

# 「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」

## 事業原簿

(公開版)

担当部署	独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
------	---------------------------------

—目次—

概要

プロジェクト用語集

1. 事業の位置付け・必要性について	1- 1
1.1 NEDO の関与の必要性・制度への適合性	1- 1
1.1.1 NEDO が関与することの意義	1- 1
1.1.1.1 社会的な背景	1- 1
1.1.1.2 産業界での対応状況	1- 8
1.1.1.3 革新的ノンフロン系断熱材技術開発の必要性	1-11
1.1.1.4 技術的な課題と NEDO の関与する意義	1-13
1.1.2 実施の効果（費用対効果）	1-13
1.1.2.1 産業界への効果	1-13
1.1.2.2 費用対効果	1-15
1.1.2.3 制度への適用性	1-15
1.2 事業の背景・目的・位置付け	1-16
1.2.1 事業の背景	1-16
1.2.1.1 オゾン層保護対策の動向	1-16
1.2.1.2 温暖化対策の動向	1-20
1.2.2 事業の目的と位置付け	1-22
2. 研究開発マネジメントについて	2- 1
2.1 事業の目標	2- 1
2.2 事業の計画内容	2- 2
2.2.1 事業全体の計画	2- 2
2.2.2 研究開発項目毎の計画	2- 6
2.2.2.1 革新的断熱技術開発	2- 6
2.2.2.1.1 基盤技術開発	2- 6
2.2.2.1.2 発泡ガス開発	2-11
2.2.2.1.3 硬質ウレタン技術開発	2-14
2.2.2.1.4 複合断熱材技術開発	2-29
2.2.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発	2-41
2.2.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発	2-51
2.2.2.2.1 計測技術開発	2-51
2.2.2.2.2 評価技術開発	2-55
2.2.3 研究開発の実施体制	2-58
2.2.4 研究開発の運営管理	2-60
2.2.5 中間評価結果への対応	2-61
3. 研究開発成果について	3- 1
3.1 事業全体の成果	3- 1
3.1.1 革新的断熱技術開発	3- 1
3.1.1.1 基盤技術開発	3- 9
3.1.1.2 発泡ガス開発	3-11
3.1.1.3 硬質ウレタン技術開発	3-12
3.1.1.4 複合断熱材技術開発	3-16

3.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発	3-18
3.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発	3-19
3.1.2.1 計測技術開発	3-19
3.1.2.2 評価技術開発	3-19
3.2 研究開発項目毎の成果	3-23
3.2.1 革新的断熱技術開発	3-23
3.2.1.1 基盤技術開発	3-23
3.2.1.2 発泡ガス開発	3-35
3.2.1.3 硬質ウレタン技術開発	3-53
3.2.1.4 複合断熱材技術開発	3-91
3.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発	3-127
3.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発	3-134
3.2.2.1 計測技術開発	3-134
3.2.2.2 評価技術開発	3-139
4. 実用化、事業化の見通しについて	4- 1
4.1 実用化、事業化の見通し	4- 1
4.1.1 成果の実用化の可能性	4- 1
4.1.1.1 革新的断熱技術開発	4- 3
4.1.1.1.1 基盤技術開発	4- 3
4.1.1.1.2 発泡ガス開発	4- 4
4.1.1.1.3 硬質ウレタン技術開発	4- 4
4.1.1.1.4 複合断熱材技術開発	4- 7
4.1.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発	4- 8
4.1.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発	4- 9
4.1.1.2.1 計測技術開発	4- 9
4.1.1.2.2 評価技術開発	4-10
4.1.2 波及効果	4-11
4.1.2.1 革新的断熱技術開発	4-13
4.1.2.1.1 基盤技術開発	4-13
4.1.2.1.2 発泡ガス開発	4-13
4.1.2.1.3 硬質ウレタン技術開発	4-13
4.1.2.1.4 複合断熱材技術開発	4-15
4.1.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発	4-16
4.1.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発	4-17
4.1.2.2.1 計測技術開発	4-17
4.1.2.2.2 評価技術開発	4-17
4.2 今後の展開	4-18
4.2.1 革新的断熱技術開発	4-20
4.2.1.1 基盤技術開発	4-20
4.2.1.2 発泡ガス開発	4-20
4.2.1.3 硬質ウレタン技術開発	4-21
4.2.1.4 複合断熱材技術開発	4-22
4.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発	4-23
4.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発	4-24
4.2.2.1 計測技術開発	4-24
4.2.2.2 評価技術開発	4-24

添付資料

イノベーションプログラム基本計画

プロジェクト基本計画

技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

事前評価関連資料

特許論文リスト



# 概要

		作成日	2012/10/10				
制度・施策 (プログラム)名	ME T I・環境安心イノベーションプログラム						
事業 (プロジェクト)名	革新的ノンフロン系断熱材技術 開発プロジェクト	プロジェクト 番号	P 0 7 0 1 9				
担当推進部/ 担当者	環境部/坂野主査(H19年4月～H20年9月)、繁田主査(H20年10月～H22年9月)、長岩主査(H22年10月～H23年3月)、山崎主査(H23年4月～H24年3月)						
0. 事業の概要	<p>建築用断熱建材の分野では硬質ウレタンフォーム等が使用されているが、地球温暖化係数(GWP)が高い代替フロン等を使用している問題がある。また、CO<sub>2</sub>など低GWP発泡ガスを使用する断熱材の開発・利用が進められているが、熱伝導率等の断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で種々の問題があり、特に現場発泡断熱材にノンフロン化の遅れがある。このため現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有する革新的ノンフロン系断熱材技術の開発を行う。</p>						
I. 事業の位置付け、必要性について	<p>断熱材の発泡剤はHCFCの使用はほぼ全廃したが、2005年以降GWPの高いHFCへの転換が図られ、代替フロンの大気中への排出量の増加が見込まれている。これを抑制するために断熱材のノンフロン化を一層推進することが必要である。しかし現状のノンフロン断熱材は、フロン製品(特にフロン系現場発泡品)と比較すると断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で問題があるため、本格採用には至っていない状況である。</p> <p>京都議定書目標達成計画に基づく温室効果ガスの排出削減は、我が国の責務であり、その達成およびその後の更なる排出削減のため基礎研究/実用化研究の両面的なアプローチにより高い断熱効果を有し、かつ市場への早期導入が見込める高性能断熱材の開発を推進する必要がある。また上記の研究開発に伴い、より高精度・高性能の性能評価技術が要求されることが予想される。更に研究開発成果の上市に際し、高性能断熱材の普及を促進するためにも、製品としての品質を評価する手法や基準が必要である。しかしこれら新技術の開発を推進するためには、一企業単位では開発の負担が大きく、国からの支援が是非必要である。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>建材を中心とする断熱剤分野において、平成23年までに、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上(熱伝導率<math>\lambda \leq 0.024W/m \cdot K</math>を目安)の断熱性能を有し、かつ、実用化、市場化に際して経済性を考慮した上で、従来技術と比肩して優位性のある性能・特徴を有する革新的なノンフロン系断熱技術を確立するための技術課題を解決すること。</p>						
事業の 計画内容	主な実施事項	H19Fy	H20Fy	H21Fy	H22Fy	H23Fy	
	革新的断熱技術開発						→
	断熱性能等の 計測・評価技術開発		(計測技術)	→			
			(評価技術)	→	→		
開発予算 (会計・勘定 別に事業費 の実績額を 記載)	会計・勘定	H19Fy	H20Fy	H21Fy	H22Fy	H23Fy	総額
	一般会計						
	特別会計	313	300	245	140	131	1,129
	総予算額	313	300	245	140	131	1,129
単位:百万円	経産省担当原課	製造産業局化学物質管理課オゾン層保護等推進室					

開発体制	プロジェクト リーダー	大嶋 正裕 (京都大学 大学院 工学研究科 教授)
	サブプロジェクト リーダー	横山 茂 (ウレタンフォーム工業会、専務理事)
	委託先/助成先	<p><b>【1】革新的断熱技術開発</b></p> <p>①基盤技術開発  <ul style="list-style-type: none"> <li>・国立大学法人 京都大学 (委託先)</li> </ul> </p> <p>②発泡ガス開発  <ul style="list-style-type: none"> <li>・独立行政法人 産業技術総合研究所 (委託先)</li> </ul> </p> <p>③硬質ウレタン技術開発  <ul style="list-style-type: none"> <li>・アキレス株式会社 (委託先)</li> <li>・日清紡ケミカル株式会社 (委託先)</li> <li>・旭硝子株式会社 (助成先)</li> <li>・BASF INOAC ポリウレタン株式会社 (助成先)</li> </ul> </p> <p>④複合断熱材技術開発  <ul style="list-style-type: none"> <li>・独立行政法人 産業技術総合研究所 (委託先)</li> <li>    /シーアイ化成株式会社 (委託先)</li> <li>    /学校法人 東京理科大学 (委託先)</li> <li>・旭ファイバーグラス株式会社 (委託先)</li> <li>・アキレス株式会社 (助成先)</li> </ul> </p> <p>⑤発泡断熱ボード技術開発  <ul style="list-style-type: none"> <li>・東レ株式会社 (委託先) (H23 年度のみ共同研究)</li> <li>・株式会社カネカ (委託先) (H23 年度のみ共同研究)</li> </ul> </p> <p><b>【2】断熱性能等の計測・評価技術開発</b></p> <p>①計測技術開発  <ul style="list-style-type: none"> <li>・国立大学法人 東京工業大学 (委託先)</li> </ul> </p> <p>②評価技術開発  <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般財団法人 建材試験センター (委託先)</li> </ul> </p>

} (共同  
実施)

<p>情勢変化への対応</p>	<p>地球温暖化問題に対する対策として 1997 年 12 月に京都議定書が採択された。対象となる温室効果ガスは、代替フロン等 3 ガス(HFC,PFC,SF<sub>6</sub>)、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O である。これを受けて 2005 年 4 月には京都議定書目標達成計画が閣議決定された。この計画では日本の温室効果ガスを基準年 1990 年の総排出量に対して京都議定書第一約束期間中の 2010 年の段階で 6%削減約束を確実に達成するために必要な措置が定められている。具体的には、(1)排出抑制対策と施策の推進、(2)森林吸収源、(3)京都メカニズムにより目標を達成する計画である。2008 年 3 月には同計画全体が改定された。その結果、代替フロン等 3 ガスの削減目標値は 1995 年の計画値に対して-1.6%であり、全体目標値に対して約 27%の重みを有することになった。</p> <p>代替フロン等 3 ガスの具体的な削減対策として、代替物質等の開発と代替製品の利用促進が挙げられる。この対策の一つとして本プロジェクト「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト（平成 19～23 年度）」を計画した。本プロジェクトは、(1)断熱性能に優れた革新的なノンフロン系の高性能断熱材の開発、(2)ノンフロン断熱材の早急な普及を行うための実用化技術の開発を実施する。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>平成 19 年度から採択の 13 件について、基礎研究（委託事業：NEDO 負担 100%）、実用化研究（助成事業：NEDO 助成率 50%）の 2 つの事業フェーズ毎に研究開発を実施した。NEDO 技術開発機構は、PL ヒアリングと技術委員会を開催し、研究開発成果及び進捗状況を随時確認しながら、プロジェクトを運営した。各事業の研究開発内容、進捗、成果の状況は以下のとおりである。</p> <p><b>3.1 事業全体の成果</b></p> <p>ノンフロン系断熱材技術開発にあたっては、分野別に(1)革新的断熱技術開発、(2)断熱性能等の計測・評価技術開発に区分して実施し、以下の成果を得た。</p> <p><b>3.1.1 革新的断熱技術開発</b></p> <p>革新的断熱技術開発においては、(1)基盤技術開発、(2)発泡ガス開発、(3)硬質ウレタン技術開発、(4)複合断熱材技術開発、(5)発泡断熱ボード技術開発を実施し、以下の成果を得た。</p>

### 3.1.1.1 基盤技術開発

#### 3.1.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定とその創製のための基盤研究」(委託事業)

①ナノセルラー発泡体の創製による発泡体のセル構造の微細化と高空隙率の実現のための基礎技術開発

空気をその平均自由行程(大気圧・室温で60nm)よりも小さい空間に閉じ込めることにより、分子同士の衝突効率を低減させ、エネルギー伝達効率を落とすことができる(Knudsen効果)。これにより、その空間内の空気の熱伝導率を大気圧・室温での熱伝導率(およそ0.030 W/(m・K))より小さくできる。この考えに立脚し、気泡径がナノメートルオーダーの発泡体を創製する技術要素を探索し確立することを目指した。その成果は次のようなものである。

ナノセルラー発泡体を作製する手法として、i)共重合体も含め、ポリマーブレンドが作り出すモルフォロジーを気泡生成のテンプレートとする方法、およびii)結晶性ポリマーの結晶構造を気泡生成のテンプレートとする方法を創案し、実験的に実現可能性を検証した。40~500nmの範囲の平均気泡径を持つようなナノセルラー発泡体やナノスケールの直径をもつフィブリルからなるセル構造を呈した発泡体が創製できた。

気泡径は、ナノスケールにまで微細化できるものの、発泡倍率(空隙率)が大きく出来なかった。H21年度までに実施したポリスチレン樹脂中でアクリルを重合しスチレン・アクリルの準相互貫入ネットワーク構造をもつブレンドの発泡体では、最も低い熱伝導率として0.0298 W/(m・K)をもった発泡体の実現できたが、再現性に乏しいものであった。

同じ発泡倍率(空隙率)で、平均気泡径がマイクロスケールの発泡体と気泡径がナノスケールのものの熱伝導率を比較すると次のようなことがわかる:気泡の微細化による熱伝導率の低下効果は観測されるものの、発泡倍率が上がらなかったため、準相互貫入ネットワーク構造以外のポリマーブレンドによる発泡体の熱伝導率は、平均値として0.046 W/(m・K)までしか低減できなかった。

熱伝導率に関する目標値の達成には至らなかったが、最終年度に事業化へのステップとしてコアバック式射出発泡成形法を検討し、ナノセルラーをはじめ、さまざまな微細発泡体を工業的な実機で作り出せる可能性を示すことができたことは事業化や用途展開を図る上での価値は大きい。とりわけ、スキン層を持ち、内部が90%以上の連通率である構造をもつ高倍率発泡体(80%以上の空隙率)がコアバック式射出成形法でできることは、現状、世界的にどこにも報告されていない。その構造の特異性からも、断熱用途をはじめ、フィルターや吸音材・電磁波シールド材などに展開できる可能性をもつと考えられる。

②気泡内壁の架橋反応・シリケート化などによる高バリア性（低二酸化炭素透過性・真空度高保持能力）を賦与した発泡体の開発

樹脂のバリア性をあげ、長期にわたって低熱伝導率を保てる発泡体の開発を目的とした。UV 硬化性モノマーをポリスチレン（PS）に分散させ、発泡ガス（CO<sub>2</sub>）を含浸したあと、UV 光照射し、過飽和状態をつくり、発泡させると共に硬化反応をおこし、バリア性を上げ、熱伝導率として 0.021 W/(m・K)を実現するとともに長期的にその機能を保持できる可能性を示した。

本手法は、UV モノマーとの混練、UV 照射など、プロセスの工程数を増やすこととなる。しかし、そのわりには、大幅な熱伝導率の低減には到らなかったため、H22年度以降は、低熱伝導率空間の導入と融合して研究を推進した。

③中空カプセル・中空ファイバーあるいはエアロゲルと発泡体のコンポジットによるプラスチック発泡構造体中への低熱伝導空間の導入のための基本技術開発

中空カプセルならびに中空ファイバーを作製することは可能であったが、中を真空にするための手法が草案できず、困難を極めた。その中で、唯一、静電紡糸装置のノズルを2重管として、内管に二酸化炭素を流し、静電紡糸によりカプセルを製造することにより、カプセル内に二酸化炭素を充満した 0.0238 W/(m・K)の低熱伝導率をもった発泡体を創成することができた（山形大）。詳細は、中間報告書に記載している。但し、量産性という点では、静電紡糸にはまだまだ工夫が必要であった。

H22年度からは、キセロゲル（京大：中西）を低熱伝導体として、発泡体中に導入することに注力した。この際、キセロゲルの低熱伝導性を生かし、その機械的脆弱性をポリマーで補うために、ii-①ポリマーハウジング法、ii-②ナノファイバーとキセロゲルのナノコンポジット法、ii-③ポリマーコーティング法の3つの手法を検討した。その中で、PP不織布とのハイブリッド化により、複合体に延性が生まれ、PVPによる薄層コーティングで、弾性を向上させることが出来た。熱伝導率も 0.019 W/(m・K)と目標値よりも低い熱伝導率が達成できた。

今後は、ナノセルラーの創製、コアバック発泡射出成形技術の発展、キセロゲルとポリマーの複合体の生産効率の向上とその製品用途の展開を検討することにより、事業化に進めると考えられる。

Ⅲ. 研究開発  
成果に  
ついて

### 3.1.1.2 発泡ガス開発

#### 3.1.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

フルオロオレフィン類に対し、毒性、熱伝導率、温暖化評価、燃焼性評価、VOC 評価、合成法など多方面から検討することで、断熱特性が優れ環境への負荷の小さい発泡剤を開発することを目的して研究開発を実施し、下記の成果を得た。

##### ①フルオロオレフィン系化合物の合成技術開発

還元反応によるオレフィンの製造、脱 HX によるオレフィンの製造など、フルオロオレフィンの製造にかかわる反応について検討した。候補化合物の一つである HFO-1336mzz-Z について、1,1,1,4,4,4-ヘキサフルオロ-2-ブチン (HFB) を部分水素化する方法を検討し、原料の転化率、HFO-1336mzz-Z の選択率がともに高い合成法を見出した。

##### ②発泡剤としての基礎性能評価

非定常細線加熱法で発泡剤候補化合物の気体熱伝導率の測定を行った。50℃、760torr における HFO-1336mzz-Z の熱伝導率は 0.0126 W/(m・K)であり、HFC-245fa に比べて約 10%熱伝導率が小さいことが分かった。

ポリオールと発泡剤との相溶性試験から、HFC-245fa とほぼ同様の相溶性を示すフルオロオレフィンを見出した。フルオロオレフィンを発泡剤として用いて発泡体を試作し、その発泡体の断熱性能が HFC 発泡剤を用いた発泡体と比べて同等以上であることを確認した。さらに、発泡剤の安定性についての検討から、一部のフルオロオレフィンはシステム液中での分解が見られたが、触媒の選択によって分解を抑制できることを見出した。

##### ③環境影響評価

絶対速度法を用いて、16 種類の含フッ素不飽和化合物と OH ラジカルとの反応速度の測定を行った。OH ラジカルはフラッシュフォトリス法、あるいはレーザーフォトリス法で生成し、反応によって減少した OH ラジカルの濃度はレーザー誘起蛍光法で測定した。その結果、今回測定した 16 化合物の大気寿命は 1 日～1 年以下であり HFC 等の飽和化合物に比べて大気寿命は短く、温暖化に与える影響も非常に小さいことが分かった。また、大気寿命に与える O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応の影響は OH ラジカルとの反応に対して無視できることが分かった。

最近開発された GWP に代わる温暖化指標として CEWN, CETN, s-CETN を用い、従来の GWP と比較する形で開発発泡材の温暖化効果を多角的に評価した。新評価手法は温暖化ガスの大気寿命を考慮するなど総合的な評価であり、それを用いた LCCP 評価を行うことでより正確な評価を試みた。この手法で発泡材を評

	<p>価した結果、フッ素化オレフィンが特に優れた発泡材を提供する発泡剤であることが分かった。この評価はより優れた発泡材の選択に有効であった。</p> <p>④安全性評価</p> <p>ASHRAE 法を用いて 15 種類の含フッ素不飽和化合物の燃焼限界の測定を行った。その結果、炭素数が 3 個の鎖状化合物では水素原子が 1 個以下、炭素数が 4 個の鎖状化合物では水素原子が 2 個以下では不燃であることが分かった。</p> <p>球形容器法を用いてフルオロオレフィンの燃焼速度の測定を行い、最大燃焼速度の値を得た。燃焼性の低い化合物の燃焼速度を予測するため、種々の酸素濃度比における <math>\text{CH}_2=\text{CFCHF}_2</math> (1243yf)、及び <math>\text{CH}_2=\text{CHCF}_3</math> (1243zf) の燃焼速度の測定を行った。その結果、これら 2 化合物の最大燃焼速度は酸素濃度に比例し、燃焼速度の酸素濃度依存性から燃焼性の低い化合物の燃焼速度を予測できることが分かった。発泡剤候補化合物であるフルオロオレフィンの燃焼速度を測定し、最大燃焼速度の値を得た。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p><b>3.1.1.3 硬質ウレタン技術開発</b></p> <p><b>3.1.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロン・ウレタン断熱技術の研究開発」</b> (委託事業)</p> <p>超臨界炭酸ガスを利用したノンフロン・スプレーフォームのセル径を現状の <math>200\mu\text{m}</math> 前後から数十 <math>\mu\text{m}</math> 以下に微細化することにより、熱伝導率を低下させることを目的として、ノンフロン・ウレタン断熱技術の研究開発を実施した。その結果、下記の成果を得た。</p> <p>①ナノバブル発生装置の選定</p> <p>微細気泡を発生させる装置は発生機構の異なる装置のうち、高粘度なウレタン原液に適用可能でナノバブルを発生の実績のある装置として、(A)高速旋回式、(B)気液剪断式、(C)微細孔式を選定した。</p> <p>②ナノバブル化の検討</p> <p>①で選定したナノバブル発生装置を用いウレタン原液のポリオール成分（以下 R 成分）へのバブル導入方法を検討し以下の結果を得た。</p> <p>(A)高速旋回式：液を <math>40^\circ\text{C}</math> 程度に加温し、粘度を下げることで適用可能となった。</p> <p>(B)気液剪断式：液を <math>25^\circ\text{C}</math> 前後に加温し <math>0.1\text{MPa}</math> 程度の圧をかけながら気体を導入した。</p> <p>(C)微細孔式：ポンプを使用して液を流し、吐出先ホースの先端に微細孔膜装着モジュールを設置し、圧縮気体のボンベから液圧より高い圧をかけ気体を導入した。またウレタン原液中のバブルを測定する画像解析式粒径測定装置を</p>

	<p>導入した。</p> <p>③化学的セル微細化の検討 シリコーン整泡剤はナノバブルの安定化と合一の防止に大きな役割を果たすと考えられるため、現行と構造が異なる高活性シリコーン整泡剤を使用し、バブルを導入しながら超臨界炭酸ガス処方で機械発泡を行った。セル径は SEM 写真から計測し、熱流方向である発泡方向に対して平行方向を評価した。この結果、構造の違いによる差はなく、すべて微細化効果を確認した。</p> <p>④ナノバブル化原液の発泡検討 シリコーン整泡剤 B の使用、原液の高粘度化、樹脂骨格の強化および高独立気泡化で初期熱伝導率 0.024 W/(m・K)を達成した。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p><b>3. 1. 1. 3. 2 日清紡ケミカル株式会社「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)</b></p> <p>建材を用途とする断熱材分野において、現場発泡及び工場生産分野で現状のフロン系断熱材と同等程度の安全性、断熱性能、コスト、施工性、生産性を有する熱伝導率経時劣化を抑制したノンフロン系硬質 PUF 製造の基礎技術及び実用化技術を開発することを目的として以下の研究開発を実施し、下記の成果を得た。</p> <p>①混合ガスの安全性、安定性等の評価 空気、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、燃焼範囲を有する低 GWP、低熱伝導率ガス 3 種類の爆発(燃焼)範囲に関して試験を実施した。燃焼範囲を有する低熱伝導率ガスとして 3 種類を試験し、各々二酸化炭素と混合する事により爆発(燃焼)範囲は小さくなっていることから危険性を減ずることができた。</p> <p>②混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価 CO<sub>2</sub> と可燃性の低熱伝導率ガス等との混合ガスを密閉容器からガス供給装置等を用いて中圧 PUF 発泡機で PUF 原料(ノンフロン独立気泡系原料)に混合、成型した場合の安定性、安全性評価を実施した。その結果、高圧ガス保安法上不燃性のものは全て成型時及び漏洩時に安全であること、可燃性であっても PUF 原料中の可燃性物質濃度が一定濃度以下の場合には安全であることを確認した。</p> <p>③混合ガスを利用した硬質 PUF の LCA 評価 CO<sub>2</sub> と低 GWP、低熱伝導率物質の混合ガスを使用して成型した PUF の熱伝導率が最も低くなる混合量の場合、現行の HFC 発泡剤を用いた場合よりも GWP は大幅に小さくなることを解明した。また低 GWP、熱伝導率物質と CO<sub>2</sub> の混合ガスを使用した場合の住宅供用時(東京地区集合住宅階間角部屋)の LC-CO<sub>2</sub> は製造時及び発泡時</p>



	<p>の発泡剤放散による CO<sub>2</sub> 排出を削減できることから HFC 発泡よりも約 20%程度、断熱を施さない場合より約 45%削減できることを解明した。</p> <p>④混合ガスを使用したウレタンフォーム発泡システムへの応用技術開発</p> <p>(A) 熱伝導率評価試験</p> <p>HFC、シクロペンタン(CP)、水(CO<sub>2</sub>)を発泡剤とした PUF 原料でハンドミキシングにて PUF パネルを成型し熱伝導率の経時変化の測定を実施した結果、CP と CO<sub>2</sub> の混合ガスを発泡剤として用いたものは CO<sub>2</sub> 単独を発泡剤とする水発泡よりも熱伝導率経時劣化を抑制できる 可能性が大きいことが明らかになった。</p> <p>また CP を発泡剤とした PUF 原料で PUF パネル及び表面が金属面材の PUF パネルを成型し熱伝導率経時変化を測定した結果、PUF パネルと比較して表面が金属面材の PUF パネルの経時変化は非常に小さいことが明らかになった。</p> <p>安全性評価時に作成した PUF パネルの熱伝導率等物性から CP、HFE-254pc、HFC-152a を使用して一定量 PUF 原料に混合した場合に良好な熱伝導率(初期・経時)のものが得られた。</p> <p>(B) 工場生産技術開発</p> <p>熱伝導率(初期・経時)が最も小さかった CP/CO<sub>2</sub> 混合ガス(可燃性割合)を用いた大型 PUF パネル成型試験を実施した結果、特定の成型条件では、ほぼ問題無く建材として実用化されているサイズの大型 PUF パネルの成型が可能であることを確認した。また成型時の型内の雰囲気を採取し、ガス濃度測定を実施した結果、いずれの濃度でも爆発(燃焼)下限界以下で、安全であることを確認した。更に混合ガスを使用した PUF は CO<sub>2</sub> を発泡剤とした PUF と比較して初期熱伝導率、熱伝導率劣化度合いとも優れていることを確認した。</p> <p>(C) 現場発泡技術開発</p> <p>発泡直後の PUF 表面から 0~30mm の雰囲気のスAMPLING を行いガス濃度測定を実施した結果、一定量の混合ガスを PUF 原料に混合した場合には CP は検出できず(0.2vol%以下)爆発(燃焼)下限界以下で安全である事が解った。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p><b>3.1.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡(もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub> 発泡)による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」(助成事業)</b></p> <p>本助成事業における成果を以下に示す。</p> <p>①熱伝導率の初期値の向上</p> <p>気泡セルの形状制御技術を開発し、従来の水発泡技術と比較して断熱性能を大きく改善することが可能で、低密度化と低熱伝導率化を同時に達成できた。</p>

	<p>②熱伝導率の経年変化の抑制</p> <p>硬質ポリウレタンフォーム内部から CO<sub>2</sub> の透過、拡散を抑制することを目的に、用いるポリエーテルポリオール構造最適化を行い、汎用のポリエーテルポリオールと比較して経年変化が抑制されていることを確認できた。</p> <p>③ガス透過性測定手法の確立</p> <p>多孔質材料の測定に適した治具を新規に開発し、硬質ポリウレタンフォームのガス透過度が測定可能であることを見出した。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p><b>3.1.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社「発泡剤の気相／液相制御技術等による現場発泡高断熱ウレタンフォームの技術開発」(助成事業)</b></p> <p>現状のフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有し、かつ、施工性能、経済性（施工密度）を考慮したノンフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームの開発を実施し、下記の成果を得た。</p> <p>①吸油性材料によるハイドロカーボン引火性抑制</p> <p>種々の吸油性材料を評価した結果、熱可塑エラストマーの分子量をコントロールしたものでハイドロカーボンを良く吸着することが判明した。</p> <p>吸油性材料ハイドロカーボンとして <i>c</i>-ペンタンと <i>n</i>-ペンタンを吸着させ、フォームを発泡させたところ吸着性能が高いのみならず、発泡時にウレタンの反応熱を得て効果的にペンタンガスを放出することが判明した。</p> <p>吸油性材料を選定し、ペンタンの量を規制することにより、プレミックスの引火性を抑制でき、引火点のないプレミックス液が出来る可能性のあることを確認した。</p> <p>ペンタンの量を制御し、その熱伝導率が 0.0247W/mK まで下げたものは、簡易引火点測定で一瞬音はするものの引火の有無は確認されず、継続的燃焼も確認されなかった</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p><b>3.1.1.4 複合断熱材技術開発</b></p> <p><b>3.1.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」(委託事業)</b></p> <p>本開発項目では、発泡ポリマーの柔軟性、ハンドリング性、生産性、シリカエアロゲルの高い断熱性能の利点を合わせ持つ複合断熱材を目指し、<math>\mu\text{m}</math> 以下の発泡セルをもつポリマーの内部を、熱伝導率の低い低密度シリカで充填した構造を持つ、新規発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材(図 2.2.2.1.4.1.1)を目的と</p>

して研究開発を実施した。作成法として、ポリマー／シリコンアルコキシド／超臨界二酸化炭素 (scCO<sub>2</sub>) の高圧均一相から減圧により相分離を誘起する新規手法 (図 2.2.2.1.4.1.2) を提案し、この手法について主に検討した。その結果、下記の成果を得た。

### ① ポリマー／シリコンアルコキシド／scCO<sub>2</sub> 反応系の検討

(a) ポリマー、シリコンアルコキシド、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が均一に混合する条件の探索を目的として、高温高圧下での相状態を可視観察するための相平衡測定装置を構築し、種々の組成、温度、圧力において、上記三成分系の相状態を観察した。③で見いだしたポリメチルメタクリレート (PMMA) 系ポリマーとテトラメトキシシラン(TMOS)を含む系に着目し、313 K- 393K, 0.1-30 MPa の領域について観察を行い相図を作成した。また、他のアルコキシドについても同様の測定を行い、体系化を行った。

(b) 本提案の断熱材においてシリカの含有量を制御するため、高圧 CO<sub>2</sub> 中でゾルゲル反応を促進させる手法について検討し、分解により酸または塩基を生成するシランカップリング剤が有効であることを見出した。またポリマーと低密度シリカの親和性向上について、PMMA/TMOS 混合物の有効性を検討した。

### ② 減圧、相分離過程の可視化観察と最適化

発泡構造の制御やプロセスの最適化を目的として、減圧過程を可視化観察するための相分離過程観察装置を構築した。PMMA/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 系について詳細な解析を行い、発泡時の圧力差を CO<sub>2</sub> のみの発泡より大きくする必要があり、平均気泡径および気泡密度はシリコンアルコキシドの添加量に依存すること、三成分系での発泡条件はアルコキシド/CO<sub>2</sub> 二成分系の相平衡から推測できることなど、プロセス設計上必要な知見を多く見いだした。

### ③ 断熱材の構造と物性の評価

バッチ法により各種ポリマーからの発泡の作成を行い、断熱性能の評価、物性評価、電子顕微鏡による微細構造評価を行った。スクリーニングの結果、ポリエステル、特に PMMA 系ポリマーと TMOS の親和性が高いことを見いだした。最適化の結果、平均径 3 μm 以下の微細発泡で、気泡内にシリカ粒子が析出した構造を持つ材料を調製したが、発泡倍率が小さく、熱伝導率は 0.040 W/mK 程度に止まった。また発泡セルの内部にシリカを集積させるメカニズムについて検証し、CO<sub>2</sub> とシリコンアルコキシドがポリマーから分離する際速度差によると推定されること、加水分解の影響を大きく受けることを見いだした。また発泡セル内に、シリカ含有量がマトリックスより多い単一の粒子が生成した、ユニークな構造を持つ発泡体を作成した。

	<p>④ 連続製造プロセスの開発</p> <p>工業的な生産技術の確立を目的として、バッチ法と同系統の断熱材料を連続的に製造するプロセスの開発を行った。セグメント型の押出成型機をベースとした連続製造装置を構築し、①③でスクリーニングした PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub> 系の発泡試料の押し出し製造を検討した。原料の組成、供給法の変更、押出機の温度、圧力、スクリー、ダイの種類と温度などの検討により、吐出の安定化、発泡倍率の向上などを達成し、熱伝導率 0.028 W/mK 程度の試料を安定に連続製造するプロセスを確立した。また作成した試料について、湿度 50 %、温度 50 °C での長期安定性試験（加速試験）を行い、3 ヶ月間（室温下 10 年相当）で、熱伝導率、寸法に大きな変化がないことを確認した。</p> <p>⑤ 連続気泡型ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの作成</p> <p>本開発項目で提案した断熱材の構造が高い断熱性能を保つことを確認するため、市販の連続気孔型ポリマーフォームの内部にシリカエアロゲルを充填した試料を作成し、熱伝導率や機械的強度の評価を行った。市販メラミンフォーム、ポリプロピレンフォーム等を基材として高い断熱性能（0.017-0.020 W/mK）と、優れた曲げ強度、良好なハンドリング性を併せ持つ断熱材料が調整できることを実証した。この材料についても④と同一の長期安定性試験で性能、寸法の安全性を確認した。さらに超臨界乾燥による本断熱材の製造コストについて、国内で製造した場合のコスト試算を行い、実用化の可能性について検証した。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>3.1.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」（委託事業）</p> <p>①無機質繊維基布及びナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作</p> <p>製造したナノ多孔質シリカ担持断熱材の熱伝導率は、ナノ多孔質シリカ担持量にもよるが、0.019W/m・K～0.024W/m・K に達することが判明した。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>3.1.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」（助成事業）</p> <p>発泡剤を使わない新規断熱材としてナノゲルの原材料の合成から応用加工までを研究開発することで、既存断熱材であるウレタンフォームの断熱性能向上と新規断熱材の開発を行った結果、下記の成果を得た。</p> <p>①ナノゲル合成法の開発</p> <p>超臨界炭酸ガスによる量産化を中心として開発を行った。得られた無機系ナノゲルの断熱性能は 0.017W/(m・K) で耐久性に優れたものとなった。</p>

	<p>②ナノゲルの応用開発</p> <p>ナノゲルの応用加工の一つとしてナノゲルを空隙率の高い基材に含浸する検討を行った結果、基材とナノゲルを複合化した含浸布の作製に成功した。得られた含浸布の断熱性能は <math>0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> であり、また含浸布の耐久性を評価した結果良好な性能を保っていた。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発 成果に ついて</p>	<p><b>3. 1. 1. 5 発泡断熱ボード技術開発</b></p> <p><b>3. 1. 1. 5. 1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」</b> (委託事業／共同研究)</p> <p>ノンフロン系ガスで熱伝導率が <math>0.024\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> 以下の断熱材を開発するというプロジェクト全体の目標に対して、以下の開発を実施し以下の成果を得た。</p> <p>① 熱伝導率の更なる低減</p> <p>PLA系樹脂を用いた炭酸ガス発泡断熱材で、熱伝導率 <math>0.023/0.021\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> (平均／チャンピオン) を達成</p> <p>PET系樹脂を用いた炭酸ガス発泡断熱材で、熱伝導率 <math>0.023/0.022\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> (平均／チャンピオン) を達成</p> <p>② 耐久性の向上</p> <p>熱伝導率の悪化が20年で10%以下とする目標に対して、炭酸ガス透過率が <math>0.04\text{cc}/\text{m}^2\cdot\text{day}</math> のバリアフィルムを開発し、30年で経時劣化がほぼ0%であることを長期断熱性能簡易予測ツール(建材試験センター開発)を用いて確認した。加速テストでの試験も継続実施中(～2013年3月)である。</p> <p>③ 材料のバイオマス化</p> <p>PLA系断熱材で、ほぼ100%のバイオマス材料化を達成した。</p> <p>PET系断熱材で、約80%のバイオマス材料化を達成した。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発 成果に ついて</p>	<p><b>3. 1. 1. 5. 2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出發泡体の研究開発」</b> (委託事業／共同研究)</p> <p>小スケールにて、金型・積層装置等の設備面、押出及び押出發泡成形時の樹脂圧力・温度等の成形加工条件面、樹脂・発泡剤・配合剤等の処方面、多層発泡体構造の構成要件について詳細な検討を行い、各構成要件の適正化を図ることで、初期熱伝導率 <math>0.024\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> 以下、プロジェクト目標値の達成を確認した。</p> <p>さらに、小スケールの検討にて得られた多層押出發泡体の熱伝導率経時変化を追跡調査し、測定した熱伝導率データより、推算式にて25年経過後熱伝導率を</p>

	0.030W/m・K以下と推定した。
Ⅲ. 研究開発 成果に ついて	<p><b>3.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発</b></p> <p>断熱性能等の計測・評価技術開発においては、(1)計測技術開発、(2)評価技術開発を実施し、以下の成果を得た。</p> <p><b>3.1.2.1 計測技術開発</b></p> <p><b>3.1.2.1.1 東京工業大学「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」(委託事業)</b></p> <p>発泡材料の熱伝導を効率的に評価する非定常法ベースの測定法の基礎を確立させた。温度波の伝搬を、ヒーター、熱バッファ板、温度センサー、参照試料、温度センサーという5要素直列で構成される測定プローブで解析できることを明らかにし、圧着した材料への浸透する温度波の量的変化から、材料間の熱伝導率の差異を求める解析する方法を確認し、測定システムとして完成させることを目標に下記の研究項目を実施した。</p> <p>(1)温度波を用いた方法論の確立と各種プローブの作製および評価  (2)測定機に必要な電子回路の設計と、解析プログラムの開発  (3)ハンディな測定機としてのプロトタイプの開発  (4)高感度な温度波解析プローブの開発  (5)各種試料でのデータ収集</p> <p>上記プロトタイプの開発を経て、全重量1kg以内、測定時間最短測定で2分を実現した熱伝導率直読装置の開発に成功し、上市した。</p> <p>温度波を用いた熱伝導率測定法を、ISO-TC61SC5の物理化学的性質部門に2008年に提案し、継続審議中である(ISO/NWIP、/CD採択済み)。</p>
Ⅲ. 研究開発 成果に ついて	<p><b>3.1.2.2 評価技術開発</b></p> <p><b>3.1.2.2.1 建材試験センター「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価」(委託事業)</b></p> <p>本事業では、本プロジェクトにて開発された革新的な断熱材及び測定技術について、その実用性(使用目的に適合する性能)を評価する手法である、「実用性評価方法」を開発した。実用性評価方法は、断熱材に適用するもの及び測定技術に適用するものの2つで構成され、開発途中における新規技術の実用性を確認し、開発を支援できるものである。また原則本評価方法は、開発者が自ら評価を行う「自己評価」を行うことにより使用するものである。なお、本評価方法を開発す</p>

