平成17年度　農林水産省補助事業

# 平成17年度

# 地域食料産業等再生のための研究開発等支援事業報告書

平成18年3月

財団法人　日本住宅・木材技術センター

# ま　え　が　き

我が国の農林水産・食品関連産業は、消費者ニーズの多様化及び諸外国からの輸出攻勢等により厳しい状況にさらされており、これら産業界が直面している諸課題に対して、民間企業等が行う短期集中的な研究開発等を支援するため、農林水産省では平成１７年度予算において、提案公募型の「地域食料産業等再生のための研究開発等支援事業」を実施いたしました。

この事業では、①食品産業と生産者の連携強化、②地域材利用拡大推進、③健全な森林力増進、④水産業構造改善改革加速化促進、及び⑤革新的な技術による新生産システムの開発及び地域研究成果最適移転システム支援（独創的モデル）、の５つのタイプ別に研究開発実施課題を公募し、農林水産技術会議に設置された外部評価委員会により評価のうえ、実施課題が採択されて民間企業等が研究を実施致しました。

この事業を効果的・効率的に推進するため、各タイプ毎に普及推進機関が指定され、②地域材利用拡大推進のタイプについては（財）日本住宅・木材技術センターが指定されました。当センターでは、採択された３課題（①機能制御されたスギ等の木炭から調整される最先端光学電子材料の表面・界面研磨剤の開発と実用化、②木材の蒸熱処理時に発生する廃液のコンクリート混和剤への活用、③分離型新機能性接着技術の開発）の実施企業に対し、農林水産省との連絡調整を図りつつ、申請書類作成への助言、専門家による現地指導・助言、報告会の開催による研究成果の普及等を行って参りました。

本報告書は、研究成果の普及の一環として、各実施課題の実施内容を取りまとめたものであり、これらの成果が広く普及し、地域材利用拡大の推進に役立つことを祈念しております。

最後に、研究開発を実施致しました各実施企業のご協力に感謝致しますとともに、現地指導等で指導・助言を賜りました専門家の方々に対しましても厚く御礼申し上げます。

平成１８年　３月

（財）日本住宅・木材技術センター
理　事　長　　岡　　勝　男

# 目　　次

Ⅰ　は　じ　め　に

1　事業の目的及び趣旨

2　事業の内容

Ⅱ　技術開発の内容

1　機能制御されたスギ等の木炭から調整される最先端光学・電子材料の
表面・界面研磨材の開発とその実用化・・・・・・・・・・・・・・・・・3
株式会社　マミカ

2　木材の蒸熱処理時の発生する廃液のコンクリート
混和剤への活用・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
日本ヒューム株式会社

3　分離型新機能性接着技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
機能性木質新素材技術研究組合
（松下電工株式会社）

## Ⅰ　はじめに

### 1　事業の目的及び趣旨

農林水産・食料関連産業等の活動現場において、産業界が直面している諸課題に対し、民間企業等の研究機関が行う短期集中的な研究開発等を支援することにより、研究成果の社会還元を促進し、地域食料産業等の再生に資することを目的とする。

この事業は、農林水産省、農林水産技術会議が提案公募区分を設定して研究課題を公募し、学識経験者及び有識者等からなる外部評価委員により評価し、採択した上で、民間企業等が研究開発を実施したものである。

### 2　事業の内容

#### 2－1　実施方法

（1）本事業は５区分の提案公募区分を行い公募
提案公募区分①食料産業と生産者の連携強化②地域材利用拡大推進③健全な森林力増進④水産業構造改革加速化促進⑤革新的技術による新生産システムの開発及び地域研究成果最適移転システム支援のうち「地域材利用拡大推進」にかかる事業である。

（2）学識経験者及び有識者からなる外部評価委員により評価

（3）研究成果の事業化の可能性及び地域利用材拡大への効果、技術開発課題・手法の新規性、革新性、先導性等についての評価が行われ、３課題が選定され、当該企業に林野庁から補助金交付。

（4）研究開発を効果的・効率的に推進するため、学識経験者からなる普及推進会議を設置、当該企業への助言・現地指導。

（5）（財）日本住宅・木材技術センターが普及推進機関として普及推進会議の運営、当該企業への経理事務等の指 導・助言、現地指導。

（6）技術開発終了後、一般の技術開発の促進のため、成果報告会を開催して技術開発の成果を公表。

## ２－２　技術開発の内容

### ２－２－１　機能制御されたスギ等の木炭から調整される最先端光学・電子材料の表面・界面研磨材の開発とその実用化

（株式会社　マミカ　新潟県）

スギ間伐材、未利用残廃材を、新たに開発した技術、装置によって得た超微小粉末炭素化物により、これまでにない、最先端光学・電子産業のデバイス研磨材料創造の可能性を開拓し、スギ間伐材等未利用残廃材の新たな利用の可能性を見出した。

### ２－２－２　木材の蒸熱処理時に発生する廃液のコンクリート混和剤への活用

（日本ヒューム株式会社　埼玉県）

木材の蒸熱処理時に発生する廃液には、リグニン、酢酸、糖類が含まれており、この木材廃液を水道水の代替として活用することによって、コンクリート生産のコストダウンの可能性を見いだした。

木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として利用することにより「コンクリートの流動性の向上による混和剤添加率の低減」と「コンクリートの耐久性向上」の可能性を示唆した。

### ２－２－３　分離型新機能性接着技術の開発

（機能性木質新素材技術研究組合　東京都）
（開発企業　松下電工株式会社　　大阪府）

異樹種材料を接着している複合建築材料の分離・リサイクルを目的に、接着剤に加熱膨張剤を配合し、建材への応用のための研究開発を行った。

水性エマルジョン系接着剤では、化粧鋼板と石膏ボード複合体、樹脂化粧シートと木質材複合体との接着性・分離性が両立する基本設計仕様が得られた。。

弾性系接着剤ではキッチンユニットでの試験結果では加熱分離が可能であり、今後の実用化に際して、補強木や木質ボードをスギ、ヒノキなどの地域材を原料とすることの可能を見出した。

# 機能制御されたスギ等の木炭から調製される最先端光学・電子材料の表面・界面研磨材の開発とその実用化

株式会社マミカ

## １．はじめに

わが国では木炭の研磨材料としての歴史は深い。例えば、刀剣等の金属研磨、漆器の下研ぎ、中研ぎ、ろいろ下塗研ぎ、塗り仕上げ研ぎ等多種多様な用途に種々な木炭が供されてきた。

弊社ではこの木炭の研磨性能に着目し、従来の研磨材料とは全く異なる新たな研磨材料の創生とその実用化を目指し、いろいろな樹種を原材料とする研磨材料の開発に着手した。

## ２．技術開発の目的

### ２．１　研究開発の背景と必要性

世界市場を席巻するわが国のカメラ産業、医療用内視鏡産業、レーザー、ＤＶＤ、ＣＤ、ＤＬＰ、半導体デバイス等の光学電子産業ではその基礎となる多種多様のレンズ、プリズム、鏡面、界面等の研磨を必要とし、これの技術開発が行われているが、ここ数年来の高級ビデオカメラ、高性能カメラ及び医療用内視鏡や極微細精度を要求される先端光学・電子材料、また、過酷な使用条件と微細構造が求められるＤＶＤ、ＣＤ、レーザーデバイス等の高精度化に伴う技術革新の急激な進歩は、そこに供されるレンズ、プリズム、鏡面等の研磨にも波及し、特に研磨材料の品質、コストに対する要求を日々刻々厳しいものとしている。これらのうち、弊社は、研磨精度が高く、軟らかい材料や易酸化性材料あるいはランタン系のそれの洗浄管理の難しい材料の研磨に対してキヤノンはじめ光学・電子産業において高い評価を得ているが、新たなレンズ素材である蛍石、合成石英等の研磨材料は希土類元素酸化物を主成分とするバストネサイトに原料を求めざるを得ない状況にある。これは米国商社一社による独占供給であり、天然物質由来の品質のバラツキや価格の上昇も顕著であることから、日進月歩の高精度を要求するレンズ産業、レーザーデバイス産業、鏡面産業等に対する研磨用材料の創成とその技術開発は大きな壁に直面し、これの克服が焦眉の急となっている。

さらに、宇宙産業、航空産業、ハイブリットカー産業、医療機器産業等に供される機器の最重要機構や超細密部位は可視下制御が不可欠であり、そこに求められる光学・電子材

料、例えば極微少レンズや極微細プリズム・鏡面の研磨は全く新しい技術と研磨材料の開発が求められている。

## ２．２　研究開発目標

本研究開発は、従来より市場展開が不充分であり、新たな用途開発が求められている新潟県産スギ材、特にその除伐材、間伐材、未利用残廃材等を用いてバストネサイト、ダイヤモンド等に替わる研磨材料、特にわが国の伝統的研磨材料である木炭の特性を活かし、弊社の開発した特殊炭素化装置により特殊に調製された木炭すなわち、木質炭素化物あるいはこの木質炭素化物またはこれと希土類元素酸化物との複合による高機能性の新しい研磨材料を開発して実用化し、厳しい要求の重なるレンズ・プリズムや鏡面の研磨に対応しようとするものであり、加えて、この材料と技術により超高精度の研磨が求められる光学・電子業界への展開を意図する。

以上をとりまとめて下に列記する。

### 技術分野と目標

**1.スギ炭素化物によるレンズ・プリズム・鏡面等の最先端光学・電子材料の表面・界面・鏡面研磨材料の開発・創成**

**2.環境無負荷研磨材料の開発と研磨廃液の浄化・無害化**

**3.新潟県産スギ材の新規有効利用**

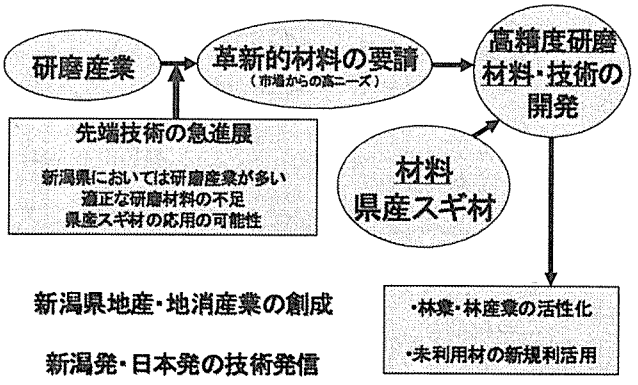
**4.スギ等除伐材・間伐材・未利用材の高付加価値利用**

また、開発の概要と基本構想を以下に示す。

### 開発の概要

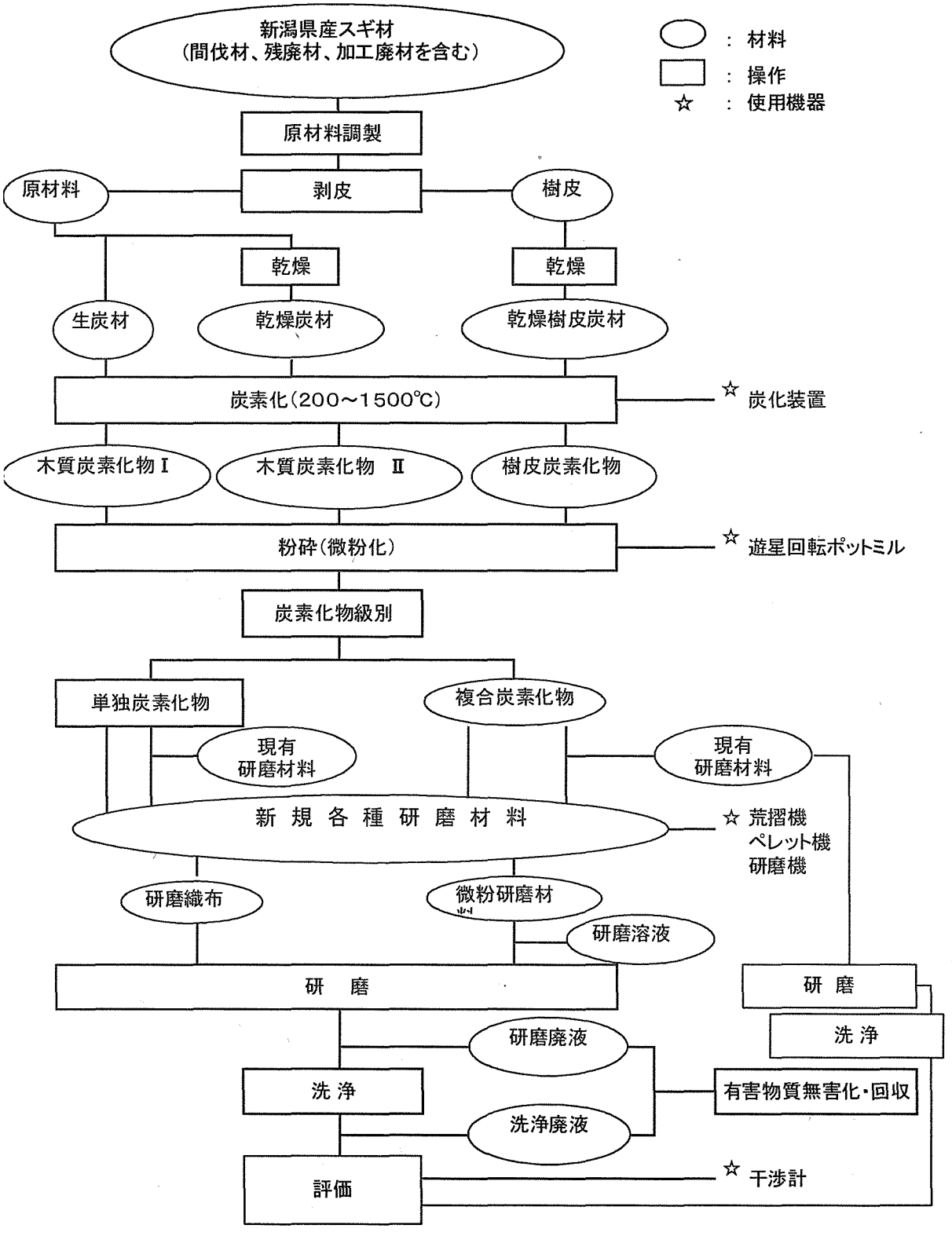
**1.革新的研磨材料・技術の開発**
**（光・電子産業の急進展）**
**2.日本発新規材料・技術の開発**
**（米国商社独占供給排除）**
**3.環境無負荷材料・技術開発**
**（研磨廃液の無害化）**
**4.新潟県産スギ材の有効利用**
**（伝統的木炭研磨材料の克服）**

基本構想図


研磨産業
革新的材料の要請
（市場からの高ニーズ）
高精度研磨
材料・技術の
開発
先端技術の急進展
新潟県においては研磨産業が多い
適正な研磨材料の不足
県産スギ材の応用の可能性
材料
県産スギ材
新潟県地産・地消産業の創成
新潟発・日本発の技術発信
・林業・林産業の活性化
・未利用材の新規利活用

3．技術開発の内容

研究開発のプロセスを以下のフロー図で示す。



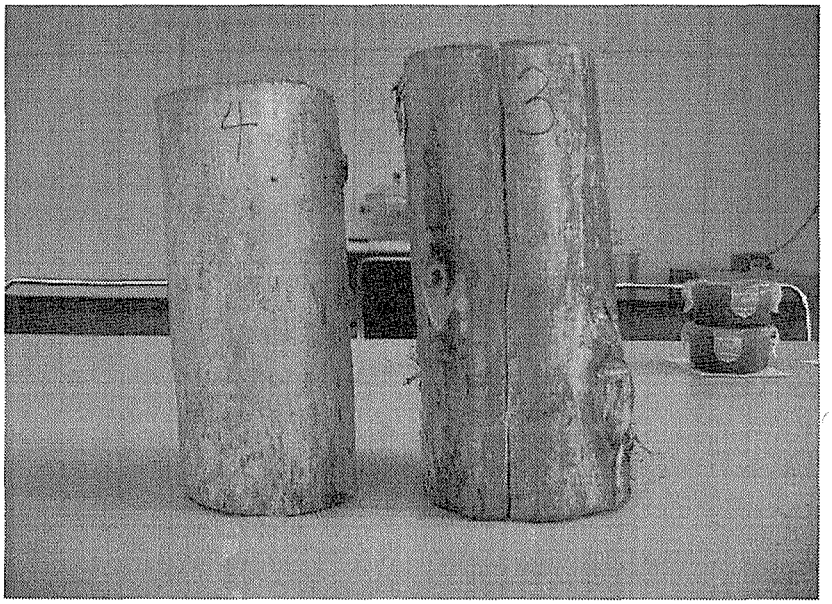
## ３．１　供試材料

新潟県森林組合連合会より提供された新潟県高柳地区の樹齢は１８～２０年のスギ間伐材を用いた。

未間伐スギ林

スギ間伐林

シラカンバ林



スギ間伐材試料

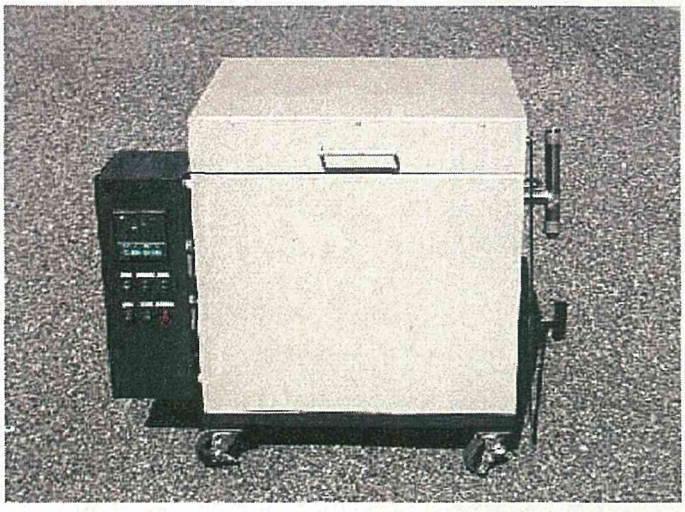
比較のために用いた伝統的研磨材料素材としてのホウノキ、ニホンアブラギリは新潟県産の樹齢１０～１５年の材を同森林組合より入手した。シラカンバは有限会社オーリー技研より北海道・上川町産の樹齢１０年材を用いた。

近時話題となっている木質炭素化物に竹炭があり、これを調製するため５～６年生のモウソウチクを同上森林組合より提供を受けた。

供試木材原材料は生材及び乾燥材とその樹皮を用いた。供試モウソウチクは生材、乾燥材及び前熱処理乾燥材を用いた。

## ３．２　炭素化

炭素化装置は石原氏の設計をうけて、弊社が独自に開発した炭化装置を環境テクノコンサルに依頼して調製し、これを熱処理、炭素化に供した。



炭化装置

スギ炭化材料

スギ炭化前

スギ炭化後

炭素化は密閉空気遮断加熱、炉内昇温速度１～２５℃／ min.により２００～１５００℃の各々の目的設定温度に到達した後、２時間それを保持し、放冷した。標示炭素化温度は材内温度である。未炭素化物及び熱処理材も試験材料に供した。

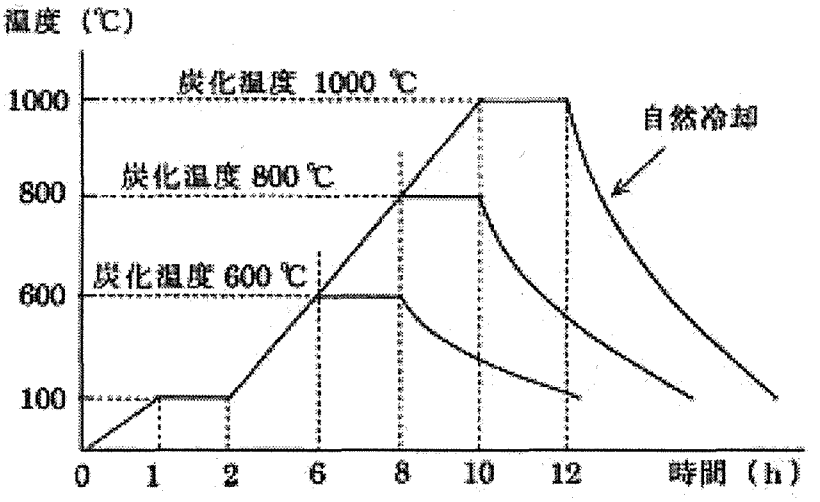
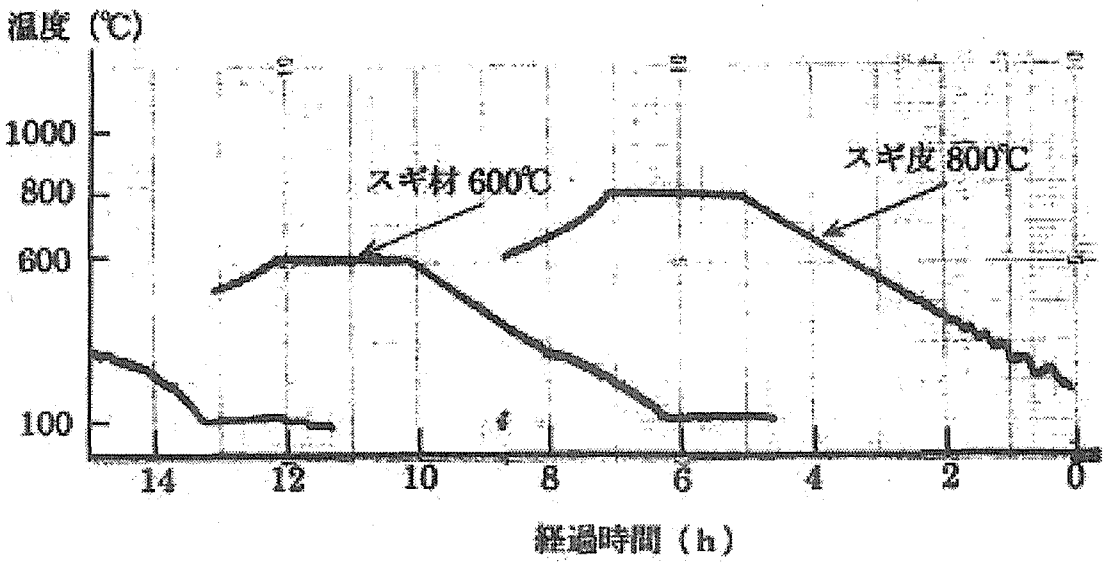
| 材　料　名 | スギ材 |
| --- | --- |
| 試料調製<br>条　　件<br>・炭化温度<br>・炭化時間<br>・昇温速度 |  <br>図 1　目標炭化処理スケジュール<br>（注）添付温度チャート参照 |

