

平成4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5年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



はじめに

森林資源の枯渇、地球の温暖化、酸性雨、砂漠化等により、我々の生活の場である地球を大きく左右する問題が深刻になってきている。このような情勢の中で、木材の消費大国である我が国が、率先して木材資源の有効利用を図るための対策を強力に押し進めていく必要があるものと思われる。

製材や合板をはじめとする木製品の製造過程や建築・建設現場で発生する木質系廃棄物の再資源化を可能にする技術開発については、これまでも取組がみられるが、今までのところ満足できる技術レベルまでには達しておらず、検討すべき課題が多く残されている。

(財)日本住宅・木材技術センターでは、平成3年度に木質資源のリサイクル問題を検討するため、「木質資源リサイクル研究会」を設置し、多方面にわたる予備的な調査を実施した。この調査結果を背景として、平成4年度から木質廃棄物再資源化技術開発事業をスタートさせ、その事業の一環として再資源化のための技術開発に取り組むことになった。

廃棄物を再利用していくためには、機械開発や製品開発における技術面の検討のみでなく、採算性、製造効率、製造された製品の需要、原料の確保の問題など解決すべき課題は広い範囲にわたるが、本事業は、平成4年度から8年度の5年間で予定しており、この間に問題点を整理し、各種データを蓄積していくことにより木質系廃棄物の再資源化のための方向性が明らかになってくることが期待できる。

平成4年度は、事業開始初年度にもかかわらず各方面から積極的な提案が寄せられ、その成果を本報告書に取りまとめることができた。平成5年度以降についても、更に、継続して本事業を進めていくこととしており、技術開発に対するご提案、ご意見を寄せられることを期待している。

平成5年3月

木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会

再資源化技術開発分科会委員長 木下叙幸



# 再資源化技術開発事業報告書 目次

はじめに

調査研究要綱	1
第1章 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	7
1 はじめに	7
2 解体材チップから得られた木材小片（パーティクル）の形状と品質	7
3 ボード工業における木質廃材の利用	15
4 燃焼とのかかわり	20
第2章 異物分離装置の開発・実用化	22
1 技術開発の目的	22
2 技術開発の概要	22
3 平成4年度の事業内容	22
4 今後の問題点	29
5 おわりに	30
第3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	31
1 はじめに	31
2 木質セメントボードの製造	32
3 結果及び考察	33
第4章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能	41
1 はじめに	41
2 吸湿性能	41
3 ヨウ素及びメチレン吸着性能	51
第5章 木炭による床下気象環境効果調査	56
1 はじめに	56
2 林業・木材産業における木炭利用の実態調査	58
3 実験モデル住宅及び居住家屋における床下の温湿度環境に関する調査研究	74
4 実際に居住している5調査区の住宅の床下気象環境の現況	95
第6章 木材の可溶化技術の開発	114
1 緒言	114
2 セルローズ誘導体の利用	116
3 木材のプラスチック化	117
4 木材の液化と樹脂化	118
5 多様な植物資源のフェノール存在下での液化とノボラック様成型物への転換	119

6	$\epsilon$ -カプロラクトン存在下での木材の液化及び液化物の応用	125
7	結言	133
第7章	樹皮の高度利用技術の開発	134
1	はじめに	134
2	重金属吸着剤としての樹皮	138
3	樹皮の粉碎技術	139
4	樹皮の吸着性能試験	141
5	樹皮の重金属吸着特性	145
6	実証化試験	150
7	実用化に向けた評価	153
8	まとめ	156
第8章	薬品処理木材の回収と再利用技術の開発	159
1	はじめに	159
2	木材及び木質材料の薬剤処理	159
3	薬剤処理材の回収とその安全性	166
4	おわりに	171
第9章	薬品処理木材の高耐久性ボードへの転換利用技術の開発・性能評価	173
1	はじめに	173
2	防腐処理材の薬剤分布と接着特性	173
3	薬剤処理材を原料とするパーティクルボードの性質	179
4	結論	186
第10章	薬品処理木材の合理的な規格・基準作成のためのデータ整備	187
1	調査の目的	187
2	調査結果	187

# 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。

設置した委員会は次のとおり。

- (1) 木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会(本委員会)
- (2) 発生・再利用実態調査分科会
- (3) 発生抑制技術開発分科会
- (4) 再資源化技術開発分科会
- (5) 薬品処理木材規格・基準作成データ一整備検討部会
- (6) 薬品処理廃木材再利用技術開発部会
- (7) 建築廃材等木炭床下環境効果調査部会

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  
(本委員会)

(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	阿部 宏史	(社)建築業協会	廃棄物対策部会長
〃	有馬 孝禮	東京大学農学部	助教授
〃	岩崎 克己	日本木材防腐工業組合	技術委員
〃	太田 稔	日本合板工業組合連合会	
〃	庄司 隆治	(社)日本木材保存協会	常務理事
〃	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
〃	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
〃	松原 正和	日本木材青壮年団体連合会	会長
〃	宮原 義夫	千葉解体工事業協同組合	事務局長
〃	村上 勝	(社)全国木工機械工業会	専務理事
〃	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
協力委員	浜田 宗男	日本木材青壮年団体連合会	事務局長



木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会委員

(発生・再利用実態調査分科会)

(敬称略・五十音順)

委員長	西村 勝美	森林総合研究所木材利用部 製材研究室長
委員	有馬 孝禮	東京大学農学部 助教授
〃	菊池 雅史	明治大学理学部 講師
〃	桑原 一男	(株)クワバラ解体 代表取締役
〃	駒木 貴彰	森林総合研究所森林経営部 主任研究官
〃	庄司 隆治	(社)日本木材保存協会 常務理事
〃	東島 孝	関東木材資源リサイクル協会 会長
〃	細貝 一則	(社)全国木材組合連合会 指導課長
〃	宮村 雅史	建設省建築研究所第2研究部 研究員
〃	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

木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会委員

(発生抑制技術開発分科会)

(敬称略・五十音順)

委員長	有馬 孝禮	東京大学農学部 助教授
委員	大江 秀章	全国木造住宅機械プレカット協会
〃	川元 紀雄	森林総合研究所木材利用部
〃	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
〃	三城 昭義	新潟大学農学部 助教授
〃	宮村 雅史	建設省建築研究所第2研究部 研究員

木質廃棄物再資源化技術開発事業検討委員会委員

(再資源化技術開発分科会)

(敬称略・五十音順)

委員長	木下 敘幸	森林総合研究所木材利用部 機械加工研究室長
委員	雨宮 礼一	(社)全国木工機械工業会 技術課長
〃	石田 英生	日本木材防腐工業組合 技術委員長
〃	岩下 睦	日本繊維板工業会 囑託
〃	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
〃	川井 秀一	京都大学木質科学研究所 助教授
〃	庄司 隆治	(社)日本木材保存協会 常務理事
〃	平田 利美	森林総合研究所木材化工部 難燃化研究室長
〃	古谷 一剛	(社)全国燃料協会 専務理事

薬品処理木材規格・基準作成データ整備検討部会委員

(敬称略・順不同)

- 委員長 雨宮昭二 (社)日本木材加工技術協会 副会長  
委員 檜垣宮都 東京農業大学 教授  
" 肱黒弘三 関東学院大学 教授  
" 鈴木憲太郎 森林総合研究所 木材利用部 防腐研究室長  
" 庄司隆治 (社)日本木材保存協会 常務理事  
" 石田英生 日本木材防腐工業組合 技術委員長

薬品処理廃木材再利用技術開発部会委員

(敬称略・順不同)

- 委員長 川井秀一 京都大学木質科学研究所 助教授  
委員 今村祐嗣 同 上 同上  
" 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  
" 庄司隆治 (社)日本木材保存協会 常務理事  
" 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部会委員

(敬称略・順不同)

- 委員長 藤田晋輔 鹿児島大学農学部 教授  
委員 橋田紘洋 愛知教育大学技術科 教授  
" 中野達夫 森林総合研究所 木材利用部長  
" 葉石猛夫 同 上 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

委員会の委員以外で、本編を取りまとめるに当ってご協力(執筆)いただいた方々は次のとおり。(敬称省略 順不同)

- 屋代真 新潟大学 信田聡 東京大学  
白石信夫 京都大学 吉岡まり子 京都大学  
鈴木滋彦 静岡大学

## 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
(1) 異物分離装置の開発	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…		○	○	○		
	② 異物分離装置の開発・実用化 …風速による…		○	○			
	③ 粉碎石膏の分離技術 …異物分離を考慮した粉碎及び石膏の分離技術の検討…			○	○		
(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	① 塵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 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 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		○	○	○	○	○
3) 混合木くずの利用技術開発	① 人工魚礁の開発			○	○	○	○
	② 可溶化技術 …混合木くずによる発泡材等の開発…		○	○	○		
4) 樹皮の利用技術開発	① 樹皮の高度利用技術の開発 …粉碎、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		○	○	○		
5) 薬品処理木材の再利用技術の開発、規格の合理化等	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-整備		○				

## 5 平成4年度の事業概要

平成4年度は、木質廃棄物を、パーティクルボード原料として利用を促進することをねらいに、チップの品質基準の検討を行うとともに、異物分離技術の開発に着手した。また、多用途利用開発をねらとして、木炭の床下環境材料、液化技術、セメントボード原料としての利用を検討した。更に、薬品処理木材の回収・再利用について検討するとともに、樹皮の新しい利用方法として、重金属類の除却・回収技術について取りまとめた。

項目別概要次のとおり。

### (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

①解体材から得られるパーティクルの品質とそれを利用したパーティクルボードの性能の検討

②異物除去技術の実態調査

### (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の仕上げ異物分離装置の開発

### (3) 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

廃コンクリート型枠を利用したセメントボードの試作と性能評価

### (4) 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能

木材の木炭条件（温度）別の炭化物の性状と吸着性能試験

### (5) 木炭による床下気象環境効果調査

①木炭利用の現状とこれまでの研究成果

②床下環境に関する既存の研究成果

③本事業の床下環境に関する研究成果

### (6) 木材の可溶化技術の開発

①木材の液化技術を、材料開発として実施することの意義

②フェノール存在下での液化実験

③液化物の発泡体製造試験

### (7) 樹皮の高度利用技術の開発

樹皮の、有害・有害重金属の除去・回収試験及び、その実用化についての評価

### (8) 薬品処理木材の回収と再利用技術の開発

①防腐木材の生産量と廃棄量の推定

②薬剤処理木材の回収とその安全性に関する試験（実験室、木くずボイラー）

### (9) 薬品処理木材の高耐久性ボードへの転換利用技術の開発・性能評価

①防腐木材の接着性能

②防腐木材を原料とするパーティクルボードの性質

### (10) 薬品処理木材の合理的な規格・基準作成のためのデータ一整備

使用環境区分別の処理木材の性能基準に関するデータ収集・整備

## 第1章 解体材の機械的処理とチップの品質および利用技術の検討

### 1. はじめに

残廃材問題は新しいものではなく、古くから存在していた。ただ、時代によって問題の取り上げられ方が変化しているため、社会的に浮上する際の前書きが異なっていることが、時には新しく映り、また時には地味な課題になるものと思われる。資源としては潜在的に問題として存在し続けてきたし、今後も大きな問題であり続けることに変わりはないと思われる。

本報告（第1章）では、解体材（古材）チップから得られるボード用原料としてパーティクルの品質を小片形状の面から検討した。その際、切削加工小片と破砕加工小片を比較した。

また、現在進行中である木質廃材の利用に関する量的な動向、異物除去技術についての実態調査について、本年度行った聞き取り調査（5社）をベースにして概要を報告した。

### 2. 解体材チップから得られた木材小片（パーティクル）の形状と品質

#### 2.1 原料チップ

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<sup>1)</sup>。

Pチップ：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。

Sチップ：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。

上記の定義に従えば、木質ボードの原料はS-2チップに限定されるが、現実にはPチップおよびSチップの全てがボード原料の対象となっているため、チップ全体を3種類に区分して原料適性を検討した。

#### 2.2 「チップ」と「パーティクル」

英国など欧州ではパーティクルボードのことをチップボード（chipboard）とすることがあり、パーティクルボードのフォーミングラインに投入される原料をチップと呼ぶなど、「チップ」と「パーティクル」は厳密に区別されて使われている訳ではない。日本国内でも同様の傾向が見られる。ここでは混乱を防ぐため「チップ」と「パーティクル」を区別して使用する。

上述のように、切削加工（チップ加工）または破砕加工（シュレグダー加工）により

粗砕されたものをここではチップ（粗碎片）と呼ぶ。このチップから更に切削加工または破砕加工することにより得られたパーティクルボードの原料（furnish）をパーティクルまたは木材小片と呼ぶこととする。

### 2. 3 パーティクルの調製

パーティクルボードの製造工程では、建築解体材チップも一般にリングフレーカーを用いて切削タイプの加工により小片化（パーティクル化、細砕）を行っている。この場合、異物の除去が特に重要視される。切削タイプの加工では、チップに混入した金属異物によりフレーカーの刃が重大な損傷を被るためである。そこで、切削タイプの加工に加えて、破砕タイプの小片化によるパーティクルの調製を行った。破砕タイプでは刃物の損傷の心配はないが、得られた小片の質は切削タイプの小片よりも劣ることになる。両者の差異を検討するため、ここでは、原料チップから3種類のパーティクル（a、b、c）を調製した。

ここで分類したパーティクルは、以下の想定に基づいている。 a：Pチップを切削加工により小片化した場合、 b：Pチップの一部あるいは小形の角材や板材から得られたS-1チップを破砕加工により小片化した場合、 c：S-2、S-3チップを破砕加工により小片化した場合。また、解体材には劣化した部分が含まれる可能性が有るため、チップに多少のダメージを与える目的で、bおよびcについては煮沸処理を前処理として行った。

表1-1 パーティクルの調製

パーティクル	原料チップ	前処理	小片加工
a	P	注水	R F
b	P、S-1	煮沸	H M
c	S-2、S-3	煮沸	H M

R F：リングフレーカーによる切削加工

H M：ハンマーミルによる破砕加工

### 2. 4 小片形状の分析

パーティクルを含水率約3%まで乾燥後、卓上型標準篩振とう器により標準篩（5、10、20、30メッシュ）を用いて篩分けした。5、10、20メッシュ篩上に残留した小片から、各々50片を無作為に取り出し、寸法を測定した。木材の繊維方向を長さとし、繊維に直交方向で寸法の大きい方を幅、短い方を厚さとした。

3種類のパーティクルについて、幅、厚さ、長さ、長さ/厚さ、長さ/幅、「体積」、「表面積」の分布を求めた。各項目について、頻度分布（確率密度関数） $f(x)$ を以下

の方法で計算した。

$$f(x) = \sum f_i(x) \cdot w_i \quad (1)$$

$f(x)$  : 小片全体の頻度曲線 (確率密度関数)

$f_i(x)$  : 各メッシュのフラクシオンごとの頻度曲線

$w_i$  : 各フラクシオンの重量比率

さらに、 $f(x)$  を 2 母数のワイブル分布曲線に当てはめた。

$$f(x) = (m/\alpha) x^{m-1} \exp(-x^m/\alpha) \quad (2)$$

図 1-1 に各小片の幅の分布を示した。平均値はパーティクル a、b、c の順にそれぞれ 3.87、3.35、2.69mm となり切削タイプの a が他よりもやや大きいが著しい差は見られない。しかし分布形が切削タイプの a と破砕タイプの b c 間では異なっている。パーティクル b c はほぼ平均値を中心とするまとまりを示しているのに対して、a は幅が広くなるにつれてその小片の数が指数関数的に減少する傾向を示している。

各小片の厚さの分布を図 1-2 に示した。平均値はパーティクル a、b、c の順にそれぞれ 0.43、1.98、1.56mm となり切削タイプの a と破砕タイプの b c とには顕著な差が見られる。パーティクル a では厚さの分布が極めてシャープである。これはフレーカーの刃出しが 0.5 mm 程度となっているためであり、厚さ 0.8 mm 以上には分布していない。それに対して、パーティクル b c では、加工時に厚さの規制を受けないため、大きいものでは 4~5 mm 程度の小片も存在する。パーティクル a は比較的薄い削片であるのに対して、b c はマッチ棒のような感じの棒状の小片となる。切削タイプと破砕タイプの加工方法の差異は小片の厚さに最も顕著に現われ、これがボードの材質に影響を及ぼす結果となる。

次に各小片の長さの分布を図 1-3 に示した。平均値はパーティクル a、b、c の順にそれぞれ 21.4、19.0、13.3mm となり a と b は同程度、c は両者よりもやや短くなっている。破砕タイプの b と c との間の差は、原料となる木材チップ品質の差に依存するものと思われる。同一の加工方法でも原料チップの形状、特に繊維方向の長さや劣化の程度により、得られるパーティクルの長さが変化することを示すものである。パーティクルボードの強度は、木材の繊維方向の強度に依存するため、一般に長い小片の方が優れていると言える。

図 1-4 に各小片の細長比 (長さ/厚さ: slenderness ratio) の分布を示した。平均値はパーティクル a、b、c の順にそれぞれ 56.7、14.3、11.0 となった。当然のことながら切削タイプの a と破砕タイプの b c とには顕著な差が見られる。パーティクル c では 30 を越すものはなく、b についても 40 を越すものは見られない。パーティクル a では 100 以上の値にまで広く分布している。ここで示した細長比の値は、ボードの機械的性質に影響

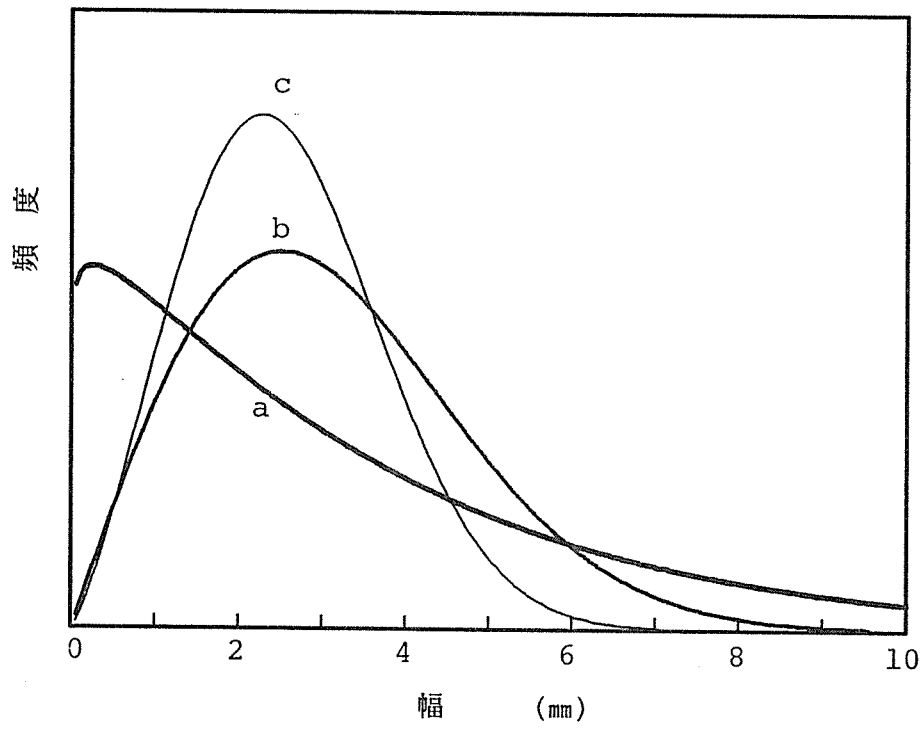


図1-1 各パーティクルの幅の分布

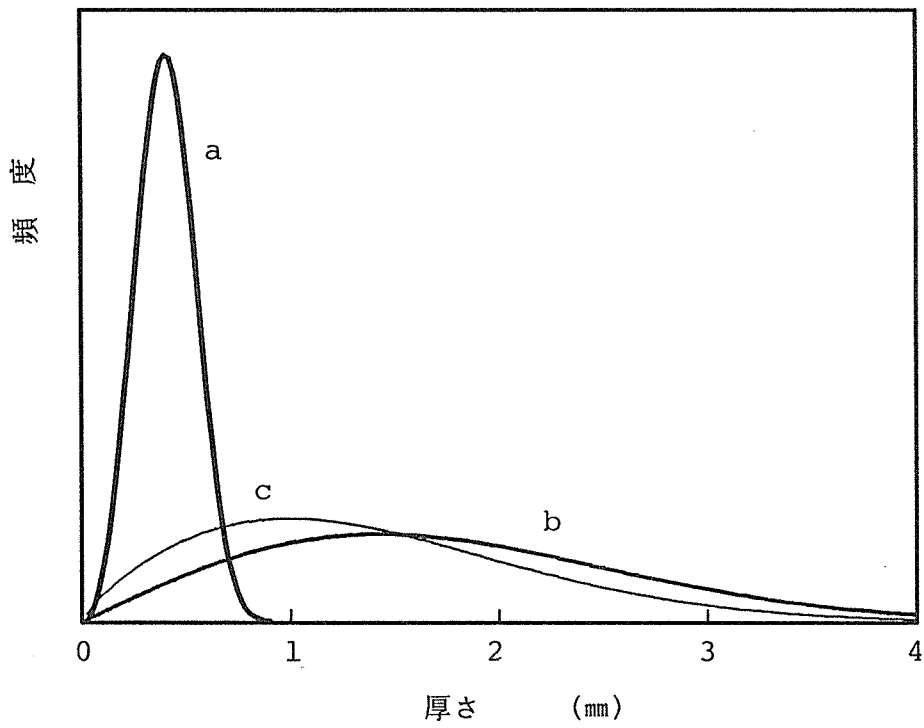


図1-2 各パーティクルの厚さの分布



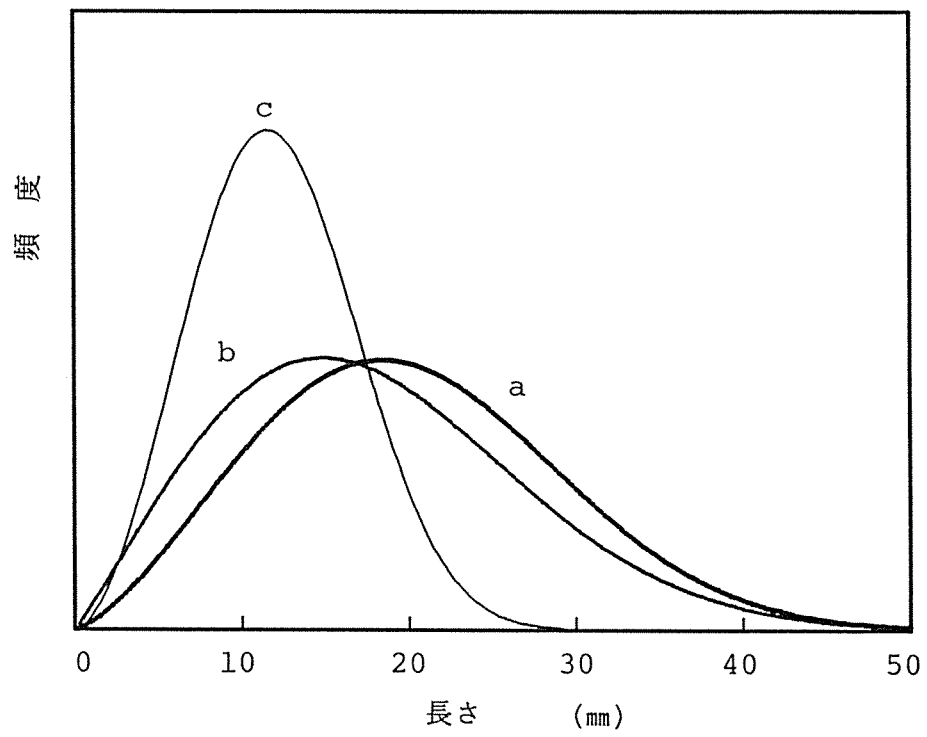


図1-3 各パーティクルの長さの分布

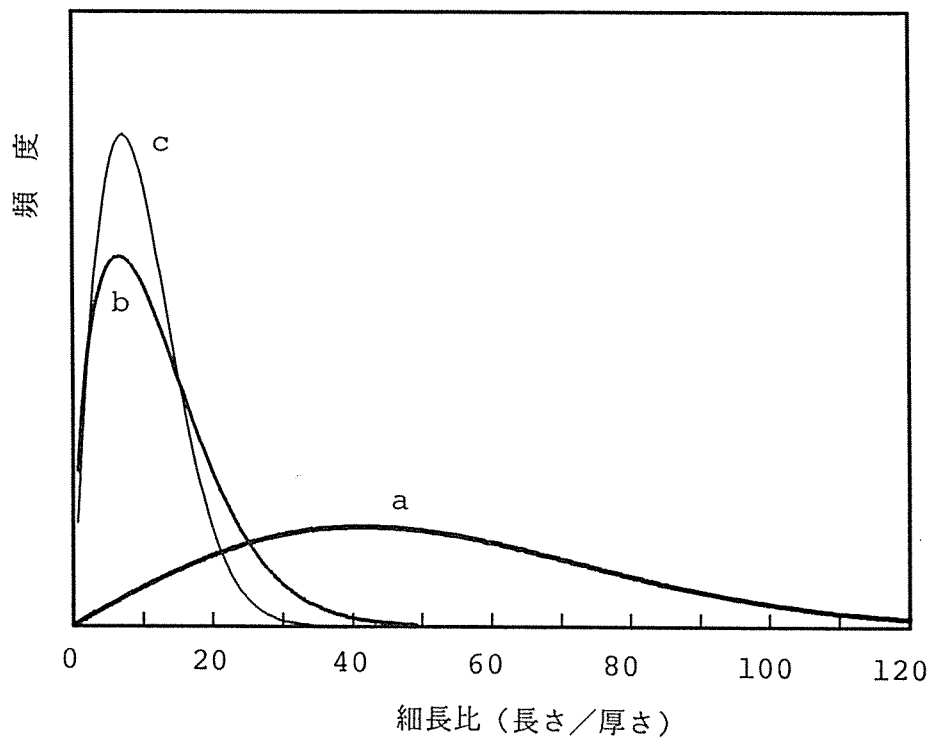


図1-4 各パーティクルの細長比 (長さ/厚さ) の分布

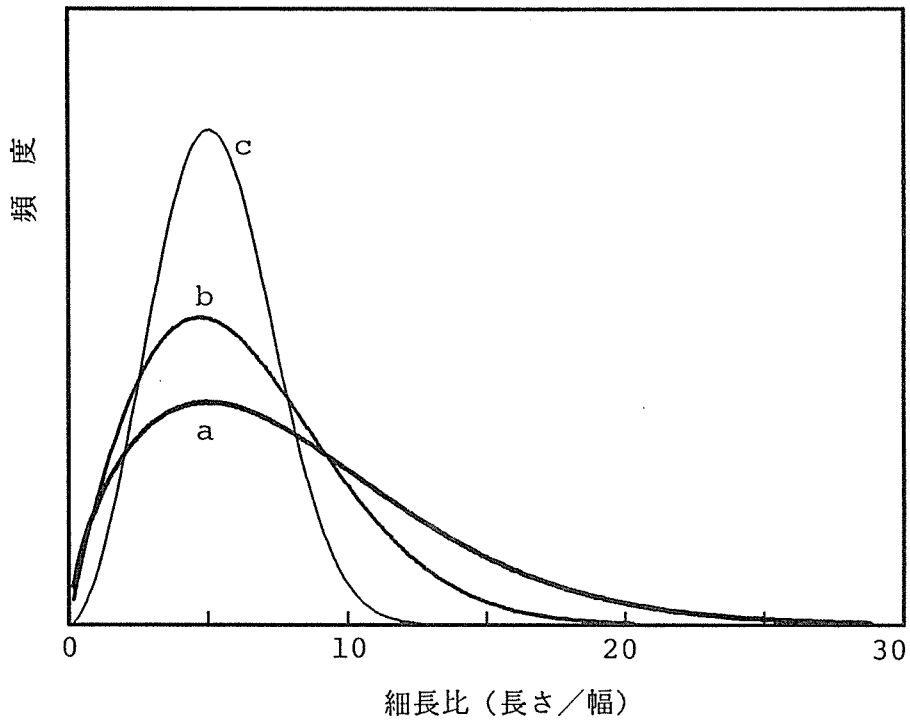


図1-5 各パーティクルの細長比 (長さ/幅) の分布

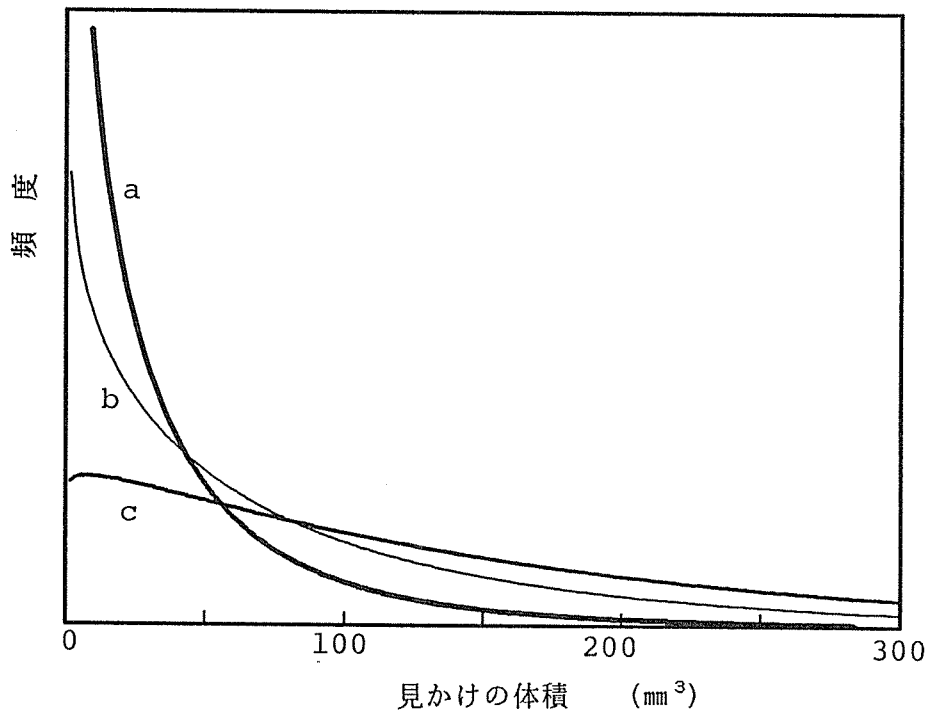


図1-6 各パーティクルの「体積」の分布

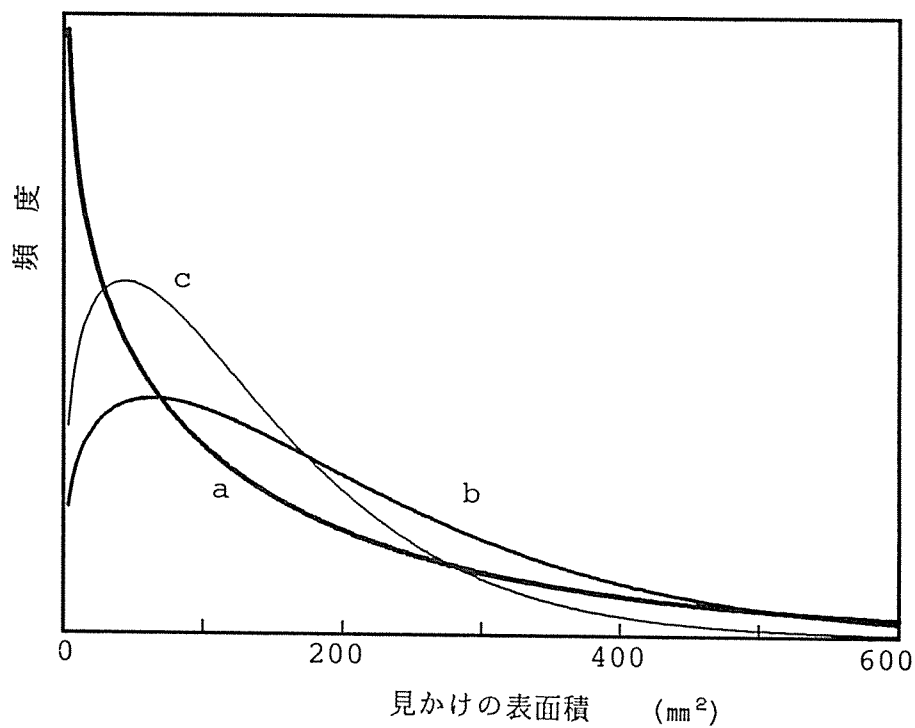


図1-7 各パーティクルの「表面積」の分布

表1-2 ワイブル分布の母数

パーティクル	a		b		c	
	m	$\alpha$	m	$\alpha$	m	$\alpha$
幅	1.06	3.92	2.02	12.7	2.34	12.0
厚さ	3.23	0.077	2.01	4.06	1.78	2.26
長さ	2.44	2067	2.09	543	2.76	1354
長さ/厚さ	2.00	3392	1.51	50.8	1.82	79.2
長さ/幅	1.61	35.0	1.87	38.8	2.80	143
「体積」	0.78	14.5	1.04	195	0.86	46.3
「表面積」	0.83	74.7	1.27	923	1.28	568

m : 形状パラメータ       $\alpha$  : 尺度パラメータ

を及ぼす因子であり重要視されている。一般に、他の製造条件が同じならば、細長比の増加によりボードの強度、特に曲げ強度が増加する。薄くて繊維方向に長い小片の方が曲げ性能に有利に働くためである。切削タイプの小片の方が品質に優れていることがこの図からうかがえる。破碎加工は、切削加工時の刃物の損傷に対する心配がないことが利点ではあるが、ここで示したように形状因子については切削タイプの小片よりも劣っている。

次に、長さを幅で除した形状因子（アスペクト比：aspect ratio）の分布を図1-5に示した。この値は細長比ほど強度に影響を及ぼすものではないが、形状を評価する指標のひとつとなっている。平均値はパーティクル a、b、c の順にそれぞれ8.93、6.96、5.54 となり、切削タイプの a が他よりもやや大きいが見られない。

図1-6に各小片の「体積」の分布を示した。平均値はパーティクル a、b、c の順にそれぞれ44.1、213、85.4mm<sup>3</sup> となった。ただし、ここで求めた「体積」とは、各小片の幅、厚さ、長さの単純な積であり厳密な測定値ではない。小片によっては実際の体積の2～3倍程度の値を見積もっているものもあると思われるが、相対的な比較は可能であろう。パーティクル a は厚さが比較的均一で薄い小片であるため、b c よりも体積は小さい。

図1-7に各小片の「表面積」の分布を示した。平均値はパーティクル a、b、c の順にそれぞれ219、252、138 となった。ただし、ここで求めた「表面積」とは、小片を立方体とみなし、各小片の幅、厚さ、長さから単純に求めたものである。小片の形状は複雑であるため、この値が表面積の指標となりうるかどうか疑問が残る。パーティクルボードは独立した小片を接着剤により結合して成型するため、接着剤の添加率が等しければ、内部表面積が大きい程、単位面積あたりの接着剤塗布量は少なくなる。したがって小片の表面積はボードの物性に影響を及ぼす因子となる。

図1-1～図1-7に小片形状の評価結果を示したが、各小片の形状をワイブル分布に当てはめた際の母数の一覧を表1-2に示した。

以上、混入異物に対する配慮から、一般に使用されているリングフレイカーによる加工に加えて、破碎加工による小片化を試み、パーティクルの形状を形状因子別に分布を求めることで評価した。切削加工したパーティクル a と破碎加工したパーティクル b c との間に顕著な差が見られた。分布が最も異なるのは厚さであり、同時に、長さを厚さで除した細長比に顕著な差が見られた。また、同一の破碎加工でも原料チップの種類および劣化の程度により、繊維方向の長さに差が見られることが明らかとなった。

また、図1-8にここで述べたパーティクル a、b、c と同一の小片を用いて製造したパーティクルボードの曲げ性能を示した<sup>1)</sup>。パーティクル a はフレーク状であるため、他のボードよりも曲げ性能が優れている。b c については、実際に解体材等の古材を原料としてボードを製造する時に使用される小片よりも質的に劣るものを実験的に用いているため、やや低い値を示している。しかしながら、これら b および c の小片も三層ボードのコアに用いるのであれば、使用可能であると思われる。また、解体材のなかでも比較的健全な部分から得られたチップは、ボード原料として寸法安定性や耐久性については一般の木

材チップと比較して遜色のないことが示されている<sup>4)</sup>。

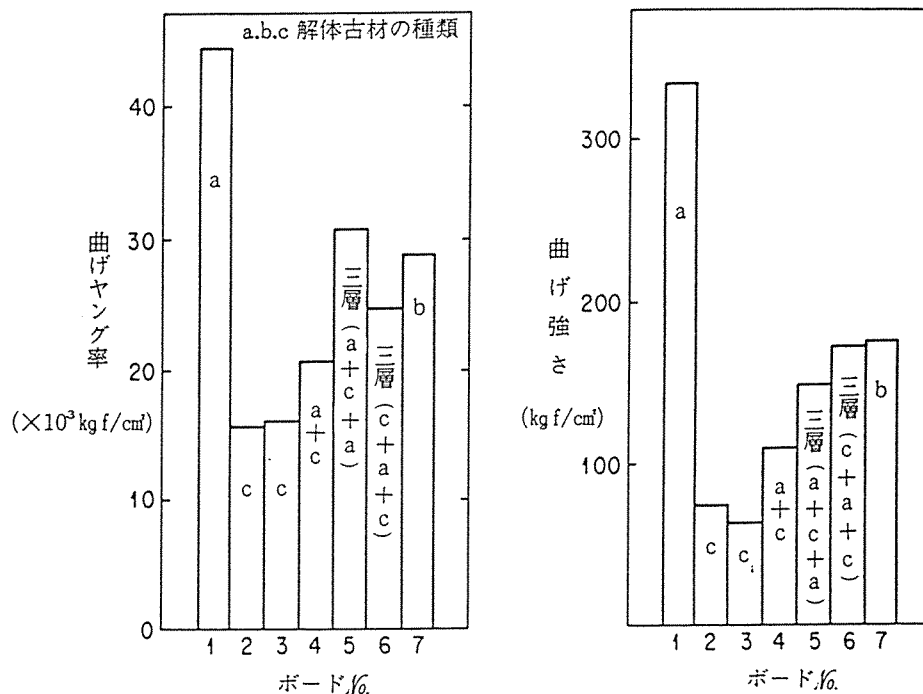


図1-8 解体材古材を原料としたパーティクルボードの曲げ性能  
a、b、c：表1-1参照

### 3. ボード工業における木質廃材の利用

現在、木質廃材の利用に関する量的な動向、異物除去技術についての実態調査は進行中であり、詳細は後日報告される予定である。ここでは、本年度行った聞き取り調査（パーティクルボード工場4社、製紙工場1社）をベースにし、既報の関連資料等を加えて概要を報告する。

#### 3.1 古材チップ使用量

対象とする古材は建築解体材、パレットや梱包材などの廃材であるが、使用済みの型枠合板も含まれる。

古材チップをほとんど使用していないまたは2%程度使用している工場から、80%程度を古材チップに依拠しているところまで、工場の立地等の条件により使用量には大きな差がある。古材の発生量と集荷距離など、工場周辺の状況に左右される。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工場における古材チップの使用状況は工場ごとに異なるが、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のようなようになる。

- 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。

### 3. 2 古材チップの入手方法

古材チップの入手方法には下記のルートおよびこれらの併用がある。

- ・業者から古材チップを入荷する
- ・未選別の古材チップを入荷し自社で選別する
- ・古材を入荷し自社でチップ化する
- ・自社あるいは関連会社が解体しチップ化する
- ・その他

### 3. 3 チップの品質

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、破碎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。

図1-9～図1-10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。

『解体材は、現況では柱材および角材を中心としており、合板や建材などのレジンを使用したものは受け入れていないので、針葉樹チップとしての特徴がある。』という見方や、逆に『古材チップは針葉樹と広葉樹の区分が明確でない』という見方があるなど、チップの種類により評価は多様である。

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。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ものと思われる。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

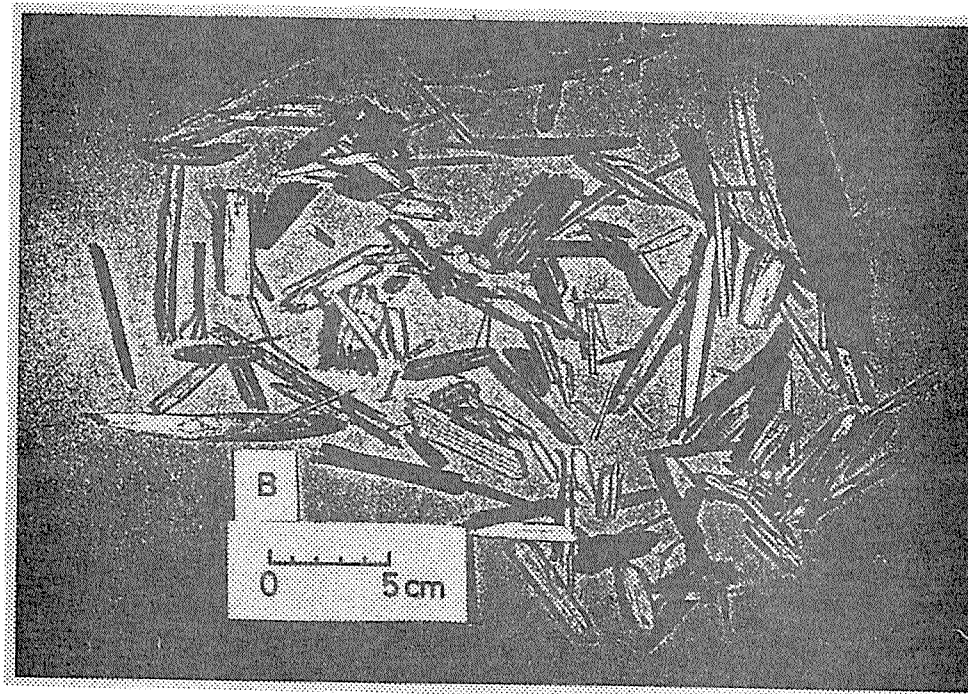
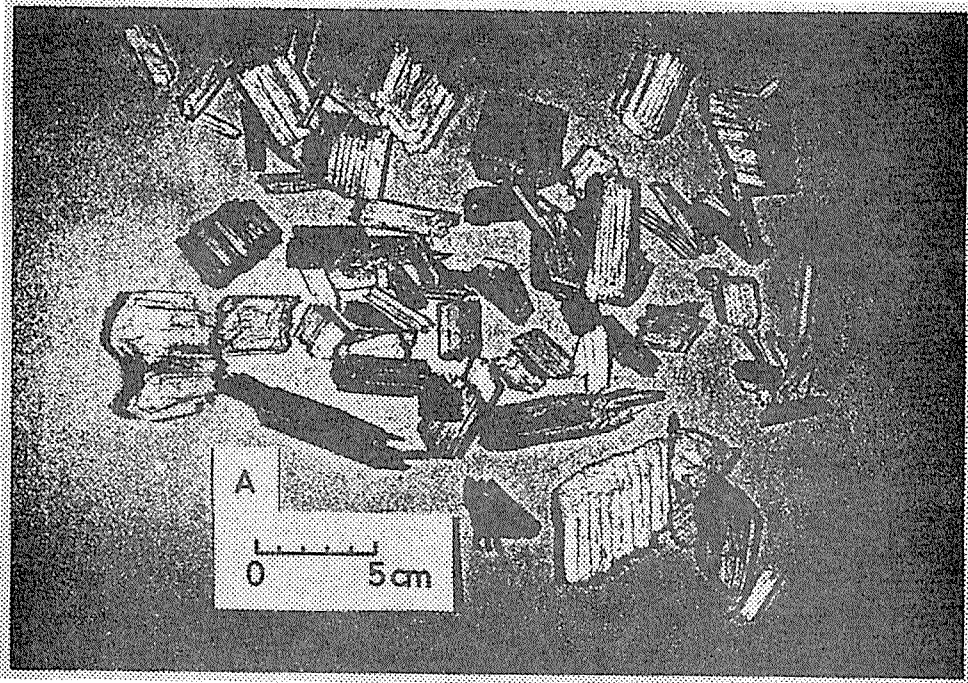


図1-9 古材チップのサンプル  
A: Pチップ B: Sチップ(水洗)

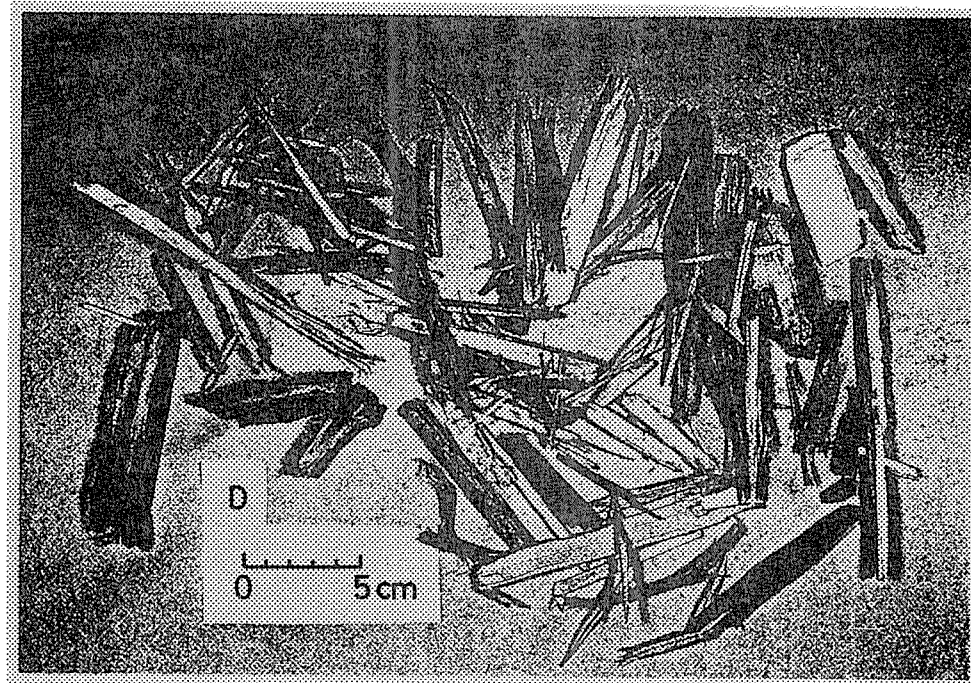
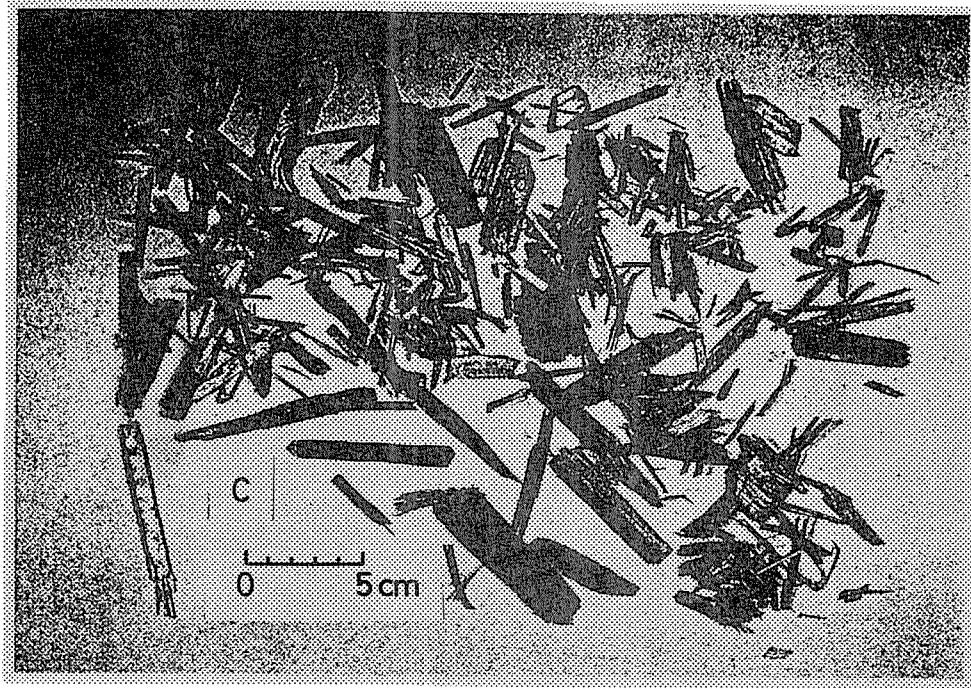


図1-10 破碎加工Sチップ（未水洗）のサンプル



ら納入を継続しているのが現状である。少々乱暴な表現が許されるならば以下のようなになる。「解体業者の発想としては、これまで全て燃料として処理していたものを半分でもチップに使用できれば、高く売れることになり有難いと考えている。つまり、燃料として処理していたことをベースに考えているため、ボード用のチップの品質についての知識が乏しい。一方、ボード工場側からは、解体材チップの使用に際しては、解体チップ業者に対して、それまでの燃料としての考え方から、ボード原料としてのチップの質を理解してもらう必要があった。」

ボード工場にチップを納入しているチップ業者は、異物除去を行っている。これにはドライとウエットの両方式がある。一般に水洗工程を含むウエット方式の方が良質とされているが、ボードの製造工程では、乾燥していることが古材チップのメリットでもあるため、量的な増加を考慮するとドライ方式が現実的であろう。

### 3. 4 異物除去

チップ処理業者で行われているドライ方式では、クラッシャーによる粗砕の後、磁選、スクリーン、金属探知などにより鉄、土砂、非鉄金属を除去し、ボード用チップと燃料用チップに分類されている。ウエット方式では、粗砕の後、磁選、水洗を経て原料チップとなる。ウエット方式の場合、水の管理が大変であることなどの問題点がある。

ボード工場での異物除去は製造工程の各所で行われている。古材チップに限らず、一般の原料チップでも異物混入の可能性があるため、異物除去は以前から行われている。特に、建築解体材チップ等を使用する場合には、異物除去を強化する傾向にある。

チップ投入時および投入前の磁選ならびに金属探知、フレーカー投入前の磁選、フォーミング時の磁選、成板後の金属探知などが行われている。その他、風選機、スクリーンでの異物除去やパーティクルの搬送工程で重力による除去を行うなど、各所で異物に対して対策が講じられている。自社で古材をチップ化する場合には、粗砕工程から強力な異物除去対策が練られている。

### 3. 5 チップの価格

古材チップの使用は、前述のように、ボード原料の供給問題が発端であり、必ずしも古材チップがコストの上でメリットがあるためではない。一般の購入チップよりもいくぶん安価ではあるが、大きな差ではない。また、古材チップの価格は加工賃と運賃で決まるため、集荷可能距離が限定されると同時に、運搬距離が長ければ価格は上昇する。

古材を入荷しチップ化する場合には、引き取りに際して料金を取ることができるが、産業廃棄物と一般廃棄物との区分により価格は異なっている。チップ化に際して、異物除去に費用がかかるなど、この場合、購入チップのようにチップ自体の価格は簡単には求められない。

木材チップ消費の大半は製紙業であり、パーティクルボード用チップの価格はパルプチッ

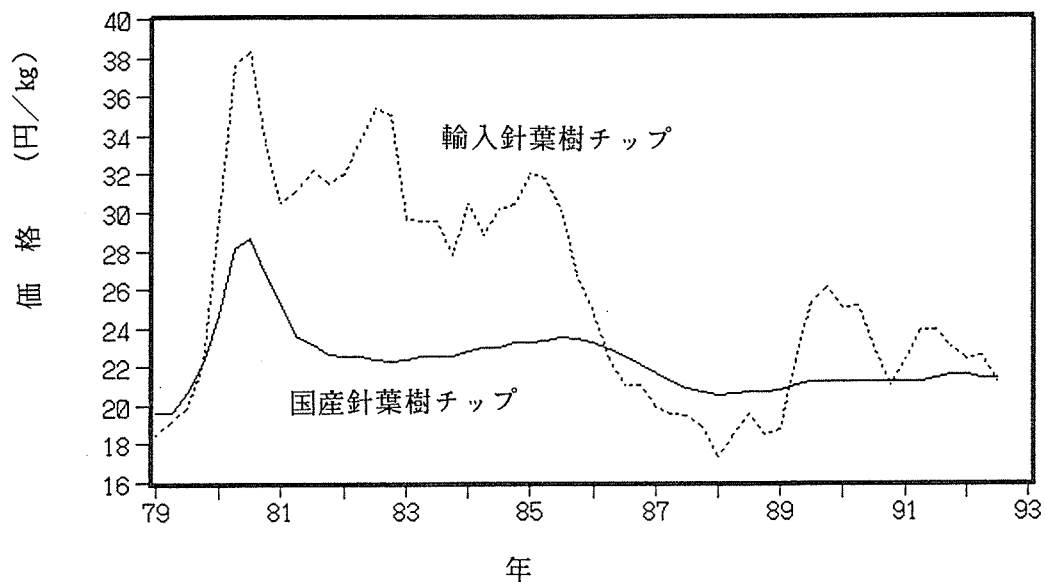


図1-11 国産・輸入別チップのパルプ工場着推定価格の推移

プの価格変動が大きく影響する。針葉樹木材チップ（製紙用）の工場着価格推定値の変動を図1-11に示した<sup>2)</sup>。輸入チップは米国産、国産チップは全国平均であり、農林水産統計および通関統計を基に輸送費等を加算した推定値である。1986年以降は円高により輸入針葉樹チップの価格は低下し、1989～1990年の需要増加に伴って上昇したが、最近では国産・輸入がほぼ同価格となっている。

古材チップの価格は、古材発生の季節変動、古材の集荷、チップ化および異物除去処理の費用、運搬距離など影響を受け変動するものであるが、これら国産および輸入チップの価格と競合することになる。現時点では、古材チップが品質とそれにもなう価格の面で、両チップに対して同等またはコストメリットの成立する範囲で限定的に使用されているのが実態であろう。

#### 4. 燃焼とのかかわり

木質系廃材の利用は常に「燃焼」との対比で考えられ、対処されてきた。すなわち、燃焼させるか再利用するかを選択を迫られ、大量に取り扱う場合も、少量の場合もどちらかを選んできたと言えるであろう。燃焼させることの中身は2通りあり、燃料として利用するか燃焼して処分するかのいずれかである。

昭和40年代の初頭に調査が行われた<sup>3)</sup>頃には、木材業界が変化成長する時期であったことに加えて、昭和30年代の後半から、燃料消費構造の急激な変化により、それまでの残廃材の燃料としての商品価値が低下したことが背景にある。すなわち、木材が燃料として燃焼されなくなって社会問題化したのである。時を隔てて、オイルショックの時代には、化石燃料への不安と現実問題としての不足から、一時的ではあっても再び燃料消費構造が変化し、建築解体材が燃料として集められる事態が生じた。

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が引き金になっていると思われるが、これも指定されたことによる処理コストの問題であり、燃焼するかどうかの判断が付きまわっていると考えてよかろう。

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かという論である。

#### 文献

- 1) 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
- 2) 紙パルプ産業の原料事情と課題：日本製紙連合会、平成4年12月
- 3) 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
- 4) 鈴木滋彦、齊藤藤市、有馬孝禮：木材工業、40(1)、15-20 (1985).

## 第2章 異物分離装置の開発・実用化

### 1 技術開発の目的

日本の木質ボード工業は、その原料形態において間伐材など小丸太を主体とする欧米型のボード工業と異なり、合板工場廃材など工業廃材をベースとして成り立っているが、南方産地国における資源環境保護の事情から原木輸出が規制される傾向にあり、将来的に輸入合板原木の減少と価格の高騰のため、国内合板生産の縮小を余儀なくされるおそれがある。その場合、必然的に合板工場廃材が減少することが考えられ、その上、将来的に漸増が予想される輸入ボード製品との競合に打ちかつためにも、経済的な原料の確保が絶対的に必要であると考えられる。

一方、国内原料としての針葉樹間伐材は価格が高く、現状ではボード生産の採算にのる原料にはなり得ない事情にある。そこで現在、資源再利用の見地から、脚光をあびているのが木造家屋の解体材である。

従来、古い家屋を解体するときは解体業者により手壊しされ、それぞれ有効に利用されていた。しかし、最近、家の新築のための建替え需要の増大とともに、解体工事が増加し、技術者の不足、工期の短縮化などに影響され、手解体は行われず、重機による解体作業がほとんどになっている。そしてそれらのほとんどが燃料用、あるいは単に焼却されるか、投棄されているのが現状である。

したがって、本技術開発では、これら大量に発生する木質系廃棄物をボード原料として再生利用し、木質資源の有効利用をはかるべく、ごみ屑化した廃棄物を種々の方法で利用可能な原料に分別しようとするものである。

### 2 技術開発の概要

建築解体材の再資源化のため、産業廃棄物処理業者においてチップ化された木質解体材に含まれる異物を除去してパーティクルボード原料にしようとするものである。解体チップには異物として鉄・非鉄金属、紙、ビニール・発泡ウレタン等のプラスチック類、コンクリート片、ゴム類等が混入している。したがって、工場に受け入れた解体材チップを先ず破碎して形状を小さくそろえ、その上で電磁選別機等により鉄片、非鉄金属を除去し、さらに気流選別機により異物分離の仕上げを行う必要がある。本技術開発事業では、この一連の工程の中で、特に気流選別機を試作し、異物除去の実際を検討しようとするものである。

### 3 平成4年度事業内容

#### 3.1 実施内容

##### 1) 異物分離装置の国内・外情報収集

2) 異物分離装置の試作及び仮り設置

3) 試作装置による実験の実施

### 3. 2 実施場所

日本繊維板工業会（東京都中央区八重洲1-5-15 田中八重洲ビル）

日本プラントエンジニアリング（株）（東京都墨田区両国2-5-12-101）

永大産業（株）（福井県敦賀市永大町）

### 3. 3 異物分離装置開発の基本構想

技術開発の概要の項でも述べたが、産廃業者が行っている一次破碎の中には、鉄・非鉄金属等、多くの異物が含まれている。これらの異物の除去方法としては解体木材原料の質による仕分け、破碎後チップの水洗（湿式）、又は風選（乾式）が考えられるが、パーティクルボード原料としては、後者の風選が適している。ここで問題になるのが、チップ中に混入又は緊着している鉄釘・非鉄金属類である（写真2-1）。したがって、パーティ

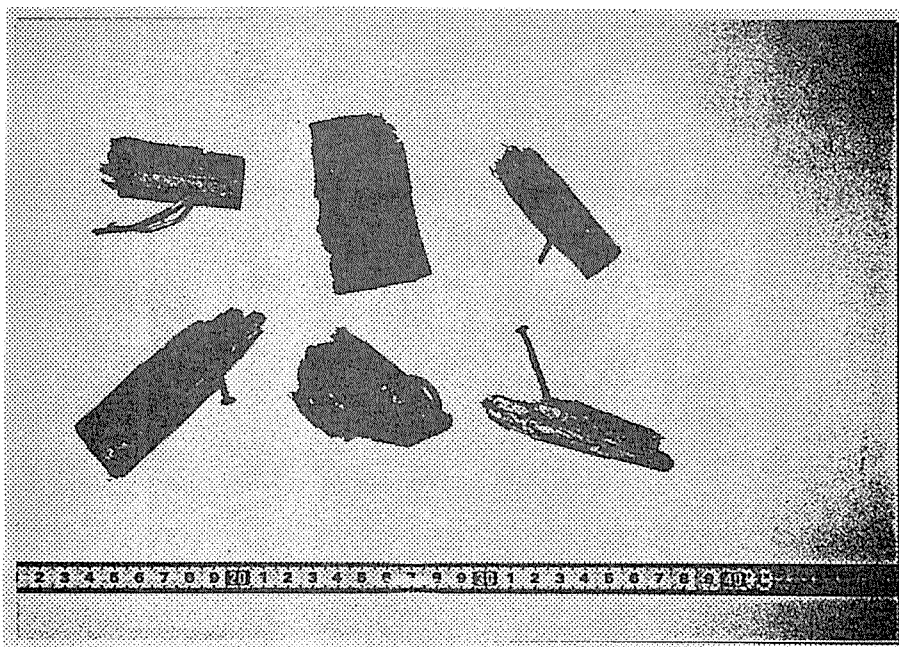


写真2-1 解体材に緊着している鉄釘

クルボード・メーカーが解体木材チップを活用するためには、受け入れチップを二次的に破碎し、より小さい形状にして、木材中に堅く喰い込んでいる釘などを分離され易い状態にすることが前提条件である。その上で、種々の電磁選別機や金属探知機により、鉄などの磁性体やアルミ、銅などの非鉄金属を選別した後、さらに最終的に試作气流選別機で磁性に関係なく、比重選別を行い、混入異物を100%確実に除去しようとするものである。

### 3. 4 試作気流選別機の概要 (図2-1)

1) 木材チップの長片が25~30 mm 以下に二次破碎されたチップを均一かつ連続的に投入し、振動スクリーン上に落下させる。

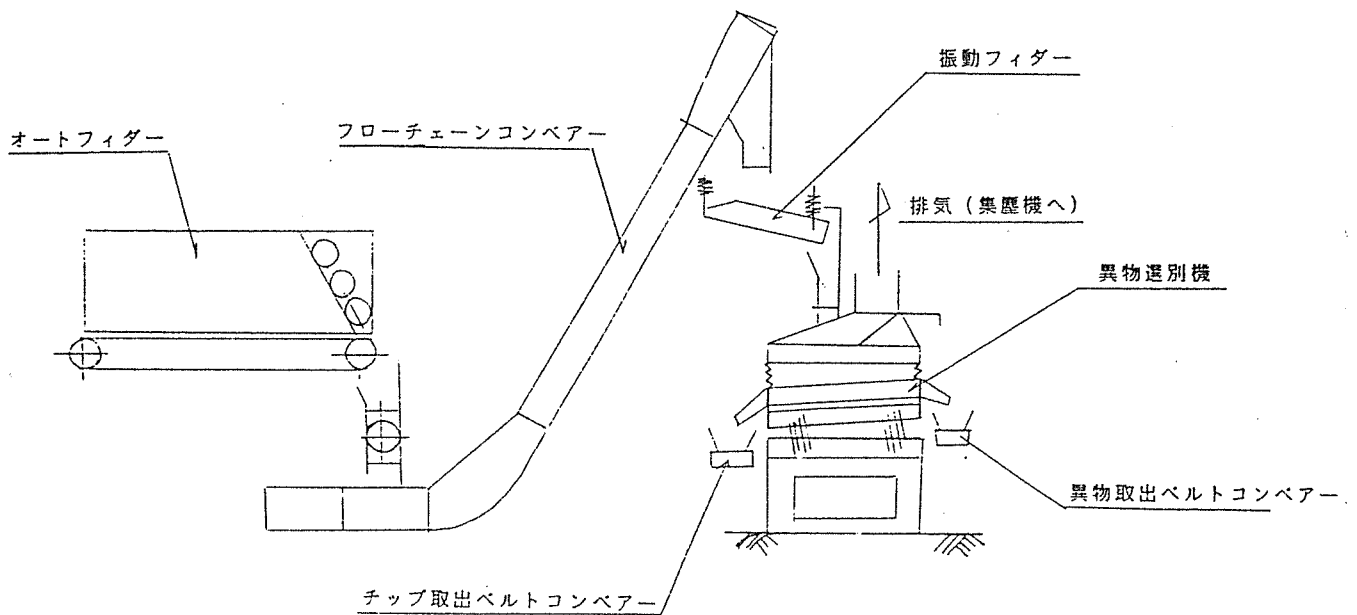


図2-1 試作気流選別機の概要

2) スクリーンは3~5度の傾斜角を有し、下部から整流化された空気の送風とスクリーンの振動により、チップ中の金属類はスクリーン上を傾斜上方に向かって移動し、チップは傾斜下方に移動する。

3) スクリーン下部からの送風量に対し、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、微粉は系外に飛散することなく集塵される。

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

### 3. 5 実験内容

#### 3. 5. 1 実験方法

現在の設置場所が仮の場所であるため、十分な集塵能力がなく、吸引風量が適切に取れず、やむおえずスクリーン幅を $\frac{1}{4}$ 程度にふさいでいる(写真2-2)。また、チップ投入のフィーダーもないため、人手による投入により、投入量も抑えた形になっている(写真2-3)。

実験方法としては、第一段階として、下記のように5種類の数量の明らかなチップと鉄

その他の異物を組み合わせて、予め混合し（写真2-4）、それらの金属片の異物排出口での排出状況を調べた（写真2-5）。

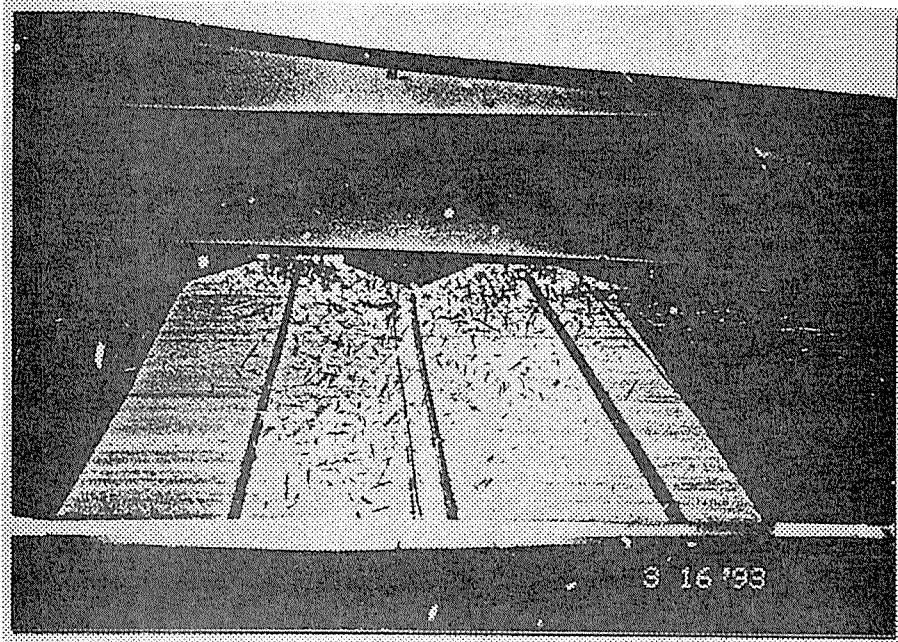


写真2-2 気流選別機のスクリーン

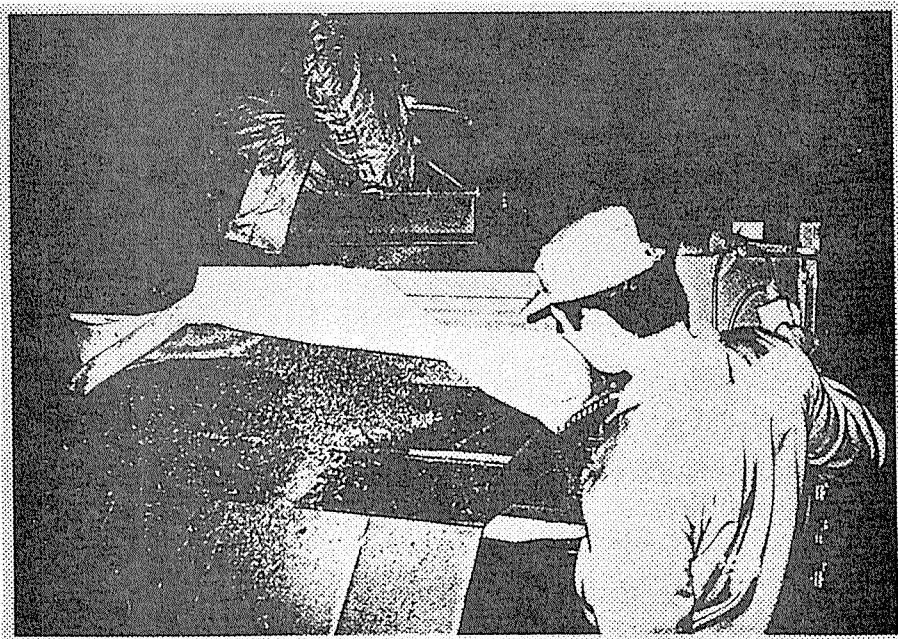


写真2-3 試作気流選別機による実験の状況

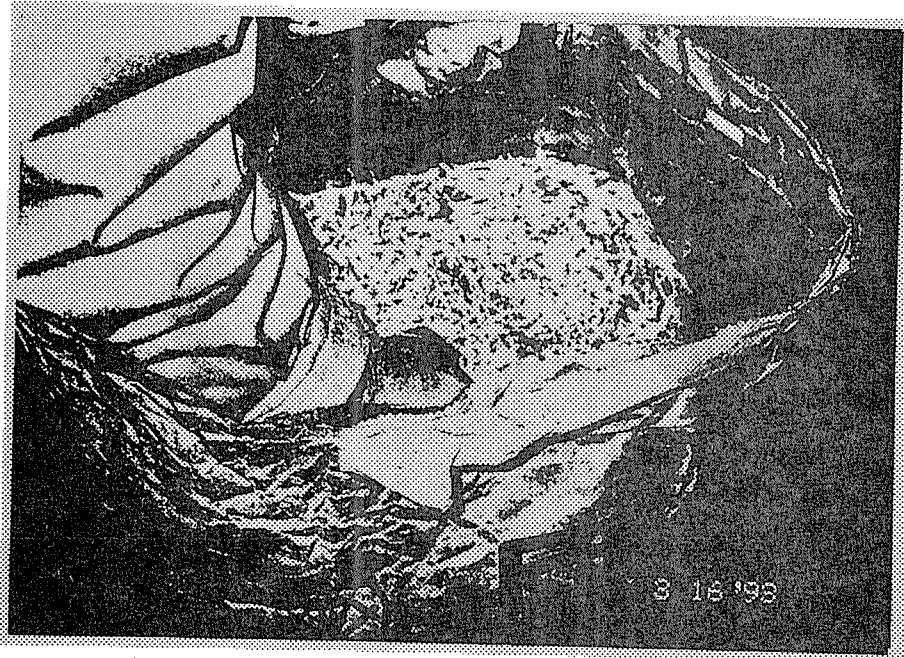


写真2-4 チップと金属異物の混合

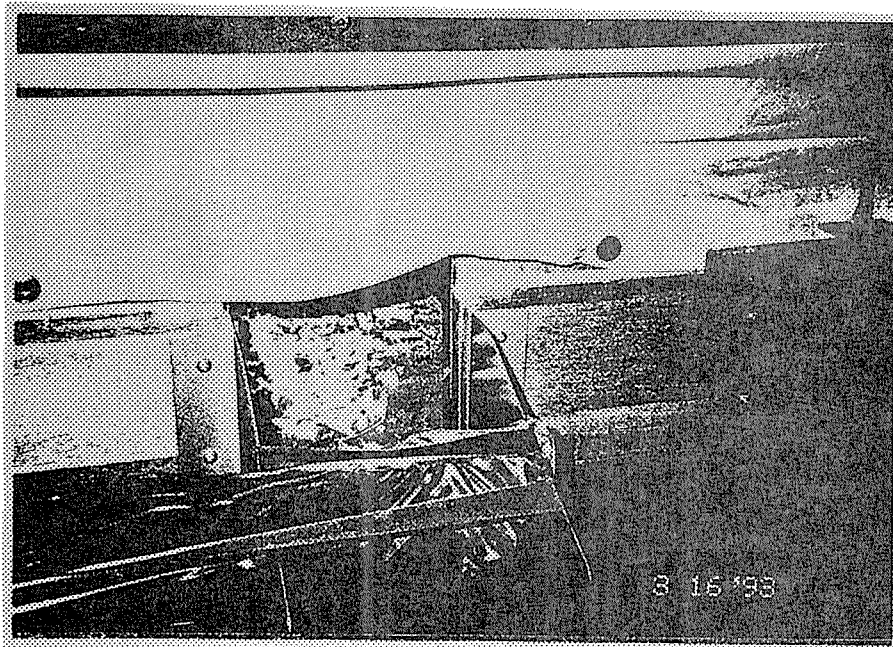


写真2-5 異物排出口の状況

#### 実験資料

- No.1 : 解体材チップを二次破砕したチップ30 kg 中に鉄・非鉄金属類80 gを混入したもの(写真2-6)
- No.2 : 合板工場で発生する単板チップ30 kg 中にアルミ片5個、ステンレス釘5個



