

平成28年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「蓄熱・放熱機能付環境対応型塗壁材の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年3月

担当局 関東経済産業局  
補助事業者 公益財団法人横浜企業経営支援財団

## 目 次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	5
1-3 成果概要	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	8
2-1 テーマ1. 蓄熱・放熱材を含浸したポーラス粒子の開発	8
2-1-1 サブテーマ1-1. ポーラス粒子製造の最適化	8
2-1-2 サブテーマ1-2. 蓄熱・放熱材含浸方法の開発	10
2-2 テーマ2. 天然油脂原料蓄熱・放熱材の開発	12
2-2-1 サブテーマ2-1. 天然油脂原料蓄熱・放熱材の作成	12
2-2-2 サブテーマ2-2. 蓄熱・放熱性能の評価	13
2-3 テーマ3. 温度調節機能壁材の開発	14
2-3-1 サブテーマ3-1. 温度調節機能壁材の配合設計	14
2-3-2 サブテーマ3-2. 壁材としての性能評価	15
2-4 テーマ4. 施工技術、施工性評価と性能検証	16
2-4-1 サブテーマ4-1. 施工技術の確立	16
2-4-2 サブテーマ4-2. 施工評価	17
最終章 全体総括	20

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### <背景と目的>

地球温暖化防止、省エネの社会的要求が一段と高まる中、快適な生活環境と健康志向ニーズの高まりから、建築においては省エネかつ安全安心な、高機能建材が求められている。特に、家庭やオフィスでの電力消費の多くを占める冷暖房の使用を抑えるための熱エネルギーの制御に関連する技術は、二酸化炭素排出量の削減に貢献する上、一般消費者においては省エネ効果が実感し易く、企業においてはその導入が企業イメージの向上、社会的責任への取り組みにつながることから、社会的なニーズが高い。建築における熱エネルギーの制御として、近年では、熱の吸収・放出を行う物質による、蓄熱・放熱機能を応用した建材が注目されている。しかし、蓄熱・放熱機能を応用した建材は、断熱材の様に施工時に埋設する必要があり、また、熱の吸収・放出を行う物質には石油を原料とする製品も多い。少子高齢化に伴い、将来的に過剰な住宅ストックの有効利用が課題となる状況、そして環境への意識の高まりを踏まえると、新築はもとより既存の建築物にも容易に施工でき、自然素材を活用した環境対応型の蓄熱・放熱建材の開発が望まれる。

従来の壁紙、ビニールクロス壁材に代わり湿度調節機能、消臭機能、防音機能を持つシラス壁材が注目され応用されているが、シラス材料を高温焼成処理し、中空微粒子化を行う高度化技術と蓄熱・放熱技術として蓄熱・放熱材を複合化することにより新たな温度調節機能を持つ複合壁面材を開発する。室内環境においては安全性だけではなく、快適性が求められている。そこで、本事業では従来の塗壁材の持つ、消臭機能、調湿機能、断熱機能に加えて、居住空間における温度調節機能を新たに付加し、壁材の更なる高機能化を図ることを課題とした。温度調節機能を付加することにより、居住者の快適性、健康性を向上させることが可能となり、特に、体温調節を苦手とする、高齢者、乳幼児の健康管理にも役立つ壁材となる。

また、地球温暖化防止、省エネの社会的要求が一段と高まる中、CO<sub>2</sub>排出量の削減につながる製品が求められている。本事業では壁面に温度調節機能をもたせることによって、冷暖房機器の使用エネルギーの削減、それによるCO<sub>2</sub>ガス排出の削減を可能とすることを目標とした。温度調節機能付き塗壁材が、住宅、商業施設、オフィスビル、公共施設などに普及することによって、省エネ化、低炭素社会へ大きく貢献できると期待される。

## <目標値>

### 1. 蓄熱・放熱材を含浸したポーラス粒子の開発

- ポーラス粒子粒径： $\phi 100\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$
- ポーラス粒子製造速度：40 kg/h 以上（製造コストを 500 円/kg 以下にする）

### 2. 蓄熱・放熱材の開発

- 蓄熱量：160J/g 以上
- 燃焼時発熱量：60kJ/g 以下（難燃化）
- 融解温度： $25^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$