図 1



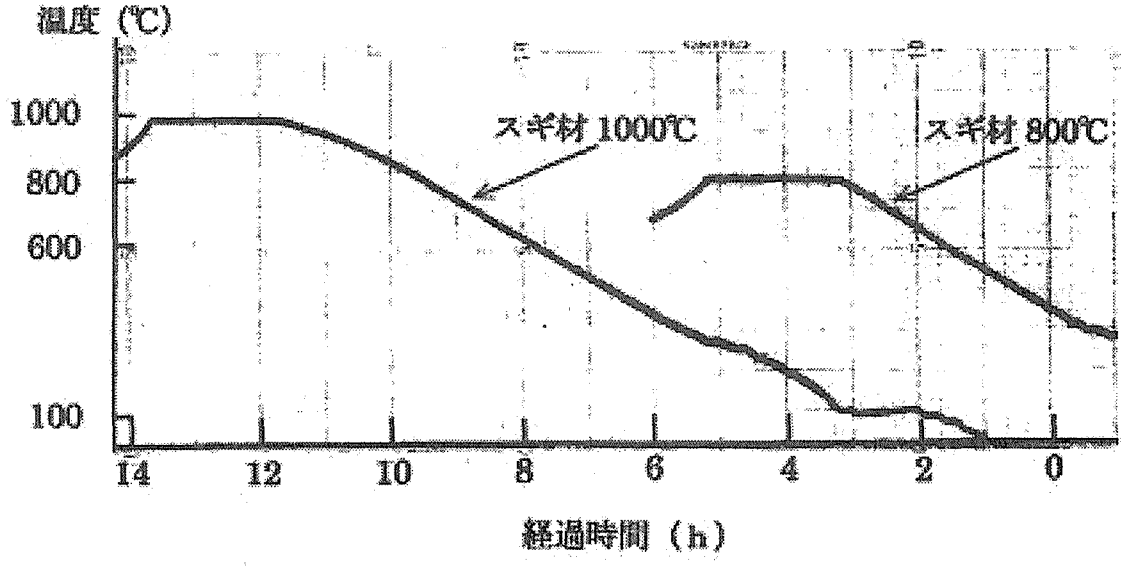




図２　炭化処理温度チャート

図２

## ３．３　木材及び炭素化物の粉砕と級別

木材及び炭素化物の超微小粉砕は極めて困難であり、石原氏の作業設計にもとづき、株式会社伊藤製作所製の遊星回転ポットミルを弊社において改良を施し、超微小粉砕に供した。

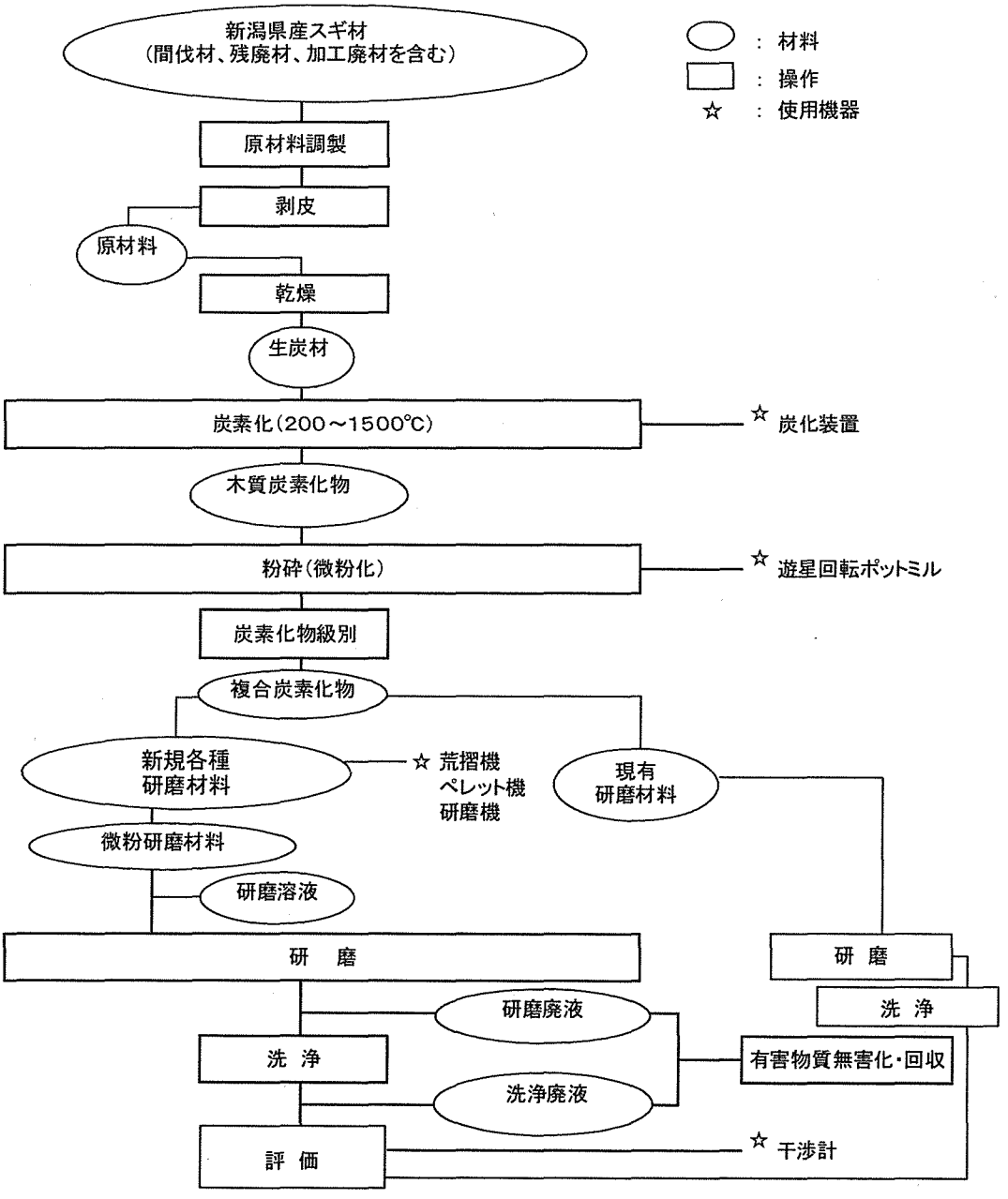
超微小粉末の粒径の級別も困難であり、粉砕時の遊星回転数及び回転時間の組合せによって調製した粉末を粒度分布によって区分し、区分毎に研磨に供試した。

## ３．４　研磨とその評価

弊社工場の研磨各工程の実働条件下において研磨を行い、その評価は弊社担当部署熟練技術者による区分及び弊社製品出荷検定のそれによった。

## 3．5　技術開発のフロー図

技術開発は３のフロー図に準拠して実施しているが、本年度は以下に従って実行している。



## ４．技術開発の日程

| | |
|---|---|
| 炭素材原木の調査検討 | ２００５年７月～８月 |
| スギ材の炭素化 | ２００５年８月～１２月 |
| 炭化温度の確認 | ２００５年８月～１２月 |
| 研磨性能の検証 | ２００５年１１～２００６年３月 |
| 吸着性能の検証 | ２００５年１１～２００６年３月 |

## ５．事業の実施場所

### ５．１　研磨性能と廃液浄化性能の検証

研磨実験及び研磨廃液浄化性能の検証については弊社工場内で行った。

### ５．２　炭素化物の微粉化・配合・複合と分析

微粉化研究と複数の炭素化物の複合・配合及び粉末の分析については、新潟県工業技術総合研究所内新潟県企業化センターに研究室を設立し、これに当たった。

## ６．技術開発の結果

### ６．１技術開発の研究手法

特殊炭素化装置を用いて炭化した機能性木質炭素化物の炭素化温度に変化を持たせ、超微小粉砕装置で超微小粉末化して、粒度に変化を持たせたものをそれぞれ温度単位・粒度単位で配合・複合することで、研磨特性にどのような変化が見られるかを確認した。これらの特性確認については新潟県工業技術総合研究所の協力を得て進めるものである。また、弊社の技術を用いて、レンズ研磨について最適な特性を持つ配合を各レンズ材料ごとに確認した。

木質炭素化物は炭素化温度によりその物理的性質、化学的性質が顕著に変化する。この

性質を機能として捉えた場合、炭素化温度により材料の機能制御が可能となる。非加熱の木粉から、一定昇温速度により 100 ℃毎に 1500 ℃まで加熱炭素化し、所定温度毎に機能制御された木質炭素化物単独の研磨特性と各温度毎に機能制御された炭素化物の配合を試み、それらの研磨特性を検討した。

## ６．２　技術開発の過程で得られた結果

### ６．２．１　現用研磨材料の特性検証

バストネサイト、ダイヤモンド粒子混用メタルボンド等、現在重用される研磨材料の組成、物性、溶液コロイド性を検証するとともに、スギ炭素化物との混合・併用の可否を検討したところ、溶液コロイド特性の近似が認められ、両者の高い親和性が検証された。

### ６．２．２　炭素材原木の調査検討

従来の研磨用木炭としては、ホウノキによる漆器下研ぎ、同中研ぎ、金属研磨、七宝研磨。ニホンアブラギリによる漆器の中研ぎ、ろいろ下塗研ぎや精密機器研磨がある。アセビ、チシャノキによるろいろ塗仕上げ研ぎ、ヤナギ、シラカンバ、マツ材等による金属研磨等がわが国の伝統的な研磨材料としての炭材原木であるが、これらを本開発の用に供すべく実験を試行したところ、必ずしも目的性能が得られず、現状では本開発目的に適正なそれの材料性能確保に至っていないことを確認した。さらに従来原木のうちシラカンバを除き、工業用原料素材としては蓄積量が少なく、原料の量的な確保が困難であることも確認された。

### ６．２．３　技術導入・スギ材の炭素化

石原氏は炭化温度や炭化条件、複合化により木炭への広範な機能附与に成功しており、例えば温度制御により漆器研磨に対応し得る軟質炭や優れた摺動性能を持ち、局所、部分的に微小ダイヤモンド構造をもつ超硬質の木炭を調製する等の技術を開発しており、その導入を受けて、石原氏の設計による炭化装置によりスギ材の炭素化を実施し、これを継続している。

### ６．２．４　研磨材料の性能確認

石原氏のアドバイス及び指導により木炭の粉砕、分離、超微小粉末化等を専門企業の協力を得て、超微小スギ木炭粉末を確保し、弊社が使用している研磨材料と混用したところ、６．２．１で述べた様に両者に高い親和性が認められ、ガラス面に擦り傷や曇りあるいはヤケを除く上で最高とされる光学用研磨材料、ダイヤモンド混用メタルボンドより格段に優れた研磨性能が得られた。このことにより現用研磨材料と各種木質炭素化物の混合使用

により広範な利用が可能であることを確認した。

### ６．２．５　炭化温度の確認

６．２．２で述べたように、わが国の伝統的・工芸的材料研磨材料として用いられている樹種から得られる木炭では、本技術開発の求める性能が十分に得られなかった。しかし、スギ材から６．２．３で示したような機能性木質炭素化物を得るために未炭化木粉及びスギ材を２００～１５００℃の温度範囲で炭素化したところ、例えば６００℃のそれで調製した木炭において、６．２．４で述べた研磨性能が得られた。また、これに加えて極めて注目すべき革新的な技術成果が得られた。すなわち、レンズ研磨は**球面研削**→表面微少量削り→ほぼ最終形状にする**精研削**→**研磨**の諸工程を辿るが、精研削の加工機は次工程の研磨のそれと同じ球心加圧揺動型が用いられ、例えば、炭素化温度 600 ℃、炭素化物粒度 0.5 ～ 20 μmのスギ炭素化物を研磨に供することにより、精研削と研磨を統合した同時同一工程とし得る可能性が見出された。このことにより、研磨時間の60～80%短縮とそのコストの80%以上低減を可能とする全く新しい飛躍的技術開発の可能性を確認した。これらにより、本開発の求める性能がスギ炭において獲得可能の示唆を得た。

### ６．２．６　吸着性能の検証

調製された木質炭素化物研磨材料は機能附与により重金属化学物や希土類金属化合物の吸着に優れた性質を持つことが確認された。

## ７．技術開発の成果と課題

### ７．１　技術開発の成果

林業・林産業の復活と持続的バイオマス資源の撫育・維持及び $CO_2$ 削減、環境保全の立場から数十年来その有効利用が求められている新潟県産スギ材とくにその除伐材、間伐材の炭素化物を最先端光学・電子材料の表面・界面研磨材料として供し得ることを検証し、スギ除伐材・間伐材の新しい用途開発と市場開拓の可能性を示すことができた。

以下に成果の概要を示す。

７．１．１　本研究開発の目的材料は工業生産を前提とし、それを必要とすることから原材料の継続的供給と量的確保が必須であり、供試材料としてそれに適う原料樹種は、本研究開発の範囲では、スギ、シラカンバであった。

７．１．２　伝統的研磨材料に供される樹種からの炭素材料はそれぞれ固有の研磨性能を現すが、本研究開発の目的材料として適合する性能が確保できなかった。

７．１．３　辺材が主要部分を占めるスギ除伐材、間伐材から調製した炭素化物試料は研磨水への分散・拡散速度が大きく、研磨性能に均一性が保たれた。

７．１．４　炭素化物の研磨性能に熱処理及び炭素化温度依存性が認められ、レンズ、プリズムの研磨では、未炭素化物～４００℃炭化炭素化物及び炭化温度１６００℃以上のそれは粗研磨に適合し、４００～１５００℃のそれは各研磨工程のそれぞれに研磨性能を示した。また、８００℃以上で硬質研磨に適正が得られた。

７．１．５　供試材料の研磨性能に材料粒度の依存性が認められ数十 nm ～数十μmの粒度をもつスギ炭素化物に現用研磨材料を凌駕する性能が認められた。

７．１．６　上記７．４及び７．５において性能表示したように熱処理温度、炭素化温度及び粒度によって機能制御さたスギ炭素化物は研磨工程により、単独使用や複合のそれが可能であり、それらを適正に利用することにより、所定工程に所定研磨材料を必要とする現用研磨材料に比較して広範任意な研磨の可能性を見出すことができた。

７．１．７　スギ炭素化物の研磨において、従来及び現用研磨材料に比べガラス面に擦り傷や曇りあるいはヤケが認められず、研磨速度に格段の向上が認められた。

７．１．８　スギ炭素化物はそれを従来及び現用研磨材料に添加、配合、複合することによる研磨性能の低減は認められず、それらの混用、併用が可能であることが示された。

７．１．９　顕著な研磨廃液浄化機能が認められた。

７．１．１０　新しい炭素系研磨材料創造の可能性が見出された。

以上の結果を一例として炭化温度６００℃のスギ辺材炭化物並びにこれと現用研磨材料のひとつを組み合わせて摩耗度６４のレンズを研磨し、研磨過程で得られた研磨性能と研磨廃水の浄化性能を示す。

表1. 現用研磨材料とそれのスギ炭化物複合研磨材料による摩耗度64(かなり硬い)レンズの研磨性能と廃水浄化性能の比較

| 材料名 | 粒度 (μm) | 研磨水分散濃度 (%) | 研磨時間 (秒) | 研磨精度 | | | 研磨廃液中レアメタル濃度mg/m³(3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ニュートン干渉縞(本)(1) | やけ(2) | くもり(2) | |
| 酸化セリウム系〔A〕 ($CeO_2$:45～60% $La_2O_3$ほか) | 0.8～50 | 10 | 300 | 3～4 | × | × | T |
| | | | 600 | 1～2 | △ | △ | 0.3 |
| 600℃炭化スギ炭化物〔B〕 | 0.4～30 | 10 | 300 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| | | | 600 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| 〔A〕+〔B〕 A:25重量% B:75重量% | 0.4～50 | 10 | 300 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| | | | 600 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| 〔A〕+〔B〕 A:50重量% B:50重量% | 0.4～50 | 10 | 300 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| | | | 600 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| 〔A〕+〔B〕 A:90重量% B:10重量% | 40～50 | 10 | 300 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| 〔A〕+〔B〕 A:99.995重量% B: 0.005重量% | 0.4～50 | 10 | 300 | 1～2 | ○ | ○ | ― |
| | | | 600 | 1～2 | ○ | ○ | ― |

(2):やけ、くもりは目視判定　×:有(不可)　△:痕跡(可)　○:無し(良好)
(3):$CeO_2$として(許容濃度2mg/m³)　T:痕跡　―:検出せず

## ７．２　技術開発の課題

１．研磨性能評価の数値化と計測方法の確立
２．超微小粉砕加工業技術の開発
３．超微小粉体の級別技術の開発

# 木材の蒸熱処理時に発生する廃液のコンクリート混和剤への活用

日本ヒューム株式会社

## 1．はじめに

日本ヒューム社（以降、弊社と称す）は1925年（大正14年）の創業以来、ヒューム管やパイルを中心とするコンクリート製品の製造・販売・施工などの事業活動を国内外において展開してきた。この間、国内においては「戦後の国土復興」や「高度成長期」に象徴される「ハードの時代」から、近年では「良質な生活環境の創出」や「次世代に向けた都市基盤の整備」といった「ソフトの時代」へと社会のニーズが移行しており、弊社では、この様な「各時代の要求性能」を満たすために、新製品の研究開発を通じて、企業としての役割と社会への貢献を果たしてきている。

平成17年度地域食料産業等再生のための研究開発等支援事業（地域材利用拡大推進）における弊社の技術開発は、平成16年度に太平洋セメント株式会社が「木材乾燥等熱処理時に発生する廃液の有効活用化推進技術」として実施した研究結果を踏まえて、当該技術を弊社が継承し、「木材の蒸熱処理時に発生する廃液のコンクリート混和剤への活用」として新たに取組んだものである。その後、技術開発の過程において、木材の蒸熱処理時に発生する廃液（以降、木材廃液と称す）の活用の対象を「コンクリート混和剤」から「コンクリートの練混ぜ水」に変更し、当該技術の活路を見出している。

本報告は、「木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として活用する技術を検証する」と共に、「コンクリートの流動性の向上による混和剤添加率の低減」と「コンクリートの耐久性向上」が期待できる可能性も得られたので、その研究結果を報告するものである。

## 2．技術開発の目的

木材の乾燥や消毒は、一般的に蒸気式の施設を使って行われることが多い。また、これらの施設から発生する木材廃液の成分は変動が大きく、現状では有効な活用方法が確立されていないのが実情である。しかし、環境対策を踏まえると木材廃液の活用やその適正処理は極めて重要な課題であると言える。

そこで、弊社のコンクリート製品を対象に木材廃液の新たな活用技術を確立し、国産木材の利用拡大と推進を図ることを本技術開発の目的とした。

## 3．技術開発の内容

本技術開発では、木材廃液を「コンクリート混和剤として活用する」ことを前提条件として研究に着手したが、その過程で優位な効果が期待できないことが確認された。そこで、当該技術開発の対象を変更するために、改めて木材廃液の活用方法を策定した。

その後、木材廃液を「コンクリートの練混ぜ水として活用する」ことによって、新しい方向性と有効な知見を見出すことができた。これは、コンクリートの練混ぜ水を木材廃液

に 100％置換するものであり、木材廃液をコンクリート混和剤として活用する場合に比べてその活用量は著しく増大することになる。したがって、当該技術が確立された場合には木材廃液の受け皿が大きく広がるため、木材廃液の活用を図る上では更に効果的な方向に向かったものと考えられる。

この様な経緯を踏まえて、本報告書では「木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として活用する技術」に関する報告を行うものである。

本技術開発の工程は図３—１のフローチャートに示すとおりであり、木材廃液を採取してモルタル実験とコンクリート実験を行い、その後、コンクリート製品への適用と練混ぜ水としての品質確認を順次行った。

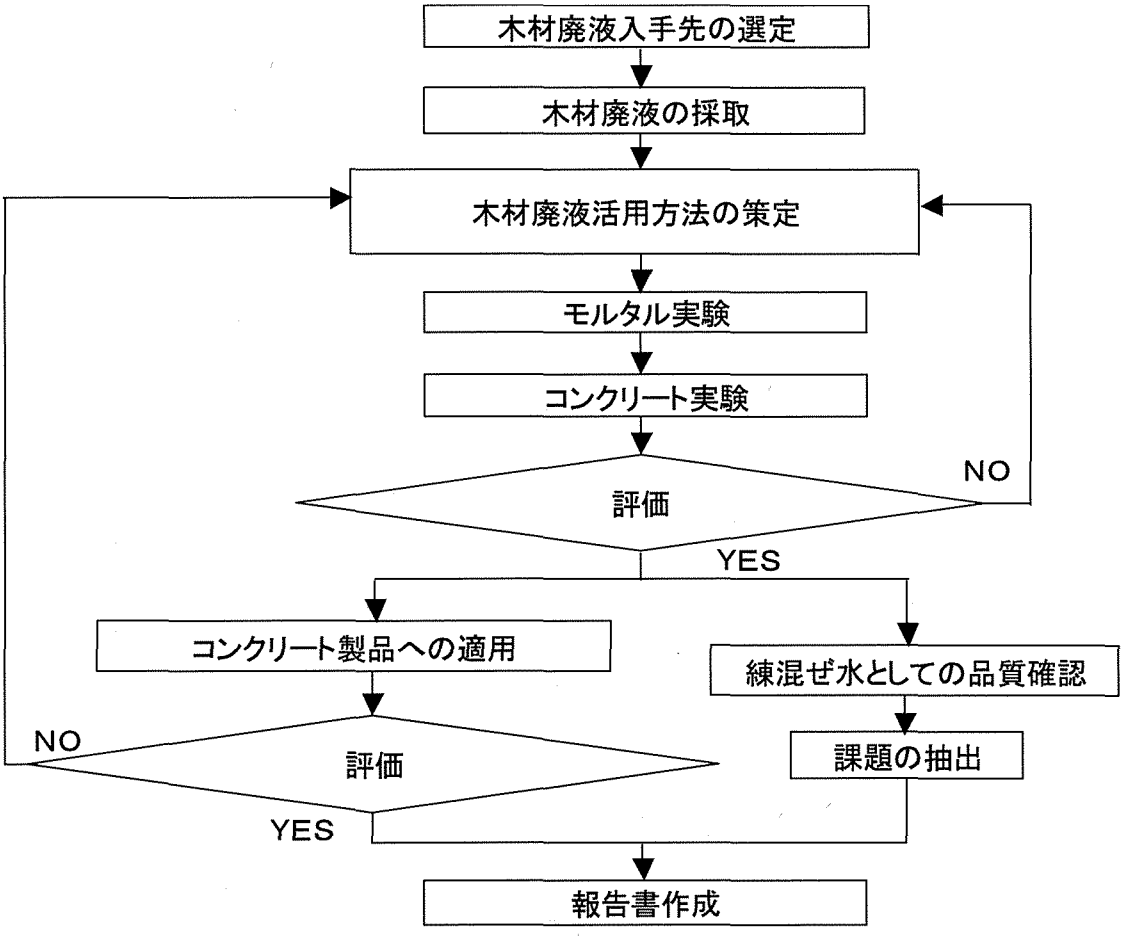



図３—１　技術開発のフローチャート

### ３．１　モルタル実験

モルタル実験では、練混ぜ水に水道水を用いた通常のモルタルと木材廃液を用いたモルタルについて、そのフレッシュ性状（練混ぜ直後の性状）を写真３－１に示すモルタルフ

ローと空気量で評価した。また、木材廃液を練混ぜ水として用いると、リグニン酸によってモルタルやコンクリートの硬化時間(強度発現)に影響が生じることが考えられるため、蒸気養生の前置き時間と圧縮強度との関係も検証した。

落下前（０回）の状況　　15回落下後の状況

写真３—１　モルタルフロー試験の例

### ３．２　コンクリート実験

練混ぜ水に水道水を用いた通常のコンクリートと木材廃液を用いたコンクリートについて、そのフレッシュ性状（練混ぜ直後の性状）を**写真３－２**に示すスランプと空気量で評価すると共に、材令ごとに各々のコンクリートの圧縮強度試験を行った。

