

## 環境対応型無焼成内壁装材の開発

一伊達 稔, 各務友浩, 各務寛治, 加藤純次, 吉村治典

## Development of Non-fired Wall Material Used in House to be Effective for Reducing Environmental Problems

Minoru Ichidate<sup>1),2)</sup>, Tomohiro Kagami<sup>3)</sup>, Kanji Kagami<sup>3)</sup>, Jyunji Kato<sup>3)</sup>, Harunori Yoshimura<sup>3)</sup>1) Ceramics Research Laboratory, Nagoya Institute of Technology  
Asahigaoka, Tajimi, 507 Japan

2) Eco-Tec Professional Engineer Office, Ohata, Tajimi, 507 Japan

3) YAMASE Corporation, Kasahara, 507 Japan

Wall materials used in traditional houses of Japan are soil. Soil wall produces a peculiar atmosphere and composure for residents and fits for Japanese climate which is high temperature and high humidity in summer and dry and low temperature in winter.

However plastics cloths are used mainly in recent houses because those materials are cheap and simple to be carried out. But volatile organic compounds of used binders are injurious to health and plastics cloths are bad for ventilation of house.

Non-fired wall materials used in house to be effective for reducing environmental problems are developed.

- 1) Low materials are some kinds of natural clay (sepiolite, zeolite, small amounts of straw) and slaked lime.
- 2) Developed production process is as followed:
  - Mixing process: low materials are mixed by Einlich mixer on 20%water content
  - Shaping process: mixed materials are pressed to plate by 400t dry low pressure vibration press
  - Curing process: products are cured in batch type curing chamber with humidity control system and CO<sub>2</sub> gas control system
- 3) Properties of products obtained are as followed:
  - (1) By the carbonation reaction of slaked lime plates are strengthened and calcium carbonate is mostly calcite type.
  - (2) Plates have properties of humidity control and ability of adsorption of injurious materials to health (ammonia, VOCs)
  - (3) Waste of used plates are able to return to soil because low materials are some kinds of clay

## 1. 緒 言

わが国における伝統的な住宅の内壁は、土壁である。土壁は、独自の風合いと落ち着きを与えて、生活に潤いを持たせていると同時に、夏は高温多湿で、冬は低温乾燥気味の気候風土に適した住宅の建築材料として主流をなしてきた。しかし、土壁を構築するには、原料となる土や細骨材等の配合割合が作業時の温度、湿度により左右されやすいため、現場での材料合わせや混練作業を行

う湿式工法が不可欠である。その上、そうした作業の熟練作業者が年々減少しており、土壁のニーズはあるものの、最近までの住宅では、プラスチッククロスあるいは布クロスが、工事の手軽さと工期の短さ、量産による価格の低廉の故に、多用されている。しかしながら、クロス張りでは、接着剤に有機溶媒を使用するところから、施工後、5-7年してから健康に有害な物質が多量に放出されることが認められており、それがシックハウス症候群の原因ともされて、早急な対策が求められている。

さらに、クロスは通気性が悪いのが一般的で、近年の高気密高断熱住宅では結露の恐れがあり、居住性に多くの問題を投げかけてきた。

このため、土の構造の特徴を生かした内壁材の開発が行われ、800℃程度で原料を焼結する方法で製作した材料<sup>1)</sup>、珪藻土を主体とする原料を焼結した材料<sup>2) 3)</sup>、天然ゼオライトを用いた材料<sup>4)</sup> など各種が開発されつつある。

本報告は、これらとは異なり、クロスにかわり、伝統的な土壁の風合いと機能を有し、施工が容易な内壁材を開発するため、可能な限り天然原料を用い、また、廃棄時に土に戻す後処理が可能で、ほぼ常温の条件で固化して必要な強度を保持させた省エネ・環境対応型の無焼成内壁装材の開発に関して、その特性およびプロセスについて述べたものである。

## 2. 検討方法

### 2.1. 原料材料

原料は、古来よりの土壁の製作方法を実現するため、非焼成で固化する材料、調湿性能・シックハウス症候群などの室内衛生対策に有効で、廃棄時に土に戻しても有害性物質が発生せず、入手が容易で、安価で経済性に富む可能な限り天然粘土鉱物と石灰系を選択した。

上記の条件を満たす材料として、消石灰、ゼオライト、珪藻土、黄土、セピオライト、雲母、その他天然材料を特別に調合した材料を用いた。

第1表は混合原料の主なる組成である。比率が100%にならないのは、水分及び特別に調合した材料を含めた比率のためである。

水酸化カルシウムについては、強度発現のため、一定以上の比表面積の確保が必要であり、その粒度構成は、50%粒子径7.56μmの材料を用いた。第1図はその粒度構成を示す。

また、アルミノケイ酸塩鉱物、ケイ酸マグネシウム水和物を主成分とする鉱物は、吸湿性あるいは有機溶剤、アンモニア等有臭物質の吸着機能と土壁の機能を保持するため、添加している。また、藁すさは、土壁のデザインを保持しするため添加した。

