

(別紙 2)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

1. 研究課題名 発泡ポリスチレンを用いた軽量・不燃・断熱天井材の開発

2. 研究期間 平成 24 年度～平成 25 年度

3. 代表者及び研究代表者、共同研究者

代表者	武藤 英輔	三和化成工業株式会社	代表取締役社長
研究代表者	笹岡 洋二郎	三和化成工業株式会社	製品開発室長
共同研究者	真田 徳雄	三和化成工業株式会社	事業開発室長
	竹田 光佑	三和化成工業株式会社	事業開発室 研究員
	金澤 英志	イノテックス株式会社	代表取締役社長

4. 補助金交付総額 23,550,000 円

5. 研究・技術開発の目的

東日本大震災では多くの建物で天井の落下事故が起きており、安全な天井材の開発が急務となっている。今後、学校や集会所、文化施設を始め大規模施設等の天井落下対策が必要とされているが、これらの天井材は現状石膏ボードが大半であり、重量が重く、破損しやすい等の課題を持っている。一方、軽く、柔軟性があり、断熱特性も高い発泡系プラスチック系材料は火災発生時の防火性に劣るため、現状ではそのままでは天井材としては使用できない。

本開発計画は発泡ポリスチレンビーズに不燃性を持つ無機系材料で表面を被覆したコーティングビーズを製造し、それを加熱発泡成型することで、「**軽量**」かつ「**不燃**」、「**断熱性**」を持つ天井材（不燃性発泡スチロール）の実用化を目指すものである。

ちなみに本技術による試作品は既に建築基準法で定める「準不燃」、「不燃」レベルの耐火特性を有することを確認している（国交省認定も正式に取得済）。

平成 24 年度の F / S 段階においては、①市場性と品質設計、②試験設備の基本設計と経済性、事業性の検証、③実用性の評価方法及び現場への導入方法の調査・検討を行い、十分な成果が得られた。

これに続く R & D 段階では、①量産に向けた試験設備の基本設計、②試作品の製造と物性、耐火性等の性能評価、③試作品の実用性を天井体製造・施工会社と連携して評価試験を実施、などにより現場ニーズを踏まえた天井材の実用化開発を目指すものである。

6. 研究・技術開発の内容と成果

本研究開発の最終目標は下記の通りであった。

1. 天井材のニーズ調査を踏まえた要求特性に対応した軽量・不燃天井材の品質設計、
2. 軽量不燃天井材の量産製造技術の確立と事業性の評価、
3. 基礎物性データの取得と現場での試行試験による実用性を評価、
4. 軽量・不燃天井材の実用品の開発目標
耐火性→不燃、準不燃認定相当
天井の単位面積質量→ $2\text{kg}/\text{m}^2$ 超～ $6\text{kg}/\text{m}^2$ 以下
経済性→コスト $1,500$ 円/ m^2

平成 24 年度の F/S ステージ、平成 25 年度の R&D ステージを通じて、上記の目標はコスト ($1,500$ 円/ m^2) を除き、全てクリアすることが出来たと考えている。コストについても、引き下げる道筋は確認できている。

以下では、R&D ステージの「研究開発項目別」に実施内容と成果、残された課題等について詳細を報告する。

研究開発項目名(1)

「パイロット設備の設置と運転と事業性の評価」

～軽量不燃天井材の量産技術の確立と事業性の評価を行う。

1. 量産技術の基本設計

…R&D 実験設備による天井材試作の最適運転データを取得し、それを基に量産設備設計用仕様を策定する。

2. 同上設備による事業性の評価

…材料費、設備費用、運転費用のより詳細なコスト算定を行い、本設計規模での事業性を検討する。

1. 量産技術の基本設計について

①成果について

2014 年 10 月に三和化成工業静岡工場内に不燃材の実験棟を建設し、コーティングビーズ作成のための 750 級 FM ミキサ（日本コークス工業製）を導入。これまで手作りで行ってきた不燃性の発泡スチロールビーズの製造とそのビーズを用いての成形（蒸気発泡成形）を開始した（次ページ写真参照）。

コーティングビーズの製造に関する大きな課題は、ビーズ同士が固まってダマが発生してしまう、という点であったが、実際にミキサを運転し、これまでのメーカーテスト等の結果を踏まえて試行錯誤を行ったところ、この問題に関しては完全にクリアすることが出来た。



(静岡工場内実験棟)



(実験棟内ミキサー)

具体的には、ミキサの複数枚の羽根の形状、それぞれの羽根の回転スピード、温風、冷風の風量・タイミング、吹き込み時間、槽内の温度、ミキサの運転時間等を適切にコントロールすることで、「コーティングビーズの単粒化」を達成することができた。

