

# 地域資源を活用した建材製品のハスクレイ添加による機能性向上

赤嶺欣哉、安里将仁\*1、中村英二郎

沖縄県を含む国内各地や東南アジア諸国等では、高温多湿期の不快な住環境改善による快適性の向上が求められている。そこで本研究では、適切な湿度にコントロールし、快適な住環境を創出する調湿建材の開発を目的に、調湿建材の試験体を試作し、調湿性能に関する評価を行った。その結果、高性能無機系吸放湿剤ハスクレイを添加した試験体は、沖縄の気候に近い高湿度な環境において調湿性能を示すことを確認した。

## 1 はじめに

近年の室内環境は、冷暖房機の性能向上により快適になった一方、断熱化や気密化が進み、結露の発生や過乾燥などが起こりやすい状態にある。特に沖縄県をはじめ、国内各地や高温多湿地域の多い東南アジア諸国等では、住空間における高温多湿環境の改善による快適性の向上や省エネの推進が求められている。その解決策の一つとして、電気やガスといったエネルギーを使わずに室内の湿度を調節できる調湿建材の利用が進んでおり、環境に配慮した製品等を求める動きが活発となっている。

シリカゲルやゼオライトを用いた水蒸気吸着剤は、デシカント空調システムに利用されているが、これら吸着剤は加熱機を用いて水蒸気を脱着し再生する必要がある。

一方、国立研究開発法人産業技術総合研究所で開発された高性能無機系吸放湿剤ハスクレイ<sup>1)</sup>（以下、「ハスクレイ」と記す。）は、吸着剤として100℃以下の低温域で水蒸気の吸脱着が可能であり、室温でも吸脱着しやすい性能を有する。

そこで、株式会社沖縄の既存製品である琉球石灰岩風擬石材「SANGO no GISEKI（琉紋）」（以下、「琉紋」と記す。）にハスクレイを添加し、適切な湿度にコントロールする調湿建材を開発し、調湿建材の評価を行ったので報告する。

## 2 実験方法

### 2-1 供試試料

各種試験には、琉球石灰岩及び株式会社沖縄にて製作した琉紋とハスクレイ添加琉紋を用いた。ハスクレイ添加琉紋の試験体は、沖縄の配合割合にて琉紋の材料にハスクレイを添加し製作した。

### 2-2 平衡含水率

平衡含水率の測定は、JIS A 1475:2004（建築材料の平衡含水率測定方法）<sup>2)</sup>による。

試験体の大きさは方形50 mm × 50 mm、厚さ10 mmとした。

試験体は、乾熱滅菌器（ヤマト科学社製、SG600）を用いて105℃で恒量（恒量：24時間ごとに行う測定において、質量変化率が3回連続して0.1%以下）となるまで乾燥し、最後に測定した質量を「基準乾燥時の試料質量」とした。なお、質量の測定には精密電子天秤（AUX320、島津製作所社製）で0.0001 gまで測定した。

試験体は、乾燥後、塩飽和水溶液を用いて各相対湿度に設定したデシケーターに入れ、恒量となるまで質量を測定した。なお、室温23℃における各種塩飽和水溶液の相対湿度を表1に示す。

表1 各種塩飽和水溶液の相対湿度

使用塩類		相対湿度 (%)
塩化マグネシウム	MgCl <sub>2</sub>	33
硝酸マグネシウム	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	53
塩化ナトリウム	NaCl	75
塩化カリウム	KCl	85
硝酸カリウム	KNO <sub>3</sub>	93

全ての試験体で、恒量時の試料質量から、式(2)により平衡質量含水率を求めた。

$$u = (m - m_0) / m_0 \quad \dots (2)$$

ただし、 $u$ ：平衡質量含水率 (kg/kg)

$m$ ：恒量時の試料質量 (kg)

$m_0$ ：基準乾燥時の試料質量 (kg)

とした。

また、式(2)で求めた平衡質量含水率から、式(3)により容積基準質量含水率を求めた。

$$w = u \rho_0 \quad \dots (3)$$

ただし、 $w$ ：容積基準質量含水率 (kg/m<sup>3</sup>)

$u$ ：平衡質量含水率 (kg/kg)

