1月中旬まで6ヶ月間放置した。試験結果の一例を写真11-1および2-2に示す。

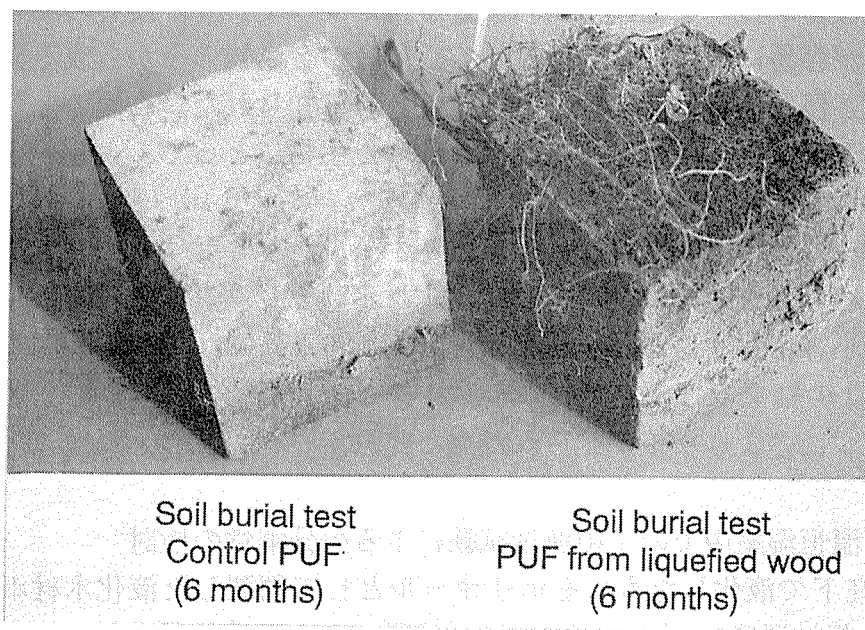


写真11-1 土中埋没試験(6カ月)結果の比較

(左) PCL303よりのポリウレタンフォーム；(右) 液化木材ポリウレタンフォーム

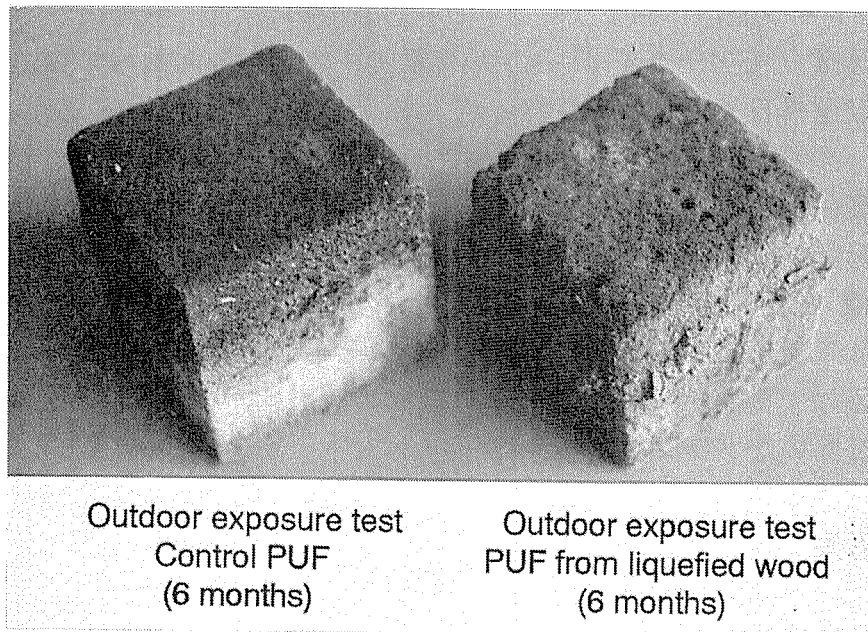


写真11-2 日光曝露試験（6カ月）結果の比較

（左）PCL303よりのポリウレタンフォーム；（右）液化木材ポリウレタンフォーム

写真2-1に示されているように、液化木材ポリウレタンフォームはPCL303とポリメリックMDIのみからの発泡体に比べ生分解性が優れており、前者の場合には雑草などの草本植物の根が容易に侵入するのに対して、後者の合成物のみから成る発泡体の場合には、根がほとんど侵入しないことが一般的現象として知られた。このことは液化木材ポリウレタンフォームがより微生物、草本植物を含めた生物にとって、より親和性を有する存在であることを示唆している。

他方、写真11-2からは、汎用の合成系ポリオールからのポリウレタンフォームは光崩壊がほとんど認められないのに対して、液化木材ポリウレタンフォームは日光照射により著しく崩壊し、小容積化することが認められる。

特に写真11-1の結果は、ポリカプロラクトンが生分解性の合成高分子の代表的存在であるにも拘わらずこのような差が見られた点で興味深い。

2.3.2 恒温恒湿室中での土中埋没試験による生分解性の検討

PCL303存在下で液化したものをポリオールとして調製した液化木材ポリウレタンフォームを28℃、相対湿度90%の環境下で6ヶ月間、土中埋没処理を行った。試験前後の試験体表面の走査電子顕微鏡写真を写真11-3に示す。

試験前にはフォーム骨格の表面は滑らかなのに対して、試験後には著しい突起、嵌入が認められ、微生物分解が明確に進んでいることが明らかである。

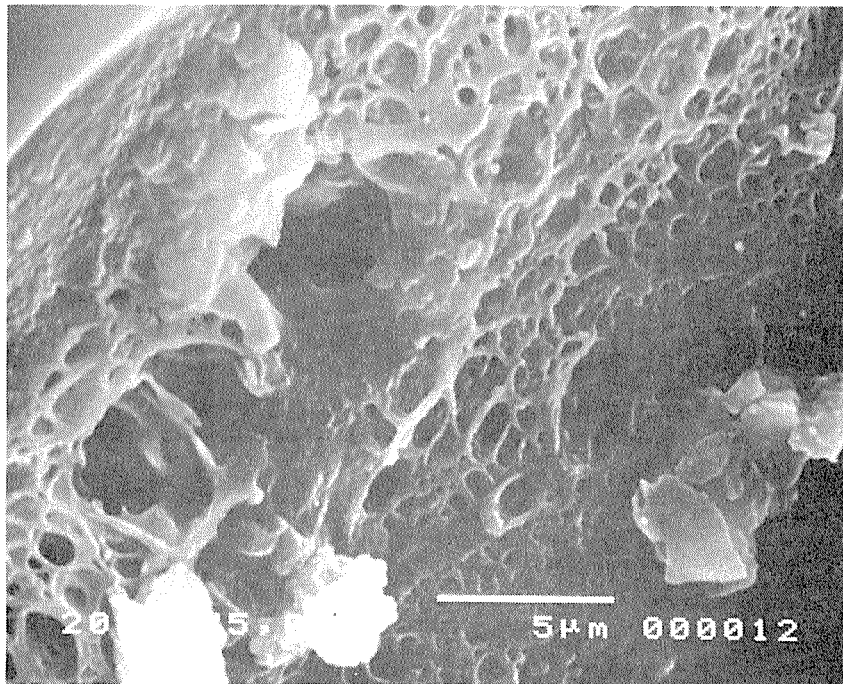
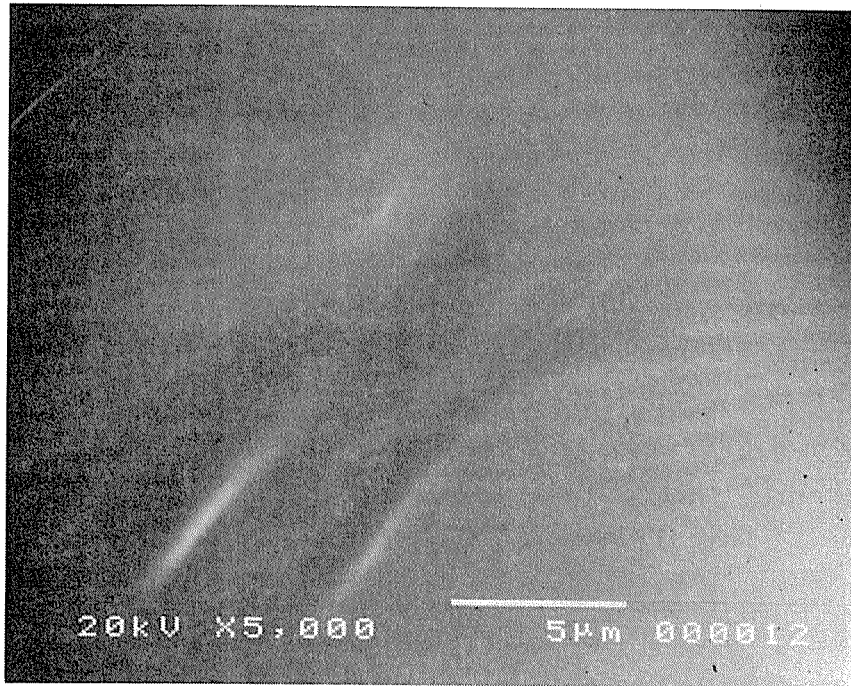


写真11-3 液化木材ポリウレタンフォームの土中埋没試験（6カ月）
前（上）および後（下）の走査電子顕微鏡像の比較

また、写真11-4および 5には土中埋没試験後の同様な写真を示す。写真11-4では土中埋没処理後の水洗いが不十分な場合に偶然見られた結果であるが、表面に菌が付着して残っているのが認められる。さらに、写真11-5では劣化が進み、フォーム骨格が網目状になっている部分もあることを示している。

これらの事実は、土中の微生物により液化木材ポリウレタンフォームが攻撃され、劣化していることを示すものである。ただし、この試験、および自然条件下で行った土中埋没試験後において、発泡体サンプル中に入り込んだ植物の根や土を完全に除去することが困難で、重量変化や圧縮強度などの変化からの生分解性の定量的評価はできなかった。そこで、定量的評価を意識した検討を以下2例行った。その一つは酵素試験であり、もう一つはバイオサーモアナライザーを用いる試験である。

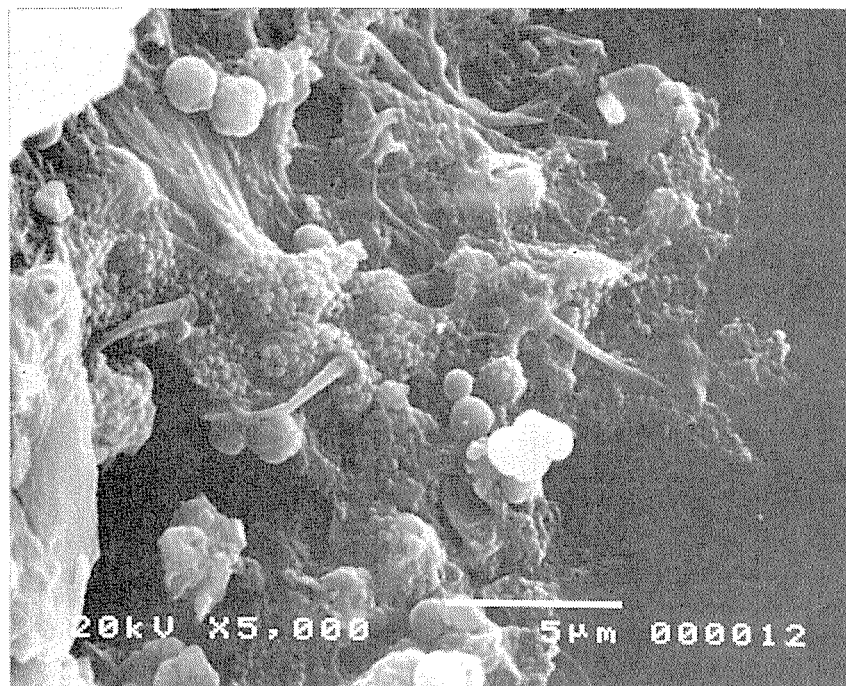


写真11-4 液化木材ポリウレタンフォームを6カ月間土中埋没処理した後の走査電子顕微鏡像

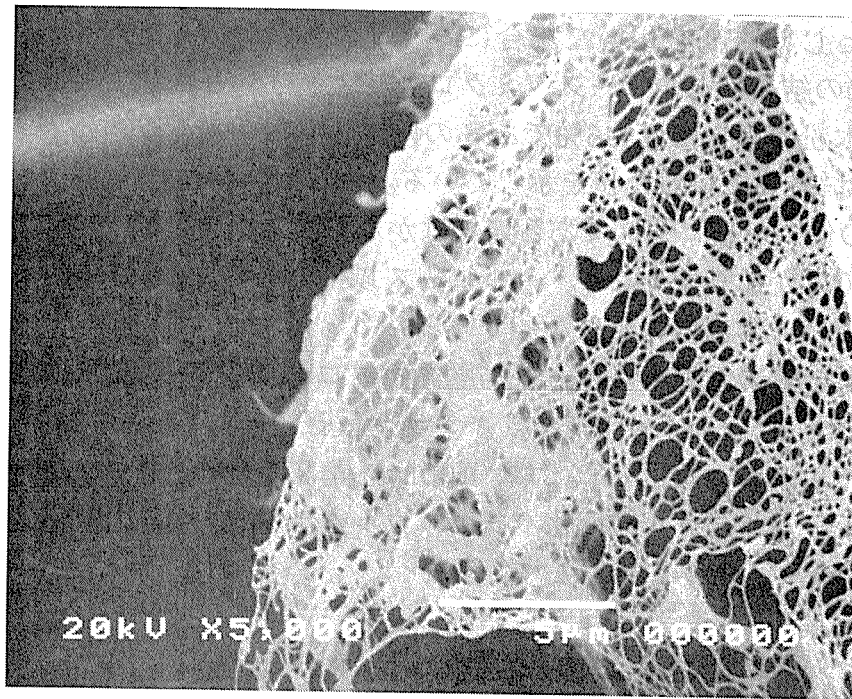


写真11-5 液化木材ポリウレタンフォームを6カ月間土中埋没した後の走査電子顕微鏡像

2.3.3 酵素試験による生分解性の評価の試み

単一酵素での分解性について検討した。図11-1にトリコデルマビリデ起源のセルラーゼを用いて行った実験結果を示す。図の縦軸の値はセルラーゼを含む緩衝液にサンプルを入れ所定時間反応させた値から、コントロールとして当該緩衝液にサンプルのみを入れ所定時間保持したのちの値を差し引いたものをとっている。

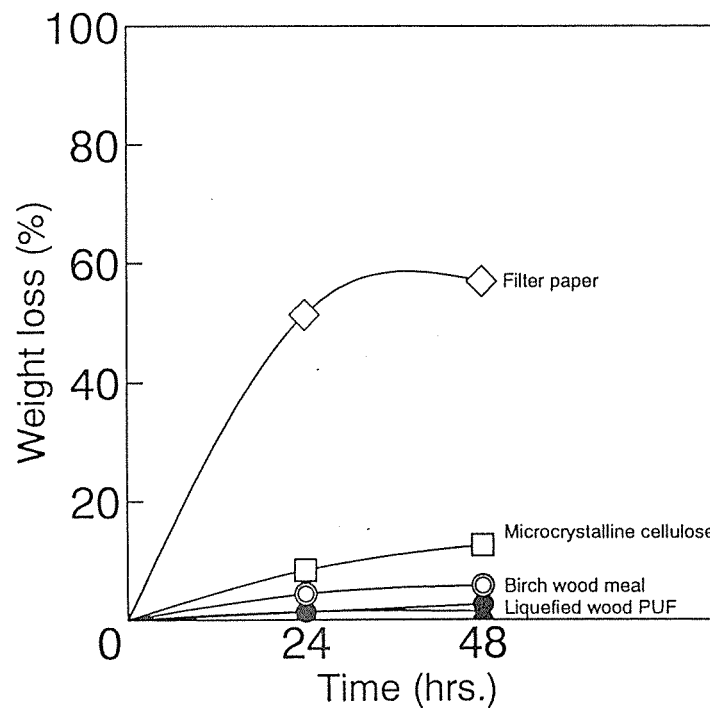


図11-1 液化木材ポリウレタンと対照材料についての酵素試験

サンプルとして濾紙を用いた場合には、重量減少率は48時間後には約57%、重合度6000~8000の結晶性セルロース（ミクロクリスタリンセルロース）の場合には13%、またマカンバ木粉の場合には約6%であるのに対し、液化木材ポリウレタンフォームの粉碎物の場合には約3%といった値を示している。

