

平成8年度 農林水産省補助事業
木質資源利用分野開発促進対策事業費

木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書

平成9年3月

財団法人 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目次

調査研究要綱

第1章 木質廃棄物金属除去装置の開発	6
第2章 廃コンクリート型枠等を利用したボード等の開発	21
第3章 パーティクルボード製造技術の開発	53
第4章 各種木質材料の炭化による機能付与	66
第5章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能	78
第6章 炭化技術と炭化物の機能利用技術の開発	91
第7章 木炭による床下気象環境効果調査	106
第8章 木質系水産資源の開発	124

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 事業のテーマ

木質廃棄物再資源化技術開発

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。

木質資源利用分野開発促進対策委員会

(敬称略・五十音順)

委員長	中野 達夫	信州大学農学部 教授
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	東京大学大学院大学 農業生命科学研究科 教授
"	岩崎 克己	(社)日本木材保存協会 常務理事
"	神野 一弥	日本製紙連合会 資源委員長
"	川井 秀一	京都大学木質科学研究所 助教授
"	菊池 雅史	明治大学理工学部建築学科 講師
"	木下 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
"	佐々木義治	(社)日本木造住宅産業協会 産業廃棄物プロジェクト委員
"	高橋 泰一	建設省建築研究所 第2研究部長
"	高橋 利男	北海道立林産試験場 主任研究員
"	根岸 晴男	東京都清掃局 産業廃棄物指導課 主事
"	浜田 宗男	日本木材青壮年団体連合会 事務局長
"	原田 博士	全国木材チップ工業連合会 専務理事
"	東島 孝	関東木材資源リサイクル協会 会長
"	姫野 富幸	日本繊維板工業会 常務理事
"	藤井 道三	(社)全国燃料協会 専務理事
"	細貝 一則	(社)全国木材組合連合会 指導課長
"	三城 昭義	新潟大学農学部 助教授

本委員会委員以外で8年度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)

○ 再資源化技術開発

岩下 睦	日本繊維板工業会	嘱託	
堀江 秀夫	北海道立林産試験場技術部	科長	
遠藤 展	同上	企画課	課長
高谷 典良	同上	技術部	科長
橋本 裕之	同上	技術部	
梅原 勝雄	同上	利用部	科長
関 一人	同上	利用部	
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	
鈴木 滋彦	静岡大学	助教授	
白石 信夫	京都大学	教授	
木方 洋二	名古屋大学	名誉教授	

(薬品処理廃木材再利用技術開発)

今村 祐嗣	京都大学木質科学研究所	助教授	
角田 邦夫	同上	助教授	
梶田 熙	京都府立大学農学部	教授	
貫上 佳則	大阪市立大学工学部		

(建築廃材等木炭床下環境改善効果調査)

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

4 再資源化技術開発事業の枠組み

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

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

5 平成8年度の事業概要（要約、キーワード）

木質廃棄物のリサイクルをねらいとして、木質ボードへの利用、木炭としての利用等について検討した。主要事項は次のとおり。（8年度が最終年度）

①金属除去装置の開発、②廃コンクリート型枠を利用したボード開発、③構造用パーティクルボード（舗装資材）の製造、④木質廃棄物の炭化と炭化物の吸着性能、機能利用開発、⑤木炭による床下気象環境効果調査、⑥木材、セメント複合人工藻礁の開発などの事業を行った。

<キーワード>

廃棄物、廃材、炭化、金属除去、床下、吸湿、藻礁、薬品処理、電磁波、爆砕、ファイバーボード、パーティクルボード、セメントボード、セメントブロック、チップ、リサイクル、舗装資材、油吸着剤

第 1 章 木質廃棄物金属除去装置の開発

1 技術開発の目的

建築廃材には、鉄製の金具のみならず非磁性のステンレス、アルミニウム、黄銅等の金属が混在している。これらの効率的な除去は、建築廃材のリサイクルのために必要不可欠の技術である。現在、種々の技術が開発されているが、いずれも解体材を粉砕し木材中に食い込んでいる釘などを遊離した後の金属除去技術である。

建築廃材の用途に新聞用チップがあり、その製造工程には、粉砕工程ではなくチップング工程がある。チップング工程後のチップには金属が木片に食い込んでいる。従って、製紙工程中、解繊機の刃物に損傷を与えており問題となっている。

そこで本開発ではチップング後、遊離している金属のみならず金属がくい込んだ木片等の除去を行い、既存設備に簡易に設置することが出来るコンパクトな装置の開発を目的とする。

2 平成 9 年度事業内容

- (1) 基本ユニットの性能試験
- (2) 実用試作機的设计
- (3) 実用試作機の性能
- (4) 実用試作機の現地試験

3 実施内容

3・1 基本ユニットの性能試験

3・1・1 処理能力試験

基本ユニット 1 台当りの解体廃材チップの処理能力について試験した。本試験では基本ユニットに解体廃材チップが詰まることなく通過出来る最大量をもって処理能力とした。処理能力は解体廃材チップが通過する流路部分の断面積や断面形状、チップ形状により左右されると考えられる。

①試験方法

写真 1—1 にチップの代表的な形状を示す。また、図 1—1 に基本ユニットを示す。チップの供給に使用したベルトコンベアは機長 4 m、搬送速度 45 m/min である。停止したベルトコンベア上に 2 m にわたってチップを積載させた後、起動させ、基本ユニットに投入し、投入中にチップが詰まるか否かを確認した。

試験の結果、基本ユニットは処理能力 1,000kg/h であった。

②考察

チップ流路の最小断面積は金属センサーの直径 100mm であった。

一方、解体材のチップには棒状の細長いものも含まれる。チップは目開き 37 mm の篩を通るがチップ断面積が篩の目開きよりも細い棒状のチップは篩を通過してしまうことがある。棒状チップは投入経路途中でブリッジを起こしやすく投入シュートでの詰まりの原因となった。従って、実用機に搭載する分散部には、棒状チップの長手方向と流れの方向を一致させる工夫を施した投入シュートが必要であることが判明した。具体的な方法は後述する。

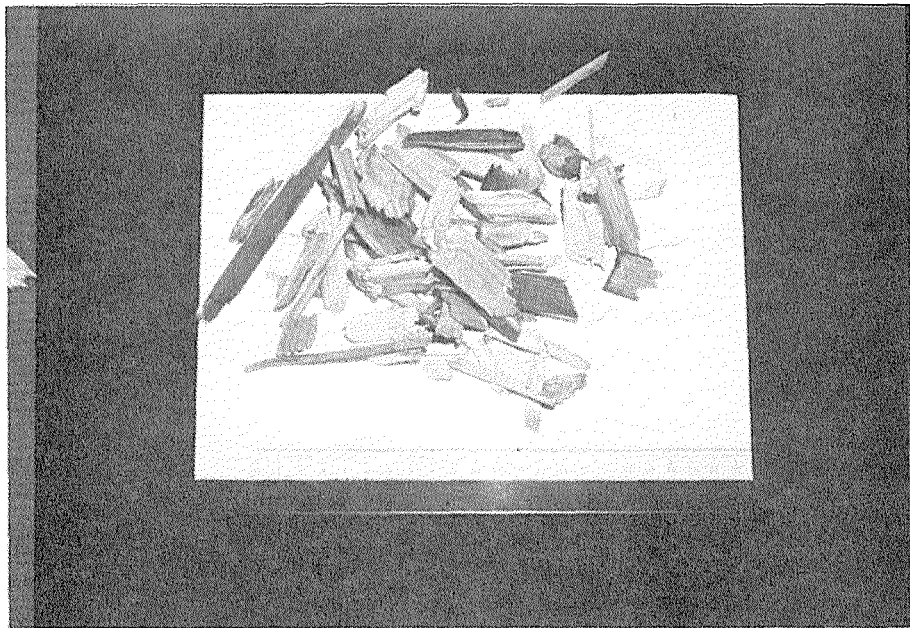


写真1-1 木質解体廃材チップ

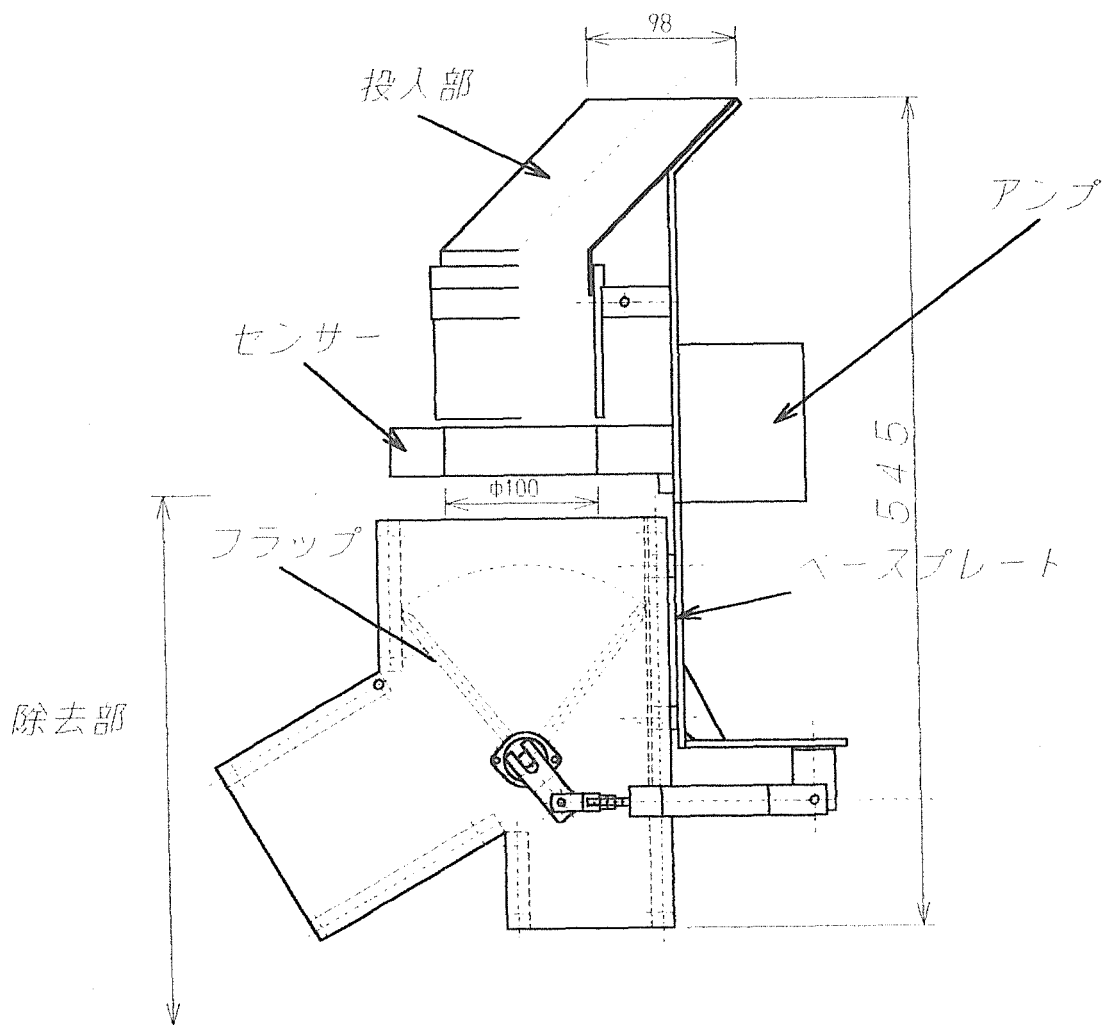


図1-1 基本ユニット

3・1・2 耐久試験

基本ユニットの除去部にはエアシリンダーを駆動源とするフラップを高速（0.1sec以下）でスイングさせるので衝撃荷重が作用する。そこで構成部品の耐久性を確認した。

装置の寿命は、チップの生産量と混入している金属の含有量によって異なるので、時間では表さず除去動作回数、即ちフラップの往復回数で評価することとした。

①試験方法

エアシリンダーのストローク両端にオートスイッチを取り付け、各オートスイッチの信号で電磁バルブを制御し往復動を与えた。往復回数は、フラップを金属センサーで検知し、その検知信号をカウンターにて測定した。

②結果

33850回目でフラップが破損した。（写真1-2）。フラップを交換後、更に試験を続行した。次に34869回目でエアシリンダーを固定するボルトが破損した。（写真1-3）。

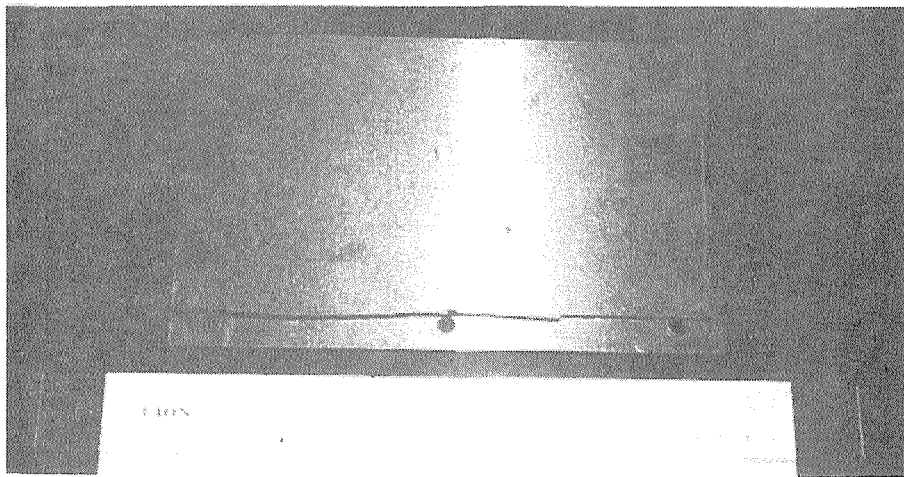


写真 1-2 破損したフラップ

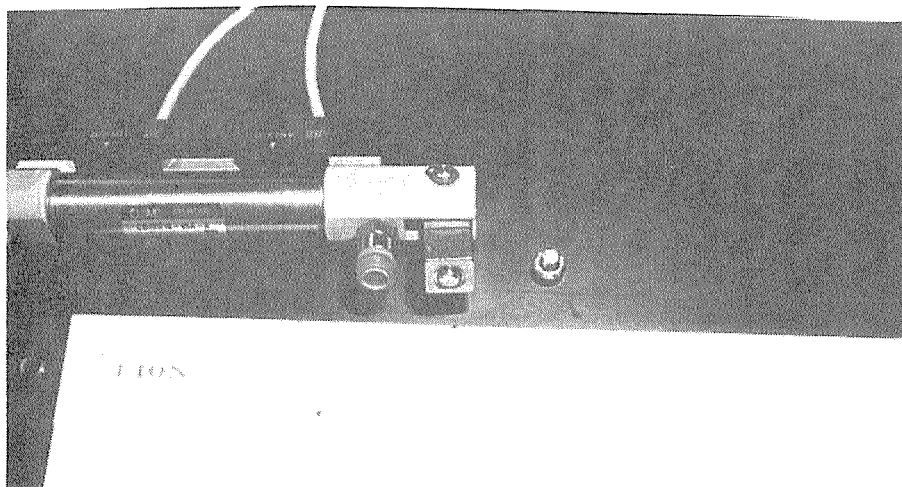


写真 1-3 破損したボルト

3・1・3 除去効率試験

①試験方法

本試験では、既知数の金属サンプルを混合したチップを除去装置に投入し、除去された金属サンプル数の混入数に対する比率で評価した。金属サンプルとして長さ15mmのガラス釘をチップに固定したものを作成した。処理能力試験と同様の構成で、ベルトコンベアにチップを積載し金属サンプル10個を混入させた。試験は10回繰り返してその平均値を求めた。

②結果

表1-1に試験結果を示す。

回数	投入数	除去数	除去効率%
1	10	9	90
2	10	9	90
3	10	8	80
4	10	10	100
5	10	9	90
6	10	10	100
7	10	9	90
8	10	10	100
9	10	10	100
10	10	10	100
平均			94%

表1-1 除去効率試験結果

基本ユニットの除去効率は、90%以上であり良好と思われる。

3・1・4 除去試験

除去部では機構上、金属以外のチップをも除去してしまうため、除去動作1回あたりのチップ排出量を求めた。

①試験方法

処理能力試験と同様の構成で、ベルトコンベアにチップを積載し、金属サンプル10個を等間隔に混入させた。チップを基本ユニットに投入し排出されたチップ重量を計測した。

②結果

試験結果を表1-2に示す。

チップ投入量(kg/h)	10回除去量	1回当たりの除去量
1000	0.33 kg	0.033 kg

表1-2 歩留まり試験結果

例えば、処理量1000kg/hの場合、10sec間隔で除去されると仮定すると1時間当たり12kgのチップが排出されることになる。

3・1・5 振動による誤動作対策

金属センサーのアンブをベースプレートに固定したが、除去動作の際に発生する振動で誤動作することがわかった。そこで、ベースプレートとアンブの間にスポンジゴムを介し

て固定した。図 1-2 に振動対策を施した部分を示す。

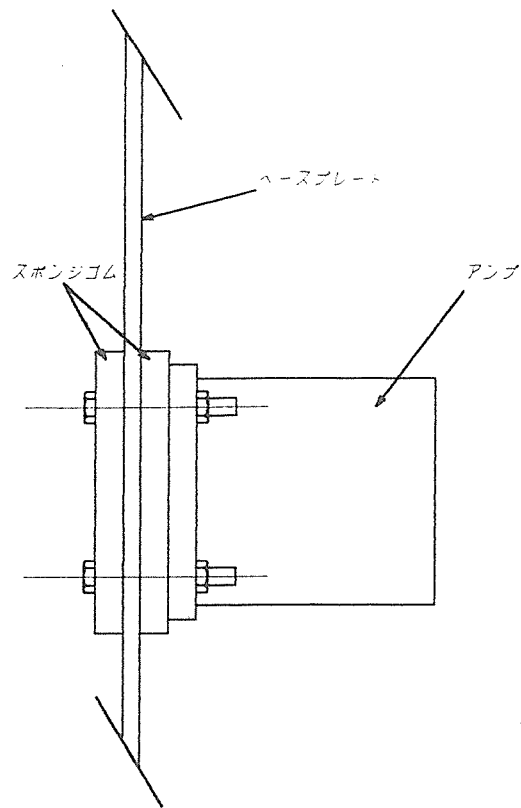


図 1-2 アンプの振動対策

以上の試験の結果に基づき、基本ユニットの性能をまとめると表 1-3 の様になる。

項目	性能	単位
処理能力	1,000	kg/h
除去効率	94	%
除去量	0.033	kg/回 at 1000kg/h
耐久性	40000	回
重量	34	kg
価格	部品のみ 150,000	円

表 1-3 基本ユニットの性能

3・2 実用試作機的设计

対象としている業者の生産量、仮設置スペース等の現地調査を行ない実用試作機を設計した。

3・2・1 仕様

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

除去量	0.033 kg (at 1000kg/h)
外形寸法	2400L×1250B×2411H
総重量	約 700kg
電源	220V(コンベア),100V(金属センサー)

装置の概観を写真1ー4に示す。装置の外形寸法を図1ー3に示す。

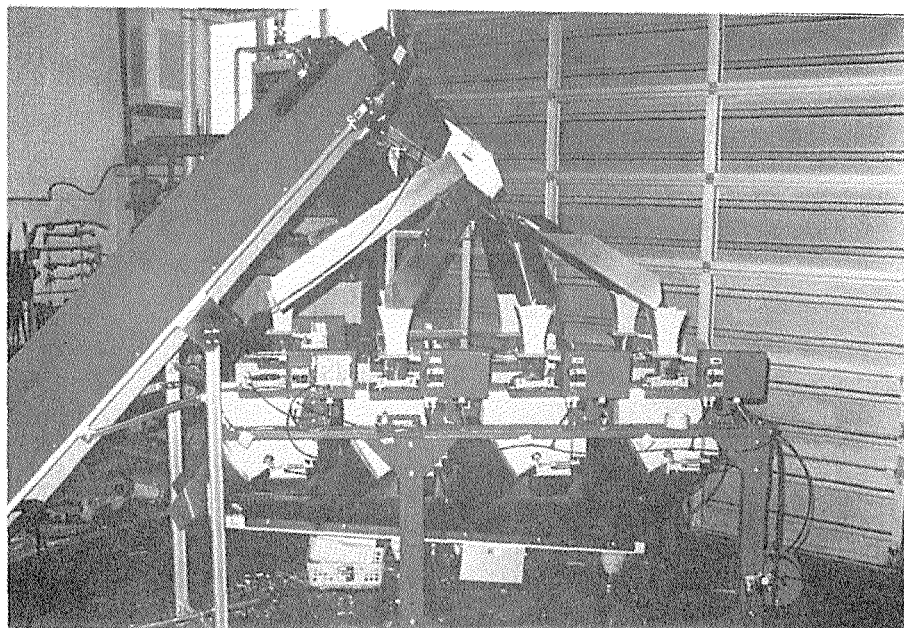


写真1ー4 実用試作機の外形

3・3 実用試作機の性能

3・3・1 分散試験

実用試作機では、ベルトコンベアから供給されたチップを8台の基本ユニットへ分散させる。分散部では棒状のチップがブリッジを生じさせないためU字断面とした。チップを分散させる際、各基本ユニットへの供給量に偏りがあると処理能力オーバーとなってしまうおそれがある。そこで、分散部での分散の偏りの程度を試験した。

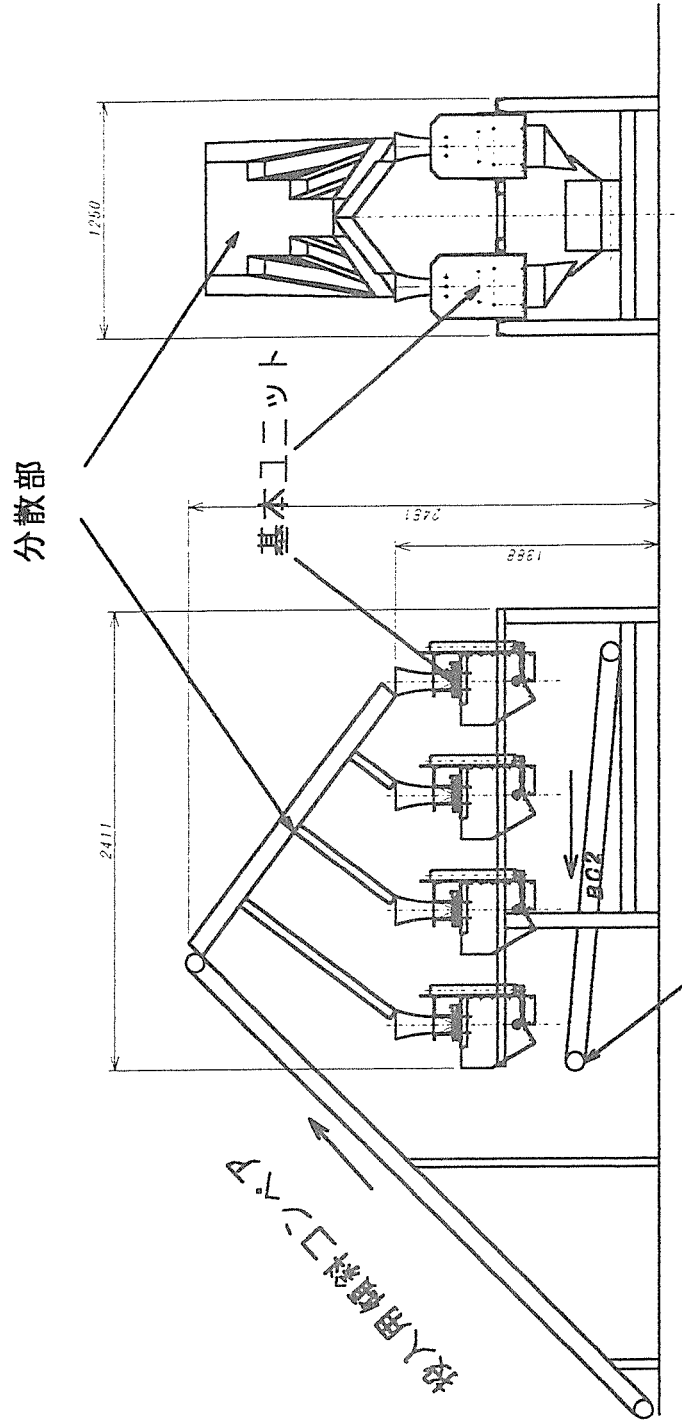
(1) 試験方法

供給用ベルトコンベアを停止させた状態でチップ11.23kgを積載させた後、起動させ分散部へチップを投入した。その際、各基本ユニットを通過するチップの重量を測定した。この操作を10回繰り返し平均を求めた。

(2) 試験結果

表1ー4に試験結果を示す。各基本ユニットに番号を割り当て、それぞれの基本ユニットを通過したチップ重量、投入重量に対する通過量の割合及び理論分散割合である12.5%に対する差を示した。

試験の結果、各基本ユニットにおける通過量の理論値に対する差は-2.43%～+3.5%の範囲にあり均等に分散されることがわかった。



排出用水平コンベア

図1-3 実用試作機の外形寸法図

基本ユニット NO.	通過量の平均 [kg]	通過量の最大 [kg]	通過量の最小 [kg]	通過量の割合 [%]	差 [%]
1	1.14	1.32	0.86	10.07	-2.43
2	1.20	1.31	0.91	10.06	-1.9
3	1.37	1.41	1.12	12.10	-0.4
4	1.53	1.60	1.48	13.50	+1.0
5	1.53	1.63	1.38	13.50	+1.0
6	1.73	1.88	1.46	15.30	+2.8
7	1.02	1.22	0.98	9.01	-3.5
8	1.89	1.98	1.76	15.9	+3.4

表 1—4 分散試験結果

3・3・2 除去効率試験

既知数の金属サンプルを混入させた廃材チップを用い実用試作機による金属の除去を試みた。基本ユニットに対する除去効率試験と同様、混入金属サンプル数に対する除去された金属サンプル数の割合で除去効率を評価した。

(1) 試験方法

供給用ベルトコンベアを停止させた状態でチップ 11.23kg を積載し、これにガラス釘（鉄製、 $\Phi 0.9 \times 13.4$ ）を固定させたチップ 20 個を金属サンプルとして混入させた。コンベアを起動させ、実用試作機へチップを投入した。その際、各基本ユニットから排出された金属サンプルの数量をカウントした。この操作を 10 回繰り返し平均値を求めた。写真 1—5 に金属サンプルを示す。



写真 1—5 金属サンプル

(2) 試験結果

表 1—5 に除去効率試験結果を示す。これによれば、除去効率は 77% であった。基本ユニット単体での除去効率は 94% であったにもかかわらずこれを下回ったのは以下の 3 つの理由によるものと推定される。

- ① 分散部において各基本ユニットへ導くシュートの角度が異なることによるチップの落下速度のばらつきが除去動作のタイミングと一致しないため。
- ② フラップにはじかれたチップが除去装置内で反射しチップ流側へ飛び込んだため。
- ③ 金属センサーの中央部にある低感度領域を通過したため。

表中には金属センサーが検出した回数も表記してある。検出回数の合計が混入数より多いのは、除去動作においてフラップがスイングする際にチップが上方の金属センサー方向にはじかれ再び検出されたものと思われる。

また、検出回数の合計が混入数に満たないのは複数の金属同志がお互いに接近した状態で金属センサーを通過し 1 個の金属とみなされたためと思われる。

3・4 実用試作機の現地試運転

実際の解体廃棄物中間処理工場に実用試作機を設置した。工場では、解体廃棄物の内、木質系のみを受入れてチップに加工している。ボルト等の大きい金属はチェーンソーなどの機器を用いて人手により除去している。釘、タッカー等の小さい金属は除去せずにチップパーに投入される。チップング後、篩に送られ粒度がそろえられる。その後、磁選機で磁性金属を除去し貯蔵庫に貯えられる。本装置を磁選機の後段に据え付けて以下の試験を行った。

3・4・1 誤動作の確認

(1) 電磁波ノイズ

本装置の設置位置から半径 5 m 以内に大型のモーターや強力な電磁石があるので金属センサーのアンプに影響を与える可能性がある。そこで、本装置の電源を投入後、他設備を起動させた。

その結果、他設備からの電磁波ノイズによる誤動作は生じなかった。

(2) 振動による影響

工場内の振動源として、チップパー、篩があり金属センサーのアンプに誤動作を生じさせる可能性があった。そこで、工場を通常の操業状態にした中で本装置を起動させた。

その結果、何ら誤動作は起きず安定であった。

3・4・2 現地試運転

本装置をラインに組み込んだ状態で通常の操業 (8t/h, 58m³/h) を行った結果、次の問題が生じた。

(1) 分散部でのチップの詰まり。

原因として、分散部でのチップの滑落の際、チップ表面の水分が分散部に付着したことにより乾燥状態よりも摩擦係数が大きくなったためと思われる。一般に廃棄物は屋外で保管されており雨水、雪にさらされ高含水率になっている。また、チップングの際、火花発生に伴う発火防止のため水道水を刃物にかけておりチップ表面が水で覆われている。生産されているチップの含水率を測定したところ 46% であった。

また、工場の気温が -12℃ であったことから分散部のシュート表面に付着した水分によっ

回数	基本ユニット番号	1	2	3	4	5	6	7	8	計	確率 [%]
1	検出回数	1	2	2	2	7	4	0	1	20	100
	除去数	1	1	1	2	8	3	0	0	16	80
2	検出回数	0	3	1	4	1	2	2	5	18	90
	除去数	0	4	1	4	1	1	1	5	17	85
3	検出回数	0	0	1	4	0	2	1	16	24	120
	除去数	0	0	1	3	0	2	0	11	17	85
4	検出回数	0	1	1	4	1	4	2	7	20	100
	除去数	0	0	1	4	1	2	2	6	16	80
5	検出回数	0	0	2	5	0	3	3	8	21	105
	除去数	0	0	1	5	0	0	1	5	12	60
6	検出回数	2	1	3	4	2	4	1	1	18	90
	除去数	0	1	3	3	2	2	1	1	13	65
7	検出回数	4	2	0	3	2	4	2	2	19	95
	除去数	2	2	0	3	2	3	1	1	14	70
8	検出回数	4	2	0	4	5	3	1	1	20	100
	除去数	4	2	0	4	5	1	1	1	18	90
9	検出回数	3	2	2	2	4	3	1	3	20	100
	除去数	2	2	2	1	3	2	1	2	15	75
10	検出回数	3	3	2	1	3	2	1	0	15	75
	除去数	3	3	2	1	3	1	3	0	16	80
平均	検出回数	1.7	1.6	1.4	3.3	2.5	3.1	1.4	4.4	19.5	97.5
	除去数	1.2	1.5	1.2	3	2.5	1.7	1.1	3.2	15.4	77

表 1—5 除去効率試験結果

て凍結したことも原因である。

従って、チップに付着した水分に影響されない分散部の検討が必要と考えられた。そこで、振動を利用した振動フィーダーを製作した。これについては後述する。

(2) 除去されたチップ中に金属が確認出来ない場合がある。

原因はチップに含まれている水分による金属センサーの誤動作であることがわかった。

このことは、金属がないにも関わらずチップが除去されるので歩留まりを低下させる要因となる。そこで、金属が混入していない浸潤チップを通過させ、誤動作が生じない程度まで金属センサーの検出感度を調整した。この状態での検知可能な最小金属の大きさは直径 1.5mm 長さ 22mm の鉄製ガラス釘が限界であった。

本装置に採用した金属センサーは高周波発振式のものであり図 1-4 にその構造を示す。1 個のコイルに高周波電流を流し、コイル周辺に高周波の交番磁界を発生させる。金属が接近すると金属内に渦電流が発生しコイルのインダクタンスおよび発振周波数が変化するので、これを検出している。この原理では水分に含まれる鉄分、イオン等によりコイルに同様の現象をもたらす。チップ含水率の影響について調べた結果、含水率 8% では誤動作が起こらなかったが含水率 15% 程度では、通過チップ量が多ければ誤動作を招くことがわかった。

従って、低含水率の粉碎物に対しては良好な除去性能が期待できるものと考えられた。

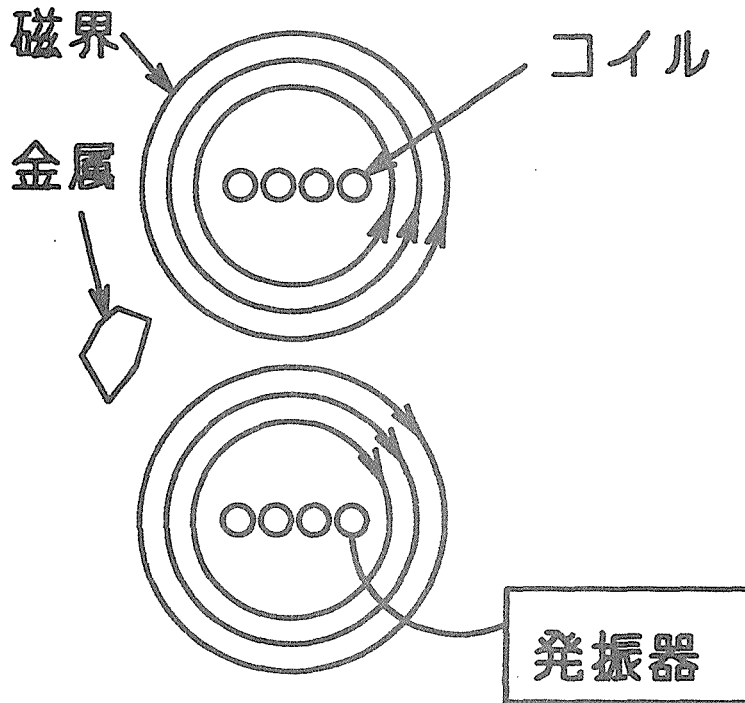


図 1-4 高周波発振式金属センサー

高含水率品に対する対策として高価ではあるが差動コイル方式を用いた金属センサーがあり、検出原理を図 1-5 に示す。これは、1 つの送信コイルと 2 つの受信コイルから構成される。発振コイルと受信コイルの間に存在する交番磁界内を金属が通過するとき 2 つの受信コイルの間に位相差および電位差が生じる。あらかじめ金属を含まない製品を通過

させ、受信コイルに発生する信号を基準とすることによって、製品に金属が混入したさいの高精度な検出が可能となる。

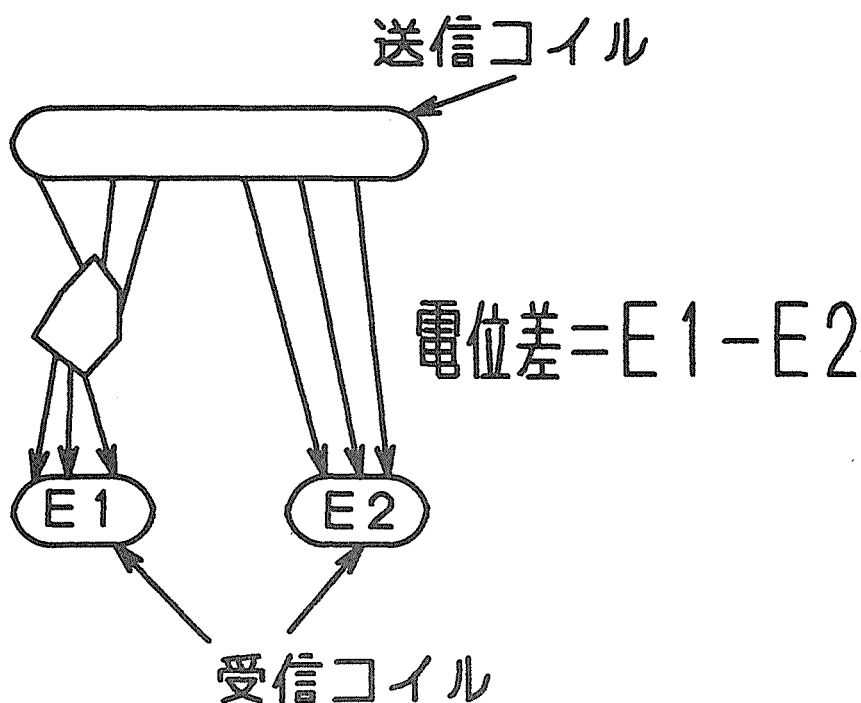


図 1-5 差動コイル方式

3・4・3 分散部の改良

当初、分散部の原理として動力を必要としない重力を利用したシュートを検討したが、水分、凍結による滑落不能を招いたことから寒冷地でのシュート搬送は採用出来ないと判断し、動力を用いた分散部を再検討した。再検討した分散部は圧縮バネで支持されたプールの底面裏側の中央部に振動モーター（容量 0.21Kw, 2800v.p.m）を取り付けた振動フィーダーとした。コンベアから落下したチップは、一旦“へ”の字状のセパレーターで2方向に分岐され、振動フィーダー内で拡散される。拡散したチップは振動フィーダーの底面に設けられた穴から基本ユニットへ落下する。

振動を利用することによりチップに含まれる水分の影響を回避することが出来ると考えた。製作した分散部の外形寸法を図 1-6 に、また全景を写真 1-6 に示す。

振動フィーダーを用いて分散試験を行なった結果、セパレーターの2個所の落下地点でチップが平滑にならず滞留したため特定の基本ユニットに集中した。この原因は、振動モーターの容量が不足によるものと思われた。また、処理能力を測定した結果、振動モーターの容量が不足のため 4620kg/hにとどまった。

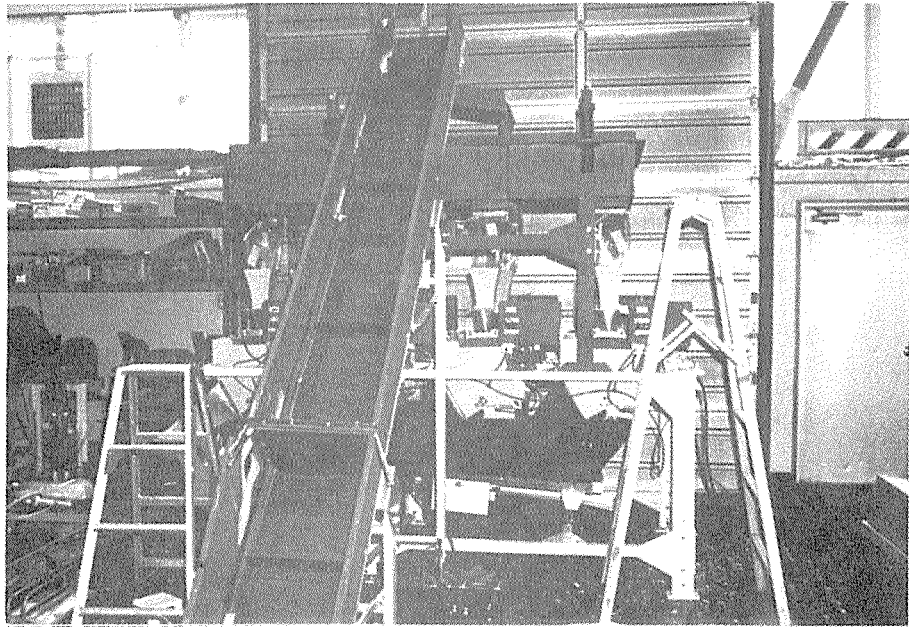


写真 1—6 振動フィーダーを取り付けた実用試作機

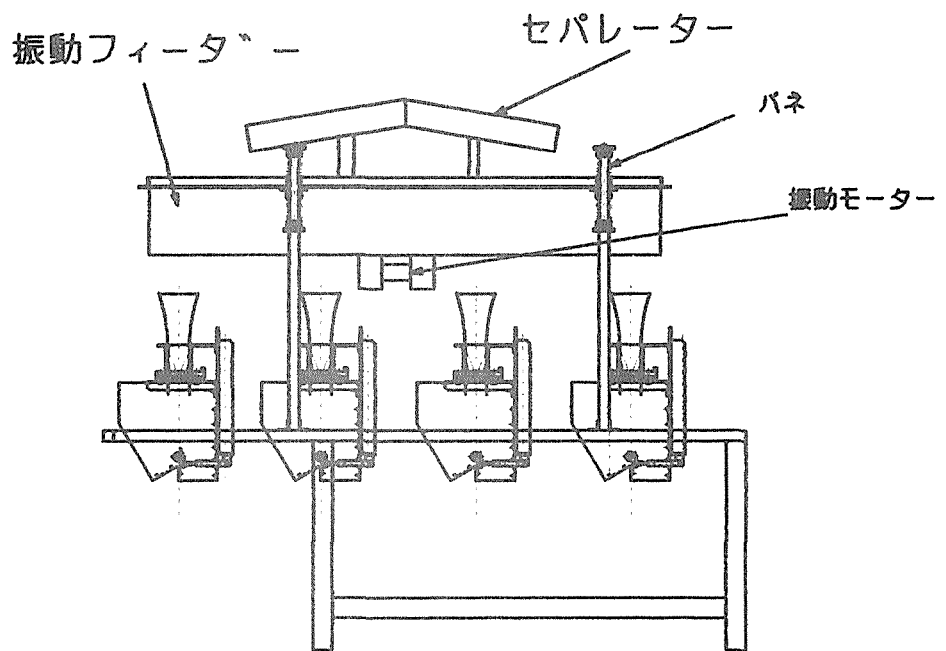


図 1—6 振動フィーダーを取り付けた実用試作機

4 今後の課題

(1) 耐久性

設計上、曲げ荷重を受ける部品に対して圧縮・引っ張りを受けるように設計変更が必要と考える。

(2) 高含水率対策

本装置に採用した金属センサーは検出原理上、水分に対して誤動作が生じた。従って、他方式の金属センサーを検討する必要がある。

(3) 除去効率の改善

除去効率が100%に達しない理由は3つあると考えられた。各々について以下の対策が必要と考える。

① 落下速度のバラツキによる除去タイミングのずれ。

- ・一定高さからの落下
- ・ベルトコンベアによる定速送り中での除去操作

② チップのフラップ内での反射

- ・除去機構の再検討

③ 低感度領域の通過

- ・矩形通過領域を有する金属センサーの採用
- ・チップ通過領域の限定機構の追加

(4) 分散部の改善

平成7年度木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書にて検討した方式および他の方式との複合的方式を再検討する必要がある。

(5) 除去物の再処理

金属センサーを用いた方式では除去の際、金属周辺のチップをも除去されてしまう。従って、歩留まりを高めるには除去物の再金属除去処理を必要とするのでその方式の検討を要すると考える。

(6) 含水率と検出感度の関係

原料含水率に対して金属センサーが誤動作しない検出感度設定を明確にする必要がある。また、最高検出感度で使用できる原料含水率の範囲を明確にする必要がある。

(7) 低含水率な木質廃棄物に対する適用

本研究で試作した装置に採用した金属センサーは低含水率の粉碎物に対して威力を発揮できるものと思われる。従って、チップ工場のみならず含水率の低い原料を扱っている工場に実用試作機を設置し稼働試験をすることにより現状の性能範囲での実用化の可能性に関する検討が考えられる。

5 まとめ

木質廃棄物金属除去装置の開発を通して以下の結果が得られた。

(1) 含水率の高いな粉碎物の金属除去には以下の2点を注意すべきである。

- ・重力を利用したシュートの採用には凍結、傾斜角度、振動による補助が必要である。
- ・金属センサーの水分による誤動作、感度低下の対策として高周波発振方式以外

の金属センサー原理の検討が必要である。現在のところ差動コイル方式の金属センサーが有望である。

(2) 低含水率粉碎物に対する本装置の適用の可能性は十分ある。

第2章 廃コンクリート型枠を利用したボード等の開発

まえがき

平成八年度の計画として、次の3項目の技術開発を試みた。

コンパネ廃材の炭化物を用いた、簡易な電磁波遮蔽性能を持つセメントボードの開発。

コンパネ廃材を用いたバインダーレスのファイバーボードを製作し、コンパネとして再利用する技術開発。

コンパネ廃材を用いた軽量セメントブロックの製造の技術開発。

これらは、いずれも実用サイズのもの試作とし、建築あるいは土木の現場において施工を行い、評価をおこなった。

電磁波遮蔽性能については、金属材料のような伝導体を用いても完全に遮断することは極めて困難である。もとよりこの様な電磁波遮断を期待したわけではない。通常の建築の場における、指向性をもつテレビ電波のごときものの遮蔽を期待したのであるが、極めて軽度の効果しか得られなかつた。静電気障害の軽減も期待されたが評価方法が定まらず結果をえていない。

コンパネ破砕チップを用いて得られた、爆砕ファイバーを熱圧したバインダーレスボードと、薄い合板の組み合わせによる、再生コンパネは、現状における産業化が可能であるものと思われる。針葉樹合板コンパネにおけるがごとく、離形シートをオーバーレイすることが必要であろう。

破砕チップによるセメントブロックの製造は、既成のバイコン製造設備を用いて行い得る点で最も産業化に近い技術である。今後、種々の形に変形させた製品が考えられよう。例えばエキスパンドメタルによる強化ブロック等色々の製品化が期待できる。軽量であることに大きな特徴がある。

1 電磁波遮蔽、廃コンパネ炭化チップセメントボード

1.1 はじめに

電磁波の完全な遮蔽はなかなか困難である。身近な事例では、高周波ウエルダーにより発生する電磁波による障害を、完全に防御する為の遮蔽室の設計には、銅板、鉄板、亜鉛メッキ鉄板、アルミ板等の他、金網等をつかい、特に扉には気をつけた設計がなされる。さらには、電力線の電源濾波器までが要求される。(関東雑音防止協議会)。

また、電磁波遮蔽材料には、直流、交流ともに、夫々の抵抗値と電磁波減衰率(アドバンテスト社製評価機)との間に強い相関があり、電磁波遮断材料には少なくとも200オーム以下の直流抵抗が必要であるとされる。(愛知県工業技術センター)。

またその効果の絶対評価は、電界強度計（FIELD INTENSITY METER）を用いておこなわれるが、未だ測定のおこない。

1、2 電磁波遮蔽、廃コンパネ炭化チップセメントボードの製造

コンパネを簡易な方法により炭化したものを粉末化し、市販のセメントボードに混入した炭化チップセメントボードを試作した。通常は木材フレークを重量%で30%混入したものが製品化されている。炭化したチップの混入は、製品の永続的利用を狙ったものであり、その断熱性は向上する。以前の報告の通りである。

配合比率は、PCセメント	59、6%
木炭（コンパネ廃材）	10、0
硬化剤（塩化マグネシウム）	1、4
木材フレーク	29、0
硬化条件	室温、15－24時間
養生条件	養生期間、5日間
サイズ	455X909X15mm
比重	1,10
初期含水率	44,0%
F、C、F	単層
枚数	12

コントロールとして、備長炭の粉炭を混入したボード（炭10%、木材フレーク20%）と、市販製品であるチップセメント板（木材フレーク30%）を同様な条件で夫々12枚ずつ作った。このさい備長炭のものは炭片を大きくした。すなわち10mm篩を通過したものとした。これは、電磁波遮蔽効果における電波の反射を期待した試みである。

1、3 実験

電磁波の本格的な遮断は困難である。今回はテレビ電波のごとき指向性のある電波を、そのアンテナを囲うことにより、材料の遮断性能の有無を評価した。

アンテナに夫々の材料で作った箱を被せ、テレビの画像に乱れが生ずるか否かを見た。今回用いたアンテナは屋内用のものであり、屋外用の、より指向性に富んだアンテナを用いるべきであった。効果がより鮮明になる事が期待できたであろう。

1、4 結果

1、4、1 炭チップセメントボードの色調について

炭の粉末を混入することにより、木片セメントボードの断熱性が向上することは前回までの結果として知られている。また、セメントボードとして、ボードの地の色が濃くなる事により、塗装加工の色調によつては、より好ましい地色となる。実用サイズの大きさの炭チップセメントボードを作ることができた事により、前回までの実験的な結果を一歩進める事ができた。

1、4、2 電磁波遮蔽性の確認テストについて

直流電気抵抗の測定結果、コンパネ炭セメントボードでは殆ど無限大に近い数百オウムの抵抗値がえられた。その他のコントロールの備長炭セメントボード、市販の木片セメントボード、合板では無限大の抵抗値をえた。炭の粒子の間に繋りがなく電気伝導性が出ないものと思うわれる。

この炭チップセメントボードは、他のコントロールのボード共々、材料としての電磁波遮蔽性能は期待できない結果となった。

実際のテレビ電波遮蔽テストでは、420x450x865 mmの箱を作りアンテナの四方を囲う、さらに上部も蓋をする試験を行った。結果、炭チップセメントボードは他のコントロールボード共々テレビ映像に影響することは無かった。ただ、コントロールの備長炭セメントボードでアンテナを囲い、その近くに人が立つと、画像に乱れを生じた。このことより、備長炭セメントボードでは、いくらかの電磁波遮蔽効果があるものと思われた。このボードでは、炭の粒の大きさを、大きくしており、電波の反射を期待していた。

炭の添加率、大きさ、形状など検討すれば、よりよい結果がえられる可能性がある。

1、5 まとめ-将来に向けて

今回は試作できなかつたが、(1)より大きな粗い炭粒を用いた廃コンパネ炭化チップセメントボードを作り、最適な炭のサイズを見出す。(2)より高温焼成した炭を作り、炭自体の伝導性を高める、(3)炭の添加率を高める試みをすべきであろう。