	る際の検討は、有識者等による委員会を設置することにより進めた。	
プロジェクト全体の成果	投稿論文	「研究発表・講演」115件、「著作投稿」37件、「受賞実績」8件、「新聞・雑誌への掲載」7件、
	特許	「出願済+出願予定」66件

IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p><b>4.1 実用化、事業化の見通し</b>  現在までの開発成果等により得られた、各事業における実用化、事業化の見通しは以下のとおりである。</p> <p><b>4.1.1 成果の実用化の可能性</b></p> <p><b>4.1.1.1 革新的断熱技術開発</b>  革新的断熱技術開発では、以下の実用化、事業化の見通しが得られている。</p> <p><b>4.1.1.1.1 基盤技術開発</b>  発泡により得られたナノ構造、バイモーダル構造などはユニークなものであり、用途展開が広がる可能性を持つ。また、熱伝導率の低さを考えると、キセロゲルとポリマーの複合体も有望である。これらの技術を用いて本プロジェクト参加企業または発泡関連企業に対する支援、提案を通じた企業化が期待できる。</p> <p><b>4.1.1.1.2 発泡ガス開発</b>  発泡ガス技術は、環境影響評価を含めた発泡剤としての特性の検証と工業的スケールでの製造につながる合成法を見出しており、国内メーカーに対する製造法に関する知財のライセンス化等により実用化が可能である。</p> <p><b>4.1.1.1.3 硬質ウレタン技術開発</b>  硬質ウレタン技術は、下記の技術開発により、実用化が可能である。</p> <p>①「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」  セルの微細化とCO<sub>2</sub>の拡散防止</p> <p>②「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」  低コスト化、安全対策、規制の緩和活動</p> <p>③「水発泡による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡剤の技術開発」  硬質ポリウレタンフォーム用原料の開発により高空隙率化、高ガスバリア化を実現し、目標である初期熱伝導率改善、熱伝導率の経時劣化抑制の見通しを得た。既存の現場発泡設備または軽微な改造・追加のみで使用できるため、現場発泡施工業者にとっても導入が容易で実現性が高い。</p> <p>④「気相/液相制御技術等による高断熱現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」</p>
---------------------	--

ハイドロカーボンの原液中への分散とスプレー時の雰囲気濃度の安全レベル  
以内の制御

#### 4.1.1.1.4 複合断熱材技術開発

複合断熱材技術は、下記の技術開発により、実用化が可能である。

##### ①「革新ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの 開発」

連続製造プロセスにより、ナノコンポジット発泡体の安定した連続製造に成  
功しており、更なる断熱性能の向上、汎用ポリマーへの適用、低コスト化によ  
り実用化が可能である。

##### ②「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」

無機繊維基布に空気の平均自由行程よりも小さな空孔を有するナノ多孔質シ  
リカを担持させることで、不燃性及び耐性を有する高機能無機質系断熱材の実  
用化が可能である。

##### ③「ナノゲル断熱材の研究開発」

軽量で柔軟性あるシート状の高断熱性断熱材は、建築分野で広く使用できる  
もので、断熱リフォームなどにも適している。量産設備の開発などを実施する  
ことで実用化が可能である。

#### 4.1.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発

発泡断熱ボード技術は下記の技術開発と活動により実用化が可能である。

##### ①「新規断熱性向上シートの研究開発」

マイクロ／ナノ発泡体とバリアフィルムを組み合わせることにより、初期だ  
けでなく長期にわたり良好な断熱性能を維持できる断熱シートを開発した。生  
産技術の確立、市場（建材、家電）での評価結果等に基づいて事業化を判断す  
る。

##### ②「高断熱性ノンフロン押出發泡体の研究開発」

マテリアルリサイクル可能な高断熱性断熱材の開発により、環境適合性に優  
れた高断熱性断熱材の住宅への普及が期待される。スケールアップ設備の検  
討、市場ターゲット、規制動向の見極めにより、事業化を判断する。

#### 4.1.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

断熱性能等の計測・評価技術開発では、以下の実用化、事業化を達成している。

##### 4.1.1.2.1 計測技術開発

①開発した可搬型の圧着式熱伝導率測定装置は上市化済み

②測定方法「温度波分析法」を ISO-TC61SC5 プラスチックの物理化学的性質  
部門に 2008 年に提案（継続審議中）



	<p><b>4.1.1.2.2 評価技術開発</b></p> <p>①断熱材および断熱性能測定技術の総合的な実用性を評価できる評価方法（ガイドライン）を作成済みで、これを用いて開発した断熱材の実用性を評価することが可能</p> <p>②開発した評価方法（ガイドライン）をウェブサイトで公開済み</p>
<p>IV. 実用化、事業化の見通しについて</p>	<p><b>4.1.2 波及効果</b></p> <p>本プロジェクトによる革新的断熱技術開発と断熱性能等の計測・評価技術開発の波及効果は、下記の通りである。</p> <p>(1) 建築分野</p> <p>①キセロゲル+ポリマー複合断熱材</p> <p>2013年度～2020年度にキセロゲル+ポリマー複合断熱材の試作と要素試験を実施し、2020年度～2025年度に実用化を検討する。</p> <p>②シリカエアロゲル応用</p> <p>2014年度～2016年度頃に窓用の光透過性断熱材の要素試験を実施し、2017年度～2020年度頃に輻射制御機能を付加し、実用化を目指す。</p> <p>&lt;省エネルギー効果と温室効果ガス削減量&gt;</p> <p>開発した技術の実用化により、新築住宅と既存住宅における住宅用の暖房エネルギーの削減量（原油換算値）は、下記の様に推定される。</p> <p>・2030年：6.3[万kl/年]</p> <p>民生部門において、省エネ効果によりエネルギー使用量を削減（原油換算で2030年に6.3[万kl]の削減を見込む）すると同時に、フロン発泡剤の使用量削減による更なるCO<sub>2</sub>の削減ポテンシャルは、CO<sub>2</sub>換算で約325[万CO<sub>2</sub>トン/年]程度であることが期待できる。</p> <p>・CO<sub>2</sub>換算の削減ポテンシャル：約325[万CO<sub>2</sub>トン/年]程度</p> <p>(2) 自動車分野</p> <p>①ナノセルラー吸音、電磁シールド材</p> <p>2015年度～2018年度頃に要素試験を実施する。</p> <p>2018年度～2022年度頃に実機への適用を検討し、2023年度頃より実用化を開始する。</p> <p>②ナノゲル断熱材</p> <p>2012年度～2015年度頃に要素試験を実施し、2015年度～2018年度頃に実機への適用を検討し、実用化を目指す。</p> <p>(3) 家電分野</p> <p>①高植物度ポリマー断熱材</p> <p>2014年度～2018年度頃に形態最適化を検討する。</p>

(4) 日用品

① ナノゲル含侵断熱材

2011年度～2014年度頃にナノゲル含侵断熱材の用途検討、要素試験を実施し、2015年度～2020年度頃に実用化を検討する。

4.2 今後の展開

各開発技術の事業化までのシナリオは以下のとおりである。

4.2.1 革新的断熱技術開発

革新的断熱技術開発の各開発技術の事業化までのシナリオは下記のとおりである。

4.2.1.1 基盤技術開発

基盤技術開発においては、下記の検討を実施する。

① ナノセルラー発泡体

2020年度までにコアバック射出発泡成形の実証試験を民間企業と共同実施し、事業化を目指す。

② キセロゲル複合断熱材

2020年度までに複合材料の最適化を図り、民間企業との共同開発により事業化を目指す。

4.2.1.2 発泡ガス開発

発泡ガス開発においては、下記の検討と開発を実施する。

① 発泡ガス開発、評価

2020年度までに民間企業と共同してパイロットプラントスケールでの製造テスト、化審法申請のための毒性試験等を実施し、事業化を目指す。

4.2.1.3 硬質ウレタン技術開発

硬質ウレタン技術開発においては、下記を実施する。

① 水発泡による新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材

施工性試験を重ねて、ポリオール構造の最適化を図った後に、プラント製造の検討を行い、2016年度の事業化を目指す。

4.2.1.4 複合断熱材技術開発

① 発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材

民間企業と共同で、本研究で開発した手法を他のポリマーに適用して、建築用内装材等を実用化し、2020年度の事業化を目指す。

② エアロゲル＋ウレタン材

	<p>ナノゲル粒子の表面改質により有機系材料の相溶性改良、具体的な合成設備、生産方式の検討を行い、2020年度の事業化を目指す。</p> <p>③ナノゲル応用開発</p> <p>断熱性能以外の商品アイテムごとに必要な物性、特性を検討、対策し、2015年度以降の事業化を目指す。</p> <p><b>4.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発</b></p> <p>①ナノ分散化アロイ技術+バリアフィルム</p> <p>要素技術の確立及び実用価値の実証を2012年度までに実施した後、生産化技術の確立、顧客評価結果等を行い、事業化を判断する。</p> <p>②可塑樹脂+多層押出發泡成形体</p> <p>パイロット設備を用い、実使用サイズにて高断熱性の多層押出發泡体作成技術を確立するとともに、サンプルワークにて市場適合性を見極める。法規制動向などを含む市場動向を踏まえ、事業化時期を判断する。</p> <p><b>4.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発</b></p> <p>断熱性能等の計測・評価技術開発における各事業の事業化までのシナリオは下記のとおりである。</p> <p><b>4.2.2.1 計測技術開発</b></p> <p>計測器については、2012年度より事業化を開始する。また計測法について標準化提案し、ISO承認を得て、装置拡販のアピールポイントとする。</p> <p><b>4.2.2.2 評価技術開発</b></p> <p>2011年度より開発した評価技術をウェブ上で公開している。</p>	
V. 評価に関する事項	評価履歴	平成18年度 事前評価、平成21年度 中間評価分科会
	評価予定	平成24年度 事後評価分科会
VI. 基本計画に関する事項	作成時期	平成19年度4月制定
	変更履歴	なし

プロジェクト用語集

1. 事業の位置付け・必要性について

用語（日本語）	English	用語の説明
温室効果ガス	Greenhouse Gas	大気圏にあり、地表から放射された赤外線 を吸収することにより温室効果をもたらす 気体。
フロン	-	フルオロカーボン（炭素Cとフッ素Fの化 合物）
クロロフルオロ カーボン	CFC	特定フロン。オゾン層を破壊する。 1996に全廃
ハイドロクロロ フルオロ カーボン	HCFC	特定フロン。オゾン層を破壊する。 2020年に実質全廃
ハイドロフルオ ロカーボン	HFC	代替フロン。オゾン層を破壊しない。
パーフルオロ カーボン	PFC	代替フロン。オゾン層を破壊しない。
六フッ化硫黄	SF <sub>6</sub>	代替フロン。オゾン層を破壊しない。
オゾン層 破壊係数	ODP	大気中に放出された単位重量の当該物質が オゾン層に与える破壊効果をCFC-11を1.0 として相対値として表したもの。
地球温暖化係数	GWP	大気中に放出された単位重量の当該物質 が、地球温暖化に与える効果をCO <sub>2</sub> を1.0 として相対値として表したもの。
国際連合環境計 画	UNEP	国際連合総会の補助機関。環境に関する諸 活動の総合的な調整を行う。
揮発性有機化合 物	VOC	常温常圧で大気中に容易に揮発する有機化 学物質の総称
クリーン開発 メカニズム	CDM	温室効果ガスの削減を補完する京都メカニ ズム（柔軟性措置）のひとつ。
世界気象機関	WMO	気象事業の国際的な標準化と改善および調 整、加盟国間の気象情報の交換を主な業務
気候変動に関す る政府間パネル	IPCC	地球温暖化についての科学的な研究の収 集、整理のための政府間機構

## 2.2.2 研究開発項目毎の計画

### 2.2.2.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

その創製のための基盤研究」(委託事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
ナノセルラー ナノ発泡体	Nanocellular foam	発泡体の空孔サイズが nm スケールで、空孔の数密度が $10^{14}$ 個/cm <sup>3</sup> 以上のもの
バイモーダル構造	Bimodal cell size distribution	発泡体の気泡径の分布に二つ山がある構造
モルフォロジー	Morphology	2 種以上のポリマーが混合されたときに作りだされる構造
テンプレート	Template	鋳型
PMMA	Poly(methyl metacrylate)	ポリメタクリル酸メチル樹脂
PS	Polystyrene	ポリスチレン
海島構造	Sea-island morphology	ポリマーブレンドの織りなす相形態の 1 種で、球状の分散相が連続相に散らばっている相形態
エレクトロスピンニング・ 静電噴霧	Electrospinning	紡糸の針の先に電圧を負荷し、電圧により、溶液を飛散させるファイバーや粒子を作る手法

### 2.2.2.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
CFC-11	CFC-11	化学式 $CCl_3F$ であらわされる化合物。CFC は <u>Chlorofluorocarbon</u> の意味。
HCFC-141b	HCFC-141b	化学式 $CH_3CCl_2F$ であらわされる化合物。HCFC は <u>Hydrochlorofluorocarbon</u> の意味。
HFC-245fa	HFC-245fa	化学式 $CF_3CH_2CHF_2$ であらわされる化合物。HFC は <u>Hydrofluorocarbon</u> の意味
フルオロカーボン	Fluorocarbons	分子内にフッ素原子を含む有機化合物
オゾン層破壊係数(ODP)	Ozone Depletion Potential	大気中に放出された単位重量の当該物質がオゾン層に与える破壊効果を、CFC-11 を 1.0 として相対値としてあらわしたもの
地球温暖化係数(GWP)	Global Warming Potential	大気中に放出された単位重量の当該物質がある期間の間に地球温暖化に与える効果を $CO_2$ を 1.0 として相対値としてあらわしたもの。ここでは期間を 100 年とした値(100 年値)を使っている。
VOC	Volatile organic compounds	VOC とは揮発性有機化合物のことであり、常温常圧で大気中に容易に揮発する有機化学物質の総称で、トルエン、ベンゼン、フロン類等が該当する。これらは、洗浄剤、溶剤、燃料等として広範に使用されており、光化学オキシダントと浮遊粒子状物質生成の主な原因と考えられている。

フッ素系オレフィン類	Fluoroolefins	分子内にフッ素原子を含むオレフィン類の意味で用いている。オレフィン類とは分子内に炭素-炭素二重結合を有する有機化合物のこと。
大気寿命	Atmospheric lifetimes	大気中に放出された揮発性化合物の濃度が1/e (eは自然対数の底、e=2.718...)になるのに要する時間。不飽和化合物や水素原子を含んだ飽和化合物の大気中における主要な分解経路はOHラジカルとの反応なので、大気寿命はOHラジカルとの反応速度から求めることができる。
フルオロオレフィン	Fluoroolefins	分子内にフッ素原子を含むオレフィン類。オレフィン類とは分子内に炭素-炭素二重結合を有する有機化合物のこと。
ポリオール	Polyols	ポリウレタンの原料の一つで水酸基(OH)を2個以上含有する化合物
OHラジカルとの反応速度定数	Rate constants for reaction with OH radicals	揮発性化合物とOHラジカルとの化学反応において、反応物あるいは生成物に関する各分量の時間変化率を表す数値であり、温度の関数である。不飽和化合物とOHラジカルとの反応の場合は、不飽和結合にOHラジカルが付加する反応、付加生成物が元に戻る反応、及び付加生成物が第3体との衝突で失活する反応の総和として求められるため、ある一定の圧力以上では反応速度も一定だが、それ以下の圧力では圧力の低下と共に反応速度も減少する。一般には反応速度が一定になる圧力以上の値が報告されており、本報告書でも同様である。
燃焼限界	Flammability limits	空気と可燃性ガスの混合気は、可燃性ガスの濃度がある一定の範囲内の時に燃焼し、可燃性ガスの濃度がそれ以下、あるいは、それ以上の時は燃焼できない。この限界値が燃焼限界であり、低濃度側の限界を下限界、高濃度側の限界を上限界と云う。
燃焼速度	Burning velocity	空気と可燃性ガスの混合気中を燃焼火炎が伝播している時の燃焼前の未燃混合気に対する火炎の移動速度を燃焼速度と云う。言い換えると、火炎面が静止している時の火炎面に流入する未燃混合気の色度が燃焼速度である。
変異原性	Mutagenicity	細胞に突然変異を引き起す性質を言う。
Ames試験	Ames test	細菌を用いる突然変異試験で、物質の変異原性を評価するための試験の一つ。

2.2.2.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
ナノバブル	nanobubble	流体を機械的装置、例えば高速せん断、微細孔式フィルター、超音波、スタティックミキサーなどによって多数のナノサイズの気泡を発生させたもの 研究者により定義は異なるが、本研究ではマイクロ領域を含めたものをさす
メソポーラス粒子	mesoporous particle	細孔を多数に有してその直径、配列、表面構造によって様々な性能を持つ多孔質材料の粒子
SPG 膜	Shirasu Porous Glass filter	ミクロンサイズの均一な細孔を無数に有し、その大きさを 0.05~20 $\mu\text{m}$ に自由に変えられるろ過膜

2.2.2.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社

「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
HFC	Hydrofluorocarbon	フッ化炭化水素。GWP は比較的大きい。
水発泡	Water blowing	ウレタン原料中イソシアネート成分と水の反応により生成する二酸化炭素を発泡剤とする発泡方法。
炭化水素発泡	Hydrocarbon blowing	ウレタン原料中のシクロペンタン等炭化水素類がウレタン化反応により温度上昇し気化する事により発泡剤として用いる発泡方法。炭化水素類の GWP は小さいが、消防法危険物で比較的危険性の高い物質。
超臨界 CO <sub>2</sub>	Supercritical carbon dioxide	臨界点(温度 31°C、圧力 7.4MPa)を超えた状態の二酸化炭素。
LC-CO <sub>2</sub>	Life cycle CO <sub>2</sub>	製品の製造から廃棄までのサイクルで発生する二酸化炭素
独立気泡	closed cell	セル膜によって隔てられている気泡構造。対して隔てられていないものを連続気泡という。

2.2.2.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社

「気相/液層制御技術等による高断熱現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」  
(助成事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
支柱ポリマー	Strut polymer	フォームにおいて気泡セル膜の交差部
モレキュラーシーク	Molecular sieve	溶媒等の乾燥に用いられる乾燥剤の一種

2.2.2.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学  
「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」  
(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
シリコンアルコキシド	Silicon Alkoxide	Si(OR) <sub>4</sub> の一般式で表される有機ケイ素化合物。加水分解によりシリカを形成する。
超臨界二酸化炭素 (scCO <sub>2</sub> )	Supercritical Carbon Dioxide	臨界点 (31℃、72.8 気圧) 以上の状態にある二酸化炭素。ポリマー、シリコンアルコキシド双方に親和性が高い。
シリカエアロゲル	Silica Aerogel	著しく空隙率の高い(90-99.9%)シリカの総称。湿潤状態のゲルを超臨界乾燥法など、特殊な乾燥法で乾燥して得られる。透明で静止空気に匹敵する断熱性能を持つ一方、極めて脆くハンドリング性に難がある。
テトラメトキシシラン (TMOS)	Tetramethoxysilane	シリコンアルコキシドの一種。Si(OCH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> の化学式で表される。

2.2.2.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社 「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」  
(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
エアロジェル	Aerogel	密度 3~200kg/m <sup>3</sup> 、空孔率 85~99%、平均孔径 10~40 nm のメソポーラス体
超臨界抽出乾燥法	Supercritical extraction, Supercritical drying method	溶媒を超臨界状態の高温高圧下で非凝縮性媒体にさせ、界面張力ゼロの状態抽出あるいは乾燥させる方法
熱伝達	Conduction heat transfer	物体中の温度勾配に従い、熱エネルギーが移動すること
対流	Convection heat transfer	流体の移動により熱エネルギーが移動すること
放射	Radiation heat transfer	電磁波によるエネルギー伝播のうち、温度差に基づくエネルギーの移動のこと
平均自由行程	Mean free path	気体分子の熱エネルギーによる振動幅
遮熱性	Radiation shield effect	放射の抑制効果
リン酸ガラス	Phosphate glass	リン - 酸素結合を主骨格とするガラス



2.2.2.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」(助成事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
熱伝導率	Thermal Conductivity	物質内での熱の伝わり易さを示す値。
真空断熱材	Vacuum Insulation Panel	芯材を真空下で封止した断熱材。
ナノゲル	Nanoporous gel	ナノ粒子径及びナノレベルの細孔を有する多孔質体。
超臨界乾燥	Supercritical Drying	湿潤物から溶媒を超臨界流体で置換した後、常圧に戻し気化することで溶媒を除去する方法。
ノンフロンウレタンフォーム	Rigid polyurethane foam with non-Freon gas	発泡剤にフロンガスを使用しないウレタン断熱材。

2.2.2.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
バイオマス	Biomass	再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの。(「バイオマス・ニッポン総合戦略」の定義)
ナノ発泡	Nano foaming	ナノオーダーの孔径を含む発泡方法を表したものの。
熱流	Heat flux	熱伝導方程式が支配する場を移動する熱の流れ。
熱伝導率	Thermal conductivity	熱伝導において、熱流束密度(単位時間に単位面積を通過する熱エネルギー)を温度勾配で割った物理量。
地球温暖化係数	Global Warming Potential	大気中に放出された単位重量の当該物質が地球温暖化に与える効果をCO <sub>2</sub> を1.0として相対値としてあらわしたものの。
エンボス	Emboss	凹凸加工のこと。
ラミネート	Laminate	紙などの表面を透明フィルムで密封すること。
バイオマスポリマー	Biomass polymer	バイオマス原料を由来としたポリマー。
ナノアロイ	NANOALLOY®	2種類以上の樹脂をナノオーダーで混合する技術。(「NANOALLOY/ナノアロイ」は東レ(株)の登録商標)
高植物度ポリマー	Biomass polymer	バイオマスポリマーと同義。
蒸着	Vapor metalizing =Deposition	金属などを蒸発させて、素材の表面に付着させる表面処理あるいは薄膜を形成する方法の一種。
フィラー	Filler	充填剤、添加剤。
PLA (ポリ乳酸)	Polylactic acid	乳酸がエステル結合によって重合し、長くつながった高分子。植物由来の樹脂
PET	Polyethyleneterephthalate	テレフタル酸とエチレングリコールから製造される樹脂

2.2.2.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
フィードブロック	Feedblock	熔融樹脂をダイ前で合流・積層するための装置
多層構造	Multilayer Structure	異なる樹脂層が交互に積層した構造。

2.2.2.2.1.1 東京工業大学

「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
温度波	Temperature Wave	交流的な温度変化が減衰しながら拡散するもの。一般の波動と同様、振幅と位相がある。
顕微赤外カメラ	Microscope IR Camera	赤外線カメラにシリコンとゲルマニウム製対物レンズを取り付けて顕微鏡的な拡大を可能とした温度計測装置

3.2 研究開発項目毎の成果

3.2.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

その創製のための基礎研究」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
ナノセルラー ナノ発泡体	Nanocellular foam	発泡体の空孔サイズが nm スケールで、空孔の数密度が $10^{14}$ 個/cm <sup>3</sup> 以上のもの
AFM	Atomic Force Microscope	原子間力顕微鏡：先端の鋭いカンチレバー（探針）を用いて、試料表面をなぞる、または試料表面と一定の間隔を保ってトレースし、その時のカンチレバーの上下方向への変位を計測することで試料表面形状の評価を行う

3.2.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
還元反応	Reduction	対象とする物質が電子を受け取る化学反応。物質から酸素が奪われる反応や水素と化合する反応などがある。
還元剤	Reductant	物質を還元するために使用する試薬
異性体	Isomer	分子式は同じで構造が異なる化合物
異性化	Isomerization	異性体に変換する化学変化
非定常細線加熱法	Transient hot-wire technique	気体の熱伝導率を測定する方法の一つである。直径 $10\mu\text{m}$ 程度の極細の白金線に直流電圧を印加すると、白金線の温度が上昇し抵抗値が変化する。この時の温度上昇速度は周囲の気体に奪われる熱量に依存する。この原理を利用し、白金線に電圧を印加した時の白金線の抵抗変化をブリッジ回路で検出し、その値から気体の熱伝導率を求める方法が非定常細線加熱法である。

プレミックス	Premix	ポリウレタンの発泡において、ポリオール、発泡剤、触媒、整泡剤などを混合したもの。
ポリイソシアナート	Polyisocyanate	ポリウレタンの原料の一つでイソシアナト基 (NCO) を2個以上含有する化合物
ポリエーテル系ポリオール	Polyether polyol	分子の主鎖にエーテル結合をもつポリオール。
芳香族ポリエステル系ポリオール	Aromatic polyester polyol	分子の主鎖に芳香族のエステル結合をもつポリオール。
整泡剤	Surfactant	ポリウレタンの発泡における添加物の一つで、泡の安定化などに寄与する。
不飽和化合物	Unsaturated compounds	分子内に多重結合をもつ化合物
フラッシュ フォトリシス法 (FP法)	Flash photolysis method	ラジカル生成法の一つ。本課題では、パルス Xe フラッシュランプ (EG&G 社製、FX-193U) の光で水を直接分解して OH ラジカルを生成している。通常の実験は、フラッシュランプの電圧が 600~1300 V、コンデンサーは 2 $\mu$ F; パルスエネルギーは 0.36~1.69 J /pulse、パルス幅は 10~20 ms、波長は 180 nm 以上 (quartz cut-off) で行っている。
レーザー フォトリシス法 (LP法)	Laser photolysis method	ラジカル生成法の一つ。本課題では、ArF エキシマレーザー ( $\lambda=193\text{nm}$ 、パワーは反応器出口側で数 $\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度) で $\text{N}_2\text{O}$ を分解して $\text{O}(^1\text{D})$ 原子を生成し、 $\text{O}(^1\text{D}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}$ の反応、あるいは $\text{O}(^1\text{D}) + \text{CH}_4 \rightarrow \text{OH} + \text{CH}_3$ の反応で OH ラジカルを生成している。
レーザー 誘起蛍光法 (LIF法)	Laser-induced fluorescence method	本課題では候補化合物との反応により減少した OH ラジカルの濃度を測定する目的で使用している。OH ラジカルに約 300nm の紫外光を照射 (励起光と云う) すると、ほぼ同じ波長に OH ラジカルによる蛍光が発生し、蛍光の強度はラジカル濃度に比例するので、蛍光の強さから OH ラジカルの濃度を求めることができる。励起光は、色素レーザー (波長は約 600nm、Nd:YAG レーザーの 2 倍波 (532nm) で励起) の 2 倍波である。なお、本課題で反応速度の測定に用いている絶対速度法は、OH ラジカル濃度の相対値から反応速度の絶対値を求めることができるため、ラジカル濃度のキャリブレーションが不要となり、それに伴う誤差を含まないため、信頼性の高い値を得ることができる。
フラッシュランプ	Flash lamp	上記フラッシュフォトリシス法の光源であり、コンデンサー (容量は 2 $\mu$ F) を 600~1300 V の直流電圧でチャージし、それを電極間で放電させることにより光エネルギーを得る。

エキシマレーザー	Excimer laser	上記レーザーフォトリソ法の光源であり、所定のガス（この場合は Ar、F <sub>2</sub> 、Ne、He）を所定の濃度で充填したレーザーチャンバー内で、20～30kV 程度の放電を発生させることでレーザー光を得る装置。
信頼限界	Confidence level	統計学的手法により推定した平均値がある確率で存在する範囲の上限と下限であり、95%で存在する場合 95%信頼区間と云う。
TWPG	Total Warming Prediction Graph.	温暖化ガスの放出による時間変化で温暖化効果を示すグラフ。A. Sekiya, J. Fluorine Chemistry, 128 (2007), 1137.
分子軌道法	Molecular Orbital method	分子を構成する個々の電子の状態を計算して、分子の電子状態を求める方法を云う。シュレディンガー方程式 (Schrödinger equation) を解く際に用いる近似の程度によって、経験的分子軌道法、半経験的分子軌道法、非経験的分子軌道法に大別される。
ネオントランス	Neon transformer	ネオンサイン等に用いられているネオン管に放電を起こすための電源であり、国内ではネオントランスの最高電圧は 15kV、2 次短絡電流は 20mA と決められている。下記 ASHRAE 法では、ネオントランスを着火用の電源として用いることと規定されている。
ASHRAE	ASHRAE	アメリカ暖房冷凍空調学会 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) のことである。暖房、換気、空調、冷凍等に関する国際的学会である。多数の技術委員会があり、毎年 2 回定例の総会が開かれている。なお、当プロジェクト実施者の滝澤賢二が本年 7 月より 4 年間、ASHRAE SSPC34 Flammability Subcommittee (冷媒の燃焼性) の Voting member に就任し、米国規格及び国際規格に、国内意見や産総研の研究成果を公式な立場で反映させる役割を担っている。
ASHRAE 法	ASHRAE method	ASHRAE が定めた燃焼限界の標準的測定法である。内容積 12L のガラス製球形容器に可燃性ガス/空気混合気を充填し、全体の 1/3 の高さに 1/4 インチ間隔で設置した放電電極にネオントランスを電源として 0.4 秒間電気火花を放電させて試料気体に着火する。その後、電極を中心とした 90 度の倒立扇型以上に火炎が広がるかどうかで燃焼範囲内かどうかを判定する。燃焼限界は装置等に依存する量であるが、ASHRAE 法はこれらの影響が少なく、標準的な燃焼限界測定法と考えられている。
球形容器法	Spherical vessel method	燃焼速度の測定法の一つである。球形の容器に可燃性ガス/空気混合気を充填し、球の中心に設置した放電電極に直流電圧を印加し火花放電で試料気体に着火した後の容

		器内圧力の上昇から燃焼速度を求める。
--	--	--------------------

### 3.2.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社

「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
爆発(燃焼)範囲(限界)	Limits of Flammability	爆発下限界と上限界に挟まれた、爆発(燃焼)する領域
三角図	—	3成分系の爆発限界線を求める図
FTA	Fault Tree Analysis	ある想定した事象がいかなる要因の組み合わせで発生するかを解析する手法
ハンドミキシング	Hand Mixing	容器中で PUF 原料(2液)をドリル、攪拌羽等を用いて混合し、反応が始まる前までに型等に流し込み成型する方法
熱伝導率劣化度	—	熱伝導率の劣化度合いを示す数値で 劣化度(%)=熱伝導率経時値/熱伝導率成型翌日値×100 で劣化が無い場合 100%
発泡機	Foaming machine	ポリウレタンフォームを発泡成形する装置で2液ミキシング時の圧力(常用圧力)を基準に高圧(10MPa以上)、中圧(5~10MPa)、低圧(5MPa以下)の型がある。

### 3.2.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡(もしくは、超臨界CO<sub>2</sub>発泡)による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」(委託事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
セル径分布	Distribution of cell size	フォームを構成するセルのサイズ別存在個数をグラフ化したもの。

### 3.2.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社

「発泡剤の気相/液相制御技術等による現場発泡高断熱ウレタンフォームの技術開発」(助成事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
ゼオライト	Zeolite	結晶中に微細孔を持つアルケイ酸塩の総称
拡張ルシャトリエ式	Extended Le Chatelier's formula	(参考)Journal of Hazardous Material A138(2006)1-8

### 3.2.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学

「革新ポリマー=シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」(委託事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
シリコンアルコキシド	Silicon Alkoxide	Si(OR) <sub>4</sub> の一般式で表される有機ケイ素化合物。加水分解によりシリカを形成する。
超臨界二酸化炭素(scCO <sub>2</sub> )	Supercritical Carbon Dioxide	臨界点(31℃、72.8気圧)以上の状態にある二酸化炭素。ポリマー、シリコンアルコキシド双方に親和性が高い。

シランカップリング剤	Silane Coupling Agent	一分子中に有機官能基と加水分解基を持ったケイ素化合物。シリカ、ポリマー類のコンポジット化、表面修飾で多用される。
シリカエアロゲル	Silica Aerogel	著しく空隙率の高い(90-99.9%)シリカの総称。湿潤状態のゲルを超臨界乾燥法など、特殊な乾燥法で乾燥して得られる。透明で静止空気に匹敵する断熱性能を持つ一方、極めて脆くハンドリング性に難がある。
連続気孔型ポリマーフォーム	Open pore polymer form	気孔が連続した発泡ポリマー。外部からの気孔内への物質導入が容易にできる。
テトラメトキシシラン (TMOS)	Tetramethoxysilane	シリコンアルコキシドの一種。Si(OCH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> の化学式で表される。

### 3.2.1.4.2 旭ファイバークラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」

(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
常圧乾燥法	Ambient pressure drying method	エアロジェル合成法にて、超臨界状態ではなく、常圧高温乾燥を施す方法
ハイドロゲル	Hydrogel	水を主成分とする媒体を含むゲル
アルコゲル	Alcogel	アルコールを主成分とする媒体を含むゲル
平均空孔径	Average pore diameter	多孔質体の空孔の平均直径
細孔表面積	Specific surface area	多孔質体 1g あたりの表面積
全空孔体積	Total specific mesoporous volume	多孔質体 1g あたりの空孔体積
放射率	Emissivity	同温度における黒体の放射との比
スプリングバック	Spring-back	繊維集合体などの材料における荷重除去後の寸法復元現象

### 3.2.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」(助成事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
ゾルーゲル法	Sol-Gel Method	コロイド溶液 (ゾル) を流動性を失ったゲルとしてセラミックス等を得る方法。
超臨界抽出	Supercritical Extraction	湿潤物の溶媒を超臨界流体で置換することで溶媒を排出する方法。
超臨界炭酸ガス	Supercritical CO <sub>2</sub>	31.1℃、7.4MPa 以上の超臨界状態にある二酸化炭素
ガスバリアー性フィルム	Gas barrier Film	気体透過性の低いフィルム。
簡易真空断熱材	Easy-Processing Vacuum Insulation Panel	これまでの真空断熱材は高真空状態 (5Pa 以下) で数分間要加工に時間がかかるものだったが、簡易真空は 100Pa 以上の僅か数十秒で加工可能な真空断熱材

### 3.2.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
熱伝導率	Thermal conductivity	熱伝導において、熱流束密度 (単位時間に単位面積を通過する熱エネルギー) を温度勾配で割った物理量。
熱伝導	Thermal conduction	物質の移動を伴わず高温側から低温側へ熱が伝わる (移動する) こと。
輻射	Thermal radiation	熱が電磁波として伝えられる現象。
対流	Thermal convection	流体粒子の運動によって固体表面と流体の間で熱が伝えられる現象。
地球温暖化係数	Global Warming Potential	大気中に放出された単位重量の当該物質が地球温暖化に与える効果を CO <sub>2</sub> を 1.0 として相対値としてあらわしたもの。
透気度→透過度	Transmittance	ある物体の単位面積を単位時間当たり透過する気体の量。

### 3.2.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
複合セル構造	Complex Cell Structure	径の小さいセル (小セル) と径の大きなセル (大セル) からなるセル構造
多層構造	Multilayer Structure	異なる樹脂層が交互に積層した構造。ここでは発泡層と非発泡層が交互に積層した構造をいう。例えば、2種25層では発泡層13層と非発泡層12層からなる。

### 3.2.2.1.1 東京工業大学

#### 「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
非定常法	Non-steady State Method	温度が一定勾配の条件で測定する定常法に対して、それ以外の方法の総称。温度波法も非定常法に含まれる
サーモパイル	Thermopile	熱電対を直列につないで、感度を向上させたもの。

## 4. 実用化事業化の見通し

### 4.1.1.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社

#### 「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)

用語 (日本語)	English	用語の説明
高圧ガス保安法	—	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、輸入、移動、消費、廃棄等を規制するとともに、「高圧ガス」によって発生する災害を未然に防止する目的で制定されている法律
消防法	—	「火災を予防し、警戒し及び鎮圧し、国民の生命、身体及び財産を火災から保護する

		とともに、火災又は地震等の災害に因る被害を軽減し、もつて安寧秩序を保持し、社会公共の福祉の増進に資すること」(1条)を目的とする法律
次世代省エネルギー基準	—	成11年3月に改正告示された「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断と基準」及び「同設計及び施工の指針」のことで地球温暖化防止のための基準

#### 4.1.2.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
超臨界CO <sub>2</sub> 発泡	supercritical carbon dioxide foaming	超臨界状態のCO <sub>2</sub> (31.1℃かつ7.4MPa以上)を利用した発泡法

#### 4.2.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」(助成事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
次世代省エネルギー基準	Next-Generation Energy-Saving Standard	日本の住宅の省エネルギー性を高めるために、断熱や気密、冷暖房に関して定められた基準。

#### 4.1.2.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業)

用語(日本語)	English	用語の説明
マイクロ/ナノ発泡	Micro/Nano Foaming	マイクロオーダーの孔径とナノオーダーの孔径が混在した発泡体。
ハイバリアフィルム	High barrier film	ガス透過度の低いフィルム。



## 1. 事業の位置付け・必要性について

### 1.1 NEDO の関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1.1 NEDO が関与することの意義

##### 1.1.1.1 社会的な背景

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済と社会の実現、安全で安心な国民生活を実現するためには、革新的な技術開発や低炭素社会の構築等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減が必要である。

平成 21 年 4 月 1 日に経済産業省により制定された「環境安心イノベーションプログラム基本計画」の達成目標の一つとして、「地球温暖化防止新技術」が第一目標として位置付けられている。

世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比べて 2050 年までに半減するという長期目標を達成するために、経済成長と温室効果ガスの排出削減の双方を同時に達成できる革新的技術を開発するとともに、低炭素社会モデル構築に向けた取組を推進する必要がある。

また「京都議定書」で課せられた温室効果ガス削減目標の達成を目指すことも必要とされている。

表 1.1.1.1.1 に日本における京都議定書による温室効果ガスの削減目標を示す。「京都議定書目標達成計画」（2008 年 3 月全部改定）に示された各部門の目安としての目標（基準年比）は、以下の通りである。基準年の温室効果ガス排出量合計 1261[百万 t-CO<sub>2</sub>]に対して 2010 年は－6.0[%]抑制する目標である。この内、代替フロン等 3 ガス(HFC、PFC、SF<sub>6</sub>)は、－1.6[%]の抑制達成目標値が設定されている。表 1.1.1.1.2 にモントリオール議定書、京都議定書の対象物質であるフロン類の略号を示す。

