

# 「マルチセラミックス膜新断熱材料の開発」

## 中間評価報告書（案）概要

### 目 次

分科会委員名簿 .....	1
プロジェクト概要 .....	2
評価概要（案） .....	6
評点結果 .....	14

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「マルチセラミックス膜新断熱材料の開発」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成21年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	おかだ きよし 岡田 清	東京工業大学 応用セラミックス研究所 所長
分科会長 代理	くろだ かずゆき 黒田 一幸	早稲田大学 理工学術院 先進理工学研究科 応用化学専攻 教授
委員	いけざわ なおき 池澤 直樹	株式会社野村総合研究所 コンサルティング事業推進 本部 チーフ・インダストリー・スペシャリスト
	いしだ あつむ 石田 積	電気化学工業株式会社 青海工場 無機材料研究部 部長
	いまい ひろあき 今井 宏明	慶應義塾大学 理工学部 応用化学科 教授
	いわまえ あつし 岩前 篤	近畿大学 理工学部 建築学科 建築環境工学専攻 教授
	うちこし てつお 打越 哲郎	独立行政法人物質・材料研究機構 ナノセラミックスセンター 主席研究員

敬称略、五十音順

事務局：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価部

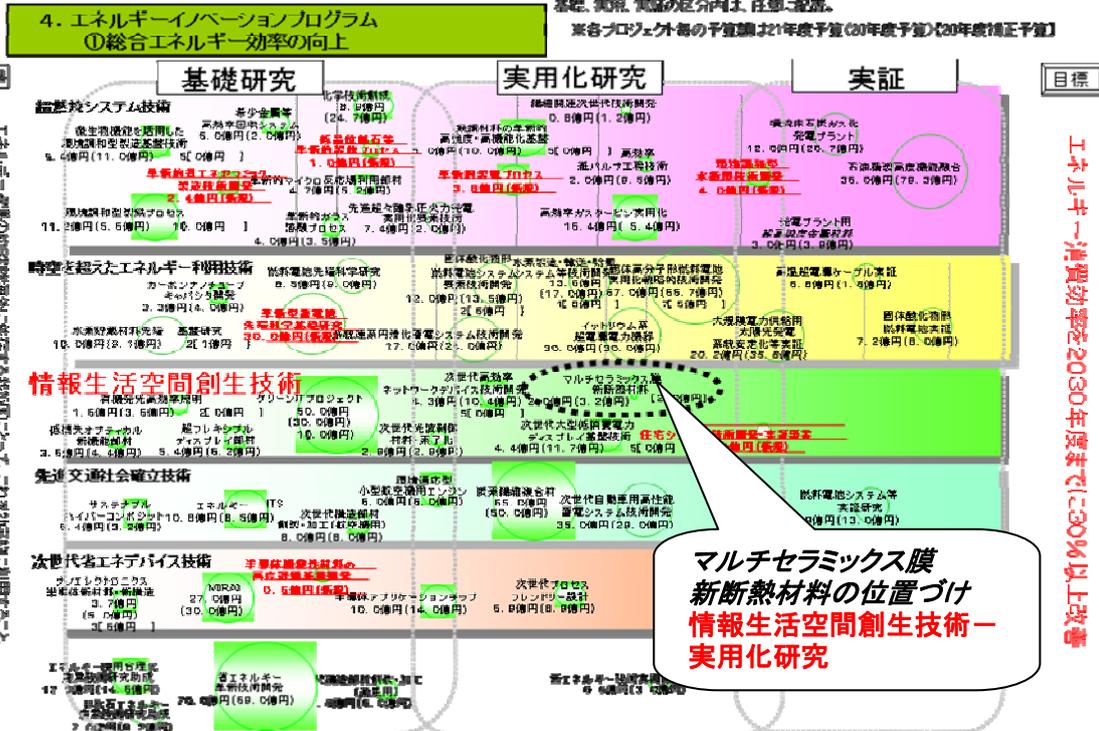
# プロジェクト概要

		作成日	平成 21 年 7 月 24 日				
プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム／ナノテク・部材イノベーションプログラム						
プロジェクト名	マルチセラミックス膜 新断熱材料の開発	プロジェクト番号	P07006				
担当推進部/担当者	ナノテクノロジー・材料技術開発部 勝又 哲						
0. 事業の概要	住宅・ビル、輸送機器などの断熱壁・窓などに広く適用できる画期的な断熱材料技術を開発するため、ナノ多孔体構造を有する複数のセラミックス膜・素材を用いて、熱移動を支配する3要素「伝導」、「対流」、「放射」の全てを抑制するマルチセラミックス膜新断熱材料の基盤技術を開発することを目的とする。						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>【NEDO が関与することの意義】</p> <p>本プロジェクトでは、ナノオーダーの多孔構造と真空断熱技術との融合により、熱伝導の3つの機構（伝導、対流、放射）を抑える超断熱材料を開発し、日本の総エネルギー消費の約7.5%を占める住宅・ビル等の冷暖房エネルギーを、超断熱壁・窓材料によって大幅に削減する事を目的としている。さらに将来的には、ロケット・航空機・タンカー・輸送車等の断熱材への応用など、広範な産業技術分野に革新的発展をもたらし得るキーテクノロジーであり、きわめて基盤性が高く、産業界全体での成果の共有化に繋がると期待される反面、研究開発の困難度が高く、リスクが大きい。さらに、プログラム中の他のプロジェクトとの連携により、得られた成果等の知識の体系化を図り、より効率的な研究の進捗と成果の普及を図ることも必要である。