(1)は今回の結果をふまえて、電波の反射を期待するものであり、(2)、(3)は加えて、伝導性能による遮蔽性の向上を目指すものである。

評価方法がきまらなかつた、静電気軽減効果についても結論を得たい。。

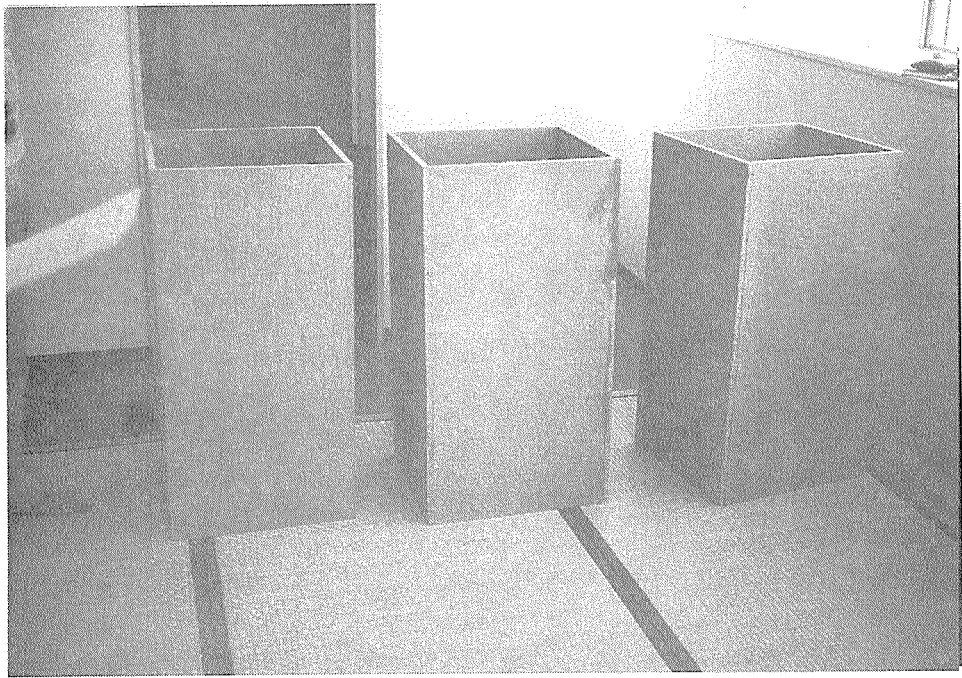


写真1-1 廃コンパネ炭化チップセメントボードによる電磁波遮蔽試験
右から、炭化チップセメントボード、木片セメントボード、合板。



写真1-2 画像の乱れなし。木片セメントボードによる遮蔽。

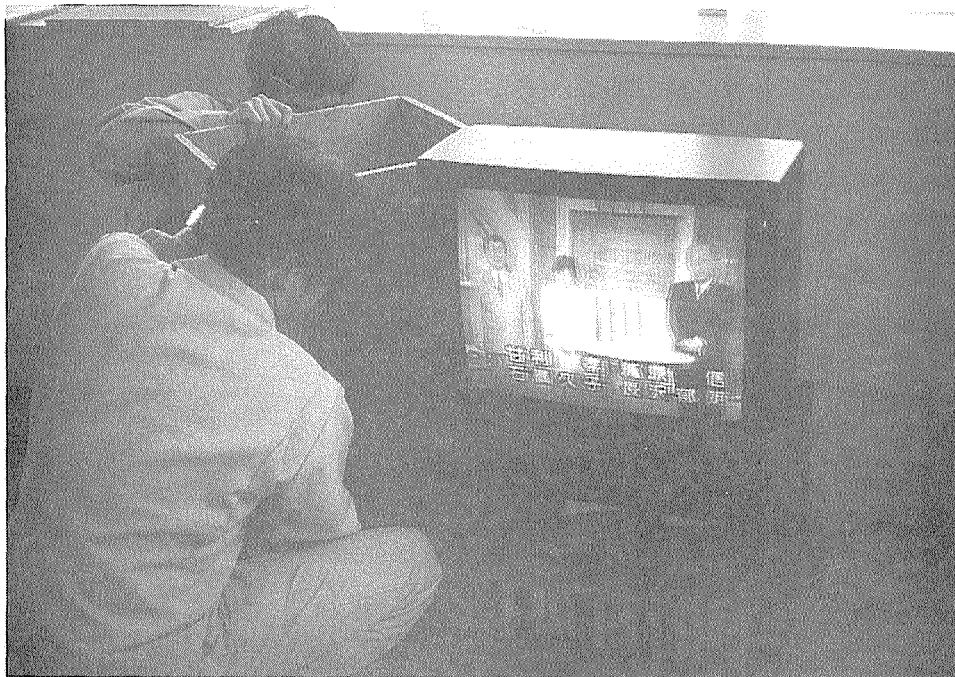


写真1-3 画像の乱れ、少々。備長炭粉末セメントボードによる遮蔽。

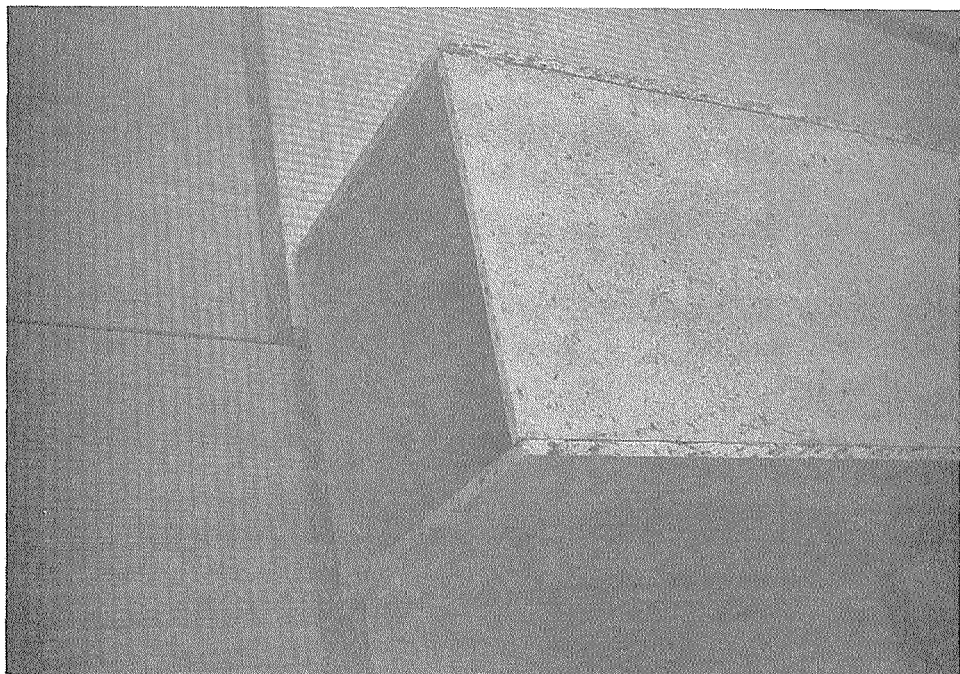


写真1-4 備長炭粉末セメントボード。アンテナ遮蔽用ボックス。

2 廃コンパネ爆砕ファイバーによる再生コンパネ

2、1 廃コンパネ爆砕ファイバーによる再生コンパネの製造

コンパネ廃材を名古屋港木材倉庫ピンチップ工場において、工場規模で破砕チップとし、岐阜県寒冷地林業試験場に設置されている、タカハシキカン製の爆砕機で繊維化し、その繊維をニチハの高温プレスで熱圧してファイバーボードとした。

爆砕条件は、230 ° C、1 min で、得られた繊維を乾燥し、230 ° C、1 min/mm で熱圧しボードとした。製造したファイバーボードは、90x90 cm、3 mm 厚のもの2枚である。

このファイバーボードを4 mm 厚さの合板 2枚と重ねて、松栄化学のUW-1500を主剤とし、ハードナーU1、を硬化剤として、100対15に混合した接着剤を用いて冷圧により11 mmの厚さに接着し再生コンパネとした。

爆砕手法を用いたのは、廃コンパネチップには砂、金属等異物の混入があり、刃物による繊維化が出来ないためである。

製造したファイバーボードの強さ等は次の通りである。なおコントロールとして、ゴムノキ鋸屑、針葉樹チップ、もみ殻等を用いたファイバーボードを作った。。

表1 爆砕手法で繊維化し、熱圧のみにより製造したファイバーボードの強さ

原料廃材	比重	曲げヤング 係数 x1000 kg/cm	曲げ強さ kg/cm
コンパネ廃材-1	0,68	2,4	40,2
-2	0,67	4,8	38,5
ゴムノキの鋸屑-1	0,58	3,8	20,3
-2	0,65	3,7	22,2
-3	0,73	7,9	48,0
-4	0,79	21,8	100,4
-5	0,91	22,0	135,1
ゴムノキプレーナ屑	0,81	15,0	96,4
もみ殻-1	0,85	17,1	42,2
-2	1,01	23,3	113,6

3点曲げ試験。

スパン 8 cm

荷重速度 5mm/min

表2 爆砕手法で繊維化し、熱圧のみにより製造したファイバーボードの材質

原料 針葉樹	比重	曲げ 強さ	厚さ mm	吸水試験-1 20 C, 24h			吸水試験-2 70 C, 2h			吸水試験-3 Boiling 70h		I B kg/cm ²
				TS%	WA%	vs%	TS%	WA%	VS%	TS%	kg/cm ²	
Nチップ-1	0, 59	71, 6	4, 0	18, 6	67, 3	20, 9	30, 6	136	34, 0	46	3, 5	
-2	0, 61	83, 4	4, 0	18, 5	64, 4	19, 9	34, 2	130	37, 3	44	3, 3	
-3	0, 75	53, 0	3, 6	9, 5	27, 4	-	11, 5	84, 7	-	-	4, 0	
-4	0, 80	167	6, 0	39, 1	78, 0	43, 2	205	310	160	分解*	2, 0	
-5	1, 05	420	2, 5	20, 7	30, 2	22, 5	27, 8	38, 6	29, 8	47	25, 3	
-6	1, 07	363	3, 5	14, 7	24, 3	16, 4	20, 6	39, 0	22, 3	34	20, 5	
市販ボード 接着剤使用	0, 74	415	2, 5	24, 5	67, 5	26, 3	68, 5	130	72, 3	分解	6, 4	

TS = 厚さ膨張率、WA = 吸水率、VS = 体積膨張率、I B = 層間剥離抵抗

* Nチップ-4 熱圧温度 180°C、他の熱圧温度 220°C

2、2 結果

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

危惧されたことではあるが、コンクリート表面に少し硬化不良が見られ、隣接のラワン合板型枠での成型面に比べて見劣りした仕上がりとなった。硬化不良の著しい箇所では、ファイバーボードの表面が剥離し、コンクリート面に付着していた。ファイバーボードの層間剥離抵抗が弱かったためであろうと思われる。手作りによるフォーミングのための比重のむらの結果である。表1、2に見られる通り、比重が0,8を越えることにより、ファイバーボードの曲げ強さとともに、層間剥離抵抗は著しく向上する。

今回は合板の比重に近づけるために、設定比重を0,70としたために、強度的に不足したものと思われる。型枠取り外し作業において、ボードの端が破壊する場面が見られた。

比重0,70にもかかわらず、施工現場での評判は、重いということであった。実際の重さは殆ど変わらないはずであった。

2、3 まとめ－将来に向けて

今回はあえて、爆砕繊維による再生コンパネを直接コンクリートに触れる表面としてコンクリート打設現場で使用した。結果は予想された通りセメントの硬化不良を生じた。

しかし、このテクニックは廃コンパネをハンマーミルでチップとし、爆砕することにより繊維とし、乾燥後、フォーミングして熱圧してボードとして完成する。この間接着剤等は何も使用しない。また熱圧に際し、成型したり、表面に模様を入れたりすることは容易である。設備的にも爆砕機、熱圧プレス、熱源ボイラーで足りる。勿論リファイナー、フォーミングマシン、乾燥機も必要であろう。今回は天日乾燥、手によるフォーミングである。篩を使用したガリファイナーは無い。

なによりの特徴は接着剤、接着操作をとみなわない事である。大変な利点である。

(1) 今回の様に、厚さの薄いファイバーボードを作り、表面に、あるいは両面に薄い合板を貼ることにより再生コンパネとするときは、材積の1/2 ないし 1/4を再生コンパネとすることができる。この方式はファイバーボードを作り、再度プレスで合板と接着するという二度手間が必要でありコスト的に必ずしも安くはならない。しかも少し重くなる。しかし資源のリサイクルは果たされる。

(2) 発想を少し変えて、思い切り厚いファイバーボードを作る。30mmあるいはそれ以上のものとし、角は金物で補強した最初から重機を使用することを想定した、土木用の再生コンパネ、例えば600x2000x30 mmといったバタ角材不要のコンパネ等、自立するもの、あるいは、建物一階の高さを一枚でカバーするもの等が考えられよう。使用に際しては針葉樹合板コンパネでの如く、離型シートをオーバーレイすることが必要である。

(3) 既製品として利用のある亀甲フォーム（旭ケイフォーム）などの、金属型枠の金属板の替わりの材料としてこの再生ファイバーボードを使用することが考えられる。より実用化は容易であろう。表面に型をつけるなどの製品はプレス型だけのことであり、複数の型によるデザイン等色々と考えられる。ファイバーボードの利点であろう。離型シートをオーバーレイして用いる。

今まで、ファイバーボードがコンパネとして使用できなかつたのは、型枠脱型時に扱いは方によって、ボードの角が欠けることがおきるためである。(2)、(3)におけるが如く、周囲に金物の枠をつけることによりファイバーボードのコンクリート型枠としての使用は可能となる。

(4) 再生コンパネから離れて、通常ファイバーボードとしての利用は勿論可能である。この爆砕テクニックでは接着剤、接着操作は不要であり、より簡易な設備で生産可能である。

合板コンパネの性能は極めて優秀であり、再生コンパネは、合板コンパネと対比される

には、少し難点がある。再生コンパネの発想から離れる必要があるかもしれない。

しかし、業界内部での廃材の発生、回収、再資源化、利用、さらに販売までも考えた場合、(2)、(3)といった合板コンパネとは別のコンパネ化が検討されるべきであろう。

或いは、普通のボードとして、生産したものを自分の現場において使用することを考えるべきであろう。

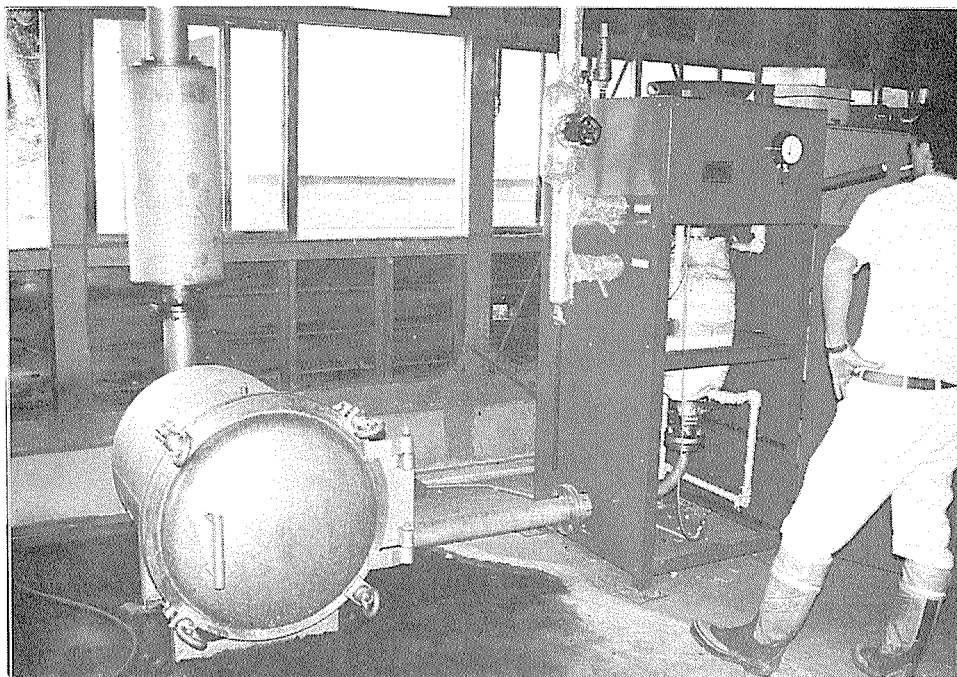


写真2-1 爆砕装置。右、爆砕機。左、繊維受け罐。



写真2-2 廃コンパネ破碎チップ。

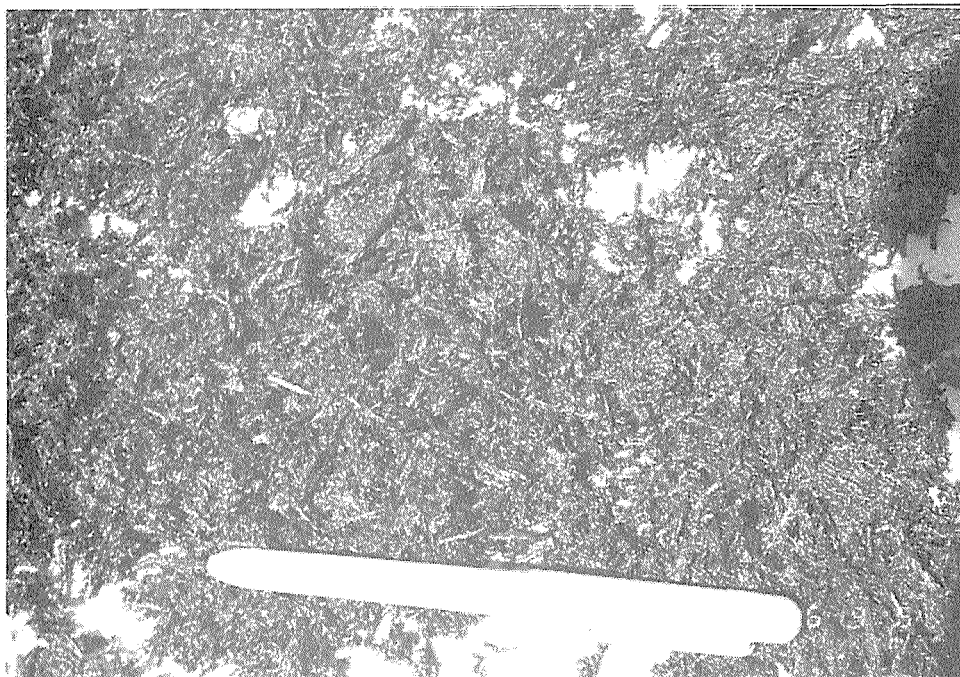


写真2-3 爆砕繊維



写真2-4 繊維の乾燥



写真2-5 ファイバーボード製造、フォーミング。

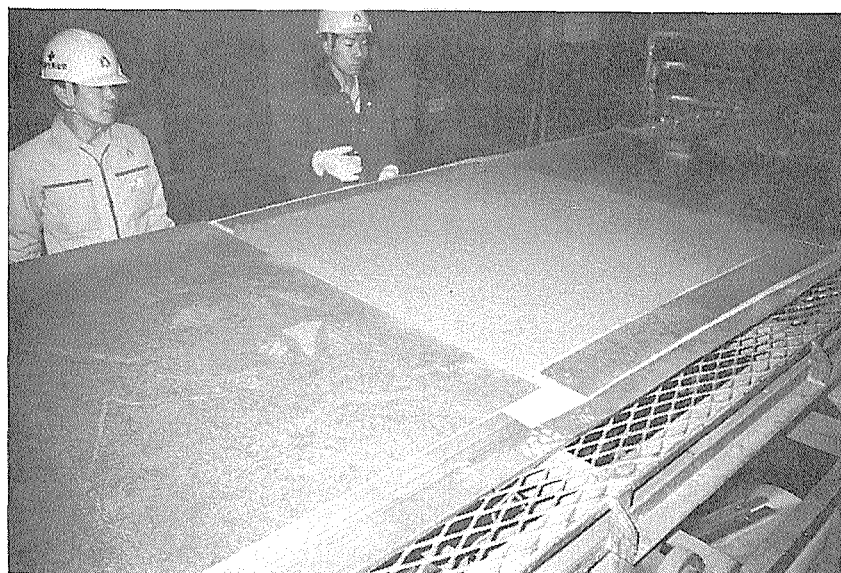


写真2-6 ファイバーボード製造、フォーミング完了。

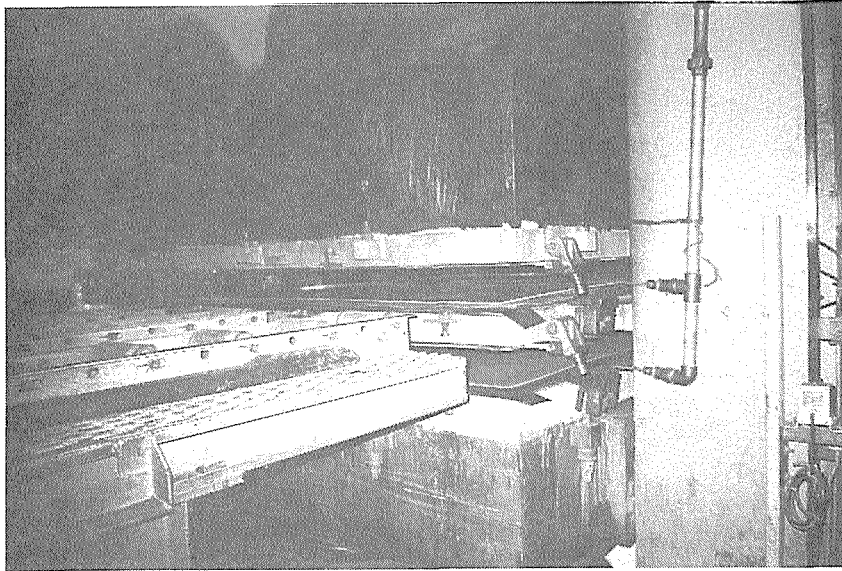


写真2-7 ホットプレス。

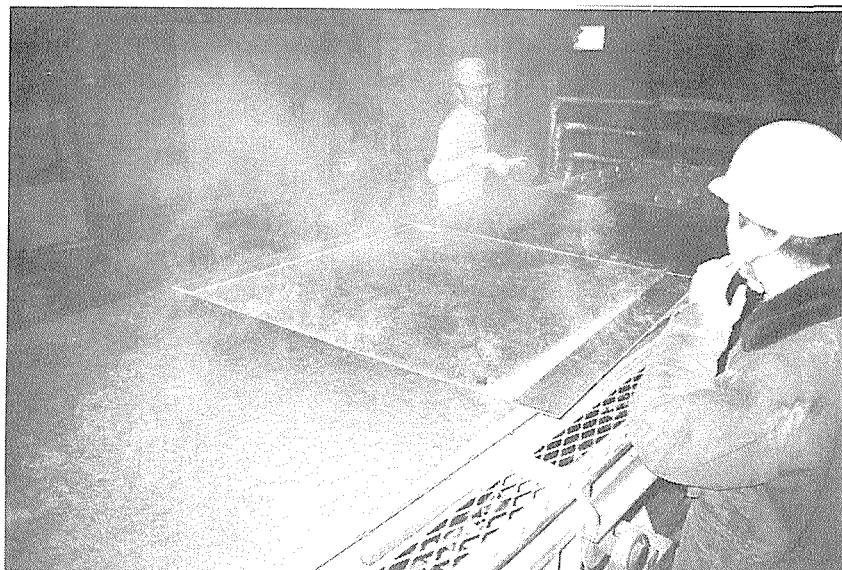


写真2-8 ホットプレス終了。

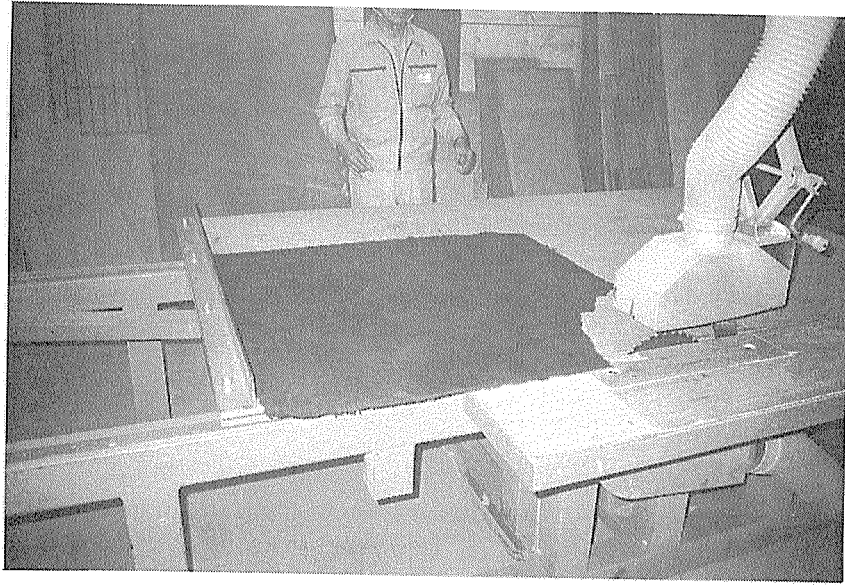


写真2-9 ファイバーボード切断。



写真2-10 再生コンパネの組み立て。コンクリート打ち込み面。黒い色の板。

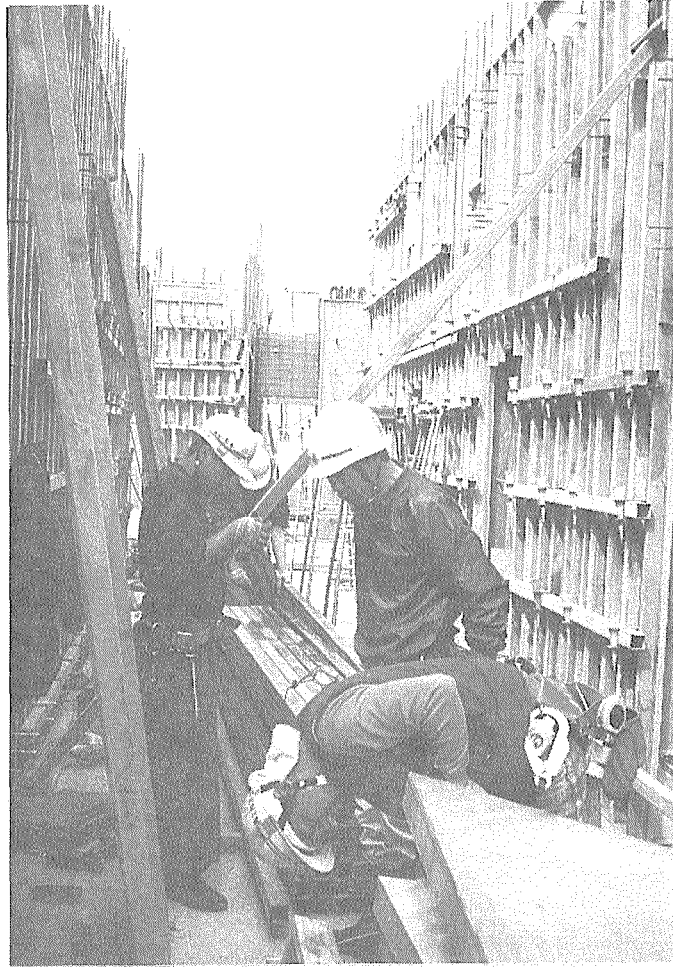


写真2-11 再生コンパネの組み立て、裏側。

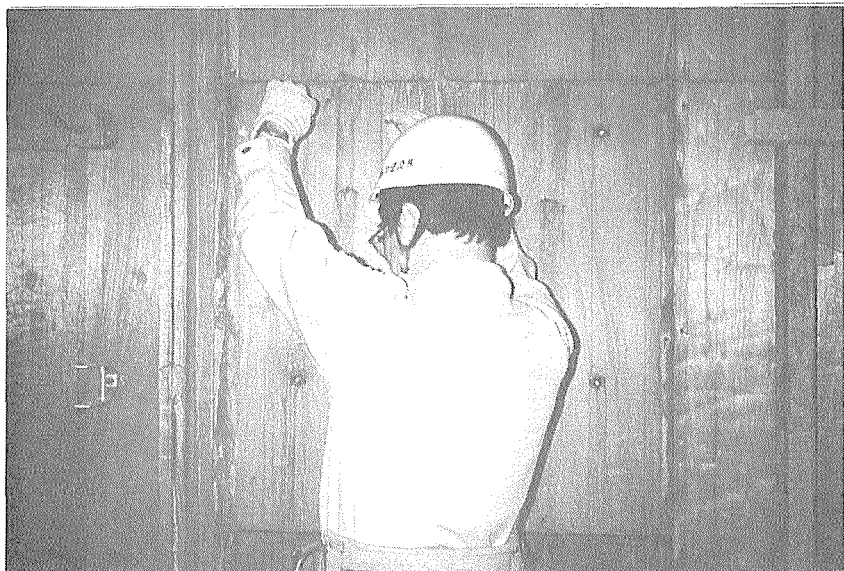


写真2-12 再生コンパネの取り外し。



写真2-13 再生コンパネのコンクリート打設面
。上部、再生コンパネ面。下部、通常のコンパネ面。



写真2-14 取り外した、再生コンパネ。角の部分に繊維板の剥離破壊が見られる。

3 廃コンパネ木片セメントブロック

3、1 廃コンパネ木片セメントブロックの製造

廃コンパネをピンチップに破碎し、水に5-6分つけて吸水させたものにセメントの粉末を入れ、この水分だけで練り上げて、ペースト状となったセメントがチップにまぶされた状態とする。金型に入れて、バイブレーションプレスで成型する。

セメントに水を加えて練ったものにチップを加える方式では、木片が遊離して、うまく木片に着いてくれない。

300x500x100 mmの平板ブロックの金型にいった表面を、2-3 cm 厚さにモルタルで平滑に仕上げる。裏向きにして金型から離型した後、翌日まで置き、屋外に移し、スットクヤードで一日一回、一時間散水して養生を2週間行う。

出来上がった平板の重量は平均11,90 kg であり、このサイズのコンクリート製品の標準重量35kg の1/3以下の軽量のものを作ることができた。

3、2 現場施工

この平板を用いて、現場実験が行われた。愛知県の森林公園内の小川の護岸工事として20m 長さの兩岸の法面に、平板を千鳥に貼った。

概念工事図は次のとおりである。

平板のモルタル仕上げした平滑面を下側にし土に接するように置いた。ブロックの粗い面が上にできることによって、目地砂を被せた後で、芝、草等が根ずき、植生が回復することを期待した。やがて平板は解体して土に戻る。その頃には岸の植物は大きくなり、植生は復元される事になる。

今後数年間の定点観測をつづける必要がある。

3、3 結果

当初よりの目的であった、小川の、法面の固定は十分に行われた。地なりの、大きな、うねりを持った法面が、平板の千鳥貼りにより得られた。

この木片セメントブロックの最大の特徴は、軽い事にあつて、運搬、施工の利点となった。現場での評判は良い。ただ護岸材料としての軽量を危惧する声もあつた。この現場にはそのような危険は無い。

期待される今後の植生の回復の調査には数年に亘る観察が必要である。

3、4 まとめー将来に向けて

試作した廃コンパネ木片チップセメントブロックの特徴は、(1) やがて分解して自然の植生に戻る事、(2) 軽量であること。(3) 廃コンパネの再資源化ということにある。

現在の工事の時点で強調された、軽量であるという利点は、他の形のセメント成型ブロック等の製品への応用につながる点で極めて興味深いものとしてとらえられる。すなわち、軽量で弱いといった欠点はエキスパンドメタルといった金網状の鉄筋をモルタル仕上げ層の中にいれる事によって、十二分に補強される。コンクリートは圧縮に強いため、今回の片面仕上げによっても、ある程度の強度向上は期待されるが、さらに圧縮側にコンクリート層を、引っ張り側にエキスパンドメタル補強層を作るといった組み合わせの仕上げによって、製品に十分な強度を期待できる。

これら種々な組み合わせによる製品の強度向上試験については、現場施工テストが終了した段階ではじめられており、現在進行中である。セメントによる木片の結合力の他に、接着剤による結合力の強化も現在では可能である。

他の形の成型コンクリートへの応用としては、(1) 大型浄化槽の内層に木片セメント層を置き、強度はコンクリートが負担し、木片セメント層が微生物の住家となって浄化機能を発現させること、また(2) U字溝においても、(3) そのたの排水施設においても最終仕上げ面に木片セメント層を置くことなどが試みられよう。

さらにこの方面への期待の発展として炭化チップの混入はより効果的であろう。第一章でのべた通り炭混入セメントボードの製造は可能であり、浄化機能を重視する場面においては、大型の炭片セメントブロックの製造を考えてもよいものと思われる。

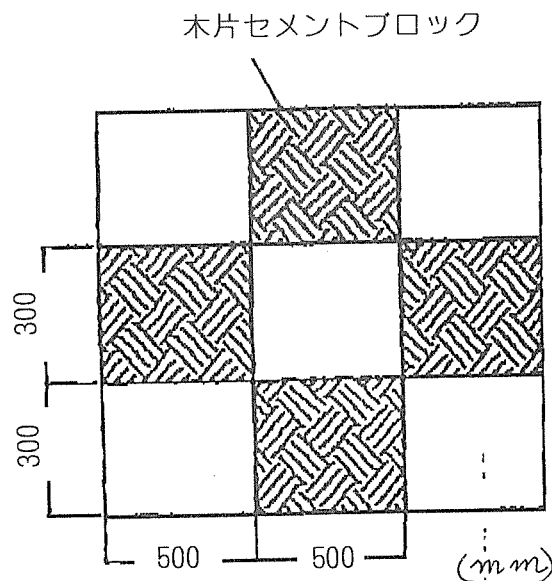
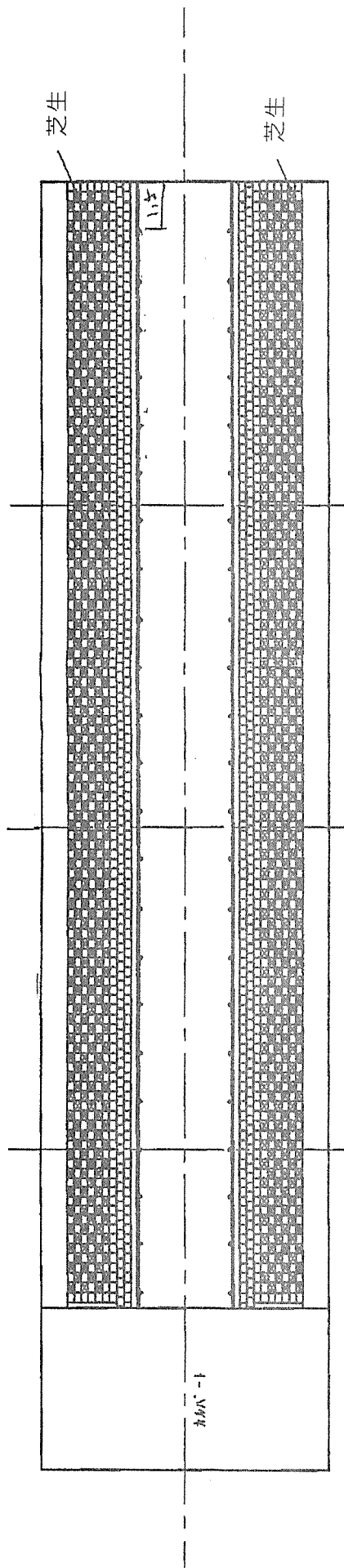
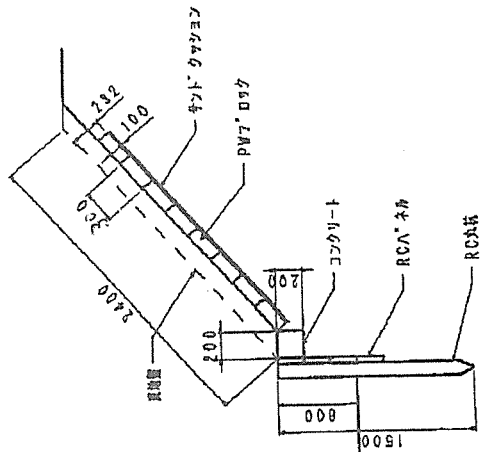


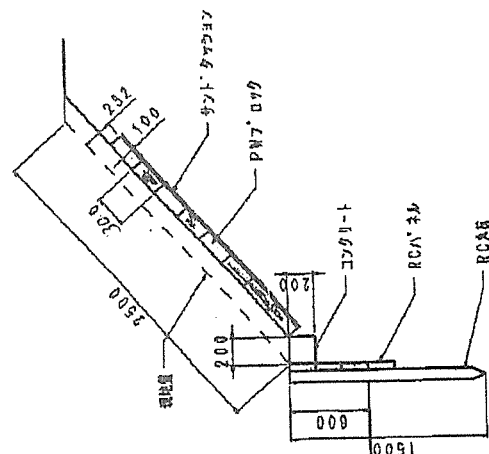
図 3-1 法面のブロック張り。



通点1



通点2



(mm)

図 3-2 木片ブロック張り現場概要。

4 あとがき

再資源化技術開発事業の一部として、廃コンクリート型枠（コンパネ）を利用したボード等の開発が行われた。それらの技術開発において問題となった点、その対策、展望等を簡単に取り纏めてみた。

（１） セメントボード

とくに問題になるところは無かった。ただし、市販の木質セメントボードはファッション性の重視される製品であり、表面の凹凸加工は廃コンパネのごとき、破碎チップでは出来ない。また、どうしても取り除ききれない、砂、金属片等による切断のトラブルがある。定尺の平板製品、或いは切断加工した半製品での納入なら可能であろう。

廃コンパネを炭化した、炭化チップセメントボードの製作も可能である。その断熱性能は向上するが、いまでは電磁波遮蔽性能は期待出来ない。さらなる工夫が必要である。

（２） パーチクルボード

実大の製品の製作には、取り除ききれない砂、金属片が問題となる。セメントボードと同じく、定尺の製品、切断加工後の納入なら可能であろう。一番良いのは、コンパネ工事事業者が、自分でボードを作り、自分の現場で使用するシステムである。建築現場での畳下、屋根下等いくらかも用途は考えられる。

（３） ファイバーボード

通常の繊維板工業は大装置産業である。しかし、爆砕による繊維化と、接着剤を使用しないバインダーレスシステムは小規模でも工業化は可能である。繊維化した段階での異物の除去は容易である。再コンパネ化、普通の繊維板としての利用になんら問題はない。ここでも自分の現場での利用が良いとされよう。

（４） セメントブロック

現時点では一番産業化に近い技術開発であると思われる。異物の混入は不問であり、製品は軽量で、やがて土に戻るという今までにない特性をもつ製品をえた。補強による強度の向上も容易である。バイプレシジョンプレスと金型で生産可能である。金型は脱型後すぐに使用できるので数量もそんなにはいらぬ。製品の永続性については、かなりの長期使用が可能であるとする人もいる。今回の試験結果が待たれる。

（５） 以上のいずれの技術も、出発点は、廃コンパネのハンマーミルによる破碎チップである。異物の混入のため、廃コンパネのチップ化に刃物の使用は出来ない。ハンマーミルで二回、三回と処理を重ねると、チップは粉末化してしまう。おのずから使用出来るチップの大きさは限られてくる。



写真3-1 回収された使用済みのコンパネ。



写真3-2 再利用されるコンパネ。



写真3-3 廃棄されるコンパネ。ハンマーミルに投入されるコンパネ。

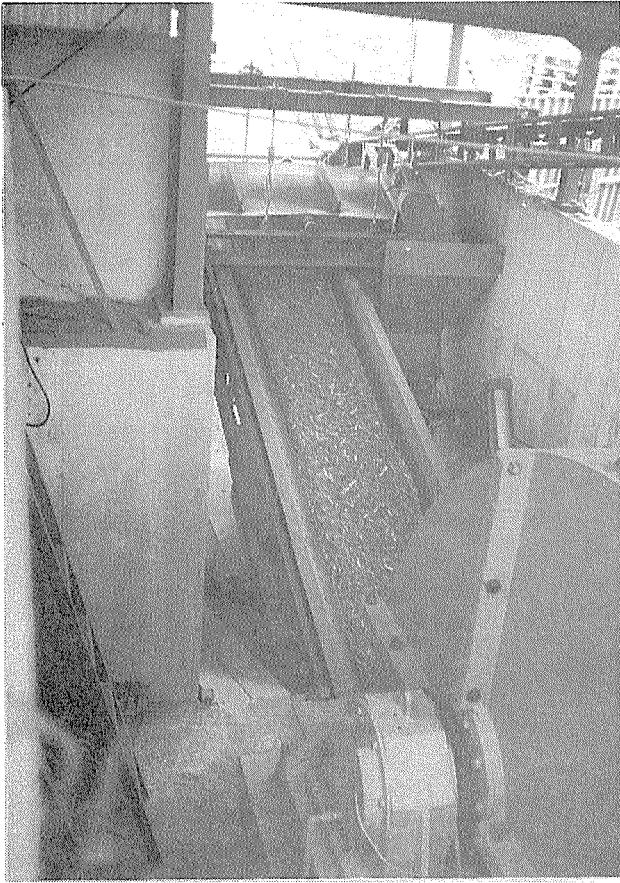


写真3-4 破碎されたコンパネのチップ。(1)