結晶化度の低いセルロースである濾紙はかなり大きな重量減少率を示したが、結晶性のセルロースではかなり低くなり、セルロース以外の物質を含む木粉や液化木材ポリウレタンフォームでは非常に低い値になっている。

次に、同様な酵素試験をリパーゼ37種類、プロテアーゼ20種類、セルラーゼ4種類、キチナーゼ2種類、アミラーゼ2種類、キシラナーゼ1種類、その他6種類、計72種類の市販酵素を用いて広く行った。ここでは、100mgの酵素を含むpH7の0.05Mリン酸緩衝液に20×10×2ミリ立方メートルの液化木材ポリウレタンフォームを加え、30℃で1ヶ月間振とう培養した。結果を表11-1に示す。

表11-1 種々の酵素による液化木材ポリウレタンの分解試験

Enzyme NO.	Weight(mg)		Enzyme NO.	Weight(mg)			
	Before test	After test		Before test	After test		
lipase -	4	27	29	protease -	6	20	22
	9	19	20		13	33	32
	14	20	21		19	28	28
	21	21	21		38	29	30
	26	19	22		39	32	30
	32	26	25		42	18	18
	33	24	24		45	17	17
	34	14	14		46	31	31
	37	21	21		47	15	15
	40	33	33		51	25	24
	43	20	20		59	29	29
	44	16	15		60	22	22
	48	27	26		61	34	32
	49	20	19		66	30	29
52	28	27	81	24	24		
53	29	28	105	18	18		
54	30	30	107	22	22		
63	26	25	108	18	18		
65	27	27	109	18	19		
67	28	26	110	20	22		
68	16	16	cellulase -	1	24	24	
69	18	17		2	20	21	
70	23	23		58	16	17	
71	23	23		82	20	22	
72	21	21	chitinase -	86	19	21	
73	20	20		112	15	17	
74	26	24	acylase -	12	22	24	
75	35	37		35	26	26	
76	26	25	xylanase -	83	20	20	
77	22	22	glucanase -	11	15	15	
78	15	14	amylase -	56	24	25	
79	17	16	lactase -	57	30	30	
80	25	25	lysozyme -	8	26	26	
84	19	21	pectinase -	10	29	29	
85	25	24	tannase -	41	17	18	
111	25	25	control 1		20	20	
114	34	33	control 2		14	14	

全ての酵素の場合において反応前と反応後の重量変化がほとんどない事が知られる。また、試験片の外観変化も認められていない。

これらより、単一の酵素では液化木材ポリウレタンフォームの分解は起こりにくく、先の土中埋没試験結果が多くの酵素の相乗効果で起こっているものと結論できる。

すなわち、液化木材ポリウレタンフォームは単一の酵素系では分解せず、多種の酵素の攻撃に曝される自然生態系では分解が進むという結果である。ここで、後者の分解の定量的評価が望まれるわけであるが、この目的での試みとして、バイオサーモアナライザーを用いた活性汚泥法による試験を次に行った。

2. 3. 4 バイオサーモアナライザーを用いた活性汚泥法による生分解試験

バイオサーモアナライザーを用いる活性汚泥法による試験は、微生物の代謝熱の総量を測定するものであり、例えば液化木材ポリウレタンフォームの微粉末化物のみを唯一の追加栄養源として与えて、微生物の固体数が増え、代謝熱の総量を高める結果になるか否かといったことを測定するものである。

活性汚泥のみでの発熱量の推移とPCL303とポリメリックMDIとからのポリウレタン発泡体の微粉末化物をそれに加えた場合の結果とを図11-2に示す。図より、汎用のPCL303のみをポリオールとするポリウレタンフォームの場合、それを含まない活性汚泥の場合とほとんど変わらないことが知られる。前者は活性汚泥中の微生物の栄養源とならず、従って生分解性が著しく低いことを裏付けた結果となっている。前述したが、ポリカプロラクトン（PCL）は合成高分子系の代表的生分解性高分子であるにもかかわらず、ポリメリックMDIと反応してポリウレタンになると生分解されなくなるという点は大変興味深い。

他方、図11-3には、液化木材ポリウレタンフォーム微粉末化物とスギ木粉を活性汚泥に加えたときの発熱量の推移を活性汚泥のみでのそれと比較して示している。図より、液化木材ポリウレタンフォームおよびスギ木粉とも、活性汚泥のみでの発熱量より大きな発熱を生じ、系中の微生物の増殖を引き起こしているといえる。しかも、液化木材ポリウレタンフォームはスギ木粉よりも大きな代謝熱増加のピークを示していることも明白である。

これらより、PCL303からのポリウレタンフォームは微生物によりほとんど資化されないのに対して、液化木材ポリウレタンフォームは資化され、その程度はスギ木粉以上であるということになる。

最近の諸星らによる土中埋没試験で、糖蜜やコーヒー豆殻の様な天然物を混入したポリウレタンフォームが、スギ材より高い生分解性を示すことが見い出され、報告されている（1993年高分子学会大会講演）が、木材液化物についてのここでの結果と一致するものである。ただし、諸星らの場合と液化法は異なり、諸星らの場合は硫酸触媒を使わず、より物理的ブレンドに近い手法でポリエチレングリコールなどポリオールと混合し、ポリメリックMDIと反応させポリウレタン発泡体を得ている。

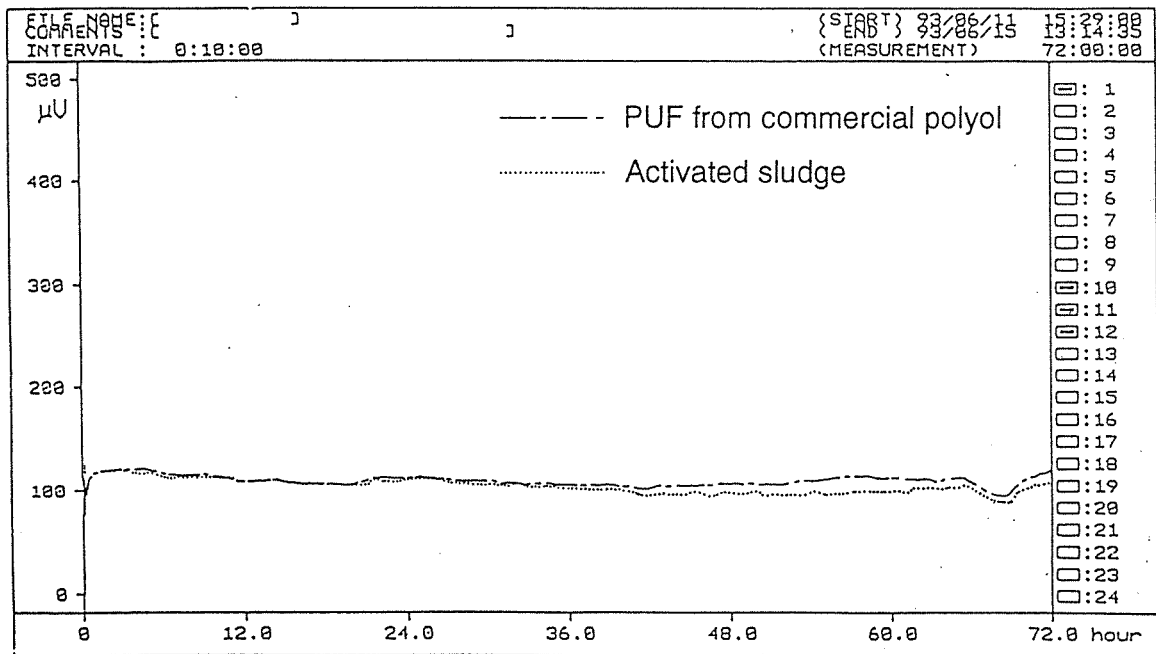


図1.1-2 PCL303からのポリウレタンフォームと活性汚泥のバイオサーモアナライザーによる生分解性試験

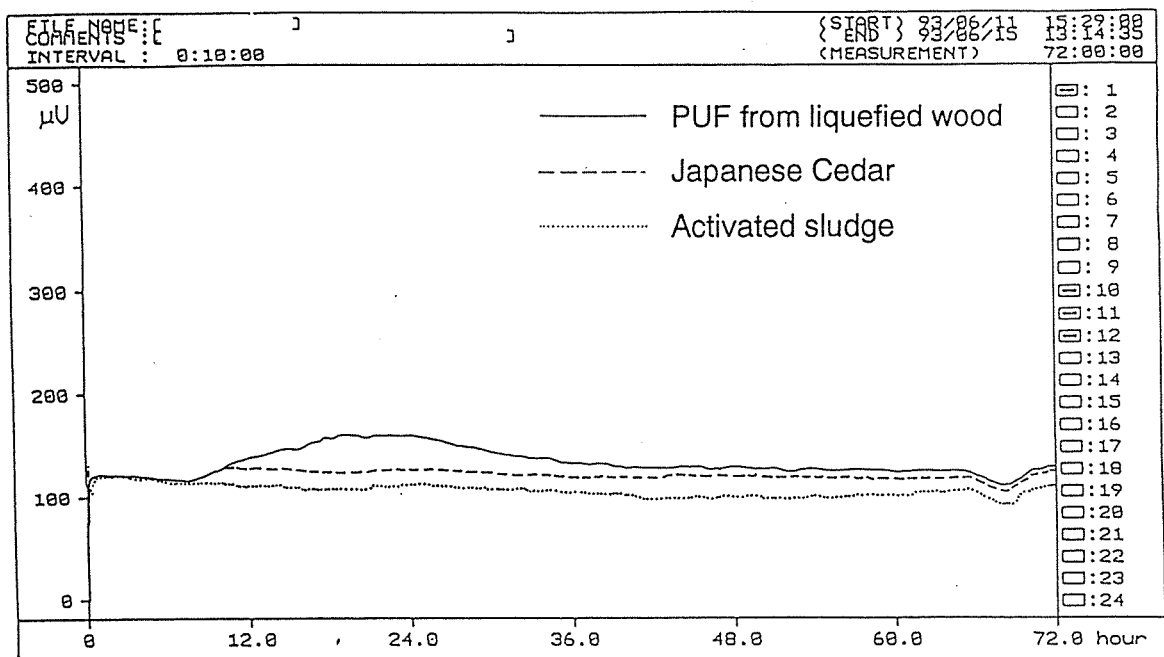


図1.1-3 液化木材ポリウレタン、スギ木粉および活性汚泥のバイオサーモアナライザーによる生分解性試験

2.3.5 屋外日光曝露試験

2.3.1でも試験片の半分を土中に埋め、半分を日光曝露するという試験を行った結果を論議したが、ここでは、5cm角の試験片の全体を日光曝露した実験の結果を述べる。この場合、屋外曝露試験は試験片を合板に固定し、一昨年の6月中旬から9月までの3ヶ月、さ

らに昨年6月中旬までの1年間、日当たりの良い当林産工学科棟の屋上に放置して行った。

まず、PCL303に関するポリウレタンフォームについて示す。木粉を充填剤的に加えただけのポリウレタンフォームと、木粉およびコーンスターチをそれぞれ30%および20%濃度となるように加え液化した液化木材ポリウレタンフォームとを3ヶ月日光暴露した結果を、曝露前と比較して写真11-6に示す。日光曝露により、充填剤として木粉を加えて調製したポリウレタンフォームは外観変化が少ないのに対して、液化木材ポリウレタンフォームは明らかに表面が荒くなっていることが認められる。

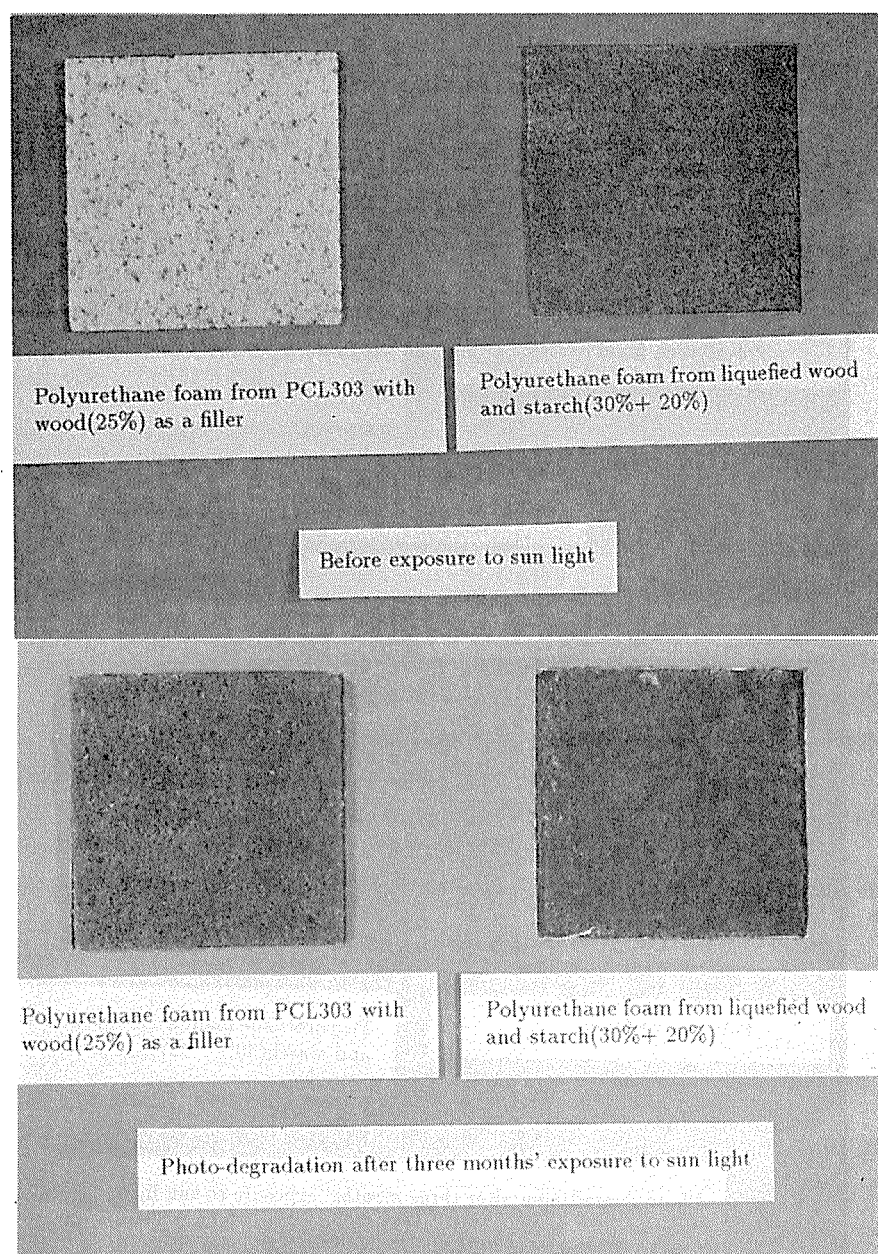


写真11-6 充填材として木粉を含むPCL303からのポリウレタンフォーム液化バイオマス（木粉30%；デンプン20%）ポリウレタンフォームの3カ月の日光暴露処理前（上）および後（下）の表面状態の比較