</p> <p>以上の背景、理由により、個別的・専門的分野に特化した民間企業だけの技術では困難であるため、NEDO による国家的、集中的実施が必要である。</p> <p>【事業の背景・目的・位置づけ】</p> <p>エネルギー資源の約8割を海外に依存する我が国にとって、これを効率的に利用すること、即ち、「省エネルギー」を図ることは、エネルギー政策上の重要な課題である。このため、更なる省エネルギー技術の開発・導入を進め、もって我が国におけるエネルギーの安定供給の確保を図ることを目的とした、「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。</p> <p>また、多様な連携（川上・川下産業の垂直連携、材料創製・加工の水平連携）による研究開発の推進により、当該市場のニーズに応える機能を実現する上で不可欠な高品質・高性能の部品・部材をタイムリーに提供し、又は提案することができる部材の基盤技術を確立することを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環としても本プロジェクトを実施する。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	低熱伝導率・高圧縮強度の多孔質セラミックス粒子、高反射率・高圧縮強度・透明性のナノ構造セラミックス膜、低熱伝導率・高圧縮強度の膜状の透明多孔質セラミックスを開発し、これらを複合化・真空化・セグメント化することにより、超断熱壁材料・超断熱窓材料を開発する。						
事業の計画内容	主な実施事項	H19fy	H20fy	H21fy	H22FY	H23fy	
	多孔質セラミックス合成技術					▶	
	セラミックス膜コーティング技術					▶	
	複合化・真空セグメント化技術					▶	
	超断熱壁材料・超断熱窓材料開発						▶
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円) (委託・助成)	会計・勘定	H19fy	H20fy	H21fy	H22FY	H23fy	総額
	一般会計						
	特別会計(需給)	320	520	200	(600)	(550)	(2190)
	総予算額	320	520	200	(600)	(550)	(2190)
	(委託)	317	517	197	(540)	(499)	(2070)
	(助成)	3	3	3	(60)	(51)	(120)
開発体制	経産省担当原課	製造産業局ファインセラミックス室					
	プロジェクトリーダー	長岡技術科学大学副学長 高田雅介					
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載)	集中研：(財)ファインセラミックスセンター 再委託先：(株)ルネッサンス・エナジー・インバーストメント 長岡技術科学大学、京都大学、名古屋工業大学 助成先：鈴木油脂工業(株)、積水化成工業(株)、(株)INAX、旭硝子(株)					
情勢変化への対応	NEDO 技術開発機構、実施者とも、研究開発の実施に関し、情報交換に努めるとともに、その取り組み方等を討議して、円滑な推進に協力する。						
評価に関する事項	事前評価	H18年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部					
	中間評価以降	H21年度 中間評価実施予定 H24年度 事後評価実施予定					

