

# ZEB外壁不燃断熱塗装仕様 ZERO-eコート

ZEB Exterior Wall Non-Combustible Insulation Coating Specification:  
ZERO-e Coat

塗料事業部門 建築塗料事業部テクニカルサポートグループ  
Coating Business Div. Decorative Coatings Dept.  
Technical Support Group

常盤 勇斗  
Hayato Tokiwa

畠山 淳  
Jyun Hatayama

塗料事業部門開発部 技術開発第一グループ  
Technical Development Div. Development Dept.  
Technical Development Group1

高久 優太  
Yuta Takaku

## 要 旨

近年、地球温暖化は全世界で深刻な問題として考えられており、日本においても様々な地球温暖化対策が実施されている。この中で建築物に焦点を当てると、建物が消費するエネルギーを太陽光発電等の創エネ技術や省エネ技術を活用して実質ゼロを目指すZEB（Zero Energy Building）といった技術に注目が集まっている。ZEB化にあたっては建物内外部の温度差を小さく、断熱性を高めることで空調負荷を下げることができる。そのためには建物表面の反射性を高くし、断熱性を付与できる塗料があれば空調負荷を下げることができると考えられる。一方、断熱性に関しては、一般的に建物内部に用いられる断熱材が効果的であるが、特に改修工事においては、内部の稼働を止める必要がある。また、塗料として断熱材と同程度の熱伝導率を付与しようとする、多くの難燃剤を配合する必要があるが、耐候性や耐久性に影響する樹脂が少なくなり、塗膜の経年劣化を早める傾向にある。このため、屋外で用いることができ、断熱材と同程度の熱伝導率を有する塗料は現状存在しない。本報では、改修工事において内部の稼働を止めず、屋外で施工を行うことができ、断熱材と同程度の熱伝導率を有する塗料について報告する。

## Abstract

Global warming has become a serious issue worldwide, and Japan has implemented various countermeasures to combat it. Focusing on buildings, ZEB (Zero Energy Building) technology, which aims to achieve virtually zero energy consumption by utilizing energy-creating technologies such as solar power generation and energy-saving technologies, has been gaining attention. ZEB construction can reduce air-conditioning loads by minimizing the temperature difference between the inside and outside of a building and improving its insulation. To achieve this, it is thought that paints that can enhance the reflectivity of building surfaces and provide thermal insulation could reduce air-conditioning loads. While insulation materials typically used inside buildings are effective for insulation, they require the shut down of internal operations, especially during renovation work. Furthermore, imparting thermal conductivity comparable to that.

of insulation requires the incorporation of a large amount of flame retardants, which reduces the amount of resin that affects weather resistance and durability, and tends to accelerate the deterioration of the coating over time. Therefore, there are currently no paints that can be used outdoors and have thermal conductivity comparable to that of insulation. In this paper, we report a paint that can be applied outdoors during renovation work without shutting down internal operations and has thermal conductivity comparable to that of insulation.

## 1. はじめに

### 1.1 断熱材種類と施工上の課題

断熱材とは、熱の移動や伝達を減少させる材料の総称で、熱絶縁材とも呼ばれる。主に建築物においては、外部から侵入する熱や内部から放出される熱を遮断し、室内温度を快適に保つ役割がある。断熱材の仕組みは、空気の断熱性能を利用している点にあり、熱伝導率の低い素材で空気の層を作り出すことで、熱の伝導を遅らせることができる。主な種類は以下に示す。

#### ○繊維系断熱材

- ・無機繊維系：ガラスを溶かして繊維状にしたグラスウールや、岩石を原料とするロックウールなどが挙げられ、比較的安価で耐熱性や吸音性に優れ、多くの住宅で使われる。
- ・木質繊維系：古紙を原料とするセルロースファイバーや、木材繊維を原料とするウッドファイバーなどがあり、調湿性や吸音性に優れるが、防湿加工が必要な材料である。