表 1.1.1.1.1 日本における京都議定書による温室効果ガスの削減目標

	計画 年度	基準年 百万 t-CO <sub>2</sub>	2010年 百万 t-CO <sub>2</sub>	増減比	2008: 目標計画(改定)
					2005: 目標計画
エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	2008	1 0 5 9	1 0 8 9	+2.3%	
	2005	1 0 4 8	1 0 5 6	+0.6%	
	1998	1 0 4 8	1 0 2 4	▲2.0%	
非エネルギー起源 CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O	2008	1 5 1	1 3 2	▲1.5%	
	2005	1 3 9	1 2 4	▲1.2%	
	1998	1 3 9	1 3 3	▲0.5%	
代替フロン等3ガス HFC、PFC、SF <sub>6</sub>	2008	5 1	3 1	▲1.6%	
	2005	5 0	5 2	0.1%	
	1998	5 0	7 3	2.0%	
森林吸収・CDM等	2008	— — —	(▲68)	吸収源：▲3.8%	
	2005	— — —	(▲68)	CDM等：▲1.6%	
温室効果ガス排出量 合計	2008	1 2 6 1	1 1 8 6	▲6.0%	
	2005	1 2 3 7	1 1 6 3	▲6.0%	

※：代替フロン等3ガス分野は1995年を基準年としたCO<sub>2</sub>換算排出量比

表 1.1.1.1.2 フロン類の略号

略語	正式名称	対応する議定書
CFCs (約4,500~14,500)	<b>C</b> hloro <b>f</b> luoro <b>c</b> arbons	モントリオール議定書 対象物質 (特定フロン類)
HCFCs (約80~2,300)	<b>H</b> ydro <b>c</b> hloro <b>f</b> luoro <b>c</b> arbons	
HFCs (約140~12,000)	<b>H</b> ydro <b>f</b> luoro <b>c</b> arbons	京都議定書 対象物質 (代替フロン等3ガス)
PFCs (約6,500~12,000)	<b>P</b> er <b>f</b> luoro <b>c</b> arbons	
SF <sub>6</sub> (23,900)	<b>S</b> ulphur <b>h</b> exa <b>f</b> luoride	

( )内は地球温暖化係数:GWP

図 1.1.1.1.1 に温室効果ガスの排出削減の取り組みの流れを示す。温室効果ガスである CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>については、経済成長により主としてエネルギー起源の CO<sub>2</sub>が増加するが、森林による吸収と CDM 等により削減が図られる。また代替フロン等3ガス (HFC、PFC、SF<sub>6</sub>) は、①回収・除害技術、②代替物質、③ノンフロン化技術の開発により 2010 年までに基準年の温室効果ガス排出量合計に対して-1.6[%]の削減が目標である。

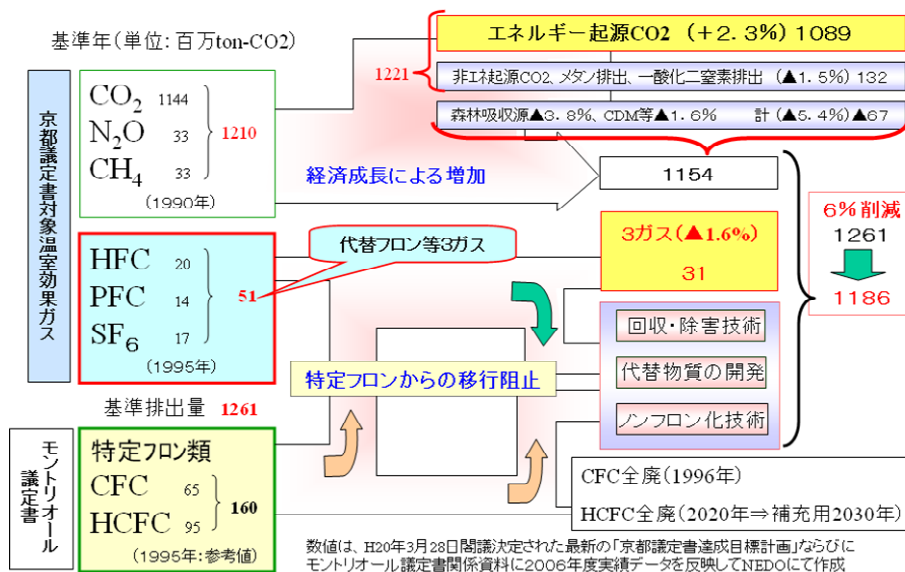


図 1.1.1.1.1 温室効果ガス排出削減の取り組みの流れ

図 1.1.1.1.2 には代替フロン削減の基準年 (1995) に対する地球温暖化対策推進大綱や京都議定書目標達成計画の 2010 年排出削減目標値の変遷を示す。1998 年の地球温暖化対策推進大綱、2005 年の京都議定書目標達成計画、2008 年の目標達成計画の改定を通じて、より厳しい削減目標が設定されている。

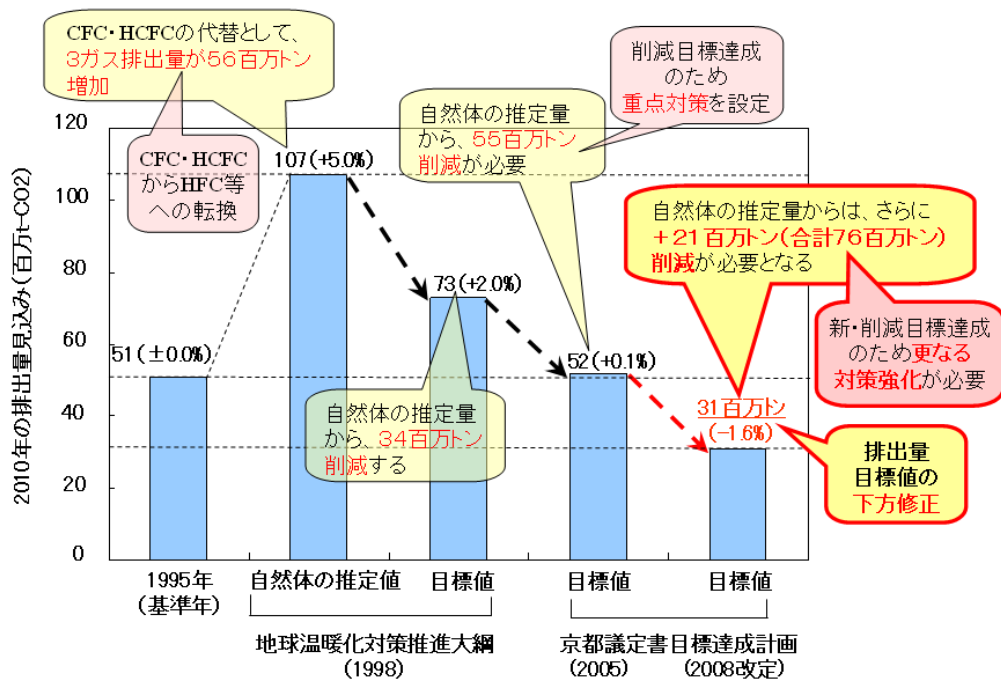


図 1.1.1.1.2 代替フロン等3ガス 2010年排出削減目標値の変遷

図 1.1.1.1.3 に代替フロン等3ガスが利用されている分野・業種を示す。

特定フロン (CFC、HCFC) や代替フロン (HFC、PFC、SF<sub>6</sub>) は、その優れた特性から、①発泡・断熱材 (発泡剤)、②エアゾール (噴射剤)、③冷凍・空調機器 (冷媒)、④電子部品等の洗浄 (洗浄剤)、⑤半導体・液晶の製造 (エッチング等の反応ガス)、⑥電力用ガス絶縁機器 (電気絶縁ガス)、⑦マグネシウム casting (カバーガス) などの幅広い分野で利用されている。このうち発泡・断熱材の分野は、代替フロン HFC を利用している。

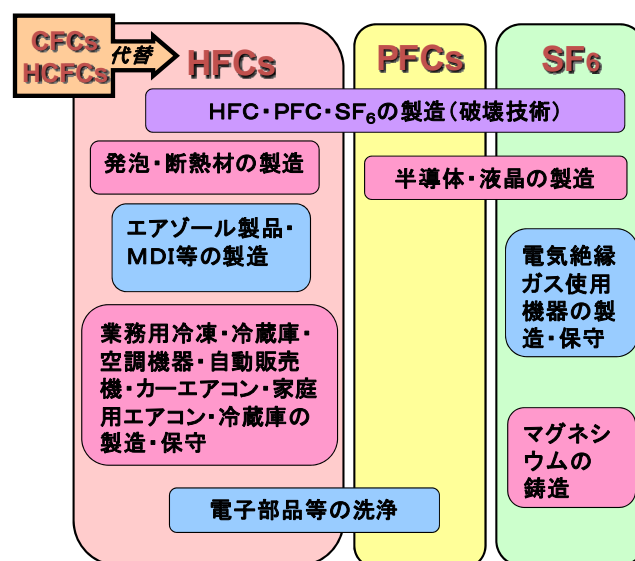


図 1.1.1.1.3 代替フロン等3ガスが利用されている分野・業種

図 1.1.1.1.4 に特定フロン HCFC の規制スケジュールを示す。消費量については、基準年（1989 年）の消費量を基準として、2020 年に 0%とする計画である。また、生産量については、基準年（1989 年）の生産量と消費量の平均を基準として、2020 年に 0%とする計画である。

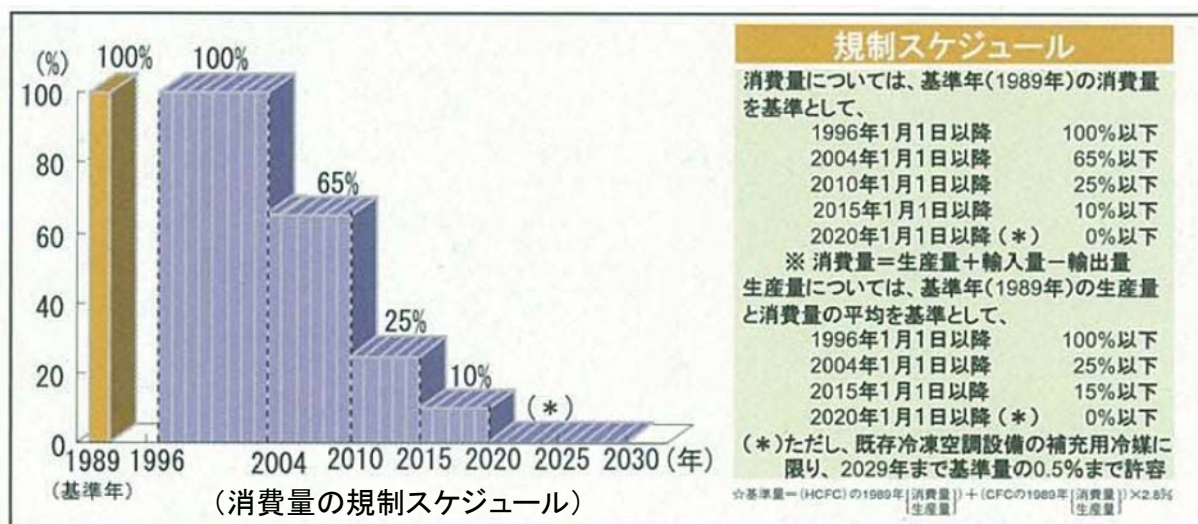


図 1.1.1.1.4 特定フロン HCFC の規制スケジュール

図 1.1.1.1.5 に発泡・断熱分野における 1995 年度～2010 年度の HCFC、HFC の使用量を示す。発泡・断熱材分野においては、特定フロン HCFC の規制に伴い、HCFC の使用量は大幅に削減し、2005 年度でほぼ全廃となっている。CO<sub>2</sub>、ペンタンを使用したノンフロン発泡が進む一方で、HCFC から代替フロンに切り替わるものもあり、代替フロン（HFC-365mfc、HFC-245fa、HFC-134a）は現段階でも一定レベルの使用量があり、大幅な削減は期待できない状況にある。現在使用されている代替フロン HFC の和名と GWP は下記の通りであり、GWP 値は CO<sub>2</sub> の 1,000 倍前後である。このうち京都議定書第一約束期間（2008 年～2012 年）で規制されたものは HFC-134a のみであるが、第二約束期間以降の対象ガスとして、HFC-245fa、HFC-365mfc も追加された。我が国は京都議定書第二約束期間に参加せず、2013 年以降の議定書上の削減義務は課されないが、排出量の報告義務は課されているため、これら代替フロンの排出量把握は継続して必要となる。また、温室効果ガス削減の観点から、これら代替フロンの排出量の削減が求められている。

- HFC-365mfc : 1,1,1,3,3-ペンタフルオロブタン (GWP100@IPCC2008=794)
- HFC-245fa : 1,1,1,3,3-ペンタフルオロプロパン (GWP100@IPCC2008=1030)
- HFC-134a : 1,1,1,2-テトラフルオロエタン (GWP100@IPCC2008=1430)

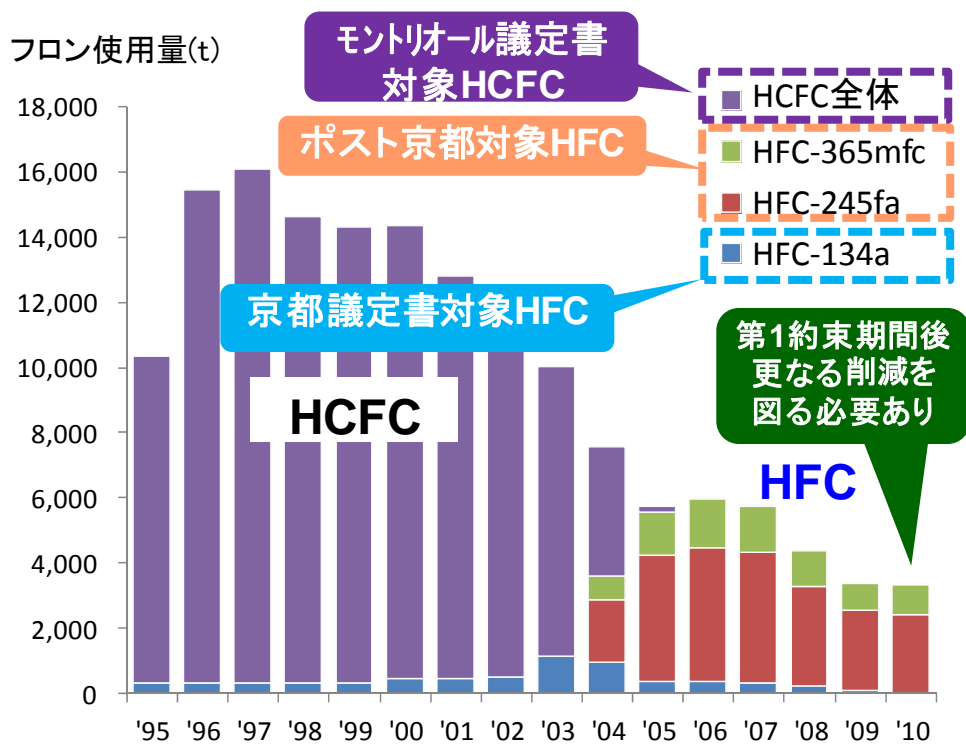


図 1.1.1.1.5 発泡・断熱材分野におけるフロン使用量の推移(2)

住宅用断熱建材の分野では、大別して3種類（無機繊維系、木質繊維系、発泡プラスチック系）の断熱材がある（図 1.1.1.1.6）。図 1.1.1.1.7 に 2010 年度における各断熱材の重量ベースの出荷量の割合を示す。無機繊維系断熱材の割合が約 2/3 を占め、発泡プラスチック系断熱材が約 1/3、木質繊維系断熱材が約 1% である<sup>(1)</sup>。図 1.1.1.1.8 には 1990 年度から 2010 年度までの 20 年間の住宅用断熱材の出荷量の推移を示す。重量ベースで 1.37 倍（235,710 トンから 322,784 トン）、面積ベースで 1.32 倍（276,054 千 m<sup>2</sup> から 365,373 千 m<sup>2</sup>）に増加している。一方、この 20 年間の新設住宅の着工量は、1,665,367 戸から 819,020 戸へと半分以上に減少していることから、1 戸あたりの断熱材出荷量は、住宅の断熱性能の向上に伴い重量ベース、面積ベースともに増加していることがわかる（図 1.1.1.1.9）。1 戸当たりの断熱材の出荷量は、この 20 年間で重量ベースでは 2.8 倍（141.6kg/戸から 394.1 kg/戸）、面積ベースでは 2.7 倍（165.8m<sup>2</sup>/戸から 446.1m<sup>2</sup>/戸）となっており、重量ベースの伸び率の方が面積ベースの伸び率よりも大きいのは、住宅に使用する断熱材が厚手化していることを示している。

つぎに図 1.1.1.1.10 に断熱材の種類別の出荷量と合わせて発泡プラスチック断熱材と無機繊維系断熱材の出荷量の比の推移を示す。グラスウールなどの無機繊維系断熱材の方が発泡プラスチック系断熱材の 2 倍以上の出荷量があるが、発泡プラスチック系断熱材の割合が徐々に増加していることがわかる。このことは、繊維系断熱材は充填断熱工法において中心的な断熱材であるのに対して、外張断熱工法にも使用できる発泡プラスチック系断熱材の割合が徐々に増加していることを示している。一般的に無機系断熱材よりも発泡プラスチック系断熱材の方が、断熱性能が高いため、発泡プラスチック系断熱材の方がより薄い厚さで施工することができ、

今後ますます発泡プラスチック系断熱材の割合が高まると想定される。

発泡プラスチック系断熱材は、独立した小さな気泡の中にガスを閉じ込めて断熱性能を発揮するものであり、そのガスに代替フロンが用いられている断熱材もあり、ノンフロン化が求められている。

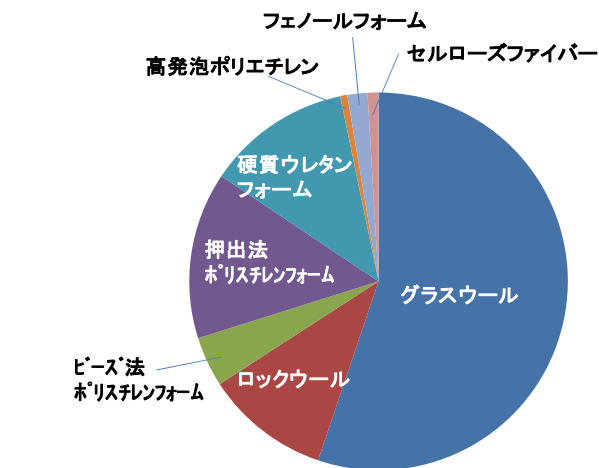
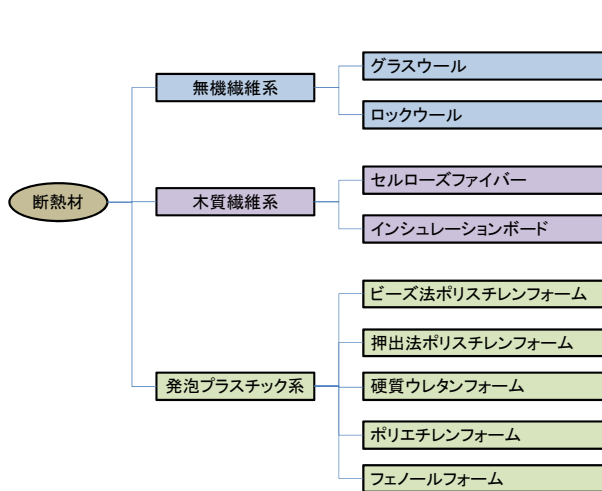


図 1.1.1.1.6 住宅用断熱材の種類

図 1.1.1.1.7 住宅用断熱材の重量ベース出荷量割合(2010年度)<sup>(1)</sup>

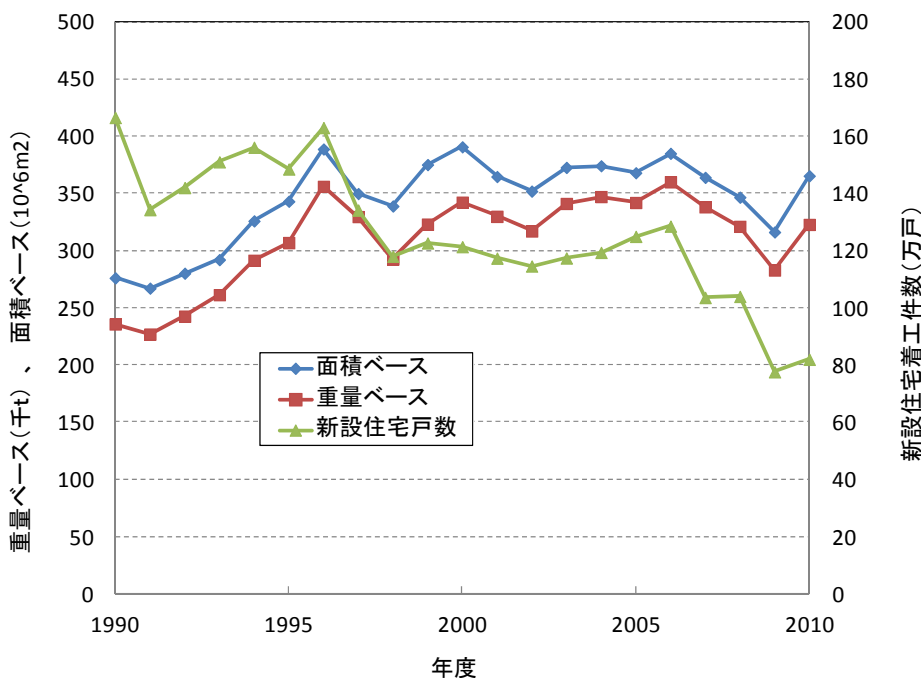


図 1.1.1.1.8 住宅用断熱材の出荷量の推移<sup>(1)</sup>



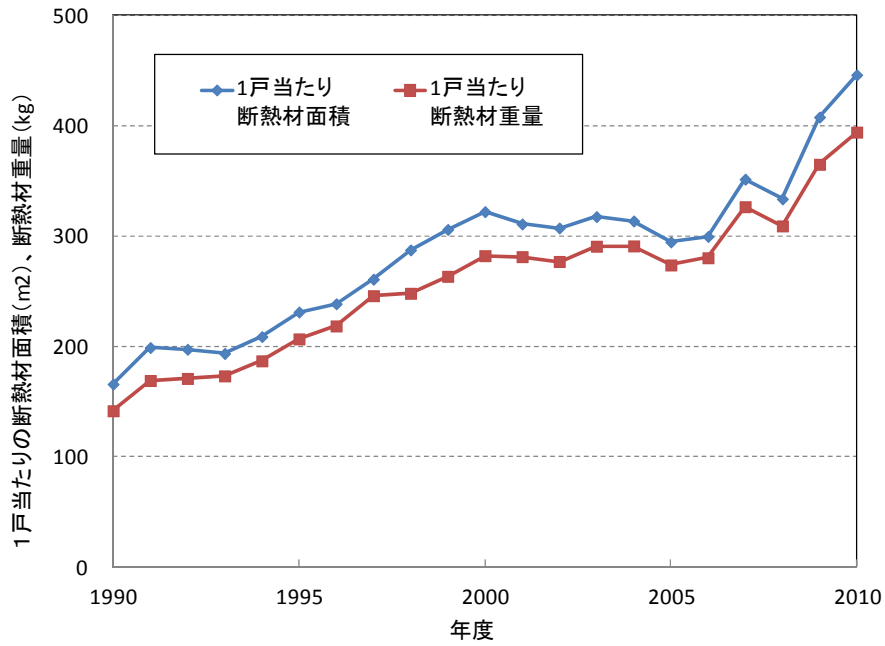


図 1.1.1.1.9 1戸当たりの断熱材の出荷量の推移<sup>(1)</sup>

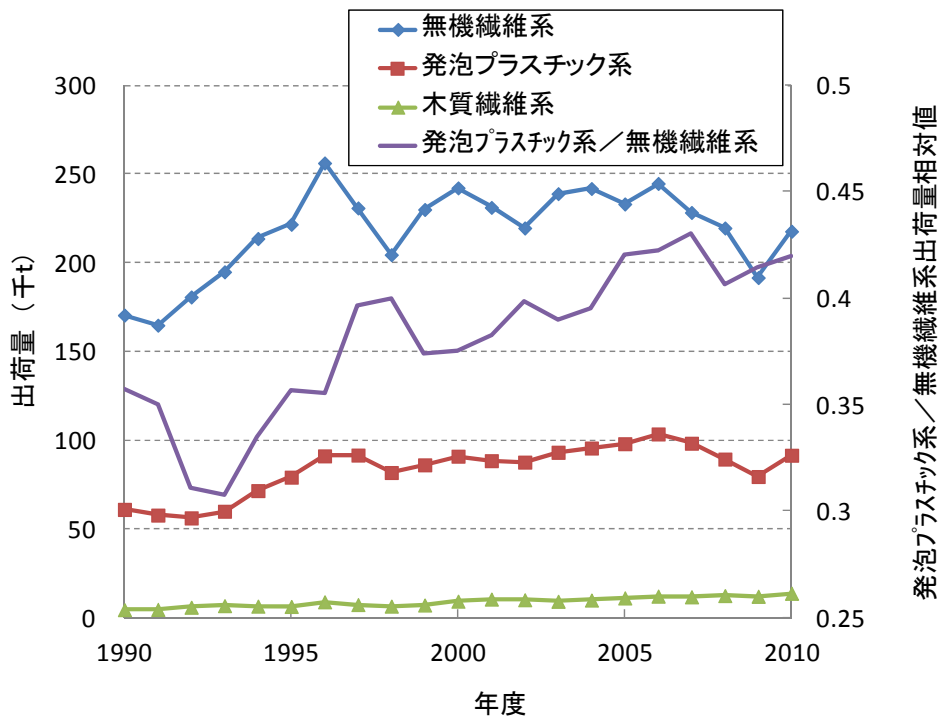


図 1.1.1.1.10 断熱材種類別出荷量の推移<sup>(1)</sup>

【参考文献】

- (1) 断熱材市場白書 2011年版 各種住宅用断熱材の市場実態 (矢野経済研究所)
- (2) 産業構造審議会 化学・バイオ部会 第26回地球温暖化防止対策小委員会資料 (平成23年)

### 1.1.1.2 産業界での対応状況

民生部門における CO<sub>2</sub> 排出量は日本全体の約 30%、さらにそのうち 25%以上を占める冷暖房エネルギーが大きな CO<sub>2</sub> 排出源となっている。この領域の CO<sub>2</sub> 排出を削減するために、住宅やビル等に使用される建材の断熱性能を高めるための技術開発が期待されている。

東日本大震災以降の我が国のエネルギー供給力の低下により、冷暖房エネルギーを低減するための高断熱住宅が求められており、省エネの視点からも建材の断熱性能を高めるための技術開発が期待されている。

建築用断熱材の分野では、無機繊維系断熱材が主流であるが、高断熱化、断熱材の施工方法の変化等に伴い、発泡プラスチック系断熱材の割合が増加する傾向にある。発泡プラスチック系断熱材は、独立した小さな気泡の中に地球温暖化係数（GWP）の高い代替フロン（HFC）等を使用しているという問題点がある。ノンフロン系発泡剤として CO<sub>2</sub>、シクロペンタン等の低 GWP ガスを利用した発泡プラスチック系断熱材の開発が進められているが、フロン製品と比較すると断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で問題がある。そのため、ノンフロン系発泡剤への全面移管には至っていないのが現状である。

発泡・断熱材分野における業界団体のノンフロン化への自主的な取り組み事例について記す。

#### (1) ウレタンフォーム製造の排出抑制対策<sup>①</sup>

ウレタンフォーム工業会は、HFC-134a、HFC-245fa、HFC-365mfc を対象物質として、下記の自主行動目標を設定して取り組みを進めている。

##### 【自主行動計画の目標】

①2010 年の HFC 使用見込み量(14,500t)に対する削減目標

－10%(1998 年制定)

－20%(2004 年改定)

－40%(2005 年改定)

②2012 年の HFC-134a 使用見込み量 50[t](2011 年度改定)

##### 【自主行動計画の達成に向けた取り組み】

①低 GWP 発泡剤使用技術の開発

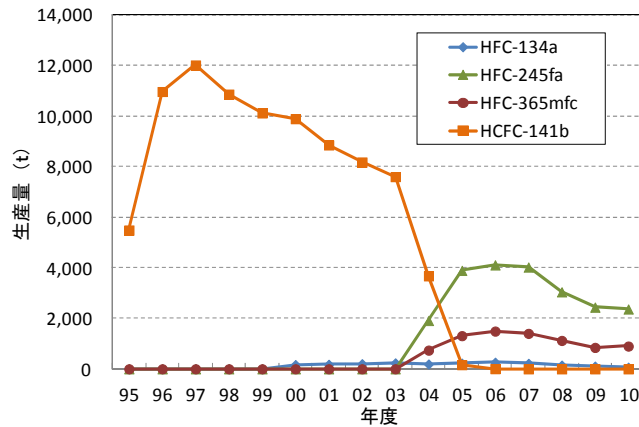
- ・ HCFC-141b から HFC-134a、HFC-245fa、HFC-365mfc へと代替
- ・ 低温室効果発泡剤（GWP10 以下）の早期実用化に向け、実証試験等の性能評価を開始。実用化には、まだ時間がかかる模様。

②ノンフロン発泡剤使用技術の開発

- ・ 水発泡技術（水とポリイソシアネートの反応（イソシアネート反応）により、炭酸ガスを発生させ発泡する技術）の開発
- ・ シクロペンタンを発泡剤に使用した技術
- ・ 超臨界炭酸ガスを利用したノンフロン吹き付けシステムの開発



【自主行動計画の達成状況】



Year	95	96	97	98	99	00	01	02
HFC-134a	0	0	0	0	0	167	177	201
HFC-245fa	0	0	0	0	0	0	0	0
HFC-365mfc	0	0	0	0	0	0	0	0
HCFC-141b	5,488	10,968	12,014	10,866	10,119	9,896	8,855	8,178

Year	03	04	05	06	07	08	09	10
HFC-134a	233	190	224	259	216	145	109	66
HFC-245fa	0	1,912	3,893	4,111	4,024	3,044	2,440	2,365
HFC-365mfc	0	739	1,311	1,492	1,401	1,122	847	900
HCFC-141b	7,600	3,679	165	8	0	0	0	0

図 1.1.1.2.1 ウレタンフォーム工業会における自主行動計画の達成状況<sup>(1)</sup>

(2) 押出發泡ポリスチレン製造の排出抑制対策<sup>(1)</sup>

押出發泡スチレン工業会は、HFC-134a を対象物質として、下記の自主行動目標を設定して取り組みを進めている。

【自主行動計画の目標】

- ① 2010 年の HFC 使用見込み量ゼロ(2004 年改定)

各社がノンフロン化の技術開発に成功し実用化の目処を得たため 2004 年に目標見直し

【自主行動計画の達成に向けた取り組み】

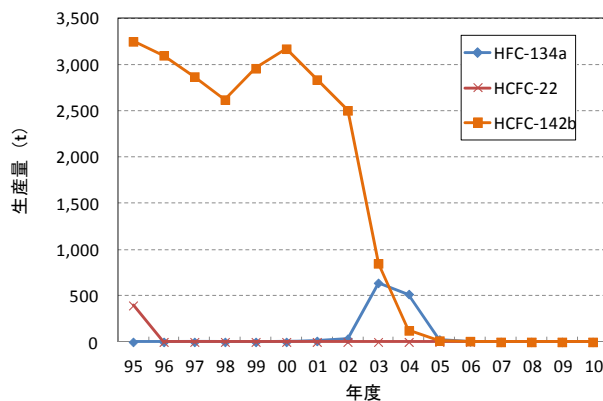
- ①低 GWP 発泡剤使用技術の開発

HFC-134a に炭化水素（イソブタン等）の混合による省発泡技術の採用による HCFC-142b からの代替

- ②ノンフロン発泡剤使用技術の開発

- ・製品成型機の改善により製品化率の向上技術
- ・炭化水素発泡剤使用技術の開発
- ・気泡構造技術の改良により、可燃性のブタン等の炭化水素でも製品の難燃性を確保

【自主行動計画の達成状況】



Year	95	96	97	98	99	00	01	02
HFC-134a	0	0	0	0	0	0	10	35
HCFC-22	394	0	0	0	0	0	0	0
HCFC-142b	3,250	3,100	2,870	2,620	2,960	3,170	2,836	2,504

Year	03	04	05	06	07	08	09	10
HFC-134a	638	517	26	5	0	0	0	0
HCFC-22	0	0	0	0	0	0	0	0
HCFC-142b	850	125	13	9	0	0	0	0

図 1.1.1.2.2 押出發泡スチレン工業会における自主行動計画の達成状況<sup>(1)</sup>

### (3) 高発泡ポリエチレン製造の排出抑制対策<sup>(1)</sup>

高発泡ポリエチレン工業会は、HFC-134a を対象物質として、下記の自主行動目標を設定して取り組みを進めている。

#### 【自主行動計画の目標】

- ① 2011年のHFC使用見込み量0[t]

(HFC使用対象全社が当工業会を10年度に脱退)

#### 【自主行動計画の達成に向けた取り組み】

- ① 低GWP発泡剤使用技術の開発

HFC-134aに、水や炭酸ガス、炭化水素等とブレンドする省発泡剤技術を使用して、HFC-134a使用量を削減(09年度)

- ② ノンフロン発泡剤使用技術の開発

現在、当工業会所属企業は、発泡剤として熱分解型発泡材等を使用しており、ノンフロン化を実現

#### 【自主行動計画の達成状況】

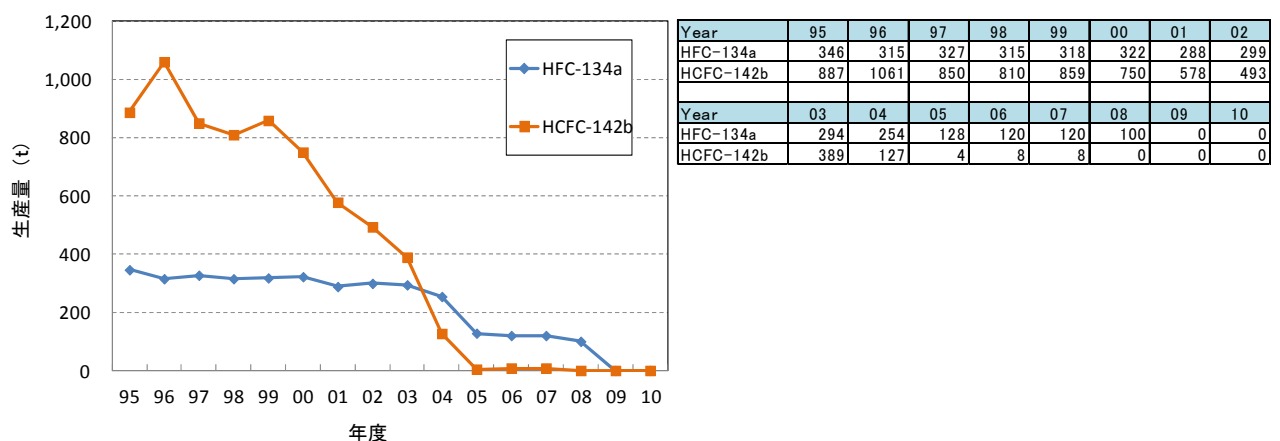


図 1.1.1.2.3 高発泡ポリエチレン工業会における自主行動計画の達成状況<sup>(1)</sup>

### (4) フェノールフォーム製造の排出抑制対策<sup>(1)</sup>

フェノールフォーム協会は、HFC-245fa と HFC-365mfc を対象物質として、下記の自主行動目標を設定して取り組みを進めている。

#### 【自主行動計画の目標】

- ① 2010年のHFC使用見込み量に対する削減目標

－10[%] (1998年制定)

－68[%] (2004年改訂)

－100[%] (2007年改訂)

#### 【自主行動計画の達成に向けた取り組み】

- ① ノンフロン発泡剤使用技術の開発

・発泡剤としてHCFC-141b、塩化メチレン等が使用されてきたが、HCFC-141bの代替

候補として HFC-245fa、HFC-365mfc の実用化を検討。同時に HFC 代替技術の開発も併行して検討

- ・炭化水素系発泡剤使用技術の開発により完全脱フロン断熱材の生産を実施

### 【自主行動計画の達成状況】

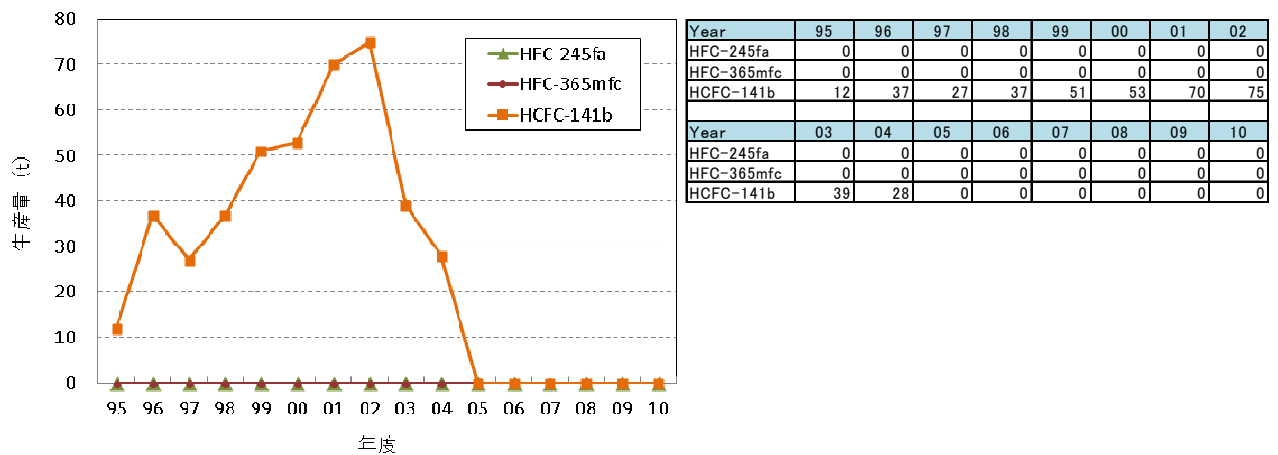


図 1.1.1.2.4 フェノールフォーム協会における自主行動計画の達成状況<sup>(1)</sup>

### 【参考文献】

- (1) 産業構造審議会 化学・バイオ部会 第 26 回地球温暖化防止対策小委員会資料 (平成 23 年)