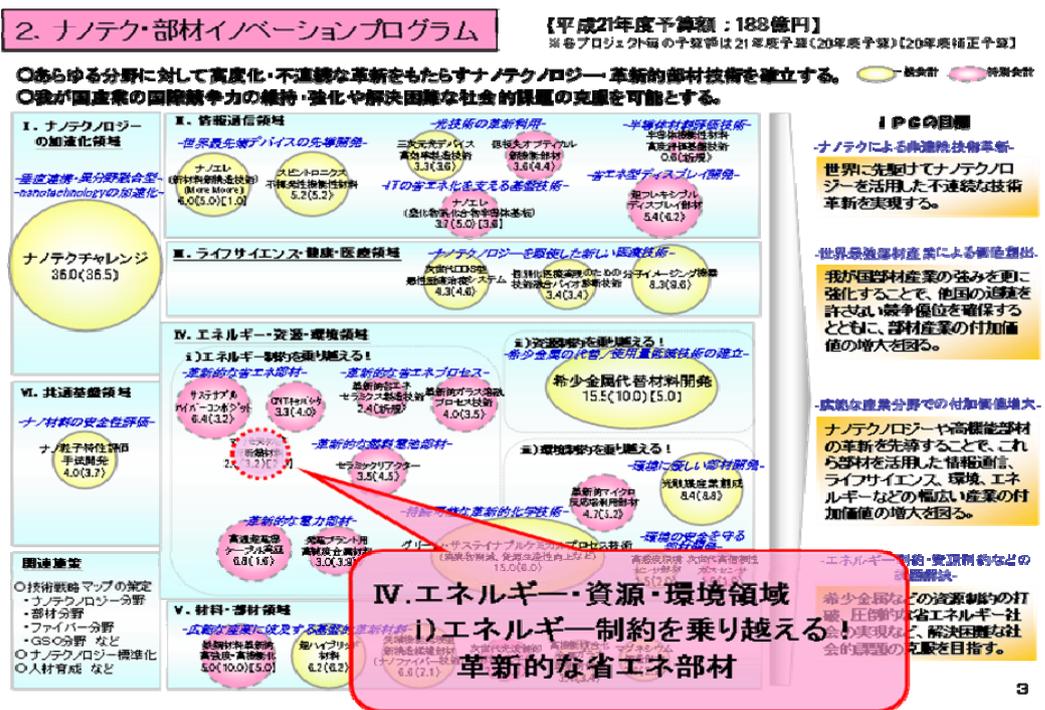
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>研究開発項目①多孔質セラミックス粒子合成技術の開発  <b>【研究開発目標】</b>  10Pa以上の雰囲気での熱伝導率（輻射伝熱の寄与を除く）が0.001W/mK以下、輻射伝熱低減率が70%以上（対真空比、厚み10mmの時）の多孔質セラミックス粒子複合粉末を開発する。また、低コスト化を実現するため、多孔質セラミックス粒子の連続生産プロセスの実現可能性を実証する。  <b>【成果】</b>  ナノ多孔構造や気孔率等を変化させた種々の多孔質セラミックス粒子について、熱伝導精密測定装置を用いて熱伝導率—真空度依存性の関係曲線を詳しく調べ、約10Paの低真空下において約0.002W/mKという極めて小さな熱伝導率を有するなどの成果を得た。また、熱伝導精密測定装置を用いた熱伝導率—真空度曲線測定における諸要因（粉末充填、真空排気、フレーム、熱反射膜等）の影響を系統的に調べ、より高精度の測定技術開発を実現させた。ナノ多孔体構造観察・解析装置によって、シリカからなる多孔質セラミックス粒子の明瞭なナノオーダー多孔構造像を得ることができた。</p> <p>研究開発項目②ナノ構造セラミックス膜コーティング技術の開発  <b>【研究開発目標】</b>  (1) 壁材料用として、赤外線反射率が70%以上、面積が10000mm<sup>2</sup>以上のセラミックス膜を開発する。  (2) 窓用材料として、赤外線反射率が70%以上、光（可視光）透過率が65%以上、ヘイズ率が1%以下、面積が10000mm<sup>2</sup>以上のセラミックス膜を開発する。  <b>【成果】</b>  酸化亜鉛、チタニア等の酸化物セラミックス膜について、電子ビーム物理蒸着法やスパッタリング法などのコーティング法によって多孔質膜あるいは積層膜を合成する条件（出力、圧力、温度等）の制御技術を確立した。酸化亜鉛系の積層膜において可視光を80%以上透過させつつ近赤外線を60%以上反射させ、ヘイズ率を2%以下まで低減できるなどの成果を得ることができた。電気的特性をもとに、光学特性をさらに向上するための指針について検討し、赤外線反射率の向上にはキャリア濃度の増大、赤外吸収の低減にはホール移動度の向上が必要であると知見を得た。</p> <p>研究開発項目③透明多孔質セラミックス合成技術の開発  <b>【研究開発目標】</b>  10Pa以上の雰囲気での熱伝導率が0.002W/mK以下（輻射の寄与を除く）、光（可視光）透過率が65%以上、ヘイズ率が1%以下、面積が90000mm<sup>2</sup>の透明多孔質セラミックス（膜状）を開発する。  <b>【成果】</b>  超臨界乾燥（エアロゲル）法によって透明多孔質セラミックスの試料を合成する際に、温度および圧力の精密制御を行い、クラック等が生じないように安定に透明体を合成する条件を明らかにし、10000mm<sup>2</sup>程度の大きなサイズのサンプル作製を実現させた。エアロゲル法およびキセロゲル法によって合成した透明多孔質セラミックスの熱伝導率と真空度の関係曲線、光（可視光）透過率、ヘイズ率、圧縮特性を測定し、約10Paの低真空下において約0.005W/mKの低熱伝導率、約90%という極めて優れた光透過率のデータを得た。ナノ多孔体構造観察・解析装置を導入し、透明多孔質セラミックスの明瞭なナノオーダー多孔構造像（30nm程度）を得ることができ、優れた光透過率と多孔構造との関係等が明らかとなった。</p>				