次に、汎用の発泡スチロールと液化木材ポリウレタンフォームを比較して写真11-7に示す。

上方には試験前の汎用の発泡スチロール、写真11-6中にも使われていた液化木材ポリウレタンフォーム、下側には日光曝露3ヶ月後のそれぞれの写真を示す。これらの写真より、発泡スチロールも多少は表面に変化がみられるが、液化木材ポリウレタンフォームはさらにその変化が大きいことが知られる。

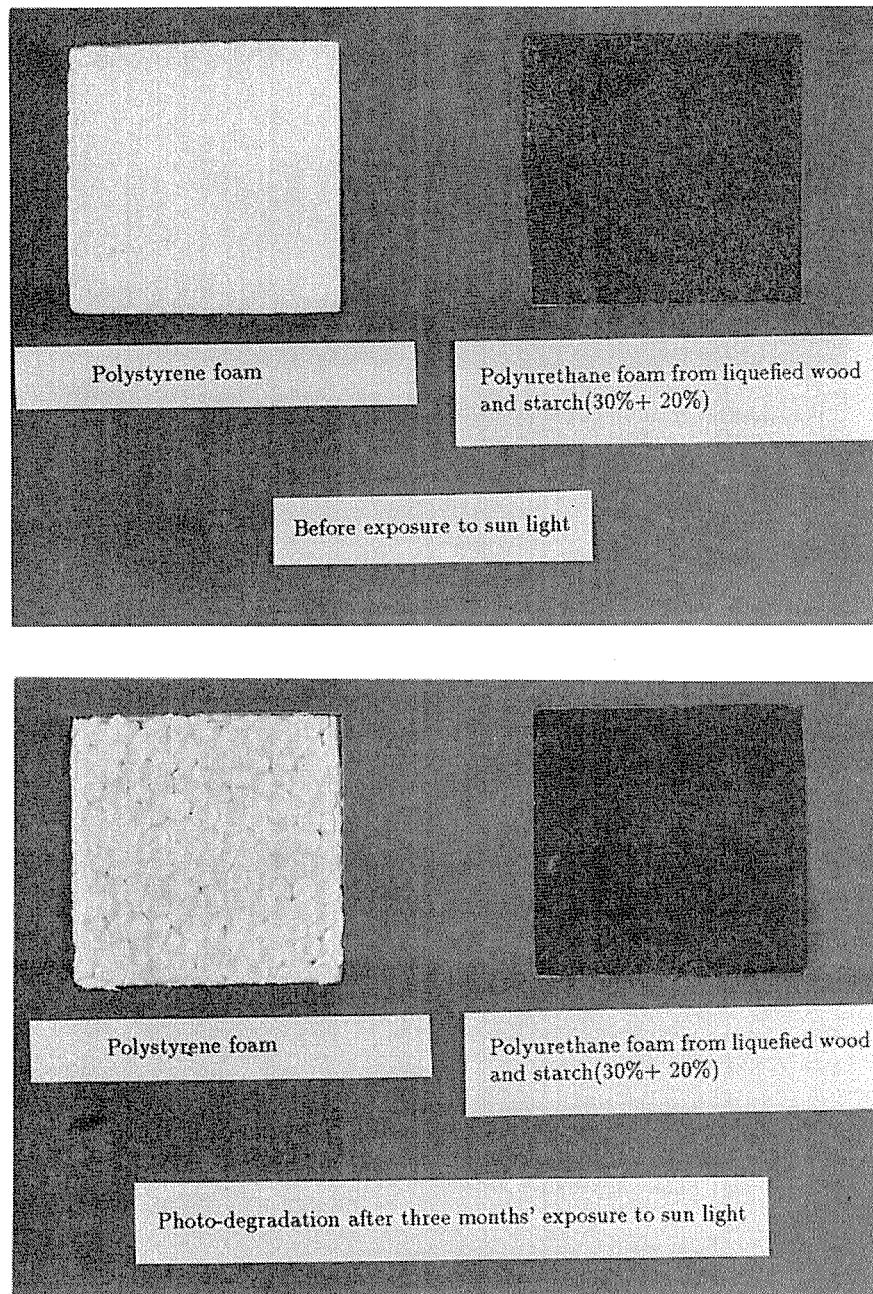


写真11-7 ポリスチレンフォームと液化バイオマス（木粉30%；デンプン20%）ポリウレタンフォームの3カ月の日光曝露処理前（上）および後（下）の表面状態の比較

次にバイオマス濃度が異なるPCL303液化木材ポリウレタンフォームについての同様な結果を写真11-8に示す。この写真から明らかなように、バイオマス濃度が高くなるにつれ発泡体表面の変化が著しくなること、すなわち、より光崩壊されやすくなることが知られる。

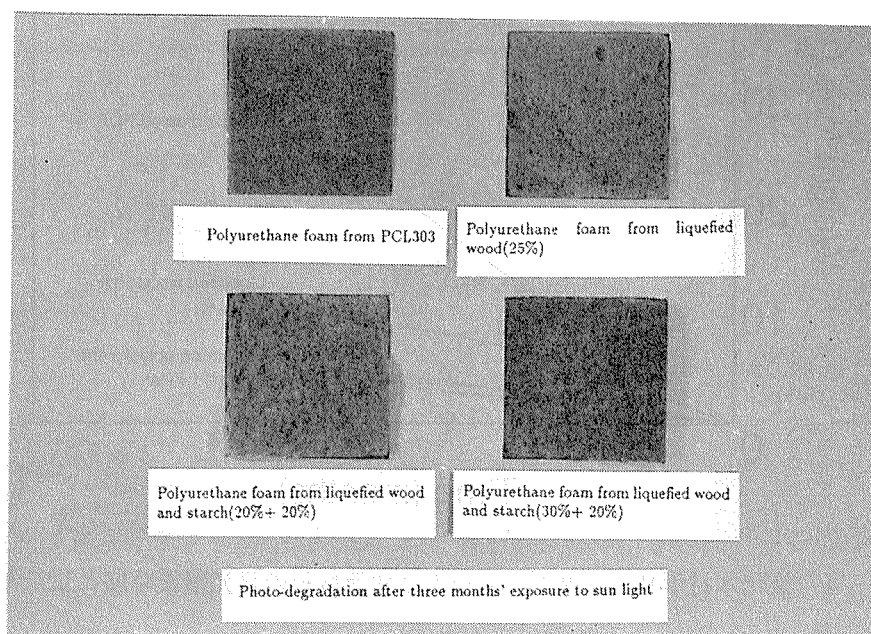


写真11-8 PCL303からのポリウレタンフォーム（左上）と種々のバイオマス濃度の液化バイオマスポリウレタンフォームの日光曝露後の表面状態の比較

さらに、光崩壊性の程度をより定量的に明らかにするために、関連及びコントロールサンプルについて日光曝露に伴う重量減少率を測定し、得られた結果を図11-4に示す。

図より、PCL303とポリメリックMDIのみから調製したポリウレタンフォーム（コントロール）はほとんど重量減少を示さないのに対し、充填剤として木粉またはコーンスターチを含むPCL303からのポリウレタンフォーム（コントロール+ファイラー）の場合の1年日光曝露後の重量減少率は約4%、発泡スチロールでは約6%、液化時の木粉濃度が25%の液化木材ポリウレタンフォームでは約10%、液化時の木粉及びコーンスターチ濃度がそれぞれ20%で、バイオマス濃度40%である液化木材ポリウレタンフォームの場合で約27%と、順により光崩壊性材料となっていることが知られる。すなわち、バイオマスを液化して含むものほど、またその量が多いものほど光崩壊性が高いという、先の観察結果を裏付けるものとなっている。

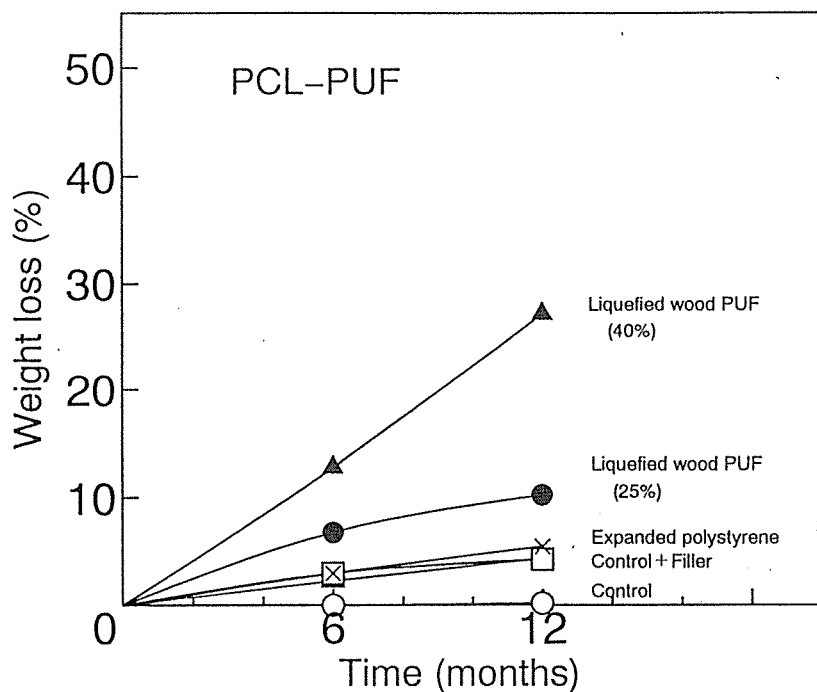


図11-4 液化木材ポリウレタンフォームと関連材料の日光曝露時間と重量減少率の関係

2. 4 おわりに

以上の諸実験より、液化木材成分を欠く汎用のポリウレタンフォームが生分解性、光崩壊性をほとんど示さない場合でも、液化木材から作られるポリウレタンフォームは、環境適合性をはっきりともっていることが明らかになった。両方の性質を有することから、液化木材ポリウレタンフォームは自然界に放置されたとき、光崩壊により微粉末化され、そうなることにより微生物との接触面積が広がり、生物崩壊または生分解が促進されるといったことも期待できる。いずれにしても生分解性を備えた材料として、包装用緩衝材、農業用材料その他として今後認知が進む可能性を大きく有する材料といえよう。

本研究を行うにあたり、レンゴー(株)研究所の白川欣一氏、東田竜司氏、長瀬産業(株)研究開発センターの森脇雅史氏には多大の御協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

3 リン酸を触媒としたフェノール存在下での木材の液化について

2 では多価アルコールの一つでもあるポリエステルポリオール存在下で液化した木材溶液からの発泡体の生分解性及び光崩壊性について述べた。そこでは、液化のための触媒として、硫酸を用いている。これまでの木材液化の検討では、多価アルコール存在下での場合、フェノール存在下での場合に限らず硫酸や塩酸のような強酸が使われてきた。

しかし硫酸や塩酸を触媒に用いると、装置の反応槽部分がステンレススチール製であるため、耐酸性のそれを用いるといっても、酸腐食の問題がついてまわることになる。まして、150℃前後という高温で数時間の反応を行っているからなおさらである。この観点から、硫酸や塩酸よりも少しでも弱い酸を触媒に用いて木材液化を効率よく出来ないかということが研究すべき重要な事柄となる。

そこで、本研究の関連研究として、硫酸や塩酸をリン酸に置き換えて木材液化の検討を行った。その場合、液化条件が木材液化過程にどの様に影響するか、さらには得られた液化物の熱流動特性がどのようなものであるかについて検討したので、以下報告する。

3. 1 実験

3. 1. 1 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。液化木材の成形の際、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。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。

3. 1. 2 木材の液化と木材液化物の濃縮物の調製

木材の液化法と木材液化物の濃縮物の調製法が図11-5に示されている。

液化反応は攪拌装置と還流冷却器を備えた500ml容の三口のセパラブルフラスコ中で、120~180℃の反応温度の油浴を用いて行った。所定の反応時間の後、反応物を大過剰のメタノールで希釈し、ついで東洋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、その一部を秤りとして、未反応の遊離フェノールの定量を行った。残渣は恒量まで105℃で乾燥した。液化後の木材残渣量と液化された木材成分に化学結合したフェノールの量は次式により求めた：

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

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

ここで W_0 は液化に用いた木粉の重さ； W_r 、未液化残渣； 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。上述の希釈された液化混合物を最終的に55℃、さらに引き続いて180℃で減圧蒸留により濃縮し(約20mmHg)、全ての希釈溶剤と遊離のフェノールを除き、液化木材濃縮物(以後、これを液化木材と呼ぶ)を得た。

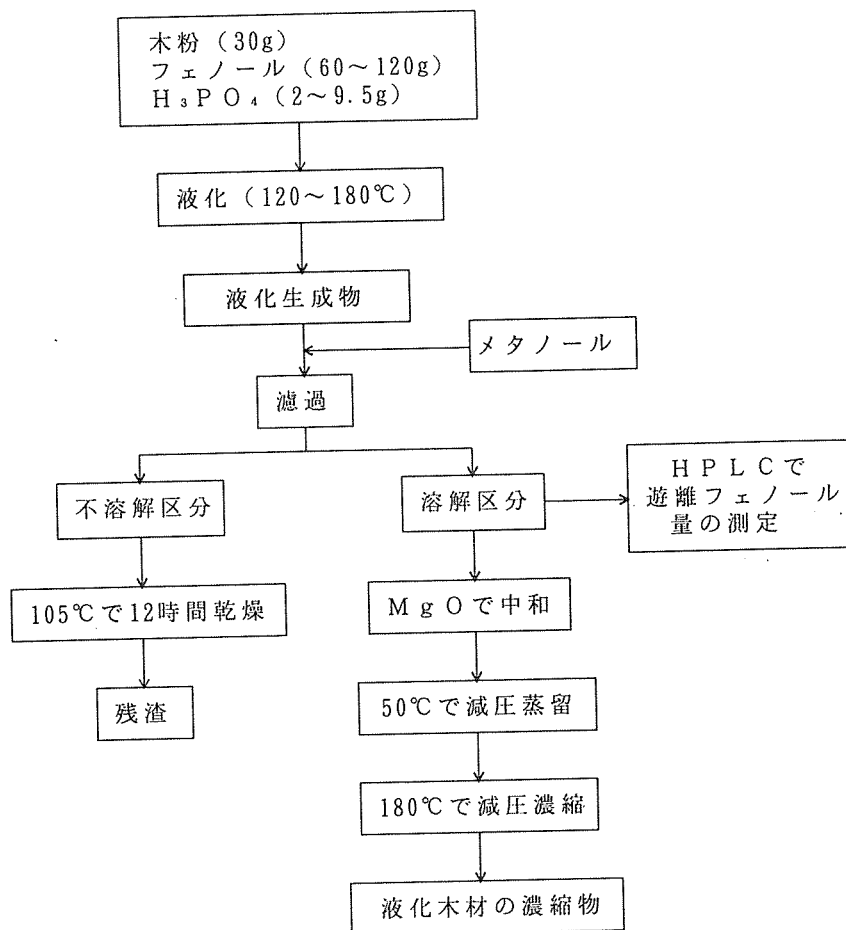


図11-5 液化木材濃縮物の製造に関する模式図

3. 1. 3 熱流動特性を測定する対象の一つとして用いた液化木材のコンパウンドの調製

ここでは37.7重量%の液化木材、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Ca(OH)₂（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た。この組成物のうち、液化木材以外のすべてのものをまず乳鉢で2分間混ぜ合わせ、次いで所定量の液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、測定するときまでデシケーター中に保管した。