$\rho_0$ ：基準乾燥時の試料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

とした。

求められた相対湿度33%、53%、75%における容積基準質量含水率から、最小二乗法を用いて一次式に回帰さ

\*1 現環境部自然保護課

55%における平均平衡含水率を算出し、調湿建材判定基準<sup>3)</sup>と比較した。

### 2-3 湿度応答法による吸放湿量

吸放湿量の測定は、JIS A 1470-1:2014（建築材料の吸放湿性試験方法—第1部：湿度応答法）<sup>4)</sup>に準じた。

試験体の大きさは、250 mm × 250 mm、厚さ15 mmとした。

試験体を乾熱滅菌器を用いて105℃で恒量となるまで乾燥させた。質量の測定には電子天秤（UP6202Y、島津製作所社製）を用いた。

乾燥後、試験体の側面及び裏面をアルミテープで断湿し、表2に示す養生時条件で、恒温恒湿器（KCL-1000、東京理化器械社製）で恒量となるまで養生した。養生後、吸放湿量の測定のため、恒温恒湿槽内の雰囲気温度を23 ± 0.5℃に設定した。相対湿度は表2に示す湿度条件に基づき設定し、吸湿過程の相対湿度で12時間保持し、その後、放湿過程の相対湿度で12時間保持することで1サイクルとした。

測定は4サイクル繰り返し、その間の試験体の質量を電子天秤で測定した。

表2 吸放湿試験の設定相対湿度

湿度条件	養生時	吸湿過程	放湿過程
中湿域	50%	75%	50%
高湿域	70%	95%	70%

### 2-4 温度応答法による吸放湿量

吸放湿量の測定は、JIS A 1470-2:2014（建築材料の吸放湿性試験方法—第2部：温度応答法）<sup>5)</sup>に準じた。

試験体の大きさは100 mm × 100 mm、厚さ15 mmとした。

試験体を乾熱滅菌器を用いて105℃で恒量となるまで乾燥させた。質量の測定には電子天秤を用いた。

乾燥後、試験体の側面及び裏面をアルミテープで断湿し、23℃・相対湿度50%の恒温恒湿器で恒量となるまで養生した。

養生後、23℃・相対湿度50%に保たれた雰囲気中で、アルミテープで断湿した大きさ300 mm × 300 mm、厚さ100 mmのポリスチレンフォーム断熱材の

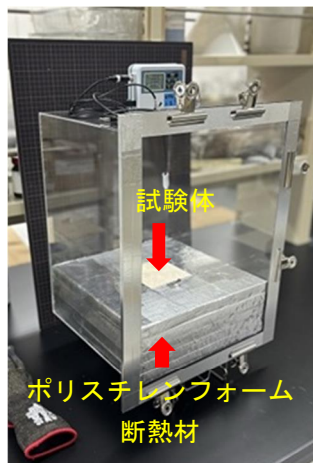


図1 密閉箱外観

試験体形状にくり貫いた中央上部に試験体を設置し、更に、図1に示す内法300 mm × 300 mm × 400 mmの亚克力樹脂製の箱（以下、「密閉箱」という）に設置、密閉した。密閉箱内には庫内の温湿度を記録するため温湿度ロガー記憶計（SK-L754、佐藤計量器製作所社製）を設置した。

22.5℃・相対湿度50%に設定した恒温恒湿器内に密閉箱を設置し、密閉箱内部の温湿度が安定した後、表3に示す条件で温度を変動させた。24時間の温度周期を1サイクルとして4回繰り返し、その間の温湿度を測定した。

表3 温度条件

経過時間(h)	0	2	4	6	8	10	
設定温度(℃)	22.5	26.3	29.0	30.0	29.0	26.3	
経過時間(h)	12	14	16	18	20	22	24
設定温度(℃)	22.5	18.8	16.0	15.0	16.0	18.8	22.5

## 3 実験結果および考察

### 3-1 平衡含水率

基準乾燥時の試料の質量及び恒量時の試料の質量から算出した平衡含水率を表4に示す。また、この結果から算出した容積基準質量含水率を表5に示す。

表5より、琉紋の容積基準質量含水率は琉球石灰岩と比較し大きい値を示した。また、ハスクレイを添加した琉紋は、琉紋と比較し容積基準質量含水率が、さらに大きい値を示した。