	<p>研究開発項目④複合化技術および真空セグメント化技術の開発  <b>【研究開発目標】</b>  (1) 熱伝導率0.002W/mK、熱貫流率0.3W/m<sup>2</sup>Kで、真空部分が面積90000mm<sup>2</sup>、セグメント構造を有する壁用断熱材料の技術開発を行い、壁用の超断熱材料開発のための複合化・真空化・セグメント化技術を確立する。  (2) 熱伝導率0.003W/mK、熱貫流率0.4W/m<sup>2</sup>K、ヘイズ率が1%以下で、面積90000mm<sup>2</sup>の窓用断熱材料の技術開発を行い、窓用の超断熱材料開発のための複合化・真空化技術を確立する。  <b>【成果】</b>  真空封止装置によって多孔質セラミックス粒子をポリマー膜（シート）によって真空封止したサンプルを試作すると共に、真空封入・セグメント化における真空排気効率、ポリマー材質、排気前後の表面凹凸等の技術課題を明らかにした。透明多孔質セラミックス等をガラス板で複層化・真空化し超断熱窓材料の試料を試作し、真空封止後の透明多孔質セラミックスに生じるひずみあるいはクラックなどの技術課題を明らかにした。</p> <p>研究開発項目⑤「超断熱壁材料の開発」  <b>【研究開発目標】</b>  ポリマー膜に開発素材を真空封止し、熱貫流率が0.3W/m<sup>2</sup>K以下、壁厚さ10mm程度、面積が1m<sup>2</sup>程度、かつ構造補強部材なしに10MPa程度の圧縮強度を有する超断熱壁材料を開発する。多孔質セラミックス粒子複合粉末の連続生産プロセスを確立する。  <b>【成果】</b>  連続式エマルジョン化装置の実溶液を用いた試験を行い、槽容量数10Lの切り替え連続式エマルジョン化装置を用いることより、目標の数千トン/年の生産を行なえることを確認した。また連続遠心式の固液分離装置の想定性能をパッチ式の遠心分離機を用いて再現して、実溶液でテストを行い、連続遠心式の固液分離器が十分な性能を持つとともに廃エマルジョンの分解も同時に行なえることを確認した。</p> <table border="1" data-bbox="427 1601 1406 1686"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>33件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>3件（出願済）</td> </tr> </table>	投稿論文	33件	特許	3件（出願済）
投稿論文	33件				
特許	3件（出願済）				
<p>IV. 実用化、事業化の見通しについて</p>	<p>多孔質セラミックス粒子の断熱特性が極めて優れるという成果が得られ、かつその量産技術については具体的な実用化を進める段階に入ったこと、さらには複合化技術および真空セグメント化技術についても順調に研究が進められていることから、超断熱壁材料の実用化は大いに期待できる状況になっている。超断熱窓材料については、透明多孔質セラミックス合成および複合化・真空化技術を、さらに加速的に促進することにより、実用化の可能性が増大する。</p>				
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<table border="1" data-bbox="427 1816 1406 1982"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成19年3月、制定。</td> </tr> <tr> <td>変更履歴</td> <td>平成19年6月 研究開発責任者（PL）決定に伴う改訂  平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂  平成21年3月 変更</td> </tr> </table>	作成時期	平成19年3月、制定。	変更履歴	平成19年6月 研究開発責任者（PL）決定に伴う改訂 平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂 平成21年3月 変更
作成時期	平成19年3月、制定。				
変更履歴	平成19年6月 研究開発責任者（PL）決定に伴う改訂 平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂 平成21年3月 変更				