写真３－２　空気量試験とスランプ試験の例

### ３．３　コンクリート製品への適用

弊社のコンクリート製品の中から**写真３－３**に示すボックスカルバートを取上げ、練混

ぜ水に水道水と木材廃液を用いた2種類のボックスカルバートを製造し、その物性評価を行った。

参考までに、ボックスカルバートとは、矩形断面の鉄筋コンクリート構造物であり、水路・河川・下水道・地下道・共同溝などに適用されるコンクリート製品である。

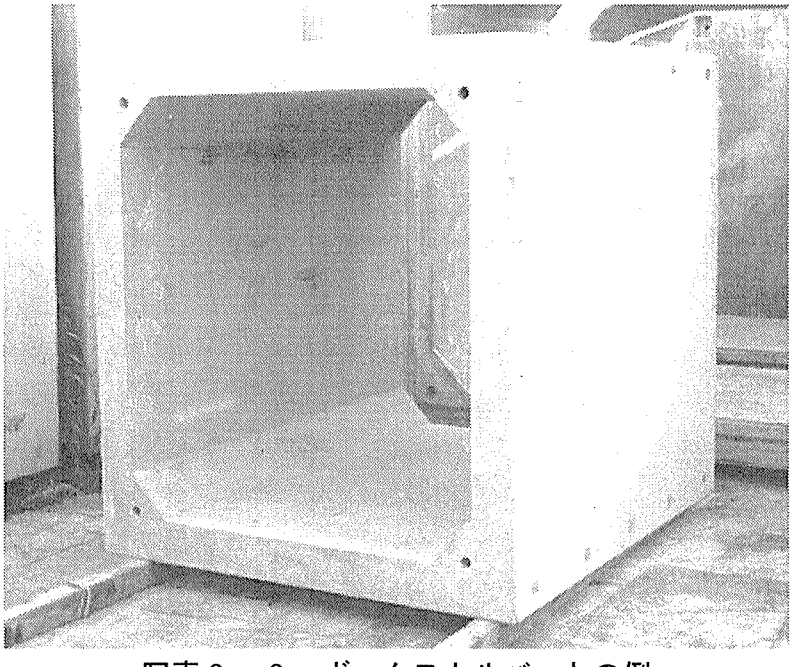


写真３－３　ボックスカルバートの例

### ３．４　練混ぜ水としての品質評価

木材廃液がコンクリートに使用する練混ぜ水としてJIS A 5308（ﾚﾃﾞｨｰﾐｸｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ）附属書9の品質規定を満足するか否かを確認するために、水素イオン濃度（ｐH）と合せて、その成分の分析を行った。

## ４．技術開発の日程

本技術開発のスケジュールを表４－１に示す。

表４－１　技術開発のスケジュール

| 項目 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 木材廃液入手先の選定 | → | | | | | | | | |
| 木材廃液の採取 | | → | → | | | | | | |
| モルタル実験 | | | → | → | | | | | |
| コンクリート実験 | | | | → | → | → | | | |
| コンクリート製品への適用 | | | | | → | → | → | → | |
| 練混ぜ水としての品質確認 | | | | | | → | → | → | |
| 報告書作成 | | | | | | | | → | → |

## 5．事業の実施場所

本事業の主な実施場所を表５－１に示す。

表５－１　本事業の主な実施場所

| 実施項目 | 実施場所 | 所在地 |
|---|---|---|
| 木材廃液の採取 | 高知県立森林技術センター | 高知県香美郡土佐山田町大平 80 |
| モルタル実験 | 宇都宮大学工学部 | 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 |
| コンクリート実験 | 日本ヒューム㈱技術研究所 | 埼玉県熊谷市万吉 3300 |
| コンクリート製品への適用 | 日本ヒューム㈱熊谷工場 | 埼玉県熊谷市万吉 3300 |
| 練混ぜ水としての品質評価 | ㈱太平洋コンサルタント | 千葉県佐倉市大作 2-4-2 |

## 6．技術開発の結果

### 6．1　木材廃液の採取

本技術開発に用いる木材廃液は、高知県立森林技術センターの高温蒸気式乾燥装置を用いて採取したものである。写真６－１から写真６－６に示すように、当該装置内にスギの平角材（15 本）を搬入し、表６－１に示す条件（木材の高温蒸気式乾燥の諸条件）で蒸煮処理を行い、排水口から排出した廃液を木材廃液とした。

この際に採取した廃液を大別すると 3 種類（表６－１参照）になるが、蒸煮時間中に排出した廃液を除く 2 種類の廃液は採取量（排出量）が極めて少なく、今後の安定供給等を鑑みると木材廃液として活用する実現性が低いことから、本技術開発で活用する木材廃液は「蒸煮時間中に排出した廃液」に限定し、以降の検討に着手した。

写真６－１　高温蒸気式乾燥装置

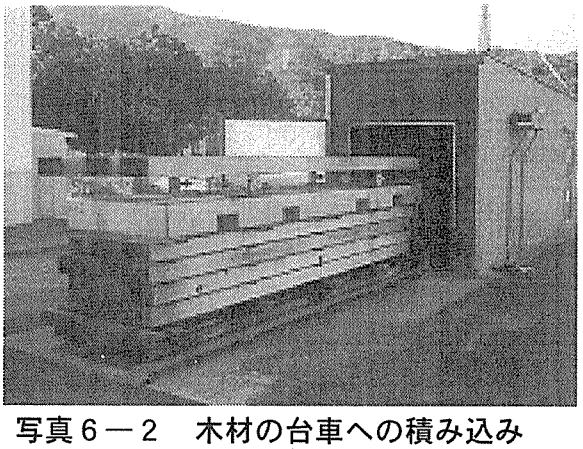


写真６－２　木材の台車への積み込み

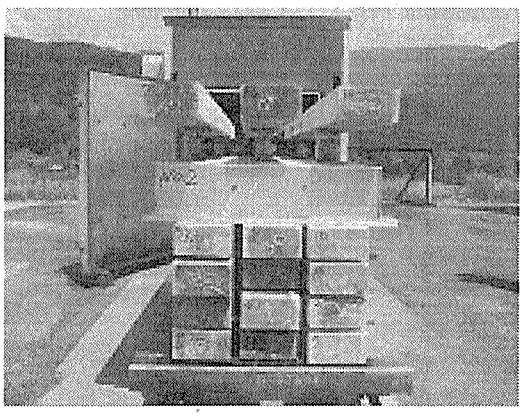


写真６－３　乾燥前の状況

写真６－４　スギ平角材

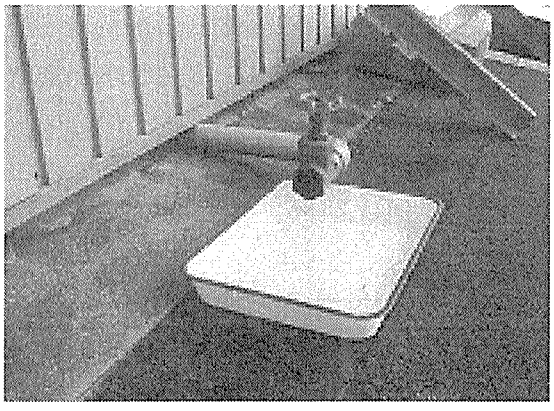


写真６－５　乾燥装置下の排水口

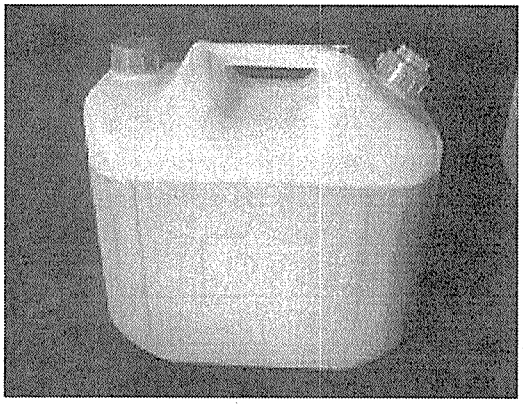


写真６－６　木材廃液の採取

表６－１　木材の高温蒸気式乾燥の諸条件

| 項目 | 摘要 |
|---|---|
| 実施場所 | 高知県立森林技術センター |
| 実施時期 | 平成 17 年 9 月 9 日～9 月 11 日 |
| 国産材の種類 | スギ平角材（132mm×252mm×4000mm・15 本） |
| 蒸煮処理条件 | 95℃（一定）・湿度 100％・12 時間 |
| 乾燥条件 | 高温低湿処理 120℃～90℃・30 時間 |
| 木材廃液の種類と採取量 | 蒸煮時間中に排出した廃液（約 150 リットル） |
| | 蒸煮終了後に排出した廃液（10 約リットル） |
| | 蒸煮終了後に排水口近傍に結露した廃液（20 約リットル） |

## ６．２　コンクリート練混ぜ水としての活用

### ６．２．１　モルタル実験結果

水（練混ぜ水）とセメントと砂で構成されるモルタルを対象に、水道水を練混ぜ水に

用いた場合と、木材廃液を練混ぜ水に用いた場合のモルタル性状とを比較するものであり、その評価項目はモルタルフローと空気量および圧縮強度とした。

このうち、圧縮強度については、モルタル供試体の蒸気養生を行う際の前置き時間に着目して評価を行った。これは、木材廃液がリグニン酸成分を有するために、硬化時間（強度発現）に影響が生じることを考慮したものであり、蒸気養生を行うに際して、木材廃液を練混ぜ水として用いたモルタルの最適な前置き時間を強度発現性から把握することを目的としたものである。

### （1） モルタル配合

モルタル実験では、弊社のコンクリート製品の中から、本技術の適用を計画しているボックスカルバートの配合を考慮して、暫定的に表６－２に示すモルタル配合を採用した。また、表６－２に示すように、モルタル供試体は練混ぜ水に水道水を用いたものと、木材廃液を用いたものの２種類の配合を対象としたが、練混ぜ水が異なる以外は双方共に同一の配合とした。

なお、混和剤には高性能減水剤（標準型・ポリカルボン酸系）を用いた。

表６－２　モルタル配合

| 練混ぜ水の区分 | ﾌﾛｰ値の範囲（mm） | 水結合材比 W／P（%） | 砂粉体比 S／P（%） | 単位量（kg／m³） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水 W | ｾﾒﾝﾄ C | 高炉ｽﾗｸﾞ BFS | 細骨材 S | 混和剤 Ad |
| 水道水 | 200±50 | 40 | 170 | 284 | 583 | 154 | 1244 | 6.6 |
| 木材廃液 | 200±50 | 40 | 170 | 284 | 583 | 154 | 1244 | 6.6 |

### （2）モルタルのフレッシュ性状

表６－３　モルタルのフレッシュ性状の評価方法

| 試験項目 | 規格 | 概要 |
|---|---|---|
| モルタルフロー | JIS R 5201 | ・テーブル上のモルタルを高さ 1.3ｃｍから 15 回落下（打）させた後におけるフロー（広がり）を測定する。<br>・モルタルの柔らかさや流動性を判定する。 |
| 空気量（質量方法） | JIS A 1116 | ・フレッシュモルタルの空気量を質量によって求める。<br>・モルタルの耐久性や流動性などを判定する。 |

モルタルのフレッシュ性状は、モルタルフローと空気量を表６－３に示す方法に準じて評価した。

モルタルのフレッシュ性状を測定した結果は表６－４に示すとおりであり、モルタルフロー（15 回フロー）と空気量は、いずれも水道水よりも木材廃液の方が大きい傾向にある。

表６－４　モルタルのフレッシュ性状

| 練混ぜ水の区分 | モルタルフロー（mm） | | 空気量（%） |
|---|---|---|---|
| | 0 回フロー | 15 回フロー | |
| 水道水 | 141 | 197 | 1.99 |
| 木材廃液 | 160 | 207 | 3.30 |

（３）蒸気養生の前置き時間と圧縮強度試験結果

モルタル供試体の蒸気養生条件は表６－５に示すとおりであり、蒸気養生終了後は所定の材令まで水中養生(20℃)を行った。また、表６－６に示した評価方法に準拠して行ったモルタル供試体（直径５ｃｍ×高さ 10ｃｍ）の圧縮強度試験結果を表６－７に示すと共に、木材廃液を用いたモルタル供試体の蒸気養生の前置き時間と圧縮強度試験結果を図６－１と示す。これらの結果から、蒸気養生の前置き時間を 8 時間（通常は 2 時間程度）とすることで、最も有効な強度発現が得られることが分かった。

表６－５　モルタル供試体の蒸気養生条件

| 項目 | 仕様 |
|---|---|
| 前置き時間 | 2 時間，4 時間，6 時間，8 時間 |
| 昇温 | 20℃／ｈ |
| 最高温度 | 65℃ |
| 保持時間 | 4 時間 |
| 降温 | 自然降温 |

表６－６　モルタル供試体の評価方法

| 試験項目 | 規格 | 概要 |
|---|---|---|
| 圧縮強度　※ | JIS A 1108 | ・円柱形（直径５ｃｍ×高さ 10ｃｍ）のモルタル供試体の端面を研磨して平滑にする。<br>・試験機の加圧面と供試体の端面を密着させ、供試体に衝撃を与えないように、一様な速度で荷重を加える。<br>・供試体が破壊するまでに試験機が示した最大荷重を供試体端面の面積で除して圧縮強度を求める。 |

※：本実験における圧縮強度の試験材令は 1 日、7 日、14 日とした。

表６－７　モルタル供試体の蒸気養生の前置き時間と圧縮強度試験結果

| 練混ぜ水の区分 | 蒸気養生の前置き時間 | 圧縮強度（N／mm²）※ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 材令１日 | 材令７日 | 材令14日 |
| 水道水 | ２時間 | 35.6 | 46.2 | 46.9 |
| | ４時間 | 36.7 | 46.6 | 47.1 |
| | ６時間 | 38.7 | 47.8 | 51.3 |
| | ８時間 | 44.1 | 53.9 | 52.6 |
| 木材廃液 | ２時間 | 34.8 | 44.7 | 47.2 |
| | ４時間 | 34.2 | 43.3 | 45.7 |
| | ６時間 | 37.6 | 46.5 | 48.5 |
| | ８時間 | 43.3 | 54.9 | 54.0 |

※：条件ごとに各々3個の供試体の平均値で表示した。

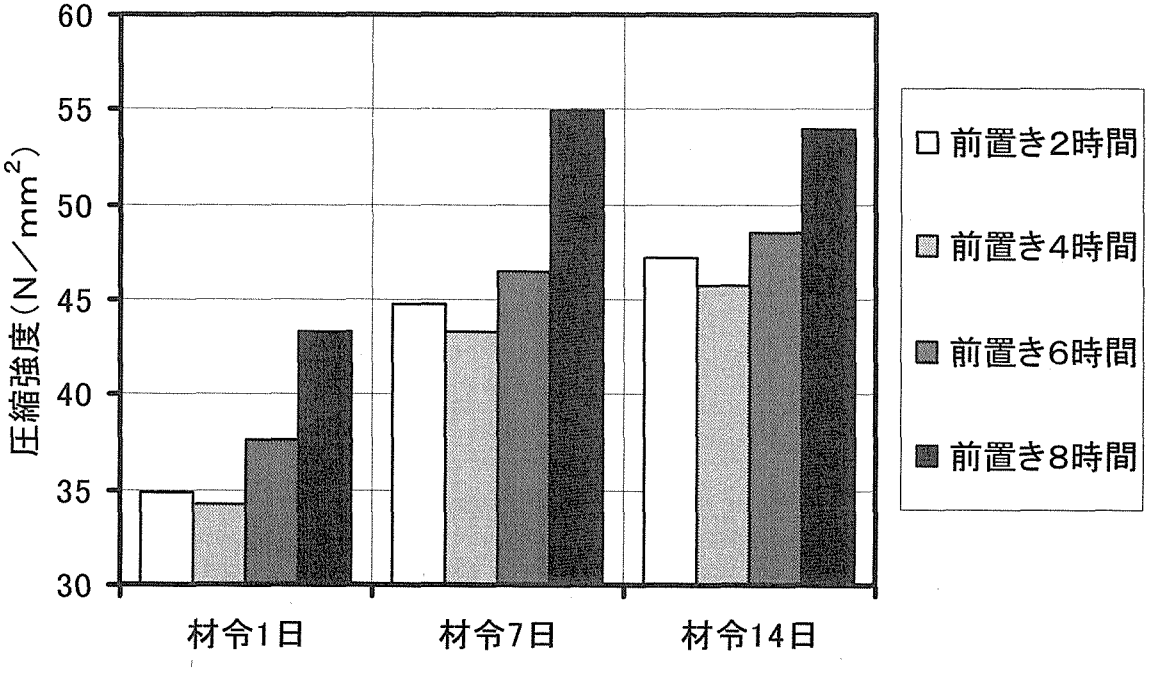



図６－１　木材廃液を用いたモルタル供試体の蒸気養生の前置き時間と圧縮強度

### 6．2．2　コンクリート実験結果

コンクリート実験はモルタル実験の結果を踏まえて、水道水を練混ぜ水に用いたコンクリートと、木材廃液を練混ぜ水に用いたコンクリートの諸性状を比較するものである。ここで用いたコンクリートの配合は、弊社のコンクリート製品の中から、ボックスカルバートの配合を選定して行った。

コンクリート実験の評価項目はスランプと空気量および圧縮強度とし、コンクリート供試体を蒸気養生する際の前置き時間は、モルタル実験の結果を踏まえて8時間とした。

#### （1）コンクリートの配合

コンクリート実験に用いたボックスカルバートの配合は表6－8に示すとおりであり、水道水を練混ぜ水に用いたコンクリートと木材廃液を練混ぜ水に用いたコンクリートの2種類に大別すると共に、混和剤の添加率に応じて各3配合に区分した合計6配合を対象とした。また、混和剤の添加率は、単位セメント量と単位高炉スラグ微粉末量を合せた結合材の量（450kg/m$^3$）に対して、0.3％（1.35kg/m$^3$）、0.6％（2.70kg/m$^3$）、0.9％（4.05kg/m$^3$）、に相当する量を各々の配合に添加した。

なお、コンクリートのフレッシュ性状とコンクリート供試体の評価方法は表6－9に準じて行った。

表6－8　コンクリートの配合

| 練混ぜ水の区分 | 粗骨材の最大寸法 (mm) | ｽﾗﾝﾌﾟの範囲 (cm) | 空気量の範囲 (%) | 水結合材比 W/P (%) | 細骨材率 s/a | 単位量（kg／m$^3$） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 水 W ※1 | ｾﾒﾝﾄ C | 高炉ｽﾗｸﾞ BFS | 細骨材 S | 粗骨材 G | 混和剤 Ad ※2 |
| 水道水 | 20 | 18±2.5 | 2±1.5 | 39 | 45 | 175 | 360 | 90 | 778 | 980 | 1.35 |
| | 20 | 18±2.5 | 2±1.5 | 39 | 45 | 175 | 360 | 90 | 778 | 980 | 2.70 |
| | 20 | 18±2.5 | 2±1.5 | 39 | 45 | 175 | 360 | 90 | 778 | 980 | 4.05 |
| 木材廃液 | 20 | 18±2.5 | 2±1.5 | 39 | 45 | 175 | 360 | 90 | 778 | 980 | 1.35 |
| | 20 | 18±2.5 | 2±1.5 | 39 | 45 | 175 | 360 | 90 | 778 | 980 | 2.70 |
| | 20 | 18±2.5 | 2±1.5 | 39 | 45 | 175 | 360 | 90 | 778 | 980 | 4.05 |

※1：水（練混ぜ水）は、水道水と木材廃液の2種類に大別した。

※2：混和剤には高性能減水剤（標準型・ポリカルボン酸系）を用い、混和剤の添加率は、結合材の量（セメント量と高炉スラグ微粉末量を合わせた量＝450kg/m$^3$）に対して0.3％（1.35kg/m$^3$）、0.6％（2.70kg/m$^3$）、0.9％（4.05kg/m$^3$）とした。

表６－９　コンクリートのフレッシュ性状とコンクリート供試体の評価方法

| 試験項目 | 規格 | 概要 |
|---|---|---|
| スランプ | JIS A 1101 | ・フレッシュコンクリートを容器（スランプコーン）に詰め、容器を抜き取った時のコンクリートの沈下量を測定する。<br>・コンクリートのコンシステンシー（変形・流動抵抗性・柔らかさ）などを判定する。 |
| 空気量<br>（空気室圧力方法） | JIS A 1128 | ・フレッシュコンクリートを容器（空気室）に詰めて圧力をかけ、容器内の圧力減少によって空気量を求める。<br>・コンクリートの耐久性や水密性などを判定する。 |
| 圧縮強度　※ | JIS A 1108 | ・円柱形（直径 10ｃｍ×高さ 20ｃｍ）のコンクリート供試体の端面を研磨して平滑にする。<br>・試験機の加圧面と供試体の端面を密着させ、供試体に衝撃を与えないように、一様な速度で荷重を加える。<br>・供試体が破壊するまでに試験機が示した最大荷重を供試体端面の面積で除して圧縮強度を求める。 |

※：本実験における圧縮強度の試験材令は 1 日、7 日、14 日とした。

（２）コンクリートのフレッシュ性状

コンクリートのフレッシュ性状に関する評価結果は、表６－１０、図６－２、図６－３、写真６－１、写真６－２に示すとおりである。

表６－１０　コンクリートのフレッシュ性状

| 練混ぜ水の区分 | 混和剤添加率（%） | スランプ（ｃｍ） | 空気量（%） |
|---|---|---|---|
| 水道水 | 0.3 | 1.5 | 1.7 |
| | 0.6 | 5.0 | 2.1 |
| | 0.9 | 12.5 | 2.7 |
| 木材廃液 | 0.3 | 2.0 | 1.8 |
| | 0.6 | 7.5 | 4.0 |
| | 0.9 | 18.5 | 5.0 |