### 1.1.1.3 革新的ノンフロン系断熱材技術開発の必要性

建築用断熱材の分野では、無機繊維系断熱材、発泡プラスチック系断熱材等があるが、高断熱化、断熱材の施工方法の変化等に伴い、発泡プラスチック系断熱材の割合が増加する傾向にある。発泡プラスチック系断熱材は、独立した小さな気泡の中に地球温暖化係数 (GWP) の高い代替フロン (HFC) を使用しているという問題点がある。代替フロン (HFC) の代わりに低 GWP ガスを利用した断熱材の開発が進められているが、フロン製品と比較すると断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で問題があり、ノンフロン系発泡剤への全面移管には至っていないのが現状である。現在、HFC を発泡剤として使用している断熱材の大部分は、硬質ウレタンフォームであり、特に現場吹付け発泡分野のノンフロン化が遅れている (2010 年時点のノンフロン化率 40%)。

京都議定書目標達成計画に基づく温室効果ガスの排出削減は、我が国の責務であり、その達成およびその後の更なる排出削減のため、基礎研究／実用化研究の両面的なアプローチにより、高い断熱効果を有し、かつ市場への早期導入が見込める高性能断熱材の開発を推進する必要がある。このため現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有する「革新的ノンフロン系断熱材技術の開発」が必要である (図 1.1.1.3.1)。

ここで革新的ノンフロン系断熱材とは、オゾン層を破壊する恐れがなく地球温暖化への影響が極めて小さい発泡剤を使用する断熱材である。具体的には、自然物質(ノンフロン)を含むODPが0、GWPが150以下の物質を言う。

これらの研究開発には、より高精度・高性能の性能評価技術も要求されることが予想される。更にこれらの研究開発成果の上市に際しては、高性能断熱材の普及を促進するためにも、製品としての品質を評価する手法や基準が必要である。

しかしこれらの新技術の開発を推進するためには、一企業単位では開発の負担が大きく、国からの支援が是非必要である。

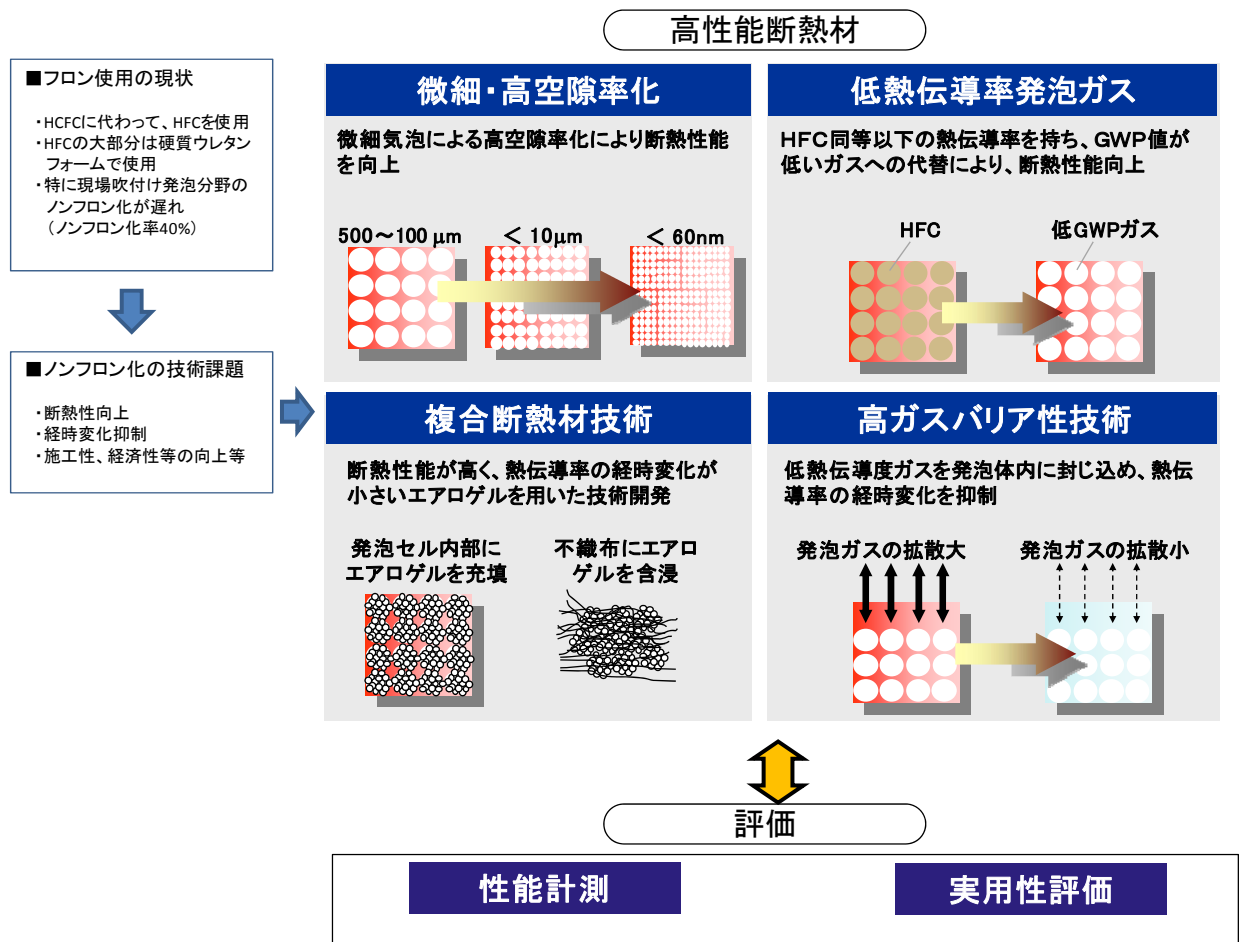


図 1.1.1.3.1 革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト

#### 1.1.1.4 技術的な課題と NEDO の関与する意義

このような状況から、本プロジェクトでは、高分子素材の発泡等の微細化・多孔化技術や各種断熱素材の複合化技術、新規発泡剤、断熱材料の合成技術等を確立することによって、建材を中心とする断熱材分野において、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有する革新的なノンフロン系断熱材技術開発を行うことを目的とする。

建築用としての革新的ノンフロン系断熱材技術開発は、下記の点においてその意義を有する。

- ①京都議定書目標達成計画に基づく温室効果ガスの排出削減と、ポスト京都を見すえた脱フロン技術の確立に寄与する。
- ②住宅、建築物の省エネルギーという社会的要請に応える。
- ③冷凍空調、運輸など種々の断熱材使用分野への波及効果がある。

しかしながら、下記の課題がある。

- ①従来のノンフロン断熱材は、フロンレベルの断熱性能（初期熱伝導率、長期断熱性能）を満たしていない。
- ②高度な技術力と多額の開発費用が必要であり、民間企業のみでは、リスクが大きい。

このためNEDOが国家プロジェクトとして革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクトを実施することにより、上記の課題を解決することが必要である。

#### 1.1.2 実施の効果（費用対効果）

##### 1.1.2.1 産業界への効果

###### (1) 省エネ効果によるエネルギー使用量の削減量

革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクトの成果による産業界における省エネ効果を試算する。一般住宅（戸建て・マンション）における1戸当たりの冷暖房エネルギーは、22[GJ/年]<sup>(1)</sup>であり、これに基づき試算した。

###### ① 新築住宅

- a) 2010年の新築住宅数は約80[万戸/年]<sup>(2)</sup>である。断熱材製造企業のノンフロン化への積極的な転換や、グリーン購入法に基づく断熱材のノンフロン化の推進等により、2015年から新断熱材の導入を開始し、年々適用率が増加し、2020年に適用率12[%]（現在のフロン使用のプラスチック系断熱材のシェア<sup>(3)</sup>と同程度）、2030年に30[%]（プラスチック系断熱材の更なるシェア拡大）と仮定すると、2030年の累積適用戸数は約211万戸となる。
- b) 新規断熱材では、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上（熱伝導率 $\lambda \leq 0.024[\text{W/m}\cdot\text{K}]$ ）を目指している。業界や政府の取り組みにより断熱材におけるノンフロン製品の採用は、一般的になると想定されるため、技術開発を行わなかった場合のノンフロン品（現状のノンフロン品熱伝導率： $\lambda = 0.034[\text{W/m}\cdot\text{K}]$ ）と新規断熱材（ $\lambda = 0.024[\text{W/m}\cdot\text{K}]$ ）の比較により、省エネ効果を以下の通り、試算した。

現状のノンフロン断熱材 ( $\lambda=0.034[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}]$ ) と新規断熱材 ( $\lambda=0.024[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}]$ ) を比較する。損失エネルギーが  $\lambda$  にほぼ比例すると仮定すると、損失エネルギーは  $0.024/0.034 \approx 70[\%]$  に低減する。これを住宅の壁や屋根 (熱ロス割合約  $35[\%]$ <sup>(1)</sup>) に適用した場合、冷暖房エネルギーの損失は、

$$(100 - 70)[\%] \times 35[\%] = 10[\%]$$

低減すると考えられる。よって年間削減エネルギーは、

$$\begin{aligned} & 1 \text{ 戸あたりの年間冷暖房エネルギー} \times \text{エネルギー削減率}(10[\%]) \times \text{累積戸数} \\ & = 22[\text{GJ}/\text{年}\cdot\text{戸}] \times 0.1 \times 211[\text{万戸}] \quad (2030 \text{ 年}) \\ & = 4,642[\text{TJ}/\text{年}] \quad (2030 \text{ 年}) \\ & \quad \text{エネルギーの原油換算値 } 1[\text{MJ}] = 0.0258 \times 10^{-3}[\text{kl}] \text{ より} \\ & = 12.0[\text{万 kl}/\text{年}] \quad (2030 \text{ 年}) \end{aligned}$$

の削減量となる。

適用率を  $30[\%]$  とすると、削減可能な原油量は、 $3.6[\text{万 kl}/\text{年}]$  (2030 年) となる。

## ② 既存住宅

既存住宅はおよそ  $5760[\text{万戸}]$  あり、そのうち居住住宅は約  $4960[\text{万戸}]$  である<sup>(4)</sup>。そのうち新築戸数分だけ毎年減少すると仮定する。既存住宅への新断熱材の適用は改修・改築時に行われるが、増改築・改装件数は、 $31[\text{万件}/\text{年}]$ <sup>(5)</sup> (2003 年度) と既存住宅数の  $0.54[\%]$  である。ただし増加基調にあることから、新断熱材の導入を開始する 2015 年から 2020 年度までは  $0.3[\%]$ 、次の 10 年間で  $0.6[\%]$  と仮定すると、2030 年の累積適用戸数は約  $395[\text{万戸}]$  となる。改修では断熱材の適用部位が限定的 (改修面積が全床面積の  $1/5$  と推定) なたためエネルギー削減効果も新築の場合に比べて低いが、従来積極的に断熱材を施工していない住宅に対しては大きな削減効果 (2 倍と仮定) を持つため、冷暖房エネルギーの削減率を新築の  $2/5$  程度の  $4[\%]$  と仮定すると、年間の削減エネルギーは、

$$\begin{aligned} & 1 \text{ 戸あたりの年間暖房エネルギー} \times \text{エネルギー削減率} \times \text{累積戸数} \\ & = 22[\text{GJ}/\text{年}] \times 0.04 \times 395[\text{万戸}] \quad (2030 \text{ 年}) \\ & = 3,476[\text{TJ}/\text{年}] \quad (2030 \text{ 年}) \\ & \quad \text{(エネルギーの原油換算値 } 1[\text{MJ}] = 0.0258 \times 10^{-3}[\text{kl}] \text{ より)} \\ & = 9.0[\text{万 kl}/\text{年}] \quad (2030 \text{ 年}) \end{aligned}$$

の削減量となる。適用率を  $30[\%]$  とすると、削減可能な原油量は、 $2.7[\text{万 kl}/\text{年}]$  (2030 年) になる。

①+②より、住宅用の冷暖房エネルギーの削減量は、6.3[万kl/年]（2030年）となる。

#### (2) フロン発泡剤の使用量削減によるCO<sub>2</sub>の削減量

フロン発泡剤の年間使用量は、HFC-134aは66（トン/年）、HFC-245faは2,365（トン/年）、HFC-365mfcは900（トン/年）であり、ノンフロン化により、これらが削減される。下記試算の示す様にCO<sub>2</sub>換算で約325[万CO<sub>2</sub>トン/年]程度になることが期待できる。

$$\begin{aligned} & \Sigma \text{HFC 使用量} \times \text{GWP for HFC134a, 245fa, 365mfc} \\ & = 66[\text{トン/年}] \times 1430 + 2365[\text{トン/年}] \times 1030 + 900[\text{トン/年}] \times 794 \\ & = 325[\text{万トン/年}] \end{aligned}$$

#### 1.1.2.2 費用対効果

この技術開発は、建築分野のみならず、冷凍空調、運輸等、種々の断熱材使用分野への波及効果を有するため、地球温暖化防止に対してさらに大きな効果が期待できる。

#### 1.1.2.3 制度への適用性

2008年に京都議定書の第1約束期間が開始され、2012年までに基準年比-6%の温室効果ガスの削減を実現することが京都議定書目標達成計画で規定されている。我が国は2013年以降の第2約束期間に参加しないため議定書上の削減義務は課されないが、温室効果ガス削減の観点から温室効果ガス排出量の削減が求められている。

本プロジェクトは、ノンフロン型の断熱材の技術開発を通じて、上記の目標の実現に寄与することが期待されている。

#### 【参考文献】

- (1) 住宅の省エネルギー基準 早わかりガイド（(財)建築環境・省エネルギー機構）
- (2) 国交省住宅着工統計
- (3) 断熱材市場白書 2011年版 各種住宅用断熱材の市場実態（矢野経済研究所）
- (4) 総務省 住宅・土地統計調査（H20年）
- (5) 国土交通省 建築物の増改築・改装調査結果（2003年）

## 1.2 事業の背景・目的・位置付け

### 1.2.1 事業の背景

#### 1.2.1.1 オゾン層保護対策の動向

オゾン層保護対策に係わる歴史的動向を以下に記す。

1928年にフロンが開発された。フロンとはフルオロカーボン（炭素 C とフッ素 F の化合物）を意味する。

1960年代以降になると先進国を中心に爆発的にフロンが消費された。フッ素を含有する化合物の産業分野における利用の事例として、①発泡・断熱材（発泡剤）、②エアゾール（噴射剤）、③冷凍・空調機器（冷媒）、④電子部品等の洗浄（洗浄剤）、⑤半導体・液晶の製造（エッチング等の反応ガス）、⑥電力用ガス絶縁機器（電気絶縁ガス）、⑦マグネシウム casting（カバーガス）などがある。

1974年に米国ローランド教授は、フロンが大気中に放出されると、上空の成層圏まで上り、オゾン層を破壊してしまうというメカニズムを発見した。

1985年になると南極でオゾンホールが発見され、実際にオゾン層が破壊されている証拠が確かめられると、世界的な大問題となった。

1985年に「ウィーン条約」がオゾン層保護のために採択された。

これを受けて1987年に国連環境計画（UNEP）により、フロン規制のための国際枠組みとして「モントリオール議定書」が採択され、国際的にオゾン層破壊物質の規制が始まった。規制対象物質は、①クロロフルオロカーボン（CFC）、②ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）、③ハロン、④四塩化炭素、⑤1,1,1-トリクロロエタン、⑥ハイドロブromoフルオロカーボン、⑦臭化メチル、⑧ブromoクロロメタンである。

HCFCは、オゾン破壊係数(ODP)0.005～0.52、地球温暖化係数(GWP)1,500(HCFC-22)の特性を有し、主な用途は、エアコン等の冷媒、各種断熱材の発泡剤、電子部品・金属部品等の洗浄剤として利用されている。

1988年に日本では、モントリオール議定書で採択された内容を確実に実施するために「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（オゾン層保護法）」が制定された。モントリオール議定書による生産制限により特定フロン(CFC、HCFC)から代替フロン(HFC、PFC、SF<sub>6</sub>)への転換が進んだ。

1989年7月からオゾン層破壊物質の生産・輸出入の規制を開始するとともに、需要を削減する施策が実施されている。

特定フロンであるHCFC(ハイドロ・クロロ・フルオロ・カーボン、モントリオール議定書付属書CのグループI)のモントリオール議定書における規制スケジュール(図1.1.1.1.4)に示すように、生産量は、基準年1989年の生産量と消費量の平均を基準として、2020年に0%とする計画である。また、消費量は、基準年1989年の消費量(生産量+輸入量-輸出量)の実績を基準として、2020年以降に消費は完全に規制される。ただし、冷凍空調設備の補充用冷媒に限り、消費量の基準量の0.5%を上限として2029年までに生産が認められている。

図1.2.1.1.1に日本のHCFCの削減目標を示す。発泡用途のHCFC-141bとHCFC-142bは、



それぞれ 2004 年と 2010 年に全廃される計画である。

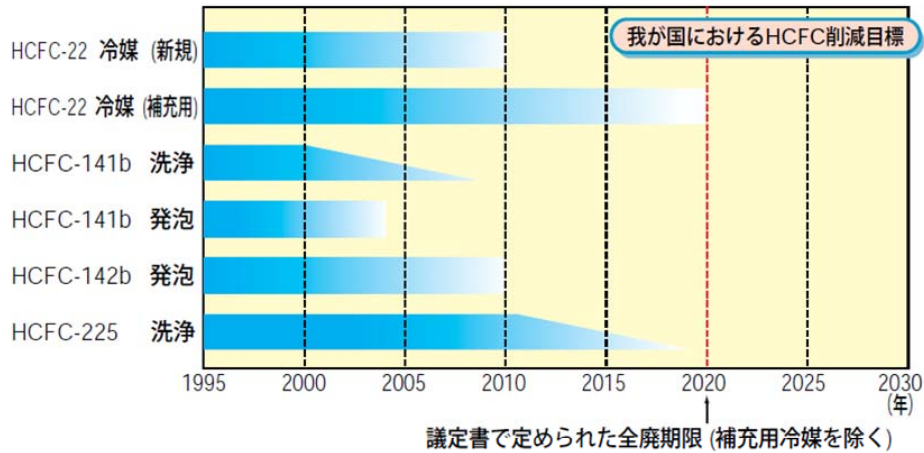


図 1.2.1.1.1 日本の HCFC 削減目標

表 1.2.1.1.1 にモントリオール議定書における HCFC 以外の規制物質の特性、用途、生産規制を示す。1994 年～2005 年に全廃の計画である。

表 1.2.1.1.1 モントリオール議定書における規制物質 (HCFC 以外)

	C F C		ハロン	四塩化炭素	1,1,1-トリクロロエタン	HBFC ハイドロフロロ フルオロカーボン	ブromokro メタン	臭化メチル
	CFC-11,12, 113,114,115	その他の CFC						
議定書 附属書	A のグループ I	B の グループ I	A の グループ I	B の グループ II	B の グループ III	C の グループ II	C の グループ III	E の グループ I
オゾン 破壊係数 (ODP)	0.6 ～ 1.0	1.0	3.0 ～ 10.0	1.1	0.1	0.1 ～ 14	0.12	0.6
地球 温暖化係数 (GWP)	8,100 (CFC-12)		5,400 (ハロン 1301)	1,400	100			
主な用途	カーエアコン、冷蔵 庫等の冷媒、 各種断熱材等 の発泡剤、電 子部品、金属 部品等の洗浄 剤等	冷媒	消火剤	CFC 等の 原料、 溶剤	電子部品 金属部品 等の洗浄 剤	消火剤 (代替ハロン)	医療用 中間体 合成原料 等	畑作地等の 土地薫蒸剤、 木材、穀物等 の輸出入時の 検疫薫蒸剤
規制	1996 年 1 月 1 日 以降全廃	1996 年 1 月 1 日 以降全廃	1994 年 1 月 1 日 以降全廃	1996 年 1 月 1 日 以降全廃	1996 年 1 月 1 日 以降全廃	1996 年 以降全廃	2002 年 以降全廃	2005 年 1 月 1 日 以降全廃
	必要不可欠な分野における使用 (エッセンシャルユース) のための生産などを除く							輸出入に際して 行う検疫に 使用される量 は規制対象外

表 1.2.1.1.2 にモントリオール議定書による先進国の規制強化の推移を示す。

1987 年のモントリオール議定書採択以降、モントリオール締約国会合において各種の規制物資の全廃計画が策定され、順次削減の努力が継続している。

表 1.2.1.1.2 モントリオール議定書による規制強化の推移（先進国）

規制物質 (基準年)	規制開始	制定時 (1987)	ロンドン (1990)	コペンハーゲン (1992)	ウィーン (1995)	モントリオール (1997)	北京 (1999)
CFC-11等 ハロン (86) (86)	89.7~ 92.1~	1998~50%以下 1992~100%以下	2000~全廃 2000~全廃	1996~全廃 1994~全廃			
その他CFC 四塩化炭素 1,1,1-トリクロロエタン (89) (89) (89)	93.1~ 95.1~ 93.1~	— — —	2000~全廃 2000~全廃 2005~全廃	1996~全廃 1996~全廃 1996~全廃			
HCFC HBFC 臭化メチル (89) (—) (91)	96.1~ 96.1~ 95.1~	— — —	— — —	2030~全廃 1996~全廃 1995~100%以下	2020~全廃(消費量) 2010~全廃	2005~全廃	2004~100%以下(生産量)
ブロモクロロメタン (—)	02.1~						2002~全廃

注) 議定書では、各物質の生産量と消費量(生産量+輸入量-輸出量)を基準年の実績をベースに規制。(ただし、HCFCは消費量と生産量の規制スケジュールが異なる)

表 1.2.1.1.3 にモントリオール議定書における途上国の規制強化の推移を示す。CFC については、1999 年から規制を開始し、2010 年までに全廃する計画である。

表 1.2.1.1.3 モントリオール議定書における規制強化の推移（途上国）

	規制開始	全廃時期	基準量
CFC-11等	1999年	2010年	1995年~1997年の平均消費量
ハロン	2002年	2010年	1995年~1997年の平均消費量
その他 CFC	2003年	2010年	1998年~2000年の平均消費量
四塩化炭素	2005年	2010年	1998年~2000年の平均消費量
1,1,1-トリクロロエタン	2003年	2015年	1998年~2000年の平均消費量
HCFC	2016年	2040年	2015年の消費量
臭化メチル	2002年	2015年	1995年~1998年の平均消費量

(1997年モントリオール調整による。)

図 1.2.1.1.2 に特定フロン (CFC+HCFC) 消費量の推移 (オゾン層破壊係数 (ODP) 換算) を示す。先進国をはじめとして、特定フロン (CFC+HCFC) の消費量が大幅に削減され、モントリオール議定書による効果が現れていることがわかる。

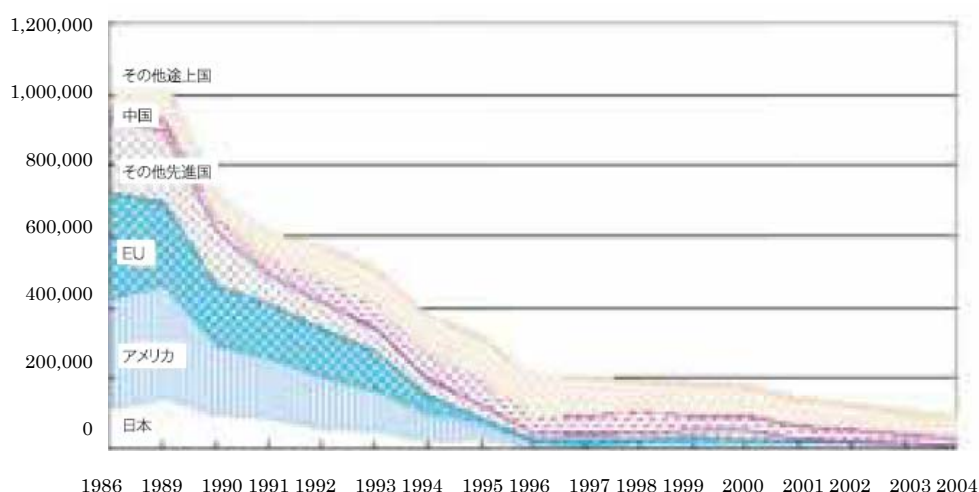


図 1.2.1.1.2 特定フロン（CFC+HCFC）消費量の推移  
（オゾン層破壊係数（ODP）換算）

図 1.2.1.1.3 に UNEP によるオゾン層破壊物質の生産規制等の成層圏中の塩素濃度 [ppt] 低減効果の予測シナリオを示す。規制なしの場合に対して、モントリオール議定書の改訂の推進により、排出ゼロのカーブに漸近することがわかる。

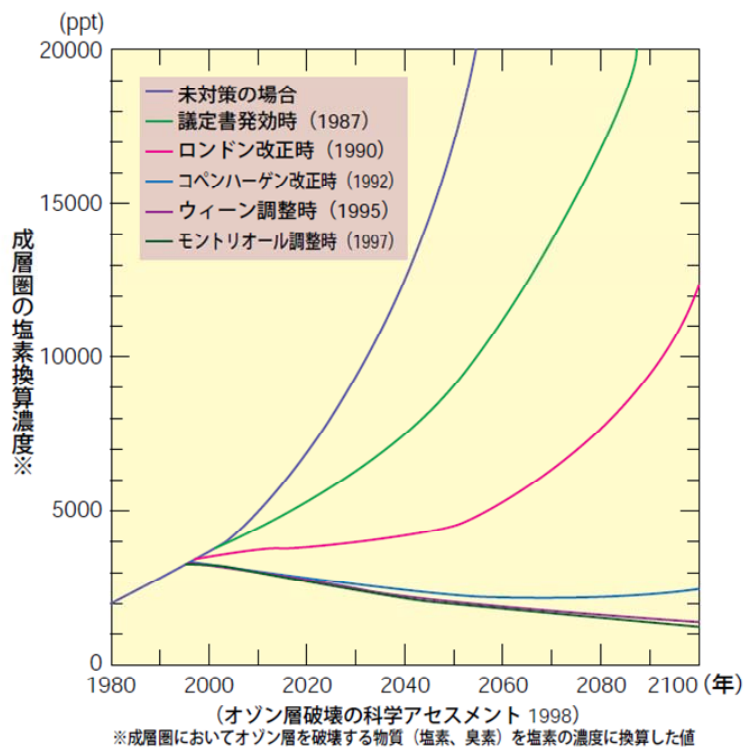


図 1.2.1.1.3 オゾン層破壊物質の生産規制等の効果  
（UNEP による予測シナリオ）

### 1.2.1.2 温暖化対策の動向

人類の経済活動が活発化し、それにともない化石燃料等の使用も増加したため、CO<sub>2</sub>等の温室効果ガスが大気中に大量に放出され、地球温暖化が進展している。

また一方では、オゾン層保護の規制の強化により、特定フロン等の生産量や消費量にかかわる規制も進展し、代替フロンが開発され普及している。しかし、代替フロンは、オゾン層を破壊する効果はないが、二酸化炭素の数百～数万倍の温室効果を有する。このため代替フロン等3ガス(HFC、PFC、SF<sub>6</sub>)は京都議定書の規制対象ガスとなっている。

地球温暖化対策の歴史的な動向を以下に記す。

1988年に国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）は、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」を設立し、地球温暖化に関する自然科学的、社会科学的取り組みを開始した。

1992年に「気候変動枠組条約」が、大気中の温室効果ガスの濃度の安定化による将来の気候保護を目的として締結された。この条約に基づき現在の温室効果ガスの排出を大幅に削減する必要がある

1997年12月COP3第3回締約国会議（京都）において地球温暖化問題に対する対策として「京都議定書」が採択された。対象となる温室効果ガスは、代替フロン等3ガス(ハイドロフルオロカーボン HFC、パーフルオロカーボン PFC、六ふっ化硫黄 SF<sub>6</sub>)、二酸化炭素 CO<sub>2</sub>、メタン CH<sub>4</sub>、一酸化二窒素 N<sub>2</sub>O である。表 1.2.1.2.1 にこれらの温室効果ガスの用途を示す。

表 1.2.1.2.1 温室効果ガスの排出源、及び用途

No	温室効果ガス	排出源、及び用途
1	CO <sub>2</sub> (エネルギー起源)	化石燃料の燃焼
2	CO <sub>2</sub> (非エネルギー起源)	工業プロセス
3	CH <sub>4</sub> (メタン)	家畜、水田、廃棄物
4	N <sub>2</sub> O(一酸化二窒素)	施肥、工業プロセス
5	HFC(代替フロン)	冷媒、断熱材発泡剤、噴射剤
6	PFC	溶剤、洗浄剤、半導体や液晶の製造時のエッチングガス、クリーニングガス
7	SF <sub>6</sub>	電力用絶縁物質、マグネシウム casting 時のカバーガス

1998年6月に「地球温暖化対策推進大綱」が閣議決定された。また「地球温暖化対策の推進に関する法律」が制定され、国、地方公共団体、事業者、国民が、地球温暖化対策に取り組むこととなった。

2002年に「地球温暖化対策推進大綱」が改訂され、第1約束期間（2008～2012年）における排出目標が基準年排出量比-0.5%とすることが決定された。

2005年2月に「京都議定書」が発効した。これを受けて同年4月に「京都議定書目標達成計画」が閣議決定された。この計画では日本の温室効果ガスを基準年の総排出量に対して京都議定書の第一約束期間(2008年～2012年)に6%削減約束を確実に達成するために必要な措置が定められている。具体的には、(1)排出抑制対策と施策の推進、(2)森林吸収源、(3)京都メカニズムにより目標を達成する計画である。この計画では、第1約束期間における温室効果ガスの6%削減約束の達成に必要な措置を定められた。地球温暖化対策推進大綱に対して CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,



N<sub>2</sub>O,代替フロン等3ガス（HFC, PFC, SF<sub>6</sub>）の排出目標値が見直されたが、京都議定書目標達成計画の第1約束期間（2008～2012年）における排出目標は、基準年排出量比-0.5%のままである。

2006年に「改正大気汚染防止法」が施行されVOCの排出規制が開始された。また「地球温暖化対策の推進に関する法律」が一部改正された。

2007年6月にはフロン回収破壊法が改正された。

2008年1月に京都議定書第1約束期間が開始された。

京都議定書の6%削減約束と日本の温室効果ガス排出量は表1.1.1.1.1に示すように、基準年の温室効果ガスの排出量1,261[百万t-CO<sub>2</sub>]に対して、排出抑制対策と施策の推進および森林吸収と京都メカニズムにより-6%の削減達成を約束している。

特に代替フロン等3ガスは、旧大綱目標+2.0%、旧目標達成計画+0.1%、平成20年3月に改訂された目標達成計画-1.6%とより厳しい達成約束目標に設定されている。

2013年以降の第2約束期間には我が国は参加しないため、議定書上の削減義務は課されないが、議定書から抜けているわけではなく継続して代替フロン削減の活動が求められている。

図1.2.1.2.1にフロン類を巡るオゾン層保護対策、温暖化対策の流れを示す。

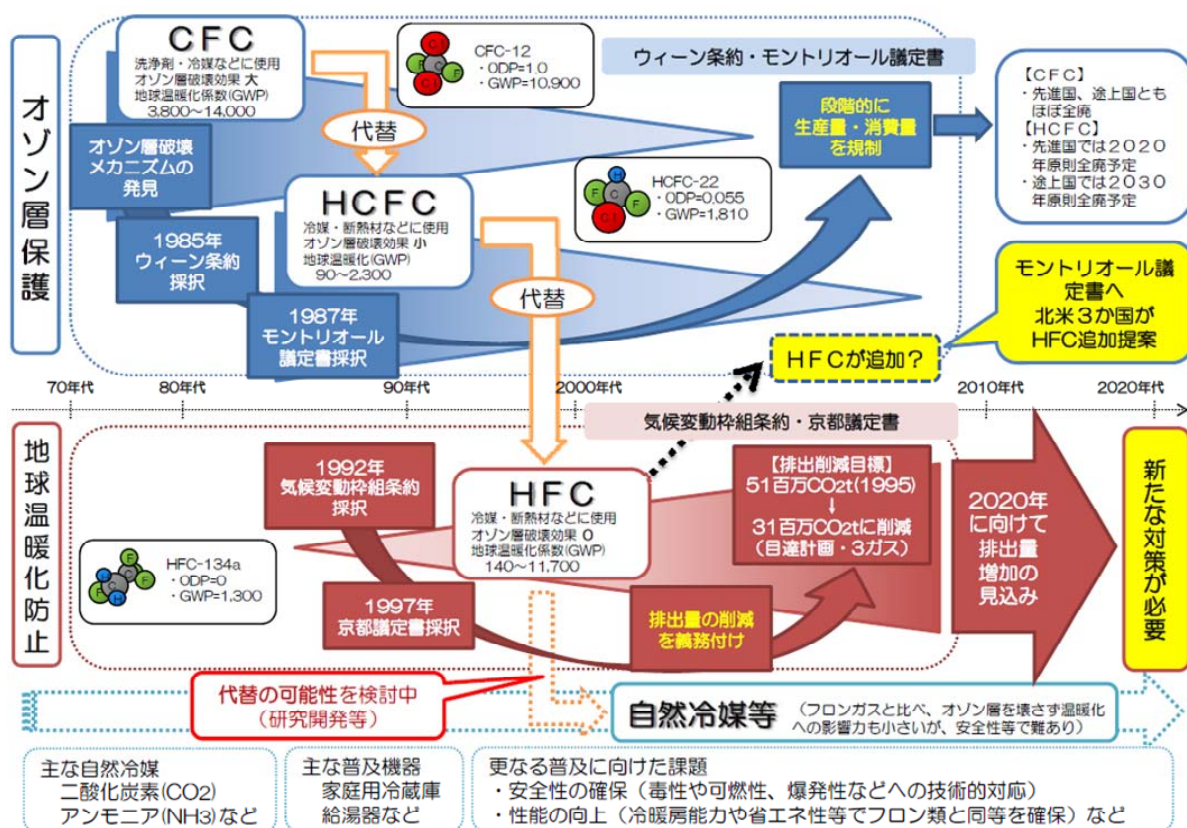


図 1.2.1.2.1 フロン類を巡る規制と対策の流れ

## 1.2.2 事業の目的と位置付け

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済と社会の実現と、安全で安心な国民生活を  
実現するためには、革新的な技術開発や低炭素社会の構築等を通じた地球全体での温室効果ガ  
スの排出削減が必要である。

「環境安心イノベーションプログラム基本計画」では、研究開発内容として、(1)CO<sub>2</sub> 固定化・  
有効利用技術、(2)脱フロン等技術が規定されている。脱フロン等技術とは、代替フロンの排出  
量を抑制するために必要となる代替フロンを削減する技術である。

「革新的ノンフロン系断熱材技術開発」は、脱フロン等技術分野に含まれている。本開発は、  
エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行われるものであり、住宅・建築物の省エネル  
ギーという社会的要請に応えるために超微細発泡等による断熱性能の向上のための技術開発を  
行う。本技術開発プロジェクトにおいては、(1)断熱性能に優れた革新的なノンフロン系の高性  
能断熱材の開発、(2)ノンフロン断熱材の早急な普及を行うための実用化技術の開発を実施する。

既存のノンフロン断熱材では達成できていない断熱性能を実現し、更には従来のフロン断熱  
材の断熱性能を超える高断熱性能を実現する断熱材を 2012 年頃を目処に開発する。研究開発  
期間は、2007 年度～2011 年度の 5 年間である。