色調の調整は、酸化鉄系の顔料により行い、廃棄時の土壤汚染が発生しない配合にした。

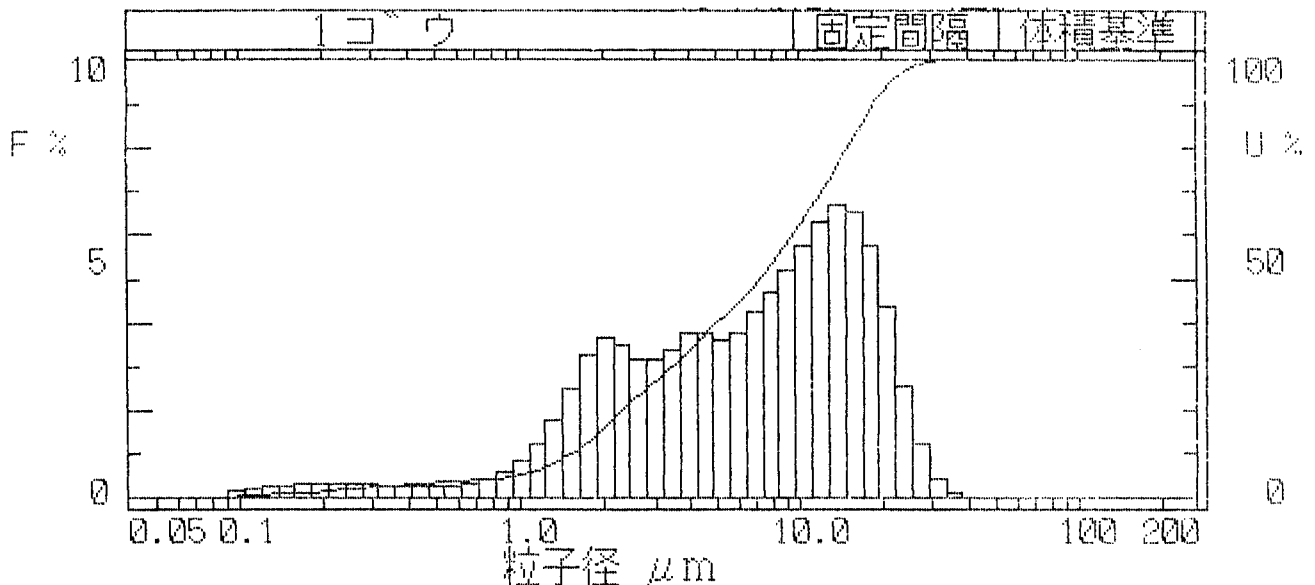
### 2.2. 成形プロセス

#### 1) 原料混合

成形工程が、乾式か湿式かで混合工程が異なることは当然のことであるが、本製品の製造プロセスを想定したとき、混合の均一性においては、湿式が有利であるが、その後の脱水工程と水処理が必要なこと、藁すさのよう

第1表 原料の構成

組 成	比 率 (%)	備 考
水酸化カルシウム	50	消石灰
アルミノケイ酸塩	28	ゼオライト等
ケイ酸マグネシウム水和物	22	セピオライト等
藁すさ	1	天然繊維強化材



第1図 消石灰の粒度構成

に、極端に比重の異なる物質を混入していること、乾燥に多大のエネルギーを必要とすること等の観点より、混合の均一性で劣るが、乾式を選択した。

混合は、成形において乾式プレスが想定されることから、給粉時の流動性とプレス成形直後の形状保持を考慮し、混合工程で水分を20%添加した上、造粒機能を持たせた最大1125L混合可能なインリッヒミキサーを用いた。

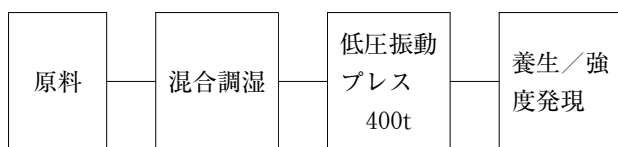
## 2) 成形

成形は、成形時の重点密度の向上を図るため、プレスにて成形した。成形寸法は303 x 303 x 6mmである。粉体の圧密度上げ、充填の均一性を確保するため、最大荷重400t振動低圧プレスを用いた。

## 3) 養生

無焼成の条件で、必要強度に上げるため、温度を変化させ、炭酸ガスを添加して強度発現図った場合について、それぞれ450 x 450 x 450mmの恒温槽を用いて湿度100%の条件下で養生した<sup>5)</sup>。

第2図は成形工程のフローを示したものである。



第2図 製造工程フロー図

## 2.3. 特性調査

### 1) 曲げ強度

曲げ強度については、タイルの性状試験法に関わるJIS A 5209に準拠して、TOYOBALDWIN社TENNSION/UTM-Ⅲ試験機を用い、下部支点間距離60mm、最大加圧30kg、上部支点降下速度2mm/minの条件で測定した。

### 2) 吸水率

JIS A 5209の7.5に準拠し、試験体を105℃の乾燥機に3時間保持した後、デシケーター中で冷却した後、常温で24時間水に浸し、前後の質量差から吸水率を測定した。