### 3. 温度調節機能壁材の開発

- 国土交通省難燃性能認定取得
- 温度調節機能（実験空間）：夏季 $- 3^{\circ}\text{C}$ 以下、冬季 $+3$  以上

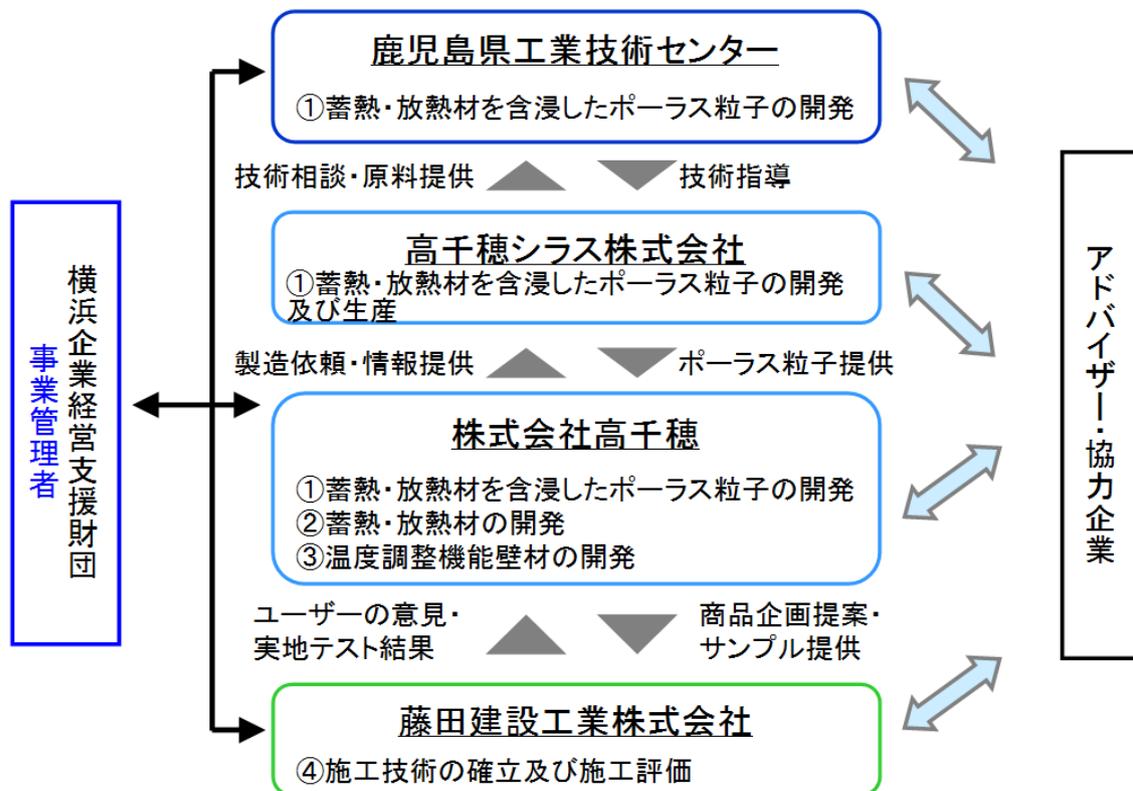
### 4. 施工技術の確立および施工評価

- 施工性： $20\text{m}^2/\text{人}\cdot\text{日}$
- モニター案件 2 件以上
- 温度調節機能（フィールドテスト）：夏季 $- 2^{\circ}\text{C}$ 以下冬季 $+2^{\circ}\text{C}$ 以上

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

研究組織・管理体制



研究者氏名

- ・株式会社高千穂（法認定機関）

所属・役職	氏名
R&Dセンター・部長	近藤 千恵子 (PL)
R&Dセンター	小塚 幸蔵
R&Dセンター	栗原 路子
R&Dセンター	戸木 雅子

- ・高千穂シラス株式会社

所属・役職	氏名
副工場長	谷ヶ久保 晃
生産管理課・リーダー	今東 達也

- ・鹿児島県工業技術センター

所属・役職	氏名
地域資源部シラス研究開発室・室長	袖山 研一 (SL)

- ・ 藤田建設工業株式会社

所属・役職	氏名
執行役員 e.home 統括部長	吉田 博文

\*アドバイザー

- ・ 有限会社オールジャパンコム

所属・役職	氏名
代表取締役	町田 光三

## 1-3 成果概要

### 1. 蓄熱・放熱材を含浸させたポーラス粒子の開発

- ①ポーラス粒子は、製造速度 45kg/h (max) を達成し、コスト 312 円/kg で製造を達成できた。
- ②粒径： $\Phi 113\sim 173\mu\text{m}$  のポーラス粒子を製造方法を開発した。
- ③PCM 蓄熱材を含浸、耐湿コーティングをしたカプセル化ができた。

### 2. 蓄熱・放熱材の開発

- ①無機塩を主成分とする 25°C で相変化する蓄熱・放熱材を開発できた。
- ②無機材料を採用することで不燃性を確保した。
- ③蓄熱量は 194J/g であった。

### 3. 温度調節機能壁材の開発

- ①PCM カプセルを配合した壁材（白洲サーモ（仮称））を開発した。
- ②建築基準法の不燃材料の基準を満たし、国土交通省に不燃材料の申請を行った。  
(平成 29 年 4 月 7 日付けにて受理された。)
- ③蓄熱・放熱性能を測定し、温度変化 ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) を確認した。

### 4. 施工技術、施工性評価と性能検証

- ①壁材のテスト施工を行い、17.5 m<sup>2</sup>/人・日の施工性を確認した。
- ② 2 件のモデルハウスにて PCM カプセル配合壁を施工した室内環境データを取得し 2.4°C の温度上昇抑制効果を確認した。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社高千穂

〒220-8109 横浜市西区みなとみらい 2-2-1 横浜ランドマークタワー 9 階

R&D センター 栗原路子

E-mail : mkurihara@takachiho-corp.co.jp

電話 : 045-224-6070

FAX : 045-224-6071

## 第2章 本論

### 2-1 テーマ1. 蓄熱・放熱材を含浸したポーラス粒子の開発

#### 2-1-1 サブテーマ1-1. ポーラス粒子製造の最適化

シラスを装置内の炉で焼成することにより、シラスが発泡し、大小さまざまなバルーン粒子が得られる。これまでシラスのバルーン化（中空化）は、一部の希少なシラスを原料として製造されるのが一般的であった。本開発において、普通シラスの粒子を原料とするシラスの発泡技術、すなわちバルーン化技術を開発した。製造の流れは図1に示すとおり。