図 1.2.2.1 に他のフロン対策プロジェクトとの関係を示す。

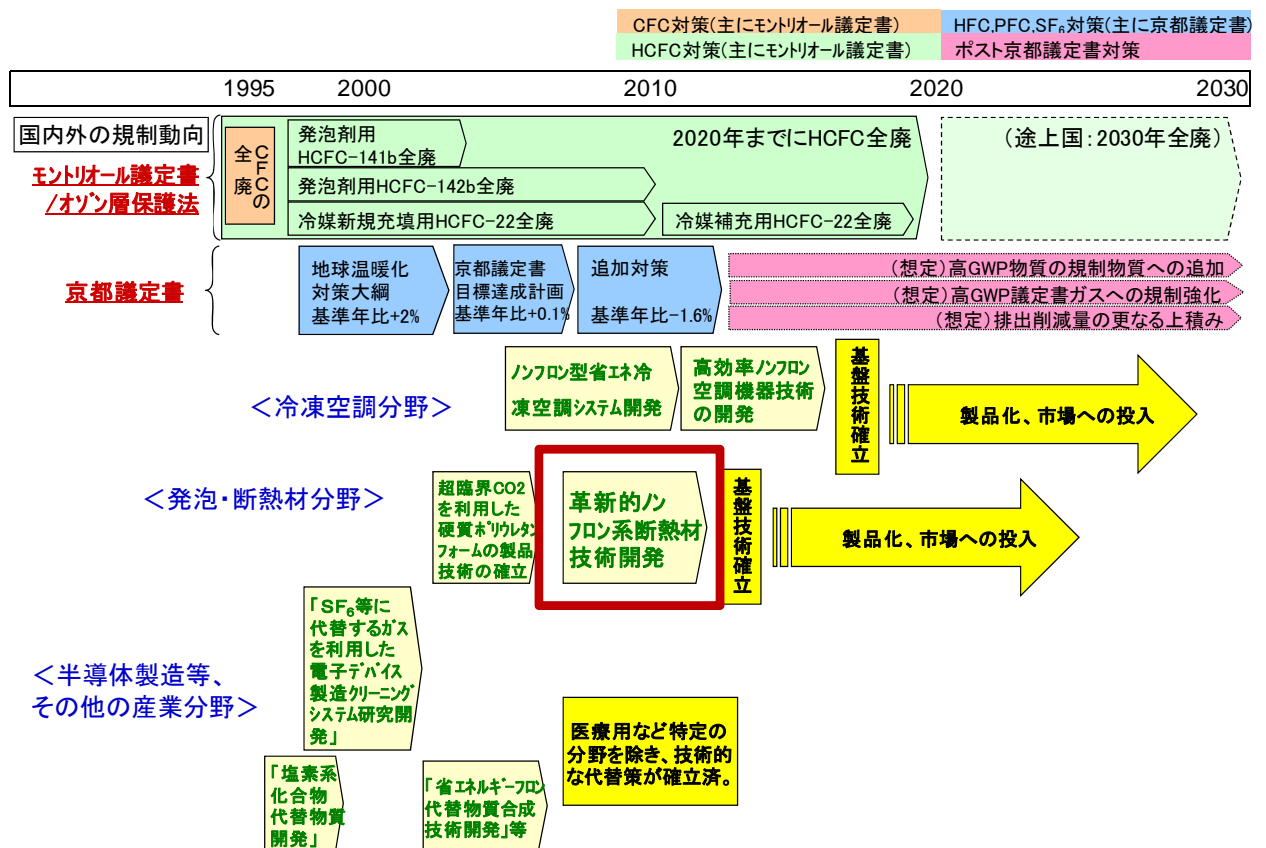


図 1.2.2.1 NEDO フロン対策分野での位置付け

また図 1.2.2.2 に環境安心イノベーションプログラムにおける位置付けを示す。

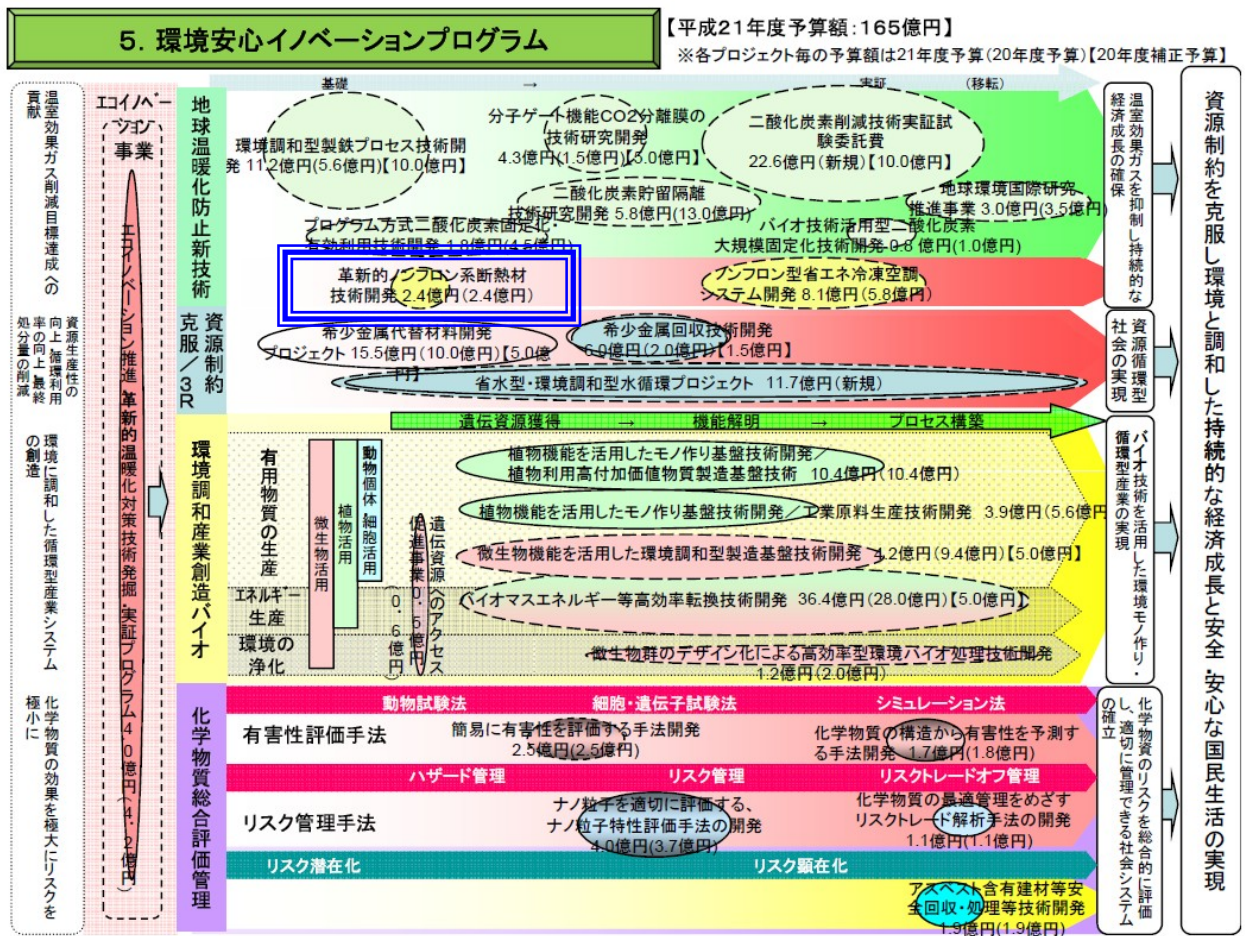


図 1.2.2.2 環境安心イノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置付け  
 出席：第 27 回産業構造審議会産業技術分科会研究開発小委員会  
 (資料 環境安心イノベーションプログラム基本計画)



## 2. 研究開発マネジメント

### 2.1 事業の目標

革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクトでは、高性能なノンフロン断熱材を開発する“革新的断熱技術開発”と、開発した断熱材の性能計測・実用性の評価技術を開発する“断熱性能等の計測・評価技術開発”の2つの研究開発項目を設定した。図 2.1.1 と表 2.1.1 に事業目標と研究開発目標を示す。

#### (1) 革新的断熱技術開発

##### ① 中間目標（平成21年度）

当該プロジェクトはテーマ公募型を主体として運営するため、提案採択時に提案内容を精査の上、中間目標を設定する。

##### ② 最終目標（平成23年度）

現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上（熱伝導率 $\lambda \leq 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$ を目安）の断熱性能を有し、高断熱性能を長期間維持するために初期熱伝導率の経年劣化を抑制し、実用化、市場化に際して経済性を考慮した上で、従来技術（フロン系硬質ウレタンフォーム現場発泡）と比肩して優位性のある性能・特徴を有する革新的なノンフロン系断熱技術を確立することを目指す。

#### (2) 断熱性能等の計測・評価技術開発

##### ① 中間目標（平成21年度）

当該プロジェクトはテーマ公募型を主体として運営するため、提案採択時に提案内容を精査の上、中間目標を設定する。

##### ② 最終目標（平成23年度）

新規ノンフロン断熱技術の基礎研究及びその実用化研究の進捗に歩調を合わせ、実用的な断熱性能等の各種性能計測技術や品質評価手法の開発を目指す。

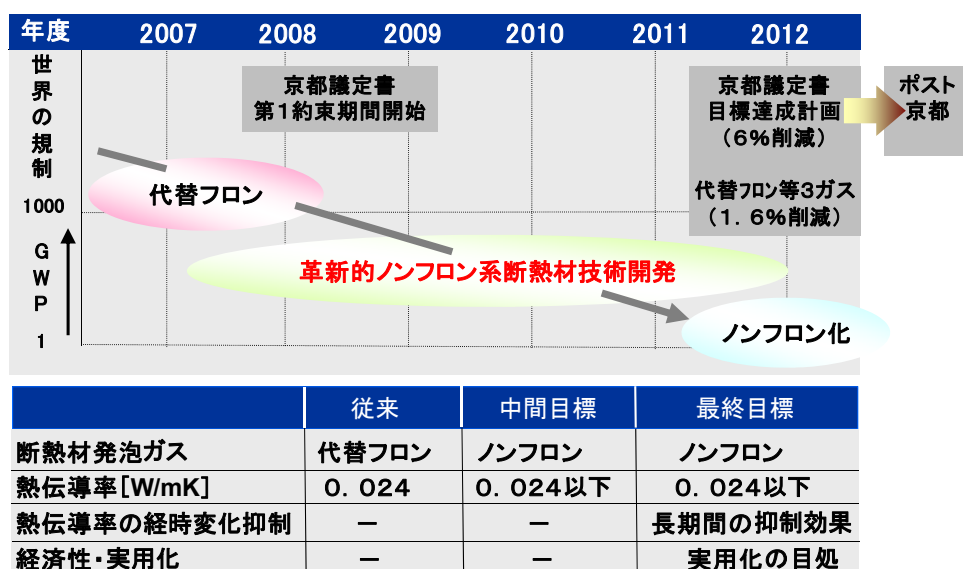


図2.1.1 事業の目標



表2.1.1 研究開発目標

研究開発項目	研究開発目標	根拠
① 革新的断熱技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>ノンフロン系断熱材</b>を用いて、現状のフロン系ウレタンフォームと同等以上の断熱性能 <b>熱伝導率 <math>\lambda \leq 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}</math></b></li> <li>■ <b>熱伝導率の経時変化を抑制</b></li> <li>■ 実用化、市場化に際して経済性を考慮した上で、従来技術と比肩して優位性のある性能、特徴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現状のノンフロン系断熱材は、断熱性能、製造時の燃焼性、施工性の問題で本格採用未達</li> <li>■ 炭酸ガスはフロンに比べて分子量が小さいため、樹脂内から透過しやすく経時的断熱性能の劣化大</li> <li>■ 市場参入するには、既存品との差別化が必要</li> </ul>
② 断熱性能等の計測・評価技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 実用的な断熱性能の<b>計測技術</b>の開発</li> <li>■ <b>品質評価手法</b>の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 開発した断熱材の断熱性能を実用的に計測する技術が必要</li> <li>■ 高性能断熱材の普及促進のために製品の品質を評価する基準と手法が必要</li> </ul>

## 2.2 事業の計画内容

### 2.2.1 事業全体の計画

革新的断熱技術開発は5つの開発技術に、断熱性能等の計測・評価技術開発は2つの開発技術に細分化した。表 2.2.1.1 に個々の開発技術の概要を、表 2.2.1.2 に各事業者の研究開発概要を示す。

#### (1) 革新的断熱技術開発

建材を中心とする断熱材（現場発泡品も含む）におけるノンフロン化技術を開発するために、断熱材構造の微細化・多孔化技術、各種断熱素材のハイブリッド化技術、発泡体／低GWP発泡剤の合成技術等の、新しいコンセプトを用いた各種の要素技術を、基礎検討から施工・加工プロセスも含めた実用化技術に至る各段階において、検討・開発する。

5つの開発技術（基盤技術開発、発泡ガス開発、硬質ウレタン技術開発、複合断熱材技術開発、発泡断熱ボード開発）に細分化した。

#### (2) 断熱性能等の計測・評価技術開発

断熱材の多孔構造の微細化および断熱性能の高性能化に伴い必要不可欠となる、微細多孔構造の熱伝導率測定方法並びに高性能断熱性能測定方法を検討・開発する。また、必要に応じて、規格化・標準化のための項目について検討を行う。

表 2.2.1.1 事業全体の研究開発概要(開発技術別)

研究開発項目	開発技術	開発概要
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	超低熱伝導率構造体を高分子発泡体で実現するための基盤技術の開発
	発泡ガス開発	温暖化係数が小さく、断熱特性も優れた発泡剤の合成技術開発
	硬質ウレタン技術開発	フロン品と同等の断熱性能を実現する現場発泡ウレタンフォームの原料開発、微細発泡技術の開発
	複合断熱材技術開発	熱伝導率の低いエアロゲルとハイブリッド化した新規断熱材の開発
	発泡断熱ボード開発	押出發泡断熱ボードの工場製造技術の開発
断熱性能等の計測・評価技術開発	計測技術開発	簡便かつ迅速に熱伝導率を評価する小型軽量装置の開発
	評価技術開発	断熱材の総合的な実用性を評価できる評価方法（ガイドライン）の開発

表 2.2.1.2 (1/2) 事業全体の研究開発概要(事業者別)

	研究開発項目	革新的断熱技術開発
	開発技術	基盤技術開発
No1	事業者	京都大学
	開発題目	超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定とその創製のための基盤研究
	開発概要	4つの要素（高空隙率、微細孔、高バリア性、低熱伝導空間の導入）を踏まえた超低熱伝導率構造部材の研究開発
	開発技術	発泡ガス開発
No2	事業者	独立行政法人 産業技術総合研究所
	開発題目	次世代断熱発泡剤の研究開発
	開発概要	温暖化係数が小さく断熱特性も優れた発泡剤の合成技術開発
	開発技術	硬質ウレタン技術開発
No3	事業者	アキレス株式会社
	開発題目	ノンフロン・ウレタン断熱技術の研究開発
	開発概要	超臨界炭酸ガス発泡によってノンフロン化したウレタン断熱材を更に微細セル構造化することにより断熱性能を向上
No4	事業者	日清紡ケミカル株式会社
	開発題目	熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発
	開発概要	経時変化後において現状フロン系断熱材と同程度の熱伝導率を維持可能なノンフロン系断熱材の製造技術等の研究開発
No5	事業者	旭硝子株式会社
	開発題目	水発泡（もしくは、超臨界 CO <sub>2</sub> 発泡）による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発
	開発概要	ポリオール構造制御および樹脂構造の制御による水発泡の新規現場発泡ウレタン材の技術開発

表 2.2.1.2 (2/2) 事業全体の研究開発概要(事業者別)

No6	事業者	BASF INOAC ポリウレタン株式会社
	開発題目	発泡剤の気相／液相制御技術等による現場発泡高断熱ウレタンフォームの技術開発
	開発概要	発泡剤の気相／液相制御技術の確立により、現状のフロン品と同等の断熱性能他を有する革新的ノンフロン系断熱材の実用化
	開発技術	複合断熱材技術開発
No7	事業者	独立行政法人 産業技術総合研究所、東京理科大学、シーアイ化成株式会社
	開発題目	発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発
	開発概要	ポリマーの発泡セル内を低密度シリカで充填した発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材の開発およびその連続製造プロセスの開発
No8	事業者	旭ファイバーグラス株式会社
	開発題目	先進的高機能無機質系断熱材の研究開発
	開発概要	ナノ多孔質構造シリカを無機質繊維基布に担持したシート状断熱材の開発
No9	事業者	アキレス株式会社
	開発題目	ナノゲル断熱材の研究開発
	開発概要	フロンのような発泡剤を使用せず粒子径をナノサイズ化して空気の対流や輻射を抑制した比重の小さい多孔質ナノゲルを用いた断熱材の開発
	開発技術	発泡断熱ボード技術開発
No10	事業者	東レ株式会社
	開発題目	新規断熱性向上シートの研究開発
	開発概要	ナノ技術を駆使した微細発泡技術とガスバリアにより断熱性能を向上したシートを開発
No11	事業者	株式会社カネカ
	開発題目	高断熱性ノンフロン押出發泡体の研究開発
	開発概要	熱可塑性樹脂を用いた共押出法による高断熱多層押出發泡体の開発
	研究開発項目	断熱性能等の計測・評価技術開発
	開発技術	計測技術開発
No12	事業者	東京工業大学
	開発題目	交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発
	開発概要	温度波の伝搬挙動を精密に解析した新しい熱伝導率測定法を確立し、現場型の小型軽量測定装置を開発
	開発技術	評価技術開発
No13	事業者	建材試験センター
	開発題目	革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価
	開発概要	断熱材および断熱性能測定技術の実用性評価方法の検討および、この評価方法を用いた実用性の評価

図 2.2.1.1 に事業全体の開発スケジュール、表 2.2.1.3 に研究開発予算（実績）を示す。H21 年度に実施した中間評価分科会、技術委員会、PL ヒアリングなどでの評価に基づき開発体制を H21 年度末に見直した。革新的断熱材技術開発の中の事業化が有望な事業者は H23 年度まで継続実施した。また、その開発成果を革新的断熱材技術開発の各事業者に提供するために、計測技術は H21 年度、評価技術は H22 年度に開発を完了した。

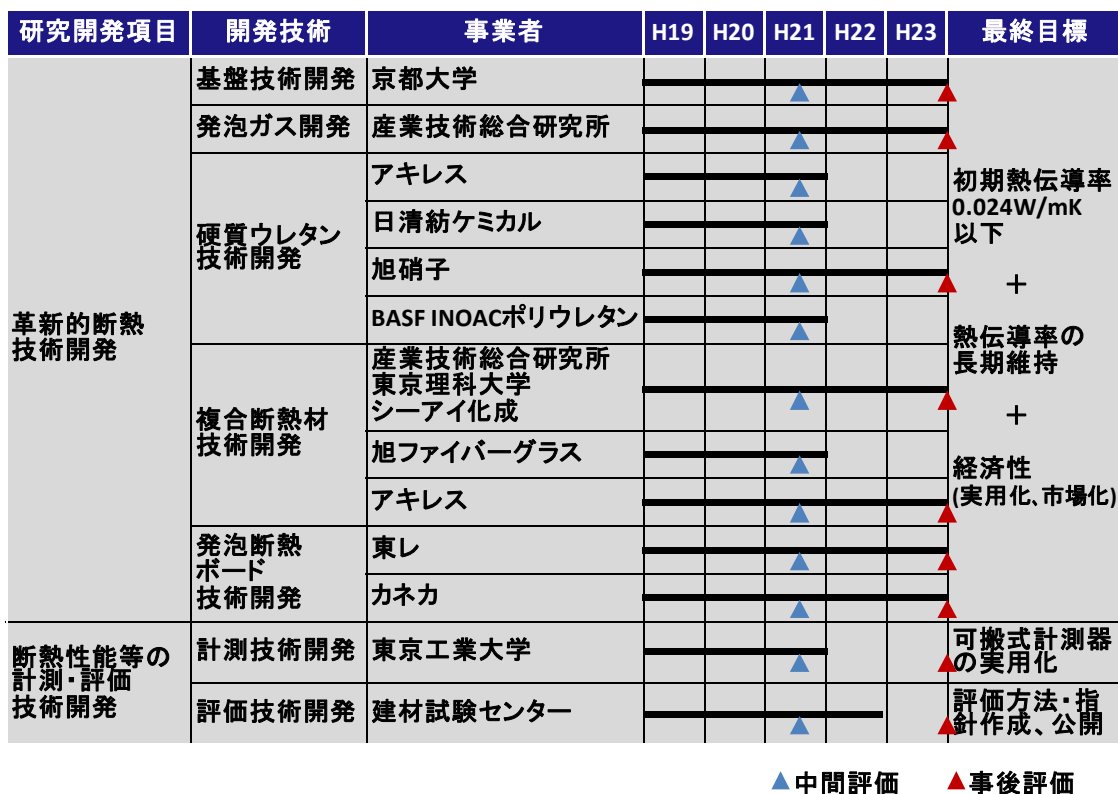


図 2.2.1.1 研究開発スケジュール

表 2.2.1.3 研究開発の運営管理（開発予算）

（単位：百万円）

研究開発項目	開発技術	H19	H20	H21	H22	H23	合計
革新的断熱 技術開発	基盤技術開発	22	22	25	26	21	115
	発泡ガス開発	16	13	15	18	16	78
	硬質ウレタン技術開発	72	61	42	3	10	188
	複合断熱材技術開発	91	91	62	32	22	298
	発泡断熱ボード開発	73	82	74	58	61	349
断熱性能等の 計測・評価技 術開発	計測技術開発	28	23	17	0	0	68
	評価技術開発	10	9	10	4	0	33
合計		313	300	245	140	131	1,129

## 2.2.2 研究開発項目毎の計画

### 2.2.2.1 革新的断熱技術開発

#### 2.2.2.1.1 基盤技術開発

##### 2.2.2.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

その創製のための基盤研究」(委託事業)

## I 事業の計画内容

### (1) 事業目的

フロンガスを利用せずに、熱伝導率が  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  以下の超低熱伝導率構造体を高分子発泡体などで製造する技術の開発を目標とする。具体的には、超低熱伝導率構造部材の実現に必要な4つの要素(高空隙率、微細化、高バリア性、低熱伝導空間の導入)を具現化した断熱材の製造技術の提案とその試作を行う。

### (2) 事業概要

超低熱伝導率構造体を高分子発泡体で実現するための基本技術のコンセプトの提案とその実証実験を行う。具体的には、超低熱伝導率構造部材実現に必要な要素(高空隙率、微細孔、高バリア性、低熱伝導空間の導入)を取り入れた、次の4つのサブテーマからなる研究を進めた。中間評価(H21年度末)における熱伝導率の達成目標値は、ウレタン発泡体およびポリスチレン断熱材の平均的な熱伝導率  $0.033\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  においた。また、④については、東京工業大学の熱伝導測定装置が開発されるまで、プロジェクトリーダー(PL)として参加全企業の進捗管理を的確に行うためのものであった。

#### ①【微細化+高発泡率化】

ナノセルラー発泡体の創製による発泡体のセル構造の微細化と高空隙率の実現のための基礎技術開発

#### ②【高バリア性化】

気体透過性の制御による低熱伝導の長期性の確保を目指して、気泡内壁の架橋反応・シリケート化などによる高バリア性(低二酸化炭素透過性・真空度高保持能力)を賦与した発泡体の開発

#### ③【低熱伝導空間の導入】

中空カプセル・中空ファイバーあるいはエアロゲルと発泡体のコンポジットによるプラスチック発泡構造体中への低熱伝導空間の導入のための基本技術開発

#### ④【評価】

熱伝導率測定装置を開発し、参加企業からの発泡体を統一的に測定

研究計画としては、①から③の研究テーマを初年度から並列に進行させ、テーマ毎に作製条件の最適化を図り、達成しうる断熱性能ならびに技術の可能性を見極めた。その後、事業化の可能性の観点からサブテーマの選択集中ならびにサブテーマ間の成果の融合・相互利用を図り、

低熱伝導率ならびに長期性の観点からより優れた技術の実現について検討していった。尚、最終年度では、従来のプラスチック成形法での製造の可能性を検討し、事業化の可能性についての判断を行った。

## II 個別研究テーマの計画内容

### ①【微細化・高発泡率化】 ナノセルラー発泡体の創製による発泡体のセル構造の微細化と高空隙率の実現のための基礎技術開発

以下の項目について検討した。

- i. 共重合体を含め高分子ブレンドが呈する海島模様のもルフォロジー（混合形態）を気泡生成・成長のテンプレート（鋳型）とし、島相と海相への発泡剤の溶解度の違い、粘弾性の違いを活かし、気泡の核生成を分散相に局在化させナノセルラーを作る製造手法の開発する。
- ii. マイクロサイズの気泡とナノサイズの気泡のバイモーダル構造を持つ発泡体を創製する。マイクロサイズの気泡で空隙率を担保し、ナノサイズの気泡でさらなる熱伝導度の低減を図る。
- iii. 結晶構造を気泡生成・成長のテンプレートとし、結晶間に局所的に気泡核生成を誘起させ、気泡の成長による延伸で、結晶からナノフィブリルを紡ぎ出すような形で高空隙率の多孔構造体を作製する手法を開発する。
- iv. ナノセルラーやバイモーダルセル構造をコアバック射出発泡成形法により工業的に実現する手法を検討する。

H19～20年度は、i) のテーマにおいて、ブレンド系（PS/PMMA, PP/Rubber）の発泡と熱伝導率測定に集中した。H20年度後半は、ii)を実施した。H21年度以降は、2成分から多成分系のブレンド樹脂にナノセルラーの発泡研究を進化させ、もルフォロジーと各樹脂の炭酸ガスの溶解性・拡散性の違いを利用した気泡径ならびに気泡密度の制御技術を確立した。H22, 23年度は、H21年度までの成果を反映させ、ブレンド系のナノセルラー発泡体の創製に集中、空隙率の向上の観点から、iii)の結晶構造利用のナノセルラーの作製を進化させた。また、最終年度には、事業化を意識し、通常の成形加工法の援用により、新たに大きな設備投資を必要としない形でのナノセルラーの製造技術の検討を行なった。

この研究における基本的な考えは、空気をその平均自由行程（大気圧・室温で 60nm）よりも小さい空間に閉じ込めることができれば、分子同士の衝突効率を低下させ、エネルギー伝達効率を落とし、発泡体中の空気の熱伝導率を通常より下げることができる（クヌッセン効果）とするものである。これにより、その断熱材空間内の空気の熱伝導率を大気圧・室温で長期的に低く保つことができると考えた。

②【高バリア性化】気泡内壁の架橋反応・シリケート化などによる高バリア性（低二酸化炭素透過性・真空度高保持能力）を賦与した発泡体の開発

具体的には、次のことを検討した。

- i. 熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂のブレンド体の発泡法および無機・有機のハイブリッド体の発泡体の製造。とりわけ、気泡内壁にシリカ層や架橋層を形成した発泡体を創製し、バリア性を向上させる。

H19、20年度は、バリア性を向上させるための基本的な手法を整理する。その中で、特に熱硬化・熱可塑性のハイブリッド系の実験を集中的に実施する。

H21年度は、UV硬化モノマーをポリスチレン（PS）に含浸させ、発泡剤である炭酸ガスを溶解させ、その後、UV照射によってスキン層ならびに内部のUVモノマーを硬化させることによりガスバリア性の高い発泡体を作る手法を考えた。しかし、この手法ではプロセスの工程数を増やすことになる。そのわりには、熱伝導率の大幅な低減には到らなかったため、H22年度以降は、低熱伝導率空間の導入と融合して、シリカ系のキセロゲルの利用を検討した。

③【低熱伝導空間の導入】中空カプセル・中空ファイバーあるいはエアロゲルと発泡体のコンポジットによるプラスチック発泡構造体中への低熱伝導空間の導入のための基本技術開発

具体的には、次の2点を検討した。

- i) エレクトロスピンニング等の装置を使って、チャンバー中に高分子と発泡剤の混合溶液を噴霧し、微粒子やナノファイバーを作製し、その微粒子・ファイバーの表層をチャンバー中で反応により硬化させ、バリア性と粘性を増加させた低圧力の中空を有したカプセル・ファイバーを形成し、発泡体中に分散させ、熱伝導率を下げる。
- ii) 低熱伝導率の気体の封止ではなく、低熱伝導率の固体の発泡体への導入を検討する。導入する低熱伝導性固体として、エアロゲル・キセロゲルを考える。

H19年度から20年度までは、i)の中空カプセル等の研究は、山形大学を中核に進めた。H19年度には、中空ならびにナノファイバーの作製研究は京大でも実施した。京大では中空ファイバーを作製し、ウレタンにフィラーとして混ぜることを考えた。H21年度は、山形大学への委託は解除し、テーマi)とテーマii)の成果を融合させて研究を進めた。具体的には、静電紡糸法により中空カプセル・ファイバーを作製し、フィラーとして利用して、高発泡率な発泡体を創製することを目指した。さらに、H22年度以降はキセロゲルをコア材として、様々な形状を有する高分子材料（発泡体、不織布、ナノファイバー等）と複合化することで強度を賦与した超低熱伝導率断熱材の作製手法について検討した。具体的には、キセロゲルの低熱伝導性を生かし、その機械的脆弱性をポリマーで補うために、ii-①ポリマーハウジング法、ii-②ナノファイバーとキセロゲルのナノコンポジット法、ii-③ポリマーコーティング法の3つの手法

を検討した。

### Ⅲ 全体スケジュール

下表に示すようなスケジュールで当該研究を実施した。

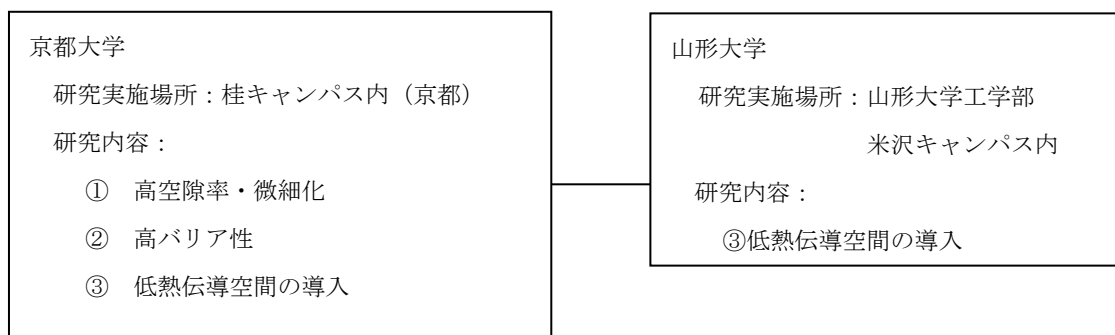
事業項目	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度
1) 高空隙化・細分化					
i) ナノ発泡（共重合、高分子ブレンド、結晶構造の利用）	→				
ii) バイモーダル（マイクロ・ナノ）		→			
iii) 結晶構造利用高空隙率ナノファイブリル体				→	→
iv) 射出成形（コアバック）					→
2) 高バリア性化					
i) UV硬化・架橋反応／モルフォロジー	→				
3) 低熱伝導空間の導入					
i) エレクトロスピンニング		→			
ii) キセロゲル／複合体				→	→
4) 断熱性能測定	→				

### Ⅳ 事業実施体制

#### (1) 研究体制スキーム

##### 【委託先】

##### 【共同実施先】（H20年度で終了）





## 2.2.2.1.2 発泡ガス開発

### 2.2.2.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

#### (1)事業の位置づけ

断熱材は建築、冷凍・空調、運輸等種々の分野で使われており、その断熱性能の向上は、熱損失を抑え、省エネルギーによる CO<sub>2</sub> の削減に大きく貢献する。断熱材の代表的なもののひとつとしてポリウレタンフォームなどの発泡プラスチック系断熱材がある。発泡プラスチック系断熱材の断熱性能は、発泡体内部に閉じ込められるガス(発泡剤)の断熱特性(すなわち熱伝導率)に大きく依存し、断熱材の構造が同じであれば、発泡剤の熱伝導率が小さいほど高い断熱性能が得られる。このため、発泡剤の断熱特性の向上(すなわち小さな熱伝導率の達成)は断熱材の性能を上げるための大きな課題である。近年注目される微細発泡技術などでも発泡体内部に閉じ込められる発泡剤の熱伝導率が性能に大きく影響すると予想され、熱伝導率の小さい化合物の開発は次世代の発泡剤として不可欠である。

気体の熱伝導率はその化合物の分子量に依存し、分子量が大きいものは熱伝導率が小さい。発泡剤として以前用いられていた CFC-11、HCFC-141b、あるいは現在用いられている HFC-245fa などのフルオロカーボン系化合物は、分子量が大きいため熱伝導率が小さく、断熱材用発泡剤として高い断熱性能をもつ。しかしながら、CFC-11 と HCFC-141b はオゾン層破壊係数を有するため全廃となっている。その代替物である HFC-245fa 等の HFC は高性能であるが GWP100 年値が大きく、京都議定書での温暖化削減目標達成の観点から改善策が模索されている。このため、温暖化係数が小さく断熱特性も優れた発泡剤の開発が強く期待されている。この様な発泡剤が開発されればまさしく究極の断熱発泡材料を提供できることとなる。

本研究では、温暖化係数が小さく断熱特性も優れた発泡剤の開発を行うことを目的とする。候補化合物について、毒性、熱伝導率、温暖化評価、燃焼性評価、VOC 評価、合成法という多方面から検討を行い、発泡剤として有望な化合物を見出す。さらに、見出された候補化合物について発泡試験を行い、断熱材用発泡剤としての実用性を検証する。

#### (2)目標値

本研究ではフッ素系オレフィン類を候補化合物とし、毒性、熱伝導率、温暖化評価、燃焼性評価、VOC 評価、合成法など多方面から検討することで、断熱特性が優れ環境への負荷の小さい発泡剤を開発する。中間目標として、発泡剤として有望な化合物を見出すことを目指す。さらに見出された候補化合物について発泡試験を行い、断熱材用発泡剤としての実用性を検証する。

#### (A)中間目標とその設定理由

- ・合成、熱伝導率、温暖化評価、VOC 評価等のデータを蓄積し、これより発泡剤として有望な化合物を一つ以上見出す。特に、この化合物は以下の特徴をもつものとする。

- ・実測あるいは類似化合物からの類推等により、熱伝導率が HFC-245fa とほぼ同等あるいはそれ以下であると判断される。
- ・実測あるいは推算から温暖化係数（100 年値）が 150 以下の発泡剤を目標とする。また、できれば温暖化係数が 100 以下を目指す。

本研究の目的が発泡剤の開発であることから、発泡剤として有望なもの少なくとも 1 つを見出すことを中間目標とした。

現状の HFC-245fa はフロン系硬質ウレタンフォームで使われており、熱伝導率がこれと同等以下の発泡剤を用いればウレタンフォームの断熱性能も同等以上と考えられることから、化合物の熱伝導率は HFC-245fa とほぼ同等以下であることを目標とした。ただし、中間評価時点では、候補となる化合物の熱伝導率の実測値が必ずしも得られなくても、類似構造の化合物の熱伝導率が HFC-245fa 等同等以下であるなど低い熱伝導率が期待できるのであれば、引き続き熱伝導率の実測を進めるのに並行して候補化合物として発泡試験等の検討に進むべきと考え、実測あるいは類似化合物からの類推等による判断とした。

温暖化係数に関しては、現在の HFC-245fa よりも温暖化係数が十分の一以下であることを目指した。ただし、これまでの冷媒の温暖化係数では、EU での 150 以下との規制があることから、同様に温暖化係数が 150 以下を目標とすることが適正と判断した。目標とする化合物は温暖化効果に大きく影響する大気寿命が短いことが期待されており、大気寿命が短ければ、その化合物が大気中に放出されたとしても速やかに除去されるため、温暖化に与える影響が少ない。このため、実測あるいは推算による判断とした。

### (B)最終目標とその設定理由

- ・候補化合物の工業生産可能な製造プロセスを確立する。
- ・発泡剤候補化合物を用いた発泡体を試作し、この熱伝導率が現在のフロン系発泡剤を用いた発泡体と同程度あるいはそれ以下であることを検証する。

発泡剤候補化合物の実用化の観点から、工業規模での製造が可能なプロセスで製造できなければならない。さらに、市場への普及を考えると安価な原料から低コストで製造できることが望ましいが、原料コストや製造技術については製造会社固有の原料や技術もあるので、どのような合成ルートがよいかは一概には言えない。このため、ここでは工業原料から工業規模での製造が可能なプロセスを開発することを最終目標のひとつとした。

さらに、候補化合物を用いた発泡体の試作を行い、発泡断熱材の発泡剤として使用可能であることを実証することを最終目標とした。発泡体の熱伝導度は発泡方法にもよると考えられるため、熱伝導度としては数値目標ではなく、HFC-245fa を用いて同様の方法で試作した発泡体と比較して同程度以下の熱伝導率を得ることとした。

### (3)研究の計画、内容

表 2.2.2.1.2.1.1 に次世代断熱発泡剤の研究開発の進捗計画を示す。

候補化合物について、毒性、熱伝導率、温暖化評価、燃焼性評価、VOC 評価、合成法とい

う多方面から検討を行い、発泡剤として有望な化合物を見出す。見出された有力な候補化合物については発泡試験により発泡条件などを検討し、微細発泡も考慮した高性能断熱材の開発を目指す。

## (A) 合成技術開発

### ①フルオロオレフィン系化合物の合成技術開発

発泡剤としての評価対象となるフルオロオレフィン系化合物について、その合成を検討する。候補と考えられる化合物について評価に必要な試料の合成を進めるとともに、合成法の改良を行う。具体的には、発泡剤として適度な沸点領域であるフルオロブテン類、フルオロペンテン類等、炭素数4、5の化合物を中心に、合成法の開発を行う。

### ②有力候補の効率的合成技術開発

中間目標時までには特性等が優れたいくつかの候補化合物を選定し、その有力な候補化合物については、工業化を視野に入れ、より実用的な合成技術を開発する。

## (B) 発泡剤としての基礎性能評価

### ①熱伝導率評価

発泡剤の断熱性評価として気体熱伝導率の測定を行う。試料量や純度が不十分なことが予想されるため、これらを考慮した測定法の導入を検討した上で、気体の熱伝導率を測定する。

### ②ポリオールとの相溶性の評価

発泡試験のための予備試験として、ポリオールと候補化合物の相溶性試験を行う。ポリウレタン原料であるポリオールに対する溶解度を測定し、従来の発泡剤と比較検討する。

### ③実用性評価

実用化への予備試験として、候補化合物の触媒等への安定性評価、および、発泡試験を行い、発泡体の製造条件、得られた発泡体の安定性、断熱性について評価する。

## (C) 環境影響評価及び安全性の評価

### ①環境影響評価

環境影響評価として、OH ラジカルとの反応速度定数を測定し、これを基に温暖化係数(GWP)の評価を行う。また、VOC としての評価として、NO<sub>3</sub> ラジカル、あるいは O<sub>3</sub> との反応速度の測定も行うと共に、これらに関する予測手法の開発も行う。これらの結果を基に発泡剤における総合的温暖化指標を確立し、候補化合物に対してこの総合的温暖化指標を応用することで最終的に優れた化合物を選択する。

②安全性評価

化合物の安全性評価として燃焼性評価と毒性評価を行う。燃焼性評価として、燃焼限界及び燃焼速度の測定を行うと共に、燃焼熱の推算を行う。毒性評価としては、変異原性について Ames 試験を行う。

表 2.2.2.1.2.1.1 次世代断熱発泡剤の研究開発 進捗計画

研究内容	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度
(A)合成技術開発					
①フルオロオレフィン系化合物の合成技術開発	→				
②有力候補の効率的合成技術開発			→		
(B)発泡剤としての基礎性能評価					
①熱伝導率評価	→				
②ポリオールとの相溶性の評価		→			
③実用性評価		→			
(C)環境影響評価、安全性等の評価					
①環境影響評価	→				
②安全性評価	→				

### 2.2.2.1.3 硬質ウレタン技術開発

#### 2.2.2.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

##### (1)事業の位置付け・必要性

###### ①背景

硬質ポリウレタンフォーム断熱材は、断熱材料の中で最も優れた断熱性能を有し、現場発泡、注入発泡、さらにラミネーションボードなどの工場生産品まで、その加工性の良さから幅広い分野で普及している。

特に建築分野での現場吹き付け発泡は、年間5万トンレベルで使用されている。硬質ポリウレタンフォーム断熱材の断熱性能が優れているのは、ガスの熱伝導率の小さいフロン系発泡剤によるものである。このフロン系発泡剤は、オゾン層を破壊する物質のため CFC-11、HCFC-141b などが全廃された。その後代替フロンが開発されて、HFC 類 (HFC-134a、HFC-245fa、HFC-365mfc など) が採用されたが、炭酸ガス削減の社会情勢の高まりから、地球温暖化係数の高い HFC 類も削減されることが求められている。このような中で、硬質ポリウレタンフォーム断熱材も工場生産できるボード類、注入パネルなどは、発泡剤として HFC 類から、炭化水素系 (ペンタン) への切り替えが進んでいる。

しかし現場吹き付け発泡の分野では、ペンタンは可燃性であるために使うことはできず、現在でも HFC 類を使った発泡が主流である。

スプレー原液には HFC 類が 10%前後含まれ、施工時にこの約 15%が飛散するだけでなく、運用の間にも漏洩が生じる。さらに、スプレーフォームは躯体と強力に接着しているために、建築物の解体時に分離回収することは非常に困難である。