を混入したもの

- No.3 : パーティクルボード工場のリングフレイカーで切削したチップ30 kg 中にアルミ片10個、銅片5個、ステンレス釘5個を混入したもの(写真2-7)
- No.4 : 合板工場が発生するチップ30 kg 中にステンレス釘50個を混入したもの(写真2-8)
- No.5 : 鉄・非鉄金属類のみ(写真2-9)

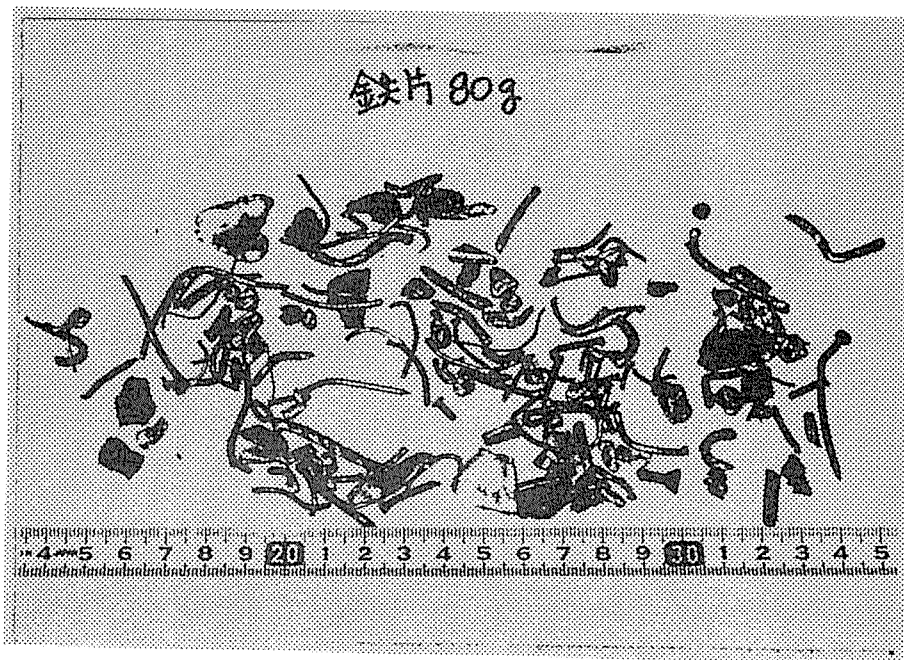


写真2-6 混入異物(鉄片ほか)

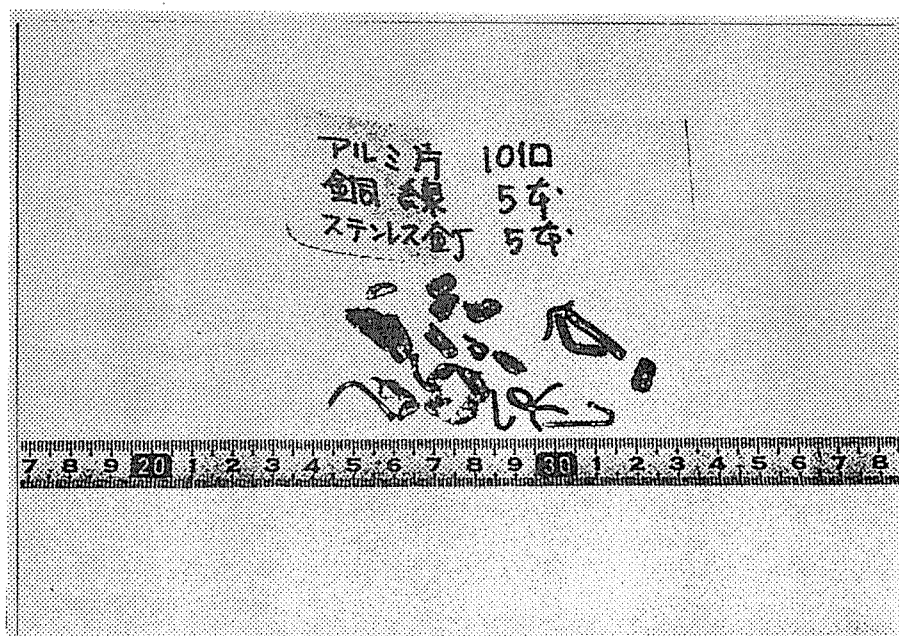


写真2-7 混入異物(アルミ片、銅線、ステンレス釘)

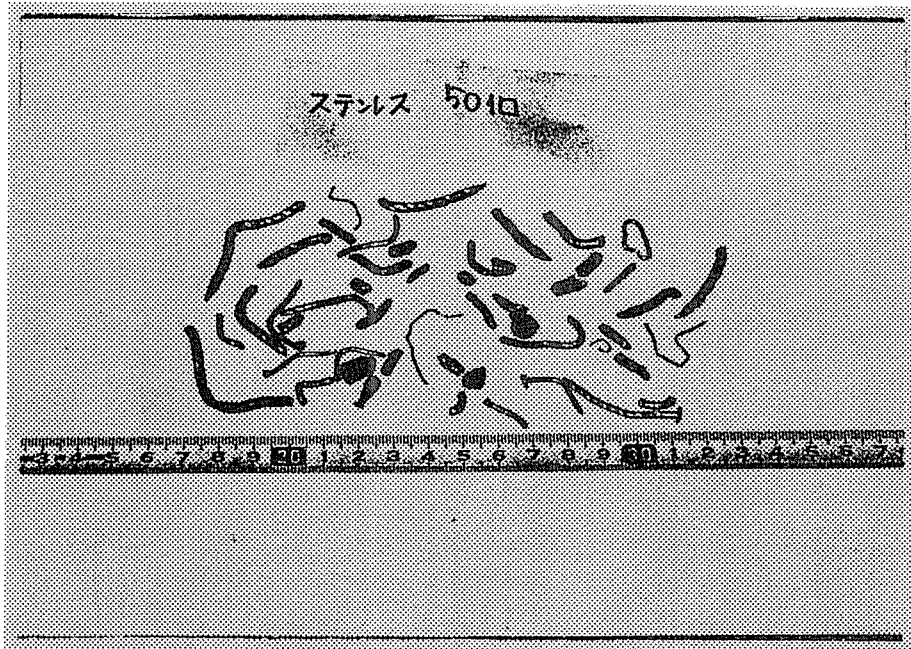


写真 2 - 8 混入異物 (ステンレス釘)

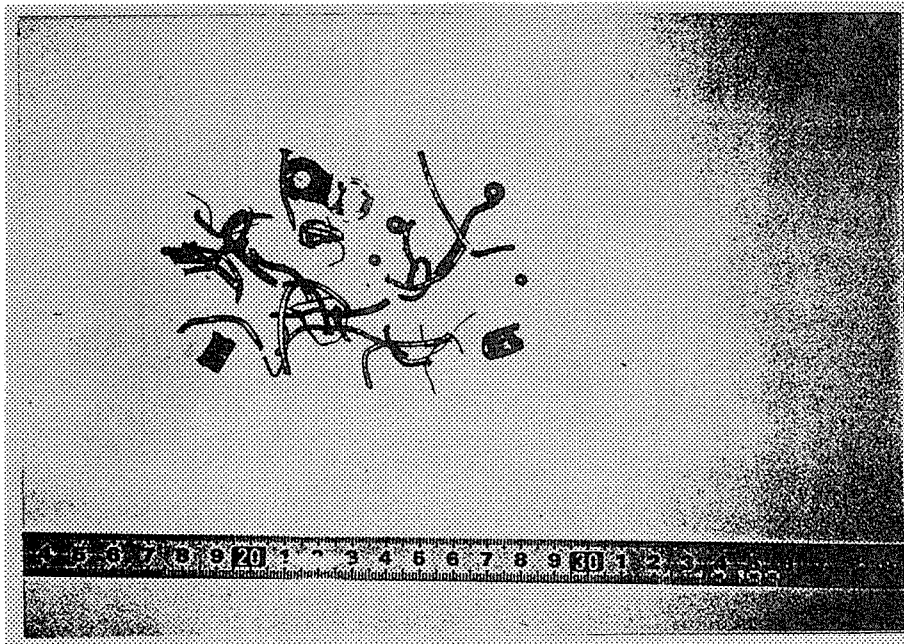


写真 2 - 9 鉄・非鉄金属 (ベアリング球)

### 3. 5. 2 実験結果

(1) No.1~4 の試料については、予め混入した異物を100%分離・回収できた。

(2) No.5の金属類のみを投入した場合、ベアリング球以外はすべて回収できた。ベアリング球は真球であるため、滑りを生じ、スクリーン上での移動が行われなかったものと思われる。しかし、このような異物は磁性体であり、この工程の前において、電磁選別機により分離することができる。

以上の結果、現段階の限られた条件のもとで、本試作機は、基本的な分離能力を有していると考えられる。これらの実験結果に基づいて、設計諸元の改善を行い、来年度、生産の原料工程の全ラインの完成をまって（設置経費は独自）、本装置を組み込み、全体の流れの中で、さらに検討を進める予定である。

#### 4 今後の問題点

##### 4.1 機構面での問題点

今回の試作機設置場所が仮設置であったため、本来のラインの流れの中で実験することができなかった。したがって、全てバッチ的な作業しかできず、その面での検討に終始したが、連続運転した場合のスクリーンの寿命、軸受部の耐久性等について検討する必要がある。そのほか、チップ処理量と異物分離効率についてもライン化された段階で検討する必要がある。

##### 4.2 ライン化の場合の問題点

###### 1) 連続的に均一なチップ投入方法

現段階では手動であるが、これは当然、連続的に均一なチップの投入装置を付加しなければならない。計画としては、図2-1のようなオートフィーダー、フローチェーンコンベア、振動フィーダーの組み合わせになるものと思われる。

###### 2) 異物排出ゲートの自動化

チップを連続的に定量投入した場合に分離された異物が円滑に排出口から取り出せるかどうか、今の段階では不明確であるが、実際にチップを流し、異物の流れを観察した上で、円滑な排出の手段を考えなければならない。

###### 3) 送風に必要なクリーンエアの供給方法

原料処理工程は、一般的に空気中に浮遊する塵埃など環境条件が悪いが、本試作機は気流により異物を効率的に選別するため、整流を送らなければならない。そのため、整流板を機内に設けるが、それが塵埃等で目詰まりを起こし、均一な空気が吹き上げられなくなるおそれがある。したがって、ライン化にあたっては新鮮空気を別の場所で取り込む必要がある。

###### 4) チップ粒度変化に対応したスクリーン傾斜角、送風量と吸引風量、振動数の検討

投入チップの粒度が変動することは当然考えられるところであるが、その変化に対応して、スクリーン傾斜角、送風量、吸引風量、振動数を適当に変動させなければならない。したがって、ラインとしては、これを自動的にコントロールすることが必要であり、それ

らのシステム化が望まれるところである。

## 5 おわりに

本技術開発は建築解体材の再資源化のため、産廃業者がチップ化した木質解体材を対象にして、分別処理を行い、パーティクルボード原料に利用しようとするものである。そのため、本年度は、気流選別装置を試作し、予備的な試験を行い、当該装置の設計諸元の検討を行った。結果は一応満足すべきものであり、来年度、ライン化された段階で最終的な検討を行う。

### 第3章 廃コンクリート型枠等を利用した木質セメンボードの開発

#### 1. はじめに

地球環境問題と一まとめにして呼ばれる問題には、本質的に異なる2つの側面が含まれている。1つは、主として先進工業国を中心とする人間の活動の規模の増大に伴って発生する様々な矛盾や障害である。処理しなければならない大量の産業廃棄物と生活廃棄物の発生はその中の最大の問題の1つであると考えられる。これは処理量が多くなるほど廃棄物の処理工程そのものが有害な物質や炭酸ガスを発生させて環境に余分の負荷を与えるだけでなく、現在のような割合で廃棄物の量が増大を続けると、近い将来（現在においてすでにその傾向が認められているが）国や地方自治体の処理能力を越え、あるいはその経済的な回収が困難になり、そのため環境中に投棄されて環境汚染を加速させて環境に余分の負荷を与えるからである（廃棄物の大量発生の問題＝廃棄物を発生させる人間の活動は「*Input*」を増大させる現象であるといわれている）。

もう1つはいわゆる環境破壊と呼ばれる問題の中でも重要なもので、広い意味における資源の過剰消費である。勿論この問題は上記の1と密接に関わっているが、この資源の浪費は、先進国と発展途上国の双方が原因となっている。先進国による木材の輸入消費は60年代から、比較的近年まで増大を続けてきた。しかし、世界的に見て、森林面積の減少の最大の原因は、途上国を中心とする人口の爆発的な増加に基づく焼き畑面積の増大であると言われている。これらの地域では、人口の爆発的な増加のため、一定面積が養うことのできる限度を越え、土地を持たない農民が生活するために耕地を求め、あるいは牧畜を行なうための牧草地を確保するために森林を破壊する焼き畑を行なうからである。いずれにせよ、先進国や途上国による熱帯雨林や原生林の大規模な伐採は、異常気象の原因となったり、地球上の約半数が棲息するといわれる生物種の絶滅を招き、またそこを生活舞台とする少数民族の生活を奪うことになる。残念ながら、これまでは日本を含む先進工業国による、熱帯林の直接・間接の伐採輸入がその1部の原因となっていた。

このような人類の共有の財産である資源は、大切に使う、未来の世代のために回復・復元が不可能な状態にならないように管理し保存をはかることが、現代の全人類に課せられた最大の課題の1つであると言っても過言ではないと思われる（資源の大量消費）。

上記の1、2は密接に関連するので、一方を抑制することができれば、他方も自然に減少するので、木材や様々な天然資源の節約、即ち、必要な量を無駄なく、合理的に使用することが肝要である。

さて、われわれ木材の利用に関わる者にとっては、必要上すでに伐採されて、利用されている、あるいは利用された木材を、なんらかの方法によって、再処理あるいは加工して、再度利用することができれば、これは、資源の直接的な節約になるばかりでなく、木材の

利用の期間の延長、即ち、木材が森林において形成されてから、自然界における様々な要因による分解によって、構成元素に還元される迄の自然のサイクルを延長し、炭酸ガスの発生を減少させることができる。

最近、新潟県下の数ヶ所の木材関連工業の廃材の処理状況を調べたところ、その大部分が、それを単に焼却処分しており、熱源としてさえ利用していないところがほとんどであった。従って、廃材をなんらかの方法によって再利用する方法を確立することは、経営改善をめざすこれらの企業にとっても、重要な課題となっている。

そこで、廃材のサイクル利用法の1つとして、われわれは、与えられた課題である、せいぜい数回の使用後廃棄されるコンクリート型枠合板（最近ではこの繰り返し使用回数が減少しており、2-3回、あるいは使い捨てにされる場合も多いといわれ、また実際には、この地域では、単に焼却されることが多いようである）を原料とする、木質セメントボードの製造を試みることにした。

## 2. 木質セメントボードの製造

### 2.1 原料

次の都合4種類の原料を使用した。

- (1) 市販のコンクリート型枠用合板（厚さ15mm、石巻合板（株）製777合板）
  - a. 未使用（記号0-0）
  - b. 片側1回使用、片側2回使用（記号1-2）
  - c. 片側0回使用、片側3回使用（記号0-3）

- (2) 廃コンクリート型枠合板を予め工場においてスプリット状に細片化したもの

### 2.2 合板からのセメントの除去

上記の(1),(2)の原料のうち、(1)はチップーにかけるために、表面に付着したコンクリートを除去する必要がある。そのためにいくつかの方法を試みたが結局、モーターのついた、研磨面積が幅10cm、長さ25cmの小型（handy）ベルトサンダーに石工用のベルトをとりつけ、コンクリートの付着した面に手で強く押し付けながら、サンダーを動かしながらサンディングする方法が最も効率的であった。

2.3 上記の方法によって、付着あるいは、合板にくいこんでいるセメントや砂を十分に除去した後、合板を幅45～50cmに鋸で挽き、チップ工場に運搬して、チップーに2回通し、チップを製造した。なお、合板は非常にチップ化し難く、チップの形状がかなり不揃いとなったので、粗大なものは、ミトカッターとハンマー等を使って細かく分割した。

### 2.3 木質セメントボードの製造条件

大きさ: 30cmX30cm, 目標比重: 1.1~1.2, 目標厚さ: 15mm

原料の混合比:	チップ	300g (全乾)
	セメント (普通ポルトランドセメント)	800g
	硬化剤 (CaCl <sub>2</sub> )	24g(セメントに対して3%)
	水	320~350g

### 2.4 木質セメントボードの製造方法

予め、全乾状態にしたチップを木製のmixing boxに入れ、硬化剤を溶かした一定量の水を加え、チップにまんべんなく染み込むようによくかき混ぜる。これにセメントを静かに加え、均一になるまで、十分に練る。どちらもゴムの手袋をして手作業で行なう。練り上がったチップ・セメント混合物は、30cmX30cmX15cmの内容積を持ったフォームング枠を圧縮用板の上に乗せて、上から均一になるように、少しずつ丁寧に重ねていき、フォームングをおこなう。収量したら、枠を静かに取り除き、出来上がったマットの上にもう一枚に圧縮用板を載せ、これを、コル板の間に挟んで、プレスに入れ圧縮する。圧力は約10kg/cm<sup>2</sup>で、この圧力に達したら、2本のスチール製ランプに挟んで、ボルトとナットで固定する。これを室温で1夜放置後、解圧し、できたボードは24°C, RH65%の恒温恒湿室に1定時間放置後曲げ試験に供した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 使用済み型枠用合板の表面の状態

使用済み型枠合板の表面の写真を未使用のものとともに、写真1~4に示す。表面の状態は、写真から観察できるように、未使用のもの、回数によらず使用したものとの間には、見た目には大きな違いが認められた。未使用のものは、当然であるが、平滑で、ツヤがあるのに対して、1回でも使用されたものは表面がざらざらしたり、大小のコンクリートの塊が不均一に、こびりついていて、1回使用のものでさえ、表面の単板の一部が剥げ落ちてしまった部分が認められた。写真から明らかなように、表面の肉眼的な様相だけから判断すれば、1回から3回使用までの間で殆ど差がなく、おそらく使用場所や使用方法によって、痛み方にかなり差がでるようと思われる、型枠として使用できる回数は、従って、使用回数よりも、使用場所や使用方法に依存するようと思われる。また、付着コンクリートの除去作業の容易さは写真3のようなかなりの厚みのあるコンクリート層が残っているかどうかの左右された。写真3の2回使用の場合、表面からコンクリート層を完全に除去するのはかなり時間のかか

る作業であった。

なお、コンクリート用型枠合板はセメントスラ-の強いアルカリ性の溶液の直接長時間接触するという苛酷な条件下において使用されるので、写真のように、肉眼的に劣化しているだけでなく、化学的性質にもかなりの変化が起こっているものと予想されるので、合板を燃料にしたり、チップ化して、セメントボードや石膏ボードなどの製造の原料に供する以外のそのままの形の板としての利用は困難であると思われる。

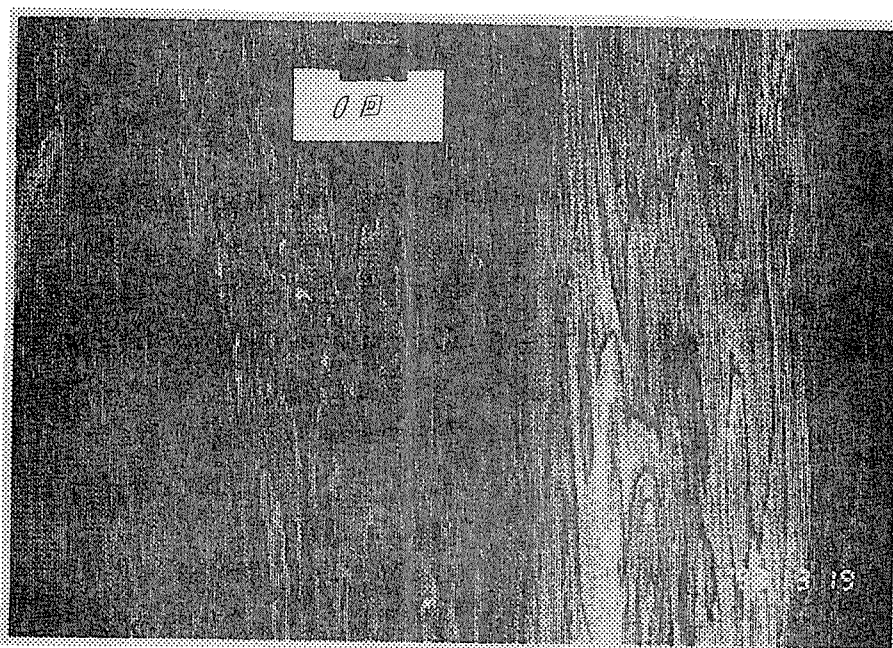


写真3-1 未使用の合板の表面

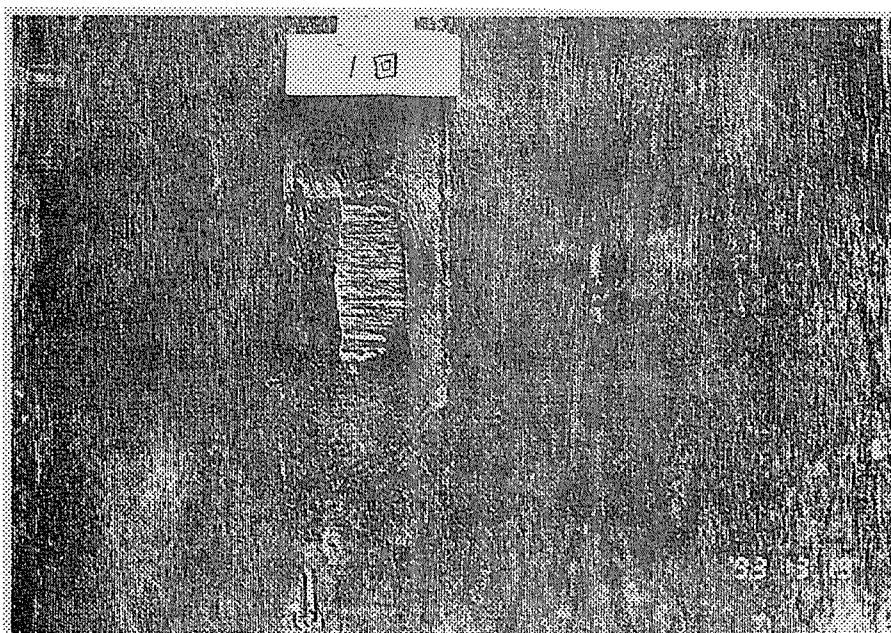


写真3-2 1回使用した合板の表面



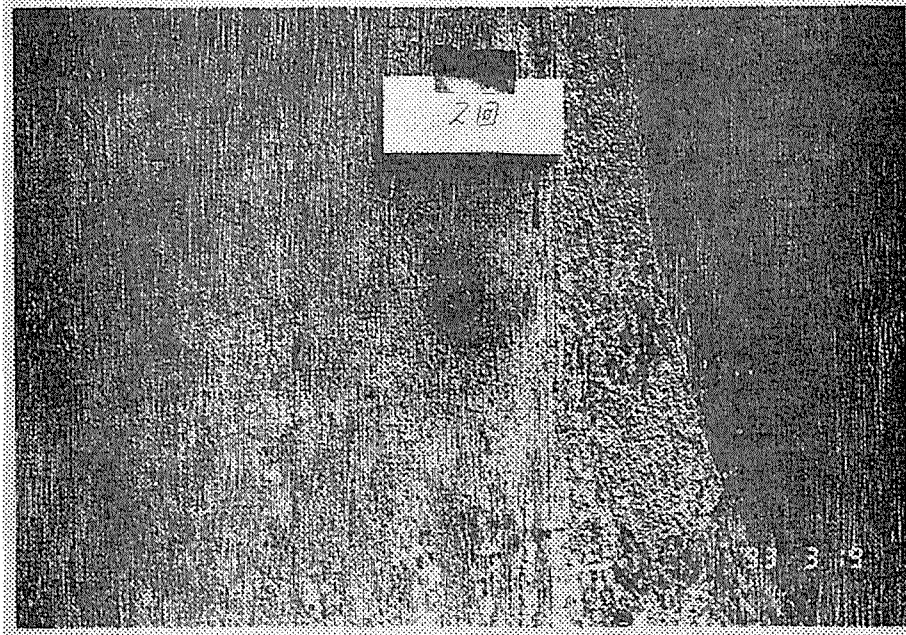


写真 3 - 3 2回使用した合板の表面

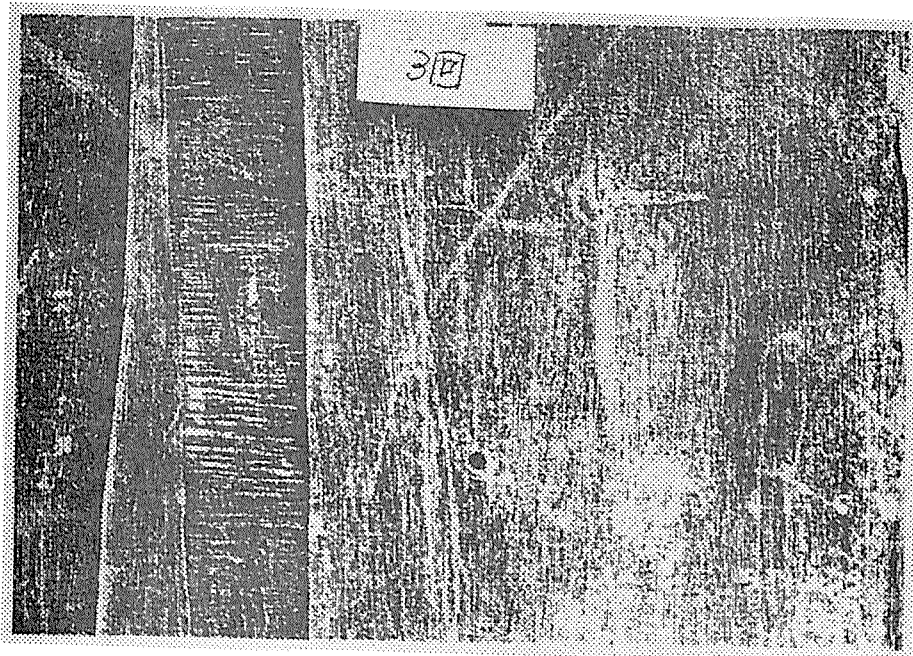


写真 3 - 4 3回使用した合板の表面

### 3.2 チップの性状

未使用及び使用済み型枠合板をパルプ用チップ-にかけて、さらに粗大な部分を、簡単な道具を用いて細分化して製造したチップの性状を写真5～7に、型枠合板処理工場においてチップ化して送られてきた試料を写真8に示す。チップの色が無処理の写真1が淡白な色であるのに対して、使用済みのものはいずれもかなり褐色を呈していた。しかし、短冊状やマッチの軸状など様々な形状を持つチップの混合物である前者のチップの形状には、これらの中で殆ど差違が認められなかった。しかし、処理工場で作られたチップ（写真8）はこれに比べて明らかにサイズが小さくまた、マッチの軸状の形状のものが殆どを占めていた。ただしチップサイズのバラキはかなり多きかった。



写真3-5 未使用合板のチップ

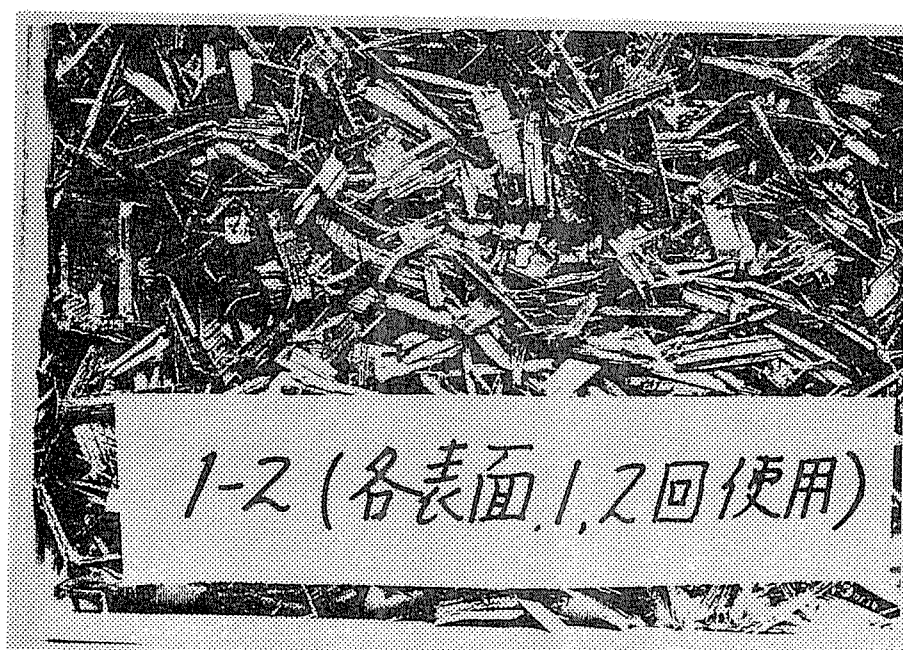


写真3-6 片側1回、片側2回使用合板のチップ

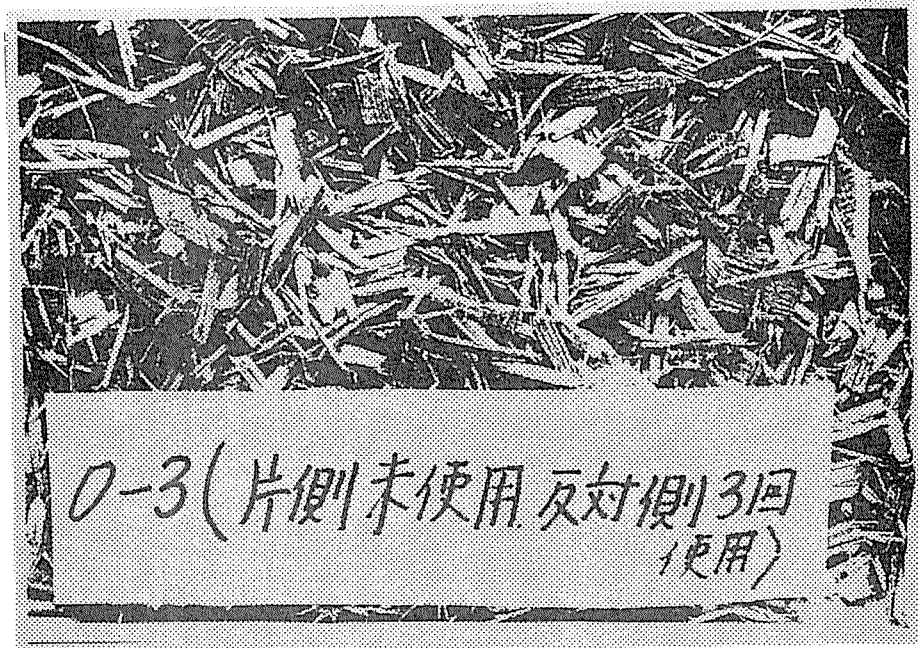


写真 3 - 7 片側0回、片側3回使用合板のチップ



写真 3 - 8 処理工場で作られたチップ

### 3.3 木質セメントボードの曲げ強さ

上記の4種類の原料からそれぞれ4枚のセメントボードを製造し、3週間養生後1枚につき6枚の

試験片を作って曲げ試験を行なった。結果を表1に示す。

表3-1 型枠合板から製造したセメントの曲げ強さ

種類	ホト NO.	曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )
0-0	1	23.9
	2	7.4
	3	16.9
	平均	16.1
1-2	1	10.9
	2	23.2
	3	24.6
	平均	19.6
0-3	1	15.6
	2	8.5
	3	17.2
	平均	13.8
工場製チップ	1	19.2
	2	27.2
	3	24.2
	平均	23.5

まず、処理工場で作られたチップを用いたボードが平均値が最も高く、また1枚、1枚のガラスが最も小さかった。この理由は前の3つの原料のボードを製造する過程において、水の量が多少少ないと判断されたので、ここでは約20ml程度多くしたため、ホッピングが均一になりやすかったため、強度が比較的均一で材質のすぐれたボードができた可能性がある。またこのチップは比較的形状が均一であったこともその理由の一部である可能性がある。これに対して、前3者はいずれもホッピングのできふできによると思われるバラツキが大きいため条件間に差を明瞭に把握するには至らなかった。しかし、平均値の比較によれば、未使用も原料よりも表面をそれぞれ1,2回使用したもののほうが高度が高い傾向が認められた。これは、1,2回使用することにより、木材がアルカリ処理を受けたことになり、セメントの硬化を阻害する成分の一部が抽出除去されたためであることが理由の一部として考えることができる。0-3の試料の曲げ強度が最も低くなった理由は明らかでない。

いずれにしても、これらの差違の原因を明確にするには、もっとボード作りの技術を向上させ、均質で、再現性の高いデータが得られるようなボードを製造して試験を行なう必要がある。

次に、ここで得られた強度をこれ迄に、当教室において行なわれた合板工場で排出した廃材を原料として製造した木質セメントボードの強度と比較する。

合板工場廃材（ワラ原料とするタイプII合板のトリミングの際にできる端切れ材をブレイカーで粉碎したもの）から作られたセメントボードの材令4日における曲げ強度を比重及びセメント/水混合比ごとにプロットした結果を図1に示す(1)。すぐれた材質のボードを製造するためには、最適なセメント/水比を決定することは、勿論重要な条件であるが、 $30\text{kg/cm}^2$ 以上の強度をうるためには少なくとも、1.3から1.4という高い比重が必要であることを示しており、ボードが重くなることは、取り扱い上できるだけ避けたいので、強度と比重の間で用途により最適な値を決定する必要がある。

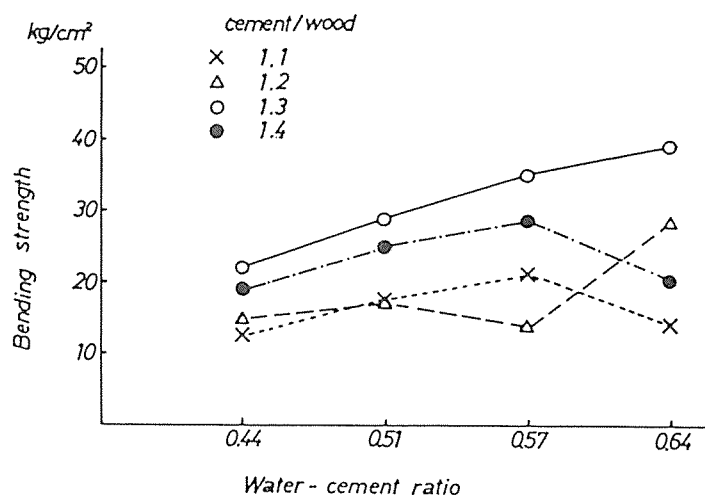


図3-1 合板工場廃材を用いた木質セメントボードの強度

本実験でえられた、材令21日における曲げ強さの値は、勿論木質セメントボードとしては高い方ではないが、上述の当教室における合板工場廃材を原料として製造したボードの値に比べるとそれほど劣っておらず、これからホーミング方法を改善すること、この原料による最適なセメント/水比を決定すること、許容される範囲で比重を上げること等により、 $30\sim 35\text{kg/cm}^2$ の強度を持つボードは製造可能と思われる。

## 文 献

- (1) 川村恵洋など：新潟大学農学部演習林報告、第9号、45-50（1976）

## 第4章 木質残廃材の炭化と炭化物の吸着性能

### 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なかで、年間木材総需要量の約7割を外材に依存している我国はこの問題に真剣に取り組んでいかなければならない。これまでリサイクルという面では木材工業は優等生であったが、近年建築解体現場や建築土木現場、物流拠点などから出る古材や木質残廃材がその質的変化や競争原理からゴミ化している。この古材や木質残廃材のゴミ化を防ぎ、貴重な木質資源をムダにしないためのシステム作りや技術開発が重要である。ゴミや建築廃材の処理としては焼却が最も一般的であるが、ものを燃やすとCO<sub>2</sub>が発生して大気汚染の原因となる。ここでは、木質残廃材の多段階利用の1つとして炭化処理を取り上げ、炭化条件と炭化物の吸着性能について検討した。はじめに、炭の吸湿性能について、次に炭のヨウ素吸着性能とメチレンブルー吸着性能について述べる。

### 2. 吸湿性能

#### 2.1 実験方法

##### 2.1.1 材料

スギ気乾材（写真4-1）を使用した。これは正角材から切り出した材で各ブロックのサイズはおおよそ2x2x3cmである。

##### 2.1.2 炭化装置

写真4-2に示す電気炉（卓上真空ガス置換炉，（株）デンケン社製，KDF-75型）を使用した。

##### 2.1.3 炭化条件

処理温度は300,500,700,900,1100°Cの5条件とした。処理時間はそれぞれ60分,36分,26分,20分,16分とした。温度x時間=18000に近づけた。加熱中は真空状態で炭化した。真空度は2.9-9.7トルであった。処理後解圧し、常圧にした。

### 2.2 吸湿速度試験

#### 2.2.1 試験片

スギ材の心材及び辺材の小試験片（各々5片、サイズ同上）を900°Cで炭化したものを使用した。また、比較のためにスギの心材、辺材の素材を用いた。

#### 2.2.2 方法

試験片を全乾にした後、温度20°C、相対湿度60%の恒温室内で吸湿させた。この際、試験片は天秤に乗せておき、インターバル1分間隔で重量データを24時間計測した。

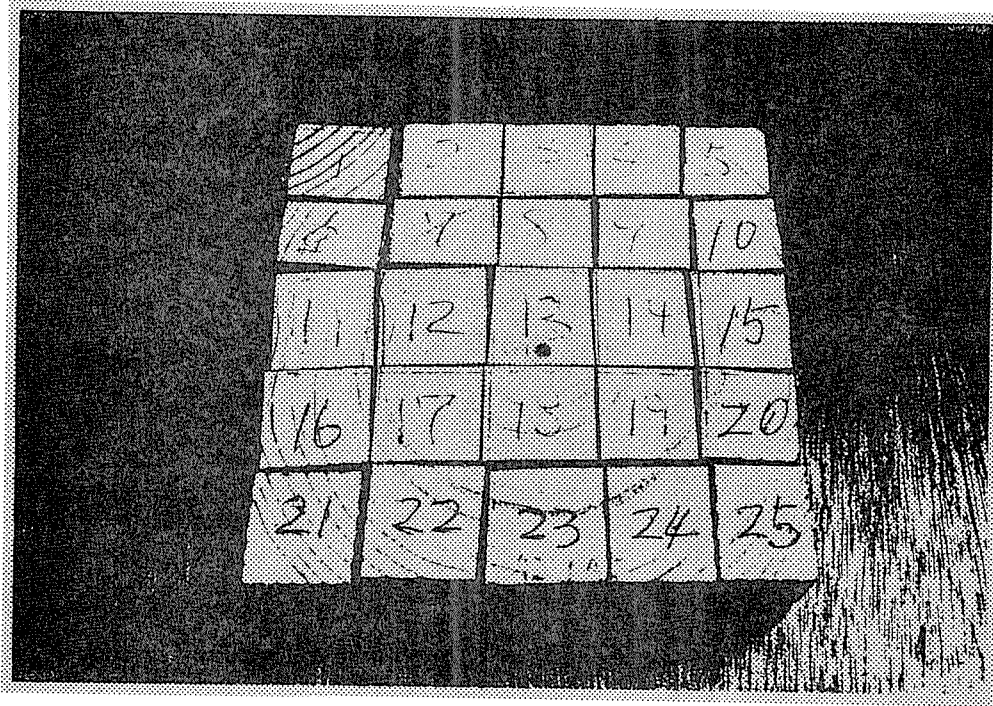


写真4-1 スギ試験材

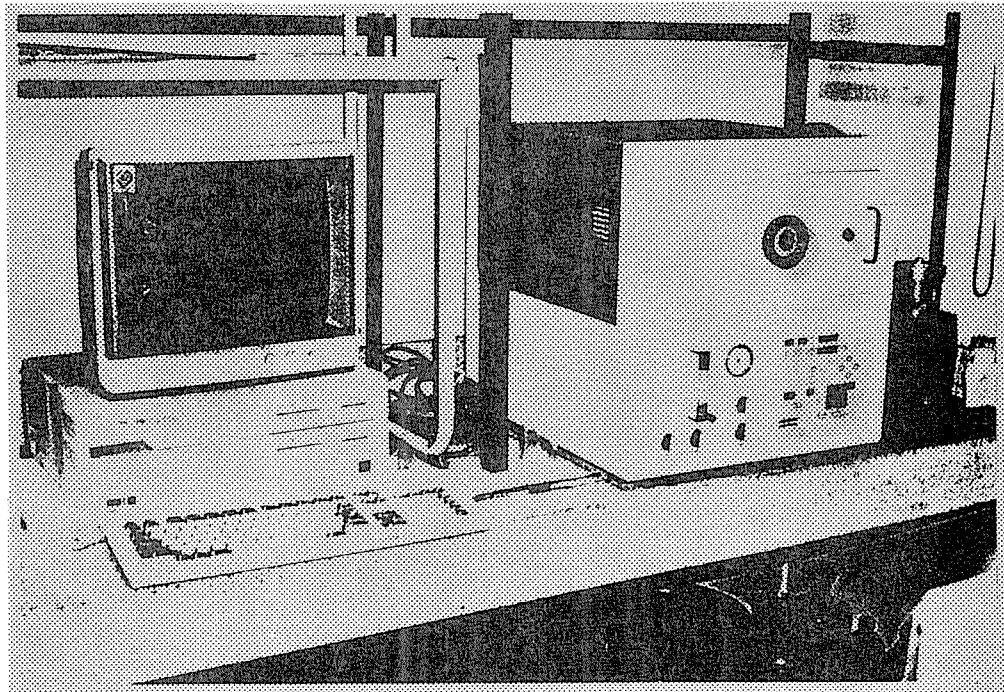


写真4-2 炭化に用いた電気炉



## 2.3 吸湿性試験

### 2.3.1 方法

(1) 2.2で処理温度別に製造した炭について、室内に2日、6日それぞれ放置した場合の含水率を調べた。なお、200°Cで処理した炭も追加した。

(2) 同じ炭を固形の状態のまま全乾にした後、恒温恒湿装置内に置き、表4-1に示す温湿度条件下で低湿状態から順次吸湿させ、それぞれ24時間放置後、含水率を求めた。

表4-1 温湿度条件

温度 (°C)	相対湿度 (%)
20	35
20	45
20	55
20	65
20	75
20	85
20	95

## 2.4 結果および考察

### 2.4.1 製造した炭の性状

写真4-3にスギ小片から製造した炭の様子を示す。辺材から得た炭は両木口がすぼまり中央部が膨らんだ形状となっている。一方、心材から得た炭は木口面から裂けてひろがる形状のものが多かった。処理温度が高くなる程、炭の表面は光沢を増し、外見上硬い感じがした。焼成中は真空を保ち酸化を防いでいるが、炭を取り出す直前復圧し空気をいれるため（不活性ガス充填による冷却をしていない）ので、すばやく取り出しても炭表面は多少酸化し、白い粉を吹いたようになる。後でそれを取り除いた。

### 2.4.2 炭化温度と炭化率

炭化率は(4-1)式で求めた。

$$\text{炭化率} = \left\{ \left( \frac{\text{処理後の炭の重量}}{\text{処理前の材の重量}} \right) \right\} \times 100 \quad (\%) \quad (4-1)$$

図4-1に炭化温度と炭化率との関係を、処理温度別、スギ材の心材、辺材別に示した。炭化率は炭化温度が高い程低くなる傾向を示す。これは一般的な傾向であり、値は従来のデータに近似している。また心材は辺材より炭化率が高かった。

### 2.4.3 処理温度と室内放置中の含水率

図4-2は処理温度を変えて製造した炭を全乾状態から室内に放置した場合の吸湿による含水率上昇の程度を示したものである。辺材の場合には放置後2日間経

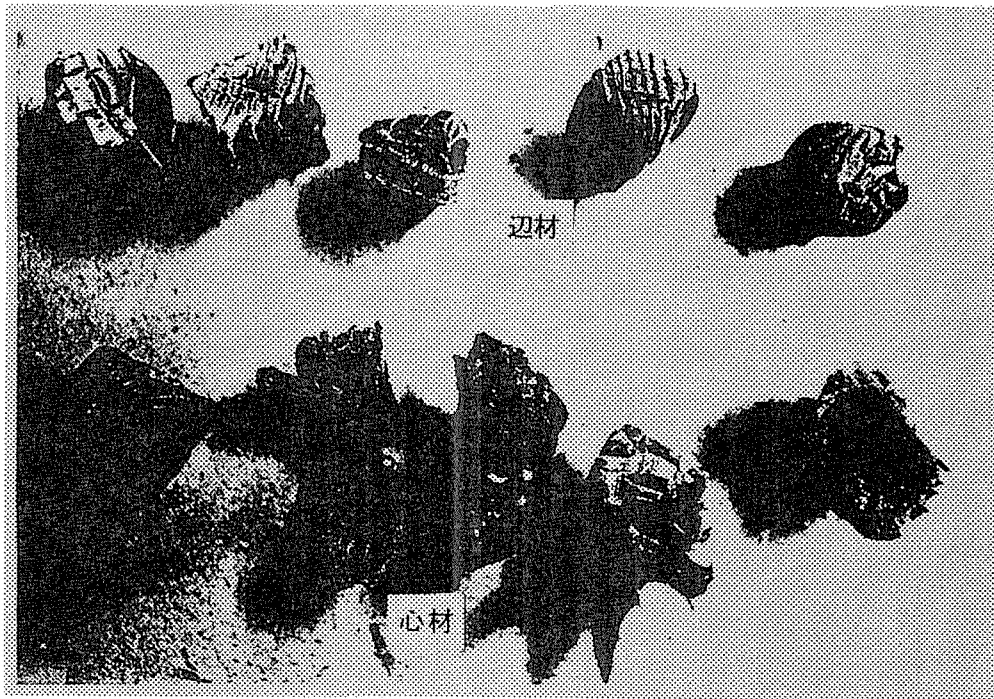


写真4-3 スギ炭の性状

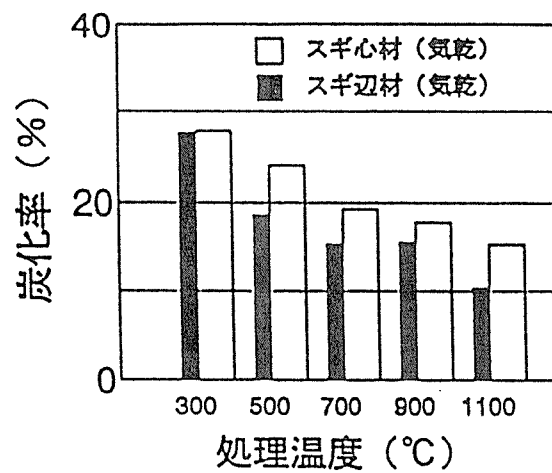


図4-1 炭化率と処理温度の関係

$$\text{炭化率} = \frac{\text{処理後の重量}}{\text{処理前の重量}} \times 100 \quad (\%)$$

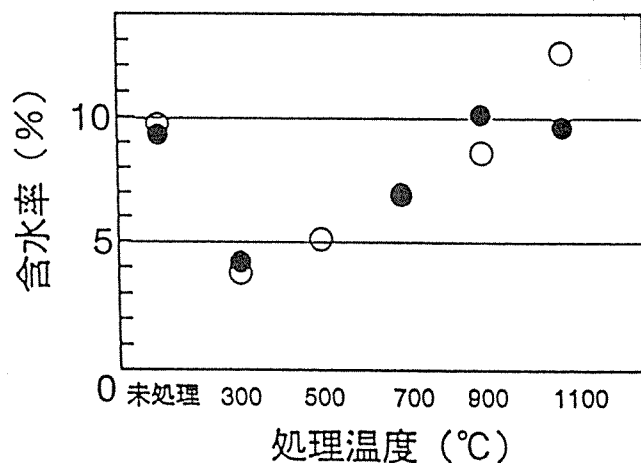


図4-2 処理温度と炭の含水率（室内放置中）

スギ心材 ●  
スギ辺材 ○  
条件：炭製造後、辺材は室内放置6日、心材は2日後に測定

過した時点、心材の場合は6日経過した時点で含水率を求めた。

処理温度が高い炭ほど、室内放置による含水率増加が大きい結果が得られた。また、未処理材と比較すると処理温度900°C、1100°Cでは、未処理材よりも高い値を示した。

#### 2. 4. 4 炭化率と室内放置中の含水率

図4-3に炭化率と室内放置中の炭の含水率との関係を示す。炭化率が低い程、室内放置中の含水率増加は大きくなる結果が得られた。

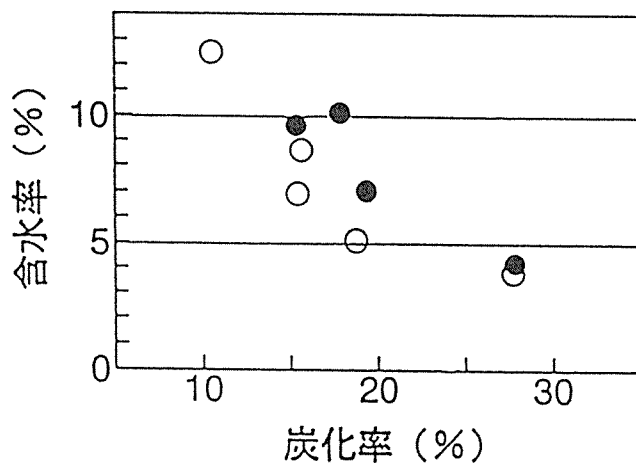


図4-3 炭化率と室内放置中の含水率

スギ心材 ● スギ辺材 ○  
条件：炭製造後、辺材は室内放置6日、心材は2日後に測定

## 2. 4. 5 吸湿速度について

図4-4は900°Cで製造した炭（辺材，心材）および未処理材（辺材，心材）を全乾状態から24時間，温度20°C，相対湿度60%の室内で吸湿させた時の含水率経過である。24時間では，厳密には吸湿平衡には達せず，含水率は漸増している。

図4-5は吸湿初期1時間における吸湿経過を示したものであるが，未処理材に比較して炭の吸湿速度が非常に大きいことがわかる。

図4-6，4-7，4-8，4-9は未処理材（辺材，心材），炭（辺材，心材）それぞれの吸湿経過を  $u = a t^b$  で近似したものである。一般に吸湿経過を近似する場合，ベキ関数が良く用いられている。

表4-2は求めた近似式を時間で微分して吸湿速度を求めた結果である。これを見ると，吸湿開始後1時間では，炭は未処理材に対して3倍の吸湿速度が認められる。24時間経過後でも，辺材で25%，心材で62%ほど大きい吸湿速度を示した。

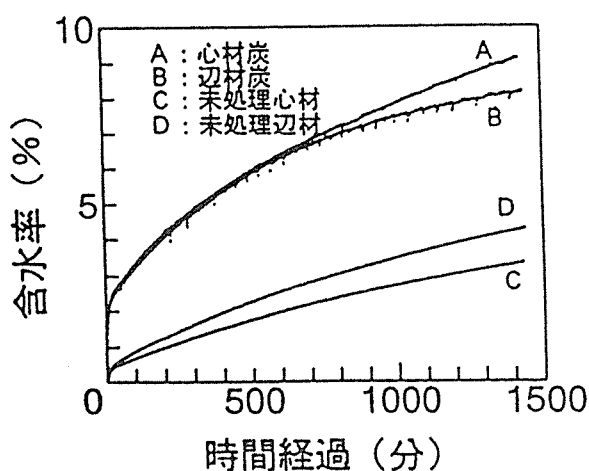


図4-4 スギ炭と未処理材の吸湿経過

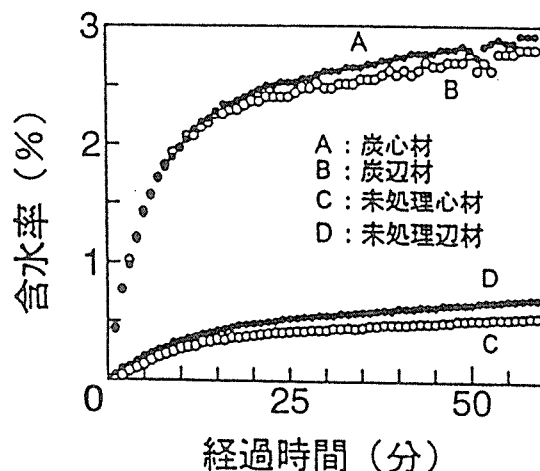


図4-5 スギ炭と未処理材の吸湿経過

製造条件：900°C，20分  
吸湿条件：20°C，60%RHで24時間

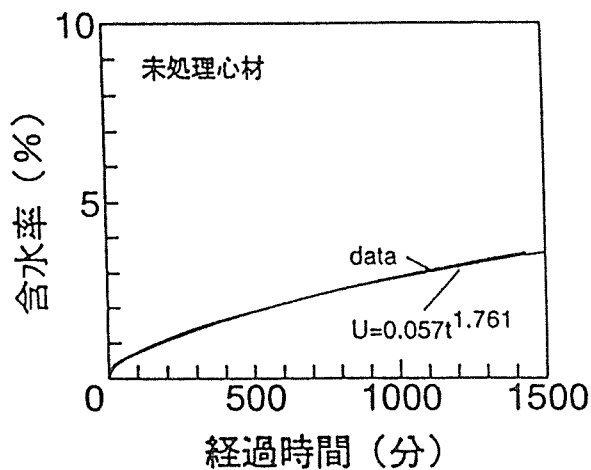


図4-6 スギ炭と未処理材の吸湿経過

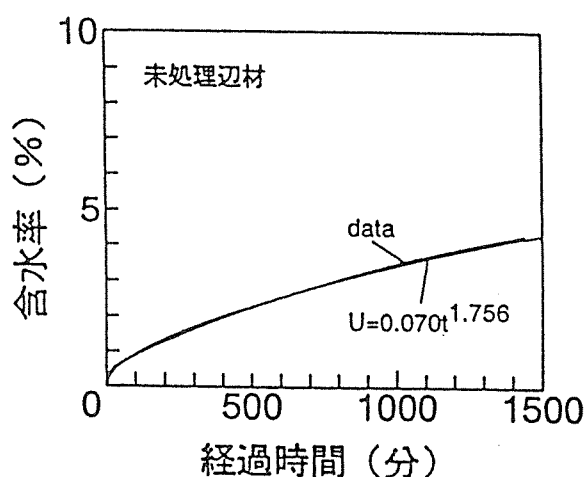


図4-7 スギ炭と未処理材の吸湿経過

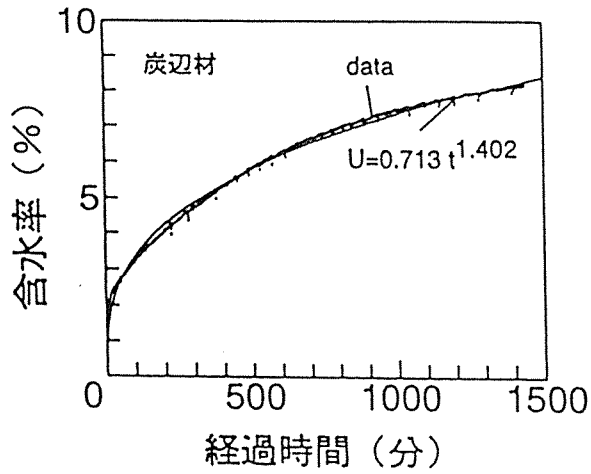


図4-8 スギ炭と未処理材の吸湿経過

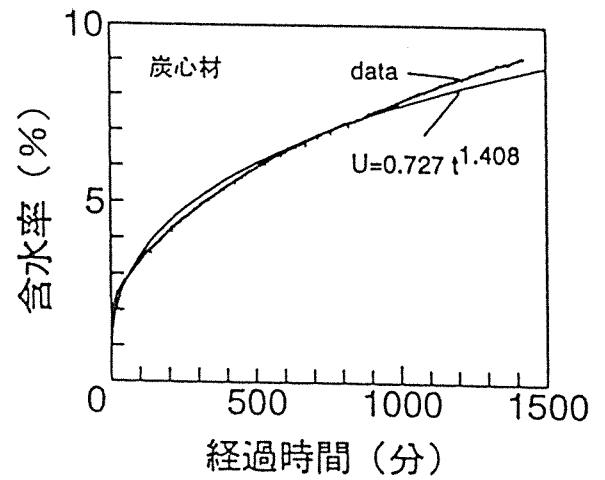


図4-9 スギ炭と未処理材の吸湿経過

表4-2 スギ炭および未処理材の吸湿速度

種類	吸湿曲線の係数		吸湿速度 (%/h) <sup>a)</sup>			
	$u = a t^b$		$du/dt = a b t^{b-1}$			
	a	b	1 h	6 h	12 h	24 h
炭（心材）	0.727	0.342	1.68	0.52	0.33	0.21
炭（辺材）	0.713	0.338	1.60	0.49	0.31	0.20
未処理材（心材）	0.057	0.566	0.51	0.23	0.17	0.13
未処理材（辺材）	0.070	0.563	0.66	0.30	0.22	0.16

吸湿条件：全乾状態から気温20℃、相対湿度60%の空气中で吸湿させた場合。

炭の製造条件：真空中で900℃、20分焼成を行った。

a) 吸湿速度は1時間当たりの含水率(%)増加量。

## 2. 4. 6 吸着等温線

多孔質材料は、ある温度において湿度が変化すると、一般に図4-10<sup>1)</sup>のようなシグモイド型の吸着等温線を示す。ここで示した吸着等温線はHailwood & Horrobinの式<sup>2)</sup>を用いてフィットしている。樹種が変わっても吸着等温線の形に差は余りない。

図4-11には、今回用いたスギ未処理材の心材、辺材とよく引き合いに出される平衡含水率曲線（スプルーから求めた）の20°Cにおける吸着等温線<sup>3)</sup>を比較した。今回は吸湿時間を72時間とした。両者にあまり差がないことがわかる。

図4-12（左）は、温度20°C、相対湿度60%の条件下に、スギ辺材から製造した炭および未処理材を72時間放置して、吸湿させた場合の吸着等温線を合わせて示した。同じく、図4-12（右）にはスギ心材から製造した炭の結果を示した。両図とも、素材（波線）と炭を比較すると、900°C、1100°Cで製造した炭は低湿度域でのEMCが素材よりも大きく、また700°C以下の処理温度の炭は素材よりも平衡含水率が湿度域全般で低い。非常に高い湿度域（RH95%）では素材の含水率がいずれの炭より高い。吸着等温線の形を見ると木材はシグモイド型に見える。すなわち低い湿度域では木材は水分子をまず単分子吸着により吸着する。湿度が高くなるにつれて、しだいに水分子の多分子吸着の割合が増加する。両者が合成されると、吸着等温線がシグモイド型を呈する。しかし、炭のそれは異なるように見える。これは、炭の吸着機構が素材と異なることが原因と考えられる。とくに炭の場合には曲線の形から素材と比較して水の単分子吸着の期間が高湿度範囲まで続いていることが考えられる。

## 2. 5 結論

処理温度を変えて製造したスギ炭の吸湿性について検討し、次の結果が得られた。

- (1) 処理温度が高くなる程、炭化率は低くなるが、吸湿性（含水率の増加）は大きくなる。
- (2) 辺材と心材では炭化率は心材の方が高い。
- (3) 900°Cで製造した炭の吸湿速度は、全乾状態から20°C、60%RHの状態に放置した条件では、素材に比べて初期で3倍程度、24時間経過後でも25%から62%速い。
- (4) 温度20°Cでは、900°C以上の温度で製造された炭の平衡含水率は低い湿度域では素材よりも高い。
- (5) 700°C以下で製造した炭の平衡含水率は素材に比べて低い値を示す。
- (6) 炭の吸着等温線の形から、炭は木材と比べて高湿度域まで単分子吸着が多いことが推察される。

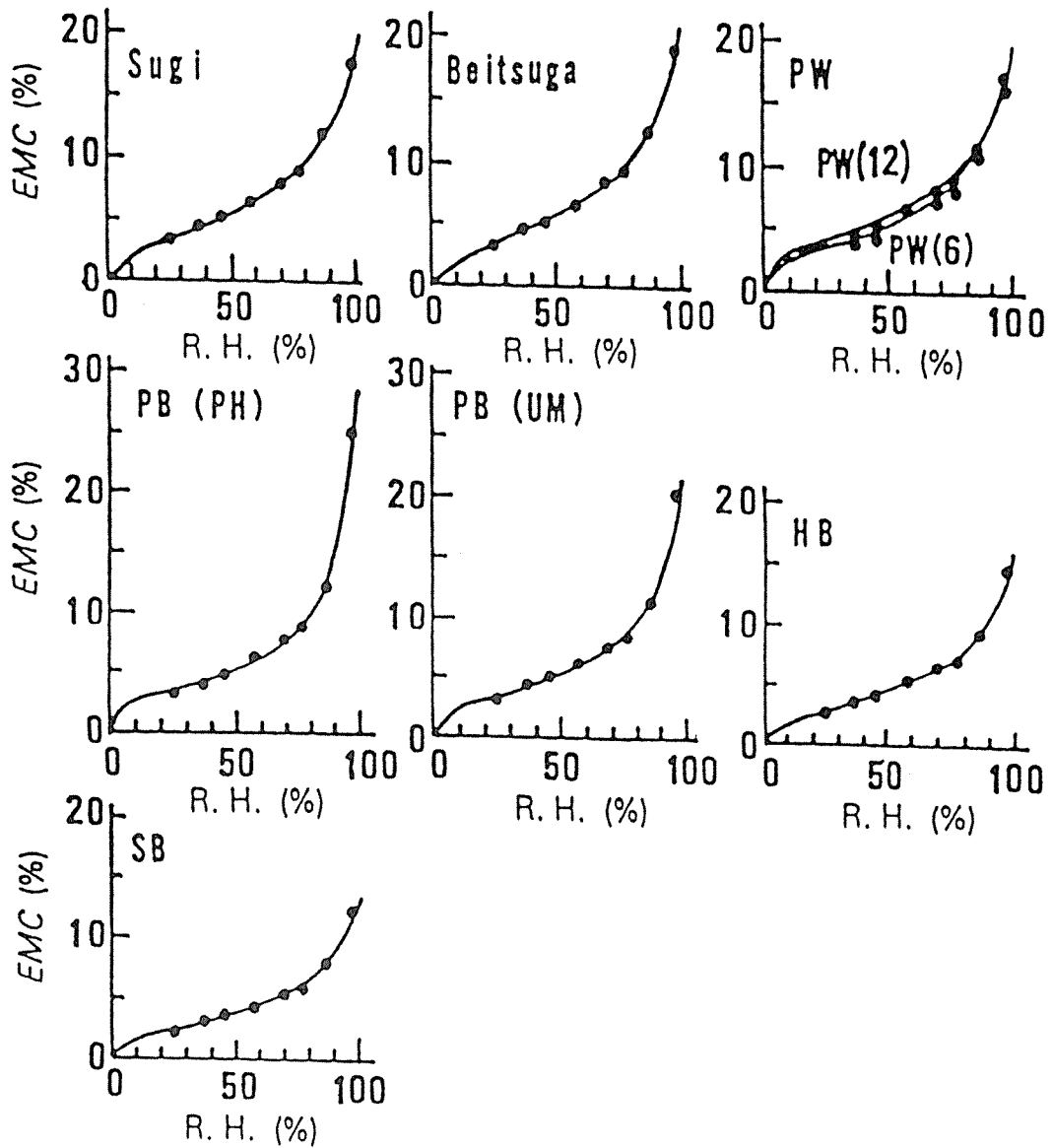


図4-10 木材・木質材料の吸着等温線 (60°C)

EMC: 平衡含水率 (%), RH: 相対湿度 (%)

●: 測定値、実線: Hailwood & Horrobin 式を用いて

最小自乗法で求めた吸着等温線

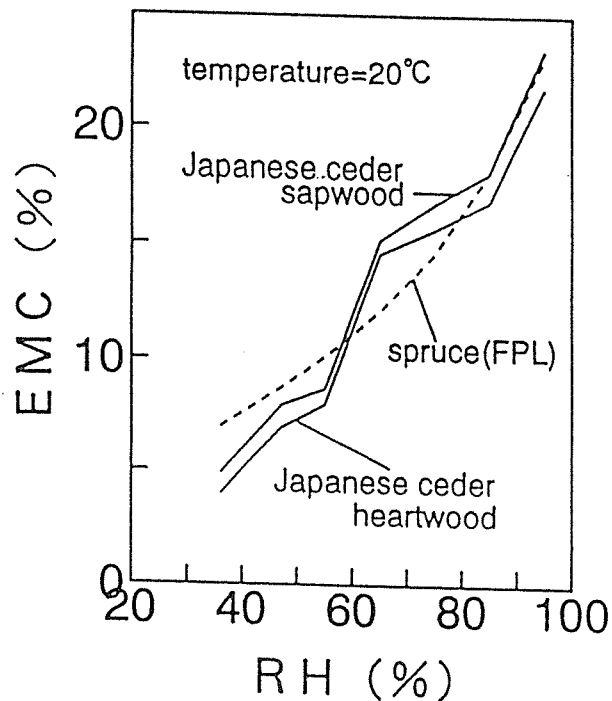


図4-11 スギとスプルースの吸着等温線比較

EMC: 平衡含水率 (%), RH: 相対湿度 (%)

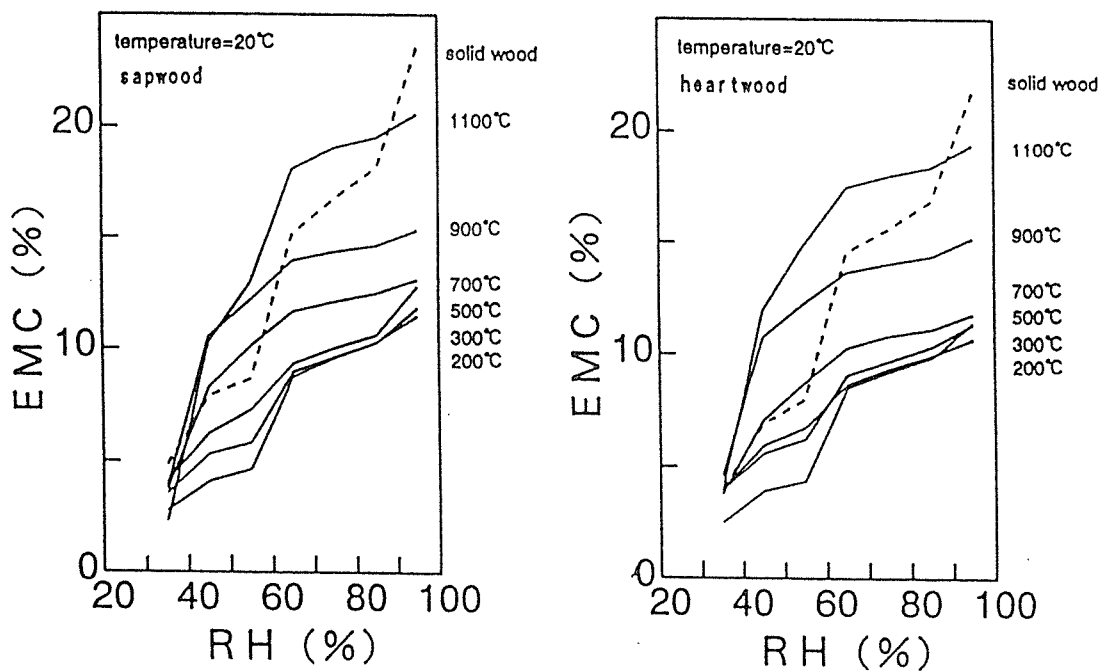


図4-12 スギ炭の吸着等温線 (20°C)

