

ナノテク・部材イノベーションプログラム
エネルギーイノベーションプログラム

資料5-3

「マルチセラミックス膜新断熱材料の開発」

プロジェクトの概要説明 (公開)

(研究内容編)

新エネルギー・産業技術総合開発機構
ナノテクノロジー・材料技術開発部
平成21年8月6日(木)

熱移動のメカニズムと断熱の方法論

◆熱の移動は、3つのメカニズムで起こる。

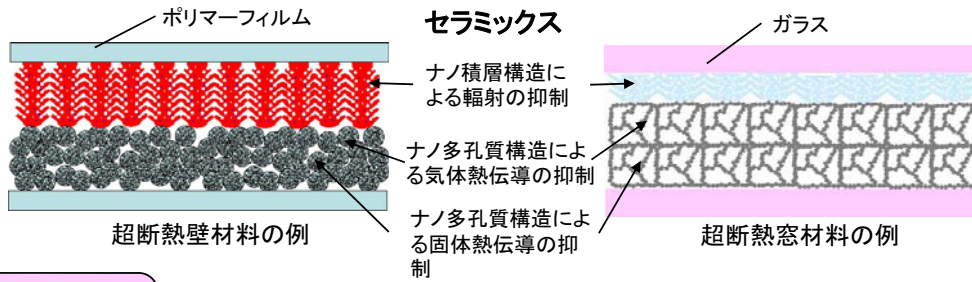
- ①伝導: 固体中の格子の振動や電子の移動による
- ②対流: 気体や液体などが流動することによる
- ③輻射: 光や電波などの放射エネルギーとして空間移動することによる



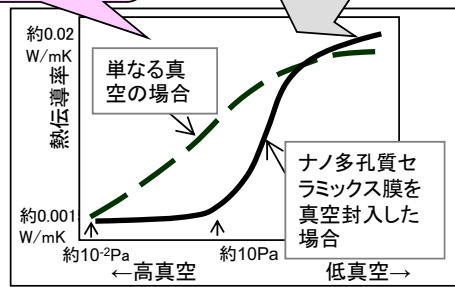
◆断熱の方法論と本プロジェクトの作戦(構造制御の効果・有利性)

- ①伝導の抑制 → マクロ的には固体の密度が小さいほど伝導は低下する。また、ミクロ的には固体の多孔構造(孔径)が小さいほど伝導は低下する。**(ナノ多孔質構造が有利)**
- ②対流の抑制 → 圧力が低いほど、また、固体(多孔体)の空間径(孔径)が小さいほど対流が低下する。**(真空及びナノ多孔質構造が有利)**
- ③輻射の抑制 → 固体と空間が層状となり、層状構造が細くなるほど輻射が散乱され、熱移動が抑えられる。**(羽毛状あるいは層状構造が有利)**。

マルチセラミックス構造の例



低真空中で
低熱伝導度

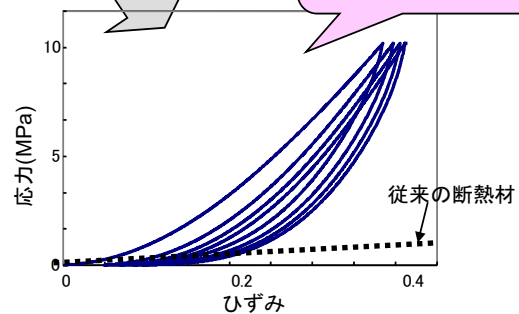


熱伝導率と真空度の関係曲線

→ 低真空中でもナノ多孔質材は、高真空中下並の低熱伝導率

断熱材料として二大利点

優れた
圧縮特性



多孔質粉末の圧縮試験→優れた圧縮強度

プロジェクトの概要

本研究開発は、セラミックスのナノ多孔体構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造等からなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって、熱を伝える三要素(格子振動、対流、輻射)の何れも抑えるマルチセラミックス膜新断熱材料技術の開発を行い、住宅やビル等の冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料の実用化を目指すものである。具体的な研究開発項目として、以下の研究開発を実施する。