### 3) 線膨張率

JIS A 1325に準拠し、長さ100mm、1辺50mmの試料により押棒式の熱膨張計にて測定した。

### 4) 熱膨張率

ブローブ法により、京都電子工業迅速熱電動率計QTM-D3により測定した。

### 5) 調湿特性

調湿建材に関する日本工業規格（未登録）に従い、湿度応答性について測定した。試料は303 x 303mmを採取し、400 x 400 x 400mmの容器中で、中心温度15℃として、振幅20℃で、24時間周期のサイクルで、容器内の相対湿度の変化を測定した。

また、吸放湿試験については100 x 100mmの試料に

ついて、側面及び裏面をアルミテープでシーリングし、これを23℃、湿度53%の中湿度域の雰囲気中に整地し、重量変化を測定し、吸放湿特性を求めた。

## 6) 不燃性試験（簡易）

規格に基づく認定を取得する前に、簡易的に、ISO1182準拠基材試験に模した方法により不燃性の状態を調査した。方法は、800℃に設定した電気炉へ50 x 50 x 6mmの試料8枚を重ねた状態で、5分、10分、20分間装入し、所定の時間終了後、デシケーター中で冷却した。その後、サンプルについて、目視による亀裂の有無の観察、X線回折による前後の組成変化の調査により不燃性を評価した。

## 7) ガス吸着特性・カビ抵抗性

本特性については、本試料を元に調査した結果が、建材試験センター報<sup>6)</sup>に掲載されているため、参考資料として稿末に転載する。

## 3. 検討結果

### 3.1. 曲げ強度の向上

通常の現地施工の土壁に相当する内壁材であるためには、輸送時あるいは施工時に割れないこと、施工後のひずみにある程度耐えられる強度を有すること、強くない衝撃には耐えられ亀裂がでないことなどのため、曲げ強度が現場施工の通常の土壁以上であることを要する。

一般に、土壁は1～2Mpa程度とされているが、上記の条件を満足させるためには少なくとも4Mpa以上の強度の確保を前提に強度の向上を図った。

本内壁材の基本的な考え方である消石灰を強度発現の材料に使用することは、古くから行われており、漆喰はこの考え方に即したものである。したがって、通常の建材の場合と同様に、常温で水分を10～30%含ませ混合した条件下で、養生強度発現を図る場合には、高々1～2Mpa程度の曲げ強度が得られるのみである。

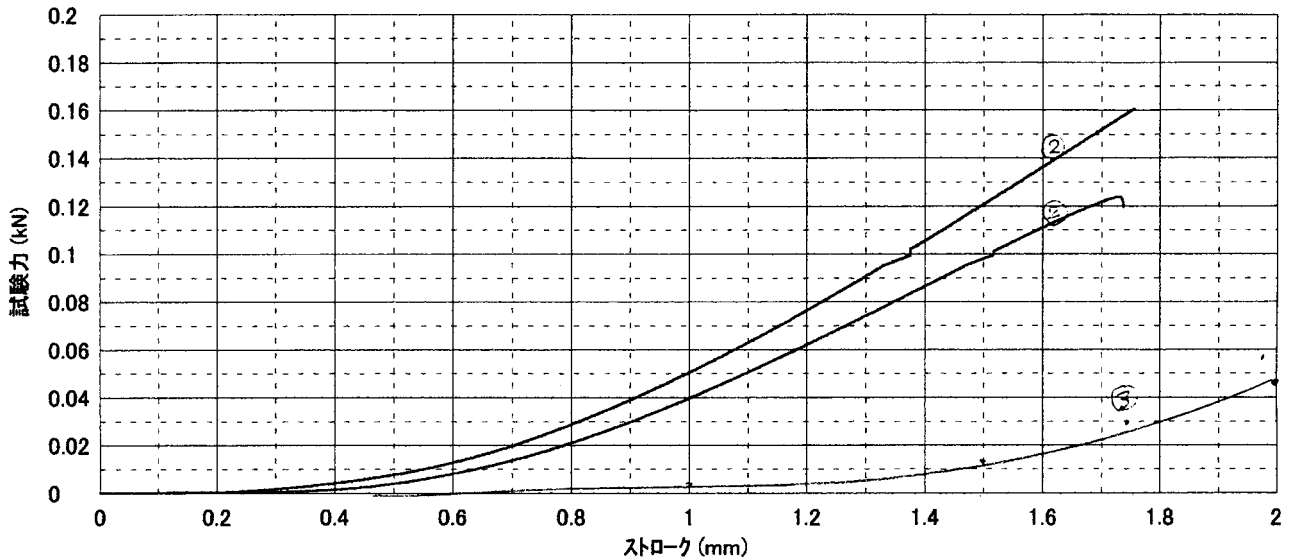
そこで、所要の強度発現を短時間で、しかも、簡単な装置で得るため、炭酸ガスによる強化を図ることを試みた。