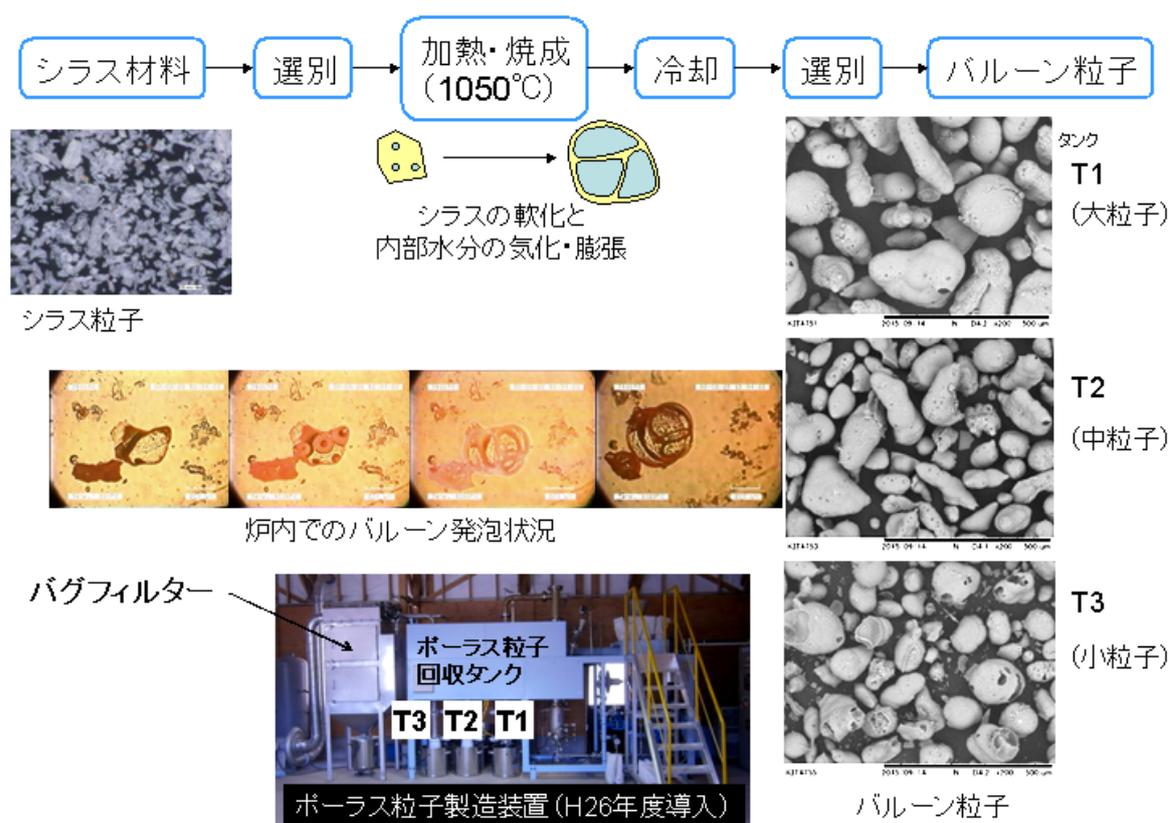


図1 シラスポーラス粒子の製造スキームと各工程の写真

具体的な開発項目は、効率生産プロセスの開発および選別によるポーラス粒子の精製技術の確立。効率生産プロセスの開発概要は表1に示すとおり。

表1 効率生産プロセスの開発概要

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 原料:高千穂シラス(普通シラス) 63~250 <math>\mu</math> m</li> <li>2. 焼成温度:1050<math>^{\circ}</math>C</li> <li>3. 製造速度:9kg/h(開発当初) → 30kg/h(最適速度), 45kg/h(最大速度)</li> <li>4. ポーラス粒子回収率:77.1%(開発当初) → 97.7%(最適速度での製造時)</li> <li>5. ポーラス粒子平均粒径:T1=162 <math>\mu</math> m、T2=113 <math>\mu</math> m(最適速度での製造時)</li> </ol>
--

使用するシラス原料の粒度調整、原料供給装置の調整など製造プロセスの最適化により、目的の粒子である $\Phi$ 100~200  $\mu$  m の回収率が77.1%→97.7%に向上した(図2)。

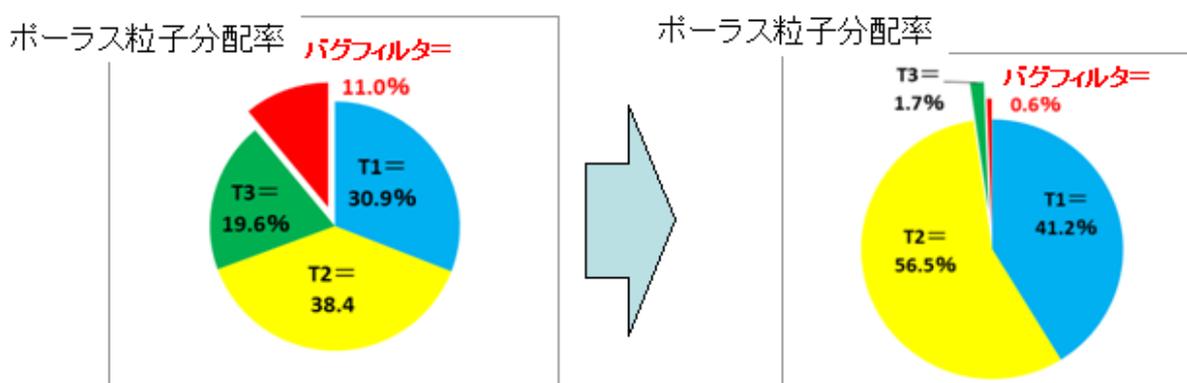


図2 シラスポーラス粒子の分配率の向上

さらに、シラス原料の粒径調整と撥水処理により、製造速度を最大 45kg/h にすることが可能となった。タッピングかさ比重を比較すると 30 kg/h の方が低く、よく発泡していることが示されており(図3)、粒子の発泡状態を考慮すると製造速度 30kg/h での製造が最適であることが分かった。品質、速度、さまざまなニーズに適した製造方法を確立することができた。