特に槽内にダマが発生した際に高速で羽根を回転させることで、これを粉砕すること、熱風を吹き込むタイミングと時間をコントロールすることで、ビーズ

の乾燥を促進することが、大きな効果を挙げたと判断している。
また導入した FM ミキサは一つの装置で混合、乾燥など複数の工程を行うことができ、最適なミキサであることが実証された。

製造上のもう一つの大きな課題であり、今回期間の延長をお願いした大きな要因でもある「槽内の汚れの清掃方法」についても4月以降で大きな成果が得られた。これまでは「メタノールを用いて槽底や羽根を直接ふき取る」作業を行ってきたが、メタノールの大量使用は作業員の安全上の問題や爆発のリスク等があり、極力この使用を抑制する方法を検討してきた。

具体的には、①ドライアイスブラスター（細かいドライアイスの粉末を対象物に噴射することで汚れをそぎ落とす）の導入、もしくは、②特殊な（健康上問題のない）樹脂離型剤を用いて清掃、のいずれかを用いることで安全でほぼ完全に「槽内及び羽根の樹脂汚れの除去」を行うことができることが分かった。

これらの導入は製造コスト高の要因になるが、一方で清掃時間の短縮により、生産性の向上（1日当りの製造バッチ数の増加）が可能となることから、トータルとしてみれば、製造コストの大きな増加にはつながらない、と判断している。

②量産設備の設計について

①を踏まえて、量産時のプラントの概要及び概念図は以下のようなになる。

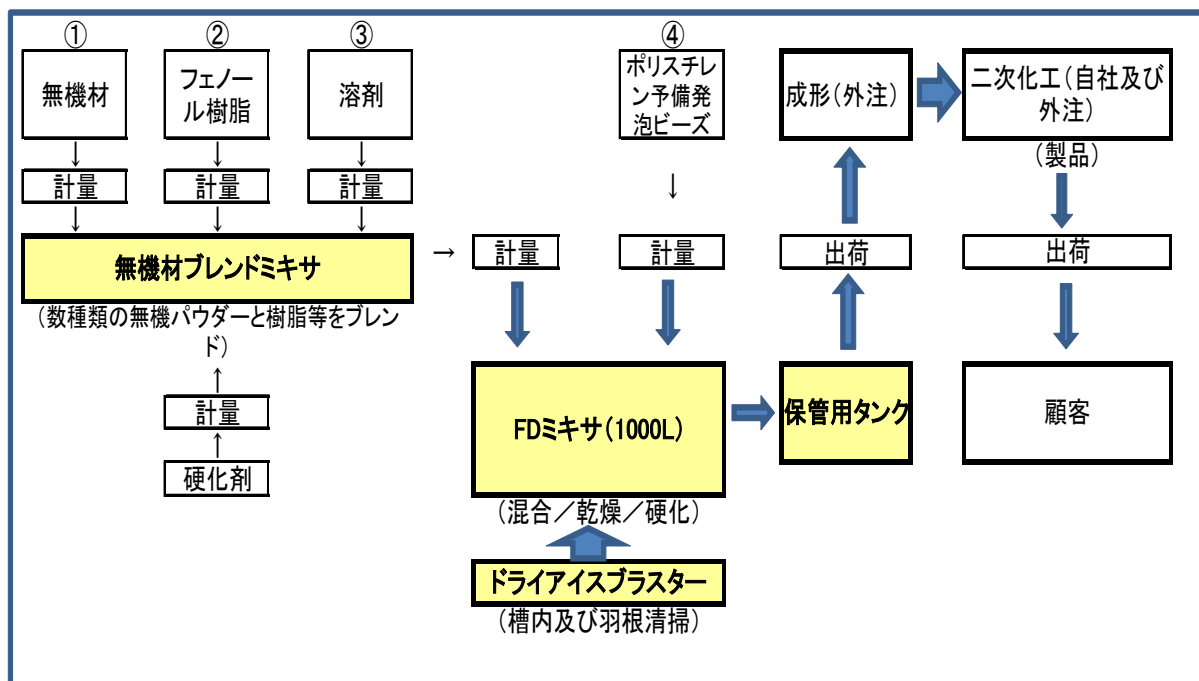
★ミキサについてはタンク容量で 1000L 級の導入を行う。機械としてはこれ以上のものも存在するが、羽根が大きく重くなり、清掃時にこれを外す際に人力では不可能となることから、生産性が低下する可能性が大きいと判断した。なお今回導入した FM タイプのミキサでなく、同じく日本コークス工業社製のローグレードの FD タイプのミキサで、問題なくビーズコーティングが行えることをメーカーでのテストで確認しており、大幅なコストダウンが可能となった（FD ミキサは容量が倍で価格は約半分）。