3. 1. 4 測定法

純液化木材の熱流動特性はGFT-500Aフローテスター（(株)島津製作所製）で測定した。すべてのサンプルに対する予備加熱時間は200秒であり、熱流動点（見かけの融点）を測るため10℃/分の昇温速度を用いた。成形物を調製するために用いられる木粉とその他の添加物を添加した液化木材のコンパウンドについても同じ条件で測定した。

濃縮する前の液化混合物中の遊離フェノールの量は、モデル440ウォーターUV吸収検出器と島津シム・パック CLC-ODS(M) 内径4.6mm×150mmカラムとを備えたモデル6000A ウォータース・クロマトグラフィシステムを用いたハイパフォーマンス液体クロマトグラフィ (HPLC) によって測定した。展開剤は70%のリン酸緩衝溶液 (pH2.6) と30%のアセトニトリルから成っている。展開剤の流動速度およびサンプルの注入量は、それぞれ0.9ml/分および2 μ lであった。試験サンプルの濃度は0.05-0.1wt%であり、また溶剤はメタノールであった。既知の濃度のフェノール溶液をスタンダードとして用い、試験溶液中のフェノール濃度を評価した。液化木材の分子量とその分布とを、ウォータース示差屈折計R401検出器と直列につないだショーデックスGPC KF802とKF803とを用いる以外は上述と同じ装置を用いて測定した。そのときの展開剤はTHFであり、その展開速度は1ml/分であった。試験サンプルのTHF溶液中での濃度は0.2~0.5重量%であり、注入量は100~150 μ lであった。単分散ポリスチレンを分子量検出のための標準品とに用いた。

3. 2 結果と考察

3. 2. 1 木材の液化とそれに影響する因子

(1) 温度の影響

液化の効率と液化温度との関係を図11-6に示す。図より、温度は残渣率と結合フェノール量の両者に大きな影響を与えることが知られる。油浴の温度が大きくなるほど、結合フェノール量が増加し、同時に残渣量が急激に減少する。油浴の温度が160 $^{\circ}$ Cの時、残渣量は非常に小さく (12%) なり、それ以上温度を上げると残渣量の減少割合はややにぶるが減少をつづける。また、油浴の温度と液化反応物のそれと間にはある蒸発物の還流に起因する差がある。

油浴の温度が高いほどその温度の差は大きくなる。さらに、図11-6から、160 $^{\circ}$ Cの反応温度で満足すべき液化をなしうるということが知られる。従って、これ以降の液化実験において、油浴温度は160 $^{\circ}$ Cとした。

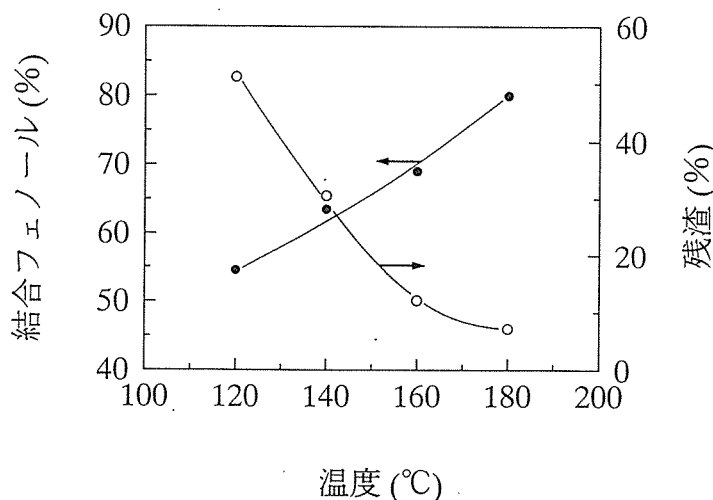


図11-6 液化温度の結合フェノール量あるいは残渣量に及ぼす影響。
液化時間：2時間；液比：3；触媒量：6.8%。

(2) 触媒量、液比および液化時間の効果

種々の液比における木材の液化効率に及ぼす触媒量の影響を図11-7に示す。検討した二種の液比の場合とも曲線の一般的形は同じであり、触媒量と共に結合フェノールは単調に増加し、また残渣は減少する。液比2の場合の曲線の勾配は液比3の場合のそれよりも大きく、触媒量は液比の小さい条件下で液化過程により大きな影響を持つことを示している。換言すると、液比の小さい条件下で、触媒量を増加することは液比効率を高めるためのすぐれた方法と言える。

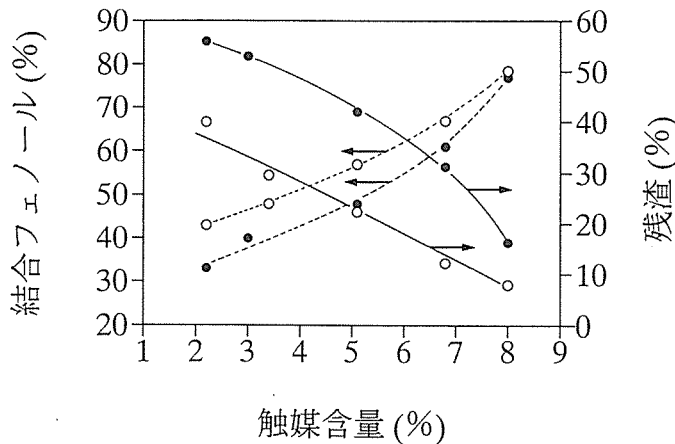


図11-7 触媒含量の結合フェノール量あるいは残渣量に及ぼす影響。
液化時間：2時間；液化温度：160℃；液比：2 (●)、3 (○)。

液化の進行が液比にいかに関与するかについて図11-8に示す。リン酸含量は6.8%に固定した。残渣量と結合フェノールの両者とも液比に著しく影響されるということが示されている。詳しくみると、前者（残渣量）は小さい液比領域でより著しく変化するが、後者は大きな液比領域でより大きく変化する。液比が4になると、結合フェノール量と残渣量はそれぞれ88%および4.8%になる。

液化時間が液化に及ぼす影響が図11-9に示されている。液化時間が増加すると、結合フェノールが増加し、また残渣量は単調に減少する。しかし、残渣量と結合フェノールの変化割合は液化時間の増大とともに小さくなる。換言すると、液化の効率は、液化量が意味のある値に達すると、液化時間を長くしてもあまり改良されなくなる。

図11-6~9より、この場合88%までの結合フェノール量が得られることが知られる。この値は硫酸触媒法で得られる対応する値（130%）よりも小さく、また、無触媒法によって得られる値（30%）よりも大きい。事実、本検討では、120℃で液化が行われても、木材の1/2が液化出来、そして結合フェノール量は53%に達する（図11-6参照）。

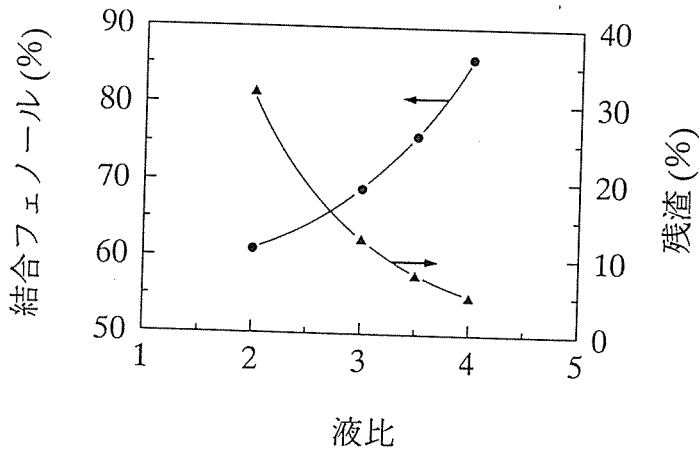


図 11-8 液比の結合フェノール量あるいは残渣量に及ぼす影響。
 液化時間：2 時間；液化温度：160℃；触媒含量：6.8%。

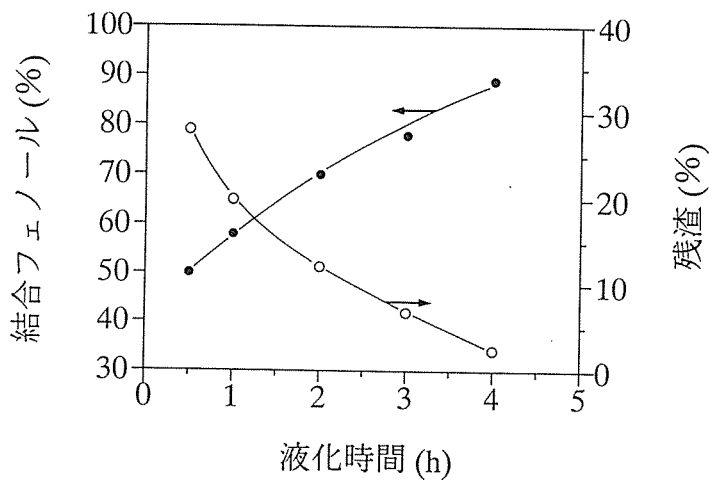


図 11-9 液化時間の結合フェノール量あるいは残渣量に及ぼす影響。
 液化温度：160℃；液比：3；触媒含量：6.8%。

(3) 液化の臨界時間 (CTL)

液化反応の開始時には、液化反応は著しく不均一反応であり、攪拌の効果は著しく悪い。この期間、熱や物質の移動が悪く、液化反応はうまく進行しない。ある一定の反応時間ののち、反応物の状態は、急激に不均一状態から見かけ上均一な状態に変化する。この変化点以降のみ、液状の混合物が得られる。そこで、反応物の状態が変化する時間を液化の臨界時間 (CTL) と呼ぶことにする。この時間期間は図 11-10(a) 及び (b) に示されるように触媒量が 5% 以下である場合、反応物は液化の終期まで、固体状のままである。従って、CTL はそれぞれの条件下で木材の液化効率に関するパラメータの一つと考えられる。

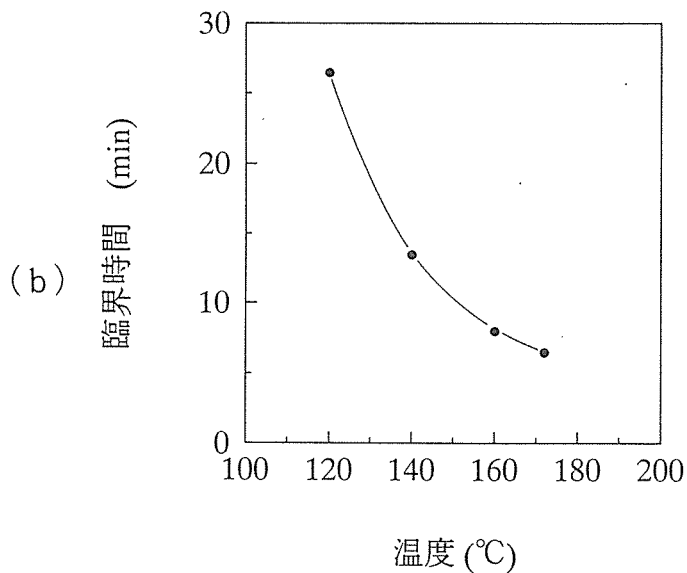
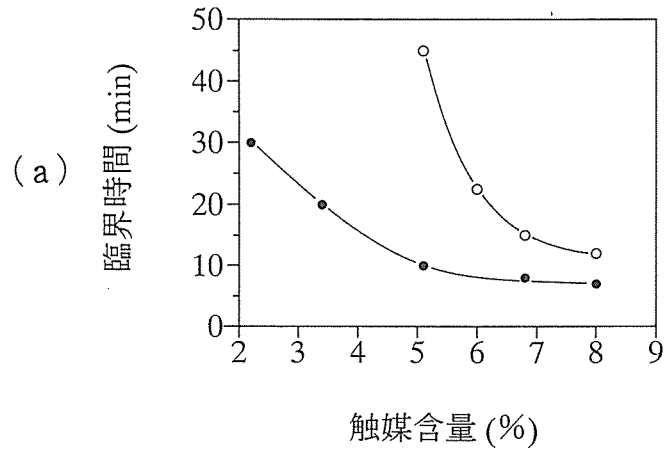


図11-10 (a) 触媒量の臨界時間に及ぼす影響。
 液化時間：160℃；液比：3 (●)、2 (○)。
 (b) 液化温度の臨界時間に及ぼす影響。
 液比：3；触媒含量：6.8%。

(4) 熱流動特性

液化木材溶融物の流動特性を種々の温度および剪断速度のもとでフローテスターを用いて測定した。結合フェノール量の見かけの融点に及ぼす影響について図11-11に示されている。結合フェノール量の増加と共に、純液化木材の見かけの融点は単調に増加する。

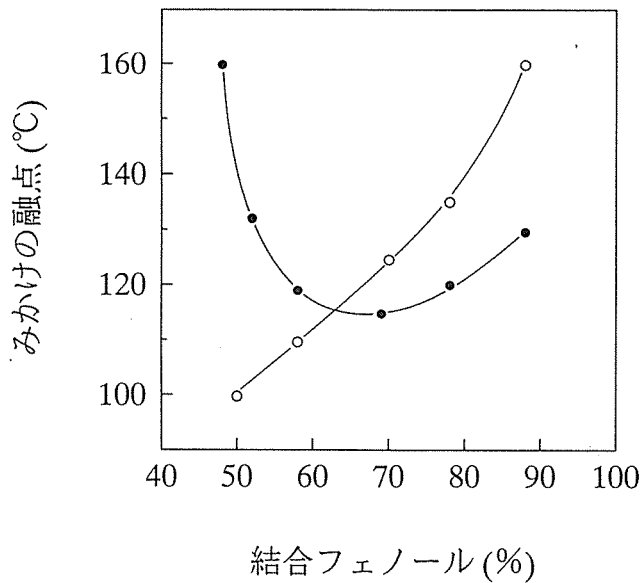


図 11-11 結合フェノール量の流動温度に及ぼす影響。

○：純液化木材、 $c = 6.13 \times 10^6 \text{D/cm}^2$ ；

●：液化木材コンパウンド、 $c = 4.9 \times 10^7 \text{D/cm}^2$ 。

その変化は非常に著しく、結合フェノール量が50から89%に増加する間に、見かけの融点は97から159°Cに上昇する。一般に高分子のレオロジー的性質に影響する因子は分子量、分子量分布および分子構造を含む。しかし、表11-4に示されているように、液化木材の分子量およびそれらの分布は種々の量の結合フェノールを持つ液化木材の間で、はっきりとした差を持たない。従って、図11-11に示されているような流動挙動は液化木材の分子構造に基づくものであらうと考えられる。結合フェノール量の増加と共に、分子の側鎖としてフェノールがヒドロキシフェニル化で導入されるため、その結果生成する分子間での立体障害と水素結合とが増加し、その結果分子の運動を困難にするといったことが期待できる。従って、結合フェノール量が増加するにつれて、分子の運動がより困難になり、純液化木材の見かけの融点は著しい変化を示す。この議論は後出の表11-4に示されている流動の活性化エネルギーによって支持される。

表 11-4 液化木材の分子量及び分子量分布

結合フェノール (%)	\bar{M}_n	\bar{M}_w	\bar{M}_w/\bar{M}_n
58	872	1693	1.94
69	906	1648	1.81
78	853	1536	1.80
88	984	2120	2.15