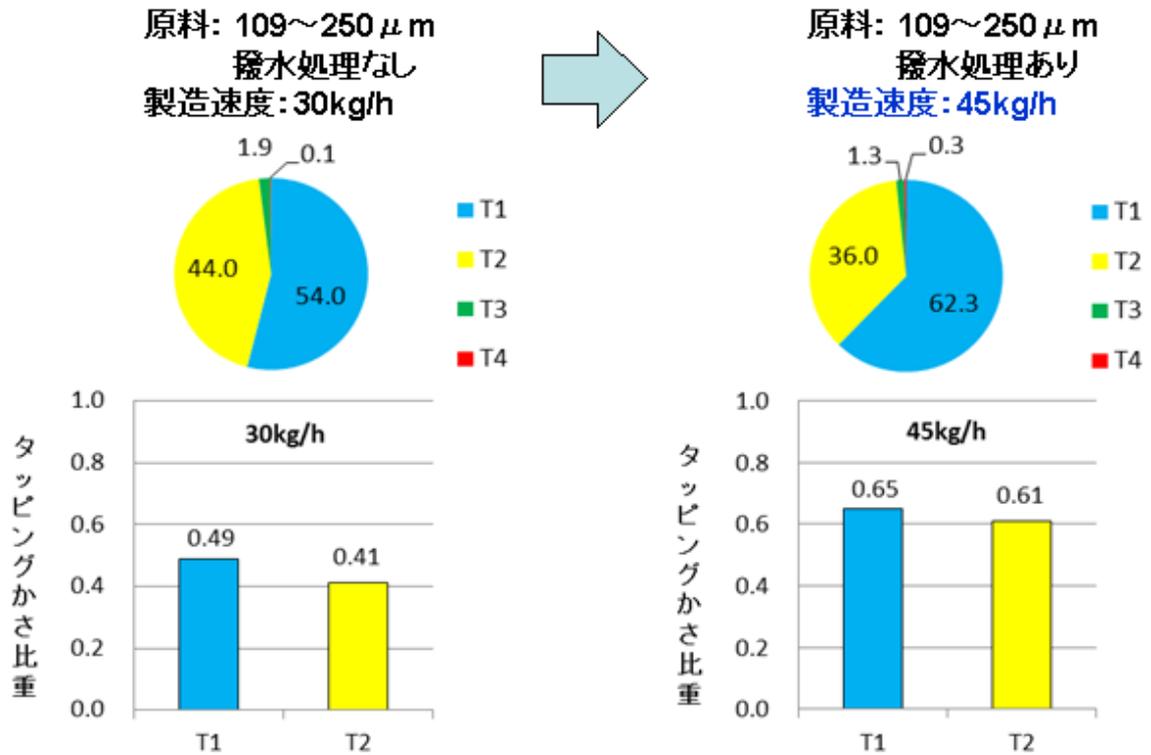


図3 シラス原料への撥水処理による分配率、タッピングかさ比重の違い

#### 2-1-2 サブテーマ1-2. 蓄熱・放熱材含浸方法の開発

中空バルーンの選別法について開発した。製造されるシラスバルーンは破片状のものや開気孔をもったものが6割以上混入している。一般的な製品はこのままの状態の販売されているが、本開発では、水に懸濁させ、浮水物と沈降物に分ける選別プロセスを開発した（図4）。

浮水物は閉気孔バルーンを52%含み、高断熱、軽量な高性能品として活用、販売可能となる。また、沈降物は開気孔バルーン機能性材料を封じ込めるカプセル素材として活用できることが見出された。

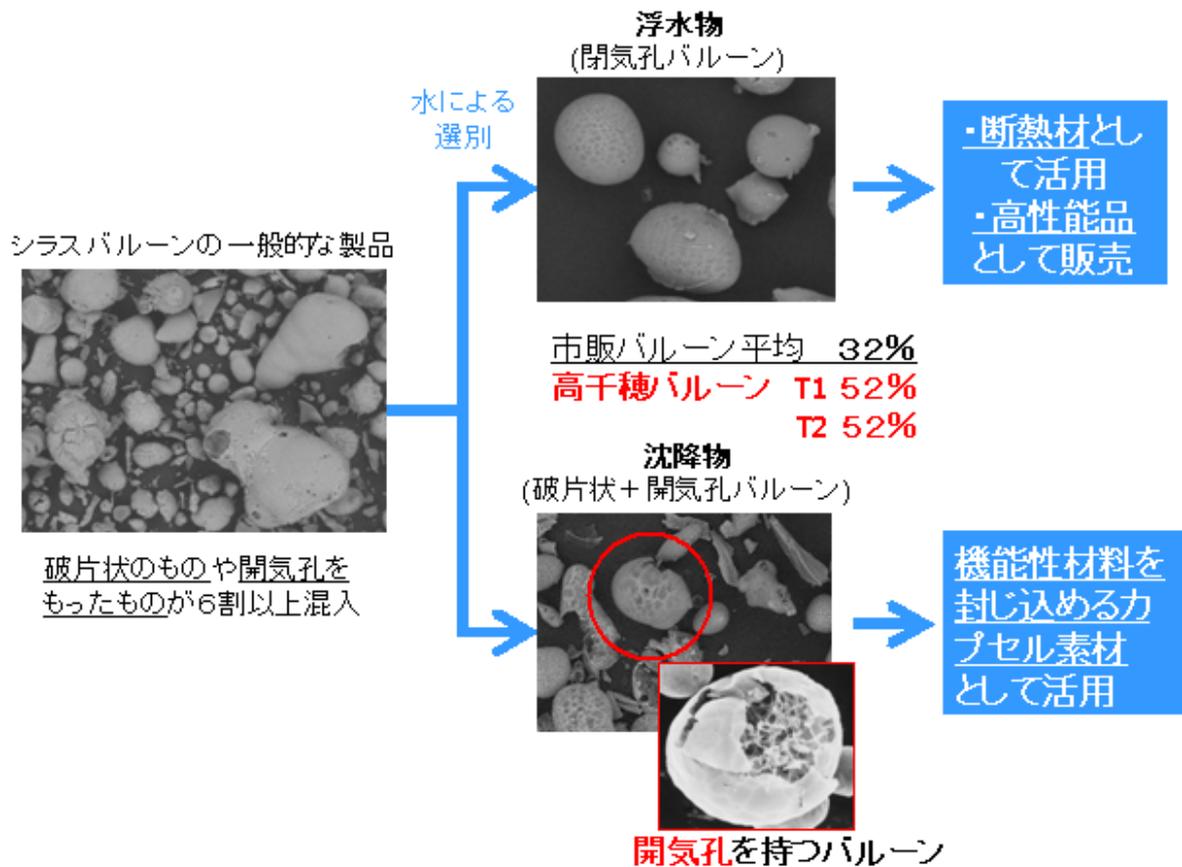
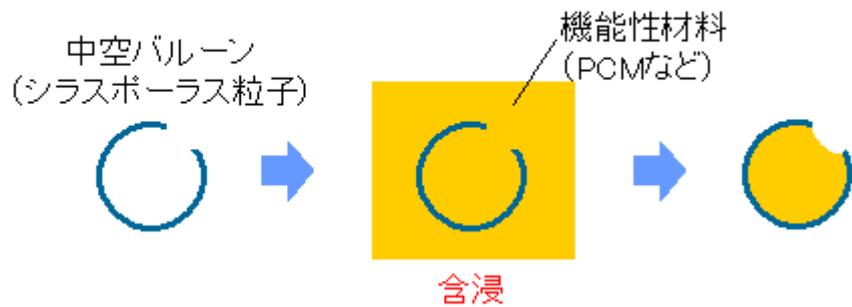