写真3-5 廃コンパネの破碎チップ。

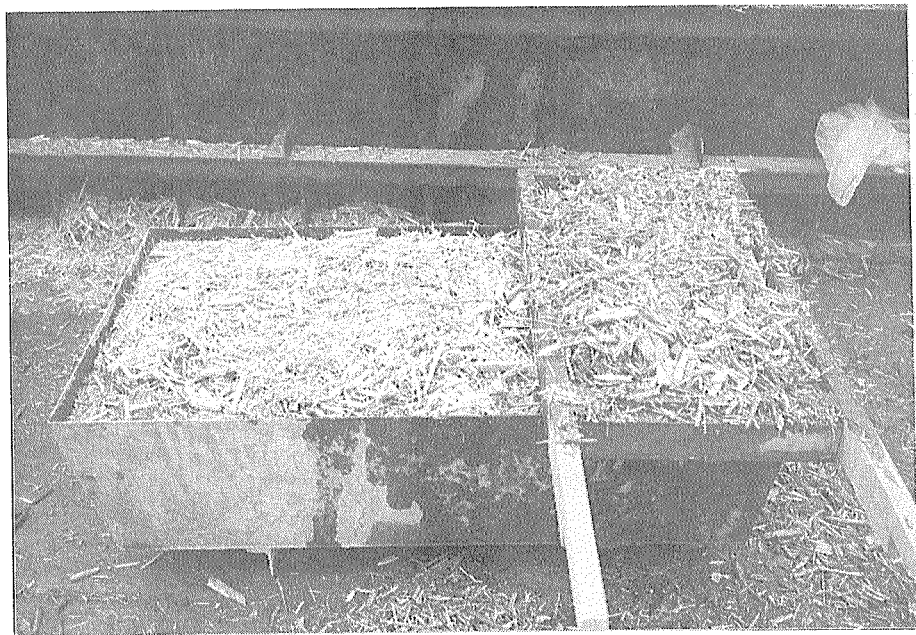


写真3-6 廃コンパネチップによる木片セメントブロックの製造。
吸水させたチップ。

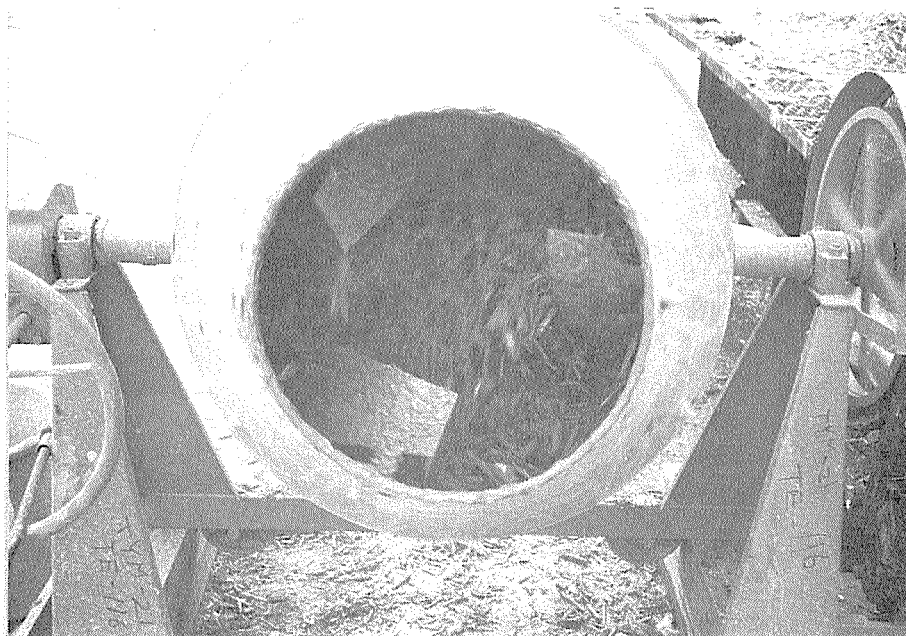


写真3-7 練り混ぜ状況。吸水チップとセメント。



写真3-8 練り上がり。

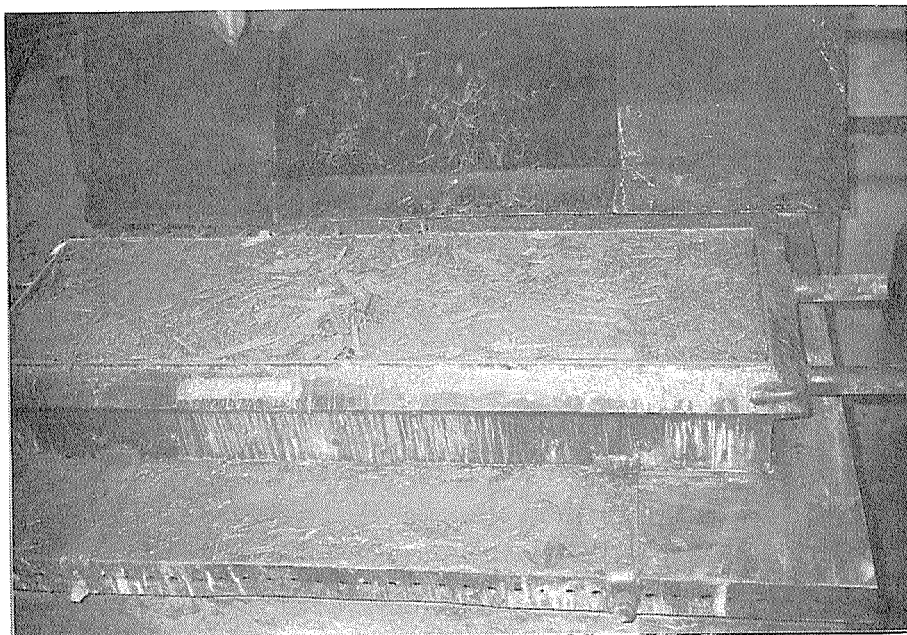


写真3-9 木片セメントブロック打設状況。材料投入。

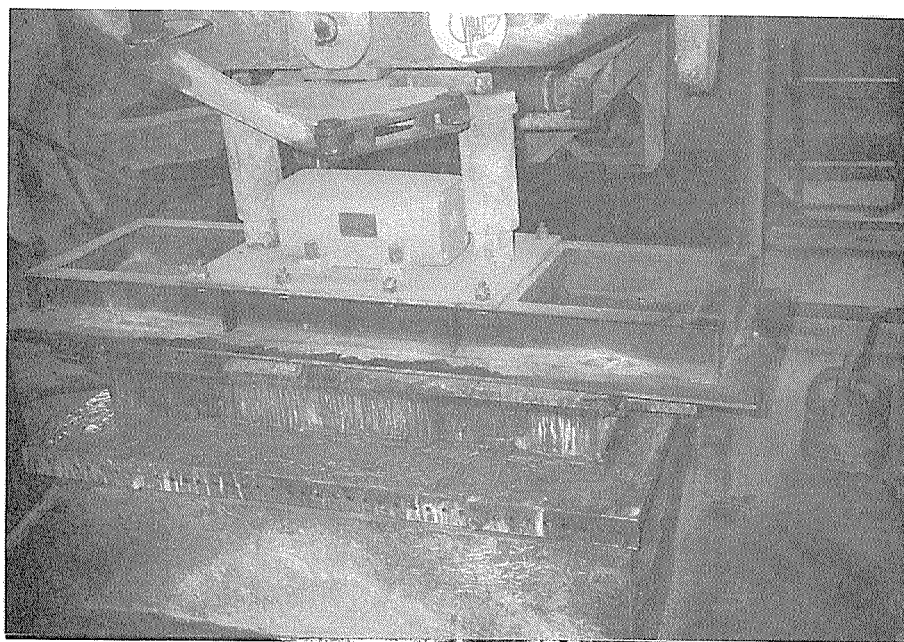


写真3-10 第一回目の締め固め。バイブレーションプレスによる振動と圧縮。



写真3-11 第一回目の締め固め完了。

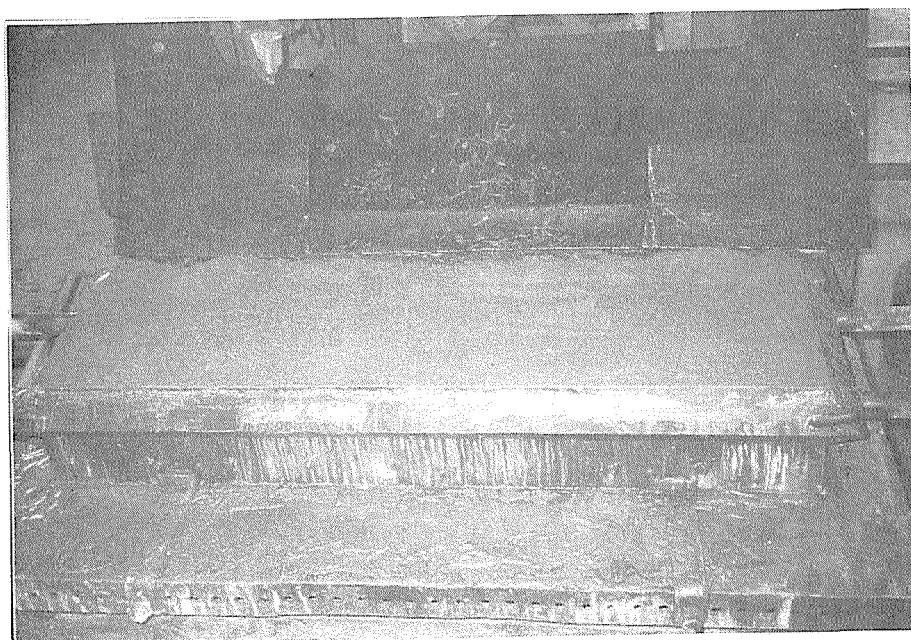


写真3-12 モルタル投入。

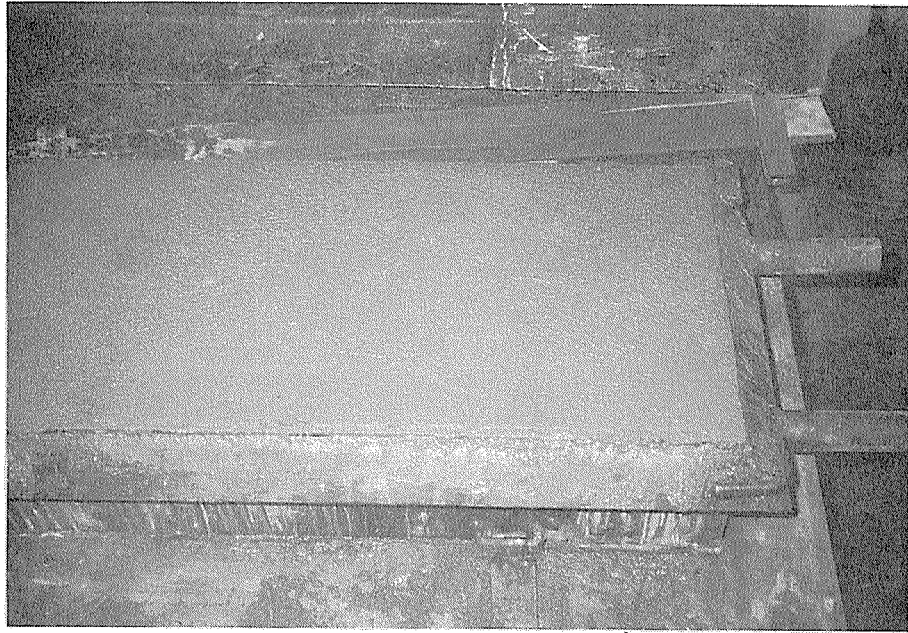


写真3-13 第二回目の締め固め完了。

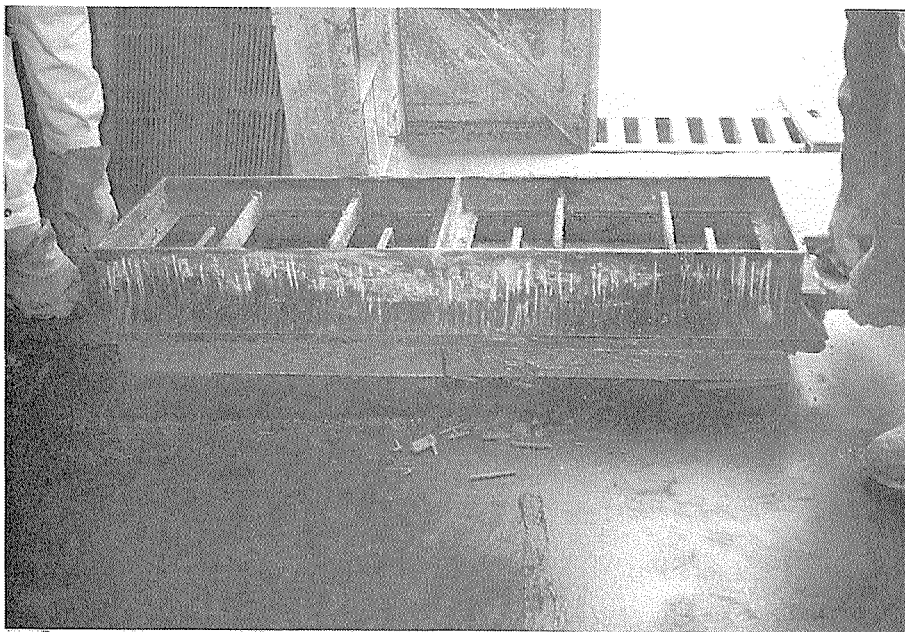


写真3-14 側枠の脱型。

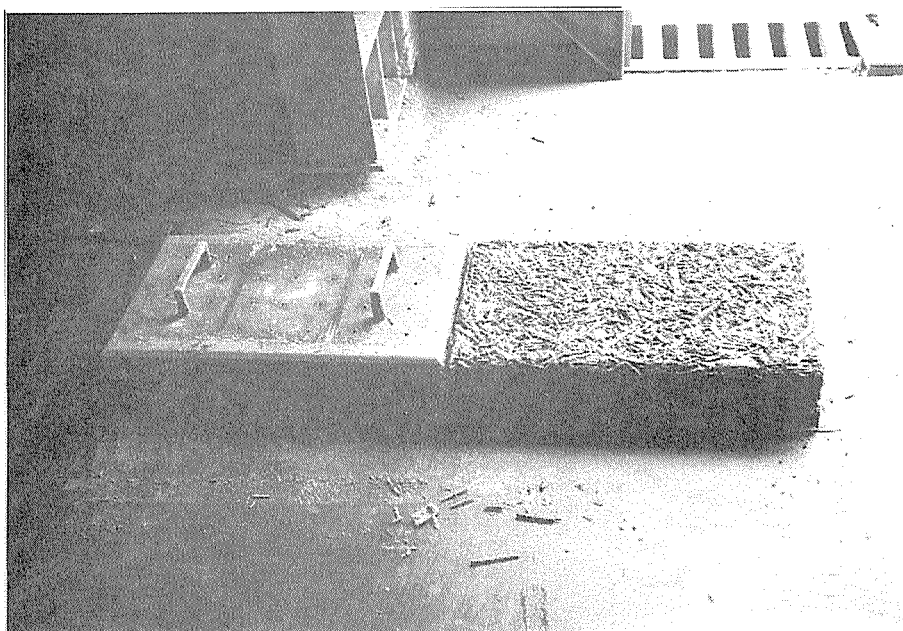


写真3-15 底板の脱型。二枚を一つの金型でつくる。一枚の底板が残っている。

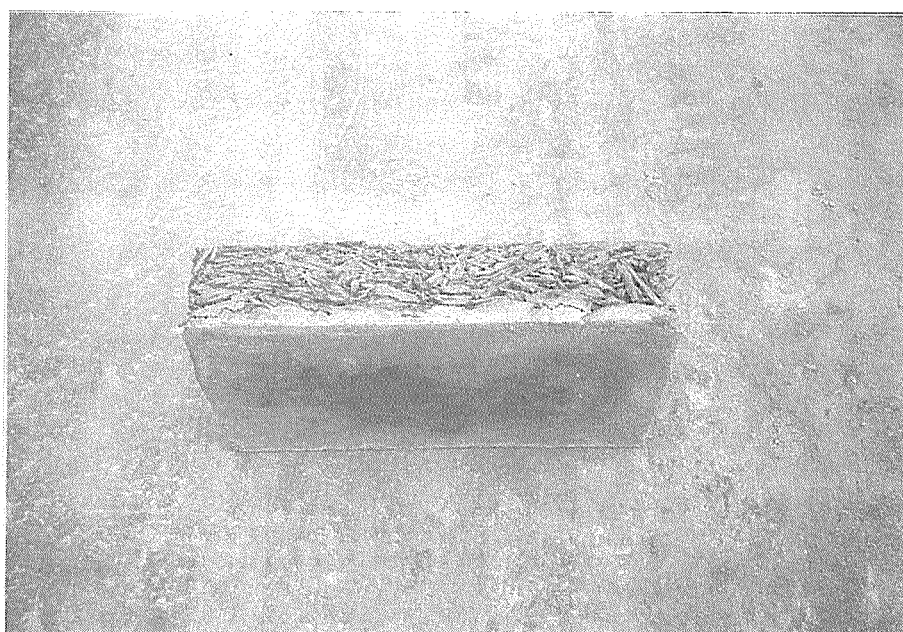


写真3-16 製品の側面。片面をモルタルで仕上っている。



写真3-17 製品の養生。

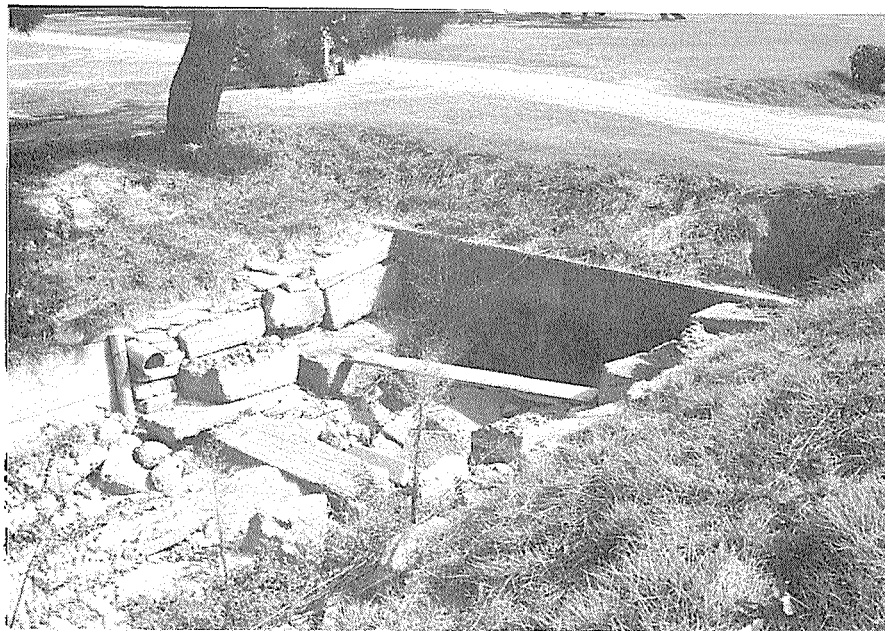


写真 3-18 試験地, 工事前の状況。

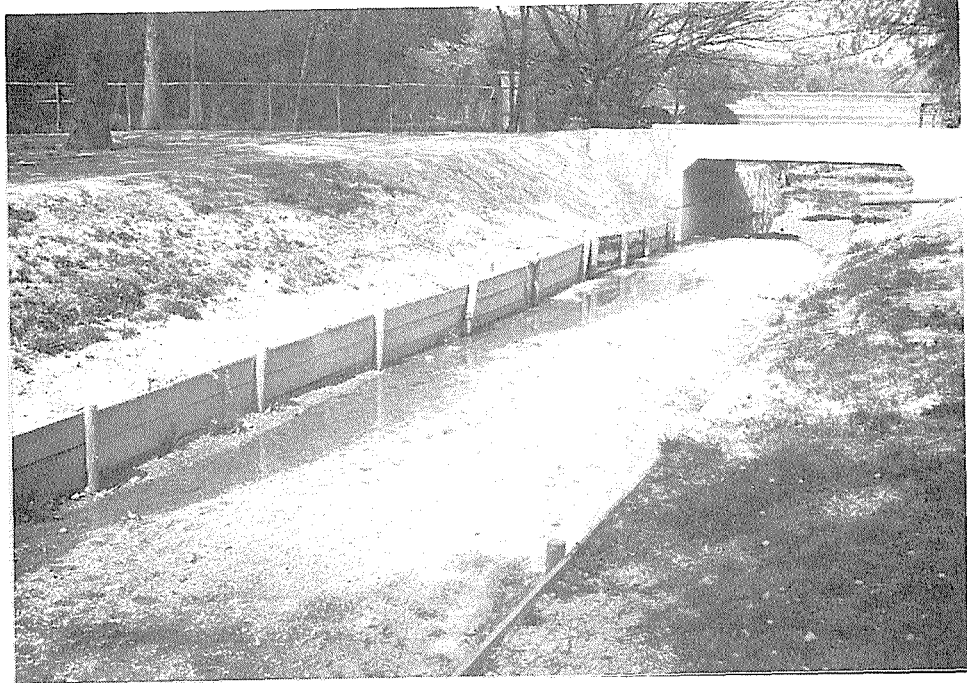


写真 3-19 前段階としての水路整理。



写真 3-20 法面の整備。

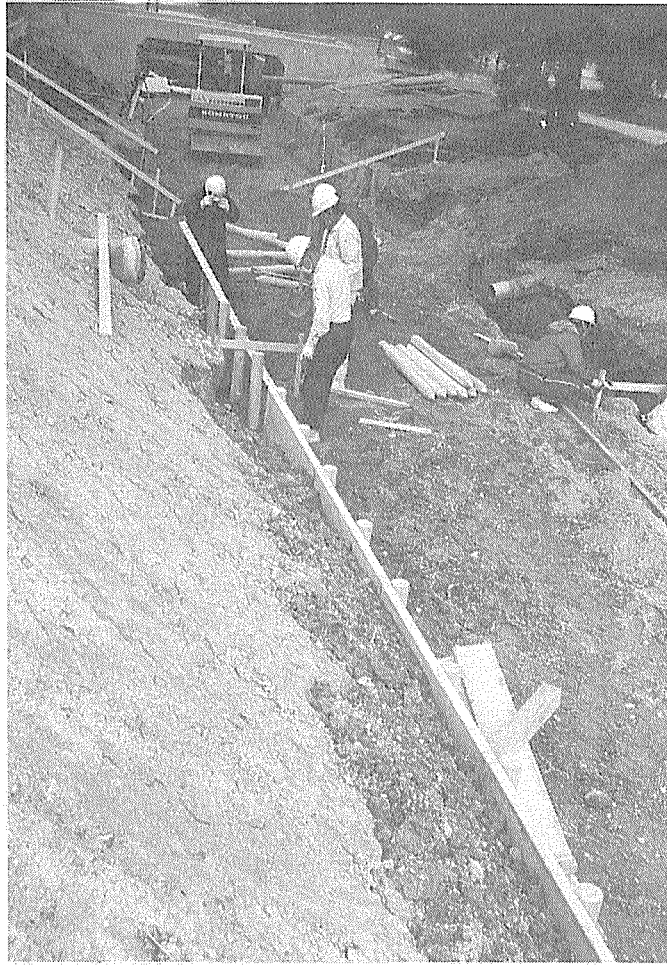


写真 3-21 コンクリート側板の設置。

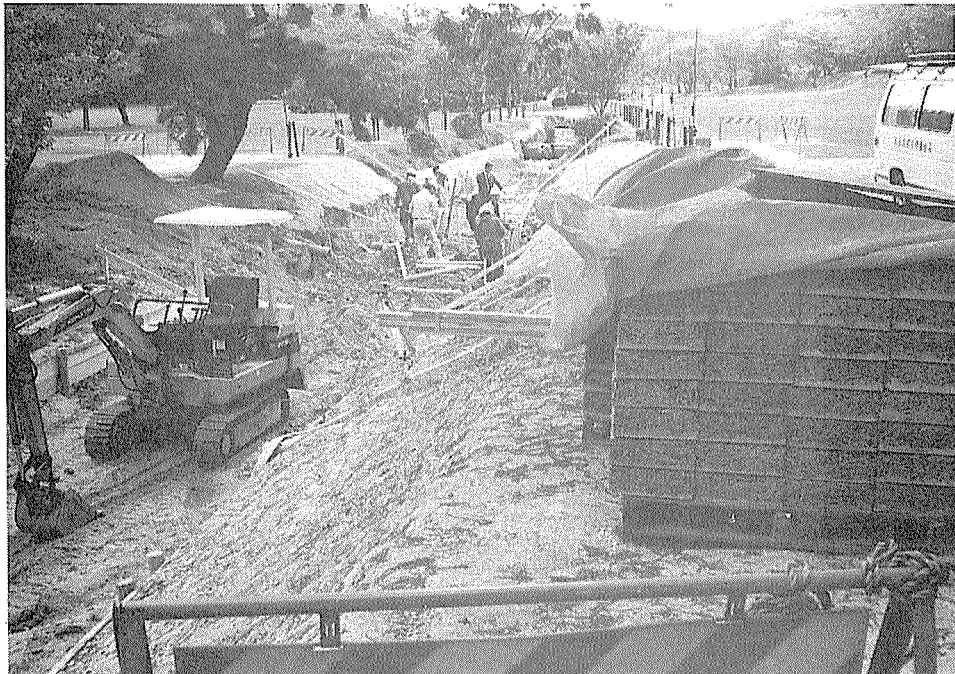


写真3-22 全景。

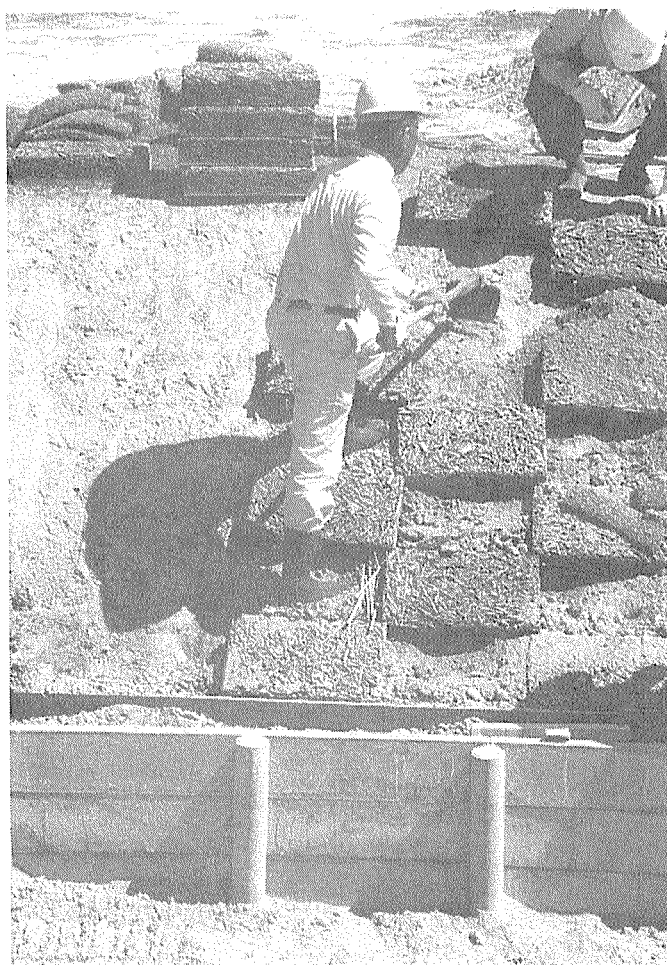


写真 3-23 法面を均してブロックを置く。



写真 3-24 位置を決めて、竹串でとめる。



写真 3-25 間に芝を置き、目地土を入れる。



写真 3-26 施工遠景。

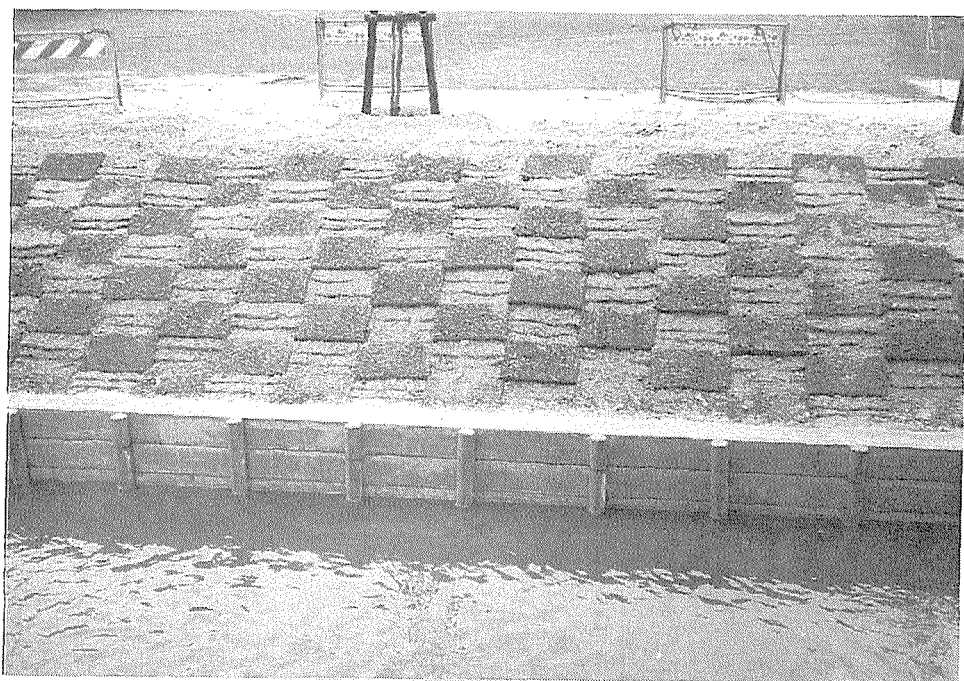


写真 3-27 並べ終えたブロック。



写真 3-28 最後に全体に土を被せる。終り。

第3章 パーティクルボード製造技術の開発

1 はじめに

木質系廃棄物の新たな用途開発として、前年度までは北海道内で発生する建築解体材から得られる木チップを原料とした構造用OSB製造の可能性について検討した。その結果、建築解体材から比較的比重の低い構造用ボードの製造が可能であることを確認するとともに、強度性能や寸法安定性に優れたボードの製造条件についても一応のめどを付けることができた。

これに対して本年度は、歩きごごちが良く、周囲の環境に調和した景観材料としての舗装資材が最近求められてきていることに着目し、建築解体材から得られる木チップを原料として快適性や安全性に優れた木質系舗装資材の製造に関する検討を行った。建築解体材を利用する上で異物の混入が大きな問題となっているが、ハンマークラッシャーにより粉碎された木チップは、異物の除去が不完全であっても舗装資材の原料として利用することが可能である。

木チップを原料とした木質系舗装資材としては、パルプチップなどとバインダーを混合し、これを路盤上に敷ならし転圧して仕上げる現場施工型の舗装資材が数年前から見受けられるようになってきている。これらの舗装資材は現場施工であるため、施工後の養生期間や舗装資材の品質は、施工日および施工後の天候や気温によって大きな影響を受けるといわれている。また、これらの舗装資材の歩行感については、衝撃吸収性（GB係数）や弾性反発性（SB係数）などの物理量が示されているものの、歩行時の快適性や安全性といった観点からの性能評価は行われていないのが現状である¹⁾。

このため本研究では、これまでの現場施工型の木質系舗装資材に対して、建築解体材から得られる木チップを原料に用いて工場生産方式によるブロック状の舗装板を製造し、歩行時の快適性や安全性に関する性能試験を行った。そして、これらの性能に優れた木質系舗装資材の製造条件を検討した。

2 舗装板の製造・性能試験方法

2.1 木チップの製造方法

原料には、(財)札幌市環境事業公社が市販している建築解体材チップを用いた。この解体材チップは、建築解体材から手作業で木材(柱・梁・合板等)を選別し、異物を除去した後、ハンマークラッシャーで粉碎し、7~40mmの篩で分級選別した木チップである。この建築解体材チップの樹種構成は、試料を採取して重量構成率を調べた結果、エゾマツ・トドマツ針葉樹93.1%、ラワン製材5.3%、ラワン合板1.5%、その他0.1%であった。

この解体材チップ(含水率40%前後)を再度ハンマークラッシャー(摩砕板間隔11mm、回転数1200rpm)で粉碎し、得られた木チップを1.0mmと4.3mm目開きの篩で分級して、舗装板の表層および基材の原料とした。

分級された表層用および基材用チップの重量構成比を表3-1に、粒度分布を図3-1に示す。

表3-1 表層用および基材用チップの重量構成比

チップの種類	重量構成比
篩目1.0mmアンダー（廃棄）	3%
篩目1.0mmオン4.3mmアンダー（表層用）	33%
篩目4.3mmオン（基材用）	64%
計	100%

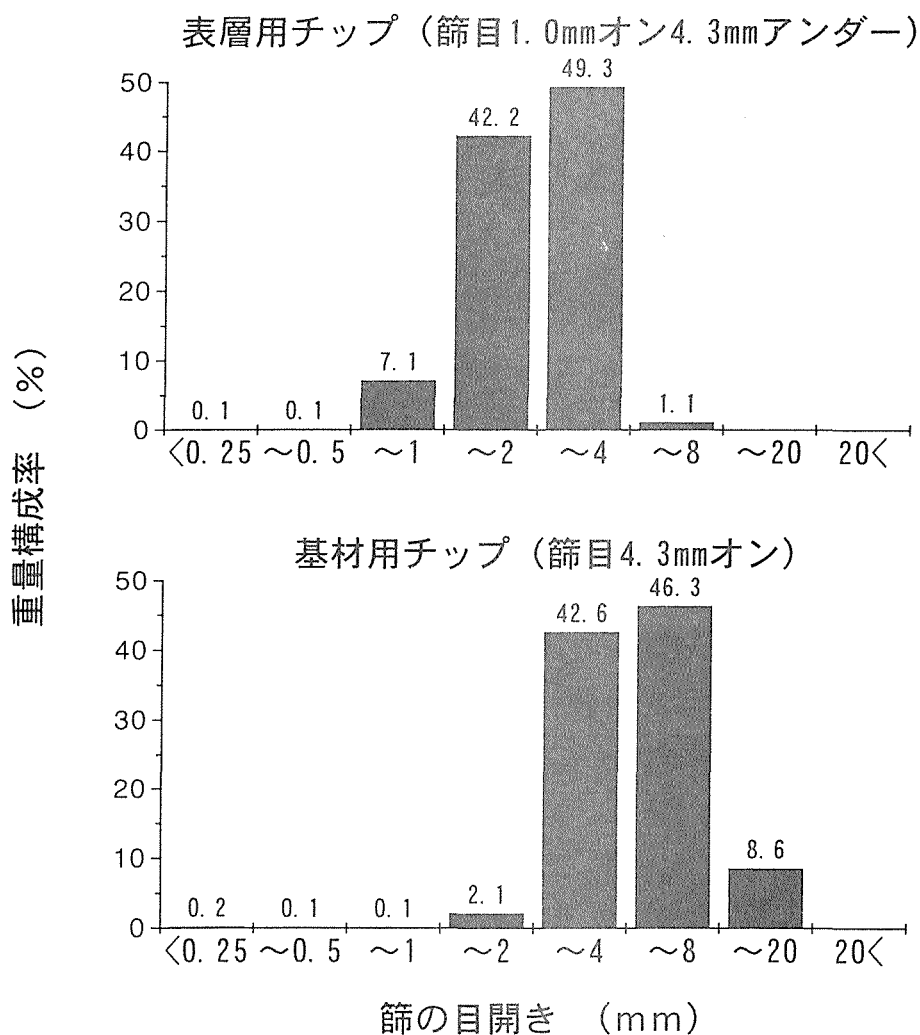


図3-1 表層用および基材用チップの粒度分布

2. 2 舗装板の製造方法

2. 2. 1 舗装板の層構成と基材の製造条件

製造する舗装板は、表層と基材からなる2層構成とし、舗装板の厚さはインターロッキングの標準的な厚さである総厚さ50mm（表層20mm、基材30mm）とした。舗装板の表層にはバインダーとして、既存の木質系舗装資材と同様に湿気硬化型のウレタン樹脂系接着剤を使用した。基材部分はセメントをバインダーとしたセメントボードとした。基材をセメントボードにしたのは、表層に用いたウレタン樹脂系のバインダーが高価なため、舗装板の製造コストに占める割合が高く、これの使用量を少なくして舗装板の低コスト化を図るためである。また、基材をセメントボードにすることで、低コスト化以外にも舗装板の耐久性や透水性の向上、路盤に設置したときの安定性の向上などの面で有利になるとおもわれる。

舗装板の製造工程を図3-2に、基材セメントボードの製造条件を表3-2に示す。

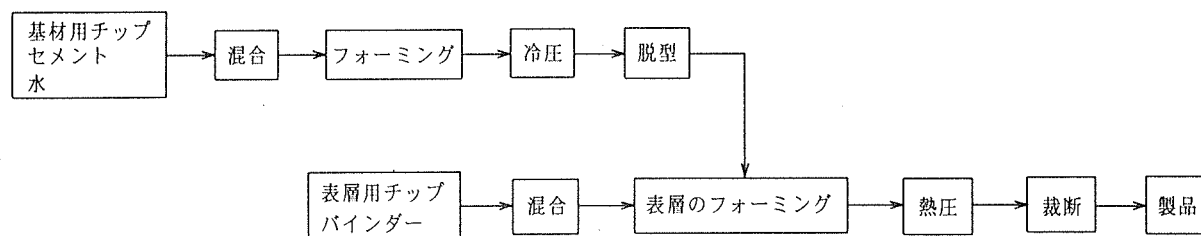


図3-2 舗装板の製造工程

表3-2 基材セメントボードの製造条件

チップの種類	: 篩目4.3mmオン
チップの含水率	: 75%前後
水/セメント 比	: 0.55 (重量比)
セメント/木 比	: 3.5 (絶乾重量比)
硬化促進剤添加率	: 2.0% (塩化マグネシウム)
設定比重	: 1.0
設定寸法	: 厚さ30mm×幅300mm×長さ300mm
脱型時間	: 20時間
開放養生期間	: 9日間

注) 硬化促進剤添加率は対セメント重量比

2. 2. 2 表層ボードの製造条件

今回のように基材にセメントボードを用いた2層構成の舗装板においては、表層の性能

が舗装板としての快適性や安全性に大きな比重を占めると考えられることから、表3-3に示す製造条件で、12種類の舗装板の表層のみを各1枚ずつ製造し、これを性能試験に供した。

表3-3 表層ボードの製造条件

○チップ
種類 : 1.0mmオン4.3mmアンダー
含水率 : 40%前後

○バインダー
湿気硬化型ウレタン樹脂系接着剤 (大日本インキ工業(株)製 TP-1545)

○バインダー添加率 (絶乾チップ重量に対するバインダー重量比)
①30% ②50%

○ボード寸法
厚さ20mm×幅300mm×長さ300mm

○ボード比重
①0.25 ②0.30 ③0.35 ④0.40 ⑤0.45 ⑥0.50

○熱圧条件
温度160℃、時間5分

2.3 舗装板表層ボードの性能試験方法

製造した舗装板表層ボードの性能試験は、表3-4に示した項目について行った。試験項目「2. 居住性床硬さ試験」、「3. 滑り試験」、「4. 載荷たわみ量試験」についてはバインダー添加率30%で製造した表層ボード6種類のみ試験を行い、その他の試験項目については全種類の表層ボードを試験した。

表3-4 性能試験項目

試験項目	準拠した規格
1. 転倒衝突時床硬さ試験	JIS A 6519 「体育館鋼製床下地構成材 8.6床の硬さ試験」
2. 居住性床硬さ試験	
3. 滑り試験	JIS A 5705 「ビニル系床材 付属書 床材の滑り試験方法 (斜め引張形)」
4. 載荷たわみ量試験	AQ 「直張り遮音フローリング」の品質性能基準
5. 局部圧縮試験	

2. 3. 1 転倒衝突時床硬さ試験方法

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

試験は、コンクリートスラブ上に表層ボードを固定し、図3-3に示した試験装置によって、3.85kgのヘッドモデル（疑似頭部）を20cmの落下距離から自由落下によりゴム板を介して床面（試験体）に衝突させ、このときヘッドモデルに作用する最大加速度の値をその床（試験体）の転倒衝突時床硬さ(G)として求めた。各試験体ごとに3回ずつ測定を行い平均した。

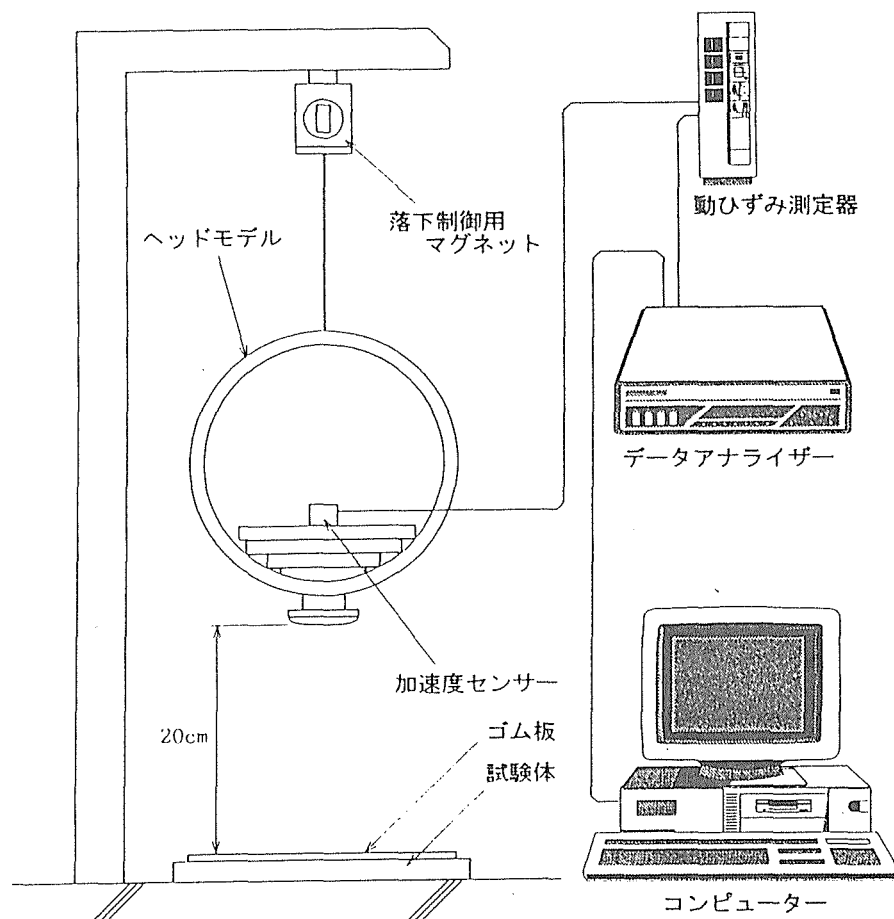


図3-3 転倒衝突時床硬さ試験装置の概要

2. 3. 2 居住性床硬さ試験方法

居住性床硬さ試験は、東京工業大学の小野教授らが考案した試験方法²⁾・³⁾によって行った。この試験は、人が普通に歩行したとき床面に作用する荷重変化を機械的に再現することにより、床の硬さの程度による歩行時の快適性を評価するものである。

試験は、コンクリートスラブ上に表層ボードを固定し、図3-4に示した試験装置によって、40kgのおもりを床面（試験体）との間に装填されたゴムばねに押し当てて3kgfの荷

重が作用する位置からおもりを落下させ、このとき床面に作用する荷重と床面の上下動の変位から次式によって居住性床硬さを算出した。各試験体ごとに3つつ測定を行い平均した。

$$\text{居住性床硬さ} = \log (U_{F1} - 8 D_R^2 / T_R)$$

ここで、 D_R : 床の変形の最大復元量 (cm)

T_R : 床の変形の復元時間 (sec.)

U_{F1} : 床の変形開始から、変形が最大に達するまでの床の変形エネルギー (kgf·cm)

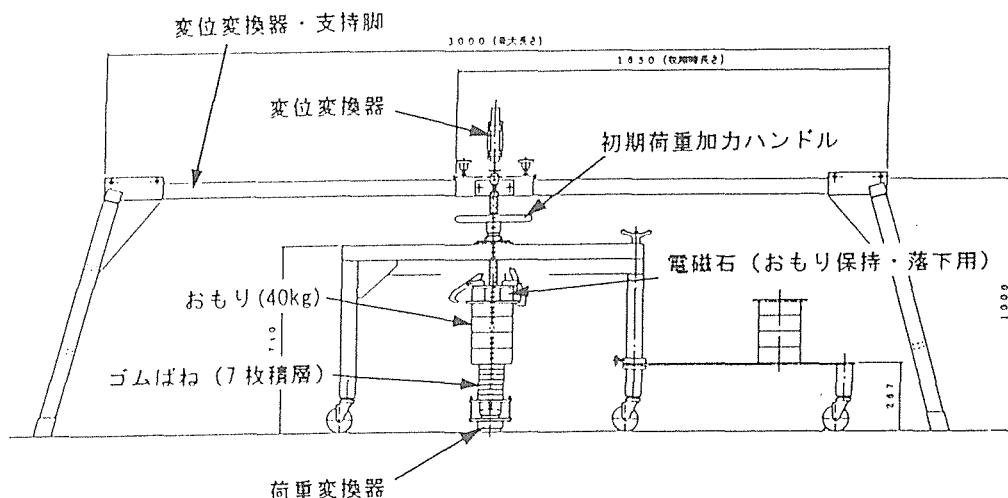


図 3-4 居住性床硬さ試験装置の概要

2. 3. 3 滑り試験方法

滑り試験は、JIS A 5705「ビニル系床材 付属書 床材の滑り試験方法 (斜め引張形)」に準拠して行った。この試験は、床の滑りに対する人間の感覚と対応する滑り抵抗を測定し、床の滑りを評価するものである。

試験は、紳士硬底靴による滑りを評価することとし、試験体の表面状態は乾燥状態および水濡れ状態の2条件について行った。水濡れ状態は、試験体を10分間水道水に浸した後、水道水、試験用ダスト第7種および第1種を質量比で、20:1:9に混合したものを試験体表面に400g/m²の割合で散布して試験した。

滑り抵抗の測定は、図3-5に示した斜め引張形滑り試験機を用い、滑り片台座に取り付けた靴底に表層ボードを接触させてセットし、靴底の上に鉛直荷重80kgfを加えた状態で滑り片 (靴底) を80kgf/sec. の荷重速度 (V) で引っ張る。靴底と表層ボードの接触面に滑りが生じたときの最大引張荷重 (Pmax.) を測定して、次式から滑り抵抗係数 (C. S. R.) を求めた。各試験条件ごとに3回ずつ測定を行い平均した。

滑り抵抗係数 (C. S. R.) = $P_{max.} / V$

ここで、 $P_{max.}$: 最大引張荷重 (kgf)

V : 引張荷重速度 (80kgf/sec.)

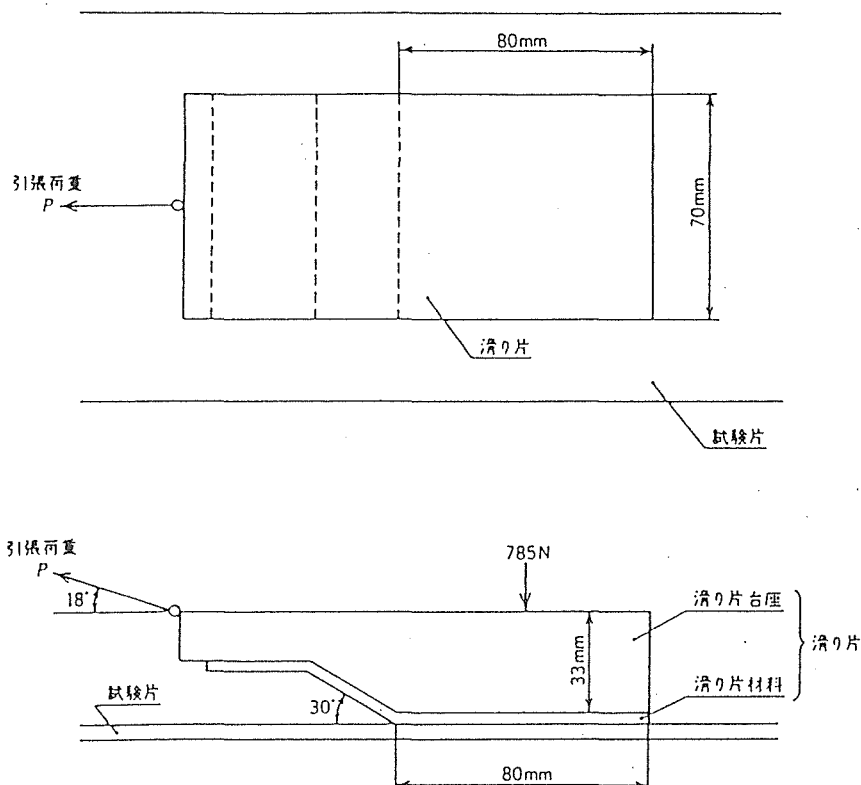


図3-5 斜め引張型滑り試験機の概要

2. 3. 4 荷重たわみ量試験方法

荷重たわみ量試験は、AQ「直張り遮音フローリング」の品質性能基準に準拠して行った。インストロン型強度試験機（島津オートグラフ、容量5tf）を用いて、試験機定盤に表層ボードを固定した状態で、円柱状載荷板（直径50mm、鋼製）を介して試験体に80kgfの鉛直荷重を加え、このときの試験体のたわみ量を試験機クロスヘッドの移動量から求めた。各試験体ごとに3回ずつ測定を行い平均した。

2. 3. 5 局部圧縮試験方法

局部圧縮試験は、インストロン型強度試験機（島津オートグラフ、容量5tf）を用いて、試験機定盤に表層ボードを固定した状態で、ハイヒールを想定した直径10mmの円柱状鋼製載荷板を介して試験体に80kgfの鉛直荷重を加え、このときの試験体のたわみ量を試験機クロスヘッドの移動量から求めた。また、除荷後に試験体のめりこみ跡などの表面状態を目視によって観察した。各試験体ごとに3回ずつ測定を行い平均した。

3 舗装板表層ボードの性能試験結果

3.1 転倒衝突時床硬さ試験結果

表層ボードの比重と転倒衝突時床硬さの関係を図3-6に示す。表層ボードの転倒衝突時床硬さは、ボードの比重と大きな相関があり、比重の低いボードほど転倒衝突時床硬さ(G)の値が小さくなっている。この値は、傷害の発生と密接に関わっていることが小野らによって報告されおり⁴⁾、JISでは安全性の基準を100G以下と規定している。今回製造した表層ボードについてみると、比重が0.4を超えるボードでは基準値を上回り安全性に問題があるが、比重0.4以下のボードでは基準を満足していることから、ボードの比重を調整することで安全性に優れた舗装板を製造できることがわかった。

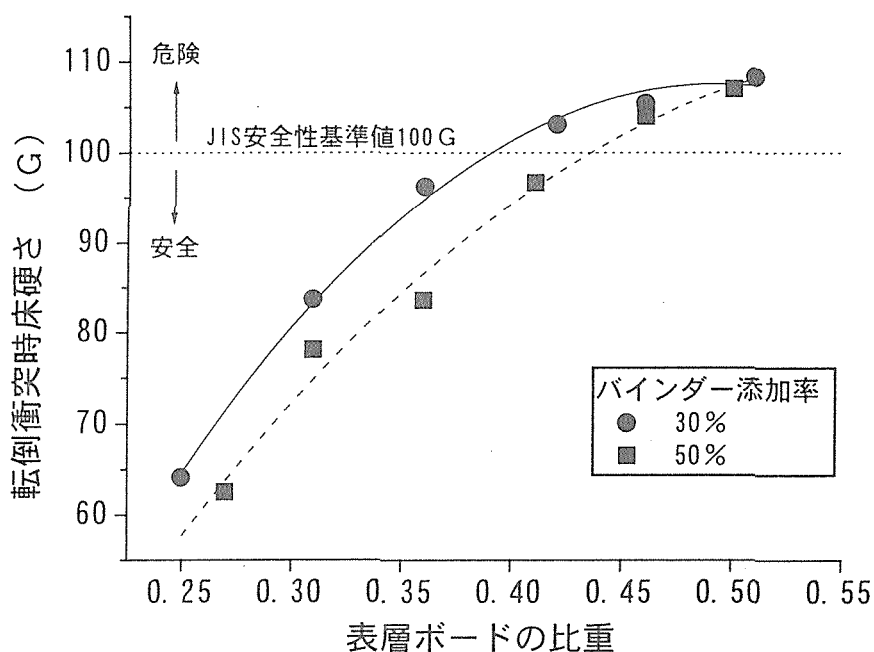


図3-6 表層ボードの比重と転倒衝突時床硬さの関係

3.2 居住性床硬さ試験結果

表層ボードの比重と居住性床硬さの関係を図3-7に示す。居住性床硬さとボードの比重との関係は、転倒衝突時床硬さの場合ほど明確ではないが、比重の低いボードほど居住性床硬さの値が増加する傾向がみられる。居住性床硬さの値と実際の歩行感に関する官能試験結果との関係は、小野らにより研究整理されており³⁾、居住性床硬さの値から実際の歩行感の良否が推定できる。男性が紳士靴を履いて歩行した場合の快適性について今回製造した表層ボードを評価すると、すべてのボードが許容範囲を下回っており、硬さ適性において硬すぎるといえる(図3-7)。歩行時の快適性に優れた舗装板を製造するためには、表層を厚くすることや今回製造したような熱圧方式ではなく冷圧方式にすることで、表層ボードに弾力性を付与することが必要と思われる。

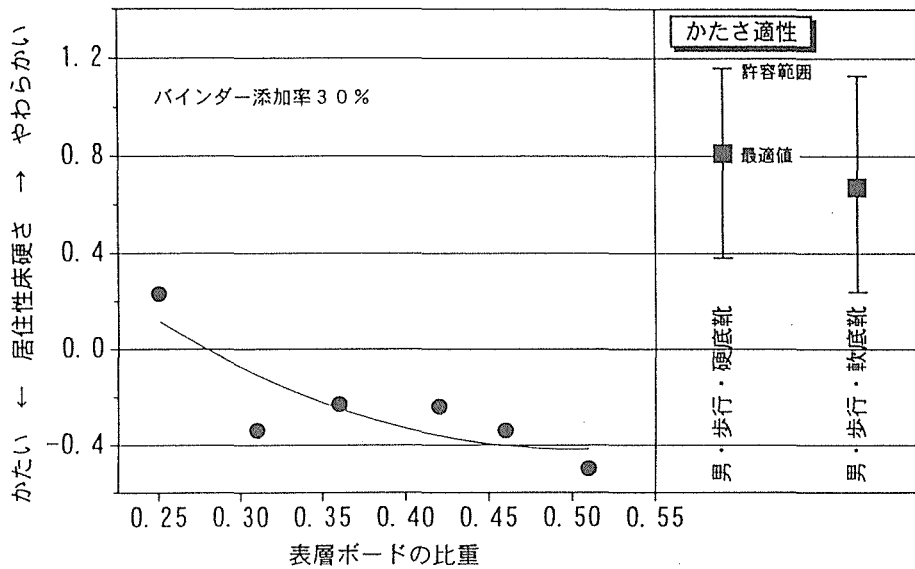


図 3-7 表層ボードの比重と居住性床硬さの関係

3.3 滑り試験結果

滑り試験の結果を図 3-8 に示す。表層ボードの滑り抵抗係数は比重との相関が認められず、乾燥状態、水濡れ状態ともにほぼ一定の値を示している。このことから、表層ボードの滑り性能は、比重には依存せず使用するチップの形状や粒度によって決定されるものと考えられる。滑り抵抗係数 (C. S. R.) と実際の滑りに関する官能試験結果との関係は小野らにより研究され整理されており⁵⁾、C. S. R. 値から実際の滑りの感覚的な大小が推定できる。男性が紳士靴を履いて歩行したときの滑りについて今回製造した表層ボードを評価すると、すべてのボードで試験体の表面状態にかかわらず快適性、安全性の許容範囲内にある (図 3-8)。また、乾燥状態における全試験体の C. S. R. 値の平均値は 0.59、これに対して水濡れ状態のそれは 0.54 であり、図 3-8 からわかるように乾燥状態に対する水濡れ状態での C. S. R. 値の低下はごくわずかであることから、製造した表層ボードは降雨などによる表面状態の変化に対して滑りの感覚的な変化が小さい材料であると評価できる。

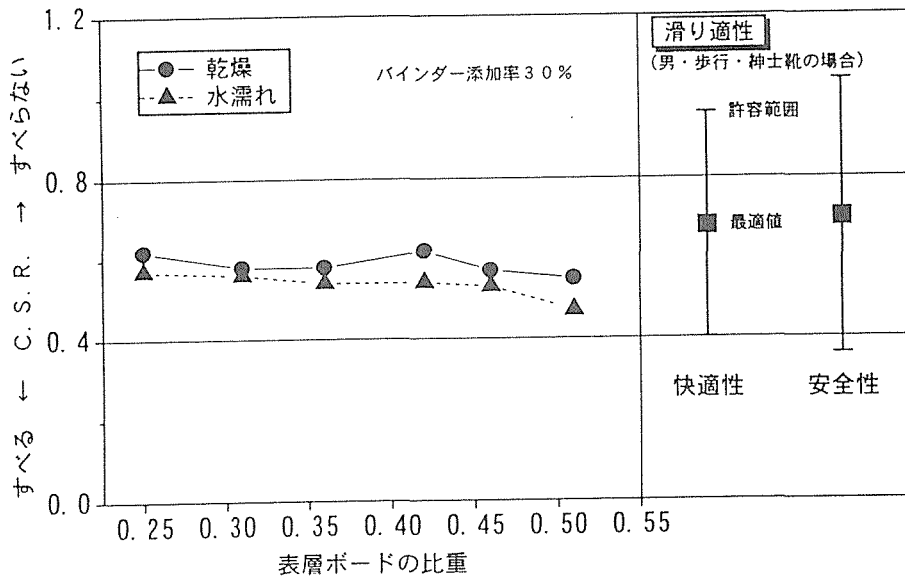


図 3-8 表層ボードの比重と C. S. R. の関係

3. 4 載荷たわみ量試験結果

表層ボードの比重と載荷たわみ量の関係を図 3-9 に示す。載荷たわみ量についてもボードの比重との相関が認められる。また、図 3-10、図 3-11 に示すように載荷たわみ量は転倒衝突時床硬さおよび居住性床硬さとの間に高い相関のあることが認められる。このことから比較的測定が容易な載荷たわみ量のデータを用いて、製造したボードの転倒衝突時床硬さや居住性床硬さを推定することが可能と思われる。

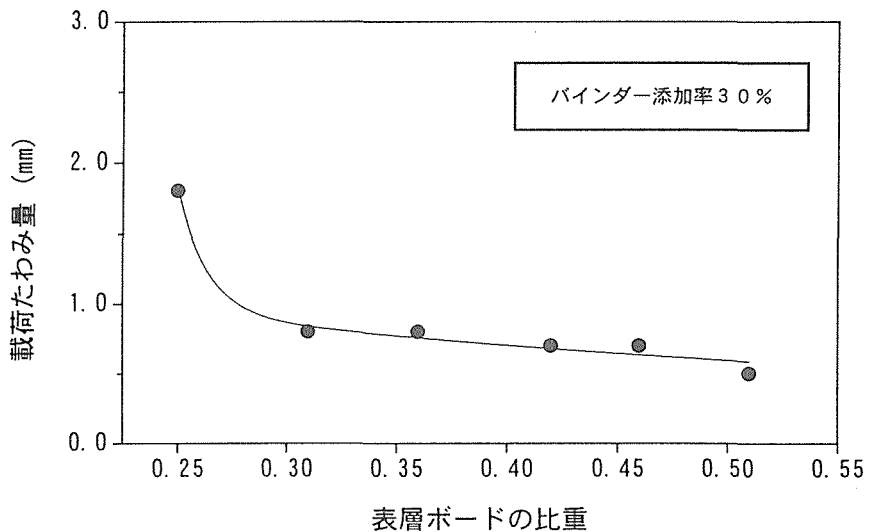


図 3-9 表層ボードの比重と載荷たわみ量の関係

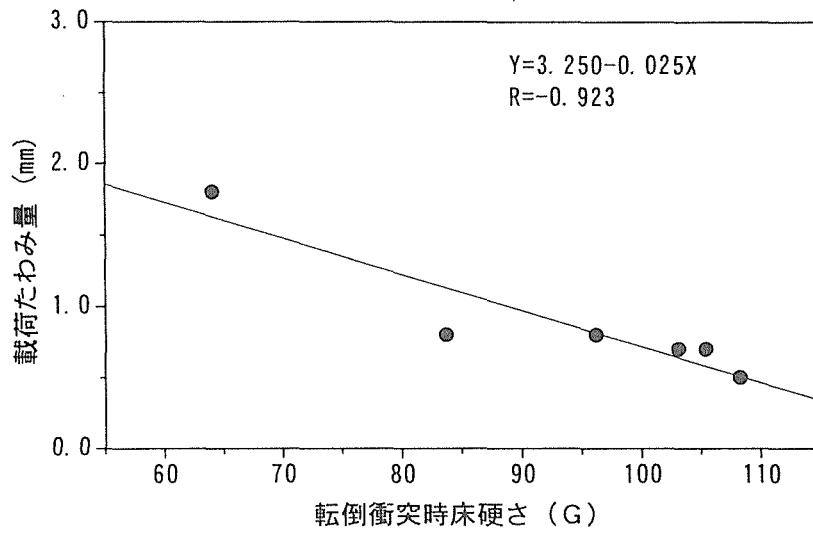


図 3-10 転倒衝突時床硬さと載荷たわみ量の関係

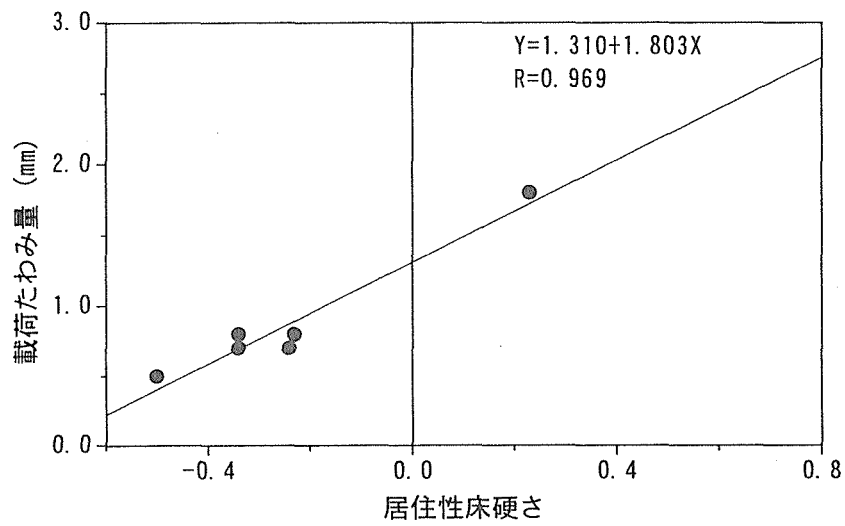


図 3-11 居住性床硬さと載荷たわみ量の関係

3.5 局部圧縮試験結果

局部圧縮試験の結果を表3-5に示す。80kgf 載荷時のたわみ量はボードの比重が高いほど小さくなり、目視による除荷後の表面状態の評価から、比重が0.4以上のボードはハイヒールでの歩行が可能であることがわかった。