# 技術分野全体での位置づけ (分科会資料 2.3-1, 2より抜粋)

## I.2. 3事業の位置づけ①

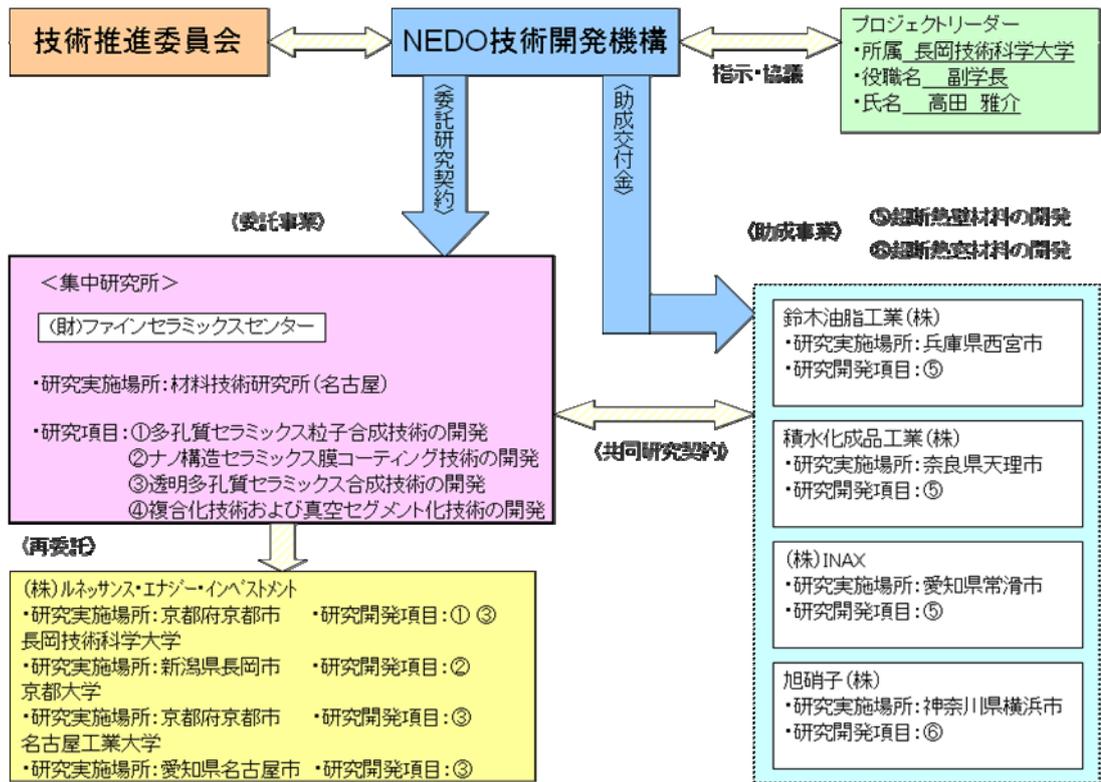


## I.2. 3事業の位置づけ②



# 「マルチセラミックス膜新断熱材料の開発」

## 全体の研究開発実施体制



# 「マルチセラミックス膜新断熱材料の開発」(中間評価)

## 評価概要(案)

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

事業の位置づけと目標は、省エネルギー技術の一環として極めて重要であり、目標達成のための組織およびプロジェクトテーマは十分に妥当である。これまでに達成されたことのないレベルの超高断熱(超低熱伝導性)特性を目標として材料開発を目指している。そのため計測面でも新規なアイデア・コンセプトに基づいて基礎科学的な面からも検討を行っており、この分野のレベル向上にも寄与することが期待される。また、個別の要素技術については概ね数値目標をクリアしており、基礎研究の視点で見た場合には十分に当初の目標を達していると評価できる。

一方、要素材の性能を維持させた上で、強度、耐久性を確保し、さらに大型化および低コスト化する必要がある、越えるべき課題は多い。

#### 2) 今後に対する提言

あくまでも高い目標に向かってプロジェクトを進める必要があるが、コスト的に見て実現が困難な課題については、実現の可能性が高い課題に注力する必要がある。本断熱材の特性を活かした建築での使用法の観点で、断熱建材としての必要属性を整理し、これに沿った技術開発を考えるべきである。また、大型試作品の作製と製品評価に取り組み、得られたデータを要素技術研究にフィードバックする必要がある。

なお、長期的視点で建材市場への展開を考えると共に、本技術をほかの分野(例えば自動車や電子材料など)へ展開する可能性も合わせて検討していただきたい。

### 2. 各論

#### 1) 事業の位置付け・必要性について

エネルギーイノベーションとナノテク・部材イノベーションの重なりの中に位置づけられるプロジェクトの一つと考える。暖冷房に関するエネルギーの抑制は今後の建築計画の基本であり、その点で非常に意義の大きいテーマである。

民間企業が、従来にまして短期的・応用的な傾向を強める中で、基盤的・挑