しかしながら、結合フェノール量の、木粉によって充填された液化木材コンパウンドの

見かけの融点に及ぼす影響は純木材液化物のそれとは非常に異なる。少ない結合フェノール量をもつ液化木材の場合、フィラーと他の添加物の導入は見かけの融点を大きく増加させ、しかも、結合フェノール量の少ない領域では、液化木材コンパウンドの流動点は結合フェノール量の減少と共に高温になる。コンパウディングの際には実験の項で述べたように、49.5重量%の木粉が液化木材37.7重量%と混合される。従って、流動の生起は木粉と液化木材との間の相互作用に大いに関係する。この流動過程において、木粉はそれらの固体形態を保つと考えられる。熱可塑性樹脂と固体充填剤との相互作用の程度は、それらの界面における濡れの現象に反映される。マトリックス樹脂と充填剤との間の相互作用が小さいとき、それらの界面の濡れは容易には実現されず、相互作用がより大きい場合に比べて大きなエネルギーを必要とする。図中、結合フェノールの量が最も小さい液化木材を構成要素の一つとするコンパウンドは最も高い熱流動温度をもち、液化木材と木粉との間の相互作用が最も悪いことを示している。液化木材の結合フェノール量が増加するとコンパウンドの熱流動温度が急激に減少し、液化木材溶融物と木粉充填剤との間の相互作用が増加することを示唆する。同時に、マトリックス（純液化木材）は結合フェノール量の増加と共にその流動温度を高いものとしている。この傾向は上述で議論した相互作用因子と重畳する。従って、結合フェノール量の増加と共に、流動温度はある最低値まで減少し、そして次いで、上昇傾向に転ずることになる。

種々の量の結合フェノール量をもつ液化木材溶融物のある一定温度における剪断応力 τ と剪断速度 $\dot{\gamma}$ のプロット、すなわち、見かけの流動曲線が図3-8に示されている。すべての流動曲線は検討した剪断速度の範囲内で全く線型であり、液化木材溶融物の流動は次の Ostwald de Waele の指数則の式に従うということを示唆している。

$$\tau = \eta \dot{\gamma} = k \dot{\gamma}^n$$

ここで、 η は見かけの粘度、 $\dot{\gamma}$ は剪断速度、 τ は剪断速度、 k は剪断速度係数及び n は指数則べき数である。表11-5に示されている、データを回帰分析で評価して得られた指数則べき数 " n " の値はすべて1以下であり、結合フェノールが43から87%へと増加すると0.53から0.40へ減少するものである。このことは、液化木材溶融物が擬塑性体（プソイドプラスチック）特性をもち、その擬塑性は液化木材の結合フェノールが増えると増加することを示す。

種々の結合フェノールの液化木材の溶融粘度 (η) と剪断速度 ($\dot{\gamma}$) との一定温度下での関係が図11-13示されている。 $\log \eta$ が $\log \dot{\gamma}$ の増加と共に直線的に減少することが知られ、 η の $\dot{\gamma}$ への依存性が同様に指数則に従うことを示している。 $\log \eta$ と $\log \dot{\gamma}$ とのプロットの勾配は結合フェノール量によって変わるが、その変化は上述の n 値の変化と一致し、結合フェノール量が大きくなるほど、 $\dot{\gamma}$ に対する η 値が鈍感になるということを示している。ゼロ剪断粘度についていえば、それは表11-5に示されているように、結合フェノール量の増加と共に増加する傾向を示す。

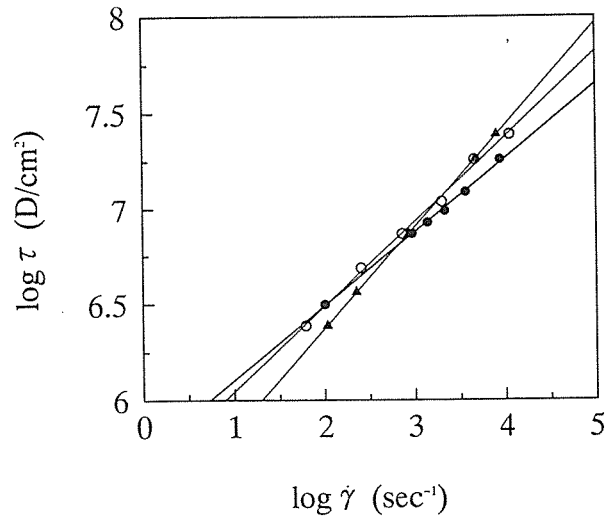


図 1 1 - 1 2 異なった結合フェノール量をもつ純液化木材の場合の $\log \tau$ と $\log \dot{\gamma}$ のプロット。
 結合フェノール量 ● : 87%、○ : 77%、▲ : 43% ; 測定温度 155℃

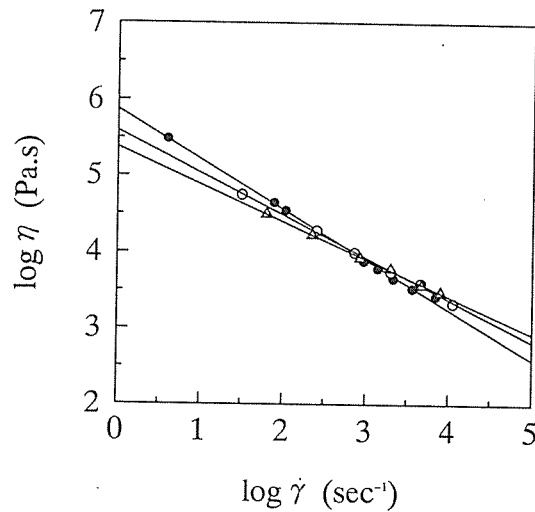


図 1 1 - 1 3 異なった結合フェノール量をもつ純液化木材の場合の $\log \eta$ と $\log \dot{\gamma}$ のプロット。
 結合フェノール量 ● : 87%、○ : 77%、△ : 43% ; 測定温度 155℃

表 1 1 - 5 Ostwald de waele の指数則式の指数 n 値と無剪断粘度 η_0

結合フェノール (%)	n	η_0 (pa.s)
43	0.53	233114
77	0.45	427819
87	0.40	749561

図11-14にはある一定の剪断応力の下における $\log \eta$ と $1/T$ のプロットである。所定の剪断応力下で、データは少々ばらついてはいるが、液化木材溶融物のみかけの粘度は、温度の増大と共に減少し、 $\log \eta$ と $1/T$ の関係は直線になる。それは、 η の温度依存性は次のアレニウス式に凡そ従うということを示している。

$$\eta = A \exp(E/RT)$$

ここで、 A は、物質の特性に関する定数； E は流動の活性化エネルギー、 R は気体常数、そして T は絶対温度である。アレニウス式に従って、異なる結合フェノール量をもつ液化木材の熱流動に対する活性化エネルギーが計算され、その結果が表11-6に示されている。より大きな結合フェノール量をもつ液化木材溶融物はより大きな流動の活性化エネルギーをもつということが示されている。結合フェノール量に依存する活性化エネルギーの変動は熱流動温度（見かけの融点）の変動と一致している。

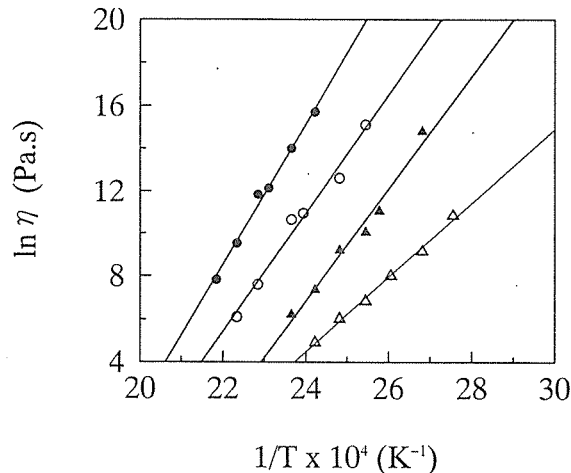


図11-14 異なる結合フェノール量をもつ純液化木材の場合の $\log \eta$ と $1/T$ のプロット。

結合フェノール量 ●：89%、○：85%、▲：77%、△：50%；剪断応力 $6.192 \times 10^6 \text{D/cm}^2$ 。

表11-6 熱流動の活性化エネルギー値

結合フェノール (%)	活性化エネルギー (kJ/mol)
50	14.39
77	21.81
85	22.93
89	27.65

3. 3 結論

上述の結果より、リン酸は硫酸に比べて、木材液化のための比較的弱い触媒であるといえる。しかし、それにも拘わらず、満足すべき結果が得られた。すなわち、50~89%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た。実際的には、幾分大きな残渣量を残す場合でも、それら充填剤として用いることが出来るので、意味のある結果といえる。さらに、液化木材の流動特性の測定より、それらの液化木材の溶融物が擬塑性体であり、それらの流動挙動が Ostwald du Waele の指数則の式に従うということが知られた。結合フェノール量は液化木材およびそれらのコンパウンドの流動特性に大きな影響をもっている。液化木材のみかけの融点、流動の活性化エネルギー及び純液化木材溶融物のゼロ剪断粘度は結合フェノール量の増加と共に増大し、液化木材の成分分子の凝集性が結合フェノール量の増加と共に大きくなることを示した。

第12章 薬品処理廃材の分別技術と再利用技術の実態調査

1. クレオソート油処理まくらぎ廃材の実態ならびに再利用調査

1.1 木マクラギの使用実態と変遷

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年度の国鉄購入の全マクラギの約90%を占めるに至った（図12-1、表12-1）

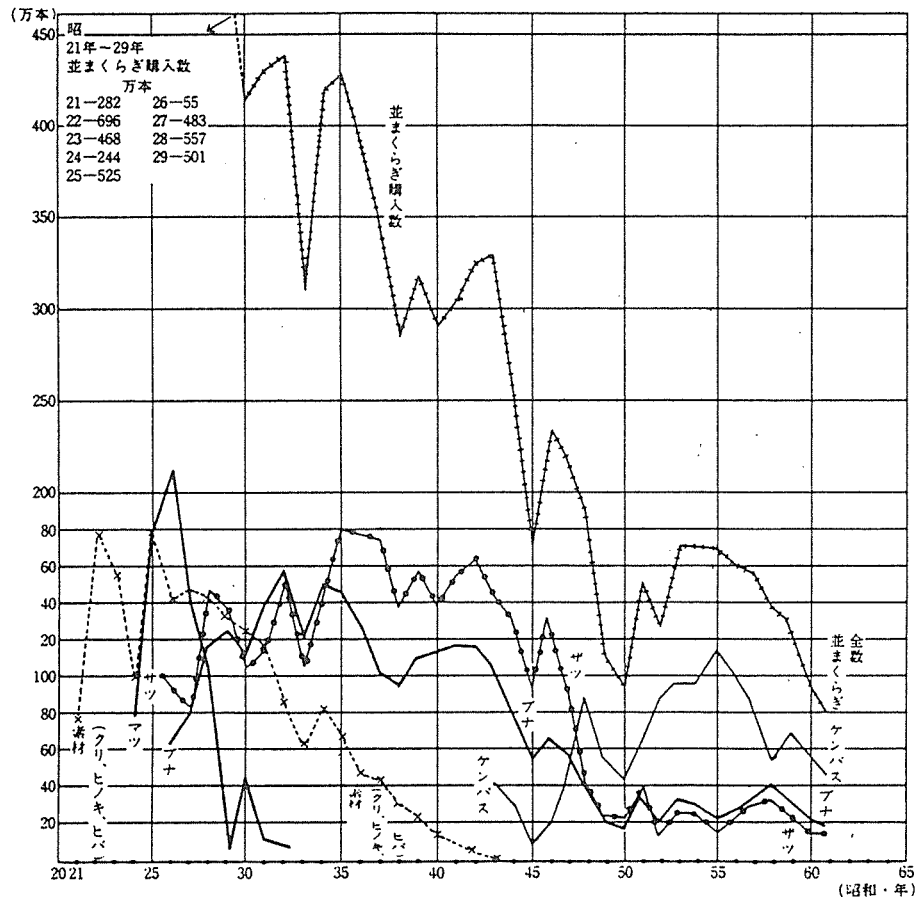


図12-1 国鉄並マクラギ主要樹種の購入数の変化

(昭和21～61、国鉄資材局資料)¹⁾

表12-1 昭和61年度国鉄購入マクラギ本数(推定)¹⁾

種類	並	並(継目)	橋	分岐	計
在 来 線 用	×1000本 820	33	77	118	×1000本 1048
	m ³ 48216	2910	7700	11800	69682
	ケンパス(防) クルーイン(防)	ケンパス(防) クルーイン(防)	ブナ(防) 青森ヒバ(ソ) ヒノキ(ソ) カプール() 雑(防ナ) 北海道二種	ケンパス(防) クルーイン(防)	
新 幹 線 用	21,04 本		4463	158	本 6725
	197 m ³		556	22	m ³ 775
	ケンパス(防) クルーイン(防)	ケンパス(防) クルーイン(防)	ケンパス(防) クルーイン(防)	ケンパス(防) クルーイン(防)	

昭和62年度以後の集計数は入手できず

表12-2 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		
49	168	59	95		
50	120	60	100		

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で、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⁾。

木マクラギへの防腐剤の注入処理は、わが国においても古く大正8年にさかのぼることができるが、その後、国鉄を中心に防腐処理の技術向上、標準化、品質管理技術の確立ははかられ、昭和36年以降、国鉄規格やJIS規格が整備されてきた（表12-2）。

1.2 木マクラギの防腐処理と耐用年数

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⁾。

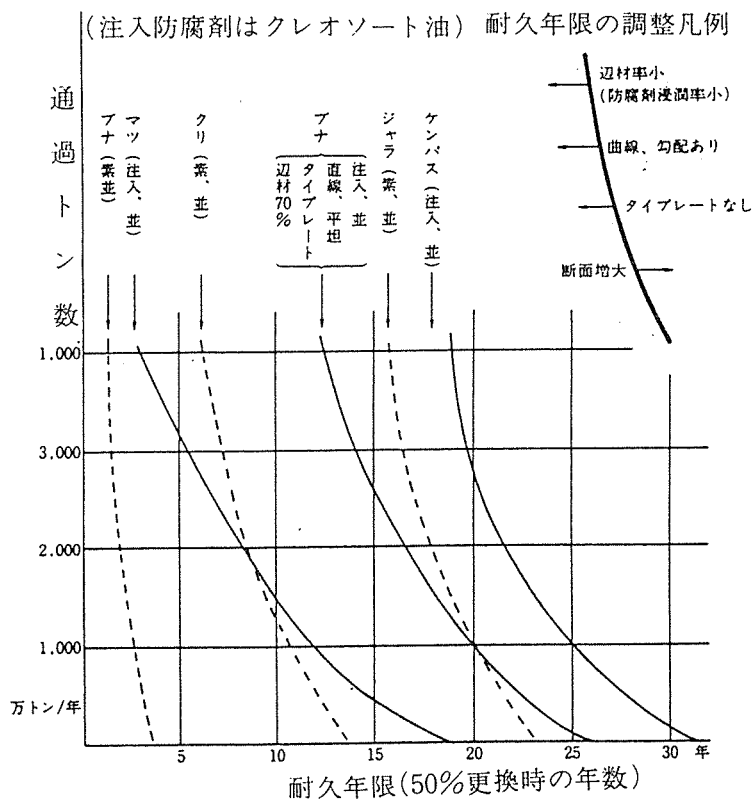


図12-2 マクラギの樹種、通過トン数別の耐久年限想定図¹⁾

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。図12-2は、種々の木マクラギの耐用年数について、通過車両のトータル量との関係から想定した曲線である。

JR東日本の調査では、木マクラギの年間交換率は総使用木マクラギ（マクラギ総敷設本数1900万本の45%にあたる860万本）の約3%で、これは数の上では約20万本以上に相当するとされている²⁾。

1. 3 実態調査の概要

木マクラギの廃材処理と再利用について、（有）土橋商店（大阪市南区福崎）で聞き取り調査を行った概要について以下に示す。

この企業は、JR東海、西日本、四国の廃木マクラギのほとんどと、JR北海道、東日本、九州からでるものの一部、および関西周辺の私鉄からのものについても扱っている。取り扱い高としては、月間1～2万本でこれは全国のJRから産出される廃木マクラギの約半分を占めている。

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、大半はこの企業のような産業廃棄物処理業者に委託されている。