表3-5 局部圧縮試験結果

表層ボードの種類		80kgf 載荷時のたわみ量 (mm)	目視による除荷後の表面状態の評価
ハイダ [®] -添加率	比重		
30%	0.25	測定不能	×
30%	0.31	8.1	×
30%	0.36	6.0	×
30%	0.42	3.8	△
30%	0.46	2.9	○
30%	0.51	2.2	○
50%	0.27	測定不能	×
50%	0.31	10.8	×
50%	0.36	5.6	×
50%	0.41	4.3	△
50%	0.46	3.1	○
50%	0.50	2.6	○

注) 目視による除荷後の表面状態の評価

- ：除荷後にほとんどめりこみ跡（ヒールマーク）が認められず、使用上問題ない
 - △：除荷後にめりこみ跡（ヒールマーク）が認められるが、使用上大きな問題はない
 - ×
- ×：除荷後に深いめりこみ跡（ヒールマーク）が認められ、使用上問題がある

4 おわりに

北海道内で発生する建築解体材から得られた木チップを原料として熱圧方式によるブロック状の木質系舗装板を製造し、その安全性や快適性について性能評価を行った。舗装板の層構成は2層として、基材はセメントボード、表層は湿気硬化型ウレタン樹脂をバインダーに用いて熱圧したボードとした。基材にセメントボードを用いることで、高価なウレタンバインダーの使用量を減らして舗装板の低コスト化が図られるとともに、耐久性、透水性を向上させることができると考えられる。舗装板の表層ボードについて性能試験を行った結果、転倒衝突時の安全性や滑りの安全性および快適性については、今回検討したような比較的低コストの製造条件で、十分に許容範囲に収まる舗装板の製造が可能であることがわかった。しかし、舗装板のかたさによる歩行時の快適性については、今回検討した製造条件では十分な性能が得られなかったことから、この性能を重視する場合は舗装板により弾力性を付与するような製造条件の検討が必要と思われる。

参考文献

- 1) 例えば、小田謙成：「木材チップを活用した舗装」，舗装，Vol. 31，No. 4(1996)
- 2) 小野英哲ほか：「居住性からみた床のかたさの評価方法に関する研究（その1）」，日本建築学会構造系論文報告集第358号(1985)
- 3) 小野英哲ほか：「居住性からみた床のかたさの評価方法に関する研究（その2）」，日本建築学会構造系論文報告集第373号(1987)
- 4) 小野英哲ほか：「安全性からみた学校体育館床のかたさに関する研究」，日本建築学会論文報告集第321号(1982)
- 5) 小野英哲ほか：「床のすべりの評価指標および評価方法の提示（その4）」，日本建築学会構造系論文報告集第356号(1985)

第4章 各種木質材料の炭化による機能付与

1. はじめに

建築物は住宅をはじめ“量から質“の時代に大きく変わってきたが、それは一方ではスクラップ・アンド・ビルトを産み、廃棄物の処理は避けがたい重要課題となっている。建築解体現場や建築土木現場で発生した木質系解体材は再建築資材としてあるいは破碎チップとして製紙用チップ、ボードチップや燃料チップとして使用されてきた。このように木質材料は原料形態が素材－製材－板－削片－繊維というように基本的にカスケード（階段）型をなしている。すなわち、パーティクルボード工場は合板や製材の廃材をチップ原料にし、パルプ工場も製材廃材からチップ原料を得ている。合板、パーティクルボードや繊維板などの木材工業での端材、のこ屑はその工場内での補填エネルギー源として利用処理されており、木材工業の中ではほぼカスケード型サイクルが確立されている。したがって建築解体現場や建築土木現場で発生した木材も異物が入り込んでこない限り、木質材料の原料として使用可能である。木造建築物などが除却、解体されたときに排出された木材が、異物を除去し、解体チップとしてパーティクルボード、木質燃料として利用されてきた実績は多い。このように原料形態が整えば技術的に問題なく、再資源として生かされるが、近年効率、経済的な条件が整わないために投棄、焼却される危険が大きくなってきた。したがってその集荷と異物の除去といった技術的な問題と並んで、環境保全、資源エネルギーの適正利用という視点にたった有機的な連携が急務といえる。また、木質系解体材がカスケード型サイクルが確立されたとしても接着剤のような異物の混入した木質材料が排出されるので、最終段階の廃棄物は投棄、埋め立て、保管といった場の設定が必要である。とくに場の容積は限りがあることから廃棄物の減容が重要であり、環境汚染の影響の少ない安全性の高さが投棄、埋め立て、保管の可能な場を拓けることになる。もちろん、投棄、埋め立て、保管の場において何らかのプラス要因があるならばきわめて好ましいことになる。木質廃棄物は単純な減容投棄という要求には、最悪の場合でも焼却あるいは腐朽で比較的汚染の少ない処分ができる。しかしながら、その量がきわめて多いこと、再利用する上での経済的な効率などから状況はきわめて厳しいものがある。したがってトータルとしての資材投入、廃棄を減らすことが重要で、そのためにストック期間を長くすることが基本である。それは樹木が大気中より二酸化炭素を吸収して、樹幹として固定した炭素化合物を可能な限りそのまま保管し、CO₂の放出を抑えることが環境保全の立場からも燃料以外の単純な焼却は可能な限り抑えるのが基本課題である。このような背景から本研究では廃材の各種形態の炭素固定資源の基本処理方法として、炭化前の熱処理材、および木炭の利用の可能性に係わる基本的な性質をCO₂の放出を抑えるという環境保全から立場から検討した。とくに現在再利用がほとんどなされていない木質材料（パーティクルボードやMDFなどのカスケード型リサイクル資材）の炭化についての比較も行った。

2. 木質廃棄物の炭化の視点

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

(1) 処理量が多いので比較的短時間で炭化させるため温度上昇を高める。一般に解体材

は乾燥しているので温度上昇は容易である。急激な温度上昇の結果、形の崩れない良い炭や木酢液の採取は少々犠牲になるが、短時間で減容、軽量化は可能になる。

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

(3) 炭化温度によって物性が異なるので、用途はそれに対応するようにする。比較的低温炭化した後、釘などの異物除去し、種々の目的に応じた精錬を行う。高度な炭化、機能の付与をするには二段炭化とする。それは一段炭化で異物の除去がかなりなされ、また分解ガスなどの発生が少ないので装置の耐久性上好ましいことと、精錬に要する外部エネルギーの節約になる。

(4) 土壌改良、脱臭などに水分などの吸着、保持機能を活かす。また、河川など水質浄化、物質吸着回収を期待するが、廃棄物処理の基本要件である安心できる保管、投棄の選択性が広いことを意識する。

(5) 比重の軽量化、多孔性を活かす。圧密性と粒度などから充填、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、圧密性などが重要要素であることを配慮して木材および木質材料の炭化の基本物性のうち吸湿性を検討した。とくに(5)に関わる複合化として木炭-粘土混合によるセラミックを焼成し、その吸湿性も検討した。

3. 今までの成果の概要

(1) 加熱炉による熱処理と物性変化

200℃あたりまで超音波速度、ヤング係数の上昇の傾向がみられるが、以後熱分解の進行による重量減少に伴い超音波速度などの減少が顕著に顕れ、組織の崩壊がみられる。熱処理された木材は20℃相対湿度65%での平衡含水率にみられるように吸湿性は260℃あたりで最低を示すが、以後炭化によって増加に転ずる。したがって260℃あたりまでの木材の熱処理では寸法の安定性、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。

(2) 移動式簡易炭化炉による解体材炭化と粒度分別による吸湿、保水性

実際の解体廃材を自然によって加熱約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。なお、木酢液などの熱分解による成分の回収については煙突からの冷却誘導が可能と考えられる。

粒度ごとに吸湿性、吸水後および乾燥状況(保水性)を計測した。吸湿は加熱炉の結果

同様、高温の方が大きい傾向にあり、しかも粒度の小さいほど大きい。組織構造の影響が大きい粒子は平衡に達する時間が長期化する。保水性は粒度が小さいほど高い傾向にある。したがって、利用状況に応じた粒度、炭化度が選択されるべきであろう。各種解体柱材、腐朽材、チップ、のこくず、樹皮などの炭のうちスギは吸着能が比較的大きい。

(3) 二段炭化法の有効性

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

(4) 各種木質材料炭化物の吸湿性

高温炭化物が低温炭化物に比較して吸湿量は大きく、その平衡含水率も高い。木質材料は粒度による影響はスギに比較すると少ない。吸湿曲線は $N(t) = G(1 - \exp(-\lambda t))$ のように表せる。(N(t)は時間tの吸湿量でGは平衡含水率) 図4-1~6 参照

(5) メチレンブルー溶液の吸着

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

(6) 流出pH試験

炭化物4gを蒸留水100gに入れ、スターで10分攪拌後pHを計測、溶液を吸引ろ過し、残された試料に再び蒸留水100gに入れて繰り返して計測した。炭化物は一般的にはアルカリ側にあり、高温炭化物の方が効果、その持続性とも高い。針葉樹MDFがやや酸性側にあるが添加物の影響と推測される。焼却、投棄などを想定した場合、添加物の素性の明確化は重要である。

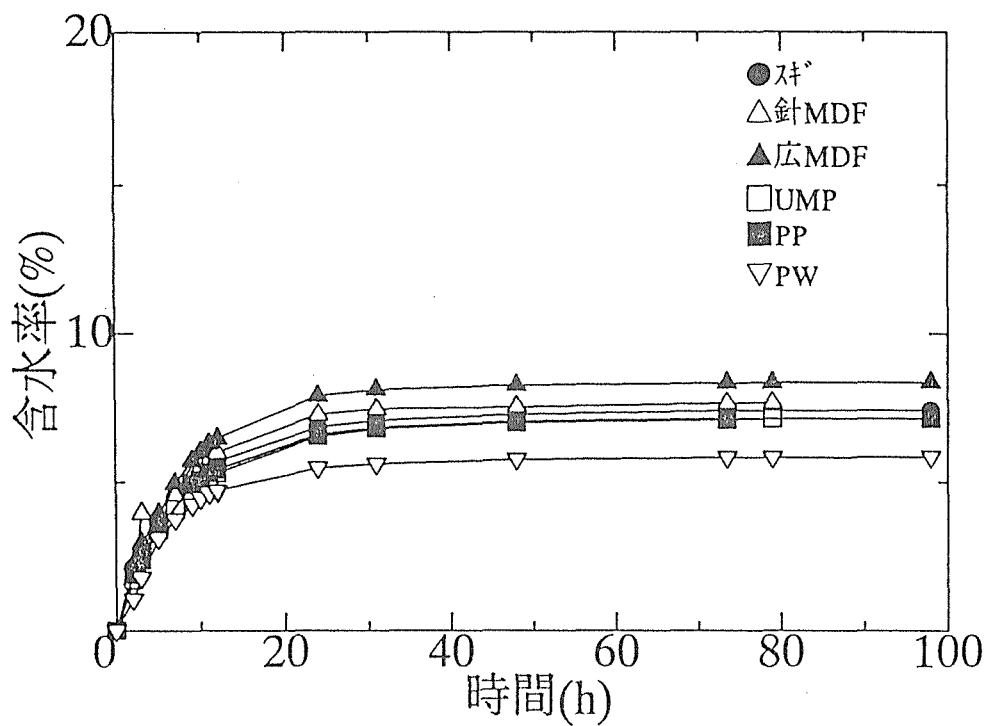


図4-1. 低温炭化物粒度微粉の含水率変化

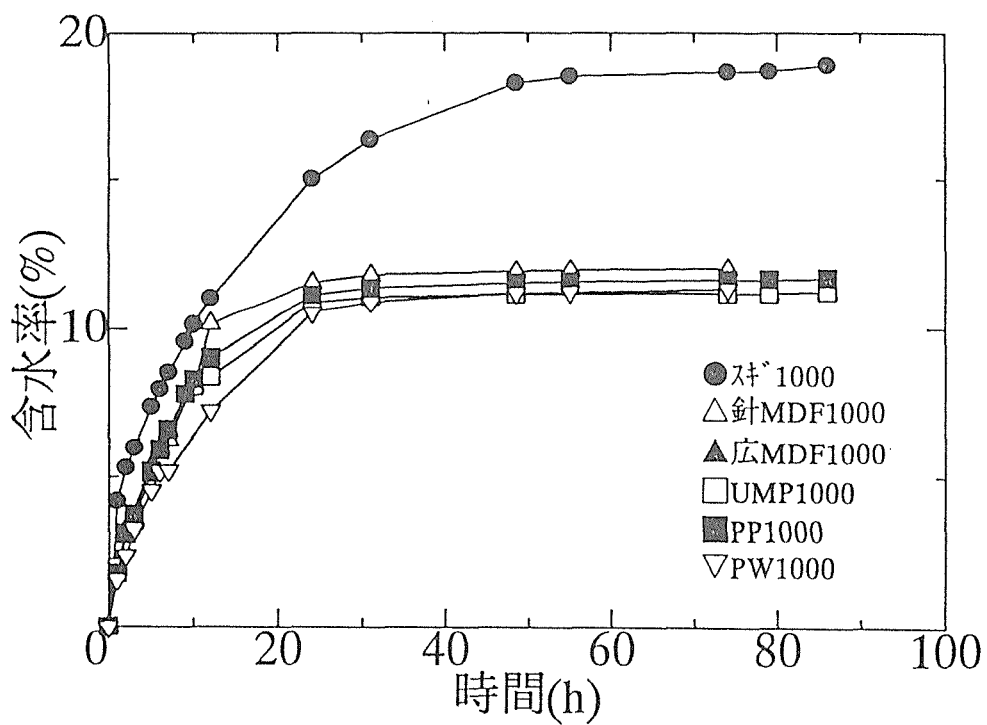


図4-2. 高温炭化物粒度微粉の含水率変化

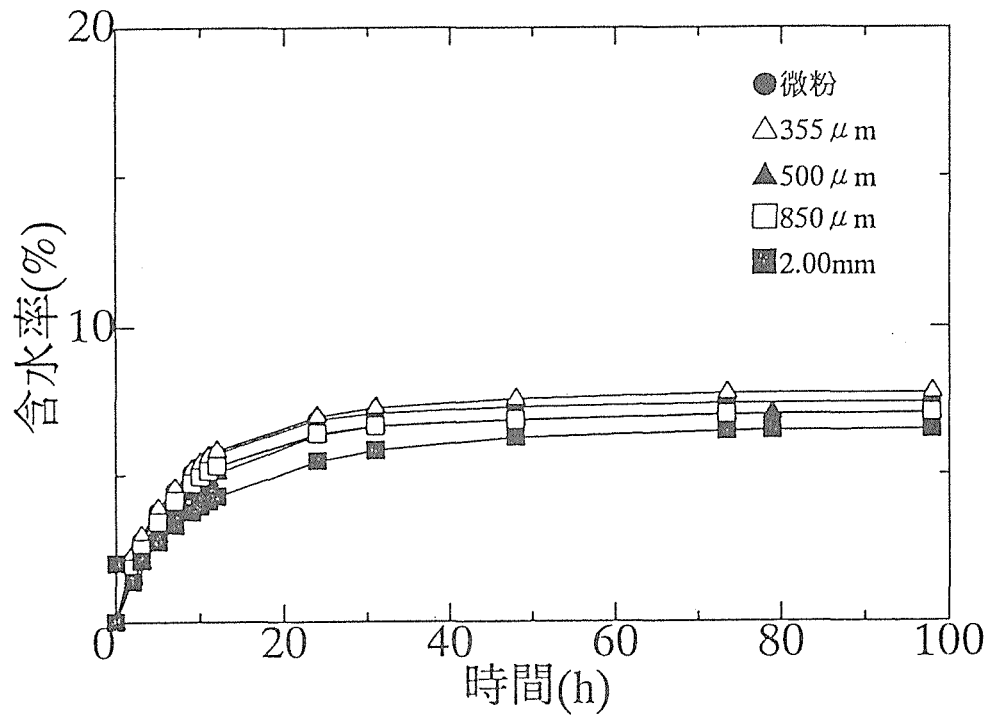


図4-3. スギの低温炭化物の含水率変化

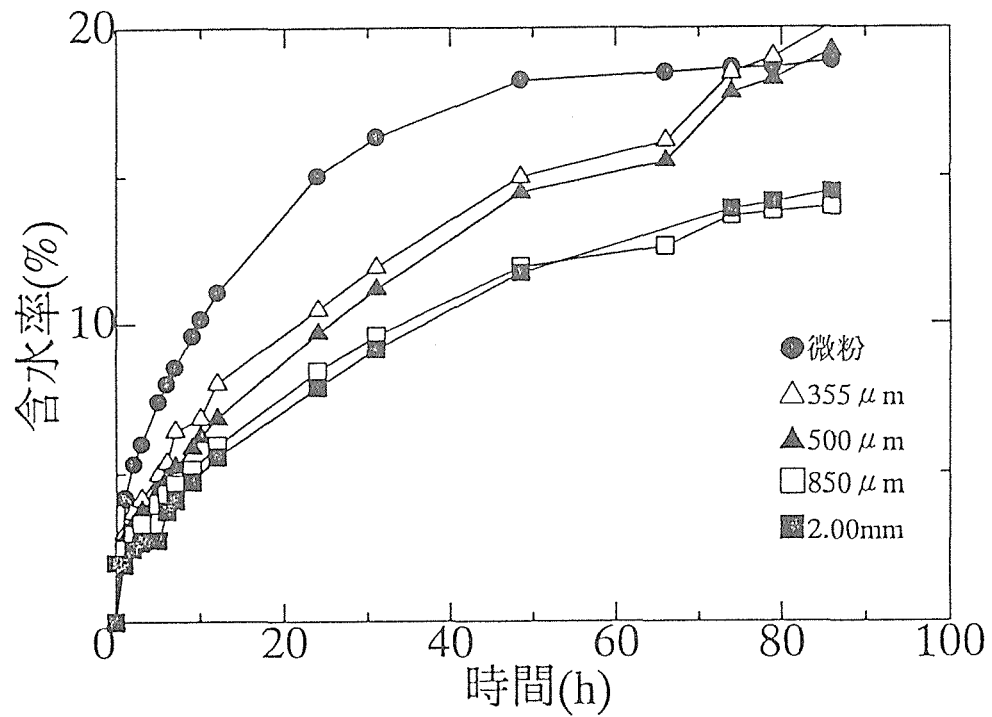


図4-4. スギの高温炭化物の含水率変化

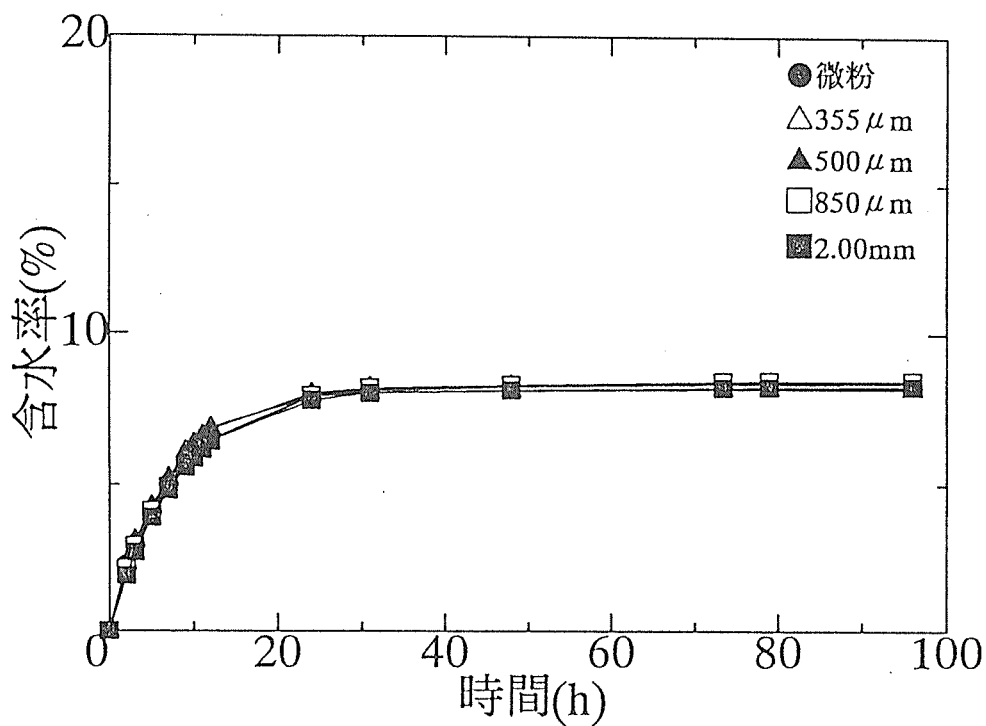


図4-5. 広葉樹MDF低温炭化物の含水率変化

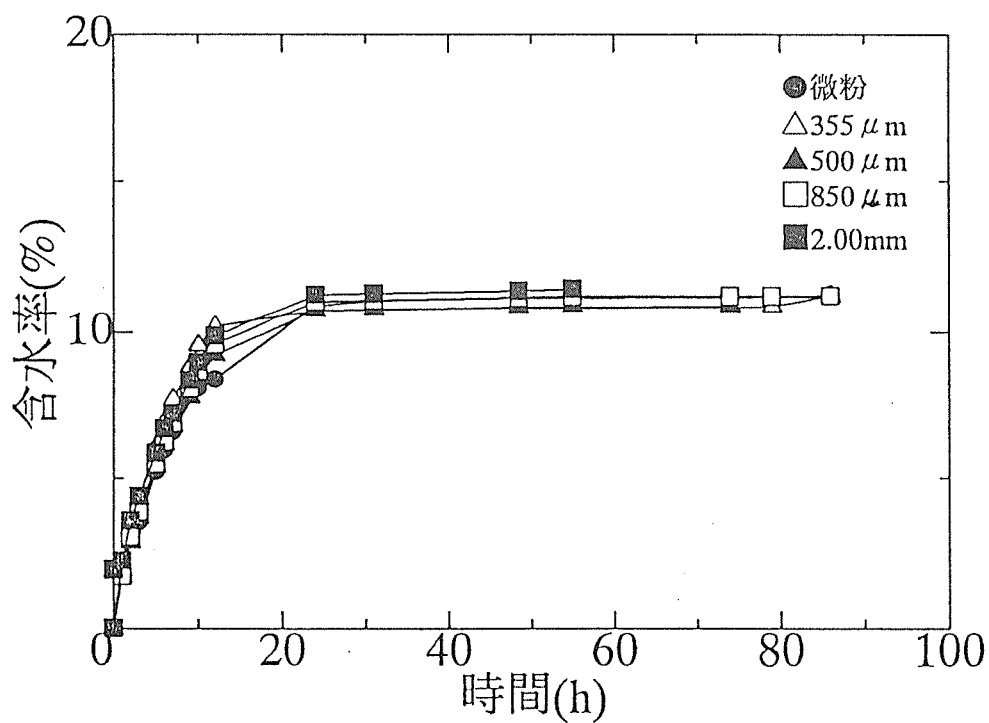


図4-6. 広葉樹MDF高温炭化物の含水率変化

4. 木炭混入のセラミックの製造と機能

木炭を粘土に混入し、大気中で焼成する焼成時間によって木炭の酸化消失によって多孔性のセラミック形成する。大気中でなく、真空など酸素の不足した状態で焼成すると炭素が混入した状態のセラミックがえられる。本研究では上記した木炭の機能を有したセラミック、とくに吸湿性の付与を注目し、炭混入セラミックの製造法と吸湿、吸放湿などの機能を検証した。

セラミックの製造方法は温度1000度で炭化処理した粒度250 μm 以下のスギ木炭を粘土に混入し、乾燥後室内電気炉で真空中で温度1000度で焼成した。木炭混入率は重量百分率で、0、1.4、4.0、6.7% とした。

(1) 吸湿試験

全乾から、20°C、40%RHに放置し重量変化を計測した。また、20°C、40%RHで恒量後20°C、90%RHに放置し重量変化を計測した。

木炭混入率による含水率変化は図4-7、図4-8に示す。木炭混入率の増加とともに吸湿速度は大きくなり、平衡の含水率は増加する。吸湿曲線は $G(t) = G(1 - \exp(-\lambda t))$ のように表せる。吸湿の反応はきわめて速く、平衡に達するまでの時間は比較的短い。

図4-9は平衡含水率Gと混入率の関係を示したもので直線的に表せる。

(2) 吸放湿特性

試験方法は図4-10のように密閉したデシケータに試験体を置き、周辺温度を変化させてそれに伴うデシケータ内の湿度変化を計測した。

図4-11は温度変化に伴うデシケータ内部の湿度変化を示したものである。木炭混入率の増加に伴って湿度変動変化は少なくなり、吸放湿による調湿特性の増加が認められる。

図4-12は温度と相対湿度の関係を求めたもので、混入率の増加に伴い、その勾配は少なくなる。相対湿度の対数と温度の1次回帰からえられる|B|値は調湿作用を示す指標であるが、図4-13のように木炭の混入によってかなり調湿能力が向上することを示している。

5. 今後の成果の活用法

成果の活用を進める上での留意点をまとめると以下のようになる。

(1) 木質系材料を焼却し、炭酸ガスと灰にする減容化は最終投棄場所の問題と絡んで重要である。しかしながら、すべて炭酸ガスに戻すのはCO₂の放出を抑えるという立場に立つならば極力避けるべきで、最低エネルギー利用すべきである。

(2) 木炭は炭素ストックの一つの形であり、熱、生物による分解などに対して木材と異なって安定性が高い。とくに炭の機能付与は断熱、吸湿、保水、土壌改良などはプラス要因になる可能性もある

(3) 廃木材の迅速な減容と炭の安全な保管、投棄、さらに利用開発は、従来の木炭の機能付与のような比較的きれいな素材の炭化と異なる。木質材料を短時間で自燃で炭化させ、減容、軽量化したものが低温炭化物(約500°C)である。この処理で異物の除去がかなりなされ、分解ガスなどの発生が少なくなる。この低温炭化物を真空中で精錬高温炭化物

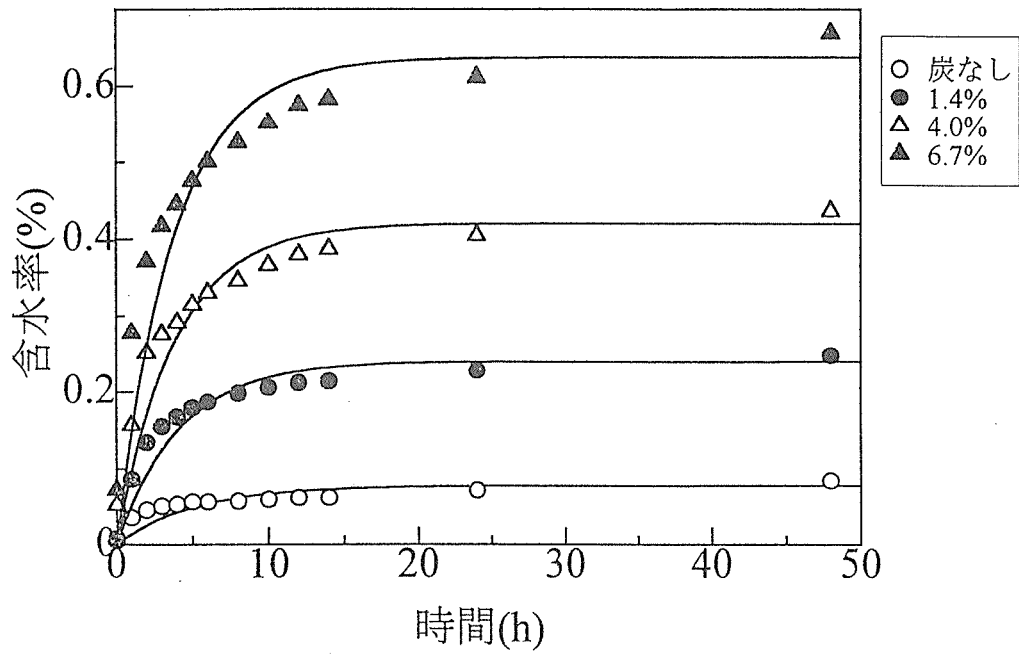


図4.7吸湿による含水率変化
(0→40%RH)

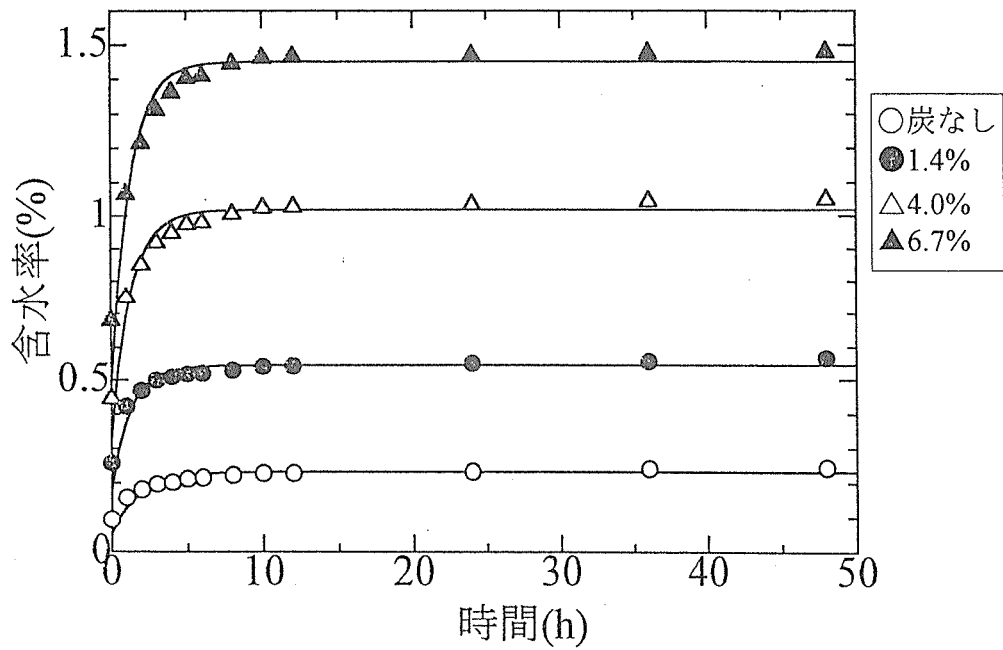


図4.8吸湿による含水率変化
(40→90%RH)

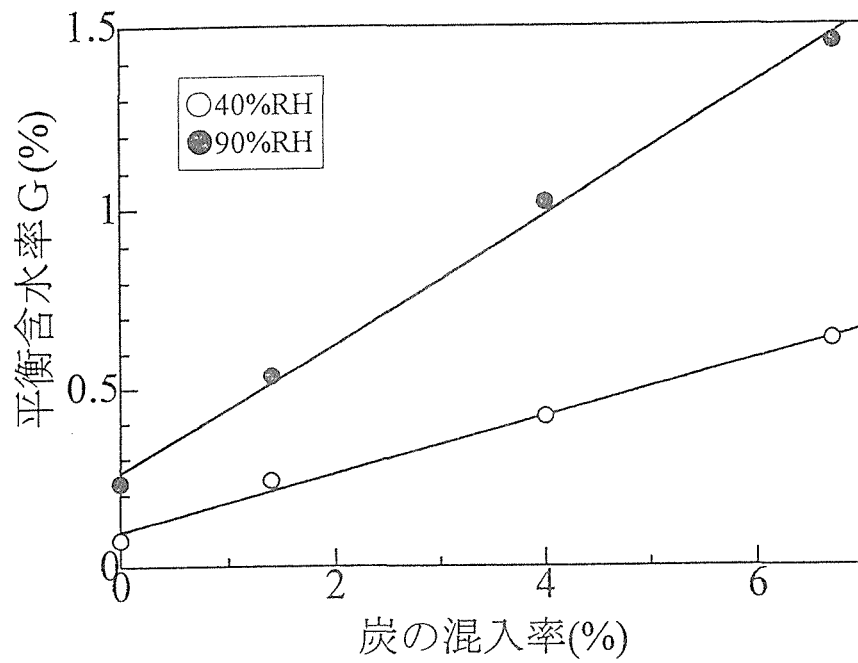
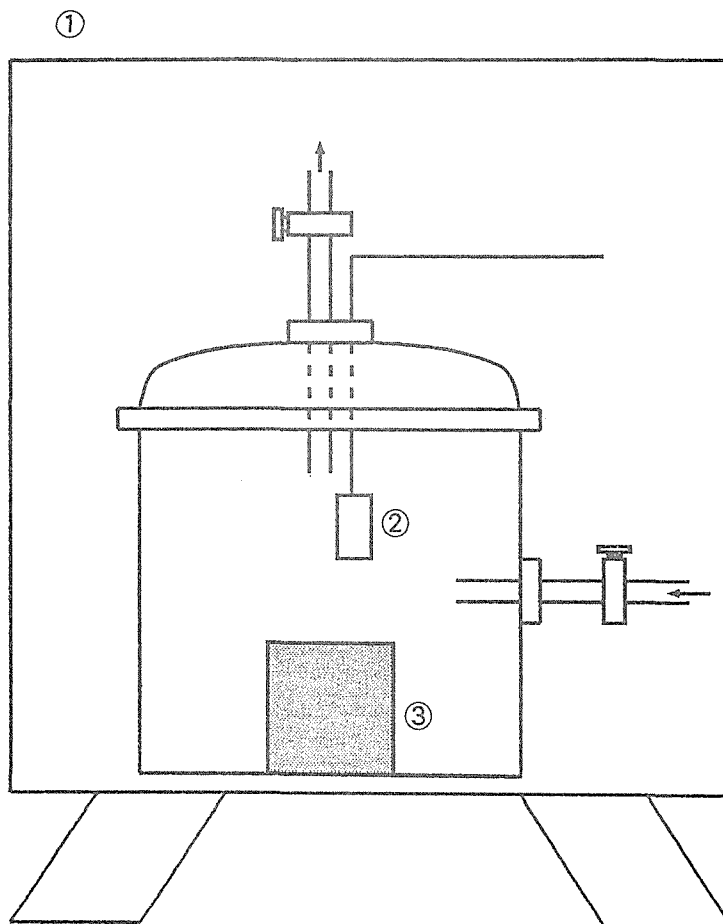


図4.9木炭の混入量と平衡含水率との関係



- ①: 恒温恒湿装置
- ②: 温湿度センサー
- ③: 試験体

図4.10 調湿実験装置

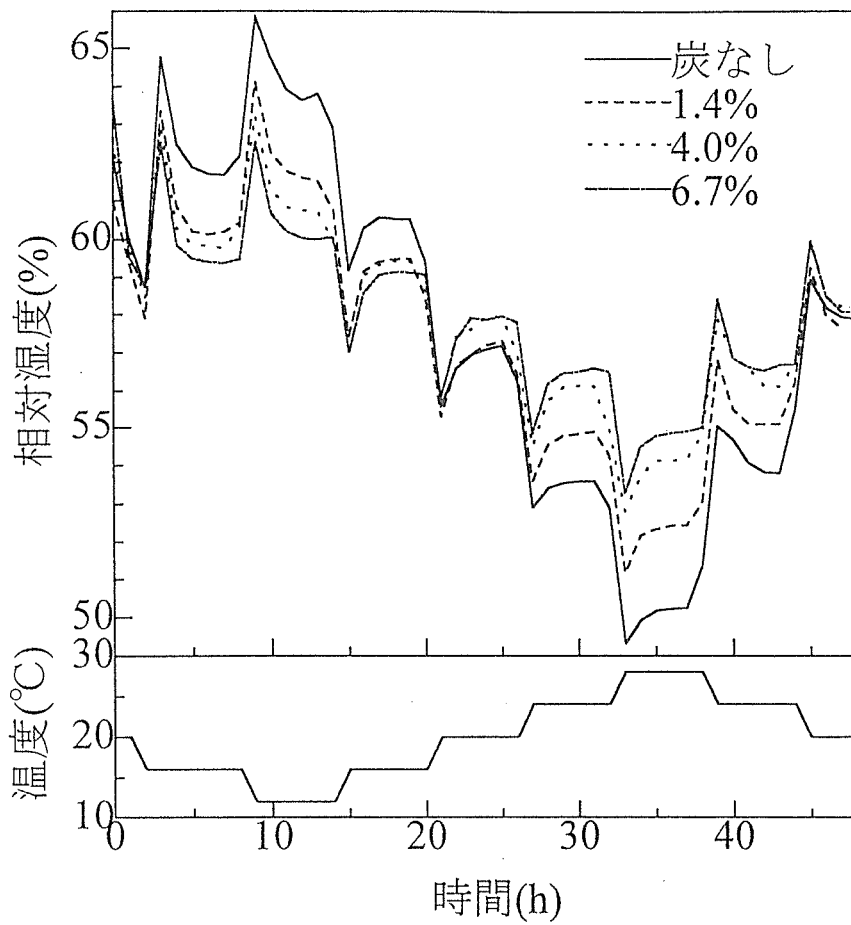


図4.11 デシケーター内の相対湿度と温度変化

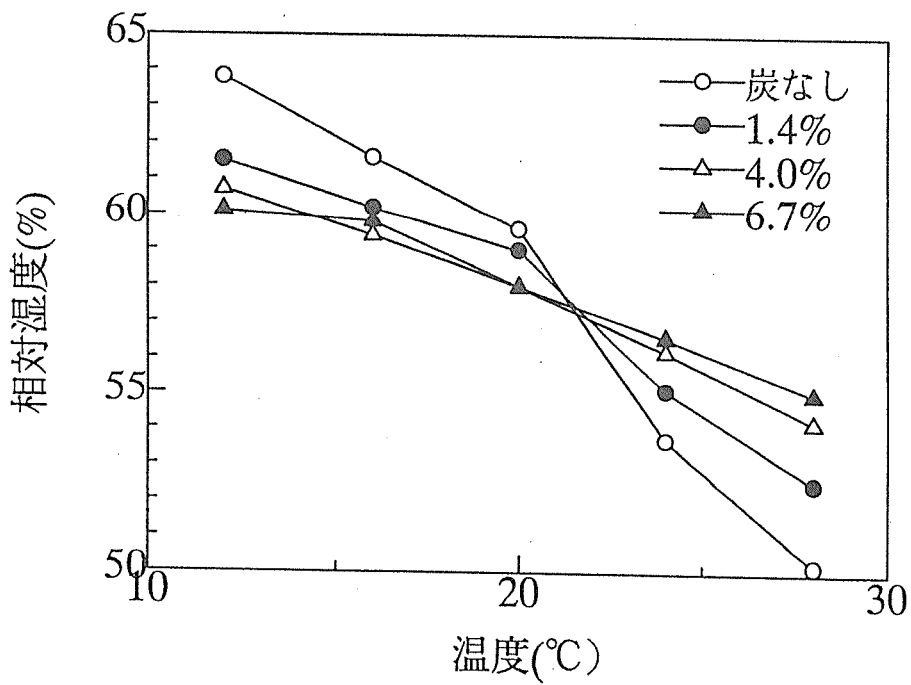


図4.12 試験体があるときの温度-湿度

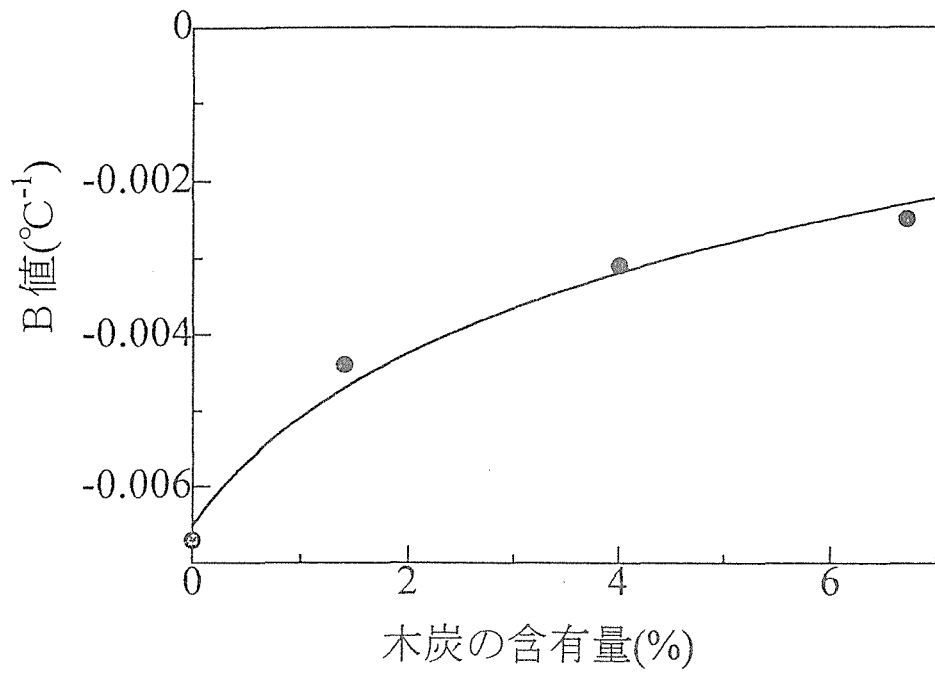


図4.1 木炭の含有量とB値との関係

とする二段炭化法は異物除去、機能賦与、さらに炉の保護などに重要な意味をもっている。

(4) リサイクル製品で接着剤など混入される木質材料の炭化物は添加物の確認をすれば投棄で特に問題となる点はなく、廃棄物の取扱として安定化品目とみても良いと思われる。木質材料の炭化物はスギに比較すると性能面ではやや劣るが、高温炭化によって機能性と安定性が高まる傾向にある。とくに、吸湿、吸着およびpHのアルカリ性は環境、土壤などに対するマイルドな改善法として好ましいと思われる。

(5) 木炭を粘土に混入し、真空など酸素の不足した状態で焼成すると炭素が混入した状態のセラミックがえられる。木炭の機能を有したセラミック、とくに吸湿性、吸放湿などの機能を有したセラミックがえられる。無機材料との混用による吸湿性、炭素の安定的な保管は居住空間への応用を含めて検討の余地がある。

6. 今後の課題

以上みたように本研究は木質廃棄物の炭化処理技術による材料の機能性の付与とその利用、保管、投棄の安全、安定化を図ることをを目的としたものであるが、以下の点を追求する必要がある。

(1) 解体材の二段炭化処理によるレベルアップ

木質廃棄物の解体分別を異物混入および形状区分で行い、二段炭化による高温高圧における炭化性状のレベルアップが必要である。減容と成型特性およびグラファイト化による機能性を検証する。

(2) 炭化処理材の土壌、石膏との混入による吸水保持、吸着特性

炭化条件によって吸水保持、吸着性能が異なることを利用し、土壌とくに林地への適用を検討する。また、建築廃棄物で多くを占める石膏ボード廃材との混用について土壌としての特性および物質吸着、浄化機能について検証する。

(3) 埋め込み成形材の製造と特性

解体チップおよびその炭化材のコンクリート、セラミック、廃プラスチックなどと混用、埋め込み成形材を製造法を検討し、強度および吸着などの機能を検証する。

いずれにしても積極的な保管、保存を兼ねた再利用、投棄に近い再利用について安全、安定化を考慮する必要がある。このように実用面の必要度は極めて緊急を要するものであるが、研究的にも段階的炭化の広域利用と他資材との複合化という新しい境界領域であり、木材の利用技術の課題を示唆するものとする。本研究は廃材の圧潰、延伸、破砕などによる原料化あるいはチップの前処理方法という廃材としての入り口に相当する基礎技術から一歩踏み出した木材資源のカスケード型利用の保存段階の技術と新しい複合機能性資材の開発研究として捉えることができる。

第5章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能

1. はじめに

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きている。ゴミになれば埋め立てや焼却処分されるが、これはいろいろな環境問題を引き起こしている。このような古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木質資源を無駄にしないための技術開発が重要な課題となっている。木質残廃材のカスケード型利用の1つである炭化処理では残廃材の減容化・軽量化・安定化とともに炭化物のいろいろな性能・機能を明らかにして、それらを有効に利用していくことが必要である。ここでは、接着剤やコンクリートなどの異物を有する廃コンパネ合板などの炭化利用の可能性を探るために合板を製造し、コンクリート処理を行った後炭化処理を行い、炭化物の性質を調べた。

2. 供試材及び実験方法

2.1 合板の製造と炭化処理：

ラワン (*Shorea* sp., 厚さ：2.6mm) と北洋カラマツ (*Larix dahurica*, 厚さ：1.8mm) を用い、ユリア樹脂及びフェノール樹脂接着剤で5プライの合板 (30cm×30cm) を製造した。製造した合板の半分には両面に生コンクリートを塗布し、約1週間室内に静置した。1週間後、合板の表面に付着した大きなコンクリートを除去した後 (これを廃コンパネ合板とする)、合板を5cm×5cmに切断し、炭化温度400, 600, 750℃, 炭化時間2, 4, 6時間で炭化した。また、合板製造と同じ条件でフィルム状にした接着剤も炭化した。炭化には木材乾溜装置を使用した。所定の温度・時間で炭化した後、約1日自然放冷して実験に供した。

表5-1に供試材料とその気乾密度を示す。

表5-1 供試材料とその気乾密度

供 試 材 料	記号	気乾密度
ラワンフェノール合板	(L-P-P)	0.53
ラワンユリア合板	(L-U-P)	0.53
北洋カラマツフェノール合板	(K-P-P)	0.70
北洋カラマツユリア合板	(K-U-P)	0.68
ラワンコンパネフェノール合板	(L-CP-P)	0.55
ラワンコンパネユリア合板	(L-CU-P)	0.55
北洋カラマツコンパネフェノール合板	(K-CP-P)	0.69
北洋カラマツコンパネユリア合板	(K-CU-P)	0.70
ラワン単板	(L-V)	0.44
北洋カラマツ単板	(K-V)	0.55

2.2 試料

炭化物は乳鉢で粉碎し、60メッシュを通過したものを試料とした。

2.3 炭化物の特性評価

炭化物の性質としてpH、20°C・RH60%における平衡含水率、メチレンブルー吸着量などを調べた。pH、メチレンブルー吸着量はJIS K 1474（活性炭試験方法）に準じて測定した。炭化物の一部については比表面積、細孔容積、平均細孔半径などを測定した。この測定は大太平洋金属株式会社新潟工場の御好意によるものであり、同社に感謝致します。

3. 結果及び考察

3.1 収率

図5-1にラワンフェノール樹脂合板の収率と炭化温度、炭化時間との関係を示す。収率は炭化温度が高い程、炭化時間が長い程低下した。合板の収率は単板より、廃コンパネ合板の収率は合板より若干高い値を示した。図5-2にユリア樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤及びセメントの収率と炭化温度（炭化時間は4時間）との関係を示す。フェノール樹脂接着剤の収率（30～48%）はユリア樹脂接着剤のそれ（14～26%）より約2倍大きな値を示した。

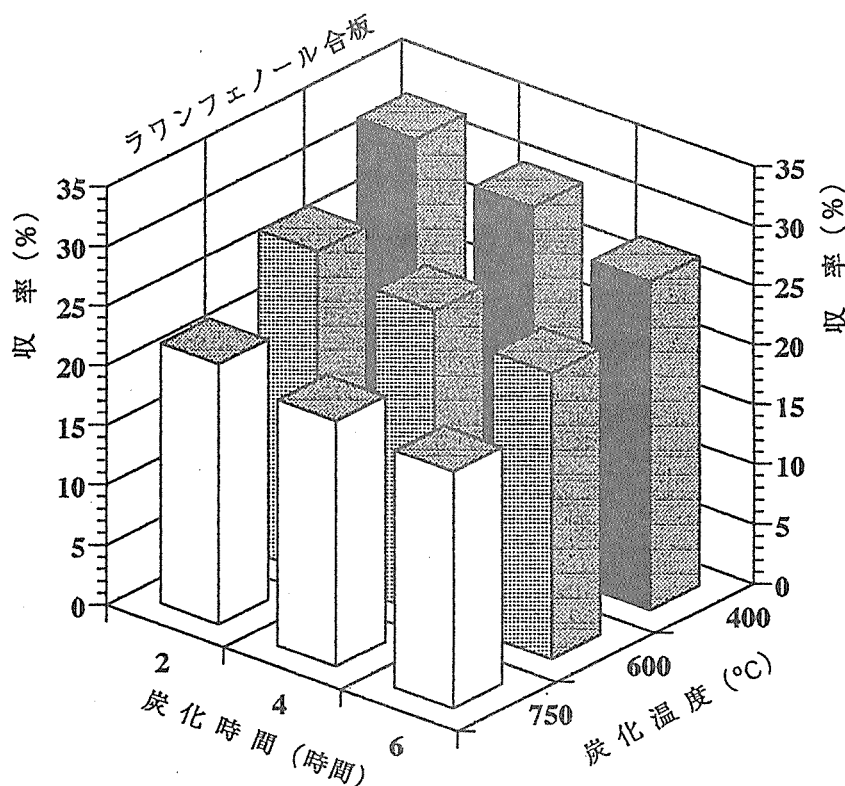


図5-1 ラワンフェノール合板の収率と炭化温度・炭化時間との関係

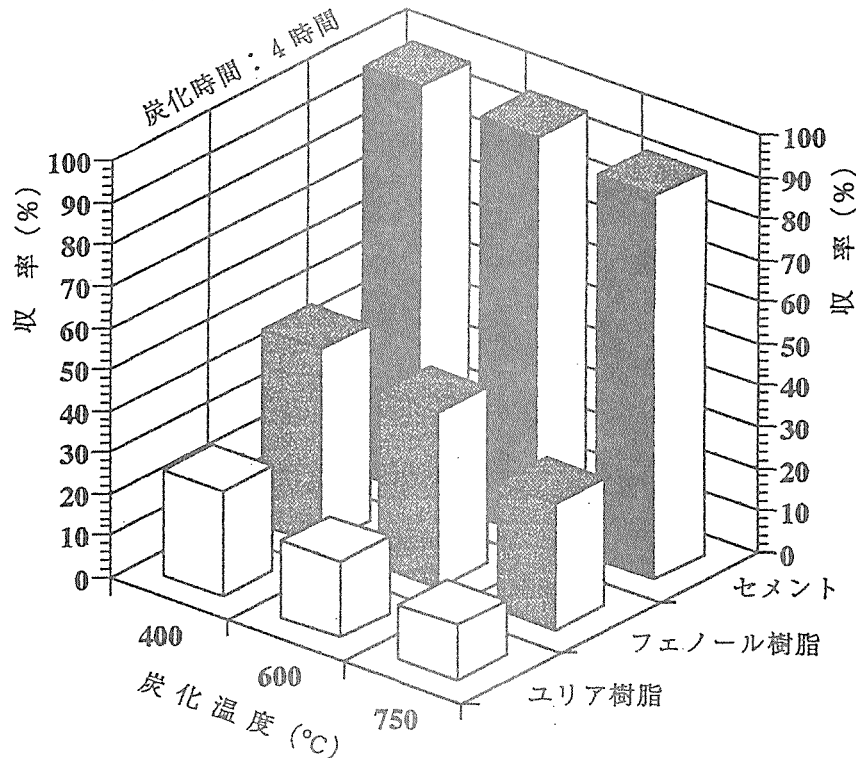


図5-2 フェノール樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤及びセメントの収率と炭化温度・炭化時間との関係