EMC: 平衡含水率 (%), RH: 相対湿度 (%)

実線: 炭の平衡含水率測定値、 破線: スギ素材の平衡含水率測定値



## 2.6 課題

吸湿速度は空気と接する表面積，孔径すなわち炭の構造に影響されるため，炭の吸湿特性を利用する場合には，これらとの関係を検討することが重要であろう。同様に，素材でも木粉状にした場合の吸湿速度はかなり大きくなると考えられるので，このような状態での比較の重要であろう。

今後は炭の量と吸湿量との関係を用いて，炭の存在による床下の湿度環境改善に関するシュミレーションを検討したい。

## 3. ヨウ素及びメチレンブルー吸着性能

### 3.1 試験方法

#### 3.1.1 供試材

供試材はプレカット工場から排出されたスギ，ヒノキの残廃材である。炭化に供した試験片の寸法は3×3×5（繊維方向）cmの気乾材である。

#### 3.1.2 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4-13）。炭化温度は300°C，500°C，700°Cで，時間は120分（500°Cの場合は120分と360分）である。室温から所定の炭化温度に達する迄の時間は約12°C/分であった。所定の炭化時間後1日自然放冷した。

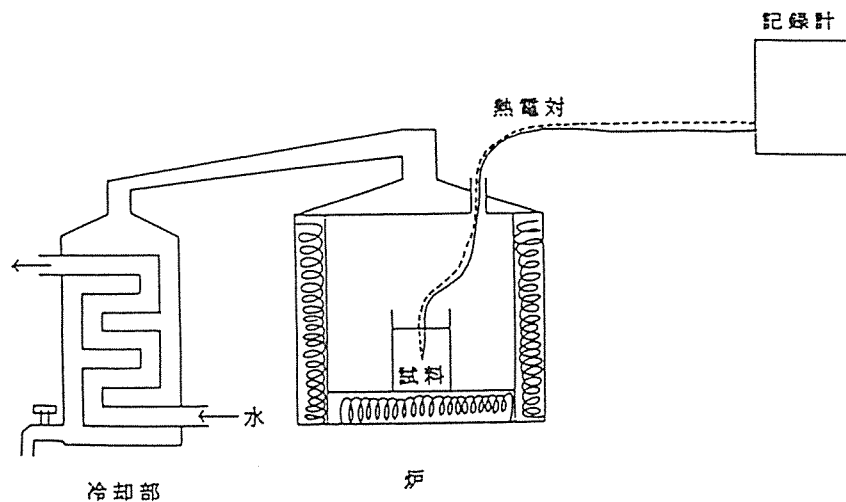


図4-13 木材乾溜装置の模式図

### 3. 1. 3 収率

収率は次式で計算した。

$$\text{収率(\%)} = \{ \text{炭化物の重量 (乾燥状態)} / \text{木材の重量 (気乾状態)} \} \times 100$$

### 3. 1. 4 吸着試験

ヨウ素及びメチレンブルー吸着試験は日本工業規格・活性炭試験方法 (JIS k-1474) に準じて行なった。

## 3. 2 結果及び考察

### 3. 2. 1 炭化条件と収率との関係

炭化条件と収率との関係を表4-3に示す。炭化温度が高い程、収率は低下した。いずれの炭化条件においてもスギとヒノキで収率に差異はほとんどなかった。炭化温度、500°Cの場合、炭化時間が120分と360分では収率に大きな差異はなかった。炭化温度時間積 (温度 x 時間) と収率との関係を図4-14に示す。温度時間積の値が大きくなると収率は低下したが、温度時間積が80,000以上では収率はほぼ一定であった。

表4-3 炭化条件と収率\*

	300°C・120分	500°C・120分	700°C・120分	500°C・360分
スギ	41.2	27.7	25.1	26.7
ヒノキ	39.3	26.0	23.2	25.0

\* 収率：(%)

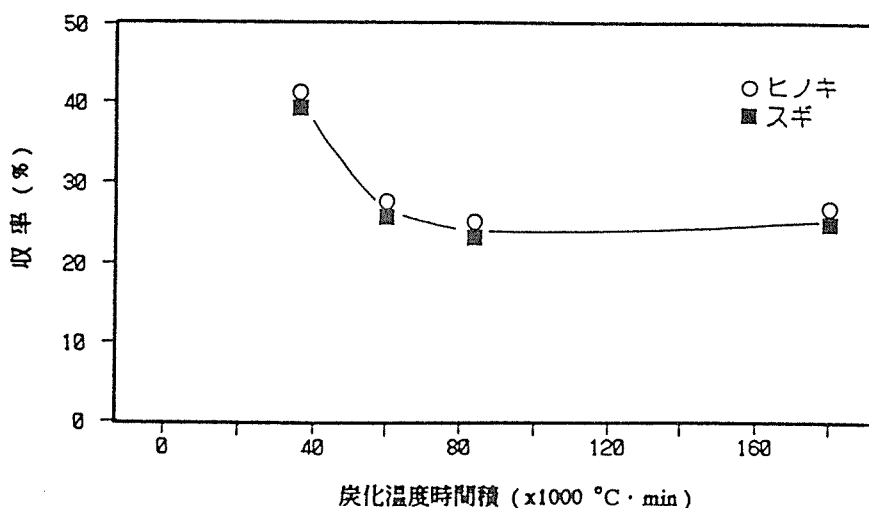


図4-14 収率と炭化温度時間積との関係

### 3. 2. 2 炭化温度とヨウ素吸着性能及びメチレンブルー吸着性能との関係

炭化温度とヨウ素吸着性能との関係を図4-15に，炭化温度とメチレンブルー吸着性能との関係を図4-16に示す。炭化温度が高いほどヨウ素吸着性能，メチレンブルー吸着性能とも高くなった。両吸着性能ともスギとヒノキによる違いはほとんどなかった。ヨウ素吸着性能はメチレンブルー吸着性能よりも炭化温度の影響が大きい。300°C，120分炭化ではヨウ素吸着性能はほとんどゼロであった。

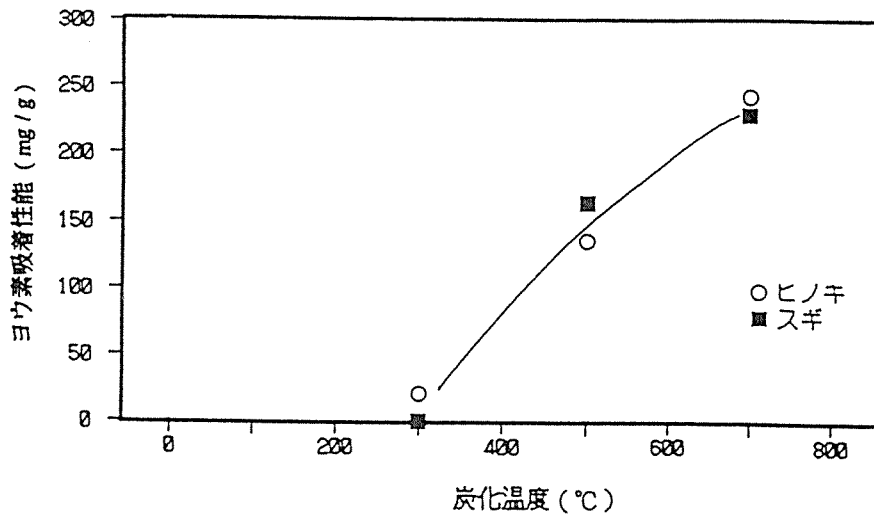


図4-15 ヨウ素吸着性能と炭化時間との関係

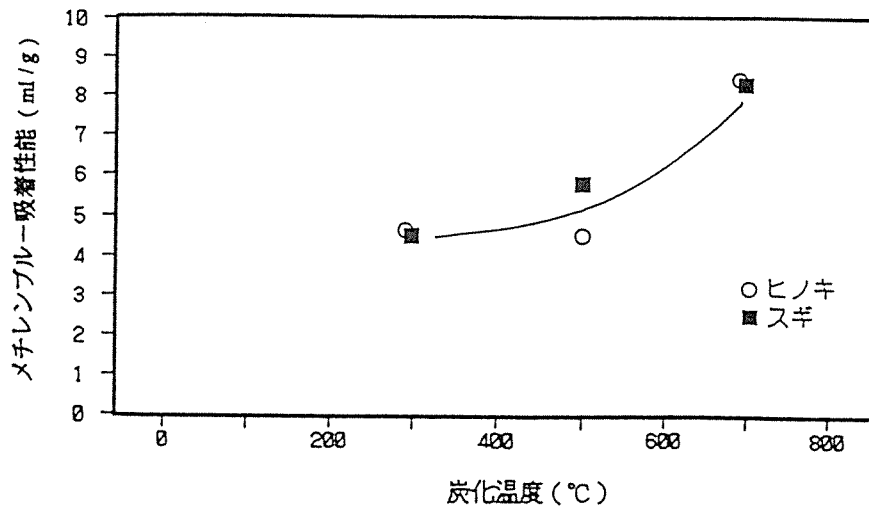


図4-16 メチレンブルー吸着性能と炭化時間との関係

### 3. 2. 3 炭化温度時間積とヨウ素吸着性能及びメチレンブルー吸着性能との関係

炭化温度時間積とヨウ素吸着性能との関係を図4-17に、炭化温度時間積とメチレンブルー吸着性能との関係を図4-18に示す。炭化温度時間積の値が大きくなるにつれてヨウ素吸着性能、メチレンブルー吸着性能とも高くなる傾向にあるが、炭化温度時間積の値が80,000以上ではヨウ素吸着性能、メチレンブルー吸着性能の増加はほとんど見られなかった。従って、ある範囲では炭化温度が低いために吸着性能が悪い炭化物は炭化時間を長くすることによって吸着性能を高めることが可能である。

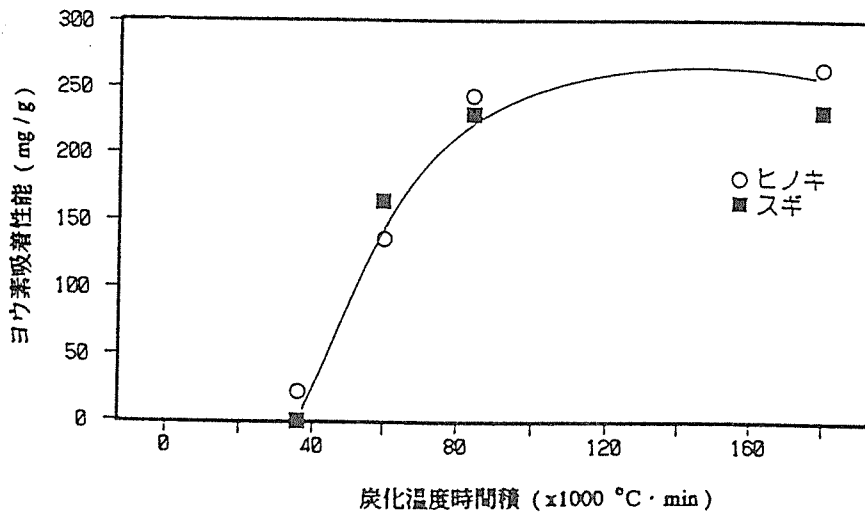


図4-17 ヨウ素吸着性能と炭化温度時間積との関係

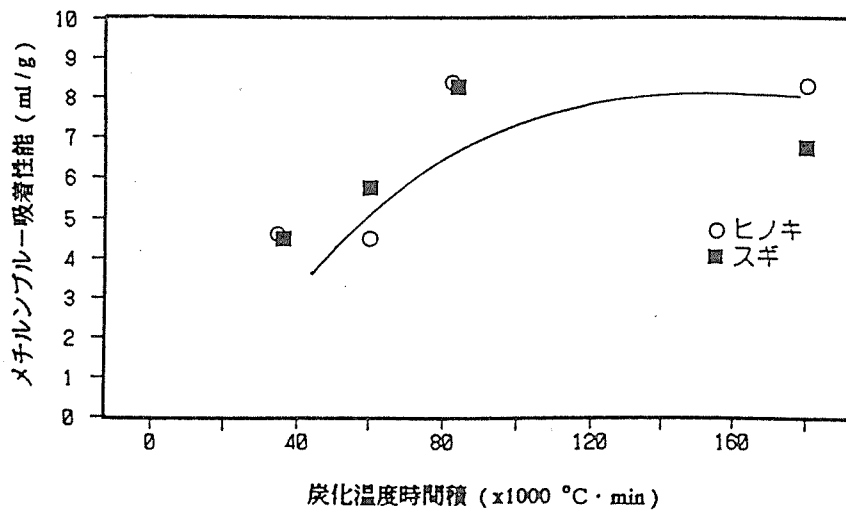


図4-18 メチレンブルー吸着性能と炭化温度時間積との関係

### 3. 2. 4 ヨウ素吸着性能とメチレンブルー吸着性能との関係

図4-19にヨウ素吸着性能とメチレンブルー吸着性能との関係を示す。ヨウ素吸着性能が高くなるとメチレンブルー吸着性能も高くなる傾向が見られた。

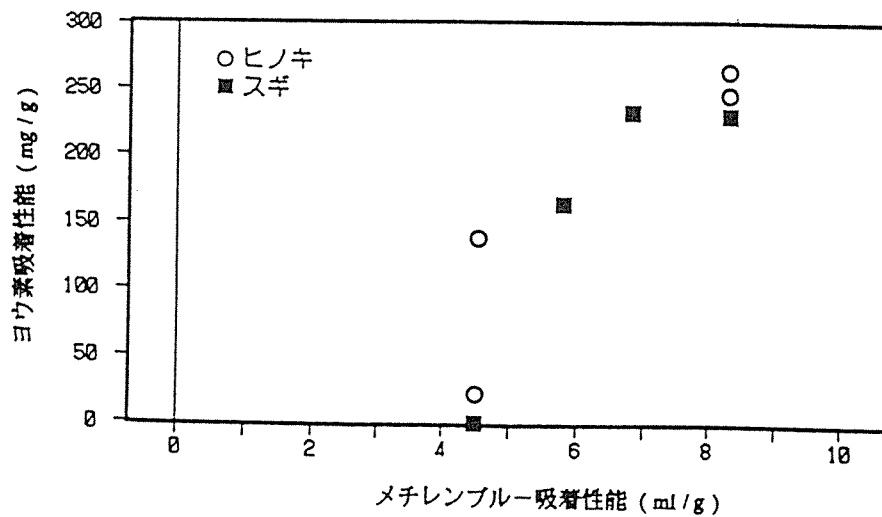


図4-19 ヨウ素吸着性能とメチレンブルー吸着性能との関係

### 3. 3 おわりに

木質残廃材の多段階利用の1段階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作ることでできる炭化物を得ることを目的に炭化条件と炭化物のヨウ素吸着性能とメチレンブルー吸着性能を調べた。得られた結果は次の通りである。炭化物の吸着性能は炭化温度が高く、炭化時間が長いほど高い吸着性能を示す傾向にあった。しかし、700°C、120分炭化と500°C、360分炭化では吸着性能に大きな差異がなかったことから、炭化時間を長くするより炭化温度を高くした方が高い吸着性能の炭化物が得られると思われる。

### 文 献

- 1) 信田 聡：木材学会誌，37(10)，981-985 (1991).
- 2) Hailwood, A.J.; Horrobin, S.: Trans. Faraday Soc., Discussion of Faraday Soc., 42-B, 84-102 (1946).
- 3) Simpson, W.T.: Forest Prod. J.: 21(5), 48-49 (1971).

## 第5章 建築廃材等からの木炭による床下気象環境効果調査

### 1. はじめに

近年、資源の大量消費はグローバルな観点からとらえれば、地球温暖化現象、身近にはごみ処理等による環境汚染などが大きな問題となり、省資源のためにかぎりある資源のリサイクルが叫ばれている。特に、石油による燃料革命が始まって以来、わが国の木炭生産は著しく減少したが、最近レジャー産業燃料として使用されたり、土壌改良用として各地で施用が試みられるようになり、木炭が多くの分野で見直されるようになった。

林業・木材産業における木質系廃材の木炭状態の各種利用そのものについては、30年以上前から研究されてきているにもかかわらず、木炭に興味があるか、木炭に関する研究を行っている研究者などのわずかな人々にのみ知るところであり、ほとんど知られてこなかった。

本研究をはじめると、これまでの木質系の炭化材の利用に関する研究成果および応用事例について調査すると、農作物の栽培に木炭を利用した例として、わが国でも古くから伝わり、東南アジア地域では現在でも行われ森林破壊の元凶とまで言われている焼畑農業が主流であり、家畜の餌に木炭の微炭粉を混入することによる肉質の向上、脱臭材など、木炭の効用に気づいたのは、経験的に集約された知見によるものにすぎない。

ところで、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に規制され、建築の場所や施工法によっては床下の湿度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い。すなわち、一般に木造住宅ではコンクリートの布基礎が使用されているが、換気孔の大きさ、数が足りないことにより、床下に湿気がこもり、木造住宅の耐久性に影響を及ぼしている。このような事から近年この対応策が求められるようになった。

そこで、我々は木炭の性質からみて、脱湿乾燥材料としての利用の可能性があると気づき、1989年（昭和64年）頃よりこの研究にとりかかった。すなわち、木炭を床下における脱湿乾燥剤として利用するには一度に大量の木炭が必要となる。したがって、安価で大量の木炭を供給するには、従来のように森林資源である木材からの木炭だけでなく、他の資材と複合した新たな資材の開発を同時に行い、木炭の諸機能と対強度性能を合わせ持つ「環境改善資材」を提供する必要がある。そして、これには従来のようにバージンの木炭でなく、その後の用材として再利用可能、または利用不可能な建築廃材を木炭化することによって、リサイクル資源として、最も有効にして、かつ多大に快適な住環境づくりを誘導することが必要である。

これまで、木造建築廃材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と考えられていたにもかかわらず、他の材料同様、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。ここにきて、地球環境が叫ば

れるようになり、リサイクル活動の一環として、再び木質資源に対するリサイクルの一層の促進が求められるようになった。故に、これまで木材加工工程に排出される大部分がただ単に熱源を得るための原材料としてのみ利用されてきた加工廃材を含め、建築廃材や物流廃材を炭化することによって、有効に利用しようとする試みを行うことにした。

本章では木炭の床下除湿乾燥材として利用の調査研究をはじめるとにあたり、

「2」ではこれまでの木炭利用の現状把握を行い、木質系の炭化利用に関する研究成果および新聞報道等に見られる応用事例について記述した。

「3」では平成元年度から調査研究」を始めているモデル住宅床下および実際に居住している住宅の床下の温湿度特性を検討した結果の一部を記述した。

「4」では平成4年12月から本事業を開始し、これまでに得られた調査研究の途中経過を報告した。

## 2. 林業・木材産業における木炭利用の実態調査

### 2. 1 これまでの木炭利用について

林業・木材産業における木質系廃材の木炭状態の各種利用については30年以上前から研究されてきている。しかし、これらの成果は、木炭に興味があるか、木炭に関する研究を行っている研究者を初めとするごくわずかな人々にのみ知るところであり、ほとんど知られていない。

本研究をはじめると同時に、これまでの木質系の炭化利用に関する研究成果および応用事例について調査、分析し、問題点を検討し、将来の利用促進について提言する前段としてまとめることにした。

すでに木炭は農作物の栽培に利用した例として、東南アジア地域では現在でも行われ森林破壊の元凶とまで言われている焼畑農業が行われているが、わが国でも古くから、家畜の餌に木炭の微粉を混入することによる肉質の向上など、木炭の効用に気いたのは、経験的に集約された知見によるものであった。

前者の土壌改良のための利用に関して考えられるは、鉍物質と有機物の混合体に各種生物が生息して、複雑な社会機構を呈しており、さらに物質の動態も多様である。このような土壌に木炭を混合することによって、どのような変化をもたらされるか、まだ十分に解明されていない。一方、後者についても経験的なことから言われていることで、これからの研究に待たれるところが多い。

林野庁および森林総合研究所をはじめ、いくつかの研究機関で多くのパイロット試験が行われてきているが、これらの事実確認をするとともに、機構解明が進められており、木炭の新たな用途開発に大きな期待がかけられている。

しかし、これらの研究は木炭および木酢液等の土壌改良資材、緑化資材、微生物賦活材、及び浄化材等への利用が大部分である。しかし、まだ研究解明の余地はあるものの、これらの成果が基盤となり、さらに研究開発が展開し、木炭生産の拡大、炭材としての小径材需要の増大等により、山村の振興に役立つことが期待されている。

本研究で取り上げようとしている、調湿剤（除湿剤）としての木炭の利用に関する事項に関しても、神社、仏閣等の床下に埋設されていることが報告されるなど、古く経験的には行われてきているにも関わらず、これらに関する研究はこれまでほとんど行われていなかった。

1986年（昭和61年）「地力増進法」施工令の一部が改正され、木炭が「土壌改良資材」として政令指定を受けたことから、木炭が持つ透水性、保水性、吸着性、地温上昇効果など優れた特性を利用されるようになった。このようなことから、最近大気汚染の防止や生活廃水の浄化等生活環境を改善することに対する認識の高まりの中で、木炭が有する水質浄化や脱臭・吸着など環境に優しい機能が評価され、木炭を活かした快適な生活環



境づくりに期待が寄せられている。しかしながら、大気の浄化や水環境改善等、「生活環境を改善する資材」として木炭の利用・活用を図るには、その効能の具体的な商材と消費者ニーズに即応した機能性に富む製品の開発、研究が必要である。

## 2. 2 日本の木炭の生産の経緯の概略と一般的性質

日本最古の木炭は愛知県喜多郡肱川町の石灰岩の洞窟から発見されたもので、これには自然の消炭と簡単な工程による人造の木炭の2種類が見られている。この洞窟の生成期は約30年前のもので、北京原人に匹敵する古さであるといわれています。

現代にいたっても、木炭は庶民に広く使用されてきた燃料である。これまで木炭生産量が史上最高であったのは、1940年（昭和28年）に269万9000トンである。戦後の木炭の生産量の最高は1957年（昭和36年）、222万2532トンで、県別では岩手、高知、北海道、福島、島根の順であった。しかし、年間生産量が220万トンのほとんどが、家庭燃料に向けられていたが、1955年（昭和38年）代以降木炭から化石燃料、ガス、電気へと移行し、毎年約20%づつの減産で、今では最盛期の1.4%となっている。このような木炭が再び、燃料だけでなく、多くの分野に供されるようになり、1986年（昭和61年）には3万500トン、1990年（平成2年）には4万トンに近くなった（図5-1）。一方、輸入について見ると、1990年（平成2年）の輸入量19,905トンの内訳は、工業用原料木炭が1万トン、レジャー用木炭が3,000ト

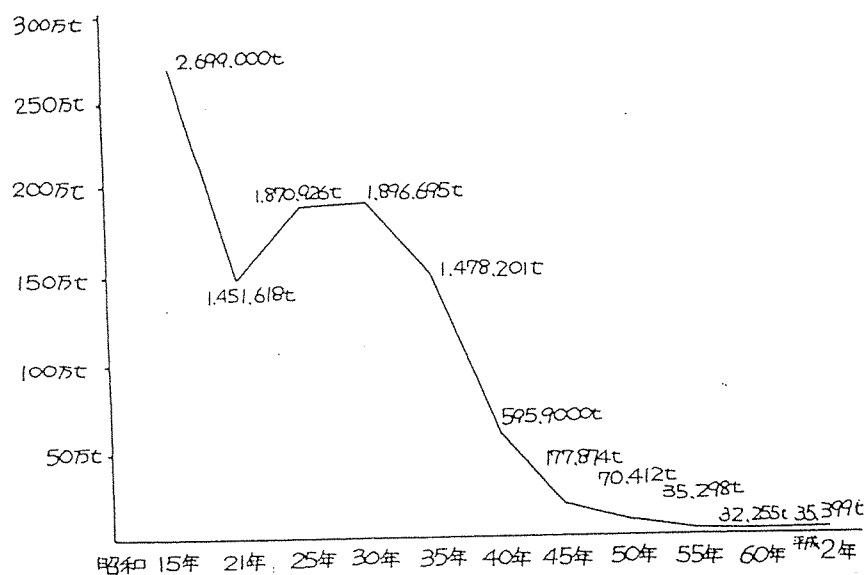


図5-1 昭和15年から平成2年までの木炭の生産量

ン、業務用調理木炭が2,500トン、その他ヤシ殻炭50,6050トン、輸入炭の内、5,000トンが土壌改良資材用であると推定されている。このように現状での輸入木炭の供給先は、おもに土壌改良材資材であり、これからこれの伸びはあっても急激な伸びは期待できない。故に、今後の木炭の有効利用は粗雑な処理でも可能な床下調湿資材としての伸びが期待できる。

#### 1) 日本の木炭の一般的性質

木炭の一般的性質を見ることにする。まず、木炭の種類は①生産地、②炭化法、③炭化の進行度、④原材料、⑤用途等によって分類されるが、それぞれの分類にしたがって一瞥する。

##### ①生産地による分類。

岩手、栃木、和歌山、秋田等が有名で、この他、茶の湯炭である池田炭（大阪府池田市産のクヌギ黒炭）、佐倉炭（千葉県佐倉市産のクヌギ黒炭）などがあげられる。

##### ②炭化法による分類。

- ・ 築窯法…白炭、黒炭
- ・ 工業的方法…平炉法、ブロックがま法、乾留法、スクリュール法、流動炉法
- ・ 簡易法…穴やき法、伏せやき法、移動式鉄板がま法、ドラムカン法、薪ストーブ法

##### ③炭化の進行度による分類。

- ・ 低温炭化木炭 400～500℃で炭化させたもの：乾留炭、平炉炭等
- ・ 中温炭化木炭 600～700℃で炭化させたもの：黒炭等
- ・ 高温炭化木炭 1000℃前後で炭化させたもの：白炭等

##### ④原材料による分類。

木炭の品質は原材料によって大きく影響される。比重の大きい材料ほど、比重の大きい木炭ができる。

## (2) 木炭の原材料による分類

一方、木炭を「原材料の違い」によって分類すると次のようになる。たとえば、

木材	└─ 広葉樹	ウバメガシ、カシ、ナラ、クヌギ、クリ（ウルシ・ハゼ・ヌルデ□を含め）、その他を雑とする。
		用途によって画用のヤナギ炭やカバ炭、研磨用のホウノキ炭、アブラギリ炭、ツバキ炭など特定される
	└─ 針葉樹	カラマツ、スギ、ヒノキ、など針葉樹を一括しマツとする。
	└─ 外国産	ユーカリ、マグローブ、サザンカ、オリーブ、アカシア
	└─ 廃材	マツクイムシ枯損木、ミカン廃木、ゴム廃木、ブドウズル廃材、住宅解体材、割箸。

その他、木炭の近縁材料をあげると、

- ① 樹皮・枝条など、
- ② 鋸屑・オガライト・ペレットなど
- ③ 竹、もみがら、ヤシガラ、梅の実、各種生花

などが挙げられる。

## 2) 地球環境に関与した用途のジャンルとしての分類。

料理用として、一般家庭用、レジャー用（バーベキュー用）、営業（グルメ）用、うなぎ、牛肉、魚、コーヒー、のり、羊羹

農業用として、融雪用、土壌改善用（果実、園芸）

工業用として、製鉄用、二硫化炭素用、金属硅素用、チタン用

環境改善用として、河川・排水・大気浄化用、ゴルフリンク用、家屋調湿用

芸術用として、茶の湯用、研磨炭、日本刀鍛錬、画用木炭、花火用黒色火薬お花炭

そのほか和歌山の備長炭のように、木炭問屋の名に由来するものもある。

## 3) 木炭の成分

さて、木質の成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニンで、炭素、酸素、水素からなる。これを酸素のない、または少ないところで加熱すると280℃前後で急激に分解が始まり、炭素ガス、一酸化炭素、水素、炭化水素類がガスになって揮発し、だんだんに炭素分

の多い、小さい炭の結晶が不規則に並んだ無定型炭素に変わると考えられている。温度が650~700℃でになると、さらに炭の中の酸素や水素が減って、表面の性質が大きく変わってくる。この温度をさらに加熱すると炭の結晶化が進んで大きな結晶(グラファイト構造)へ成長する。(ちなみに2000℃以上で高圧下におくと結晶形が変わり、ダイヤモンドとなる。)このように炭化の温度は炭の性状に大きく影響を与える。

#### 4) 木炭のマクロの孔の構造

木を加熱すると仮道管、細胞壁といった基本骨格ともいえる組織を残して炭化されるので図5-2 A、Bに示すようなハニカム構造体の炭ができる。炭化の温度が上がっても、この構造は壊れずに収縮すると言われている。

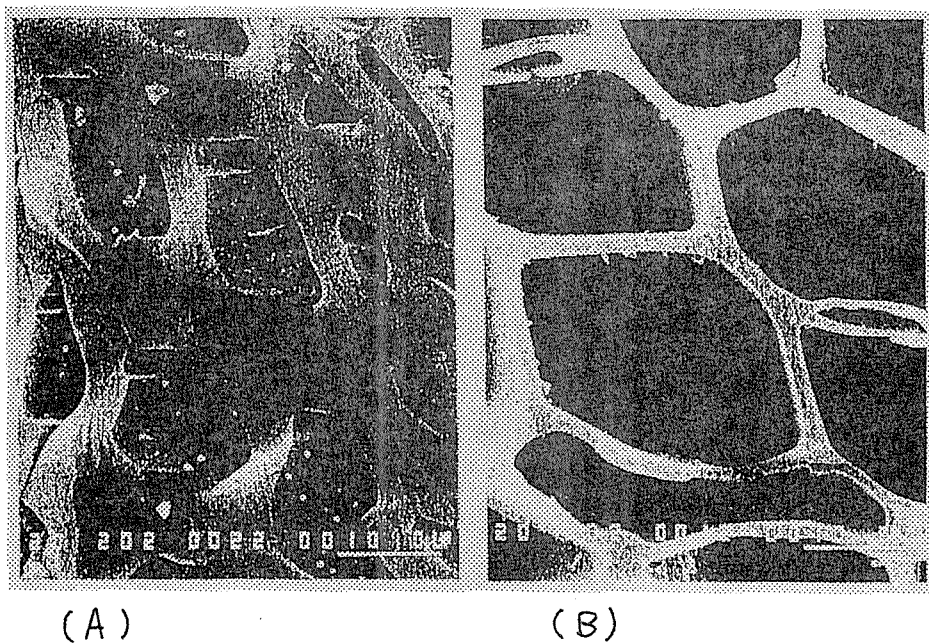


図5-2 木炭の走査電顕微鏡写真 (A:ナラ、B:アカマツ)

図5-2 A、Bの黒い部分は「炭のマクロの孔」と呼ばれているが、仮道管孔はで10~40 $\mu$ の径があり、これを白っぽく見える部分は、細胞壁が炭化してできたもので、この壁の内部にはマクロの孔の一万分の一程度の多くの細かい孔（炭のミクロの孔）がある。

ナラ、クヌギ、カシ等は図5-2 Bのようにマクロの孔が小さく、壁が厚くなり硬質の炭となるが、針葉樹は図5-2 Aに見られるようにマクロの孔の径が大きく、炭の壁が薄いため、軟質の炭となる。

この構造の違いによる使用目的を考える必要がある。例えば、燃料として木炭を使うとき、マクロの孔が大きいほど、酸素が炭の内部に進入しやすいため、反応してできた炭素ガスの拡散もよいので、火付きが良くすぐに高温を得られる。しかし、孔が小さく壁面が厚いと、燃焼速度が遅く、一定温度で燃焼を持続して、火持ちがよいことになる。

そのほか、土壌改良資材にはマクロ孔が大きく、中性に近い低温炭を、酸性土壌の中和には、灰分量の多い炭（バーク炭、中高温炭）を、床下調湿剤にはミクロ孔の多い高温炭を、排水処理の微生物担体には、マクロ孔もミクロ孔もあり、かつメタン菌の出す酸を中和、吸着できる中高温炭化物が良いと考えられる。

#### 5) 木炭のミクロの孔

電子顕微鏡写真で観察すると、木炭の壁の内側にある無数の孔のことを炭のミクロの孔といい、孔の径は1~5nm程度である。この孔は主に炭の吸着作用に関係があり、床下の調湿剤として使う際の水分の吸脱作用や悪臭の吸着作用、肥料成分の保持作用、農薬の吸着等の性状に役立っている。4)で述べたように、マクロの孔は炭化温度の影響でそう大きく変化しないが、ミクロの孔は大きく変化すると言われている。炭化温度が上がるにしたがって、木炭の内部から酸素や水素と炭素の化合物が揮発し、炭素分の比率がふえることになる。故にミクロの孔が増加し、また孔径としては小さくなっていくから、表面積もこれと対応して増加していくことになる。

#### 6) 炭化温度と水との親和性

木炭の表面には低温で炭化した炭ほど炭素と水素、酸素の化合物が多くあり、木炭を水に浸したとき、炭の中に水が侵入するのを妨げる。

炭化を高温にすると、この化合物が揮発して水に濡れやすい親水性の表面に変わる。このようなことから、親水性の表面をもつ木炭は微生物が早く付着するという実験報告もある。

#### 7) 木炭の灰分とpH

樹木は土壌中から取り入れた各種のミネラルを含んでいる。したがって、これを炭化すると、ミネラル分は灰分としてそのまま炭に残るが、これも炭化の温度と関係し、炭化温度の上昇とともにこの灰分は水に溶けやすくなる。

低温で炭化したときは、炭の結晶が小さく不規則に並んでいるが、灰分はこのような組織の中に取り込まれ、あるいは官能基と化学結合して、水には溶け出しにくい性状となっている。炭化温度を上げていくと、炭の結晶化が進んで大きい結晶になってくると官能基が破壊されるため、灰分が組織の外に押し出されて水に溶けやすくなっていく。また温度の上昇につれ、炭中のカルシウムとカリウムの溶出量もふえてくる。

炭のpHは炭固有の表面のpHと、炭からの溶出分によるpHと二通りあるが、一般には後者を測っている。これは灰分の溶出度合と比例し、同じ材であれば高温炭ほど高いpHを示すとされている。

### 8) 木炭の吸着力

木炭の吸着力はほとんどマイクロ孔による物理的吸着で、ガスや有機物を吸着するが、その他にイオン状の物は炭の表面の官能基によって化学吸着をする。高温で炭化した炭は、マイクロ孔もふえ、表面積も大きくなり、低温で炭化した炭より吸着量が多くなる。炭の吸着力をさらに高めたものに活性炭がある(図5-3)。

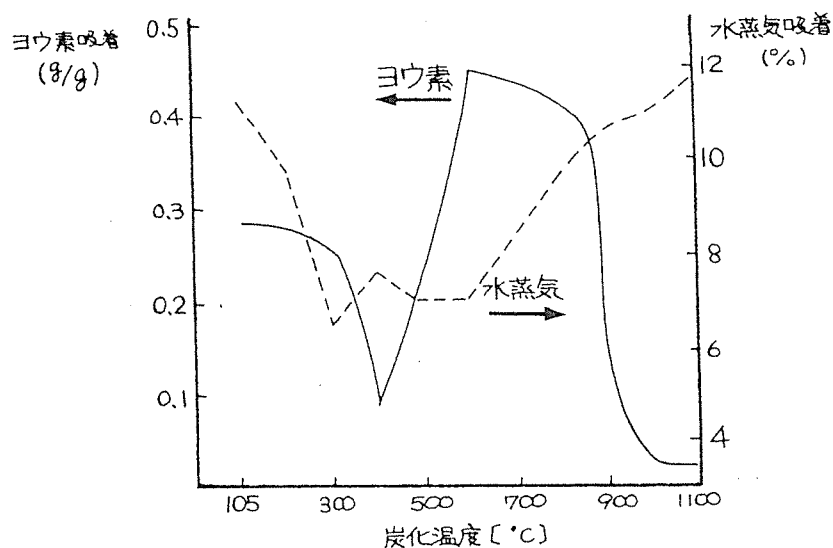


図5-3 炭化温度と木炭のヨウ素・水蒸気吸着量

※活性炭：吸着力の強い炭素質の物質。粉状または粒状。用途は吸着剤として防毒マスク、ガスまたは液体の精製、溶液の脱色、触媒など。

広辞苑・岩波書店より

金属イオンの吸着では、官能基による化学吸着が主体となりますが、低温炭ほど酸性基が多く、陽イオン交換量も多い。

重金属はアルカリ性で水酸化物をつくり不溶性になるが、炭はほとんどがアルカリ性のため、重金属は吸着してもすぐ不溶化して炭の孔の中に沈着するものと考えられる。

- 黒炭
- ・表面に皮がつき黒色を呈するので黒炭といわれる。
  - ・黒炭は炭窯内で炭化が終わると密閉して消火する。炭化温度は400～700℃である。
  - 炭化状態は窯内の位置によって違い、均一に炭化していない。
  - ・日本の炭窯は生木をゆっくり炭化するので、引き締まった良い炭が焼ける。バーベキュー、茶道用、料理用などに用いられ、代表としては、クヌギを炭材とする茶道用木炭がある。
  - ・収炭率は生木に対して20～25%である。

- 白炭
- ・灰が表面につき、白っぽくなるためこの名が生じた。黒炭より硬質で硬炭ともいわれる。
  - ・白炭は、炭化期間に窯口から空気を徐々に送り、窯内を高温1000℃位まで加熱し、精錬(ネリ)して炭質を改善する。白熱した木炭を一本ずつ窯口で集め、一回に15～20kgずつ窯外に引きずり出して消す。この時、消粉(ケソ)という灰と土を混ぜ湿気を含んだもので被い冷却する。(窯外消火法)
  - ・白炭は高温で均一に炭化しているため、燃料以外に特殊需要や工業原料に利用され、なかでも備長炭(炭材はカマガリ)が有名である。
  - ・収炭率は生木に対して10～13%である。

## 9) 炭の用途

これまで木炭の用途の大部分は燃料用と考えられていたが、その用途は多く、また今後考えられる用途も無尽蔵である。今後、森林資源の有効活用と地球環境の保全を考えると、これから開発すべき用途ははかりしれない。

これまでの燃料炭、茶道炭、工業用炭(活性炭・冶金・化学工業)、研磨炭、画用炭および飾り炭(竹炭工芸)などがあげられる。一方、これからの木炭の利用の活路は、大量使用、かつ地球環境保全、人間生活環境のレベルアップにつながる方向、すなわち、農林業、

水産業、浄水・汚水処理、や福祉関係への利用、たとえば消臭剤などへの利用を考慮すべきであろう。

本節のとりまとめは、下記の書籍等を参考、引用したことを付記する。

- ・炭や木の会編 環境をまもる炭と木酢液、家の光協会（１９９３）
- ・岸本定吉監修、農文協編：木酢液・炭で減農薬（使い方とつくり方）  
農文協（１９９２）



## 2. 3 木炭に関する研究資料

本節では、林業・木材産業におけるこれまでの研究、報告を羅列することによって、全体の流れを見る。ここに取り上げた文献は過去からの研究のごく一部に過ぎない。しかし、これまでの木炭の研究に関する研究の一部でもこれまでの木炭の捉え方をかいま見ることができるであろう。

### (a) 木炭に関する一般

1. 三浦伊八郎：「木炭講話、炭窯百態」、三浦書店（1933）
2. 三浦伊八郎：「薪炭学考料」、共立出版（1943）
3. 岸本定吉：林学会誌、34、（20）（1950）
4. 岸本定吉：製炭試験（第3報）わが国の精錬に関する研究、林業試験場報告、No. 65、139～217（1953）
6. 内田 憲：木炭を見なおす、日本林業技術協会（1958）  
岸本定吉：触媒製炭、林野共済会（1959）
7. 日本木炭史編集委員会編：日本木炭史、全国燃料会館（1960）
8. 景雷愉 「4省木炭生産技術報告」、中国林業科学研究院林産化学工業研究所（1959）
9. 里中聖一・迫 千鶴子・川瀬 清：家庭製炭と活性炭への利用、北海道大学演習林研究報告、3、42～（196 ）
10. 栗山 旭：木材の炭化、木材学会20周年記念特集号、60～64（1962）
11. 杉浦銀治・古谷剛一：木炭はよみがえる、林業改良普及双書、97～（19 ）
12. 岸本定吉・栗本 旭・八重樫勇雄・藤田俊二・芦田一夫：木炭特集、41（425）737～774（1962）
13. 里中聖一：木材炭化の基礎的研究、北海道大学演習林研究報告、22、2、（1963）
14. 岸本定吉・橋田紘洋：日本木材学会誌、15、208～213（1969）
15. 栗山 旭：林業技術史、第5巻 林産科学編 木炭、日本林業技術協会（1975）
16. 岸本定吉：[炭]、丸の内出版（1976）
17. 岸本定吉：「木炭の博物誌」、総合科学出版（1976）
18. 柳井 弘：活性炭読本、日本工業新聞社（1976）
19. 竹花邦夫：カラマツ木炭（炭素）利用による融雲試験事例、昭和6年度林業技術研究発表大会論文集（1977）
20. 杉浦銀治：研究ジャーナル、1～5（1978）
21. 大谷杉郎・真田雄三：炭素化工業の基礎、オーム社（1980）

22. 岸本定吉・杉浦銀治：日曜炭やき師入門、総合化学出版（1980）
23. 岸本定吉：森林エネルギーを考える、（株）創文（1981）
24. 岸本定吉：炭焼き産業を見直そうー森林・山村を復興する道ー、山崎農研双書3（1982）
25. 杉浦銀治：林産工業における新しい加工技術ー木炭の新用途ー、日本木材学会（1985）
26. 竹花邦夫：現代的によみがえった炭、農業富民、2、46～54、（1988）
27. 竹花邦夫：ザ・木炭ーナウイ使い方（リーフレット）、（社）全国燃料協会（1989）
28. 杉浦銀治：田舎くらしの本⑥、炭とその非熱源としての利用、ジューク出版局（1989）
29. 野口雄一郎：木炭を見直せ、THE 21、74ー78（1990）
30. 炭やきの会編：「町でやく炭やき」、ブックレット、No. 4（1990）
31. 谷田貝光克・雲林院源治：簡易炭化法と炭化生産物の新しい利用（わかりやすい林業研究解説シリーズ No. 98）、（財）林業科学技術振興所（1991）
32. 炭やきの会：木炭の新用途とその現況ー木炭はいま新しいー、日本木質成形燃料工業共同組合（1991）
33. 岸本定吉：木炭と食品、New food Industry, 32、（3）（ ）
34. 竹花邦夫：今や炭は燃料だけじゃない、現代農業（1991）
35. 岡田良仁：林業、林産業における木材廃材の炭化利用、いんだすと、6（12）73ー77（1991）
36. 小川 眞：熱帯樹木の成長と炭：熱帯林業、No. 24、47～56（1992）
37. 堀田 庸：酸性雨と関東地方のスギの衰退、森林科学、1（1992）
38. 茄子川鼎久・宮下義孝・里中聖一：ペレット木炭などの散布による融雪と自動車登坂への効果、日本木材学会北海道支部講演集、21号（19 ）
39. 里中聖一 編：木材熱科学、北海道大学演習林
40. 炭やきの会：くえるくす 、2～24  
岸本定吉：木炭新用途とは何か、特産情報、22～278（1992）
41. ウッドミック編集部：スギ、ヒノキで作った針葉樹の炭こそ今の時代にふさわしい、No. 4、28ー30（1993）

（b）炭化技術

42. 杉浦銀治・栗山 旭：林試式角形ブロックカマ、第19回日本木材学会講演要旨集（1969）
43. 岸本定吉：炭化技術、9ー25、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、（1990）

- 44. 桑垣整・田村勝美：土壤改良材等利用法に応じた木炭の適性、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、27～44、(1990)
- 45. 辻 和比古・梅野達夫 他：木炭炭化の効率化と木炭の性状況、45～54、木炭と木酢液の新用途開発研究成果(1990)
- 46. 山下邦広・森 美喜男 他：木質活性炭の製造法、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、5～67、(1990)
- 47. 木藤古徳一郎・谷池幸治・須貝由勝：山間部に適した効率的な炭化炉の開発、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、69～79(1990)
- 48. 玉川甲斐：炭化炉の改良と効率的な木酢液採取装置、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、81～90(1990)
- 49. 玉川甲斐：粉炭包装工程の自動化、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、91～98(1990)

(c) 土壤改良材関係

- 50. 杉浦銀治・古谷剛一：木炭はよみがえるー各地にひろがる新しい土づくり、林業改良普及双書、97(1988)
- 51. 桑垣 整・田村勝美：土壤改良材等利用法に応じた木炭の適性、
- 52. 関矢信一郎：土壤改良質材、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、99～105(1990)
- 53. 中嶋常充：土といのちー微量ミネラルと人間の健康、地湧社(19 )
- 54. 石垣幸三・藤江秀行・鈴木健次郎：木炭、木酢液を用いた土壤改良材の茶、みかん及び園芸作物に対する効果、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、107～119(1990)
- 55. 奥津正彦・橋本 伝・藤山和彦 他：木炭及び木炭を用いた土壤改良材の水稲、園芸作物りんご等に対する効果、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、121～131(1990)
- 56. 細山田典昭・半田 弘・岩切節洋 他：バーク粉炭を用いた土壤改良材の製造法とその野菜栽培に対する効果、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、133～140(1990)

(d) 緑化用資材

- 57. 渡辺次郎：海岸砂地におけるクロマツ植栽法に対するー考察、緑化工業技術、11(1)(1984)

(f) 浄化材

75. 松本 聡：浄化材、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、269～274  
(1990)
76. 桑垣 整・田村 勝美：炭材を微生物担体として用いた水浄化法及び脱臭法、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、275～283 (1990)
77. 福嶋礼造：木炭の嫌気性生物処理への対応、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、285～294 (1990)

(g) 木酢液の精製と利用技術及び木炭による消臭化技術

78. 岸本定吉：わが国木炭の精練に関する研究、林業試験場研究報告、65号、  
(1953)
79. 杉浦銀治：廃材炭と木酢液による鶏ふん乾燥時の消臭効果、木材工業、29、  
(1974)
80. 杉浦銀治：木炭と木酢液による畜産悪臭公害の防除法、研究ジャーナル、V o 1、  
1 (1978)
81. 谷田貝光克：木酢液の精製と利用技術及び木炭による消臭化技術、木炭と木酢液の  
新用途開発研究成果、285～294 (1990)
82. 野木 静・鯨岡啓智・山内晴良：木酢液の精製の果樹、樹木等に対する成長促進効  
果、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、315～330 (1990)
83. 林 良太郎・坂下堅太郎：精製木酢液を用いた土壌施用材及び葉面散布剤の作物に  
対する効果、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、331～341 (1990)
84. 石井英之・松林重光・永井 明：分画採取木酢液の園芸作物の生育に及ぼす効果、  
木炭と木酢液の新用途開発研究成果、343～362 (1990)
85. 木藤古徳一郎・谷池由勝：木炭を用いた消臭堆肥化技術、木炭と木酢液の新用途開  
発研究成果、363～371 (1990)
86. 榎本順一：ヒノキ炭、ヒノキ酢がうれだした(上)、現代農業、(8)66-68  
(1990)
87. 榎本順一：ヒノキ炭、ヒノキ酢がうれだした(下)、現代農業、(9)120-  
121 (1990)
88. 岸本定吉：木酢液、大日本山林会報、No. 1130 (1978)
89. 岸本定吉：木酢・炭で減農薬ー使い方と作り方ー、(社)農山漁村文化協会  
(1991)
90. 炭やきの会：エコロジカル・ライフー環境を守る炭と木酢液、家の光協会  
(1991)

- 58. 渡辺次郎：海岸クロマツ植栽木に対する木質系資材（木炭・おがくず堆肥）の効用効果について、緑化工業技術、12（1）（1986）
- 59. 竹花邦夫：木炭の土壌改良資材適用例、全燃会報（1988）
- 60. 岸本定吉・杉浦銀治：緑化と木炭、グリーンエージ、12、15～21（1991）
- 61. 深沢和三・三井茂夫：木炭の秘めたパワー、北海道の木質系炭化物の現況とその利用、（財）北海道地域技術センター（1990）
- 62. 越野正義：緑化用資材、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、143～153（1990）
- 63. 佐野英男、帯刀英二、堀尾俊彦：木炭混入緑化用生育基盤材の草、木本植生の生育に及ぼす効果（1）、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、155～165（1990）
- 64. 相場文雄・夏目祥吾・小島 稔：木炭混入緑化用生育基盤材の草、木本植生の生育に及ぼす効果（2）、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、167～171（1990）
- 65. 光永演充・坂手三千へい・丹 明博・伊藤恭子：木炭使用土壌改良材の法面緑化工法における効果、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、173～188（1990）

（e）微生物利用と炭

- 66. 小川 眞：炭とショウロ、林業試験場場報、No. 223、（1983）
- 67. 小川 眞：炭と共生微生物、林業試験場場報、No. 244、（1984）
- 68. 小川 眞：炭を使った土壌微生物相の調節、研究ジャーナル、Vol. 7（3）、農林水産情報協会（1984）
- 69. 橋本奨：粒状活性炭への難分解性物質分解菌の固定化とその分解能、水道協会雑誌、55（8）（？）
- 70. 小川 眞：微生物利用と炭、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、191～197（1990）
- 71. 曾田 良・重光春洋：VA菌根菌胞子増殖法、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、199～212（1990）
- 72. 安原 稔・森 正樹・山岡和美・芦原通之：木炭の土壌微生物調整材としての利用法、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、213～228（1990）
- 73. 高木重樹：木炭を用いた根粒菌接種源の調整法と共生するマメ科植物に対する効果的接種法、木炭と木酢液の新用途開発研究成果、229～248（1990）
- 74. 野口勝憲、紀岡雄三・増村弘明・小瀬川泰雄：木炭の有用微生物賦活材としての利用法、249～265、木炭と木酢液の新用途開発研究成果（1990）

## 2. 4 木炭に関連した商品開発事例の新聞記事 等

昭和59年頃より、木炭に関連した記事を拾い上げてみると、主に森林資源の商品開発を中心としたもので、この中でも土壌改良剤、脱臭剤などは多く見かけられるが、脱湿材に関連するものは、39件中 No. 23、32、37とわずか3件にすぎない。

番号	記 事	掲載新聞名	日付け
1	木炭	読売新聞	S 59. 1. 7
2	木炭自動車	朝日新聞	S 59. 2. 4
3	木質系固形燃料	日農	S 59. 5. 4
4	木炭とワサビ栽培	日農	S 59. 5. 8
5	木質系固形燃料	日経産業	S 59. 7. 14
6	割箸木炭	朝日新聞	S 59. 9. 30
7	木炭の活用	東京新聞	S 59. 11. 12
8	燃料（廃材利用）	日本経済新聞	S 60. 12. 26
9	CCOM（複合燃料）	日本経済新聞	S 61. 7. 16
10	木炭と植物	サンケイ	S 61. 6. 20
11	木炭を土壌活性材に	日農	S 61. 10. 2
12	木炭を調理に利用	日本経済新聞	S 61. 10. 6
13	木炭の活用・技術組合設立	日本経済新聞	S 61. 10. 10
14	木炭の農業への利用	日農	S 61. 1. 21
15	炭焼き挑戦	読売新聞	S 61. 11. 25
16	木炭の活用	朝日新聞	S 61. 12. 11
17	木炭の脱臭効果	朝日新聞	S 61. 5. 7
19	木炭を調理に活用	日本農業	S 61. 9. 11
20	木炭の活用	奈良新聞	S 61. 12. 28
21	木炭 いまモチモチ	朝日新聞	H 1. 1. 6
22	木の国おこすヒノキ炭	日本経済新聞	H 1. 6. 27
23	処理に困る建築廃材再利用、炉 もうけ木炭づくり	徳島新聞	H 2. 8. ?
24	まきストーブ	読売新聞	H 1. 11. 26
25	<u>木材炭化の床下調湿材</u>	日本流通新聞	H 2. 2. 4
26	マングローブ材利用の木炭	日本流通新聞	H 2. 2. 25

番号	記事	掲載新聞名	日付け
27	木炭人気が熱い熱い	毎日新聞(夕)	H 2. 2.25
28	備長炭より良く焼ける	日本流通新聞	H 2. 2.27
29	活性炭増やす一家庭用浄水器	日本経済新聞	H 2. 2.28
30	薪利用でエコ火力発電	朝日新聞	H 2. 4.24
31	木炭の製産量の動向	南日本新聞	H 3. 5.20
32	木炭の河川浄化	南日本新聞	H 4. 3.26
33	木炭の河川浄化の確認	南日本新聞	H 4. 5.20
34	<u>木炭を床下除湿材利用</u>	南日本新聞	H 4. 8.21
35	木炭の浄化、脱臭効果利用	産業経済新聞	H 4. 9. 8
36	炭の成分で悪臭を分解	日本経済新聞	H 4.10. 8
37	木炭普及で熱帯林保護ービデオ化	日本経済新聞	H 4.10. 9
38	木炭の不思議な効能を発見	全燃会報	H 5. 1. 1
39	<u>木炭一頼れる床下の乾燥剤</u>	読売新聞	H 5. 1.13
40	木炭を使い川水浄化	毎日新聞	H 5. 3.14
41	木を使わない炭	日本住宅新聞	H 5. 4.25

### 3 実験モデル住宅及び居住家屋における床下の湿度環境に関する調査研究

#### 3. 1 実験モデル住宅における床下の相対湿度環境について

##### 1) はじめに

住居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、満足して住めることで、それには住居の環境（以下住環境と呼ぶ）において居住者が生活するのに適したものでなければならない。これを評価するためには物理的なものと、精神的なものに大別されるが、前者は、熱環境（温度・湿度など）、空気環境（粉塵・有毒ガス・気流など）、光環境（明るさや色彩）、音環境（騒音の有無など）、後者は文化的、教養的な環境、インテリアなどがある。この二つの環境（物理的環境と精神的環境）は同時に考えていかなければならない。本節では住宅内の床下における物理的環境の熱環境という特定した環境について検討した。

1988年（平成63年）よりモデル住宅の床下（地上高20cm）および室内の温度および相対湿度を年間を通して継続測定しているが、ここでは床下内の湿度の季節変動と四季ごとの湿度特性を明らかにした。ここではモデル実験住宅、五棟の床下の温度・相対相対湿度を測定し、床下環境の改善法とその効果を検討した。

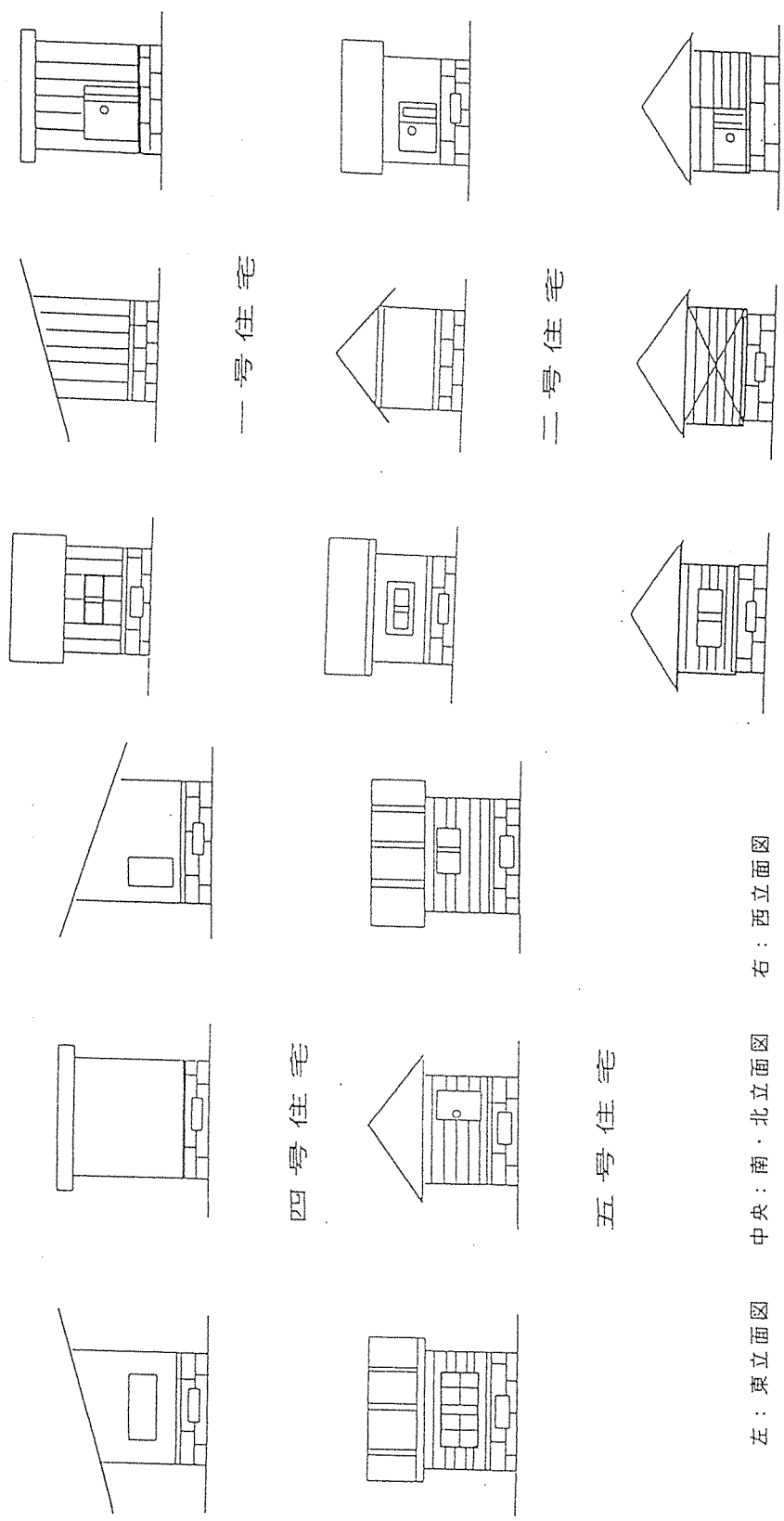
##### 2) 測定方法

実験住宅の様式は、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）および床下のみ（第六号住宅）の6棟である。第六号住宅を除く、5棟はいずれも平屋建て、床面積4㎡、基礎はコンクリートブロック二段積み、地上から床下高40cmでそれぞれ異なる外壁及び内壁を有している。

これらの実験住宅の鳥かん図は図5-4に見られるような形態をして、床下の換気孔の配置図は図5-5に示すように換気孔の数、方向が異なるのが特徴である。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畑の一角に設置した。測定に用いた温度・相対湿度センサーは各実験住宅の床下にそれぞれ設置した。これら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、プリンターに印字した。測定は1988年3月29日より開始しているが、それまでは乾球-湿球温度により換算することにより、相対湿度を計算してきたが、1990年（平成3年）6月から相対湿度センサー（RHD-J120 ㈱神栄電機製）を設置し、測定を継続している。

1988年（昭和63年）から1990年（平成3年）までは床下に木炭を敷きこまず、相対湿度を測定してきていたが、1990年（平成3年）6月11日より木炭を敷き込み、六棟の床下の相対湿度を測定している。布袋入り（1袋 18リットル）の木炭を敷き込んだ。敷き込みは業者の指示どおり1.26m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>である。





一号住宅

二号住宅

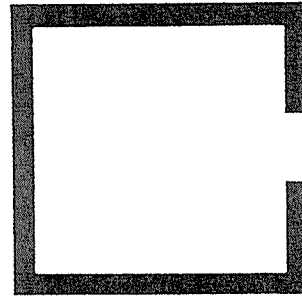
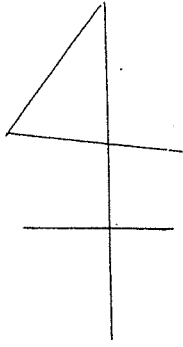
三号住宅

四号住宅

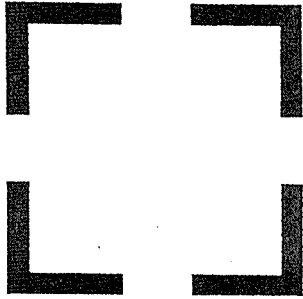
五号住宅

左：東立面図 中央：南・北立面図 右：西立面図

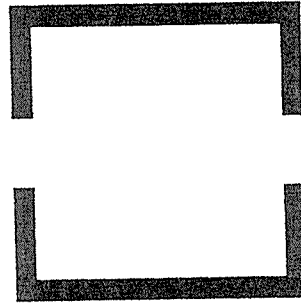
図5-4 モデル実験住宅の鳥かんばん図（第1号から6号）



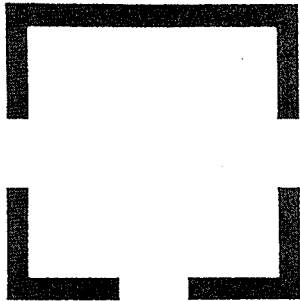
一号住宅



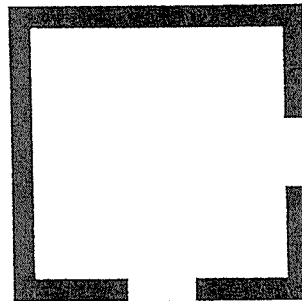
五号住宅



二号住宅



四号住宅



三号住宅

図5-5 モデル実験住宅の換気孔の配置と数

その後、1992（平成4年）年5月までは、どの住宅にも昨年からの木炭が敷き込まれた状態のままであったが、1992年（平成4年）6月になり、第一号住宅は継続し、第二号住宅には袋から取り出した木炭を約15cmの厚さに敷き込み、第三号住宅はビニールシートを敷き、第四号住宅は厚さ10cmのモルタルを埋設し、第五号住宅は何も処理せず、それぞれの床下環境（相対湿度）を測定することにした。また、木炭による床下環境をさらに検討していくために、1992年（平成4年）11月25日から1993年（平成5年）1月13日の間、一週間毎に木炭の重量を測定し、床下にある木炭の吸着量の度合を推定することにした。

### 3) 実験結果と考察

#### ① 換気孔の数及び配置が床下環境に与える影響について

第一号住宅から第三号住宅の床下の日平均相対湿度の年間変動では、梅雨時期の相対湿度が3種類の換気孔の配置ではあまり大きな差は見られない。しかし、換気孔が1カ所しかない第一号住宅は他の第二、三号住宅に比較すると変動は少ない。これは換気孔が1カ所だけであるため、空気の流通が起こりにくいことを意味している。一方、第二、三号住宅の換気孔の配置は対称、もしくは直角の2カ所であるが、第三号住宅の相対湿度の変動は第二号住宅のそれよりわずかに小さい。この原因は第二号住宅の床下の換気孔が対称に設置されているために、第三号住宅に比較して、空気の流れが良いことを裏づけるものであろう。

第一号住宅から第六号住宅の床下の日平均相対湿度の日間変動を見ると（図5-6、7）、換気孔が1カ所または全然存在しない第一、六号住宅の相対湿度の変動は、他の住宅より高い位置を変動しており、換気孔の有無が床下の相対湿度の変動に大きな影響を及ぼしていることがわかる。これらの図にも明らかのように、全く換気孔のない第六号住宅は90%～70%の高い位置の相対湿度を示しており（図5-7・B2およびB3）、第四号住宅と第五号住宅を比較すると、前者が約10%の相対湿度が低い（図5-7・B3およびB4）。これは換気孔の数の差によることに原因していると考えられる。これらのことから、床下の換気孔は多い方が良く、換気孔の数が同じである場合は、対称に配置した方が良いことを意味している。

そこで、換気孔の数と配置については、図5-5に示したが、床下の条件が同じ1月から6月までの床下の日平均相対湿度を表5-1に、6ヶ月にわたる各モデル住宅の床下のクリモグラフを図5-8に示した。これより四号住宅は低い平均相対湿度を示している。また、換気孔の数が同じ二号住宅と三号住宅を比べると、二号住宅の方が若干低い範囲で変動していることがわかる。五号住宅に関しては、南北の換気孔が四号住宅の換気孔のないところとブロックに挟まれており、あまり換気孔としての機能が果たされず、四号住宅

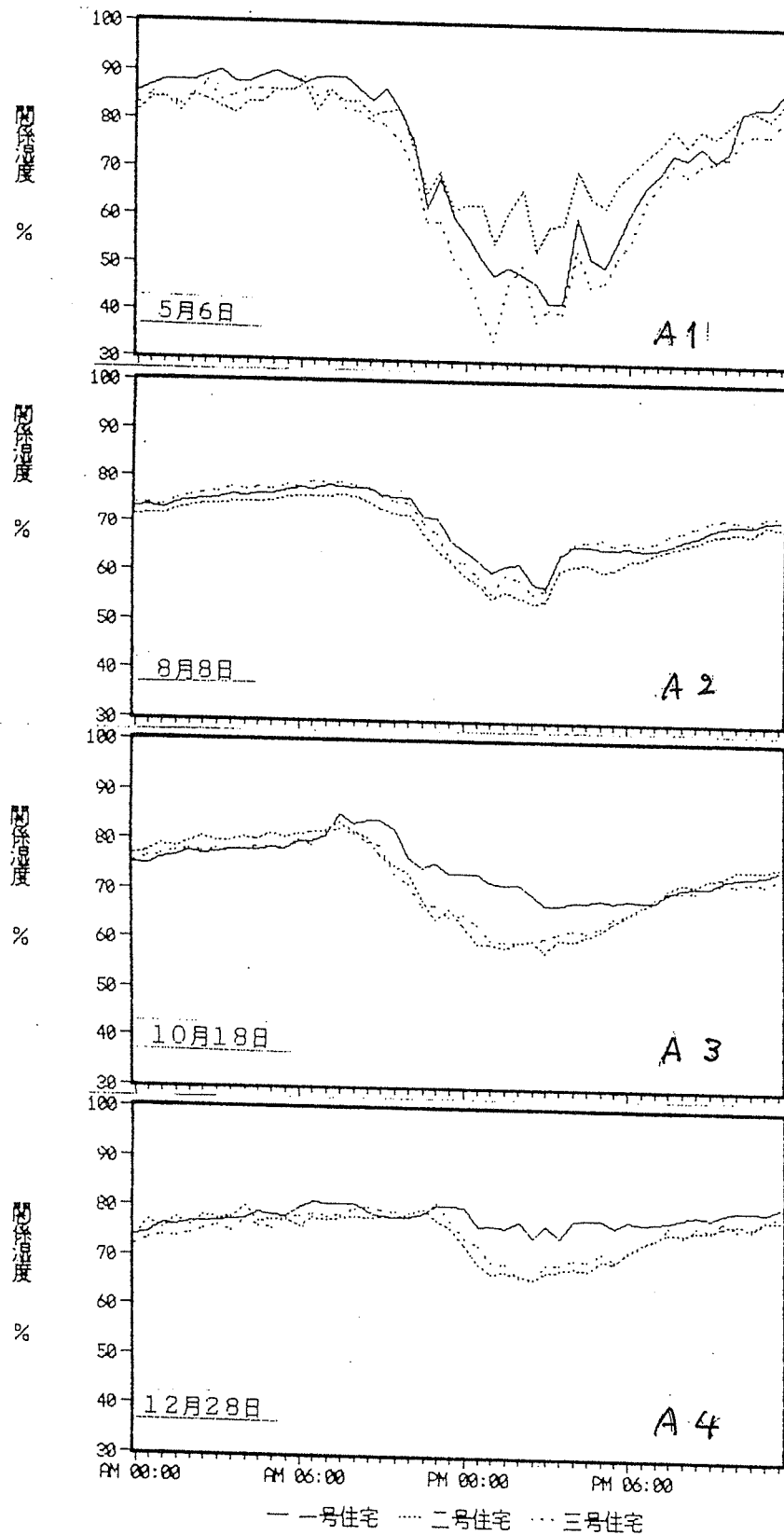


図5-6 季節別の日間変動 (第1、2、3号住宅)