表4 相対湿度毎の平衡含水率

相対湿度 (%)	琉球石灰岩 (kg/kg)	琉紋 (kg/kg)	ハスクレイ添加琉紋 (kg/kg)
33	0.00015	0.0072	0.0110
53	0.00025	0.0118	0.0161
75	0.00040	0.0219	0.0274
85	0.00051	0.0284	0.0364
93	0.00094	0.0384	0.0507

表5 容積基準質量含水率

相対湿度 (%)	琉球石灰岩 (kg/m <sup>3</sup> )	琉紋 (kg/m <sup>3</sup> )	ハスクレイ添加琉紋 (kg/m <sup>3</sup> )
33	0.36	13.9	22.1
53	0.60	22.8	32.7
75	0.97	40.1	55.2

表5を基に作成した相対湿度と平衡含水率の相関を図2、3、4に示す。

琉球石灰岩の一次式の傾きは、0.0146と小さい値を示した。琉紋は0.6255と大きく、さらにハスクレイを添加した琉紋は0.7913と大きくなり、ハスクレイ添加の寄与が認められた。

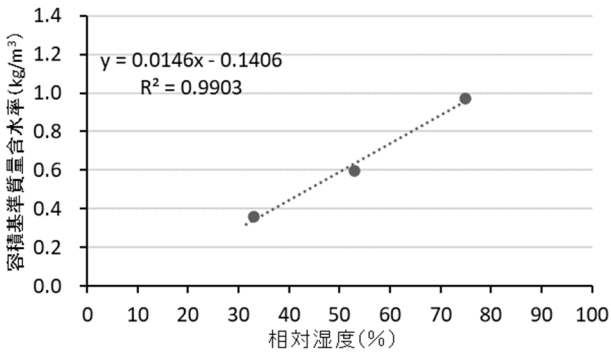


図2 相対湿度と平衡含水率の相関（琉球石灰岩）

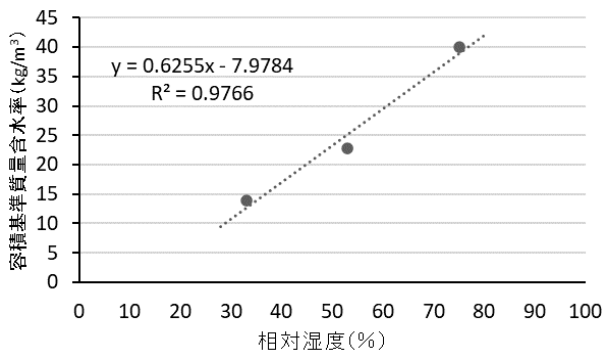


図3 相対湿度と平衡含水率の相関（琉紋）

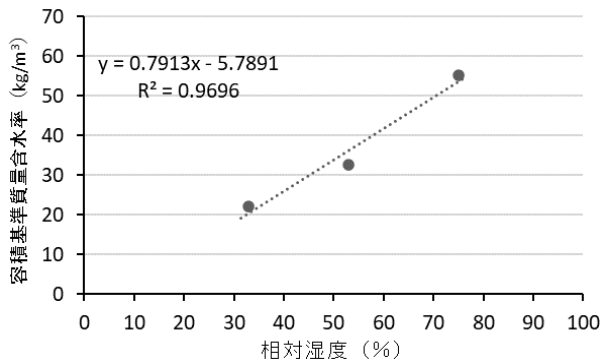


図4 相対湿度と平衡含水率の相関(ハスクレイ添加琉紋)

平衡含水率の調湿建材判定基準値<sup>3)</sup>との比較を表6に示す。平均平衡含水率は琉紋が調湿建材判定基準値の5倍以上、また、ハスクレイ添加琉紋が7倍以上あり、ハスクレイ添加による機能向上が認められた。一方で、琉球石灰岩は基準を満たさない結果となった。

表6 平衡含水率の調湿建材判定基準値との比較

	基準値	琉球石灰岩	琉紋	ハスクレイ添加琉紋
含水率勾配 (kg/m <sup>3</sup> /%)	0.12以上	0.015	0.63	0.79
平均平衡含水率 (kg/m <sup>3</sup> )	5以上	0.66	26	38
※相対湿度55%				