現場吹き付け発泡分野のノンフロン化の手段として水発泡が実用化されているが、断熱性能が悪くなる ( $0.024 \rightarrow 0.034 \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) だけでなく施工性や歩留まりの悪化もあり普及が進まないのが現状である。したがってこれらの課題を克服することが急務となっている。

###### ②開発の位置付け

当社は、平成 15 年に超臨界炭酸ガスを利用したノンフロン・スプレーシステムを開発上市した。本システムは、代替フロンシステムと変わらない施工性と歩留まりが評価されて着実に実績を上げているが、水発泡と同様にセル中の炭酸ガスが短時間で空気と置換するために、熱伝導率は  $0.033 \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  である。

本研究では、超臨界炭酸ガスを利用したノンフロン・スプレーフォームのセル径を現状の  $200 \mu\text{m}$  前後から数十  $\mu\text{m}$  以下に微細化することによって、熱伝導率を低下させることを目的とする。

##### (2)研究開発マネジメントについて

###### (A)事業の目標

硬質ポリウレタンフォームのセルは、原液の混合時に巻込まれた空気が細分化され、これが核になって成長すると言われる。硬質ポリウレタンフォームの製造に使用するシリコーン発泡剤は、表面張力を低下させて空気を分散する機能を発揮すると同時に発泡過程でのセルの合

一防止や安定化の役割も果たす。したがって、シリコーンの最適化によってセルの微細化を図ることは可能ではあるが100  $\mu\text{m}$ 程度が限界であり、断熱性の著しい向上は期待できない。

一方、巻き込み空気以外に原液中に多数のナノ・マイクロ（以下、ナノ）バブルを存在させれば、極めて多数の核が形成され、発泡によって成長してもセルは数十  $\mu\text{m}$  以下になると考えられる。

本研究では、物理的手段、化学的手段あるいはこれらの組み合わせによって原液中にナノバブルを発生させてセルを微細化し、フォームの熱伝導率の一要素である輻射の寄与の最小化を図り、初期熱伝導率 0.024W/(m $\cdot$ K)、経時熱伝導率 0.030W/(m $\cdot$ K)を達成することを目標とする。

そのための具体的な目標は以下の通り。

- ・ナノバブル発生装置により原液中に 500 nm 以下のバブルを発生させるための条件把握
- ・ハンドミックス発泡によるナノバブル及びナノ粒子のセル微細化及び熱伝導率低下効果の確認
- ・ナノバブルの安定化及び合一防止のためのシリコーン整泡剤の選定
- ・ナノバブル化原液を使用してスプレー発泡したときの問題点の抽出
- ・ナノバブルの特性と発生条件との詳細な関係確認
- ・ナノバブル化原液をスプレー発泡するための機械的条件等と初期熱伝導率 0.024W/(m $\cdot$ K)を達成するための原液処方確立
- ・ナノバブルの長寿命化（1 ヶ月以上）、高速旋回方式の小型化及び SPG 膜方式のみを利用したナノバブル化
- ・樹脂改質による炭酸ガスの拡散防止
- ・現場試験による性能評価と初期熱伝導率 0.024W/(m $\cdot$ K)の確認

上記目標達成のため、以下の①～⑦の項目について研究開発を実施する。

#### ①ナノバブル発生装置の調査

発生装置には高速旋回式、スタティックミキサー式、微細孔式、超音波式等がある。これらは主として水中にナノバブルを発生させることを目的としているため、これらの中からウレタン原液に適用可能な方式を選定する。

#### ②ナノバブル化の検討

ナノバブル発生装置を使用し、ウレタン原液にナノバブルを発生させる方法を検討する。ウレタン原液は粘度が 200～1,000 mPa $\cdot$ s/20 $^{\circ}$ Cと高いため、加熱装置の付加、ポンプのパワーアップ等を検討する。また粒度分布測定装置を導入し、ナノバブル発生条件とナノバブルの粒径、分布、寿命との関係を求め、最適化を行う。さらに発泡時までバブルを保たせるための寿命延長の検討を行う。

#### ③ナノ粒子及びメソポーラス粒子の利用検討

ナノ粒子をウレタン原液に添加することによって気泡核とし、ハンドミックス発泡でセル微細化を検討する。また、メソポーラス粒子等を原液に添加してナノバブル化することも検討する。

④化学的セル微細化の検討

ウレタン原液中に発生させたナノバブルの発泡過程での安定化と合一の防止に適切なシリコーン整泡剤を検討する。

⑤ナノバブル化原液の発泡検討

②によりナノバブルを導入したウレタン原液でハンドミックス発泡を行い、フォームのセル径を測定することで、微細化効果の確認を行う。またナノバブル化した原液を超臨界炭酸ガスを利用した当社のスプレーシステムで機械発泡し、問題点の抽出を行う。問題がある場合は発泡条件を検討し、ない場合は物性、発泡特性を確認し、HFC 発泡フォームとの比較を行う。さらに熱伝導率の経時変化が大きい場合には樹脂の改質による改良を図る。

⑥現場発泡機への応用研究

ナノバブルの貯蔵安定性が1ヵ月未満の場合にはナノバブル発生装置を発泡ライン中への設置検討する。

⑦施工試験及び性能評価

施工厚さ、施工時の気温等が異なる現場で試験を繰返して性能評価、問題点の抽出対策を行って実用化を図る。

(B) 事業の計画

開発スケジュールを図 2. 2. 2. 1. 3. 1. 1 に示す。

事業項目	19年度				20年度				21年度			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
①ナノバブル発生装置の調査	■											
②ナノバブル化の検討		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
③ナノ粒子及びメソポーラス 粒子の利用検討			■	■	■	■	■	■				
④化学的セル微細化の検討		■	■	■								
⑤ナノバブル化原液の発泡検討		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
⑥現場発泡機への応用研究									■	■	■	■
⑦施工試験及び性能評価									■	■	■	■

図 2. 2. 2. 1. 3. 1. 1 開発スケジュール

(C) 研究開発体制

ノンフロンウレタン技術の研究開発体制は、主要研究員 1 名と研究員 3 名の 4 名の体制で開発を行う。

業務管理者：川上 博（ノンフロンウレタン断熱材の開発のマネジメント）

研究員：森 潤一郎（ナノバブル発生装置及びスプレー発泡システム開発担当）

研究員：小池 裕治（ウレタン原液へのナノバブル導入開発と原液配合検討担当）

研究員：宮田 義広（ウレタンフォーム発泡検討、物測担当）

この他ナノ粒子利用検討では研究開発本部企画グループと連携して開発を行う。

### 2.2.2.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の

#### 研究開発(平成 19～21 年度) (委託事業)

現在硬質ポリウレタンフォーム(以下 PUF と略す場合がある)の発泡剤として使用されている HFC は温室効果ガスであるため、地球温暖化への影響が懸念されており、オゾン層保護と地球温暖化防止、省エネルギーの総てを満足できる硬質ポリウレタンフォームの技術開発が求められている。

現在のノンフロン化技術としては水発泡及び炭化水素発泡があるが、水発泡の場合は断熱性能(初期・経時)の低下、炭化水素発泡は安全性確保の為に多額な生産設備コストが必要である等の課題をそれぞれ有している。

前記課題を解決する為に、過去に実施した超臨界 CO<sub>2</sub> を硬質 PUF 製造に活用する技術の応用として本研究開発を実施した。建材を用途とする断熱材分野において、現場発泡及び工場生産分野で現状のフロン系断熱材と同等程度の安全性、断熱性能、コスト、施工性、生産性を有する熱伝導率経時劣化を抑制したノンフロン系硬質 PUF 製造の基礎技術及び実用化技術を開発することを目的として以下の内容の研究開発を実施する。

#### (1)混合ガスの安全性、安定性等の評価

超臨界 CO<sub>2</sub> は液体と気体の性質を合わせ持つ為に優れた混合性(溶媒性能)と拡散性を有し、他の物質と混合し易いと考えられる。更に、CO<sub>2</sub> や超臨界 CO<sub>2</sub> は不燃性であり可燃性である例えば炭化水素系物質と混合した場合には危険性を減ずる可能性もあると考える。

本研究開発では CO<sub>2</sub> と混合可能で、GWP が小さく、低熱伝導率である可燃性物質(表 2.2.2.1.3.2.1 参照)を選定し、ガスの混合性とその混合したガスの安全性、安定性等の評価を実施し、硬質 PUF 発泡に適した引火性の低い実用可能な混合ガスを選定する事を目標とする。

表 2.2.2.1.3.2.1 ポリウレタンフォーム発泡剤候補物質の主特性比較

項目	二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	HFC-245fa CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	シクロペンタン C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	ジメチルエーテル CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	HFE-254pc CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	HFC-152a CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
ODP	0	0	0	0	0	0
GWP	1	950	3	2	359(30)	140
熱伝導率 [W/m・K]	0.017 (23℃)	0.012 (23℃)	0.012 (23℃)	0.013 (25℃)	0.013 (50℃)	0.014 (23℃)
沸点 [℃]	-78	15	49	-25	37	-24
比重	1.03	1.32	0.75	0.66	1.29	0.9
爆発限界[vol. %]	-	-	1.5-9.5	3.4-27	5.4-24.4	3.9-16.9
引火点 [℃]	-	-	-42	-41	56	<-50



(2) 混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価

(1) で選定した混合ガスと PUF 原料との溶解性評価を実施し、混合し易い硬質 PUF 原料を特定する事を目標とし使用可能な PUF 原料の選定を実施する。又、取扱いの基礎技術の確立を目標として混合ガスの発泡時の安全性に関する評価を行う。発泡時には混合ガス成分が揮散する可能性がある為に現場発泡を想定した雰囲気や工場生産を想定した雰囲気での揮散ガスの成分、濃度測定等を行い、安全性の確認も実施する。

(3) 混合ガスを利用した硬質 PUF の LCA 評価

(1)、(2) で安全性を確認した使用可能性のある混合ガスを用いた硬質 PUF の GWP の比較を実施し、研究開発成果の LC-CO<sub>2</sub> を推定する。

(4) 混合ガスを使用したウレタンフォーム発泡システムへの応用技術開発

(1)、(2) で安全性を確認した混合ガスを硬質 PUF 液体原料中に連続溶解させ、原料中のガス溶解度を制御し、それを気泡核として微細で均一な発泡セルを有する硬質 PUF 系断熱材を現場発泡や工場生産に利用する為の実用化研究前段階の研究開発を行う。本研究開発は、平成 19 年度はテスト発泡が実施可能な PUF 成型品を得る事、平成 20 年度は特性評価が可能な PUF 成型品を得る事を目標として実施する。

更に、断熱性能に関しては、水発泡をはじめとする CO<sub>2</sub> を発泡ガスとして用いる独立気泡の硬質 PUF は、初期熱伝導率は小さいがポリウレタンフォームセルから外部への拡散が早く 1~2 年で空気と置換してしまい熱伝導率が劣化するという課題がある為、本研究では混合ガスを利用した硬質 PUF の熱伝導率経時劣化試験を実施する。又、混合ガス使用では劣化抑制が不十分である事も考えられた為に、必要に応じて熱伝導率経時劣化抑制技術の検討も実施する。

表 2.2.2.1.3.2.2 熱伝導率経時低下を抑制したノンフロンの断熱材の研究開発計画表

研究開発項目	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
① 混合ガスの安全性、安定性等の評価	ガス選定・安全性評価	ガス再選定・安全性評価	
② 混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価	原料安定性・成型時安全性評価		
③ 混合ガスを利用した硬質 PUF の LCA 評価	モデル評価		成果 LCA 評価
④ 混合ガスを使用した PUF 発泡システムの応用技術開発	熱伝導率経時劣化評価・現場発泡技術、工場生産技術開発		
		熱伝導率劣化抑制技術検討	

注) 表中の点線は研究開発の進捗状況により実施する事項。

### 2.2.2.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub>発泡）による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」（助成事業）

#### (1)研究開発の必要性

建材用の発泡断熱材は、発泡剤としてオゾン層を破壊する特定フロン（CFC）に替わり、オゾン破壊係数（ODP）が CFC に比較して小さい代替フロン（HCFC）に切替った。その後、更に ODP がゼロである代替フロン（HFC）に推移し、現在の主流となっている。

しかし、HFC はオゾン層を破壊しないものの、地球温暖化係数（GWP）が高く、地球温暖化防止の観点からは好ましくない。

現在、断熱材用のノンフロン系発泡剤として炭酸ガス（CO<sub>2</sub>）、炭化水素（主としてシクロペンタン）、超臨界 CO<sub>2</sub>等の GWP が低い材料で検討が進められている。

しかし、現場発泡スプレーでは、引火性の高いシクロペンタンを用いることは危険である。また、CO<sub>2</sub> は、引火性を有さないが、既存の上記フッ素系発泡剤を用いた硬質ポリウレタンフォームと比較すると断熱性能が大きく低下してしまう問題がある。

現場発泡スプレーにおけるノンフロン化を達成するためには、水発泡（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub>）による新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発が必要である。

#### (2)研究開発の具体的内容

水発泡新規高断熱ウレタン発泡材の開発には、硬質ポリウレタンフォームの熱伝導率の理論式等より、以下の課題を解決する必要があると考える。

##### <解決すべき課題>

- ①熱伝導率の初期値の向上
- ②熱伝導率の経年変化の抑制
- ③ガス透過性測定手法の確立

①に関しては、弊社が持つポリエーテルポリオール界面活性制御技術を基に、ポリオールおよび配合の検討を実施し、硬質ポリウレタンフォームの断熱性能について開発を実施した。

②に関しては、ガス透過性の抑制する事を目的にポリエーテルポリオールの改質によるガスバリア性の付与について検討を実施した。

③に関しては、発泡体のガス透過性を短時間かつ直接的に測定可能な手法は、従来知られていない。効率的な開発・評価を実施するため、硬質ポリウレタンフォームのガス透過性を短時間かつ直接的に測定可能な評価手法について検討した。

#### (3)達成目標

発泡剤として水（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub>）を用いて、HFC 発泡同等の熱伝導率を有する現場発泡用ウレタン材を開発する。

①中間目標（平成 21 年度終了時）

フォーム密度：37kg/m<sup>3</sup>，熱伝導率：0.0240W/m・K

②最終目標（平成 23 年度終了時）

フォーム密度：35 kg/m<sup>3</sup>，熱伝導率：0.0220W/m・K

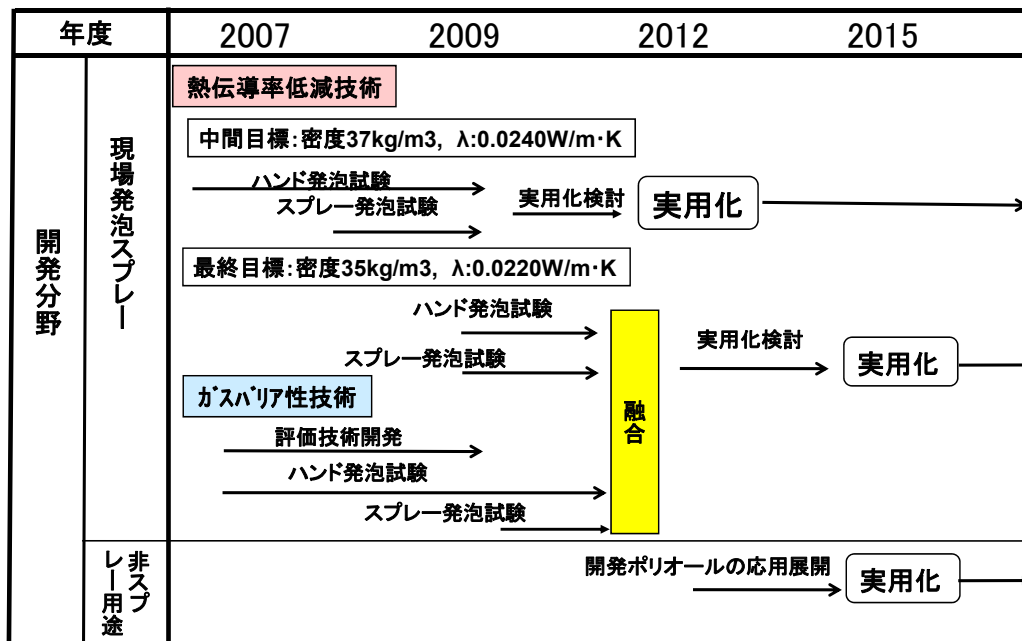


図 2.2.2.1.3.3.1 進捗計画表

2.2.2.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社「気相/液相制御技術等による高断熱  
現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」(助成事業)

(1) 事業の位置づけ

集合住宅や商業施設の結露防止を目的として現場発泡硬質ウレタンフォームが広く使用されており、現在でも HFC が発泡剤として一般的に使用されている。関連工業会の集計によると、2006 年の現場発泡硬質ウレタンフォームの生産量は約 4 万 t、このうちの 90%が発泡剤として HFC を使用しているとされている。すなわち、現場発泡分野においては、未だに 4000t 近い HFC が使用されていると試算されていることになる。

HFC 使用の目的としてはそのガス体の熱伝導率が低く、沸点が常温近くで使いやすく、価格も使用に耐えられる価格が設定してあることがこの発泡剤を採用する大きな点であると考えられる。代替発泡剤としてはウレタン反応には不可欠なイソシアネートと水の反応で炭酸ガスを化学的に発生させて発泡剤とする水発泡、炭酸ガスをそのまま導入する液化炭酸ガス発泡、フロンに替わる物理発泡剤としてのペンタンを代表とするハイドロカーボン系発泡剤などがある。しかし、水発泡や液化炭酸ガス発泡で使用する炭酸ガスはウレタンフォーム形成直後からウレタンフォームの気泡膜を通して大気中の空気と置換するため、その熱伝導率が急速に悪化、断熱材としての効果が著しく低下させる。

また、ペンタンを代表とするハイドロカーボン類は引火性が高く、スプレーなどの現場発泡用途には使用がきわめて困難であると考えられる。このような状況を鑑み、発泡剤として最後までこの HFC 発泡剤の恩恵を受け、他の発泡剤への転換が最も困難な用途としてのスプレー現場発泡用ウレタンフォームのノンフロン化技術をその基本性能を犠牲にすることなく置き換えられる発泡技術を開発することにある。

(2) 目標値

本研究開発の目標は、現状のフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有し、かつ、施工性能、経済性(施工密度)を考慮したノンフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームを開発することにある。具体的な目標値を以下に示す。

	熱伝導率(老化後)	施工性*1	施工密度*2	開発目標時期
現状の HFC 品の水準	0.026W/mK 以下	200m <sup>2</sup> /日以上	55kg/m <sup>3</sup> 以下	-
現状のノンフロン品の水準	0.034W/mK 以下	180m <sup>2</sup> /日以上	60kg/m <sup>3</sup> 以下	-
目標 1 の水準	0.028W/mK 以下	200m <sup>2</sup> /日以上	55kg/m <sup>3</sup> 以下	H20 年度末
目標 2 の水準	0.024W/mK 以下	200m <sup>2</sup> /日以上	55kg/m <sup>3</sup> 以下	H21 年度末

\*1:一般的な集合住宅結露防止工事における 1 日当りに施工可能な施工平米数量

\*2:一般的な集合住宅結露防止工事で、対象物温度が 0℃以上、施工厚みが 30mm 以上における施工密度

年度	研究開発の目標	
	開発目標 1 ( $\lambda \leq 0.028\text{W/mK}$ )	開発目標 2 ( $\lambda \leq 0.024\text{W/mK}$ )
平成 19 年 度	実験室において、気泡径 100 $\mu\text{m}$ 、寸法安定性 $\pm 3.0\%$ 以下 (70°C 及び -30°C $\times$ 24 時間) を満足する硬質ウレタンフォームを得る。	本研究開発に利用可能な多孔質吸着剤、炭酸ガスによる引火抑制技術、炭酸ガスの透過抑制技術に関する調査結果を得る。
平成 20 年 度	開発研究によって得られた現場発泡硬質ウレタンフォームが、実験室において熱伝導率 0.028W/mK を満足し、さらに実際の建築現場において施工性 200m <sup>2</sup> /日、施工密度 55kg/m <sup>3</sup> を満足することを実証する。	実験室において、熱伝導率 0.024W/mK、寸法安定性 $\pm 3.0\%$ 以下 (70°C 及び -30°C $\times$ 24 時間) を満足する硬質ウレタンフォームを得る。
平成 21 年 度		開発研究によって得られた現場発泡硬質ウレタンフォームが、実験室において熱伝導率 0.024W/mK を満足し、さらに実際の建築現場において施工性 200m <sup>2</sup> /日、施工密度 55kg/m <sup>3</sup> を満足することを実証する。

#### (A) 中間目標とその設定理由

既にノンフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームが量産使用されているが、断熱性能では熱伝導率は 0.034W/mK と現状のフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームに比べて劣っており、また施工性の面でも問題があるため本格採用には至っていないのが現状である。このため本研究開発は、現状のフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームと同等または同等以上の断熱性、施工性、経済性を目標に設定したものである。

中間目標としては目標 1 とし、既に量産使用されている水発泡あるいは超臨界炭酸ガス発泡を含む液化炭酸ガス発泡技術の改良で現状 0.034W/mK 以下という水準を 0.028W/mK 以下まで下げることが目標とした。

この目標値の設定理由は以下による。

独立行政法人建築研究所の理事長の村上周三らにより、発泡プラスチック系断熱材の熱伝導率の数値解析研究が進められ、熱伝導率の理論計算式が報告されている（出展：日本建築学会環境系論文集第 582 号, 99-106, 2004 年 8 月ほか）。これらの計算式を利用し、各種発泡剤を利用した場合の硬質ウレタンフォームの熱伝導率（初期値）を試算し、この結果を図 2.2.2.1.3.4.1 に示す。この試算結果から以下が読み取れる。

①気泡内ガスが空気の場合、気泡径を微細化した場合の熱伝導率の限界はおよそ 0.027～28W/mK となる。(グラフ上では 0.028W/mK が限界とみえるが、若干の密度調整等により 0.027W/mK も可能となる。)

②気泡内ガスが炭酸ガスの場合、ハイドロカーボン類、HFC 類と同等レベルの熱伝導率(初期値)が確保される。

しかし炭酸ガスは、気泡を構成するウレタン樹脂膜の透過率が大きいため、いずれは空気と置換または半独泡化(炭酸ガスの透過による気泡内ガス圧が負圧となり収縮が発生することから、低密度でも収縮を防止する目的で気泡構造を一部連通化する手法)するため、これらのフォームの熱伝導率は空気を気泡内ガス成分としたフォームと同等レベルにまで劣化してしまう。したがって、気泡内ガスとして空気、すなわち連続気泡或いは半独立気泡硬質ウレタンフォームにおいて、気泡を微細化することにより目標の熱伝導率 $\lambda \leq 0.028\text{W/mK}$ を満足し、且つ施工性、経済性に優れた現場発泡硬質ウレタンフォームを開発するものである。

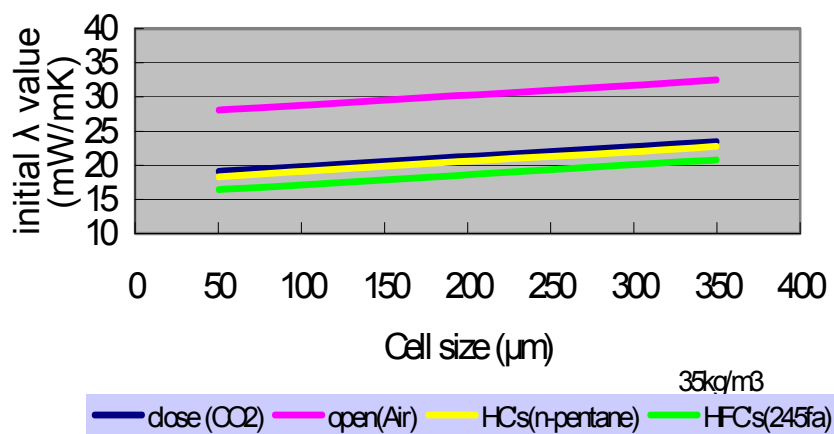


図 2.2.2.1.3.4.1 各種発泡剤を利用した時の気泡径と熱伝導率(初期値)

目標とする熱伝導率は、図 2.2.2.1.3.4.1 から達成が可能であり、また施工性、経済性の観点からも気泡構造に半独泡を採用することで可能となる。

#### (B)最終目標とその設定理由

最終目標としては目標 2 とし、現在一般に使用されている HFC 発泡の 0.026W/mK 以下を上回る 0.024W/mK 以下とした。

村上教授らによる熱伝導率理論計算式によると、発泡プラスチックの熱伝導率 $\lambda_{\text{Foam}}$ は、気泡膜間の放射熱伝導による伝熱成分 $\lambda_{\text{Radiation}}$ と固体中の熱伝導による伝熱成分 $\lambda_{\text{Solid}}$ と気泡内気体の熱伝導による伝熱成分 $\lambda_{\text{Gas}}$ の総和である。

さてポリウレタン樹脂(固体)の熱伝導率の低下が困難である現状では、気泡内ガスの熱伝導率を低下させることを除いて、フォームの熱伝導率を低下させうる因子は気泡の微細化しか残らない。(フォーム密度は内装材の設置強度及び経済性から、現状密度から大きく変動できない)

い。また支柱ポリマー含有率に関しては、その制御方法等にまだ十分な知見が得られていない。) この気泡の微細化研究は、開発目標 1 の研究対象としている。

先の熱伝導率理論計算式は、発泡プラスチックの熱伝導率  $\lambda \leq 0.024\text{W/mK}$  を満足するには、気泡内ガスによる伝熱成分すなわち低熱伝導率の発泡剤に着手するほかないことを示している。これは至極当然のことであり、これまでに多くの研究者がこの開発に従事してきたが、現時点では HC に変わる適当な発泡剤は見つかっておらず、さらにハイドロカーボンには引火性の問題から、現場発泡用途には適さないとされている。炭酸ガスも候補としては挙げられるが前述のように炭酸ガスはウレタンフォーム形成直後からウレタンフォームの気泡膜を通して大気中の空気と置換するため、その熱伝導率が急速に悪化、断熱材としての効果を著しく低下させる。

しかし、これらの障害を何らかの方法で克服すれば現在一般に使用されている HFC 発泡の  $0.026\text{W/mK}$  以下をクリアし、かつ現在の HFC 発泡より魅力的な数値  $0.024\text{W/mK}$  以下をうたい文句にすることにより、この障害を克服するために費やされる付加的な投資、あるいは価格面でのデメリットを打ち消すことが出来ると思われる。

したがって、最終目標としては老化後の熱伝導率を  $0.024\text{W/mK}$  以下と設定し、かつ施工性は現行同等、施工密度においても現在 HFC 品での水準である  $55\text{kg/m}^3$  以下とした。

### (3) 研究の計画、内容

目標 1 に挙げた熱伝導率  $0.028\text{W/mK}$  以下を達成するには前述のように如何に気泡の微細化を図るかにある。この点を以下に説明する。

当社は現場発泡に使用する液化炭酸発泡システムを開発し、既に実用化している。通常この液化炭酸ガス発泡は、ポリオール成分中に一定量を混入し、発泡剤として利用している。これをイソシアネート成分にも同時に供給することにより、2 液の相溶性を改良し、ミキシング効率を向上し、気泡の微細化を図ろうとするものである。元来相溶性のよくないポリオール成分とイソシアネート成分とを液化炭酸ガスを仲介役として機能させることで相溶性を改良しようとする試みである。さらに液化炭酸ガスの温度及び圧力を制御することにより、超臨界炭酸ガスとして利用することができる。超臨界液体は気体と同様の浸透性、溶解性、拡散性を有することから、さらなる気泡径の微細化が期待できる。

本研究は、気泡の微細化を図る手段を液化炭酸ガス或いは超臨界炭酸ガスの利用のみで解決しようとするものではなく、硬質ウレタンフォーム原液の配合処方、特に界面活性剤の最適化、或いはスプレーガンノズルの研究も同時に進め、解決を図るものである。

ここでスプレーガンノズルの研究に関して補足する。現場発泡では通常 Graco/Gusmer 社製または Glass-craft 社製スプレーガンが使用されている。これらは 2 液を衝突混合により攪拌し、スプレーパターンを得ており、その基本構造は 20 年以上進歩していない。そこで当社は、あるスプレーノズルすなわち造泡ノズルに注目している。造泡ノズルとは、水域浄化等を目的とした数  $\mu$  から  $10\mu$  の微細気泡を発生するノズルで、翼型ノズル (強い旋回流を作り、その中心に気体を混入、気柱は圧力変動により微細分裂) やキャビテーションノズル (中心に空気供給し、これを囲むように液供給ノズルを配置、気泡が液噴流により分裂) により気泡の微細化を図る

ものである。当社は液化炭酸ガス発泡設備の開発を手がけたほか、現場発泡分野で多くの発泡システムの開発実績を有しており、従来のスプレーガンとの組合せ、特にスプレーON-OFF 時のチャンバークリーニングを可能とし、現行の施工性能を維持できるものを目標としている。

目標 2 に挙げた熱伝導率 0.024W/mK 以下を達成する計画及び内容を以下に説明する。

まず、引火性の高いペンタンを代表とするハイドロカーボンを安全に現場発泡用途に使用する方法について説明する。

①活性炭やモレキュラシーブなどの多孔質吸着剤にハイドロカーボンを吸着し、これを硬質ウレタンフォーム原液に分散させ、スプレー発泡機により現場発泡する。ハイドロカーボンを吸着した多孔体はスプレーガンによってイソシアネート成分と混合攪拌され、反応熱で多孔体から脱着、気化し、発泡剤として気泡内に封印される。特に最近では、ナノテクノロジーを利用したナノ多孔体、ナノチューブなどが多く研究されており、薬剤等のデリバリー制御への応用が研究されている。本研究は、これらの最新技術の利用も視野に入れている。この他、我々が検討を進めているハイドロカーボンの引火性抑制の手段を以下に説明する。

②炭酸ガスの燃焼抑制作用は一般によく知られている。この作用を利用し、引火性を有する麻酔剤を炭酸ガスと混合することで燃焼抑制する技術が医療分野で実用化されている。前記の通り、当社は液化炭酸ガス発泡技術を有している。ハイドロカーボン発泡剤と液化炭酸ガス発泡技術の融合（さらに第 3 成分も含め）により、安全なハイドロカーボンを使用した現場発泡での施工を研究開発するものである。

炭酸ガスは元来ハイドロカーボンと同等の熱伝導率を有している。しかし炭酸ガス発泡硬質ウレタンフォームの断熱性能が、ハイドロカーボンのそれと比して劣るのは、炭酸ガスが気泡膜の透過性が高いがゆえに、空気と置換することに起因している。すなわち、気泡膜に対する炭酸ガスの透過抵抗を高くし気泡内ガスとして長期間拘束することができれば、目標とする $\lambda \leq 0.024\text{W/mK}$  を満足することができる。以下に我々が研究する解決手段を説明する。

③炭酸ガスまたはポリウレタン樹脂に化学的あるいは電氣的（イオン化など）な処理を施すことにより透過抵抗を高める。またナノ多孔体などの三次元網目構造の内部に炭酸ガスを内包、見かけ状高分子することで透過を抑制する。炭酸ガスの気泡膜透過抵抗を大きくすることは、熱伝導率の劣化を抑制できるのみならず、気泡内ガス圧が負圧になるために発生するフォームの収縮を防止でき、低密度で経済的な断熱材を提供できることを示している。



年度	研究開発の内容	
	開発目標 1 ( $\lambda \leq 0.028\text{W/mK}$ )	開発目標 2 ( $\lambda \leq 0.024\text{W/mK}$ )
平成 19 年度	スプレーガンゾルの調査及び超臨界炭酸製造設備の設計、製作を行なうとともに、液化炭酸については混入量や A/B 配分比の最適化、ラボスプレー発泡評価のステージに移行し、気泡径微細化及びこれに伴う熱伝導率の改善の検討を開始する。	多孔質吸着剤による HC 吸着特性、CO <sub>2</sub> との混合による HC の引火性抑制、CO <sub>2</sub> 透過性抑制に関わる情報収集が主な内容となるが、一部 HC 吸着特性評価や混合ガスの性状評価を開始する。
平成 20 年度	超臨界炭酸等の混入量、A/B 配分比の最適化の後にラボスプレー発泡評価を行い、熱伝導率、フォーム物性、施工性、燃焼性等を評価する。この際ウレタンフォーム原液（システム）配合処方最適化も同時に行い、目標を満足するシステムを開発、これを建築現場に持ち込み、施工性、経済性を評価し、実用性を検証することになる。またスプレーガンゾルについても同様な評価を行なうことになるが、特に従来のスプレーガンとの組合せで同様のチャンバークリーニング性能を有していることを評価する。	多孔質吸着剤の HC 吸着特性、炭酸ガス/HC 混合ガスの引火性抑止効果、炭酸ガスのセル膜透過抑制効果などの基礎データの取得と同時に、翌年度から本格的に開始されるスプレー発泡評価のためのスプレーブースの安全性確保、HC 濃度データ取得を目的に、HC 発泡可能な機器類の設置を行う。
平成 21 年度		雰囲気中の HC 濃度測定と同時にラボスプレー発泡評価を行い、熱伝導率、フォーム物性、施工性、燃焼性等を評価する。この際ウレタンフォーム原液（システム）配合処方の最適化も同時に行い、目標を満足するシステムを開発、これを建築現場に持ち込み、施工性、経済性を評価し、実用性を検証することになる。

研究 開発項目	年度		
	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
1-1 液化及び超臨界炭酸 1. 超臨界設備の設計製作 2. 液炭混入量、配分比 3. 超臨界炭混入量、配分比 4. ラボスプレー発泡評価 5. フィールドテスト	→ → →	→ →	→
1-2 スプレーガンノズル 1. 特殊ノズル調査 2. セッティング 3. 発泡条件と最適化 4. ラボスプレー発泡評価 5. フィールドテスト	→ → →	→ →	→
2-1 多孔質吸着剤 1. 多孔質吸着剤の調査 2. HC 吸脱着特性評価 3. プレミックス安定性評価 4. HC 発泡ブースの防爆機 器、HC センサ設置 5. 発泡機適合性評価 6. 雰囲気中の HC 濃度測定 7. ラボスプレー発泡評価	→ →	→ → →	→ → →

研究 開発項目	年度		
	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
2-2 炭酸ガス引火性抑制 1. 引火性抑制効果の調査 2. 混合ガスの性状評価 3. 発泡機適合性評価 4. 雰囲気中の HC 濃度測定 5. ラボスプレー発泡評価 6. フィールドテスト	→	→	→
2-2 炭酸ガス透過性低減 1. 透過性低減の調査 2. 透過性低減手法の研究 3. 効果の検証 4. 安全性, 適合性検証 5. 現場発泡工法との適合性 検証 6. ラボスプレー発泡評価 7. フィールドテスト	→	→	→

## 2.2.2.1.4 複合断熱材技術開発

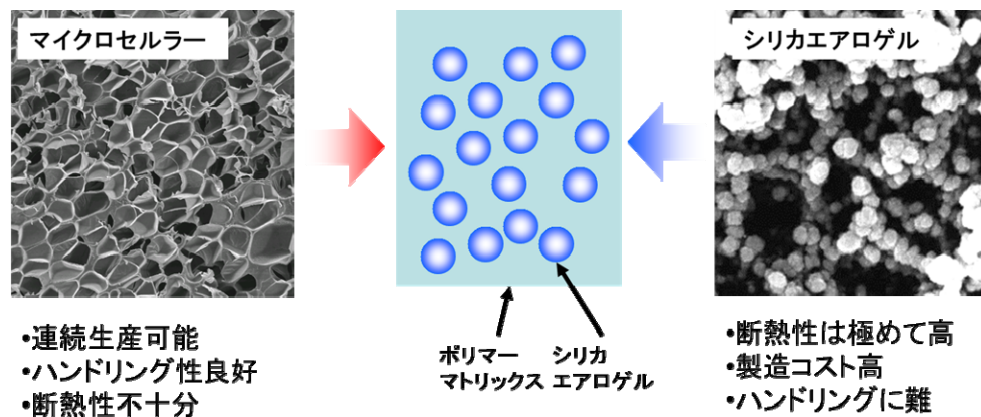
### 2.2.2.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学

#### 「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」

(委託事業)

##### (1) 事業の目的

発泡ポリマー系の断熱材は、柔軟性、ハンドリング性、生産性などに優れるものの、フロン系、炭化水素系のガスを使用しない場合の断熱性能はそれほど高くない。一方、無機系の高性能断熱材料として知られるシリカエアロゲルは、フロンガスも真空も使用せず、その構造により高い断熱性能を示すが、極めて脆く取り扱いに何があり、また、製造コストが極めて高い。もし、マイクロメートルサイズ以下の発泡セルをもつポリマーの内部を、熱伝導率の低い低密度シリカで充填した構造(図 2.2.2.1.4.1.1)を作成することができれば、両者の利点を合わせ持つ、極めて有用な断熱材料となることが期待できる。



本研究ではこのような発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材の開発を目指して検討を行う。上記のような構造を実現する手法として、ポリマー、シリコンアルコキシド、および超臨界二酸化炭素（以下  $scCO_2$ ）の均一混合状態から、減圧により多段階の相分離を行う新規手法（手法 1, 図 2.2.2.1.4.1.2）、および連続気孔型のポリマーフォーム内部にシリカエアロゲルを充填する手法（手法 2）を検討する。手法 1 については、製造過程をコストの高い高圧バッチプロセスではなく、押出成型機等を用いて連続的に、低コストで製造するためのプロセスの開発をあわせて行う。