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ということであった。

しかし、このような上級品は搬入される廃木マクラギ全体の1%程度で、仕入れ値段は500円/本ということである。国鉄清算事業団が対象とする廃線から出てくる木マクラギには、比較的劣化損傷の少ないものが多いが、前にも記したように使用されていた場所と条件によって異なり、引き込み線のように土に直接接触していたものより碎石の上に敷設されていたものの方が、また、高架の取り替え工事に伴って産出されるものに比較的上級のものが多い。

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、溶鋳炉にも利用されている。さらにより下級の

ものは、廃棄処分されるということであったが、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るものであった。

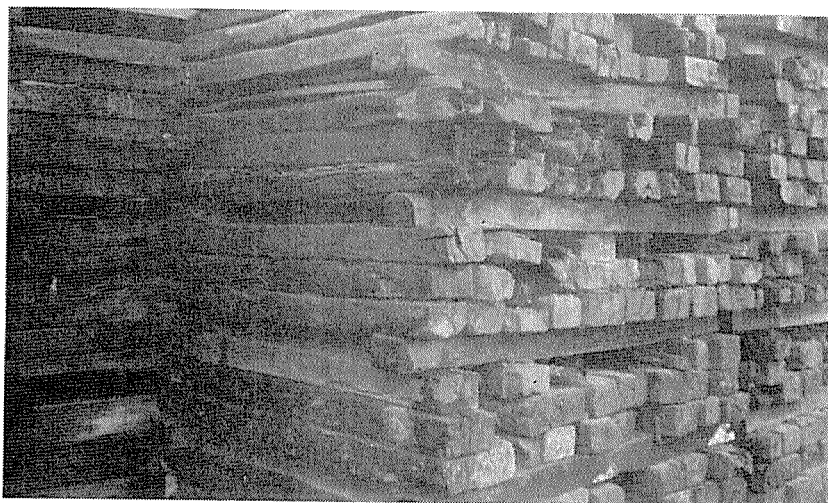
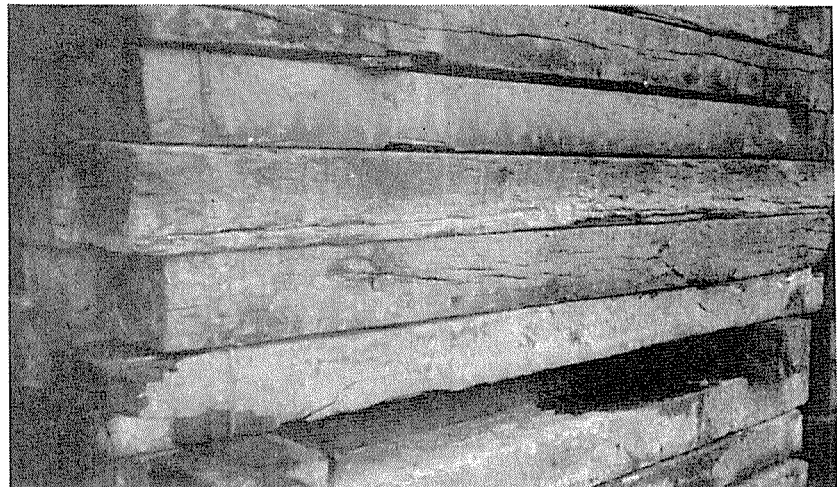
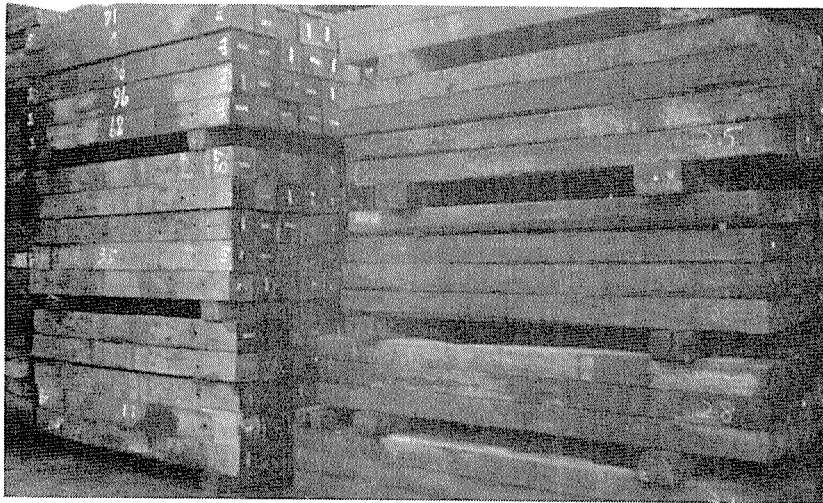
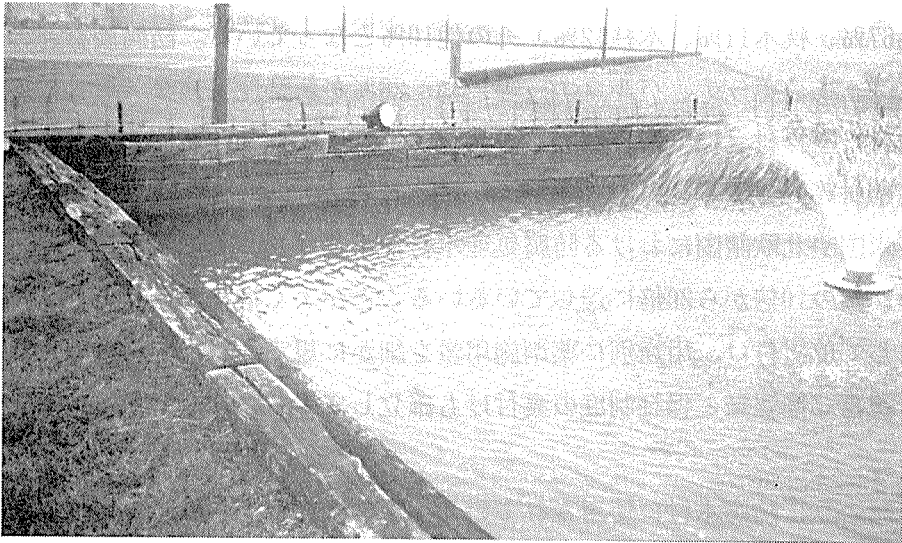


写真12-1 廃木マクラギの状況（上より上級、中級、下級）



ゴルフ場の土留め材への利用



ゴルフ場の池の堰堤への利用



店舗用の部材への利用

写真12-2 廃木マクラギの再利用の例

2. 解体材のリサイクル技術・解体材中のCCA処理廃材の実態調査

2. 1 CCA処理廃材の産出量

わが国の防腐木材の生産量は、平成4年度で403千 m^3 で、クレオソート油の55千 m^3 と新規薬剤の19千 m^3 を除いて残りはCCAである。用途別では、防腐土台59%、枕木11%、木柱2%、その他28%であり、その他の内訳は、建築用材(床組用材、下地材等)、外構用材(遊具、デッキ等)、造園用材(植木支柱)、梱包用材などである。

一方、外国の例として、米国における難燃処理材を含む防腐木材の状況をみると、生産総量は1988年では約17,000千 m^3 であり、その薬剤別の内訳は、クレオソート溶液15%、ペンタクロルフェノール(PCP)8%、水溶性防腐剤75%、難燃薬剤2%となっている。水溶性防腐剤の99%はCCAが占め、残りは酸性クロム・銅系防腐剤(ACC)、アンモニア性銅・ヒ素系防腐剤(ACA)、アンモニア性銅・亜鉛・ヒ素系防腐剤(ACZA)、フッ素・クロム・ヒ素・フェノール系防腐剤(FCAP)等である。また、用途別製品の内訳は、製材品67%、枕木11%、木柱12%、その他10%となっている。防腐製材品の52%は増改築住宅(デッキ、ポーチ、バルコニー等)に、28%が新築住宅建築(屋外使用のほか土台材、下地材、壁枠材、地下木製基礎PWF、等)に、残り20%が住宅以外の用途(農業用支柱、外構部材等)である⁴⁾。

このように、米国や北欧諸国における防腐処理木材使用量はきわめて多く、人口一人当たりにしてもわが国の10倍から20倍に達していることがよく指摘される。木材を工業材料のひとつとして位置付け、用途別に薬剤施用量を細かに規定した上で、さらに品質と安全性に対する豊富な情報量と保証制度の裏付けも確立していることが背景にあることはもちろんである。

さて、上述したように防腐木材に使用されている薬剤の大部分は、世界的にみても固着型の水溶性防腐剤であるCCAである。CCA系防腐剤は、従来のクレオソートやPCPに代わって1960年代から急速に使用が拡大され、1970年代の終わりには木柱以外の製材品の防腐処理の主流となった。ヨーロッパなどでは、CCAからヒ素を除き銅とクロムだけで構成されているCCや、かわりにホウ素を加えたCCBも使用されるようになっているが、依然として広い効力をもつCCAが用いられている。

この現在世界でもっとも多くかつ一般的に使用されている水溶性防腐防蟻剤であるCCAは、1933年 Dr. S. Kamesanによって発明された後、主として電柱用の保存薬剤として実績が蓄積され、1953年米国木材保存協会(AWPA)によってCCA-Type Aとして登録された。その後、ヒクソン社がCCAの木材中での定着性を高めるCu, Cr, Asの構成割合を追及し、CCA-Type Cと称される製剤型を市場に送り出した。これが英国ならびに米国における中心的なCCAのタイプであり、現在もなお一番広く用いられている木材防腐薬剤である。

1988年までの全世界で使用されてきたCCAの総量は10万トンに達している。CCA系

表12-3 CCA処理した住宅土台材の排出予想量

年	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)
1994	122 (439)	79 (284)	
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	79
2000	212 (7635)	137	82
2001	162 (583)	165	72
2002	180 (648)	162	94
2003	158 (569)	200	127
2004	148 (533)	230	122
2005	160 (576)	212	137
2006	163 (587)	162	165
2007	210 (756)	180	162
2008	210 (756)	180	200

()の数字はCCAの薬剤量

表12-4 解体材から産出されるCCA土台材の量比予測

生産年	木造床面積* 百万m ²	木材量** 千m ²	CCA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として0.15m³/m²として算出した。

防腐剤は、多くの国の機関で認定されている薬剤であり、50年以上にわたってデータが集積されており、きわめて広範な効菌スペクトルと木材中での高い固着性が広く認識されてきた。

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 m^3 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12-3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実生産量として10~20%が上積みされるものと考えられる。

薬剤量の算出については、CCA水溶液が木材中へ平均的に約300 kg/m^3 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12-4は、木造住宅が解体されたときに含まれるであろうCCA処理土台材の量を、その年の木造住宅の床面積とCCA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0.108 m^3/m^2 、手解体で0.191 m^3/m^2 とされているので⁵⁾、仮に0.15 m^3/m^2 とおいて計算してみた。

解体材のなかに占めるCCA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CCA土台の利用率が異なることも考えられるが、一つの目安として妥当なところであろう。

このようなCCA処理木材の排出量予測については、別途詳細な検討も行われている⁶⁾。

2.2 解体材中のCCA処理廃材の実態調査

解体材中に含まれるCCA処理木材の取り扱いについて、在阪2社について実態調査を実施した。調査対象としたのは、阪南産業(株)大阪市住之江区平林(A社)と木材開発(株)大阪市住之江区新北島(B社)の2社である。

A社は、廃家屋部材を主として扱っている業者で、現状では月あたり5000~6000トンチップにして産出している。大阪市内の解体家屋から出る木材のほぼ6割を集荷して処理しているが、工場に持ち込まれた解体材は人の手によってまず現場選別され、パルプ用、パーティクルボード用、燃料用に大別される。電気配線やボルトなどの比較的大きな異物は、これも人の手によって除去されるが、最近は住宅が機械壊しされることが多いため、

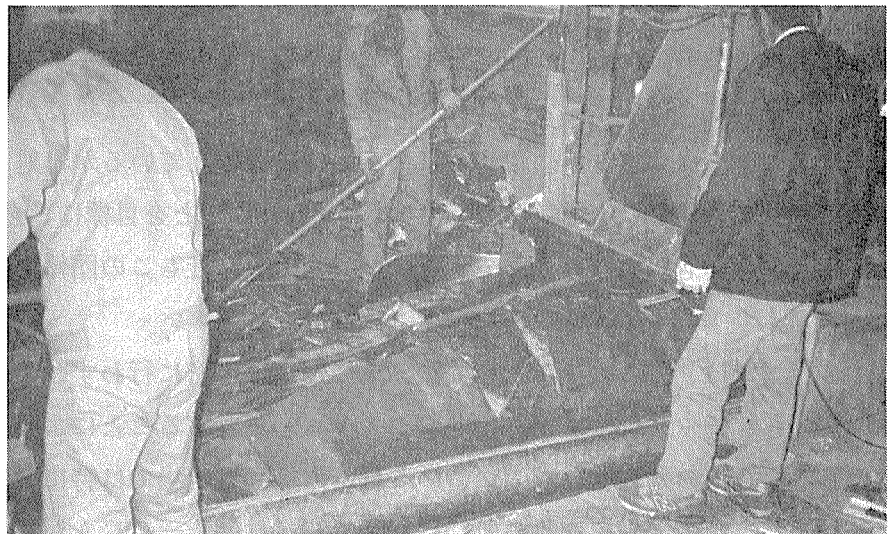


写真12-3 調査した工場でのチップ処理の状況

上、中：持ち込まれた解体材の状況と分別されたクギ等（A社）

下：破砕機への投入のようす（B社）

解体現場でこういった除去処理が行われず、付着したままで持ち込まれる傾向が増加してきている。

昭和40年頃は、解体材のなかからグレードの良いものは挽き直して、住宅部材に再使用されていたが、現在ではほとんどがチップ化されている。高品質のものは、紙パルプ用のチップにされるが、あらかじめ広葉樹と針葉樹に分類されてチップーに通される。チップにされた後、磁力によって釘等は除去されているが、木材と比重の近いプラスチックなどは分別が容易ではないということであった。

特にCCA処理材を意識して選別するということはないが、量的にみても混入率は低く、選別の作業現場をみたところでも、それらしき処理木材を見つけることはできなかった。

B社は、A社と同様に、廃家屋部材や製材工場廃材を紙パルプ用、パーティクルボード用、燃料用のチップに処理している企業であるが、原材料の収集範囲は大阪地区に限定されず、かなり遠距離の現場から収集を行っている。チップはまず大きさによって3段階に分類され、大は再度チップーに戻され、小は家畜の敷料となり、中のものがチップとして利用される。チップの生産量は15,000トン/月であるが、従来、処理量のうち80%は低質の燃料用チップで、残り20%が紙パルプ用やパーティクルボード用のチップで主として柱など比較的上質の解体材から得られていた。しかし、外国産のチップ選別・精製システムを導入したことにより、ボード用としてのチップの割合は80%に向上したということであった。

ところで、産業廃棄物としての木クズの対象となるのは、建設業の工作物の除去に伴って生じるもの、家具製造業を含む木材または木製品の製造業、パルプ製造業などであり、それ以外は一般廃棄物になる。したがって、新築工事に関連するものは一般廃棄物、解体に伴うものは産業廃棄物となるため、流通や収集、処理の工程で混乱を余儀なくされているのが現状である。一方、一般廃棄物と産業廃棄物を合わせた木クズの発生量は、全国では年間1千万トンに達するとみられており、このうちチップ工場でチップ化されているのは発生量の2割にすぎない。現状では種々の課題も抱えているが、処理ルート of 適正化によって木クズを100%リサイクル資源化しようということを目標に、全国木材資源リサイクル協会連合会も組織されてきており、調査対象の2社もこの団体に加入して活動を行っている。