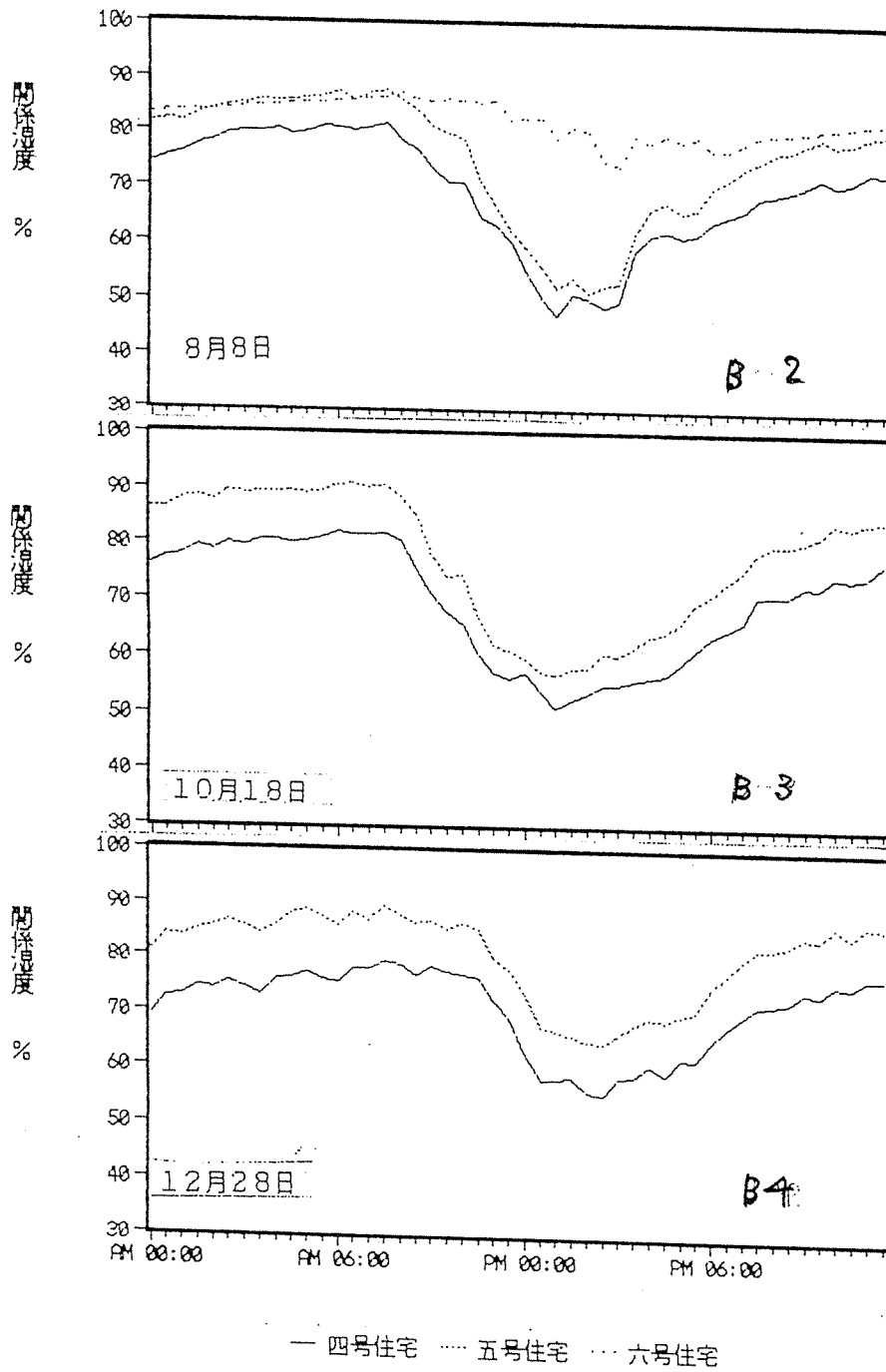


図5-7 季節別の日間変動 (第4、5、6号住宅)

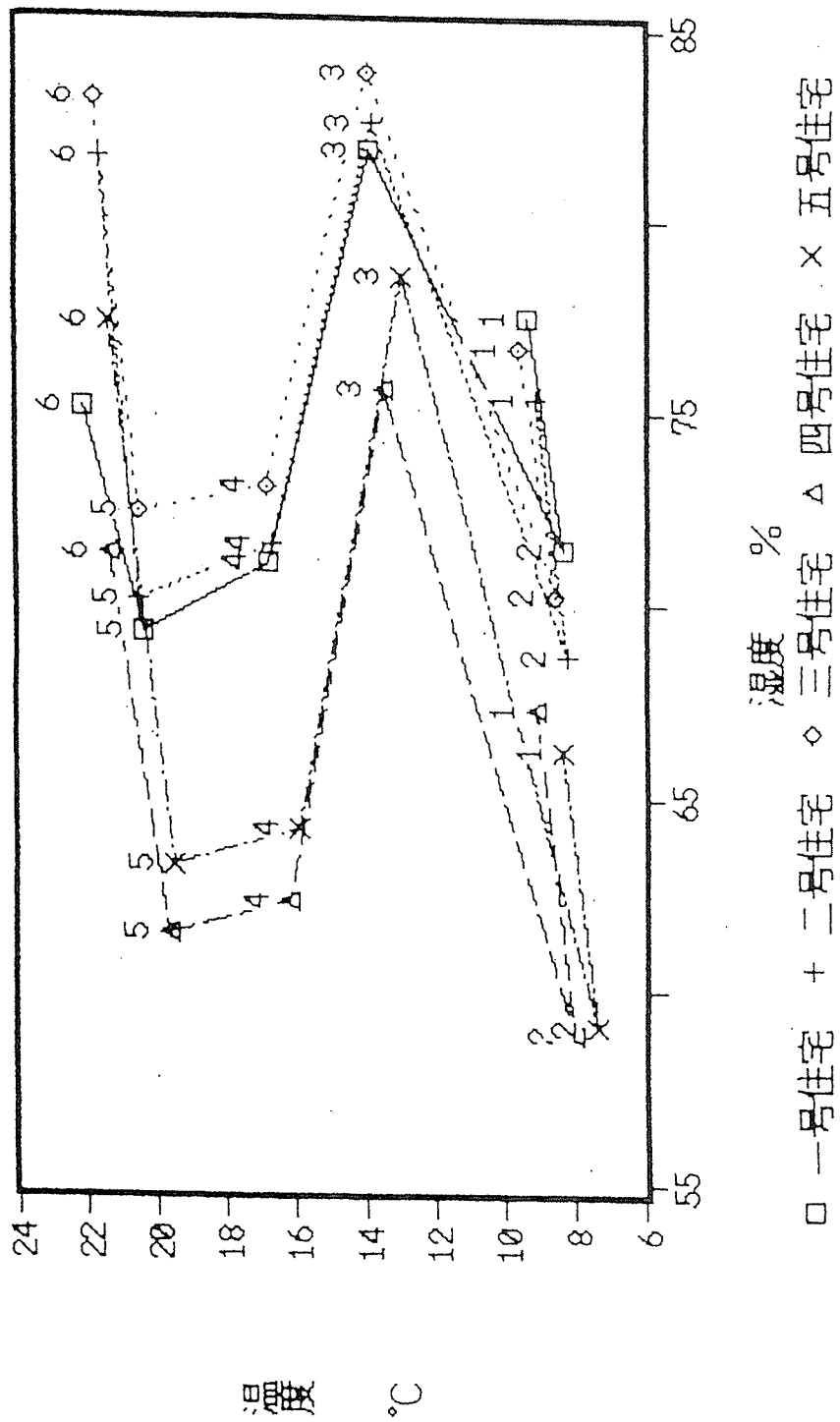


図5-8 木炭を敷き込んだ時の1月から6月までの床下クリモグラフ

より空気の流れが悪かったのではないかと考えられる。

これらのことから、換気孔は多い方が良く、同じ数でも対称に設置する方が良いということが考えられる。又、一号住宅から五号住宅を比べると、四号住宅の床下環境が最も良いと考えられる。

前述したように  
1990年(平成2年)  
6月に第一号住宅から第六号住宅まですべての床下に木炭を敷いた。木炭を挿入したことによる効果を見るために、挿入後1週間、1カ月後から6カ月まで一月毎に相対湿度の変動を

見るために、外気の相対湿度の日較差と床下のそれとの差を求め、その結果を表3-2に示した。この表から明らかなように第一～三号住宅の場合、木炭敷き込み後、1週間から3カ月までは相対湿度の明確な差は見られないが、4カ月が過ぎると、第一、六号住宅の相対湿度の日較差の差は他の住宅のそれよりも高い値を示している。この高い値を示すことは、外気の相対湿度の日較差に比較して床下の相対湿度の日較差の変動が小さいことを意味する。このことは木炭の敷き込みの効果が出てきていること意味すると考えて良い。

## ② 木炭、ビニールシート、モルタルの効果について

1992年(平成2年)6月20日に四号住宅の床下をモルタル敷きに変更し、6月24日に三号住宅の床下にビニールシート敷き込み、6月30日に二号住宅の床下一面に袋から取り出した木炭を直接敷き込んだ。但し、一号住宅の床下には昨年からの木炭の袋を敷いたままの状態とし、五号住宅の床下は木炭の挿入を取りやめ、土壌がむきだしのままの状態である。

表5-1 各モデル住宅の床下の日平均相対湿度

期日 No.	10/11	11/13	12/12
一号住宅	70.2	77.8	76.1
二号住宅	69.6	76.9	71.7
三号住宅	69.1	76.1	70.9
四号住宅	64.0	73.8	65.8
五号住宅	71.7	85.3	75.7
六号住宅			
外 気	63.3	75.4	68.1

表5-2 各モデル住宅床下の相対湿度の日較差と外気の相対湿度の日較差の差

住宅別 経過数	一号住宅	二号住宅	三号住宅	四号住宅	五号住宅	六号住宅
挿入前	17.477	16.581	16.161	9.943	10.879	26.974
一週間後	15.986	15.810	14.401	7.201	6.087	26.976
一ヶ月後	15.283	13.769	15.173	7.203	4.117	21.754
二ヶ月後	15.470	13.760	13.523	6.786	4.336	20.291
三ヶ月後	19.804	16.957	17.364	11.091	9.077	25.854
四ヶ月後	25.873	19.277	21.970	14.731	12.850	—
五ヶ月後	28.763	20.276	20.269	15.600	14.636	—
六ヶ月後	25.423	17.100	17.143	11.899	11.351	—

ここで、二号住宅の床下に木炭を敷き込んだ6月30日を基準にして、6月23日～29日を木炭挿入前、7月1日～7日を木炭挿入の一週間後、8月1日～7日を一ヶ月後、9月1日～7日を二ヶ月後、10月1日～7日を三ヶ月後、11月1日～7日を四ヶ月後、12月1日～7日を五ヶ月後とし、7日間の平均値及びグラフを示した。

各期間における外気相対湿度の日較差と各住宅の床下相対湿度の日較差との差を求めた。ここではそれぞれの期間の7日間の平均値を示した。外気相対湿度の日較差と床下湿度のその差を図5-9に示した。この図から明らかなように、どの住宅も同じような変



日較差

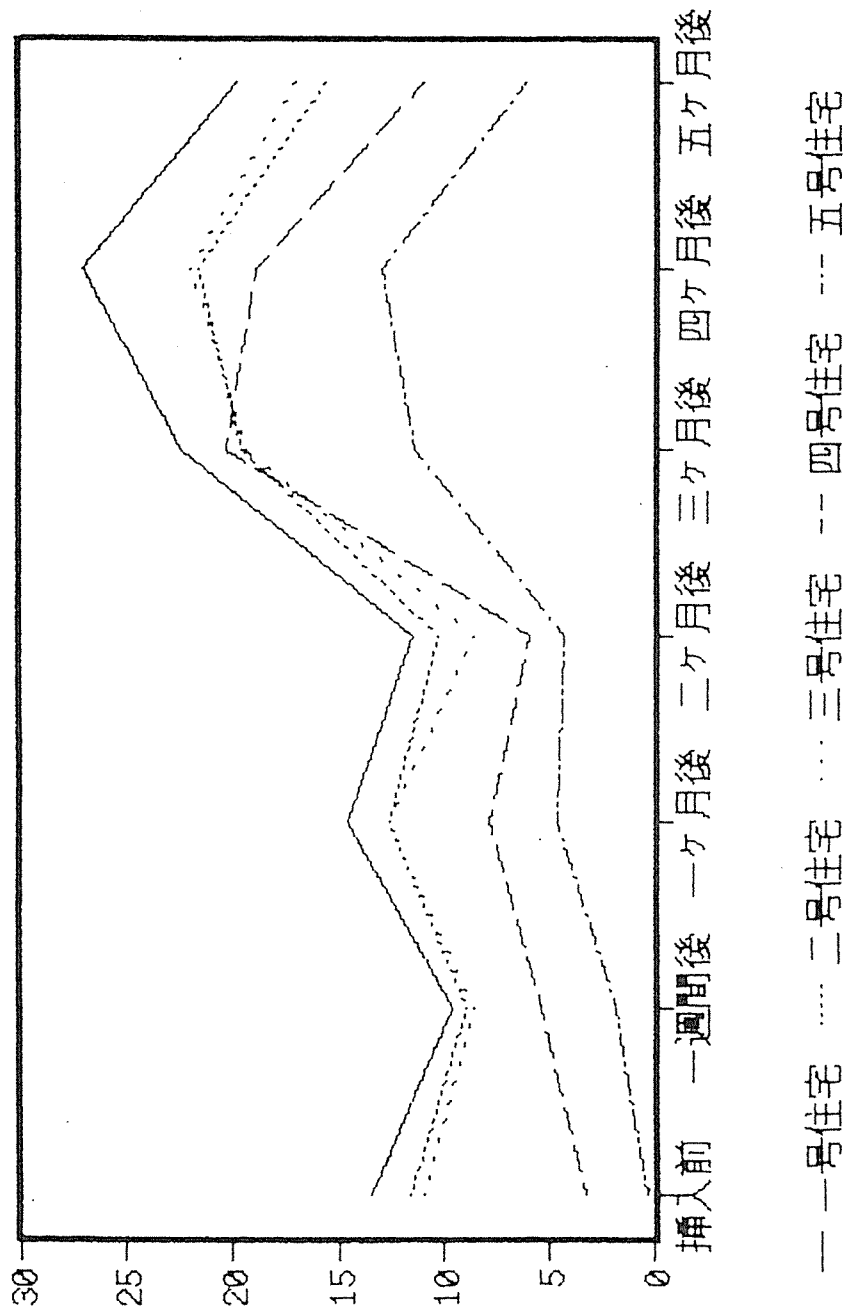
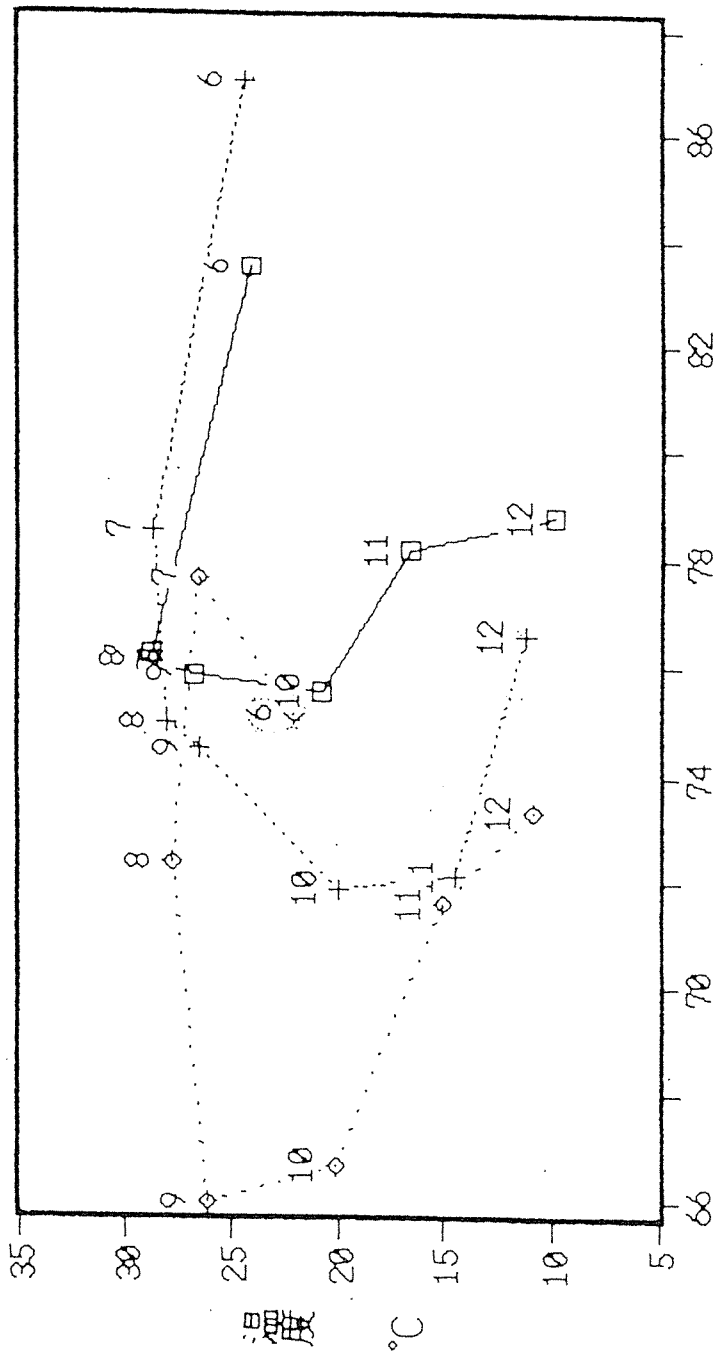


図5-9 外気の相対湿度の日較差とモデル実験住宅の床下温度の日較差

化を示しているが、木炭を敷き込んである一号・二号住宅の値は他の住宅の値よりも高い値を示していることがわかる。高い値を示すことは、外気相対湿度の日較差に比べて床下相対湿度の日較差の変動が小さいことを示している。このことは、木炭が床下環境の改善につながることを示している。しかし、本実験においては、換気孔の数や配置が異なるために木炭の影響によるものかははっきりしないが、換気孔が一つしかなく、外気にあまり左右されない一号住宅の木炭を敷いた際の三年間の温湿度変動を図5-10に示した。これより、床下の相対湿度は木炭を敷き込むことで年々低くなっており、明らかに木炭によって床下環境は改善されていると考えられる。三号住宅の床下の相対湿度は、二号住宅の床下より高い値を示しているが、これは換気孔の配置が原因で、空気の流れがあまり良くないためではないかと考えられる。



湿度 %  
 □ 1990年 + 1991年 ◇ 1992年

図5-10 第1号住宅の木炭敷き込みによる床下クリモグラフィ

図5-11に示すように、ビニールシートもしくは、コンクリート敷設は生態的な水分の蒸発がこれらの直下で阻止されるので、地中の水分は長い年月の経過とともに、腐敗することが考えられる。

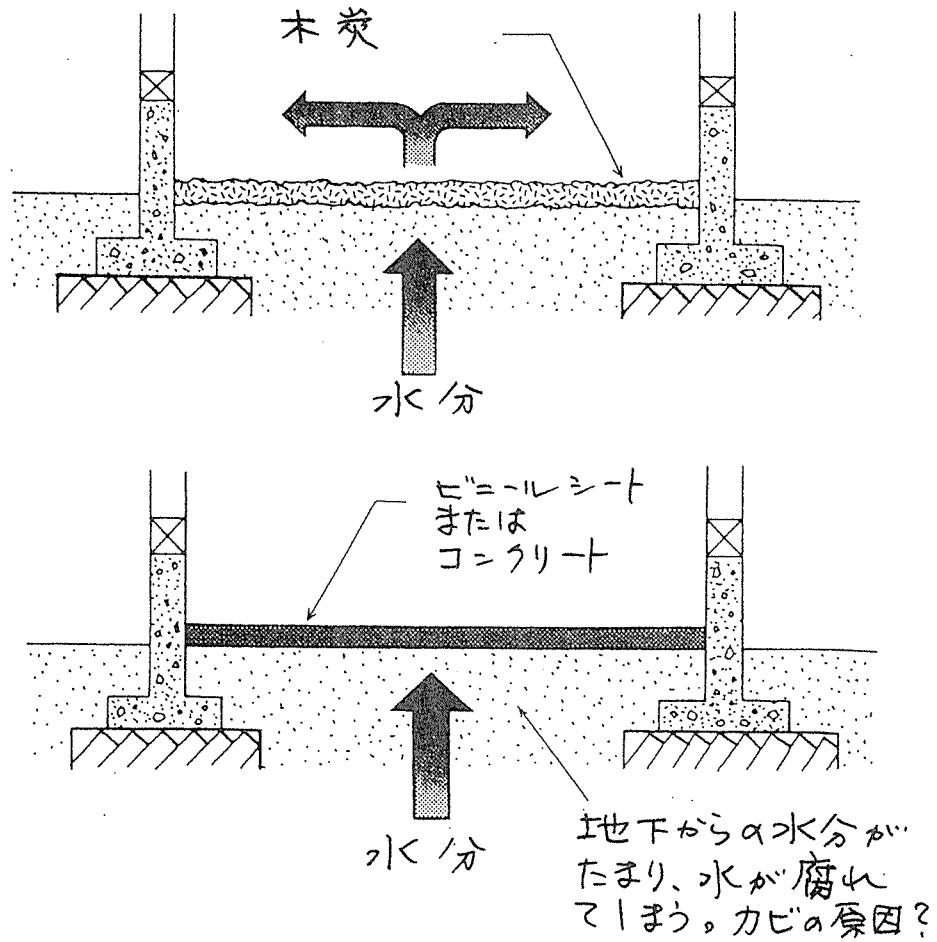


図5-11 (A) 木炭の敷き込み 及び (B) ビニールシートまたは  
コンクリート張り

現実に、ビニールシートやコンクリートは地面へ水滴などの蒸発を防ぐ役割はあるが、特にビニールシートの裏と地面の表面に結露が生じ、カビも生えていることから、土壌の表面だけでなく、土壌そのものが呼吸ができず、腐れはじめていることが十分に推察でき、床下環境の改善にはならないと考えられる。第四号住宅のモルタル敷き込みは、表5-2から明らかのように何の処理をしていない第五号住宅よりは含水比が低いですが、本実験においては、換気孔の数と配置が異なったため比較できず、床下環境の改善とまでは言えなかった。

### ③ おわりに

以上、各住宅の床下の温度環境と湿度環境について、その結果をまとめると、換気孔については四号住宅が最も優れている。このことから換気孔が多いほど良く、換気孔の位置は対称に設置するのが良いことが明らかになった。また、調湿機能がみられた木炭の敷き込みは床下環境の改善に対して効果があると考えられるが、ビニールシートやモルタルの設置による効果は本実験ではっきりと言えないものの、特にビニールを張り巡らせたとき、土壌が腐れ、カビがはえており、逆の効果が大きいと考えられる。

今後は換気孔の条件を同じにし、床下の条件を変え、より良い環境を作るための研究がなされることを期待している。

### 3. 2 木炭による木造住宅床下の相対湿度、部材の含水率状態について

#### 1) はじめに

木造住宅の基礎は一般にコンクリートの布基礎が使用されているが、換気孔の大きさが足りなかったり、宅地が湿りすぎている場合などは床下に湿気がこもり、木造住宅の耐久性に影響を及ぼすこともしばしば認められ、この対応策が求められている。一方、近年資源の大量消費にともない、グローバルには地球温暖化、身近にはごみの処理が大きな問題となり、資源のリサイクルが叫ばれ、木材についてもリサイクルのよりいっそうの促進が求められている。その一環として、建築廃材や物流廃材を小さく砕き、自動炭化装置により炭化し、利用しようとする試みがある。この廃材粒状木炭はほとんど土地改良剤として利用されているが、一部のものは木造建築の床下に敷き、床下にこもった湿気を取るための乾燥剤としての利用が試みられている。この試みは実は江戸時代から土壌の床下に炭を敷き込み湿気を著節してきたという先祖の知恵に見習ったものである。

しかし、廃材粒状木炭が床下の湿度調節にどれだけ機能するか、は十分に立証されていない。そこで、その効果について1990年（平成2年）10月から検討してきているので、その途中経過について報告する。

#### 2) 実験方法

市販の床下調湿用粒状木炭は、通気性のある不綿布の袋につめられ、座布団状になっているが、このマットを床下に敷き詰めれば良く、1坪に16袋敷くようになっている。

試験は現在居住中の住宅を用いている。1990年（平成2年）10月、住宅の床下を3区分し、粒状マットを敷き詰めたもの（木炭区）、ビニールシートでおおったもの（ビニール区）、無処理のもの（対照区）の試験区をもうけた（図5-12）。ビニール区は床下土壌面から湿気を防ぐ効果を見たものである。

以上の条件で実験をはじめ、その後1年9カ月たった1992年（平成4年）6月、ビニール区に木炭を敷くとともに、（ビニール+木炭）、対照区の一部にも敷いた（木炭（洋間下）区）。以下、1990年（平成2年）10月設定の試験を第1回試験、また1992年（平成4年）6月設定の試験を第2回試験と呼ぶことにする。

図5-12からも明らかなように、試験区の大きさがそれぞれで異なるほか、各試験区の換気孔の数もことなり、実験条件を均一にすることはできなかったが、居住中の住宅を用いたこの種の試験としてはやむをえないところであった。これらの各試験区および外気の温度は熱電対センサー（Tタイプ）を用い、湿度は湿度センサー（バイセラ社製）を用いて、3時間毎に連続的に測定した。

また、木炭区と対照区に含水率測定用試験体を吊り下げ、1週間に1度重量を測定し、含水率を求めた。

なお、第1回試験の対照区に用いた湿度センサー（旧センサー）が旧式で高湿域の指示

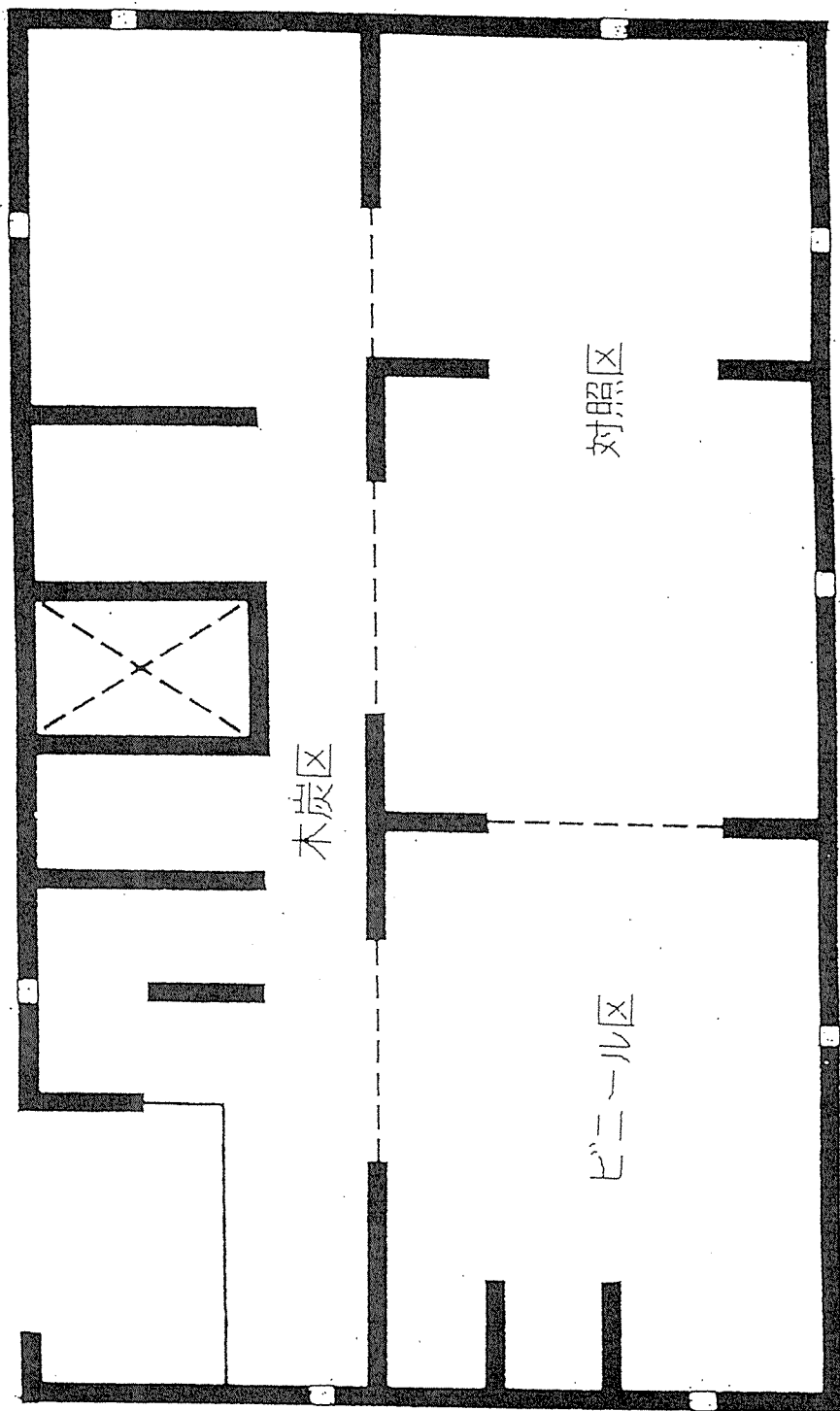


図5-1-2 実験住宅の布基礎図（埼玉）

値に以上が認められたので、第2回試験では湿度センサー（新センサー）を併用し、両者の値をもとに旧センサーの補正を行った。第1回試験の対照区の湿度はこの補正值で示している。

### 3) 試験結果

試験実施以来約2年を経過したが、その間に得られた結果の一部は以下のとおりである。

#### {第1回試験}

昨年2月の床下の相対湿度は3処理区ともこの1年1カ月間で一番低く、その後、春から夏にかけて3処理区ともに上昇する。7月にはいると、対照区の相対湿度は100%となる日が多く、10月初旬まで約3カ月半この状態が続いた。（図5-13）。1991年（平成3年）の夏は天候不順な日が多く、高湿度の日が長く続いたことを物語っている。この間、ビニール区の相対湿度は95%から100%の間で、また、木炭区では90%から95%の間でそれぞれ推移した。

夏の高湿度期には木炭区の相対湿度が一番低かった。また、ビニール区の相対湿度が木炭区より高かったのは、結露が生じたことによると推定され、少なくとも敷地から、湿気を防ぐことだけでは、夏の床下の調湿は困難なことを示している。その後、秋から冬にかけて床下の相対湿度は3処理区ともに下降するが、この間ビニール区が一番低く、対照区が一番高い状態で推移している。1991年（平成3年）の冬と1992年（平成2年）とでは床下の相対湿度はどの処理区でも今年が10%から15%高いが、これは暖冬で外気の湿気が高かったことによることが、外気の測定結果から明かであった。

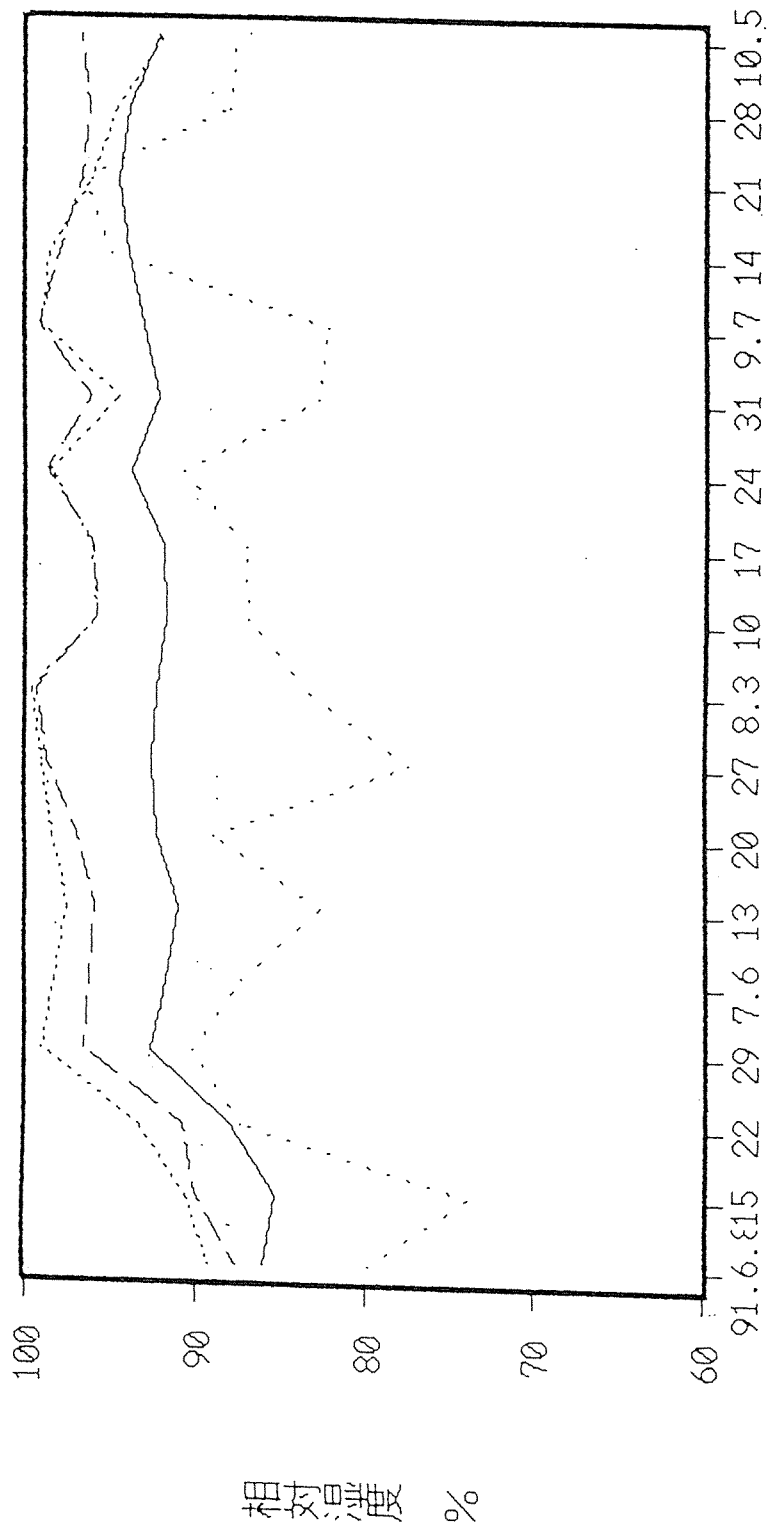
次に、床下においた木材の含水率は相対湿度の変動に応じて変動し、昨年の冬から夏にかけて上昇し、夏はほぼ一定の高含水率状態で推移し、秋から冬にかけて低下した（図5-14）。この間木炭区の含水率は対照区のものより常に低く、夏は約3.5%の差が認められた。夏の対照区の含水率は23.5%はほぼ飽湿状態と考えられ、ベイツガの含水率測定試験片には、すでにカビが生えはじめていることが観察された。

#### {第2回試験}

第2回試験は設定後まだ3カ月半を経過したにすぎないが、1年の中で最も高温な夏期を経過したので、この間におけるかく処理区の湿度の推移を見ることにする（図5-15）。

まず、第1に指摘したいことは、第1回試験の1991年（平成3年）の夏に比べ、1992年（平成4年）の夏は雨がきわめて少なかったことである。そのため日平均外気湿度が100%になる日は一度もなく、9月にはいると外気も床下もどちらも湿度が急激に下がった。しかし、7月と8月の床下湿度は1991年（平成4年）夏と同様で、対照区の相対湿度が100%の日はかなり多かった。一方、木炭区の日平均相対湿度は1991年の夏と同様に95%をこえることはなかった。また新たに設置した木炭（洋間下）区





— 木炭区 ..... ビニール区 ..... 対照区  
年月日

図5-13 週平均相対湿度の推移(1991年 夏)

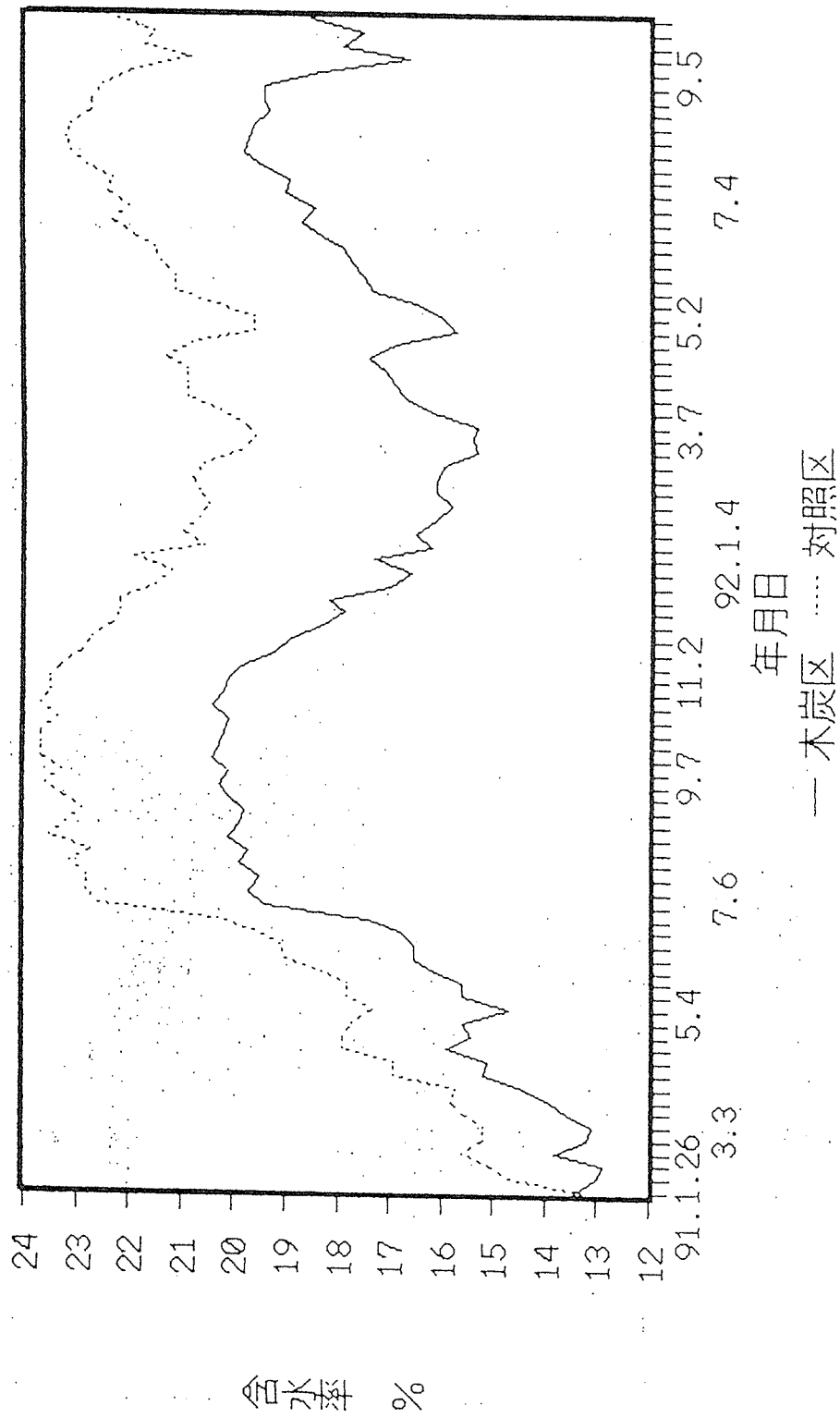


図5-14 床下に設置した木片の含水率の推移

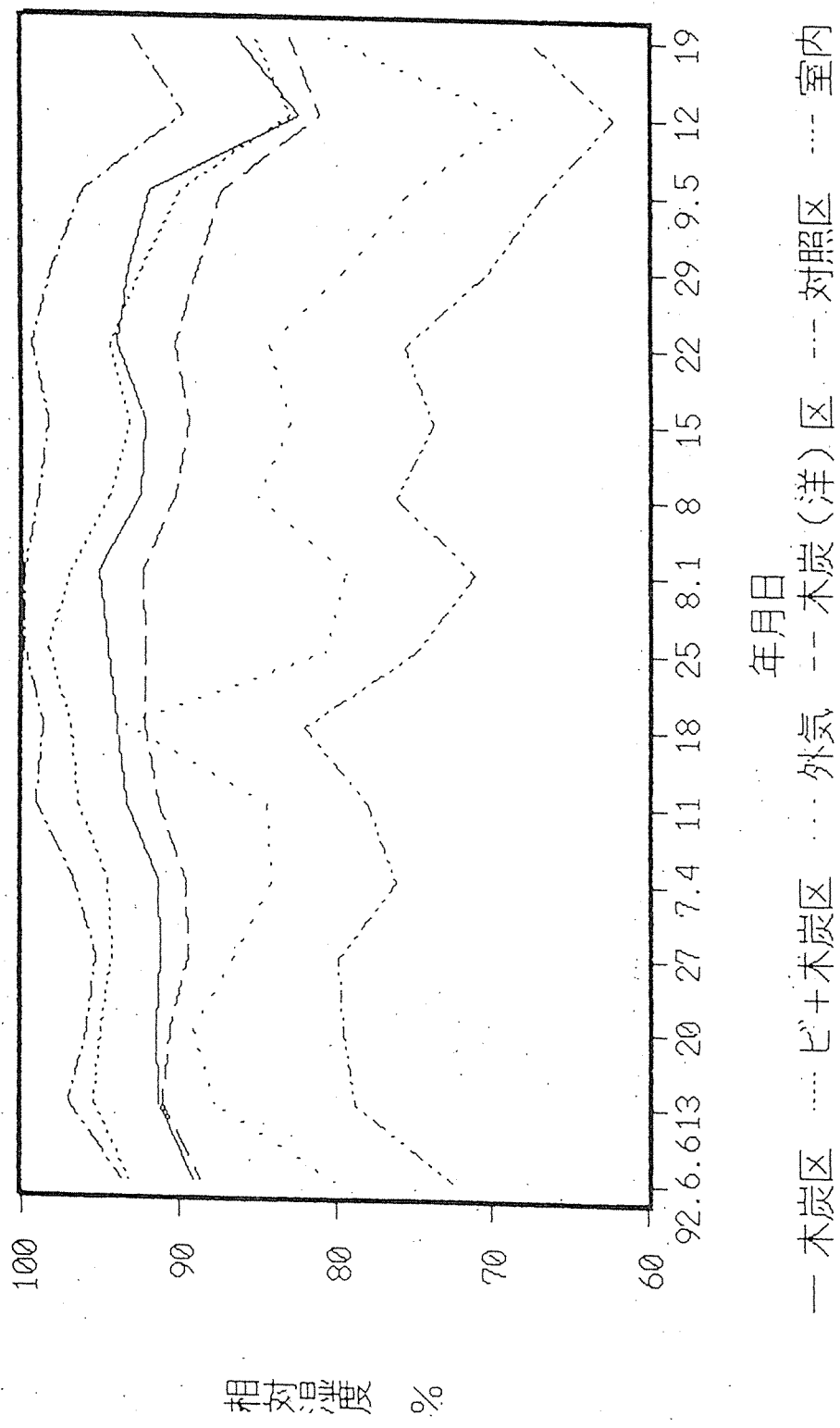


図5-15 週平均相対湿度の推移 (1992年 夏)

の湿度は従来の木炭区のものより4～5%低い傾向を示した。また、(ビニール+木炭)区の湿度は設定当初対照区とほぼ等しく高湿度であったが、その後徐々に低下し、8月下旬には木炭区の湿度とほぼ等しくなった。

このように床下に木炭を敷いた場合、気象条件や通風の関係などから、その効果は必ずしも一致しないが、対照区と比較した場合、これらの木炭区の湿度はいずれも低くなることが認められた。

また、床下においた木材の含水率は1991年(平成3年)の夏と同様対照区で高く、木炭区で低く、約3.5%の差が認められた。

#### 4) 今後の問題点

実験方法のところでも述べたように、居住中の住宅を使うようなこの種の試験は条件の設定がたいへん難しい。木炭の効果をより明確にするためには、もっと多くのところで、実験を繰り返し行う必要があるだろう。実験途中にもかかわらず、本試験を紹介したのはこれを機会にして、全国何カ所で実験が行なわれることを期待しているからである。

途中経過であるが、約2年間にわたる測定の結果、この事例ではコンクリート布基礎による床下の湿度は夏期においてきわめて高湿になるということが明かとなった。一方、床材料には接着製品である複合床板の使用が主流を占めてきており、このような高湿な中での耐久性が懸念されるところである。したがって、現在行われているコンクリート布基礎布基礎による工法についての木材の耐久性を考えた抜本的な改良を加えることが必要であろう。

本節は平成4年度、日本木材学会「木材と水研究会」、「木造建築物と水—その現状と今後の研究課題—」において話題提供した講概集の再掲である。

## 4 実際に居住している5調査区の住宅の床下気象環境の現況

### 4.1 床下気象環境の現況環境調査

#### 1) はじめに

近年、資源の大量消費はグローバルな観点からとらえれば地球温暖化現象、身近にはごみ処理等による環境汚染などが大きな問題となり、省資源のためにかぎりある資源のリサイクルが叫ばれている。木材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、他の材料同様、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。ここに来て、リサイクル活動の一環として、再び木質資源に対するリサイクルの一層の促進が求められるようになった。

その対応策として、これまで木材加工工程に排出される大部分がただ単に熱源材料としてのみ利用されてきた加工廃材、建築廃材や物流廃材を炭化することによって、有効に利用しようとする試みがなされている。

他方、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に規制され、建築の場所や施工法によっては床下の湿度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い。

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も見られるが、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ではない。

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は地球環境の保全のみならず、建築廃材の有効で、かつその効果が明白となればより良き居住環境を提供することにもなる。このような理由から、各種住宅の床下に建築廃材等木炭を敷くことによって、これを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。しかし、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。そこで、その効果を検討し、明らかにするとともに、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材料等廃材、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。

実験は実際に居住している4地域〔鹿児島、富山、名古屋および関東地区（埼玉、筑波）〕の5調査区にある各種住宅の床下環境（建築廃材木炭被覆、ビニールシート被覆および無処理（土壌露出）状態）を測定・調査対象するとともに、さらに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木炭被覆、ビニールシート被覆、モルタル被覆および無処理（土壌露出）状態における床下環境（湿度）を比較検討し、建築廃材等木炭を乾燥材としての効果を明らかにし、リサイクル資源として有効利用の是非を検討する。

本報告では調査研究そのものが、始まったばかりでありあくまでも途中経過であること

を承知していただきたい。

## 2) 実験に供する住宅の現状環境調査

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・湿度の測定を開始する。

5調査区とは気候的に特徴があると考えられる次の5地域の個人木造住宅を床下気象環境の調査地点として依頼した。

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

- ・筑波地区 (茨城県 つくば市)
- ・関東地区 (埼玉県 浦和市)
- ・富山地区 (富山県 富山市)
- ・愛知地区 (愛知県 刈谷市)
- ・鹿児島地区 (鹿児島県 鹿児島市)

である。

ただし、本報告では関東地区についてはまだ未整理であるために除外してある。

## 3) 測定方法

各地域の木造住宅床下の地上20cmの場所に図5-16に示すような温度および相対湿度データロガー(JMS&ACR社製 XT-101シリーズ)を吊り下げることによって設置した。測定の開始は1992年(平成4年)12月10日とし、各地域ともに同時に測定を開始することにした。

これらのデータロガーは30分間隔でデータインし、約3カ月ごとに回収し、パソコンによりデータ解析を行なうこととした。併せて、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ヶ所に木材辺を設置し、これの含水率の経過を測定することにした。試験片は森林総合研究所において作製し、1ヶ所宛3個のアカマツ辺材(気乾密度0.44~0.46)を、毎月1回計測することを原則とした。

各調査区の木造住宅の基礎伏図または間取図は図5-17~20に、温度および相対湿度センサーの設置場所をそれぞれの基礎伏図または間取図に●印および含水率測定用の木材を設置した場所を「木片」と記入してある。これらの温湿度センサーの設置は原則として、外気、床下2カ所(その住宅の南および北側)および室内もしくは押入等とした。なお、これについては完全な制約のもとでは、設置が困難な場合があるので、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にした。

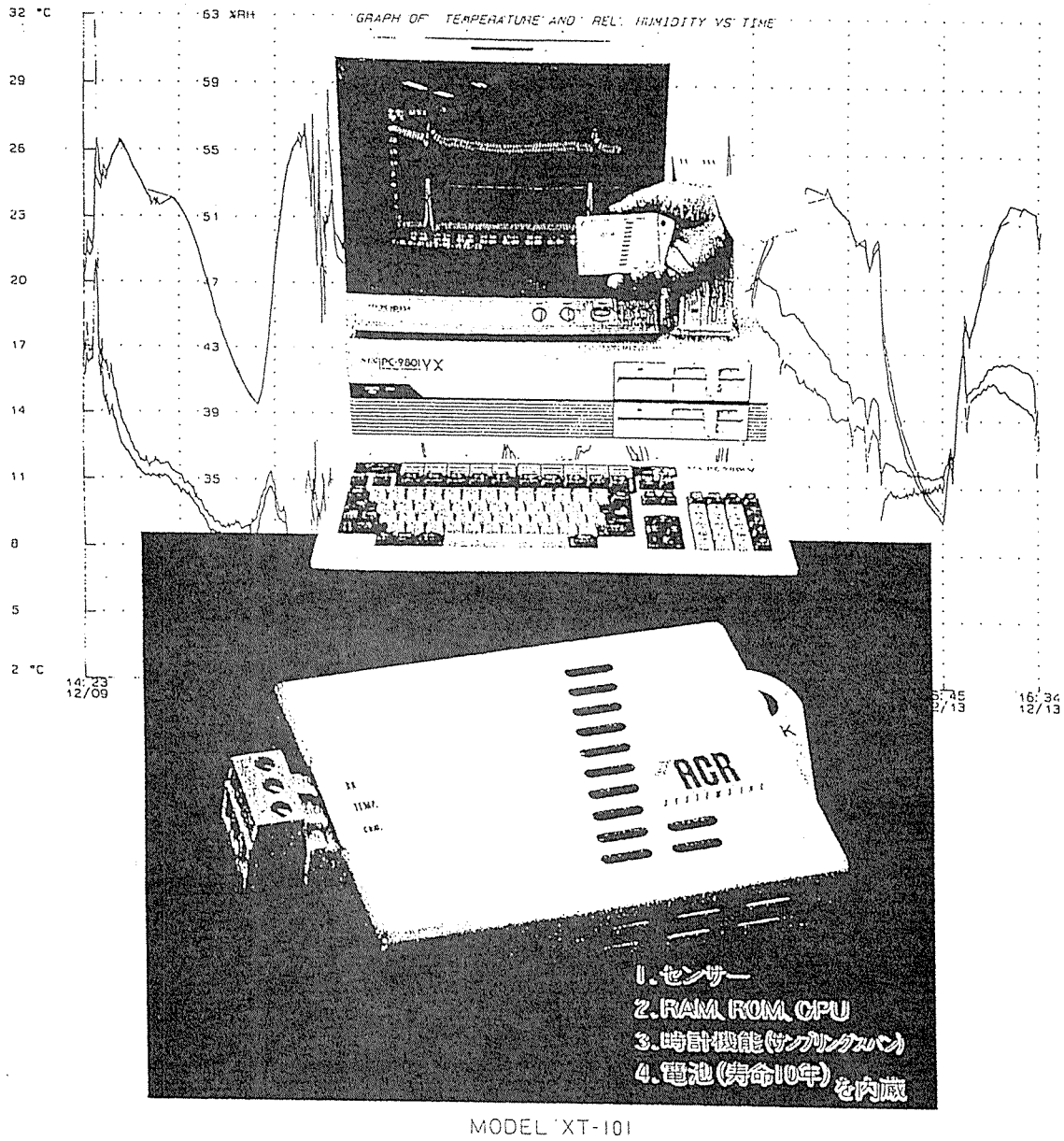


図 5 - 1 6 使用した温度、相対湿度測定データロガー

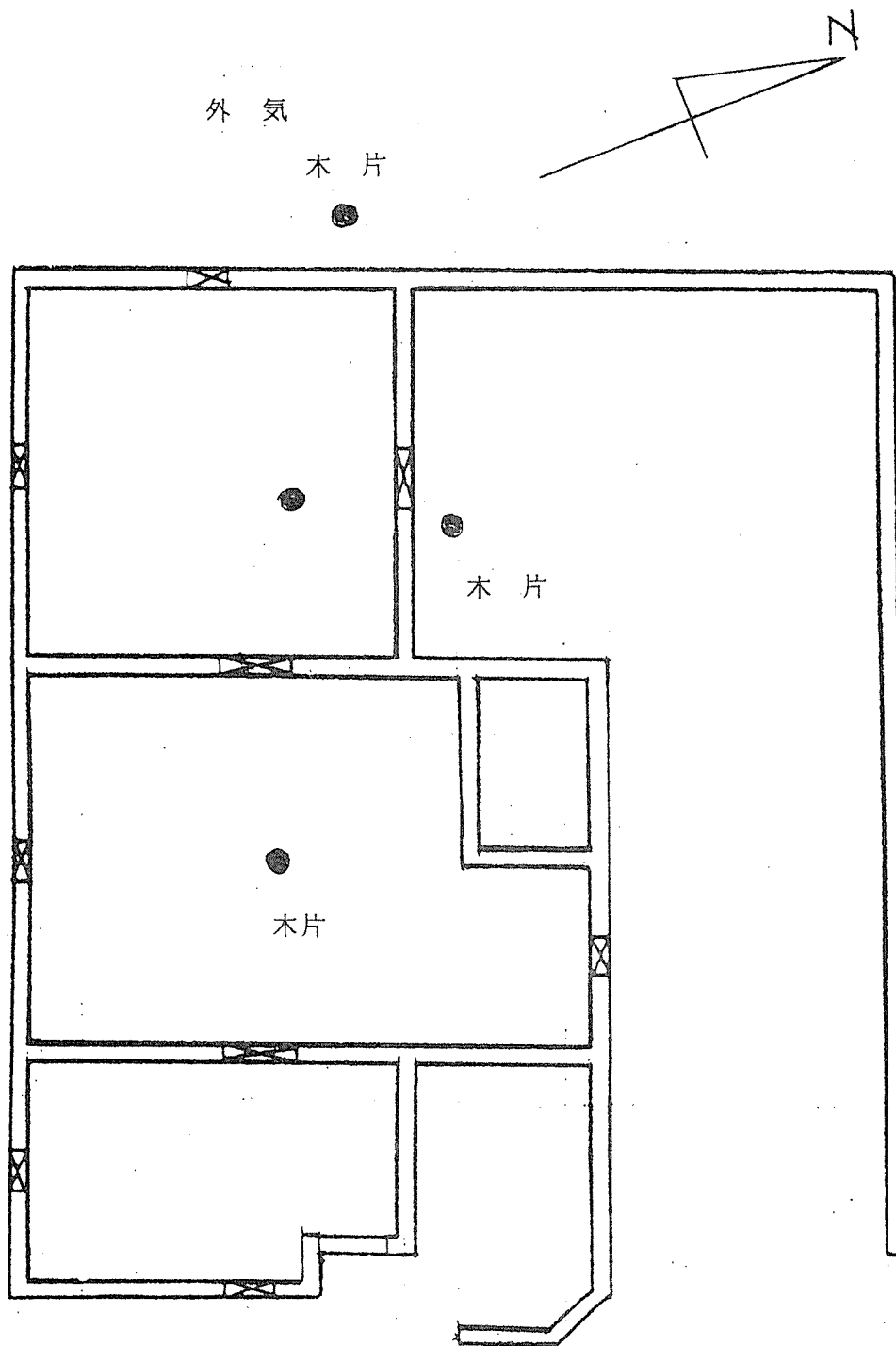


図5-17 実験住宅の布基礎図(つくば)  
 ● : データロガー(センサー)設置場所  
 木片 : 含水率測定用試験片設置



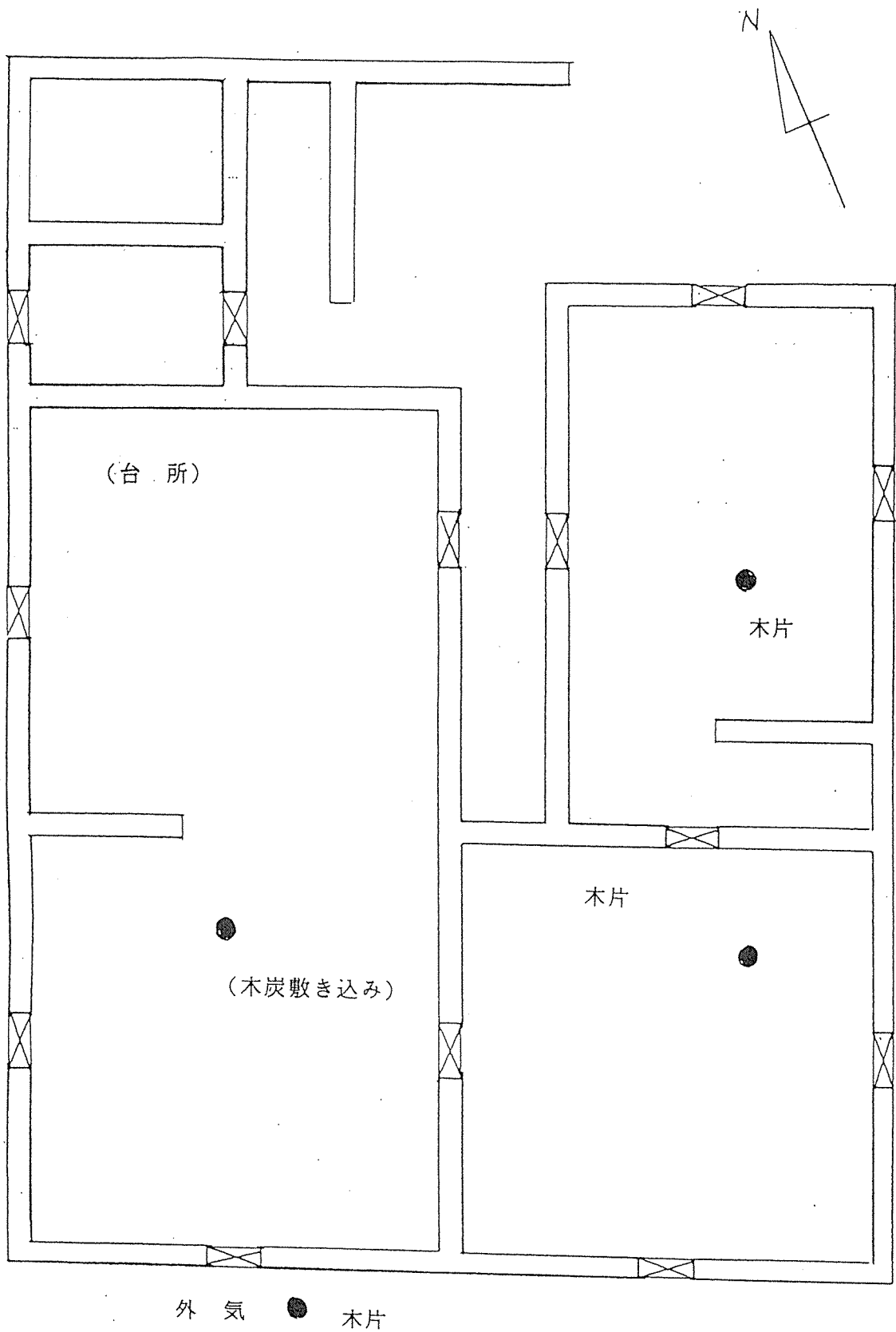


図5-18 実験住宅の布基礎図(名古屋)

● : 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

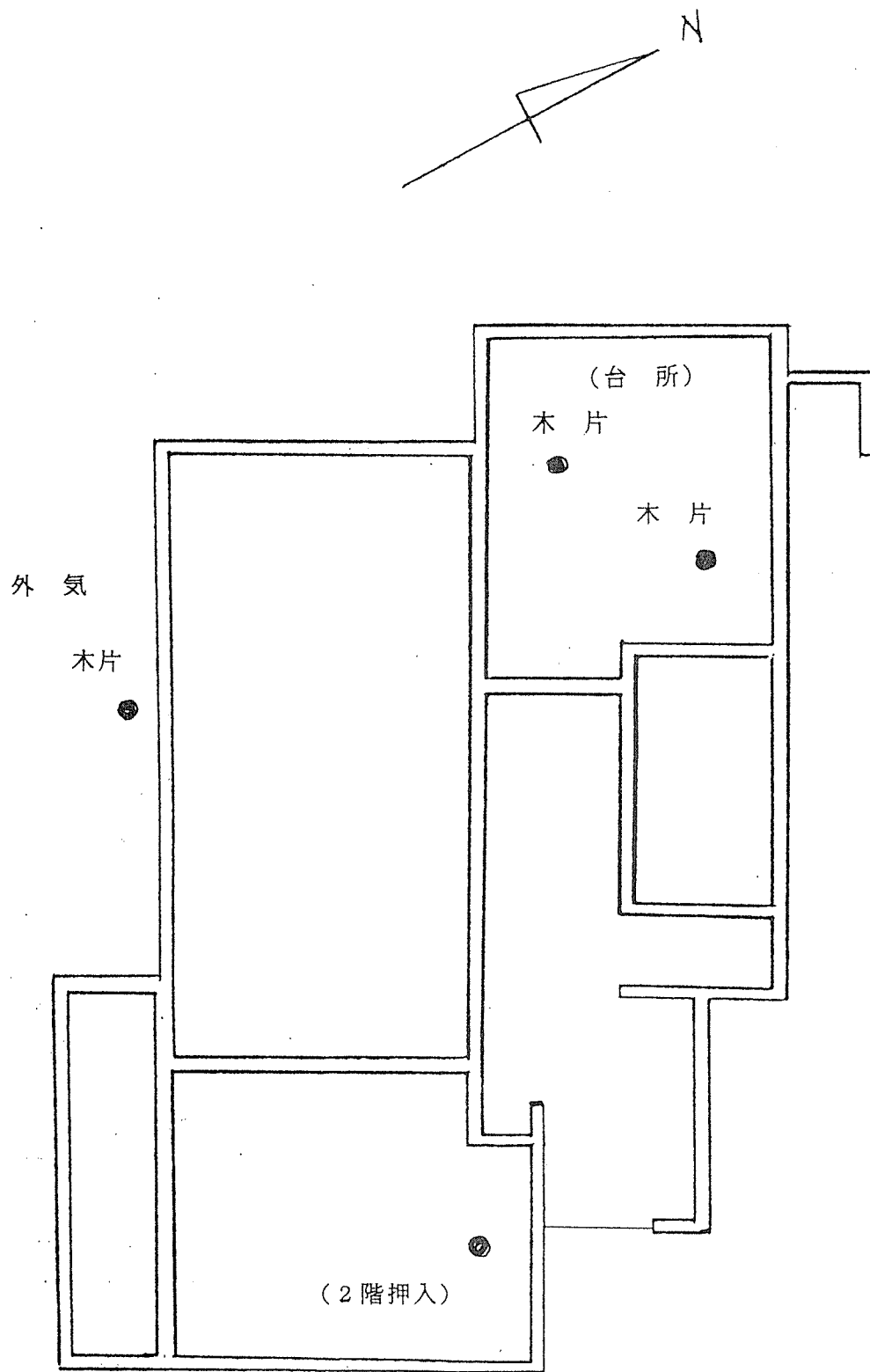


図5-19 実験住宅の布基礎図(富山)  
 ● : データロガー(センサー)設置場所  
 木片 : 含水率測定用試験片設置

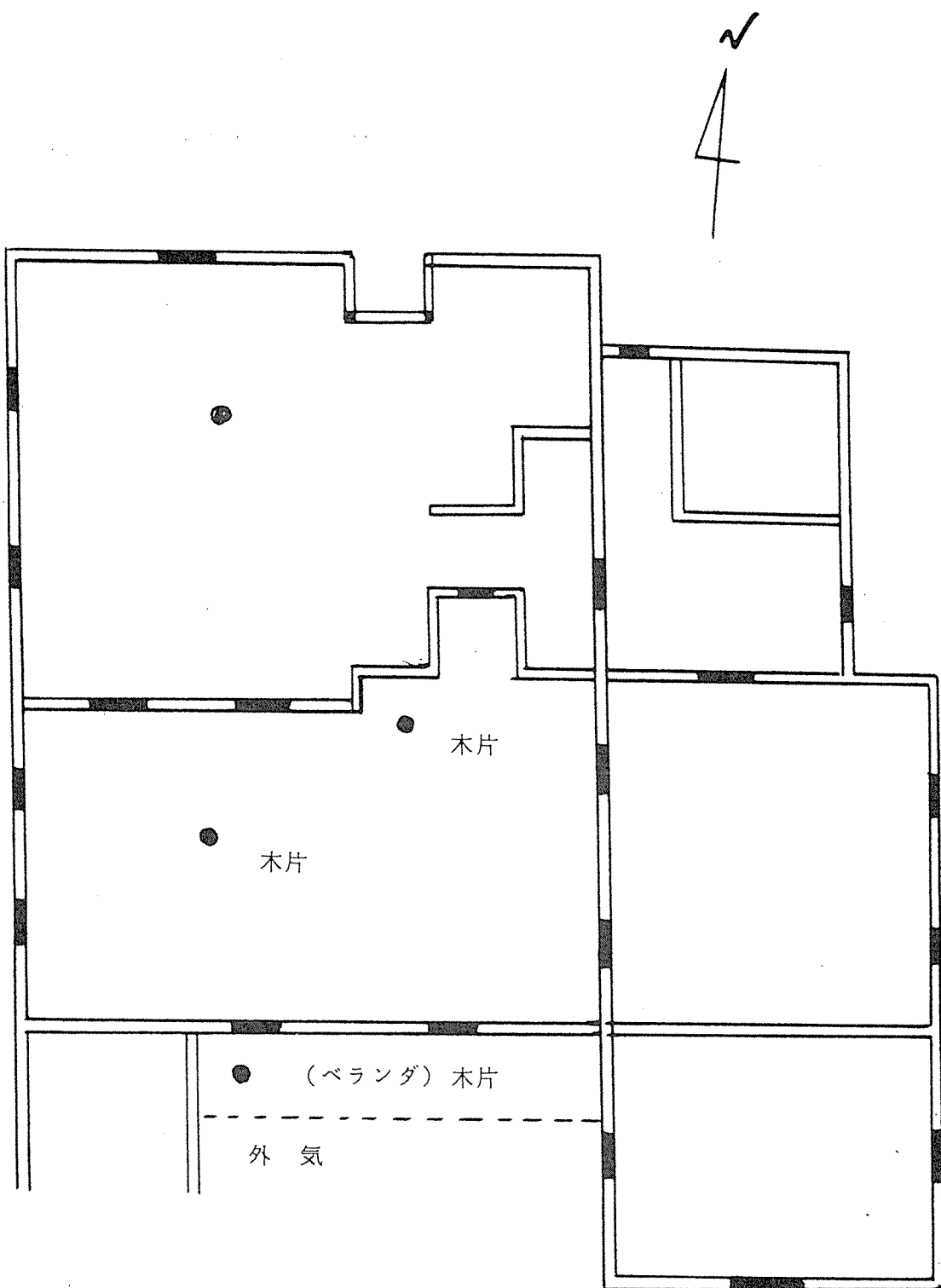


図5-20 実験住宅の布基礎図(鹿児島)

● : 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

なお、床下2カ所（その住宅の南および北側）については、1993年（平成5年）12月頃より木炭の敷き込みを予定しているが、いずれかの場所をこれらの住宅の床下気象環境調査の「木炭敷き込み予定区」及び「無処理区」として指定することにするが、これらの区別はそれぞれの住宅の事情に委ねることとする。

#### 4) 4調査区の外気および現況の床下気象環境の測定結果の一例

本節では1992年（平成4年）12月10日から1月10日までに回収された4調査区の外気および現況の床下気象環境の測定結果の一例を図5-21～28までに示した。まず4調査区の約1ヶ月の外気温度および相対湿度の平均値、最高値、最低値および月間変動をそれぞれ表5-3および図5-21～9に示した。これらの図に明らかなように、測定5ヶ所の冬期の相対湿度は冬期の月較差は鹿児島が最も高く、ついでつくば、富山そして名古屋となる。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。

表5-3 冬期（12月10日～1月10日まで）の外気の気温、相対湿度

観測地	外気温度（℃）			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	5.0	17.4	-4.9	58.2	92.2	21.9	70.2
名古屋	6.8	17.1	-14.8	75.5	100.0	39.0	61.0
富山	5.3	5.0	-2.1	84.1	100.0	36.1	63.9
鹿児島	10.6	30.6	-2.1	67.4	100.0	17.6	82.4