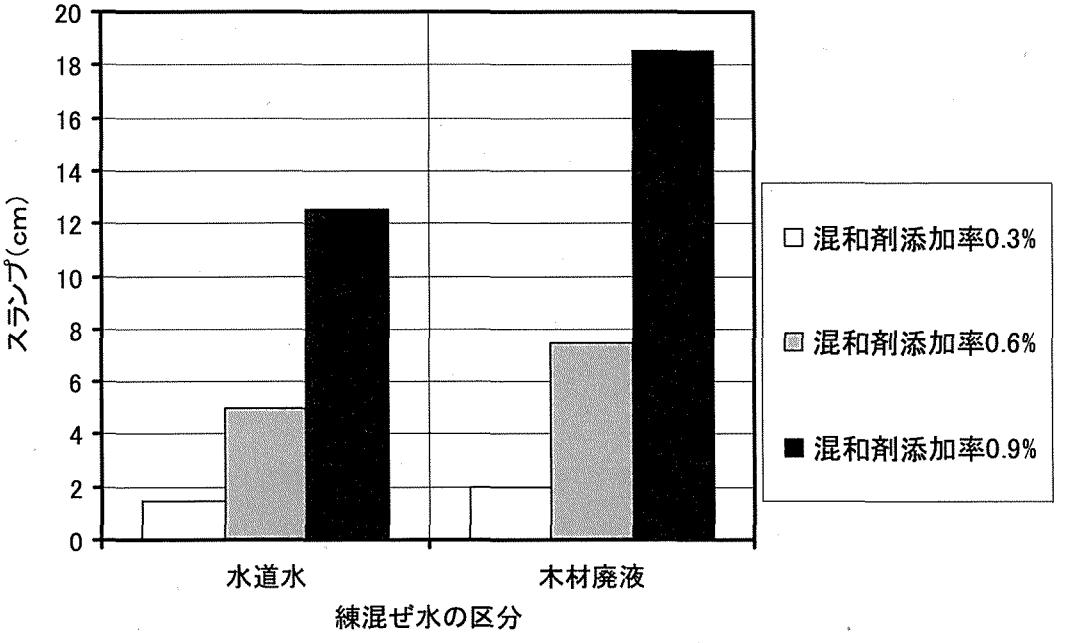



図６－２　コンクリートのスランプ試験結果

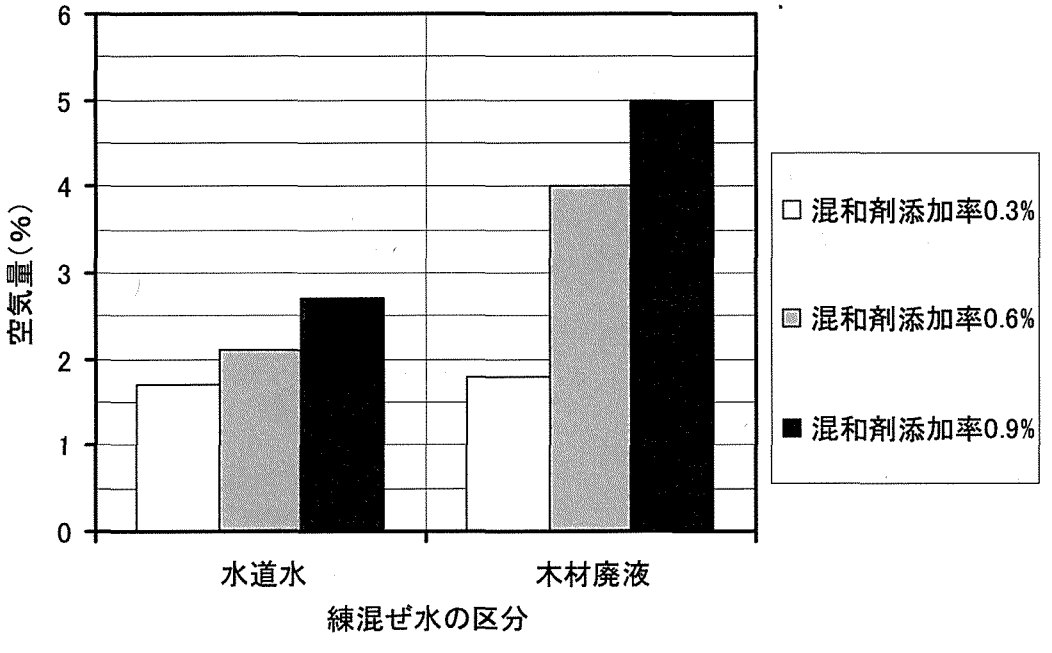



図６－３　コンクリートの空気量試験結果

写真６－１　水道水を用いたコンクリートのスランプの例

写真６－２　木材廃液を用いたコンクリートのスランプの例

（３）コンクリートの圧縮強度

コンクリート供試体（直径 10ｃｍ×高さ 20ｃｍ）の蒸気養生条件を**表６－１１**に示す。また、混和剤添加率とコンクリート供試体の圧縮強度試験結果は**表６－１２**と**図６－４**に示すとおりである。

表６－１１　コンクリート供試体の蒸気養生条件

| 項目 | 仕様 |
|---|---|
| 前置き時間 | 8 時間 |
| 昇温 | 20℃／ｈ |
| 最高温度 | 65℃ |
| 保持時間 | 4 時間 |
| 降温 | 自然降温 |

表６－１２　混和剤添加率とコンクリート供試体の圧縮強度試験結果

| 練混ぜ水の区分 | 混和剤添加率（%） | 圧縮強度（N／mm²）※ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 材令１日 | 材令７日 | 材令14日 |
| 水道水 | 0.3 | 25.9 | 39.3 | 43.9 |
| | 0.6 | 27.1 | 39.9 | 44.4 |
| | 0.9 | 26.8 | 39.9 | 45.4 |
| 木材廃液 | 0.3 | 25.1 | 39.3 | 43.2 |
| | 0.6 | 23.8 | 36.7 | 41.9 |
| | 0.9 | 23.5 | 38.2 | 42.5 |

※条件ごとに各々3個の供試体の平均値で表示した。

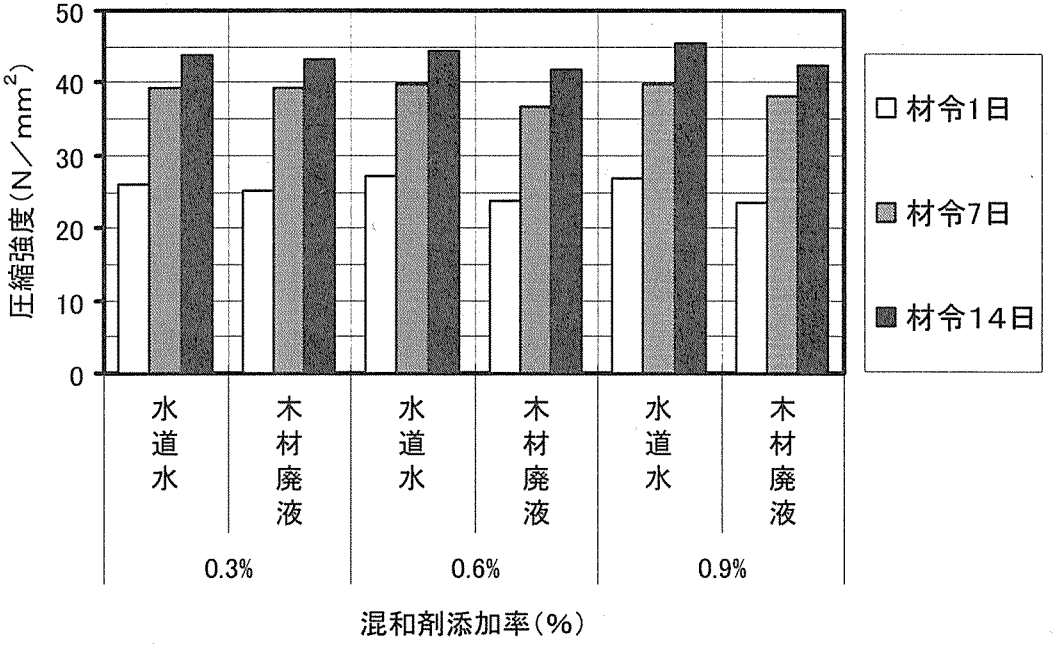



図６－４　コンクリート供試体の圧縮強度試験結果

（４）コンクリート実験で得られた知見

コンクリート実験の結果から、木材廃液を練混ぜ水に用いたコンクリートは、水道水を練混ぜ水に用いた通常のコンクリートに比べて、以下の特性を有していることを確認した。

①混和剤の添加率が増すと流動性が向上し、これに伴ってスランプが大きくなる（コンクリートが柔らかくなる）傾向にある。

②混和剤の添加率が増すとこれに伴って空気量が増加する傾向にある。

③混和剤の添加率が増すとこれに伴って圧縮強度が僅かに低下する傾向にある。

### ６．２．３　コンクリート製品への適用

木材廃液を練混ぜ水として用いた製品と、通常どおり水道水を練混ぜ水に用いた製品を実際に弊社熊谷工場で製造し、双方の物性評価を行った。

この物性評価の対象とした製品は、**写真３－３**に示すボックスカルバート（1400mm×1400mm×2000mm）であり、その評価項目は耐荷性能の評価を目的として行った材令 30 日における外圧試験（たわみ測定とひずみ測定を含む）と、乾燥収縮によるクラックの発生状況を目視調査するための曝露実験（90 日間）とした。

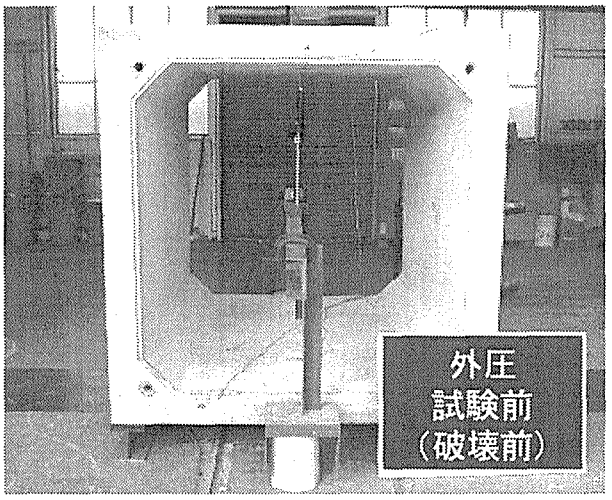



**写真６－３　ボックスカルバートの外圧試験前の状況**

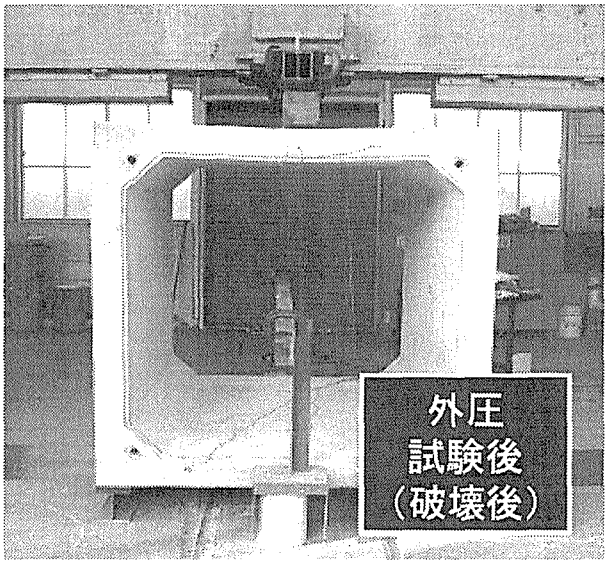



**写真６－４　ボックスカルバートの外圧試験後の状況**

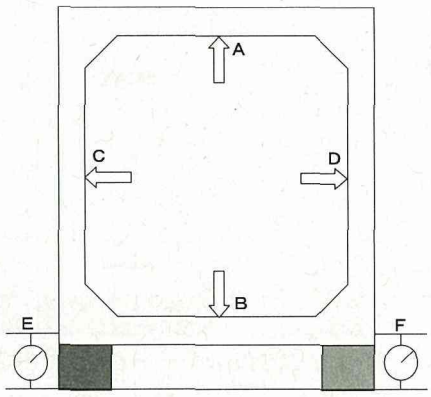



図６－５　ボックスカルバートのたわみ測定位置

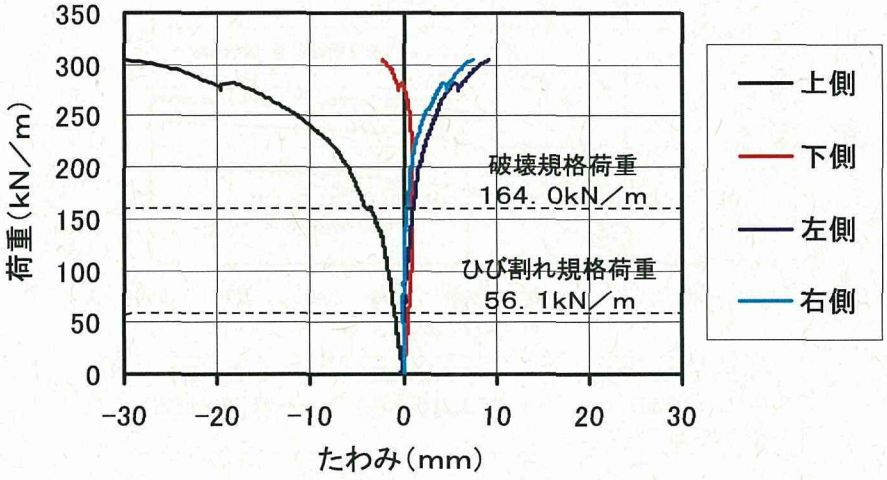



図６－６　水道水を用いたボックスカルバートのたわみ

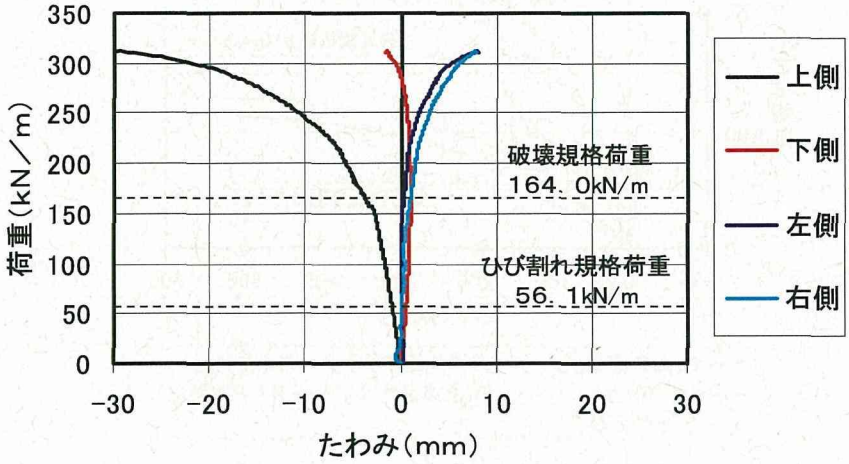



図６－７　木材廃液を用いたボックスカルバートのたわみ

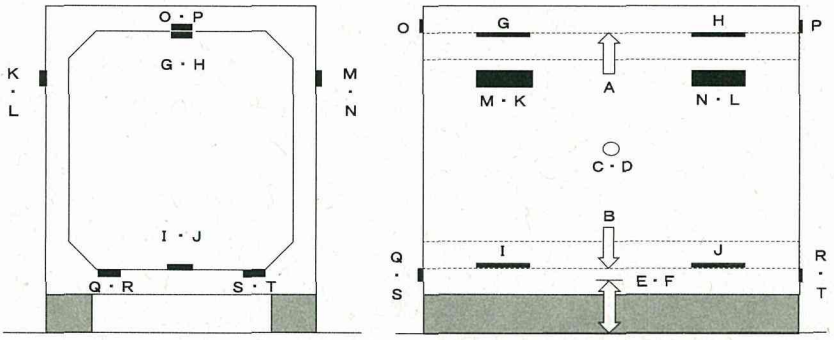



図６－８　ボックスカルバートのひずみ測定位置

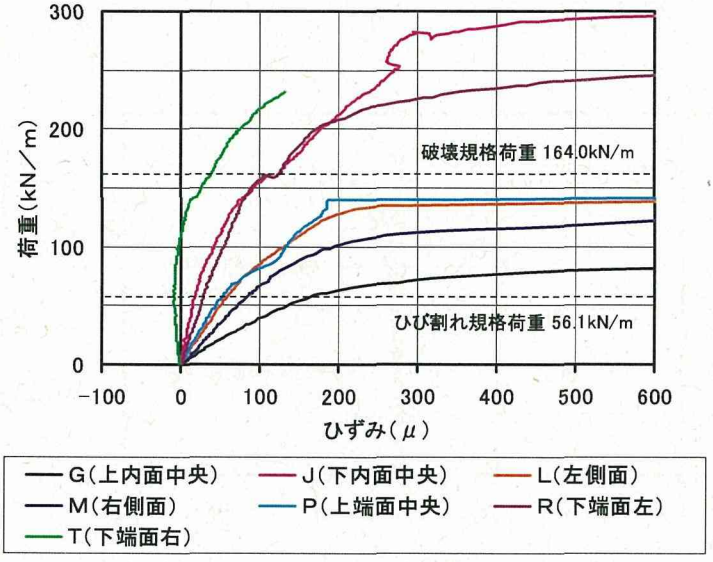



図６－９　水道水を用いたボックスカルバートのひずみ

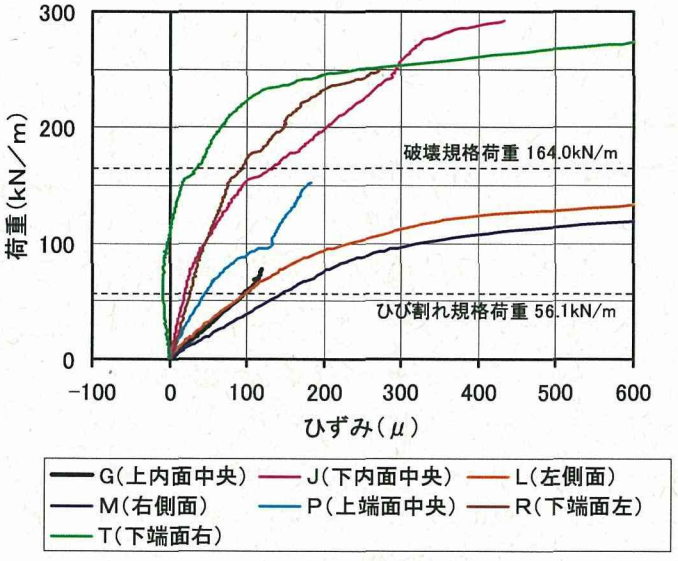



図６－１０　木材廃液を用いたボックスカルバートのひずみ

表６－１３　ボックスカルバートの外圧試験結果と曝露実験結果

| 分類 | 評価項目 | 規格値 | 練混ぜ水の区分 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 水道水 | 木材廃液 |
| 外圧試験 ※1 | 寸法検査 | 各部位が規格値を満足すること | 合格 | 合格 |
| | ひび割れ荷重 | 56.1 kN/m 以上 | 80.2 kN/m | 77.3 kN/m |
| | 破壊荷重 | 164.0 kN/m 以上 | 316.5 kN/m | 310.2 kN/m |
| 曝露実験 | 乾燥収縮によるひび割れ発生状況 ※2 | | 異常なし | 異常なし |

※1：材令 30 日で実施した。

※2：曝露実験の評価期間は 90 日間とし、ひび割れの発生状況は目視観察によって評価した。

表６－１４　ボックスカルバートに用いたコンクリートの静弾性係数

| 練混ぜ水の区分 | 破壊荷重 (kN) | 圧縮強度※ ($N/mm^2$) | 縦ひずみ ($\mu$) | 応力 ($N/mm^2$) | 弾性係数 ($N/mm^2$) | ﾎﾟｱｿﾝ比 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 水道水 | 354 | 45.1 | 519 | 14.4 | 27513 | 0.19 |
| 木材廃液 | 344 | 43.8 | 510 | 14.4 | 28253 | 0.19 |

※設計基準強度は材令 14 日で $40N/mm^2$ 以上

表６－１３に、ボックスカルバートの物性評価として行った外圧試験と曝露試験の結果を示す。また、外圧試験の状況を写真６－３と写真６－４、外圧試験時におけるたわみの測定位置とたわみの測定結果を図６－５、図６－６、図６－７、外圧試験時におけるひずみの測定位置とひずみの測定結果を図６－８、図６－９、図６－１０に示す。

外圧試験の結果と、2 種類のボックスカルバートを製造する際に用いた各々のコンクリートの静弾性係数を測定した結果（表６－１４参照）を合せて、その要点を以下に示す。

①練混ぜ水に木材廃液を用いたボックスカルバートは、ひび割れ荷重と破壊荷重は規格値を十分に満足すると共に、たわみとひずみの発生状況に関しても練混ぜ水に水道水を用いたボックスカルバートと概ね同等レベルであることを確認した。

②外圧試験時に実施した製品寸法検査の結果は規格値の範囲内にあり、曝露試験で評価した乾燥収縮によるひび割れ発生状況に関しても双方のボックスカルバートに差異は認められなかった。

③水道水を用いたコンクリートと木材廃液を用いたコンクリートは、弾性係数やポアソン比などの諸性状についても概ね同等レベルにあると言える。

### ６．２．４　練混ぜ水としての品質評価

練混ぜ水としての品質評価は、木材廃液がJIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の附属書 9（レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水）に規定されているコンクリートの練混ぜ水としての品質規定に適合しているか否かを判定する目的で、上水道水以外の水（河川水、湖沼水、井戸水、地下水、工業用水など）の基準に準じて分析を行った。

なお、木材廃液の水素イオン濃度（ｐＨ）の測定もこの時に同時に行った。

表６－１５　練混ぜ水として品質評価結果と水素イオン濃度測定結果

| 試験項目 | 品質規定 | 分析結果 | 合否判定 |
|---|---|---|---|
| 懸濁物質の量 | 2 g／ℓ 以下 | 0.2 g／ℓ | 合格 |
| 溶解性蒸発残留物の量 | 1 g／ℓ 以下 | 1.4 g／ℓ | 不合格 |
| 塩素イオン量 | 200 ppm 以下 | 3 ppm | 合格 |
| セメントの凝結時間の差 | 始発は 30 分以内 | 始発は 5 分 | 合格 |
| | 終結は 60 分以内 | 終結は 35 分 | |
| モルタルの圧縮強さの比 | 材令 7 日及び | 材令 7 日は 95 ％ | 合格 |
| | 材令 28 日で 90％以上 | 材令 28 日は 95 ％ | |
| 水素イオン濃度（ｐＨ） | | 6.4 | ※ |

※高耐久性コンクリートに用いる練混ぜ水の品質規定では、水素イオン濃度（ｐＨ）を 5.8～8.6 としている。したがって、これに準拠すれば合否判定は合格となる。

木材廃液の分析結果は表６－１５に示すとおりであり、溶解性蒸発残留物の量だけが僅かに品質規定値を上回ったが、これは木材廃液を希釈することなどで解決できるものと考えられる。

その一方で、上記以外の試験項目と水素イオン濃度（ｐＨ）は品質規格を満足し、不備な点は何ら認められていないことから、溶解性蒸発残留物の量が品質規定を満足すれば、木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として活用できることを確認した。

参考までに、溶解性蒸発残留物には、油、各種塩類、有機物などがあり、これらの物質がコンクリートの練混ぜ水に過剰に含まれると、以下に示す危険性があるとされている。

①コンクリートの凝結遅延や硬化不良を発生させる。

②塩類には塩化物（Cl）があり、鉄筋の発錆やコンクリートのアルカリ骨材反応などを発生させる。

③有機物には木材に含まれているリグニン酸があり、セメントの水和を阻害してコンクリートの硬化不良を発生させる。

なお、木材廃液成分の参考例として、木材の種類や処理方法が本技術開発に用いた木材廃液とほぼ同様な条件で得られた３種類（A、B、C）の木材廃液成分の分析結果を表６－１６に示す。

表６－１６　木材廃液成分の参考例

| サンプルの区分 | 木材の種類 | 処理方法 | 処理温度（℃） | pH | BOD (mg/L) | SS (mg/L) | ノルヘキ (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | スギ | 蒸煮 | 65 | 6.8 | 1100 | 24 | 35 |
| B | スギ | 蒸煮 | 98 | 6.0 | 1800 | 53 | 29 |
| C | スギ | 蒸煮 | 98 | 6.5 | 2600 | <10 | 51 |

## ７．木材廃液の有効性に関する考察

### ７．１　練混ぜ水の潜在量

一般的に、コンクリート用混和剤はセメント使用量の 0.5～1.5％程度を用いるのに対して、練混ぜ水はセメント使用量の 30～50％程度を用いる。したがって、木材廃液をコンクリートの混和剤として用いるよりも、練混ぜ水として用いる方がその受け皿は遥かに大きくなる。

図７－１に示すように、国内で１年間に製造されるすべてのコンクリートに使用する練混ぜ水の量をセメント使用量（セメントの国内生産量である約 6,000 万トン／年に相当するものとする）の 50％（W/C＝50％）と大まかに仮定すると、練混ぜ水の潜在量は年間約 3,000 万トンが予想される。この内、コンクリート製品の分野にはセメントの国内生産量の約 15％が使用されていることから、例えば、当該分野における練混ぜ水が木材廃液の受け皿になるものとして考えると、その潜在量は年間約 450 万トンが見込まれる。