【共通基盤技術】

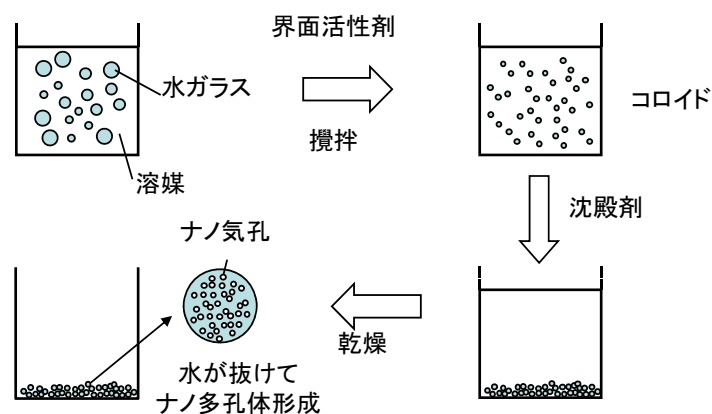
- ①多孔質セラミックス粒子合成技術の開発
- ②ナノ構造セラミックス膜コーティング技術の開発
- ③透明多孔質セラミックス合成技術の開発
- ④複合化技術および真空セグメント化技術の開発

【実用化技術】

- ⑤超断熱壁材料の開発
- ⑥超断熱窓材料の開発

各研究項目の 主な研究内容

① ナノ構造セラミックス粒子合成技術



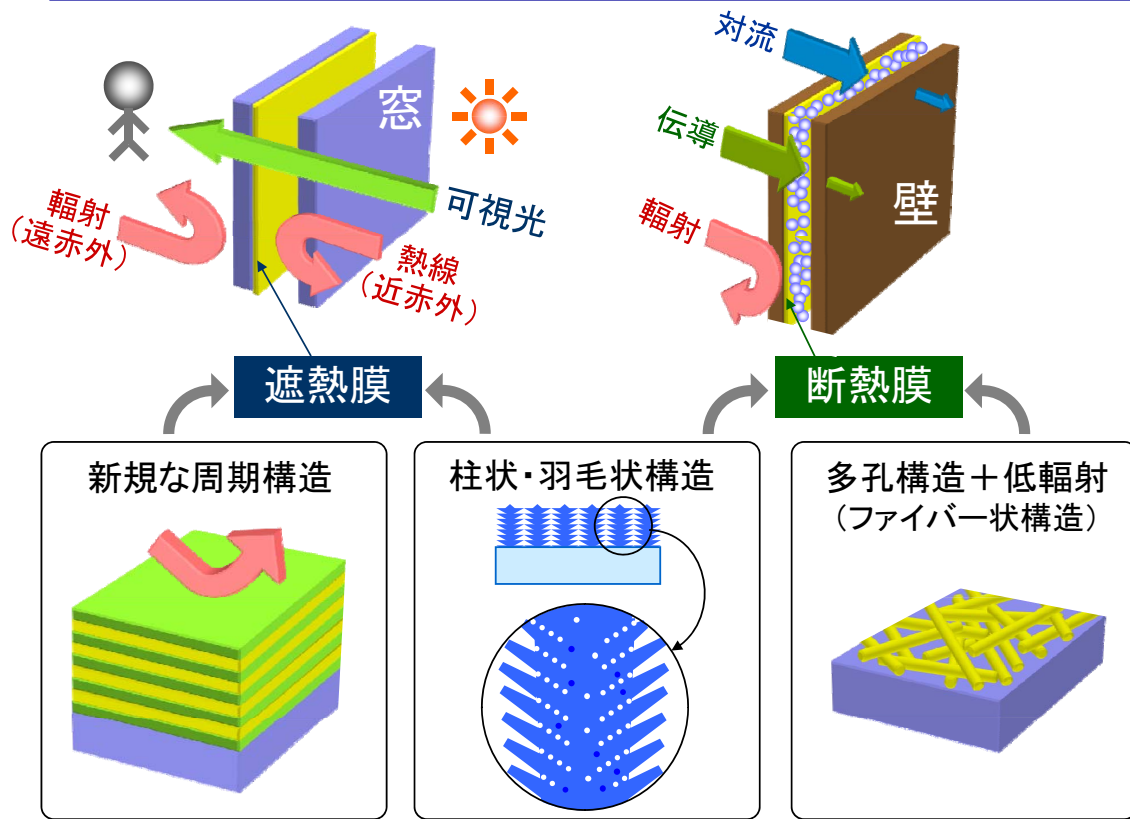
ナノ多孔質シリカ粒子において成功。低コストプロセスとして本プロジェクトに採用。新規物質の探索と合成が課題。