図4 シラスバルーンの選別プロセス

本開発では、下図に示す発想に基づき、中空バルーンを蓄熱素材の担体として活用した。含浸方法は下の図に示すとおりで、バルーンを入れた容器を脱気した後に、蓄熱素材を混合、大気圧中静置することで、最も良く含浸することが分かった。

<機能性材料の担体として活用>



<含浸方法>

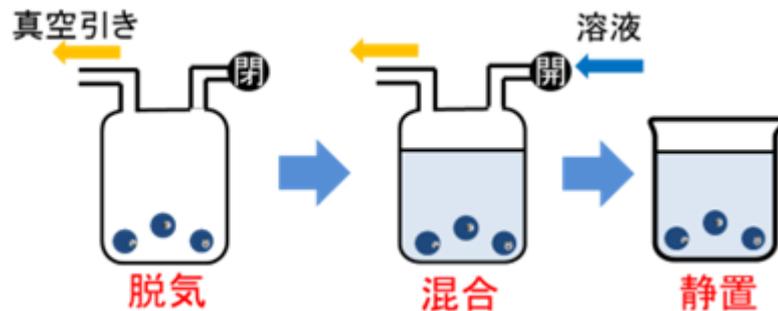


図5 シラスポーラス粒子の担体としての活用と含浸方法

2-2 テーマ2. 天然油脂原料蓄熱・放熱材の開発

2-2-1 サブテーマ2-1. 天然油脂原料蓄熱・放熱材の作成

物質が固体から液体に相変化する際に吸熱がおり、一方、液体から固体に相変化するときには放熱がおこる。適度な室温において、この熱の出し入れをすることで、適度な室温を保つことが、蓄熱・放熱壁材の温度調節の原理となる(図6)。

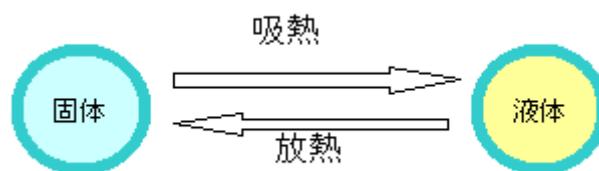


図6 蓄熱・放熱壁材の温度調節の原理

蓄熱材すなわち PCM となる物質は様々あるが、室温の温度帯で相変化するものはごく限られており、代表的なものを表2に示す。

表2 室温の温度帯で相変化する代表的な PCM

	PCM	タイプ	融点 °C	融解熱 kJ/kg	燃焼性
無機	塩化カルシウム6水和物	水和物	29.7	171	不燃性
	フッ化カリウム4水和物	水和物	18.5	231	不燃性
	硝酸マンガン6水和物	水和物	25.8	126	不燃性 (可燃物の燃焼を助長)
有機	n-オクタデカン	パラフィン	28	220	可燃性

有機 PCM は可燃性があるため、建材の素材として使用するためには難燃化、不燃化が問題となるのに対して、無機 PCM は「可燃性がなく、比較的 low コスト」という特性がある。このような特性から、建材に適した無機 PCM を蓄熱素材として採用した。無機 PCM は、室内の環境温度である 25°C で相変化するように配合調整したものをを使用した (図 7)。また、微粒子を懸濁させることで過冷却を防止し、融解熱は 194kJ/kg となった。

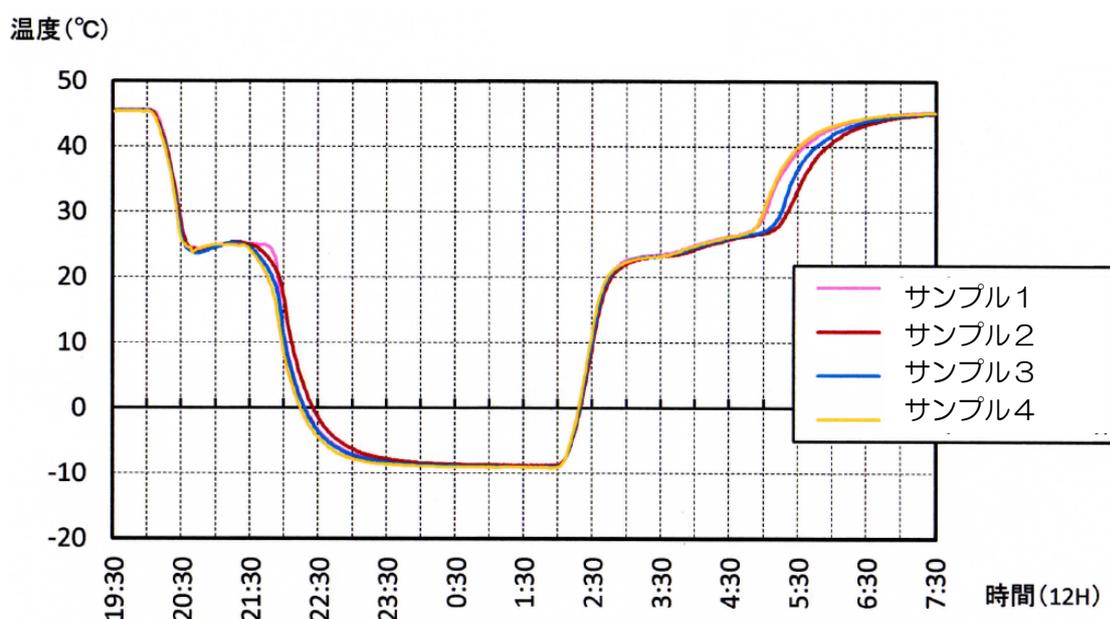


図7 無機 PCM の温度特性

### 2-2-2 サブテーマ2-2. 蓄熱・放熱性能の評価

本開発では、無機 PCM をシラスバルーンと複合化し、それをカプセル化して、直径数 mm の粒子 (PCM カプセル) を作成した。図 8 に PCM カプセルの模式図と作成したサンプル例を示す。