#### ○発泡プラスチック系断熱材

- ・発泡ポリスチレンや発泡ポリウレタンなどがあり

無数の気泡によって高い断熱効果を発揮し、薄くても高い断熱効果が得られるのが特徴である。

断熱材は、建物の床、壁、天井、屋根などに施工され、冷暖房効率を高め、省エネ性能を向上させる。また、建物の気密性を高める効果も併せ持つ一方で、断熱材の多くは内壁の内側に打設もしくは貼り付けを行うものが主流であり、既存建物を断熱化する場合、大規模な工事が必要となり、工期や費用の面で大きな負担になりやすい。

### 1.2 高層ビル火災の事例について

高層ビルの火災において外壁(外装材・カーテンウォール・断熱材など)は火災の拡大を左右する非常に重要な要素となる。高層ビル火災の被害が拡大する要因としては、以下が挙げられる。

外壁の表面や内部に可燃性の断熱材や仕上げ材が使用されている場合、炎が外壁を伝って一気に上層階へと燃え広がる垂直燃焼が発生しやすく、これが最大の要因とされている。その他要因としては、開口部(窓など)から火炎が噴出し、上層の外壁に着火する外壁延焼(フラッシュオーバー伝播)が挙げられる。

### 1.3 本検討の目的

これらの課題を解決するため、著者らは断熱材に近い熱伝導率を有するとともに、建築基準法に定められる不燃材料相当の性能を有する外装用塗料の検討を実施した。双方の機能を有する材料であれば、改修時に適用することで、現在断熱性の無い建物に対して断熱性を付与することが可能となる。また、断熱性のある建物についても火災時の燃え広がりを遅くできることや太陽光による熱発生から躯体の劣化を軽減させることが可能である。さらには、既存の遮熱塗料と組み合わせることにより、夏場は遮熱と断熱による室内温度上昇の軽減、冬場は断熱による室内温度の保持が可能となり、エアコン等の電力削減が期待できる。また、従来の断熱材と異なり室内での施工を必要としないため、工期及び工費の削減にも繋がる。

## 2. 開発品の概要

今回求められる塗料機能を満たすために必要な樹脂への要求性能を表1に示す。商品の目標として無機を主成分として設計する。採用した樹脂は環境対応型水性ディスパージョンであり、基本骨格は有機無機ハイブリッドの自己乳化型水分散体となる。無機成分はポリシロキサンを含有しているが、最低造膜温度は低いため、有機成分となる成膜助剤を必要としない。また、柔軟性を示す被膜伸度は100～300%を有しており、躯体の経時伸縮に耐え得るものとなっている。

表1 採用樹脂性状

要求事項	採用樹脂
無機成分含有	ポリシロキサン含有量30wt%
最低造膜温度	5℃以下
環境対応	水系ディスパージョン
柔軟性	被膜伸度100～300%

断熱性を付与させる材料として、空気層を有する中空樹脂ビーズや中空ガラスビーズ、熱伝導率の低い無機フィラー(シリカエアロゲル・タルク・バーミキュライト)が挙げられる。樹脂との混合性や混合後の熱伝導率安定性を考慮し、本製品では中空ガラスビーズを採用した。

図1に収束イオンビーム走査型電子顕微鏡(FIB-SEM)による中空ガラスビーズの分布状況を3D観察した結果を示す。ZERO-eコートの乾燥塗膜中に中空ガラスビーズが充填されていることが確認できる。これにより断熱性に必要な空気層の確保が明確となっている。

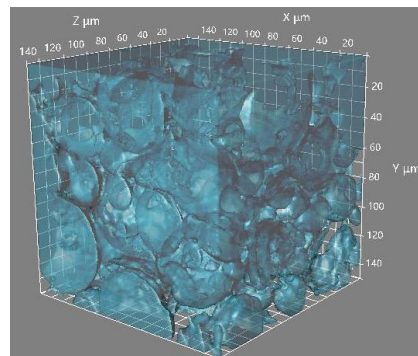


図1 塗膜中の中空ガラスビーズ分布

## 3. 性能評価

### 3.1 標準塗装仕様

ZERO-eコートを用いた標準塗装仕様を表2に示す。従来の遮熱塗装システムに中塗としてZERO-eコートを塗装することで、遮熱性と断熱性の両方を付与することが可能となる。