「格子振動」による伝導を抑制 ← ナノ多孔構造により、固体の接触面積を低下させ熱抵抗を増大

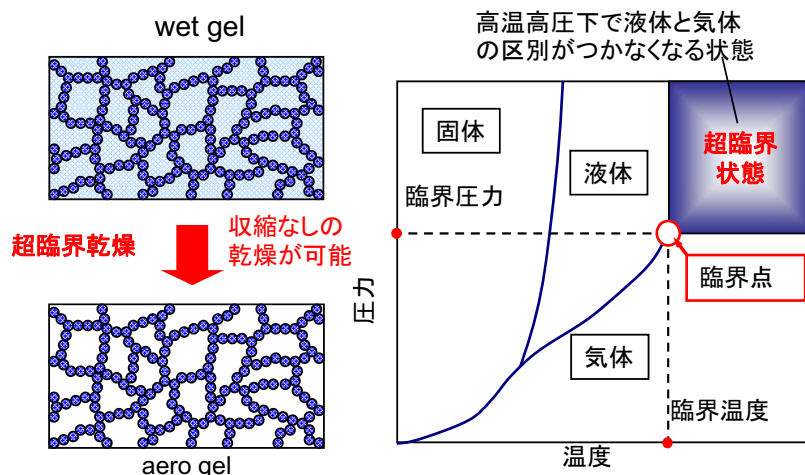
「対流」による伝導を抑制 ← ナノ多孔構造により、対流空間を気体分子平均自由行程以下に減少

水ガラスを油性溶媒および界面活性剤と共に攪拌混合してコロイド状態にした後に、沈殿、乾燥の処理によって水成分が抜けたほぼ球形のナノ多孔体粒子を合成させる。今回の開発では粉体の良好な流動性が得られる最小の粒子径である5-10ミクロンの径の粒子を開発する。また粒子の断熱性と耐圧縮性のバランスから、多孔率85-90%程度の粒子の合成を行う。

②ナノ構造セラミックス膜コーティング技術の開発



③透明セラミックス膜(エアロゲル)合成技術



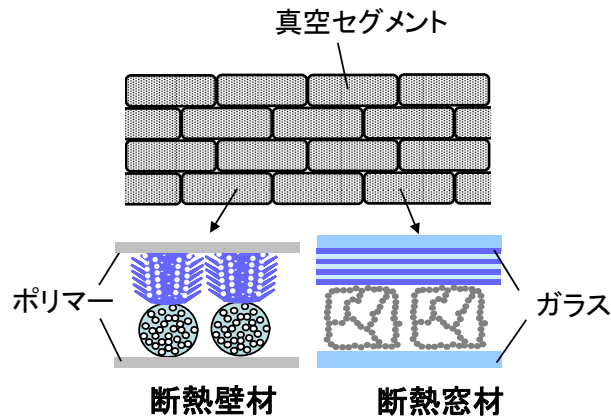
シリカのエアロゲルによって透明な高断熱性多孔体合成に成功。本プロジェクトでは膜状プロセスの開発が課題。

「格子振動」と「対流」による熱移動を抑制 ← ナノ多孔構造の制御による効果

「透明性」の実現 ← 光の波長より小さいナノオーダーの孔径をもつ多孔質フラクタル構造

光吸収の小さいシリカなどを母構造とする。ナノオーダーの多孔構造を形成する手法として、ゾルゲル法、エアロゲル法およびメチル化セロゲルによる方法の3つの手法について検討する。