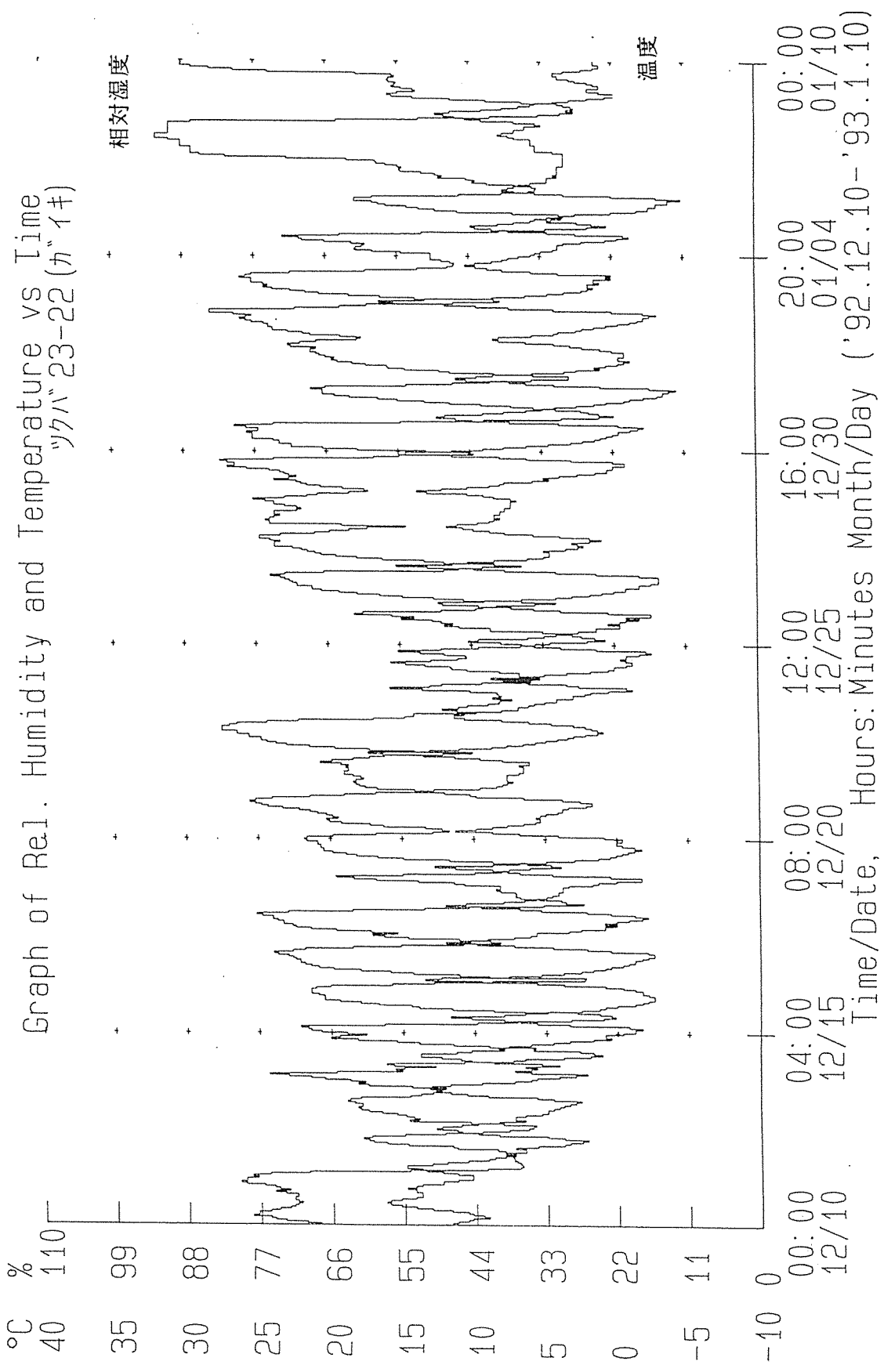


図5-21 筑波学園都市における外気の温度および相対湿度の推移

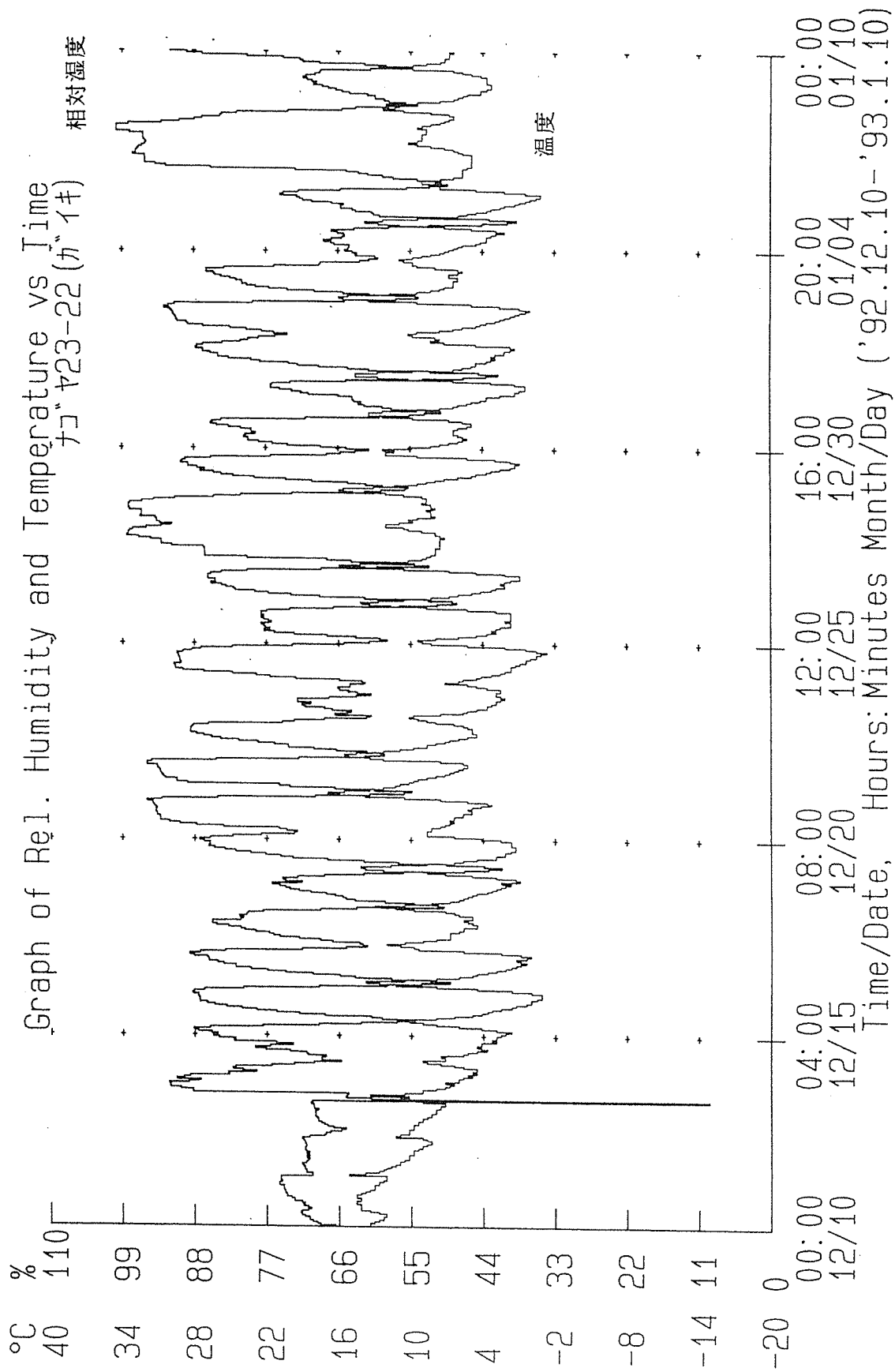


図5-22 名古屋における外気の温度および相対湿度の推移

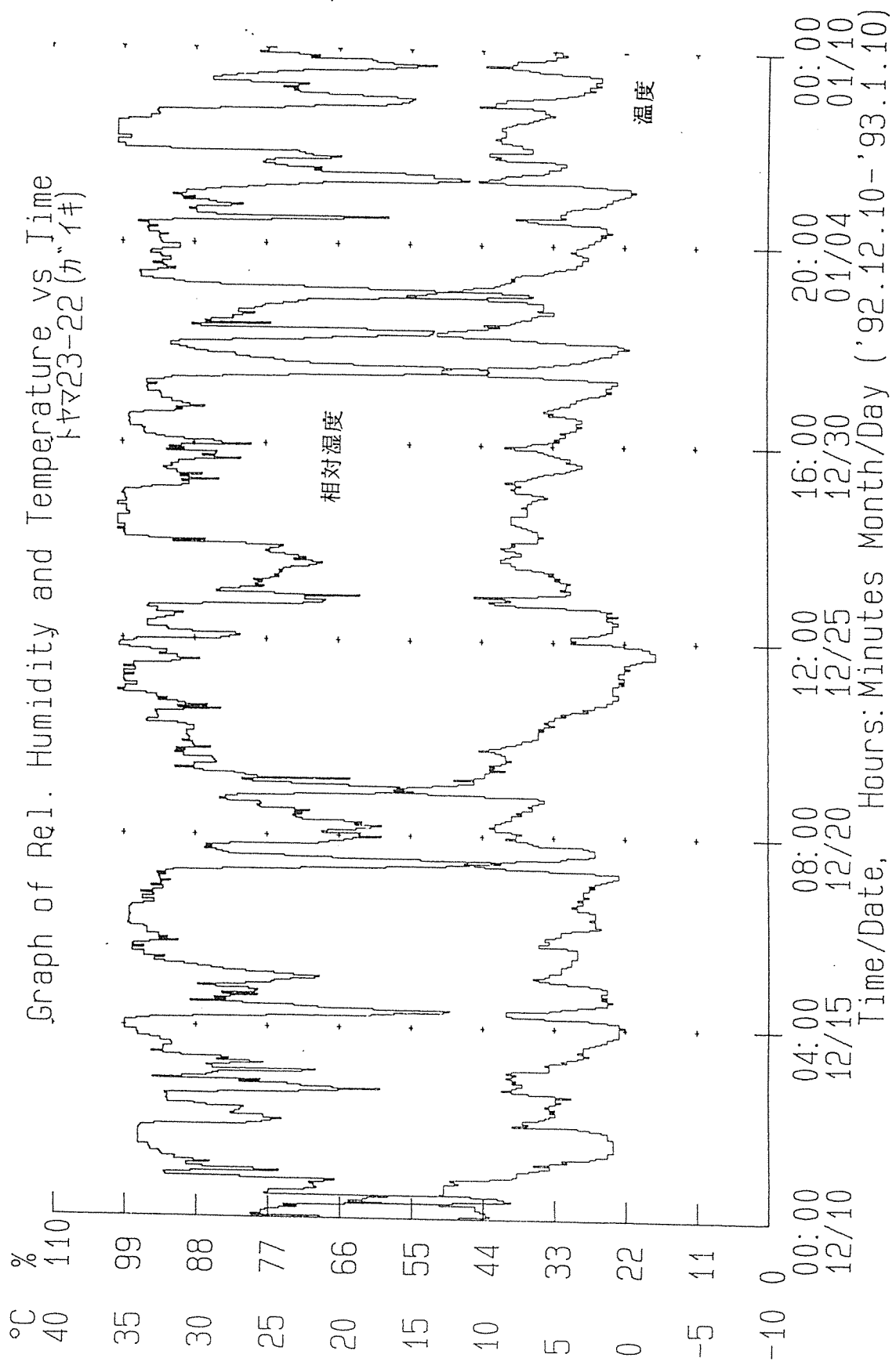


図5-23 富山における外気の温度および相対湿度の推移

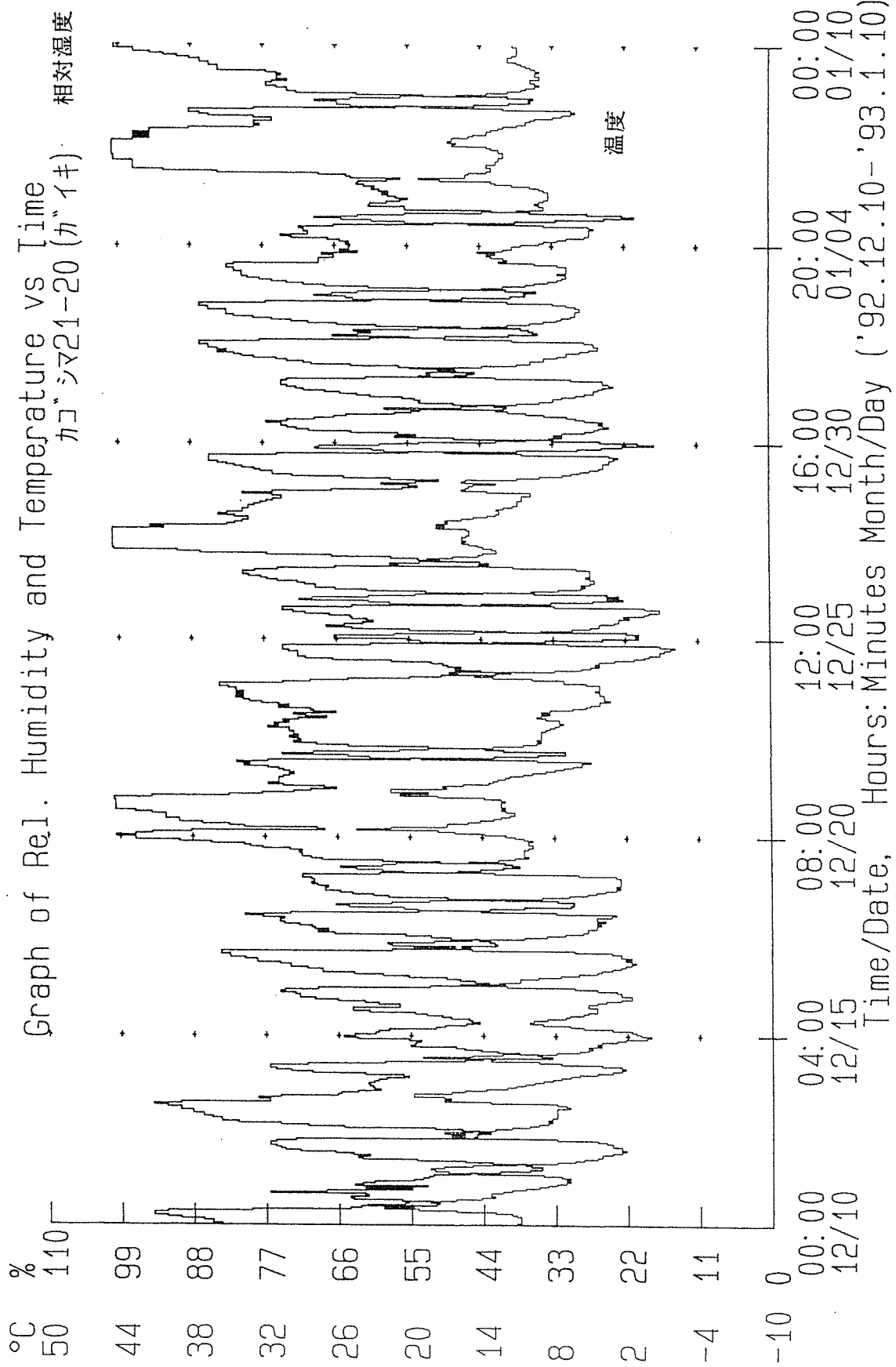


図5-24 鹿児島における外気の温度および相対湿度の推移



そこで、同一期間の床下の内、北側もしくは水周り（台所）の床下に得られた温度、相対湿度の平均値、最高値、最低値および月間変動をそれぞれ表5-4および図5-25～28に示した。

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、名古屋、鹿児島、富山となり、つくばは床下の相対湿度は、最高でも77%と理想的な値を示している。図5-25にも明らかなように、つくば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、富山は平均して66%から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5-4 冬期（12月10日～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	床下温度（℃）			床下相対湿度（％）			備考 月較差（％）
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
つくば	7.5	14.2	2.5	49.9	77.4	31.1	46.2
名古屋	8.3	14.2	5.4	87.6	95.9	68.1	27.7
富山	7.6	14.5	2.6	71.7	84.9	57.9	27.0
鹿児島	11.1	14.9	6.1	79.3	90.8	60.2	30.6

そこで、実験が先行している名古屋において、南側の床下に木炭を敷き込んである場所に得られた一例を図5-29に示した。この図からも明らかなように相対湿度の中央値は68.6%、最高値77.9%、最低値39.0%、月内較差は24.1%と非常に良い環境条件となっている。

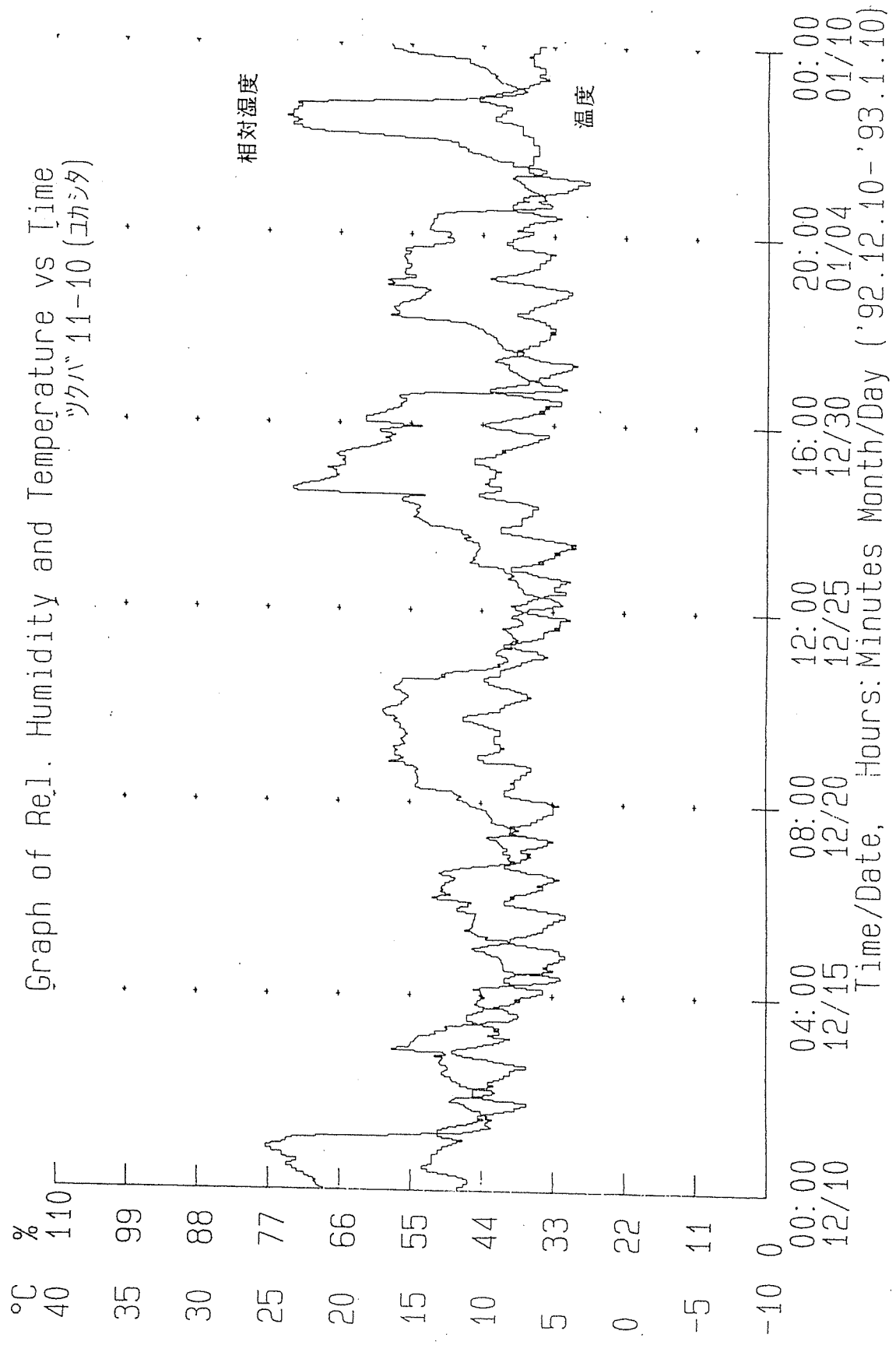


図5-25 つくば学園都市における床下の温度および相対湿度の推移

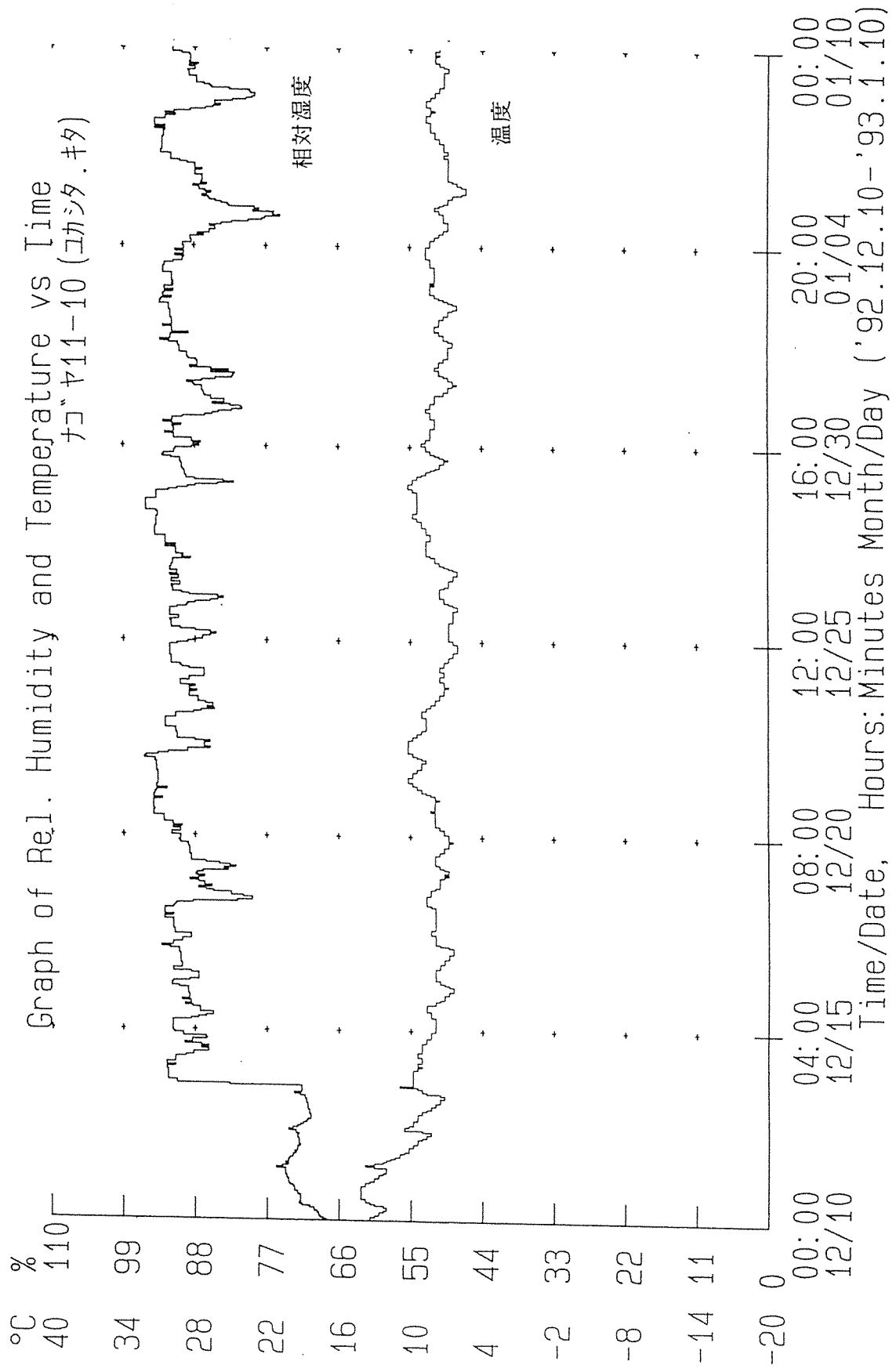


図5-26 名古屋における床下の温度および相対湿度の推移

Graph of Rel. Humidity and Temperature vs Time  
 トヤマ11-10 (ユカシタ)

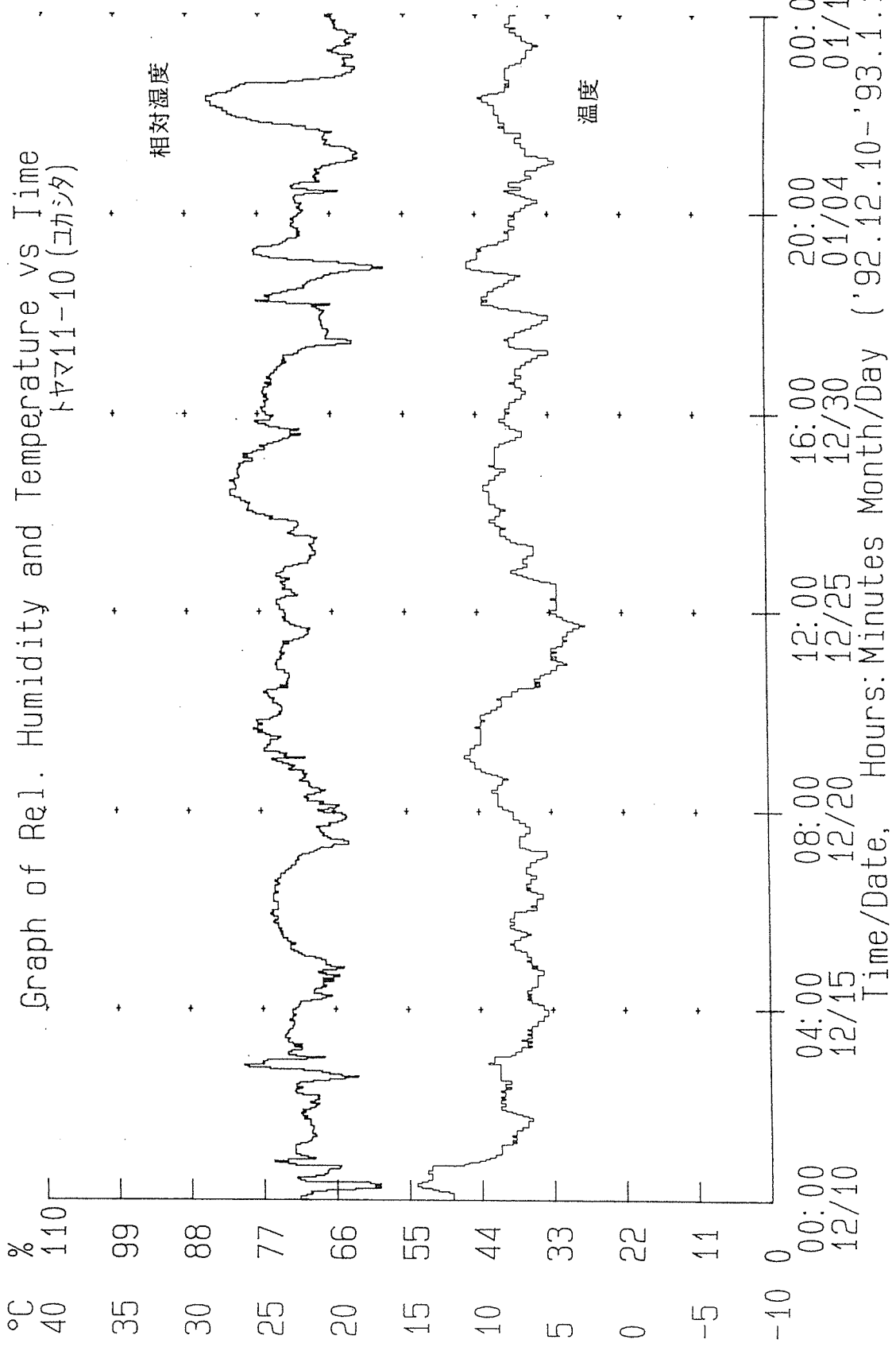


図5-27 富山における床下の温度および相対湿度の推移

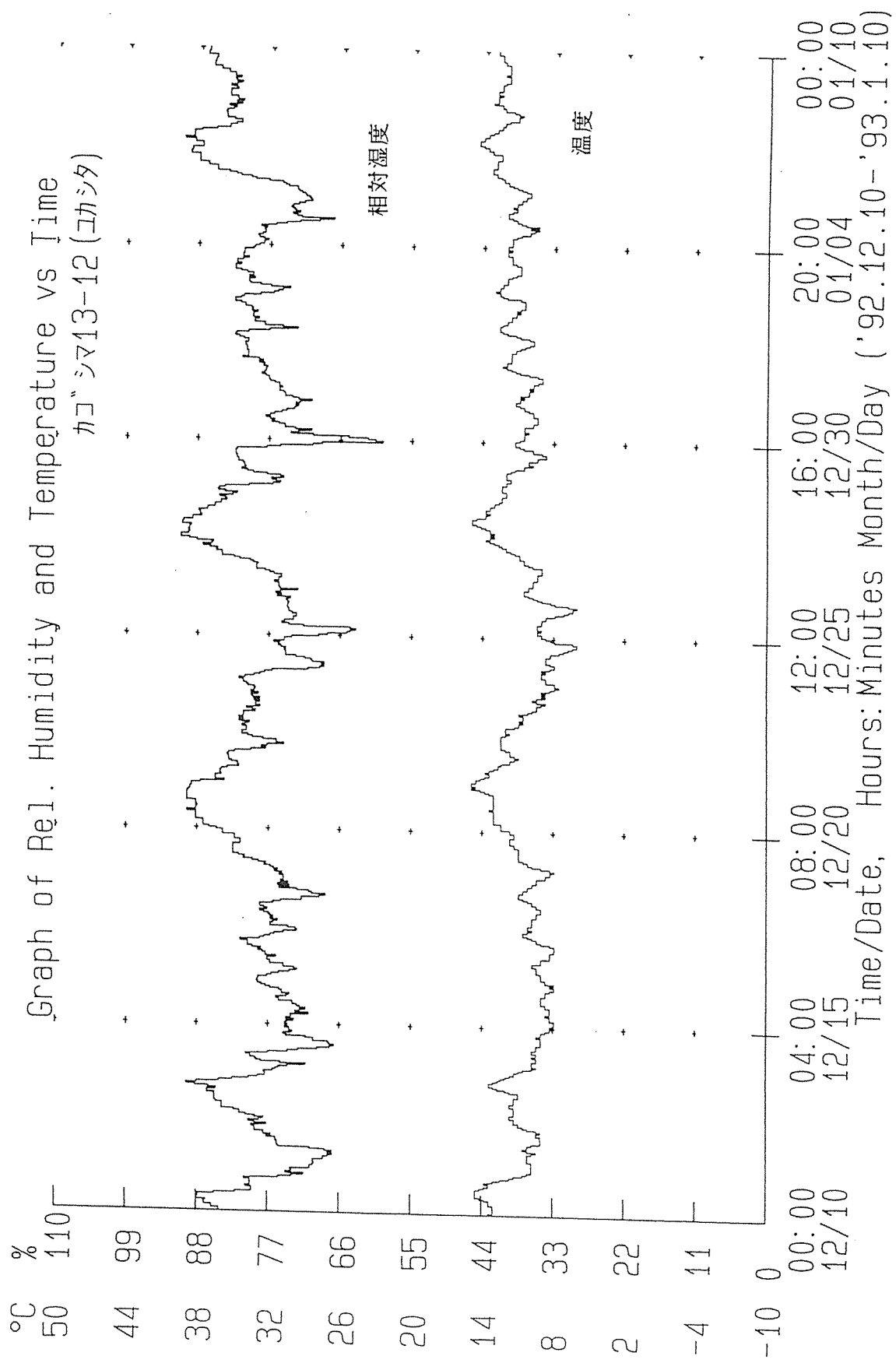


図5-28 鹿児島における床下の温度および相対湿度の推移

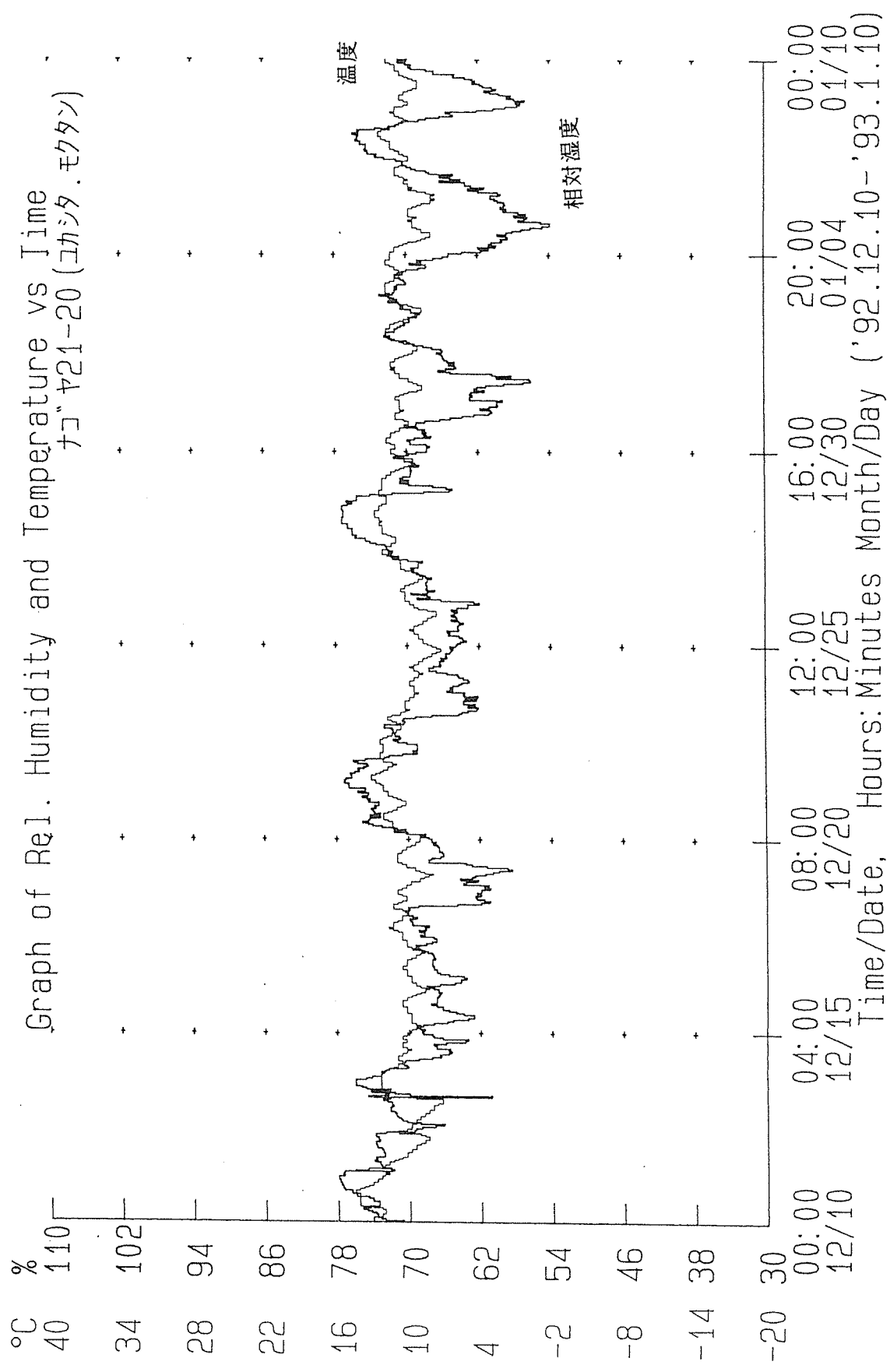


図5-29 名古屋における床下（木炭敷設）の温度および相対湿度の推移

## 5) おわりに

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行い、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でてきた。さらに、各地の多くのデータを蓄積する、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。

## 第6章 木材の液化技術の開発

### 要約

木質廃棄物の再資源化技術として、木材の液化技術を開発することの材料開発としての意義、実際化するための考え方についてまず述べたのち、この液化技術が木質を含むバイオマス（植物資源）のどの範囲のものにまで適用しうるかについてフェノール存在下での液化実験を行った結果を、実験事実として示した。次に、木質の多価アルコール存在下での液化と液化物の発泡体製造への応用に関して、 $\epsilon$ -カプロラクトンとトリメチロールプロパンを含む多価アルコールの2種化合物の存在下での検討結果を示した。これは、これまでの研究で多価アルコールとして $\epsilon$ -カプロラクトンとトリメチロールプロパンより製造されるポリカプロラクトン（プラクセル303）が液化および発泡体化のために最も好適に用い得るものの、高価格である点に難点があることを考慮しての検討であったが、結果は良く、実際化のための研究をする価値があることを示すデータが得られている。

### 1. 緒言

木材は本来リサイクル可能な資源であるので、木質廃棄物をリサイクルして使っていくための手法、技術は幾つかあり、それぞれに検討が進められている。最近、資源リサイクルの必要性の認識がさらに強まり、木材についてもリサイクル利用技術をより広く求め、発展させることが必要となってきている。そんな中で木材のプラスチック化および液化と樹脂化といった筆者らの研究に対しても、木質廃棄物などのリサイクル利用技術として用いる可能性を検討することが求められつつある。

筆者らは木材にそれが本来有していない熱流動までの熱可塑性さらには溶剤溶解性、液化性を与えることを見出し、木質由来の樹脂、プラスチックの創製ということに興味を持って来ている。しかし、現代は石油化学時代とも云われるぐらい石油化学製品があふれ、物性、機能性の優れた樹脂、プラスチックが多様に存在している。その中で、新しい類似の材料が開発されたとしても、何か特別な特徴がないと認知されないこととなりがちである。そうは言っても、物性、機能に優れたものをいきなり創製することは並たいていのことではない。そこで、ここで検討されている材料についてその存在理由を考え、特徴づけをしておく必要がある。

本検討には、まず廃木材を付加価値がある程度高い製品とするリサイクル技術を求めるという特徴がある。また、石油と異なり、再生産可能な資源を活用する技術の開発ということも特徴となっている。しかしこれらだけでは必ずしもインパクトは強くなく、具体性にも欠ける。そんな中で、生分解性高分子さらには、焼却廃棄しやすい高分子材料を創製



する可能性ということが、以下の記述から知られるように、かなり大きな意義を与えるように考えられる。そこで、この点から論議を進めることにする。

この半世紀、合成高分子の科学と技術の進展と共に、いわゆるプラスチックが日用品を含め多くの用途に用いられ、我々の生活はたいへん豊かなものとなって来た。そうした中で最近、ディスポーザブル（ワンウェイ）用途を中心に廃棄しやすい材料、すなわち焼却しやすかったり、生分解性のある材料が求められる様になって来ている。事実、現在の汎用合成高分子の多くは、焼却に際して高温を発生して焼却炉を損傷したり、有害なガスを出したり、あるいは廃棄された後、腐らないため環境の汚染や埋め立て地の地盤弱体化を招いたりなどの問題を引き起こしている。

たとえば、スーパーマーケットで用いられるトレイや買い物袋は、かなりの量が使用されるが、多くはポリプロピレン（PP）、ポリエチレン（PE）などの熱可塑性高分子から出来ている。それらの焼却による廃棄に問題があるということで、10年余前から炭酸カルシウムなどの燃えない無機物を数十パーセント添加して発熱量を低減させる方法がとられるようになった。不透明なトレイや買い物袋がそれで、現在大量に用いられている。しかし最近になって、添加した無機物が焼却した後に灰となって残ってしまうことが、その埋立処理とも絡んで問題視されるようになった。そこで現在、それに変わる材料が求められている。このような背景から注目を集めつつあるのが、PP-セルロースあるいは一木粉の系である。この場合には燃焼させたときの発熱量を小さくすることができ（セルロースや木材の燃焼カロリーはPPなどのその約1/3）、しかも燃焼後、灰分を多量に残さないという利点がある。

他方、自然環境下で腐る材料ということで、生分解性プラスチックの開発が各地で精力的に進められている。高分子を形成している各種の結合のうち生分解され易い結合は、天然高分子に多く存在する糖鎖結合、ペプチド結合、および脂肪族エステル結合であると言われている。そこから、天然高分子をうまく利用するという方向性が浮かび上がってくる。すなわち、生分解性プラスチックとしてのバイオプラスチックの利用である。その際、開発されるべき生分解性プラスチックは、従来の合成高分子の代替として十分耐えられる物性と価格を持ち、使用中は劣化することなく使用後はやがて生分解し、自然界の物質循環に組み込まれることが要請されている。

生分解性高分子としての、バイオプラスチックの利用という観点で現状を見てみると、エビ、カニ、昆虫類の殻などに多く含まれるポリマー多糖であるキチン、キトサンとセルロース繊維との複合材料が一番手としてまず挙げられる。すなわち、微細化したセルロースをキトサンの酢酸酸性溶液に加え、第3成分としてグリセリンを添加（配合比例：セルロース／キトサン／グリセリン＝50／12.5／37.5）、攪拌混合し、平板状に流延・乾燥することにより、半透明で、汎用プラスチックに匹敵する物性の生分解性フィルムが作られている。ただし、天然物よりキトサンを抽出、精製するコストが高く、1000円/kgと

いった価格が見込まれることおよび、加工方法が湿式加工で、熔融成形加工に比べ非能率的であることから、汎用プラスチックの代替は今のところ難しいとされている。

これらの天然物の変性に基ずくものと区別して取り扱われている他のジャンルの生分解性高分子としては、微生物が作るポリエステル類及び化学合成により作られるものの一群がある。しかし、物性、生分解性ともすぐれ、最も実際のといわれるものでは、今のところ前者で 5000円/kg、後者で 1000円/kg といった価格のものとなっており、汎用高分子のそれ（例えばPPで 150~200円/kg）に比べ割高に過ぎることが大きな障害となっている。微生物産生のプラスチックは医用高分子など特別なものをターゲットとして開発されているとされている。汎用高分子用途のものは 500円/kg以下の価格のものであるべきとも言われている。

それらの観点を考慮すると、セルロースさらには木材由来のプラスチック材料がうまく開発されれば、生分解性高分子として重要な一群の材料となる可能性は高いと言えよう。

## 2. セルロース誘導体の利用

熱可塑性のセルロース誘導体をうまく可塑化して生分解性材料を得ることが出来れば意義がたいへん大きいという考え方がある。すでに鐘淵化学工業（株）の総合研究所・製品開発研究所ではベンジルセルロースの発泡体を検討し、それが技術的に十分可能であることを明らかにしている。ベンジルセルロースがとりあげられたのは、セルロース誘導体の中で、熱可塑性、プラスチック性が最も高いものの一つであること、および後述のようにベンジル化木材に一応の生分解性とかなり著しい光崩壊性が認められることが知られていることによる。

ここでの問題点は、ベンジルセルロースが未だ工業的に製造されていないことである。したがって、これを工業製品にしようとする、プロセスおよび装置の開発など、相応の開発研究を要することになり、時間と経費がかかることとなる。

とくに、生分解性材料としてセルロース誘導体を考えるとき、その汎用性から考えて、既存の工業製品の活用が望ましい。たとえば、エステル化物としての酢酸セルロース、エーテル化物としてのエチルセルロース、ヒドロキシエチルセルロースおよびカルボキシメチルセルロースが挙げられる。もともとの原料であるセルロースには、熱可塑性は殆どないので、そのままの成形加工性はない。そこで、これらのセルロース誘導体を用いるということになるが、それら独自での熱可塑性は必ずしも十分でなく、可塑剤とうまく組み合わせ始めてプラスチック的成形加工が可能となる。したがって、セルロース系プラスチックの性質は、構成主成分であるセルロース誘導体の種類、置換度、重合度のみならず、配合される可塑剤その他の添加剤の種類、量により変化することになる。この場合、生分解性材料としてのセルロース誘導体の活用を意図するならば、これまで用いられてきた可塑化系の多くは用い得ず、可塑剤や可塑剂的に加えられる他の高分子化合物は生分解性を備えたものであるべきと言うことになる。こういった視点での研究が、筆者の研究室を含

めいくつかの研究室で始められている。ただし、従来のセルロース誘導体としての使い方では、物性、加工性の面で限界を生じがちであり、生分解性を高めると同時に、加工性、物性を高め得る新しいセルロース誘導体への可塑性付与の手法を編み出すことが、それらの市販セルロース誘導体の活用上必要であると考えられる。

ここで、セルロース誘導体そのものの微生物分解性、酵素分解性について二、三言及しておく。関連の研究が幾つかあるが、高置換のものになるほど、分解され難くなるといった結論のものが多い。しかし、最近の J. Appl. Polymer Sci. の報文では置換度 2.5 のセルロースジアセテートでも、2 ~ 3 週間の強制腐朽インキュベーションで著しく劣化することが示されている。これらの知見に加えて、環境分解、すなわち環境下での化学的加水分解により側鎖がはずれ、置換度を低減させるという事実も確認されている。したがってセルロースアセテートを例にとるならば、可塑剤を生分解性のものとすることにより、目的を達し得るとさえ言えることになる。

ここまできて問題になるのは、セルロースアセテートが 300円/kg といったやや割高の材料であるということである。この原因は、セルロースアセテートの場合、溶剤に溶解して写真用のフィルムなどを製造することが多いため、完全な溶解を保証する必要から高純度の高価なセルロース（輸入品）を原料としていることにある。熱熔融成形を前提とするプラスチック用途の場合には、低純度のセルロースからで十分と考えられる。すなわち、原料を切り替えるだけで、かなり廉価な材料に変えられるであろうし、その分汎用性も出てくると考えられる。

原料価格の観点では、木材を使えばさらによいということになる。とくに現在使われずに焼却されたり、放置されている木質系バイオマスを活用することが合目的である。この種の木質系バイオマスは量的に驚くほど多い。合理的な利用の進んでいる我が国ですら、その数字は 2700万 m<sup>3</sup> という値になっている。この数字は我が国の木材需要量の数字と比較するといかに多いかがわかる。すなわち、我が国では、年間 1 億 1 千万 m<sup>3</sup> の木材を住宅、建材、家具、紙および衣料用として使用しているが、先の未利用木材の総量の数値はその 1/4 の値にもなっている。当然、世界的にみるとこの数字は莫大なものとなるはずである。

そこで、筆者らは大別して 2 つの研究、すなわち木材のプラスチック化の研究と液化とそれに引き続く樹脂化の研究を行うようになった。それらの内容についてみると以下の通りである。

### 3. 木材のプラスチック化

セルロースと同様、木材も誘導体化され置換基が導入されると、熱可塑性を増し、熱流動すら起こることとなる。天然高分子である木材成分の変性、すなわち内部可塑化による可塑化である。当然、大きな非極性の置換基の導入が大きな効果をもたらす。内部可塑化

が不十分な場合には、外部可塑化を加えて補えば、熱流動する材料が得られる点も、通則通りである。

熱流動性を備えた木材と熱可塑性合成高分子のブレンド、アロイ化も可能であり、相溶化剤の選択と添加により、物性の優れた材料が得られるようにもなって来ている。この分野はブレンドの組み合わせの数も多く、相溶化剤の種類、添加法にも変化が与えられるので今後多くの検討を残している。

その様な研究の中から、生分解性や光崩壊性を持つプラスチック化木材も見い出されてきた。ベンジル化木材や高級脂肪酸エステル化木材が、PPなどと比べて有意な生分解性を示すこと、とくに前者は著しい光崩壊性を示すことがまず知られた。次いで、それらの性質は生分解性合成高分子の一つであるポリカプロラクトンとのブレンドによってさらに拡大されることなども明らかになって来た。

今後はセルロースでの場合と同様、工業的に製造がより容易な化学修飾木材のプラスチック化と生分解性の検討にと研究がシフトしていくと考えられる。

#### 4. 木材の液化と樹脂化

化学修飾木材は熱可塑性を持つプラスチックと同様の材料であることから、当然のようにその溶剤溶解性が調べられた。液化という観点も加えられて研究が進められ、化学修飾度と液化の関係の検討から、無修飾の木材、すなわち天然の木粉、チップなどもフェノール類やアルコール類の存在下で液化させることが出来、液状物が得られるようになった。

とくに、フェノール類存在下での木粉の液化については酸触媒の存在・非存在、液比、液化時間などを変動因子として、液化度、結合フェノール量、木材成分の低分子化を伴う変性の度合などとの関係が調べられると共に、液化物のレゾールタイプ接着剤への変換、さらには液化物から未反応フェノールを留去することによるノボラック様樹脂への変換が検討され、それらの樹脂としての機能が液化のための変動因子、およびそれによってもたらされた特性（結合フェノール量など）との関連で研究されている。

多価アルコール存在下での木粉の液化についても、酸触媒の存否、液比、液化時間などを変動因子としての検討、さらにはデンプンとの混合液化などが研究された。液化物の応用としては、ポリウレタン発泡体への変換が主として研究されている。

本技術開発事業では、その分担研究者として、木質廃棄物再資源化のための木材の液化技術の開発が求められている。そこで今回は、この液化技術が木質を含むバイオマス（植物資源）のどの範囲まで利用しうるものかという観点および多価アルコールでの木質の液化と発泡体化の場合にトリメチロールプロパンと $\epsilon$ -カプロラクトンとのエステル化物（ポリカプロラクトン：プラクセル303）が非常にうまく用い得るが、現状では価格が高く問題となっていることから、それらの原料を用いての検討という観点での実験結果を以下に列記する。

## 5. 多様な植物資源のフェノール存在下での液化とノボラック様成形物への転換

### 5. 1 はじめに

解体材には単一の樹種のみでなく、種々の樹種さらには多植物繊維の混合物であるファイバーボード、パーティクルボードなども含まれる。それら全てに当研究室で進めている木材の液化技術に応用する場合、問題となることの一つに、試料の種類が異なっても、同様の反応システムを用いることができるかどうかということがあげられる。したがって本年度は、木材の有機溶剤存在下での液化技術が、樹種を問わず、あるいは組成が大きく異なる他のバイオマスについても、同じように適用が可能であるかを、有機溶剤としてフェノールを用いて検討した。

### 5. 2 試料

以下に示す9種類のバイオマスを用いた。

マカンバ、アカマツ、ゴムの木、スギ樹皮、OA紙、オイルパーム樹幹、バガス、ババスパーム果実核層、コーヒー豆抽出廃残物。

マカンバとアカマツは、一般的な広葉樹、針葉樹として用いた。他の試料も成分組成や比重などにおいて、異なった傾向を示すものであり、また、その利用がそれぞれの国の国策として真剣に検討されている資源でもある。

### 5. 3 実験

#### 5. 3. 1 各種試料のフェノール存在下での液化の検討

乾燥した粉末試料100重量部に、100～400部のフェノール、1～20部の硫酸を加えて、150℃、60分間処理した。種々の仕込み条件で得た生成物について、その中に含まれるジオキサン不溶解分の量から、液化の進行度を評価した。

#### 5. 3. 2 液化物からのノボラック様成形物の調製

上項で調製した試料について、液化反応終了後、反応系中の触媒硫酸を中和し、未反応フェノールを減圧蒸留で取り除いた。得られた液化物粉末をプレポリマーとし、硬化剤、硬化促進剤、離型剤、充填剤として、それぞれ、ヘキサミン、水酸化カルシウム、ステアリン酸亜鉛、微粉末木粉を所定量加え、混練し、70℃、1時間の予備縮合後、熱圧成形を行った。熱圧条件は、160～210℃、5分、300 kgf/cm<sup>2</sup>とした。

なお、この工程は市販ノボラック樹脂成形品を得る場合と基本的に同じものである。

### 5. 4 結果と考察

#### 5. 4. 1 各種試料のフェノール存在下での液化

まず、一般的な木材試料についての結果を図6-1に示す。縦軸は、仕込み木粉に対するジオキサン不溶部の重量を百分率で示している。グラフより、マカンバ、アカマツとも200部、すなわち試料の2倍量のフェノールと6部の硫酸を仕込めば、十分に可溶化し得ることがわかる。

続いて、ゴムの木、オイルパーム（図6-2）、バガス、ババスパーム（図6-3）についても同様に検討したところ、ババスパーム以外は試料に対するフェノール量、硫酸量の比率を多くする必要があったが、どれも150℃、60分間の処理で十分に液化された。

一方、スギ樹皮、OA紙およびコーヒー豆抽出廃残物は、試薬との仕込み比の調製だけでは十分な可溶化は困難であった。すなわち、スギ樹皮とOA紙に関しては、試薬量の増大よりも、むしろ、処理時間の延長に効果が認められた（図6-4～6-5）。

なお、OA紙の場合、硫酸の添加量を4部から6部へ増量した時、際立って大きな効果が認められるという、大変特徴的な傾向を示した。この挙動の原因は、品質改良剤として試料に添加されている金属酸化物や脂肪酸塩がアルカリとして作用した結果、試料100重量部に対して4部までの硫酸添加では、明確な触媒機能が現れなかったためと考えられる。

また、コーヒー豆抽出廃残物は、脂肪やタンパク質を含んだ特殊なりグノセルロースであり、また、培煎によって部分的炭化を受けている。さらに、抽出残渣であるため、一般に多量の水を含んでいる。このような多量の水の存在を加味して、この試料のみ次の要領で液化の可否を検討した。すなわち、試料287部、これは乾燥品100重量部に相当するが、それにフェノールおよび硫酸を種々の仕込み条件で添加し、150℃、60分間処理した。処理中に系から揮発する成分は、系外にて凝縮、回収した。液化の進行度を評価する際、ジオキサンよりもメタノールの方が全般に高い溶解力を示したため、この試料のみメタノールを用いた（図6-6）。グラフから、試料287重量部に対して10部程度の硫酸を用いることで十分な可溶化をなし得ることがわかる。

ここまで、スギ樹皮以下3種の試料についてはそれぞれ特徴的な液化挙動を示したものの、9種の試料いずれも十分な可溶化を実現できた。

#### 5. 4. 2 液化物からのノボラック様成形物の調製と成形物の物理的特性

##### (1) 液化物からのノボラック様成形物の調製

どの試料からも市販ノボラック樹脂から得られたものと比べて、色調がやや黒い他は、光沢など一様に類似した成形物が得られた。

##### (2) ノボラック様成形物の物理的特性

各試料別に種々の成形条件で成形物を調製し、その中で最高の強度を示したものについて、曲げ強度、曲げ弾性率、密度、成形収縮率の値を比較した（表6-1～6-2）。

まず、曲げ強度に着目すると、コーヒー豆からのものを除き、どの試料からも1100 kgf/cm<sup>2</sup> 前後という、可溶化木材を用いた場合と同等の高い曲げ強度を持つ成形物が得

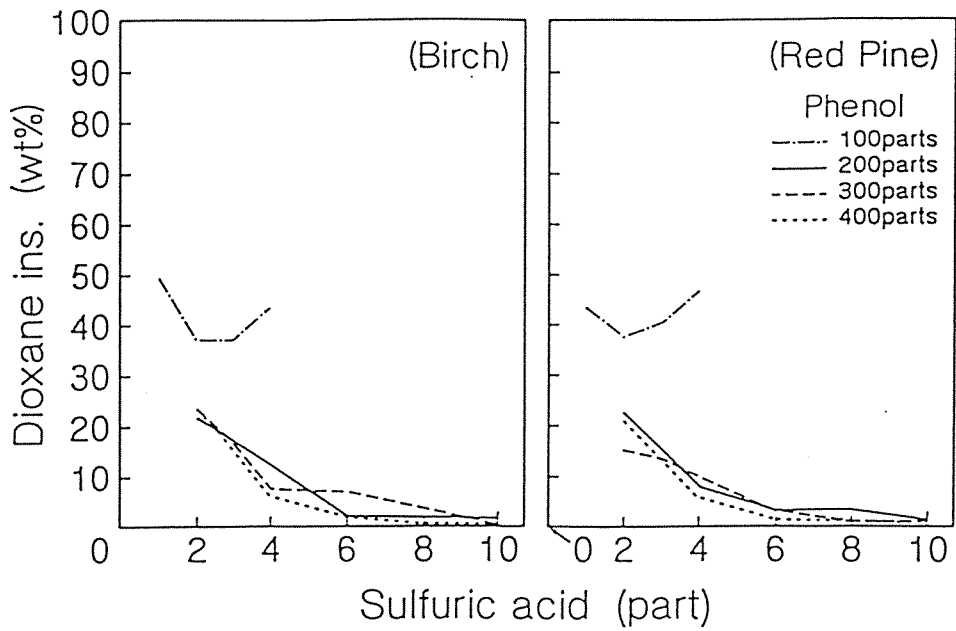


図 6 - 1 仕込み条件と残渣率の関係 (マカンバ、アカマツ)

Notes : マカンバ (アカマツ) の仕込み重量 : 1 0 0 部  
 反応温度 : 1 5 0 °C  
 反応時間 : 6 0 分

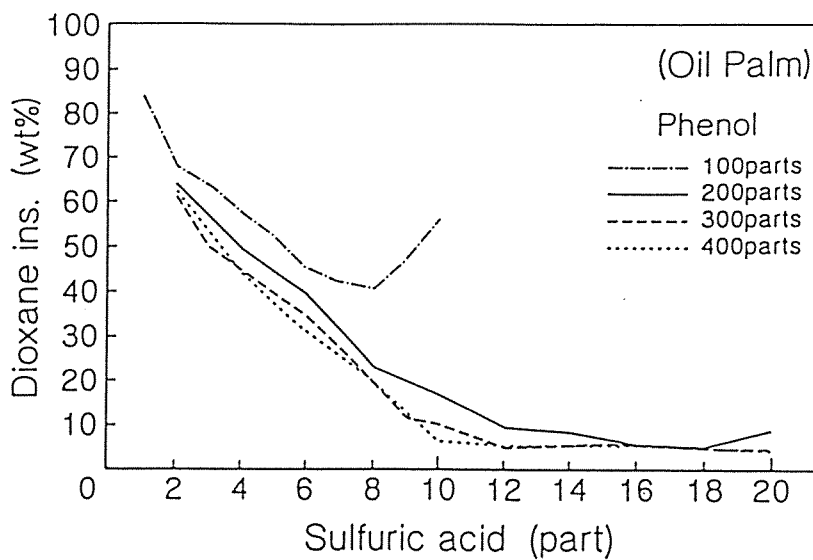


図 6 - 2 仕込み条件と残渣率の関係 (オイルパーム)

Notes : オイルパームの仕込み重量 : 1 0 0 部  
 反応温度 : 1 5 0 °C  
 反応時間 : 6 0 分

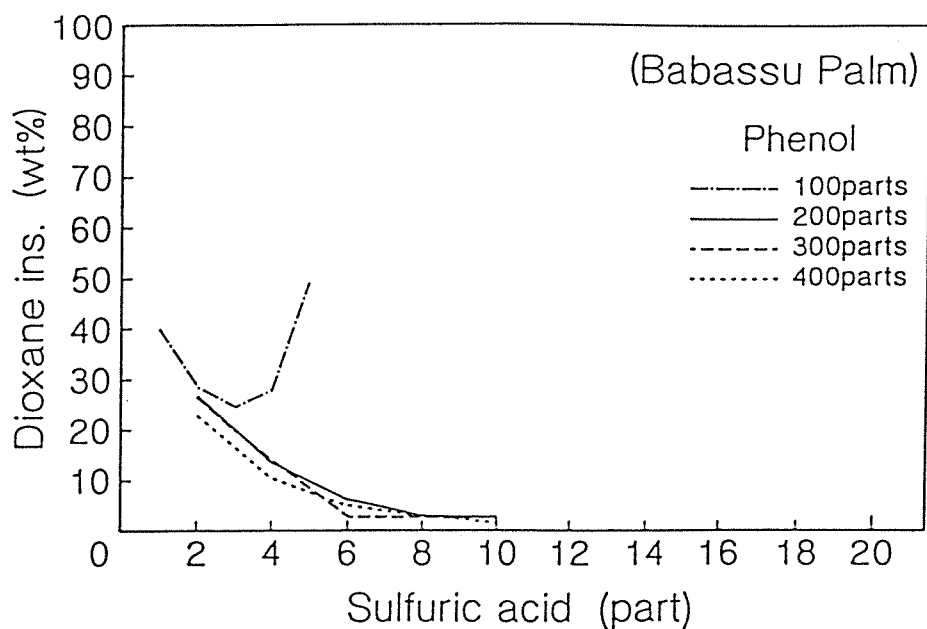


図6-3 仕込み条件と残渣率の関係 (ババスパーム)

Notes: ババスパームの仕込み重量: 100部

反応温度: 150℃

反応時間: 60分

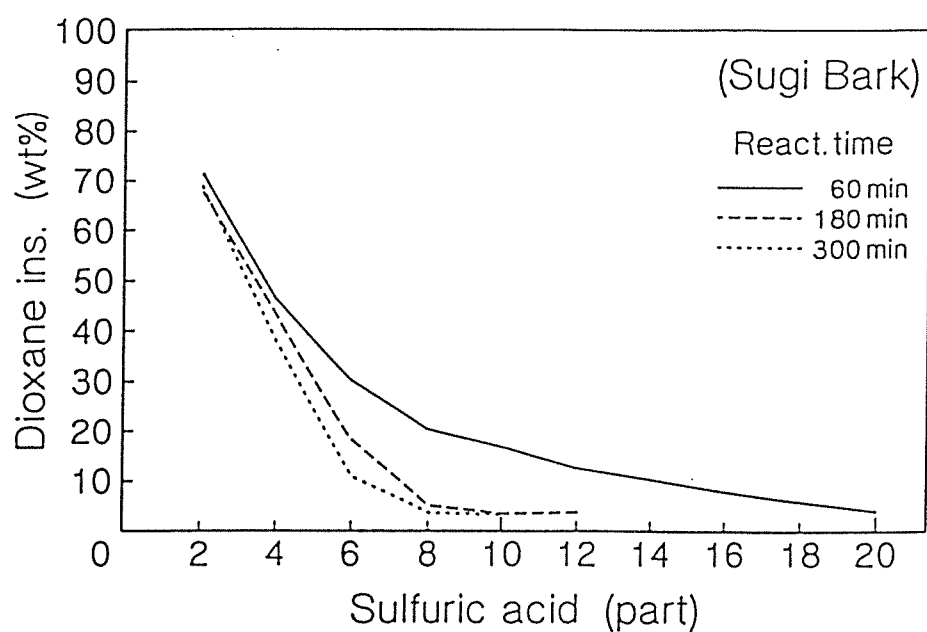


図6-4 反応時間と残渣率の関係 (スギ樹皮)

Notes: スギ樹皮の仕込み重量: 100部

フェノールの仕込み重量: 300部

反応温度: 150℃



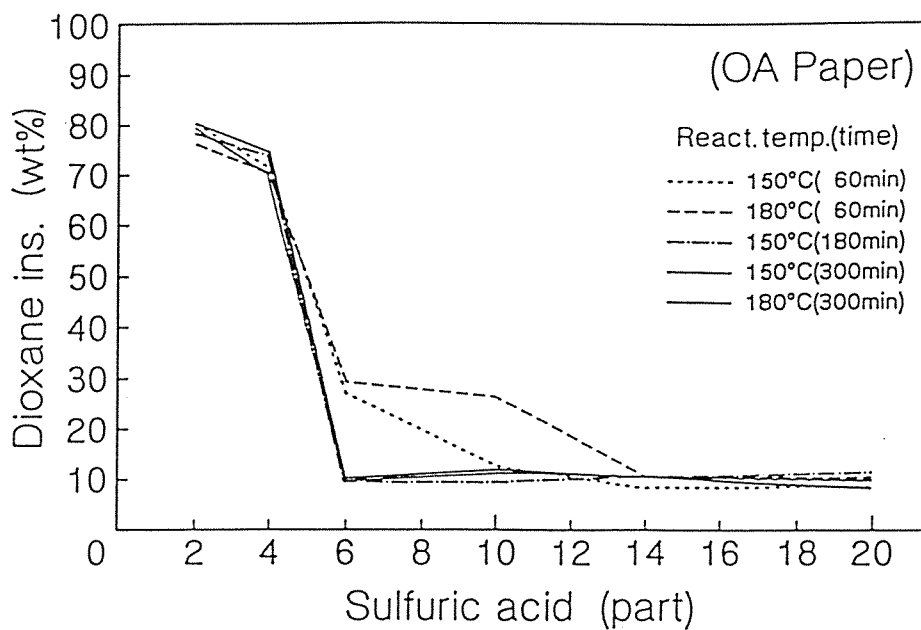


図6-5 液化条件と残渣率の関係 (OA紙)

Notes: OA紙の仕込み重量: 100部  
 フェノールの仕込み重量: 400部

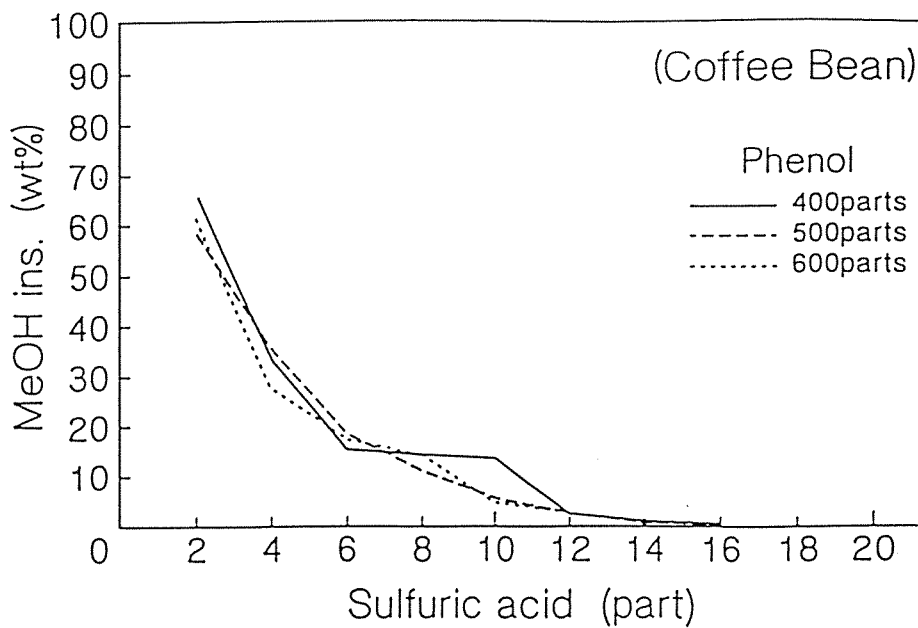


図6-6 コーヒー豆抽出廃残物の液化

Notes: コーヒー豆の仕込み重量: 287部 (水分を含む)  
 反応温度: 150°C  
 反応時間: 60分

表 6 - 1 各種成形物の物理的特性 ( 1 )

Lignocellulosics	Flexural strength [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Elastic modulus [10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Molding shrinkage [%]
(Novolak)	1180	9.0	1.34	0.34
Birch	1130	9.2	1.36	0.39
Rubber Wood	1140	8.9	1.36	0.43
Oil Palm	1050	9.3	1.35	0.48
Bagasse	1130	8.9	1.36	0.43
Babassu Palm	1090	8.8	1.35	0.48

表 6 - 2 各種成形物の物理的特性 ( 2 )

Samples	Flexural strength [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Elastic modulus [10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Molding shrinkage [%]
Birch	1130	9.2	1.36	0.39
Sugi Bark	1110	9.4	1.39	0.43
OA Paper	1040	8.9	1.37	0.51
Coffee Bean	900	8.4	1.37	0.43

られている。また、市販ノボラック樹脂を用いた場合と比較して大きな差はないと言える。

さらに、曲げ弾性率以下の三種物性値について比較しても、市販ノボラック樹脂からの成形物と比べて特に不利なものは認められない。

なお、コーヒー豆から得た成形物の曲げ強度は比較的低い値にとどまったが、市販ノボラック樹脂成形品に対する曲げ強度のJIS規格値の最高値、すなわち700 kgf/cm<sup>2</sup>は優に満たしており、強度的には充分用い得るものである。

## 5. 5 おわりに

種々の化学的、物理的特徴を持った植物資源から、同じようなフェノール液化挙動が認められ、また、それぞれの液化物から類似の物理的特性を持つ三次元硬化成形物を得ることができた。特に曲げ強度などは市販ノボラック樹脂のJIS規格値を充分上回るものであり、木材の液化法がかなり多くの植物資源に対して広く応用し得るものと考えられる。

また、これらの液化物は、フェノリシスとヒドロキシフェニル化により、それ自体が大変反応性に富むので、ノボラック様成形物のプレポリマーとして利用する際、市販品を調製する場合のように、毒性の高いホルマリンを用いてあらかじめ付加および縮合させる必要がないことは特筆すべきであると思われる。

## 6. ε-カプロラクトン存在下での木材の液化および液化物の応用

### 6. 1 はじめに

前出のように、表題の液化は木材のみならずバガス、ヤシの実の核層さらにはコーヒー豆搾りかすまで広く使いうる手法である。パーティクルボード、合板に応用した例では熱硬化性接着剤部分が液化出来なかったが、木質部は液化した。これらの事実は解体材の活用リサイクル技術の一つとして液化法は用い得ることを示している。問題はいかに意味のある液化を行い、意味のある応用を見い出すかである。そこで、問題を出来るだけ定量的に取り扱って、考えやすい形で進めた方がよいと思われる。この技術開発事業の分担者として研究を進める中でも、身元のはっきりとした木材を試料として用いる由縁である。そこで、本研究では木材試料としてマカンバ (*Betula maximowicziana* Regel) の20~80メッシュの木粉を依然として使っている。

### 6. 2 実験

#### 6. 2. 1 供試試料

グリセリン (Gly)、トリメチロールプロパン (TMP)、ε-カプロラクトン (εCL)、97%硫酸、苛性ソーダ、イミダゾール、無水フタル酸、1,4-ジオキサンその他の有機化合物は市販一級または場合により特級試薬をそのまま供試した。

#### 6. 2. 2 木粉のGly/TMP/εCL混合溶媒存在下での液化

所定組成のGly/TMP/ε CL混合溶媒に所定量の濃硫酸を加え、1分間攪拌して均一な反応溶液とした。50 ml容ガラス反応容器の中に3 gの絶乾木粉を秤り取り、これに2から12倍量の反応溶液を加え、少なくとも木粉に完全に浸透させた。反応容器には還流冷却管を取り付け、所定の温度に設定したオイルバス中で所定時間、液化反応を行った。液化の進行状態を評価する場合には、反応溶液を十分量のジオキササンで希釈し、ガラス繊維濾紙（TOYO GA-100）を用いて濾別し、残渣量を定量した。また、液化後、発泡体の調製を行う場合には、液化反応終了後直ちに48%苛性ソーダ水溶液あるいはイミダゾールを加えて中和を行った。

### 6. 2. 3 液化物からの発泡体の調製（ハンド発泡）

中和した液化物50 gを秤り取り、所定量の水、整泡剤（シリコーン系整泡剤）および発泡触媒（トリエチレンジアミンまたはジブチルスズジラウレート）を添加して十分に予備攪拌を行った。あらかじめ液化物試料1 gを秤り取りフタル化剤を用いる常法によって水酸基価を求めておき、それに基づいてイソシアネートインデックスが80から140となるようにポリイソシアネート（ポリメリックMDI）を加え、ただちに高速攪拌機で約20秒間攪拌して発泡ボックスに注入した。得られた発泡体は攪拌を始めてから15分以上経過した後に発泡ボックスから取りだし、一晚以上室温で熟成させた。

### 6. 2. 4 発泡体の圧縮試験

調製した発泡体は丸鋸を用いて50(l)×50(w)×30(h) mmの大きさに切り出した。このときスキン層は取り除いておいた。切り出した試片は20℃、RH 65%の条件下で48時間以上の調湿を行った。試片の大きさはノギスを用いて0.01 mm単位まで測定し、縦、横、高さとも3箇所の平均値とした。重量も秤量し密度を求めた。

圧縮試験は島津製作所製オートグラフDCS-R-500を用いて、クロスヘッドスピード5 mm/min、フルスケール100 kgfの条件で行った。ここで圧縮強度および圧縮弾性率は以下の式で算出した。

$$\text{圧縮強度} = \frac{\text{降伏点または10\%変形時の荷重}}{\text{断面積}} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{圧縮弾性率} = \frac{\text{比例限度荷重}}{\text{歪み} \times \text{断面積}} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

## 6. 3 結果と考察

### 6. 3. 1 木粉のGly/TMP/ε CL存在下での液化

硬質ポリウレタンフォームの製造にあたって、生分解性を意識する場合には、ポリカプロラクトン（PCL）をポリオールとして用いることが魅力のあることとなる。PCLは生分解

性高分子として著名であるからである。そこで、PCLの一つであるプラクセル 303（ダイセル化学工業（株）製）存在下で木粉を液化することが試みられ、液化が容易に進むことおよび液化物から良好な発泡体得られることが知られた。この場合の問題点は、他のポリオールに比べ PCL の価格が高いことであった。プラクセル 303 は TMP と  $\epsilon$  CL とから合成される低分子量 PCL である。そこで、 $\epsilon$  CL と TMP、さらには Gly と硫酸触媒存在下での木材の液化を試みた。この液化系は同時に PCL を生成し得る系でもあるからである（図 6-7）。図 6-7 を考慮すると、木粉と有機液体との液比、 $\epsilon$  CL と多価アルコールの量比、触媒の添加量、温度といったものが、系中で生成する PCL の分子量、およびその跳ね返りとしての木粉の液化の進行、得られる液化物の粘度といったものに影響することになる。

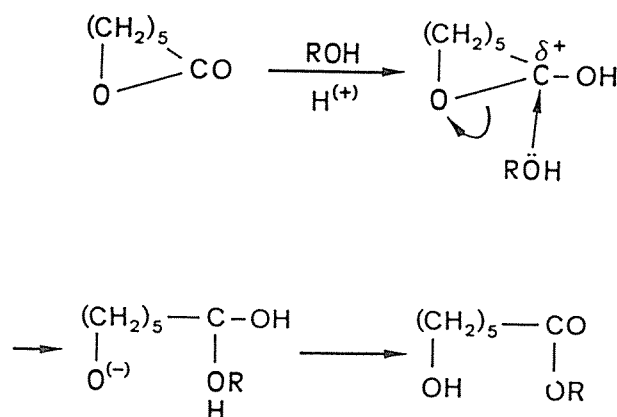


図 6-7 アルコール類存在下での  $\epsilon$ -カプロラク톤の開環重合

そのような因子について順次検討したが、その中から二、三の検討結果を以下述べていくこととする。

まず、図 6-8 には多価アルコールと  $\epsilon$  CL の量比が液化に及ぼす影響について示す。ここでは、液比を 3、硫酸濃度を 0.75 % とし、150 °C、2 時間の条件で液化を行っている。多価アルコールの割合が高いとき、その種類によって残渣率に差が認められるが、どの場合にしても  $\epsilon$  CL 量が約 75 % のとき最も液化が進んでいる。この条件で液化した液化物について GPC を用いて標準ポリスチレン換算での重量平均分子量の値を測定した。Gly と TMP の比が 1:0、1:1 および 0:1 の場合について得られた分子量はそれぞれ 1680、1490 および 1700 となっていた。この結果は、残渣による液化の進行の評価と一致しており、低分子化を起こしやすい系ほど液化されやすいことが示唆された。

なお、残渣量を求めるときには、実験の項で述べたとおり、希釈剤で薄め粘度を低くして濾過する必要がある。その際用いる希釈剤としては液化されたものをすべて溶解状態においたまま希釈するものを選ぶことが大切である。そこで希釈剤として何を用いるべきかについてまず検討した。その結果を図 6-9 に示す。3 種の異なった Gly、TMP および  $\epsilon$

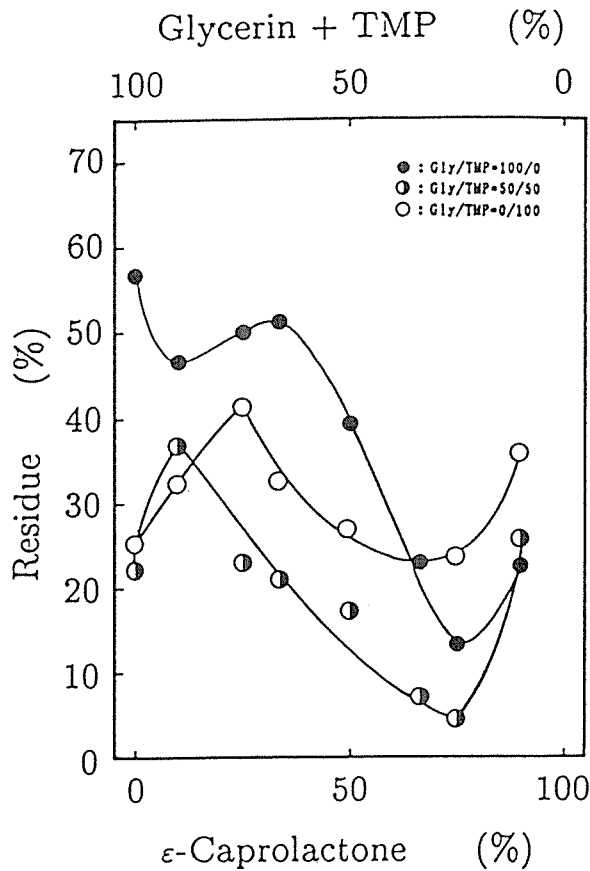


図 6 - 8 混合アルコール（グリセリン+トリメチロールプロパン）と  $\epsilon$  カプロラク톤の比と液化残渣率との関係  
 木粉/混合アルコール +  $\epsilon$  CL /  $H_2SO_4$  = 33.3 / 100 / 0.75 ;  
 液化温度 150°C ; 液化時間 2 hrs.