表2 標準塗装仕様

		標準塗装仕様
下塗	材料名	マイティー万能水性シーラー
	塗布量	0.10kg/m <sup>2</sup>
	塗装方法	刷毛/ローラー
中塗	材料名	ZERO-eコート
	塗布量	0.83kg/m <sup>2</sup> (塗膜厚1mm)
	塗装方法	砂骨ローラー/コテ/リシンガン
上塗	材料名	エコクールアクアF
	塗布量	0.12kg/m <sup>2</sup>
	塗装方法	刷毛/ローラー

### 3.2 試験水準

標準塗装仕様のほかに、市場展開されている断熱塗料を一部試験の比較として実施した。

表3に試験項目一覧を示す。試験は断熱性の指標である熱伝導率測定のほか、外壁向け塗料としての物性試験として耐酸性・耐アルカリ性・凍結融解性・促進耐候性・屋外暴露を実施した。また実際の温度変化を確認するため、コンクリート供試体を用いて実施する光照射試験による温度測定も実施した。

表3 試験項目一覧

試験項目	試験条件
熱伝導率	ISO-22007-2に準拠するホットディスク法
耐酸性	5g/L硫酸水溶液を作製し、7日間浸漬
耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液を作製し、7日間浸漬
湿潤冷熱サイクル試験	23℃×18時間(湿潤)、-20℃×3時間(低温)、50℃×3時間(高温)を1サイクルとして10サイクル
促進耐候性	キセノンアークランプ照射2,800時間
屋外暴露	沖縄県うるま市の暴露場で2年間
人工光源照射試験	7時間(420分)の照射試験後、照射停止後7時間(420分)の温度降下状況を確認し、計14時間(840分)で温度測定を実施する。

### 3.4 試験方法

#### 3.4.1. 熱伝導率試験方法

塗膜の熱伝導率測定は、ISO 22007-2に準拠するホットディスク法熱物性測定装置TPS2500S(京都電子工業社製)で測定した。また、試験体は50mm×50mm×5mmのテフロン製型枠に入れ、乾燥した塗膜を試験体とした。なお、塗膜は断熱層であるZERO-eコート単膜で実施した。

#### 3.4.2. 耐酸性試験方法

耐酸性試験は、5g/L硫酸水溶液を作製し、7日間浸漬した後、取り出した試験板の外観を評価した。

#### 3.4.3. 耐アルカリ性試験方法

耐アルカリ性試験は、水酸化カルシウム飽和水溶液を作製し、7日間浸漬した後、取り出した試験板の外観を評価した。

#### 3.4.4. 耐湿潤冷熱サイクル試験方法

耐湿潤冷熱繰返し性試験は、「23℃×18時間(湿潤)、-20℃×3時間(低温)、50℃×3時間(高温)」を1サイクルとして10サイクル行った後、取り出した試験板の外観を評価した。

#### 3.4.5. 促進耐候性試験方法

促進耐候性試験については、上塗り塗料の色を白色として、キセノンアークランプ照射2,800時間までの60度鏡面光沢度を測定した後、式1にて光沢保持率を計算し、光沢保持率の変化を評価した。

$$\text{光沢保持率(\%)} = \frac{\text{試験後の鏡面光沢度}}{\text{初期の鏡面光沢度}} \times 100 \quad \dots \text{式1}$$

#### 3.4.6. 屋外暴露試験方法

屋外暴露耐候性試験については、上塗り塗料の色をグレー色として、沖縄県うるま市の暴露場で2年間の屋外暴露耐候性試験を行った。評価は、白亜化の等級、JIS K 5600-4-6(測色)に準拠しL\*a\*b\*値の測定を行った後、初期値との比較で色差ΔEを計算した。