戦的なテーマであり、NEDO が関与する意義は強い。

一方、市場創出効果を 2030 年で試算しているのは長期的過ぎる。市場規模に対して本技術をどの程度置き換えて展開しようとするか、その規模をある程度、目標値として提示できないだろうかと考える。

## 2) 研究開発マネジメントについて

ここまでのところでは、集中研究としてのマネジメントは行われている。目標を達成するための高い技術的背景を持つ組織構成は妥当であり、産学間の連携も十分に行なわれていると判断できる。また、高度な評価法の確立を基盤技術にすえていることも評価することができる。

一方、研究開発目標の具体的な設定数値は適切であるが、目標設定している時期が遠い先で現実味が薄い。到達された技術レベル（数値目標）と波及効果には相関があるが、その見積もりが不明確である。全体の組織構成とそれぞれの役割、フィードバックを含めた情報の流れが少し見えにくい。今後は、実現性の高い用途とその実用化がまだ相当先になるものと分けて市場動向や技術動向に対する戦略を立てるべきである。

## 3) 研究開発成果について

個々の技術的な課題に対しては、ほぼ中間段階の目標をクリアできている。日本の高度なセラミックス技術を内外に示す成果になる可能性があり、評価できる。ヘイズ率については目標設定値が相当高いこともあり中間目標に達していないが、用途に応じ実用化出来るレベルにあると判断できる。

実用化において重要な耐久性、信頼性、コスト的な観点については、クリアしなくてはならない課題が山積みしており、これからの進展が必要である。また、学問的基礎研究の発表件数に比べ特許出願数が少ないので、更に力をいれて特許出願をしていただきたい。

マスコミや展示会を通じた成果の普及も積極的に行なわれているが、一般社会への成果普及には、マスメディアへの露出が必要であり、そのような観点に対する努力が必要である。

## 4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化に対する対象に対して、ある程度絞り込みの方向性は明確化されている。素材メーカーおよび建材メーカーが要素技術の立ち上げから関与しており、技術内容と到達レベルを十分に把握していることから、産業技術として適用可能な方向での開発が認められ、技術的波及効果も期待できる。