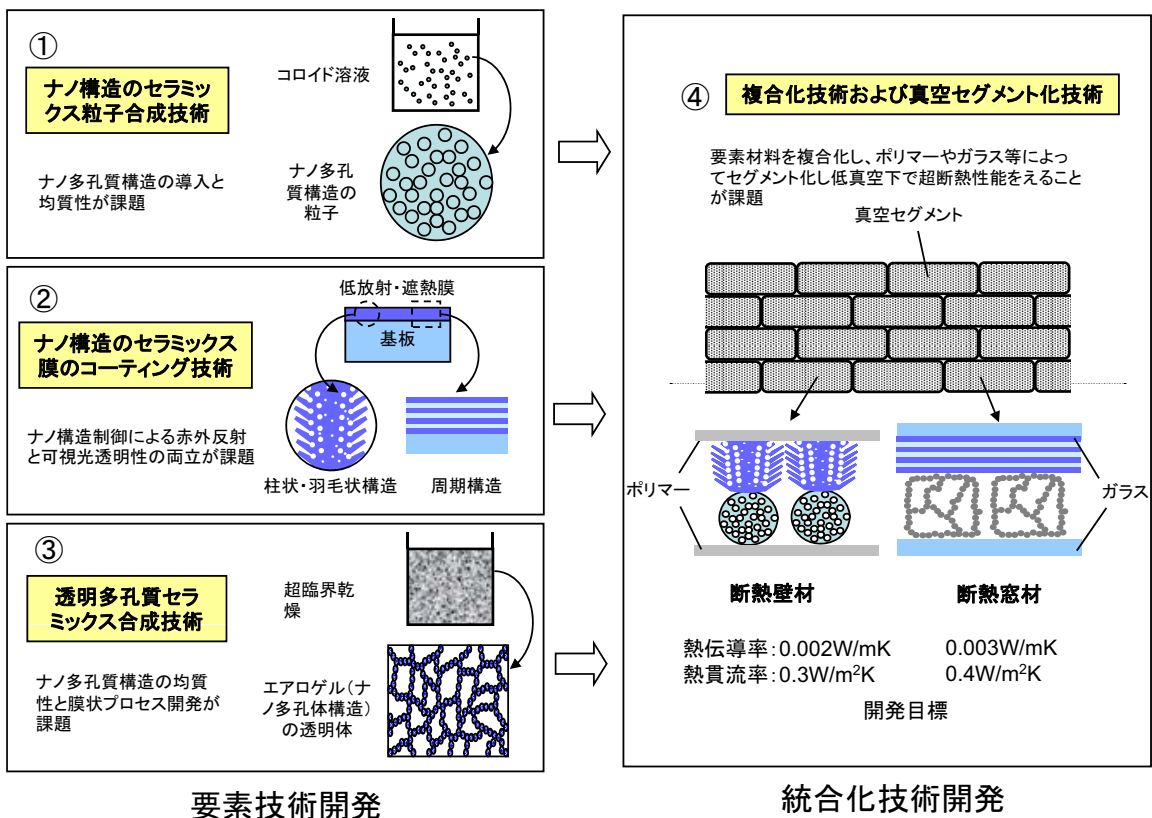
④複合化技術および真空セグメント化技術



要素材料を複合化し、ポリマーやガラス等によってセグメント化し低真空下で超断熱性能をえることが課題

超断熱壁材料としての実用化する際、施工時に切断、穴明け等の加工が行われても優れた断熱性が維持できるように真空封止する空間をセグメント化する。真空を長期間維持できるガスバリア性能および真空セグメント化するための成形性(賦形性)・接着性(融着性)。ポリマー単層、ポリマー複層、ポリマー/無機複合層等。

超断熱窓材料として実用化する際、透明多孔質セラミックスの両面をガラス板にて挟みこみ、内部を真空に保持しながら密閉化する。ガラス窓としての透明性を失わず、さらには透明多孔質セラミックスの破壊や特性劣化を伴うことなく、セラミックス材料をガラス板の間に挟みこんで複層化する組み立て技術。内部を真空排気した状態で封止する技術。