3.2 pH

図5-3にラワンおよび北洋カラマツの各炭化物のpHを示す。図5-4にフェノール樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤及びセメント炭化物のpHを示す。いずれの炭化温度、炭化時間でも、廃コンパネ合板及びフェノール樹脂合板のpHはユリア樹脂合板および単板のそれより高い値を示した。これには、図5-4に示すように、セメントおよびフェノール樹脂接着剤の高いpHが影響していると考えられる。炭化温度400°C、600°Cでは炭化時間の影響はほとんど見られなかったが、ラワンの炭化温度750°Cの場合は、6時間炭化の場合が2時間および4時間炭化の場合より若干高いpHを示した。この傾向はユリア樹脂合板および単板の場合において顕著であった。

ラワン、北洋カラマツともフェノール樹脂合板がユリア樹脂合板より高いpHを示したが、廃コンパネ合板では接着剤の違いによるpHの違いは見られなかった。廃コンパネ合板では炭化温度400°C、2時間炭化でもpHは10以上を示した。

炭化前のラワン単板のpH (4.99) は北洋カラマツ単板のそれ (4.45) より高く、炭化後もラワンのpHは北洋カラマツのそれより高い値を示した。セメントのpHは炭化温度が高くなる程高くなる傾向を示したが、フェノール樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤では炭化温度の影響はほとんど見られなかった。

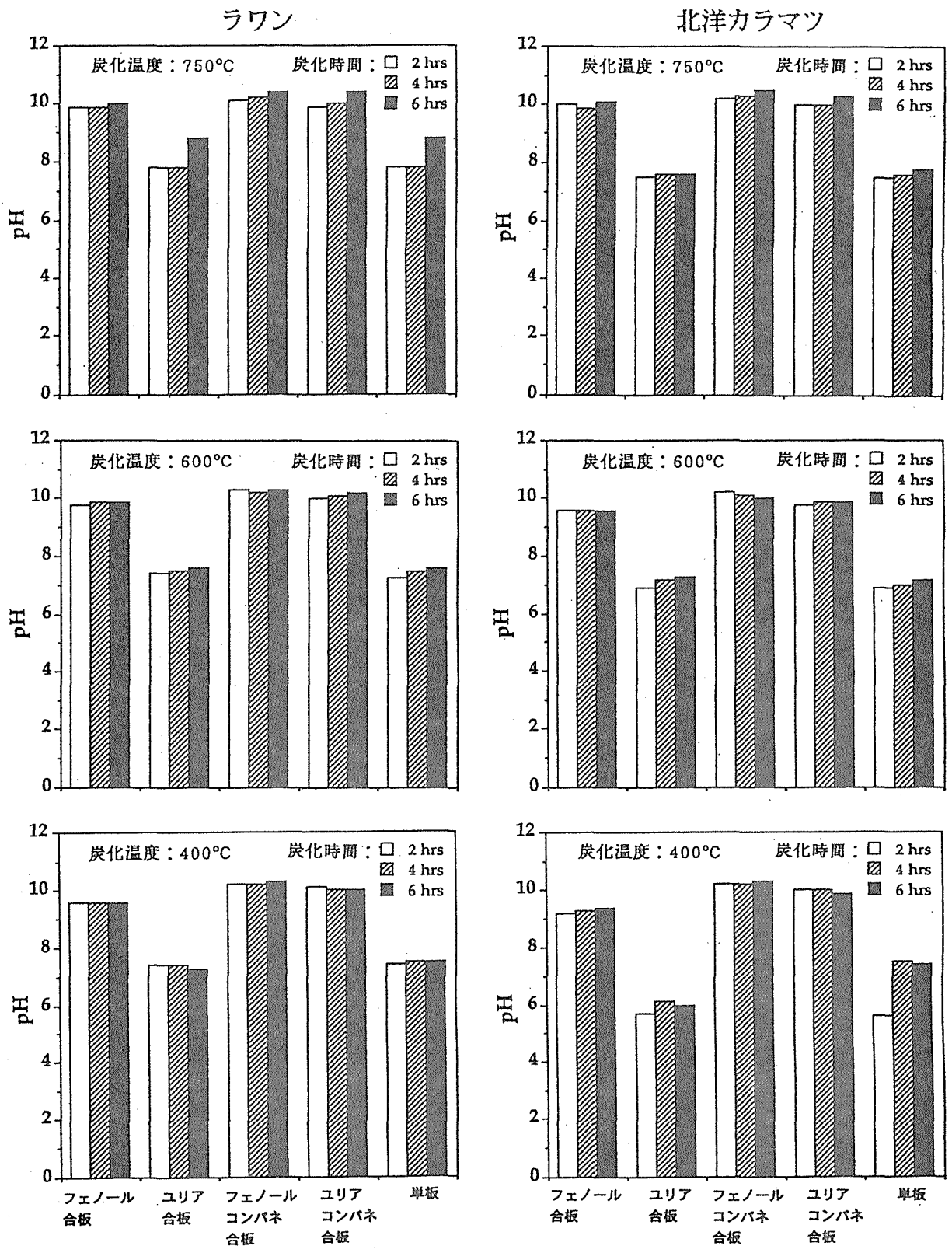


図5-3 ラワン、北洋カラマツ合板（廃コンパネ合板）及び単板炭化物の pHと炭化温度・炭化時間との関係

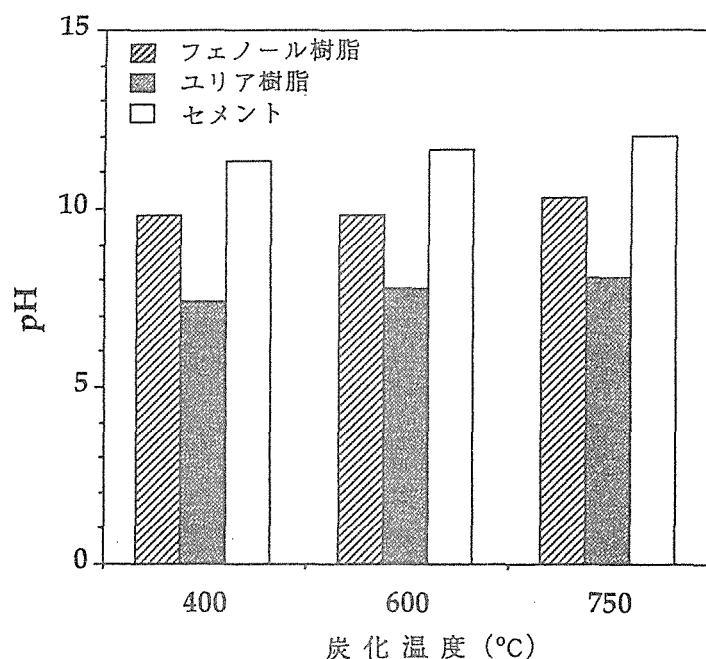


図5-4 炭化フェノール樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤及びセメントのpHと炭化温度との関係
(炭化時間：4時間)

3.3 平衡含水率 (EMC)

図5-5にラワン、北洋カラマツの各炭化物の20°C・RH60%における平衡含水率 (EMC) を、図5-6にユリア樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤及びセメント炭化物の20°C・RH60%における平衡含水率 (EMC) を示す。図5-5から見られるように、炭化温度400°C、600°Cでは平衡含水率 (EMC) は5.6~11.3%の範囲にあるが、炭化温度750°Cでは13.8%~24.1%の範囲にあり、特にフェノール樹脂合板炭化物は21%以上の値を示し、吸湿量がきわめて大きくなっている。廃コンパネ合板ではこの傾向は見られなかった。フェノール樹脂合板炭化物が炭化温度750°Cで吸湿性が大きくなっている点については炭化温度をもっと高くした場合や温湿度条件を変えて更に検討する必要である。

炭化温度400°C、600°Cの場合は炭化時間の影響はそれ程明らかでなかったが、炭化温度750°Cのフェノール樹脂合板の場合はラワン、北洋カラマツとも炭化時間が長くなると平衡含水率 (EMC) も明らかに増加した。

炭化ユリア樹脂接着剤の平衡含水率 (EMC) はフェノール樹脂接着剤のそれより高く、炭化温度750°Cの場合、ユリア樹脂接着剤の平衡含水率 (EMC) はフェノール樹脂接着剤のそれより1.4倍大きな値を示した。

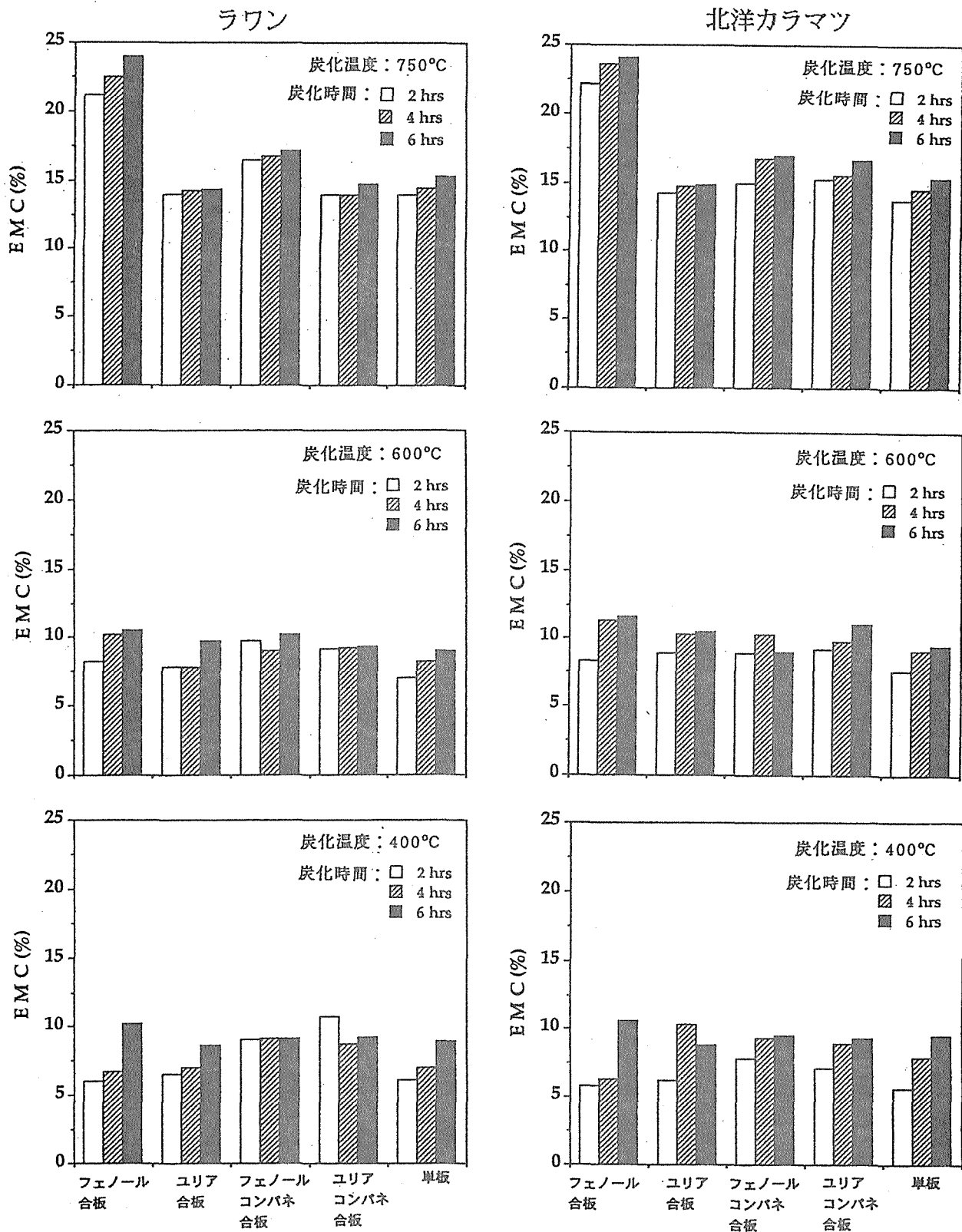


図5-5 ラワン、北洋カラマツ合板・廃コンパネ合板 及び単板炭化物の 20°C, RH65%における平衡含水率 (EMC) と炭化温度・炭化時間との関係

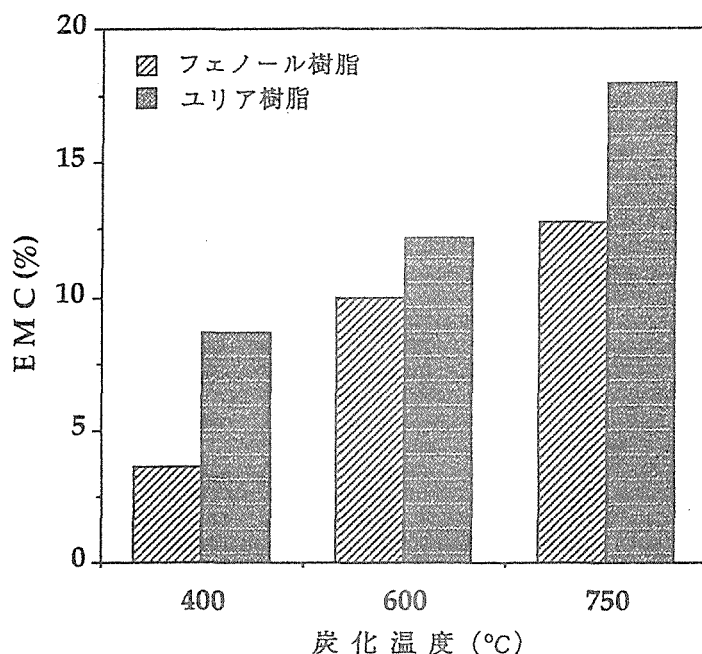


図5-6 炭化フェノール樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤の20°C、RH65%における平衡含水率（EMC）と炭化温度との関係（炭化時間：4時間）

図5-5からはわかりにくいですが、各炭化物の平衡含水率（EMC）は炭化温度が高い程、炭化時間が長い程、大きな値を示す傾向にあった。

3.4 メチレンブルー吸着量（M.B.A.）

図5-7に各炭化物のメチレンブルー吸着量（M.B.A.）を示す。図から見られるように、北洋カラマツの炭化温度750°C、6時間炭化のフェノール樹脂合板炭化物はきわめて高いメチレンブルー吸着量（M.B.A.）を示した。この値は木質系活性炭のメチレンブルー吸着量（M.B.A.）（162mg/g）より高い値である。北洋カラマツの炭化温度750°Cの場合、2時間、4時間炭化の場合でも、ラワンの炭化温度750°C、炭化時間6時間の場合より高いメチレンブルー吸着量（M.B.A.）を示した。この点についてはさらに検討を必要とするが、使用済みフェノール樹脂合板は有用な炭化物として利用できる可能性がある。

図5-7からはわかりにくいですが、メチレンブルー吸着量は炭化温度が高い程、炭化時間が長い程、大きな値を示した。ラワン、北洋カラマツともフェノール樹脂合板、フェノール樹脂廃コンパネ合板がユリア樹脂合板、ユリア樹脂廃コンパネ合板より高いメチレンブルー吸着量（M.B.A.）を示した。

図5-8に炭化ユリア樹脂接着剤及びフェノール樹脂接着剤のメチレンブルー吸着量を示す。20°C・RH60%における平衡含水率（EMC）はユリア樹脂がフェノール樹脂より高い値を示したが、メチレンブルー吸着量はフェノール樹脂がユリア樹脂より高い値を示した。特に、炭化温度が750°Cの場合、フェノール樹脂接着剤は高いメチレンブルー吸着量を示した。

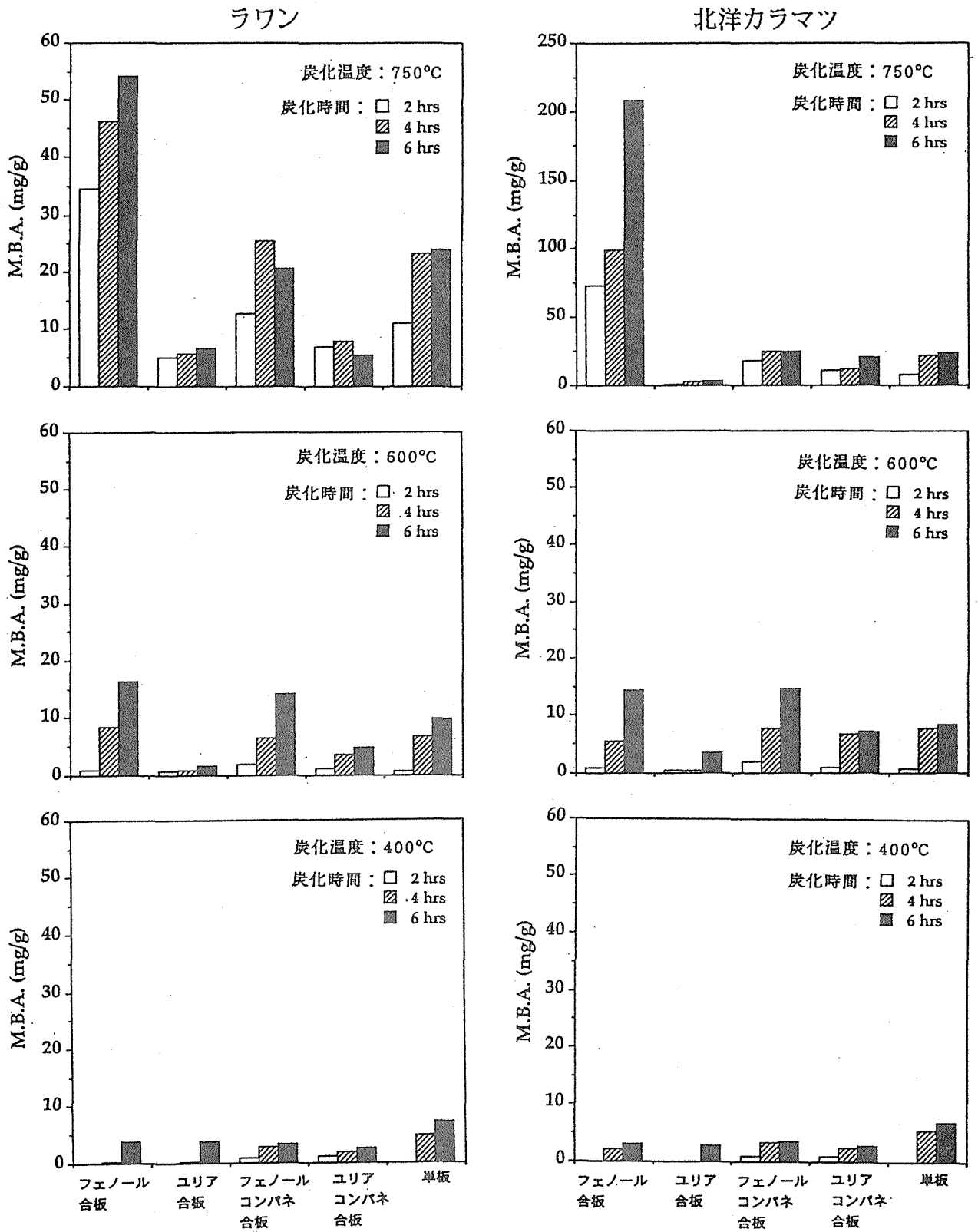


図5-7 ラワン、北洋カラマツ合板・廃コンパネ合板及び単板炭化物のメチレンブルー吸着量(M.B.A.)と炭化温度・炭化時間との関係

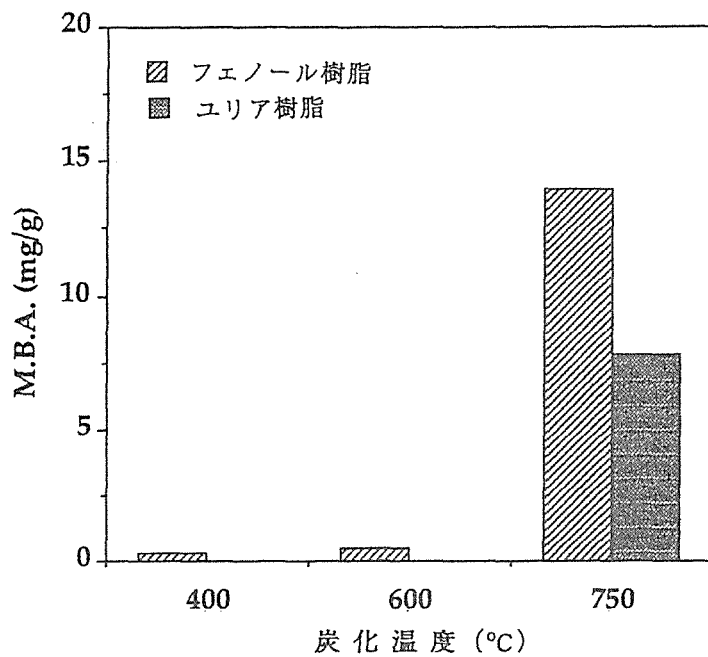


図5-8 炭化 フェノール樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤のメチレンブルー吸着量(M.B.A.)と炭化温度との関係 (炭化時間：4時間)

3.5 メチレンブルー吸着量 (M.B.A.) と平衡含水率 (EMC) との関係

図5-9にメチレンブルー吸着量 (M.B.A.) と20°C・RH60%における平衡含水率 (EMC) との関係を示す。図から明らかなように、メチレンブルー吸着量は20°C・RH60%における平衡含水率が高い程、大きな値を示す傾向が見られるが、炭化温度750°C、6時間炭化の北洋カラマツフェノール樹脂合板 (K-P-P) は極めて大きなメチレンブルー吸着量を示した。

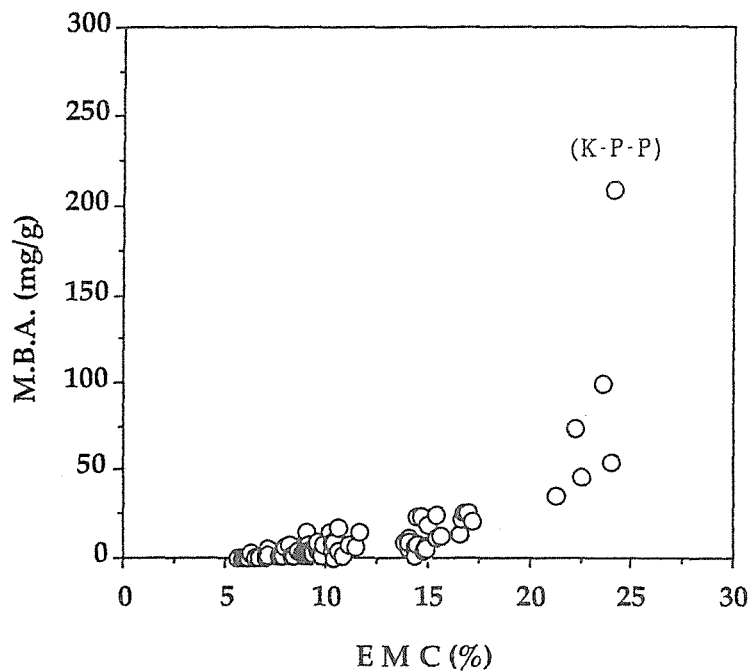


図5-9 メチレンブルー吸着量(M.B.A.)と20°C, RH65%における平衡含水率 (EMC) との関係

3.6 細孔分布

図5-7に示したように、フェノール樹脂合板炭化物はユリア樹脂合板炭化物より高いメチレンブルー吸着量 (M.B.A.) を示した。これには試料の細孔分布も一因していると考えられる。図5-10に炭化温度600°C、4時間炭化のラワンフェノール樹脂合板炭化物とラワンユリア樹脂合板炭化物の細孔分布の1例を示す。フェノール樹脂合板炭化物の場合がユリア樹脂合板炭化物の場合より直径の小さい細孔が多いことを示している。

3.7 メチレンブルー吸着量 (M.B.A.)、平衡含水率 (EMC) と比表面積との関係

図5-11にメチレンブルー吸着量 (M.B.A.) と比表面積との関係を示す。図から見られるように、比表面積が大きいものほど、メチレンブルー吸着量は大きい値を示す傾向が見られ、炭化温度750°C、炭化時間6時間の北洋カラマツフェノール樹脂合板炭化物の極めて高いメチレンブルー吸着量は比表面積に起因していると思われる。

図5-12に20°C・RH60%における平衡含水率 (EMC) と比表面積との関係を示す。図から見られるように、平衡含水率 (EMC) は比表面積とほぼ直線関係にある。

4. まとめ

ラワンと北洋カラマツ単板を用い、ユリア樹脂及びフェノール樹脂接着剤で5プライの合板を製造し、その一部についてはコンクリート処理を行った後、炭化処理を行い、炭化物の性質を調べた。得られた結果は次の通りである。

- 1) 収率は炭化温度が高い程、炭化時間が長い程、低下した。合板の収率は単板より、廃コンパネ合板の収率は合板のそれより若干高い値を示した。
- 2) フェノール樹脂合板炭化物のpHはユリア樹脂合板炭化物のそれより高い値を示した。廃コンパネ合板炭化物では接着剤の違いによるpHの違いは見られず、炭化温度400°C、炭化時間2時間でもpHは10以上であった。
- 3) 炭化温度750°Cの炭化物の20°C・RH60%における平衡含水率 (EMC) は高い値を示し、特にフェノール樹脂合板炭化物の場合に顕著であった。炭化温度400°C、600°Cでは平衡含水率 (EMC) に対する炭化時間の影響は明らかでなかったが、炭化温度750°Cの場合は炭化時間が長い程高い平衡含水率 (EMC) を示した。炭化接着剤ではユリア樹脂がフェノール樹脂より高い平衡含水率を示した。
- 4) メチレンブルー吸着量 (M.B.A.) はラワン、北洋カラマツともフェノール樹脂合板、フェノール樹脂廃コンパネ合板がユリア樹脂合板、ユリア樹脂廃コンパネ合板より高い値を示した。炭化温度750°C、6時間炭化の北洋カラマツフェノール合板炭化物は木質系活性炭より高いメチレンブルー吸着量を示した。この高いメチレンブルー吸着量 (M.B.A.) にはその比表面積が関係している。

炭化温度750°C、炭化時間6時間の北洋カラマツフェノール樹脂合板炭化物の比表面積がど

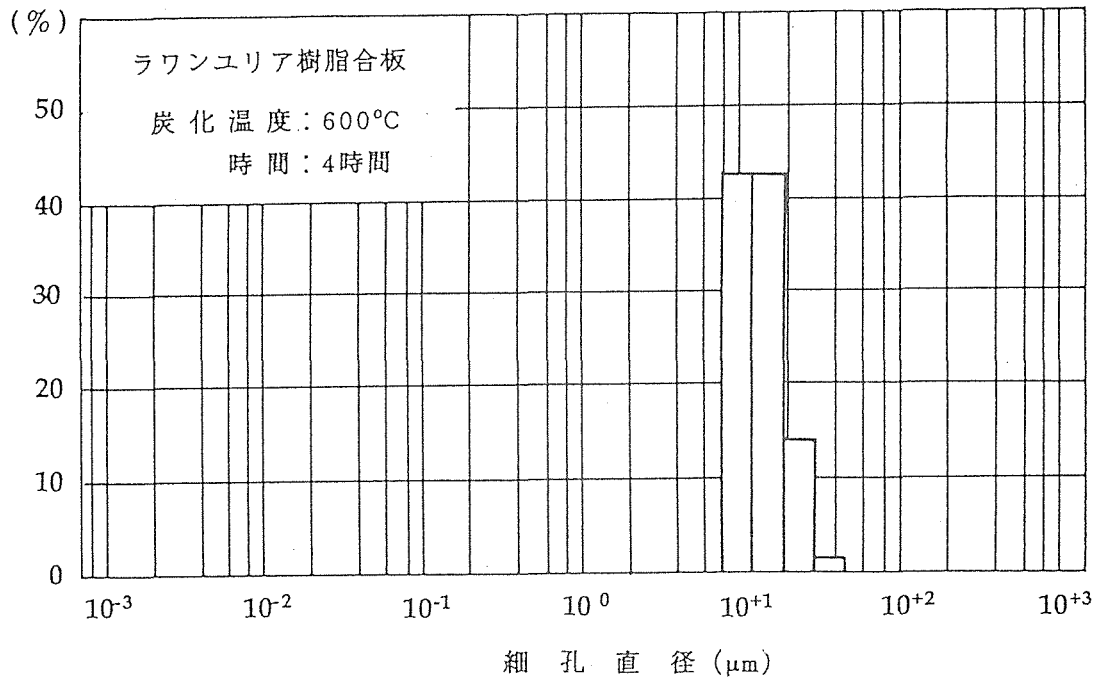
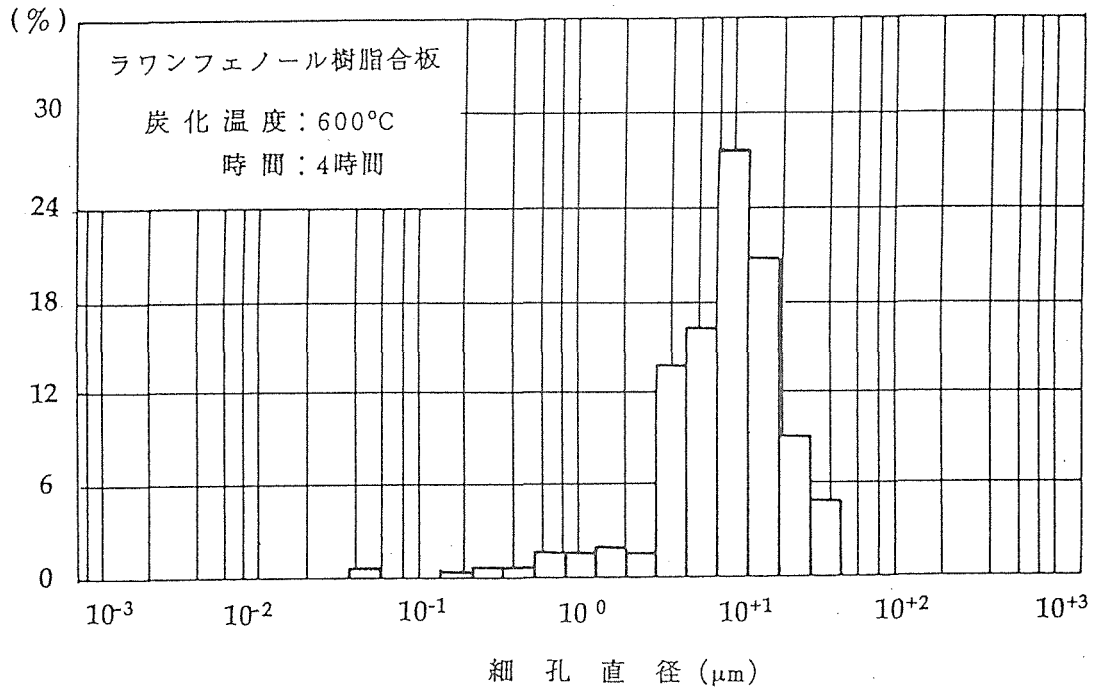


図5-10 ラワンフェノール樹脂合板及びラワンユリア樹脂合板炭化物の細孔分布
(炭化温度：600°C、炭化時間：4時間)

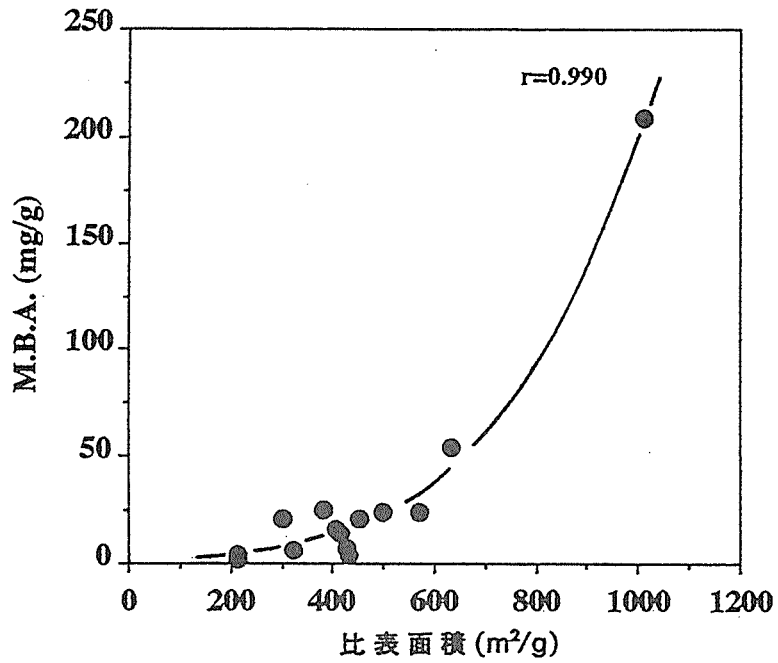


図5-11 メチレンブルー吸着量(M.B.A.)と比表面積との関係

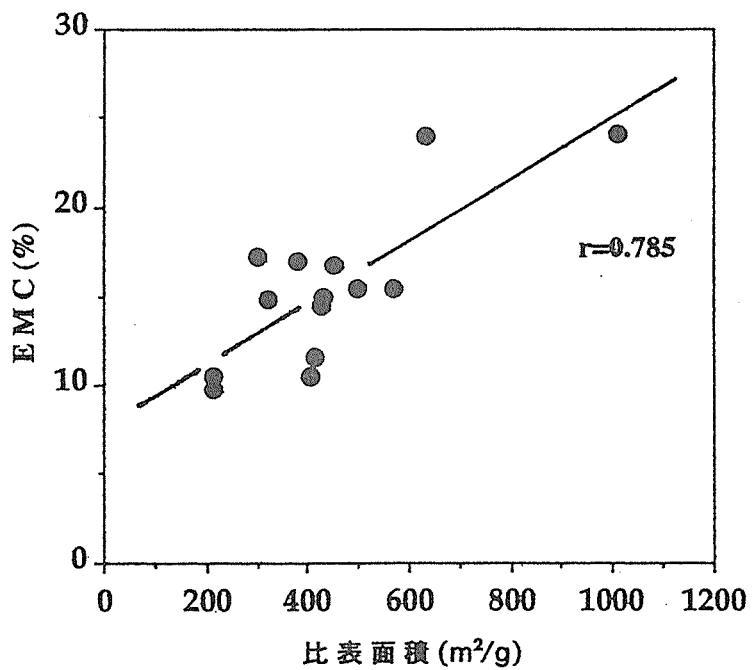


図5-12 20°C, RH65%における平衡含水率 (EMC) と比表面積との関係

うして大きくなるのかは現段階では明らかでない。また、フェノール樹脂合板炭化物が20℃、RH60%において高い平衡含水率を示すことについても温湿度条件をを変えてもう少し検討する必要であると思われる。フェノール樹脂接着剤を用いた炭化物の高い吸湿性、高いメチレンブルー吸着量は大変興味のあるところである。

第6章 炭化技術と炭化物の機能利用技術の開発

1 はじめに

最近油流出で環境が汚染され問題になっている。木質ファイバーを用いて熱処理すれば、油吸着量が多くて吸水量の少ない油吸着材ができることを見だし特許を取得している¹⁾。しかし、この方式ではファイバー化するための設備投資が大きく、コスト高となる。このような高い吸着能力はなくてもコストの安い油吸着材ができれば、その性能に見合った需要はあるものと考えられる。

木質廃棄物としては、住宅解体材から作られたパーティクルボード用のチップがある。これを原料としてさらに粉碎して熱処理し、低コストの油吸着材を実験室レベルで試作した。また、インシュレーションボードの切断くずがたくさんでる。同様に、これを原料として熱処理し、低コストの油吸着材を実験室レベルで試作した。

連続炭化装置で製造したトドマツ・エゾマツ混合ファイバーの油吸着材、350、500、700、900、1,200℃で熱処理したトドマツファイバーをそのまま、あるいは乳鉢で粉碎した試料を水銀 porosimeter を用いて、細孔を測定した。試作した熱処理物の油吸着量、吸水量を測定し、木質ファイバー熱処理物の性能と比較した。その結果それぞれの熱処理物の油吸着材として使えることが分かった。

2 実験方法

2.1 試験材料の調製（熱処理を含む）

図6-1に油吸着材の製造方法²⁾を示す。日立造船株式会社製のPDDRで作ったトドマツ

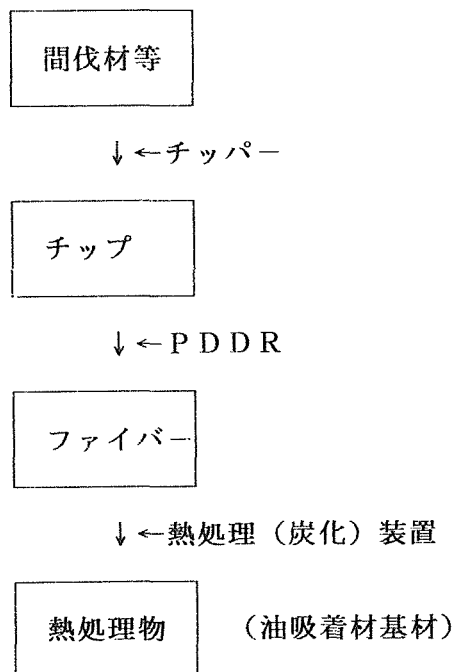


図6-1 油吸着材の製造方法

・エゾマツ混合のファイバーを用い、日立造船株式会社製の連続炭化装置（写真6-1）で乾燥および予備加熱250℃3.5分間、本加熱325℃7分間、発生した熱分解物をファイバーに絡めるための後加熱3.5分間の条件で加熱し（熱処理1）、油吸着材（以下木質系油吸着材という）を製造した³⁾。

主にトドマツ・エゾマツの住宅解体材から作られたパーティクルボード用のチップがある。これを原料としてハンマークラッシャー（写真6-2）で削片とした残りの2.2mmふる

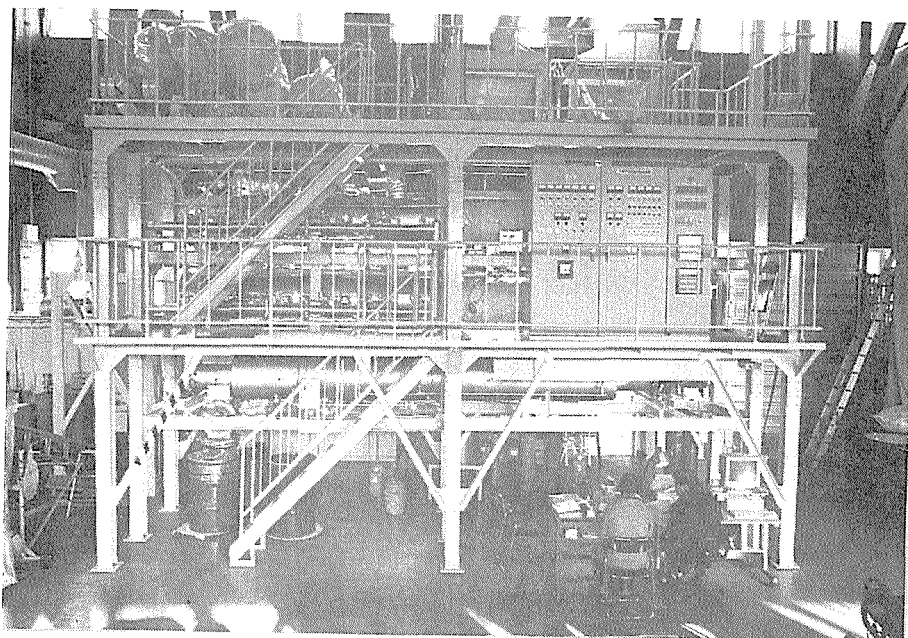


写真6-1 連続炭化装置

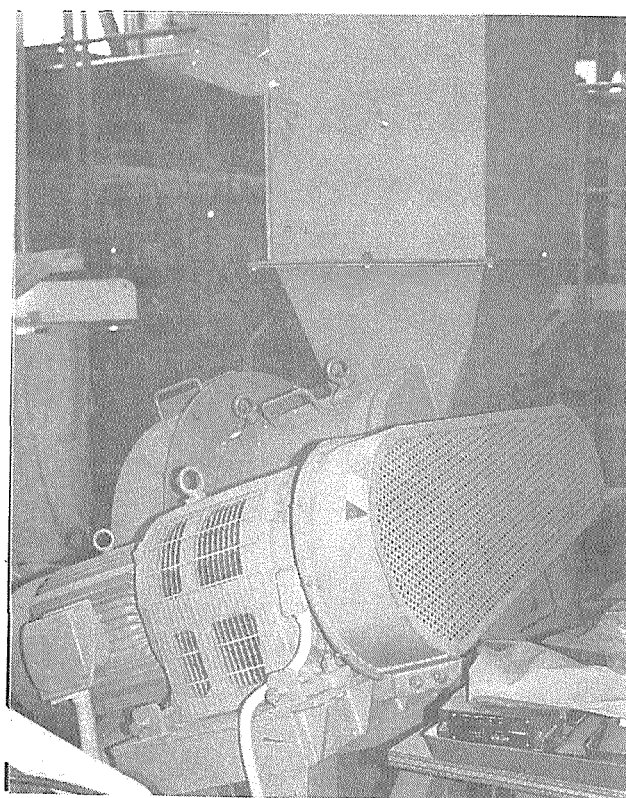


写真6-2 ハンマークラッシャー

以下のものを350℃で熱処理（熱処理2）し、油吸着材（以下住宅解体材熱処理物という）を試作した。

また、インシュレーションボードの切断くずがたくさんでるが、使い道がない。そこで、これを原料として350℃で熱処理し（熱処理2）、油吸着材（以下インシュレーションボード熱処理物という）を試作した。

さらに、日立造船株式会社製のPDDRで純粋のトドマツファイバーを作り、これを325、350、500、700、900、1,200℃にそれぞれ1時間に保持して熱処理した（熱処理2）。

熱処理は高温用の東海電機株式会社製ガス雰囲気炉（電気炉、最大1300℃内寸法40cmX60cmX40cm、写真6-3）を用い、35cmX35cmX35cmのステンレス製の箱に原料を半分量または1/4量入れて、6mmφの穴が2個あいたふたをかぶせ、プログラム温度調節で3℃/分で温度上昇させ、1時間所定の温度に保持した後、電気炉内で水冷および放冷した（熱処理2）。

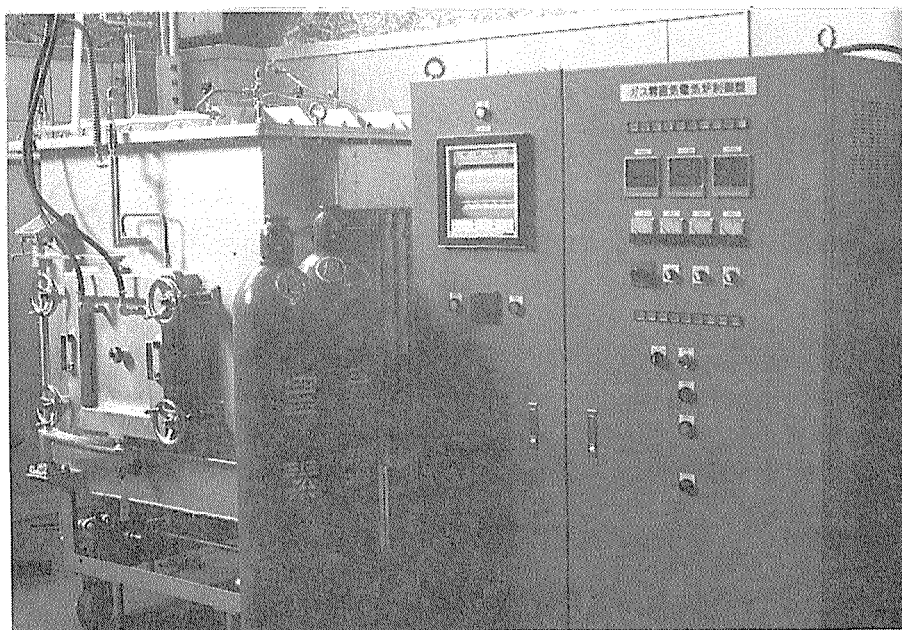


写真6-3 ガス雰囲気炉

熱処理はまた、外熱式回転加熱炉（写真6-4）を用いて13ℓのステンレスのレトルトに原料を入れて、プログラム温度調節で3℃/分で温度上昇させ、1時間所定の温度に保持した後、放冷した（熱処理3）。

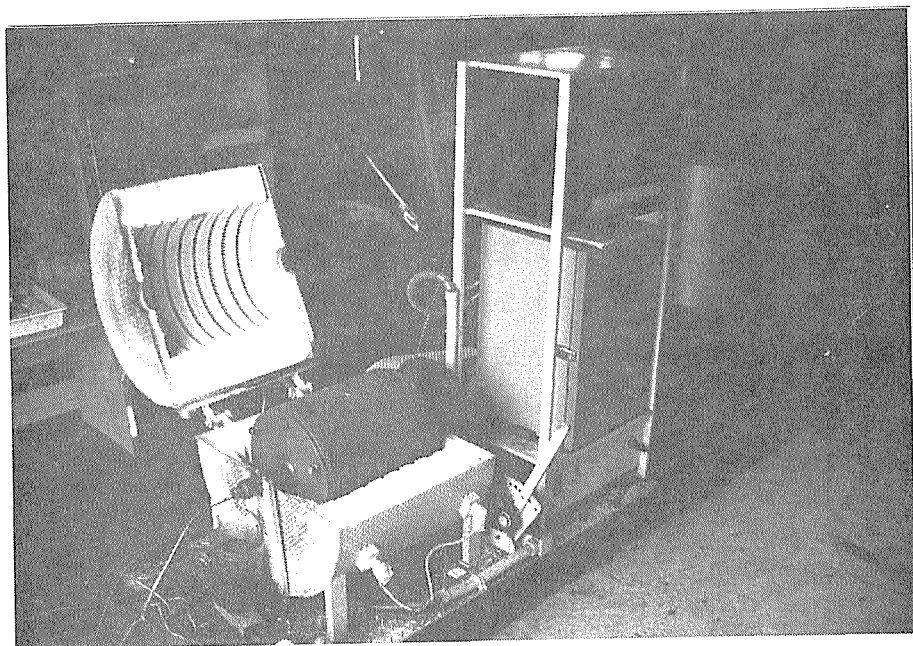


写真 6 - 4 外熱式回転加熱炉

2.2 比表面積と細孔分布の測定

木質系油吸着材をそのまま用いた。また、350、500、700、900°Cで熱処理（熱処理 3）したトドマツファイバーをそのまま、あるいは乳鉢で粉碎した試料を用いた。さらに、325、350、500、700、900、1,200°Cで熱処理（熱処理 2）したトドマツファイバーをFAISON S社製水銀式ポロシメーターPASCAL140および240（写真 6 - 5）を用いて、比較的大きな細孔であるマクロポアと中間的な大きさの細孔であるメソポアを測定した。

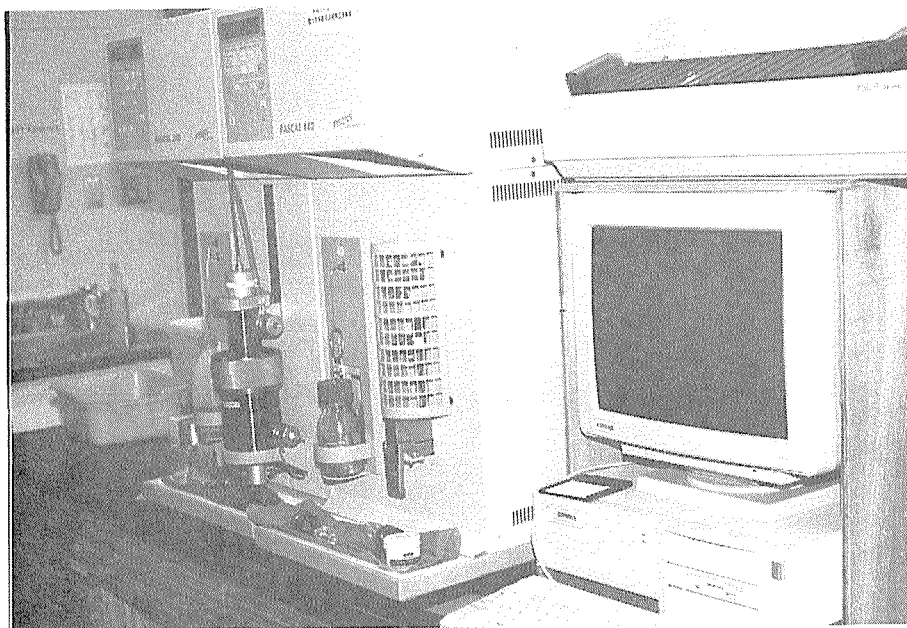


写真 6 - 5 水銀式ポロシメーター

2.3 油吸着量、吸水量の測定

試作した2種類の材料から作った熱処理物、木質系油吸着材、325、350、500、700、900、1,200℃で熱処理したトドマツファイバーの油吸着量、吸水量を測定するため、熱処理物を10cmX10cmのお茶パックに入れ、重量を測定した。次いで、東京理化製恒温水槽NCB-2100を用いて20℃にしたA重油等に5分間浸せきし、金網の上に5分間置いてから重量を測定して油吸着量を測定した。