炭酸化による強度の発現は、自然炭酸化は先に述べてように漆喰がそれに相当し、また、西垣ら<sup>7)</sup>によっても機能性漆喰の開発が試みられている。

本試験については、吸・調湿性能を確保しながら強度を上げる必要がある。しかも実用的にも量産が出来ることが前提であるため、炭酸化の条件設定が極めて重要である。

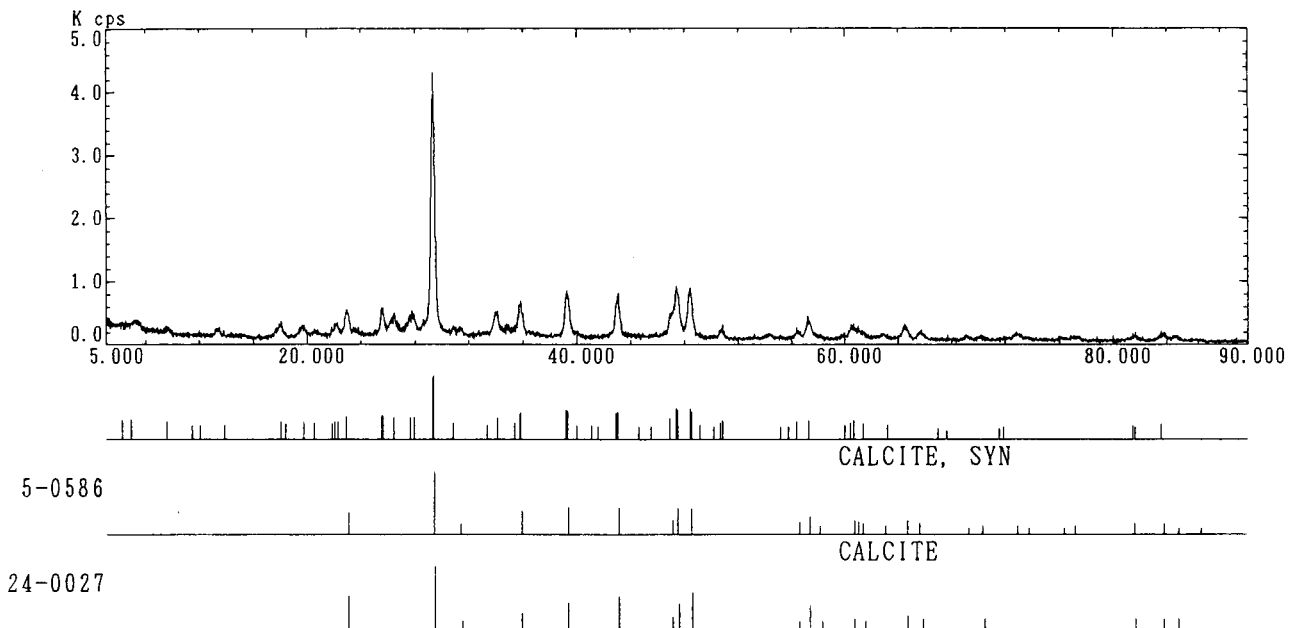
第3図は、①60℃で、7時間炭酸化させ、消石灰が完全に炭酸化されたと考えられる場合と②吸・調湿性能を確保した炭酸化条件及び③炭酸化なしの条件におけるひずみ-荷重（試験力）曲線と曲げ強度の結果である。

炭酸化しない条件下では、ほとんど強度の確保が困難であるが、長時間炭酸化させた場合には、大幅に向上する。写真1は、炭酸化した試料の断面としない場合の



試料	最大曲げ強度 (Mpa)
試料 ①	8.3
試料 ②	4.0
試料 ③	1.6

第3図 各条件のひずみ-荷重(試験力)曲線



第4図 曲げ強度の維持を基準とした場合のX線回折

SEM 写真である。

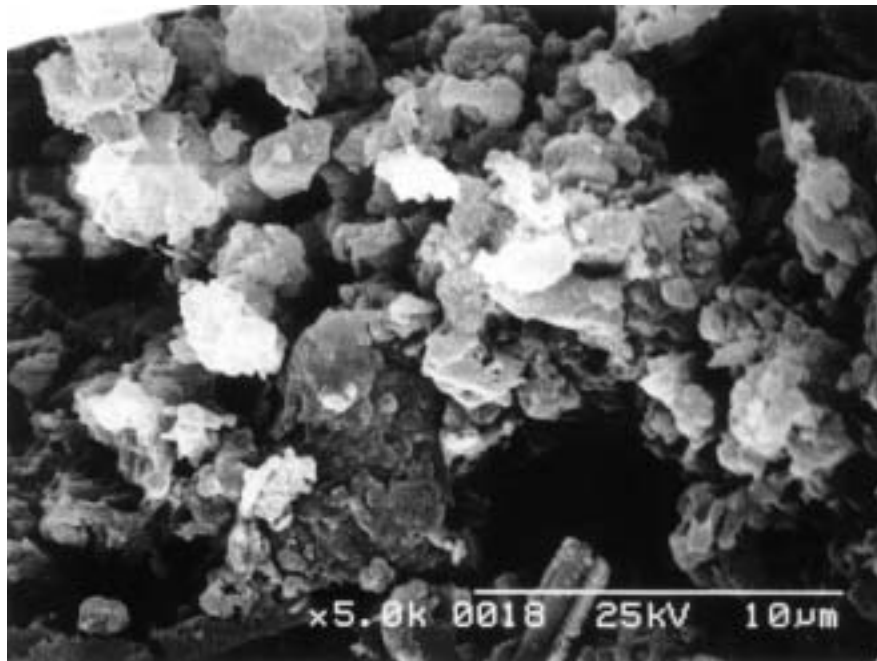
写真の比較から明らかなように、材料全体の構造は多孔質であると同時に、個々の原料粒子がブリッジを形成しており、これが強度の向上に寄与していることが推察される。