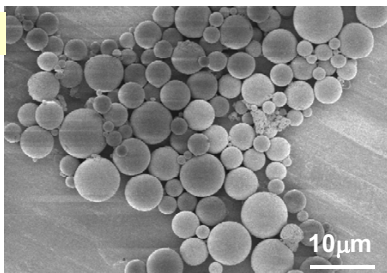


各研究項目の 主な研究成果

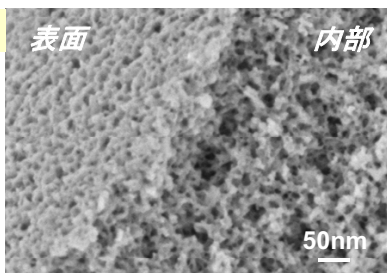
主な研究成果 ①多孔質セラミックス粒子合成技術の開発

格子振動および対流の熱伝導を抑制した
ナノ多孔質シリカ粉末を合成

粒子概観

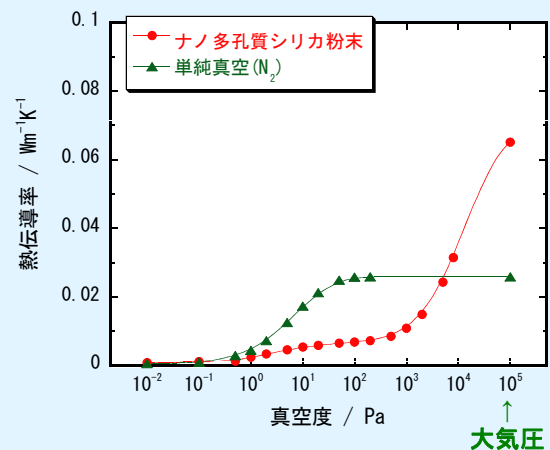


微細構造



真球状で、粒内部にナノ多孔を有する構造

ナノ多孔質シリカ粉末の熱伝導率の真空
度依存性を評価

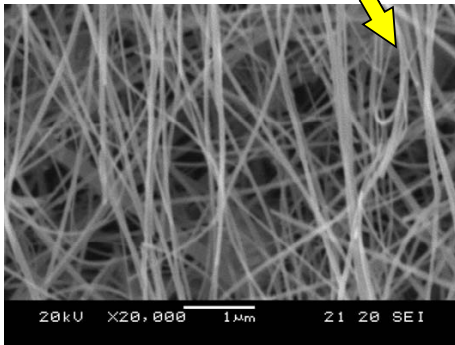


1Paで熱伝導率0.002W/mK以下

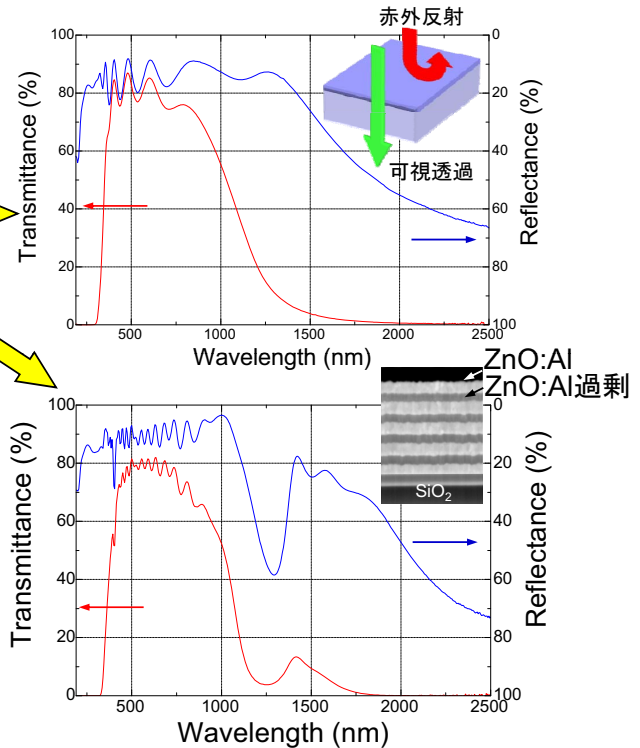
② ナノ構造セラミックス膜コーティング技術の開発

ZnO系 透明導電膜の ナノ構造制御

- ・EB-PVD法による赤外反射の発現
- ・Al周期ドープによる熱線反射
- ・ZnOナノファイバー合成



→超断熱「壁」へ



→超断熱「窓」へ

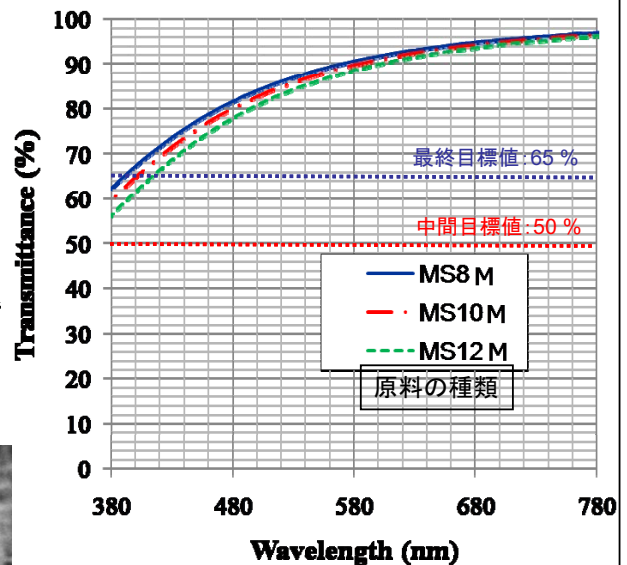
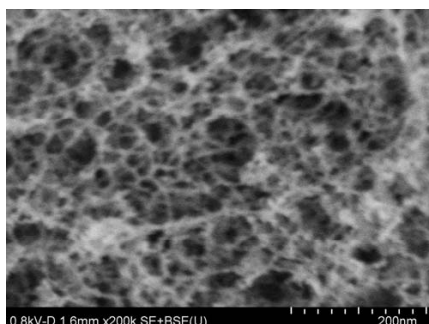
主な研究成果 ③ 透明多孔質セラミックス合成技術の開発