目標数値の達成だけで事業化への到達が可能か、技術的ハードルだけでなく、

市場動向や需要の見込み、ライバル材料の今後の発展状況の想定などについて、少し辛口な見方からも検討する必要がある。今後は既存技術との競合を意識したコストパフォーマンスの把握と、それに立脚した実用化の計画が重要と考えられる。

### 個別テーマに関する評価

	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
多孔質セラミック粒子合成技術の開発	<p>中間目標は概ね達成している。シンプルなプロセスによって断熱性能に優れた多孔質シリカ粒子の合成を可能にしており、その熱的・機械的物性の評価も進められており、要素材としての有効性が確認されている。また、微細組織を制御したセラミックスの合成方法としてはコスト競争力のある技術になり得ると考えられ、評価できる。</p> <p>なお、粒径、粒径分布、内部細孔構造などが熱的物性に与える基礎的な知見が不十分であり、今後により高い断熱性能を目指す場合に、具体的な研究の方針が見えにくい。さらに特性改善するために必要となる問題解決指針をもう少し明確化する必要がある。充填方法なども重要技術であり</p>		

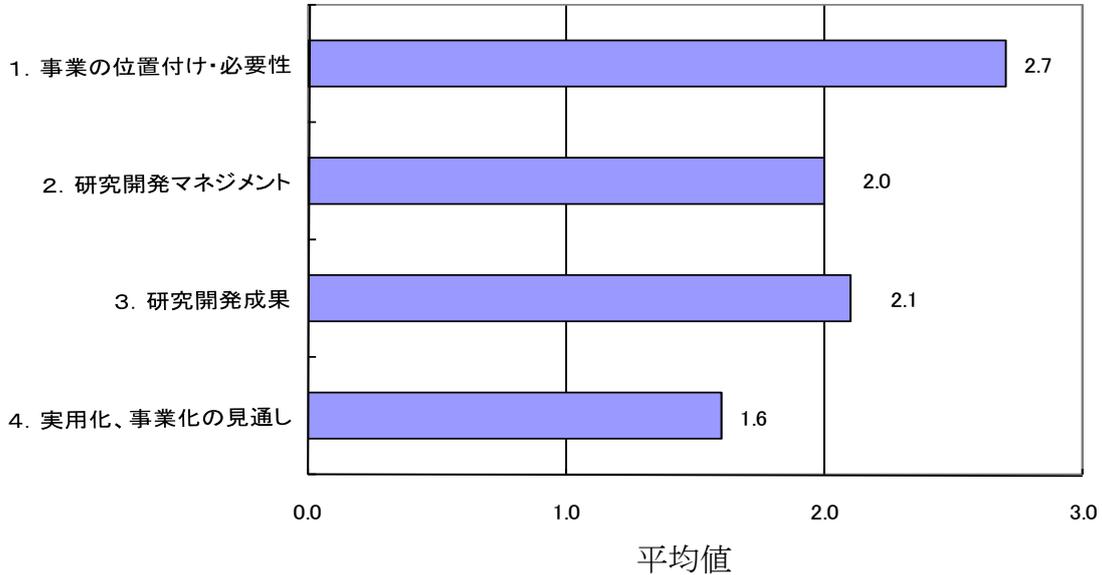
	<p>今後の開発が期待される。また、微量水分をどこまで低減できるかが実用化に向けた大きなポイントである。</p>		
<p>ナノ構造セラミック膜コーティング技術の開発</p>	<p>中間目標はほぼクリアできている。成膜速度が高い電子ビーム蒸着を活用し、導電性が高く赤外域の反射率が高い薄膜を得られた技術、および周期ドーピングによる特定波長の反射技術は高く評価できる。学術的な検討がよく進んでおり、論文・発表数も多い。</p> <p>なお、近赤外域の反射に関しては用途との相関もあり、そのターゲットが多少あいまいである。また、既存の成膜技術および low-E コーティングとの競合におけるコストパフォーマンスの意識が重要である。さらには、製造原価と市場価格とのギャップなど明確に提示できると課題もはっきりし、対策の検討に繋がる。</p>		