★上流工程（無機コーティング剤の製造＝数種類の無機材+フェノール樹脂+硬化剤）については、R&D ステージのスタート前段階では機械化による自動化を考えていたが、㊦途中で硬化が進まないシステムの開発が難しいこと、㊧装置が高額（1,500 万円程度）となることが予想されること、などから 1000L 級のミキサ対応としては、簡易ミキサ+手作業で行うことが、最も効率的と判断した。

★保管用タンク～上記設備により、1バッチ当り約 1000L、1日約 6バッチのコーティングビーズの製造が可能となる。その後の成形工程は基本的には外注とすることを考えているため、短期的（1～数日）にこれらの大量のビーズを補完するタンク及びミキサからの搬送システムが必要となる。タンクの大きさはトータルで 20KL 程度（大きさや数はコスト面も含め検討中）を考えている。

設備の概念図は次ページの図の通り。なお総投資額（装置関係のみ）は 3,500 万円程度を想定している。

量産プラント概念図



③事業性の評価について

これまでのミキサ導入による運転データを基に、コスト計算もより詳細に行うことが可能となった。

製造コスト算定の前提条件として、

- ①1,000L 級の FD ミキサ及び周辺機器 (温風発生機)、保管用タンクへの投資額～約 3,500 万円、減価償却を 5 年で行う、
- ②製造オペレータは 3 名
- ③生産量～1 日 6 バッチ→歩留まりを考慮した上で、年間生産量は 1,320KL とする (1 m²ボード換算で約 7.3 万枚)、とした。

この結果、1 m² (厚さ 2 cm) の不燃ボードの 1 枚当り製造コストとしては、

- ①材料費＝約 720 円/m²
 - ②固定費 (人件費、減価償却費等) ＝約 280 円/m²
 - ③成形費 (外注) ＝約 500 円/m²
 - ④その他経費＝約 100 円/m²、
- となり、トータルコストでは約 1,600 円/m²となった。

この 1,600 円/m²に対しては、間接費、運賃などが含まれていない一方で、更なるコスト引き下げ余地として、

- ①大量購入による材料費、成形費の引き下げ～300円/㎡程度
- ②ボードの厚さを薄型化（1cm程度まで）～200円/㎡程度
- ③大量生産による固定費の削減～100円/㎡程度、

が想定され、生産量に依存する部分はあるものの、計算上はコストベースで1,000円/㎡程度、販売価格ベースで1,500円/㎡という目標の達成は十分に射程に入っている。

研究開発項目名(2)

「試作品による性能評価」

～F/Sでの品質設計を基に小規模手作りからパイロットプラント規模へスケールアップした研究開発を行う。作成するサンプル板の大きさは製品を想定したサイズ（600mm×600mm）を基本とする。

成形後の物性について小規模サンプルとの比較を行い、検証結果を基に改良の有無を検討、小規模サンプルと近似の物性再現をもって品質の確認とする。

またこの成形品を用いて公的認定の取得を行う。

① 量産化品質設計と性能評価

F/Sでの品質設計結果を基に、小規模手作りからパイロットプラント規模へスケールアップした研究開発を行った。作成するサイズは製品を想定したサイズ1000mm×1000mm、厚み10～30mm（10mmごとに可変可能の金型を発注）をベースとした。サイズについては上記の通り、スタート段階では600mm×600mmを想定していたが、後述の通り製品のターゲットを当初のシステム天井から在来工法に変更したことで、より大判のサンプルを作成することとした。

成形後の物性評価について小規模サンプルと比較検証を行い、検証結果を基に改良の必要性の有無を検討、小規模サンプルと近似の物性再現をもって品質の確認とした。

■**準不燃グレード**：市場性調査の結果と開発品特性から要求される品質は「軽量性」に加えて最低限「準不燃」以上の防耐火性能を併せ持つことであることが判った。

従ってこれらを品質設計の主と置き、使用を決定した。この結果、今後の研究の基となる品質仕様について成果を得ることが出来た。この仕様の前年度の手作りでの試作品の簡易試験における結果とパイロットプラントで作成した量産化ビーズによる成形体とを比べた試験結果は以下の表の通りである。

量産化グレード A～「準不燃」対応仕様(ボード厚さ 20 mm)

「準不燃」対応仕様 (ボード厚さ 20 mm)

	目標値	手作り性能値	量産化性能値	試験方法備考
密度(g・cm ³)	0.1～0.15	0.2～0.3	0.2	常温での重量/体積
総発熱量(MJ/m ³)	8 以下	5～6	6.2	不燃性能試験 発熱性試験 (コーンカロリメータ)
貫通する亀裂および穴	なし	なし	なし	同上
最高発熱量速度(KW/m ²)	200 以下	15～23	14.7	同上
熱伝導率(W/m・K)	0.05 以下	0.056	0.056	熱線法(プローブ法)
ホルムアルデヒド放散量(mg/L)	0.3 以下	0.05 以下	0.05 以下	デシケータ法
曲げ強さ(Kpa)	—	750～850	220～370	曲げ試験 曲げ速度 20 mm/min 支点間距離 240 mm 試験片 300 mm×50 mm
外観	目立たないもの	白塗り	素地	目視