### 3-2 湿度応答法による吸放湿量

中湿域における12時間ごとの吸湿、放湿に伴う試験体質量の経時変化を図5に示す。

ハスクレイを添加した琉紋の吸放湿量は、従来の琉紋と比較して大きい傾向を示した。琉球石灰岩は、吸放湿量が、ほとんどないことを確認した。

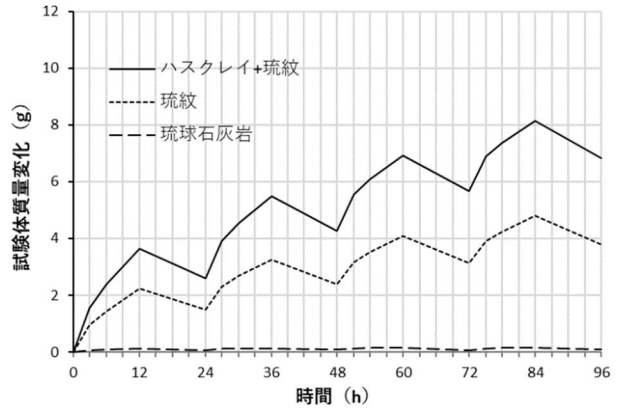


図5 湿度応答法による試験体質量の変化（中湿域）

高湿域における12時間ごとの吸湿、放湿に伴う試験体質量の経時変化を図6に示す。

高湿域においてもハスクレイ添加琉紋は吸放湿量の変化が大きい傾向となった。琉球石灰岩は、吸放湿量が、ほとんどないことを確認した。

琉紋やハスクレイ添加琉紋は吸放湿のサイクルを経るごとに質量が増加しているのは、吸湿過程12時間で吸収した湿気を放湿過程12時間では放湿しきれていないためであると考えられる。

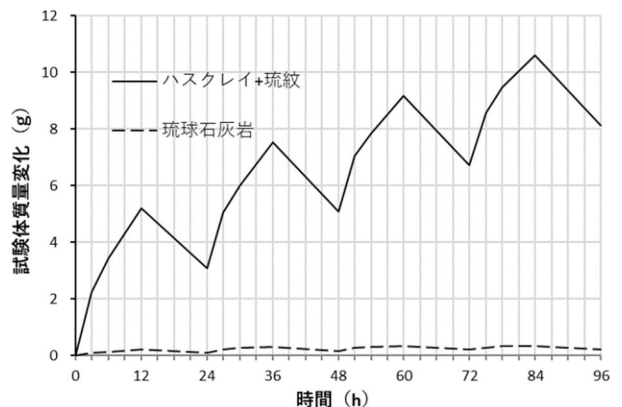


図6 湿度応答法による試験体質量の変化（高湿域）

次に、この試験体質量から求めた中湿域及び高湿域の吸放湿量を表7、8に示し、表9の調湿建材判定基準（吸放湿量）と比較し以下に検討したことを記す。

表7に示す吸放湿量（中湿域）の結果から、琉紋については、中湿域12時間後では吸湿量が36.0 g/m<sup>2</sup>で基準値を満たしたが、各吸放湿サイクルの24時間毎の放湿量

が12.2 g/m<sup>2</sup>～16.0 g/m<sup>2</sup>で中湿域の放湿量基準値を下回る結果となった。

表7、8に示すように、ハスクレイ添加琉紋については、中湿域12時間後では吸湿量が58.2 g/m<sup>2</sup>で基準値を満たしたが、各吸放湿サイクルの24時間毎の放湿量が16.8 g/m<sup>2</sup>～20.6 g/m<sup>2</sup>で4点中2点が中湿域の基準値以下となった。しかしながら、沖縄県の気候に近い高湿域では吸湿量が83.4 g/m<sup>2</sup>で、放湿量が34.2 g/m<sup>2</sup>～39.8 g/m<sup>2</sup>で中湿域における基準値と比較して上回る結果とな

り、実用的な機能が期待できることが確認できた。

琉球石灰岩については、中湿域の吸湿量が1.1 g/m<sup>2</sup>～1.9 g/m<sup>2</sup>で放湿量も0.8 g/m<sup>2</sup>～1.3 g/m<sup>2</sup>と小さく、高湿域の吸湿量が1.3 g/m<sup>2</sup>～3.4 g/m<sup>2</sup>で放湿量も2.1 g/m<sup>2</sup>～2.6 g/m<sup>2</sup>と小さく、中湿域、高湿域ともに基準値を著しく下回る結果となった。