透明多孔質セラミックス合成技術の開発	<p>中間目標はほぼクリアできている。流通式超臨界 CO<sub>2</sub> 乾燥法によって大型で均一なエアロゲルを作製する技術の基礎が確立している。また、細孔径制御による透明性の向上や低コストなキセロゲルの合成手法を見出している。</p> <p>しかしながら、大型化に対するハードルは高く、大きなヘイズ値から透明なガラス部材としてはクリアすべき課題は依然として大きい。また、他の競合分野との比較はもちろんであるが、エアロゲルとキセロゲルのどちらがより実用化レベルのスケールアップに適し、コスト的にも工業化に見合う材料となり得るかも比較検討の必要がある。</p>		
--------------------	---	--	--

<p>複合化技術および真空セグメント化技術の開発</p>	<p>壁材料は中間目標をほぼ達成している。また、課題に適した担当機関が選択されている結果、壁材では目標も概ね現実的で、下流側の課題についても効果的な成果が得られている。</p> <p>なお、プロセスパラメータと物性との相関性が検討されていないので、実用化に向けて今後の検討は必須である。特に、粒子の充填構造と断熱性能や強度とは密接に相関があるので、配慮が必要である。未達成のヘイズ率の改善については、原理的・基礎的検討に戻って深い考察の上に、研究計画を再構築していただきたい。</p> <p>また、窓材では耐久性についての検討が不十分と考える。材料の信頼性評価に関する項目を設けた方がよい。</p>	<p>現時点で到達している技術でも既存の製品をリプレースできる可能性のあるものがある。小型ではあるが、実用化を意識したサンプルが試作されている点も評価できる。</p> <p>なお、コスト、耐久性、信頼性などをすべてクリアするのは、技術面でのブレークスルーが必要である。長期にわたり本当に真空が維持できるかが実用化における疑問であり、経時変化のデータ取得が必要である。</p> <p>また、建材としての実用の観点での必要属性の整理・見直しを行い、これに基づく展開についても要望する。</p>	<p>コストパフォーマンスに応じた用途開発と波及効果を明確にする必要がある。素材面での技術的な課題というよりも実用化におけるコストとの関わりが難しくなることは明らかであり、真の意味での産学連携や企業間連携が成否の鍵を握っている。お互いに駆け引き無しに課題などを検討していくことが重要であろう。</p> <p>また、知的財産の充実を期待する。</p>
------------------------------	---	--	--

超断熱壁材料の開発	<p>中間目標はほぼ達成できている。技術的に重要な課題に挑戦しており、実用化の見通しは予断を許さないが、獲得した技術の波及効果も考慮すると、価値ある成果が得られていると判断される。</p> <p>なお、コストパフォーマンスに応じた市場規模と生産規模の見積もりが必要である。建材としての利用の観点をより積極的に検討していただきたい。</p>	<p>メーカー各社によって、問題点が意識され、実用化へのロードマップが作成されており、課題に対し、適切な企業が担当し、事業化に向けた課題認識も十分であると考ええる。</p> <p>一方、既存の真空断熱技術や低コストな断熱技術との競合が予想されるが、現時点での検討は充分ではない。</p> <p>また、海外事業の経験のある企業も含まれている割に、海外市場についての意識が弱い。</p>	<p>応用面から考えて実用化段階や要求される特性レベルが異なるそれぞれの対象物を明確化し、実現の難易度を定め、取り組む必要がある。また、コストパフォーマンスを意識しながら広い視野での応用展開を検討する必要がある。今後の国内事情を踏まえると、新たな建築を減らす時代になるといわれ、同時に高度成長期に建築されたインフラの更新需要が拡大することも予想されている。壁以外にも種々の事業機会を探索することが可能であると考ええる。</p> <p>また、広報する場面では、例えばマルチセラミックスをグリーンセラミックスと称する（環境に優しいグリーンという意味）などして、断熱や熱のマネジメント技術を強調するようなことも意味があると考ええる。</p>
-----------	---	---	---

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	B	A	A	A	A	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	B	A	A	A	A	B	
2. 研究開発マネジメントについて	2.0	A	A	B	B	B	C	C	
3. 研究開発成果について	2.1	B	A	B	B	B	B	B	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.6	B	B	B	B	C	C	C	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D