※評価と課題

R & D段階で実施する課題として、目標値への密度を近づけること、熱伝導率の向上が挙げられていた。まず、密度に関しては高倍率発泡ビーズを使用し測定を行ったところ、60 倍ビーズで 0.0196 に対し、80 倍ビーズでは 0.0192 であった。これは、準不燃グレードではビーズとコーティングしている不燃液の体積質量比では塗布量の差が現れず、ビーズ重量では誤差レベルになってしまうというためと考えられる。

また、熱線法(プローブ法)における熱伝導率を 20・40・60・80 倍の各倍率の発泡ビーズで作成した成形体で測定したところ、60 倍の倍率での熱伝導率が一番断熱性能の高いことが判った。このため、予想していた高倍率ビーズによる断熱性能の向上については手作り時から目に見えて性能を向上させることができなかった。

また、曲げ強さに関しては、発泡倍率に依存しており、以前の準不燃グレード成形体は 40 倍の成形品であったため曲げ強さは不燃と比べると強くなっているため、今回の結果より量産ビーズと手作りビーズを一概に比較することはできない。しかし、概ね量産化ビーズと手作り段階のビーズとでは同等の製品が作成可能であると判断できる。

量産化グレードB～「不燃」対応仕様(ボード厚さ 20 mm)

「不燃」対応仕様 (ボード厚さ 20 mm)

	目標値	手作り性能値	量産化性能値	試験方法備考
密度(g・cm ³)	0.1	0.1	0.095	常温での重量/体積
総発熱量(MJ/m ²)	8 以下	0.17	0.18	不燃性能試験 発熱性試験 (コーンカロリメータ)
貫通する亀裂および穴	なし	なし	なし	同上
最高発熱量速度(KW/m ²)	200 以下	2	1.1	同上
熱伝導率(W/m・K)	0.05 以下	0.033	0.0327	熱線法(プローブ法)
ホルムアルデヒド放散量(mg/L)	0.3 以下	0.05 以下	0.05	デシケータ法
曲げ強さ(Kpa)	—	250～400	220～370	曲げ試験 曲げ速度 20 mm/min 支点間距離 240 mm 試験片 300 mm×50 mm
外観	目立たないもの	アルミ貼り	アルミ貼り	目視

※評価と考察

準不燃グレードと同様、不燃グレードの試験体も手作り品と同等の性能が得られる結果となった。R & D段階での課題として外観が「目立たないもの」への改良が挙げられていた。具体的な対策としては、遮熱性能の高いアルミ以外の探索が課題となっていた。しかし、性能とコスト面を踏まえアルミ以上に優れた材料は無く、結果アルミから乗り換えられる材料は現れなかった。ただ、試験の結果、性能自体は市販品のアルミ箔でも十分通用するため、コストでいえば 1/10 程度に抑えることが可能となった。

また、①アルミ表面に「岩綿吸音板」を貼り付け複合化したもの、②同じく「性能を著しく落とさないよう和紙などの化粧材を張り付けたもの」、の2種類においては、「不燃レベル」の性能を維持できることが試験の結果、判明した。このため意匠性に関してはアルミの性能を邪魔しない方向で検討の余地が残されている(次ページ写真参照)。

以上の試験結果より、R & Dでの課題となっていた手作りレベルでの物性と小規模サンプルとの物性の比較より近似の物性再現が行われている。また、小規模サンプルでの公的認定レベルでの不燃・準不燃試験も合格水準にあることを確認した。



② 試験体の環境試験

天井材として小規模サンプルと量産化ビーズの特性が変わらない製品として成形出来たため、F/S で予定されていた基本物性の試験（透湿係数、含水率、酸素指数、耐火試験）を行った。

■透湿係数、吸水率

準不燃・不燃グレード 質量含水率(%) (n=3)

	□温度 23℃ 相対湿度 50%	□温度 23℃ 相対湿度 90%	□温度 23℃ 相対湿度 50%
準不燃	1.4	3.3	2.1
不燃	1.3	2.9	1.8

準不燃・不燃グレード 透湿度 g/ (m・h・mmHg)