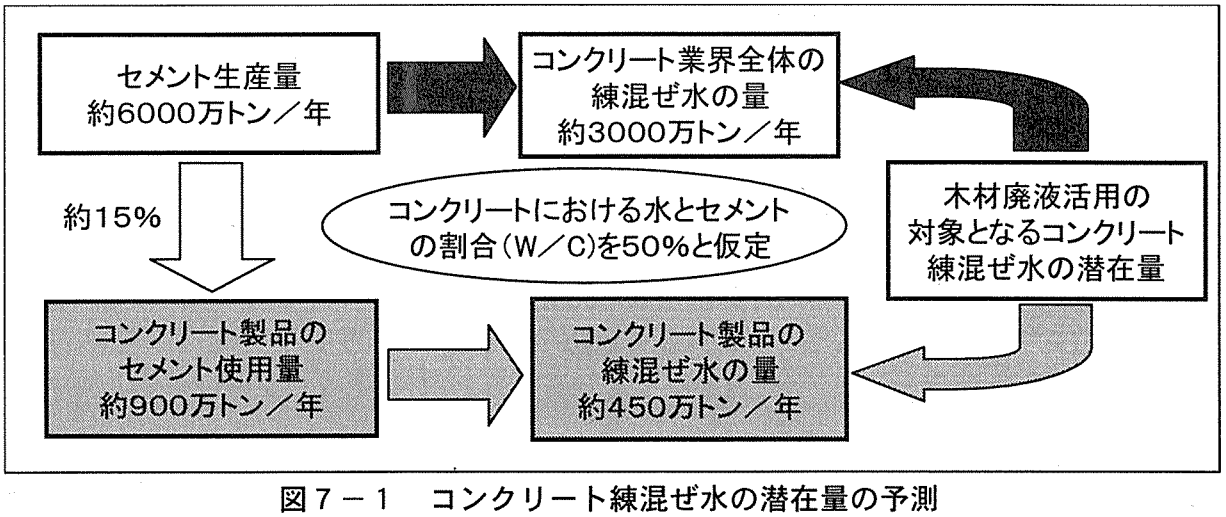



図７－１　コンクリート練混ぜ水の潜在量の予測

## 7．2　コストダウンの可能性

前述したとおり、木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として活用すると、ある配合条件では、フレッシュ時の流動性が向上し、練混ぜ水に水を用いた場合と同一スランプ（同じ柔らかさ）を得るための混和剤混入量を低減できることから、当該条件下では「コンクリートの製造原価をコストダウンできる」ことが予想される。

**図７－２**は本技術開発において得られた結果を示したものであり、目標スランプ 18ｃｍのコンクリート（ボックスカルバートの配合）での実験結果である。練混ぜ水が木材廃液の場合は混和剤添加率が 0.9％で目標スランプが得られるが、練混ぜ水が水道水の場合は目標スランプを得るための混和剤添加率は 1.3％である。したがって、この条件では混和剤添加率を 0.4％低減できることが見込まれることになる。

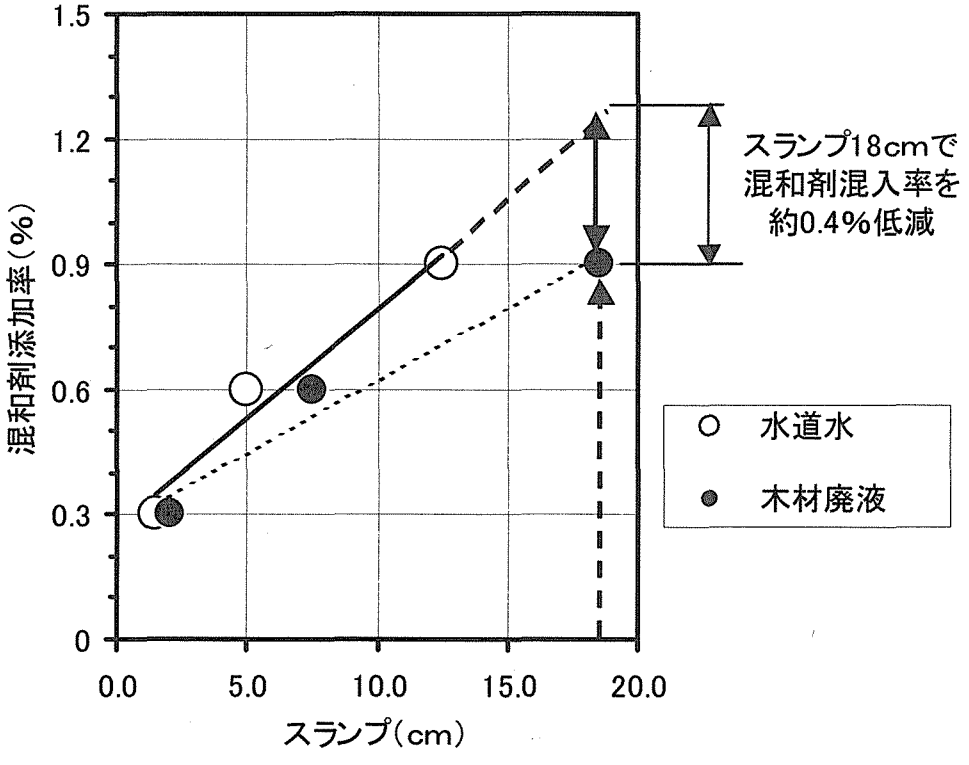



**図７－２　木材廃液による混和剤添加率の低減**

この結果から、コンクリートの製造原価のコストダウン額を予測したものが**表７－１**であり、当該配合条件下におけるコストダウン額は 360 円／$m^3$（混和剤費用の約 30％に相当する）となる。例えば、年間の生産量が 20 万トン（9 万$m^3$／年）の工場におけるコストダウン額を 360 円／$m^3$を基にして予測すると、コストダウン額は年間 3,240 万円となる。

参考までに、コンクリート混和剤とは**表７－２**に示す特徴や効果を得る目的で、一般

的にはセメント使用量の 0.5～1.5％程度をコンクリートに混入するものである。

表７－１　コンクリート製造原価のコストダウン予測

| 練混ぜ水の区分 | 単位ｾﾒﾝﾄ量 (kg／m³) | 混和剤添加率 (％) | 混和剤添加量 (kg／m³) | 混和剤費用 (円／m³) | ｺｽﾄﾀﾞｳﾝ額 (円／m³) |
|---|---|---|---|---|---|
| 水道水 | 450 | 1.3 | 5.85 | 1170 | － |
| 木材廃液 | 450 | 0.9 | 4.05 | 810 | 360 |

条件１：弊社コンクリート製品の代表的な配合を基準として試算した。

条件２：混和剤の単価を 200 円／kgとした。

表７－２　コンクリート混和剤の特徴と効果

| 主な使用目的 | コンクリートの流動性・強度・耐久性などの改善 |
|---|---|
| 使用量 | セメント量の 0.5～1.5％程度 |
| 主な効果 | セメント粒子の分散性向上 |
| | 単位水量の低減 |
| | 微細な空気泡の連行 |
| 種類 | 減水剤・AE 剤・AE 減水剤・高性能減水剤・高性能 AE 減水剤 |
| | 標準形・遅延形・促進形 |
| 価格 | 150 円／kg～800 円／kg程度 |

## ７．３　耐久性向上の可能性

**図７－３**は、本技術開発におけるコンクリート実験（目標スランプ 18ｃｍ：ボックスカルバートの配合）で得られた結果の中から、当該コンクリートに含まれる空気量を示したものである。**図７－４**に示した結果からも分かるように、一般に空気量の増加に伴ってコンクリートの強度（圧縮強度）は僅かに低下するものの、その反面、耐凍結融解性などに代表されるコンクリートの耐久性が向上する傾向にある。したがって、木材廃液を練混ぜ水として用いたコンクリートの空気泡が耐久性の向上（長寿命化）に有効なものであるならば、**図７－３**に示した木材廃液による空気量の増加分はコンクリートの耐久性向上（長寿命化）に寄与する可能性があるものと考えられる。

なお、コンクリートの空気量が 1％増加すると強度は約 5％減少するが、単位水量を減少できるので強度低下を相殺できると言われている。また、コンクリートに 2～6％の空気量を連行させると、前述した様に、凍結融解作用に対する抵抗性は著しく向上することが知られている。

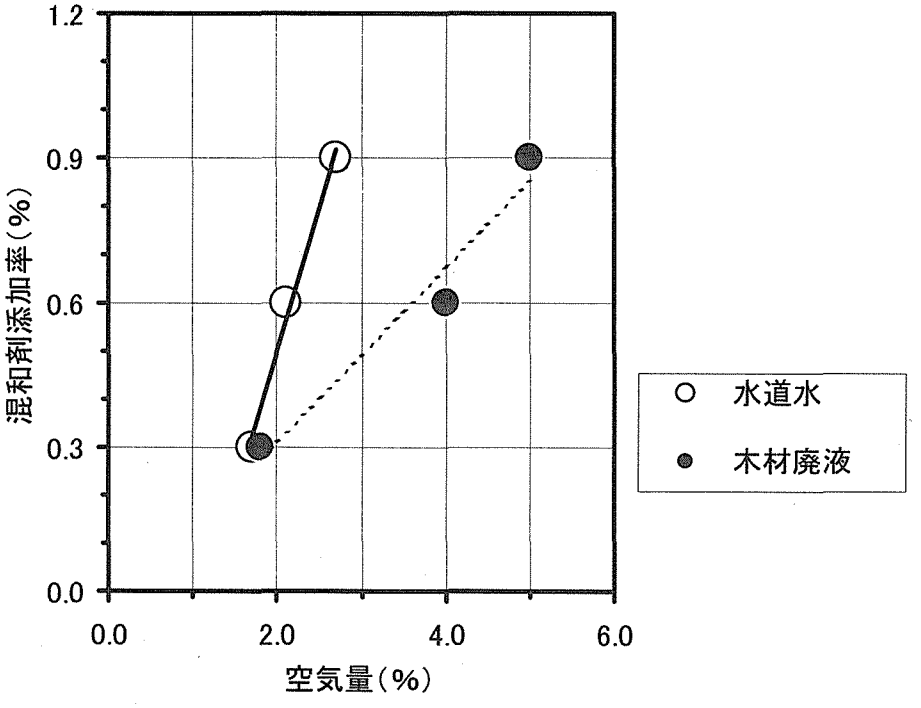



図７－３　木材廃液による空気量の増加

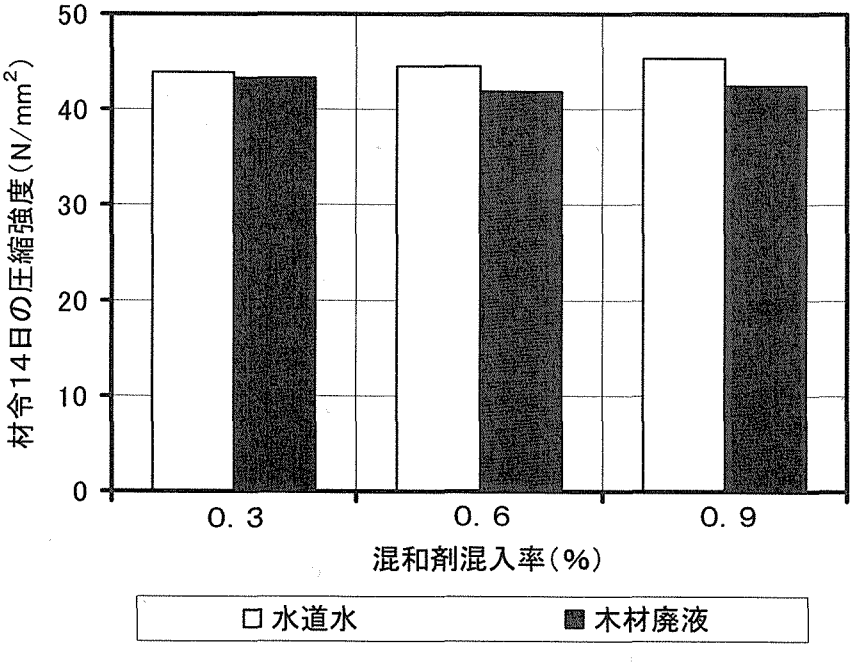



図７－４　材令１４日における圧縮強度の比較

## ８．技術開発の成果と課題

### ８．１　技術開発の成果

本技術開発では、木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として活用するために、弊社のコンクリート製品の中からボックスカルバートを選定し、当該コンクリートの性状や製品の物性などについて、水道水を練混ぜ水に用いた通常のコンクリートと比較することで検証を行った。その結果、「木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として活用できる可能性は大きい」ことを確認した。これらの事項を本技術開発の成果として以下に示す。

①木材廃液を練混ぜ水に用いたモルタルの基本的な性状の確認した結果、練混ぜ水に水道水を用いた通常のモルタルと同等レベルの品質が得られることを確認した。

②木材廃液を練混ぜ水に用いたコンクリートの基本的な性状の確認した結果、練混ぜ水に水道水を用いた通常のコンクリートと同等レベルの品質が得られることを確認した。

③蒸気養生を行う場合には、木材廃液の成分に含まれるリグニン酸の影響によって通常よりも前置き時間を長く確保する必要があり、理想的には前置き時間を８時間とすることによってモルタルやコンクリートの有効な強度発現性が得られることを確認した。

④弊社のコンクリート製品の中からボックスカルバートを選定し、木材廃液を練混ぜ水に用いて実際に当該製品を製造し、その物性評価を行った結果、練混ぜ水に水道水を用いた通常の製品と同等な品質が得られることを確認した。

⑤本技術開発に用いた木材廃液には、コンクリートの練混ぜ水として要求される品質規定を僅かに満足できない項目（溶解性蒸発残留物の量）があることを確認したが、これは木材廃液の希釈率を調整することで対応できるものと考えられる。

⑥木材廃液を練混ぜ水に用いたコンクリートのフレッシュ性状は、混和剤の添加率が多くなると流動性が向上し、これに伴ってスランプが大きくなる（コンクリートが柔らかくなる）傾向にあると共に、コンクリートに含まれている空気量が増加する傾向にあることを確認した。

　このことから、木材廃液を練混ぜ水に用いたコンクリートは水道水を練混ぜ水に用いた通常のコンクリートに比べて、混和剤添加率の低減によるコストダウンや、コンクリートが硬化した後の耐久性が向上する（長寿命化）などの効果が期待できる可能性があることを確認した。

## ８．２　今後の課題

本技術開発では、スランプ18ｃｍのコンクリート（ボックスカルバートの配合）を対象に、練混ぜ水に木材廃液を用いたコンクリートと水道水を用いた通常のコンクリートの性状や製品の物性などを比較することで検証を行った。しかしながら、コンクリートの配合は適用場所などの諸条件や製品規格によって多種多様であることから、まだ多くの課題が山積されている状態にあり、本技術開発はひとつの限定された配合条件での可能性を探ったに過ぎない。

本技術開発の結果、木材廃液を水道水の代替としてコンクリートの練混ぜ水に活用できる可能は大きいものと考えられるが、今後、木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として幅広く活用するためには、以下に示す課題の検証や解決策の確立が必須である。

①各種コンクリートの配合条件や各種混和剤（混和材を含む）に及ぼす影響の検証。
※特に混和剤には、減水剤・AE 剤・ＡＥ減水剤・高性能減水剤・高性能ＡＥ減水剤などがあり、各々が標準型・遅延型・促進型に種別されている（表７－２参照）。また、その主成分もポリカルボン酸系、ナフタレン系、メラミン系、アミノスルホン酸系などがあることから、木材廃液と各種混和剤との相性を更に検証する必要がある。

②コンクリートのスランプ増加と混和剤添加率の低減に関する検証。

③コンクリートの空気量の増加と耐久性向上に関する検証。

④コンクリートの練混ぜ水としての品質規定（特に溶解性蒸発残留物の量）を満足するために、木材廃液成分の変動範囲の把握とその対応策の確立。

最後に、木材廃液をコンクリートの練混ぜ水として活用するだけでなく、これによって前述した混和剤添加率の低減によるコストダウンやコンクリートの耐久性向上（長寿命化）などのメリットが確実に得られるとすれば、当該技術の実現性は更に高まるものと期待される。

# 分離型新機能性接着技術の開発

機能性木質新素材技術研究組合
（松下電工株式会社）

## 1. はじめに

建築廃材のリサイクル推進は、建材業界における大きな課題である。市場の建材は、機能向上のために異種材料を複合したものが多く、廃棄処理時にそれらの分離が困難で業者へ処理を委託している現状にある[1),2)]。

平成12年6月に施行された循環型社会形成推進基本法をはじめとした数々の法律の制定により、廃棄物の3R（リデュース、リユース、リサイクル）の推進は今後ますます重要となる。表1に、環境関連法規制の一覧を示す[1)]。

建材の中では、資源有効利用促進法で明記されている浴室部材、キッチン部材、その中で特に金属の複合部が解体容易設計を必須とする部位である。浴室部材では、管理型廃棄物に指定されている石膏ボードと金属の複合体である浴室壁、またキッチン部材では、金属と樹脂、木材の複合体であるキッチンユニットが分離のターゲットとなる。

これらの建築部材では十数年、場合によっては数十年の使用中に接着部位の剥離が生じないように強固に接着されており、廃却時に分離することが困難であるため資源として再利用されることなく埋め立て処分されているのが現状である。また、逆に分離性を優先させた接着設計であったならば、過酷な実使用環境では接着部位が経年的に剥がれてしまう。

以上のような背景のもと、本研究では、これら接着剤の接着耐久性と分離性を両立させる技術の開発およびその技術を実生産へ応用展開することを狙いとした。

**表1　環境関連法規制**

| 法規名 | 施行 | 規制内容 |
|---|---|---|
| 循環型社会<br>形成推進基本法 | 平成12年 6月 | □環境関連法案を束ねる包括法<br>○廃棄物処理の順位の明確化<br>廃棄物の発生抑制（リデュース）＞再利用（リユース）<br>＞再生利用（マテリアルリサイクル）＞熱回収（サーマルリサイクル）<br>＞最終廃棄，埋め立て処分<br>○拡大生産者責任<br>：製品の製造から回収，リサイクルの義務を企業が一定の責任を負う |
| 資源有効利用促進法 | 平成13年 4月 | □再生資源の利用促進<br>**・システムキッチン，浴室部材（特に金属複合部）の解体容易化を明記**<br>（材質表示，部品の取り外し容易化） |
| 改正リサイクル法 | 平成13年 4月 | □リサイクル対策の強化，廃棄物の発生抑制，再利用についての対策導入に重点を置く<br>○住設資材製造業も対象となる（浴室，キッチン他） |
| 改正廃棄物処理法 | 平成13年 4月 | □廃棄物排出業者の管理と不適正処理に対する罰則を一層強化 |
| グリーン購入法 | 平成13年 4月 | □公的部門における環境負荷低減製品の調達推進，及び情報提供 |
| 建設リサイクル法 | 平成14年 5月 | □解体廃棄物のリサイクル，減量化，再資源化の明記<br>かつ，解体業者に建設廃棄物の分別解体を義務化 |

2. 技術開発の目的

建築部材に使用される接着剤は住環境での使用に耐える接着耐久性能が要求される。四季により変化する温度、湿度ストレスや、居住者が与える負荷などに十年以上さらされても剥離が生じないような設計となっている。表 2 に建築部材に使用される代表的な接着剤を示す（コニシ株式会社資料参考）。

表 2 建築部材に使用される代表的な接着剤

| 種類 ＼ 項目 | | 無溶剤型 | | | 溶剤型 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 反応性ホットメルト（PUR） | 水性エマルション | | ウレタン系 | ゴム系 |
| | | | エチレン酢酸ビニル系 | ビニル系 | | |
| 形状 | | 固形 | 水系 | 水系 | 溶剤系 | 溶剤系 |
| 主成分 | | ウレタン樹脂 | エチレン一酢酸ビニル共重合樹脂 | 変性ビニル共重合樹脂 | ウレタン樹脂 | クロロプレンゴム |
| 硬化形態 | | 湿気硬化 | 樹脂の融着 | 樹脂の融着&反応硬化 | 2液反応硬化 | 溶剤飛散 |
| 使用方法 | | 熱溶融 | 原液 | 原液<br>硬化剤混合 | 硬化剤混合 | 原液 |
| 特徴 | 長所 | ・耐熱クリープ性に優れる<br>・乾燥が不要 | ・接着速度が比較的速い<br>・可使時間が長い | ・耐熱クリープ性に優れる<br>・被着体の範囲が広い | ・耐熱クリープ性に優れる<br>・初期タック良好<br>・硬化が速い | ・硬化が速い<br>・曲面接着可能<br>・被着体の範囲が広い |
| | 短所 | ・コスト高<br>・設備費高 | ・クリープ性なし<br>・耐熱性低 | ・乾燥が遅い | ・溶剤の有害性 | ・耐熱性低<br>・溶剤の有害性 |
| 用途 | | ・ラッピング用<br>・難接着材用<br>ステンレス／木<br>人工大理石／木 | ・ラミネート用<br>化粧紙／木<br>樹脂シート／木 | ・ラミネート用<br>樹脂シート／木 | ・ラッピング用 | ・縁貼り用<br>・ポストフォーム用 |

これらの接着剤を用いた建築部材は、役目を終えて解体される際にもなお高い接着性能を有するため、分離が困難である。そのために管理型廃棄物として埋め立て処分されているのが現状である。

一方、分離型接着剤の開発状況を表 3 に示す。これら技術の解体因子としては、熱溶融がほとんどで、他は吸水性樹脂の膨張力を利用したものであり、残念ながら住環境の使用に耐える建材用途の大面積対応の接着力を発現する技術は開発されていない。

以上のように、現状の建築部材に使用される接着剤では分離可能なものはないため、接着剤が使用されている建築部材は管理型の廃棄物として処分されている。この状態が続くと廃棄物処理場や埋め立て処分場も満杯になり、廃材を出すことが困難になるばかりでなく、環境破壊を免れなくなる恐れがある。

そこで、本技術開発では、

① 住環境での使用に耐え得る接着耐久性（耐熱性、耐水性など）と廃棄時の分離性の両立。

② 建築用途の大面積対応が可能。

③ 現有設備、現行プロセスを活用した接着工程。

④ 加熱するだけで分離でき、冷却してからでも分離が可能（作業者の安全性を配慮）。

を基本的考えとし、これら接着剤の接着耐久性と分離性を両立させる技術の開発およびその技術を実生産へ応用展開することを狙いとした。

表 3 分離型接着剤の開発状況

| 接 着 剤 | 開発者(企業) | 分離方法 | 特　　徴 |
|---|---|---|---|
| ■熱溶融型エポキシ系接着剤 | ナガセケムテックス㈱（大阪） | 加　熱 | <接着剤><br>従来のエポキシ系接着剤が3次元網目形状を形成して硬化するのに対し、直鎖構造を形成するように接着剤を設計<br>→これにより、加熱することで分子鎖の剛直さが弱まり、剥離可能となる。<br>（※日経ﾃｸﾉﾌﾛﾝﾃｨｱ:H13／8） |
| ■オールオーバー工法・ホットメルト系接着剤（ﾎﾟﾘｱﾐﾄﾞ、ｴﾎﾟｷｼ） | 東京電気大学<br>ブラウニー㈱<br>アキレス㈱<br>コニシ㈱ | 磁気加熱（金属ﾌｨﾙﾑ使用） | <接着剤><br>交流磁場をかけることで、金属ﾌｨﾙﾑ内に電流が流れ、200℃程度の熱が発生して、ホットメルト系接着剤が溶融し、剥離可能となる（日経産業新聞:H13／8） |
| ■可剥離型ホットメルト接着剤 | 化研テック㈱（大阪） | 温水浸漬 | <接着剤>「エコセパラ」<br>温水浸漬で接着剤が溶融し、剥離可能となる<br>（日本経済新聞） |
| ■加熱膨張型接着剤「はがせ～る」 | 松下電工㈱<br>コニシ㈱（大阪） | 加　熱 | <接着剤><br>加熱膨張型機能材料を接着剤中に配合し、その加熱膨張時に接着剤が軟化するように設計することで、剥離可能となる。<br>（※読売、日本経済新聞　他:H14／11） |