また、X線回折の結果からも、第4図のように、炭酸カルシウムの回折線が現れている。

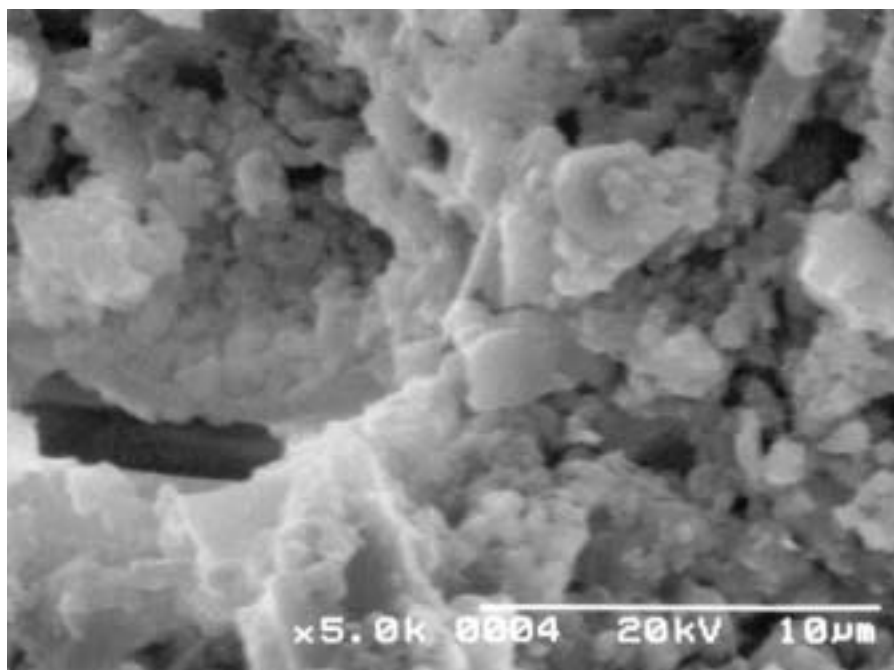
炭酸化により生成した炭酸カルシウムの形態については、松田ら<sup>8)</sup>により研究されているが、湿度が100%において、本試験では、Calciteの存在が認められる。

さらに、②の場合には、曲げ強度の曲線において、①と③の中間の示しており、目標の4Mpa以上の条件が満たされている。

以上のことから、原材料の特性をそのまま維持しながら



炭酸化前のSEM像



炭酸化後のSEM像

写真 1 炭酸化前後のSEM像

ら、表面部分を適切な条件で炭酸化することにより目標とする強度を発現することが可能であることが判明した。

### 3.2. 吸水率

内壁材として自然に近い条件で使用するには、吸水率が高すぎて乾燥しないものでも、タイルのように全くないものでも不適當である。

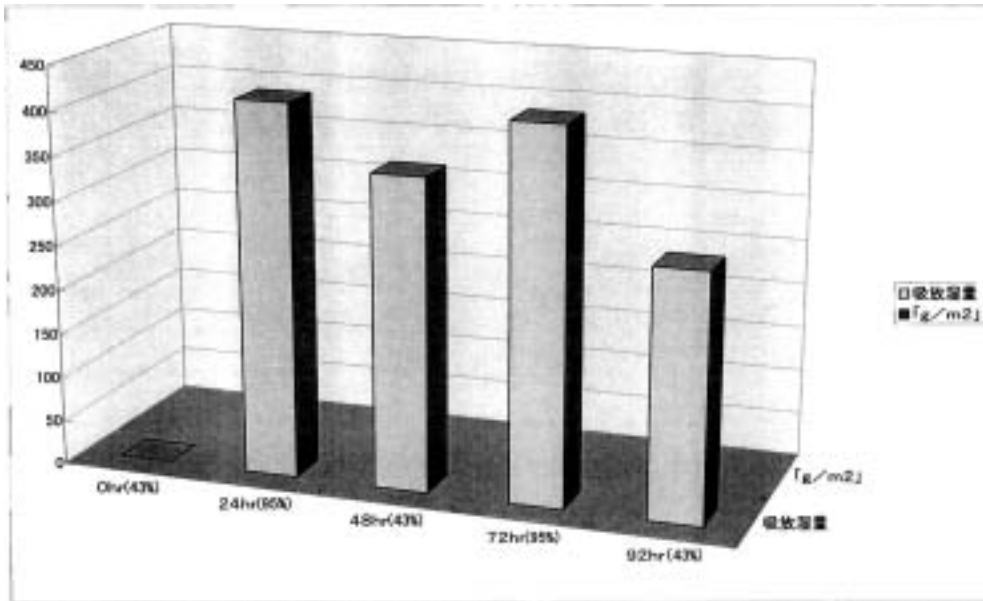
本試料について調査した結果、3試料平均で33%を示し、通常の内壁材として十分な値であった。