	透湿度率 g/ (m・h・mmHg)
準不燃	0.004715
不燃	0.004660

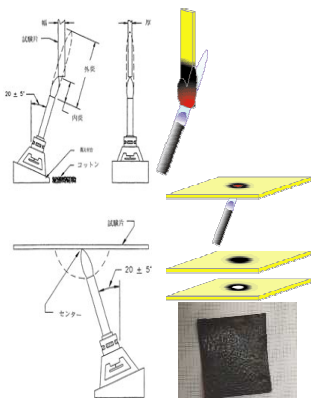
まず含水率、透湿係数の測定を行った。

含水率に関しては試験片毎のばらつきはなく、不燃コーティング剤の量によって吸水率が多少変化するがおよそ最大で 3%前後であるといえる。また、他の断熱材と比較した場合でも硬質ウレタンフォームが 3%以下、フェノールフォームが 4%以下なのに対し、不燃 EPS が平均 2%となる。

透湿係数に関しては準不燃・不燃ともに A・B 種硬質ウレタンフォーム (0.0048) と同等程度の性能であることが判った。純粋なポリスチレンフォームからは性能が下回っているが、不燃性能を有する建材と比べた場合には優れた数値となっているといえる。また、建築物の断熱工法や基礎断熱工法などのように、断熱材が水に接触して使用される用途において、吸水や透湿による水分蓄積で熱伝導率が変化して断熱性が低下することが考えられる。しかし、E P

Sにおいては、すでに既知のデータとして経年における安定した耐水性能を有していることが判っている。以上のことから他の不燃断熱材と比べた場合でも透湿率、含水率は建材として満たしていると言える。

■耐火性能(UL94 規格)



天井材としての試験とは別に材料燃焼試験のUL規格と酸素指数を測定した。

試験の目的としては素地で難燃材料としての性能を証明した上で、接着剤選定時や、アルミの表面塗装を行った際の燃焼性チェックの意味も兼ねてスクリーニングとしての意味をもって試験を行った。

この規格は難燃材料として電子部品等で使用されるときの実技試験のようなもので、試験方法の詳細が画一的でガスバーナーさえあれば試験自体は可能なことが多いので、世界的にも非常に普及している試験である。規格自体はアメリカ国家規格として登録されていて国内でも難燃性を評価する場合には基準とされることが多い。試験に関しては、遅延性を測るHB規格から上は、ガスバーナーの延焼時間の差によってV2、V1、V0、5Vと難燃性能のグレードが上がっている。

今回、社内試験ではあるが一番性能として低い難燃グレードの試験体において最高レベルの難燃性能評価となる5V相当の性能があることが確認された。

■酸素指数



上記のUL94規格試験は評価技術としてかなり普及しているが、実技評価なので材料の基礎物性値として採用しがたいためLOIがその代わりに普及している。

LOIは、極限酸素指数法と呼ばれ酸素と窒素を混合したガス中で材料を燃焼させて燃焼挙動を観察する評価法である。JISでいう酸素指数とはプラスチックに火をつけた状態で、その燃焼が維持するのに必要な最低酸素濃度をパーセンテージで示した指標となっていて、一般的な空気の組成がLOIで20となるためこれを境目に小さい数値のものほどよく燃え、高い数値である

ほど酸素供給が多くても燃えないため難燃性が高いと評価される。

評価方法は、自己消火を示す酸素濃度で最小の値を採用するという方法で、

酸素指数	燃えるか燃えないか
22以下	可燃性。燃える。
23から27	燃えるが、自己消火性。
27以上	難燃性

樹脂への難燃剤の効果を表現するのに便利な方法となっているため、難燃剤の設計時にスクリーニングする際に、LOIの線形性の高さを利用して実用試験として使用されるUL94規格との対応表を作り、LOIを基準に処方設計する方法が良く行われている。

JIS K7201-2 酸素指数測定

材料名	LOI	JIS K 7201(酸素指数法による高分子材料の燃焼試験方法)に定められた酸素指数が26以上の場合には消防法(指定可燃物)の適用を受けない
フェノバボード	33.4	
フェノールフォーム	32.1	
合板(松材、接着剤:尿素樹脂)	23.4	
不燃EPS(難燃)	40	
不燃EPS(準不燃)	60以上	

JCII/一般財団法人 科学研究評価機構

今回の試験では難燃グレードと準不燃グレードをLOI試験にて評価したが、難燃グレードでは40、準不燃グレードでは60以上という数値が出ており非常に高い難燃性能を保持していると言える。この試験での上限値が60であるため準不燃の試験体に関する評価値は測定可能値を大きく超えており、

極めて燃焼しづらいことを表している。

LOIに関しては26以上の場合は消防法の指定可燃物の適用を受けないため、この素材において消防法はこの試験結果をもってクリアしていると言える。

※評価と考察

含水率、透湿係数に関しては、硬質ウレタンフォームと同程度とみられるが、今回試験できなかった経年劣化時の性能低下の推察を含めると、ウレタンフォームに比べポリスチレンフォームは性能低下率が非常に低い材料であるため長期断熱性能を比較した場合に優位性があると思われる。

燃焼性試験に関してはUL94-5V相当の試験結果を通過でき、酸素指数は難燃グレードで40、準不燃グレードで60以上と他の不燃性建築材料よりも難燃性能において数値が高い。