水を入れたサンプルびんに熱処理物（熱処理3）を入れ、6時間振とうした後、一夜静置した場合の水に対する浮き沈みの度合いで吸着性を評価した。

3 実験結果および考察

3.1 比表面積と細孔分布の測定結果

得られた熱処理物（熱処理3）の熱処理温度と細孔の関係を表6-1に示す。

表6-1 熱処理温度と細孔の関係

		無処理ファイバー	木質系油吸着材	熱処理温度 (°C)			
				350	500	700	900
細孔容積 (mm ³ /g)	マクロポア	2929	500	5539	7252	5634	5179
	メソポア	186	860	869	1045	972	752
比表面積 (m ² /g)	マクロポア	3.4	0.2	1.0	1.3	0.8	0.9
	メソポア	13.4	29.0	59.9	57.7	52.4	70.5
細孔半径 (nm)	マクロポア	8635	5433	30327	27934	27947	32322
	メソポア	316	2114	3538	2056	3301	1332

細胞容積は原料を熱処理することによって変化し、マクロポアもメソポアも増えている。これが比表面積の増加として現れている。細孔半径は大きくなっている。しかし、木質系油吸着材ではスクリュウで回転したりほぐし機にかけられているので、マクロポアが増えていない。

マクロポアは500℃のものが細孔容積が大きく7,252mm³/gであった。比表面積はいずれの温度でも小さく1m²/g程度であった。メソポアはファイバー状では500℃と700℃が大きく、約1,000mm³/gであった。比表面積はファイバーが温度に関係なく大きく、52~71m²/gであった。

木質系油吸着材（熱処理1）、住宅解体材熱処理物、インシュレーションボード熱処理物（熱処理2）の細孔容積、比表面積と細孔半径の関係を表6-2に示す。

表6-2 各種熱処理物と細孔の関係

		木質系油 吸着材	住宅解体材 熱処理物	インシュレーション ボード熱処理物
細孔容積 (mm ³ /g)	マクロポア	500	1514	4077
	メソポア	860	745	1048
比表面積 (m ² /g)	マクロポア	0.2	0.3	0.4
	メソポア	29.0	70.2	52.8
細孔半径 (nm)	マクロポア	5433	12710	38659
	メソポア	2114	1171	2025

住宅解体材はハンマーで叩かれて粉碎され、インシュレーションボードはこので裁断されたくずなのでそれぞれの熱処理物のマクロポアの細孔容積は大きい。メソポアの比表面積は住宅解体材熱処理物>インシュレーションボード熱処理物>木質系油吸着材の順である。

木質系油吸着材と350、500、700、900℃熱処理物（熱処理3）のマクロポアの細孔容積と細孔半径の関係を図6-2に、木質系油吸着材（熱処理1）、住宅解体材熱処理物、インシュレーションボード熱処理物（熱処理2）のマクロポアの細孔容積と細孔半径の関係を図6-3に示す。

図6-2は熱処理2によって処理された試料はマクロポアの細孔半径も細孔容積も大きいことが分かる。これに対して熱処理1で処理されたものは細孔容積も細孔半径も小さいことが分かる。

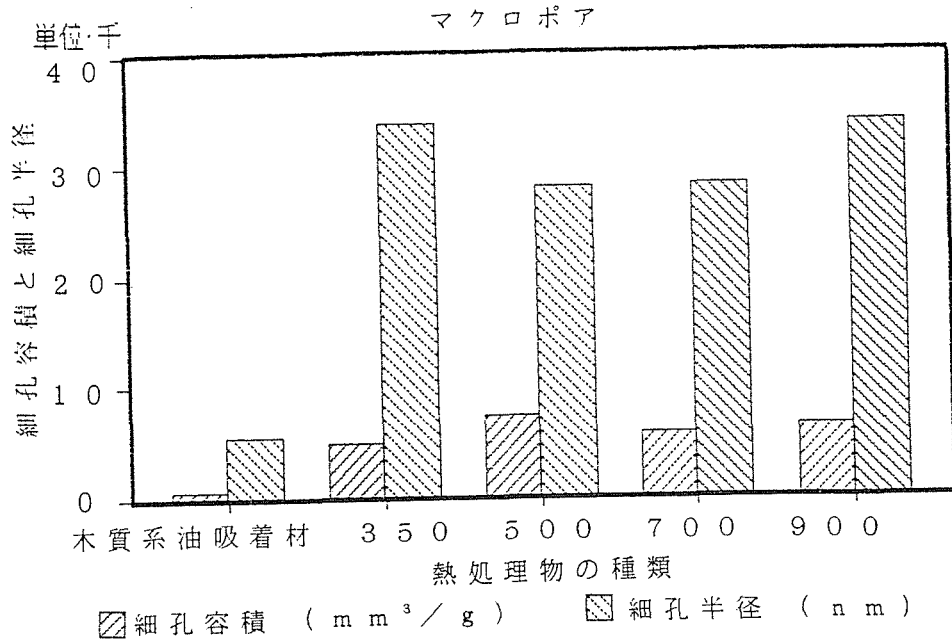


図 6 - 2 熱処理物の細孔容積と細孔半径の関係

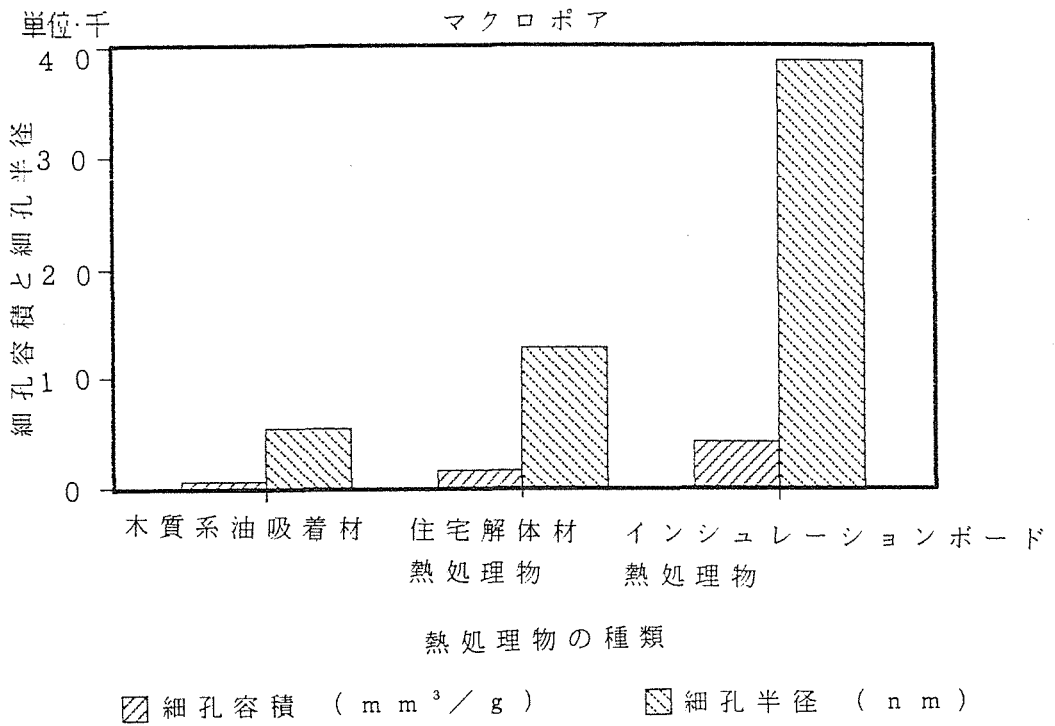


図 6 - 3 熱処理物の細孔容積と細孔半径の関係

図 6 - 3 から分かるようにインシュレーションボード切断くずはファイバーを切断しているのでの熱処理物に比べて木質系油吸着材と住宅解体材熱処理物はマクロポアが小さいことが分かった。

木質系油吸着材と350、500、700、900℃熱処理物（熱処理3）のメソポアの細孔分布を細孔容積と細孔半径の関係で図 6 - 4 に、木質系油吸着材（熱処理1）、住宅解体材熱処

理物、インシュレーションボード熱処理物（熱処理2）のメソポアの細孔分布を細孔容積と細孔半径の関係で図6-5に示す。

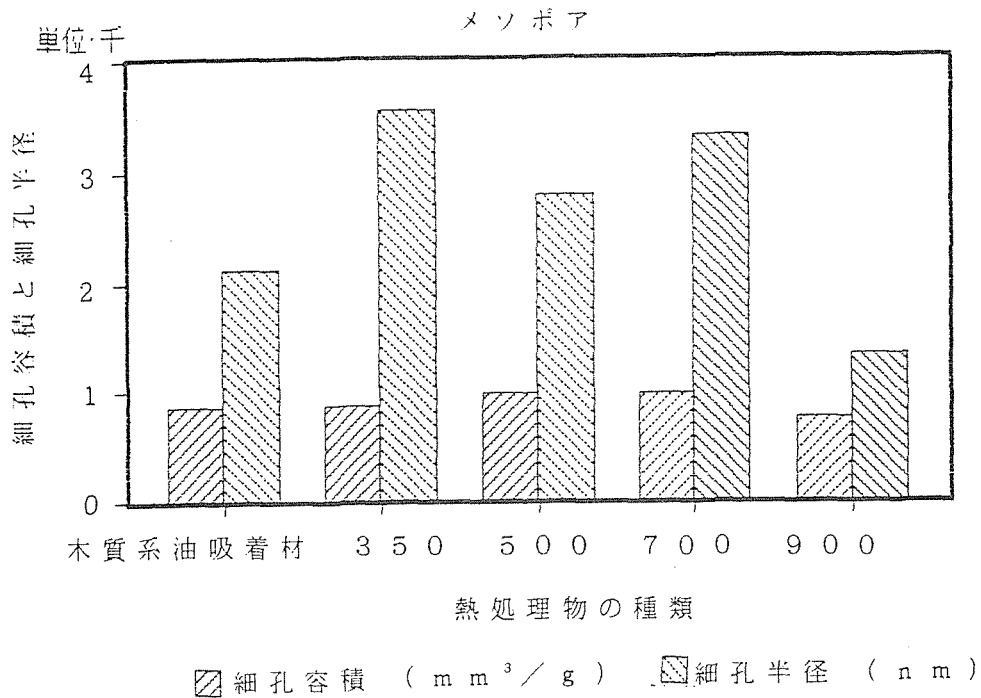


図6-4 熱処理物の細孔容積と細孔半径の関係

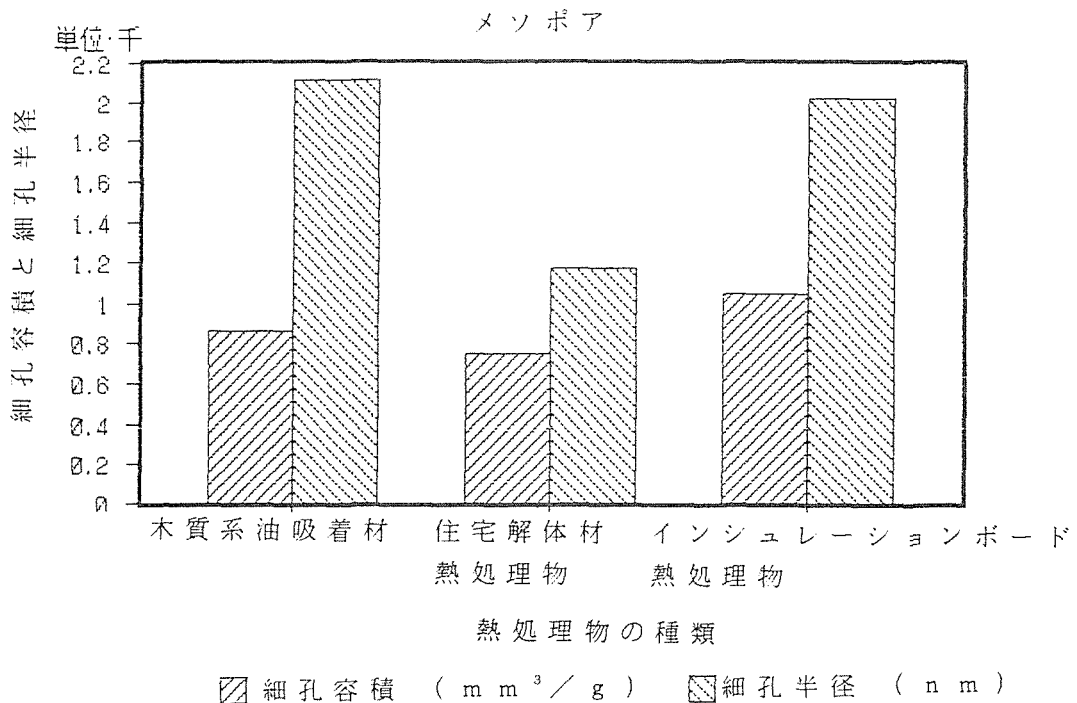


図6-5 熱処理物の細孔容積と細孔半径の関係

図6-4から分かるように900℃熱処理物のメソポアは小さな孔が多い。これはこれまでの炭化実験で高温の炭の孔は収縮しているといわれていることと一致する⁴⁾。木質系油吸着材と他の温度別の試料の間の細孔半径の違いは熱処理方法の違いであると思われる。

図6-5からは木質系油吸着材のメソポアとインシュレーションボード切断くずのメソポアがほとんど同じである。これはどちらもファイバーなので、たまたま似た結果が得られたものと思われる。

3.2 油吸着量、吸水量の測定結果

木質系油吸着材、住宅解体材熱処理物、インシュレーションボード熱処理物の油吸着量、吸水量を表6-3に示す。

表6-3 種々の油の油吸着量と熱処理温度の関係 油吸着量：(g/g)

	木質系油 吸着材	住宅解体材 熱処理物	インシュレーション ボード熱処理物
A 重油	22.3	6.2	17.2
軽油	20.0	6.4	15.9
灯油	30.9	18.4	25.2
マシン油 1	24.5	6.1	21.3
マシン油 2	27.6	8.4	24.0
マシン油 3	29.3	9.2	25.0
ごま油	30.0	9.0	27.3
サラダ油	26.9	8.3	22.9
大豆油	31.2	9.4	23.5
プロピレングリコール	32.2	9.8	22.4
エチレングリコール	33.3	9.8	22.6
エチルアルコール	20.1	6.9	15.3
n-ヘキサン	13.3	5.6	11.6
水	0	0	0

この結果によれば、木質系油吸着材のA重油吸着量は22.3g/g、住宅解体材熱処理物は6.2g/g、インシュレーションボード熱処理物は17.2g/gであった。住宅解体材熱処理物と

インシュレーションボード熱処理物はそれぞれ木質系油吸着材の吸着量の27.7%、77%であった。住宅解体材のハンマークラッシャーによる粉碎くずはのこくず(3.4g/g)約2倍の油吸着能力しかないので、所定の油を処理する場合、ほかの油吸着材よりも大量の投入が必要となる。インシュレーションボードの切断くずを原料とした場合木質系は油吸着材とほぼ同等の性能を示すことが明らかになった。

いずれの熱処理物も吸水しないので油吸着材として優れている。

木質系油吸着材(熱処理1)、住宅解体材熱処理物、インシュレーションボード熱処理物(熱処理2)の油吸着量を油の種類別に図6-6、図6-7に示す。

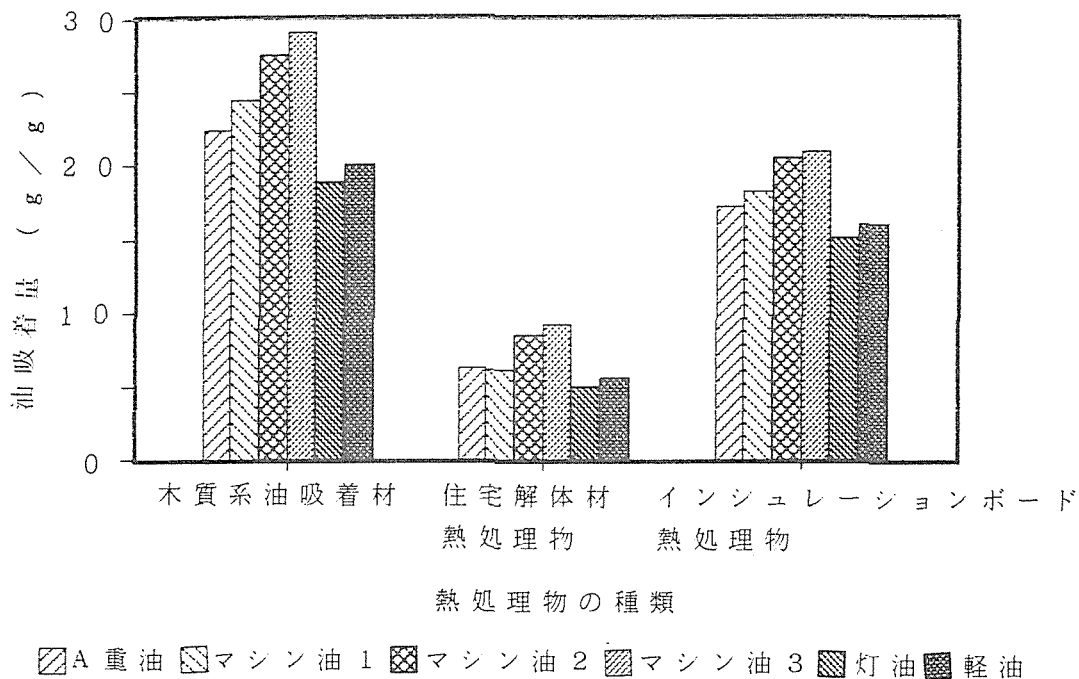
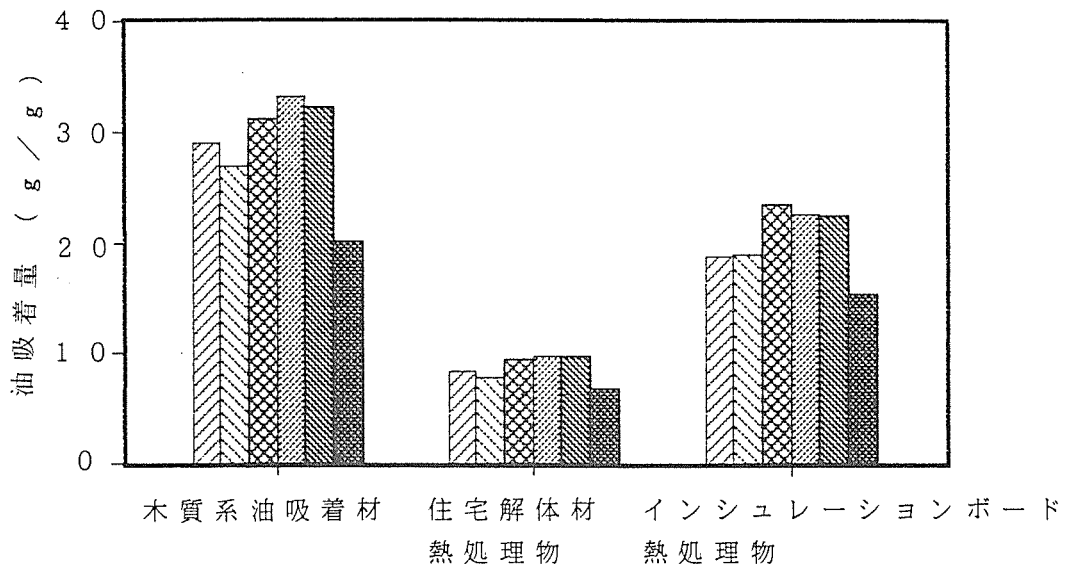


図6-6 種々の油に対する油吸着量



熱処理物の種類

ごま油

 サラダ油

 大豆油

 エチルアルコール

 プロピルアルコール

 メチルアルコール

図6-7 種々の油に対する油吸着量

図6-6、6-7から分かるように住宅解体材熱処理物の油吸着量は繊維の絡みあいがない分だけ小さくなるのが分かる。インシュレーションボード熱処理物の油吸着量はその約3倍、木質系油吸着材はその約4倍であることが分かる。

325、350、500、700、900、1,200°Cで熱処理（熱処理2）したファイバーに種々の油を吸着させた結果を表6-4に示す³⁾。

表 6-4 種々の油の油吸着量と熱処理温度の関係 油吸着量：(g/g)

	無処理フ アイバー	熱処理温度 (°C)					
		325	350	500	700	900	1,200
A 重油	19.8	27.9	25.9	26.3	29.8	27.7	26.3
軽油	—	24.3	24.5	23.1	24.2	23.1	24.0
灯油	—	22.4	17.7	22.3	23.4	21.7	24.2
マシン油 1	—	30.0	29.3	27.5	27.9	27.0	30.0
マシン油 2	—	32.8	33.6	28.6	28.1	30.3	29.0
マシン油 3	—	35.1	34.1	33.5	30.2	30.2	31.3
ごま油	—	31.4	31.6	28.0	30.0	32.7	32.3
サラダ油	—	34.6	31.8	31.7	34.7	29.1	33.6
大豆油	—	35.1	32.0	35.0	31.1	34.5	33.8
プロピレングリコール	—	38.1	32.9	33.0	37.1	33.3	36.7
エチレングリコール	—	39.5	36.7	36.7	38.0	36.3	39.1
エチルアルコール	—	23.0	18.9	22.3	23.6	21.9	22.8
n-ヘキサン	—	14.5	15.4	17.1	16.0	15.8	15.4
水	28.3	0	0	0	0	0	0

A重油は熱処理温度に関係なく、約27.3g/gであった。粘度の異なる3種類のマシン油の吸着量を測定した結果、熱処理温度による吸着量の差はなく、粘度が小さい方が吸着量はわずかに小さく約28.6g/gであった。ごま油、サラダ油、大豆油にはいずれも大豆油が混合されている。この場合も熱処理温度による吸着量の差はなく、ごま油(約31g/g) < サラダ油 ≒ 大豆油(約33.6g/g)であった。プロピレングリコールとエチレングリコールでも熱処理温度による吸着量の差はなく、プロピレングリコール(約35.2g/g) < エチレングリコール(約37.7g/g)であった。

吸水量は無処理トドマツファイバーで28.8g、熱処理物は0gであった。すなわち、無処理ファイバーは吸水性をもっているが、熱処理により疎水性になることが分かる。

325、350、500、700、900、1,200℃で熱処理（熱処理2）したファイバーに種々の油を吸着させた結果を図6-8、図6-9に示す。

図6-8、6-9から分かるように熱処理温度による油吸着量の違いより、油の種類による油の吸着量の違いが関係している。エチレングリコール（自動車用不凍液原液）>プロピレングリコール（住宅暖房用不凍液原液）≒大豆油>サラダ油>ごま油≒マシン油1（マシン油）≒マシン油2≒マシン油3>A重油≒灯油>軽油>エチルアルコール>n-ヘキサンであった。

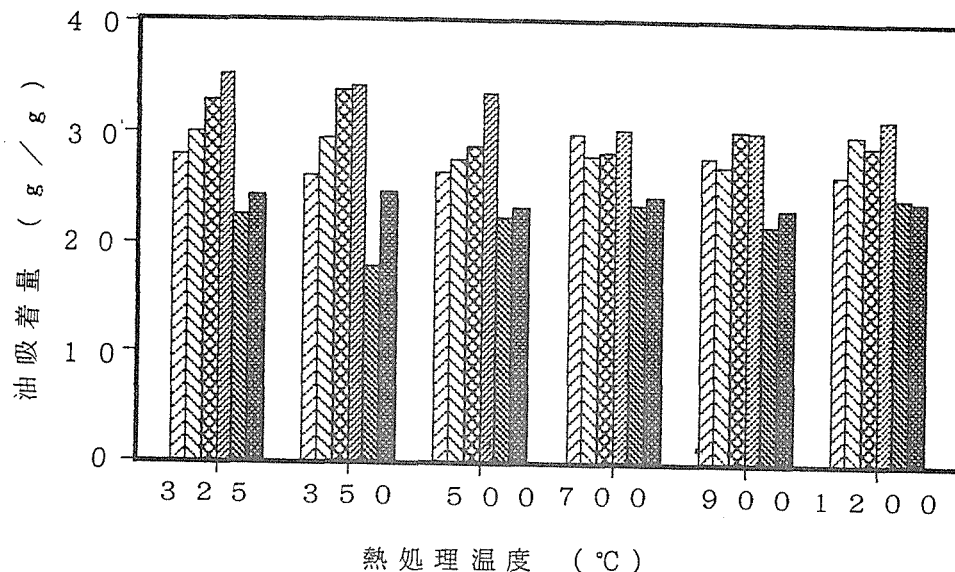


図6-8 種々の油に対する油吸着量

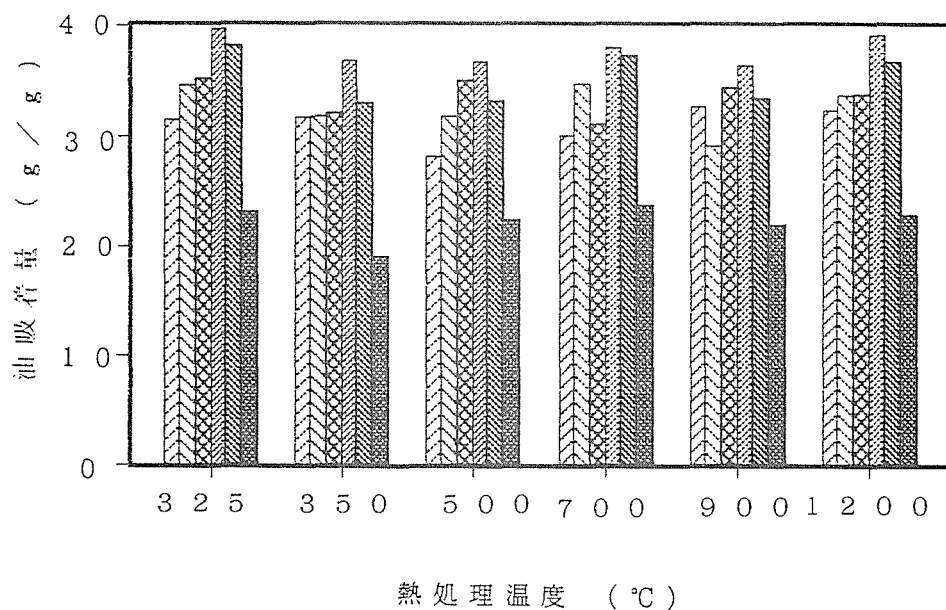


図6-9 種々の油に対する油吸着量

表6-4では熱処理物の5分間の吸水量はいずれも0であったが、水と強制的に振とうした場合の吸水性も場合によっては必要になる。そこで木質系油吸着材の疎水性を詳しく調べるため、水を入れたサンプルびんに熱処理物（熱処理3）を入れ、6時間振とうした後、一夜静置した場合の水に対する浮き沈みの度合いで吸着性を評価した²⁾。その結果を表6-5に示す。吸水性は350℃と400℃の熱処理物が極めて低かった。500℃以上の熱処理物は水で6時間振とうすると沈澱する。収率と吸水性の結果から、トドマツファイバーの熱処理物を油吸着材として用いる場合、熱処理温度は350℃前後が最適と考えられる。

表6-5 熱処理物の収率と吸水性の評価

熱処理温度 (℃)	収率 (%)	吸水性*
未処理ファイバー		+++
200	9.8	+++
250	8.7	++
300	6.3	+
350	4.4	-
400	4.0	-
450	3.5	+
500	3.0	+++

* +++ : 完全に沈澱
 ++ : 相当量が沈澱
 + : 少量が沈澱
 - : 沈澱せず

4 まとめ

住宅解体材のチップをハンマーミルで粉碎し、ふるいで分けた分画とインシュレーションボード切断くずと比較のためにトドマツファイバーを熱処理した。この熱処理物の吸着性の原因を調べるため、それぞれの細孔を測定した結果、マクロポアとメソポアはこの熱処理温度範囲では大きな差はないことが分かった。しかし、原料の違いによって細孔の大きさに差があった。また、種々の油に対する吸着性を測定した。その結果種々の油類を吸着することが分かった。さらに、熱処理物の吸水性についても測定した結果300~450℃の間に疎水性が高くなる温度があることが分かった。。

5 文献

- 1) 「油吸着材の製造法およびその連続製造装置」日本特許 第2594507号, 12月19日, 1996 アメリカ特許 US.PAT No.5,585,319, 12月17日, 1996, 林産試だより 1月号, 1997, 北海道新聞朝刊北海道経済面 1月28日, 1997 ほか
- 2) 加藤幸浩ほか 平成5年度北海道林業技術研究発表大会要旨 1月, 1994
- 3) 梅原勝雄ほか 平成8年度北海道林業技術交流大会要旨 1月, 1997
- 4) 里中聖一 北海道大学農学部演習林報告第22巻第2号 622, 1963

第7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

住宅の建築工法の変化とともに床下の環境は大きく変化してきた。すなわち、木造住宅の束石（つかいし）は昭和50年代の建築基準の改正により、わずかな通風孔はあるが、「コンクリート布基礎」により床下は密閉された。これにより建築の場所や施工法によっては床下の湿気の上昇に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。旧来の住宅の床下は「住居外」であり、通風の良さで床下の湿気はほとんど問題とされていなかったが、床下の熱や空気は室内にかなり流入していたことは事実である。しかし、上述したように床下が密閉されると床下に湿気が留まることになり、多くの問題が生じてきた。コンクリート布基礎が使用されている木造住宅の布基礎の換気孔が小さかったり、不足している場合や、宅地が湿気が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、土台角などへの木材腐朽菌や白蟻の被害であり、高気密、高断熱住宅になると床下の湿気の室内への流入など、木造住宅の耐久性に影響及ぼすことが多くなり、これの対応策が求められている。

これまで床下の湿気を排除するために多くの試みが行われている。例えば、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。一方、木質系炭化物による調湿資材としての利用の提案は電力を使用せずに、メンテナンスが不要な方法として注目されている。中でも木質系炭化物は木質資源のリサイクルの一環として見ると多くの資源でもあり、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、限りある資源の有効活用、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。

木質系資源のリサイクルの観点から見ると、①川上側には林地残存材、間伐材、②川中には、製材端材、プレカット端材、さらに家具加工を初めとする木材加工場から排出される加工屑材、また③管理型である木質系産業廃棄物、特に建築廃材、物流廃材をはじめとする多くの資源がある。

このようにこれらの木質系炭化物は、床下の調湿資材だけでなく、建築資材としての活用も考えられるが、住宅解体に伴うこれらの廃棄時の炭化資材は土壌改良資材、山地への埋立などに再利用できる等、環境共生型の調湿資材として優れたものであり、この木質系炭化物の活用は、これからのビッグビジネスが潜んでいる。しかしながら、太古から利用されてきたにもかかわらず、木質系炭化物の効果に対する確認は非常に遅れているといわざるを得ない。これからの詳細な調査研究が急がれる。

本調査研究では、木質系産業廃棄物の有効活用の観点から着眼し、その中の一つとして、木質系炭化物を活用することによる住宅床下の気象環境の改善を平成3年から取り組んできた。これらの平成3年から7年までの調査途中経過は平成8年3月にすでに報

告した。しかし、平成8年度は最終年度であるので、平成8年度に得られた成果の要点を加えながら最終の取りまとめを行う。なお、平成3年から8年度にわたる総括はすでに別途報告してある。

2. これまでの調査結果の概要

2. 1 測定方法の概要

- 1) 本研究のために準備された木造住宅は茨城県つくば市、埼玉県浦和市、愛知県岡崎市、富山県富山市および鹿児島県鹿児島市の5ヶ所である。
- 2) 各住宅には木炭を敷設した「木炭区」と木炭を敷設しない「対照区」の2ヶ所を配置し、これらは相互に隣接している。木炭区は原則として北側に面する場所、若しくは台所の床下とした。
- 3) これらの2ヶ所のほぼ中央に「温度、相対湿度」測定装置を設置し、計時的にそれぞれのデータを測定し、併せて当該住宅の南西側にの直射日光があたらない場所の外気を測定した。
- 4) 床下における木材の含水率の変動を測定するために、温・湿度装置に隣接する場所に木材片を配置し、原則として1～2週間に1回その重量測定を行った。

以上、簡単に記述したので、各年度の詳細については平成4～7年の報告書を参照されたい。

2. 2 木造住宅の床下の気象環境の実態の概要

床下の温・相対湿度の詳細な実態については平成7年度報告書の掲載してあるが、その後得られた事項を追加する。

- 1) 床下の外気による温度の変動はあまり影響を受けないが、相対湿度は外気による変動を受け易い。このことから、梅雨期の床下の変動に注意すべきと考える。
- 2) 南東側の床下の湿度の変動幅は、北西側のそれに較べて小さい。このことは、水回りの場所が北西側に多いことを考えれば湿度は特に考慮することが必要である。

3. 1993年から1996年までの各測定地の外気気象環境について

それぞれの地域の気象月報による相対湿度の年間変動を図7-1～4に示した。なお、岡崎市については同一市内に气象台が設置されていないために、名古屋管区气象台のデータを引用した。いずれの地域でも本実験を実施した4年間について見ると、いずれの地域についても1993年度の梅雨期は平年より高い位置にある。この年は鹿児島を初めとする多くの地域で水害が発生するなど非常に降雨量の多い年で、非常に相対湿度の高い年であった。本研究を開始して以降、各年度の外気気象の内、相対湿度の年間変

動はほとんど差が見られないので、今後の床下気象環境の相互関係を比較検討することの問題は存在しないと考えられる。

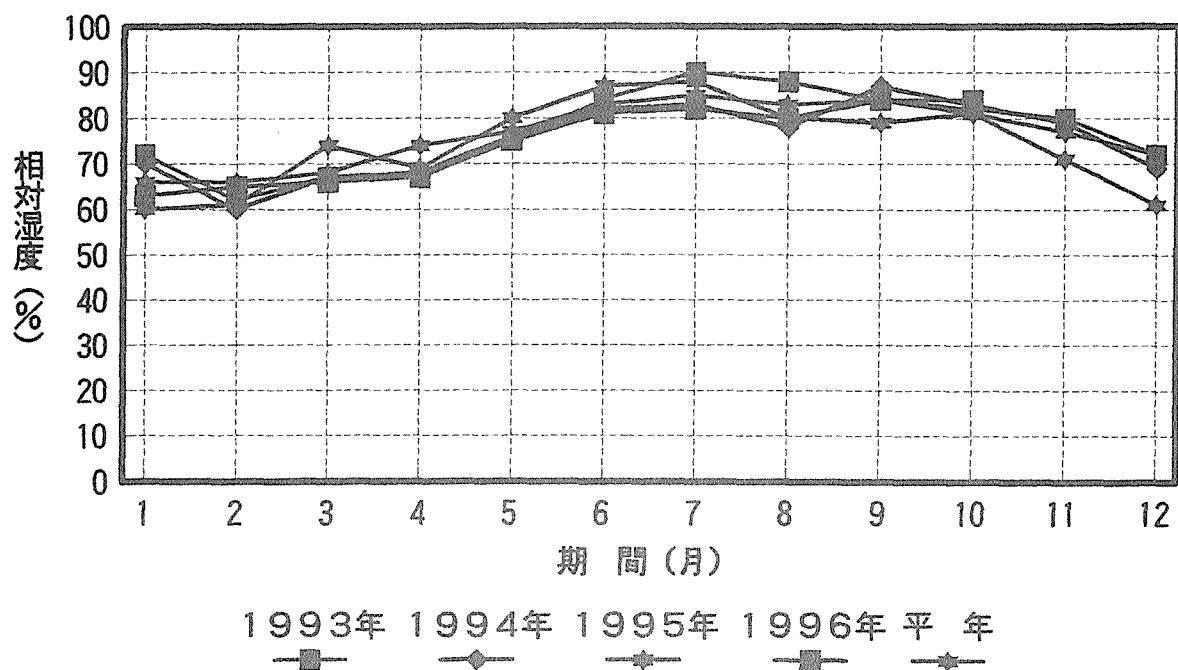


図 7-1 つくば市における外気の相対湿度の変動

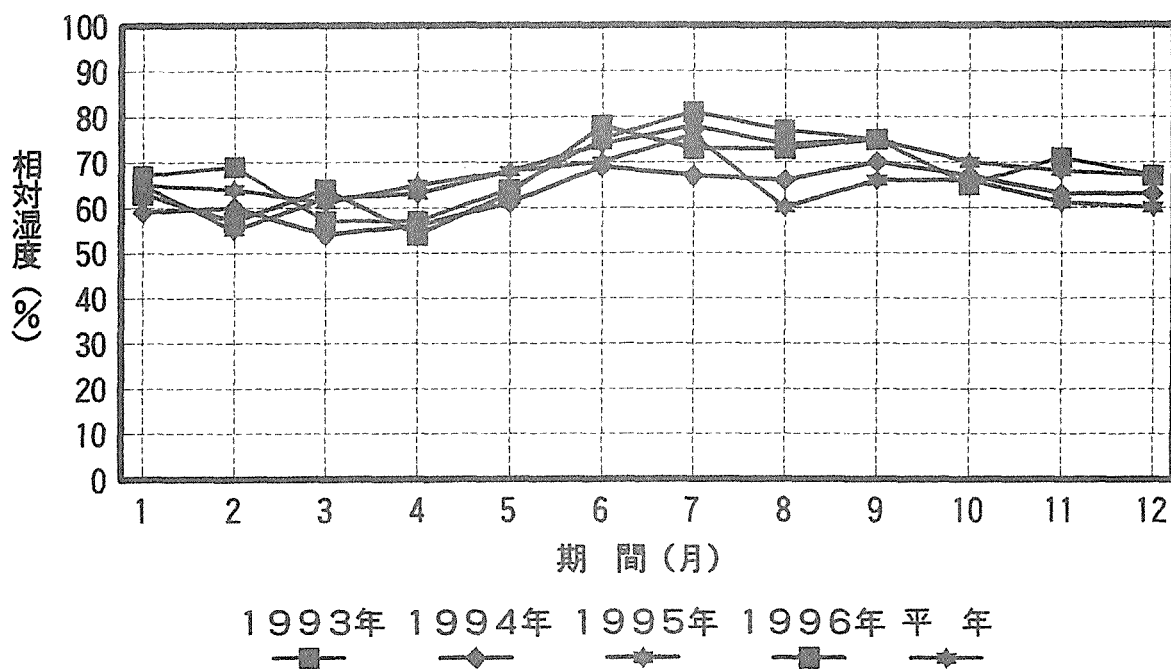


図 7-2 愛知県岡崎市における外気の相対湿度の変動

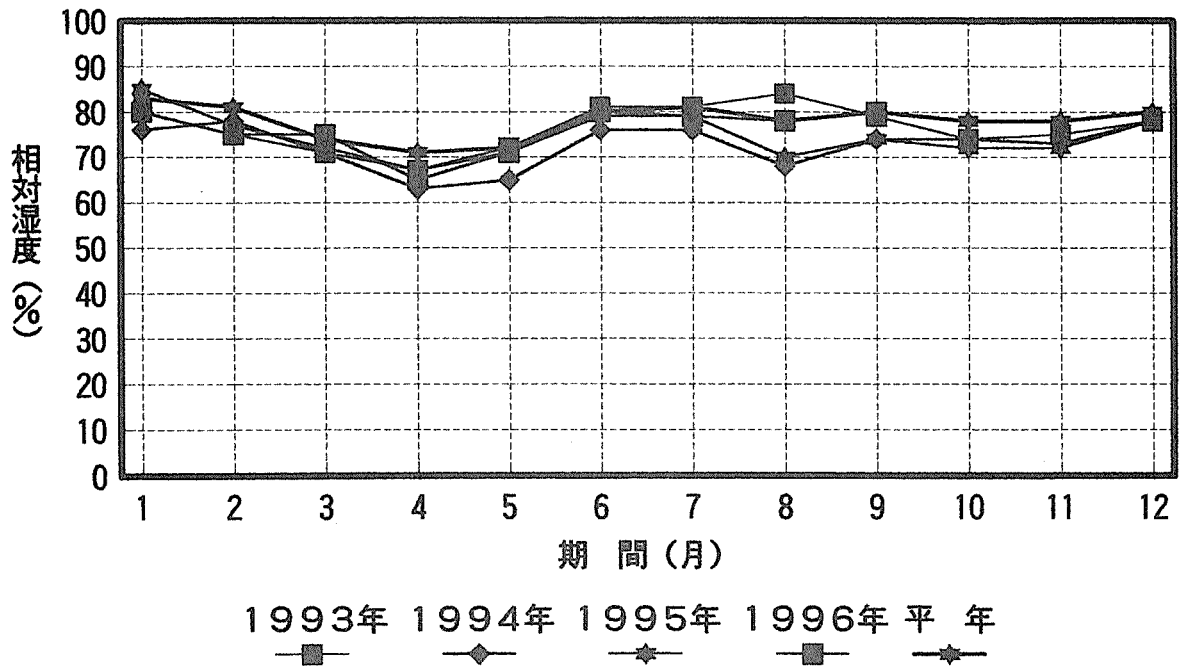


図7-3 富山県富山市における外気の相対湿度の変動

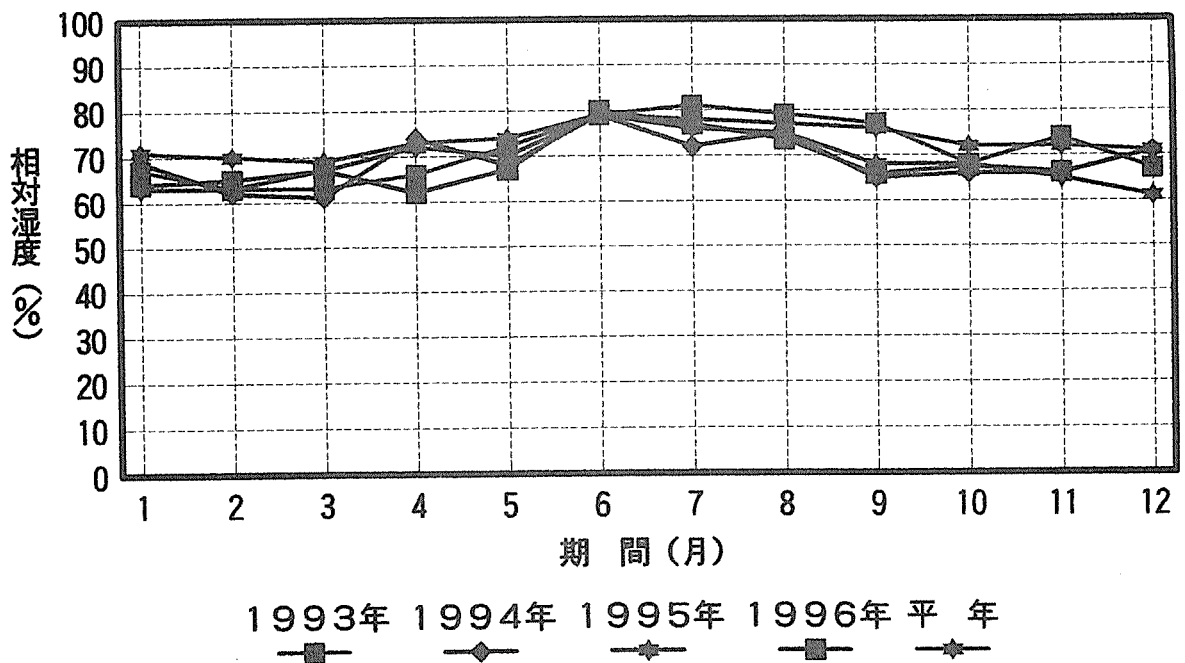


図7-4 鹿児島県鹿児島市における外気の相対湿度の変動

4. 1993年から1996年度までの床下の気象環境の改善について

4. 1 木炭敷設後3年目の床下の気象環境

最終年度となった各測定地域の木炭区の床下におけるクリモグラフを図7-5～8に示した。この図に見られるように程度の差はあるが、岡崎市を除いて、いずれの地域においても床下温度はほとんど変化がないが、木炭を敷設して3年を経過した1996年度にあっては、木炭を敷設していない1993年度より低い相対湿度側に移動していること、敷設年度が経過するにしたがって低い相対湿度側へと移行することが理解できるであろう。一般に温度20℃、相対湿度80%以上になると湿性のかびや腐朽が発生しやすいことが明らかとなっており、木炭を敷設することによりこの範囲からはずれる雰囲気になっている。しかし、愛知県岡崎市における温度と相対湿度により得られるクリモグラフは、木炭を敷設してから3年目である1996年度に至っても他の地域と比較して十分な効用が見られない。一般に床下の気象は、通常の換気孔の配置であれば外気の温度による変動はほとんど現れないが、相対湿度の変動は比較的影響を受けやすいことがあきらかとなっている。このことから、これは布基礎の換気孔の配置に依存することが十分考えられるが、換気孔の不足または配置が問題なのか、土壌表面から水分の蒸散が問題なのか、その原因は不明であり、現在なお、この原因ををを検討中である。

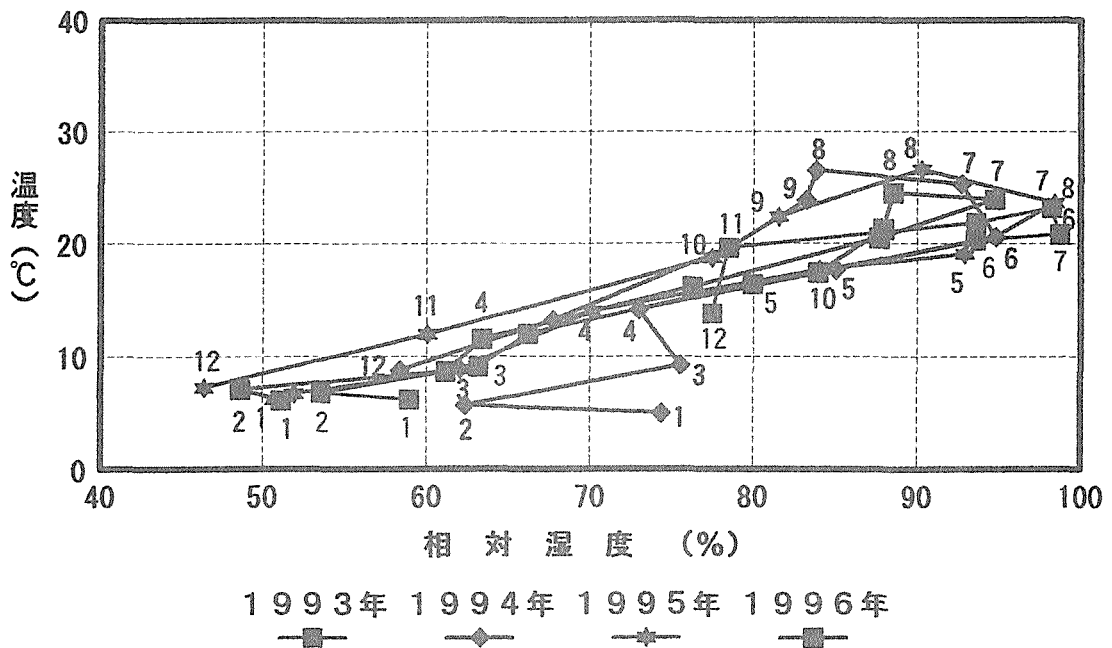


図7-5 床下の木炭区におけるクリモグラフ (つくば市)

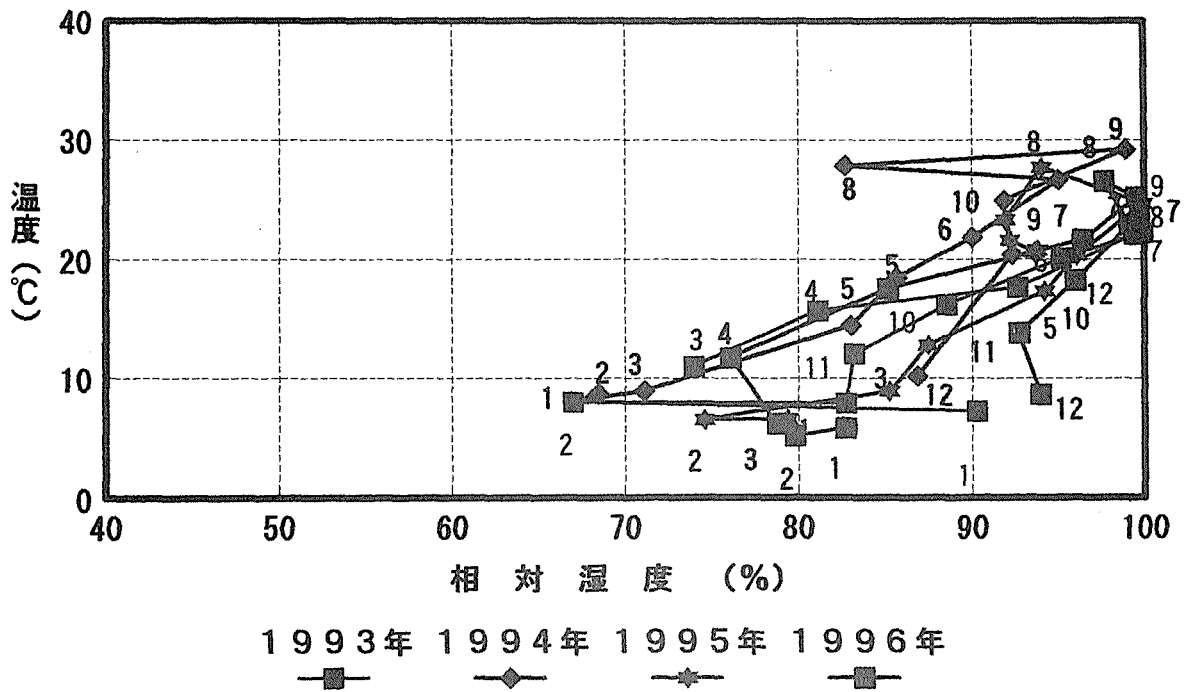


図7-6 床下の木炭区におけるクリモグラフ (岡崎市)