### 3.3. 線膨張率

測定の結果は、 $9.1 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ であり、使用温度範囲内では、ほとんど膨張しない。

### 3.4. 熱伝導率

内壁材として使用するには、材料が良好な熱特性を保持し、断熱材として保温に寄与することが要求される。先に述べた方法により熱伝導率を測定した結果、 $0.55W/m \cdot K$ であり、クロス等に比して小さく、十分断



第5図 吸・放湿特性

熱材としての機能を保持している。

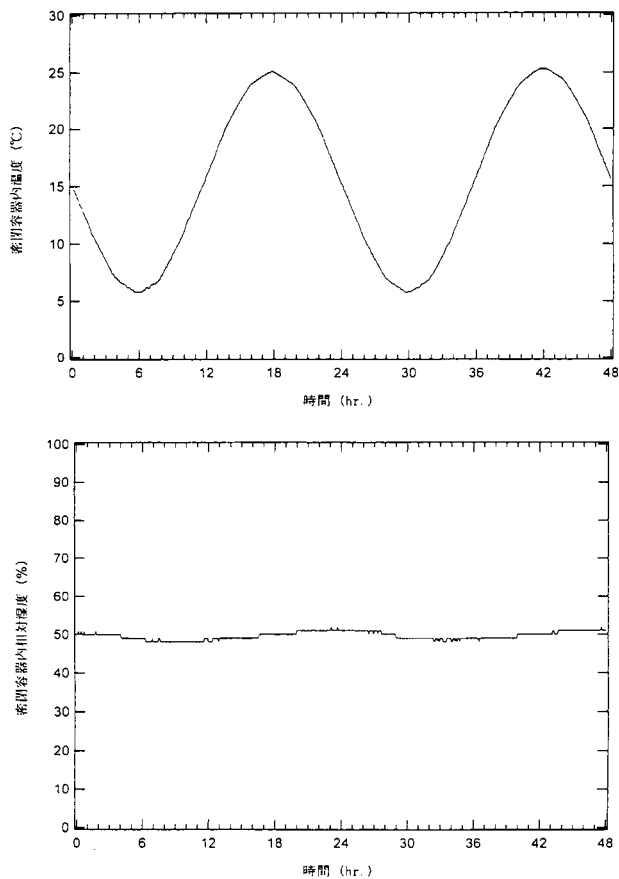
### 3.5. 吸・調湿特性

土壁と同様の機能を保持した内壁材であるためには、部屋の中での使用条件下で適切な湿度保持が必要である。このため、吸・調湿機能を保持する材料が開発されてお

り、それぞれの特徴を保持している<sup>9)</sup>。

本試料についても、吸・調湿特性に関する調査を実施した。第5図は、中湿域での吸放湿試験結果である。

また、第7図は、本試料について、建材試験センターにより実施され、報告された調湿性試験結果であり、容器内相対湿度がほぼ50%に保持されている<sup>10)</sup>。



第6図 調湿性特性 (建材試験センターデータ)

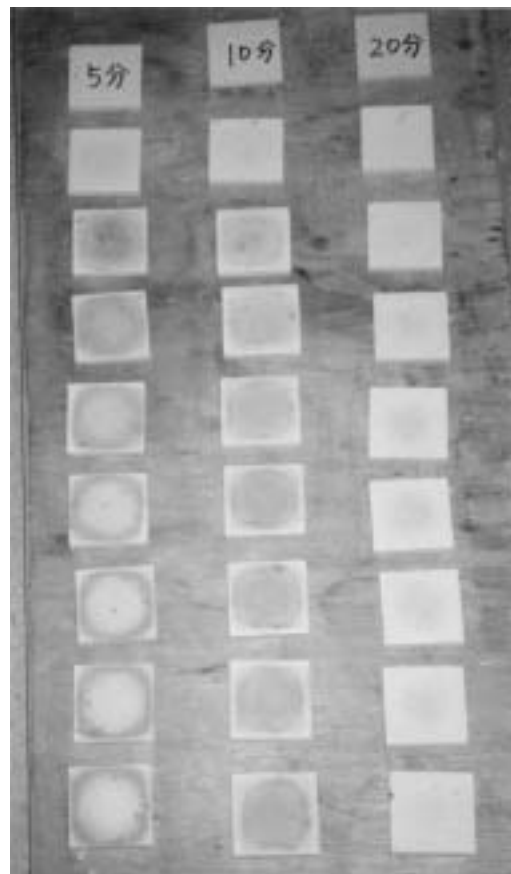


写真2 800℃加熱試験結果 (時間変化)



