

技術トピックス 「快適な都市環境をめざして」

**ノンフロン型不燃リサイクル  
現場吹付け断熱材 「セラミライトエコ®」  
Development of the Non-Freon Spray-on Noncombustible  
Insulating Material using Recycled Product Ceramilite Eco®**

高橋 晃一郎 Koichiro Takahashi  
堀 長生 Nagao Hori

1. はじめに

近年、環境保護に対する意識の高まりは広く浸透し、今や全ての企業活動に対して環境負荷の低減などがあたり前となり、企業を評価する上でも大きなウエイトを占めるようになってきている。

建設分野でもオゾン層破壊防止や地球温暖化対策などの環境配慮から、現場吹付けポリウレタン断熱材（以下、ポリウレタン断熱材）などに使用されるフロンの使用規制が強化され、各断熱材メーカーはノンフロン化対策が急務とされている。

さらに、ポリウレタン断熱材は溶接火花などが原因で、爆燃という極めて危険な火災を発生させることも以前から指摘されており、その対策も求められていた。

こうした背景の中、環境と火災に対する安全性を配慮したノンフロン型不燃リサイクル現場吹付け断熱材として、セラミライトエコの開発に着手した。

2. セラミライトエコの開発経緯と開発目標

当初、セラミライトエコの開発のきっかけは、現場で発生するポリウレタン断熱材の爆燃をなくすことであった。

ポリウレタン断熱材は施工が容易で、断熱性能も他の断熱材と比較しても群を抜き優れており、安価であることから建設現場では多用されていたが、その一方でひとたび着火すると多量の黒煙を発生し、爆発的に燃焼が拡大する爆燃を起こし、時として人命を危険に曝すリスクを秘めた材料でもあった。

また、この優れた断熱性能と施工性を得るにはフロンが不可欠であったが、モントリオール議定書や京都議定書の採択に伴いその使用が規制されるようになり、新た

な発泡技術や全く発想の異なる断熱材の開発が求められていた。

このような背景から、セラミライトエコの開発は始まり、開発目標を以下のように設定した。

- ・ フロンを使用しないこと
- ・ 環境配慮すること
- ・ 爆燃しないこと
- ・ 断熱性能はポリウレタン断熱材とほぼ同等であること

3. セラミライトエコの特徴

セラミライトエコは上記のような開発目標に則り、素材の検討から、最適な施工法の検討、現場実験を重ね、約3年の研究開発期間を経て商品化され、その後も改良が重ねられ現在はGLボンドによるせっこうボードの直張り工法に対応可能したセラミライトエコGも開発し、現場に普及を図っている。

3.1 ノンフロン化

フロンに対する環境規制は1985年に採択された「オゾン層保護のためのウィーン条約」から始まり、1987年のモントリオール議定書の採択、1992年に採択された京都議定書などにより、進められている。

モントリオール議定書ではオゾン層保護のため特定フロン(CFC)や代替フロン(HCFC)、ハロン類が規制され、京都議定書は地球温暖化対策のため、モントリオール議定書では規制外であった新代替フロン(HFC)も規制の対象となっている。

企業としても環境負荷の低減などの環境保護活動が企業評価の一項目として挙げられるようになったことから、施主側からもノンフロン化を含め建設時の環境対策

Table 1 発泡剤の特性比較  
Properties of Foaming Gas

項目	発泡剤	特定フロン	代替フロン	新代替フロン		炭酸ガス
		CFC11	HCFC141b	HFC245fa	HFC365mfc	
ODP (オゾン破壊係数)	基準:CFC11=1	1	0.11	0	0	0
GWP (地球温暖化係数)	基準:CO <sub>2</sub> =1	6300	2100	3000	2600	1
備考		モントリオール議定書により、1996年末全廃	モントリオール議定書により、2003年末全廃	京都議定書により近い将来削減対象になる可能性あり *モントリオール議定書では規制対象外		発泡が不安定

を要望されるケースもみられるようになった。

そのため、フロンを使用したポリウレタンなどの有機系現場吹付け断熱材に替わる環境に配慮した断熱材への期待が高まっている。

現在、ポリウレタン断熱材の発泡方法は新代替フロン(HCFC)や炭酸ガス発泡に移行されつつあるが、炭酸ガス発泡は気温等の影響を受けやすく発泡倍率が不安定になり断熱性能が低下するという問題がある。また、地球温暖化係数の高い新代替フロン(HCFC)もTable 1に示されるように京都議定書の採択により近い将来規制を受ける可能性が高い。