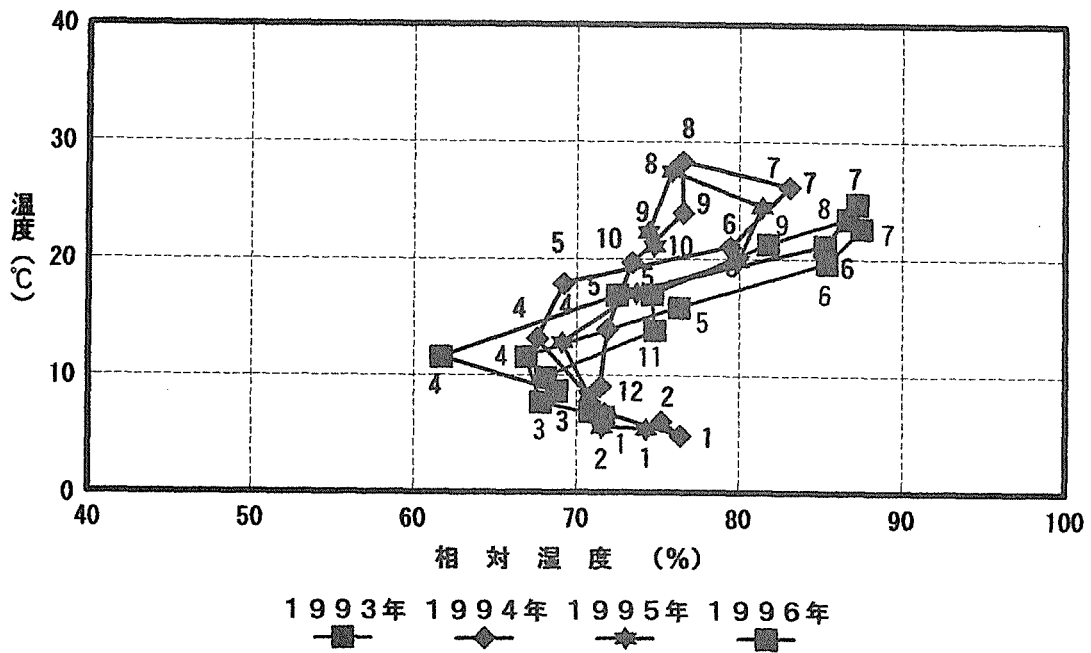


図7-7 床下の木炭区におけるクリモグラフ (富山市)

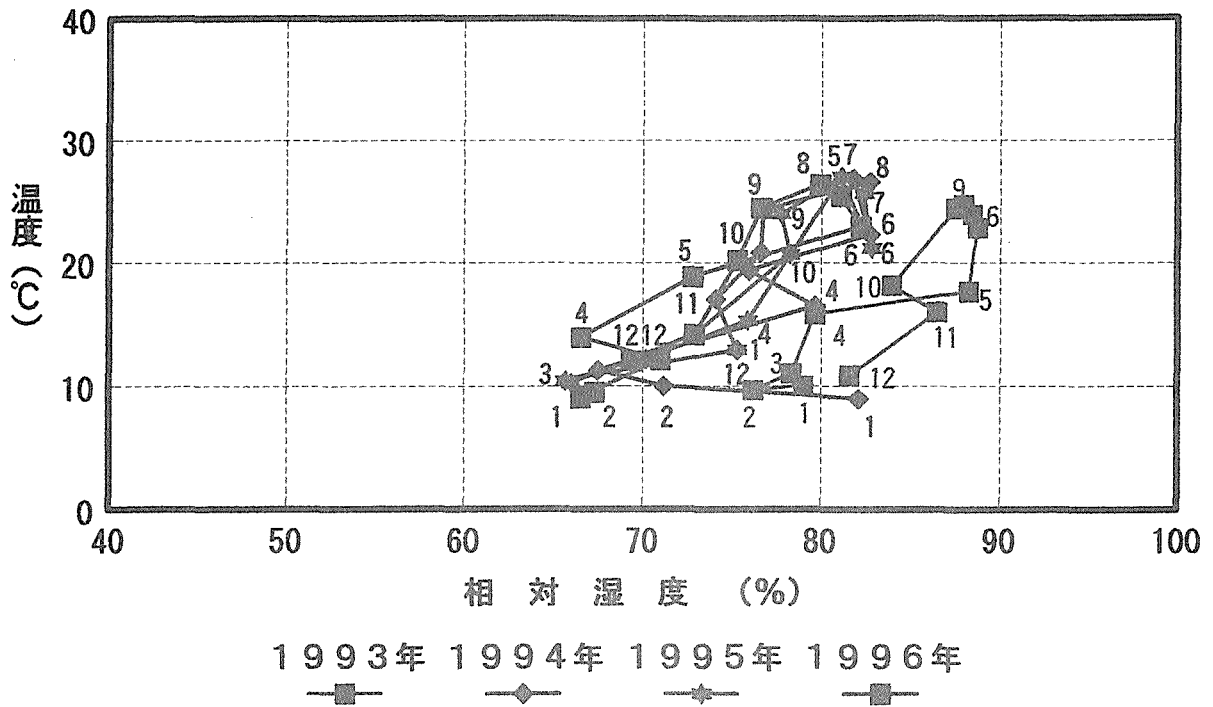


図7-8 床下の木炭区におけるクリモグラフ（鹿児島市）

4. 2 床下が含水率の変動

床下空間が常にじめじめし、温度20℃、相対湿度80%以上の雰囲気の中に置かれた木材は次第に「湿性かび」がはびこり、やがては木材腐朽菌の侵入を引き起こすことはすでに明らかとなっている。このような「湿性かび」が発生しやすい雰囲気には木材が置かれるとき、木材の含水率は25～30%以上の範囲にあり、床下にある木材部は写真7-1に示すような状態となる。床下にある木部、根太、床板の裏面等に「湿性かび」を発生させないような雰囲気をつくることは、床下にある木材の含水率を20%以下に持って行く気象環境にすること、すなわち、温度20℃、相対湿度75%以下に抑え込む必要がある。

すでに述べたように、裸地に木炭を敷設した富山市および鹿児島市にある床下の相対湿度は木炭敷設後3年目において80～85%レベルまで低下してきた。したがって、梅雨期においても図7-9～12に見られるように相対湿度と木材の含水率の関係から含水率は15%レベルとなり、初期の目的を達成できた。

一方、コンクリートモルタルを施工してある床下に木炭を敷設したつくば市の場合、3年目までの梅雨期における木炭区の相対湿度の平均値が98%を示したが、敷設後4年目に至るとその平均値は95%レベルまで低下し、それまで18～20%あった含水率が梅雨期においても含水率は16%レベルまで低下してくることがわかる。一方、木炭を敷設していない1993年度に床下の含水率が20%を超えていた岡崎市においても床下の相対湿度

度は97%を示し、床下に設置してある木材の含水率は16%レベルまで低下してきた。このような経過を経た結果、写真7-1に示した床下の木部は、写真7-2に示すように「かび」は完全に消失するようになる。

以上のように測定したいずれの地域においても、床下の相対湿度と含水率の関係から明かなことは、対照区は当然なことであるが、木炭を敷設してから3年が経過しても木炭区においても相対湿度が上昇するにしたがって、含水率は上昇する傾向を示す。

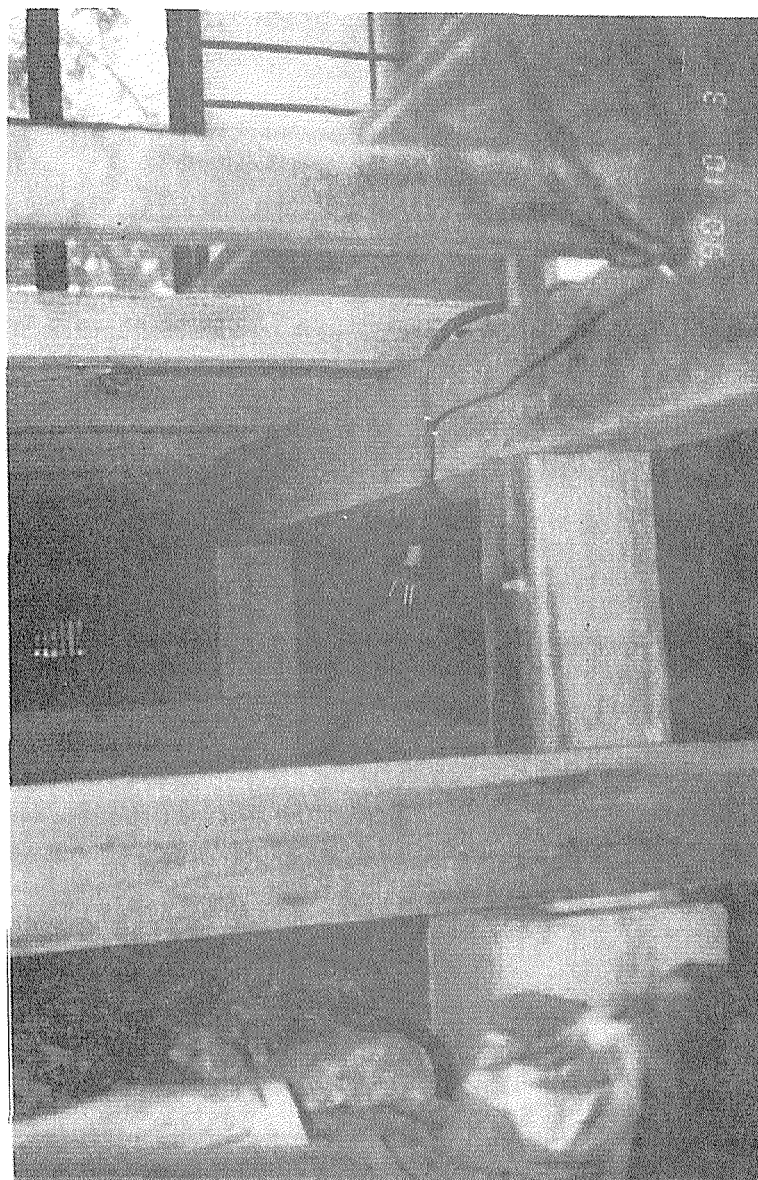


写真7-1 木炭敷設前の床下の木部の状況
(束および根太には「カビ」が見られる。：埼玉県浦和市)

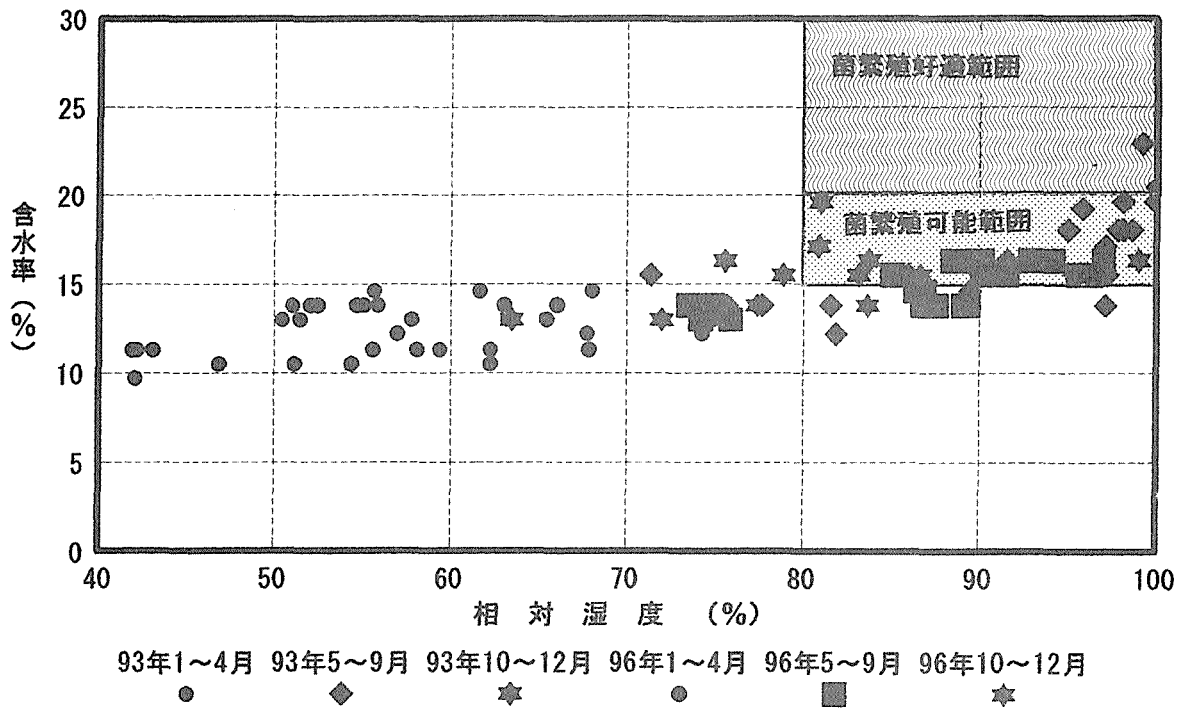


図7-9 木炭区における相対湿度と含水率の関係 (つくば市)

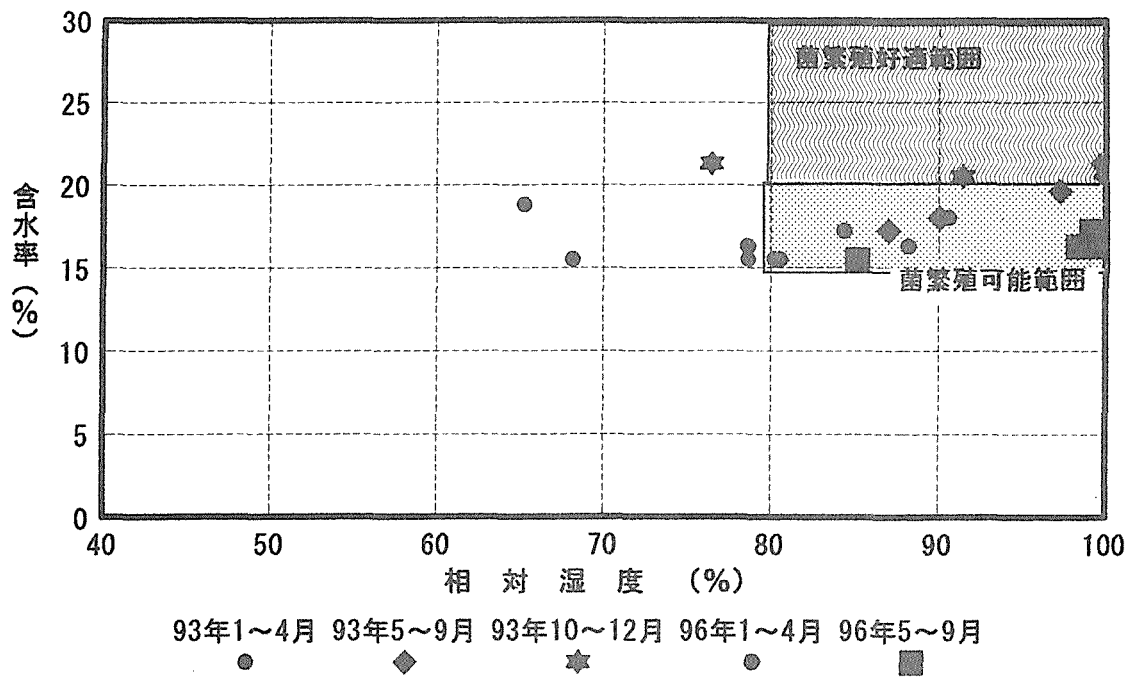


図7-10 木炭区における相対湿度と含水率の関係 (岡崎市)

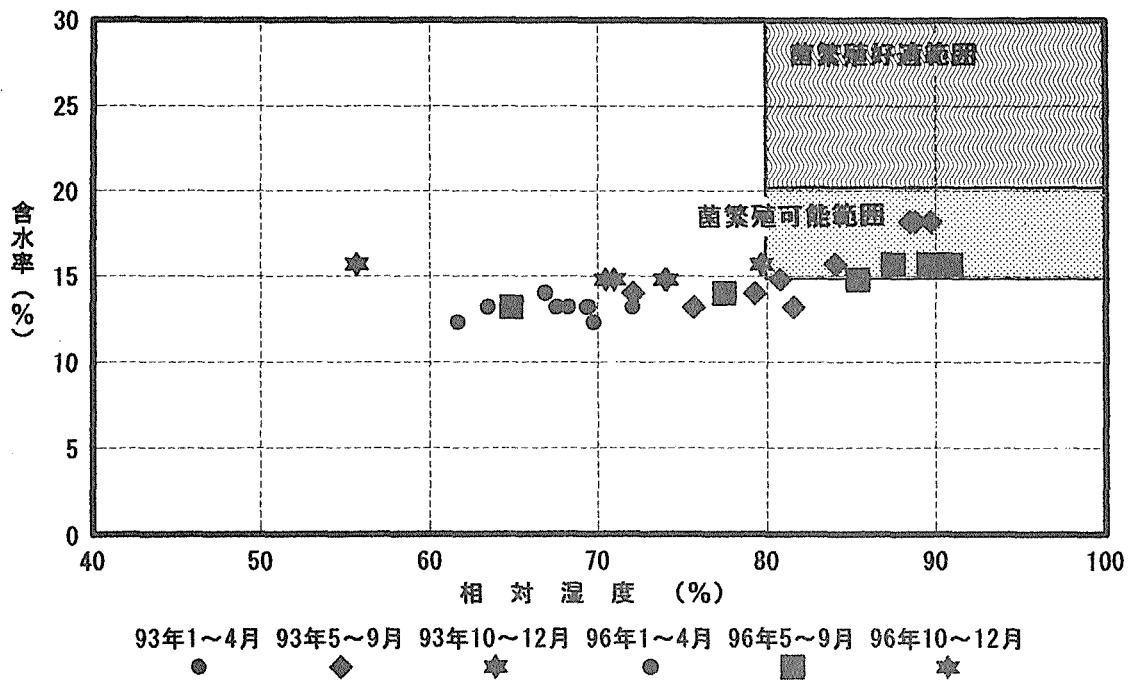


図7-11 木炭区における相対湿度と含水率の関係（富山市）

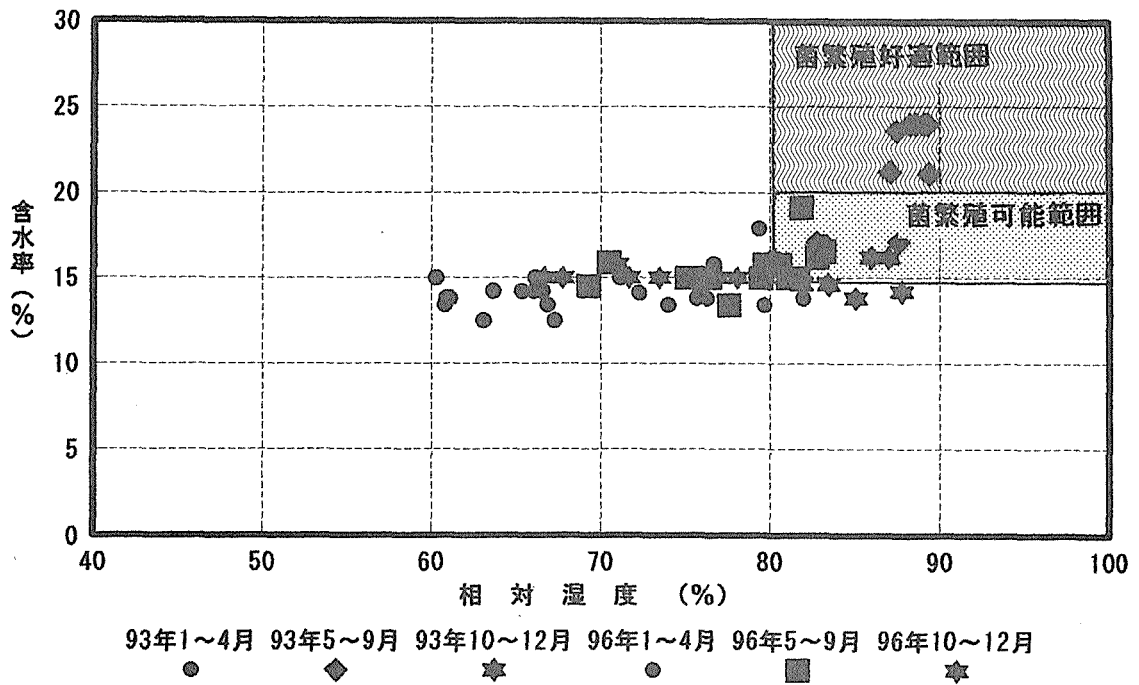


図7-12 木炭区における相対湿度と含水率の関係（鹿児島市）

しかし、木炭区の含水率は同じ相対湿度でも対照区の含水率よりかなり小さい値を示すことがわかる。平均的なこととして見ると、対照区の木材の含水率が年間を通して14%~24%の範囲で推移するのに対し、木炭区のそれは13~16%の範囲で推移するようになる。これらが20%以上の範囲にある時の4%と、13~16%の範囲の4%の差は予想以上に大きいことが考えられる。

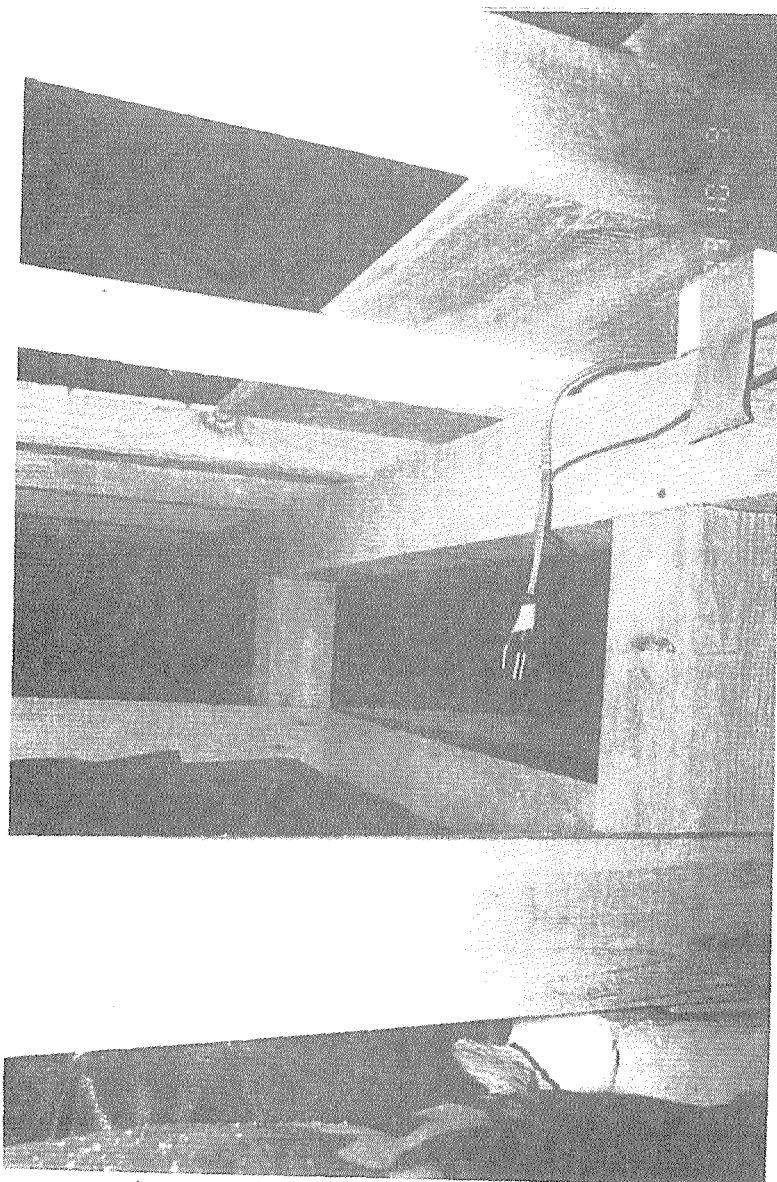


写真7-2 木炭敷設2年後の床下のもくぶの状況
(東および根太から「カビ」が消失した：埼玉県浦和市)

表7-1 床下調湿資材としての木炭の品質基準（案）

項 目	性 能 等
原 料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 針葉樹、広葉樹、竹を含むもので、間伐材、林地放置材、 ・ 製材工場、木材加工場、プレカット工場等からでる端材、 ・ 樹種は選ばない。これらが混入されても問題はない。 ・ 植物性の廃棄資材、家具廃棄材等、木質系建築土木廃材、 ・ 家屋廃棄材、木質系建築土木廃材、その他 <p>ただし、薫炭やオガライトは除く。</p>
木炭の製造方法	<p>築窯法、簡易法（平炉法等、林試式移動窯法）、工業炭化法（動炉法等）等のいずれでも良い。</p>
炭 化 温 度	<p>400℃以上で炭化されたもので、十分に練らされた木炭とする。</p>
木 炭 の 寸 法	<p>顆粒状とし、数mmから5mm程度で、あまり大きいものは好ましくない。また、布袋で提供される場合、木炭の粉末は必ず除去することが望ましい。</p>
木炭の含水率	<p>敷設の木炭は完全に乾燥されているよりも、気乾状態程度にあること望ましい。</p>

（2）床下条件、布基礎、換気孔の配置、木炭の敷設施工方法

表7-2に住宅の床下に木炭を敷設する際の施工法をまとめた。この表に示したように木炭を敷設する際の床下条件は裸地、コンクリートモルタルのいずれでも良いが、

5. 木炭敷設規準の提案

5. 1 床下調湿資材としての木炭の品質規準

平成3年から8年の5年にわたる調査研究の結果をふまえ、木炭を床下に敷設する時の考え方を提案する。しかし、これは完成されたものでなく、調査研究からの得られたもので、今後さらに詳細につめる予定である。

床下調湿資材の炭化物の原料として考えられる資材は、表7-1に示したように、木質を含む植物系の炭化物であれば、特に原材料は問わない。

例えば、木質系の原材料としては、針葉樹の間伐材、間伐材の放置材、広葉樹材、竹材のいずれでも良い。さらに、これまで燃料として、または焼却されていた製材工場、家具工場、プレカット工場から排出される製材端材、廃棄材など樹種等は選択する必要はないであろう。しかし、一部の報告で比表面積から考えると、針葉樹木炭が広葉樹のそれより吸着量が大きいとするデータもあり、詳細なことは今後待つところである。

また、木質系原材料と考えられるものには「家屋解体材、家具廃棄材」、そして、「木質系土木廃材（コンパネル等）」などが挙げられる。今後、家屋解体材から搬出される材料、例えば土台角など「CCA」処理がされている材料とは、完全分別を行うことを求めるべきであろう。その他、農業から廃棄される「籾がら」、「トウキビがら」、「トウモロコシの皮」、さらに、水産業、畜産業など多くの廃棄物があげられる。これらの炭化技術、焼成温度などはすでに確立されているので、原材料として含めておいても良いであろう。

一方、炭化温度について見る。これまでの基礎的な研究成果によれば、一般的には炭化温度が高ければ高いほど、吸着量は高いとされている。しかし、最近の炭化温度と吸着量の関係から見ると、400℃付近の炭化温度から、それが上昇するに従って吸着量は直線的に増加するが、炭化温度が800℃以上になると増加量はやや緩やかになるとされている。今回のように調湿資材として利用する場合、収率など経済コストから考えると、床下調湿資材としては400℃以上で焼成すれば問題はないが、表面積の大きさから考えると、600～800℃の間が好ましいものと考えられる。

さて、床下に敷設する木炭の寸法である。0.15～0.42mmおよび1.17～1.65mmの2種の粒度について行われたTECE法によるこれまでの実験結果から見れば、粒度が大きくなれば、吸着性は低下する傾向が示されており、現時点で言えることは、0.5mm程度から大きくても2mm程度の顆粒状が良好と考えられる。これらについては、さらに分子サイズの吸着性能を含め、詳細に検討すべき課題として残った。

それぞれの上部にそのまま敷設して良い。しかし、コンクリートモルタルの上に敷設する場合は、雨水、水道管の結露などにより床面に水が溜まる危険が伴う。したがって、コンクリートモルタルを敷設した場合、水抜きをもうけておく必要がある。

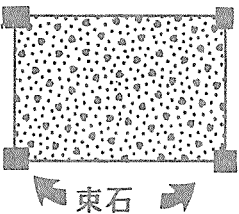
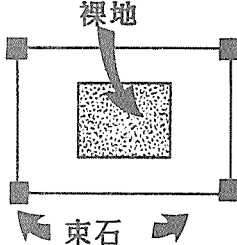
布基礎は地表面からの床面までの高さは50cm以上あることが望ましいと考えている。外気の相対湿度の変動が床下の相対湿度に直接影響を受けることが明らかとなっているので、内部に溜まった湿気は外気からの風により常に流れていることが望ましい。したがって、布基礎にもうける換気孔はなるべく多く設けると同時に、対照的にかつ、部屋間にある布基礎についても最外側の換気孔と一直線上に、しかも対照的にあることが望ましい。

一方、木炭の敷設量は床下の土壌条件にもよるが、木炭を敷設する厚さは5～10cm程度あれば良いと考えている。一般的に述べると、木炭を布袋に入れた状態でも、バラ状でも良いが、作業の都合により選択すれば良い。現在の頒布の大部分は施主の希望によりバラ、または布袋のいずれでも対応している。布袋の場合、45×45（4 kg程度）、60×60cm（5～6kg程度）の不織袋で配達、施工されている場合が多い。前者であれば1坪あたり16袋、後者であれば12袋程度である。このときの厚さは約10cm程度となる。

次ぎ、木炭を床下に敷設することで最も注意しなければならないことは、裸地、もしくはコンクリートモルタル仕上げの床下に木炭を敷設しようが、しまいが、床下に水を侵入させないことである。

床下に水を侵入させないことである。特に、問題となるのはコンクリートモルタルを敷設してある場合である。何らかの原因で、雨水が床下に侵入すると、侵入した水の地中への浸透は不可能であり、一種の「ため池」状態となる。このようになったら、床下の水を機会的に排出するしかない。これは木炭を敷設している場合は、一層問題が大きくなる。従って、木炭を敷設する予定がある場合、施工方法は「B」に図示してあるように、あらかじめ地中に水が排出されるような構造としておくことが望ましいであろう。すなわち、モルタル面に直径2cm程度の小孔を散点状に配置するか、束石を帯状としたコンクリートにより相互に緊結する構造（図7-13）をとり、部分的に裸地を配置させた方が望ましいと考えられる。

表7-2 床下条件、布基礎、換気孔の配置、木炭の敷設施工方法
(提案)

項 目	性 能 等
床 下 条 件	<p>切土による住宅造成地の場合、裸地、コンクリート・モルタルのいずれでも良いが、それぞれの上に木炭を敷設。ただし、後者の場合水抜きを施工しておくことが望ましい。</p> <p>田圃または沼地等の埋立の住宅造成地の場合、地下水が高いので、床下はコンクリート・モルタルを敷設した上に、木炭敷設。この場合も水抜きを施工しておくことが望ましい。</p>
布・基 礎	<p>布基礎の高さは建築規準法に定められた高さがあれば良いが、外気が淀まないことが望ましい。作業性から言えば最低40cmは欲しい。既設の床下が低い場合は、風の流通が十分に出来るような補填工事が欲しい。</p>
換 気 孔	<p>換気孔は十分に配置されていることが望ましい。木炭を敷設しても風の出入りがなければ、意味がない。</p>
施 工 方 法	<p>A) 裸地（または割石敷設）床下の場合</p> <p>a) 木炭をバラのまま散布敷設</p> <p>b) 木炭が包装してあるものを並敷設</p> <p>ただし、袋詰めなど包装してある場合は、通気性を維持してあることが必要で、調湿性能が損なわれていないこと。</p> <p>B) コンクリート・モルタル敷設床下の場合</p> <p>敷設の方法はA)に同じ</p> <p>コンクリート・モルタルを敷設する場合には、下図のように</p> <p>a) 適当な間隔で 直径2cm程度の孔をあけて置くか、または</p> <p>b) 裸地部分を開けるような施工が望ましい。この場合は地震対策として、東石を相互に筋結することが望ましい。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>a)</p>  <p>東石</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>b)</p>  <p>裸地</p> <p>東石</p> </div> </div>
木炭の敷設量	<p>木炭を散敷設する場合、床下の水分条件にもよるが、厚さ5～10cm程度で良い。</p> <p>「布袋状木炭マット」を敷設する場合には、45×45cmサイズであれば16袋程度、60×60cmサイズであれば12袋程度で良い。</p>
施工後の注意	<p>木炭を敷設した床下に外部より雨水、地下水の流入、浸入がないことを十分に注意すること。</p> <p>床下内部に配管されている水道管、下水道管からの漏水等がないことに十分注意すること。</p>

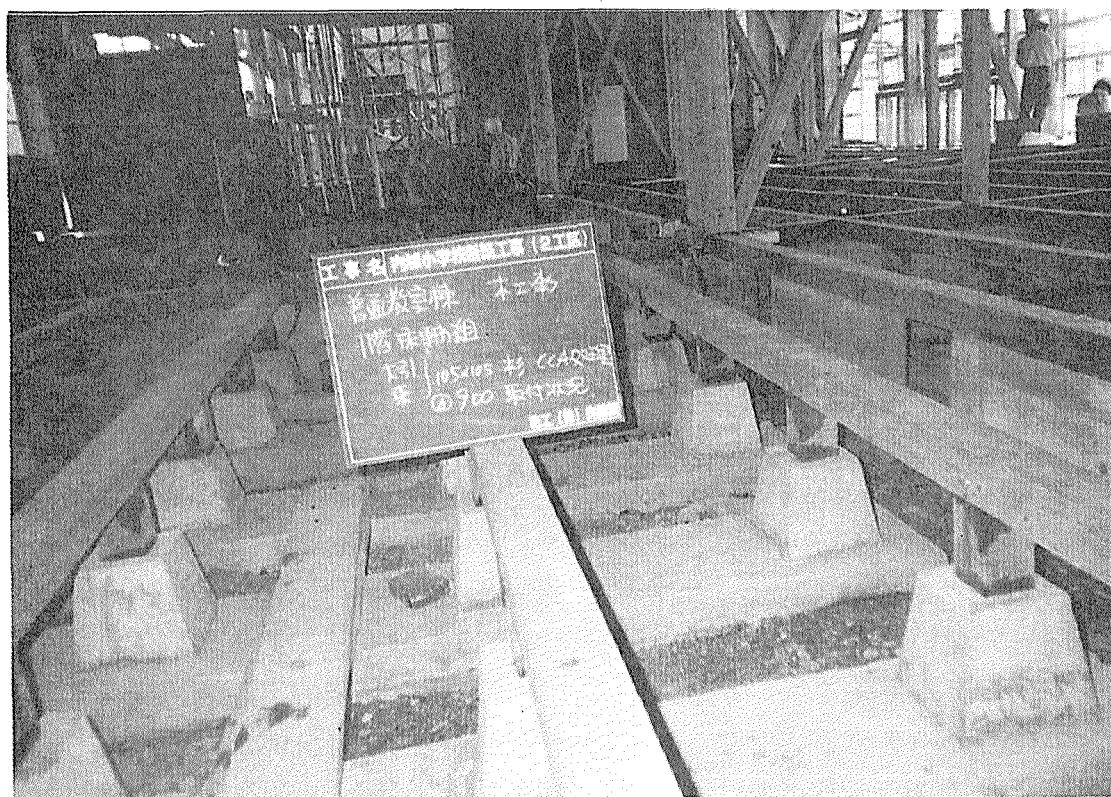


図7-12 床下にある束石のコンクリートによる緊結例

6. おわりに

住宅を病気にしないため、すなわち、木造住宅を腐朽からまもるための新しい環境因子として、「住宅の床下気象環境の改善」をとりあげた。そもそも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。しかし、高気密、高断熱性が求められ、推奨されている今日の住宅は、特に冬期の室内は暖房器具、厨房等により相対湿度は高くなったり、床下換気も十分でない。このため室内はもとより、床下の相対湿度も外気のそれに比べて相当高い傾向が見られる。このようなことから床下地盤部からの水蒸気を防ぐことを目的として、いわゆるステコン（コンクリートモルタル）による上塗り、ビニールシートの被覆が用いる例が非常に多く見られるようになった。しかし、これらの施工状態では自然の水の循環は行われず、永い年月の間に被覆さ

れた下側では、土壌水の腐敗が起こることになる。結果的に、このことは住宅を構成する木質部材や、その上部に居住する人間の健康に決して良いとは言えない。

そこで、このような考え方にもとづき、1988年より大学内にモデル木造住宅を建築し、これの床下気象環境の実態の調査研究を実施した。さらに1990年から木炭を床下に敷設することによって床下気象環境の改善を試みるなど、過去6年間にわたる測定の結果、木炭を敷設することにより、床下の気象環境の改善が見出すことができた。これらの研究成果により、「農林水産省補助事業、木質資源利用分野開発促進対策事業費」の中で1992年度から開始された「再資源化技術開発事業」の中の「木炭による床下気象環境効果調査研究」として採択された。1992年の準備期間を含め、1992年11月末より実際の居住中の木造住宅の床下の気象環境（温度、相対湿度）の実態、1994年12月より1996年12月までの約5年間の長期にわたって木炭敷設にともなう床下の気象環境の改善の可能性について検討してきた。

実際に居住している住宅を使用するこのような実験は、地域、各住宅の建築条件などがバラバラで大変難しい。調湿資材としての木炭の効果をより明確にするには、数ヶ所のデータだけで結論できないが、もっと多くの場所で実験を繰り返し行い、普遍的なデータを得ることが必要である。しかし、実際には、暦年により、地域により気象はまったく同一でないために、決定的な解答を得ることは困難であるが、これまでのモデル実験住宅（モデル実験4年）と居住中の住宅等に得た本格的実験開始後4年を（木炭敷設後3年）のデータを集積できた。この研究は長期的な継続性が重要であり、測定地域を拡大し、多くのデータを相当年に渡って蓄積する等、更なる継続が必要であるが、床下の気象改善のための「調湿材としての木炭の活用」は有効であることが証明された。

これまでの数年間の研究成果がまだ完成していないにもかかわらず、幸いにも1995年3月鹿児島県和泊町立内城小学校の木造校舎の新築にともない、約1,100m²に木炭を敷設できた。公的機関で取り上げられたことは今後の研究に弾みをつけるものとなった。この学校の床下気象データは現在も集積中であるが、当該町は引き続き建設した城ヶ丘中学校、国頭小学校と木炭を床下に敷設した。

敷設後の内城小学校のこどもたちの生活ぶり、病気による欠席、怪我等の減少など、好ましい状況ができつつある。これらのデータについては改めて紹介したい。

これまで、木質資源はゼロ・エミッション資源として最も有効に利用されてきた唯一の資源でもある。しかし、第2次世界対戦後の工業の発達、石油による燃料革命により、わが国の木炭生産は著しく減少し、燃料や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。しかし、燃料としてだけかんがえられていた「木炭」が、「新素材」として提供されたことは喜ばしい。このことは地球環境が叫ばれている現在、木質系産業廃棄物から炭化された製品の有効活用にまで展開することが可能となった。

本研究はさらに研究を継続・展開させることにより、木質系産業廃棄物の有効活用がリサイクル資源としての有効活用だけでなく、建築新素材の開発につながる。このことは、住環境の改善だけでなく、地球環境の改善、地方・地域環境の改善、地域の林業、林産業の活性化、さらにゼロエミッション構想へとつながることになった。本研究からえられるものは非常に大きい。

第8章 木質系水産資材の開発

1 はじめに

現在、磯焼け 1) は北海道の日本海沿岸部で発生し大きな問題となっている。「磯焼けとは、主として外洋に面した岩礁地帯で有用海藻がほとんど枯死、流失し、無節サンゴモで覆われた岩盤のみが残り、そのために有用海藻および有用動物の生産が激減する現象をいう。磯焼け現象の生じている場所では波打ち際から水深20m位まで、岩面の大部分が石灰藻で覆われ、有用海藻類がほとんど存在しない状況を呈している。」1)

この磯焼け対策の一つとして、人工藻礁による底質の改良 2, 3, 4) がある。人工藻礁とは、海の底質改良を目的とする海藻の付着基質（代表的なのはコンブ基質 3)）であり、また、その海藻を餌とするウニやアワビなどのい集効果（代表的なのはアワビ稚貝育成場 3)）を期待する藻礁4) である。

この藻礁の材料は、これまで自然石 2, 4, 5) およびコンクリートブロック 2, 4, 5, 15, 18) が主流であったが、近年はコンクリートブロックに鉄イオン系塗料を表面処理したもの 4)、着脱自在の着生礁（プレート）を取り付けたもの 4)、実験段階であるがコンクリートの強度を調整して表面を崩れ易くして新鮮な表面が自然に更新されるようにしたもの18) がある。また、プラスチック製品としては暗渠用網状パイプ 5) やハイクレ・ロープ 5) や着脱自在なFRP板16)、海水中に溶存する物質の電気イオン化現象を活用する電着藻礁 6)、発電所使用済み脱硫剤とセメントのペレット17) など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 9-13)。しかし、木材そのままではフナクイムシ等の食害により耐久性が小さいという欠点がある 7, 8, 20, 21)。また、実験段階ではヘドロの利用12) が研究されている。一方、沿岸構造物の環境共生機能を高めるため、防波堤・護岸に藻場機能を付与しようとする試みもあり19)、基質の種類、表面形状、構造形式、場所等が検討されている。

本研究の目的は、建築解体材等から再生利用可能な木材部分を分別・チップ化した木片とセメントを結合材として成形板（木質・セメント成形板）とし、この成形板の人工藻礁への適用の可能性を検討することである。また、本研究の動機は、次の理由から木質・セメント成形板は効果的な人工藻礁となる可能性が高いと判断したためである。

- ① 北海道の日本海沿岸部で発生して大きな問題となっている磯焼けの対策として需要が期待できる。
- ② 木質原料とセメントの成形板を藻礁とすることにより、海藻の付着に影響を及ぼす表面性（空隙度、形状、耐久性）をコントロールすることができる。

特に、木質がフナクイムシ等の食害に弱い欠点を、木質を小片にして無機質のセメントで固めることにより食害を防ぐことができ、藻礁としての耐久性を付与することができる。

もし、成形板が表面から少しづつ崩れたり、破壊したとしても、海域には木小片のみが浮遊するため、漁船や漁網を傷めることはない。また、浮遊した木質とセメントによる海洋汚染の心配はない。

- ③ 「磯焼けした海域に投石やブロック（コンクリート）の設置を行うと、数年間はコンブの着生が良好であるが、次第に石灰藻が優占し、コンブの個体数の減少が見られることがある。磯焼けの原因は、海域の環境変動やウニの食害などによるといわれているが、新たな投石の実施や基質表面の清掃により、コンブ漁場が回復することが多い。」⁴⁾といわれ、この基質表面が自然に更新するように設計された藻礁が研究されている（14, 18, 20）。

このように、木質・セメント成形板の表面性をコントロールして常に清掃されたと同じ基質表面を作り出すこと、具体的にはセメント配合量や木質原料の形状を調整することにより成形板表面の木質原料が徐々に食害されて表面の更新が自然に行われるように設計することができれば、長期間に渡りコンブ等の着生が期待できる。

- ④ 藻礁用の木質原料は、その用途から土・プラスチック・ガラス・金属等の異物の混入には、あまり敏感ではない。このため、建築解体材等を粉砕した再生木チップの利用には適している。

今年度は、小樽市忍路湾に海中設置してある遷移試験体 2体および枠取り試験体 2体の海藻付着観察と枠取り試験を行い、その結果から木質・セメント成形板の人工藻礁としての効果を検討した。試験体の設置個所を写真 8-1 および図 8-1 に示す。

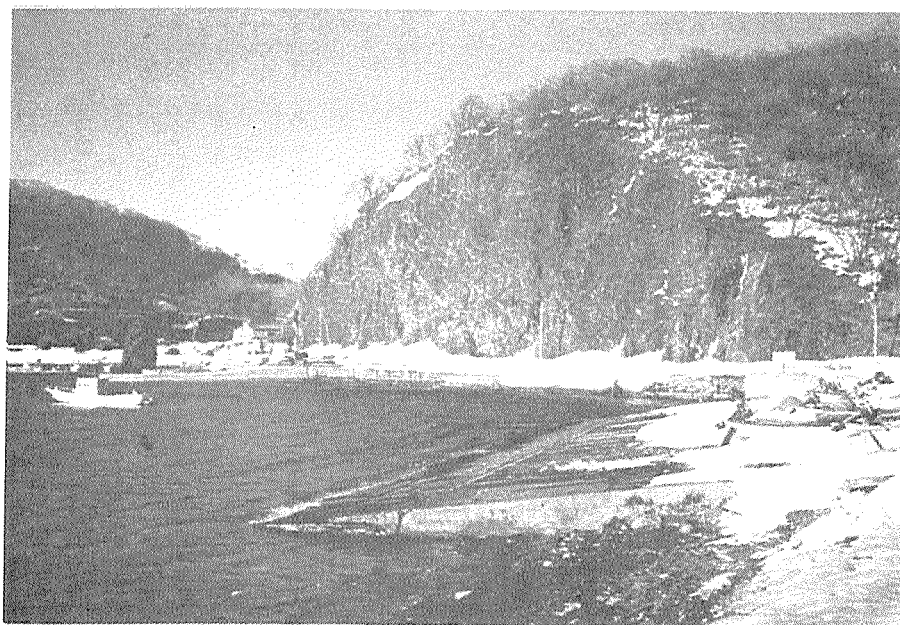


写真 8-1 試験体の設置個所の状況

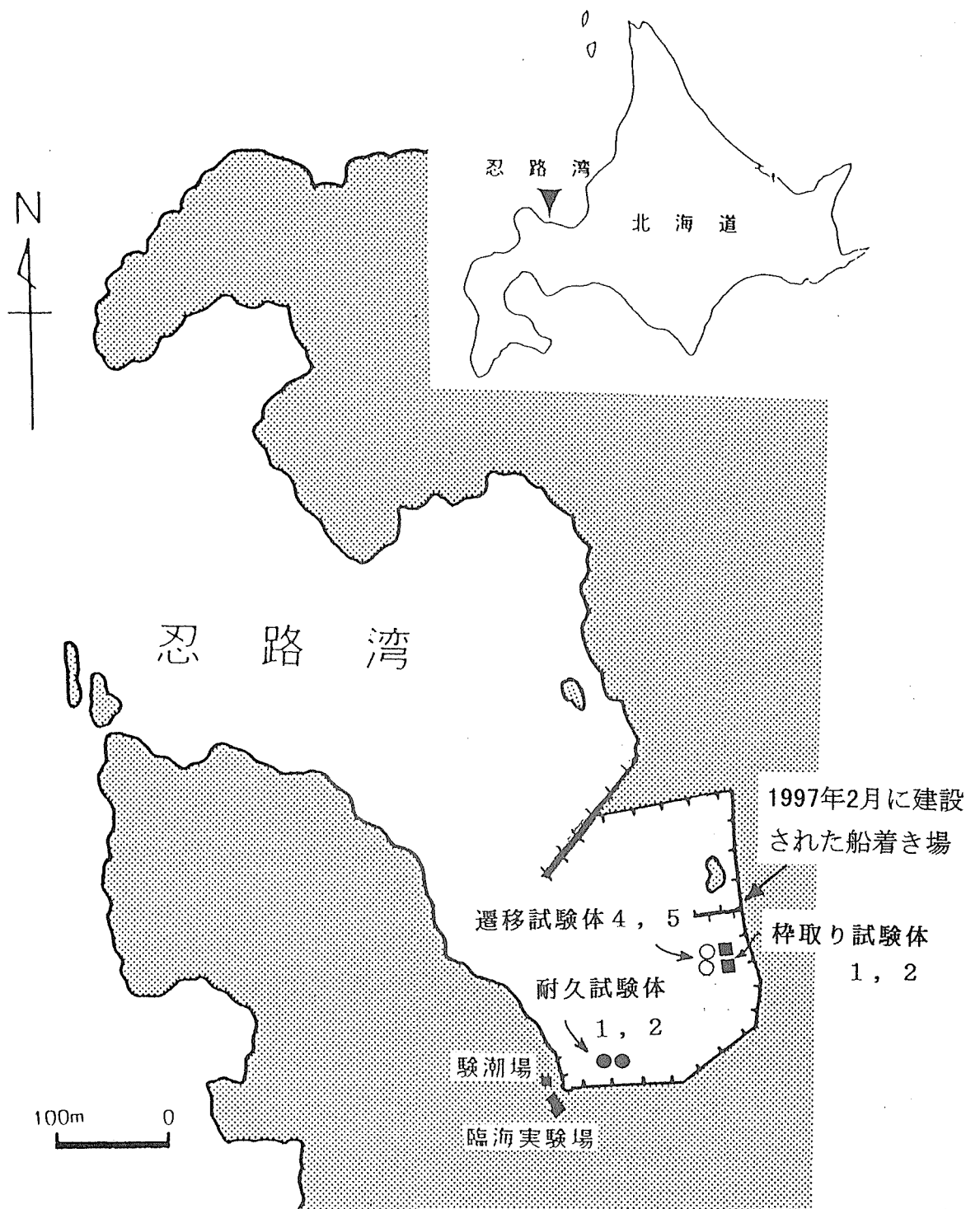


図 8 - 1 試験体の設置個所

2 昨年度までの成果

昨年度、海中設置期間約 2ヶ年の耐久試験体（写真 8-2） 2体を回収し、架台に取り付けられていた試験片を外して鋸断し、試験片内部のフナクイムシによる食害を調査した結果は表 8-1 のとおりであった。

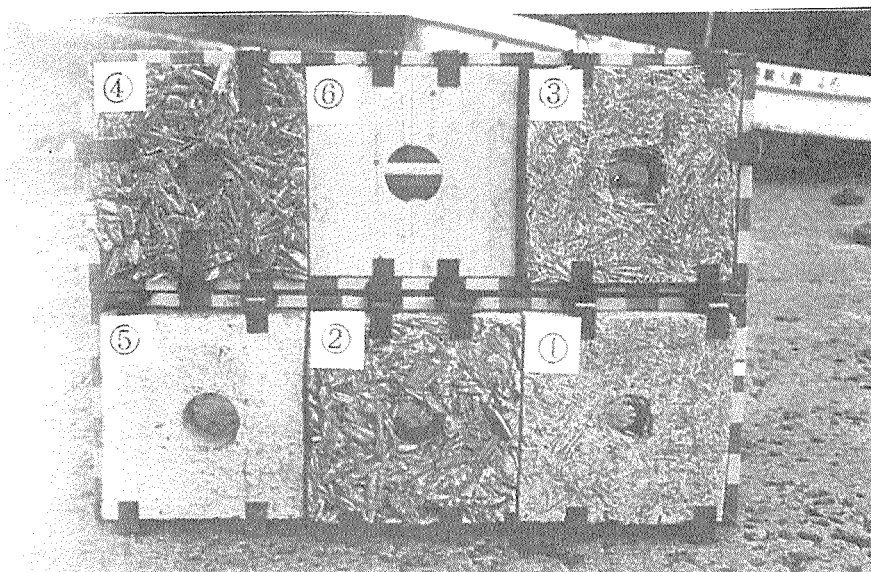


写真 8-2 耐久試験体の概要

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

表 8-1 約2年間の海中設置による耐久試験体の6試験片の劣化状況

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

3 遷移試験

遷移試験は、木質・セメント成形板に付着する海藻が年ごとにどのように遷移するかを調査するもので、試験体 2 体が忍路湾に設置してある。設置箇所は小樽市忍路湾内の水深約2mの砂礫地で、この地点の潮間帯の岩礁にはホソメコンブが群生している（図8-1）。