以上の物性より不燃EPSにおける天井材および不燃断熱材として必要な性能を満たしているという。

なお公的認定（不燃材料、準不燃材料、VOC）については、製品時の性能・仕様がまだ完全には固まっていないため、予備テストにより認定レベルの性能を得られていることを確認し、今後必要に応じて取得することとしている。

研究開発項目名(3)

「実用性の評価試験の実施」

～F/Sで準備した天井材の実用性評価について、実際の天井材として使える形状・性能のサンプルを製造し、主として設計士等の専門家やユーザーに評価を依頼する。また現場導入方法についても具体的に検討する。これにより課題等のフィードバックを受け、更にこれを繰り返すことで商品としての完成に近付ける。

①サンプルボードの製造

現在使われている吊り天井の仕様としては、大きく分けて

1. 在来工法（捨て張り工法）
2. システム天井

の2種類がある。最終的には素材の特性を活かした「独自工法」を目指すものの、当面の早い商品化を目指すためには、テーマ推進委員会の先生方のご意見を参考にして、1の捨て張り工法による商品化を進めることとした。これは、捨て張り工法が吊り天井の8割を占めること、システム天井の天井材は低価格が必須となること、などによる。

捨て張り工法とは、下地の金属（野縁）に石膏ボードをビス留めし、更にその上に表面材として岩綿吸音板を接着+ステープラーで留めるものである。最も普及しているやり方だが、石膏ボードの重量が 10 kg/m^2 前後と重いため、この部分を不燃性発泡スチロールに置き換えることができれば、軽量化による防災効果は高いと考えた。

サンプルボードのサイズは当初はシステム天井への採用を前提として、 600×600 (mm)を考えていたが、捨て張り工法での採用を目指す方向に転換したため、 1000×1000 (mm)サイズへと変更をした。同サイズでの金型（厚さは $10\text{ mm}\sim 30\text{ mm}$ に可変）を発注し、成形メーカーへの外注によりボードを作成した。

厚みに関しては、現状の捨て張り工法を参考に不燃性発泡スチロールで 10 mm 、岩綿吸音板で約 10 mm とし、トータル 2 cm で重さは約 1 kg/m^2 となった。

②天井材への加工及びユーザーサイドの評価、ヒアリング

テーマ推進委員会など専門家のご意見を伺ったところ、捨て張り工法での商品化を目指す場合の課題としては、以下の点が挙げられることが分かり、課題解決に取り組んだ。

1. 他材料との接着性
2. 天井材としての強度・面剛性の有無
3. 野縁との接合性

4. 複合材としての施工性と不燃性

上記の課題がクリアできれば、捨て貼り石膏ボードと同規格で超軽量というアドバンテージとなる。天井材単体でのコスト面では劣るものの、軽量化による現場の負担軽減・工期短縮・建物の重量低減などを考慮すれば、トータルコストで既存のやり方と同等以上となることが可能と考える。

■他材料との接着性

～接着が必要な個所としては、「野縁」(スチール)～不燃 EPS (樹脂コーティングされたポリスチレン)～アルミ箔 (アルミ)～岩綿吸音板 (ロックウール) の4つの異種素材をそれぞれ留める3箇所となる。建設会社、公的試験機関、接着剤メーカー等とディスカッションを行った結果、「各接着点ごとに個別の案件として取り扱う方がいい」ということで選定を進めた。

現段階では、それぞれの接合について線膨張係数の違い等も考慮した結果、以下の通り結論が出ている (今後の検討で変更する可能性もある)。

野縁～不燃 EPS→強接着両面テープ

不燃 EPS～アルミ箔→難燃性変性シリコン系と 80 度前後で加熱接着可能なホットメルト式の接着剤

アルミ箔～岩綿吸音板→難燃性添加クロロプレンゴム系

■天井材としての強度・面剛性の有無

～東京工業大学の元結教授及び研究室に協力していただき、ボードの強度・面剛性の有無を試験した。面剛性は柔らかい素材のため試験はうまくいかなかったが理論値では石膏ボードの 100 分 1 という数値がでた。結論としては、天井としての強度としては弱い、重量が石膏ボードの 10 分 1 と緩衝性に優れている材料であることから衝撃吸収性能を持ち合わせており、地震において動荷重による耐荷重応力を吸収することが可能であるため、「質量・強度比」で考えれば、石膏ボードと同じ設計でも大丈夫ではないか、とのご意見を頂戴した。

面剛性(せん断弾性係数)

不燃性EPSはほぼ通常のEPSと同じ物性を持っていると言える。そのため、理論値ではあるが、等方均質弾性体において、ヤング率、ポアソン比、体積弾性率、剛性率、ラムの第一定数の五つの弾性率はそれぞれ、二つを用いて残りの三つを表すことができるため、ヤング率、ポアソン比を用いて石膏ボードと発泡スチロールの剛性の差を求めた。