なお、調湿建材判定基準は中湿域の値を参照するため、高湿域の結果は参考結果となる。

表7 吸放湿量（中湿域）

時間	1サイクル				2サイクル				3サイクル				4サイクル				
	3	6	12	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	
琉球石灰岩	吸湿量 (g/m <sup>2</sup> )	1.1	1.3	1.9	-	1.0	1.0	1.3	-	0.6	1.0	1.1	-	1.0	1.1	1.4	-
	放湿量 (g/m <sup>2</sup> )	-	-	-	1.1	-	-	-	0.8	-	-	-	1.3	-	-	-	1.1
	放湿率 (%)				58.3				62.5				114.3				77.8
琉紋	吸湿量 (g/m <sup>2</sup> )	15.2	22.9	36.0	-	12.8	19.0	28.3	-	12.5	18.2	27.2	-	12.2	17.8	26.6	-
	放湿量 (g/m <sup>2</sup> )				12.2				13.9				15.2				16.0
	放湿率 (%)				33.8				49.2				55.9				60.2
ハスクレイ 添加琉紋	吸湿量 (g/m <sup>2</sup> )	24.6	38.2	58.2	-	21.1	31.0	46.2	-	20.2	28.8	42.4	-	19.2	27.0	39.2	-
	放湿量 (g/m <sup>2</sup> )	-	-	-	16.8	-	-	-	19.2	-	-	-	20.0	-	-	-	20.6
	放湿率 (%)				28.8				41.5				47.2				52.7

※ 表9に示す調湿建材判定基準を下回っている値を赤字で示し、上回っている値を青字で示した。  
 ※ 調湿建材判定基準の吸湿量比較対象値セルを青色、放湿量比較対象値セルを黄色で示した。

表8 吸放湿量（高湿域）

時間	1サイクル				2サイクル				3サイクル				4サイクル				
	3	6	12	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	
琉球石灰岩	吸湿量 (g/m <sup>2</sup> )	1.3	2.1	3.4	-	1.9	2.9	3.7	-	1.8	2.6	3.0	-	1.0	1.9	2.2	-
	放湿量 (g/m <sup>2</sup> )	-	-	-	2.1	-	-	-	2.6	-	-	-	2.2	-	-	-	2.1
	放湿率 (%)				61.9				69.6				73.7				92.9
ハスクレイ 添加琉紋	吸湿量 (g/m <sup>2</sup> )	35.7	55.0	83.4	-	31.5	47.0	71.2	-	31.4	44.5	65.6	-	29.6	44.0	62.2	-
	放湿量 (g/m <sup>2</sup> )	-	-	-	34.2	-	-	-	39.0	-	-	-	39.5	-	-	-	39.8
	放湿率 (%)				41.1				54.8				60.2				64.0

※ 表9に示す調湿建材判定基準を下回っている値を赤字で示し、上回っている値を青字で示した。  
 ※ 調湿建材判定基準の吸湿量比較対象値セルを青色、放湿量比較対象値セルを黄色で示した。

表9 調湿建材判定基準（吸放湿量）<sup>3)</sup>

	3時間後	6時間後	12時間後
吸湿量(g/m <sup>2</sup> )	15以上	20以上	29以上
放湿量(g/m <sup>2</sup> )	-	-	※1、※2

※1 放湿過程12時間後の放湿量が吸湿過程12時間後の70%以上。  
 ※2 ※1の試験法において、70%未満である場合、中湿域での周期定常吸放湿試験を4サイクル繰り返し、1～4サイクル目の放湿量が全て20g/m<sup>2</sup>以上。

### 3-3 温度応答法による吸放湿量

琉球石灰岩、ハスクレイ添加琉紋の密閉箱内の温度応答法による4サイクル目の温度変化を図7に、温度応答法による密閉箱内の相対湿度変化を図8に示す。

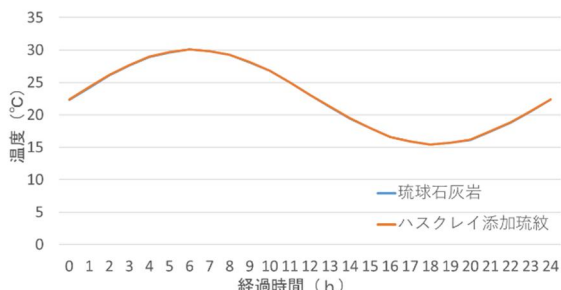


図7 温度応答法による温度変化(4サイクル目)