写真3 800℃ 20分保持の試料

以上、本試料が、吸・調湿性特性に優れた機能を有することが明らかである。

材料の調湿性機能の保持には、久野ら<sup>11)</sup>により材料の保持するマイクロポアも径が重要であることが明らかにされており、本試料の原料にも同様のマイクロポアが存在するとされているセピオライトを混合しているため特性が現れているものと推察される。

### 3.6. 不燃特性

内壁材としての特性に必要な事項として、耐熱・不燃性である。建築材料の不燃性試験はISOに規定される試験法があるが、本試験では、それに準じた簡易な方法により調査した。具体的な手法は先に述べた通りである。写真2, 3は800℃の電気炉に5, 10, 20分間保持した材料の状況である。

写真に見られるように、亀裂は見られない。また第7

図に示すX線回折の結果については、20分保持した物について、重ねた最上部の試料にCaOの存在が推定される。これは、消石灰の脱水に基づくものか、あるいは炭酸カルシウムの分解により生成したものと推察される。

以上の結果から、簡易法による調査では燃焼に十分耐えられるものと推定される。

以上、石灰及び粘土鉱物を主体とし、無焼成の温暖化条件下で、湿度100%の条件で炭酸化と同時に養生することにより、強度を向上した材料は、土壁の風合いを保持した環境対応型の内壁材に適した特性を有することが判明した。

## 2. パイロット量産製品の試験施工

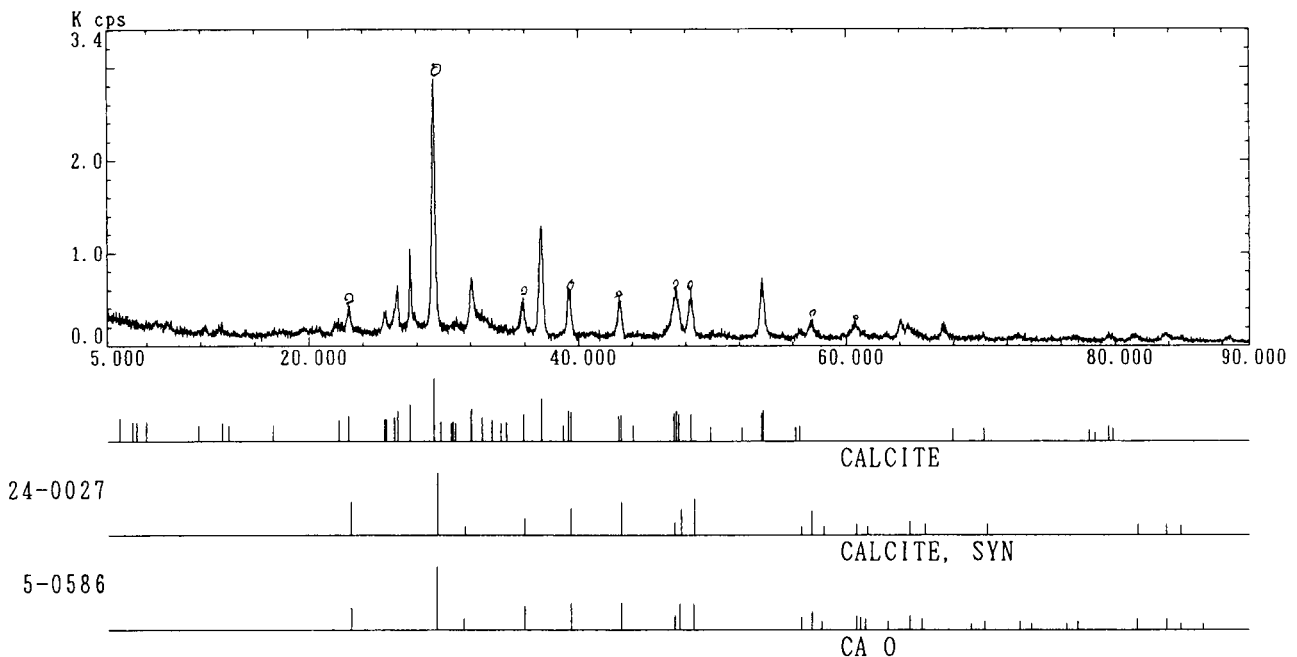
先に述べた試作品について、1ロット300kgのパイロット量産を実施した。原料混合工程、低圧振動プレスは同一の装置を使用し、養生・炭酸化については20m<sup>3</sup>容量の養生機を製作して量産試作した。製品は試作品とほぼ同様の特性を保持していることを確認した後、ホルムアルデヒドなどの有害成分を放出しない接着剤を用いた接着試験、切断等の加工性試験を実施し、量産性を確認した。