#### 3.4.7. 人工光源照射性試験方法

建築用コンクリート供試体(縦200mm×横200mm×高さ200mm)でコンクリート内部の2か所で測定位置①、測定位置②更にコンクリート裏面側雰囲気温度として測定位置③に温度センサーを設置し塗装前の試験体とした。なお、測定位置の断面図を図2に示す。

ZERO-eコートの塗装有無、無塗装のコンクリートとの比較で1分毎の温度測定結果を7時間(420分間)照射し記録した。無塗装のコンクリートと塗装したコンクリートが示す最大温度を比較することで温度低減効果を算出した。試験体の周囲は発泡スチロール(厚み=25mm)で覆い、試験体表面以外からの熱影響を遮断した。測定では、光源としてJIS C 8912(結晶系太陽電池測定用ソーラシミュレータ)におけるCLASS C級に準拠したランプ、温度センサーとしてK型熱電対、記録計としてデータロガー(江藤電気社製)を用いた。また、外部雰囲気温度は照射実験付近で雰囲気温度を測定し、全天日射量は、全天日射計(プリード社製)を用いて1,000W/m<sup>2</sup>の条件とした。

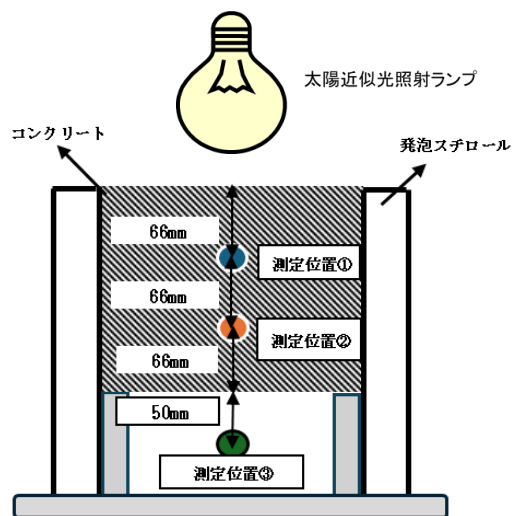


図2 測定位置

## 4. 結果

### 4.1. 熱伝導率試験結果

ホットディスク法による熱伝導率の測定結果を表4に示す。ZERO-eコートの熱伝導率は $0.071\text{W/m}\cdot\text{K}$ であった。冒頭で目標としていた断熱材である発泡ウレタンと比較すると、数値としては大きい値となっているが、現在市場展開されている他社断熱塗料と比較すると、約4割～5割程度の低い値を得ることができた。

表4 熱伝導率測定一覧

塗料	熱伝導率
発泡ウレタン	$0.030\text{W/m}\cdot\text{K}$
ZERO-eコート	$0.071\text{W/m}\cdot\text{K}$
他社品 A	$0.118\text{W/m}\cdot\text{K}$
他社品 B	$0.135\text{W/m}\cdot\text{K}$

### 4.2. 耐酸性試験結果

試験は $5\text{g/L}$ 硫酸水溶液に24時間没水する方法にて試験を行った。結果として、試験後の塗膜外観に異常がなく、2次付着性(基盤目付着性 $4\text{mm}$ カット幅)も良好な結果が得られた。このことから、ZERO-eコートを含む基本仕様は、 $5\text{g/L}$ 硫酸水溶液に対して耐性があることを確認した。

### 4.3. 耐アルカリ性試験結果

試験は水酸化カルシウム飽和水溶液に500時間没水する方法にて行った。試験後の塗膜外観に異常がなく、2次付着性(基盤目付着性 $4\text{mm}$ カット幅)も良好な結果が得られた。このことから、ZERO-eコートは水酸化カルシウム飽和水溶液に対して耐性があることを確認した。