この企業では、先のA社に比べて破砕前の選別は厳密に行わず、強力なクラッシャーで一律に砕き、チップになった後の分別システムを確立することによって異物の除去を行っている。CCAの処理材の混入については、A社同様現場では特に留意して行われていない。しかし、担当者の廃棄物の処理に対する意識は高く、CCAからのばい塵への移行についても今後の課題として検討されていた。

3. 土台以外の用途でのCCA処理木材の廃棄量予測

住宅の土台以外の用途に用いられたCCA処理木材の廃棄量について、日本木材防腐工業組合の統計値をもとに予測してみた（表12-5）。

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。

一方、遊具類や農業用資材としてのCCA処理木材の予測廃棄量については、薬剤別の防腐木材の生産量統計のCCA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）、これを根拠に耐用年数を15年と仮定して算出した。

表12-5 電柱、その他の用途でのCCA処理木材の廃棄量予測

年	電 柱		その他	
	総量	CCA	総量	CCA
1994	134	67	66	59
1995	132	66	67	60
1996	111	56	59	53
1997	82	41	66	59
1998	62	31	67	60
1999	44	22	75	68
2000	33	17	75	68
2001	23	12	88	79
2002	17	9	96	86
2003	15	8	104	94

（単位は千m³）

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CCA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。前にも述べたようにこの数字には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だろう。

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)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)
- 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) (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)

第13章 薬品処理廃材の再利用技術の開発・性能評価

1. 保存処理廃材を原料に製造したパーティクルボードの防腐・防蟻性能

1. 1 はじめに

建設系廃材、とくに可燃性廃材のエネルギー利用は1970年代半ばから商業的ベースに乗るようになってきた¹⁾。一方、保存薬剤（例えば、CCAやクレオソート油など）で処理された廃材の処分方法は土中への埋設や焼却などが考えられているが、確立された方法がないのが現状である。

保存処理は、耐久性を付与するために行われるものであり、回収された保存処理廃材を単に処分するのではなく、高耐久性の木質系材料の原料として再利用することを検討する価値は高いと言えよう。

わが国では、回収された保存処理木材の再利用に関する研究はこれまであまりされていないが、CCA処理エゾマツ土台を原料にしたパーティクルボードの性能が研究されている²⁾。CCA処理エゾマツから得たパーティクルを用いて製造したパーティクルボードでは、CCAそのものができあがったボードの物理的性質（曲げ強度、剝離強度、吸水厚さ膨潤率）を低下させる要因にはならないと結論されている。しかしながら、昨年度の報告書で指摘されているように、CCA処理単板を用いた合板では、初期の接着強度は十分なレベルにあっても、経時的に低下することが懸念され、今後の研究成果を待たねば結論を下せない面も多い。

本章では、昨年度の報告書第9章に記載されているパーティクルボードの防腐・防蟻性を室内試験によって検討した結果を報告する。

1. 2 パーティクルボードの防腐・防蟻性

クレオソート油は、1900年代初頭からわが国でも使用が開始され、まくら木が主品目であった。数年後には、電柱のクレオソート注入も本格的に実施されるようになり、クレオソート油の消費量は急増した。1950年頃には、年間600万本以上のまくら木がクレオソート油処理されたが、その後漸減し、1960年代後半には、コンクリートまくら木の出現とともに激減している。電柱もほぼ同様の経緯をたどって現在に至っている。その結果、クレオソート油の年間消費量は、10,000トン（1992年実績）を下回っている。

クレオソート油の防腐・防蟻性能は高いことが知られているが、クレオソート油を構成する種々の化合物単独では防腐性・防蟻性は満足できるレベルには達せず、組成化合物の相加あるいは相乗効果によってクレオソート油処理木材に耐久性を付与している。JIS

に規定されているクレオソート油による注入処理木材の防腐・防蟻性が高いことはもちろんであるが、塗布などの表面処理であっても、腐朽の危険度の低い環境では10年以上の耐用が期待できる。

CCAは固着型の水溶性木材保存剤であり、現在、世界的にみてもっとも多量に利用されている。適用範囲は広く、電柱などのように常時接地状態にある材料や海中で利用される係船杭などの処理にも供されている。わが国では毎年90,000トン前後が消費されている。主要な処理製品は製材品であり、とくに1970年以降に急伸した土台の占有率が高い。現在、JIS K 1554では3種の配合が規定されているが、欧米諸国ではこれらとは異なる組成のCCAも実用されている。組成や処理対象樹種にもよるが、一般的には吸収量5~7kg/m³で十分な防腐・防蟻性能が得られている。健全な辺材部から採取した小試験体(2x2x1cm)を減圧注入後に室内での3ヶ月間の強制腐朽試験に供した結果の1例を表13-1に示している。ただし、処理後には何ら耐候操作を行っていない。

表13-1 樹種別CCAの防腐性能

供 試 樹 種	CCA*吸収量 (kg/m ³)	平均質量減少率 (%)	
		カワラタケ	オオウズラタケ
スギ	2.1	1.8	17.9
スギ	4.1	0.4	0
ベイツガ	4.3	18.9	5.2
ベイツガ	7.1	3.8	1.1
ラジアータパイン	4.5	12.3	4.7
ラジアータパイン	9.0	2.5	0

*: JIS K 1554で規定されているCCA2号タイプ
無処理試験体はいずれの場合でも20%以上の質量減少率を示した。

1.2.1 実験

(1) 供試材料

回収されたCCA2号処理大引およびクレオソート油処理ケンパスまくら木から得たパーティクルを原料にして製造されたパーティクルボード(報告書第9章に記載)から

2. 5 cm平方（厚さ1 cm）の試験体を調製し、腐朽試験では各供試菌について9個、シロアリ試験では3個ずつを供試した。

（2）腐朽試験方法

腐朽試験は、J I S A 9201（1991）に準じて実施した。

1）試験体

（1）に記載の通り。2. 5 cm平方厚さ1 cmのスギ、ブナ、ベイツガの辺材を対照材として付加した。

2）耐候操作

耐候操作は実施しなかった。

3）抗菌操作前の試験体

温度60±2° Cに調整した循環式乾燥器に48時間入れ、乾燥した後に抗菌操作前の質量（ m_0 ）を測定した。パーティクルボードの種類や菌種別に仕訳してエチレンオキシドガス（EOG）滅菌バッグに入れ、EOGによって滅菌した。

4）抗菌操作

抗菌操作に用いた培養瓶、培養基はJ I S A 9201の規定通り。

菌叢が十分に培養基表面に繁茂した時点で、各培養瓶について3個ずつの試験体を、カワラタケの場合には直接菌叢に接するように、オオウズラタケの場合にはポリプロピレン製のネットを菌叢上に置き、その上に設置した。培養条件と期間は、26±2° C、相対湿度70%以上の暗所に12週間静置であった。

抗菌操作終了後、注意深く試験体を培養瓶から取り出し、表面に付着した菌糸などを水道水やブラシなどで除去した後、約48時間風乾した。風乾後は、再度、上述（2）と同様に乾燥した後に抗菌操作後の質量（ m_1 ）を測定した。

5）質量減少率

次式によって抗菌操作による質量減少率を算出した。

$$\text{質量減少率} = [(m_0 - m_1) / m_0] \times 100$$

（3）シロアリ試験方法

試験体の形状、寸法を除けば（社）日本木材保存協会規格第11号『塗布・吹付け・浸漬用木材防蟻剤の防蟻効力試験方法（1）室内試験方法』に定める総合試験方法に準じて試験を行った。概要は下記の通りである。

1) 試験体

(1)に記載の通り。 対照試験体として2.5cm平方、厚さ1cmのスギ、ブナ、アカマツ辺材を同時に供試した。

2) 耐候操作

耐候操作は実施しなかった。

3) 試験前の試験体

腐朽試験の場合と同様に乾燥し、防蟻試験前の乾燥重量 (W_0) を測定した。試験体の滅菌は行わなかった。

4) 防蟻試験用飼育容器

内径8cm、長さ6cmの亚克力製円筒の一端を歯科用硬石こうで厚さ約5mmに固めて底部とした物を飼育容器とした。底部中央に1個の試験体を置いた飼育容器は、湿潤綿を敷きつめた蓋付き容器中に10~20個ずつ入れた。

5) 飼育条件

各飼育容器には、人工飼育中のイエシロアリコロニーから無作為に採取した健全な職蟻150頭と兵蟻15頭を投入し、 $28 \pm 2^\circ \text{C}$ の暗所に21日間静置した。

6) 飼育中の観察

1週間毎に生存(死亡)シロアリ個体数を記録し、死虫率の経時的变化と飼育終了時の死虫率を算出した。

7) 重量減少率

飼育期間が終了すると、試験体を飼育容器から回収し、表面の付着物などを注意深く除去し、3)と同様にして乾燥重量 (W_1) を測定した。シロアリの食害による重量減少率は次式から算出した。

$$\text{重量減少率} = [(W_0 - W_1) / W_0] \times 100$$

1.2.2 結果および考察

(1) 防蟻性

結果は要約して表13-2に示している。対照材の質量減少率から判断すると、供試菌の木材腐朽力は正常であった。

CCA2号によって処理されたベイツガ大引から作ったパーティクルを原料に製造したパーティクルボードの2種の供試菌に対する抵抗性は、ベイツガ辺材と比較すると多少高

いとは言えるが、満足できる防腐性能には達していない。また、供試菌によって相対的な防腐性が異なり、多くの場合、オオウズラタケに対するよりもカワラタケに対する防腐効果の方が高い傾向が認められた。パーティクルボード製造に用いた接着剤がフェノールの場合には、例外的に供試菌による差はほとんどなかった。

表13-2 保存処理廃材を原料に製造したパーティクルボードの防腐性能

故材の種類 パーティクルボードNo.	接着剤の種類	平均質量減少率 (%) (標準偏差)			
		カワラタケ		オオウズラタケ	
CCA2号処理ベイツガ大引					
C-U-1	ユリア	16.0	(2.31)	45.9	(12.00)
C-M-1	ユリア・メラミン	15.0	(3.02)	32.9	(9.96)
C-P-1	フェノール	23.4	(2.02)	24.4	(6.86)
C-I-1	イソシアネート	10.7	(1.25)	33.2	(3.38)
クレオソート油処理ケンバスまくら木					
69-72 6-U-1	ユリア	0.3	(0.24)	1.1	(0.63)
77 7-U-1	ユリア	0.2	(0.23)	1.7	(1.45)
83-84 8-U-1	ユリア	0.7	(0.37)	1.2	(0.95)
69-72 6-M-1	ユリア・メラミン	0.1	(0.15)	1.0	(0.49)
77 7-M-1	ユリア・メラミン	0	(0.10)	1.6	(0.45)
83-84 8-M-1	ユリア・メラミン	0.3	(0.28)	1.8	(0.77)
69-72 6-P-1	フェノール	0	(0)	0.3	(0.29)
77 7-P-1	フェノール	0.1	(0.10)	0	(0)
83-84 8-P-1	フェノール	0.3	(0.26)	0	(0)
69-72 6-I-1	イソシアネート	0	(0.07)	1.4	(0.26)
77 7-I-1	イソシアネート	0	(0)	0	(0)
83-84 8-I-1	イソシアネート	0	(0.07)	0.1	(0.14)
対照材 (素材)					
	スギ	34.7	(3.41)	34.9	(4.10)
	ブナ	55.0	(3.39)	29.3	(4.12)
	ベイツガ	45.3	(2.52)	50.9	(10.86)

回収されたベイツガ大引のCCA分析結果³⁾は、パーティクルに均一に薬剤が分布していれば、かなりの防腐性能が期待できた値であることは、表13-1に示した既往の結果から類推される。しかし、処理大引中のCCAが表層に集中し、分布が不均一なために、得られたパーティクルのCCA含有量にばらつきがあり、CCAをごく僅かしか含有していなかったり、まったく含有していないパーティクルが腐朽されたと考えられる。攻撃する菌糸サイズが小さく、パーティクルボード内に分布するCCAの影響を余り受けることなく、腐朽が進行したことを物語っている。

一方、クレオソート油処理ケンパスまくら木から製造したパーティクルボードは、ほとんど腐朽による重量減少が生じていない。ケンパス自体は、比較的腐朽菌に対する抵抗性が高いことが知られているが、本結果は、予想を上回る腐朽抵抗性を示したと言えよう。当然のことではあるが、回収されたまくら木に残存するクレオソート油成分と僅かずつ揮散する微量成分がパーティクルボードに優れた防腐性を付与した結果であろう。

(2) 防蟻性

結果は要約して表13-3に示している。

CCA処理ベイツガ大引を原料にしたパーティクルボードは、ほとんどあるいはまったくシロアリによる食害を受けておらず、パーティクルボード中のCCAの量と分布密度がシロアリの侵攻を阻止するのに十分であったことを示唆している。腐朽菌とは異なり、シロアリの大きさが薬剤の量と分布密度とを潜り抜けることを許さなかった結果と判断された。また、使用した接着剤の種類に関係なく死虫率は100%に達したが、100%に至る所要時間は、接着剤によって影響された。

クレオソート油処理ケンパスまくら木を原料にしたパーティクルボードの場合には、腐朽菌に対する抵抗性とは異なり、明白なシロアリ食害（平均重量減少率2%以上）が4例認められた。顕著な例として83-84 8-P-1の1試験体では、11.0%の重量減少率を記録した。素材としてのケンパスの耐蟻性は低いと評価されており、クレオソートがよく分布していない部分の食害は素材自体の耐蟻性が反映されと考えられ、パーティクルボード中に無処理あるいはそれと同等の箇所があれば、局所的によく食害されるであろう。死虫率はすべて100%に達し、接着剤の種類によって100%に至る所要時間が異なる傾向はCCA処理と同じであった。すなわち、イソシアネートでは1週間以内、ユリアとユリア・メラミンでは1~2週間、フェノールではばらつきが大きく1~3週間を必要とした。

表 13-3 保存処理廃材を原料に製造したパーティクルボードの防蟻性能

故材の種類 パーティクルボードNo.	接着剤の種類	平均重量減少率 (%)	死虫率 (%)	死虫率100% に至る時間 (週)
CCA2号処理ベイツガ大引				
C-U-1	ユリア	0.1	100	1
C-M-1	ユリア・メラミン	0.1	100	1~2
C-P-1	フェノール	0	100	1~3
C-I-1	イソシアネート	0	100	1
クレオソート油処理ケンバスまくら木				
69-72 6-U-1	ユリア	2.2	100	1
77 7-U-1	ユリア	0.6	100	1
83-84 8-U-1	ユリア	0.6	100	1~2
69-72 6-M-1	ユリア・メラミン	1.8	100	1~2
77 7-M-1	ユリア・メラミン	0.5	100	1
83-84 8-M-1	ユリア・メラミン	2.1	100	1~2
69-72 6-P-1	フェノール	2.3	100	1~3
77 7-P-1	フェノール	0.2	100	1~3
83-84 8-P-1	フェノール	4.1	100	1~3
69-72 6-I-1	イソシアネート	1.9	100	1
77 7-I-1	イソシアネート	0.3	100	1
83-84 8-I-1	イソシアネート	0.7	100	1
対照材 (素材)				
	スギ	11.6	15.3	
	ブナ	4.1	19.3	
	アカマツ	11.1	19.7	

3. 結論

CCA処理廃材を原料にしたパーティクルボードは、耐朽性が十分でなく腐朽の危険性が懸念される場所には実用できないと判断された。しかし、耐蟻性は高く、耐虫性も期待できることから、無臭の『防蟻・防虫パーティクルボード』として住宅用部材に利用することが現実的に可能であろう。

一方、クレオソート油処理廃材再利用パーティクルボードは、一般的に耐朽・耐蟻性に優れていると判断されたが、製品のクレオソート臭や色などから、住環境で使用することは困難であるが、これらの欠点が問題にされない外構用の材料としての実用性を今後検討する価値がある。