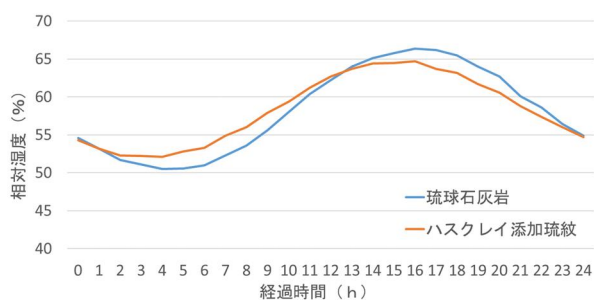


図8 温度応答法による相対湿度変化(4サイクル目)

図7の温度変化は、表3の温度条件の設定通り、変化している。図8 温度応答法による相対湿度変化から、ハスクレイ添加琉紋は、琉球石灰岩と比較すると湿度低下時、経過時間7時間目で最大2.6ポイント、および湿度上昇時、経過時間17時間目で最大2.5ポイントの差が認められた。また、相対湿度変動の幅が抑えられていることから調湿効果を確認した。

## 4 まとめ

地域資源を活用した建材製品のハスクレイ添加による機能性向上について評価を行った。

平衡含水率、湿度応答法による吸放湿量、及び温度応答法による吸放湿量の測定から以下の知見が得られた。

琉紋は、調湿建材判定基準の平均平衡含水率の5倍以上、また、ハスクレイ添加琉紋は、平均平衡含水率の7倍以上の結果となり、ハスクレイ添加による調湿機能の向上が認められた。

湿度応答法による吸放湿試験によりハスクレイを添加した琉紋は、吸放湿性が高まり、調湿効果の向上が確認できた。また、ハスクレイ添加琉紋は、中湿域よ

りも高湿域で吸放湿の効果が顕著に確認できた。

供試した試験体のハスクレイ添加琉紋は、一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会が定める調湿建材登録・表示制度に関する基準<sup>3)</sup>の吸湿量、放湿量とも満たさなかった。しかしながら、中湿域よりも高湿域の環境で吸放湿性があることを確認した。

温度応答法による相対湿度変化から、ハスクレイ添加琉紋は、琉球石灰岩と比較すると相対湿度変動の幅が抑えられていることから、調湿効果を確認した。

本研究は、令和5年度の工業研究費(受託)「地域資源を活用した建材製品の機能性向上(2023技014)」として実施した。

## 参考文献

- 1) 鈴木正哉、前田雅喜、犬飼恵一、高性能吸着剤ハスクレイの開発, *Synthesiology* (シンセシオロジー) Vol.9 No.3, p169(2016)
- 2) JIS A 1475, 建築材料の平衡含水率測定方法, 日本規格協会 (2019)
- 3) 「調湿建材登録・表示制度」に関する調湿建材判定基準, 一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会 (平成28年1月1日改定)
- 4) JIS A 1470-1, 建築材料の吸放湿性試験方法—第1部: 湿度応答法, 日本規格協会 (2014)
- 5) JIS A 1470-2, 建築材料の吸放湿性試験方法—第2部: 温度応答法, 日本規格協会 (2014)

## **Functionality Improvement of Building Material Products Using Local Resources Through the Addition of HASClay**

Kinya AKAMINE, Masahito ASATO\*<sup>1</sup>, Eijiro NAKAMURA

Okinawa Industrial Technology Center

\*<sup>1</sup>Okinawa Industrial Technology Center (currently Nature Conservation Division, Okinawa Prefectural Government)

Demand is high for comfort enhancement by improving uncomfortable dwelling environments during the hot and humid season at home, particularly in Okinawa Prefecture, and abroad in Southeast Asia. In response, we sought to develop humidity-control building materials that created comfortable dwelling environments through proper humidity control. We prototyped test specimens of such materials to evaluate the humidity control performance. The results confirmed that the test specimens added with the high-performance, inorganic, moisture adsorbent/desorbent HASClay exhibited humidity-control properties in a high-humidity environment similar to the climate in Okinawa.

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。