3. 技術開発の内容

3. 1　理論

3. 1. 1　分離の原理

接着力を発現する因子としては、一般に水素結合および分子間力が主体的であるといわれており [3),4)]、これらの力に打ち勝つ被着体同士を分離させる手段が必要となる。本開発技術の原理としては、通常の使用環境では到達しない高温域で膨張する熱膨張型機能材料を接着剤中に分散させ、リサイクル時に高温加熱することで機能材料が膨張し、その膨張力で接着界面に応力が発生し分離が可能となるものである。分離のメカニズムを図 1 に、熱膨張型機能材料の構造を図 2[5)] に示す。

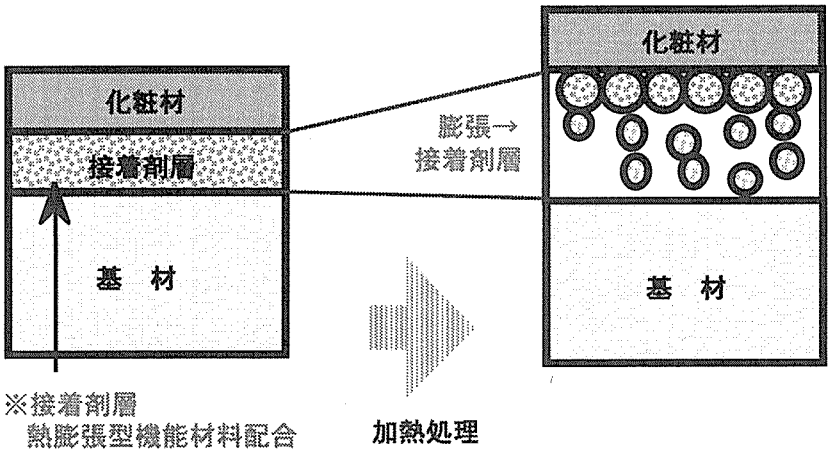



図１　分離のメカニズム

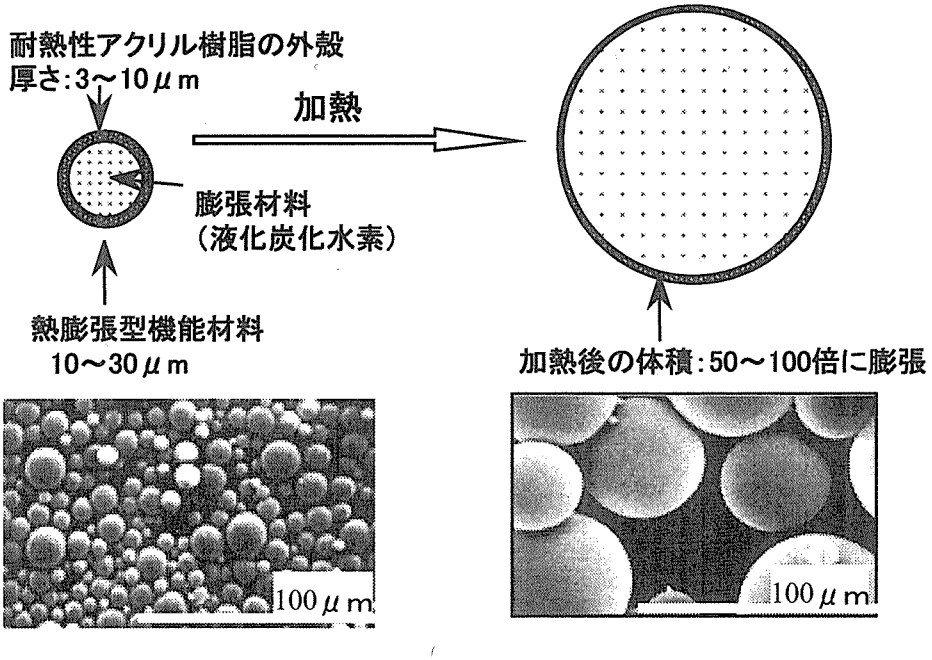



図２　熱膨張型機能材料の構造

3.1.2　分離のプロセス

図３に分離のプロセスを示す。プロセスは以下の段階を踏むことになる。

①加熱すると熱膨張型機能材料の膨張と同時に接着剤被膜が軟化し、膨張による接着界面への応力発生と接着力の低下が起こる。

②加熱終了後、接着剤と被着体の熱収縮により、接着界面に応力が発生し、さらに被着体の熱膨張による応力も発生する。

③接着力低下と合わせて、複合部材から成る建材が分離される。

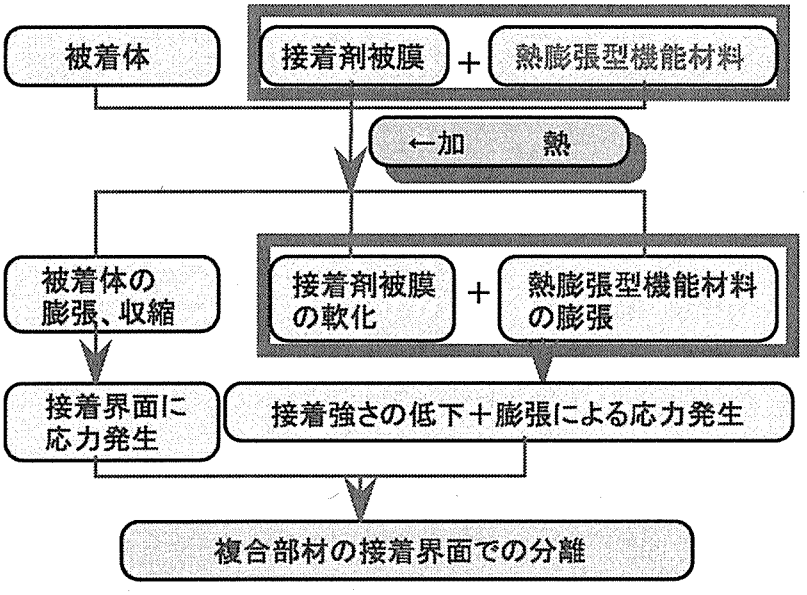



図 3　複合部材の分離プロセス

3.2　試験研究の方法

3.2.1　弾性系接着剤での接着分離技術の開発

本接着剤は、浴室、キッチン等で使用される鋼板とセメント板の複合体、および鋼板と樹脂板の複合体の分離を目的とした。開発のステップを以下に示す。

① 弾性系接着剤の基本組成、配合の検討

② 上記接着剤による複合部材の接着、分離性の検討

③ 上記接着剤を使用したキッチンユニットの実大サイズでの検討

3.2.1.1　弾性系接着剤の基本組成、配合の検討

分離型接着剤の設計において、熱膨張型機能材料が膨張する際に接着剤皮膜がその膨張を妨げないように柔軟化すること、また熱膨張型機能材料は接着力低下への影響が小さく、かつ分離も容易という観点から、組成、配合を導き出すことが重要となる。

本接着剤設計では、主成分として変成シリコーン系樹脂、加熱時の柔軟性を付与するエーテル系樹脂、脱水剤としてテトラエトキシシラン、充填剤として炭酸カルシウムを選定し、このうち接着剤設計において重要となる、脱水剤および熱膨張型機能材料の配合について検討を行った。

3.2.1.1.1　脱水剤配合量の影響

弾性系接着剤の基本組成において、脱水剤配合量が貯蔵安定性、接着性および分離性に及ぼす影響について検討した。貯蔵安定性は粘度上昇率、接着性は接着強度、分離性は接着剤の伸び率を各々の代用特性とし、脱水剤配合量を 2～10％としたときの、各々の特性との関係を調べた。

3.2.1.1.2　熱膨張型機能材料配合量の影響

脱水剤と同様に、熱膨張型機能材料の配合量を 3～20％としたときの貯蔵安定性、接着性および分離性に及ぼす影響について検討した。

3.2.1.2　弾性系接着剤による複合部材の接着、分離性の検討

3.2.1.2.1　試験体作製

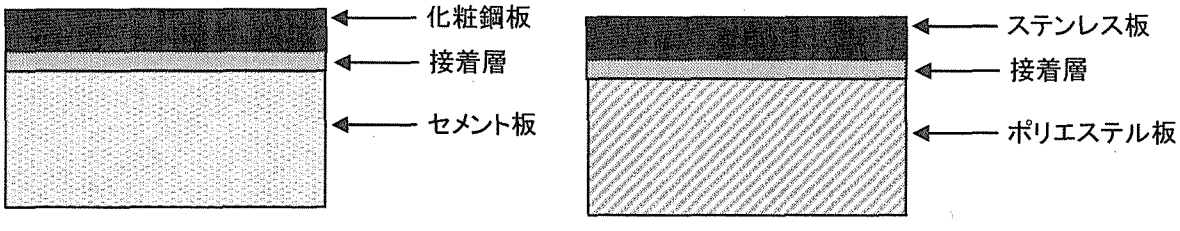
①　化粧鋼板とセメント板複合体

150mm 角、9mm 厚のセメント板に開発した接着剤を 0.15kg/m²均一塗布し、0.6mm 厚の化粧鋼板を 20℃、0.5MPa で圧締した後、20℃で 72 時間養生した。

②　ステンレス板と樹脂板複合体

150mm 角、8mm 厚のポリエステル製樹脂板に開発した接着剤を 0.15kg/m²均一塗布し、0.6mm 厚のステンレス板を 20℃、0.5MPa で圧締した後、20℃で 72 時間養生した。

各々の試験体の構成断面図を図 4 に示す。




①　化粧鋼板とセメント板複合体　　②　ステンレス板と樹脂板複合体

**図 4　試験体の構成断面図**

3.2.1.2.2　接着性の検討

作製した試験体について、住環境での使用を想定し、下記に示す接着耐久試験を行った。

・平面引張試験
・寒熱繰り返し試験（60℃で 8 時間放置、-20℃で 8 時間放置を 1 サイクルとして、10 サイクル実施）
・耐熱長期試験（60℃雰囲気下で 30 日間放置）
・耐湿長期試験（60℃95％RH 雰囲気下で 30 日間放置）
・耐水試験（20℃の水中で 7 日間放置）

3.2.1.2.3　分離性の検討

作製した試験体について、初期及び接着耐久試験後に加熱分離を行った。加熱方法は、遠

赤外線加熱炉を用い、炉内温度を 500℃、試験体表面温度が 150～180℃になるように設定して、2 分間行った。

3.2.1.3　キッチンユニット実大サイズでの検討

弾性系接着剤を用い、キッチンユニット製造への応用展開を図るため、実大サイズでの検討を行った。キッチンユニットの製造工程を以下に示す。

① 樹脂カウンター裏面に補強木を接着

② ゴムパッキンを介して、シンクを固定

③ 2 液ウレタン樹脂を注入して、硬化養生

キッチンユニットの断面構成図を図 5 に示す。

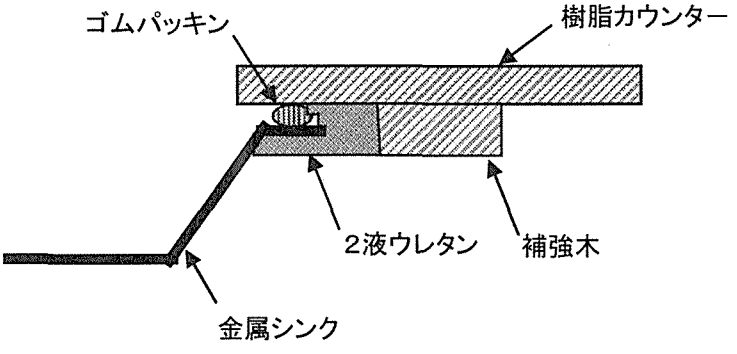



図 5　キッチンユニット断面構成図

樹脂カウンターと金属シンクおよび補強木を接着する 2 液ウレタン樹脂は熱硬化性樹脂であり、樹脂硬度は非常に高く、加熱しても柔軟化しないことから、2 液ウレタン樹脂に直接、熱膨張型機能材料を配合し加熱分離を行うことは困難であった。

そこで、2 液ウレタン樹脂の注入前に、シンクの設置位置周辺に開発した弾性系接着剤をプライマーとして塗布する方法を検討した。

3.2.1.3.1　実大サイズ試験体の作製

補強木が接着され、開口部のある幅 650mm、長さ 900mm、厚さ 8mm の樹脂カウンターのシンク設置部周辺に開発した接着剤を 0.15 kg/m²均一塗布し、ゴムパッキンを介して、シンクを設置した状態で 2 液ウレタンを注入し、20℃で 72 時間養生した。

この試験体の断面構成図を図 6 に示す。

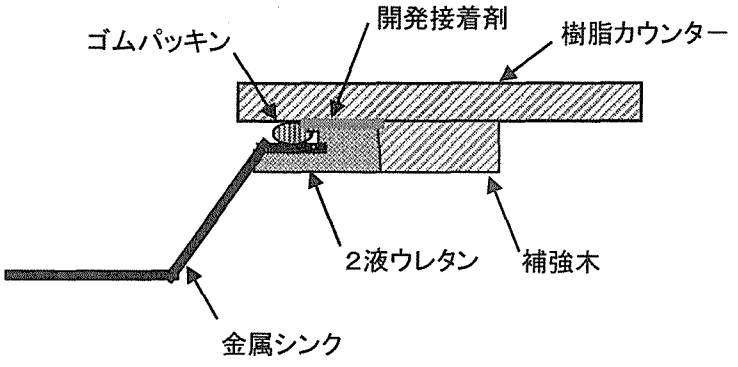



**図 6　試験体の断面構成図**

3.2.1.3.2　接着性の検討

作製した試験体について、住環境での使用を想定し、下記に示す接着耐久試験を行い、各試験後に接着剥離やシンクを満水状態にしたときの漏水があるかどうかを調べた。

・寒熱繰り返し試験（60℃で 2 時間放置、-20℃で 2 時間放置を 1 サイクルとして、100 サイクル実施）

・温湿度サイクル耐久性試験（40℃10％RH で 8 時間放置、40℃90％RH で 16 時間放置を 1 サイクルとして、7 サイクル実施）

・耐熱長期試験（60℃雰囲気下で 240 時間放置）

・耐寒長期試験（-20℃雰囲気下で 96 時間放置）

・耐熱性試験（100℃雰囲気下で 8 時間放置）

・耐衝撃荷重試験（砂袋 15kg を 50cm 高さから落下）

3.2.1.3.3　分離性の検討

作製した試験体について、初期および接着耐久試験後に加熱分離を行った。加熱方法は、熱風乾燥機を用い、180～200℃で 15 分間行った。

3.2.2　エマルジョン系接着剤での接着分離技術の開発

本接着剤は、浴室、内装材等で使用される、化粧鋼板と石膏ボードの複合体、および樹脂化粧シートと木質材の複合体の接着分離を目的とした。開発のステップを以下に示す。

① エマルジョン系接着剤の基本組成、配合の検討

② 上記接着剤による複合部材の接着、分離性の検討

③ 低融点オレフィン系化粧シートと木質材との分離方法の検討

3.2.2.1　エマルジョン系接着剤の基本組成、配合の検討

化粧鋼板と石膏ボードの複合体や樹脂化粧シートと木質材の複合体においては、水性エマルジョン系接着剤が一般的に使用されており、複合体の使用環境により汎用タイプ品と高耐

熱グレード品とがある。

汎用タイプ品は、プラスチック材料との接着性が比較的良好であるエチレン－酢酸ビニル樹脂共重合系エマルジョン（以下、EVA エマルジョン）が主成分として使用されており、通常は硬化剤を配合することなく、そのまま使用される。

一方、高耐熱グレード品はEVAエマルジョンに耐熱クリープ性能を付与する目的でポリウレタン樹脂系エマルジョンが配合されており、通常は使用直前にヘキサメチレンジイソシアネート（以下、HDI）系硬化剤を配合して使用される。

本開発においては、窓枠のように直射日光が当たる部分でも使用可能となるように、耐熱クリープ性を重視し、ポリウレタン樹脂の配合を標準とした。また熱膨張型機能材料の配合量においては、弾性系接着剤で検討した知見をもとに、10％を基本配合量とした。

樹脂化粧シート／木質材用接着剤の設計において特に注意しなければならない点は、低温雰囲気（2～5℃）における接着作業において、樹脂シートへの「ぬれ性」が低下することにより界面剥離現象を呈し、接着不良が発生する可能性があることである。このため、汎用タイプ品および高耐熱グレード品とも、低温雰囲気下においても樹脂シートへの十分なぬれ性確保のため、トルエン、キシレンに代表される芳香族有機溶剤が 3～10％程度配合されている。

しかし、トルエンおよびキシレンはシックハウスの原因物質のひとつとされており、厚生労働省が定める室内濃度に関する指針値策定揮発性有機溶剤である。上記理由により、特に近年、住宅内装部材として使用される材料に用いられる接着剤については、トルエンおよびキシレンを配合していないものが求められており、低温雰囲気下において樹脂シートへのぬれ性を確保し、良好な接着性を発現させるトルエンおよびキシレンの代替物質として、脂肪酸エステル類やグリコール系高沸点有機溶剤が提案されている。

しかしながら、脂肪酸エステル類やグリコール系高沸点有機溶剤を本接着剤に配合すると、長期保管時に、熱膨張型機能材料の外殻であるアクリル系樹脂が可塑化作用を受け、接着剤中で分散できなくなることがわかった。

3.2.2.2　EVAエマルジョンへのアクリル樹脂の重合の検討

樹脂シートへのぬれ性を確保し、良好な接着性を発現させるための代替溶剤を探索することは困難であったため、EVAエマルジョンの存在下で、アクリル樹脂を重合することにより、EVAエマルジョンの表面粒子を柔軟化することを検討した。

この表面粒子の変性前後の接着剤にて、塩化ビニル（PVC）、ポリプロピレン（PP）、ポリエチレンテレフタレート（PET）の各シートと合板を、2℃雰囲気下で、接着剤を 0.1kg／$m^2$均一塗布し、0.5MPa で 3 時間圧締した後、72 時間養生した。そして、2℃雰囲気下にて強制剥離を行い、破壊状態を調べた。

3.2.2.3　接着剤のロール適性の検討

エマルジョン系接着剤は、ロールコーターにて塗布されることが多いため、その適性を調べた。ロールスプレッダーに接着剤を入れ、ロールスピード 30m／分で空運転を行ったときの BH 型粘度計 10r／分の粘度を測定した。

3.2.2.4　接着剤の貯蔵安定性の検討

長期保管時の安定性を調べるため、40℃にて長期間放置し、粘度上昇を測定した。

3.2.2.2　エマルジョン系接着剤による複合部材の接着、分離性の検討

3.2.2.2.1　試験体作製

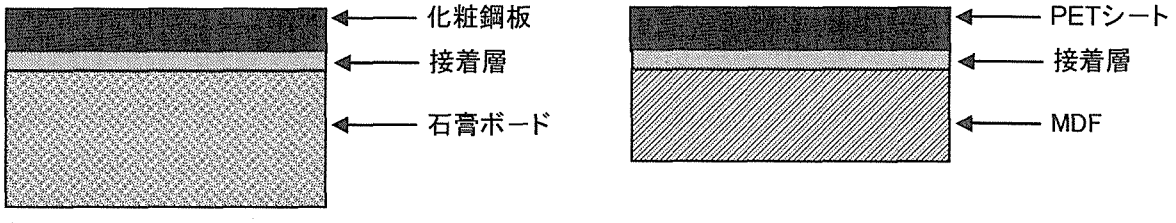
①　化粧鋼板と石膏ボード複合体

150mm 角、12mm 厚の石膏ボードに開発した接着剤を 0.1 kg/m²均一塗布し、0.6mm 厚の化粧鋼板を 20℃、0.5MPa で 3 時間圧締した後、20℃で 72 時間養生した。

②　樹脂化粧シートと木質材複合体

150mm 角、2.7mm 厚の中密度繊維板（MDF）に開発した接着剤を 0.1kg/m²均一塗布し、0.07 mm 厚の化粧ポリエチレンテレフタレート（PET）シートを 20℃、0.5MPa で 3 時間圧締した後、20℃で 72 時間養生した。

図 7 に試験体の構成断面図を示す。




①　化粧鋼板と石膏ボード複合体　　②　PET シートと MDF 複合体

**図 7　試験体の構成断面図**

3.2.2.2.2　接着性の検討

作製した試験体について、住環境での使用を想定し、下記に示す接着耐久試験を行った。

①　化粧鋼板と石膏ボード複合体

・平面引張試験
・耐熱長期試験（65℃雰囲気下で 30 日間放置）
・耐湿長期試験（60℃95％RH 雰囲気下で 30 日間放置）
・　寒熱繰り返し試験（60℃で 8 時間放置、-20℃で 8 時間放置を 1 サイクルとして、15 サイクル実施）
・乾湿繰り返し試験（40℃30％RH で 8 時間放置、40℃90％RH で 16 時間放置を 1 サイクルとして、10 サイクル実施）

②　樹脂化粧シートと木質材複合体

・ピーリング試験（25mm 幅のシートを 180° の角度で、200mm/min で引っ張る）
・寒熱繰り返し試験（60℃で 2 時間放置、-20℃で 2 時間放置を 1 サイクルとして、6 サイクル実施）
・耐熱クリープ試験（60℃雰囲気下で、25mm 幅のシートに 90° の角度で、500g の静荷重をかけ、1 時間後の剥離長さを測定）

3.2.2.2.3　分離性の検討

作製した試験体について、初期および接着耐久試験後に加熱分離を行った。加熱方法は、遠赤外線加熱炉を用い、炉内温度を 500℃、試験体表面温度が 150～180℃になるように設定して、2 分間行った。

3.2.2.3　低融点オレフィン系化粧シートと木質材との分離方法の検討

表面化粧シートの材料として、PET 以外にも、ポリエチレン（PE）やポリプロピレン（PP）のようなオレフィン系材料が使用される。しかしながら、これらのシートを使用すると、加熱分離の際に、化粧シートが基材に融着してうまく分離できないという問題がある。この原因は、今回検討している熱膨張型機能材料が約 100℃で膨張を開始するが、その温度と PE の融点がほぼ同じであるからである。

この問題を解決するために、膨張開始温度が低いタイプの熱膨張型機能材料を選定することも考えられるが、そうすると、通常の使用環境でも高温にさらされると、分離する可能性がある。

そこで、熱膨張型機能材料の配合量と加熱条件（温度、時間）を検討することで、低融点オレフィン系化粧シートの加熱分離が可能かどうかを調べた。

3.2.2.3.1　試験体作製

300mm 角、2.7mm 厚の MDF に、熱膨張型機能材料の配合量を 10～35％とした開発接着剤を 0.1kg／$m^2$均一塗布し、0.16mm 厚のオレフィン系シート（PE と PP の複合シート）を 20℃、0.5MPa で 3 時間圧締した後、72 時間養生した。