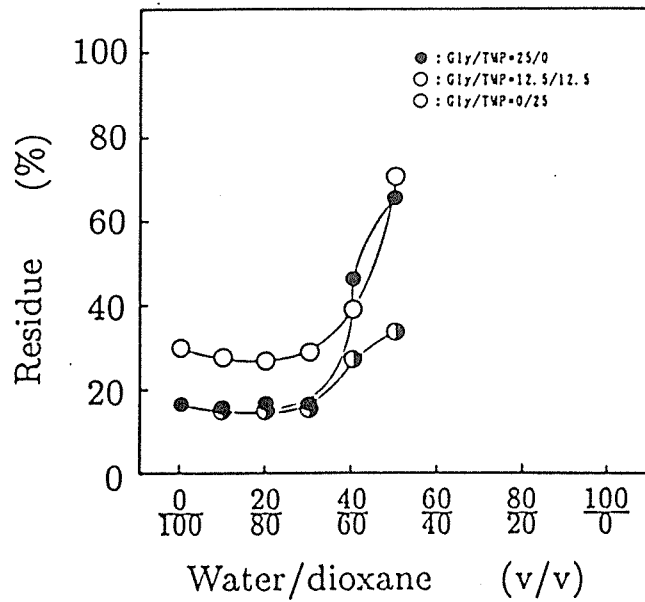


図 6 - 9 希釈溶剤組成と液化残渣率の関係  
 木粉 / Gly + TMP /  $\epsilon$  CL /  $H_2SO_4$  = 33.3 / 25 / 75 / 0.75 ;  
 液化温度 150 °C ; 液化時間 2 hrs.

CL 比で、硫酸触媒存在下、150℃、2 時間の液化を行ったものについて検討しているが、希釈剤としてジオキサンのみを用いたときと、10 - 30 %の水を含むジオキサン混合液を用いたときの残渣率の差は殆どないことが知られる。この結果からジオキサンを希釈剤として用いても、定量上の問題はないといえる。したがって本研究では希釈剤として、ジオキサンを用いることとした。

図6-10には液比を3、多価アルコールと $\epsilon$ CLとの比を25/75として150℃、2時間液化したときの硫酸添加量の影響について示す。この反応系では溶媒の1%程度のごく僅かの触媒添加で急激に液化が進むことが知られる。同時に、触媒添加量が2%を超えると残渣は再び増大している。対応して測定した残渣のIRスペクトル上で、1730  $\text{cm}^{-1}$ のカルボニルの吸収が非常に大きくなっており、木材成分起源物質への $\epsilon$ CLによるエステル化あるいはアルコキシ化とそれらにともなう重合が増加したため残渣が増加したのではないかと考えられる。

また図6-11には、多価アルコールとしてグリセリンを用い、前図での場合と同じ条件で液化したのち、液化生成物の水酸基価の測定を行った結果を残渣率と共に示している。液化の進行とともに水酸基価が減少していることが知られる。グリセリンおよび木材成分中の水酸基が関与する $\epsilon$ CLの開環重合と停止のみでは水酸基価は減少しないと考えられるので、この結果は液化反応中に木材成分起源物質への $\epsilon$ CLによるエステル化あるいはアルコキシ化が起こっていることをさらに示唆している。

### 6. 3. 2 液化物からの硬質発泡体の調製とそれらの圧縮強度特性

ポリウレタンフォームの調製と生成物の物性測定結果の一例を図6-12に示す。この場合、TMP/ $\epsilon$ CL (1:3) 混合溶媒存在下、媒体に対し0.75%量の硫酸を触媒として液比3で木粉を液化(150℃、2時間)し、液化物をポリオールとして水酸基価を測定した上で、ポリメリックMDIを多価イソシアネート化合物として種々のイソシアネートインデックスで組み合わせ、液化物50gに対し、発泡剤として1gの水を加え、発泡触媒としてジブチルスズジラウレート0.25g、また、整泡剤としてはシリコン系整泡剤SH-193(東レシリコン(株)製)を0.5g加えて、実験の項に示した手順で発泡体を得た。得られた発泡体の密度、圧縮強度および圧縮弾性率を求め、イソシアネートインデックスに対してプロットした結果が図に示されている。イソシアネートインデックスが100より低い場合には、調製された発泡体の収縮が著しく起こり、圧縮強度物性を求める試験をすることが出来なかった。イソシアネートインデックスが100以上のときには液化物(ポリオール)に対して2wt%の水を含んでいる発泡系で調製して、生成発泡体に問題になるほどの収縮は起こらなかった。図より、イソシアネートインデックスが高くなるに従い、発泡体の密度が低下すること、それに対応して発泡体の降伏点あるいは10%変形時の圧縮強度と圧縮弾性率も低い値を取るようになることが知られる。

一般に、ポリウレタン用ポリオールを反応性媒体として用いて木材を液化して得られる

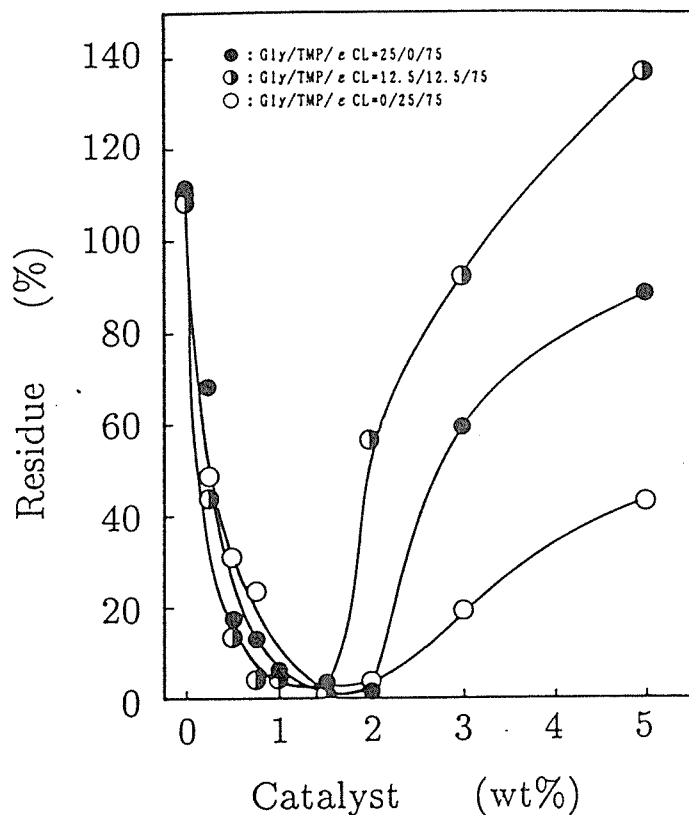


図6-10 硫酸触媒添加量と液化残渣率の関係  
 木粉/Gly+TMP/ε CL=33.3/25/75 ;  
 液化温度 150 °C ; 液化時間 2 hrs.

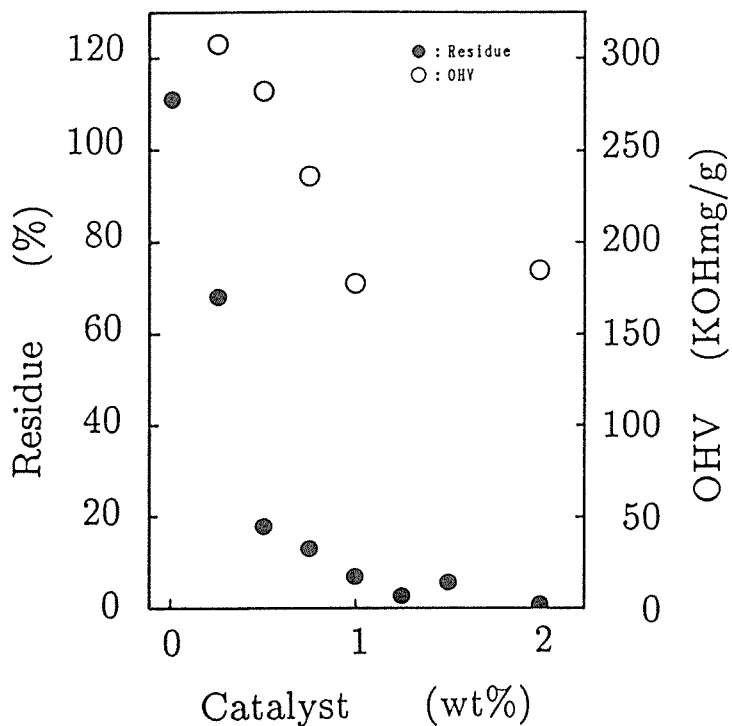


図6-11 アルコールがグリセリンのみの場合の硫酸触媒添加量と  
 液化残渣率およびポリオール（液化物）の水酸基価の関係  
 木粉/Gly/ε CL/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=33.3/25/75/0.75 ;  
 液化温度 150 °C ; 液化時間 2 hrs.



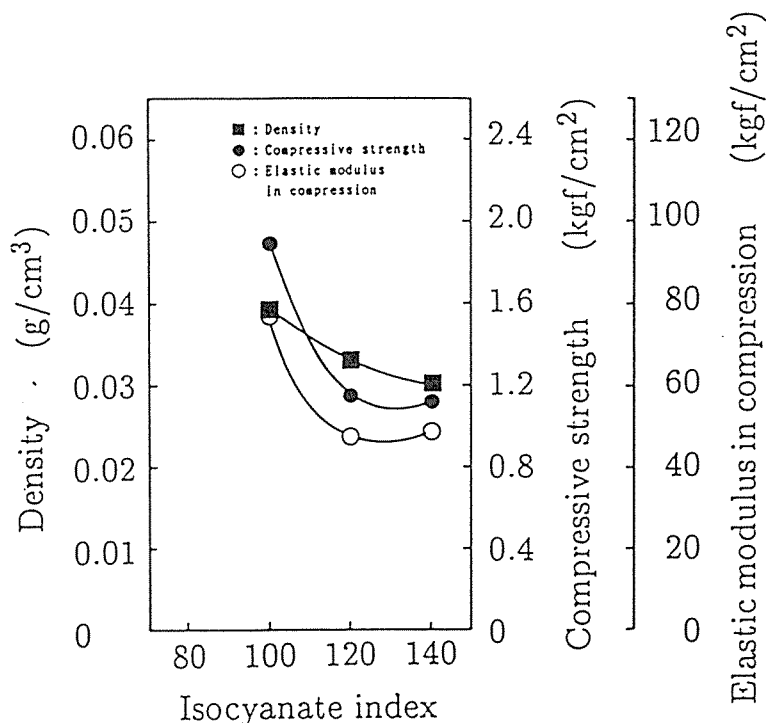


図 6 - 1 2 木材液化物から調製したポリウレタン発泡体の密度および圧縮強度特性とイソシアネートインデックスの関係  
 木粉/Gly/TMP/ $\epsilon$  CL/ $H_2SO_4$  = 33.3/0/25/75/0.75 ; 液化温度 150 °C ; 液化時間 2 hrs ; 発泡剤 (水) 1 g/50 g 液化物 ; 発泡触媒 (ジブチルスズジラウレート) 0.25 g/50 g 液化物 ; 整泡剤 (シリコーン系, SH-193) 0.5 g/50 g 液化物

ポリオールは、原料ポリオールに比べて粘度が大きくなる。とくに多価アルコールと  $\epsilon$  CL の系で液化した液化物はそれらの中でも高粘度になりがちである。ポリオールが高粘度であるとイソシアネートとの反応の際に攪拌が不十分になりやすい。これは、発泡体の内部にボイドが発生する原因となり、また反応が不均一となって発泡体が収縮する原因ともなる。ポリオールの粘度を下げるために減粘剤といわれる助剤を通常添加する。ここでもその添加を検討し、減粘剤として炭酸プロピレンを液化物に対し 0~5 % 加える実験を行った。その検討結果の例を 図 6 - 1 3 に示す。ここでは木粉/Gly/TMP/ $\epsilon$  CL/ $H_2SO_4$  の比を 33.3/25/0/75/0.75 とし、150°C、2 時間の反応で液化物を得た。イソシアネートインデックスを 100 とするようにポリメリック MDI を混合して発泡体を調製している。液化物 50 g に対し、発泡剤、水を 1 g ; 発泡触媒、ジブチルスズジラウレートを 0.25 g ; 整泡剤、シリコーン系整泡剤 SH-193 を 0.5 g 加えた発泡系での結果である。1~2 % 程度の僅かな炭酸プロピレンの添加で液化物ポリオールの粘度は低下し、生成発泡体中にボイドは認められなくなった。しかし、図 6 - 1 3 より、炭酸プロピレンの添加量が増えるに従って、発泡体の密度が漸増していることが知られる。その意味では炭酸プロピレン添加量は低く抑えられるべきであるといえる。ただし、圧縮強度物性にはこの減粘剤の添加は悪い影響を及ぼしていない。

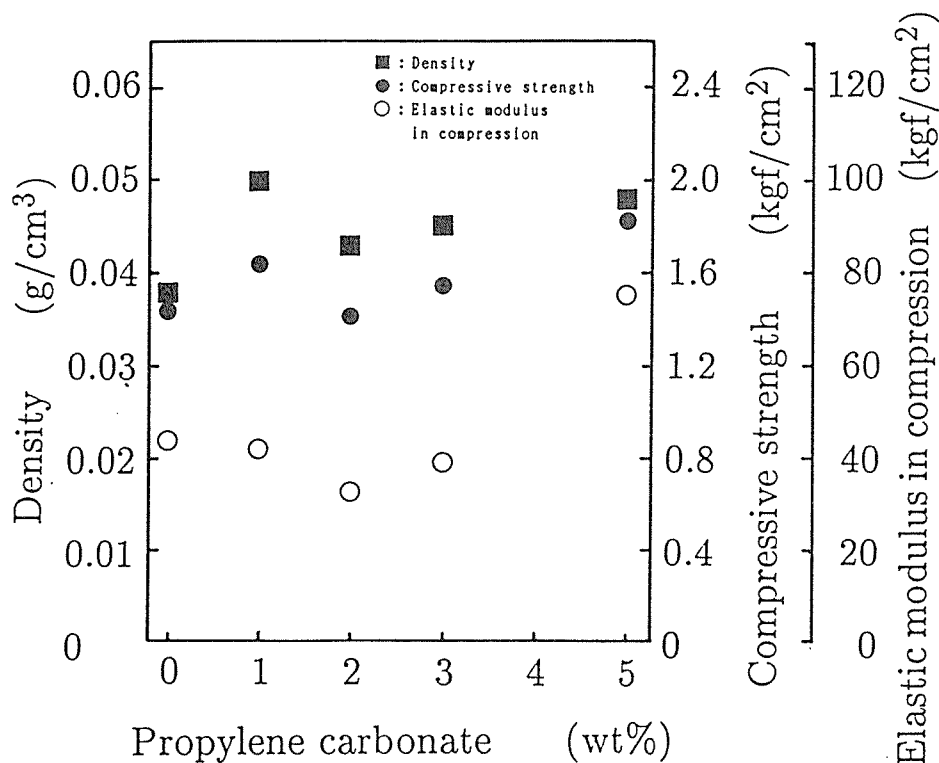


図6-13 減粘剤を添加した木材液化物から調製したポリウレタン発泡体の密度および圧縮強度特性と減粘剤（炭酸プロピレン）添加量の関係

木粉/Gly/ $\epsilon$ CL/ $H_2SO_4$  = 33.2/25/75/0.75；液化温度 150 °C；液化時間 2 hrs.；発泡剤（水）1 g/50 g液化物；発泡触媒（ジブチルスズジラウレート）0.25 g/50 g液化物；整泡剤（シリコン系, SH-193）0.5 g/50 g液化物

#### 6.4 おわりに

以上の結果をまとめると次のようなことが言える。まず、 $\epsilon$ CL と硫酸のみの系では木材の高度な液化は起こらないが、一定量の Gly や TMP などの多価アルコールを共存させると十分な液化が進む。このとき、液比、液化溶媒の組成、硫酸添加量、反応温度などは液化の進行に大きな影響を及ぼす。

また、液化率の定量的測定を行うためには、適切な希釈剤を選択する必要がある。液化溶媒、液化条件によってこの適切な希釈剤は異なったものになるが、多価アルコールと  $\epsilon$ CL の系での液化では、ジオキサンが希釈剤として適当な溶剤であることが示された。

他方、得られる液化物は全体としてポリオールと見なし得るのでイソシアネート化合物と反応させることで、ポリウレタン発泡体の調製が可能であることが知られた。イソシアネートインデックスや発泡触媒、整泡剤などの発泡助剤を考慮することにより、圧縮強度特性などの異なる種々のポリウレタン発泡体を得られた。

得られた発泡体は密度、圧縮強度特性など得られた物性値を考慮すると十分に実用に耐え得るものといえる。また、ポリウレタン自体、生分解性を持つ場合があり得るといわれているが、ここでの発泡体は低分子化した木材成分も含有しており、生分解がさらに期待できる材料である。未利用木材を利用したりリサイクル廃木材を利用することも考えると、

今後液化物から調製するポリウレタン発泡体の実用化が期待されよう。

## 7. 結言

以上、筆者らが木材からの樹脂（プラスチック）材料の開発に関して、最近考えていること、および検討していることを簡単にまとめた。最近のこの種の研究は筆者らの研究室以外でも盛んに行われるようになって来ている。したがって、いろいろな刺激を受けることが出来、研究環境として恵まれたものとなって来たと思っている。多くの同学の士に恵まれ、力を合わせるによりこの種の研究の実際化も夢でない雰囲気になってきたからでもある。

## 第7章 樹皮の高度利用技術の開発

### 1. はじめに

木材工業において、木材を加工する過程で樹皮やのこくずなど大量の廃材が産生する。これら木質廃材の高度利用技術の開発は、林産工業の発展に欠くことのできない重要な課題の一つである。これまでに廃材利用に対しさまざまな提案がなされ、一部は実用化されている。特にわが国では、1960年代からの木材需要の増大や燃料消費構造の急激な変化に伴い大量の木質廃材が焼却されたが、大気汚染が問題とされて以来、主として廃棄物処理の観点から木質廃材の再利用が検討されている。とりわけ利用技術の開発が遅れ、燃料として利用する以外に方途がなかった樹皮も、近年の省資源、省エネルギー、環境問題に対する関心の高まりから、燃料以外に家畜敷料、土壌改良材など農業用有機資材としての需要が急速に増加している。最近、北海道においても樹皮は廃棄されることなく再利用されており、用途も燃料から家畜敷料へ移行し、より付加価値の高い方向へ指向されている(表7-1)。もちろん樹皮を含め木質物は燃料としてすぐれた特性を持っており、化石資源に乏しいわが国において、木質廃材を熱源として利用することも必要である。また、樹皮のもつ理化学的性質を生かした農業用有機資材としての利用も、資源の有効利用のみならず農林地の地力の維持向上に欠かせず重要な意義を持っている。しかし、現在の樹皮利用形態は、まだ廃棄物処理の域を脱したのではなく、低位、粗放なレベルといっても過言ではない。年間総排出量が720万 $\text{m}^3$  [1] にものぼると推定されている樹皮の高度利用技術の迅速な開発が望まれる。

樹皮を組織学的にみると、樹皮とは木部取り巻く形成層より外側の組織をさし、樹木を乾燥の害や害菌の侵入から保護するとともに樹葉でつくられた養分を根に導く役割を果たしている。樹木の先端にある頂端分裂組織から形成される皮層が2次生長(肥大生長)を開始すると、皮層の中に1次周皮が生じ、幹の円周を囲む。周皮はコルク形成層をはさみ外側にコルク組織内側にコルク皮層からなり、2次師部が肥厚してくると順次新しい周皮が師部の内側に形成され、2次周皮のコルク組織より外側の組織は死滅する。これを外樹皮とよび、その内側は内樹皮とよばれ生活組織である。以下に述べるように内樹皮と外樹皮とは化学組成もかなり異なっている。

樹皮の化学組成は相当する樹種の木材とかなり異なっている。一般的に木材と比較して、抽出成分、灰分が多く、ホロセルロースが少ない(表7-2~4)。特にコルク組織には木材中にみられないスベリン系の物質が多量に存在する。内樹皮と外樹皮とでも組成はかなり異なっている。生活組織である内樹皮には可溶性炭水化物や含チツソ化合物が多く、外樹皮にはリグニンや非極性溶媒で抽出される脂溶性成分が多く含まれている。

樹皮成分の利用に関する研究は、欧米諸国で活発に行われており、一部は実用化されている。例えばTorochinoら [2] の方法でベイマツ樹皮からワックスや樹脂充填剤を工業規模で生産されている [3]。樹皮中に含まれているポリフェノールを木材用接着剤として

表 7-1 北海道内の製材及びチップ工場での廃材産出量とその利用  
(千 $m^3$ )

	年度	排出量	廃棄量	利用量	燃料	家畜敷料	その他
樹	S 54	703	200	503	298	103	102
	S 59	827	17	810	405	284	121
	H 1	782	6	776	349	312	115
皮	H 3	564	0	384	195	294	75
ノ	S 54	528	5	523	161	261	101
コ	S 59	391	0	391	97	239	55
ク	H 1	406	0	406	92	256	58
ズ	H 3	384	0	384	25	312	47
端	S 54	28	1	27	27	0	0
	S 59	27	1	26	24	0	2
	H 1	20	0	20	18	0	2
材	H 3	-	-	-	-	-	-
チ	S 54	79	13	66	40	17	9
ッ	S 59	97	2	95	14	72	9
ブ	H 1	83	1	82	12	64	6
屑	H 3	48	0	48	5	41	2

註 林産試月報, No. 344, 7 (1980)、昭和60年度林業技術研究発表大会  
論文集, 214 (1986)、日本木材加工技術協会第9回年次大会要旨集, 80  
(1991)、林産フラッシュ, No.44, 4 (1992)より引用。

表 7-2 樹皮及び材部の化学組成

(%、対絶乾試料)

樹種	部位	灰分	ホロセルロース	リグニン
トドマツ	外樹皮 <sup>a)</sup>	1.7	47.1	26.0
	内樹皮 <sup>a)</sup>	1.7	52.1	19.1
	材部 <sup>b)</sup>		70.4	28.7
エゾマツ	外樹皮 <sup>a)</sup>	3.0	36.0	35.6
	内樹皮 <sup>a)</sup>	2.8	42.9	30.2
	材部 <sup>b)</sup>	0.1	75.3	29.1
カラマツ	外樹皮 <sup>c)</sup>	2.1	40.8	38.6
	内樹皮 <sup>c)</sup>	2.8	41.9	19.5
	材部 <sup>b)</sup>	0.4	66.5	30.7
スギ	外樹皮 <sup>c)</sup>	1.1	40.3	42.6
	内樹皮 <sup>c)</sup>	3.3	42.3	23.6
	材部 <sup>d)</sup>	0.3~0.8	-	28.0~34.8
ヒノキ	外樹皮 <sup>c)</sup>	2.5	44.5	56.8
	内樹皮 <sup>c)</sup>	3.7	48.3	26.4
	材部 <sup>d)</sup>	0.2~0.9	-	25.7~32.2

<sup>a)</sup> 幡克美, 十河村男: 香川大農学報, 11, 270 (1959).

<sup>b)</sup> 里中聖一: 木材誌, 9, 26 (1963).

<sup>c)</sup> 幡克美: 材料, 16, 777 (1967).

<sup>d)</sup> 東京大学農学部林産化学教室編: 林産化学実験書, 産業図書, 1956, p. 110.

表 7-3 逐次抽出による針葉樹樹皮抽出物量  
(%、対絶乾試料)

	トドマツ		エゾマツ		カラマツ	
	外樹皮	内樹皮	外樹皮	内樹皮	外樹皮	内樹皮
ベンゼン	13.0	1.9	5.0	3.5	2.2	2.5
エーテル	0.3	0.1	0.2	0.8	0.6	1.0
アセトン	2.9	1.2	1.2	2.9	3.7	19.4
メタノール	2.3	1.6	3.3	4.5	8.0	11.6
熱 水	2.7	4.2	8.0	8.6	6.6	10.3
1% NaOH	23.7	12.7	26.7	24.8	31.8	25.5
合 計	45.4	21.7	44.4	45.1	52.9	70.3

註 木材学会北支講, 9, 27 (1977)より引用。

表 7-4 逐次抽出による広葉樹樹皮抽出物量  
(%、対絶乾試料)

	シナノキ		シラカンバ		ミズナラ	
	外樹皮	内樹皮	外樹皮	内樹皮	外樹皮	内樹皮
ベンゼン	4.7	9.1	27.4	0.7	3.5	2.2
エーテル	0.3	0.6	0.1	0.1	0.3	0.7
アセトン	2.4	6.3	1.0	1.2	2.1	10.5
メタノール	2.6	4.4	1.6	1.3	2.6	6.0
熱 水	4.3	4.3	3.4	3.2	5.7	5.4
1% NaOH	36.5	18.2	25.3	22.4	28.3	17.3
合 計	50.8	42.9	58.8	28.9	42.5	42.1

註 木材学会北支講, 9, 27 (1977)より引用。

利用する試みも古くから行われ、ワットルやラジアータマツから抽出されたタンニン为原料とする接着剤が南アフリカ、ニュージーランド、オーストラリアで実用化されている [4,5]。米国ではITT Rayonier社が、1956年から20年間ベイツガ樹皮を亜硫酸ナトリウムや水酸化ナトリウム水溶液とともに加圧蒸煮し、ポリフェノールを抽出するプラントを稼働させた [6]。鞣皮剤、油井戸穿孔助剤、木材用耐水性接着剤、ボイラー清缶剤、土木工事などの地盤安定剤などを用途とし、当初生産規模は年産7,600トンであったが、その後の競合製品の出現や製品の市場規模が小さいことなどから縮小、撤退するに至った。わが国においても窪田 [7] や高野 [8] によりカラマツ樹皮からの木材用耐水性接着剤製造試験が実施され、その経済性についても検討が加えられた。その実用化を阻んでいる原因に樹皮抽出物単独では十分な接着性能が得られないこと、また米国と同様に木材用耐水性接着剤の市場規模がそれほど大きくないことなどがあげられる。

樹皮の特殊な用途として生薬としての利用がある。キハダ樹皮からの整腸剤ベルベリンの抽出はよく知られているが、最近ユー(セイヨウイチイ)樹皮に高い関心が集まっている。ユー樹皮にはタキソールと称するテルペノイド系のアルカロイドが含まれており、これが副作用が少ない画期的な抗ガン剤として子宮ガン、乳ガン、肺ガン、直腸ガンの治療に期待されている。しかし、蓄積が少ないのに加えて、希少樹種として自然保護主義者が伐採に反対しており、さらにその生育地がフクロウ棲息地と重なることが問題を複雑にしている [9]。いずれにしてもタキソールに関する知見は樹皮を貴重な天然資源として再認識させる契機となった。

ここでは樹皮中に含まれているポリフェノールのイオン交換性に着目し、樹皮を用いた有害あるいは有害重金属類の除去回収を検討した。

## 2. 重金属吸着剤としての樹皮

ある種の天然物質、例えば木炭や珪藻土は古くから吸着剤、ろ過剤として利用されており、また羊毛や毛髪などのケラチン物質が重金属イオンを吸着することはよく知られている。1970年代に入り、農畜産業で排出される副産物の有効利用の一環として、各種副産物の重金属排水処理への適用が検討され始めた。これまでに、クルミ外皮 [10,11]、ピーナッツ、クリの内外皮 [10-15]、玉ネギ外皮 [15,16]、茶葉 [17] などのポリフェノール系物質、柑橘類の内、外皮 [15] などのペクチン酸-ポリフェノール系物質が重金属イオンの除去、回収に有効であると報告されている。稲ワラ、モミ殻やバガス [10,11]、麦ワラ [18]、トウモロコシの穂軸 [19] などイネ科植物のリグノセルロース系物質についても検討されたが、それらの重金属捕集能はポリフェノール系の物質ほどは大きくない。木質バイオマスを対象としたものでは、樹皮 [14,20-23]、樹葉 [24-26]、のこくず [18,19] などの残廃材、化学的に改質した木材 [27,28]、機械パルプ [29] リグニン [30] の利用も検討されている。しかし、これらバイオマス系吸着剤は能力、利便性、経済性のいずれかに課題を残しており、実用化されるに至っていない。



最近、固定化タンニンを醸造用水の除鉄や清酒の清澄化 [31-34]、海水や鉱山排水からのウラニウムなど有価金属の回収 [35,36]、重金属類の分別回収 [37,38] に工業的に利用することが検討されている。樹皮類は重要なタンニン原料の一つであり、その中には重金属類に対し高い親和性を示す樹種がある [39]。本研究では、まず主要な商業樹種を含む60樹種の樹皮についてカドミウム、銅、亜鉛などの有害、有価重金属に対する捕集能を調べ、次いで優れた吸着能を示す樹皮を用いて、吸着速度、重金属イオンの濃度、供試液のpH、吸着担体量や流速など種々の吸着条件を検討し、最終的には実用化を念頭においた鉱山排水と工場廃水の処理システムについて考察を加えた。

### 3. 樹皮の粉碎技術

樹皮を原料とする重金属吸着剤を生産する際、原料製造技術は製品製造コストに大きな影響を及ぼす。原料樹皮の製造プロセスとして、原木からの剥皮、乾燥、粉碎などの工程があげられる。これらのうち剥皮、乾燥については従来からも行われており、それらの技術を適用しうるであろう。しかし、樹皮の粉碎については、堆肥原料とする場合のような比較的粗大な粒度までの粉碎が主であり、このような粉碎法を吸着剤原料に適用することは適切でないと考えられる。吸着剤として最適な樹皮の形状は、重金属吸着試験や実証化試験により解明しなければならないが、ここでは樹皮の繊維化粉碎性(寸法、形状)、粉碎繊維化に要する動力などを検討した。

#### 3.1 樹皮の粉碎性

3種類の粉碎機による粉碎の結果、粉碎物はその形状、寸法に特徴が見られた。ダブルディスクリファイナー粉碎物は細長い繊維状を、パールマンチッパー粉碎物はほぼ長方形を、ハンマーミル粉碎物は両者の中間的な形状を示した。粉碎物の大きさはダブルディスクリファイナー、パールマンチッパー、ハンマーミルの順に大きくなった。樹皮の粉碎物は、いずれの粉碎機を用いた場合も材部のそれに比べて長さが小さく、約1/4であった。表7-5に3種類の粉碎機でトドマツ樹皮と材部を粉碎した時の所要動力を示した。樹皮は材部より粉碎が容易であることはこの表から明らかである。

#### 3.2 樹皮の解織、繊維化

樹皮は、繊維質要素の少ない樹外皮と繊維細胞よりなる内樹皮から構成されており、樹種によりそれらの構成比は異なっている。内樹皮の多いシナノキ樹皮、それとは反対に外樹皮の多いカラマツ樹皮の各蒸煮物、さらに比較のためシナノキ材部の蒸煮チップを選び、ダブルディスクリファイナーで解織した。その結果を表7-6に示す。

樹皮は材部に比べ115メッシュ通過の部分が多く、粉碎が容易なことが認められる。解織物の形状は、シナノキ材部は繊維状態を保持しているのに対し、カラマツ樹皮は絡み合いの乏しい粒状をしていた。一方、シナノキ樹皮では、繊維形状が木材と類似した解織物

を与えた。解繊クリアランスを大きくして、カラマツ樹皮を直接解繊した場合115メッシュ以下の微細粒子の収率は16.6%と大きく減少する。従って、適切な解繊クリアランスを用いることでより繊維状の解繊物を得ることが可能と考えられる。

表 7-5 トドマツ樹皮及び材の粉碎動力(kwh/ton)

粉 碎 機	樹 皮	材
ハンマーミル	2.40	6.24
ダブルディスクリフアイナー	6.48	7.20
パールマンチッパー	4.00	6.58

表 7-6 カラマツ、シナノキ樹皮解繊物の粒度分布(%)

試 料	粒 度 分 布					
	>9 <sup>a)</sup>	9~16	16~32	32~60	60~115	115>
カラマツ樹皮	0.2	4.9	15.2	17.7	20.3	41.7
シナノキ樹皮	9.0	9.0	18.2	11.8	15.2	36.8
シナノキ材	3.4	37.5	3.6	25.3	10.1	20.1

<sup>a)</sup> 単位：メッシュ。

#### 4. 樹皮の吸着性能試験

十分に水洗した樹皮粉末(42~80メッシュ、0.5 g)を1mMの金属を含む水溶液(pH 5、100 mL)に懸濁させ、30℃で24時間振盪し、担体をろ別後、ろ液中の残留金属量を原子吸光法で定量し、重金属吸着量を算出した。なお、カドミウム、銅、亜鉛については全樹種について実施し、銀、コバルト、マンガン、ニッケルは比較的重金属に対し親和性が高い針葉樹3樹種と広葉樹14樹種について実施した。表7-7~10に吸着試験結果を示す。

表 7-7 針葉樹樹皮および活性炭のカドミウム・銅・亜鉛吸着能

樹 種	カドミウム		銅		亜鉛	
	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g
トマツ	28.1	6.7	31.5	4.4	26.0	3.6
イゾマツ	51.0	12.2	50.3	7.1	50.2	7.1
アガゾマツ	50.2	12.1	54.5	7.6	50.2	7.0
ヨロツハトウヒ	63.1	15.8	68.9	9.6	56.8	8.2
カラマツ	38.4	9.1	35.8	5.0	33.3	4.7
クイマツ	38.4	9.8	45.9	6.4	35.5	5.0
アカマツ	40.5	9.7	33.3	4.7	32.7	4.6
クロマツ	29.7	7.2	44.8	6.3	35.2	5.0
ストロブマツ	38.3	9.4	41.6	5.8	26.9	3.9
イチイ	59.4	14.4	55.3	7.6	55.0	7.9
スギ	49.8	12.1	46.7	6.5	46.9	6.6
コウヤマキ	43.9	10.7	53.9	7.5	44.1	6.3
ヒノキ	47.8	11.6	34.4	4.8	41.1	5.8
サワラ	47.3	11.6	36.3	5.0	43.5	6.1
ヒノキアスナロ	57.5	13.9	40.7	5.6	42.6	5.9
活性炭(粒状)	33.7	7.3	50.6	6.5	44.9	5.7
活性炭(粉末)	30.2	7.1	45.5	5.8	18.9	2.5

表 7-8 広葉樹樹皮のカドミウム・銅・亜鉛吸着能

樹 種	カドミウム		銅		亜鉛	
	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g
キントロ	58.1	14.5	60.3	8.3	50.9	7.1
イロアメリカホップラ	56.0	13.9	55.4	7.8	49.1	6.8
トロキ	69.9	17.0	78.6	11.0	65.9	9.4
セイウハコヤキ	48.6	12.1	45.9	6.4	41.6	5.8
ヤマナシ	71.0	16.8	66.1	9.1	67.7	9.5
イソハコヤキ	50.4	12.0	40.6	5.6	47.0	6.7
イソカヤキ	44.5	10.8	37.9	5.2	42.6	6.2
サワグルミ	66.3	16.1	62.3	8.6	64.8	9.0
シサワグルミ	73.2	17.6	63.0	8.7	69.8	9.8
ヒッコリー	71.5	17.6	62.4	8.7	74.4	10.5
アラハダヒッコリー	72.4	17.7	60.3	8.5	67.6	9.5
オニグルミ	69.7	16.8	65.8	8.9	67.3	9.3
ヒメグルミ	66.8	16.7	61.7	8.4	60.4	8.6
テウチグルミ	70.4	17.0	68.4	9.4	69.8	9.7
サシハ	56.9	13.8	54.7	7.5	53.3	7.5
シラカハ	55.7	13.6	53.8	7.4	49.1	7.0
タケカハ	24.2	5.7	18.8	2.6	22.4	3.1
ヤカワカハ	30.3	7.4	28.7	3.9	21.9	3.0
ヤマハシキ	39.9	9.6	39.2	5.4	32.3	4.5
ブナ	50.9	12.2	42.7	5.8	47.6	6.7
ミズナラ	54.2	12.5	47.2	6.4	46.7	6.5
カシ	62.0	15.3	32.5	4.4	32.2	4.5
クリ	57.4	13.9	57.7	8.0	56.4	8.0
ハルニレ	63.5	15.6	66.5	9.3	58.5	8.4
ケヤキ	41.8	10.4	31.8	4.3	31.5	4.4
ヤマクワ	67.0	16.8	71.4	9.7	62.0	8.8
カツラ	45.6	11.0	43.7	6.0	43.9	6.2
キタコブシ	57.7	13.7	72.0	9.9	51.2	7.3
材木	62.0	15.6	80.1	10.8	59.9	8.5
ユリキ	62.2	15.6	46.9	6.5	56.7	8.1

表 7-9 広葉樹樹皮のカドミウム・銅・亜鉛吸着能

樹 種	カドミウム		銅		亜鉛	
	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g
エゾヤマザクラ	37.8	9.2	31.8	4.2	32.4	4.6
シウリザクラ	54.7	13.8	57.6	7.9	49.7	7.2
キハダ	69.0	16.8	66.8	9.3	30.9	4.3
イタヤカエデ	52.1	12.5	43.8	6.0	51.4	7.1
トチノ木	57.6	13.7	48.4	6.6	52.4	7.4
オオハコバネイシユ	61.9	14.5	59.6	8.3	56.6	8.1
シナノ木	62.4	15.1	52.8	7.2	57.6	8.1
ハリキリ	58.7	14.0	55.2	7.5	53.6	7.5
ミスズキ	58.9	14.4	59.9	8.3	58.3	8.5
エゴノ木	68.9	17.4	66.5	9.2	61.7	8.8
ハシトイ	28.3	6.8	36.3	4.9	34.7	4.8
アメリカナツコ	52.0	12.7	35.6	4.9	45.7	6.5
アオダモ	58.5	14.4	47.5	6.7	58.2	8.3
ヤチダモ	65.5	16.1	57.1	8.0	63.7	9.1

表 7-10 樹皮および活性炭の銀・コバルト・マンガン・ニッケルの吸着能

樹 種	銀		コバルト		マンガン		ニッケル	
	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g
エゾマツ	20.4	5.0	28.6	3.7	34.6	4.1	31.5	4.2
ヨーロッパトウヒ	23.1	5.7	44.5	5.4	42.8	5.3	53.7	3.3
イイ	22.5	5.7	47.3	6.2	47.2	5.6	47.7	6.1
トコロキ	30.0	7.2	31.9	4.2	47.4	5.7	47.9	6.5
ヤマナシ	19.8	4.7	43.1	5.4	45.9	5.6	60.3	8.5
サクランミ	29.1	6.8	53.9	7.1	46.7	5.6	54.0	6.7
シサクランミ	26.5	6.1	49.0	6.4	43.5	5.1	51.2	6.3
ヒッコリー	28.3	6.7	53.9	7.2	45.8	5.5	54.0	6.8
アラカタヒッコリー	33.3	7.7	52.3	6.9	47.3	5.6	53.7	6.6
オクランミ	30.6	7.0	54.1	7.0	46.6	5.5	54.0	6.6
ヒメランミ	29.8	6.8	49.8	6.5	47.6	5.6	50.7	6.2
テウチランミ	34.6	8.0	55.1	7.2	49.8	5.9	58.9	7.3
ヤマクワ	23.9	5.9	52.2	6.7	52.1	6.1	52.8	6.6
キタフシ	29.1	7.2	24.1	3.1	51.1	5.9	54.2	7.7
材ノキ	34.5	8.6	40.0	5.4	51.1	5.9	55.4	7.9
エノキ	28.4	6.9	46.5	6.2	55.6	6.4	63.4	9.1
ヤチモ	26.9	6.4	39.2	5.3	52.6	6.1	49.8	6.2
活性炭（粒状）	-	-	33.4	3.8	28.6	3.1	27.2	3.2
活性炭（粉末）	-	-	22.4	2.8	11.7	1.3	21.3	2.6

これらの表から明らかなように、樹皮の重金属捕集能は樹種の違いによりかなりの差異が認められた。ドロノキ、ヤマナラシ、オニグルミ、サワグルミ、ヒッコリーなどのクルミ科樹種、ヤマゲワ、キハダ、エゴノキ、ヤチダモなどがカドミウムに対し高い親和性を示し、1 gの樹皮当り16 mg以上のカドミウムを捕集した。銅に対しては、欧州トウヒ、ドロノキ、ヤマナラシ、テウチグルミ、ハルニレ、ヤマゲワ、ホオノキ、キタコブシ、エゴノキなどが高い捕集能を示した。特にホオノキ、ドロノキ樹皮は64 ppmの銅を含む検液から約80%の銅を回収除去した。ドロノキ、ヤマナラシ、クルミ科樹種、ヤマゲワ、ホオノキ、エゴノキ、ヤチダモなどの樹皮は亜鉛に対しても高い親和性を示している。銀、コバルト、マンガン、ニッケルに対する吸着量は、ホオノキが銀に対して、またヤマナラシとエゴノキがニッケルに対して比較的高い値を示したが、カドミウム、銅、亜鉛に対するそれと比較して一般に低かった。城代ら [22] は10種の針、広葉樹樹皮のカドミウム、クロム、銅に対する吸着試験の結果より、広葉樹樹皮は針葉樹樹皮よりも重金属吸着量が低いと報告している。しかし、本研究ではカドミウム、銅、亜鉛に対する平均捕集量はいずれも広葉樹樹皮が針葉樹樹皮のそれよりも高い値を示した。これらの相違は試験に供した樹種の違いや試料の水洗処理の有無によるものと思われる。重金属吸着量と分類学上の明確な相関は必ずしも認められなかったが、供試したすべてのクルミ科樹皮(7樹種)が重金属に対し高い親和性を示し、カバノキ科樹皮(6樹種)のそれは逆に低かった。樹皮と市販活性炭の吸着能を比較すると、広葉樹樹皮はいずれの金属に対しても活性炭より高い吸着能を示した。針葉樹樹皮の吸着能は、銅と亜鉛に対して顆粒状活性炭と同等であったが、それ以外の重金属に対しては活性炭より優れていた。したがって、樹皮類は重金属捕集用吸着剤として少なくとも市販活性炭よりは優れているといえる。

## 5. 樹皮の重金属吸着特性

樹皮の重金属吸着特性を明らかにする目的で、ドロノキのカドミウム吸着速度、さらに吸着に及ぼす供試液の初期pHやカドミウム濃度、担体(樹皮)量などの影響を調べた。試験方法は前項(4項)と同じバッチ式の平衡吸着試験である。吸着試験結果を図7-1~4に示す。

図7-1から明らかなように、試験開始1時間後で平衡吸着量の81%、2時間後に93%、4時間後には96%のカドミウムが吸着され、樹皮の吸着速度が極めて速いことが分かる。カドミウム吸着に及ぼす供試液のpHの影響を図7-2に示す。ただし、カドミウムはpH 8以上の領域で水酸化物を形成し沈殿するために、供試液の初期pHは2~7の範囲とした。pH 4~7の弱酸性ないし中性領域で最大吸着量が得られ、pH 3以下では急激に吸着能は低下した。カドミウム吸着に及ぼすカドミウムイオン濃度の影響を図7-3に示す。供試液のカドミウム濃度が高くなるにつれて吸着量は増加するが、最終的には飽和状態に達した。ドロノキのカドミウム吸着能は32 mg Cd/gと推定される。カドミウム吸着に及ぼす担体量の影響を図7-4に示す。担体量が増加すると、担体単位重量当りのカドミウム吸着量は減少するが、吸着率で表される総吸着量は増加した。以上の結果から、樹皮の重金属吸着に対し供試液

のpHや重金属イオンの濃度が大きく影響することが明らかとなった。

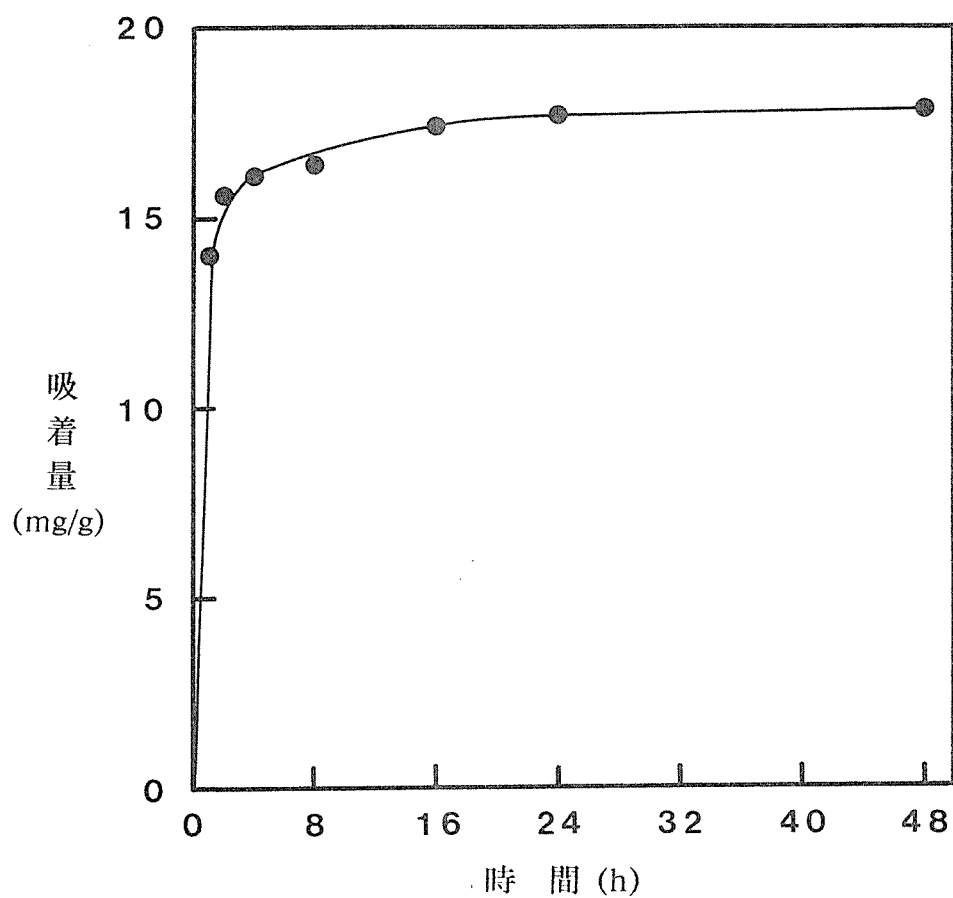


図 7-1 カドミウムの吸着に及ぼす時間の影響



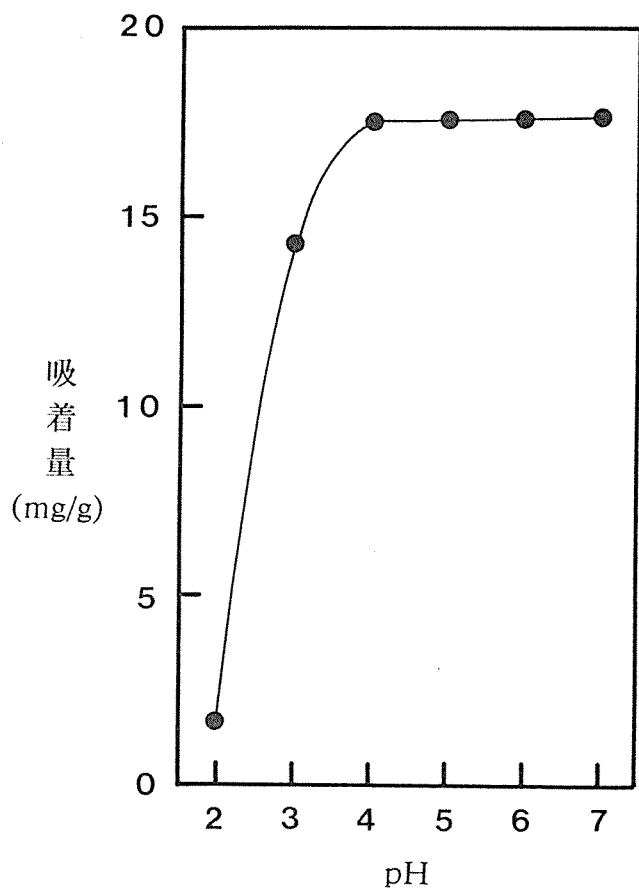


図 7-2 カドミウムの吸着に及ぼすpHの影響

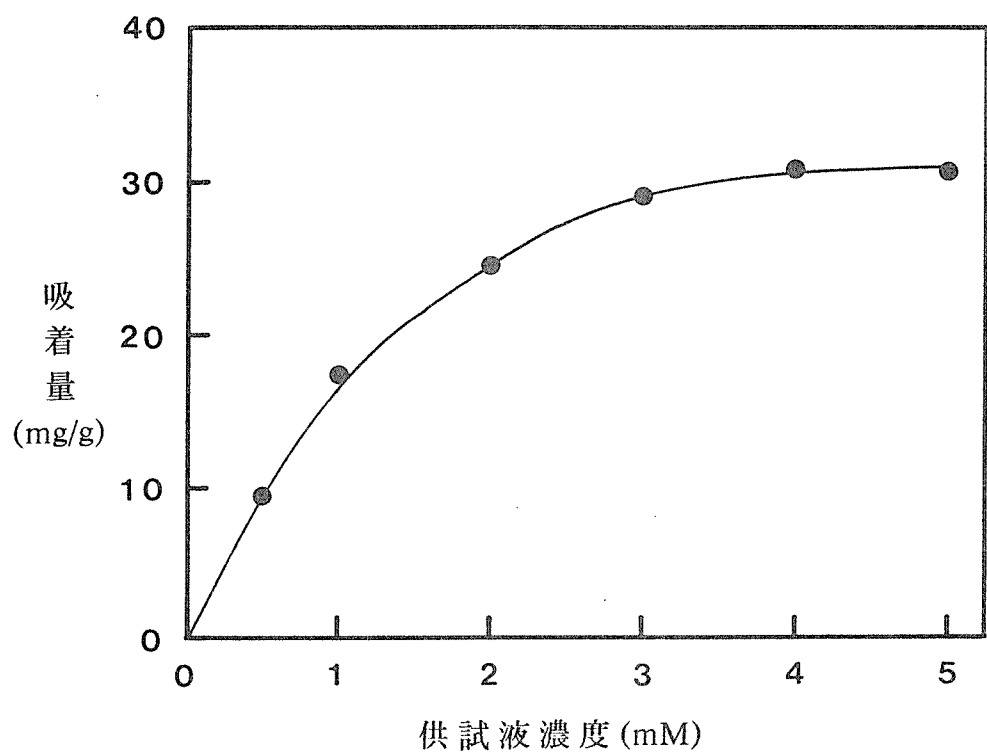


図 7-3 カドミウムの吸着に及ぼす濃度の影響

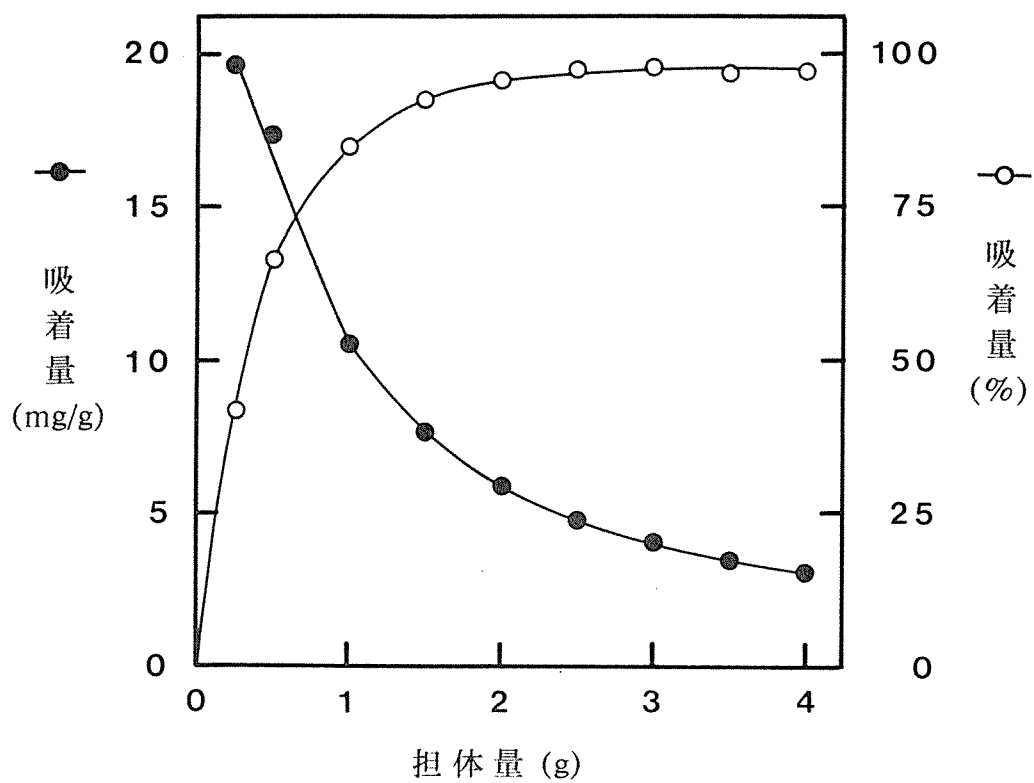


図 7-4 カドミウムの吸着に及ぼす担体量の影響

## 6. 実証化試験

### 6.1 浸せき法

道内で採取した浄化処理前の鉱山排水は188 ppmの亜鉛を含んでいた。この検液に希水酸化ナトリウム水溶液を加えていくと、pH 4~5付近から茶カッ色の水酸化鉄と思われるフロックが生じ始め、pH 7に調整後、メンブランフィルターで沈澱を除き、2倍に希釈し検水とした。この検水はなお43.2 ppmの亜鉛を含んでおり、中和により54%の亜鉛が除かれたことになる。このようにして得られた検水100 mLに所定量のヤマナラシ樹皮を加え一昼夜振盪攪拌した結果を表7-11に示す。樹皮量の増加にともない亜鉛の総吸着量は増加するが、担体の単位重量当りの吸着量は逆に減少している。0.7 gの樹皮により検水中の亜鉛の57%が、0.94 gの樹皮で62%が捕集除去されたことになる。これらの結果は、ヤマナラシ樹皮が重金属含有排水中の亜鉛濃度をかなり下げることができ、鉱山排水の二次処理資材や、電子部品やメッキ工場の亜鉛含有排水処理資材として有望なことを示している。

これらの表から明らかなように、樹皮の重金属捕集能は樹種の違いによりかなりの差異が認められた。ドロノキ、ヤマナラシ、オニグルミ、サワグルミ、ヒッコリーなどのクルミ科樹種、ヤマゲワ、キハダ、エゴノキ、ヤチダモなどがカドミウムに対し高い親和性を示し、1 gの樹皮当り16 mg以上のカドミウムを捕集した。銅に対しては、欧州トウヒ、ドロノキ、ヤマナラシ、テウチグルミ、ハルニレ、ヤマゲワ、ホオノキ、キタコブシ、エゴノキなどが高い捕集能を示した。特にホオノキ、ドロノキ樹皮は64 ppmの銅を含む検液から約80%の銅を回収除去した。ドロノキ、ヤマナラシ、クルミ科樹種、ヤマゲワ、ホオノキ、エゴノキ、ヤチダモなどの樹皮は亜鉛に対しても高い親和性を示している。銀、コバルト、マンガン、ニッケルに対する吸着量は、ホオノキが銀に対して、またヤマナラシとエゴノキがニッケルに対して比較的高い値を示したが、カドミウム、銅、亜鉛に対するそれと比較して一般に低かった。城代ら [22] は10種の針、広葉樹樹皮のカドミウム、クロム、銅に対する吸着試験の結果より、広葉樹樹皮は針葉樹樹皮よりも重金属吸着量が低いと報告している。しかし、本研究ではカドミウム、銅、亜鉛に対する平均捕集量はいずれも広葉樹樹皮が針葉樹樹皮のそれよりも高い値を示した。これらの相違は試験に供した樹種の違いや試料の水洗処理の有無によるものと思われる。重金属吸着量と分類学上の明確な相関は必ずしも認められなかったが、供試したすべてのクルミ科樹皮(7樹種)が重金属に対し高い親和性を示し、カバノキ科樹皮(6樹種)のそれは逆に低かった。樹皮と市販活性炭の吸着能を比較すると、広葉樹樹皮はいずれの金属に対しても活性炭より高い吸着能を示した。針葉樹樹皮の吸着能は、銅と亜鉛に対して顆粒状活性炭と同等であったが、それ以外の重金属に対しては活性炭より優れていた。したがって、樹皮類は重金属捕集用吸着剤として少なくとも市販活性炭よりは優れているといえる。

表 7-11 ヤマナラシ樹皮による人工鉱山排水からの亜鉛吸着

担体量(g)	吸着比(%)	吸着量	
		(mg/g)	(mmol/g)
0.25	25.5	9.36	0.144
0.50	43.5	8.04	0.123
0.75	57.0	6.98	0.107
1.00	61.8	5.68	0.087

表 7-12 カラム法によるドロノキ樹皮のカドミウム吸着試験

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

## 7. 化学的処理による吸着性向上

これまでのスクリーニングテストや吸着特性試験から、ドロノキ、ヤマナラシ、オニグルミなどのクルミ科、ヤマグワ、ホオノキ、キタコブシ、キハダ、エゴノキ、ヤチダモなどの樹皮が、重金属類に対して優れた捕集能を持つことが明らかとなった。しかし、キレート樹脂やイオン交換樹脂などと比較すると、その捕集能はかなり低く、合成樹脂系の1/10~20に過ぎない。そのため、使用目的によっては、捕集能をかなり高める必要がある。また、樹皮はタンニン、低分子ポリフェノール、糖類など水溶性物質を多く含有しており、そのまま使用すると、これらの溶脱物質が処理水の着色やBOD(生学的酸素要求量)の増加をもたらす、排水基準を満たさなくなる。樹皮を吸着剤として使用するには、このような有機物による排水汚染の対策も必要である。その対策としてRandallら [21] は、酸性媒体中でのホルムアルデヒド処理(以下、固定化処理と略記)を提案している。ここでは、前もって溶脱成分を除く処理(熱水、アルカリ抽出)、溶脱成分の不溶化処理(固定化)、陽イオン交換能を向上させると同時に処理過程で溶脱成分を除く処理(リン酸エステル化)について検討した。

ドロノキ樹皮を化学処理(熱水抽出、アルカリ抽出、固定化処理)して得られた担体と、単に水洗しただけの担体の重金属吸着能を表7-13に示す。亜鉛、銅、カドミウムの各金属吸着能は、熱水抽出処理と水洗処理に大きな差は認められなかった。しかも、熱水抽出処理の残さ収率は、水洗処理よりも6.2%低下するに過ぎなかった。熱水抽出処理担体からの着色物質の溶出はほとんど認められず、熱水抽出が簡便な処理として有効であると思われる。一方、アルカリ処理は、収率低下が著しく、吸着能も大幅に減少した。このことは、アルカリによって抽出される成分が重金属捕集に大きく関与していることを示唆するものである。固定化処理は、熱水抽出処理と収率自体は同程度であったが、得られた担体の吸着能は20~30%低かった。さらに、処理には硫酸やホルムアルデヒドなど有害試薬を使用することからも、化学処理法として適当でないと思われる。

熱水抽出処理では吸着能の向上は期待できず、処理担体の吸着剤としての能力はイオン交換樹脂のそれと比べるとかなり小さい。一方、リン酸エステル化処理は、リグノセルロースに重金属捕集能を付与する方法として有効な処理であることがすでに報告されている [40]。そこで、樹皮についてもリン酸エステル化を行い、吸着能に及ぼす影響を検討した。表7-13から明らかなように、エステル化によって重金属吸着能は水洗処理担体よりも6.5、10、3倍高くなった。このことから、樹皮に対してもエステル化処理が有効であることが分かった。本報で用いたエステル化条件での製造コスト(人件費、設備償却費を除く)を試算すると、リン酸、尿素、DMFの価格を各々200、100、300円/kgとして、リン酸エステル化担体は約6500円/kgになる。さらに、人件費や施設減価償却分を加えると製品価格はさらに高くなる。この価格では、鉱山排水や工場廃水の一次処理剤として利用できる可能性は低い。しかし、貴金属、希少有価金属の回収や高度処理が要求される場合には利用できる可能性は残されている。

木質材料を原料とする吸着剤は、焼却により重金属の回収と使用済み担体の廃棄処分が同時に行える。環境問題が重視される今日では、これは極めて注目すべき性質であるが、実用化を図るには、今後さらに処理工程の簡素化や、設備費や人件費の低減が必要となる。

表 7-13 ドロノキ樹皮の化学処理による重金属吸着能の変化<sup>a)</sup>

金 属	水洗処理		熱水抽出処理		ｱﾙｶﾘ抽出処理		固定化処理		ﾘﾝ酸エステル処理	
	吸着比 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着比 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着比 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着比 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着比 (%)	吸着量 (mg/g)
亜鉛	65.9	9.4	61.2	8.9	15.5	2.2	41.4	5.6	88.8	60.7
銅	77.2	10.6	72.0	10.4	14.6	2.1	57.3	7.4	92.1	105.8
ｶﾄﾞﾐｳﾑ	69.9	17.0	65.5	16.4	23.9	5.9	45.3	10.2	80.2	54.3
収率 (%) <sup>b)</sup>	86.5		80.3		52.9		77.8		80.4	

<sup>a)</sup> 吸着試験は、リン酸エステル化では担体量を0.1gとし、それ以外では担体量を0.5gとした。

<sup>b)</sup> 無処理担体を100とした乾物重量比。

## 7. 実用化に向けた評価

### 7.1 排水処理の現状と問題点

重金属含有排水の処理法には、中和法、硫化法、イオン交換法、キレート樹脂吸着法などがある。金属鉱業では、中和凝集沈殿法が一般的である。イオン交換樹脂を用いたり、濃縮析出分離による方法は、貴金属や放射性物質などを対象とする場合に限定されている。また、活性炭などを併用する方法もあるが一般的ではない。

中和法は、消石灰または炭酸カルシウムを用いて、金属イオンを水に不溶性水酸化物物として沈殿除去する方法である。鉱山排水などを処理する場合には、鉄やその他の金属イオンの沈殿に伴って、本来、純水では可溶である亜鉛やカドミウムイオンなどが沈降し、凝集沈殿が得られる。このため、同量の金属イオンの処理を考えた場合、単独で処理するよりも他のイオンとの共存下で処理の方が沈降量が多くなる。一般的に中和凝集沈殿処理法では、pH 9が以上になるように中和剤を投入する。この処理で、各金属の排水中の濃度を基準値（溶解性鉄、亜鉛、溶解性マンガンは各々10、5、10 mg/L）以下にすることができる。しかし、この方法は、重金属を分別することなく、一括して沈殿、除去する方法であり、生成したスラッジはそのまま投棄できないために、事業所内に堆積する場合が多い。したがって、堆積物の流出や再溶出を防止する処置に加えて、堆積場の確保が問題となっ

てくる。スラッジの一部は、土木工事資材として利用される例はあるが、この資材化にあたっては、焼成やセメントまたはアスファルトによる固形化などの処理が必要となる。現状では得られた固形物の適切な用途がないために、スラッジの処理、処分経費が持出しとなっている。

一方、わが国は重金属資源に乏しく、その大半を海外に依存している。沈殿物として得られる金属の中には有用なものが多く、世界的に希少な資源も含まれている。これらを考慮すると、鉱山排水や工場廃水からの重金属の回収、再利用は極めて重要な課題である。現行の中和凝集沈殿による金属イオンの処理法では、重金属はあくまで堆積物や資材中に存続するだけで、資源としての価値を持つものではない。そこで、重金属を利用可能な形で処理、回収できる方法の確立が望まれる。このような観点から、安価で高性能な木質系重金属吸着剤を使って、各種産業排水や海水から有価重金属を回収する方法は、重要な技術と考えられる。