文 献

- 1) 工業技術院：廃棄物の処理・再資源化技術と有効利用 (1992)
- 2) 土居修一、菊地伸一：木材保存 13, 60~66 (1987)
- 3) (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)
(1993)

2. 紙・パルプへの転換利用上の問題

2. 1 はじめに

CCAは、昭和40年代以降から住宅の土台の防腐薬剤として、本格的に使用され始めている。現在のところ、このような保存処理を施した住宅の解体数が未だ少ないために、解体材の中間処理現場に出かけても、保存処理故材を見つけることはなかなか困難ではあるが、今後次第に増加するものと予測される。

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

ここでは、CCAおよびクレオソート油処理故材が紙・パルプに利用された場合を想定して実験を行い、蒸解工程や解繊工程における薬剤の経路や行き先を明らかにして、その問題点を考察した。

本報告が、今後の紙・パルプ製品の安全性管理や工場廃液・排水処理を考える際の基礎資料となれば幸いである。

2. 2 実験

2. 2. 1 供試材料

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

2. 2. 2 チップの蒸解・解繊と試料の採集

蒸解容器(オートクレーブ)に、200メッシュpassの木粉を除去した全乾重量300gのチップと所定量の白液および水を加え、表13-4に示す条件下で蒸解したのち、ブローによって常圧に戻した。このとき排出される黒液はほぼ回収された。

表13-4 蒸解条件

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

一方、オートクレーブに残ったパルプ（若干の黒液を含む）は、大型のTAPPI解繊機で解繊後、フラットスクリーンで洗浄した。スクリーンを通過したメッシュ袋上のウェットパルプの重量を測定したのち、乾燥して、パルプ濃度および未晒しパルプ歩留りを算出した。パルプ濃度および未晒しパルプ歩留りは、ケンパスの場合、それぞれ31.2%、および41.8%、ベイツガでは25.1%および44.4%であった。なお、スクリーン未通過のものには、とくにケンパスの場合、大きな道管が多く認められた。

なお、洗浄の際、微細物質やアルカリを洗浄水で中和したときに排水として流出する物質の回収は行われていない。

蒸解ならびに解織工程のフローチャートを図13-1に示す。

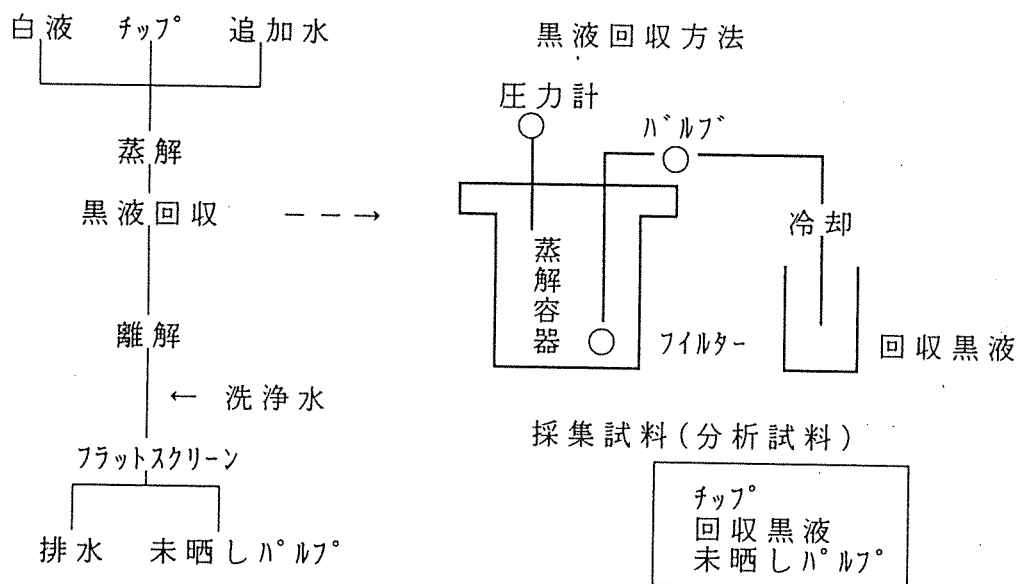


図13-1 蒸解ならびに解織工程のフローチャート

2. 2. 3 Cu・Cr・Asおよびクレオソート油の分析法

(1) Cu・Cr・Asの定量分析

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

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

含有量の算出は、各々の含有量の和を分析試料の重量和で除して計算した。また、チップのCu・Crについては、表面と内部の含有量の差異あるいは分析試料重量が少ないことを考慮して、灰化物の結果も積算した。

なお、標準試料として、セルキュア K-33（越井プレザービング株式会社製 CCA-2号）を分析し、表13-5に示されるように、添付組成表とほぼ一致した結果が得

表 1 3 - 5 標準 C C A 薬剤の分析結果

		換算値 W/W		添付組成表
Cu	13.3 %	→ CuO	16.3 %	14.8 %
Cr	12.3 %	→ CrO3	23.7 %	26.6 %
As	23.5 %	→ As2O5	35.7 %	34.0 %
水分		→	21.1 %	24.6 %
		合計	96.8 %	100.0 %

られている。

(2) クレオソート油の定量分析

クレオソート油定量分析のための、実験法および分離法は未だ十分に確立していない。たとえば、溶剤抽出物を GC-MAS あるいは液体クロマトグラム等で分離・定性し、個々の物質定量から試料中の含有量を算出する方法が考えられるが、ここでは簡易試験法として、分光光度計による測定を試みた。

すなわち、クレオソート油にはクレゾール系、フェノール系、ナフトール系などの物質が含まれており、それらはいずれも化学構造的に紫外線吸収のある物質である。そこで、標準クレオソート油（越井プレザービング株式会社製）のクロロホルム抽出物を分光光度計（吸収ピーク：254 nm）で測定し、これを基準として各試料のクロロホルム抽出物を測定し、クレオソート油の定量を試みた。

ここで、チップおよび未晒しパルプの場合にはソックスレー抽出器で、また、回収黒液の場合は分液ロートでクロロホルムの抽出をおこなった。

クレオソート油（標準試料）、ケンパスチップおよびベイツガ各試料のクロロホルム抽出物紫外吸収ピークパターンを図 1 3 - 2 に示す。ケンパス抽出物の紫外吸収パターンと吸収係数はクレオソート油抽出物のそれと一致している。一方、ベイツガのパターンおよび吸収係数はクレオソート油のそれと一致しない。したがって、これからクロロホルム抽出物濃度を定量するにはむりがあるが、とりあえず、得られた吸収ピークをクレオソートからのピークとして定量をおこなった。

なお、検量線は、標準クレオソート油より抽出したクロロホルム抽出物を一定濃度（0 ~ 13 mg/l）とし、分光光度計で吸収ピーク 254 nm の吸光度を測定して、作成された。

また、この定量法に対する白液の影響を明らかにするために、使用白液で標準クレオ

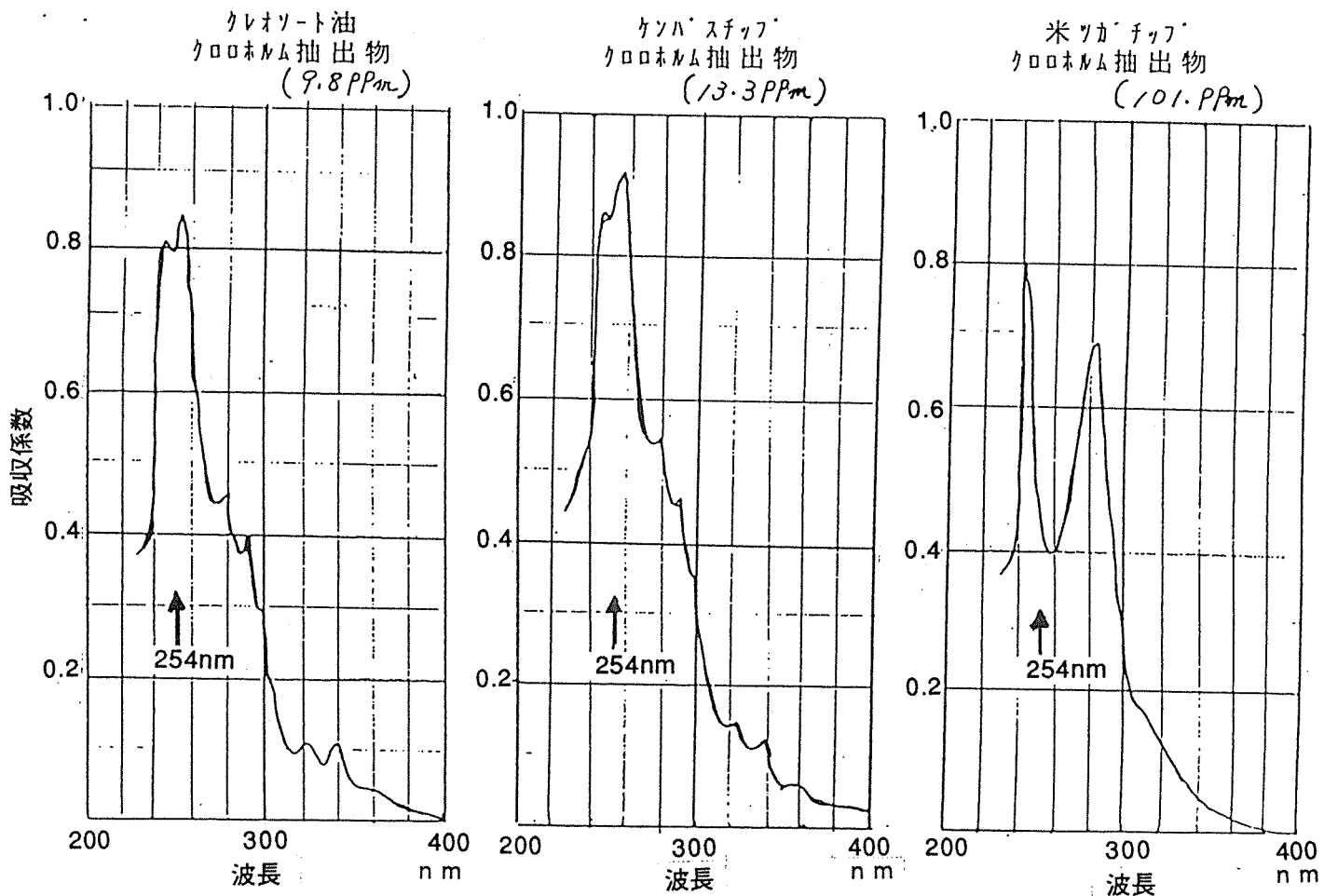


図13-2 クレオソート油、ケンパスおよびベイツガチップ各試料からのクロロホルム抽出物の分光光度計紫外外部吸収ピークパターン

ソート油を加熱処理し、同様の分析を行った。

標準クレオソートからクロロホルム抽出物および乾燥後の残さから算出されるクレオソート油有効成分は、表13-6に示されるように、いずれも60%前後を示す。これに対して、標準クレオソートを白液で処理した場合、クロロホルム抽出分が1/3余り少なくなる。標準クレオソートの成分の一部が、強アルカリ性の白液によって、他の物質に変化したり、クロロホルム不溶物または水可溶物質になるものと推定される。

2.3 結果と考察

2.3.1 Cu・Cr・Asの分析結果

故材チップ、回収黒液、未晒しパルプおよび蒸解の際に加えた白水・追加水、それぞれの試料1kg中に含まれるCu・Cr・As含有量(mg)の分析結果を表13-7に示

表13-6 標準クレオソート油の分析結果

原液	→	クロホルム抽出	→	濃縮分	W/W	63 %
原液	→	105℃ 乾燥	→	残留分		58 %
				有効成分	約	60 %
				溶剤成分	約	40 %
熱処理物		→		クロホルム抽出分	38 %	
(原液を白液で熱処理する)					対原液	

表13-7 Cu・Cr・As含有量の分析結果

	Cu	Cr	As
使用市水	< 0.5	< 0.5	< 0.1
使用白水	< 0.5	< 0.5	< 0.1
ケンパ [®] スチップ	< 2.0	< 2.0	< 5.0
ケンパ [®] ス回収黒液	< 1.0	< 1.0	< 0.5
ケンパ [®] ス未晒しパ [®] ルフ	< 10.0	< 10.0	< 1.0
米ツカ [®] チップ	600	750	1800
米ツカ [®] 回収黒液	9.3	79	180
米ツカ [®] 未晒しパ [®] ルフ	520	170	62

す。当然ながら、CCA処理されたベイツガ以外の試料にはこれらの元素の検出はほとんど認められない。

一方、ベイツガ各試料には、いずれにもCu・Cr・As成分の残存が認められる。このほかに、本実験では回収されていないので明らかではないが、フラットスクリーン洗浄時に流出した排水にも相当量の成分がふくまれているものと推定される。なお、ベイツガチップからのCu・Cr・As成分の移動バランスについては2.3.3において、詳しく論じる。

2.3.2 クレオソート油の分析結果

各試料1kgに含まれるクロホルム抽出物濃度および標準クレオソート換算量の分析結果を表13-8に示す。2.2.3でも指摘したように、ベイツガ試料については、吸

表13-8 クレオソート油含有量の分析結果

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

(単位 g/Kg チップ・パルプは絶乾重量)

収ピークパターンがクロロホルム抽出物のそれと異なるという基本的な問題のほか、抽出物に占めるクレオソート油の量が10%以下であったので、ここでは議論から除外する。

ケンパス試料については、チップ、回収黒液、未晒しパルプから得られた抽出物のうち、クレオソート油の量はそれぞれ81%、44%および67%であった。

また、表には白液処理による影響は考慮されていない。表13-6のデータによると、クレオソート油は表13-8の値の50%程度大きいものと推定できる。いずれにしても、これらの結果は未だ検討すべき問題を残しているため、定量的に捉えるよりも、定性的な結果として考えるべきであろう。

なお、ケンパスチップからのクレオソート油の移動バランスについては、2.3.3において論じる。

2.3.3 薬剤の移動経路

全乾重量300grのベイツガおよびケンパスチップに含まれる薬剤各成分の移動バランスを表13-9に示す。

表より、CCA処理されたベイツガ故材に含まれる薬剤のうち、Cuは主として未晒しパルプに残留するのに対し、CrおよびAsは回収黒液に主として残留する。一方、洗浄時に排水中に混入したと推定される未回収成分はいずれも42%~54%に達する。

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

表13-9 ベイツガおよびケンパスチップに含まれる薬剤各成分の移動バランス

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

(単位：mg/全乾チップ300g)

着しているものも多く認められた。

2.4 結論

薬剤処理故材を原料にパルプ蒸解実験を行い、以下の結論を得た。

1) CCA処理ベイツガの場合、Cuは未晒しパルプに、逆にCrおよびAsは回収黒液に比較的多く残留することが認められた。また、いずれの成分も未回収排液中におよそ50%程度残留していることが推定された。

2) クレオソート油処理ケンパス故材の場合、未晒しパルプに多く(25%)残留するが、未回収排液にもおよそ68%がのこることが推定された。

3) 本実験の結果は、今後未回収排液中の残留成分の検討を改めて行う必要があるものの、蒸解およびパルプ化工程における薬剤の移動経路を大筋で明らかにしている。いずれにしても、ベイツガのCCA成分およびケンパスのクレオソート油成分共に、蒸解後の回収黒液、洗浄水、未晒しパルプに別れて残留する。

したがって、薬剤処理廃材がパルプチップに混入した場合には、黒液回収工程、洗浄水の回収浄化工程、および未晒しパルプの使用の核段階で適切な対応を取ることが必要である。今後の製品の安全管理や工場廃液・排水処理に対する対策を講じるうえで、有益な示唆が得られたと思われる。