図8 PCM カプセルの模式図と作成したサンプル例

PCM カプセルについて、サンプルを入れたビーカーを湯浴により加温することで、温度特性を評価した。その結果、PCM カプセルは PCM に近い温度変化が得られ、蓄熱性能を保っていることが確認できた。

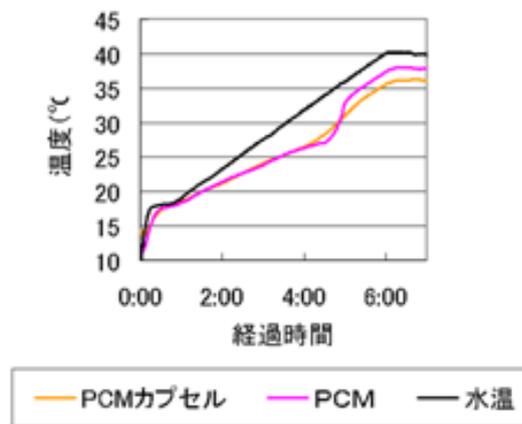


図9 PCM カプセル温度特性の測定例

## 2-3 テーマ3. 温度調節機能壁材の開発

### 2-3-1 サブテーマ3-1. 温度調節機能壁材の配合設計

PCM カプセルを配合したテストボードを作成し、温度をプログラムコントロールしたシリコンラバーヒーターによりテストボードを加熱し、熱伝導性を測定した。その結果、PCM カプセルを配合した壁は、配合しない壁に対し、4.9°Cの温度上昇が抑えられることを確認した（図10）。

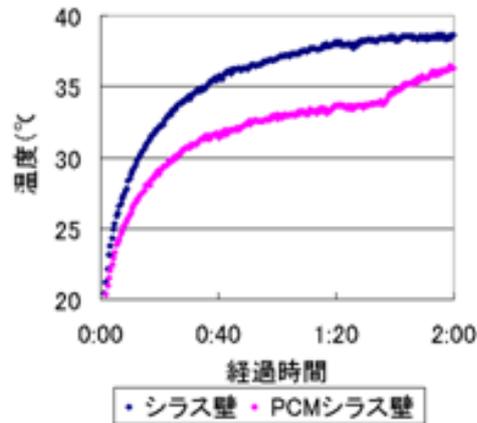


図 10 PCM カプセルを配合したテストボードの温度特性測定例

### 2-3-2 サブテーマ3-2. 壁材としての性能評価

PCM カプセルを配合したテストボードで擬似室内ボックスを作成し、擬似気温調節ボックス内に設置した (図 1 1)。気温調整ボックス内を加熱し、擬似室内ボックス内部温度の経時変化を測定した。擬似室内ボックス内部温度の経時変化を夏季の想定、冬季の想定にて測定した結果、従来壁 (シラス壁) と開発壁 (PCM シラス壁) との温度差は、夏季の想定では $-2.1^{\circ}\text{C}$ 、冬季の想定では $+1.9^{\circ}\text{C}$ の効果がみられた (図 1 2)。



図 1 1 擬似気温調節ボックス (左) と擬似室内ボックス (右)

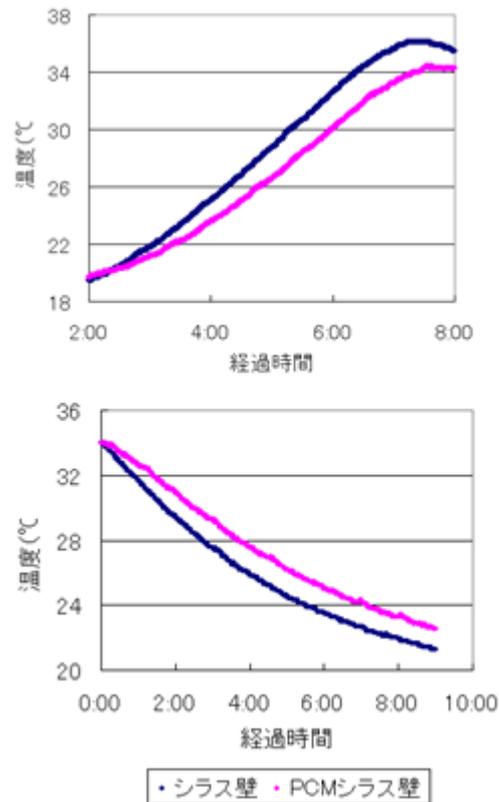


図 12 擬似室内ボックスを用いた温度特性の測定例  
夏季想定評価 (上)、冬季想定評価 (下)

実験結果を下の式に当てはめ、体感温度に換算すると、体感温度の差は、夏季の想定では -2.3°C、冬季の想定では +3.2°C となった。

$$\text{体感温度} \approx (\text{気温} + \text{周囲の表面温度}) \div 2$$

(出典:「自立循環型住宅への設計ガイドライン」)

## 2-4 テーマ4. 施工技術、施工性評価と性能検証

### 2-4-1 サブテーマ4-1. 施工技術の確立

PCM カプセルと、配合のベースとなるシラス壁材、施工性を向上させる添加材を配合することで、PCM シラス壁材とした。

施工の手順としては、石膏ボードに湿らしこすり層の塗りつけ、PCM 層の塗りつけ、仕上層の塗りつけを実施することで、石膏ボードに対する接着性、温度調節機能、仕上がりの