$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ <small>G=断性率 E=ヤング率 μ=ポアソン比 (0~0.5)</small>	各ヤング率	石膏ボード 10^3 N/mm^2 発泡スチロール $10^2 \text{ kg/cm}^2 = 10^3 \text{ N/cm}^2 = 10 \text{ N/mm}^2$
	各ポアソン率	石膏ボード 0.3 発泡スチロール 0.07~0.35

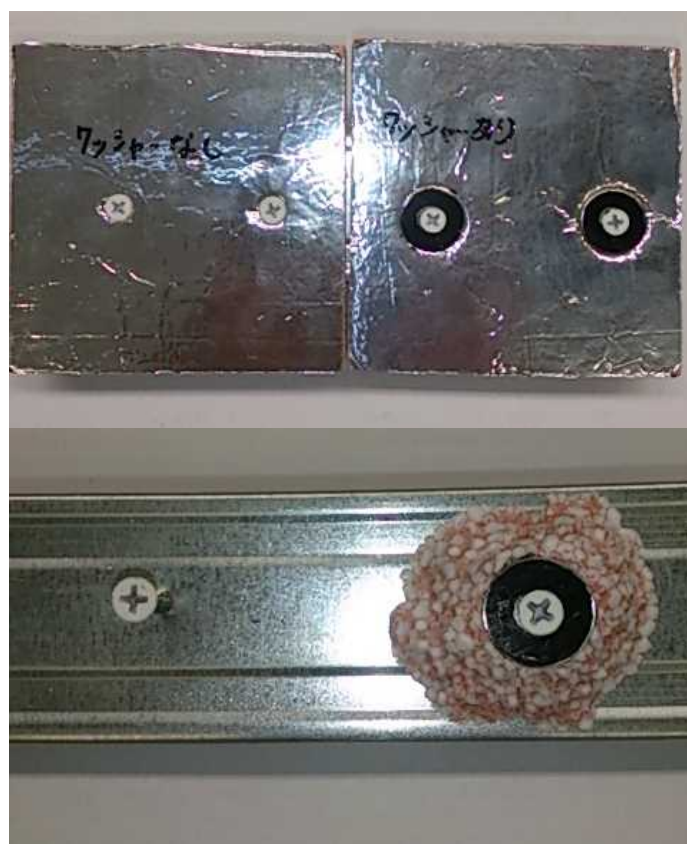
ポアソン比は発泡体のため成型方法で変わってくるが、計算上の値として平均値0.21を使用した。剛性率の式より、せん断弾性係数を計算したものが下記である。

$$G = \frac{1000 \text{ N/mm}^2}{2(1+0.3)} \quad \text{石膏ボード} \quad 384 \text{ N/mm}^2 = 0.384 \text{ GPa}$$

$$G = \frac{10 \text{ N/mm}^2}{2(1+0.21)} \quad \text{発泡EPS} \quad 4.166 \text{ N/mm}^2 = 0.00417 \text{ GPa}$$

■野縁との接合性

～こちらも東京工業大学 元結研究室で試験を行っていただいた。最初は在来の天井施工方法に準じてビスによる接合を試みたが、天井板が損傷したためうまく留められなかった。次にビスを野縁に止めてからビスせん断試験を行ったが、ビスに引きずられるような形でビス穴が拡大した。通常天井の衝突現象などにおいてはビスが元の位置に戻されることにより、ビスの頭抜けで天井板が脱落する危険があるとわかった。この対策として座面面積を拡大して平均面圧を下げられる座金（ワッシャー）を使用し、ビスの頭を大きくすることで頭抜け対策が出来ることを元結教授から助言を頂き、この方法を採用した（写真参照）。



■複合材としての施工性と不燃性

～コーンカロリーメータによる不燃試験では不燃 EPS と岩綿吸音板の複合素材として、不燃性能があることを確認した。
また本製品は柔らかいため切り口の綺麗さを求めなければカッターでの加工が可能である。
また岩綿吸音板との施工性も在来工法の接着剤とステープラーとの併用で接合が可能である。

③実際の施工について

これらの商品化における課題を踏まえつつ、当社実験棟内で石膏ボードを使った天井と不燃発泡スチロールボードを使った天井を試験施工して、検証実験を行った（写真参照）。素人施工レベルではあるが、天井としての強度、意匠性等には問題がないことを確認できた。



現段階で在来工法と異なる施工方法については以下の通りである。

1. **野縁に強力両面テープを貼り付け下地となる本製品を貼り付けする**
～軽量である製品の施工性をさらに向上させるため
2. **ビスで留める際、座金(ワッシャー)を挟み込む。**
～ビスの頭抜け対策・両面テープが剥がれた時のフェールセーフのため
3. **ビス留した部分をアルミテープで補修する**
～ビス留めした部分のアルミ箔が破損していると不燃が担保できないため。