3.2.2.3.2　接着性の検討

作製した試験体について、住環境での使用を想定し、下記に示す接着耐久試験を行った。
・ピーリング試験（25mm 幅のシートを 180° の角度で、200mm/min で引っ張る）
・寒熱繰り返し試験（60℃で 2 時間放置、-20℃で 2 時間放置を 1 サイクルとして、6 サイクル実施）
・耐熱クリープ試験（60℃雰囲気下で、25mm 幅のシートに 90° の角度で、500g の静荷重をかけ、1 時間後の剥離長さを測定）

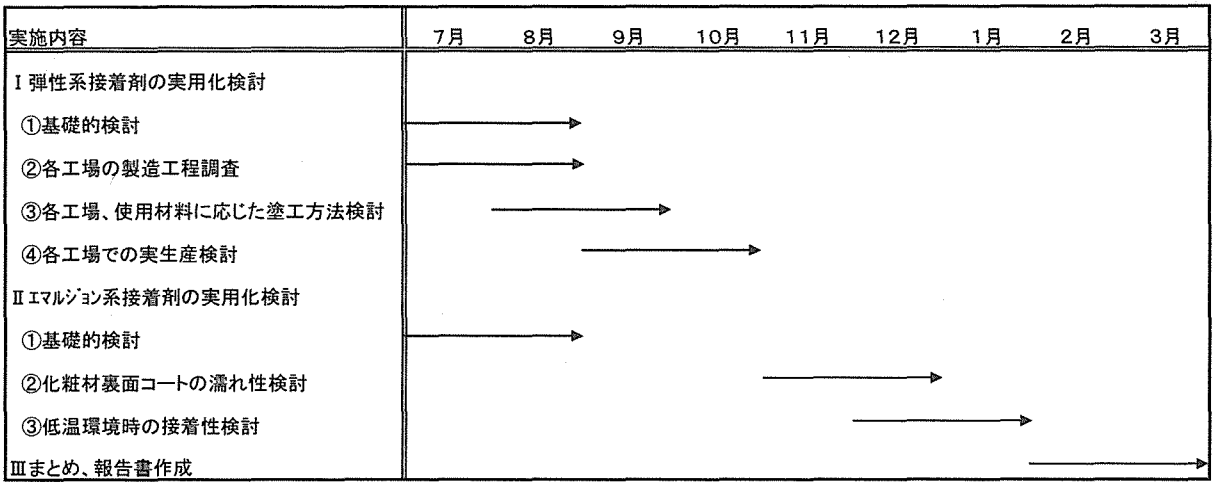
3.2.2.3.3　分離性の検討

作製した試験体について、加熱分離を行った。加熱方法は、遠赤外線による加熱では急激な温度上昇により、うまく分離できなかったため、熱風乾燥機内で、試験体の周囲から徐々に加熱する方法を行った。乾燥機内の設定温度を100～130℃、加熱時間を1～20分として分離できる条件を検討した。

## 4.　技術開発の日程

本技術開発のスケジュールを表4に示す。

表4　技術開発のスケジュール




## 5. 事業の実施場所

本技術開発の主な実施場所を表5に示す。

表5　本技術開発の主な実施場所

| 実施内容 | 実施場所 | 住所 |
|---|---|---|
| Ⅰ弾性系接着剤の実用化検討 | | |
| ①基礎的検討 | 松下電工株式会社住建総合技術センター | 大阪府門真市大字門真1048 |
| ②各工場の製造工程調査 | 豆陽工場株式会社他 | 京都府八幡市内里女谷3番地の1 |
| ③各工場、使用材料に応じた塗工方法検討 | 松下電工株式会社住建総合技術センター | 大阪府門真市大字門真1048 |
| ④各工場での実生産検討 | 豆陽工場株式会社他 | 京都府八幡市内里女谷3番地の1 |
| Ⅱエマルジョン系接着剤の実用化検討 | | |
| ①基礎的検討 | 松下電工株式会社住建総合技術センター | 大阪府門真市大字門真1048 |
| ②化粧材裏面コートの濡れ性検討 | 松下電工株式会社住建総合技術センター | 大阪府門真市大字門真1048 |
| ③低温環境時の接着性検討 | 松下電工株式会社住建総合技術センター | 大阪府門真市大字門真1048 |
| Ⅲまとめ、報告書作成 | 松下電工株式会社住建総合技術センター | 大阪府門真市大字門真1048 |

6.　試験研究の結果

6.1　弾性系接着剤での接着分離技術の開発

6.1.1　弾性系接着剤の基本組成、配合の検討

脱水剤配合量と貯蔵安定性（粘度上昇率）、接着性（接着強度）および分離性（接着剤伸び率）との関係をそれぞれ図8、図9、図10に示す。

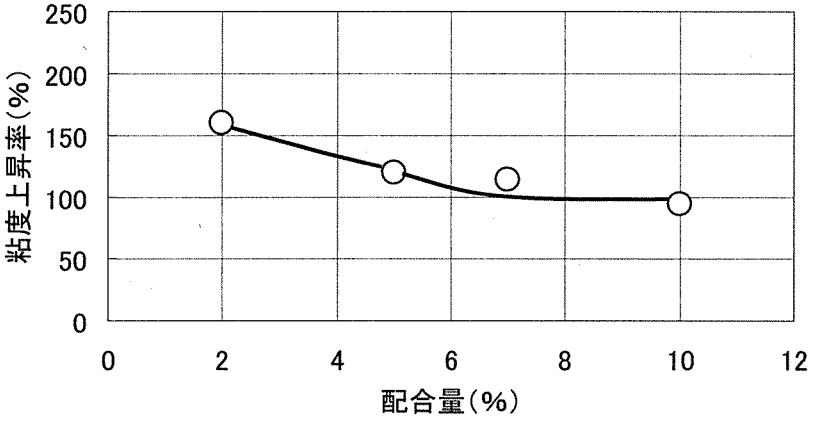



図8　脱水剤配合量と粘度上昇率との関係

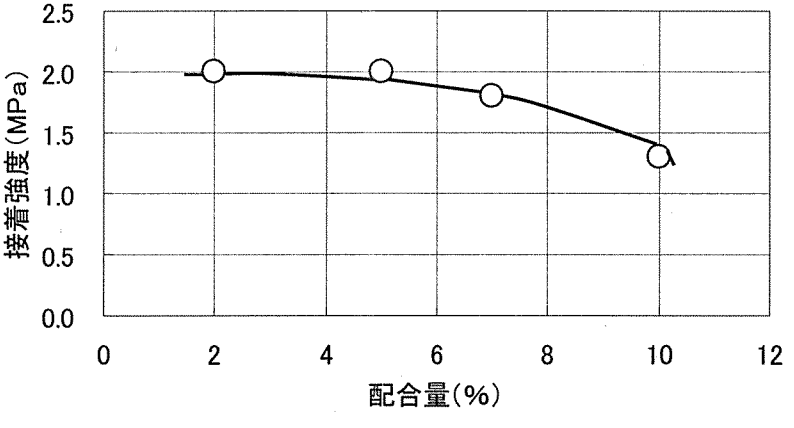



図9　脱水剤配合量と接着強度との関係

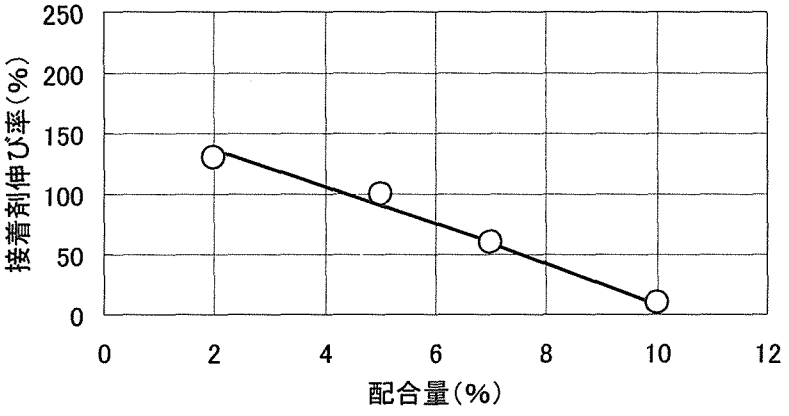



図 10　脱水剤配合量と接着剤伸び率との関係

図 8 より、脱水剤配合量が 2%になると、水分の影響で接着剤の粘度が初期の 160%まで上昇し、貯蔵安定性が低くなることがわかった。

図 9 より、接着力は脱水剤の配合量が増えるに従って低下し、10%配合では接着力は 2%配合の 60%程度まで低下することがわかった。

図 10 より、脱水剤の配合量とともに伸び率は低下し、10%配合量では、20%程度しか伸びず、熱膨張型機能材料の膨張の妨げになる可能性があることがわかった。

以上、脱水剤配合量は 4～8%が適していることから、基本配合量を 5%とした。

熱膨張型機能材料の配合量と貯蔵安定性（粘度上昇率）、接着性（接着強度）および分離性（接着剤伸び率）との関係をそれぞれ図 11、図 12、図 13 に示す。

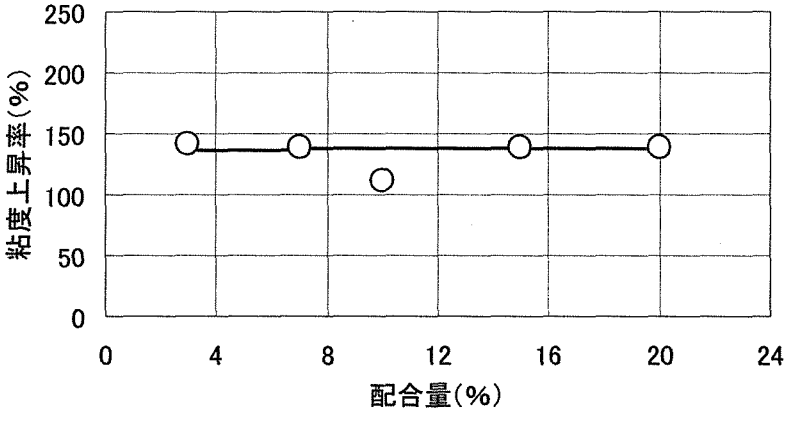



図 11　熱膨張型機能材料配合量と粘度上昇率との関係

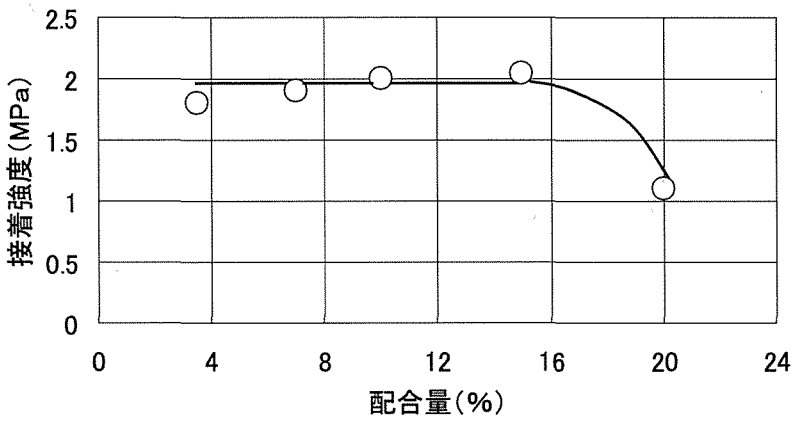



図 12　熱膨張型機能材料配合量と接着強度との関係

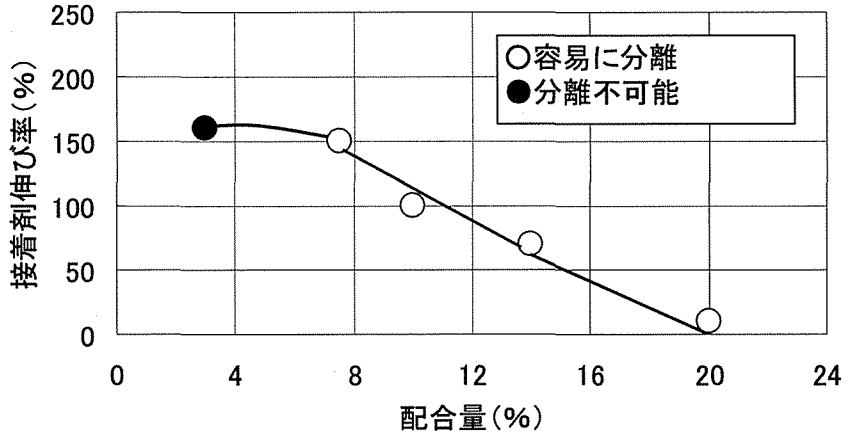



図 13　熱膨張型機能材料配合量と接着剤伸び率との関係

図 11 より、熱膨張型機能材料の配合量が 3～20％の範囲においては、粘度上昇率は同程度であり、本範囲内であれば、貯蔵安定性は問題ないと考えられる。

図 12 より、熱膨張型機能材料の配合量が 15％までは接着力の低下は認められないが、20％になると接着剤中の樹脂成分割合が減少することに起因し、接着力は 50％程度低下することがわかった。

図 13 より、熱膨張型機能材料の配合量とともに伸び率は低下し、20％配合量では 10％程度しか伸びず、弾性体としての性能が低下する可能性があることがわかった。また熱膨張型機能材料の配合量が 2％では複合体の分離は不可能であった。

以上、熱膨張型機能材料の配合量は 5～15％が適していることから、基本配合量を 10％とした。

表 6 に開発した弾性系接着剤の基本組成を示す。

表 6　弾性系接着剤の基本組成

| 成分 | 配合割合(%) | 効果 |
|---|---|---|
| 変成シリコーン系樹脂 | 30 | 接着主成分 |
| エーテル系樹脂 | 10 | 柔軟性付与 |
| テトラエトキシシラン | 5 | 脱水剤 |
| 炭酸カルシウム | 45 | 充填剤 |
| 熱膨張型機能材料 | 10 | 加熱分離 |

また、図 14 に開発した弾性系接着剤の硬化状態および加熱した際の膨張状態を示す。接着剤は加熱により初期の 200～300％の体積まで膨張した。

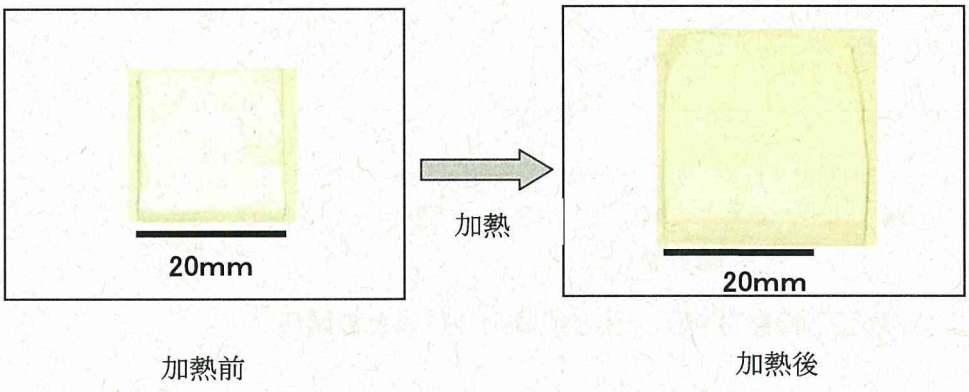



図 14　弾性系接着剤の加熱による膨張

6.1.2　弾性系接着剤による複合部材の接着、分離性の検討

表 7 に、試験体の接着耐久試験およびその後の分離性評価の結果を示す。

表 7　試験体の接着耐久試験およびその後の分離性

| 試験項目 | 試験条件 | 接着性（接着強度） | | 加熱分離性 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 鋼板とセメント板複合体 | ステンレス板と樹脂板複合体 | 鋼板とセメント板複合体 | ステンレス板と樹脂板複合体 |
| 初期 | － | 2.0MPa | 2.0MPa | ○（容易に分離） | ○（容易に分離） |
| 寒熱繰り返し試験 | 60℃で8時間放置、<br>−20℃で8時間放置を<br>1サイクルとして、<br>10サイクル実施 | 2.4MPa | 2.5MPa | ○（容易に分離） | ○（容易に分離） |
| 耐熱長期試験 | 60℃雰囲気下で<br>30日間放置 | 2.5MPa | 2.9MPa | ○（容易に分離） | ○（容易に分離） |
| 耐湿長期試験 | 60℃95%RH<br>雰囲気下で<br>30日間放置 | 2.6MPa | 2.4MPa | ○（容易に分離） | ○（容易に分離） |
| 耐水試験 | 20℃の水中で<br>7日間放置 | 1.3MPa | 1.2MPa | ○（容易に分離） | ○（容易に分離） |

いずれの試験項目においても、接着層の剥離はなく、接着耐久性は十分あることがわかった。耐水試験においては、初期の 70％程度に接着力は低下するが、本接着力は、通常建材に使用される合板の材料破壊強度（1MPa）よりも高く、実用上問題ないと考えられる。また、耐久試験後において、遠赤外線加熱により、分離性は容易であった。

### 6.1.3　キッチンユニット実大サイズでの検討

表 8 に、実大サイズ試験体の接着耐久試験の結果を示す。

表 8　実大サイズ試験体の接着耐久試験の結果

| 試験項目 | 試験条件 | 結果 |
|---|---|---|
| 初期 | ― | ○（剥離、漏水等なし） |
| 寒熱繰り返し試験 | 60℃で2時間放置、-20℃で2時間放置を1サイクルとして、100サイクル実施 | ○（剥離、漏水等なし） |
| 温湿度サイクル耐久性試験 | 40℃10%RHで8時間放置、40℃90%RHで16時間放置を1サイクルとして、7サイクル実施 | ○（剥離、漏水等なし） |
| 耐熱長期試験 | 60℃雰囲気下で240時間放置 | ○（剥離、漏水等なし） |
| 耐寒長期試験 | -20℃雰囲気下で96時間放置 | ○（剥離、漏水等なし） |
| 耐熱性試験 | 100℃雰囲気下で8時間放置 | ○（剥離、漏水等なし） |
| 耐衝撃荷重試験 | 砂袋15kgを50cm高さから落下 | ○（剥離、漏水等なし） |

過酷な環境下で試験を行ったにもかかわらず、接着性は良好であった。各試験終了後に 100kg の荷重をかけ、さらにシンクを満水にした状態で、漏水がないかどうかを調べたが、問題はなかった。

図 15 に、試験の状態を示す。

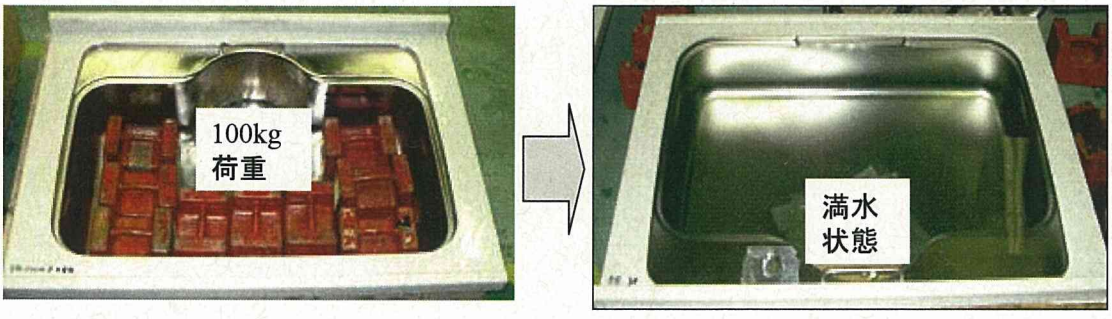
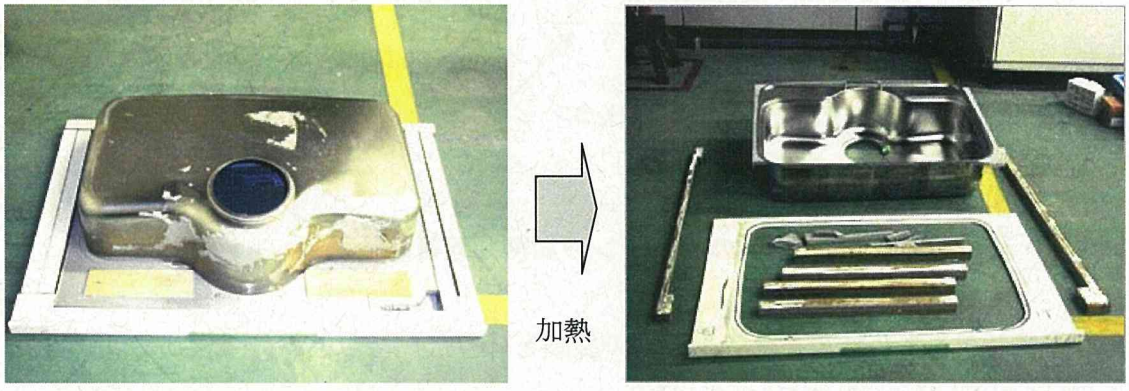



図 15　実大サイズ試験体の接着耐久試験後の 100kg 荷重、満水試験

一連の接着耐久試験が終了後、試験体を熱風乾燥機に入れ、180～200℃で15分間加熱したところ、分離性は良好であった。

図16に、加熱分離前後の試験体を示す。




加熱前　　加熱後

**図16　実大サイズ試験体の接着耐久試験後の加熱分離**

6.1.4　キッチンユニットにおける接着分離技術の工場展開

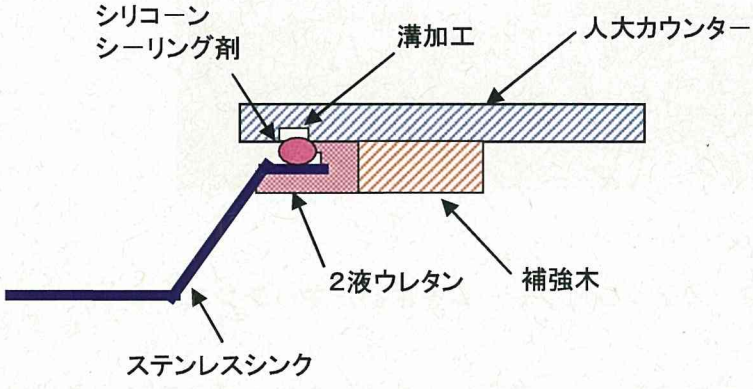



**図17　図5と異なるキッチン断面**

図5に示すような構成のキッチンの金属シンクの取り付け部位への加熱分離可能接着剤の塗布は可能となったが、図17に示すようなキッチンでは製造ラインのタクトの問題から従来のようなプライマー塗布はできなかった。