美しさにおいて、良い状態を得られことを確認した（図 13、図 14）。

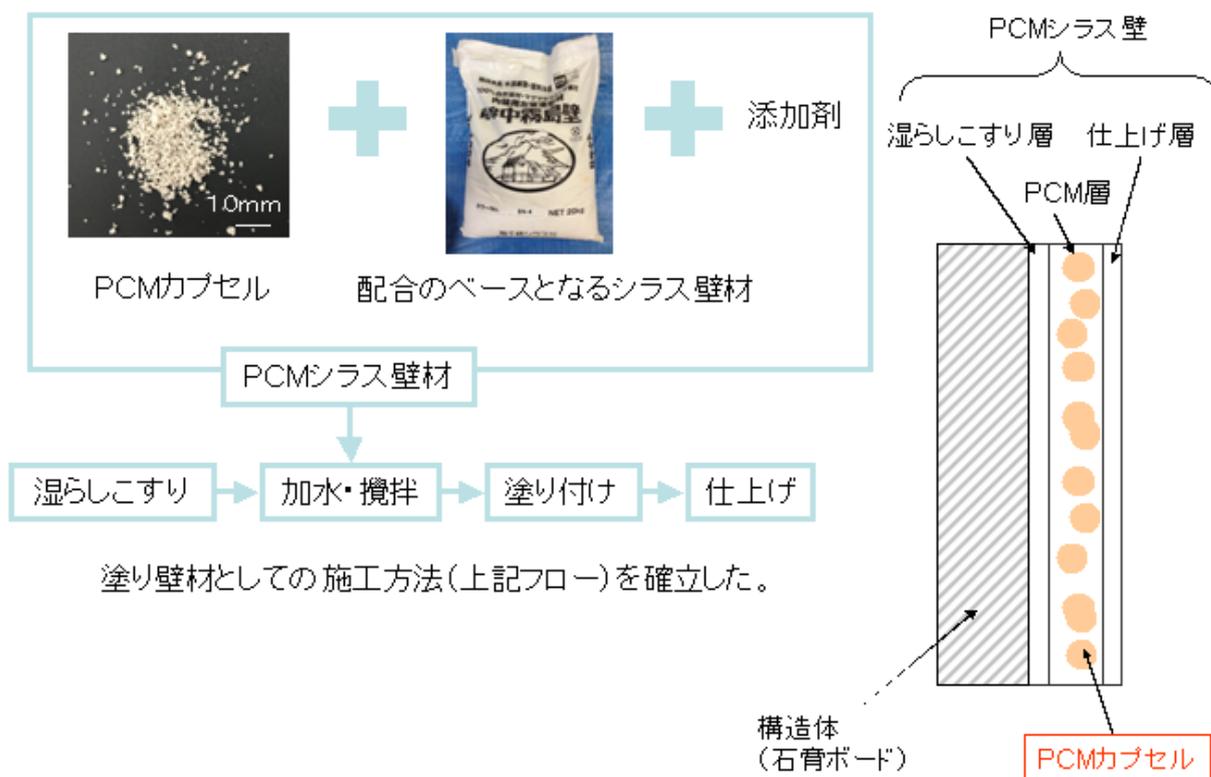


図 13 PCM シラス壁材の施工の流れ

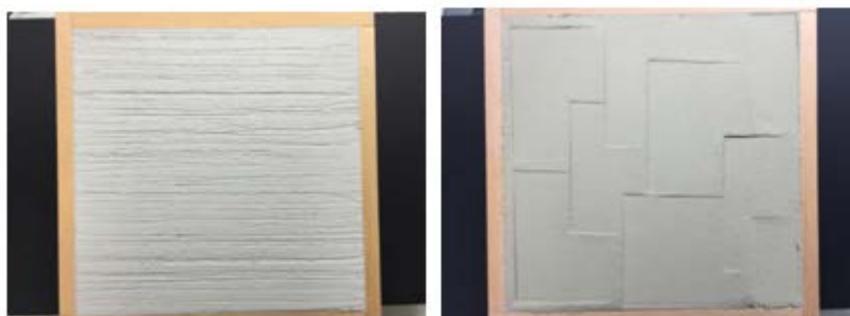


図 14 PCM シラス壁材の仕上げ例

#### 2-4-2 サブテーマ4-2. 施工評価

モデルハウス内において PCM カプセルを配合した PCM シラス壁材を施工し、施工性を確認した。モデルハウスにおいて、左官職人に施工をしてもらい、壁面に対し施工できること、剥がれがないこと、表面を塗り壁ならではの風合いで仕上がることなどを確認した（図 15、図 16）。



図 15 実証実験を実施したモデルハウス



図 16 モデルハウスでの施工風景（左、中）と施工後の室内（右）

施工性は  $17.5 \text{ m}^2/\text{人}\cdot\text{日}$  であり、目標である  $20.0 \text{ m}^2/\text{人}\cdot\text{日}$  の 88%であった。施工性改善のため、配合と施工方法を継続的に改良している。

モデルハウス内の同じ大きさ、同じ形の隣り合う部屋に PCM シラス壁材とシラス壁材を施工し、室内環境を比較した。PCM シラス壁材を施工した部屋では、シラス壁材を施工した部屋に比べ最大で  $2.4^\circ\text{C}$  温度が低く、PCM シラス壁を施工した部屋では、夏の日中も涼しさが保たれていることが実証された。