## 7.2 木質系重金属吸着剤による鉱山排水と工場廃水の処理システム

### 7.2.1 鉱山排水処理

処理水として、北海道に比較的多い黒鉱鉱床から発生する鉱山排水を用いた。黒鉱鉱床は東北地方、北海道の南西部に多く分布するもので、銅、亜鉛、金、銀などの多くの有用金属を含有する。排水は、多量の鉄、亜鉛やマンガンを含み、pHは硫化物が多いために酸性を呈する。排水を中和して行くと、pH 5付近では3価の水酸化鉄が相当量沈殿するが、亜鉛は可溶である。したがって、pH調整で鉄と亜鉛の分別回収が可能となる。すなわち、鉱山排水に消石灰を加えてpH 5にすることで水酸化鉄を沈殿除去し、亜鉛を多量に含有する排水を得る。さらに、樹皮で処理し、処理樹皮の焼却により亜鉛が回収されることになる。

鉱山排水の排出量を $0.7 \text{ m}^3/\text{min}$ と仮定し、鉱山排水に消石灰を加えて、消石灰の投入量とpHの関係性を求め、その結果を表7-14に示した。pHを5から9にするには、消石灰が $0.4 \text{ mM}$  ( $0.3 \text{ g/L}$ )必要であった。しかし、pH 5まで消石灰を加えて、その後、有用な亜鉛を樹皮で回収すると、年間の消石灰の使用量を111トンも減量できることになる。消石灰の単価を26円とすると、試薬代は約300万円も節約できることになる。

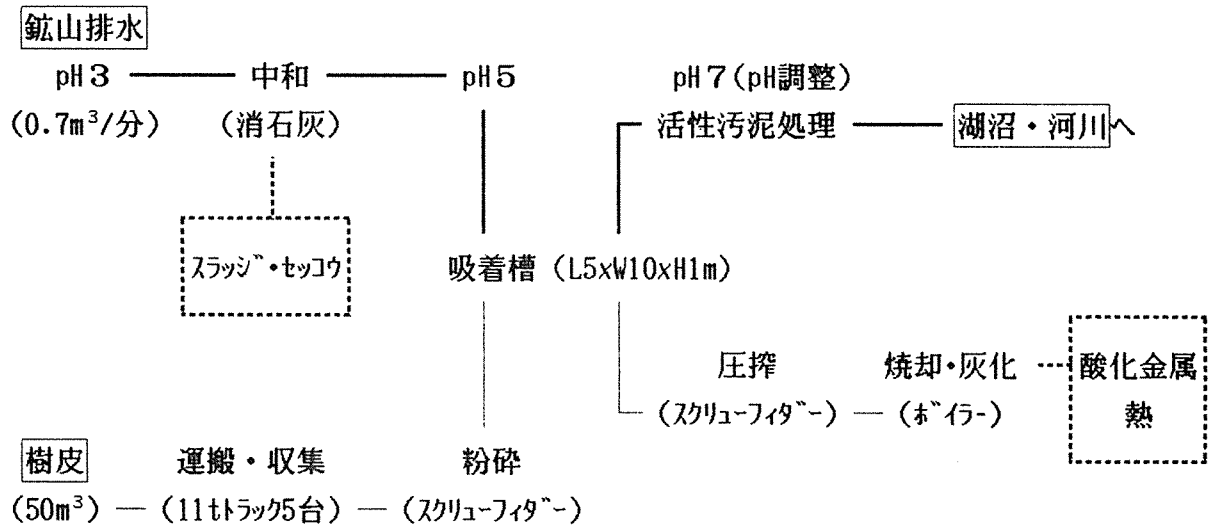
これまでの結果から、樹皮による鉱山排水の処理システムを作成し、図7-5に示す。樹皮は、一日当たり11トントラック5台で運搬収集し、スクリーフイダーで圧砕する。これを $5 \times 10 \times 1 \text{ m}$ の吸着槽に充填する。この吸着槽で、一日分の排水が処理可能となる。処理後の樹皮はスクリーフイダーで余分な水を除去した後、焼却炉に移し、燃料とする。焼却灰からは、酸化亜鉛が回収される。また、スラッジや中和により生じる石膏も併せて回収する。

一方、排水はあらかじめ消石灰でpH 5にした後、担体を充填した吸着槽に通して亜鉛を除去する。処理排水は、粉碎した樹皮を吸着槽に充填するためや、吸着槽から焼却炉へ樹



表 7-14 消石灰を用いた鉱山排水のpH調整

pH	加えた消石灰 (mM/L)	(ton/年)	薬品代 (万円/年)
5	5.8	159	412
7	7.1	193	502
9	9.9	270	701



- 樹皮の流れ
- 排水の流れ
- .... 回収されるもの

図 7-5 樹皮を用いた排水処理システム

皮を移すためのキャリアとして利用する。なお、排水のpHは5.8～8.6とすることが排水基準で義務付けられている。樹皮を使用した場合の排水はpH 5程度になるために、3次処理が必要となる。活性汚泥法で処理排水中の有機物を除去した後、河川に放出する。

pH 5としたあとに加える樹皮の必要量をみると、亜鉛吸着能9.38 mg/gのドロノキ樹皮を吸着剤として、鉱山排水の亜鉛(0.2トン/日)を処理するには、21.5トン/日(比重0.43すると50.1m<sup>3</sup>/日)の樹皮が必要であり、年間では1.8万m<sup>3</sup>にもなる。この量は、北海道の後志支庁管内における樹皮の総算出量約2.1万m<sup>3</sup>に匹敵する。鎌田らは、要求により転売可能な樹皮の量が年間1.8万m<sup>3</sup>以上ある地域として、北海道では十勝、網走、上川の3支庁をあげている。転売においては、樹皮の取り引き価格が重要な因子であることは言うまでもない。現状では、想定したような大きな規模の鉱山排水の処理に、広域に散在する樹皮を集中させて使用することはかなり困難であると思われる。しかし、排出量がこれより少ない場合の処理には考慮できると思われる。

### 7.2.2 工場廃水処理

まず、プリント基板製造のために銅メッキを行っている家電部品メーカーより入手した銅含有廃液(銅イオン濃度8,000 ppm)を用いて樹皮による回収除去の可能性を検討した。なお、廃液の排出量は480トン/日である。

一般的なバッチ方式でこれを処理すると、処理剤(硫酸バンド、塩化第二鉄、石灰とキレート剤など)に約10万円/日を要する。この排水を銅吸着能11.0 mg/gのドロノキ樹皮で処理するとすると、360トン/日の樹皮が必要となる。これは、前述の鉱山排水の15倍の量にのぼる。したがって、必要な量の樹皮を収集することは困難であることから、樹皮は一次処理剤とするよりも、キレート剤のような二次処理剤の代用として位置づけることが適当と考えられる。一般的なキレート剤の市販価格は2000円/kgと高価であるので、キレート剤の吸着能の1/20の樹皮でも使用できる可能性がある。

次に写真現像廃液や廃フィルムからの銀の回収を検討した。ドロノキ樹皮の銀イオンに対する親和性は0.06 meq Ag/gと必ずしも高くはないが、処理樹皮が既存の廃フィルム焼却工程に組み入れることが可能である。通常の電気分解及び硫化法によってもなお回収できない微量の銀(30 ppm以下)の回収に適しており、最も有望な用途の一つと考えられる。

## 8. まとめ

世界的にエネルギー資源の枯渇や産業廃棄物による環境汚染が憂慮される現在、工業廃水や生活廃水を農林副産物を用いて浄化し、回収された重金属を再利用することのもつ意義は極めて大きい。とりわけ樹皮などの木質系バイオマスは、①原料が安価で大量に入手できること、②これまでに未利用あるいは低位な用途に限られていたバイオマスが利用できること、③イオン交換樹脂などの合成高分子は、廃樹脂の処理が困難であるが、木質系吸着剤は焼却により吸着剤の処分と重金属の回収が同時に行えること、④二次環境汚染の

心配がないことなどの利点があり、その実用化が期待されている。本研究では対象を樹皮にしぼり、その重金属用処理資材としての能力、特性、実用性などを総合的に解析した。その結果、樹皮単独で工業的規模での排水処理は吸着性能の面から困難であるが、既存処理法の最終段階で高価なイオン交換樹脂を補うかたちでの使用など、二次処理資材としての用途に実用化が期待される。

## 文献

- 1) 野間順一：日本木材加工技術協会第9回年次大会要旨集，76 (1991)。
- 2) Good, R., F. S. Trocino: Chem. Eng., 27, 20 (1974)。
- 3) Lambert, H.: Forest Industries, Feb., 58 (1976)。
- 4) 阿部勲：木材工業，42, 151 (1987)。
- 5) 高野了一：木材と技術，No. 57, 1 (1984)。
- 6) Herrick, F. W.: J. Agric. Food Chem., 28, 228 (1980)。
- 7) 窪田實：林産試研報，No. 79 (1988)。
- 8) 高野了一：富山県木材試験場研究報告，No. 2 (1987)。
- 9) Forest Industries, May, 10 (1991)。
- 10) Friedmann, M., A. C. Waiss: Environ. Sci. Technol., 6, 457 (1972)。
- 11) Waiss, A. C., M. E. Wiley, J. A. Potter, R. M. McCready: J. Environ. Qual., 2, 369 (1973)。
- 12) Randall, J. M., F. W. Reuter, A. C. Waiss: J. Appl. Polym. Sci., 19, 1563 (1975)。
- 13) Randall, J. M., E. Hautala, G. McDonald: J. Appl. Polym. Sci., 22, 379 (1978)。
- 14) Henderson, R. W., D. S. Andrews, G. R. Lightsey, N. A. Poonawala: Bull. Environ. Contam. Toxicol., 17, 355 (1977)。
- 15) Nakajima, A., T. Sakaguchi: Biomass, 21, 55 (1990)。
- 16) Kumar, P., S. S. Dara: J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed., 19, 397 (1981)。
- 17) 木村優，山下博美，駒田順子：分析化学，35, 400 (1986)。
- 18) Larsen, V. J., H. -H. Schierup: J. Environ. Qual., 10, 188 (1981)。
- 19) Henderson, R. W., G. R. Lightsey, N. A. Poonawala: Bull. Environ. Contam. Toxicol., 18, 340 (1977)。
- 20) Masri, M. S., F. W. Reuter, M. Friedman: J. Appl. Polym. Sci., 18, 675 (1974)。
- 21) Randall, J. M., R. L. Bermann, V. Garrett, A. C. Waiss, Jr.: Forest Prod. J., 24(9), 80 (1974)。
- 22) 城代進，往西弘次，上原徹，後藤輝男：島根大農研報，12, 102 (1978)。

- 23) Fujii, M., S. Shioya, A. Ito: *Holzforschung*, **42**, 295 (1988).
- 24) 渡辺紀元, 岸政美: *公害と対策*, **27**, 211 (1991).
- 25) Aoyama, M., S. Honma, A. Kasai, Y. Iseda, A. Nakajima, T. Sakaguchi:  
*Holzforschung*, **45**, 75 (1991).
- 26) Saito, N., M. Aoyama, N. Minumura, Y. Iseda, A. Nakajima, T. Sakaguchi:  
*Cellulose Chem. Technol.*, **26**, 309 (1992).
- 27) Morita, M., M. Higuchi, I. Sakata: *J. Appl. Polym. Sci.*, **34**, 1013 (1987).
- 28) 斎藤直人, 青山政和: *林産試場報*, **5(6)**, 15 (1991).
- 29) Bach Tuyet, L. T., J. Hirose, K. Iiyama, J. Nakano: *Mokuzai Gakkaishi*, **32**,  
44 (1986).
- 30) Brezny, R., L. Paszner, M. M. Micho, D. Uhrin: *Holzforschung*, **42**, 369  
(1988).
- 31) 渡辺泰三, 森孝夫, 坂田信行, 山下喜代和, 土佐哲也, 千畑一郎, 布川弥太郎,  
椎木敏: *醸工*, **57**, 141 (1979).
- 32) 森孝夫, 渡辺泰三, 土佐哲也, 千畑一郎, 布川弥太郎: *醸協*, **76**, 495 (1981).
- 33) 小野正之, 坂田信行, 渡辺泰三, 森孝夫, 土佐哲也: *醸協*, **81**, 265 (1986).
- 34) 佐野隆二郎: *高分子加工*, **35**, 96 (1986).
- 35) Nakajima, A., T. Sakaguchi: *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **40**, 223 (1987).
- 36) Sakaguchi, T., A. Nakajima: *Sep. Sci. Technol.*, **22**, 1609 (1987).
- 37) Yamaguchi, H., Y. Iura, M. Higuchi, I. Sakata: *Mokuzai Gakkaishi*, **37**, 815  
(1991).
- 38) Yamaguchi, H., M. Higuchi, I. Sakata: *Mokuzai Gakkaishi*, **37**, 942 (1991).
- 39) Randall, J. M.: *Forest Prod. J.*, **27(11)**, 51 (1977).
- 40) 寺田進, 上田那須雄, 近藤紘一, 竹本喜一: *高分子化学*, **29**, 500 (1972).

## 第8章 薬品処理木材の回収と再利用技術の開発

### 1. はじめに

木材は持続的供給が可能な資源であり、原料や材料への変換、加工の過程におけるエネルギー消費は他の材料に比較して著しく少ない。樹木の生命活動によって大気中の二酸化炭素は木材成分として固定されて、伐採後も木材製品、建築物などとして保存され、それが用に供される間、炭素として固定されている。このことが地球環境の保全と資源の有効利用の上で重要な役割を果たしている。

木材の利用においては、本来よりも耐久性の高い材料に加工し、耐用年数を延長させることが重要であり、使い捨てのできないような高い性能と付加価値を備えた材料に転換することが大切である。一方、木材の利用は理想循環系の中で調和を保って進められる必要がある。そのためには、森林育成・管理の分野との協調を密にするとともに、木材の徹底した有効利用を推進し、再利用の副循環系、再々利用の副々循環系の構築が肝要である。

従来、木材利用、木材工業の領域では、残廃材の多段的型利用により廃棄物を減少させるということが、歩留まりの向上、あるいは原料の確保という面で当然とされてきた。建築解体現場や建築土木現場で発生した廃材の再資源化、再利用はきわめて重要であるが、一方では、労働力不足や解体処理技術の変革により、多様で複雑な問題を含んできている。その結果、再資源化や再利用は困難となってきており、その多くが焼却されているのが現状である。

木材の焼却処理は、他材料に比較して省エネルギー的で無公害であって問題は少なく、また、埋め立てによる廃棄も、生分解される有機質材料であるということから自然のサイクルにより実施できてきた。しかし、耐久性を付与するために施した薬剤処理や、木材を火災から守るための化学加工では、木質本来の組成以外の成分が付加されており、焼却においては薬物の熱分解挙動および燃焼挙動の解明が、一方、埋め立てにおいては薬物の拡散挙動を明らかにすることが不可欠である。

本分担者らは、防腐・防虫処理や難燃処理を施された建築解体廃材からの薬剤回収や廃材そのものの再利用・再資源化を試みる前提として、本年度においてはこれらが廃棄・焼却の段階で安全であるかどうかを検討した。

### 2. 木材および木質材料の薬剤処理

木材および木質材料に対する薬剤処理の目的は、本来木質が保有していない耐燃性、防腐・防虫性を薬剤によって付加し、あるいは防湿性、寸法安定性を付与することにある。本分担研究では、建築の用に供される木材および木質材料に対する最も重要な薬剤処理として、主として防腐・防虫処理を取り上げて検討するとともに、防・耐火処理（難燃化処理）についても言及することとする。

## 2. 1 防腐・防虫処理

腐朽や虫害による材質低下を取り除く、あるいは弱めることで木材や木質材料の耐用年数を延長することが木材保存の目的であり、この目的のため用いられる薬剤を一般に木材保存剤と称する。もちろん、防・耐火、防水あるいは防湿などの性能を兼備している木材保存剤もある。

木材保存剤は、一般的には劣化原因となる生物の種類によって、防腐剤と防虫剤とに大別している。また、防腐剤と防カビ剤とを区別して取り扱うことがあるが、両者に含有している有効成分は共通していることが多いので、ここでは木材防腐剤について触れることにする。

防虫剤は、広義には木材を食害する昆虫の被害から保護するために用いる薬剤を意味する。狭義には、乾材食害虫（例えばヒラタキクイムシ）の防虫に用いる薬剤を指し、シロアリの被害防止に使用する場合は特に防蟻剤として区別している。しかしながら、両者の有効成分は同一であることが多く、ここではこれらを区別せずに対処することとする。

### 2. 1. 1 防腐剤

木材防腐剤は、油状防腐剤、油溶性防腐剤、水溶性防腐剤とに大別することができる。

油状防腐剤には、木タールやコールタールが属し、クレオソート油がその最も代表的なものである。クレオソート油は表8-1に示す多くの構成成分からなっているが、これらの成分は廃棄とくに焼却に際して有害であることは少ない。

油溶性防腐剤は、殺菌力の強い化合物を有機溶媒に溶解させた薬剤で、主成分は有機化合物系殺菌剤が主で、殺菌・防菌性は無機化合物に比べはるかに強いものが多い。トリプロモフェノールのようなフェノール類、トリブチルスズオキシド（TBTO）のような有機スズ化合物、クロルナフタリン、有機ヨウ素化合物、ナフテン酸金属塩などがこれに含まれる。この中には高い毒性から現在では使用されていないものもあるが、かつて使用されたため建築解体廃材に含まれてくるものがある。

水溶性防腐剤は、一般には無機化合物が主体で、数種類の化合物を混合した薬剤が多い。特許等に現れる薬剤の種類はきわめて多いが、世界で多用されている薬剤は数種類にすぎない。わが国で用いられている本系統の薬剤の大半は、クロム化ヒ酸銅系（CCA）防腐剤である。この仲間には他に、酸性クロム酸銅系（ACC）防腐剤、フッ素クロムヒ素系

表8-1 クレオソート油の各成分の沸点および比重<sup>1)</sup>

成 分	沸 点	比 重
ア ン ス ラ セ ン	342	1.25
フ ェ ナ ン ス レ ン	340.2	1.063
ナ フ タ リ ン	217.9	1.145
フ ル オ ラ セ ン	380	1.252
フ ル オ レ ン	298	1.203
ア セ ナ フ セ ン	277.5	1.024
ジフ ェ ニ レ ン オ キ シ ド	288	1.089
ジフ ェ ニ ー ル オ キ シ ド	259	1.073
2-メ チ ル ナ フ タ リ ン	245	1.029
ピ レ ン	390	1.271
ベ ン ゾ フ ル オ レ ン	413	—
1,4-ジメ チ ル ナ フ タ リ ン	264.3	1.016
ジ フ ェ ニ ー ル	254	0.992
ク リ セ ン	448	1.274
1-フ ェ ニ ー ル ナ フ タ リ ン	334	1.096
カ ル バ ゾ ー ル	354	—
ア ク リ ジ ン	346	1.1005
9-エ チ ル ア ン ス ラ セ ン	—	1.041
9,10-ジヒ ド ロ ア ン ス ラ セ ン	315	—
1-エ チ ル ナ フ タ リ ン	245	1.029
キ ノ リ ン	237.7	1.095
1-ナ フ ト ー ル	288	1.099

(FCAP) 防腐剤やアンモニア性亜ヒ酸銅系 (ACA) 防腐剤がある。

## 2, 1, 2 防腐処理木材の生産量と廃棄予想量

わが国の防腐木材の生産量は、1990年度409千m<sup>3</sup>で、クレオソート溶液18%、残りの大半はCCAである。用途別では、防腐土台57%、枕木14%、木柱3%、その他26%であり、その他の内訳は、建築用材（床組用材、下地材等）が50%、外構用材（遊具、デッキ等）18%、造園用材（植木支柱）16%、梱包用材8%が主なところである。

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<sup>3</sup>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%、難燃薬剤が2%となっている。水溶性木材防腐剤の99%はCCAが占め、残りはACC、ACA、ACZA、FCAP等の防腐剤である。

また、米国における用途別製品の内訳は、製材品67%、枕木11%、木柱12%、そ

表 8 - 2 わが国における薬剤別防腐木材の生産量と防腐剤の使用量の推移<sup>2)</sup>

年	クレオソート油	P F 水溶液	C C A 水溶液
昭52	166(27)	65(19)	293(90)
昭57	142(23)	22( 7)	285(84)
昭62	61( 9)	2( 0.5)	307(90)
平 3	77(12)	0 ( 0)	313(88)

防腐木材量の単位は千 $m^3$ 、( )は防腐剤で単位はトン

表 8 - 3 米国における防腐処理木材の生産量の推移<sup>4)</sup>

年	クレオソート	P C P	C C A / A C A	計
1955	5.7	0.8	-	7.0
1960	4.0	1.4	-	6.1
1970	4.5	2.0	0.5	7.4
1980	4.0	1.8	3.3	9.4
1988	2.6	1.4	12.8	16.7

(単位: 100万 $m^3$ )

表 8 - 4 年間廃棄処理される木材に含まれる防腐薬剤の推定量(カナダの場合)<sup>5)</sup>

年代	C u	C r	A s	クレオソート	P C P
1988-1990	36	66	47	16,000	1,050
1990-1995	36	66	47	15,200	1,050
1995-2000	60	110	78	14,500	1,051
2000-2010	110	210	145	13,800	1,050
2010-2020	260	480	340	13,200	1,050
2020-2030	510	950	670	12,500	1,050
2030-2040	530	1,000	700	11,900	1,050
2040-2050	560	1,050	735	11,400	1,050

(単位: トン/年)



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<sup>4)</sup>。

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、世界的に見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。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。

かつて保存処理木材は、再使用あるいは再利用される以外は、環境への配慮をそれ程せずに燃焼または廃棄処理されてきた。しかし、薬剤成分による健康や環境への影響に対する関心の高まり、あるいは大気や水質への汚染に対する規制強化とともに、処理木材の安全な廃棄が世界的にみても大きな課題となってきている。

カナダで廃棄される処理木材に関する予測データによると、クレオソートやPCPでは、薬剤成分量として前者では15,000~12,000トン/年、後者では1,000トン/年で推移していくが、CCAについては西暦2,000年までは240トン/年の廃棄量であるが、順次増加し、2,020年にはその10倍に達すると考えられている<sup>5)</sup>。この薬剤廃棄量は、年間の薬剤消費量、処理木材の生産量と耐用年数、使用中に木材から失われる薬剤量をベースに求められたものである（表8-4）。

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

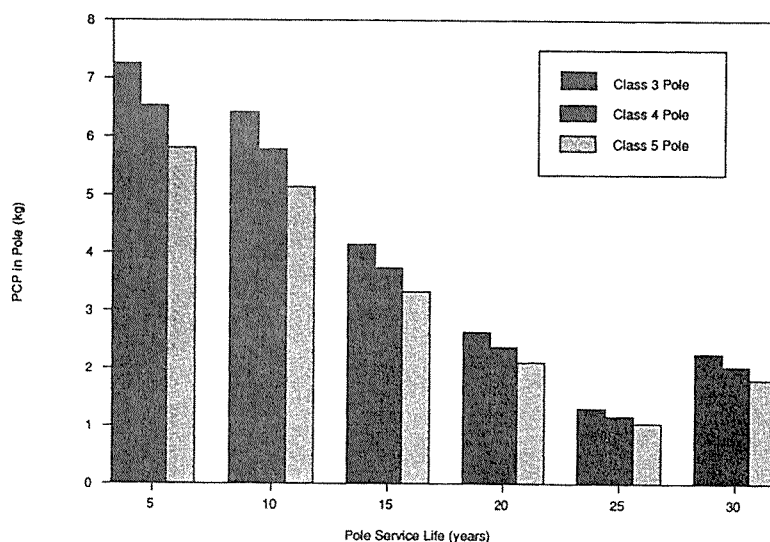


図8-1 PCP処理木柱からの薬剤成分の経年変化<sup>6)</sup>

近から失われることが多く、PCPで処理したマツ材の表層10mmからは、30年の間に当初30kg/m<sup>3</sup>あったものが1kg/m<sup>3</sup>まで低下したと報告されている<sup>6)</sup>。固着型の水溶性防腐剤であるCCAについては、遊具からの成分の溶脱についてはきわめて小さいものであったという報告<sup>7)</sup>にみられるように、使用中の成分消失量は小さいものと考えられる。

わが国においては、CCAが使用され始めてから約30年近くに達しており、木造住宅の耐用年数や建て替え時期を考慮すると、今後、CCA処理木材を含んだ建築解体材が増加していくものと思われる。表8-5に、わが国における防腐処理木材の生産量推移を示

図8-5 わが国における防腐木材の生産量<sup>2)</sup>

年 度	枕木	電柱	土台	その他	計
昭和42	262	301	22	26	611
43	293	335	51	29	709
44	216	333	79	39	667
45	159	308	82	59	609
46	143	279	72	60	553
47	175	287	94	56	612
48	167	271	127	28	624
49	168	231	122	64	583
50	120	199	137	59	515
51	105	169	165	72	511
52	114	176	162	72	524
53	142	184	200	71	598
54	145	134	230	65	574
55	147	132	212	66	577
56	138	111	162	59	470
57	121	81	180	66	449
58	123	62	158	67	400
59	95	44	148	75	363
60	100	33	160	75	367
61	67	23	163	88	340
62	47	17	210	96	369
63	59	15	230	104	407
平成 1	61	14	242	107	424
2	60	12	231	106	409
3	63	8	220	109	401
4	42	9	236	115	403

(単位：千m<sup>3</sup>)

すが、昭和40年代から急増してきた防腐土台の大半はCCAによる処理であり、また電柱材にもCCAの処理によるものがかなりの割合を占めている。

CCA処理材の全住宅木材量に対する比率を、建築用製材および合板の合計に対する防腐土台の比率で算出すると、昭和43年度の場合0.15%、昭和45年度で0.24、昭和47年度で0.26%に該当する。

表8-6 建築用木材中の防腐土台の量<sup>2,8)</sup>

年	建築用製材	防腐土台
昭43	29,755	47
昭47	33,858	94
昭53	33,023	200
昭63	23,858	230

(単位は千m<sup>3</sup>)

### 2. 1. 3 防虫剤

かつて使用されたディルドリやアルドリンあるいはクロルデンという有機塩素系化合物は、防虫剤として使用することが禁止されており、現在では有機リン系化合物がその主役を努めるようになっている。その他、カーバメート系化合物やピレスロイド系化合物も防虫剤として登場してきている。また、ホウ酸やホウ砂というホウ素化合物も防虫剤として用いられている。現在使用されていない有機塩素系化合物も、数十年前～数年前まで多用されてきており、建築解体廃材には含まれていると考えるべきであろう。

### 2. 2 防・耐火(難燃)処理

木材に燃焼抑制の効果を付与する薬剤は、比較的限定された種類の元素によって構成されていることが多い。これらの元素は、一般的にはLi, Na, Kのような元素周期率表Ia族の元素群、Mg, Ca, BaのIIa族の元素群、N, P, V, As, Sb, BiのようなVb族の元素群とAl, B, S, Si, Sn, Zn, Zrの元素群に含まれている。これらを含む化合物は固相反応(熱分解反応過程)や界面反応を制御して燃焼を抑制する。VIIb族のハロゲンからなる薬剤は、気相反応を制御して燃焼を抑止する。

これらの元素群の中には毒性を有するものが散見されるが、一般的に木材や木質材料に供せられる薬剤は、P, N, Bを含む化合物に限定されており、これらの廃棄あるいは焼却に際して、安全性を改めて検討する必要は現在のところ少ないと考えられる。

### 3. 薬剤処理材の回収とその安全性

建築解体廃材あるいは土木建築廃材に含まれる薬剤処理材は、現在では再資源化や再利用されている割合は低く、焼却廃棄や埋め立てされているのが現状である。ここでは、とくに保存処理木材の焼却廃棄に伴う安全性についての検討結果の概要を報告する。なお、本年度の報告では、主として防虫剤について行った結果を述べる。

#### 3. 1 有機薬剤系保存処理材

かつて防虫剤として多用されてきたクロルデンは、1986年9月以来、いわゆる化審法の指定により防虫・防蟻薬剤としての使用は禁止された。しかし、それに至るまで十数年にわたり、建築あるいは土木用材として用いられてきたクロルデン処理木材および木質材料が、廃材として排出されるようになった。ここで述べる検討結果は、『クロルデン処理木材等の安全廃棄の方法』を確立するために実施したものであり、これに加えて有機リン系薬剤を主とする、それ以外の薬剤で処理したものについての検討結果も言及することにする。

ここでの内容は、焼却による安全廃棄を目的として、一つは、実験室的規模で基礎的研究を実施したものであり、今一つは、基礎実験において確立された1段焼却法を、工場木屑ボイラーに適用した結果である。

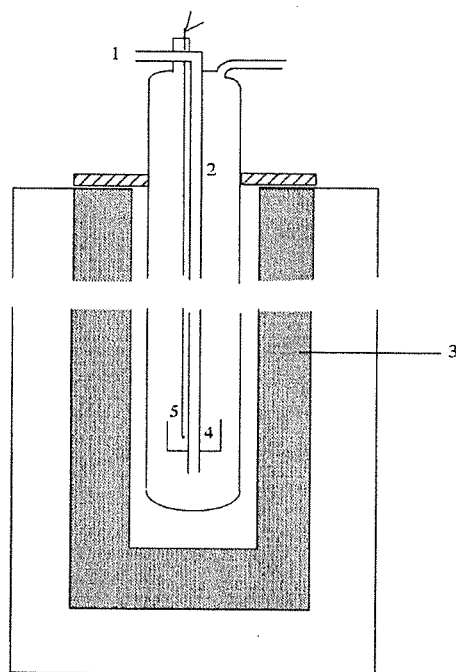


図8-2 燃焼装置

1 : 空気導入管、2 : 燃焼管、3 : 電気炉、4 : 試料保持かご、5 : 熱電対

### 3. 1. 1 実験室における基礎研究

材料とした薬剤処理木材は、市販の処理ラワン材、処理スギ材、処理ラワン合板である。処理薬剤は、クロルデン以外は表8-7に示す通りであり、薬剤保持率は0.01~0.05%であった。処理は、図8-2に示す燃焼管中において、空気気流速度が50ml/minで完全燃焼できる量とした。

本研究では、毒性を有する薬剤原体が燃焼ガス中に放出されるか、あるいは燃焼残渣中に残存するか否かについて検討したもので、残渣は燃焼管中のものとし、燃焼ガスの収集は図8-3に示す採取システムによって行った。燃焼温度は炉温度によって決定したが、ここでは通常の木材燃焼温度である800~900℃の試験結果を述べる。

薬剤の定量は、各薬剤の標準定量法として指定されているガスクロマトグラフィー等いくつかの方法によった。

表8-7 供試薬剤および検出対象化合物

試料番号	薬剤名	提供社	出検対象化合物
3	ケミホルツバリサイド 油 剤	ケミホルツ ㈱	ホキシム, S-421, サンプラス
4	〃	〃	〃
5	ケミホルツターマイト TM-200	〃	クロルピリホス, IF-1000
6	〃	〃	〃
9	ケミホルツランパート 油 剤	〃	フェニトロチオン
10	〃	〃	〃
11	ケミホルツプライ ECP	〃	ジクロフェンチオン (ECP)
14	〃	〃	〃
15-1	バシルミンゾル	日本農薬 ㈱	フルトラニル
15-2	〃	〃	〃
21	ウッドラック 油 剤	中外製薬 ㈱	トリプロピルイソシア ヌレート (TPIO)
22	〃	〃	〃
23	サンプレザー POL	山陽木材防腐 ㈱	ビリダフェンチオン
24	〃	〃	〃
35	アリス ゴールド	東洋木材防腐 ㈱	テトラクロルピホス, トロイサン
40	〃	〃	〃
A	ケミホルツ プライ FT	新潟合板振興 ㈱	クロルピリホス, IF-1000
B	サンプレザー PWL-40	ニエイ合板 ㈱	ビリダフェンチオン

クロルデン処理されたラワン材、スギ材およびラワン合板の1回の燃焼、すなわち1段階燃焼の燃焼ガス中には、微量ではあるがテクニカルクロルデンのほとんどが検出された。なお、いわゆるテクニカルクロルデンは、 $\alpha$ -chlordan,  $\gamma$ -chlordan,  $\delta$ -chlordan, trans-chlordan, heptachlor, cis-chlordan、transnonachlor、hexachlorcyclopentadieneによって構成されている。

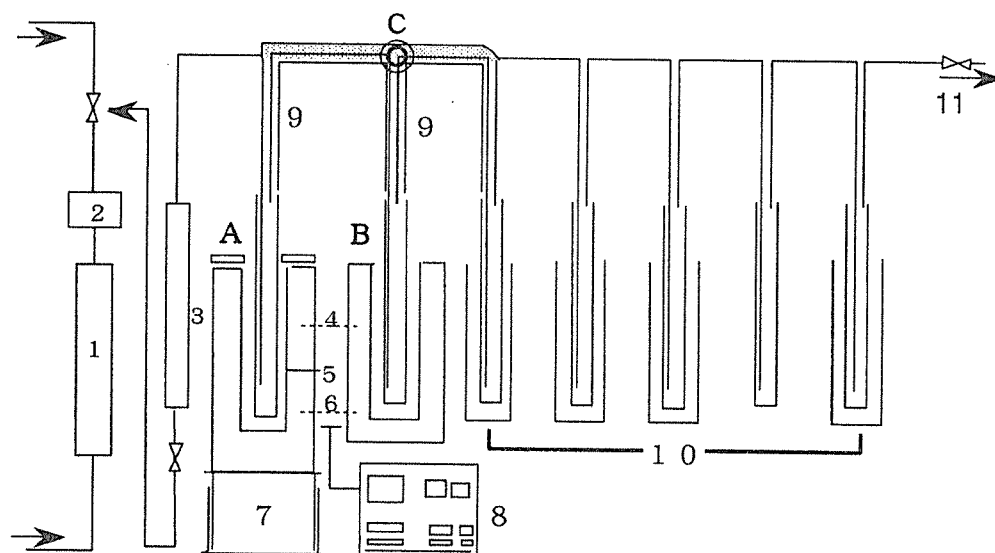


図8-3 燃焼生成物補集装置

- 1 : シリカゲル乾燥筒、2 : エアポンプ、3 : 流量計、4 : 燃焼管、  
 5 : 試料保持かご、6 : 電気炉、7 : ジャッキ、8 : 自動温度調整装置、  
 9 : テープ状フレキシブルヒーター、10 : トラップ、11 : 真空ポンプ、  
 A : 第1段階燃焼管、B : 第2段階燃焼管、C : 三方コック

クロルデンで処理されたラワン材、スギ材およびラワン合板についての2回の燃焼、すなわち、2段階燃焼の燃焼ガス中には、微量の trans-chlordan, transnonachlor および hexachlorcyclopentadieneが検出された。このことから、クロルデン処理木材の燃焼廃棄はより高度なそれを導入する必要が認められた。

両者の燃焼残渣中では、塩素化合物の存在が確認されたが、本研究ではその定性までには至っていない。

クロルデン以外の保存薬剤処理木材の1段階燃焼試験の結果は、表8-8、9に示すとおりである。このことから、これらの薬剤は1段階燃焼によって無害化が可能であることが確認された。

表 8-8 燃焼により発生する煙およびガス中の防虫剤の定量結果

試料番号	検出対象化合物	定量値
3	ホキシム、S-421、サンプラス	N.D.**
4	” ” ”	N.D.
5	クロルピリホス、IF-1000	N.D.
6	” ” ”	Trace
7	” ” ”	N.D.
8	” ” ”	N.D.
9	フェニトロチオン	Trace
10	”	N.D.
11	ジクロフェンチオン	N.D.
14	”	N.D.
15-1	フルトラニル	N.D.
15-2	”	N.D.
21	トリプロピルイソシアヌレート	0.3ug/20mg
22	”	Trace
23	ピリダフェンチオン	N.D.
24	”	N.D.
35	テトラクロルピンホス、トロイサン	N.D.
40	” ”	N.D.

\*\* N.D. : 検出せず

表 8-9 燃焼に伴い発生する残渣中の防虫剤の定量結果

試料番号	検出対象化合物	定量値
3	ホキシム、S-421、サンプラス	N.D.**
4	” ” ”	N.D.
5	クロルピリホス、IF-1000	N.D.
6	” ” ”	N.D.
7	” ” ”	N.D.
8	” ” ”	N.D.
9	フェニトロチオン	N.D.
10	”	N.D.
11	ジクロフェンチオン	N.D.
14	”	N.D.
15-1	フルトラニル	N.D.
15-2	”	N.D.
21	トリプロピルイソシアヌレート	N.D.
22	”	N.D.
23	ピリダフェンチオン	N.D.
24	”	N.D.
35	テトラクロルピンホス、トロイサン	N.D.
40	” ”	N.D.

\*\* N.D. : 検出せず

### 3. 1. 2 木材工業で用いられる木屑ボイラーによる焼却実験

3. 1. 1で述べた処理木材を用いて、民間4工場に依頼して焼却実験を行い、廃ガス、残渣を採取して保存薬剤の定量分析、定性分析を行った。

民間3社の木屑ボイラーは、1段階燃焼に相当する焼却炉であり、他の1社は図8-4に示す2段階燃焼に相当する炉である。

燃焼設定条件は、温度：750～950℃、木材燃焼量：5 t o n / d a y、処理木材

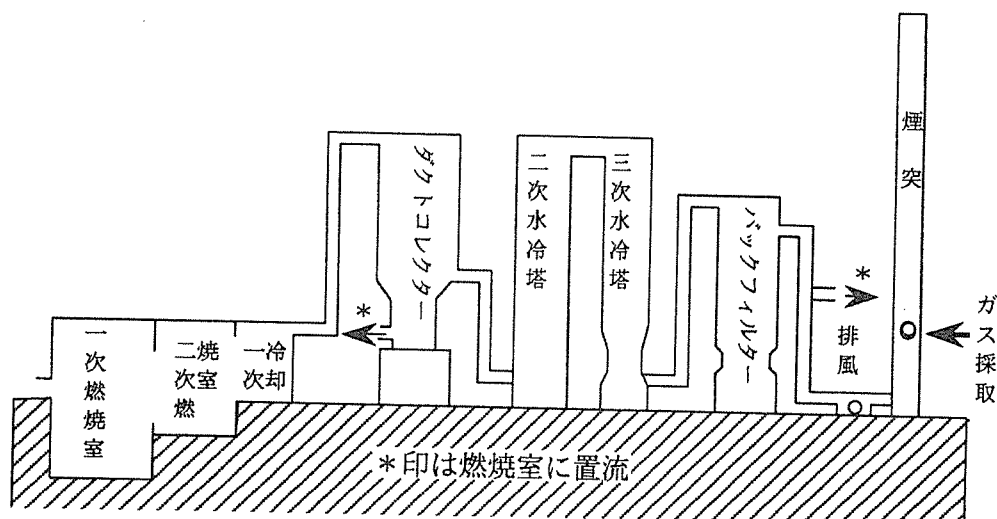


図8-4 木屑ボイラー焼却炉機構図

投入量：0.08 m<sup>3</sup>、混焼比率：0.5%、である。

クロルデン処理合板を1段階焼却に供した場合は、3. 1. 1で述べたと同様、テクニカルクロルデンを構成するほとんどの同素体が検出され、2段階焼却に供した場合も3. 1. 1の結果と同様であったが、とくに猛毒とされるダイオキシンに移行するといわれているheptachlorが微量検出され、注意が喚起される。

クロルデン以外の薬剤で処理された木材および合板の燃焼試験結果、薬剤原体の検出はなかった。

### 3. 2 CCA処理木材

CCAは、現在、世界的に見ても最も広くかつ多量に使用されている木材防腐剤であり、今後、建築解体材の中に含まれて焼却されることも考えられる。これについての取りまとめは、次年度の課題とするが、CCA処理木材の焼却とそれに伴う安全性に関するわが国の最近の研究では、9)と10)に示すものがある。



#### 4. おわりに

廃棄される保存処理木材については、今までも枕木のフェンスなどへの再利用、あるいは処理木柱の再使用など、リサイクル的な取り組みも行われてきた。しかし、今後わが国においても増大するであろう、住宅解体材からのCCA処理木材について、再利用・再使用・廃棄にかかわる方策を早急に確立しておく必要がある。耐久性を備えたボード材料などへの転換以外に、木質資源としてのリサイクルを考えれば、薬剤成分の回収技術も検討が必要とされる課題である。これらについては、実験室的な研究実績が積み重ねられてきている<sup>1)</sup>、さらに実用技術として発展させることが大切であろう。

今後の保存処理木材のリサイクルと廃棄については、図8-5に示すような段階的戦略も提案されている。

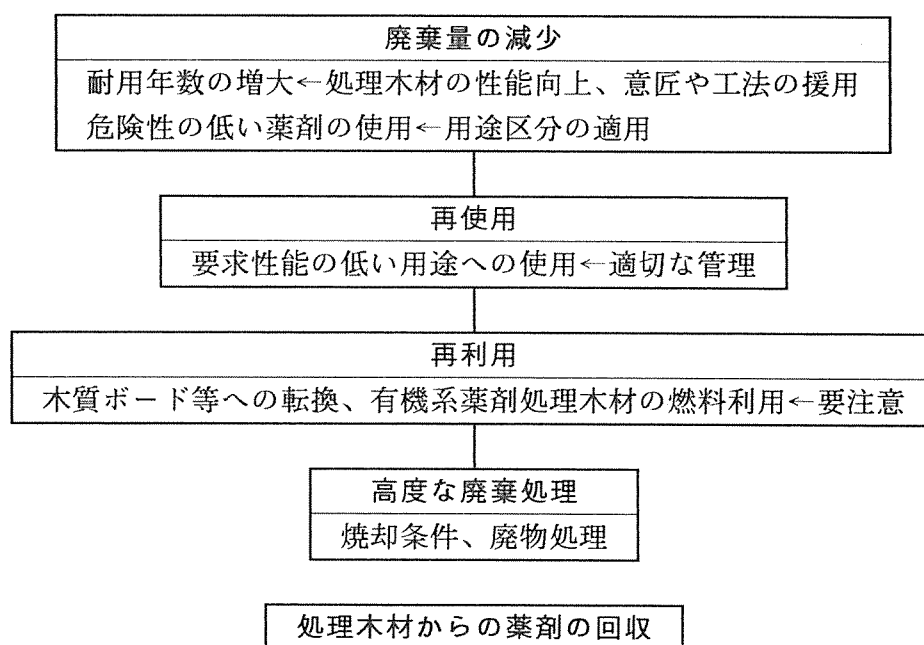


図8-5 保存処理木材の廃棄処理戦略（文献<sup>5)</sup>から改図）

#### 引用文献

- 1) 日本木材保存協会(編): 木材保存学、文教出版(1982)
- 2) 林野庁監修: "木材需給と木材工業の現況"、林産行政研究会発行
- 3) J. T. Micklewright: Proc. Amer. Wood Preserv. Assoc., 85, 257-271(1989)
- 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) P. A. Cooper: IRG Document No. IRG/WP/3563-1990
- 6) J N. R. Ruddick: IRG Document, No. IRG/WP. 3577-1990
- 7) B. Henningsson and B. Carlson: IRG Document, No. IRG/WP/3149-1984
- 8) (社)日本機械工業連合会、(社)日本産業機械工業会: 防腐木くずの処理技術に関する調査研究報告書、日機連60EP-11(1985)
- 9) 小島佳世子、石原茂久: 木材学会誌、36、1069-1075(1990)
- 10) T. Hirata, M. Inoue and Y. Fukui: Wood Sci. Technol., 27, 35-47(1993)
- 11) A. Honda et al.: IRG Document No. IRG/WP/3651-1991

## 1. はじめに

最近、地球規模における資源・環境問題が顕在化し、木質資源の有効利用がますます重要になってきている。加えて、廃棄公害もまた大都市周辺で大きな問題になりつつあり、解体材の再利用が注目されている。木材は、そのエレメントを順次小さくしていくことによって、比較的小さなエネルギーで2次的あるいは3次的な再利用が可能であり、元来リサイクル性が非常に高い材料である。

木材保存の分野においても、毒性が高く、難分解性の薬剤は環境への負荷が大きいため、たとえ薬効持続性が長くても排除される傾向にあり、環境保全に適した低毒性薬剤の開発研究が盛んに行なわれている。一方、戦後建設された住宅が順次解体時期を迎えており、CCA処理された土台角などの保存処理木材の安全廃棄が、近い将来重要な問題になるものと予想される。

故材をリサイクル資源として活用する最も手近かな方法は、これをチップ化し、ボード原料にすることであろう。この中で、CCA処理された土台やクレオソート処理された枕木の故材は、ウォーターフロント遊歩道の敷材など、そのまま再利用される場合も多い。しかし、このような処理材を接着結合されたいわゆる木質材料に転換利用する際には、材の腐朽劣化や薬剤の接着性能に及ぼす影響が懸念される。一方、枕木に利用されている広葉樹材のブナやケンパスは高比重材であり、材質そのものの強度的性能が非常に高く、同時に原木はすでに防腐薬剤で処理されているので高い耐朽性が期待できる。また、CCAなどの防腐薬剤処理された故材もまた高耐朽性パーティクルボードの原材料となり得るであろう。

ここでは、まずCCA処理およびクレオソート処理故材の接着特性を調べ、次いでこれらを原料とする木質ボードの材質と防腐・防虫性能について検討した。なお、ボードの防腐・防虫性能の検討については、実験に時間を要し、未だ十分な結果を得ていないのでこの報告については次年度におこなう。

## 2. 防腐処理故材の薬剤分布と接着特性

### 2.1 実験

#### 2.1.1 供試材料

使用期間15年(1977-1992)のケンパス(*Koompassia malaccensis* Maing. ex Benth.)枕木および築後15年(1977-1992)の鉄骨プレハブ住宅の解体材からベイマツ(*Tsuga canadensis* Carr.)大引の試料を採取した。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マツの全乾比重は、それぞれ0.84および0.53であった。

さらに、比較試料として、無処理のベイツガ（全乾比重0.50）およびケンパス（同0.72）を用意した。

## 2. 1. 2 故材中における薬剤分布の測定法

### (1) CCA処理材

4 m長さの土台角の中央部分（2 mの部分）、木口端から1 mの部分および両端から約1 cm入った部分について、ジフェニールカルバジド指示薬を塗布して呈色反応させ、その呈色部分を浸潤部分として、全体および表面から1 cm入った部分までの浸潤面積率を測定した。一方、表層から1 cm入った部分までを薬剤吸収量試験片として、これを粉碎し、蛍光X線分析法により、銅、クロム、ヒ素の量を測定した。

### (2) クレオソート処理材

J I S A 9 1 0 4（加圧式クレオソート油防腐処理まくら木）に準じて分析を行なった。まず、図9-1に示すように1本のまくら木を1/4にした後、

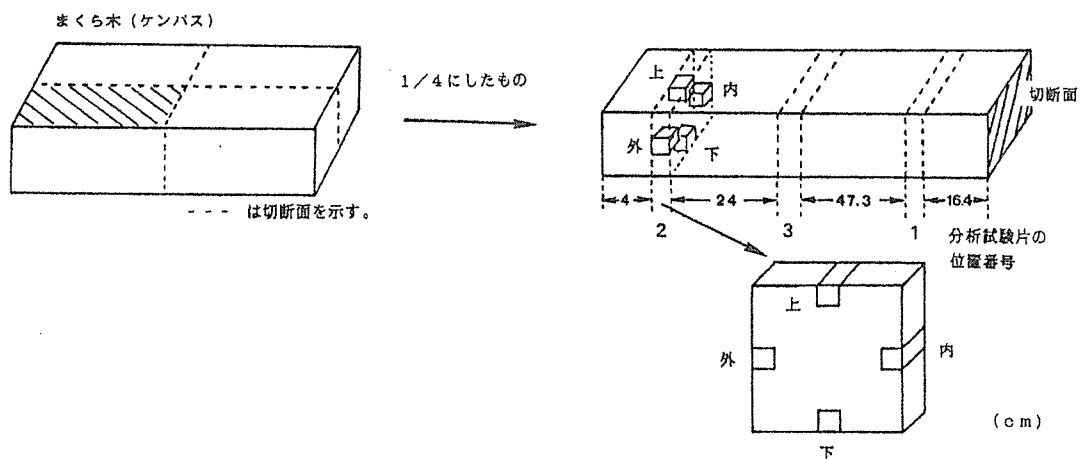


図9-1 クレオソート油吸収量の測定用試験片の作製

そのフリッチから図9-1に示される位置から分析試験用の木口試験片を切りだした。さらに、その試験片の周縁部分から約500~900 mm<sup>2</sup>の大きさの分析用試験片を切り出した。これをキシレン40~60 ml中に入れて100℃の湯浴中で1時間抽出処理した。一方、クレオソート油をキシレン溶液に溶かして比色用標準液を段階的に調整し、これと検液の色と比較して、吸収量を測定した。

### 2. 1. 3 接着性能の測定方法

薬剤濃度は、試料中心部から外側に向かって徐々に高くなっていることが推定されるので、2種類の薬剤処理故材の試料中心部および端部から腐朽の比較的少ない部位を選び、

長さ（L方向）5 cm、幅（R方向）2 cm、厚さ（T方向）5 mmの試片を適宜切り出した。

供試接着剤は、レゾルシノール樹脂（ディアノール33号、大鹿振興（株）製）、フェノール樹脂（P-82H、アイカ工業（株）製）、ユリア樹脂（ユーロイド 755、三井東圧化学（株）製）、ユリア・メラミン樹脂（ユーロイド 777、三井東圧化学（株）製）およびイソシアネート樹脂（UL-481、群栄化学工業（株）製）の5種類である。なお、ユリアおよびユリア・メラミン樹脂接着剤の硬化剤には20%塩化アンモン水溶液、また増量剤には小麦粉を用いた。レゾルシノール樹脂接着剤の硬化剤にはパラホルム、充填剤にはクルミ粉（Hot-P-2号）を用い、フェノール樹脂接着剤にも同じ充填剤を用い、イソシアネート樹脂接着剤は原液をそのまま用いた。

それぞれの樹脂の不揮発分はレゾルシノール樹脂は59.0%、フェノール樹脂は46.0%、ユリア樹脂は63.2%、ユリア・メラミン樹脂は63.9%、イソシアネート樹脂は100%であった。

2枚1組の試片片面にそれぞれの接着剤を一接着層当たり塗布量200 g/cm<sup>2</sup>の割合で塗布したのち、互いに重ね合わせて、熱圧接着し十分に硬化させた。接着試片の中央両側面から繊維垂直方向に接着層に達するノコ目を入れ、有効接着長さ10 mmのせん断試験片を作製し、DIN53254に準じて接着試験を行なった。試片数は各接着剤について6枚とした。

なお、比較のために同樹種、未使用材から同様に試験片を作製し、せん断試験を行なった。

## 2. 2 結果および考察

### 2. 2. 1 故材における薬剤分布

#### (1) CCA処理材

CCAが浸潤している部分はえび茶色に呈色し、土台角端部での防腐薬剤の浸潤状態は良好であった。木口面全体に占める呈色部分の面積率および表面から1 cm入った部分までの浸潤面積率を測定した結果を表9-1に、また表層から1 cm入った部分までを粉碎し、蛍光X線分析法によりクロム、銅、ヒ素の吸収量を測定した結果を表9-2に示した。表9-1にみられるように、浸潤面積率は端部（採取位置番号：1、5）では100%を示し、端部から2 mの部分（中心部、同番号：3）では面積率が最も低く、また表面から1 cm入った部分の面積の約40%程度CCAが浸潤していることを示している。

表9-2にみられるように、蛍光X線分析法で求めたCCA処理材中の薬剤吸収量の合計値は、表9-1の浸潤面積率の結果とその傾向がよく一致している。以上の結果からみると、端部ではかなり防腐薬剤が浸潤しているが、その他の部分では表面付近のみ浸潤しているにすぎず、中心部分にはほとんど薬剤は浸潤していないと結論づけられる。

表9-1 CCA処理材の浸潤面積率 (%)

試験片 採取位置	全体	1cm層
1	100	100
2	30	70
3	15	40
4	20	50
5	100	100

表9-2 CCA処理材の薬剤吸収量 (kg/m<sup>3</sup>)

試験片 採取位置	クロム CrO <sub>3</sub>	銅 CuO	ヒ素 As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	合計
1	4.14	2.32	5.14	11.60
2	1.80	1.03	2.28	5.11
3	1.36	0.76	1.72	3.84
4	1.49	0.87	1.94	4.30
5	2.46	1.39	3.06	6.91

## (2) クレオソート処理材

クレオソート処理材の図9-1に示した各部分におけるクレオソート油の吸収量を測定した結果を、表9-3に示した。全体的に外部の吸収量が内部のそれより高く、まくら木の木口に最も近い部分（採取位置番号：2）の吸収量が高い傾向が認められる。

表9-3 クレオソート処理材の薬剤吸収量 (%)

採取位置	1	2	3
上	20	70	100
1977年 下	40	110	30
内	10	80	75
外	40	75	70

## 2. 2. 2 故材の接着性能

一般に、油状防腐薬剤であるクレオソートや水溶性防腐剤であるCCAを用いて単板または集成材ラミナを処理した後接着する場合、材表面に薬剤の結晶が析出していたり、薬剤が吸湿して水分が高まったり、油液がしみ出していたりすると、接着剤の塗布が不均一になったり、ぬれが悪くなって、接着力が低下することがある。しかし、直ちに接着層がはく離するとか、あるいは、長時間経過後にはく離するということが知られて

いる。1) 一般に、木材の接着強さは比重を直線関係があるとされているが、ケンパスのクレオソート処理材の全乾比重は、先にも記したように、0.84、本実験に供試した無処理材の全乾比重は0.72であり、処理材の比重がかなり増加していることが推定される。これは、クレオソート油は10年以上も経過すると、その中のある成分は次第に重合して高分子化し、木材の細胞内腔で固化して、その充填効果により比重が上昇することによるものとみられ、また強度を高める傾向があるともいわれている。

図9-2および図9-3は、それぞれ枕木故材およびその未使用材の接着強度を示している。図9-3より、未使用材の接着強さは、フェノール接着剤の場合に最も低く、50 kg/cm<sup>2</sup>の値を示す。これを除くと、いずれの接着剤の場合も60-90 kg/cm<sup>2</sup>の値となっている。

一方、図9-2より、故材の接着強さをみると、試片の採取部位による差異はほとんど認められず、ユリア・メラミン接着剤の場合において、材端部の接着強度が中央部のそれより若干低い程度である。また、未使用材の接着強度と比較しても、接着剤に対する全体的な傾向は変わらず、接着強度の低下も認められない。ユリア接着剤の場合においてのみ、未使用材に比べて故材の接着強度が20%程度低下し、木破率も低下している。

故材も未使用材の場合もともに木破率が低いのは、被着材の比重が大きく、材自体のせん断強度が大きいためと考えられる。

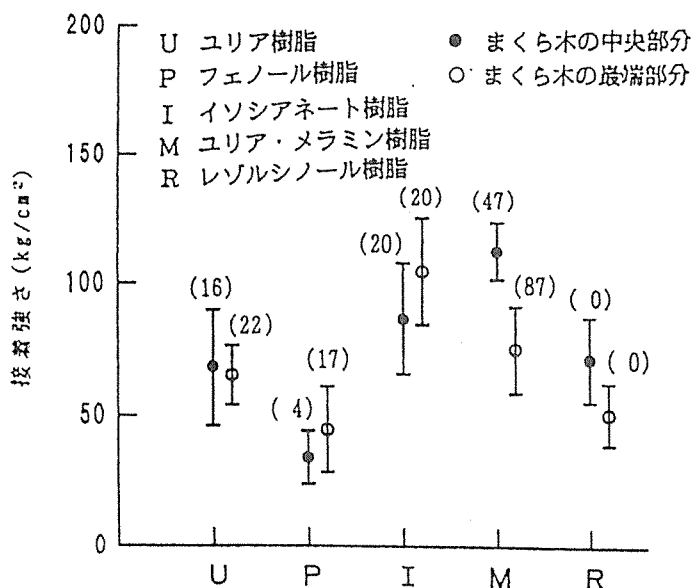


図9-2 クレーソート処理故材の接着性能 ( ) 内は木破率を示す。

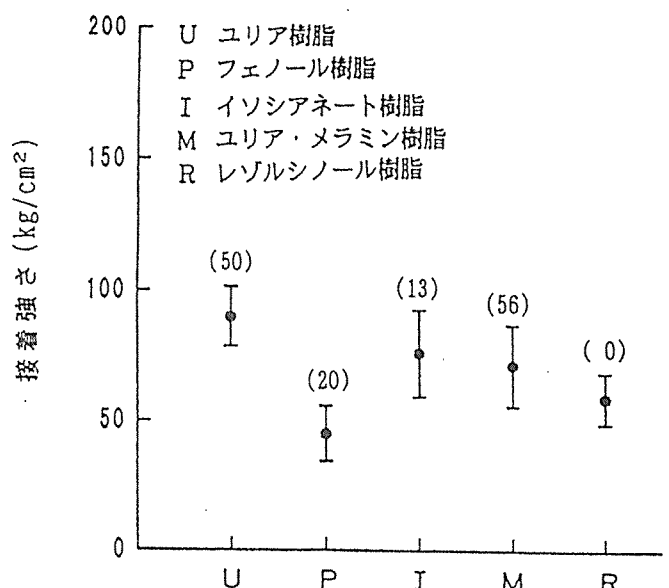


図9-3 ケンパス未使用材の接着性能 ( ) 内は木破率を示す。

ベイツガ未使用材の接着試験の結果を図9-4に、CCA処理材の結果を図9-5に示す。未使用材の接着強さは、いずれの場合も40-50 kg/cm<sup>2</sup>を示し、図9-3のケンパス材に比べると、材のせん断強度を反映して木破率は高くなっているものの、接着

強さは低下している。一方、故材の接着強さは、長期使用による劣化の影響や薬剤の影響による低下がほとんどなく、ユリア・メラミン接着剤の場合にはむしろその値が大きい傾向さえ認められる。

なお、CCA処理材の中央部でのジフェニールカルバジドによる呈色部分から判定した薬剤浸潤面積率は15%であり、さらに呈色部分はほとんど端部および供試材の表層部に限られている。よって、使用した試験片の大部分は呈色反応を示さなかったところであり、CCA処理材の端部の試験片との間ではCCA吸収量に大きな差があると考えられる。しかし、接着強さは採取位置によってほとんど差異が生じなかったので、CCA処理が故材の接着性能に及ぼす影響は小さいものと推定される。

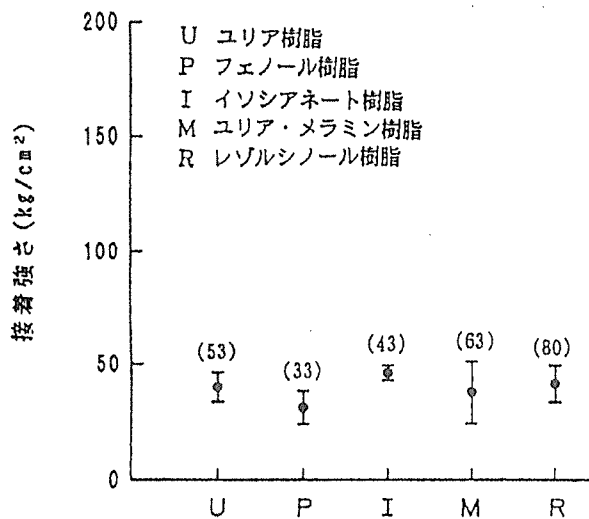


図9-4 ベイツが無処理材の接着性能 ( )内は木破率を示す。

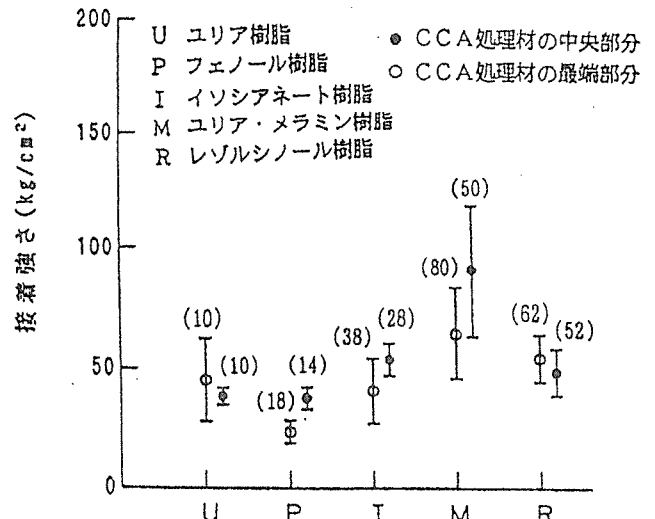


図9-5 ベイツが処理材の接着性能 ( )内は木破率を示す。

なお、Taylorは、バクチカンの単板をCCA処理した(吸収量 $7 \text{ kg/m}^3$ )後、メラミン・ユリア共縮合およびフェノール樹脂接着剤を用いて合板を製造し、その接着性能について検討している<sup>2)</sup>。無処理合板の接着強さを100としてその比でみると、製造直後の処理合板の接着強さは、メラミン・ユリア樹脂で84、フェノール樹脂で95、木破率はそれぞれ56、71%であり、初期接着力は良好であるとしている。また、この合板を $20^\circ\text{C}$ 、70%RHの恒温恒湿室で2年間および3年間放置した場合の接着強さについても検討しているが、3年後でも69~79とあまり低下しないのに対して、木破率が31~46%に低下することを明らかにしている。このように、初期接着力が良くても、時間の経過とともに急速に低下する場合もあるので、接着耐久性についても検討する必要がある。



### 3. 薬剤処理材を原料とするパーティクルボードの性質

#### 3. 1 実験

##### 3. 1. 1 供試材料

供試原料は、第2節の実験に用いた2種類の薬剤処理材である。これら原料をチップ化したのち、フレーカー (Pallmann PZ-8) を用いてパーティクルを製造し、含水率を2%~8%程度に調整した。CCA処理材のパーティクルの寸法形状は、長さ $15.0 \pm 4.0$  mm×幅 $1.9 \pm 1.0$  mm×厚さ $0.5 \pm 0.25$  mm、クレオソート処理材のそれは、長さ $16.5 \pm 3.0$  mm×幅 $1.8 \pm 0.8$  mm×厚さ $0.5 \pm 0.16$  mmであった。

供試接着剤は、フェノール樹脂 (P-82H、アイカ工業 (株) 製)、ユリア樹脂 (ユーロイド 755、三井東圧化学 (株) 製)、ユリア・メラミン樹脂 (ユーロイド 777、三井東圧化学 (株) 製)、イソシアネート樹脂 (UL-481、群栄化学工業 (株) 製) の4種類の接着剤である。フェノール樹脂、ユリア樹脂、ユリア・メラミン樹脂およびイソシアネート樹脂の不揮発成分は、それぞれ46.0%、63.2%、63.6%、および100%であった。

##### 3. 1. 2 ボードの製造

一定量のパーティクルをドラムブレンダーに入れ、攪拌させながら所定量の樹脂をエアレススプレーガン (ワーグナーハンディペインター: W-320A) を用いて噴霧塗布した。パーティクルを手撒き散布によってマットを形成したのち、熱圧成型した。

含脂率はパーティクルの全乾重量に対して樹脂不揮発分、すなわち含脂率がフェノール樹脂、ユリア樹脂、ユリア・メラミン樹脂では10%、イソシアネート樹脂では5%とした。また、ユリア樹脂、ユリア・メラミン樹脂の硬化剤としては20%塩化アンモン水溶液を接着剤の1%添加した。熱圧時間は10分、圧縮圧力 $35 \text{ kgf/cm}^2$ であり、圧縮温度はフェノール樹脂の場合には $170^\circ\text{C}$ 、ユリア樹脂では $130^\circ\text{C}$ 、ユリア・メラミンでは $150^\circ\text{C}$ 、イソシアネート樹脂では $170^\circ\text{C}$ とした。

ボードの目標寸法は、板面 $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ 、厚さ $10 \text{ mm}$ であり、目標比重を0.6とした。ボードの種類は、CCA処理およびクレオソート処理原料の2種類、上記の4種の接着剤を用いて各々2枚ずつ、計16枚作成した。

##### 3. 1. 3 材質試験

JISA5908に準じて、ボードの曲げ強度、はく離強度、ならびに厚さ膨張率を測定した。なお、湿潤時曲げ試験については、ユリア・メラミン樹脂接着剤を用いたボードでは湿潤時曲げA試験 ( $70^\circ\text{C}$ の温水中に2時間浸漬し、さらに常温水中に1時間浸漬) で行ない、フェノール樹脂およびイソシアネート樹脂接着剤を用いたボードについては湿潤時曲げB試験 (沸騰水中に2時間浸せきし、さらに常温水中に1時間浸せき) で行なっ

た。ユリア樹脂接着剤を用いたボードについては吸湿させた状態で曲げ試験を行ない、湿潤時曲げ試験とした。

また、フェノール樹脂、イソシアネート樹脂を用いたボードは2時間の煮沸を行った後、1時間常温水中に浸せきしたものを、ユリア・メラミン樹脂を用いたボードは70℃の温水中に2時間浸せきした後、1時間常温水中に浸せきしたものを、ユリア樹脂を用いたボードは20℃、90%RHの恒温恒湿室に恒量状態に達するまで吸湿させた後、それぞれの試験片を室内で気乾状態まで乾燥し、促進劣化処理後のはく離強度を求めた。

さらに、吸湿による板面および厚さ方向の寸法変化試験をASTM D 10374) に準じて行なった。すなわち、寸法20cm×5cm×1cmの試験片を作成し、気乾状態(20℃)から90%RHへの湿度変化に伴う重量と寸法変化を測定し、吸湿寸法変化率と吸湿率を算出した。

### 3. 2 結果および考察

#### 3. 2. 1 ボード比重および含水率

ボードの目標比重は0.6であったが、平均値と標準偏差は、CCA処理材によるボードの場合 $0.66 \pm 0.02$ 、クレオソート処理材の場合 $0.67 \pm 0.03$ となり、変動係数はそれぞれ3.0%、4.8%であった。ボードの含水率については、防腐薬剤がボードに含まれており、全乾重量測定時に防腐薬剤の揮発成分が水分とともに蒸発して誤差を生じる可能性がある。しかし、揮発成分を水分と分離することは困難であるので防腐処理材の含水率測定に関しては全乾重量を基準として気乾含水率を算出した。CCA処理およびクレオソート処理材ボードの気乾含水率はそれぞれ7.6および6.6%であった。

#### 3. 2. 2 曲げ強度

パーティクルボードの曲げ強さは、ボード比重の増大とともに、ほぼ直線的あるいは指数的な関係で増加することが知られている。本実験においても、同様な関係が得られているが、各サンプルあるいは処理条件による平均比重の違いを相殺するために、ここでは比ヤング率および比強度を算出した。

まず、CCA処理材ボードの接着剤間における常態および湿潤比ヤング率の結果をそれぞれ図9-6および9-7に示した。常態においては、CCA処理材ボードではフェノール樹脂を使用したボードが高い比ヤング率を示している。フェノール樹脂およびイソシアネート樹脂ボードは共にJIS A 5908の200タイプに合格しているが、湿潤時の残存率は50%を下回っており、耐水強度が低い。なお、ユリア樹脂において高い数