そのため、セラミライトエコはガスによる従来の発泡方法とは異なり、既発泡のスチレンビーズを骨材に利用し、微量のセメントと混練することでノンフロン化を図った。

### 3.2 リサイクル(環境配慮)

最近、建築分野でもゼロエミッション(廃棄物を新たに製品などに再生することで廃棄物をゼロにする)が推奨されるようになってきているが、家電メーカーも工場などから排出される廃発泡スチロールの再利用の検討を行っており、細かく砕いた破砕片として粒度も調整され製品化されはじめていた。当初、セラミライトエコの基材として既発泡のスチレンビーズを利用していたが、再生された廃発泡スチロールの破砕片は品質も一定でありコストも安価であったことから材料の置き換えを行った。

Photo 1発泡スチロール破砕片である。これが現在のセラミライトエコの全体積の約90vol%以上を占めており、高断熱性の発現とコスト低減に寄与している。

### 3.3 火災安全性

ポリウレタン断熱材の爆燃は火災安全の観点から大変危険であるが、その発生メカニズムについてFig. 1に示す。

断熱材等の可燃性固体は加熱を受けると溶融して可燃性液体となり、さらに加熱されると可燃性ガスとなる。この可燃性ガスが建物のスラブ下などに滞留し濃度が高まり、適量の空気と混合されたところに着火源があると爆発的に燃焼が拡大する。

ポリウレタン断熱材の場合、熱分解して発生する可燃性ガスは特に可燃性が高く爆発的に燃焼するため「爆燃」と呼ばれ、危険な火災現象とされている。

実際の現場におけるポリウレタン断熱材の火災は、それが吹付けられた箇所あるいはその直上階などで溶接作業などが行われていた際に発生している場合が多い。

つまり、溶接火花がポリウレタン断熱材上に落下し、次第に熱せられることで可燃性ガスを発生させ、そのガスがスラブ下などに溜まり濃縮され、適度の空気混合比となった場合に、溶接火花が着火源として混合ガスに着火することで爆燃が生じる。

Fig. 2に示す爆燃確認実験装置は現場で実際のポリウレタン断熱材が現場で爆燃する状況を再現できるように

したもので、壁面と床面に設置された断熱材に溶接火花が落下すると、加熱により発生した可燃性ガスが開口部上端から上の空間に溜まるようになっている。

Photo 2はこの装置を用いたポリウレタン断熱材の爆燃の様子であり、Photo 3はセラミライトエコの自己消火の様子である。

このような検討を重ねることにより、セラミライトエコ



Photo 1 発泡スチロール破砕片  
Crushed Polystyrene Foam

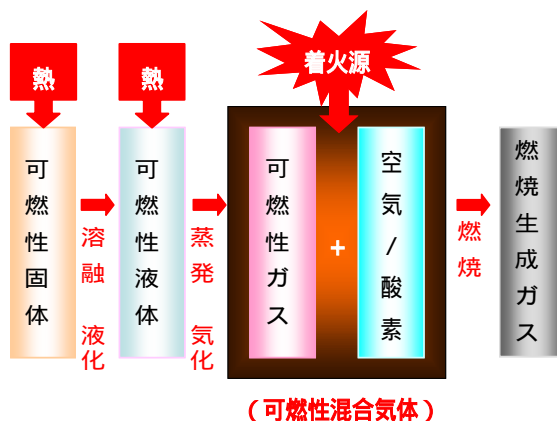


Fig.1 燃焼のメカニズム  
Mechanism of Combustion

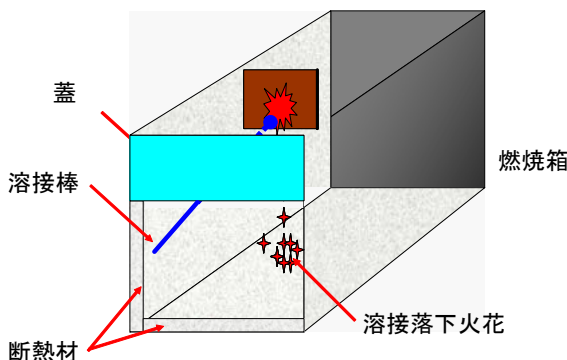


Fig.2 爆燃確認実験装置  
Test Apparatus of Explosive Combustion

コヤの火災安全性が確認した。現在ではさらに改良が進みセラミライトエコは国土交通大臣が定める準不燃材料認定(QM-0306)を取得している。また、GLボードによる石こうボードの直張工法に対応するため無機のセメント成分を多くしたセラミライトエコG は不燃材認定(NM-0916)を取得し、一層火災に対する安全性を高めている。