1993年12月 1日に設置した試験体 4 と1994年 9月29日に設置した試験体 5 について、試験体を船上または浜に引き上げ、目視および写真撮影により海藻付着の程度・遷移を調査した。

3.1 遷移試験体の概要

遷移試験体は、傾斜型の鋼製架台に 4枚の試験片を取り付けたもので、概要を表8-2に示す。

表 8 - 2 遷移試験体の概要

試験体 No.	取り付けた試験片の種類	セメント /木質比	厚さ (cm)
4	木質①・セメント成形板 × 4 枚	2.33	6
5	木質②・セメント成形板 (コンポスト25.0%混入) × 2 枚	3.75	10
	木質③・セメント成形板 (コンポスト37.5%混入) × 2 枚	4.29	10

(注)・木質①：パルプチップ

- ・木質②：ハンマーミル片(大)50%+ハンマーミル片(小)50%
- ・木質③：パーティクル
- ・水/セメント比は0.55一定
- ・セメント/木質比は絶乾重量比
- ・設定比重は約1.0
- ・硬化促進剤の添加率はセメント重量に対する絶乾重量比で2.2%一定
- ・試験体 4 には硬化促進剤 A を添加、試験体 5 には硬化促進剤 B を添加
- ・コンポストの混入率は木質重量に対する絶乾重量比
- ・コンポストは、下水処理工程で発生する汚泥を発酵させた有機質土壌改良剤
((財) 札幌市下水道資源公社製の粒状の市販品、成分：有機物40~45%、石灰18%、窒素 2.0%、リン酸 3.5%、カリ 0.2%)
- ・セメント硬化促進剤 A：木毛セメント板工場より入手
- ・ " B：塩化マグネシウム

3.2 遷移試験結果

大型褐藻類（コンブ、ワカメ等）の生長が著しい6月頃、一年生のホソメコンブが流失する11月頃、紅藻類が生長する3月頃、計3回、試験体への海藻付着程度・遷移を観察した。

第1回目の観察は、1996年6月12日に行った。なお、1996年は日本海の北海道沿岸では例年になくコンブが豊作の年であった。

試験体4には、ホソメコンブ、ナンブワカメ、アナアオサ、スジメ、ウルシグサが3面に付着していたが、1面のみアナアオサと枝状紅藻のみであった。

試験体5の木質②の試験片には、ホソメコンブ、ナンブワカメが優占し、アナアオサ、ウルシグサが付着していた。木質③の試験片には、ナンブワカメが優占し、スジメ、アナアオサ、紅藻が付着していた。両試験片とも、試験体4よりも付着量は劣っていた（写真8-3）。

第2回目の観察は、1996年11月6日に行った。2試験体とも、大型褐藻類は流失しており、海藻の付着はあまり見られなかった（写真8-3）。

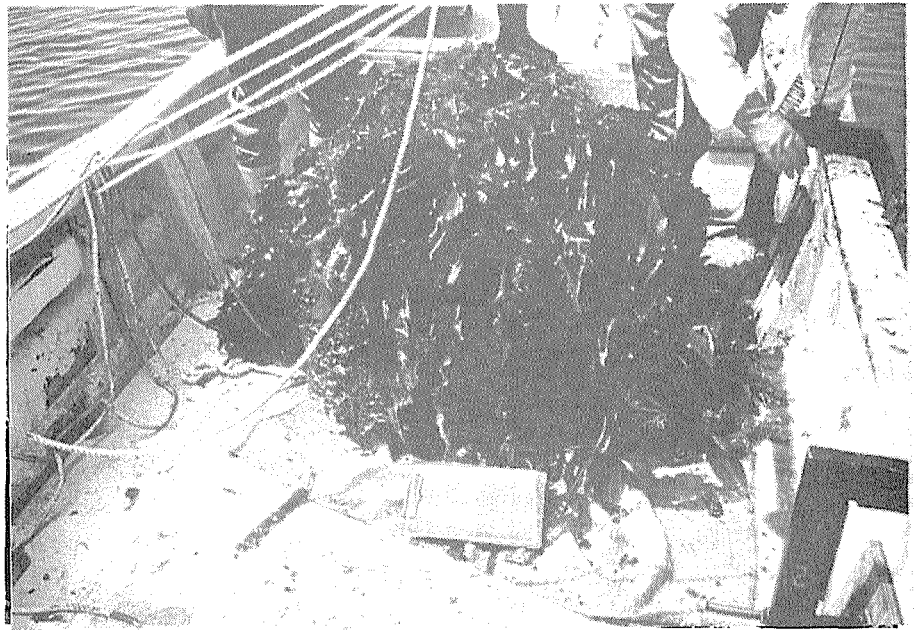
第3回目の観察は、1997年2月28日に行った。

試験体4には、ナンブワカメが多数付着していた。

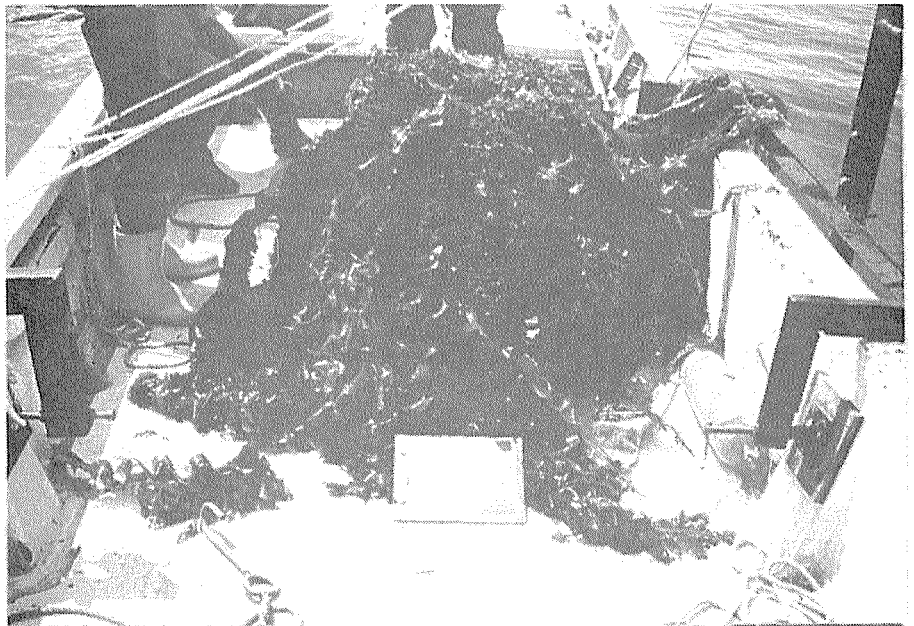
試験体5の木質②の試験片には、ナンブワカメの幼体9本と一部に枝状紅藻が付着していた。木質③の試験片には、ナンブワカメの幼体2本と枝状紅藻が多数付着していた。両試験片とも、試験体4よりも付着量は劣っていた（写真8-3）。

過去3年間の海藻の遷移（毎年3月頃の海藻付着状況）を写真8-4に示す。この写真から分かるように、海中設置後3年間の限られた設置個所での観察ではあるが、木質・セメント成形板への海藻付着は良好かつ大型褐藻類のナンブワカメが優先し（一部ホソメコンブ）、遷移は安定した状態になっていると思われた。

試験体 4



試験体 5
(木質②の試験片の面)



試験体 5
(木質③の試験片の面)

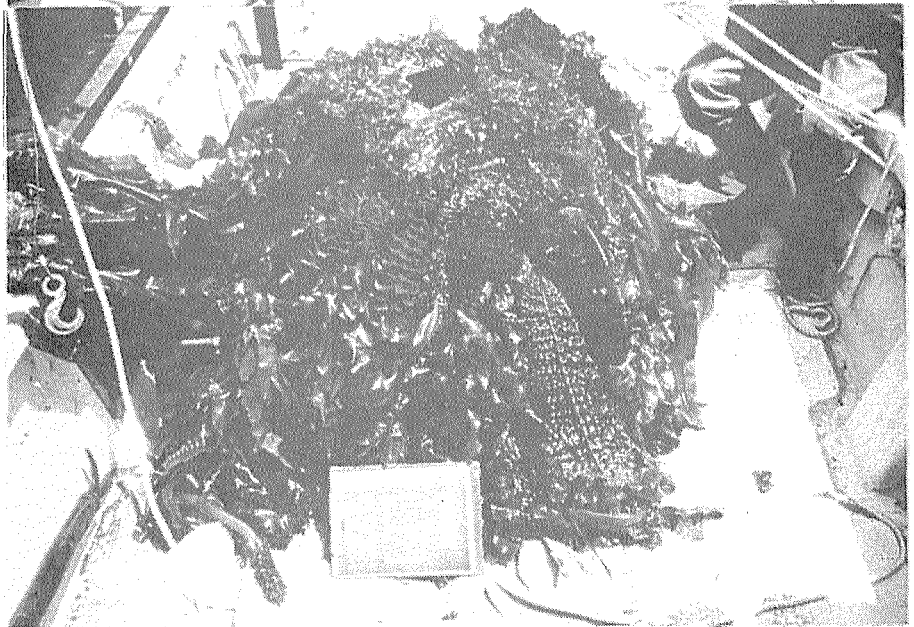


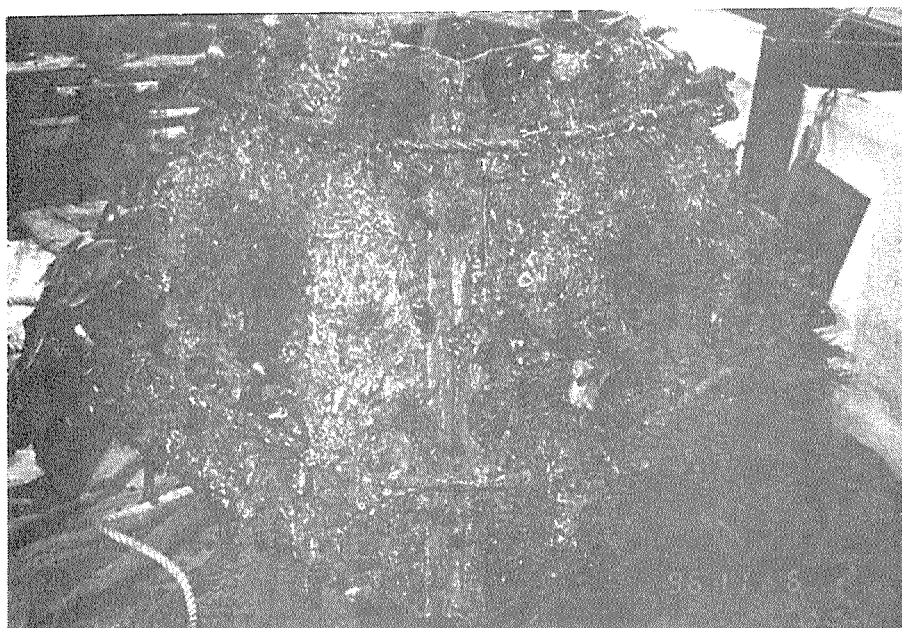
写真 8 - 3 遷移試験体への海藻付着状況 (1996年 6月12日)

試験体 4



試験体 5

(木質②の試験片の面)



試験体 5

(木質③の試験片の面)

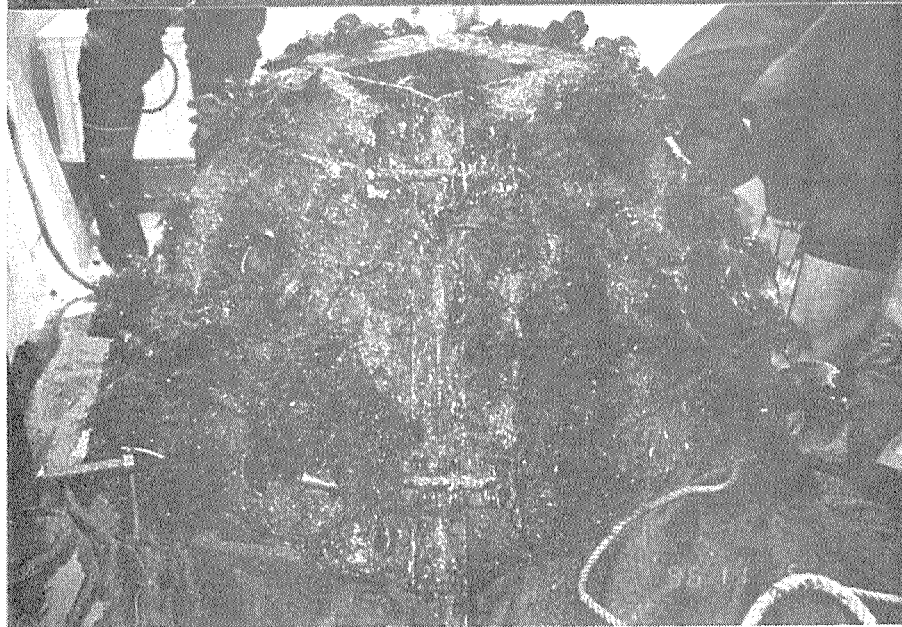
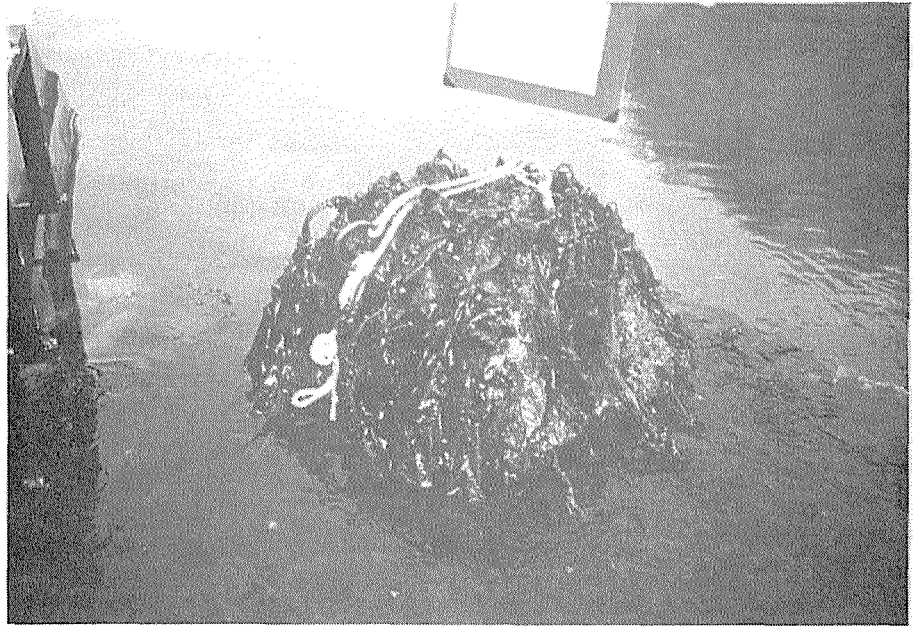


写真 8-3 (つづき) 遷移試験体への海藻付着状況 (1996年11月 6日)

試験体 4



試験体 5
(木質②の試験片の面)



試験体 5
(木質③の試験片の面)

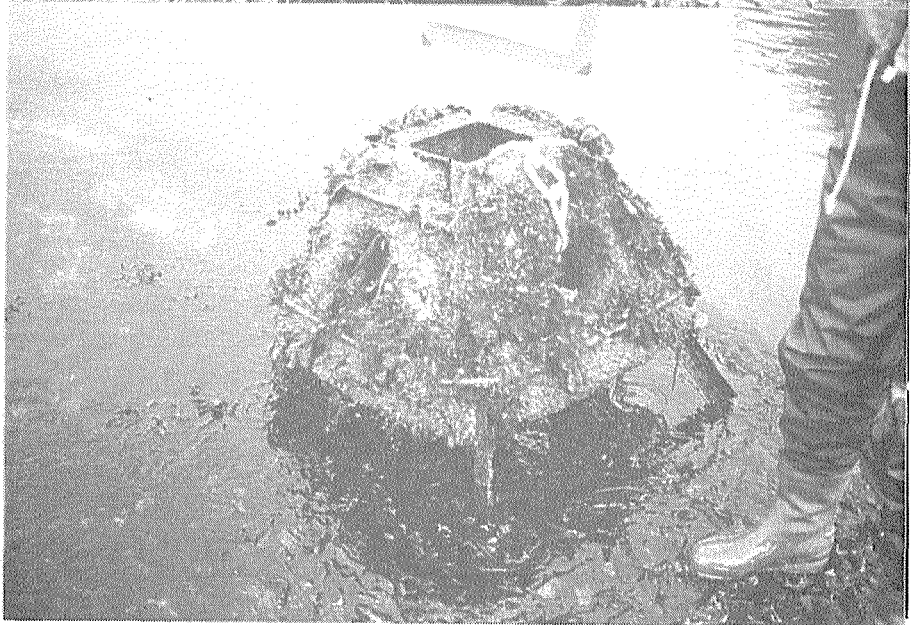
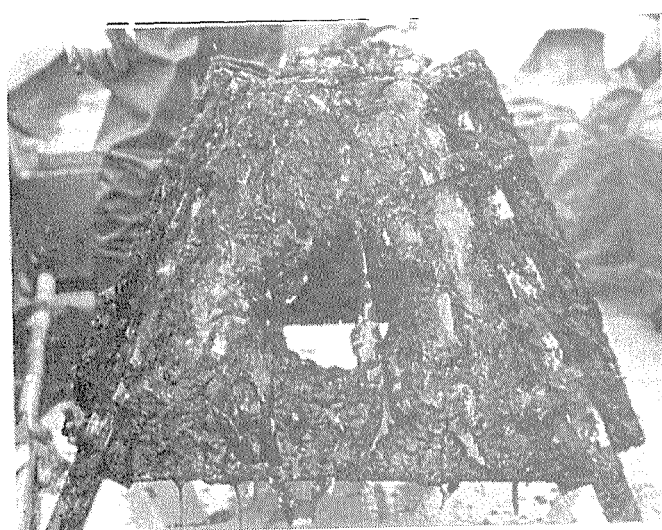
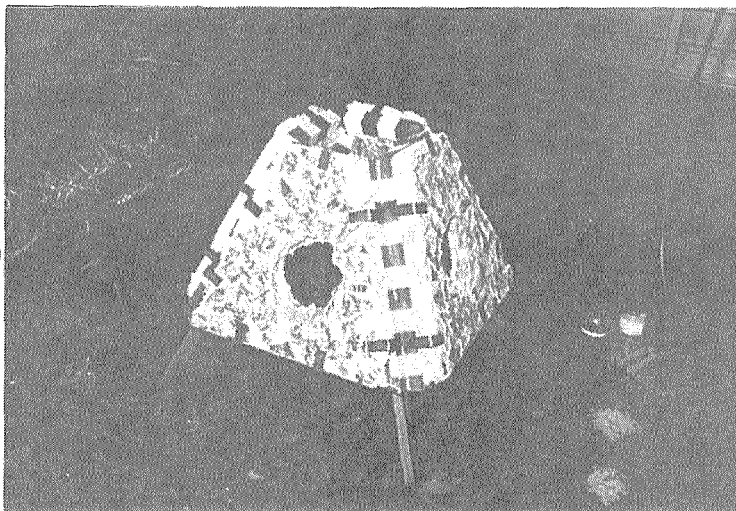


写真 8 - 3 (つづき) 遷移試験体への海藻付着状況 (1997年 2月28日)

海中設置前の試験体 4
(1993年12月 1日設置)



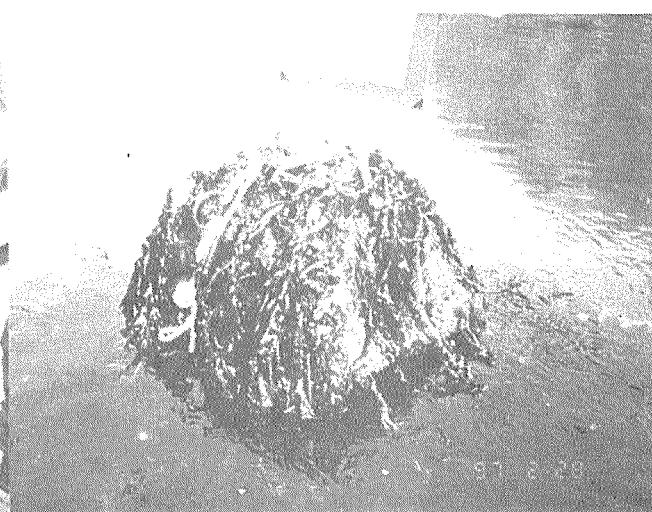
(設置約 4ヶ月後、1994年3月)



(設置約1年4ヶ月後、1995年3月)



(設置約2年4ヶ月後、1996年3月)



(設置約3年4ヶ月後、1997年2月)

写真 8 - 4 試験体 4 の海藻遷移

(木質②の試験片の面)

(木質③の試験片の面)

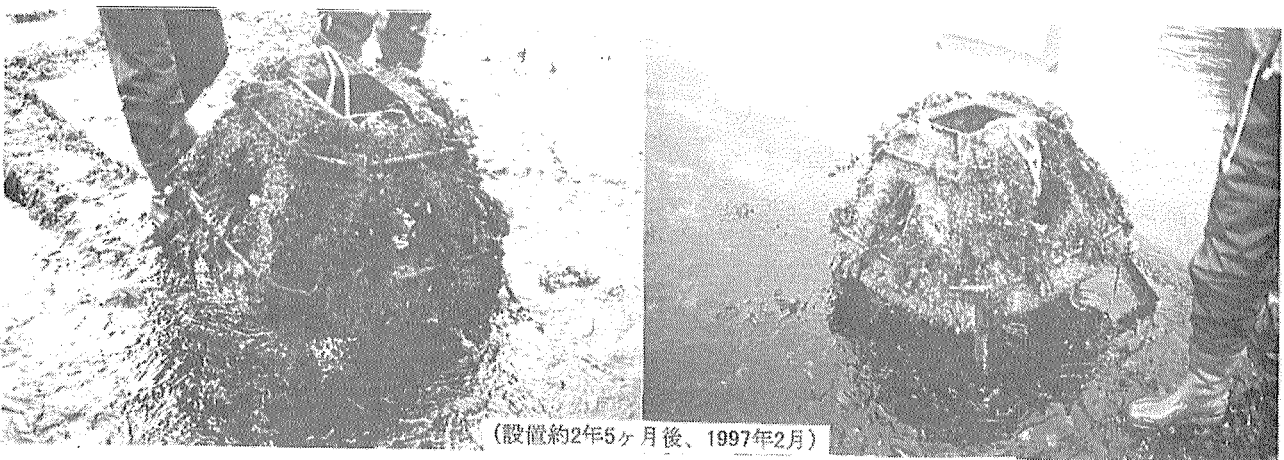
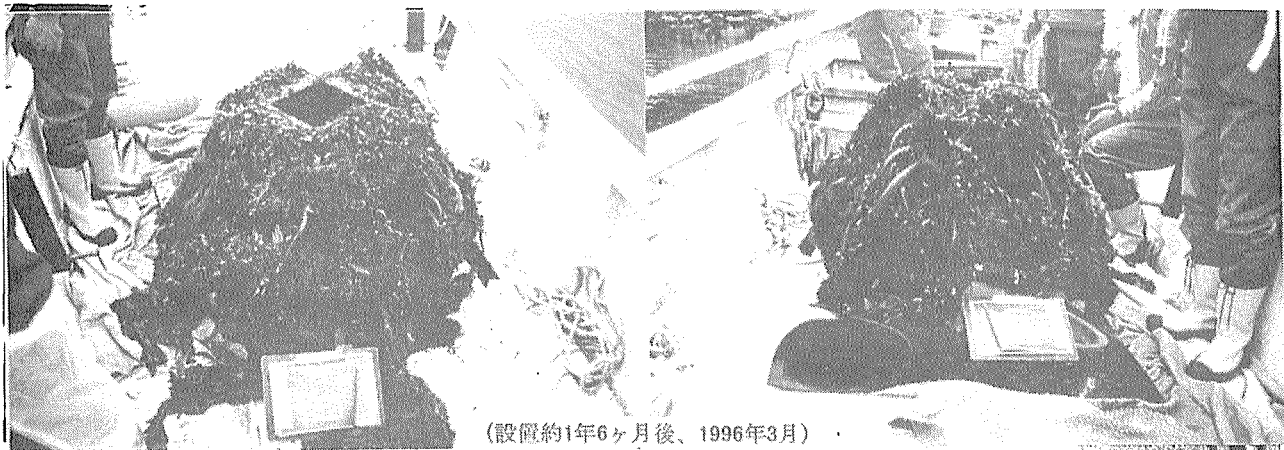
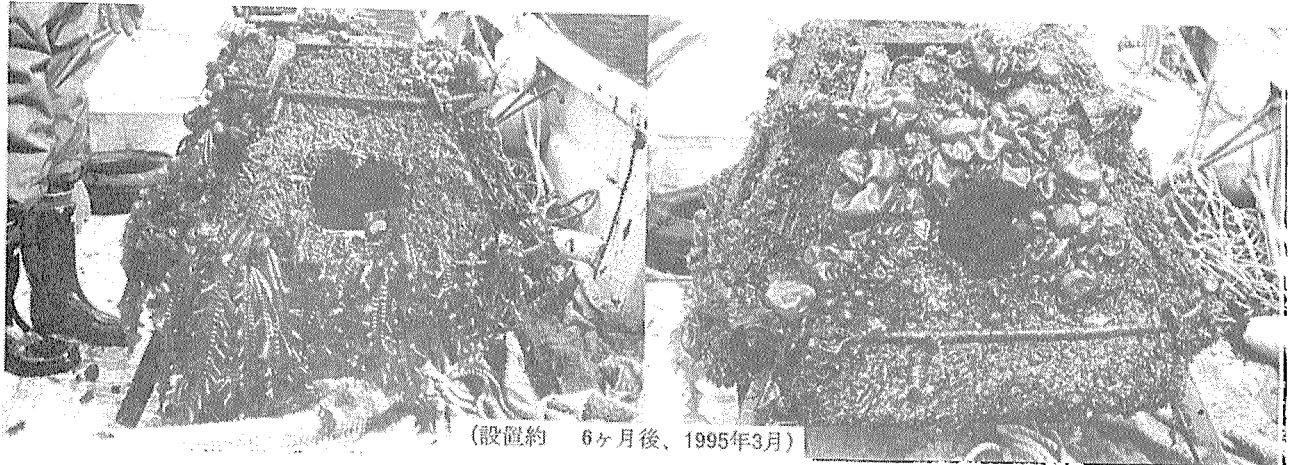
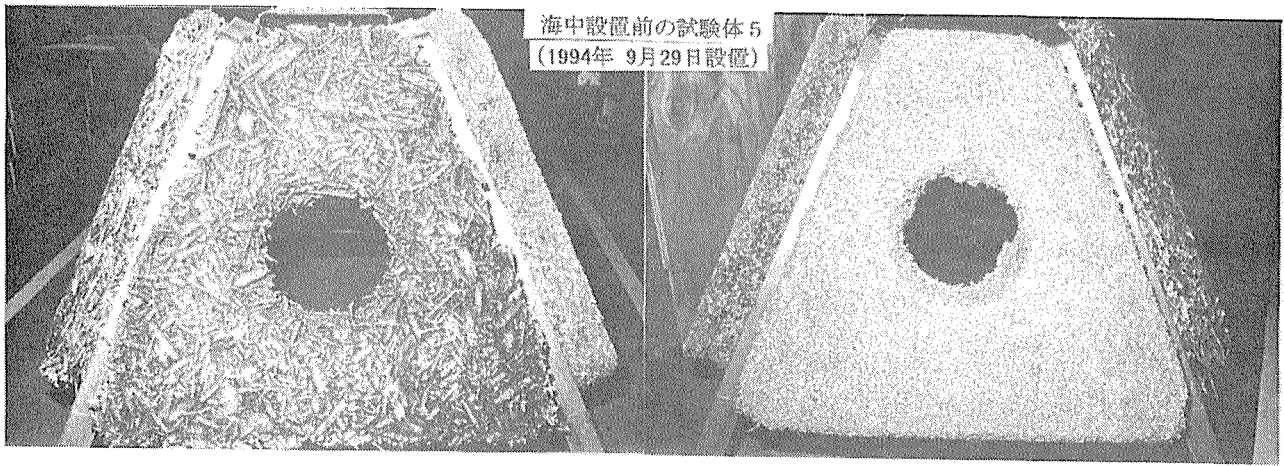


写真8-4 (つづき) 試験体5の海藻遷移

4 枠取り試験

枠取り試験とは、ある枠内に付着している海藻を総て掻き取り、海藻の種類毎に現存量（本数、形状、湿潤時重量など）を測定するものである。

4.1 枠取り試験体の概要

1995年10月23日、2体の枠取り試験体を小樽市忍路湾に海中設置した。設置箇所は、前節の遷移試験体の設置個所と同じ位置で、岸から10m程度離れた水深約2mの砂礫地の波静かな湾内である（図8-1）。この地点の潮間帯の岩礁にはホソメコンブが群生しているところである。

試験体の概要を表8-3に示す。取り付けた試験片は次の4種類（写真8-5）で、試験片の寸法は厚さ50mm×50cm×50cmと一定であり、板中央部には波浪を受け流すためのおよそ直径18cmの穴を設けてある。

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

表8-3 枠取り試験体に取り付けた木質・セメント成形板試験片の製造条件

○木質	: パーティクル、 ハンマーミル片（大）95%+木毛5% の2種類
○水/セメント比 （絶乾重量比）	: 0.55（木質のみの試験片の場合） : 0.60（木質+混入材の試験片の場合）
○セメント/木質	: 3.00（絶乾重量比）
○硬化促進剤添加率 （塩化マグネシウム）	: 2%（添加率はセメント重量に対する絶乾重量比）
○混入材（粉炭）混入率	: 20%（混入率は木質重量に対する絶乾重量比）
○試験片の比重	: 約1.0
○試験片の寸法	: 厚さ5cm×50cm×50cm（中央部に約18cmの穴あり）

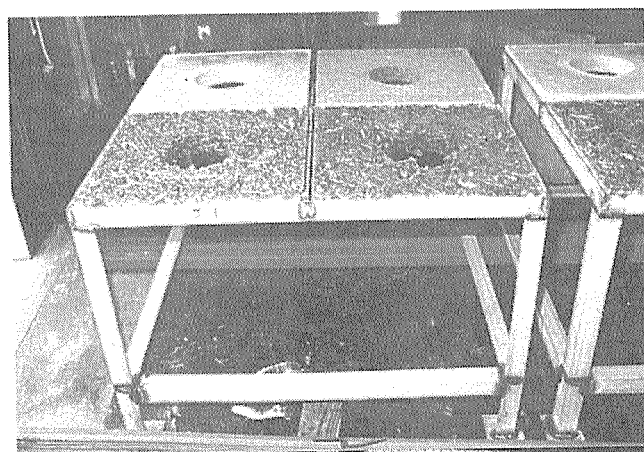
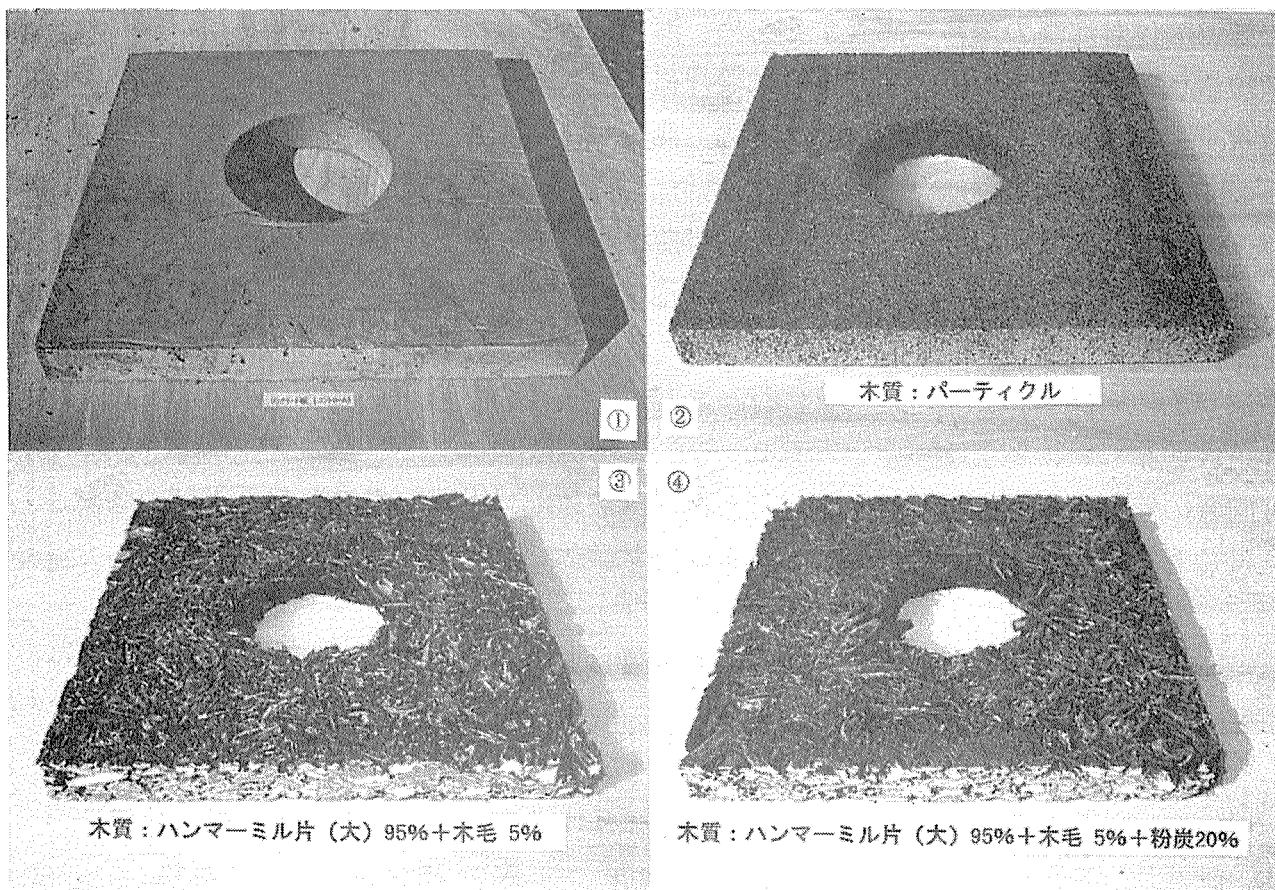


写真 8 - 5 枠取り試験体に取り付けた4種類の試験片

3.4 枠取り試験結果

大型褐藻類（コンブ、ワカメ等）の生長が著しい6月頃、一年生のホソメコンブが流失する11月頃、紅藻類が生長する3月頃、計3回、試験体への海藻付着程度を観察した。

第1回目の観察は、1996年6月12日に行った。試験体1体(No. 2)は、人工的な手を加えない状態での付着海藻の遷移を調査するため、海中での海藻付着状況を観察した。もう一つの試験体(No. 1)は、浜に引き上げて各試験片に付着した海藻のみを掻き取り、その本数・湿潤重量、ホソメコンブについては長さ・幅も測定した。測定時の試験体にはエゾムラサキウニ 2匹とエゾバフンウニ 1匹が付着していた。

海藻付着状況は、試験体2体とも海藻類の付着は良好でホソメコンブが優占していた（写真8-6）。なお、1996年は日本海の北海道沿岸では例年になくコンブが豊作の年であった。

第2回目の観察は、1996年11月6日に行ったが、悪天候のため、試験体(No. 1)のみ海面に引き上げ観察したにとどまった（写真8-7）。

第3回目の観察は、1997年2月28日に行った。試験体No. 2とNo. 1を浜に引き上げ、各試験片に付着した海藻の本数を測定した。測定時の試験体にはウニの付着は見られなかった。

表8-4 試験片に優占して付着していた海藻の現存量

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

(注) 本数以外は平均値である。

試験片①：コンクリート板

試験片②：木質（パーティクル）・セメント成形板

試験片③：木質（ハンマーミル片(大)95%+木毛 5%）・セメント成形板

試験片④：木質（ハンマーミル片(大)95%+木毛 5%）・セメント成形板（粉炭20%混入）

海藻付着状況は、試験体No. 2の表面には泥が薄く堆積し、ナンブワカメの幼体が試験片①に1本と試験片③に4本付着していた程度であった。試験体No. 1にはアナアオサが優占していた（写真8-8）。2試験体とも海藻付着は不良で、第1回目の観察時に枠取り（海藻の掻き取り）をした試験体No. 1のみアナアオサの付着がみられた。海藻付着が不良であった原因として、1996年12月から1997年2月の約3ヶ月間、試験体設置箇所付近での船着き場（コンクリート構造物）建設工事が行われたため、海中環境の悪化があったことが考えられる。

第1回目と第3回目の観察時に優占していたホソメコンブとアナアオサの枠取り試験結果を表8-4に示す。なお、試験片毎の海藻の付着性を評価するための指標には、表中の本数が適している。

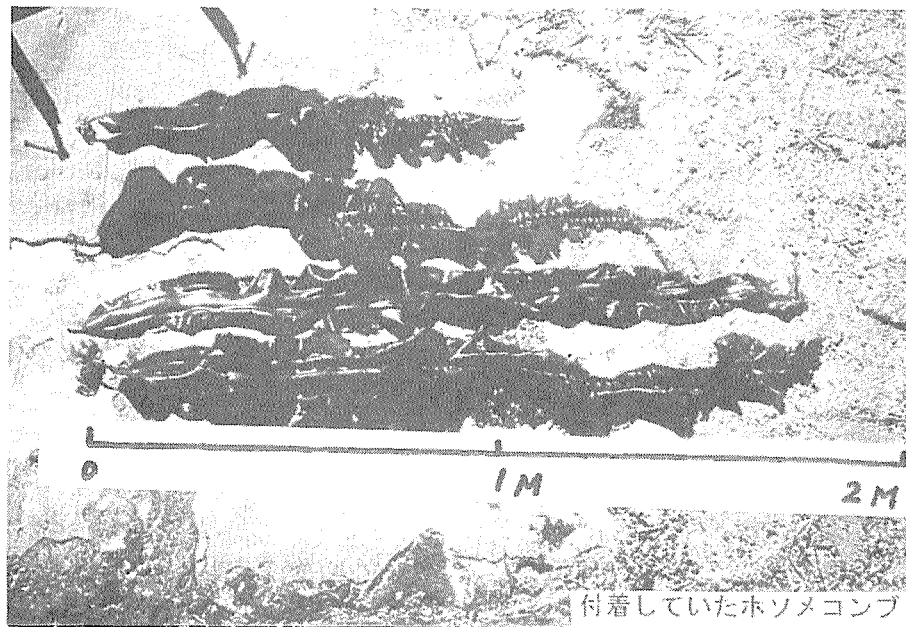
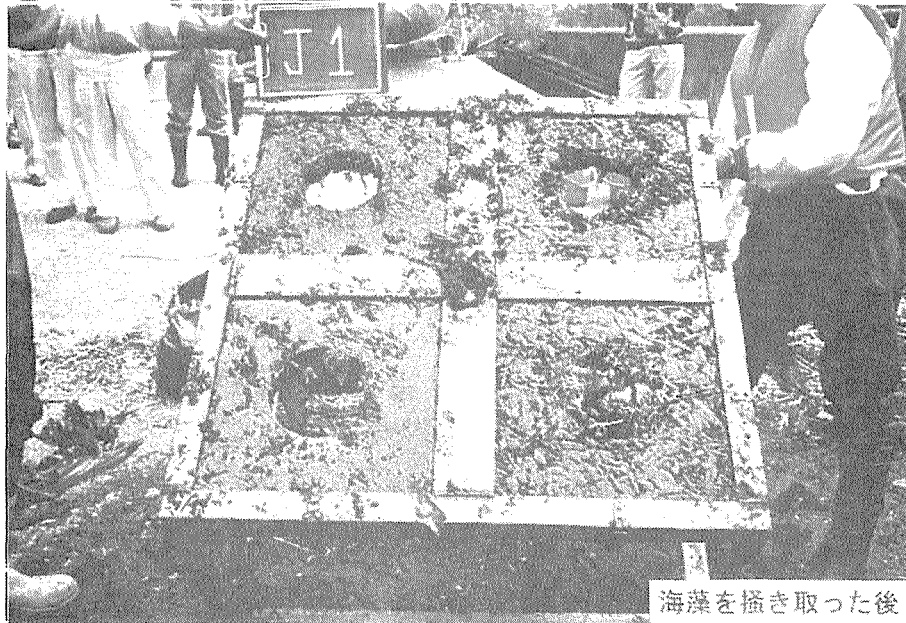
設置約8ヶ月後および設置約1年4ヶ月というまだ短期間の結果なので最終評価は行えないが、1996年6月の観察では、試験片①（コンクリート板）に比較して、試験片③（木質（ハマミル片（大）95%+木毛5%）・セメント成形板）の付着性の良さが確認された。



設置8ヶ月後（ホソメコンブが優占）

（試験体 No. 1）

写真8-6 枠取り試験体の海藻付着状況（1996年6月12日）



(試験体 No. 1)

写真8-6 (つづき) 枠取り試験体の海藻付着状況 (1996年 6月12日)



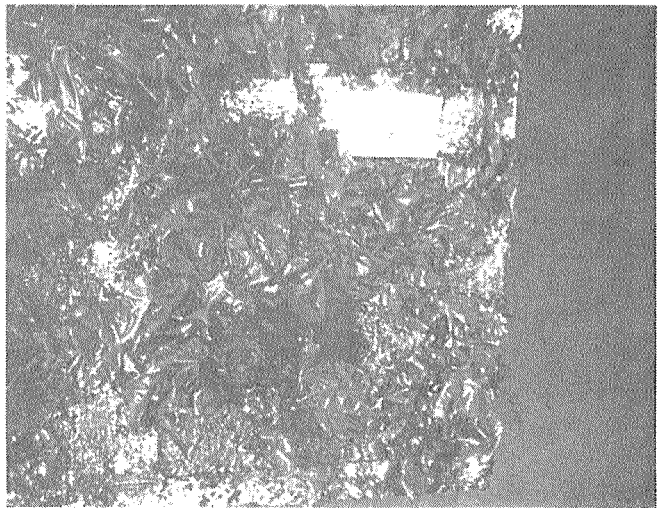
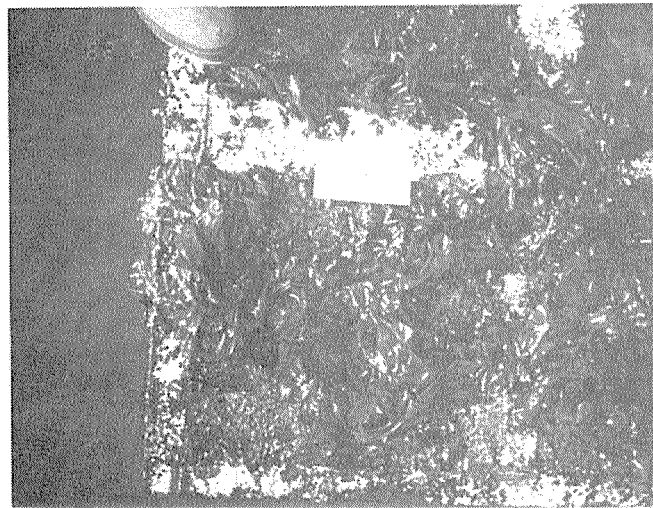
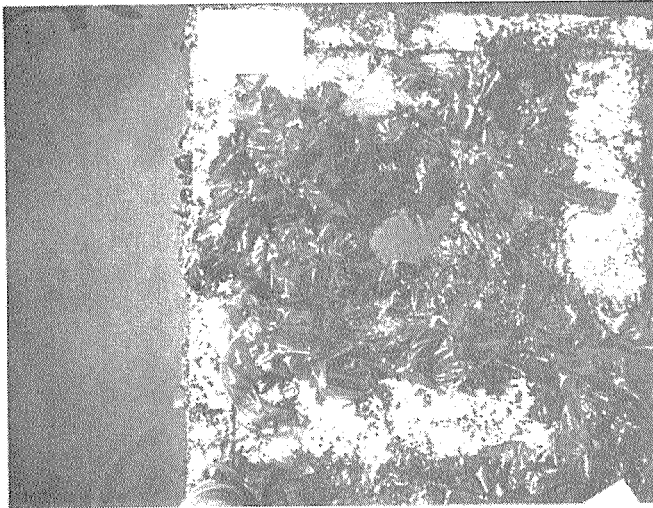
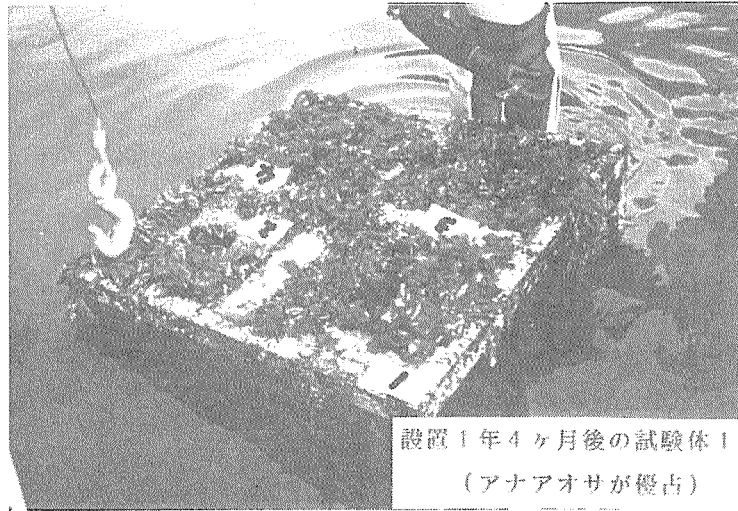
(試験体 No. 1)

写真8-7 枠取り試験体の海藻付着状況 (1996年11月6日)



(試験体 No. 2)

写真8-8 枠取り試験体の海藻付着状況 (1997年2月28日)



(試験体 No. 1)

写真8-8 (つづき) 枠取り試験体の海藻付着状況(1997年 2月28日)

5 おわりに

遷移試験の結果から、試験体設置後2～3年間の限られた設置個所での観察ではあるが、木質・セメント成形板への海藻付着は良好かつ大型褐藻類のナンブワカメが優先し（一部ホソメコンブ）、遷移は安定した状態になっていると思われた。

枠取り試験の結果から、試験体設置後1年4ヶ月程度の短期間かつ限られた設置個所での観察からではあるが、コンクリート板と比較して、1996年6月観察時に優占していたホソメコンブの付着本数および1997年2月観察時に優占していたアナアオサの付着本数から、木質（ハマシル片(大)95%+木毛5%）・セメント成形板への海藻付着性は良好であることを確認した。

ただし、海藻の付着性の評価は、最低5年程度、海藻の遷移を観察する必要があるため、継続した枠取り試験および食害調査を行い、木質・セメント成形板の人工藻礁への適用について最終的な評価を行う予定である。

なお、本研究の遂行にあたり試験方法等についてご指導をいただいた北海道東海大学工学部海洋開発工学科 矢部和夫 教授および北海道立中央水産試験場資源増殖部 尾身東美 部長、試験地としての忍路湾の使用を快諾していただいた小樽市漁業協同組合 新田 衛 参事および 川本孝一 氏、忍路湾での観察にあたり便宜を図っていただいた北海道大学忍路臨海実験所 信太和郎 氏の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 吾妻 行雄 : 北海道日本海南西部沿岸の磯焼け
北水試だより, No. 31, 3-9 (1995)
- 2) 名畑 進一 : ナガコンブ漁場での雑藻駆除の重要性
北水試だより, No. 13, 6-12 (1991)
- 3) 中村 充 : 水産土木学—生態系海洋環境エンジニアリング—
工業時事通信社, 404-409 (1991)
- 4) 徳田 広ら : 海藻の生態と藻礁, 緑書房 (1991)
- 5) 水産庁 : 大規模増殖場開発事業調査総合報告書 I (北海道戸井地区, 八雲地区,
今別地区, 種市地区) (1977)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 山田 敦 : カラマツ間伐材を利用した漁礁
林産試だより, No. 3, 5-9 (1991)
- 9) 矢部 和夫 : 北海道羽幌町における魚礁設置海域の調査—その I. 海藻について—
北海道東海大学紀要理工学系, No. 2, 165-169 (1989)

- 10) 矢部 和夫 : 北海道羽幌町で設置した魚礁に着生したコンブとその海域の海洋調査結果
北海道東海大学紀要理工学系, No. 3, 137-143 (1990)
- 11) 矢部 和夫 : 北海道羽幌町で開発したHS-ブロックに着生下コンブについて
北海道東海大学紀要理工学系, No. 4, 73-77 (1991)
- 12) 矢部 和夫 : 羽幌町沿岸に設置した改良型HS-ブロックの藻礁機能に関する調査について
北海道東海大学紀要理工学系, No. 6, 45-49 (1993)
- 13) 矢部 和夫 : 羽幌町沿岸に設置した改良型HS-ブロック上のコンブについて
北海道東海大学紀要理工学系, No. 7, 15-20 (1994)
- 14) 陳 勇 ら : 海底堆積物 (ヘドロ) 利用のブロックの損壊度と褐藻アラメの成長および生残との関係
日本水産学会誌, Vol. 61, No. 3, 346-355 (1995)
- 15) 芹澤如比古ら : 土佐湾の外海域に設置した人工礁上に着生する海藻類の遷移
日本水産学会誌, Vol. 61, No. 6, 854-859 (1995)
- 16) 千葉不二夫ら : ウニ類の食害防止ネットの効果について
日本水産学会北海道支部例会講演要旨集誌, 36 (1995)
- 17) 渡辺 崇彦 : 新しい人工藻礁「ビオユニット」の開発
(社)寒地港湾技術研究センター出版「海と港」, No. 12, 77-85 (1995)
- 18) 津野 雅俊ら : 藻場造成による浅海域利用の研究—石炭灰硬化物の藻礁利用試験 (中間報告) —
北海道電力株式会社総合研究所研究年報, Vol. 27, 49-60 (1996)
- 19) 谷野 賢二 : 水産資源保全・増殖型沿岸構造物の開発
土木学会水理委員会 水工学シリーズ95-B-4, B-4-1 - B-4-13 (1995)
- 20) 堀江 秀夫 : 木質・セメント成形板の藻礁への適用について
日本水産学会北海道支部例会講演要旨集, 33 (1995)
- 21) 加藤 幸浩ら : 木質系人工藻礁の耐久性について
平成8年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 125 (1996)