そこで図18に示すようにシリコーンシーリング剤を発泡剤配合の変成シリコーンとし接着耐久性及び加熱分離性を評価した。

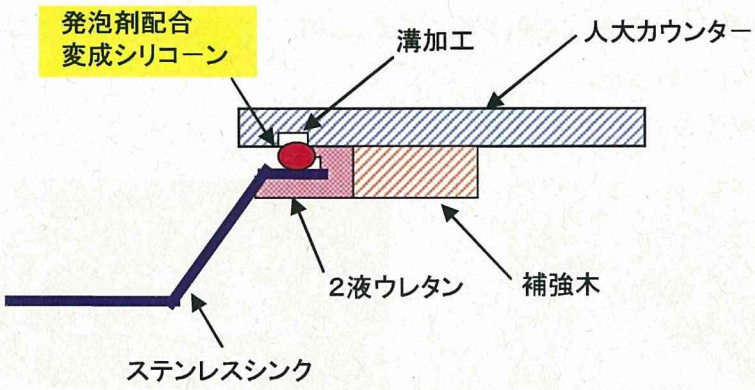



図 18　図 17 のキッチンの加熱分離可能仕様

3.2.2.2.2 及び 3.2.2.2.3 に示したのと同様の試験を行ったが接着性、分離性とも問題はなかった。

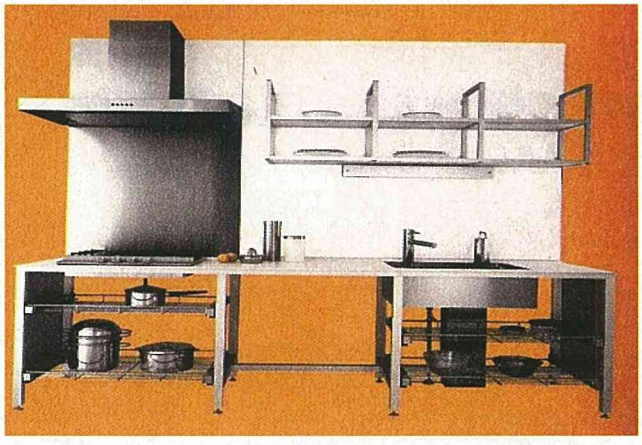


図 19　ステンレスフレームを用いたキッチンユニット

また、図 19 に示すようなステンレスフレームを用いたキッチンユニットにおいても加熱分離可能接着剤の塗布を行い、上記と同様の接着耐久性、加熱分離性を評価した。

耐久性、加熱分離性とも問題なかった。

6.2　エマルジョン系接着剤での接着分離技術の開発

6.2.1　エマルジョン系接着剤の基本組成、配合の検討

6.2.1.1　EVA エマルジョンへのアクリル樹脂の重合の検討

樹脂化粧シートへのぬれ性を確保し、良好な接着性を発現させるため、EVA エマルジョンの表面粒子をアクリル変性した効果を表 5 に示す。

表 9　接着剤のアクリル変性による樹脂シートへのピーリング試験

| | PVCシート | PPシート | PETシート |
|---|---|---|---|
| 変性なしEVA/ポリウレタンエマルジョン | ×<br>（シート界面で剥離） | ×<br>（シート界面で剥離） | ×<br>（シート界面で剥離） |
| 変性なしEVA/ポリウレタンエマルジョン | ○<br>（木破100%） | ○<br>（木破100%） | ○<br>（木破100%） |

変性により、低温下での樹脂シートへのぬれ性が改善された。

6.2.1.2　接着剤のロール適性の検討

ロールスプレッダー上で空運転させたときの粘度の変化を、図 20 に示す。

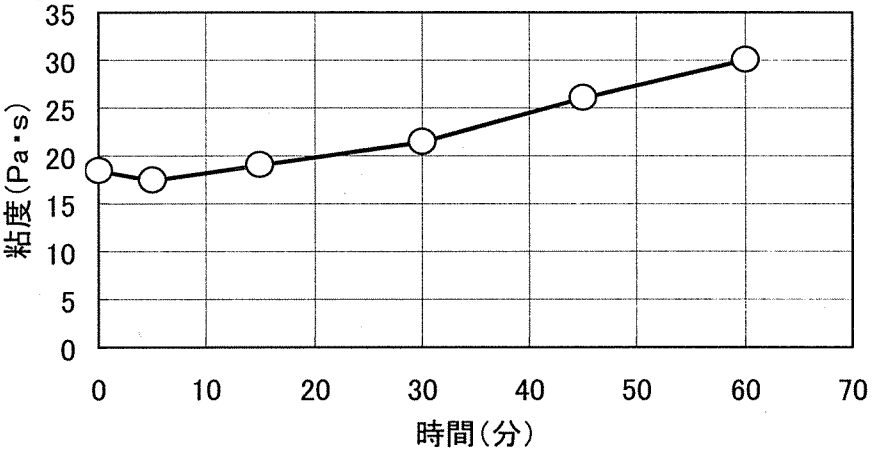



図 20　ロールスプレッダー空運転時の接着剤の粘度変化

粘度上昇率は、30 分後で約 116%、60 分後でも約 162%であり、この程度であれば、実用上問題ないと考えられる。

6.2.1.3　接着剤の保管安定性の検討

接着剤を 40℃にて長期間放置し、粘度上昇を測定した結果を、図 21 に示す。

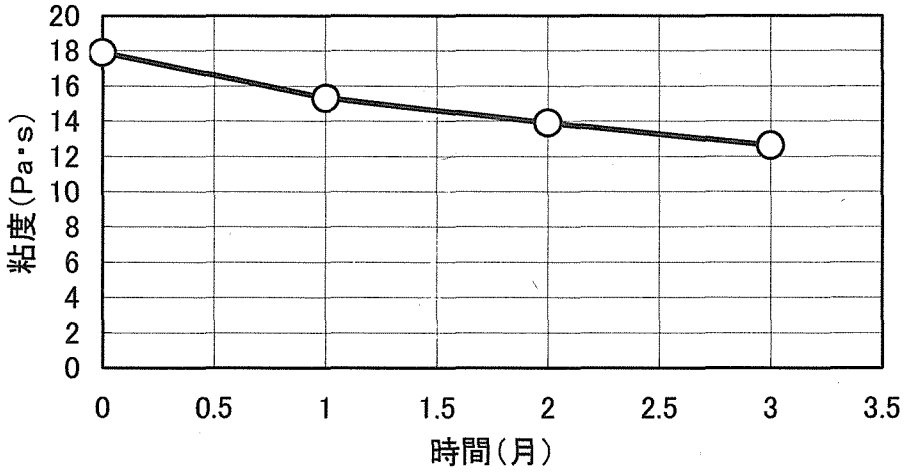



図 21　40℃での長期保管時の接着剤の粘度変化

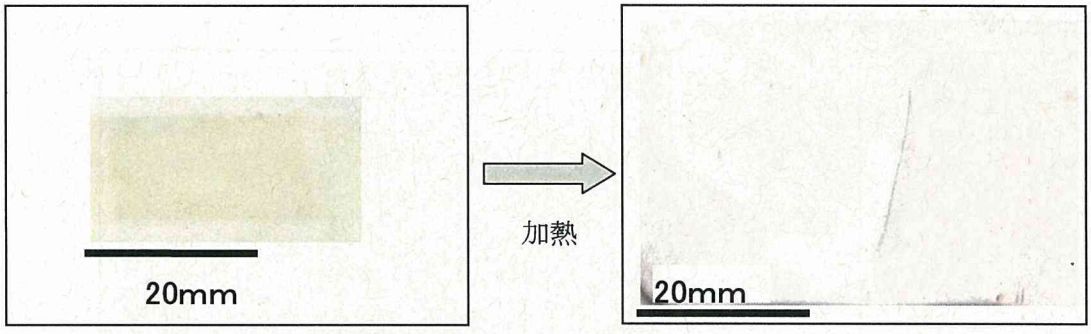
粘度は、3 カ月経過後でも初期の約 70％を維持しており、この程度であれば、実用上問題ないと考えられる。

表 10 に開発したエマルジョン系接着剤の基本組成を示す。

表 10　エマルジョン系接着剤の基本組成

| 成分 | 配合割合（％） | 効果 |
|---|---|---|
| エチレン－酢酸ビニル系樹脂 | 70 | 接着主成分 |
| ウレタン系樹脂 | 10 | 耐熱性付与 |
| アクリル系樹脂 | 10 | 樹脂シートの低温接着性改善 |
| 熱膨張型機能材料 | 10 | 加熱分離 |

また、図 22 に開発したエマルジョン系接着剤の硬化状態および加熱した際の膨張状態を示す。接着剤は加熱により初期の 400～500％の体積まで膨張した。




加熱前　　加熱後

図 22　エマルジョン系接着剤の加熱による膨張

6.2.2　エマルジョン系接着剤による複合部材の接着、分離性の検討

6.2.2.1　化粧鋼板と石膏ボード

化粧鋼板と石膏ボード複合体の接着耐久試験およびその後の分離性評価の結果を、表 11 に示す。

表 11　化粧鋼板と石膏ボード複合体の接着耐久試験およびその後の分離性

| 試験項目 | 試験条件 | 接着性（接着強度） | 加熱分離性 |
|---|---|---|---|
| 初期 | ― | 0.3MPa<br>（石膏ボード材料破壊） | ○（容易に分離） |
| 耐熱長期試験 | 65℃雰囲気下で<br>30日間放置 | 0.3MPa<br>（石膏ボード材料破壊） | ○（容易に分離） |
| 耐湿長期試験 | 60℃95％RH雰囲気下で<br>30日間放置 | 0.3MPa<br>（石膏ボード材料破壊） | ○（容易に分離） |
| 寒熱繰り返し試験 | 60℃で8時間放置、<br>-20℃で8時間放置を<br>1サイクルとして、<br>15サイクル実施 | 0.3MPa<br>（石膏ボード材料破壊） | ○（容易に分離） |
| 乾湿繰り返し試験 | 40℃30％RHで8時間放置、<br>40℃90％RHで16時間放置<br>を1サイクルとして、<br>10サイクル実施 | 0.3MPa<br>（石膏ボード材料破壊） | ○（容易に分離） |

接着耐久試験においては、全ての試験で剥離は見られず、また耐久試験後の平面引張試験においても接着強度の低下はなく、すべて石膏ボードの材料破壊となった。

また、耐久試験後の加熱分離においても、接着剤層が膨張、白化し、容易に分離できた。

試験体を加熱分離した写真を図 23 に示す。

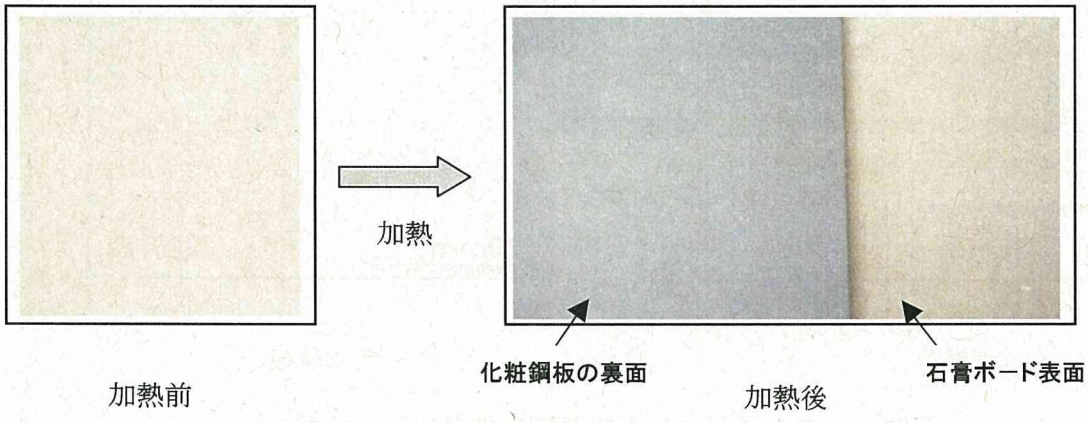



図 23　試験体の加熱による分離

6.2.2.2　PET シートと木質複合体

樹脂化粧シートと木質材複合体の接着耐久試験およびその後の分離性の結果を、表 12 に示す。

表 12　PET シートと木質材複合体の接着耐久試験およびその後の分離性

| 試験項目 | 試験条件 | 接着性（接着強度） | 加熱分離性 |
|---|---|---|---|
| ピーリング試験 | シートに25mm幅の切り込みを入れて180°の角度で200mm／minで引っ張る | 32 N／25mm（MDF材料破壊） | ○（容易に分離） |
| 寒熱繰り返し試験 | 60℃で2時間放置、-20℃で2時間放置を1サイクルとして、6サイクル | 30 N／25mm（MDF材料破壊） | ○（容易に分離） |
| 耐熱クリープ試験 | シートに25mm幅の切り込みを入れ、60℃の雰囲気下で、90°の角度で500gの荷重をかけ、1時間後の剥離長さを測定 | 0mm | ○（容易に分離） |

接着耐久試験においては、全ての試験で剥離は見られず、また耐久試験後のピーリング試験においても接着強度の低下はなく、すべて MDF の材料破壊となった。

また、耐久試験後の加熱分離においても、接着剤層が膨張、白化し、容易に分離できた。試験体を加熱分離した写真を図 24 に示す。

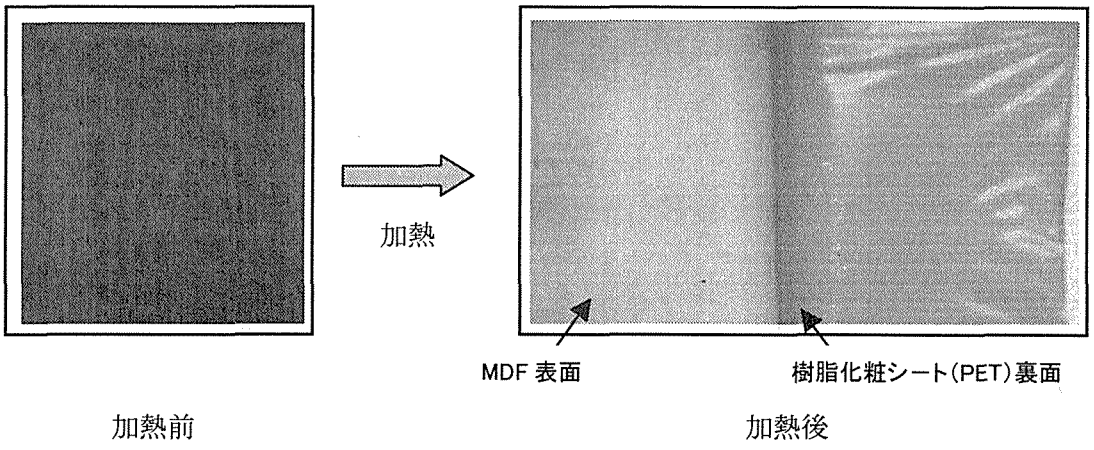



図 24　試験体の加熱による分離

6.2.3　低融点オレフィン系化粧シートと木質材との分離方法の検討

作製した試験体の接着耐久試験の結果を表 13 に示す。

表 13　オレフィンシートと木質材複合体の接着耐久試験

| 試験項目 | 試験条件 | 熱膨張型機能材料の配合量(%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10% | 18% | 25% | 30% | 35% |
| ピーリング試験 | シートに25mm幅の切り込みを入れて180°の角度で200mm／minで引っ張る | 32.2 (N／25mm) | 34.6 (N／25mm) | 43.3 (N／25mm) | 30.6 (N／25mm) | 28.1 (N／25mm) |
| 寒熱繰り返し試験 | 60℃で2時間放置、-20℃で2時間放置を1サイクルとして、6サイクル | ○ (剥離なし) | ○ (剥離なし) | ○ (剥離なし) | ○ (剥離なし) | ○ (剥離なし) |
| 耐熱クリープ試験 | シートに25mm幅の切り込みを入れて60℃の雰囲気下で、90°の角度で500gの荷重をかけ、1時間後の剥離長さを測定 | 0 (mm) | 0 (mm) | 0 (mm) | 4～5 (mm) | 10～11 (mm) |

熱膨張型機能材料の配合量を増やすことで、ピーリング試験や寒熱繰り返し試験への影響は小さいが、耐熱クリープ性がやや下がる傾向が見られた。

また、作製した試験体の加熱分離の結果を表 14 に示す。

表 14　化粧シートと木質材複合体の加熱分離試験

| 設定温度(℃) | 加熱時間(分) ＼ 熱膨張型機能材料の配合量(%) | 10 | 18 | 25 | 30 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 130 | 1 | — | — | — | △～× | △ |
| | 2 | — | — | — | ○ | ○ |
| | 3 | × (PP／PE 層間剥離あり) | × | △～× | — | — |
| | 5 | × (PP／PE 層間剥離あり) | △～× | △ | — | — |
| | 10 | ×̲ | ×̲ (PE 融着) | ×̲ | — | — |
| 120 | 1 | — | — | — | △～× | △ |
| | 2 | — | — | — | ○ | ○ |
| | 3 | × | × | △～× | ○ | ○ |
| | 5 | × | △～× | △ | ○ | ○ |
| | 10 | × (PP／PE 層間剥離あり) | △～× | △ | ○ | ○ |
| 110 | 5 | × | × | × | ○～△ | ○ |
| | 10 | × | × | × | — | — |
| 100 | 10 | × | × | × | ○～△ | ○ |
| | 20 | × | × | × | — | — |

＜評価基準＞
○:容易にシートの分離可能
△:分離できるが抵抗あり
　(シート界面または接着剤凝集破壊)
×:抵抗大(MDF材破)
×̲:分離不可(シートの融着)

熱膨張型機能材料の配合量が 25%以下では、加熱分離できる条件を見出せなかった。120～130℃の比較的高温域で加熱すると、化粧シートの PP と PE の層間剥離または PE の融着が見られ、100～110℃の低温域では、接着剤の膨張力が不足し、分離時に MDF の材料破壊が起

こった。

一方、熱膨張型機能材料の配合量が30%以上においては、120℃、2分以上で、加熱分離できる温度、時間の条件が見出せた。熱膨張型機能材料の配合量が30%、乾燥機の設定温度が120℃、加熱時間が2分間の場合の、試験体の加熱分離時の写真を図25に示す。

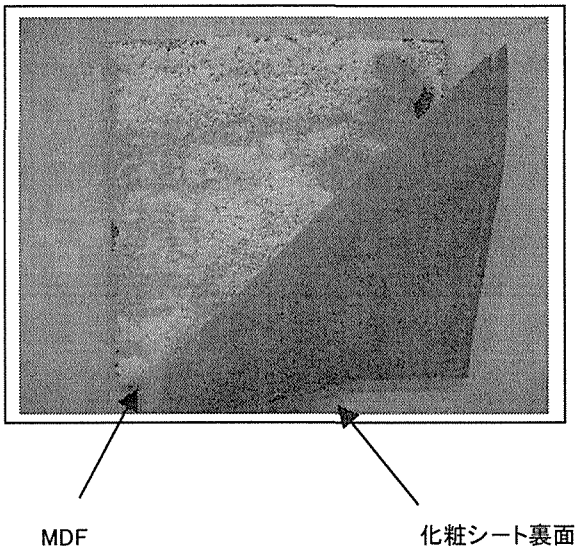



**図25　化粧シートと木質材複合体の加熱分離**

PET のような高融点シートと比較して、接着剤中の熱膨張型機能材料の配合量を増やし、さらに加熱分離時の加熱温度を下げることで、低融点シートに関しても分離できる条件が見出せた。

6.3　考察

6.3.1　弾性系接着剤での接着分離技術の開発

6.3.1.1　弾性系接着剤の基本組成、配合の検討

弾性系接着剤の設計において、重要となる脱水剤や熱膨張型機能材料の配合量の影響を考慮しながら、基本組成を設定した。接着主成分の変成シリコーン系樹脂の配合は、従来の接着剤と同様にし、充填剤の一部を熱膨張型機能材料に置き換える配合とすることで、従来と同等の接着性を保持できた。

6.3.1.2　弾性系接着剤による複合部材の接着、分離性の検討

化粧鋼板とセメント板、およびステンレス板と樹脂板の複合体の接着耐久試験およびその後の加熱分離試験を行い、接着性、分離性ともに良好な結果を得た。

化粧鋼板とセメント板の複合体は浴室壁として、またステンレス板と樹脂板の複合体はキッチンユニットとして使用されており、これらの複合建材を廃棄時に分離する際の有効な手

段系であると考えられる。

6.3.1.2　キッチンユニット実大サイズでの検討

キッチンユニット実大サイズにおいても、接着耐久試験およびその後の加熱分離試験を行い、接着性、分離性ともに良好な結果を得た。

開発した接着剤をプライマーとして塗布する工程も実生産上大きな問題とはならないことがわかり、現在弊社において、全工場にて実生産を行っている。

6.3.2　エマルジョン系接着剤での接着分離技術の開発

6.3.2.1　エマルジョン系接着剤の基本組成、配合の検討

弾性系接着剤の開発過程で得られた知見をもとにしながら、樹脂シートへの低温下でのぬれ性や耐熱クリープ性を考慮して、基本組成を設定した。

エマルジョン系接着剤が一般にロールコーターで塗布されることを考慮してのロール適性や保管時の安定性についても確認し、特に問題はなかった。

6.3.2.2　エマルジョン系接着剤による複合部材の接着分離性の検討

化粧鋼板と石膏ボード、および樹脂化粧シートと木質材の複合体の接着耐久試験およびその後の加熱分離試験を行い、接着性、分離性ともに良好な結果を得た。

化粧鋼板と石膏ボードの複合体は浴室壁、天井として、また樹脂化粧シートと木質材の複合体は内装材として広く使用されており、これらの複合建材を廃棄時に分離する際の有効な手段系であると考えられる。

6.3.2.3　低融点オレフィン系化粧シートと木質材との分離方法の検討

熱膨張型機能材料の膨張開始温度と化粧シートの融点が近いために、高融点の PET シートと同様の加熱方法では、シートが融着してうまく分離できなかったが、熱膨張型機能材料の配合量を 30％に増やし、加熱方法も乾燥機にて 120～130℃で加熱することで、分離できる条件が見出せた。

なお、木質材の化粧方法においては、化粧シートの木質基材へのラッピング（巻き込み）が必要となる。そのため、接着剤の初期タック力を上げる、または化粧シート裏面に予め熱膨張型機能材料を配合したプライマー層を設ける、ということを今後検討していく必要があると考えられる。

## 7. 技術開発の成果と課題

異種材料を接着してなる複合建築材料の分離・リサイクルを目的に、加熱膨張剤を接着剤に配合し、建材への応用を検討した。水性エマルジョン系接着剤では、化粧鋼板と石膏ボード複合体、樹脂化粧シートと木質材複合体との接着性・分離性が両立する基本設計仕様が得られた。弾性系接着剤ではキッチンユニットへの実用化を検討し、人大カウンターと金属シンクとの加熱分離が全種類のキッチンユニットで可能となった。

今後はこれら技術をキッチンユニットの補強木の分離や、表面が化粧された木質ボードと樹脂シートとの分離などへ実用展開することが望まれる。分離された補強木や木質ボードはパーティクルボードやファイバーボードへ再利用することで木材のカスケード利用が可能になる。補強木や木質ボードを例えばスギやヒノキのような地域材を原料とすることも可能である。それらは十数年、あるいは数十年の使用を経て解体される。解体後はそれを分離し、あるものはそのままの状態で、あるものはカスケード利用により木質ボードとなりまたその地域で利用することができる。木材の“地産地消”がリサイクル利用可能となる。本技術はその実現に一歩踏み出す技術である。

## 参考文献


1) 環境庁、建設省、通産省、厚生省: 公布資料 (2000)
2) 本多淳裕：“ゴミのリサイクル”、(社) 省エネルギーセンター、1991、pp. 60-64
3) 小野昌孝編：“新版　接着と接着剤”、(財) 日本規格協会、1989、pp. 3-7
4) 沖津俊直：“接着剤の実際知識”、東洋経済新報社、1991、pp. 41-42
5) 松本油脂㈱、マイクロカプセルカタログ (2002)