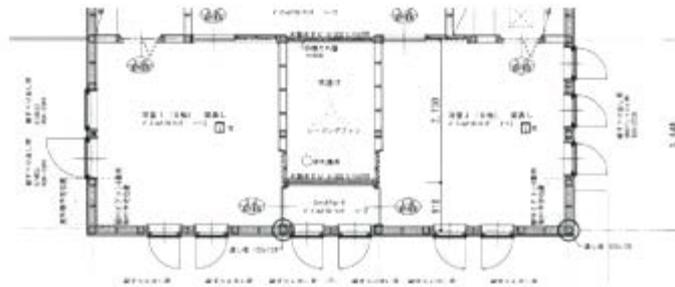
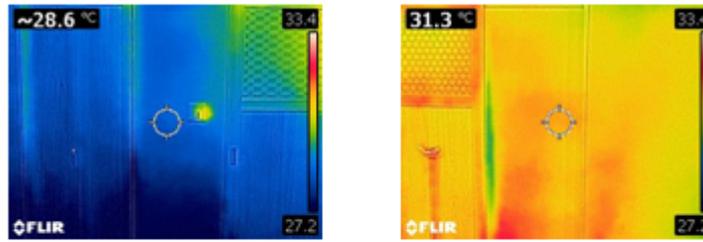


図 17 実証実験を実施した 2 部屋の平面図



PCMシリカ壁材を施工した部屋 シリカ壁材を施工した部屋

図 18 開発壁材の実証試験結果例：サーモグラフィー画像

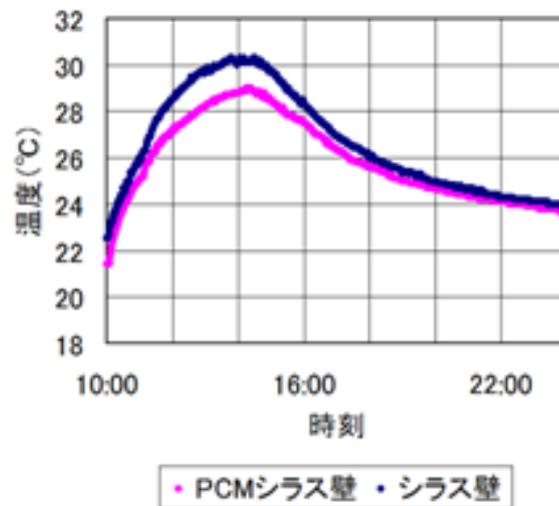


図 19 開発壁材の実証試験結果例：温度変化

また、実験期間中、室温 27°C以上の時間は平均で 9.3 時間/日から 4.7 時間/日に減少し、室温 27°C以上でエアコンを使用すると仮定すると、使用時間は 49.3%減少することが見積もられた。

## 最終章 全体総括

1. 高品質、低コストなポーラス粒子を製造する条件を開発した。
2. PCM を含浸させたポーラス粒子を内包するカプセル（PCM カプセル）を開発した。
3. PCM カプセルを配合した壁材により構成された実験空間において、温度 2.1 °C の温度上昇の抑制効果を確認した。
4. PCM カプセルを配合した PCM シラス壁を用いた実証実験において約 2°C の温度調節を達成した。

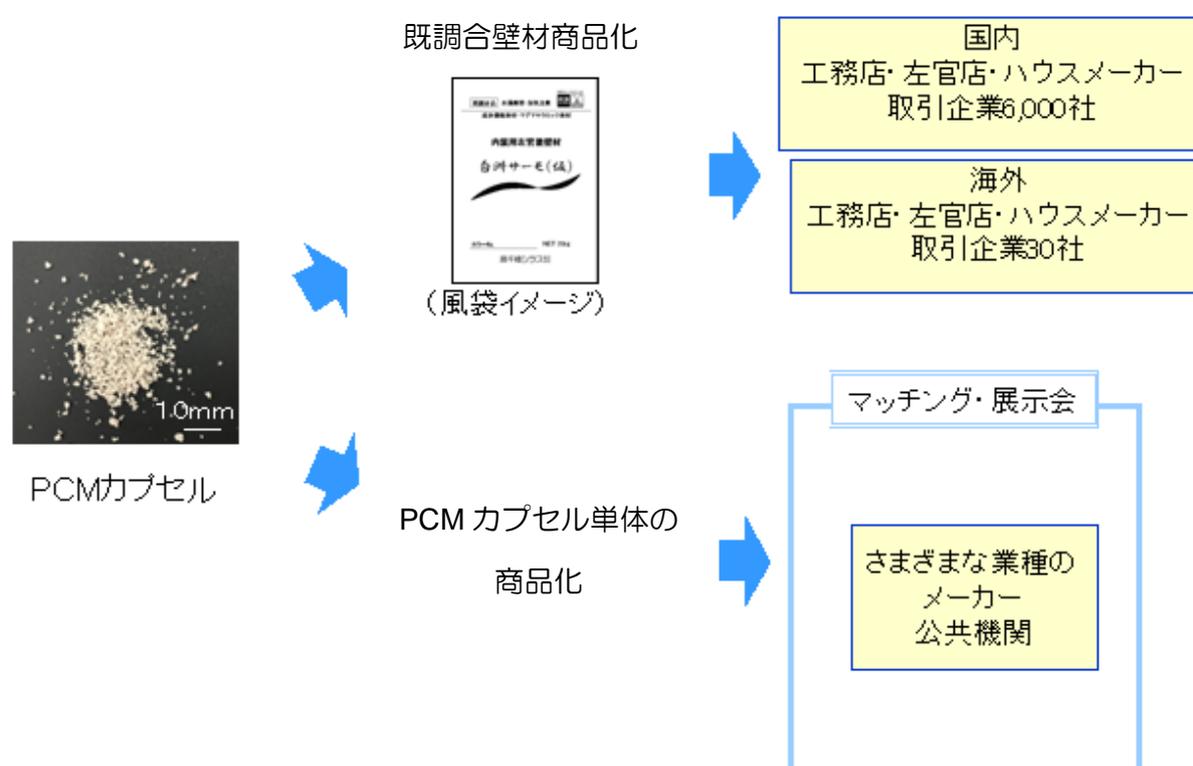


図20 本開発成果の事業化展開

事業化に向けて、本開発成果 1 件の特許申請を予定している（平成 29 年 4 月 12 日に  
出願完了）。また、開発製品をモデルハウスにて施工実験を実施済みで、量産化に向けた製  
造方法や体制、設備について検討している。本プロジェクトで開発されたカプセルは壁材と  
してだけでなく、単体での商品化なども予定している（図 20）。