3.4 高断熱性能

Fig. 3は各種現場吹付け断熱材とセラミライトエコ、セラミライトエコGの熱伝導率を比較したものである。

セラミライトエコは廃発泡スチロールの破砕片を基材に使用したことにより、熱伝導率がノンフロンタイプのポリウレタン断熱材とほぼ同等となり、断熱性能に優れていることが判明した。

また、セラミライトエコG はセメント成分がセラミライトエコに比べ多いため、熱伝導率は若干低減するが同じ不燃材料の石膏系断熱材に比べると断熱性が高いと言える。

4. 施工方法の検討

施工方法は搬送性や機材の簡略化から先端混合吹付け法と、Fig. 4に示すような湿式耐火被覆の機材をそのまま転用できるプレミックス吹付け法を検討した。

その結果、先端混合吹付け法ではセメント成分が大変微量なため個々の材料同士が十分に混練されずバラバラとなった。このため、材料が周囲に飛散しロスが多く、吹付けられた断熱層も脆弱であることから施工方法としては不適であると判断した。

一方、プレミックス吹付け法はミキサーにより十分に各素材が混練され均一なスラリーを形成し、吹付け状態も良好であった。

Photo 4~Photo 5はセラミライトエコ、セラミライトエコGの施工の様子を示したものである。

セラミライトエコは吹付け後にコテによる均し仕上げも可能である。また、セラミライトエコG のように不燃材料の認定を取得した材料であればそのまま室内に露出した形で仕上げを兼ねて施工できるため綺麗な仕上がり面が得られる。

Photo 6は電子顕微鏡による未使用の廃発泡スチロール破砕片の表面状態を示し、Photo 7はプレミックス法により吹付けられた断熱材から採取した廃発泡スチロール破砕片の表面状態を示したものである。また、Photo 8はPhoto 9の状態をEDXによる元素分析によりセメント由来のAl、7i、Ca元素をマッピングしたものである。Photo7、Photo8からセメント成分が廃発泡スチロール破砕片の表面に均一に分散していることが確認された。

無機のセメント成分が可燃性の廃発泡スチロール破砕片表面に均一にコーティングされていることが防火性能の向上に大きく寄与している。



Photo 2 ポリウレタン断熱材の爆燃の様子  
Explosive combustion of polyurethane foam



Photo 3 セラミライトエコの自己消火の様子  
Self-extinguish of Ceramilite Eco

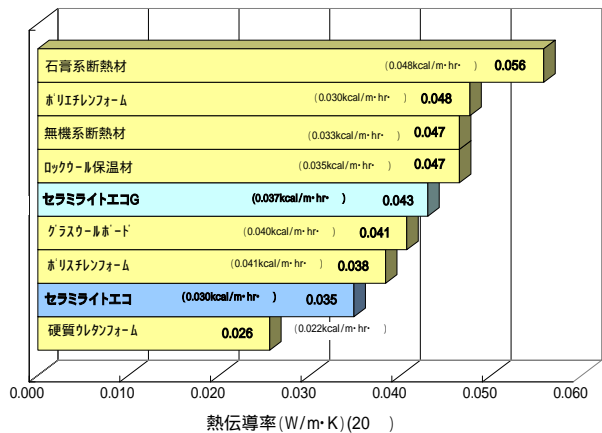


Fig.3 各種断熱材の熱伝導率の比較  
Comparison of thermal conductivity for heat insulating materials