得られた製品については、実際の住宅の壁面に施工し、現在、その効果を調査している。

写真4はその状況を示している事例である。

## 3. 結 言

天然多孔質粘土系材料と漆喰の原料である水酸化カルシウムを主原料に用いて原料調整後、低圧振動プレス



第7図 加熱処理した試料のX線回折結果



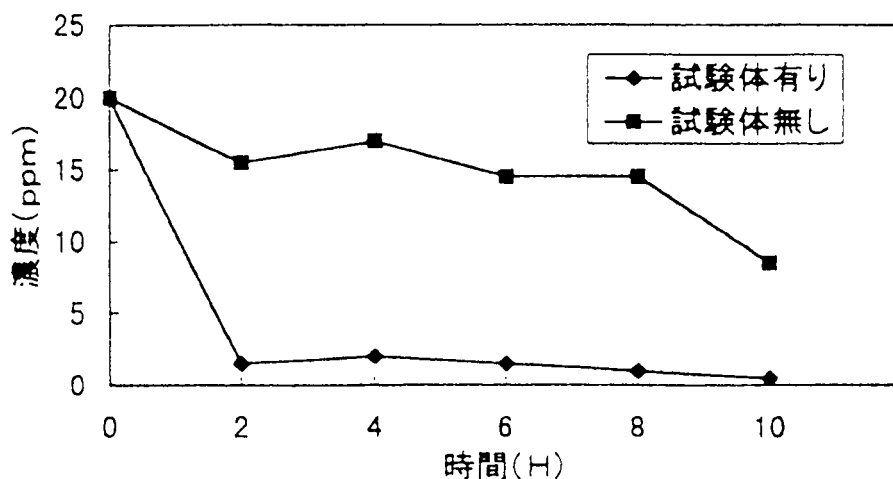
写真4 住宅施工の事例

で成形し、その後、温暖条件下で炭酸化させて、その間に強度向上を図った無焼成内壁材を製造するプロセスを開発し、パイロット量産した結果について述べた。

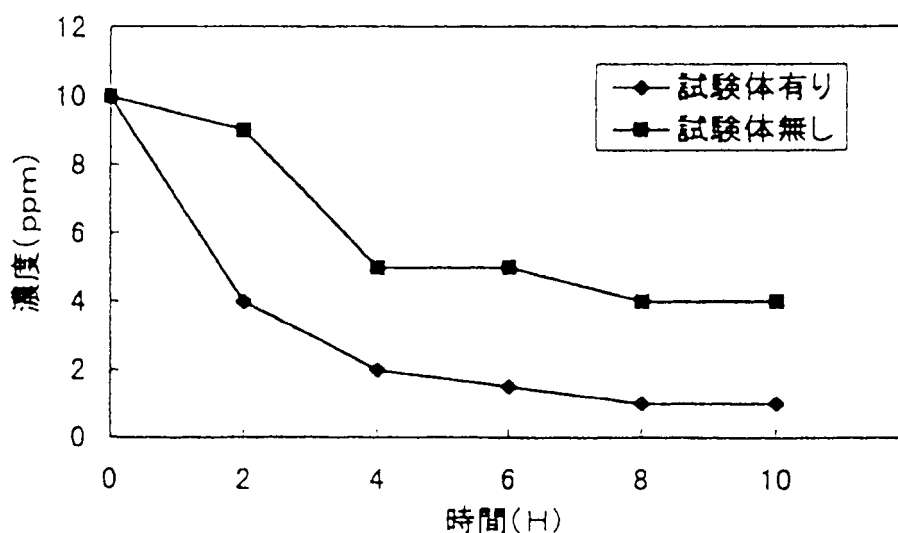
得られた製品は、炭酸化条件で強度を向上させること

により曲げ強度が平均で4Mpa以上を有し、吸・調湿特性を保持しており、また800℃の電気炉で20分保持しても、一部成分がCaOに変化するものの、亀裂等は認められないことが判明した。





参考図1 ホルムアルデヒド濃度変化



参考図2 アンモニア濃度変化

開発された内壁材は、原料が粘土鉱物及び石灰であるので、廃棄時に環境問題を起こす心配もなく、有害ガスの吸着特性を持つ機能性を有することも確かめられており、種々の型デザインによる量産方式が確立している。

参考資料

(建材試験情報2 '01 藤本 哲夫)

1) 本試験材と同質材の悪臭ガスの吸着・分解性試験結果

- (1) ホルムアルデヒド (参考図1)
- (2) アンモニア (参考図2)

2) カビ抵抗特性

JISZ2911 6に準拠。

カビの種類

アスペルギルス・ニゲル, ペニシリウム・シトリナム, クラドスポリウム・クラドスポリオイデス, オーレオバシジウム・ブルランス

JISZ2911による表示:3 (試験耐にカビの発生は認められない。)

参考文献

- 1) 建材レポート 9月号 p15 (2001)
- 2) 建材レポート 9月号 p18 (2001)
- 3) 建材レポート 9月号 p22 (2001)
- 4) 建材レポート 9月号 p20 (2001)
- 5) 松田応作, 山田英夫, Gypsum & Lime, No97, p245 (1968)
- 6) 藤本哲夫, 建材試験情報 2, p15 (2001)
- 7) 西垣康広, 林 好夫, 平成13年度中小企業技術開発産学官連携促進事業成果普及発表会テキスト, p3 (2002)
- 8) 松田応作, 山田英夫, Gypsum&Lime, No97,p245 (1968)
- 9) 建材レポート 9月号 p8 (2001)
- 10) 藤本哲夫 建材試験情報 2, p15 (2001)
- 11) 久野裕明 無機材料応用技術講演会資料 p1 (1999)