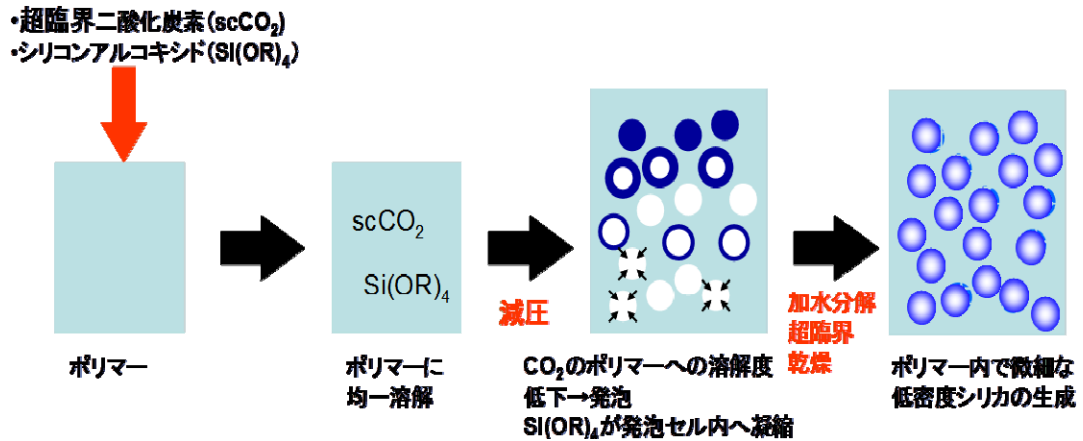


図 2.2.2.1.4.1.2 発泡ポリマー=シリカナノコンポジット断熱材の製造方法概念図

## (2) 研究開発項目の計画内容

上記材料の開発を行うため、以下の研究開発項目を実施する。項目①～④は前述の手法1に、項目⑤は手法2に相当する開発項目である。

### ①ポリマー/シリコンアルコキシド/scCO<sub>2</sub>反応系の検討 (産総研、東京理科大)

断熱材の組成の制御および製造プロセスの最適化を目的として、ポリマー、シリコンアルコキシドおよび二酸化炭素（超臨界状態(scCO<sub>2</sub>))の三成分系について、断熱性能向上のための組成の制御および製造プロセスの温度、圧力条件の最適化を目的とした反応系の検討を行う。具体的には(a)三成分系の高圧相平衡観察および(b) scCO<sub>2</sub>中におけるゾルゲル反応、表面修飾反応等の促進、の二項目を検討する。

### ②減圧、相分離過程の可視化観察と最適化 (東京理科大)

ポリマー/シリコンアルコキシド/scCO<sub>2</sub>の三成分系の減圧により、ポリマーの発泡とアルコキシドの相分離を行わせる過程の可視化観察を行い、断熱材の発泡構造の制御および製造プロセスの減圧条件の最適化を行う。

### ③断熱材の構造と物性の評価 (シーアイ化成、産総研)

ポリマー/シリコンアルコキシド/scCO<sub>2</sub>の三成分系から、バッチ発泡により断熱材試料を作成し、(a)断熱性能の予備評価、(b)熱分析による物性評価、(c)電子顕微鏡による微細構造評価、(d)断熱性能の精密な評価、を行い、製造過程の最適化に反映する。

### ④連続製造プロセスの開発 (シーアイ化成、産総研)

ポリマーの押出成型機をベースとし、ポリマー/シリコンアルコキシド/scCO<sub>2</sub>の三成分系から、断熱材を連続的に製造する装置の設計と構築、および製造試験を行う。

⑤ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの開発（産総研、シーアイ化成、東京理科大）

連続気孔型のポリマーフォームにシリカエアロゲルを含浸した材料について、以下の検討を行う。(a) 断熱性およびハンドリング性の観点から、ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化を行う。(b) バッチ法で問題となる調製プロセスのコストについて、調製プロセスのコスト低減に関する調査および検討を行う。

(3) 事業の実施計画

項目毎の事業の実施計画は下表の通りである。

なお平成 21 年度末でシーアイ化成（株）が本事業から撤退したため、平成 22 年度以降分担の見直しを行っている。

事業項目	年度					
	H19	H20	H21	H22	H23	H24
① ポリマー／シリコンアルコキシド／scCO <sub>2</sub> 反応系の検討（産総研、理科大）						
(a) 相平衡観察						→
(b) ゴルゲル反応の促進						→
②減圧、相分離過程の可視化観察と最適化（理科大）						→
③断熱材の構造と物性の評価						
(a) 断熱性能の予備評価(シーアイ)				→		
(b) 熱分析による評価（シーアイ）				→		
(c) 電子顕微鏡による評価（産総研）						→
(d) 断熱性能の総合評価（産総研）						→
④連続製造プロセスの開発（シーアイ、産総研）						→
⑤ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの開発						
(a) ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化（理科大）					→	
(b) 調製プロセスのコスト低減に関する調査および検討（産総研）						→

(4) 年度統括目標

①～⑤を統括した年度目標は以下の通りである。

なお平成 24 年度の研究期間は 4 月 1 日より 5 月 31 日までの短期間であるため、平成 23 年度の目標に含めた。

年度	目標
H19	・ 高圧相平衡測定装置および相分離過程観察装置を構築し、バッチ製造プロセス全般の定量的な解析を行う体制を整備する。
H20	・ 平均発泡径 10 $\mu\text{m}$ 以下、シリカ含有量 40 wt%以上の発泡ポリマー=シリカナノコンポジットをバッチ製造プロセスで製造する手法を確立する
	・ 連続製造装置を構築し、ポリマー、 $\text{CO}_2$ のみの系による動作試験を完了する。
	・ ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルについて、シリカエアロゲルと同程度の断熱性能と、高いハンドリング性を併せ持つ材料の調製法を確立する。
H21	・ 現行ポリウレタンフォーム（熱伝導率 0.024 W/m・K）と同程度の断熱性能を持つ断熱材料をバッチ製造プロセスにて製造する。
	・ 同系統の材料が連続製造プロセスで製造可能であることを実証する。
H22	現行ポリウレタンフォームと同程度の断熱性能を持つ断熱材料を連続製造プロセスで製造する手法を確立する。またポリマー=シリカ複合系の断熱材の製造プロセスで共通的に必要な物性データを蓄積する。
H23,24	発泡ポリマー=シリカ複合断熱材の実用的な生産プロセスを確立する。また同断熱材の製造プロセスで共通的に必要となる物性データの体系化を行う。

#### 2.2.2.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」

(委託事業)

##### (1) 研究開発の背景と目的

京都議定書の目標達成に向けては、民生部門での二酸化炭素排出量削減が必要であり、従来フロンの削減による地球温暖化防止を進める一方で、住宅、建物等の総合的な高断熱化による各種エネルギー消費の削減が急務である。

一般に、「高断熱仕様」とするならば、有機系独立気泡型発泡体を採用するのが、省スペース化の点で効果的であるが、当該発泡体において高い断熱性能を発現するのは、発泡剤としてフロン系のものを使用しているものに限られ、その他の発泡剤を使用しているものは、初期の断熱性能及び、発泡ガスの空気との置換により断熱性能が経年劣化することや、可燃性等の問題点を有している。

そのような状況の中で、空孔率が90%以上、且つ空気の平均自由行程よりも小さな空孔径を有するナノ多孔質シリカ（エアロジェル）は、その断熱性の高さから断熱材としての適用に関心が集まっている。しかし、ナノ多孔質シリカは、無機質材料特有の高い脆性により粉体状であるため、断熱材としての製品化が難しく、粉体のまま断熱材として使用しても施工時のハンドリング性が劣るものである。さらに、ナノ多孔質シリカの製造方法では、多数のナノメートルオーダーの空孔を有する構造を形成させるために、アルコール媒体ゲルを作成後、二酸化炭素による超臨界状態での媒体抽出法が一般的に用いられているが、装置上の制約があり、経済性の点で問題を有している。

当研究開発の位置付けは、無機質系材料が有する不燃性、耐熱性、耐候性を損なわず、高断熱性を目指す検討であり、高い断熱性を発現するナノ多孔質シリカをシート状基布へ担持させ、経済性及び断熱施工時の簡便性を満足させる無機質系断熱材の開発を行う。

##### (2) 事業の計画内容／研究開発内容

ナノ多孔質シリカを無機質繊維基布内で合成することにより、ナノ多孔質シリカ担持断熱材を製造することは可能であるが、施工時にナノ多孔質シリカが脱落して作業環境に好ましくない影響を及ぼす。

そこで、ナノ多孔質シリカの原料となるシラン類との反応性を有する無機系バインダーを使用して、複数の観点から検討を行い、熱伝導率が当プロジェクトの目標値  $0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$  以下のナノ多孔質シリカを担持したシート状断熱材の開発を目指す。尚、ナノ多孔質シリカ合成法として、二酸化炭素による超臨界抽出乾燥法にこだわらず、装置上の制約がなく、経済性を有する方法を調査・検討する。

また、ナノ多孔質シリカは、その多孔性から断熱作用における、熱伝達・対流の抑制には効果的であるが、分子中に酸素原子を含むため、赤外線を吸収して放射熱を放出しやすい。近年、住宅・建物の断熱においても、屋根・天井等の住環境の中でも比較的温度の高い領域での断熱方法・施工も重視されている。この放射現象に着眼した遮熱性評価技術及び材料開発への転化



を行い、総合的な断熱性向上技術の確立を目指す。

下記の研究開発では、ナノ多孔質シリカ担持断熱材を開発するにあたり、

- ・ 断熱材開発のための要素技術の開発（無機系バインダー及びナノ多孔質シリカ合成、あるいは担持性評価 遮熱性評価方法の検討）
- ・ 断熱材製造としての複合化技術（ナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作）
- ・ 開発した上記技術の具体化（試作機あるいは評価機器の試作製造）

の流れに従い、各年度の目標及び詳細な研究開発項目を述べる。

平成19年度の目標	
無機系（リン酸ガラス系）バインダーの開発	無機系バインダーは、2つの工程で使用される。1つは、無機質繊維基布の表面処理剤であり、ナノ多孔質シリカを担持させる際に、シリカの前駆体と反応性を有するものであり、もうひとつは、ナノ多孔質シリカ担持後に、再度塗工して、更に担持性を向上させるものである。本研究開発のみならず、新規な無機系バインダーの技術を構築する。
ナノ多孔質シリカ担持性評価法の開発	微細な粒子を活用する材料に共通する粒子の担持性評価方法を確立するとともに、ファブリケーションにおける粒子の脱落に関する課題解決に繋げる。
平成20年度の目標	
無機質繊維基布の開発及びナノ多孔質シリカ担持断熱材構成の確立	初年度で開発する無機バインダーを使用して、無機質繊維基布の試作を実施する。評価は、繊維表面の無機バインダーの化学、物理的分析による特性把握と小サンプルでのナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作を併行することで、担持性に及ぼすバインダーの機能を明確にする。
遮熱性に関する評価技術の確立	断熱に関する要素（伝導、対流、放射）のひとつである放射に着眼した遮熱性評価技術及び材料開発への転化（放射抑制）を行い、総合的な断熱性向上技術の確立を目指す。
平成21年度の目標	
ファブリケーション技術の確立	ファブリケーション技術に関しては、多孔質粒子の接着に着目し、多孔質に起因する各種性能（断熱性、特定物質の吸脱着性等）を損なわない形での無機系バインダーを開発することにより、当該断熱材のみならず、多孔質粒子を複合する製品においても適用できる技術を確立する。

無機質繊維基布によるナノ多孔質シリカ担持体の開発	ナノ多孔質シリカの担体保持性を向上させることにより、フロンガスを使用することなく、熱伝導率 0.024W/mK 以下の高い断熱性能を有する無機質系断熱材を開発し、断熱材としての総合評価を行う。
--------------------------	--

### (3) 研究開発項目

#### ① 無機質系繊維基布を使用したナノ多孔質シリカ担持体の開発

##### (A) ナノ多孔質シリカとの反応性を有する無機系バインダーの開発 (旭ファイバーグラス)

従来、無機系バインダーとしては、シリカゾル、アルミナゾルを活用したものが多いが、これらのバインダーは硬化過程において粒子間を結合させていくため、歪あるいは亀裂が発生しやすく、造膜性という観点からは満足するものではなかった。そこで、あらかじめ高分子量化したリン系ガラスを部分開裂させることにより、上記の問題点を解決する方法を検討する。

##### (B) 無機質系繊維基布の開発、及びナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作

(旭ファイバーグラス)

上記で検討した無機系バインダーをもとに、

- i) ナノ多孔質シリカを無機質繊維基布に物理的に固着させる方法
- ii) 無機質繊維基布の表面処理剤として使用し、ナノ多孔質シリカ合成時に繊維表面へ化学反応による固着させる方法
- iii) 無機質繊維基布中でのナノ多孔質シリカ合成時に、シリカ前駆体組成に混合・反応させ、シリカ粒子間の結合を向上させる合成法

上記の観点から、ナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作を行う。上記検討 ii) 及び iii) で行うナノ多孔質シリカの合成に関して、従来使用されている二酸化炭素による超臨界抽出乾燥を採用せず、簡便で装置上の制約のない常圧乾燥法をもとに乾燥工程の検討も行う。ここでは、各諸元の変動によるナノ多孔質シリカの担持性、及び断熱性能等の諸物性の評価も行う。

#### ② ファブリケーション技術の開発及び無機質断熱材評価技術検討

##### (A) ナノ多孔質シリカ担持性向上検討 (旭ファイバーグラス)

###### (a) ナノ多孔質シリカ担持性評価装置開発

ナノ多孔質シリカの脱落を光学系装置を活用し、測定技術を確立する。

###### (b) ナノ多孔質シリカ担持断熱材試作機の検討

研究項目①で検討した結果を用いて、試作機の開発も手掛ける。平成21年度は試験機を用いてナノ多孔質シリカ担持性向上の試作を行い、無機質系断熱材の開発に繋げる。

(B)遮熱性評価技術開発及びバインダーの遮熱性向上検討

ナノ多孔質シリカにより、熱伝達を行う空気の対流抑制が可能となり、高い断熱性能が発現することが明確になっているが、シリカは放射率の高い材料であり、断熱材として使用される環境では、この多孔質の特性を損なう場合が予測される。これにより、当断熱材の性能低下に繋がる可能性があるため、補完する上で、熱線の放射抑制検討を行う。

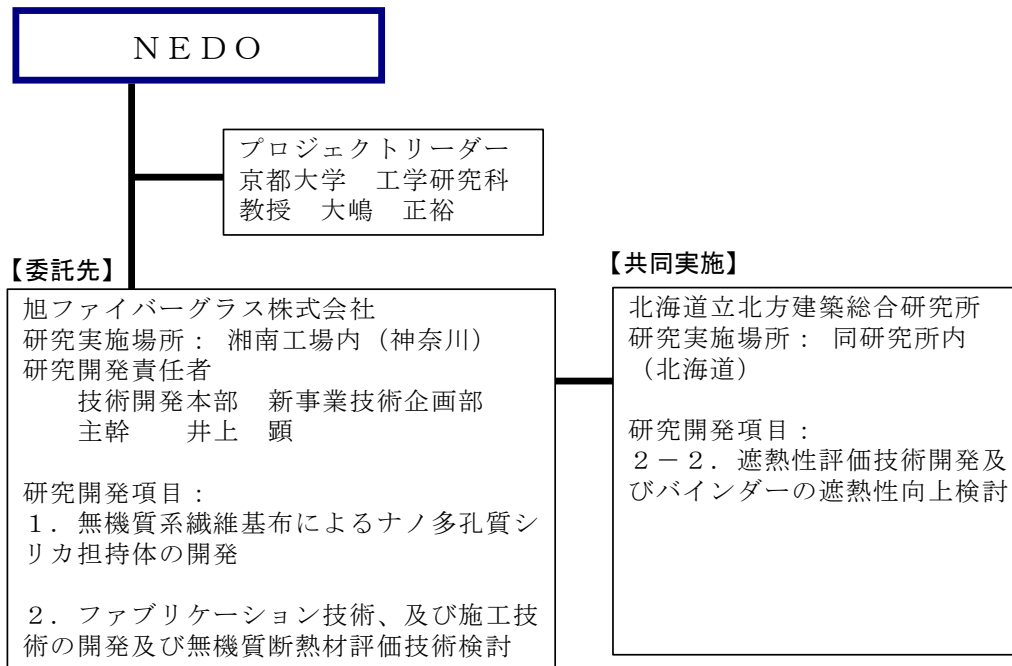
(a)遮熱性評価技術の開発（北海道立北方建築総合研究所/旭ファイバーグラス）

断熱材の材料内部や表面における熱の伝わり方には、伝導・対流・放射の3成分がある。これに対し、本研究が対象としている無機質断熱材は空気の平均自由行程よりも小さなサイズの空隙を内部に有することにより、熱伝導率の低減を図ろうとしている。このような伝導による熱の伝わりが低減された断熱材の場合には、相対的に放射による熱の伝わりが大きくなる。高性能な断熱材の開発のためには、放射を考慮した断熱性能、すなわち遮熱性能の評価が欠かせない状況となっている。そのため、本研究では遮熱性評価技術の開発を行う。

(b)バインダーの熱線反射性向上検討（北海道立北方建築総合研究所/旭ファイバーグラス）

赤外線散乱効果を有する化合物を上記で検討した無機系バインダーに組み込むことによる、熱線反射散乱機能への影響を調査する。

(4)研究体制



(5) 実施計画

事業項目	19年度	20年度	21年度
<p>1. 無機質系繊維基布を使用した ナノ多孔質シリカ担持体の開発</p> <p>1-1. ナノ多孔質シリカとの反応性を有する 無機系バインダーの開発</p> <p>1-2. 無機質系繊維基布の開発及び ナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作</p> <p>2. ファブリケーション技術の開発及び 無機質断熱材評価技術検討</p> <p>2-1. ナノ多孔質シリカ担持性向上検討 (ファブリケーション技術の検討)</p> <p>2-2. 遮熱性評価技術開発及び バインダーの遮熱性向上検討</p>	<p>→</p>	<p>→</p>	<p>→</p>

#### 2.2.2.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」(助成事業)

##### (1)事業の位置付け・必要性

###### ①背景

硬質ウレタン断熱材は、断熱材料の中で最も優れた断熱性能を有し、現場発泡、注入発泡、更にボード工場生産までその加工性の良さから幅広い分野で普及している。

特に建築分野での現場吹き付け発泡は、年間 5 万トンレベルで使用されている。硬質ウレタン断熱材の断熱性能が優れているのは、ガスの熱伝導率の小さいフロン系発泡剤によるものである。このフロン系発泡剤には、当初オゾン層を破壊する物質として CFC-11、HCFC-141b などが使用されていたが全廃された。その後代替フロンが開発されて HFC 類 (HFC-134a、HFC-245fa、HFC-365mfc など) が採用されたが、炭酸ガス削減の社会情勢の高まりから、地球温暖化係数の高い HFC 類も管理物質として段階的に削減されることとなった。このような中で、硬質ウレタン断熱材でも工場生産できるボード類、注入パネル等は、発泡剤として HFC 類から炭化水素系 (ペンタン) に移行された。

しかし、現場吹き付け発泡の分野では、ペンタン発泡剤は可燃性であるために、使うことはできず、現在でも 90%以上が HFC 類を使った発泡である。ノンフロン化は、水発泡による研究が行われているが、水発泡による現場吹き付けは、断熱性能が悪くなる ( $0.024 \rightarrow 0.034\text{W/m}\cdot\text{K}$ ) ために断熱材の厚みを厚くする必要がある。また、施工性やコスト高となって普及が進まないのが現状である。

一方、低炭素社会を迎えてあらゆる分野で炭酸ガス削減要求が高まり、建築分野において再生可能エネルギーの導入や省エネ製品との組み合わせで推進されるゼロエネルギービル (ZEB) やゼロエネルギー住宅 (ZEH) を実現するためには、断熱材の強化が必要となってきた。

建築分野での断熱材市場は無機系断熱材としてガラス繊維、ロックウールなどが耐火構造、防火構造など建築物に広く採用されているが、これらの無機系断熱材は、断熱性能が  $0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  レベルであるために、現在の 100mm 厚から 300mm 厚が必要な時代となってくる。また、有機系発泡プラスチックでは、押出スチレンフォーム、硬質ウレタンフォーム、フェノールフォームなどが外断熱を中心として採用されている。これらの断熱材は無機系断熱材よりも断熱性能は優れているが、断熱材の厚さは 100mm 以上必要な時代となってくる。

このような社会情勢のなかで、硬質ウレタン断熱材、特に現場吹き付け発泡分野では、HFC 類の発泡剤を大幅に削減していかななくてはならないこと、断熱材の厚さをより増やさなければならぬ時代が到来すること等で、フロンを使わない新しい断熱材の開発が急務となっている。

###### ②開発の位置付け

硬質ウレタン断熱材に代替する断熱材として、家庭用冷蔵庫や自販機などに普及して 10 年以上経過する真空断熱材 (VIP) がある。この断熱材は、熱伝導率がウレタン断熱材の  $1/10$  の  $0.0025\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  である。しかし、VIP は、釘やビスなどで破損すると真空度を失い単なるガラ

ス繊維の断熱性能になってしまう欠点があるため、建築分野での利用は様々な工夫が必要となっている。また、高真空度を保つ成形加工をしているために、耐久性の課題や価格がウレタン断熱材の3倍以上高い点が普及を阻害している。

新規断熱素材として古くから研究されているのは、シリカを主原料とした95%以上空気を含むシリカエアロゲルあるいはシリカナノ多孔質体と呼ばれているものである。この素材は、フロン発泡剤を全く使わずに、超臨界乾燥法を用いてシリカをナノ粒子化し、そのナノ粒子集合体の廻りを空気壁で囲うことによって熱伝導率を0.012~0.018W/m・Kを実現しているものである。

これらの材料研究は、既に海外では多くの企業が行っており、例えば断熱窓ガラスとして実用化され始めている。

アキレスでは、この新素材について既存の断熱材、特に現場吹付ウレタンフォームに付加する形で断熱性能の向上を図り、実用化すること、更にはこの素材を新たな加工法で高性能断熱材として事業化することを目標とした。

## (2)研究開発マネジメントについて

### ①事業の目標

新規素材として平成18年度に「革新的ノンフロン系断熱技術に関する先導研究」でナノ粒子径をもつ多孔質体(nano porous gel、以下ナノゲルと略す)の合成法を検討し、開発の可能性を見いだした。そこでナノゲルの原材料の合成から応用加工までを研究開発することで、新規断熱材を開発する。

主な研究課題を以下に示す。

#### 課題1 ナノゲルの合成法の開発

既にナノゲルは、有機系(イソシアネート化合物、メラミン、フェノール、ポリイミド等)と無機系(シリカ、アルミナ、カーボン、チタン等)多くの合成例がある。そこでナノゲルの基礎合成法から量産化開発までを検討する。目標断熱性能は、0.024W/(m・K)以下。

#### 課題2 既存断熱材の断熱性能向上

既存断熱材例えばノンフロンウレタン断熱材にナノゲルを応用して断熱性能の向上を図り、熱伝導率0.024W/(m・K)以下を実現する経年変化の少ない断熱材を目指す。

#### 課題3 新規断熱材の開発

ナノゲルを応用加工して様々な形態の断熱商品群を開発する。その一例としてシート状断熱材や簡易真空成形による真空断熱材(VIP)を開発する。

### ②事業の計画

ナノゲル断熱材の課題別の開発スケジュールは以下の図2.2.2.1.4.3.1のような構成で計画した。

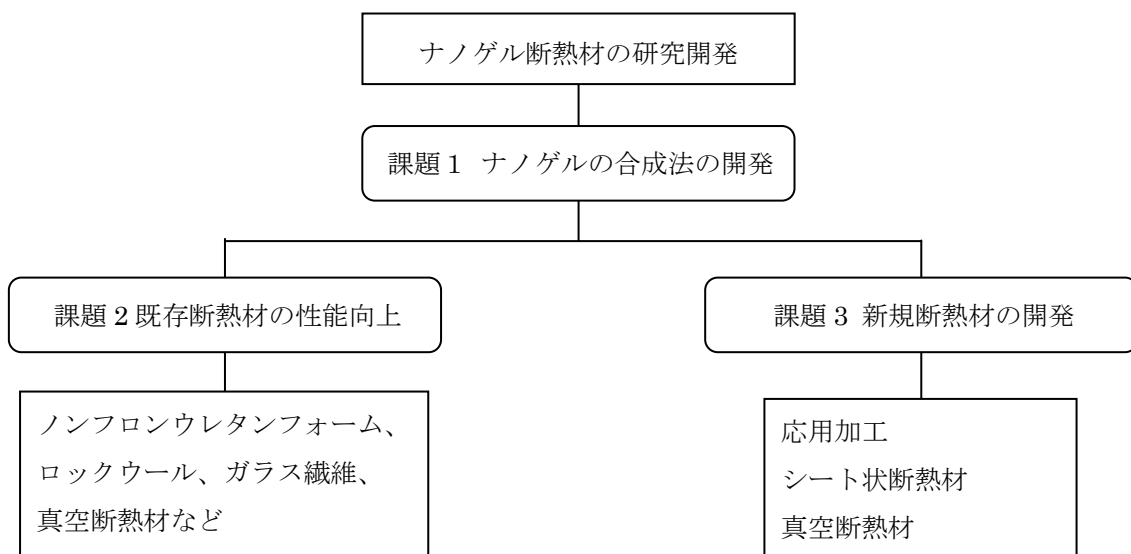


図 2.2.2.1.4.3.1 課題別開発スケジュール

### (3)研究開発体制

ナノゲル断熱材の研究開発は、主要研究員 1 名と研究員 2 名の 3 名の体制で開発を行った。

## 2.2.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発

### 2.2.2.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業/共同研究)

#### (1)研究内容

革新的ノンフロン系断熱材料として、断熱性能及び環境性能を総合的に向上させた断熱性向上シートの研究開発を行う。バイオマス材料を用いたナノ発泡による断熱・環境性能の向上技術及びノンフロン系ガスの気散抑制による断熱持続性能の向上技術について、基本技術の確立とコンセプトの実証を行う。更に、製造プロセス検討及びユーザー評価で実用価値を実証し、2012年までの実用化を目指す。本開発品を省エネ・エコ化が進む建築、輸送、家電、自動車産業の各用途に展開することにより、地球温暖化防止へ貢献する。

#### (2)事業目的

これまで建築断熱材用にノンフロン系断熱材が開発され、ノンフロン系でも比較的断熱性能の高い建築断熱材が開発されてきたが、従来のフロン系と比較すると断熱性能が十分とは言えず、また、ノンフロン系ガス自体も地球温暖化係数がまだ高いことから、性能、環境面で、それらの改善が強く望まれている。従って、性能、環境面の両面で優れる革新的ノンフロン系断熱材を設計する方策として、本事業では断熱性能、環境性能を総合的に向上させる断熱性向上シートの研究開発を目指す。

断熱性向上シートの設計ポイントを、バイオマス材料を用いたナノ発泡による断熱性能、環境性能の向上及びノンフロン系ガスの気散抑制による断熱持続性能の向上に置き、熱流制御等による従来にない断熱性能向上処方も検討する。

本研究では、上記設計ポイントに従い、既存のノンフロン系発泡材料の性能、環境面について大きく改善を図ることのできる断熱性向上シートを研究し、目標の熱伝導率  $0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$  を有する新規断熱性向上シートの基本技術確立を行う。環境性能としては、製造時の炭酸ガス排出量、ノンフロン系ガスの排出量等の試算、地球温暖化評価を行い、環境性能を総合的に指標化する評価方法を構築し、環境性能に優れる材料設計を行う。

#### (3)事業概要

図 2.2.2.1.5.1-1 に示す従来の断熱材と周辺構造を見直し、革新的断熱材と周辺の構成を一新させる断熱性向上シート(微細発泡、バリア、熱流制御)の研究を目的とする。



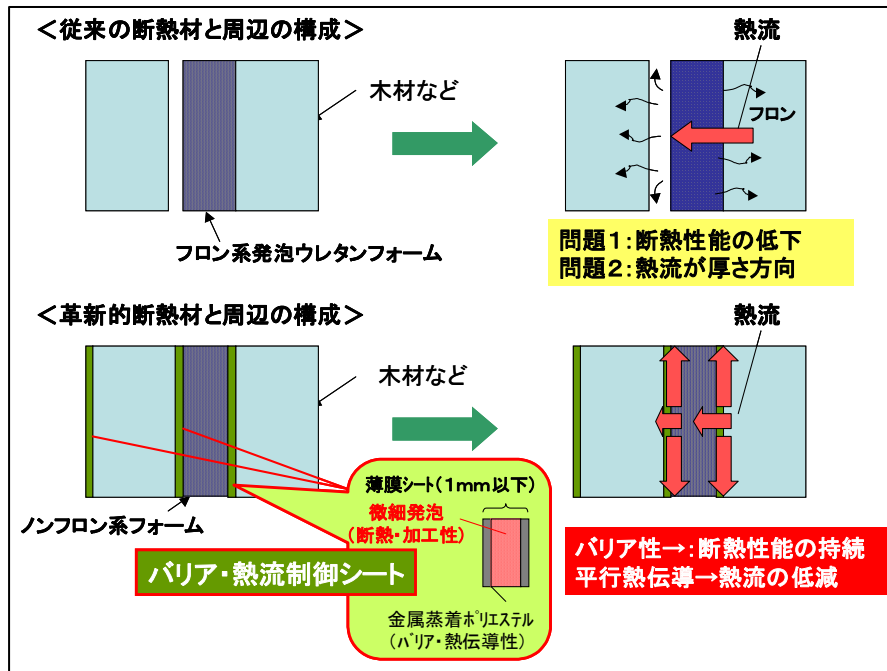


図 2.2.2.1.5.1-1 従来断熱材との比較

本研究は下記の9つの研究及び開発項目からなる。

- ①断熱性向上発泡技術の研究
- ②断熱性向上バリア技術の研究
- ③断熱性向上熱流制御技術の研究
- ④断熱性向上シートの基本設計
- ⑤新規建材材料の基本設計
- ⑥大型発泡プロセスの確立
- ⑦発泡／バリア配合技術の確立
- ⑧連続製造プロセスの確立
- ⑨実用価値の実証

基礎研究となる①から⑤では、断熱性向上発泡技術、バリア技術、熱流制御技術を確立し、実用性、環境性能に優れた断熱性向上シートの基本設計を行う。更に、新規建材材料としてバイオマス表皮材などとの複合技術を確立し、基本設計を行う。

開発研究となる⑥から⑨では、実用大の発泡体が得られる連続発泡プロセスを確立し、バリア技術との配合プロセス、これらを連続的に製造できる製造プロセスを確立する。更に、実用大サンプルを用いて顧客評価を実施し、市場におけるノンフロトン系断熱材としての実用価値を実証する。

#### (4) 事業内容

##### <H19年度>

微細発泡技術、バリア技術、熱流制御技術の基礎研究を行い、各技術のプロセス

操作因子や指針を明確にする。

### ①断熱性向上発泡技術の研究

高断熱性発現のための発泡材料の重要因子を明確にするため、発泡部（形態、径、体積）、フレーム材料部（形態、構造）を従来にない視点を含めて詳細解析し、熱伝導率との因果関係を把握する。具体的には、該発泡材料の(a)3次元熱伝導率測定、(b)発泡部、フレーム材料部の詳細解析（3次元形状解析、例えばレーザー顕微鏡及び3次元電子顕微鏡観察、原子間力顕微鏡等）を行うことにより、熱伝導率低減の重要因子を多次的に明確にしていく。上記検討の中で断熱性発泡材料を作成する際の材料、プロセスの操作因子について考察する。具体的には、製造時の炭酸ガス発生を抑制できるバイオマスポリマー／ガス発泡押出技術を検討し、発泡状態に影響を与えるポリマー及び添加物の基本物性（ガス溶解性、結晶性、熔融粘度）、プロセス因子（温度、圧力）を把握する。

さらに、上記で得られた知見を材料設計にフィードバックし、従来の発泡技術では採用してこなかった素材、技法を含めた発泡技術の可能性を追求していく。特に当社の強い要素技術であるナノ分散化アロイを用いた微細発泡に挑戦し、ナノ発泡領域を重点的に研究していく。

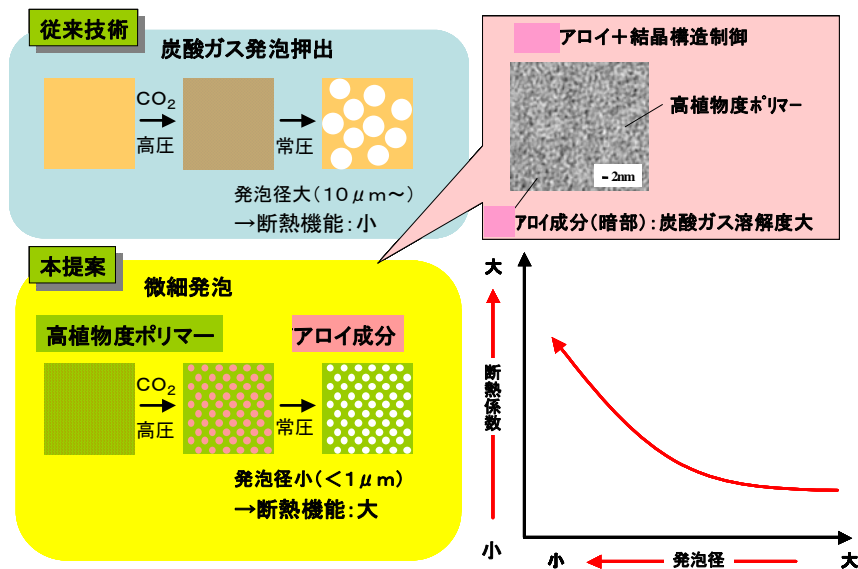


図 2.2.2.1.5.1-2 ナノ発泡のコンセプト

### ②断熱性向上バリア技術の研究

これまでの断熱材料は、ガスの拡散により年々性能が低下することがわかっているが、新たにバリア層を設けることによりガスの拡散を抑制すべく、その基本材料の決定を行う。

具体的には、炭酸ガスを候補とし、有機、無機材料の中から、断熱性向上シート、

建材に組み込むことが可能となる候補材料を決定する。特に蒸着技術などによる有機・無機ハイブリッド化による加工性（通常の無機材料は伸びに対して弱い、ハイブリッド化でバリア性と加工性を両立）を向上させたバリア膜形成を行う。さらに、ノンフロン系ガスの気散基礎実験、予測モデルシミュレーションを行い、断熱性保持機能、環境性能を明らかにする。

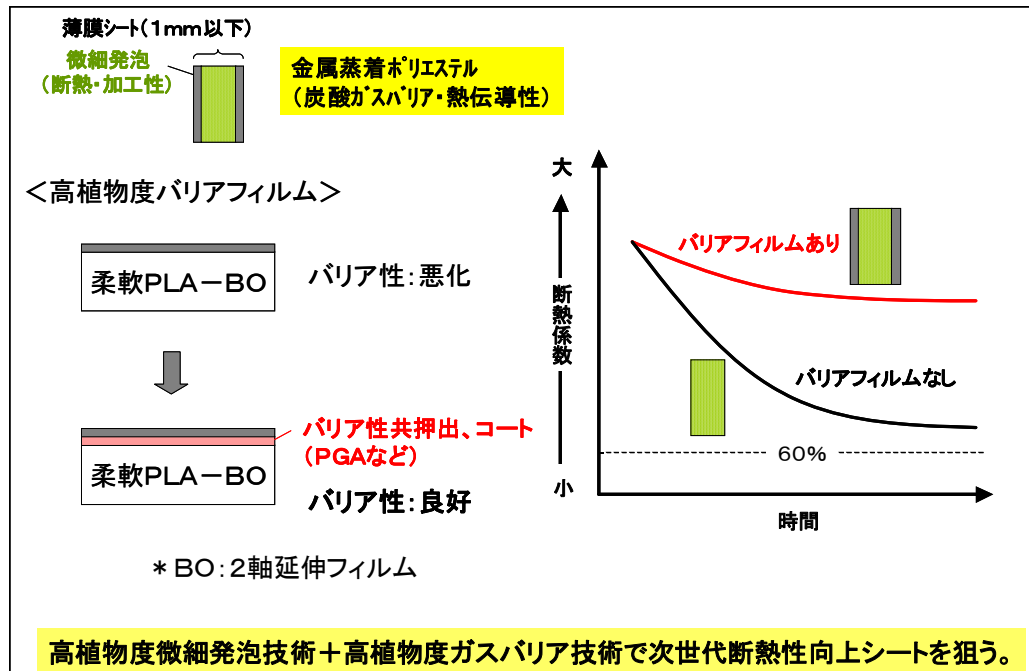


図 2.2.2.1.5.1-3 断熱性向上バリア技術のコンセプト

### ③断熱性向上熱流制御技術の研究

これまで断熱材料は、1次元の熱伝導を扱ってきたが、3次元的に熱流速を制御することで1方向の熱伝導率を低減できる技術を追求め、熱伝導膜を複雑に配置した断熱性向上シートの基本設計指針を明らかにする。熱伝導膜としては、上記の蒸着膜の利用、異形状フィラー添加による制御を中心に検討を行う。

#### <H20 年度>

微細発泡技術、バリア技術、熱流制御技術の基礎研究成果を基に、材料、プロセスとしての各要素の基本技術を確立する。

### ①断熱性向上発泡技術の研究

H19 年に求めた熱伝導低減の重要因子を制御するための断熱性制御技術を確立する。従来のノンフロン系断熱材と組み合わせることにより、基本となる断熱性向上シートの基本設計指針を明らかにし、目標の熱伝導率を達成しうる断熱性向上シートの基本技術を確立する。

断熱性向上シートの基本設計指針に従い、実際の発泡プロセスで材料創製を行うべく、材料設計、プロセス因子を組み合わせることで、目標の断熱性向上シート創製技術の基本プロセスを構築する。その際に、建材表皮材（易エンボス層）、バリア層、熱流速制御層とのラミネート技術についても検討を行い、基本プロセスを確立する。

#### ②断熱性向上バリア技術の研究

H19 年度に選定したノンフロン系ガス拡散抑制材料を基に、該材料の構造制御を行い、性能向上技術を確立する。さらに、実験の精度向上、モデルシミュレーションの精査を行い、性能向上技術の妥当性を判断し、実用性能、環境性能を評価するとともに、基本技術を確立する。

#### ③断熱性向上熱流制御技術の研究

3次元的热流速制御による断熱性向上シートの基本設計指針に従い、モデル実験、シミュレーションを行い、設計指針の妥当性を判断し、断熱性向上シートとしての材料設計を行う。

#### ④断熱性向上シートの基本設計

上記①～③の知見を基に、断熱性向上シートの基本設計を行い、断熱性能、持続性能、熱流制御性能を材料レベルで確認し、妥当性を判断する。

### <H21 年度>

各要素技術を融合させ、革新的ノンフロン系断熱材の断熱性能を向上させるシートの基本技術を完成させ、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上（熱伝導率  $\lambda \leq 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$  を目安）の断熱性能を達成しうるための新規建材シートの設計指針の明確化を行う。

#### ③断熱性向上熱流制御技術の研究

高熱伝導材料と低熱伝導材料を配置した熱流制御技術を完成し、基本技術を確立する。

#### ④断熱性向上シートの基本設計

目標の熱伝導度と持続性能を達成すべく、ノンフロン系発泡技術とバリア技術を組み合わせることで、断熱性向上シートとしての基本技術を確立する。実用性能だけでなく、環境性能を評価し、従来よりも環境性能に優れた材料及び製造プロセスからなる断熱性向上シートを設計する。