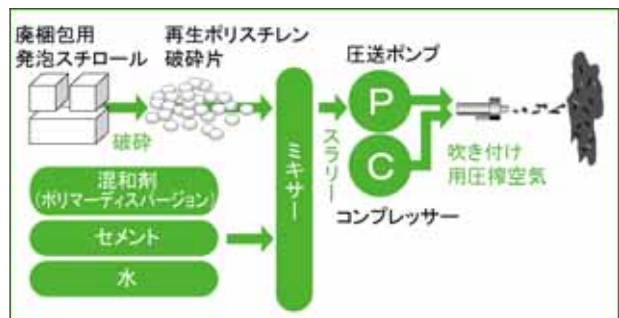


Fig.4 プレミックス吹付け法  
Pre-mix spray method

## 5. 快適なまちづくりのために

我々を取り巻く空間にはこれまで多くのポリウレタン断熱材が施工されており、火災事故は施工中ばかりでなく、リニューアル工事に際しても、このような可燃性の有機系断熱材へ着火する事故が増大している。

防火性能の高いセラミライトエコならびにセラミライトエコGが開発出来たことで、当初の目的であったポリウレタン断熱材による火災発生リスクの低減が可能となり、安全で安心な空間を提供できるようになった。

また、同時にセラミライトエコはポリウレタン断熱材と同等の高断熱性能も有することから、冷暖房効率を落とさず、省エネルギーにも効果を発揮し、さらにVOCなどのシックハウスの原因となる化学物質も含まないことから、我々の快適な居住空間とまちづくりに寄与するものと考えます。



Photo 4 吹付けの様子  
Execution of Ceramilite Eco

## 6. エコプロダクツ大賞の受賞

セラミライトエコ®は第1回エコプロダクツ大賞、エコプロダクツ部門において国土交通大臣賞を受賞した。本賞は、環境に配慮した製品を表彰することで、それを提供する企業等の取り組みを支援するものである。国土交通省、財務省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、環境省の6省の後援を受けて、エコプロダクツ大賞推進協会が実施したものである。

受賞理由としては本材料の基材となる骨材（全体積の90%以上）に工場等から廃棄される廃発泡スチロールをリサイクルし資源の有効利用を図ったこと、地球温暖化に関係する代替フロンガスも使用しないことなど環境負荷の低減に貢献していることが高く評価された。  
(<http://www.gef.or.jp/ecoproducts/1st/index.htm>)



Photo 5 セラミライトエコによる壁面仕上がりの様子  
View of Wall Finished up using Ceramilite Eco

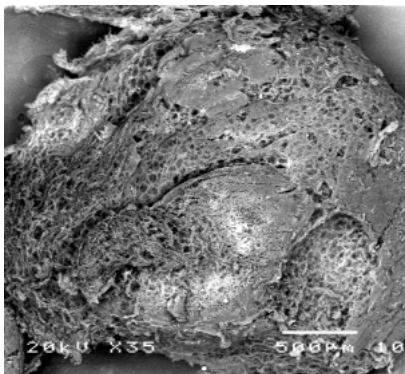


Photo 6 SEMによる廃発泡スチロール破砕片の表面状態  
View of Polystyrene Foam Surface by SEM

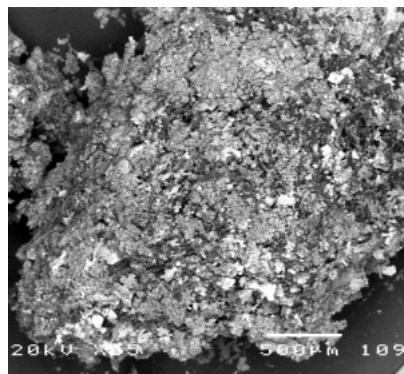


Photo 7 SEMによる廃発泡スチロール破砕片の表面に付着したセメントの様子  
View of Cement Components on Polystyrene Foam Surface by SEM

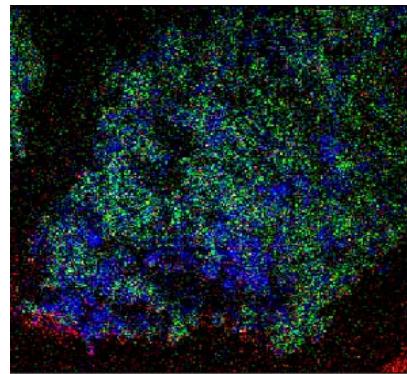


Photo 8 EDXによる廃発泡スチロール破砕片表面のセメント由来元素の分布  
Mapping of Cement Elements on Polystyrene Foam Surface by EDX