### 4.4. 耐湿潤冷熱繰返し性試験結果

試験は、( $23^{\circ}\text{C}\times 18$ 時間) + ( $-20^{\circ}\text{C}\times 3$ 時間) + ( $50^{\circ}\text{C}\times 3$ 時間)を1サイクルとし、計10サイクル行う方法にて行った。試験後の塗膜外観に異常は確認されなかった。このことから、ZERO-eコートは耐湿潤冷熱環境に対して耐性があることを確認した。

### 4.5. 促進耐候性試験結果

試験は、キセノンアークランプ照射による方法にて行った。照射2,800時間(JIS K5658 1級相当)までの光沢保持率の変化を図3に示す。照射2,800時間後の塗膜外観には異常がなく、光沢保持率は高い値で推移している。このことから、ZERO-eコートの中塗りとして用いた場合でも、耐紫外線性に影響は無く、高い耐候性を有する塗膜であることを確認した。

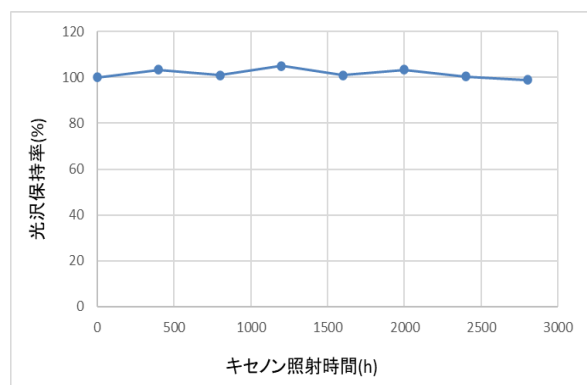


図3 促進耐候性試験結果

#### 4.6.屋外暴露試験結果

試験は、沖縄県伊計島で実施。屋外暴露試験2年経過後の試験板については、塗膜外観に異常がなく、白亜化は等級1であった。また、暴露試験開始から0.5年、1年、2年経過した試験板を初期値との比較でL\*a\*b\*値を測定し、 $\Delta E$ を計算した結果、暴露試験1年経過では $\Delta E$ は0.63と変化も小さく、2年経過した試験板についても $\Delta E$ は1.12で初期値からの大きな変化は起こらなかった。また、2年経過した試験板に塗膜劣化も起こっていないことから、開発品の屋外暴露環境における下塗り、上塗りを含めた塗装仕様での性能は良好であることを確認した。

#### 4.7.人工光源照射試験結果

人工光源照射時間に対する温度変化の結果を図4～6に示す。7時間(420分)照射終了後に人工光源照射を停止させたのち、7時間(420分)測定を継続しており、照射停止後に温度の低下が確認されている。