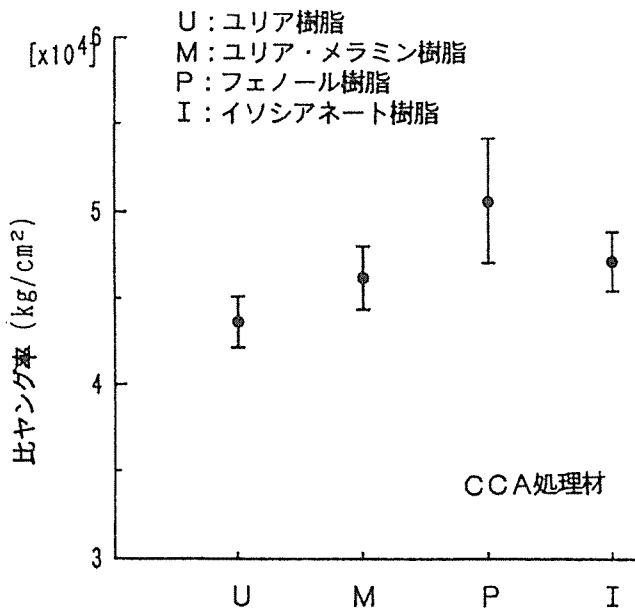


図9-6 CCA処理故材ボードの  
常態比ヤング率

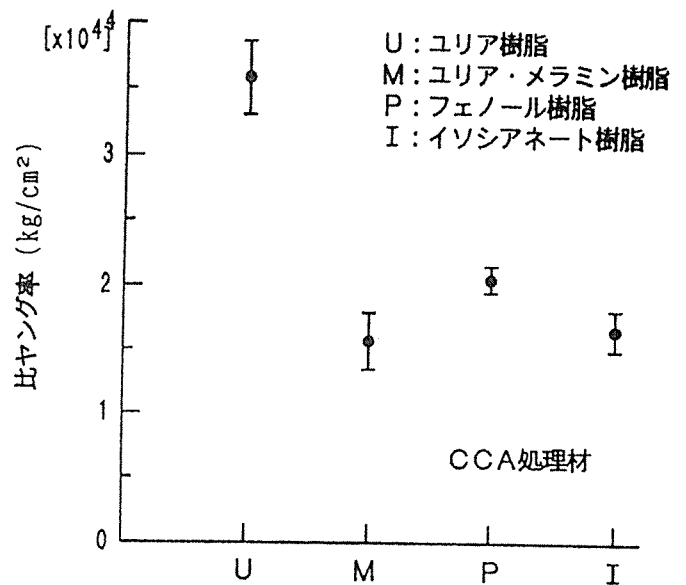


図9-7 CCA処理故材ボードの  
湿潤比ヤング率

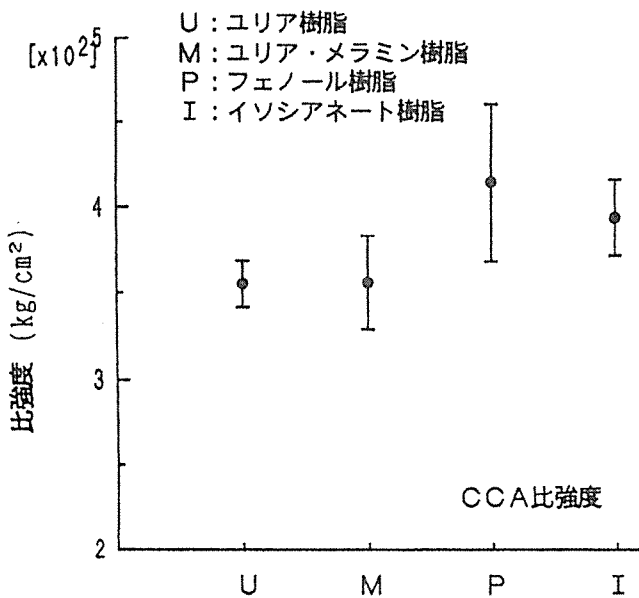


図9-8 CCA処理故材ボードの  
常態比強度

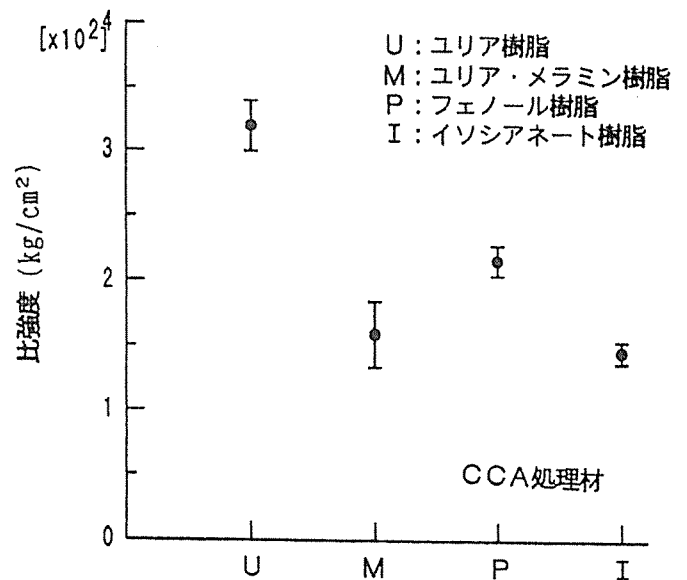


図9-9 CCA処理故材ボードの  
湿潤比強度

値を示しているのは、他の樹脂では煮沸あるいは温水による吸水処理であったのに対し、吸湿処理後に曲げ試験を行ったためである。

CCA処理故材ボードの常態ならびに湿潤比強度を図9-8および図9-9に示した。前述したようにMOEとMORの間には相関性が高く、比強度においてもは比ヤング率と同様の傾向がみられた。4種の接着剤でいずれもJISA5908の200タイプを上回っており、さらに、フェノール樹脂ボードではMORの残存率においても50%を上回

る値が得られ、最も優れた性能を示した。

クレオソート処理故材ボードの常態時の比ヤング率を図9-10、湿潤時の比ヤング率を図9-11に示した。77年のボードでの比ヤング率では、フェノール樹脂ボードが最も高い値を示しており、MOEの残存率でも57.8%、さらにユリア・メラミン樹脂ボードでも51.4%と50%を上回っている。しかし、JISA5908の200タイプには及ばず、構造用接着剤であるユリア・メラミン樹脂、フェノール樹脂の場合においても150タイプを合格しているだけである。

クレオソート処理故材ボードの常態時の比強度を図9-12、湿潤時の比強度を図9-13に示した。フェノール樹脂ボードが最も高い値を示しており、MORの残存率はフェノール樹脂ボードならびにユリア・メラミン樹脂ボードではそれぞれ68.0%および58.5%を示した。このように、クレオソート処理故材ボードの強度性能がCCA処理故材ボードに比べて大きく劣っているのは、小さい圧縮比（ボード比重/原木比重）が強度的性質に影響したためと考えられる。

以上、CCA処理故材ボードおよびクレオソート処理故材ボードともにフェノール樹脂を用いた場合に優れた曲げ性能が得られ、一方、イソシアネート樹脂を用いたボードでは含脂率が他の接着剤の半分の5%ではあるが、四種の接着剤間で低い強度値を示し、処理薬剤に硬化阻害成分が含まれている可能性を示唆している。今後の検討課題である。

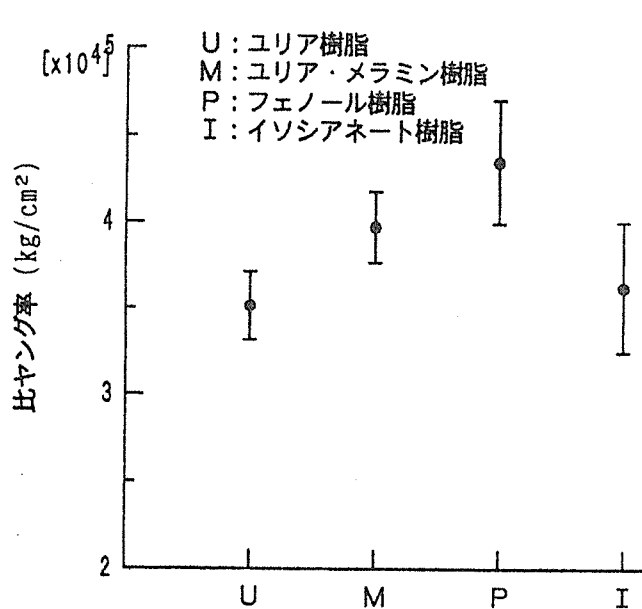


図9-10 クレオソート処理故材ボードの常態比ヤング率

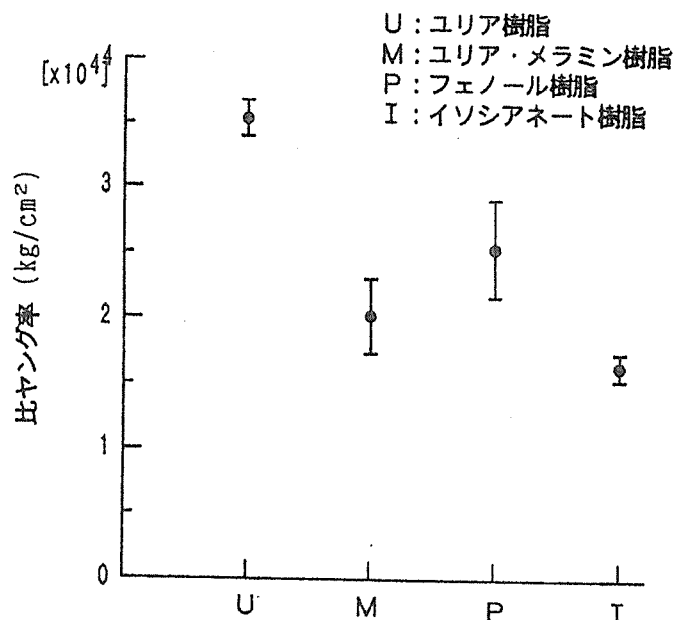


図9-11 クレオソート処理故材ボードの湿潤比ヤング率

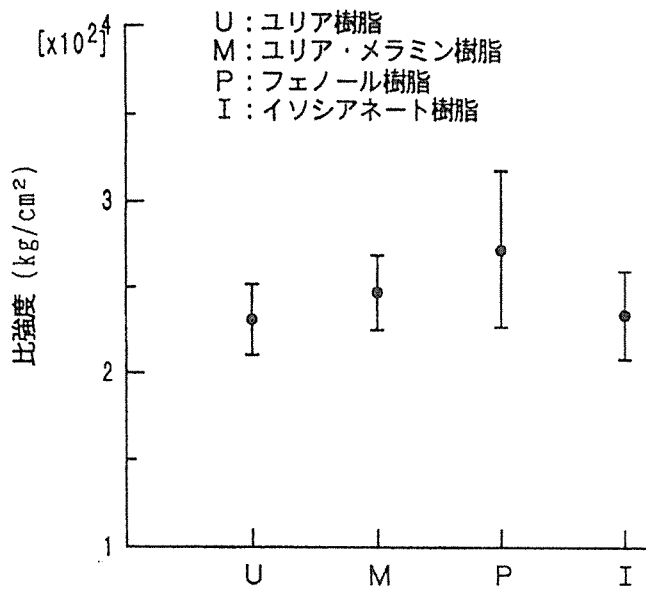


図9-12 クレオソート処理故材ボードの常態比強度

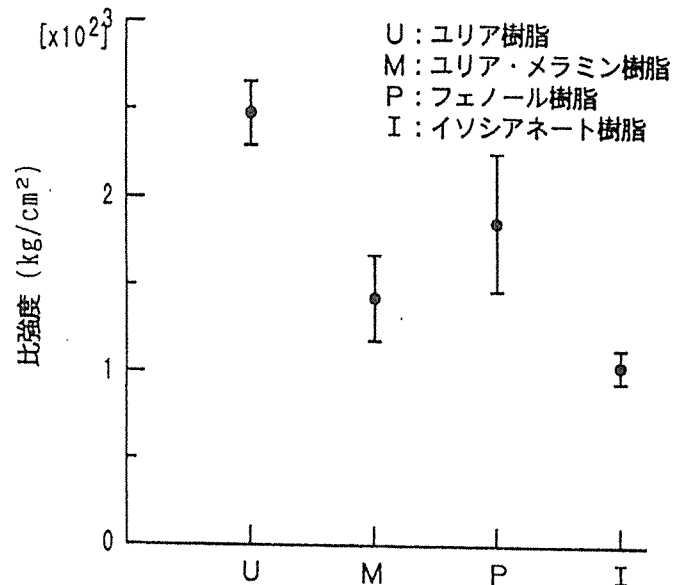


図9-13 クレオソート処理故材ボードの湿潤比強度

### 3. 2. 3 はく離強度

はく離強度（以下、IBとする）もまたボード比重との間に直線的な関係が認められているので、ここでははく離強度を比重で除した値、すなわち、比はく離強度を指標に用いて検討した。

CCA処理材の常態比はく離強度の結果を図9-14に、また湿潤処理後に気乾状態に調湿したのちIBを測定した比はく離強度の結果を図9-15に示した。常態比はく離強度ではウリア・メラミン樹脂ボードが11.7 kg/cm<sup>2</sup>であり、常態時では高い値を示したが、湿潤比はく離強さでは常態時の62%に低下している。一方、フェノール樹脂ボードの常態比はく離強さは9.3 kg/cm<sup>2</sup>であるが、湿潤比はく離強さが常態時の86%を保有し、フェノール樹脂ボードがCCA処理材のボードに対して高い耐水性を持っていると考えられる。それに対して、イソシアネート樹脂ボードは、曲げ性能の場合と同様に、常態および湿潤はく離強度ともに4種の接着剤間で低い値を示した。

クレオソート処理故材ボードの常態時の比はく離強度を図9-16、湿潤時の比はく離強度を図9-17に示した。JIS A 5908の規格によると、全ての接着剤において200タイプに要求される性能を満足している。CCA処理故材ボードの場合とは反対に、イソシアネート樹脂ボードの比はく離強度が高くなっているが、湿潤はく離強度では常態時の約28%、またウリア・メラミン樹脂ボードでは38%と非常に低い値となり、促進

劣化処理後の強度低下が著しい。また、フェノール樹脂ボードの湿潤時の比はく離強度は常態時の48%であり、4種の接着剤のなかでは最も高い耐水性を示した。

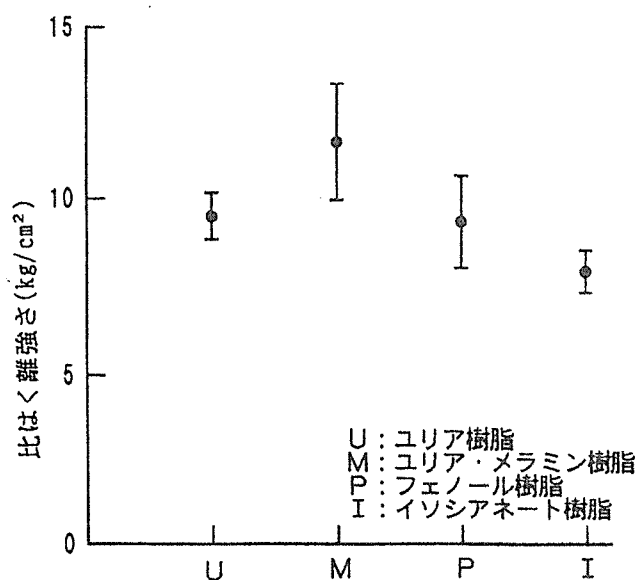


図9-14 CCA処理故材ボードの常態比はく離強度

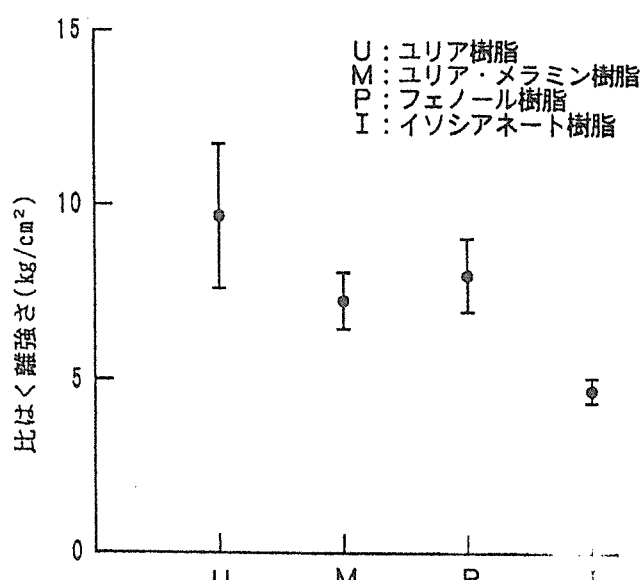


図9-15 CCA処理故材ボードの湿潤比はく離強度

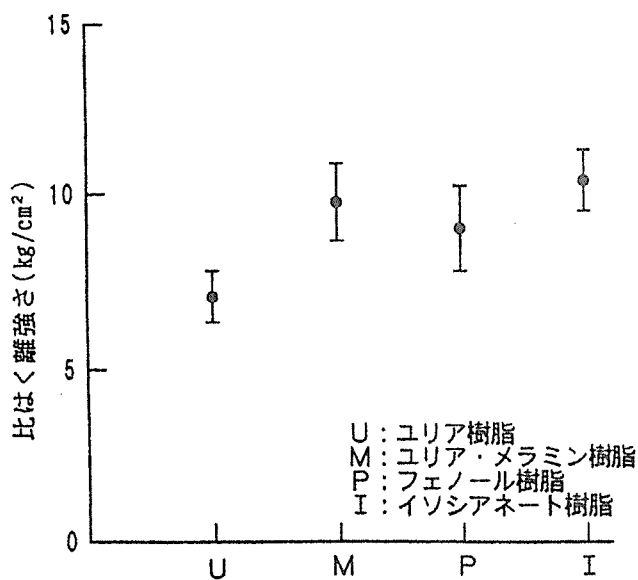


図9-16 クレオソート処理故材ボードの常態比はく離強度

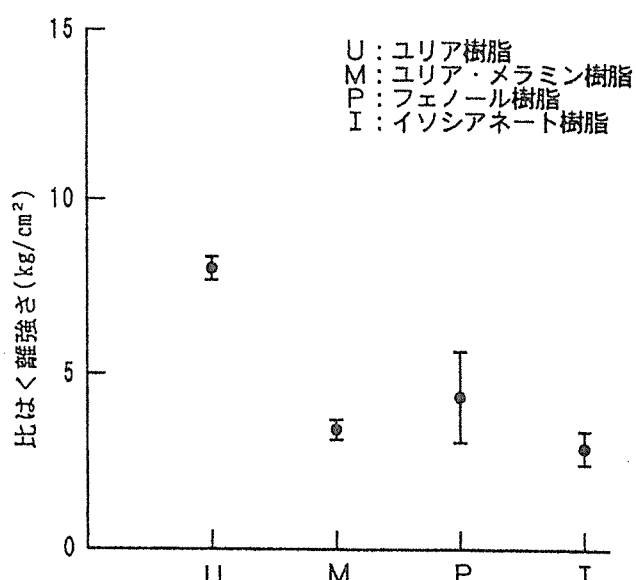


図9-17 クレオソート処理故材ボードの湿潤比はく離強度

### 3. 2. 4 線膨張率

CCA処理材ボードの含水率1%当たりの板面寸法変化率を図9-18に示した。いずれの場合も、含水率1%当たりの寸法変化率は0.013~0.019%/%の範囲にあり、接着剤間での有意差は認められない。また、床下地用パーティクルボードの板面寸法変化率は0.030%/%以下とされているので、本実験での値はその1/3程度の低い値を示し、優れた面内寸法安定性が明らかとなった。

クレオソート処理材ボードの板面寸法変化率を同様に図9-19に示した。この場合も、板面寸法変化率は0.02%程度であり、各接着剤間に差が認められなかった。

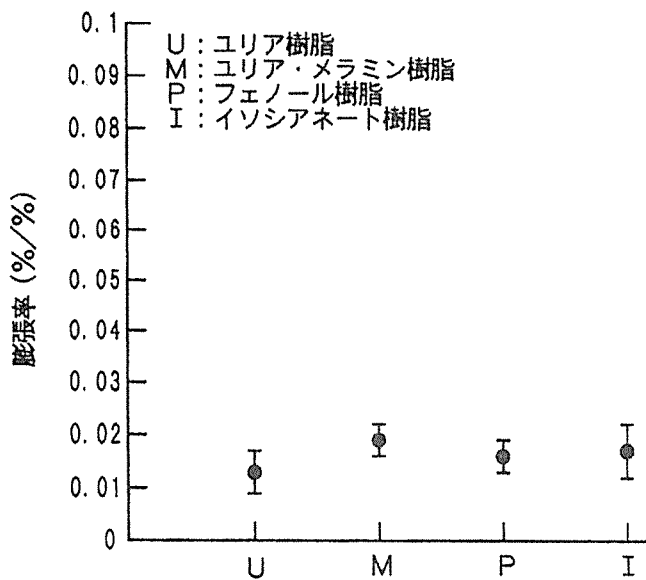


図9-18 CCA処理材ボードの線膨張率

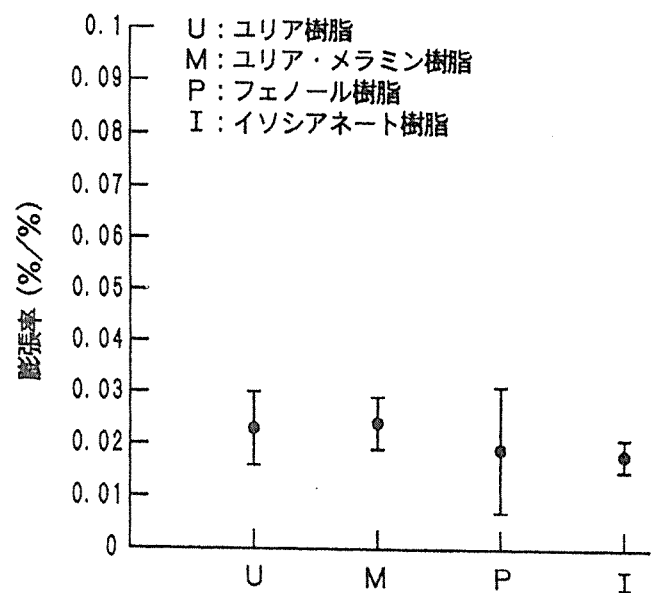


図9-19 クレオソート処理材ボードの線膨張率

### 3. 2. 5 吸水厚さ膨張率

CCA処理材ボードの吸水および吸湿による厚さ膨張率の結果を、図9-20に示した。吸水厚さ膨張率については、各ボードとも高い値を示しており、JIS A 5908の規格における基準値12%をはるかに超えている。圧縮比が大きいことが主な要因と考えられる。

クレオソート処理材ボードの吸水厚さ膨張率の結果を、図9-21に示した。クレオソート処理材ボード吸水厚さ膨張率はCCA処理材のボードの約50%と小さい。クレオソート処理材ボードの圧縮比が小さいために、スプリングバック量が少なくなったものと推定される。

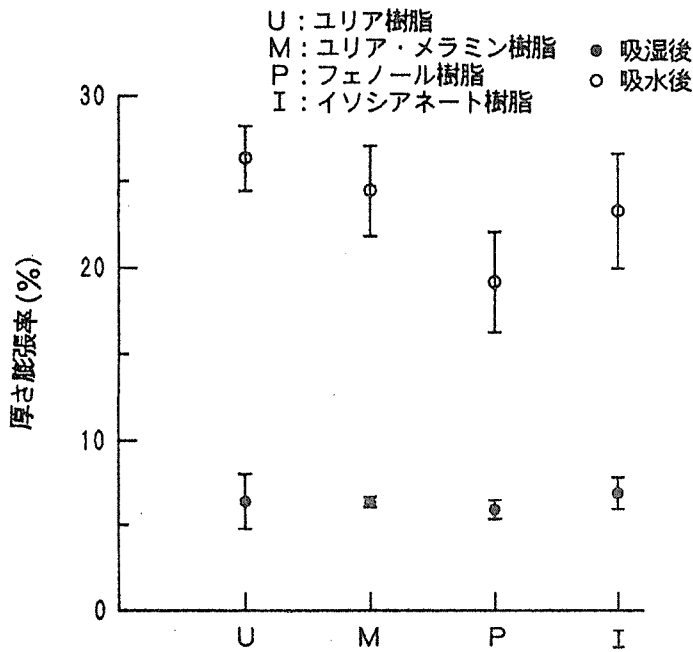


図9-20 CCA処理故材ボードの吸水厚さ膨張率

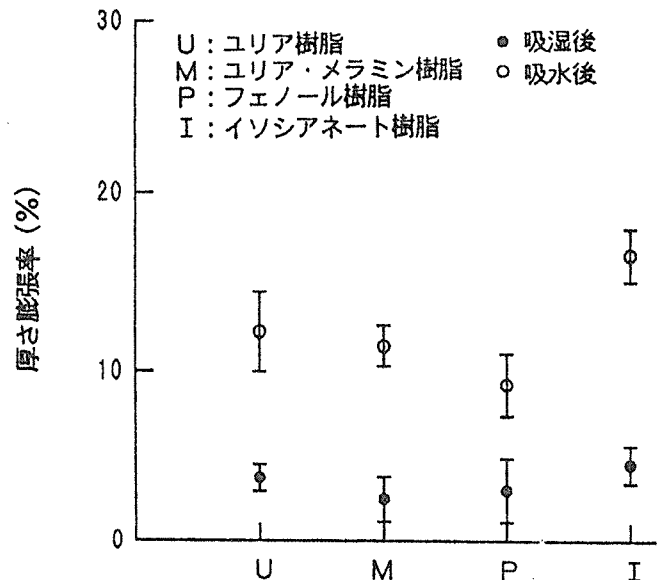


図9-21 クレオソート処理故材ボードの吸水厚さ膨張率

#### 4. 結論

家屋の土台や枕木など保存薬剤処理廃材の有効活用ならびにそのリサイクルシステムの確立が急務となってきている。本研究では、防腐処理廃材の接着性能とこれを用いて製造されたパーティクルボードの性質を検討し、以下の結論を得た。

1) CCAならびにクレオソート油防腐薬剤の接着性能に対する影響はほとんど認められず、接着不良も観察されなかった。今後、さらに構造用途としての適性を明らかにするために、接着耐久性に関する検討が必要となろう。

2) 薬剤処理廃材を原料にしたパーティクルボードの曲げ性能をみると、圧縮比の影響を大きく受け、高比重樹種（ケンパス）を用いた枕木廃材ボードに比べて、低比重樹種（ベイツガ）を用いたCCA処理廃材のボードが優れているが、一方、厚さ方向の寸法安定性については逆の傾向が認められた。

3) これらボードの面内寸法安定性は0.01-0.02%/％の範囲にあり、いずれも良好であるが、処理薬剤がこれに関与しているかどうかは明らかではない。

#### 文献

- 1) 日本木材保存協会：「木材保存学」、文教出版（1962）
- 2) J. M. Taylor: Wood, 33(2), 35-36 (1968)



## 第10章 薬品処理木材の合理的な規格・基準作成のためのデータ整備

### 1 調査の目的

木材は、生物材料独特の良さを持っている反面、腐朽菌やシロアリ等におかされやすいなどの欠点を持ってつる。このような欠点をカバーし、資源を有効利用する観点から、防腐処理、防虫処理等の木材薬品処理が必要となる。

特に、木材の大きな需要先である住宅分野においては、国民的要請の高まりの中で、住宅、更には、その構成材料である木材の耐久性の向上が強く望まれている。

薬品処理に使用する薬剤は、現在、JAS規格等でCCA（クロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤）とされており、我が国で生産されているそのほとんどがCCA処理木材である。

CCAは、処理木材中に安全な形で定着するので、CCA処理木材そのものの安全性は高い。しかし、燃焼した場合には、主成分であるクロム、銅、ひ素のほとんどが灰に残るが、一方、燃焼条件によってはひ素の一部が気中に飛散するとされているので、処分の量、条件によっては、環境汚染が懸念されることから、最近、社会問題化されている。

このようなことから、本事業ではCCA処理木材を含む住宅解体廃材等の再資源化を図るため、より安全な再利用技術の開発について検討を行っているが、この章では、最近、開発され、実用化されている薬剤の中から安全性の高い薬剤を使用した薬品処理木材の合理的な規格・基準を作成するためのデータを整備することにより、近い将来、これらを使用した薬品処理木質廃棄物の再利用の適正化に資することを目的とする。

### 2 調査結果

#### 2.1 データ整備に当たっての考え方

##### 2.1.1 必要性

木材はその使用環境によって各種の生物により、劣化を受けるといった性質をもっている。この性質は、他の材料、例えば無機質、金属、プラスチック等と比較されると、常に欠点として評価され、それぞれの使用環境において、耐用年数低減の大きな因子として考えられている。

そのため、長期間の耐用年数を期待する用途に使用される木質材料に対しては、何らかの方法で防腐・防蟻・防虫の性能を向上させることは最も必要なことである。JAS規格においては、木質材料の規格の中で、必要に応じて生物劣化防止のための性能基準が規定されてきた。

例えば、製材規格では、防腐・防蟻、防虫処理、また、合板、フローリングでは、防虫処理などである。しかし、材料は異なっても、使用される防腐・防蟻・防虫用の薬剤は、

ほとんど共通のものが多いから、薬剤の呈色・定量法が重複している。

そこで、そのような重複をさけるため、防腐・防蟻処理木材という表現で一つに集めて、その中で共通部分と材料ごとに規定する部分とに分けて表現することによって理解しやすく、かつ、使用しやすくすることが必要である。

#### 2. 1. 2 薬品処理木材の定義

加圧式処理法（J A S A 9 0 0 2）、浸せき法又は接着剤混入法などの処理法によって、木材中に指定された薬剤を規定の量と、浸潤度以上に浸透させた木質材料をいう。

#### 2. 1. 3 対象とする木質材料

J A S に規定されている木質材料は、いずれも使用環境によっては腐朽やシロアリの被害を受ける可能性があるため、すべての木質材料が対象となる。特に、構造用材料は、腐朽・蟻害の恐れのある環境下に使用され、しかも、長期間の耐用年数を期待されることが多いので、構造安全性の意味からも重点的に取り上げるべきである。

#### 2. 1. 4 性能評価

薬品処理木材の性能評価は、本来ならば、菌又はシロアリを使って、防腐・防蟻性能を評価すべきであるが、それは材料評価法としてはなじまない。そこで、それに代わる方法として、防腐・防蟻性能が実験室における生物実験と、野外における自然条件下での試験によって、有効な性能であることが明らかにされた防腐・防蟻剤を用いて処理した木材において、その薬剤の浸潤深さ及び薬剤浸潤部分の薬剤吸収量が規定値以上を示した木材に対して、処理が適切に行われ、防腐・防蟻性能が十分に期待できる木材であると評価する。

#### 2. 1. 5 薬剤選択の基準

現行の製材規格において、防腐処理の項目で規定されている薬剤は、クロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤（J I S K 1 5 5 4 C C A）のみである。

この薬剤は、防腐・防蟻効力、その他の各の性能は優れており、薬剤価格も比較的安価で、入手しやすく、処理木材そのものも人体に害を与えることはない。ただし、最近のように環境の汚染をできるだけさけることを重要な課題として考えるようになってきたため、C C A 処理木材の再利用や、廃棄焼却において、各種の障害や環境汚染につながる恐れがあるということで、この薬剤の使用を忌避することが多くなってきた。

しかし、今後、木材の耐久性向上を必要とする材料の需要はますます増大するものと考えられるので、使用する薬剤も C C A に限定することなく、各種用途や、期待する耐用年数に対応して、需要者に選択の幅を広げるために、最近、実用に供されている新しい薬剤の中から必要な条件を満たしている薬剤を取り上げる。その選択の条件としては、以下に示すとおりである。

#### [薬剤選択の条件]

- 薬剤の毒性は、普通物のもの
- 薬剤が自然環境に流出した場合に、人体のみならず他の動植物にも害を及ぼさないもの
- 処理木材の再利用又は廃棄に際して大きな環境汚染をおこさないもの
- 薬液又は処理木材は、処理施設や建物に使用される金属を著しく腐食させないもの
  
- 薬剤吸収量は、使用した薬液の有効成分によって規定し、原則として約10年以上の野外杭試験又は実用試験によって有効であることが明かになっているもの
- 同一系統の薬剤は、その中で適切なものを1種類選択する。
- 指定濃度に調整した薬液は、規定の組成を常時保持しており、繰り返し使用しても、その作業液中の薬剤濃度や組成が、著しく変化しないもの

#### 2. 1. 6 樹種の耐久性と処理木材の耐用年数

木材は、辺材部と心材部とに区分して耐久性を評価すると辺材はすべての樹種によって耐久性は小さいものと考ええる。しかし、心材については樹種によって耐久性は大きな差があって、実験室と野外杭試験によつて大、中、小に区分される。木材を防腐・防蟻剤によつて処理して、耐久性を向上させるということは、まず、耐久性の小である辺材部分は十分に薬剤を浸透させ、更に、心材にもできるだけ薬剤を浸透させて耐久性を向上させることである。

ただし、このような処理木材は、心材部分に薬剤の未浸透部分が残されているから、その部分の耐久性の大小が、その木材の耐久性に大きな影響を与える。それ故、処理木材に期待する耐用年数は薬剤の未浸透部分の心材の耐久性の大小によって総合的に評価すべきものと考ええる。

一般的に、処理木材に期待する耐用年数は、いかなる種樹、いかなる環境においても、最小で10年期待できることが望ましい。更に、長期の耐用年数を期待するには、薬剤の吸収量や浸潤度の増加、心材の耐久性のより大きいものの組合せによつて対応することができる。

例えば、同じ薬剤を用い、同じような浸透状態であつて、心材の内部が未浸潤の部分が残されている木材では、耐久性の大きいヒノキ材の方が耐久性の小さいベイツガ材よりは、耐用年数は長期間期待できる。ただし、薬剤の浸透が心材・辺材に関係なく、その材料断面積の80%以上に及んでいる場合には、樹種の耐久性に関係なく、耐用年数が最も長く期待できるものとして評価する。それ故、材料の断面において、辺材の割合が大きく、薬剤が十分に浸透している材料は、心材の割合の大きい材料で、薬剤の浸透の割合が小さい材料より高い性能を示すものと考ええる。

## 2. 1. 7 環境区分と処理木材の性能基準

木材の使用環境において腐朽や蟻害によって木材が劣化することは、水の存在の有無に大きく支配される。すなわち、このような生物の木材への劣化外力は、水の侵入が常時か、時々か、まれか、によって決定される。

それ故、使用環境が屋外で土に接する材料又は水中にあるもの、常時水がかかるものが最も厳しい環境と考える。その他の使用環境も、雨水と土壌からと、使用水、湿潤な所からの水の入り方で区分する。

それに対応して、厳しい環境には不適な薬剤は避け、また、使用するには吸収量・浸潤度を多くしたり、心材の耐久性の大小と環境区分の厳しさを結び付け、て使用者の選択の幅を広げることを考えている。

## 2. 2 調査の概要

### 2. 2. 1 対象とする木質材料

- ① 製材
- ② 針葉樹の構造用製材
- ③ 枠組壁構法構造用製材

### 2. 2. 2 対象とする薬剤

- ① ほう素化合物
- ② クロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤（C C A）
- ③ クレオソート油
- ④ ジデシルジメチルアルキルアンモニウム化合物（D D A C）
- ⑤ ナフテン酸銅（N C U）
- ⑥ ナフテン酸亜鉛（N Z N）
- ⑦ アンモニア性銅・第4級アンモニウム塩（A C Q）

### 2. 2. 3 性能基準

別表（表10-1）のとおり

### 2. 2. 4 試験方法

別紙（別紙10-1）のとおり

### 2. 2. 5 関連試料

別紙（別紙10-2）のとおり

表10-1 性能基準 (適合基準)

環境区分	浸潤度 ( % )	吸収量 (kg/m <sup>3</sup> )							対象樹種
		ほう素化合物	C C A	クレオソート油	D D A C	N C U	N Z N	A C Q	
H 1	辺材部分の90以上	ほう酸として 1. 2							ヒラキクイムシ の食害を受ける樹種
H 2	辺材は、辺材部分の80以上 心材は、材面から10mmの部分 までの心材部分の20以上	3. 5	4. 5	銅として 0. 8	亜鉛として 1. 6	銅として 1. 0 AACとして 1. 0			耐久性中以上の樹種
H 3	辺材は、辺材部分の80以上 心材は、材面から10mmの部分 までの心材部分の80以上	3. 5	4. 5	銅として 0. 8	亜鉛として 1. 6	銅として 1. 0 AACとして 1. 0			すべての樹種
H 4	辺材は、辺材部分の80以上 心材は、材面から10mmの部分 までの心材部分の80以上					銅として 2. 0 AACとして 2. 0			耐久性中以上の樹種
	辺材は、辺材部分の80以上 心材は、心材部分の80以上	6. 0	9. 0	銅として 1. 2	亜鉛として 3. 2				耐久性小の樹種
H 5	辺材及び心材のすべての80以上	7. 5	8. 0	銅として 1. 5					すべての樹種

## 別紙 10-1 試験方法

防腐・防蟻処理試験は、①に示す方法によって行う。ただし、防腐・防蟻処理を施した製材の樹種及び製材に対する薬剤の浸潤の仕様が特定しており、①のエの（ア）の浸潤度試験の結果に基づき資料によって薬剤の浸潤度の判定を客観的に行うことができると登録格付機関が認めた場合には、②に示す方法によることができるものとする。

### ① 切断により試験片を採取する場合

#### ア. 試験試料の採取

試験に供する試験片を採取すべき防腐・防蟻処理を施した製材（以下「試料材」という。）を抜き取る方法は、1 荷口から次の表の左欄に掲げる防腐・防蟻処理を施した製材の枚数又は本数に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる枚数又は本数の試料材を任意に抜き取って行うものとする。

荷口の防腐・防蟻処理を施した製材の枚数又は本数	試料材の枚数又は本数	
1, 000 以下	2	再試験を行う場合は、左に掲げる枚数又は本数の2倍の試料材を抜き取る。
1, 001 以上 2, 000 以下	3	
2, 001 以上 3, 000 以下	4	
3, 001 以上 4, 000 以下	5	

#### イ. 試験片の採取

試験片は、各試料材の長さの中央部付近において、試料材の厚さ及び幅で、5 mm以上の長さの試験片を1枚ずつ採取する。

ただし、ほう素化合物処理木材にあつては、各試料材から辺材部分の長さの中央部付近において、試料材の幅で適当な長さの小片を1枚ずつ作成する。

#### ウ. 試験結果の判定

1 荷口から採取された試験片のうち、基準に適合するものの数とその総数の90%以上であるときは、当該試験片に係る荷口は合格したものとし、70%未満であるときは、不合格とする。適合するものの数が70%以上90%未満であるときは、その荷口について改めて試験に要する試験片を採取して再試験を行い、その結果適合するものの数が90%以上であるときは、合格したものとし、90%未満であるときは、不合格とする。

#### エ. 試験の方法

##### （ア）浸潤度試験

浸潤度は、試験片に含有される薬剤を試験法-1に示す方法によって呈色させ、次式により算出する。

$$\text{辺材部分の浸潤度 (\%)} = \frac{\text{試験片の辺材部分の呈色面積}}{\text{試験片の辺材部分の面積}} \times 100$$

$$\text{心材部分の浸潤度 (\%)} = \frac{\text{試験片の表面から深さ10mmまでの心材部分の呈色面積}}{\text{試験片の表面から深さ10mmまでの心材部分の面積}} \times 100$$

### 試験法-1 薬剤の呈色法

試験片の切断面に、防腐・防蟻剤ごとに定める呈色指示薬を塗布又は噴霧して浸潤部分を呈色させる。使用する薬品は、当該薬品（試薬）にJISの規定がある場合は特級又は1級のものとする。

#### ○ 呈色指示薬

##### 1. クロム・銅・ひ素化合物処理木材

ジフェニルカルバジド0.5gとイソプロピルアルコール50mlに溶解し、50mlの水を加えたもの。

浸潤部は淡赤褐色または赤紫色に呈色する。

##### 2. アルキルアンモニウム化合物処理木材

A液（酢酸18gに水を加えて100mlとしたもの）を塗布又は噴霧して約3分間放置後、B液（ブロムフェノール0.2gにアセトンを加えて100mlとしたもの）を塗布又は噴霧する。

約5分後に浸潤部は青色に呈色し、未浸潤部は黄色に呈色する。

##### 3. 銅・アルキルアンモニウム化合物処理木材

N、N-ジメチルチオカルバミン酸ナトリウム3水和物0.1%水溶液を塗布または噴霧する。その後、試験片を110℃以上に調整した乾燥器内に30分間以上放置する。

浸潤部は赤褐色に呈色する。

##### 4. ナフテン酸銅処理木材

1. に同じ。

浸潤部は青紫色を呈する。

##### 5. ナフテン酸亜鉛処理木材

ジチゾン（ジフェニルチオカルバゾン）0.1gをトリクロルエチレン100mlに溶解したもの。

浸潤部は赤色を呈する。

##### 6. ほう素化合物処理木材

クルクミン（植物製）2gをエチルアルコール（95%）98gに溶解したもの。

浸潤部は赤色を呈する。

##### 7. クレオソート油処理木材

クレオソート油により着色する。

### (イ) 吸収量試験

吸収量は、試験片に含有される薬剤を試験法-2に示す方法によって定量し、次式により算出する。

$$\text{吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{薬剤含有量 (mg)}}{\text{荷口の全試料の体積 (cm}^3\text{)}}$$

(注) 荷口の全試料の体積の求め方

薬剤含有量測定の際の試料液の調製に用いたのと同じ試験片からそれぞれ全乾比重測定用の木片を採取して全乾比重を求め、次式によりそれぞれの試料の体積を求める。

$$\text{試料の体積 (cm}^3\text{)} = \frac{\text{試料の採取量 (全乾重量 g)}}{\text{全乾比重}}$$

これを合計して荷口の全試料の体積とする。

### 試験法-2 薬剤の定量法

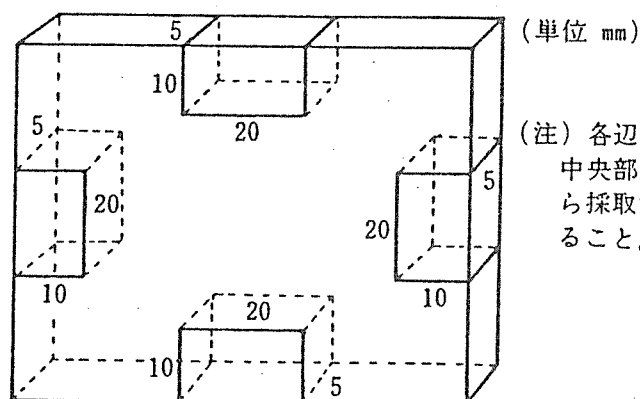
使用薬剤ごとに吸光光度法、原子吸光光度法又は蛍光X線法によって薬剤の吸収量を定量する。使用する薬剤は、当該薬品(試薬)にJISの規定がある場合は、特級又は1号のものとする。

#### 1. クロム・銅・ひ素化合物処理木材

##### 1.1 吸光光度法

##### (1) 試料液の調製

試験片ごとに、それぞれ下図に示す4か所から深さ10mm、幅5mm、長さ20mmの木片を採取し、これを細かく砕いて混合した後、全乾したものの約0.5gを正確に量りとり、500mlの共通すり合わせトラップ球付き丸底フラスコに入れ、過酸化水素水10mlと硫酸2mlを加える。これを砂浴上で徐々に加熱し分解させる。フラスコ内容物が約2mlになったところでさらに過酸化水素水5mlを加える。この操作を繰り返して木粉が完全に分解して透明液になったところで、約2mlになるまで濃縮し放冷する。フラスコの内壁を水で洗いながら内容物を1,000mlのメスフラスコに移し、標線まで水で希釈し、これを試料液とする。





## (2) 試薬及び検量線の作成

試薬及び検量線の作成は、工場排水試験方法のJ I Sに規定するところによるものとする。

## (3) 定量方法

### a. クロム化合物

A、B 2個のビーカーを用意し、試料液30mℓ未満(Crとして0.003~0.05mgを含む。)を正確に量りとり、それぞれのビーカーに入れる。Aビーカーの試料液は水を加えて30mℓとし、硫酸(1+1)0.5mℓを加えてかき混ぜた後、過マンガン酸カリウム溶液(0.3W/V%, 以下同じ。)数滴を加え微紅色とする。加熱して微紅色が消えたならば更に過マンガン酸カリウム溶液を滴下し、5分間煮沸しても微紅色が残るまでこの操作を続ける。冷却後、尿素溶液(20W/V%)10mℓを加え、激しくかき混ぜながら亜硝酸ナトリウム溶液(10W/V%)を滴下して過マンガン酸を分解する。冷却後、ビーカーの内壁を水で洗いながら50mℓのメスフラスコに移し入れ、液温を15℃にし、ジフェニルカルバジド溶液(1W/V%、以下同じ。)1mℓを加えて直ちに振り混ぜ、更に水を標線まで加えて振り混ぜ、5分間放置した後10mℓの吸収セルに移し、これをA液とする。Bビーカーの試料液に硫酸(1+1)0.5mℓを加え、ビーカーの内壁を水で洗いながら50mℓのメスフラスコに移し入れ、ジフェニルカルバジド溶液1mℓを加え、水を標線まで加えて、よく振り混ぜた後吸収セルに移し、これをB液とする。B液を対象液としてA液の吸光度を波長540nm付近で測定し、あらかじめ作成した検量線からクロムの量を求め、次式によりクロム化合物の量を算出する。

$$\text{CrO}_3 = \text{Cr} \times 1.923 \times \frac{1,000}{\text{試料液採取量 (mℓ)}}$$

CrO<sub>3</sub> : クロム化合物の量 (mg)

Cr : 検量線から求めたクロムの量 (mg)

### b. 銅化合物

試料液中の銅の量を工場排水試験方法のJ I Sによって求め、次式により銅化合物の量を算出する。

$$\text{CuO} = \text{Cu} \times 1.252 \times \frac{1,000}{\text{試料液採取量 (mℓ)}}$$

CuO : 銅化合物の量 (mg)

Cu : 検量線から求めた銅の量 (mg)

### c. ひ素化合物

試料液中のひ素の量を工場排水試験方法のJ I Sによって求め、次式によりひ素化合物の量を算出する。

$$\text{As}_2\text{O}_5 = \text{As} \times 1.534 \times \frac{1,000}{\text{試料液採取量 (mℓ)}}$$

As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : ひ素化合物の量 (mg)

As : 検量線から求めたひ素の量 (mg)

(4) 薬剤含有量の計算方法

(3) によって求めた値からそれぞれ次式により薬剤含有量を算出する。

$$\text{薬剤含有量 (mg)} = P \times \frac{1}{\varepsilon}$$

P : クロム化合物、銅化合物又はひ素化合物の量 (mg)  
 ε : 各成分の定量値を薬剤含有量に換算する係数で、次の表に掲げるとおりとする。

成分	JIS K 1554		
	1号	2号	3号
クロム化合物	0.655	0.353	0.475
銅化合物	0.181	0.196	0.185
ひ素化合物	0.164	0.451	0.340

1. 2 原子吸光光度法

(1) 試料液の調製

採取した試料木片を細かく砕いて混合した後、全乾したものの約0.5gを正確に量りとり、500mlの共通すり合わせトラップ球付き丸底フラスコに入れ、過酸化水素水10mlと硫酸2mlを加える。これを砂浴上で徐々に加熱し分解させる。フラスコ内容物が約2mlになったところでさらに過酸化水素水5mlを加える。この操作を繰り返して木粉が完全に分解して透明液になったところで、約2mlになるまで濃縮し放冷する。フラスコの内壁を水で洗いながら内容物250mlのメスフラスコに移し、硫酸ナトリウム溶液(3 W/V %) 25mlを加えた後、標線まで水で希釈し、これを試料液とする。

(2) 検量線の作成

硫酸銅(II)五水和物0.983g、二クロム酸カリウム1.415g及び三酸化二ひ素0.660gをそれぞれ300mlのビーカーに入れる。水25ml、過酸化水素水10ml、硫酸4mlを加え、砂浴上で徐々に加熱し溶解する。ビーカーの内壁を水で洗いながら内容物を500mlのメスフラスコに移し、硫酸ナトリウム溶液(3 W/V %) 50mlを加え、水で希釈し500mlとする。この時、標準試料原液の濃度は、Crとして1mg/ml、Cuとして0.5mg/ml、Asとして1mg/mlとなる。

標準試料原液10mlを100mlのメスフラスコに入れ、標線まで硫酸-硫酸ナトリウム溶液で希釈する。そのうちから0~15mlを、段階的に、正確に量りながら、それぞれ100mlのメスフラスコに入れ標線まで硫酸-硫酸ナトリウム溶液で希釈し、これを標準試料溶液とする。

標準試料溶液について、原子吸光光度計により、クロム、銅、ひ素それぞれの吸

光度を測定する。標準試料溶液の濃度を横軸に、吸光度を縦軸にとり、グラフ上にプロットし検量線を作成する。各成分ごとの燃焼炎および測定に用いる分析線の波長は、次のとおりとする。

成分	燃 焼 炎	測定波長 (nm)
クロム	空気-アセチレン	357.9または429.0
銅	空気-アセチレン	324.8
ひ素	アルゴン-水素	193.7または197.2

### (3) 定量

試料液について、(2)と同じ条件で吸光度を測定し、検量線の直線領域により目的成分の濃度を求める。試料液の吸光度が検量線の範囲を超える場合は、硫酸-硫酸ナトリウム溶液で一定量に希釈し、検量線の範囲に入るよう調整し測定する。また、測定波長はクロムおよびひ素については表中のいずれからの波長を用いてもよいが、一貫して同一の波長を用いなければならない。

### (4) 計算

(3)によって求められた値から次式により薬剤含有量を算出する。

$$\text{薬剤含有量 (mg)} = P \times \frac{250 \times \text{試料液の希釈倍率}}{1000} \times f \times \frac{1}{k}$$

P：検量線から求めたクロム、銅、またはひ素の濃度 (mg/ℓ)

f：各化合物に換算するための係数で、それぞれ次に掲げるとおりとする。

クロム化合物：1.923

銅化合物：1.252

ひ素化合物：1.534

k：各成分の定量値を薬剤含有量に換算するための係数で、次の表に掲げるとおりとする。

	1号	2号	3号
クロム化合物	0.655	0.353	0.475
銅化合物	0.181	0.196	0.185
ひ素化合物	0.164	0.451	0.340

$$\text{CCA吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{薬剤含有量 (mg)}}{\text{試料木粉採取量 (g)}} \times \text{全乾比重}$$

## 1.3 蛍光X線法

### (1) 試験体の作成

試料材から採取した試験片の木粉約2gを粉碎器（ボールミル）を用いて微粉とし、100～105℃で乾燥した後、約150mgを採り、圧縮成型機の圧力4.5/cm<sup>2</sup>でプレスし、タブレット（厚さ1mm、直径13mm）を作成して分析用試験体とする。

### (2) 定量

校正した蛍光X線分析計に分析用試験体をセットし、クロム、銅、ひ素を測定する。

各元素は、それぞれCrO<sub>3</sub>、CuO、As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>としての含有率（%）で示される。

測定条件の一例

測定時間：300 sec.

照射径：10 mm

雰囲気：真空中

電圧：15 kV

電流：20～30 μA

### (3) 計算

各元素の含有率から次式によって吸収量を求める。

$$\text{CCA吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{成分含有率} \times \text{全乾比重}}{\text{係数}} \times 1000 / 100$$

係数は各成分の含有率からCCA含有量に換算するためのもので、次のとおりである。

	1号	2号	3号
クロム化合物	0.655	0.353	0.475
銅化合物	0.181	0.196	0.185
ひ素化合物	0.164	0.451	0.340

## 2. アルキルアンモニウム化合物処理木材

ジデシルジメチルアンモニウムクロライド（DDAC）の定量

### (1) 試料液の調製

試料材から採取した試験片の木粉約1gを正確に量りとり、冷却器（アリーン氏管）付き平底フラスコ（300ml）に入れ、塩酸-エタノール混液（塩酸（35%）3mlにエタノールを加えて100mlとしたもの）50mlを加えて湯浴上で1時間煮沸する。放冷後、抽出物を吸引ろ過するとともに、木粉を約30mlのエタノールで洗浄する。ろ液は100mlメスフラスコに移し、エタノールを加えて100mlとし、試験液とする。

## (2) 検量線の作成

ジデシルジメチルアンモニウムクロライド (DDAC) の標準液 (0.1 mg/ml : DDAC 100 mg を正確に量りとり、水を加えて 1 ℓ とする) を 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg をビーカーにとり、それぞれについて塩酸-エタノール溶液 (前出) 1 ml を加えた後、水を加えて約 40 ml とし、1 N 水酸化ナトリウム溶液 (水酸化ナトリウム 4 g に水を加えて 100 ml としたもの) 数滴を加えて、万能 pH 試験紙による pH を約 3.5 とする。

あらかじめ、pH 3.5 緩衝液 (0.1 M 酢酸水溶液と 0.1 M 酢酸ナトリウム水溶液を 16 : 1 で混合したもの) 10 ml、オレンジ II 溶液 (0.1 (W/V) % : オレンジ II (p-β-ナフトール・アゾベンゼンスルホン酸) 0.1 g を水に溶解し、100 ml としたもの) 3 ml、塩化ナトリウム 5 g 及びクロロホルム 20 ml を入れたた分液ロート (100 ml) に、調整した標準液を加える。約 5 分間振とう後、約 30 分間静置してクロロホルム層と水層の分離を待った後、クロロホルム層の一部を採り、485 nm における吸光度を測定して検量線を作成する。

## (3) 定量

(1) で調整した試験液の 2 ml をホールピペットでビーカーに採り、水を加えて約 40 ml とした後、(2) と同様に吸光度を測定し、検量線か DDAC の量 (mg) を求める。試料液の吸光度が検量線の範囲を超える場合は、エタノールで一定量に希釈し、検量線の範囲に入るように調整して測定する。

## (4) 計算

次式によりジデシルジメチルアンモニウムクロライド (DDAC) の吸収量を求める。

$$\text{DDAC 吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{検量線からの読み取り量 (mg)} \times 50}{\text{試料木粉採取量 (g)}} \times \text{全乾比重}$$

## 3. 銅・アルキルアンモニウム化合物 (ACQ) 処理木材

### 3.1 銅の定量

#### 3.1.1 原子吸光光度法

##### (1) 試料液の調製

試験法-2, 1.2, (1) による。

##### (2) 検量線の作成

原子吸光分析用銅の標準液 (1000 ppm) 1 ml をトラップ球付き丸底フラスコ 500 ml に入れ、過酸化水素水 1 ml、硫酸 (1+4) 4 ml を加え、砂浴上で徐々に加熱溶解する。放冷後、丸底フラスコの内容物をメスフラスコ 100 ml に水で洗いながら移し、硫酸ナトリウム溶液 10 ml を加えた後、標線まで希釈したものを検量線用原液とし、0, 2, 4, 6, 8, 10 ml を段階的に 100 ml フラスコに量りとり、硫酸-硫酸ナトリウム溶液 (97% の硫酸 8 ml に水を加えて約 950 ml とし、これに硫酸ナトリウム 3 g を溶解し、さらに水を加えて全容を 1000 ml としたもの) を標線まで加えたものについて、波長 324.8

nmにおける吸光度を原子吸光光度計で測定して、検量線を作成する。

(3) 定量

試料液について、原子吸光光度計により(2)と同じ条件で吸光度を測定し、検量線の直線領域から銅の濃度を求める。試料液の吸光度が検量線の範囲を超える場合は、硫酸-硫酸ナトリウム溶液で一定量に希釈し、検量線の範囲内に入るように調整して測定する。

(4) 計算

次式によって銅濃度から吸収量を求める。

$$\text{銅濃度 (\%)} = (S \times D \times V / W) \times 100$$

S : 試料溶液中の各元素 ( $\mu\text{g}/\text{m}\ell$ )

D : 希釈倍率

V : 試験溶液量 (250 mℓ)

W : 試料採取量 ( $\mu\text{g}$ )

$$\text{銅吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \text{銅の濃度 (\%)} \times \text{全乾比重} \times 1000 / 100$$

### 3. 1. 2 蛍光X線法

(1) 試験体の作成

試験法-2、1.3、(1)による。

(2) 定量

試験法-2、1.3、(2)により銅を測定する。

(3) 計算

銅の含有率から次式によって吸収量を求める。

$$\text{銅の吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \text{銅濃度 (\%)} \times \text{全乾比重} \times 1000 / 100$$

### 3. 2 N-アルキルベンジルメチルアンモニウムクロライド (BKC) の定量

(1) 試料液の調製

試験法-2、2.(1)による。

(2) 検量線の作成

標準液としてN-アルキルベンジルメチルアンモニウムクロライド (BKC) を用いるほかは、試験法-2、(2)による。

(3) 定量

試験法-2、2.(3)による。

(4) 計算

次式によりBKCの吸収量を求める。

$$\text{BKC吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{検量線からの読み取り量 (mg)} \times 50}{\text{試料木粉採取量 (g)}} \times \text{全乾比重}$$

#### 4. ナフテン酸銅処理木材

##### 4. 1 原子吸光光度法

###### (1) 試料液の調製

試験法-2、1. 2, (1) による。

###### (2) 検量線の作成

試験法-2、3. 1. 1, (2) による。

###### (3) 定量

試験法-2、3. 1. 1, (3) による。

###### (4) 計算

試験法-2、3. 1. 1, (4) による。

##### 4. 2 蛍光X線法

###### (1) 試料液の調製

試験法-2、1. 3, (1) による。

###### (2) 定量

試験法-2、1. 3, (2) による。

###### (3) 計算

試験法-2、3. 1. 2, (3) による。

#### 5. ナフテン酸亜鉛処理木材

##### 5. 1 原子吸光光度法

###### (1) 試料液の調製

試験法-2、1. 2, (1) による。

###### (2) 検量線の作成

原子吸光分析用亜鉛の標準液(1000ppm) 1mlをトラップ球付き丸底フラスコ500mlに入れ、過酸化水素水1ml、硫酸(1+4) 4mlを加え、砂浴上で徐々に加熱溶解する。放冷後、丸底フラスコの内容物をメスフラスコ100mlに水で洗いながら移し、硫酸ナトリウム溶液10mlを加えた後、標線まで希釈したものを検量線用原液とし、0, 2, 4, 6, 8, 10mlを段階的に100mlフラスコに量りとり、硫酸-硫酸ナトリウム溶液(97%の硫酸8mlに水を加えて約950mlとし、これに硫酸ナトリウム3gを溶解し、さらに水を加えて全容を1000mlとしたもの)を標線まで加えたものについて、波長213.9nmにおける吸光度を原子吸光光度計で測定して、検量線を作成する。

###### (3) 定量

試料液について、原子吸光光度計により(2)と同じ条件で吸光度を測定し、検量線の直線領域から亜鉛の濃度を求める。試料液の吸光度から検量線の範囲を超える場合は、硫酸-硫酸ナトリウム溶液で一定量に希釈し、検量線の範囲内に入るように調整して測定する。

###### (4) 計算

次式によって亜鉛濃度から吸収量を求める。

$$\text{亜鉛濃度 (\%)} = (S \times D \times V / W) \times 100$$

S : 試料溶液中の各元素 ( $\mu\text{g}/\text{m}\ell$ )  
D : 希釈倍率  
V : 試験溶液量 (250 mℓ)  
W : 試験採取量 ( $\mu\text{g}$ )

亜鉛吸収量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) = 亜鉛の濃度 (%)  $\times$  全乾比重  $\times$  1000 / 100

## 5. 2 蛍光X線法

### (1) 試験体の作成

試験法-2、1. 3、(1)による。

### (2) 定量

試験法-2、1. 3、(2)により亜鉛を測定する。

### (3) 計算

亜鉛の含有率から次式によって吸収量を求める。

亜鉛の吸収量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) = 亜鉛濃度 (%)  $\times$  全乾比重  $\times$  1000 / 100

## 6. ほう素化合物処理木材

### 6. 1 クルクミン法

#### (1) 試料液の調製

試験片の辺材の表面及び裏面（表面又は裏面のいずれか一方のみが辺材である場合にあっては、その面。以下同じ）から1mmの深さまでを削ってとり去り、更に5mmの深さまで削り取った木片を細かく碎いて全乾にしたもの約1gを正確に量り、ルツボ又は蒸発皿にとり、1%炭酸ナトリウム溶液（無水炭酸ナトリウム10gを水に溶解して全量を1ℓにしたものをいう。以下同じ。）を加えてアルカリ性として、水浴上でその混合物を乾燥させる。次にマッフル炉を用いてできるだけ低い温度でゆっくり灰化させ、次第に温度を上げて暗い赤熱状態（約580℃）に達せしめ、それ以上の温度にならないようにする。灰分を塩酸（1+9）で酸性とした後、水を加えて全量を50mℓとしたものを試料液とする。

#### (2) 試薬の作成

##### a. クルクミン溶液

クルクミン0.1gをエチルアルコール400mℓに溶解する。

##### b. しゅう酸アセトン溶液

しゅう酸50gをアセトン500mℓに溶解し、濾過する。

##### c. ほう酸標準溶液

ほう酸を硫酸デシケータの中で5時間乾燥したもの500mgを水に溶解して全量を1ℓとしたものをほう酸標準原液とする。使用時にこの原液を水で50倍に希釈してほう酸標準液とする。このほう酸標準溶液1mℓ中には10 $\mu\text{g}$ のほう酸を含む。

#### (3) ほう酸の定量



試料液に水を加えて全量を100mlとし、その1mlを内径5cmのろつぼにとり、1%炭酸ナトリウム溶液を加えてアルカリ性とした後、水浴上で蒸発乾個させる。次に、残留物を放冷した後、塩酸(1+4)1ml、しゅう酸アセトン溶液5ml及びクルクミン溶液2mlを加えて、55±2℃の水浴上で2時間30分加熱する。これを放冷した後、残留物にアセトン20~30mlを加えて溶出し、100mlのメスフラスコに濾し入れる。アセトン容器及び残留物を数回洗い、洗液を合わせて全量を100mlとして、試験溶液とする。試験溶液の一部を吸収セルに移し、空試験液を対照液として波長540nmにおける吸光度を測定し、あらかじめ作成した検量線からほう酸の量を求め、試料液全量中におけるほう酸の量を求め、試料液全量中におけるほう酸の量(g)を算出する。

## 6.2 カルミン酸法

### (1) 試料液の調製

処理材の辺材の表面及び裏面から1mmの深さまでを削ってとり去り、更に5mm深さまで削りとった木片を細かく砕いて全乾したもの約1gを正確に量って、石英ガラス製又は無ほう酸ガラス製の200~500mlの共通すり合わせケルダールトラップ球付き丸底フラスコ(以下「丸底フラスコ」という。)にとり、過酸化水素水15ml、硫酸2ml及びりん酸2mlを添加する。次に、これを砂浴上で徐々に加熱し、内容物を分解し、内容物が黒色になったところで過酸化水素水5mlを追加する。この操作を繰り返し、試料が完全に分解して内容物が透明になり、硫酸白煙が発生するまで濃縮した後、放冷する。その後、丸底フラスコの中の分解液を200mlのメスフラスコに移し水を加えて定容とし、これを試料液とする。

### (2) 試薬の作成

#### a. カルミン酸溶液

カルミン酸25mgに硫酸を加え溶解して、全量を100mlとする。

#### b. 硫酸第1鉄溶液

硫酸第1鉄5gに1N硫酸100mlを加えて溶解する。

#### c. ほう酸標準溶液

ほう酸を硫酸デシケータの中で5時間乾燥したもの250mgを水に溶解して全量を100mlとしたものをほう酸標準原液とする。使用時にこの原液を水で50倍に希釈してほう酸標準溶液とする。このほう酸標準溶液1ml中には50μgのほう酸を含む。

### (3) ほう酸の定量

試料液2mlを25mlのメスフラスコにとり、塩酸3滴、硫酸第1鉄溶液3滴及び硫酸10mlを加えて混合し、メスフラスコに共栓を付して水冷した後、カルミン酸溶液10mlを加えて混合する。次に、これを再び水冷し、硫酸で定容とし、45分間室温で放置して、試験溶液とする。試験溶液の一部を吸収セルに移し空試験液を対照液として波長600nmにおける吸光度を測定し、あらかじめ作成した検量線からほう酸の濃度を求め、次の式によって試料全量中におけるほう酸の量を算出する。

$$\text{ほう酸含有量 (mg)} = \frac{A \times 25 \times 100}{1,000}$$

A：検量線から求めた試験溶液のほう酸の濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}\ell$ )

#### (4) 検量線の作成

ほう酸標準溶液 0～2 mℓ を、段階的に、正確に量り取りながら、25 mℓ のメスフラスコにとり、それぞれの全量が 2 mℓ になるよう水を加えた後、(3) の定量方法と同じく操作して、ほう酸の濃度と吸光度との関係線を作成して検量線とする。

### 7. クレオソート油処理木材

#### 7. 1 抽出法

##### (1) クレオソート油の抽出

試料木片を細かく砕いて混合した後、約 2 g を正確に円筒ろ紙に量り取り、アルコール：ベンゼン混液 (2：1 V/V) によりソクスレー油脂抽出器を用いて、抽出液が透明になるまでクレオソート油を抽出し、その重量を測定する。

##### (2) 計算

次式によりクレオソート油の吸収量を算出する。

$$\text{クレオソート油吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{クレオソート油の量 (mg)}}{\text{試料木粉採取量 (g)}} \times \text{全乾比重}$$

#### 7. 2 比色方法

JIS A 9104「加圧式クレオソート油防腐処理まくら木」に規定する標準液による比色法がある。

### ② 生長すい(錐)により試験片を採取する場合

#### ア. 試験試料の採取

試料材を抜き取る方法は、1 荷口から次の表の左欄に掲げる防腐・防蟻処理を施した製材の枚数又は本数に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる枚数又は本数の試料材を任意に抜き取って行うものとする。

荷口の防腐・防蟻処理を施した製材の枚数又は本数		試料材の枚数又は本数	
1,000以下	1,000以下	8	再試験を行う場合は、左に掲げる枚数又は本数の2倍の試料材を抜き取る。
1,001以上	2,000以下	12	
2,001以上	3,000以下	16	
3,001以上	4,000以下	20	

(注) 荷口が 4,000 枚又は 4,000 本を超える場合には、1 荷口がそれぞれ 4,000 枚又は 4,000 本以下となるように分割する。

#### イ. 試験片の採取

各試料材の長さ及び幅の中央部付近で、インサイジング又は割れ等の欠点の影響が最も少ない部分において、材面に向かって直角に内径4.5±0.03mmの生長錐を用いて、次の表の左欄に掲げる試験片を採取する部分の区分に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる長さの試験片を採取するものとする。

試験片を採取する部分の区分	試験片を採取する長さ
心材が材の表面から深さ10mm以内の部分に存在するもの	材の表面から10mm
心材が材の表面から深さ10mmを超えた部分に存在するもの	材の表面から心材に達するまで
心材が存在しないもの	材の表面から材の厚さの1/2

ウ. 試験結果の判定

①、ウに同じ。

エ. 試験の方法

(ア) 浸潤度試験

①、エ、(ア)に同じ。

(イ) 吸収量試験

①、エ、(イ)に同じ。

環境区分（ハザードクラス）案

環境区分	木材の使用状態	薬剤	吸収量(a.i)	浸潤面積
H 1	屋内の乾燥した条件で腐朽・蟻害のおそれのない場所で、乾材害虫に対して防虫性能のみを必要とするもの	ホウ素化合物	1.2kg/m <sup>3</sup>	浸潤面積 辺材の90%以上
H 2	軽度の腐朽・蟻害のおそれのある条件下で高度の耐久性の期待できるもの	CCA DDAC ナフテン酸銅 ナフテン酸亜鉛 ACQ	3.5kg/m <sup>3</sup> 4.5kg/m <sup>3</sup> 銅として0.8kg/m <sup>3</sup> 亜鉛として1.6kg/m <sup>3</sup> 銅として1.0kg/m <sup>3</sup> AACとして1.0kg/m <sup>3</sup>	浸潤面積 辺材は全断面の80%以上 心材は10mmゾーンの20%以上 (耐朽性中以上の樹種)
H 3	通常の腐朽・蟻害のおそれのある条件下で高度の耐久性の期待できるもの	CCA DDAC ナフテン酸銅 ナフテン酸亜鉛 ACQ	3.5kg/m <sup>3</sup> 4.5kg/m <sup>3</sup> 銅として0.8kg/m <sup>3</sup> 亜鉛として1.6kg/m <sup>3</sup> 銅として1.0kg/m <sup>3</sup> AACとして1.0kg/m <sup>3</sup>	浸潤面積 辺材は全断面の80%以上 心材は10mmゾーンの80%以上 (全樹種)
H 4	通常よりはげしい腐朽・蟻害のおそれのある条件下で高度の耐久性の期待できるもの	CCA DDAC ナフテン酸銅 ナフテン酸亜鉛 ACQ	6.0 kg/m <sup>3</sup> 9.0 kg/m <sup>3</sup> 銅として1.2 kg/m <sup>3</sup> 亜鉛として3.2 kg/m <sup>3</sup> 銅として2.0kg/m <sup>3</sup> AACとして2.0kg/m <sup>3</sup>	浸潤面積 辺材は全断面の80%以上 心材は10mmゾーンの80%以上 (耐朽性中以上の樹種) 心材は全断面の80%以上 (耐朽性小の樹種)
H 5	極度に腐朽・蟻害のおそれのある環境下で高度の耐久性の期待できるもの	クレオソート油 CCA ナフテン酸銅	80 kg/m <sup>3</sup> 7.5 kg/m <sup>3</sup> 銅として1.5 kg/m <sup>3</sup>	浸潤面積 全断面の80%以上（全樹種）

## 環境区分（ハザードクラス）の具体例

環境区分	木材の使用状態	環境区分の具体例
H 1	屋内の乾燥した条件で腐朽・蟻害のおそれのない場所で、乾材害虫に対して防虫性能のみを必要とするもの	外気に接しない比較的乾燥した状態でヒラタキクイムシの被害を防止する
H 2	軽度の腐朽・蟻害のおそれのある条件下で高度の耐久性の期待できるもの	北海道など寒冷地域で (1)外気または湿潤環境に常時露出される場合で接地条件で一定の耐用を期待する (2)外気または湿潤環境に常時露出される場合で非接地で中期の耐用を期待する (3)外気または湿潤環境にたまに露出される場合で非接地で長期の耐用を期待する
H 3	通常の腐朽・蟻害のおそれのある条件下で高度の耐久性の期待できるもの	(1)外気または湿潤環境に常時露出される場合で接地条件で一定の耐用を期待する (2)外気または湿潤環境に常時露出される場合で非接地で中期の耐用を期待する (3)外気または湿潤環境にたまに露出される場合で非接地で長期の耐用を期待する
H 4	通常よりはげしい腐朽・蟻害のおそれのある条件下で高度の耐久性の期待できるもの	(1)外気及び湿潤環境に常時露出される場合で接地条件で一定の耐用を期待する (2)外気または湿潤環境に常時露出される場合で非接地で長期の耐用を期待する (3)外気または湿潤環境にしばしば露出される場合で接地条件で長期の耐用を期待する
H 5	極度に腐朽・蟻害のおそれのある環境下で高度の耐久性の期待できるもの	外気及び湿潤環境に常時露出される場合で接地条件で長期の耐用を期待する

## 心材の耐朽性区分

### 耐朽性区分

### 樹種

大	ヒノキ, ヒバ, ケヤキ, クリ ベイヒ, ベイスギ, ベイヒバ, レッドウッド バンキライ, バラウ, カプール, セランガンバツ
中	スギ, カラマツ, クヌギ, ミズナラ ベイマツ, ダフリカカラマツ ライトレッドメランチ, イェローメランチ, クルイン, ケンパス
小	アカマツ, クロマツ, トドマツ, エゾマツ ベイモミ, ベイツガ, ラジアタマツ, スプルース ターミナリア, レッドラワン, アルストニア, プライ, ラミン