エアロゲルの
可視光透光率

透明多孔体(エアロゲル)の外観

エアロゲルの高分解能SEM像



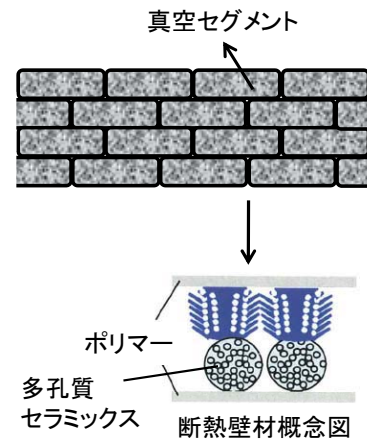
可視光透過性の優れた透明多孔質セラミックスの合成を超臨界乾燥法等によって実現し、約10cm角のサンプルを安定に合成できるようになった。

④-1 壁材料の複合化技術および真空セグメント化

1) 開発目標及び中間成果

超断熱壁材料開発のため、①および②で開発した要素技術を用いて、複合化・真空化・セグメント化技術を確立する。

検討項目	中間目標	中間成果	最終目標
圧力	10Pa	<0.01Pa (チャンバー内)	—
熱伝導率	—	0.010W/mK	0.002W/mK
熱貫流率	—	今後評価	0.3W/m ² K
面積	10,000mm ² (セグメント化)	40,000mm ² 以上 (セグメント化は検討中)	90,000mm ² (セグメント化)



2) 成果の概要

真空封止装置の導入とサンプル試作

- ・チャンバー内圧力10Pa以下可能
- ・面積40,000mm²以上のサンプル試作

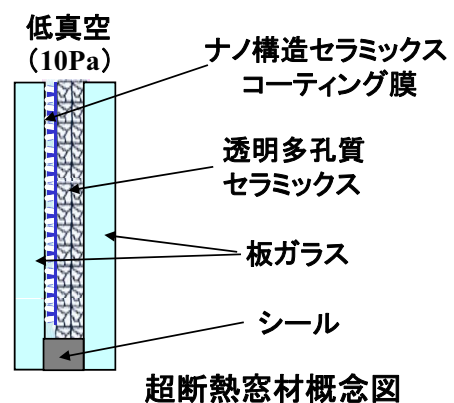
技術開発課題

- ・熱伝導率は、最終目標値まで至らず。
→原因を究明して改善を図る。
- ・セグメント化は、今年度中に作製する。

④-2 窓材料の複合化技術及び真空セグメント化技術の開発

1) 開発目標及び中間成果

項目	中間目標	最終目標	中間成果
熱貫流率(W/m ² K)	1.0	0.4	0.71
ヘイズ率(%)	2.0	1.0	4.2
面積(mm ²)	2500	90000	10000 (90000)



2) 成果の概要

- ・熱貫流率(U値)、光透過率、面積では中間目標を達成した
- ・ヘイズ率は多孔質ゲルの改良によって改善を図る
- ・真空ガラス貼り合わせ装置の導入(21年度補正予算)によって、最大320mm角サンプルの試作が可能になった
- ・試作サンプルでU値の経時変化観察中(封着剤の耐久性確認)
- ・基本構造の問題点も抽出

- ①予測値と実測値の解離(真空封入時の真空度の悪化?) → 原因の究明と対策
- ②減圧時の接合材の引き込み → 断面構成の最適化

⑤ 超断熱壁材料の開発

1) 開発目標及び中間成果

①、④で開発した断熱材料技術を用いて、優れた断熱性能と機械的強度を兼ね備えた超断熱壁材料を開発する。

項目	中間目標	中間成果	最終目標
多孔質セラミックス粒子製造プロセス	粒子の連続生産プロセス技術を確立する	量産可能であることを確認した	複合粉体の連続生産プロセスを確立する