ただし、これらは在来工法に少し手を加えるだけなので市場の混乱を招くことなく受け入れられると考える。その為、現段階での本製品での商品化並びに天井施工が可能であると判断している。

④独自設計について

前述の通り、最終的にはこの素材を前提とした天井の設計を行い、独自製品化が必要と考えている。しかし当社は本業が潤滑油メーカーであり、社内での建築関係の知識も乏しいため、下地メーカー、建設会社等とのタイアップにより商品化を進めていく必要があると思われる。

まずは、独自天井設計に向けての研究開発を進めつつ、在来工法で市場を開拓して得た知識・経験を基に課題を見つけて、本製品に適した天井としての形を見出して行くことが必要と考える。

現段階では岩綿吸音板を貼らずに吸音性能を持たせつつ、意匠性を考慮した本製品独自で出来る天井を目指し研究中である。試行錯誤の上、第一弾としてアルミ箔に和紙を貼ったものがコーンカロリーテストで不燃レベルに合格している（P23 写真）。

また現在、某アルミ複合材メーカーからは不燃芯材として当社製不燃 EPS を使えないか、との引き合いがあり、打ち合わせを進めている。同社では現在は芯材に不燃フィラーを混合した樹脂が使用しているが、3mmの厚さで5kg/m²と重く、これを軽量化したいとの意向がある。当社不燃 EPS は1cmの厚さでも500g程度であり、ユーザーニーズである薄型化が達成できれば、採用される可能性もある。同製品は駅などで天井として採用された実績も多く、新たな天井材として商品化できる可能性もある。

⑤課題など

～以上の通り、R&D ステージでの研究開発項目に対しては大きな成果を上げたと考えているが、今後当製品を天井材として普及させていくためには、まだいくつかの課題があると認識している。

現場での施工方法の詳細

～まだ採用実績はないため、現場での施工の試行が十分とはいえない。今後現場での具体的な施工面での問題点があればピックアップしていく必要がある。

大判ボードの製造

～現段階では保有する金型の関係上、1000×1000（.mm）が成形できる最大のサイズとなっている。建材の標準となっている3×6板（900×1800mm）サイズのボードの製造について、金型で1枚毎に製造するか、ブロックで切り出すか、など検討の余地がある。

販売ルート

～前述の通り、現段階では販売ルートは確立していない。開発の過程で多くの業界関係企業とコンタクトすることが出来たが、今後下地メーカー、建設会社、建材関係商社などとのタイアップを一段と進める必要がある。

意匠性

～現在「不燃レベル」の性能を維持しているものは、素材表面にアルミを貼ったものである。天井としては「目立たない、白系」の表面が必要であり、意匠性には単体では問題がある。

ただしアルミ表面に「岩綿吸音板」を貼ったもの、及びある種の「和紙」を貼ったもの、の2種類では「不燃」性能を達成しており、このバリエーションを増やしていく必要がある。

7. 研究成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍又は雑誌名（雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名）	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
特になし			

8. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況

知的財産権の内容	知的財産権の種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
なし				

9. 成果の実用化の見通し

これまで述べたように現状は、素材（不燃性発泡スチロール）の開発としてはほぼ完了した段階にある。天井材としても、①天井としての必要性能は全て満たしているボードは完成、②施工方法については「在来型捨て張り工法」にほぼ沿った形での施工が可能。ただし一部異なる部分がある、ところまで進んでいる。

ただし建設業界の業界慣行、特有の流通経路、コストの問題など、異業種からの参入に対しては壁が厚い部分もあり、具体的な販売に結び付けるにはなお一層の努力が必要と考えている。

現在はまず実用化に向けての第一弾として、「横浜市販路開拓支援事業（行政課題解決型）」に応募している（現在審査中で2014年11月末頃採否が決定）。これに採択されれば、横浜市の行政現場（学校などの施設）で採用をしてもらえる可能性がある。

また前述の通り、某アルミ複合材の芯材としての採用に向けても、アプローチを続けている。

これらのようにあらゆる機会を逃さず、商品化に向けて進みたいと考えている。

10. その他

～当社で開発中の不燃性発泡スチロールは、金型さえあればどのような複雑形状のものも成形することができ、天井材以外にも用途は幅広い。現段階で産業用冷蔵庫の断熱材、プラント関係のパイプカバー、アルミ複合材の芯材などいくつかの引き合いがあり、対応を進めている。これら他用途の製品化が進めば、コーティングビーズの生産量アップ→全体としての固定費削減につながり、天井材のコストダウンにも好影響を与えることから、積極的に用途開拓も進めていきたい。