##### 4.7.1測定位置①(建物外壁表面想定)比較

測定位置①における結果を図4に示す。無塗装コンクリートの最大温度とZERO-eコート塗装コンクリートの最大温度を比較すると約4.0℃の温度低減効果が確認された。

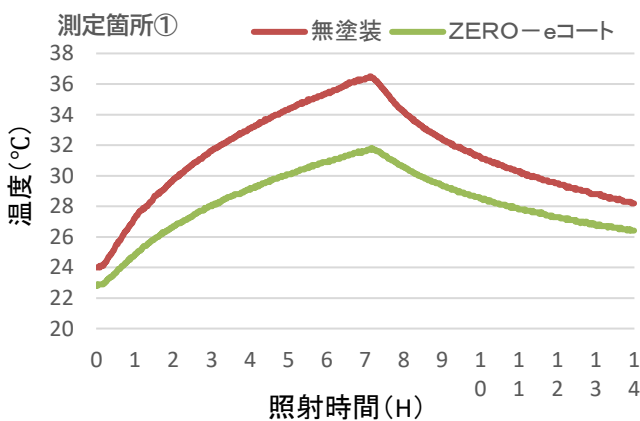


図4 測定位置①

##### 4.7.2測定位置②(建物外壁内部想定)比較

測定位置②における結果を図5に示す。無塗装コンクリートの最大温度とZERO-eコート塗装コンクリートの最大温度を比較すると約3.5℃の温度低減効果が確認された。

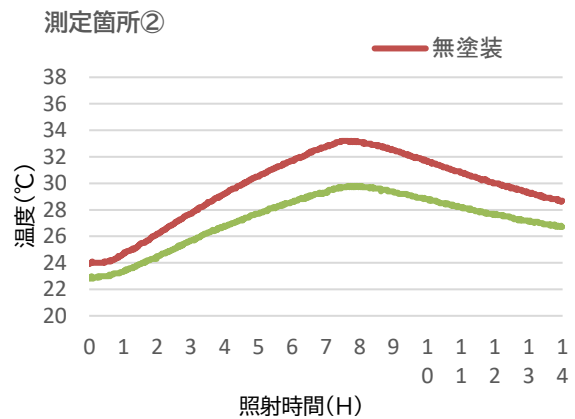


図5 測定位置②

##### 4.7.3測定位置③(室内想定)比較

測定位置③における結果を図6に示す。無塗装コンクリートの最大温度とZERO-eコート塗装コンクリートの最大温度を比較すると約2.5℃の温度低減効果が確認された。

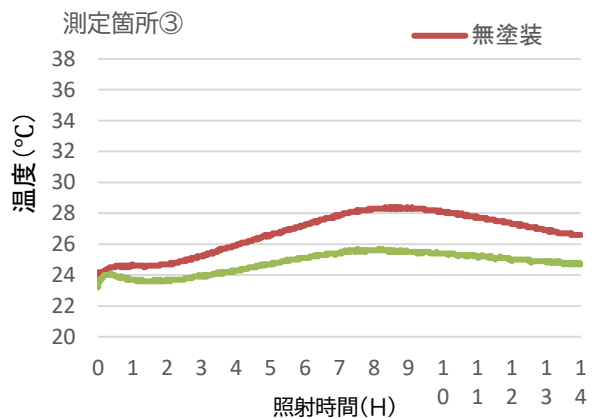


図6 測定位置③

## 2. 開発品の概要

得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1)ZERO-eコートは0.071W/m・Kの熱伝導率であり、屋外で使用できる塗膜性能を有することを確認した。
- (2)ZERO-eコートは紫外線、熱、水などの塗膜劣化因子に対して耐性があることを確認した。
- (3)ZERO-eコートを用いた際に下塗り、上塗りの耐候性、耐久性への影響はなく、標準塗装仕様の中塗りとして用いることができることを確認した。
- (4)人工光源照射下において、ZERO-eコートを塗装した試験体はコンクリート内部の温度上昇抑制効果が、すべての測定位置で確認された。このことから、ZERO-eコートを塗装するだけで断熱性能を付与することが可能となることを確認した。

表5 物性試験結果一覧

試験項目	結果
熱伝導率	0.071W/m・K
耐酸性	外観評価異常なし・2次付着性異常なし
耐アルカリ性	外観評価異常なし・2次付着性異常なし
湿潤冷熱サイクル試験	外観評価異常なし
促進耐候性	外観評価異常なし (光沢保持率 約98%)
屋外暴露	外観評価異常なし (2年経過時 色差ΔE値1.12)
人工光源照射試験	・無塗装 測定箇所③(室内想定) 最高温度:28.3℃  ・ZERO-eコート 測定箇所③(室内想定) 最高温度:25.8℃  温度差:2.5℃

## 6. 今後について

今後塗膜の燃焼性に関する認証取得を目指す。

## 7. 謝 辞

本開発品は大成建設株式会社、日本大学との共同研究によって得られた成果です。関係者各位に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 櫻田、永井 他:日本建築学会2025年大会学術講演梗概集、断熱性を有する塗膜の性能検証 その1
- 2) 常盤、永井 他:日本建築学会2025年大会学術講演梗概集、断熱性を有する塗膜の性能検証 その2