2) 成果の概要

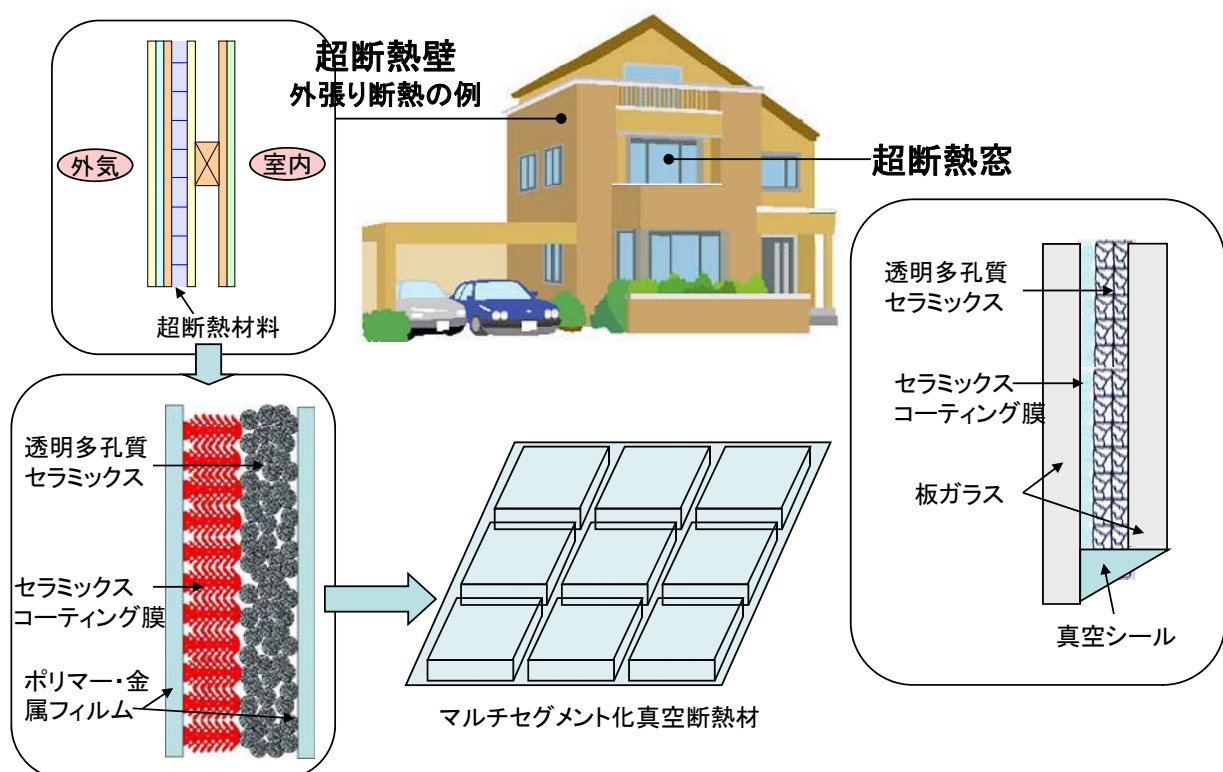
量産ラインの試設計と技術開発課題の抽出

- ・ 生産原単価の確認 ⇒ 原料等の問題なしを確認
- ・ 表面処理工程が追加されたとしても目標到達可能

連続プロセスの基本設計

- ・ 基本フローの作製
- ・ テスト項目の認識と実験課題の策定
- ・ 主要機器の実機による性能確認

住宅向け超断熱材料の実用化イメージ



(3) 知的財産権、成果の普及

	H19	H20	H21	計
特許出願	0	3	(3) 作成中	3件
論文(査読付き)	15	18	0	33件
研究発表・講演	40	74	0	114件
受賞実績	4	3	0	7件
新聞・雑誌等への掲載	5	11	0	16件
展示会への出展	0	2	1	3件

平成21年7月1日現在

展示会の実施(出展)など

ナノテク2009

2009年2月18～20日



実際に試作したサンプルを展示し

(右写真)、実用化に向けた積極的な取り組みが評価される。

多孔質セラミックス粒子・ポリマー封止サンプル試作。

シリカエアロゲル(透明体)・ガラス封止サンプル試作。

国際セラミックス総合展2009

2009年4月8～10日

IUMRS-ICA2008アジア国際学術シンポジウム

2008年12月12日 断熱材料特集セッション

環境・エネルギー材料研究展

2008年5月29日(木)、30日(金)