なお、建材材料における断熱材料をトータルに設計するため、大学、他の研究機関で開発された新規ノンフロン系断熱材との組み合わせについても検討し、新

規ノンフロン系断熱材としてのトータル設計についても積極的に行っていく。

#### ⑤新規建材材料の基本設計

建材材料として、施工方法に適した形状への加工方法を開発し、更に、印刷性、エンボス性、熱ラミネート性などを有するフィルム材料と組み合わせることで、新規建材材料の基本設計を完了する。

#### <H22 年度>

H21 年度までに確立した基本技術を基に、スケールアップ検討を行い、製造プロセス設計に必要な基礎データを採取する。あわせて、モデルサンプルを用いて顧客評価を開始する。

#### ⑥大型発泡プロセスの確立

発泡技術のスケールアップ検討を行い、実用大の発泡体を得られる連続発泡プロセスを確立する。実物大のサイズで現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上（熱伝導率 $\lambda \leq 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$ を目安）の断熱性能を達成し、更に、理論限界である熱伝導率 $\lambda = 0.020\text{W/m}\cdot\text{K}$ を目指す。熱伝導率のみならず、加工及び使用時に必要な剛性や強度等の特性についても最適化を図る。

また、発泡樹脂としては、バイオマス樹脂を基本とするが、ポリスチレンなどの耐熱性樹脂にも本発泡技術が展開可能か検討する。

#### ⑦発泡／バリア配合技術の確立

長期耐久性を付与するため、発泡体をバリアフィルムで梱包する技術を開発し、気密性を高めるシール技術を確立する。

建材用途に必要な施工性（釘刺し、切り貼り等）を付与するため、保護層の形成やセクション化を検討する。

また、ハイバリアフィルムと各種断熱素材との組み合わせに関する検討を進める。

#### ⑨実用価値の実証

スケールアップ検討で得られたモデルサンプルを用いて建材用途に必要な20年以上の長期耐久性があることを社内評価で実証する。

建材、家電、食品輸送等の用途でユーザー評価を行い、特性の最適化を進める。建材は、加工の必要の無い用途から評価を開始する。

<H23 年度>

H22 年度の検討で高倍率発泡が可能となった耐熱性の高い PET 系樹脂にて、発泡工程及び梱包工程の製造基本プロセスを確立する。更に、実用大サンプルを用いて顧客評価を実施し、ノンフロン系断熱材として市場における実用価値の実証を行う。

⑥大型発泡プロセスの確立

PET 系にて、孔構造を最適化し、炭酸ガス発泡で最高レベルとなる熱伝導率：0.020W/mK を達成する。

更に、ダイの多孔化や板状化によるスケールアップ検討及び先端形状の最適化を行い、大型発泡プロセスを確立する。

⑦発泡／バリア配合技術の確立

長期耐久性を付与するために開発した炭酸ガスバリアフィルムについて、発泡体への梱包技術及び気密性を高めるシール技術を確立する。

また、ハイバリアフィルムと各種断熱素材との組み合わせに関する検討を進める。

⑧連続製造プロセスの確立

発泡体の作成、切断、梱包を実用的な速度で連続して製造できるプロセスを確立する。また、同プロセスでの製造コストの精査を行う。

⑨実用価値の実証

顧客評価にて、断熱性能、耐久性能等の特性と製造コストが市場の要求に合致することを実証する。

(5)全体スケジュール

事業項目	19年度	20年度	21年度
①断熱性向上発泡技術の研究		→	
②断熱性向上バリア技術の研究		→	
③断熱性向上熱流制御技術の研究			→
④断熱性向上シートの基本設計			→
⑤新規建材材料の基本設計			→

事業項目	22年度	23年度
⑥大型発泡プロセスの 確立		→
⑦発泡／バリア配合技 術の確立		→
⑧連続製造プロセスの 確立		→
⑨実用価値の実証	→	→

## 2.2.2.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発」

(委託事業／共同研究)

フロン系吹き付け硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有する革新的なノンフロン系断熱材技術開発において、今後、資源循環型の材料がますます志向されると予想されることを鑑み、熱可塑性樹脂からなる発泡プラスチック断熱材であって、生産性の高い押出法で発泡成形された高断熱性ノンフロン押出発泡体を開発することを目的とする。

具体的には、下記の通りである。

### (1) 高断熱化技術の調査

高断熱化を実現する発泡体構造を推定し、目標達成のための構造モデルを考案する。考案したモデルを試作、評価し、熱伝導率低減効果を検証の上、研究開発の方向性を明確にする。

発泡体のベースとなる樹脂、配合剤、発泡剤の探索を行い、候補を抽出する。

より具体的には以下の項目について調査、探索、検討を行う。

#### ① 多層構造モデルの考案・試作・効果検証

・熱伝導率推算式などを用いて、発泡体の組成、構造因子と熱伝導率の関係を確認し、目標を達成するための発泡体構造を推定する。

・「多層構造モデル」を考案して、目標達成の可能性を検証し、研究開発の方向性を明確にする。

#### ② 樹脂、配合剤、発泡剤の探索

高断熱化および発泡成形性の観点から、樹脂、配合剤、発泡剤の調査、探索を行い、候補を抽出する。

### (2) 高断熱化多層押出発泡体の開発

目的とする多層構造を押出発泡成形で実現するための設備設計技術、押出発泡成形技術、樹脂・発泡剤・配合剤等の処方技術について検討を行い、小スケールにて目標を達成する。

より具体的には以下の項目について、検討する。

#### ① 多層押出発泡成形技術の開発

・目的とする多層構造を押出発泡成形で実現するための設備仕様を決定し、設備を製作する。

・樹脂・発泡剤・配合剤等処方及び成形加工条件による多層押出発泡成形性を検討し、設備面、成形技術面及び樹脂、発泡剤組成面の課題を抽出し、その改善検討にて設備、成形技術、処方の必要条件を明確化する。

#### ② 高断熱化を実現する多層押出発泡体の開発

・多層発泡体の構造と熱伝導率の関係を調査し、多層発泡体の構造要件を明らかにする。樹脂・発泡剤・配合剤等処方と押出発泡成形性、熱伝導率との関係を確認した上で、処方の方向性を明確化して、目標達成の可能性を見極める。

・熱伝導率の目標値及び成形性を確保できる処方、配合剤、発泡剤組成、成形条件を設定し、小スケールにて目標を達成する。



(3) スケールアップ・製品化に向けた高断熱化多層押出発泡体の技術獲得

前記(2)の項にて獲得した技術を用い、製品化のための基盤技術を小スケールで完成させるとともに、スケールアップに向けた設備仕様を明確にする。

より具体的には以下の項目について、検討する。

① スケールアップ・製品化に向けた構成、処方の設定

- ・多層押出発泡体の構造・処方面から熱伝導率低減及び熱伝導率経時変化抑制に必要な要件を明確化し、多層構造を有する押出発泡成形技術を小スケールで完成する。
- ・多層押出発泡体の熱伝導率の低減・経時変化抑制、成形性を確保できる樹脂、発泡剤、配合剤を決定すると共に、製品化のための配合剤処方を絞り込む。
- ・スケールアップに向けた押出発泡成形技術を獲得する。

② スケールアップ・製品化に向けた設備仕様、成形条件の設定

- ・スケールアップに向けた設備仕様を明確化し、成形条件を設定する。

(4) ターゲット設定と事業化構想立案

前記(1)から(3)の項にて獲得した成果に基づき、市場ターゲットを設定し、展開の可能性を明確にする。

(5) 研究開発計画表

前記(1)から(4)の項に示した項目を、下表に整理した。

表 2.2.2.1.5.2.1 研究開発計画

事業項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度
1) 高断熱化技術の調査					
①モデルの考案・試作・検証	→				
②樹脂、発泡剤等の探索	→				
2) 高断熱化多層押出発泡体の開発					
①多層押出発泡成形技術の開発	設備 → ●	● → ▲ (1)基礎的成形検討	▲ → ★ (2)詳細成形技術検討		
②高断熱化を実現する多層押出発泡体の開発		(1)基礎的検討	(2)詳細検討、可能性見極め	→	小スケール目標達成
3) スケールアップ・製品化に向けた高断熱化多層押出発泡体の技術獲得					
①スケールアップ・製品化に向けた構成、処方の設定				押出発泡成形基盤技術獲得	実用物性確保処方設定
②スケールアップ・製品化に向けた設備仕様、成形条件の設定				成形条件・設備要件検討	スケールアップ設備仕様設定検討
4) ターゲット設定と事業化構想立案				特長明確化、既存製品に対する位置付け明確化 市場調査	ターゲット設定 FS実施 事業化構想立案

## 2.2.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

### 2.2.2.2.1 計測技術開発

#### 2.2.2.2.1.1 東京工業大学「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」(委託事業)

##### (1)断熱性能等の計測・評価技術開発

断熱材は、その高い断熱性のために測定が難しく、従来はフーリエ則を直接適用した定常法が主たる測定方法として用いられてきた。この方法では周辺部への熱の逃げを無視できる状態を作り出すため30cm角という大きなサンプルを要し、また定常になるまでの長い測定時間が必要である。新規断熱材の開発現場ならびに施工現場での計測を想定すると、計測時間を短縮し、建材をそのままの状態あるいは簡単な処理で測定することができる計測法が望まれている。すなわち、実験室据え付け型である定常法から現場へ持ち込める新しい装置の開発が要求されている。また、計測時間に関しても一測定で約10分程度以内が現実的である。

非定常法は、温度波やパルス的な温度変化を与え、その変化から材料の熱物性を求める方法の総称で、迅速性に優れているため、近年では種々の方法が提案されている。本提案者らが開発してきた正弦的な温度波を板状の試料の厚さ方向に伝搬させる方法は精度も高く、高分子系フィルムなどで成果をあげている。装置開発と同時に標準化提案を行い、2008年末にISO22007-3として認定されるに至っている。これらの成果をベースに、壁状のすなわち無限の厚さが想定できる試験体について、測定プローブを圧着した状態での温度波の伝搬解析から熱伝導率を測定する全く新しい方法を提案した。

##### (2)事業の目標

熱伝導率の小さな発泡断熱材料について、簡便かつ迅速に熱伝導率を評価する小型軽量装置の開発を行うため、新しい測定プローブを開発し、少量試料でも測定出来る、特に製造現場および建築施工現場での測定装置の開発を目標とし、温度波を用いた非定常法の方法論確立と、実際の商品として提供できるレベルを目指す。

本提案は、温度波の伝搬を厳密に解析する方法で、特別に設計した測定プローブのヒーター側を測定対象(壁材など)に圧着して熱伝導率を直読する装置へ展開する。

温度波を用いる非定常法は、与える温度波の振幅、周波数の2つの制御パラメータをもっており、さらに発熱面(面状ヒーター)から一定距離をおいた位置では、与えた温度波に対する振幅減衰と位相遅れが得られる。提案者らが、この原理を薄膜試料の厚み方向の熱拡散率測定へ応用して有効性を明らかにしてきた。この温度波熱分析測定を位相測定から振幅測定へ発展活用しようとしたのが現提案で、プローブの熱環境が振幅変化に反映されことを利用する。同様に、交流測定による高感度化の可能性を有している。ただし、比較的高周波の温度波を観測するために、熱流計を用いる定常法では必要のない、高速温度プローブと高速に解析する増幅回路ならびにフーリエ解析ソフトウェアを必要とする。断熱壁に圧着するタイプの熱伝導率測

定システムの基礎として、温度波伝搬の基本原理に基づいた実験室規模のプロトタイプを完成させる。プローブのサイズ、比較試料の開発、測定条件などと測定される熱伝導率との関連を検討し、検知増幅回路、プログラム開発を含めたプロトタイプ装置を完成させる。温度振幅は、測定対象よりも伝熱性の高いセンサー周辺の熱環境に敏感であるので、プローブ内の温度分布を把握するため、温度分布を顕微赤外カメラで観測し、プローブの開発ならびにデータ解析による補正法を確立する。刺激（温度波印可）と応答（温度測定）との関連を、環境条件（測定試料の熱物性）とくに試料以外への逃げを考慮した推定型のインテリジェントな解析ソフトウェアを開発する。

#### ①中間目標値

- ・発泡断熱材の熱物性（できれば熱伝導率へ換算できる状態）について、交流温度波を用いた方法での測定装置の開発
- ・ハンディで現場に持ち込める重量、サイズ、周辺装置であること
- ・0.020～0.050W/(m・K)前後の発泡断熱材の測定が、分解能0.002程度以内であること
- ・回路、ソフトウェアともに独自に開発したもので、市販装置の礎になるもの

#### ②最終目標値

- ・装置重量として、3kg以内、測定に10分以内という、従来の測定法に較べて、正確さを持ちながら圧倒的な小型迅速測定を目指す。
- ・同時に省エネルギー、地球温暖化防止プロジェクトの一環であることを踏まえ、50W以下の小電力装置として、測定技術そのものの省エネルギー化を実現すること
- ・安定に測定できる装置を市販し、比較的安価で提供すること
- ・ISOへ断熱材の評価方法として提案を模索すること

### (3)事業の計画内容

対象測定物の状態に応じたいくつかのプローブを検討し、試験室レベルと実際の施工現場との相違点を、どのように装置へ反映させるかを勘案しつつ、現場持ち運びハンディタイプ熱伝導率測定装置を完成させる。引き続き、装置の小型化、実用機としての完成度を高め、プローブのさらなる検討を行い、熱伝導率のレベルで、0.020W/(m・K)レベルでの測定を達成させる。ソフトウェアの改良などで、現場型装置で1分程度、研究室据え置き型で10分以内を測定に要する時間とすることを目指す。また標準サンプルを策定し、データベースを構築させつつ、現場測定との連携を模索する。

事業内容は以下の通り。

#### ①平成19年度

熱伝導率測定法の調査については、関連文献、市販装置、市販の温度計など関連した項目について調査し、必要なものは購入して検討する。本提案の熱伝導率測定装置の研究に関しては、まずもっとも重要な測定プローブについて、サイズ、比較材料、マイクロヒータなど試験的に作り込み、発熱と熱の流れを赤外線カメラ主体に解析しながら、最適材料を選定する。また測

定条件（周波数，サイズ，電圧）などと熱伝導率測定感度との関連を検討する。同時に、発振・増幅回路，プログラム開発を含めた装置全体の設計を行い、市販のアンプ発信器などを応用して研究室型のプロトタイプを完成させる。

断熱材中を拡散する温度波の伝搬を解析するための、もっとも重要なポイントは、高感性であるとの認識に立ち、温度波プローブの基本構造を多数試作検討するが、いずれも熱源と温度計は不可欠であり、交流発熱を担うためには、マイクロヒータと、温度波をとらえるセンサーがともに熱容量が小さく高感性であることが望まれる。同時に一種の熱流計でもある参照試料を選択する。10～1000  $\mu\text{m}$  の厚さを持つこの参照試料の両側にセンサーとヒータが配置される。観測は参照試料を流れてくる波の振幅と位相差であるが、このうち位相差は参照試料の熱拡散率で常に一定になるはずである。一方の振幅は、接している被測定物（この場合断熱材）の熱伝導率に依存する。従って、被測定物側に流れる熱流は微弱であるため、センサーの高感性化が一番要求される。高感性にするために、特にセンサー・ヒーターの軽量化、熱容量の極小化を追求する。これらのセンサー・ヒーターは大きさが数 mm 以下の微細なものであるため、発熱、伝搬、検知の各過程を、顕微鏡赤外線カメラで詳細に温度分布として検討する。

参照試料として熱的な安定性を考慮してポリイミドフィルムとするが、幅広い計測を可能とするために各種材料を探索する。入力波形は、高調波ノイズの出にくい正弦波とし、測定断熱材試料の熱物性や測定厚さを考慮して、周波数は 0.01～1Hz、温度振幅で 10K 以下とするが、センサーの温度分解能が 0.001K とすれば、理想的には 5 桁の減衰まで対応できる。刺激（温度波印可）と応答（温度測定）との関連を、環境条件（測定試料の熱物性）とくに試料以外への逃げを考慮した推定型のインテリジェントな解析ソフトウェアを開発する。同時にプロトタイプ装置として完成させる。

## ②平成 20 年度

測定装置の研究では、圧着型のプロトタイプ装置の全体的な完成を目指す。

高感性プローブの開発では、プローブのサイズ、ポリイミド以外の材料（より断熱性の高い）の開発、測定条件などと熱伝導率との関連を検討し、温度波を発生させる発振回路、プローブでの受信を受け持つプリアンプと AD コンバータを開発し、制御・解析プログラム開発を含めた圧着型熱伝導率装置全体のプロトタイプを完成させる。これらのプローブの開発は、顕微赤外線カメラで観測した熱流データを解析し、補正法を確立する。センサー候補材料をスクリーニングして、室温付近で高感性な温度センサーを探索し、ついで、微細加工することで更なる高感性を検討する。ヒーターは、スパッタ金属を中心に製作しやすい方策を検討する。

壁圧着型の熱伝導率測定装置をより高度なものへ発展させる。断熱材のような測定では測定・解析方向以外への熱流を厳密に管理する必要がある。そのため、被測定物以外への熱流を補償するための方式として、主測定である厚み方向の温度波伝搬のほかに、面方向への熱流を減らすためにガード電極の効果を検討する。熱伝導率測定重要な伝搬される温度振幅は、プローブ周辺の熱環境に敏感であるので、プローブ内の温度分布を把握するため影響を顕微赤外線カメラで観測治具を作製し、プローブの開発ならびにデータ解析による補正法を確立する。データ収集は、測定法開発でもっとも重要であるとの立場から、装置開発のあらゆる段階で行

う。とくにデータの再現性と信頼性を検討するため、統計的な手法により、本システムの迅速測定すなわち大量のデータ取得という特徴を生かす。本測定システムでのデータ蓄積を推進するとともに標準試料の策定を行い、また、熱伝導率測定で必然的に重要となるデータの信頼性を向上させるため、プロトタイプでのデータ収集と統計学的な処理で精度を検討する。同時に、装置構成に不可欠な標準サンプルの策定を行う。

### ③平成 21 年度

高感度プローブでは、センサーの軽量化などで感度の向上を計ると同時に装置の小型化、実用機としての完成度を高め、熱伝導率のレベルで、 $0.020\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  レベルでの測定を達成させる。

ハンディ型装置設計製作では、研究室据え置き型の知見をベースに現場持ち込み型でかつ量産可能な装置の完成をはかる。この場合、極力ハードウェア負担を減らし、また測定者の経験に頼らない方法とするため、ソフトウェアでの解析を可能とするようなアルゴリズムを開発し、実際の測定へフィードバックさせながら装置としての完成を目指す。このために製作ソフトウェアの改良たとえばパソコンを使わない方式などを行い、現場型装置で 10 分程度、重さで 5 kg 以内、複雑な設定不要などに留意する。

標準試料の開発とデータ収集では、試作完了した測定装置を、関係各社あるいは研究機関に配布して、データ収集ならびに操作法の問題点を洗い出す。標準サンプルは、断熱材の熱伝導率測定に重要なものであり、安定供給出来るような材料を模索するとともに、データを補償するための基礎データは研究室据え置き型で時間をかけて精度を上げる測定を検討し、同時に熱板を用いた厳密測定もあわせて検討する。

## 2.2.2.2.2 評価技術開発

### 2.2.2.2.2.1 建材試験センター「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の

#### 実用性評価」(委託事業)

#### (1) 事業全体の計画内容

断熱材の総合的な実用性を評価できる評価方法（ガイドライン）の作成を目指す。また、この実用性評価方法を用いて、本プロジェクトにおいて革新的ノンフロン系断熱材として開発される断熱材の実用性を評価する。同時に、断熱性能の測定技術の実用性評価方法を検討し、開発される測定技術の実用性を評価する。

上記の計画内容を実現するために、断熱材、断熱性能計測技術のそれぞれを個別テーマとして設定し、実用性評価方法の検討を行った。

#### (2) 個別研究テーマの計画内容

##### ① 革新的ノンフロン系断熱材の実用性評価

今後開発が予測される断熱材には、断熱性能の高性能化のみならず、調湿性や温度変化緩衝等の機能を有するもの、また、再資源化や健康安全性に配慮したものの出現も予測される。環境側面に関しては、例えばノンフロン化が挙げられ、これは温暖化係数（GWP）が大きいフロンを発泡剤として使用しないことで地球温暖化防止に効果的であるとして進められている。しかし、現状の技術ではフロン使用断熱材より断熱性がよいものを作ることは困難とされ、これにより冷暖房エネルギーの消費量が増加する可能性が考えられる。また、現場発泡断熱材の場合は、反応性が低い等による施工性低下も課題となっている。また、断熱材に限らず、製造から廃棄までのライフサイクル全体を通じて、有害物の排出の有無や CO<sub>2</sub> 排出量の低減が求められている。

また、使用期間が長い建材の場合、新開発された製品に対しては長期的な性能変化の検証も重要となる。さらに、建材は安価で大量に使用されているものが多く、生産コストや施工コスト、また長期の使用までを見据えたトータルコストも実用化を考える際には重要なポイントとなる。同時に、現行の断熱設計・施工技術との親和性も普及の面で不可欠である。このように、上市並びに普及促進を考えた場合、断熱性能のみでなく総合的な実用性も有することが必要となると考えられる。

以上から、新たに開発される建築用の革新的断熱材に対して、評価が求められる品質項目と、その実用性を総合的・客観的に評価可能となる評価手法について研究し、評価方法（ガイドライン）をまとめる。この評価方法を用い、本プロジェクトで開発される革新的断熱材の実用性評価を実施する。

##### ② 断熱性能測定技術の実用性評価

断熱性能を評価する係数として、測定対象の特質等から熱貫流率、熱抵抗、熱伝導率等があるが、断熱材の断熱性能の評価は熱伝導率が基本となる。断熱材の熱伝導率測定方法において

も、JIS A 1412 で定める定常熱流法の他に非定常熱流法があり、定常法でも直接法、比較法等がある。

他方、CO<sub>2</sub> 削減が国際的に急務な課題となっており、我が国においても民生部門においては、1990 年からの自然増約 36%+京都議定書の削減目標の 6%を達成する必要がある。このため、工場出荷製品のより高断熱化に加えビルダーの立場から CO<sub>2</sub> 削減が求められ、旧来のメーカー保証性能のみならず建設現場での受入検査、施工前の性能試験、施工状態での測定や、経年劣化等の測定方法が求められてくると予測される。

従って、断熱材の特質や測定目的に沿った測定技術の開発が活発化し、多様な測定原理に基づく測定技術が出現すると予測される。これら技術の信頼性を、使用目的に応じた要求機能・性能に関して、客観的に評価する必要がある。本事業では、多様な測定目的に適用可能となる実用性評価を行う。

### (3)全体スケジュール

本事業は、以下に示すスケジュールで実施した。

表2.2.2.2.1-1 事業全体の実施スケジュール（平成19年度～平成21年度）

事業項目		年度		平成 19 年度				平成 20 年度				平成 21 年度			
		四半期		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1) 断熱材 の実用性 評価	①基本事項の検討	→	→	→	→										
	②評価項目の洗い出し	→	→	→	→	→	→	→	→						
	③各項目の試験・ 評価方法の検討			→	→	→	→	→	→	→	→				
	④開発された革新的 断熱材の評価の実施												→	→	
2) 測定技術 の実用性 評価	①評価項目の検討	→	→	→	→										
	②各項目の評価方法の検討			→	→	→	→	→	→	→	→				
	③開発された 測定技術の評価の実施												→	→	

表2.2.2.2.1-2 事業全体の実施スケジュール（平成22年度）

事業項目		年度 四半期	平成 22 年度			
			I	II	III	IV
3) 評価方法 の公開	①ウェブサイトの作成		→			
	②ウェブサイトの保守管理		→	→	→	→
	③評価方法に対する使用感などのコメント収集（アンケート実施）				→	→
4) 評価方法 の見直し	①実用性評価指針及び自己評価表の見直し					→
	②発泡プラスチック系断熱材の断熱性能変化の簡易予測ツールの見直し					→
	③LCCO <sub>2</sub> 簡易計算ツールの見直し					→



### 2.2.3 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という）が、単独ないし複数の原則本邦の企業、技術研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること）、大学等から、公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

本研究開発を実施する実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に引き出すことにより効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDO技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を置き、その下で、各実施者が各々の研究開発テーマの達成目標を実現すべく研究開発を実施する方式を採用する。

本研究開発において、NEDO技術開発機構が主体となって実施すべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される事業は委託事業により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される事業は助成事業（助成率1/2）により実施する。

#### [委託事業（基礎・基盤研究）]

ノンフロン系断熱材技術等について、実用化を見据えた基礎的・基盤的な研究開発を行う。本研究開発期間内で、製品化までさらに実用化研究が必要なものにおいては、成果ならびに事業性等を評価し、必要に応じ助成事業への移行を認める。

なお企業において、実用化研究に入った H23 年度は、委託事業から共同研究（事業費の1/2 負担）に移行した。

#### [助成事業（実用化研究 助成率：1/2）]

民間企業等が主要な技術やノウハウ等を所有しているノンフロン系断熱材技術等について、経済性、導入効果等について分析を行うことにより研究開発終了後の事業化計画を明確にして実用化研究を行う。研究開発テーマの事業終了後、2～3年以内に製品化を想定できるものを対象とする。

図 2.2.3.1 に事業開始時（H19 年度）の研究開発の体制図を示す。また、H21 年度に実施した中間評価以降の研究開発の体制図を図 2.2.3.2 に示す。H24 年度に実施する事後評価は、図 2.2.3.2 の体制で実施する。

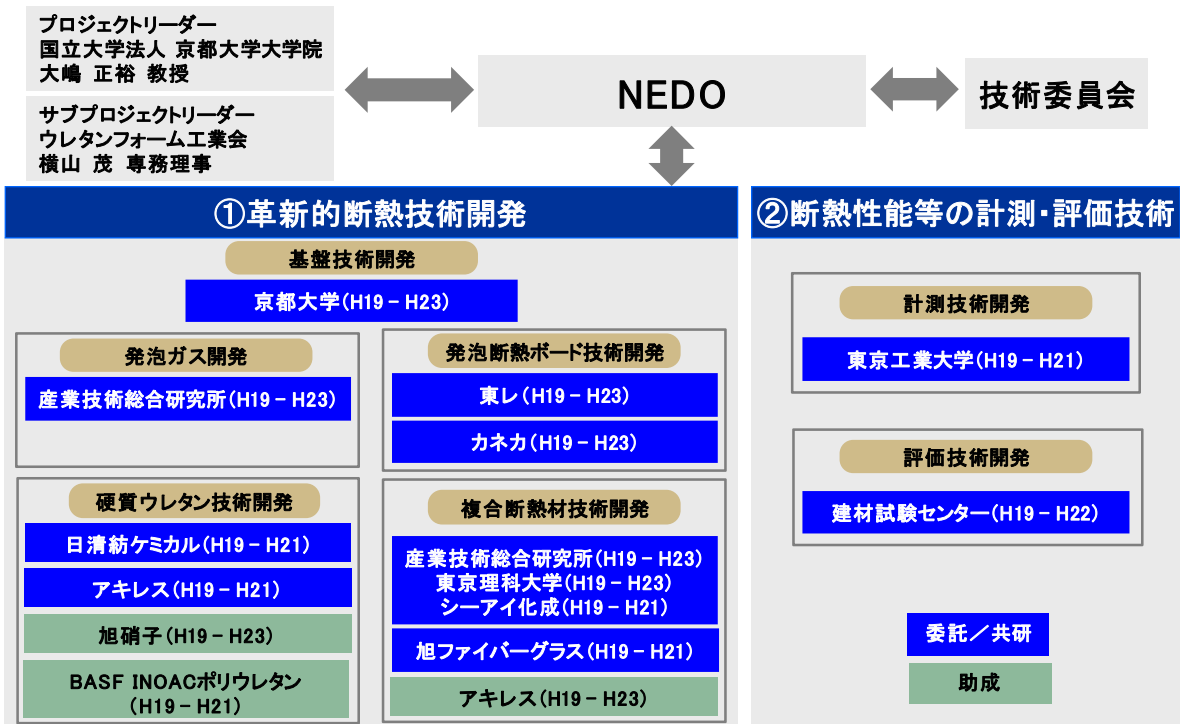


図 2.2.3.1 研究体制図（プロジェクト開始時）

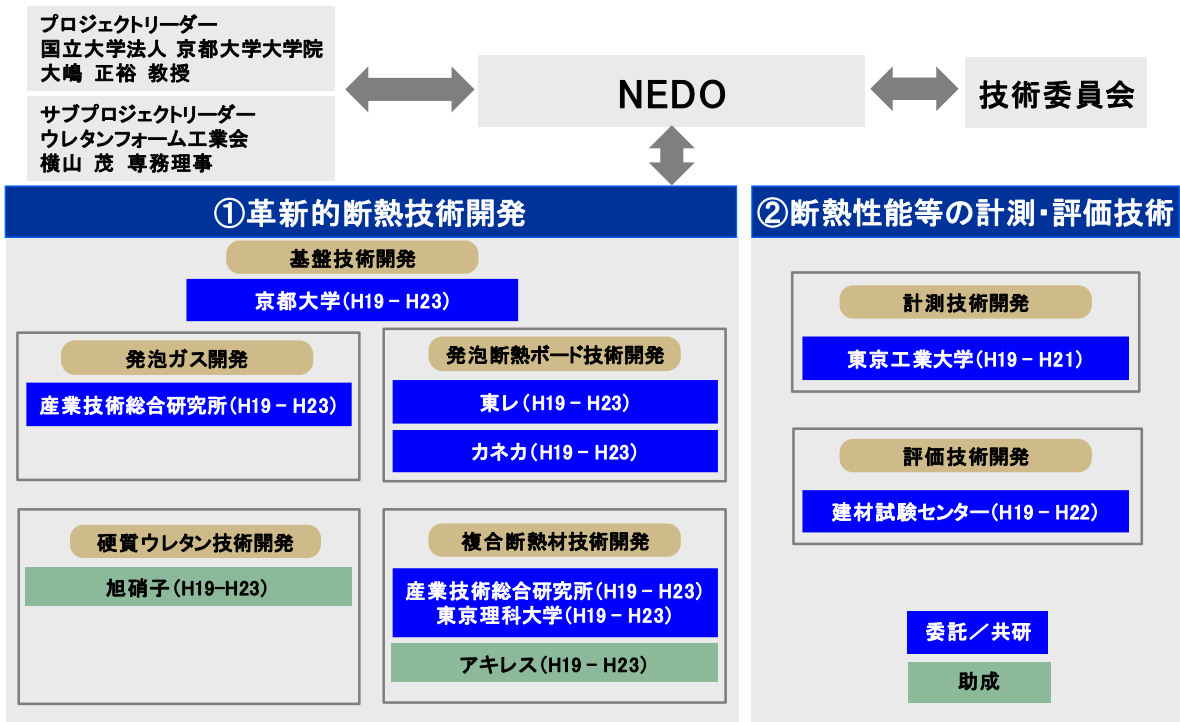


図 2.2.3.2 研究体制図（中間評価以降）

## 2.2.4 研究開発の運営管理

### (1) 研究開発の運営管理

研究開発の管理・執行に責任を有する NEDO 技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

具体的には、年に二回程度、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受ける PL 会議、年に一回 NEDO 技術開発機構に設置される技術委員会等における外部有識者の意見を受ける技術委員会等により、選択と集中の観点から優秀な技術を育成する運営管理を行う。

成果が得られた時点で実用化研究・実証試験等の次ステップへの転出を推奨し、反面、期間内に成果が見込めないと判断された事業は開発途中であっても中止する等の判断を行う。また、研究期間中にも新規技術に関する動向調査を実施し、有望と認められる研究については、新規研究開発テーマとして追加する等の自由度を有する運営を行う。

#### ①プロジェクトリーダー

研究開発責任者（プロジェクトリーダー）は、以下の2名に委嘱した。

プロジェクトリーダー : 京都大学 大嶋 正裕 教授

サブプロジェクトリーダー : ウレタンフォーム工業会 横山 茂 専務理事

#### ②技術委員

技術委員会の体制は下記の通りである。

技術委員長 東京工業大学 佐藤 勲 教授

技術委員 東北大学 猪股 宏 教授

技術委員 近畿大学 岩前 篤 教授

技術委員 東京都市大学 近藤 靖史 教授

技術委員 金沢工業大学 新保 實 教授

技術委員 北陸先端科学技術大学院大学 山口 政之 教授

(技術委員 50 音順)

### (2) 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 19 年度（2007 年度）から平成 23 年度（2011 年度）までの 5 年間とする。

### (3) 研究開発成果の取扱い

#### ①成果の普及

研究開発実施者及び NEDO 技術開発機構は、得られた研究開発成果については、国民の利益を損なわない範囲で国内外を問わず普及に努めるものとする。委託事業における成果報告書は NEDO ホームページにて公開する。

## ②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、知財データベースへのデータの提供等を積極的に行う。

## ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

## (4) 基本計画の変更

NEDO 技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、施策の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### 2.2.5 中間評価結果への対応

表 2.2.5.1 に中間評価時の主なコメントとその改善方策を示す。コメントを受け、中間評価以後のプロジェクト運営として、1) 熱伝導率の経時変化抑制に注力、2) 事業者間の連携を強化、3) 成果の発表、特許取得の促進等を PL ヒアリング等を通して進めてきた。

表 2.2.5.1 に中間評価時の主なコメントとその改善方策

中間評価時の主なコメント		改善方策
研究開発成果	断熱性能の長期安定性評価が不十分	初期熱伝導率の低減に加えて経時変化抑制に注力するよう指導。連続・加速試験、シミュレーション評価を指示。
	民間事業者からの発表、特許取得が不十分	■プラスチック成形加工学会(NEDOセッション)で開発成果を発表(H23年6月、12件) ■開発成果の出始めたH21以降特許出願増加
実用化事業化の見通し	熱伝導率以外の評価が不十分	建材試験センターが開発した断熱材の評価ガイドラインを用いた総合的評価(機械強度、防湿性、安定性等)を実施
	事業者間の技術連携が不十分	■事業者間でサンプル供与し開発を加速 ■大学、独法から企業に対する技術指導を強化

### 3. 研究開発成果について

#### 3.1 事業全体の成果

ノンフロン系断熱材技術開発にあたっては、分野別に(1)革新的断熱技術開発(2)断熱性能等の計測・評価技術開発に区分して実施し、成果を得た。

##### 3.1.1 革新的断熱技術開発

熱の伝わり方として、対流、伝導、輻射の3種類あることは、よく知られていることである。発泡体の場合、気泡径をmmオーダー以下に小さくすることにより、対流の影響はほぼ無視できるとされる。断熱材の分野では、残りの輻射と伝導を複合した見かけの熱伝導率を断熱性の指標として利用している。ただし、輻射については直接、太陽光があたる場合を除けば、建材として利用する環境の温度領域では、輻射熱の影響は、ごくわずかである。複合化した熱伝導度で本プロジェクトのターゲットとする熱伝導度  $0.024\text{W/mK}$  の小数点4桁目を調整するレベルだと認識する。すなわち、本プロジェクトで考慮すべき熱の伝わり方は、伝導伝熱が主体であり(図 3.1.1.1)、発泡体の熱伝導率(熱伝導度)は、図上に示すように、基板となる材料の熱伝導率、空隙率および多孔内に存在するガスの熱伝導率の関数として大枠が決まると考えられる。

発泡剤として従来利用していた HFC の熱伝導率は、 $0.011\text{W/mK}$  と低い。この熱伝導率の低いガスを断熱材の中に保持することにより、空隙率(気泡率)が85%程度で、 $0.024\text{W/mK}$  が達成できていたと考えられる。HFC の利用を禁じた場合、 $0.024\text{W/mK}$  を多孔性断熱材にて達成しうる方策として、HFC に匹敵するような熱伝導率が  $0.024\text{W/mK}$  より低いガスを発泡体中に保持し、その保持量(空隙率とほぼ等価)を上げられれば、発泡体全体の熱伝導度は、気泡中のガスに近づけられことになる。したがって、HFC を使わず、 $0.024\text{W/mK}$  以下の熱伝導度を実現するには、つぎのことを考えねばならない。

(方策1) 空隙率(発泡率・気泡率)を従来値よりさらに向上

断熱材の熱伝導率の究極の状態は、ガスの熱伝導率である。しかし、100%に近い空隙率では、構造上ならびに力学的特性から、建材として実用に供し得ない。断熱材として構造成立する条件で気泡の微細化、気泡径の分布制御をいかに行なうかが課題となる。

(方策2) 熱伝導率の低い基材の利用

空隙率を上げることができる材料であるとともに、事業化を考えると、工業的に入手できる材料を用いることが望まれる。

(方策3)  $0.024\text{W/(mK)}$  より低い熱伝導度のものを HFC の代わりに発泡体内に保持

これについては、2つの方策が考えられる。

1つは、HFC に代替する熱伝導度の低い発泡ガスを新たに作るか、熱伝導度の低い既存のガスを利用するかである。本プロジェクトでは、HFC と同等以下の熱伝導率で、地球温暖化係数(GWP)が小さい発泡ガスの開発を実施する。また  $\text{CO}_2$  の熱伝導度が  $0.0175\text{W/(mK)}$  で空気より低いこともあり、本プロジェクトに参画する企業の多くが  $\text{CO}_2$  の利用を検討している。

2つ目は、気泡径あるいは発泡体中の多孔径を  $65\text{nm}$  以下にまで微細化することにより、

空気 (N<sub>2</sub>) 分子をその平均自由行程以下の空間に閉じ込め、熱の伝わり方を制御することにより、空気の熱伝導度を 0.024W/(mK) 以下にして、発泡体内に保持する方策である。ナノゲル (多孔径がすでにナノオーダー) を発泡体の中に取り込んだ、複合断熱材開発もこの方策の実現法の1つである。

以上、1)–3)の方策をそれぞれの工夫で実現しようとしているのが、図 3.1.1.2 に示す開発の基本方針である。

革新的断熱技術開発は、(1)基盤技術開発、(2)発泡ガス開発、(3)硬質ウレタン技術開発、(4)複合断熱材技術開発、(5)発泡断熱ボード技術開発の5つの区分に分けて実施した。

**$\lambda = f(\text{基材熱伝導率、気泡内ガス熱伝導率、空隙率、温度})$**

**総括熱伝導率の低減**

方策1 空隙率を上げる (究極: 気泡内ガスの熱伝導率に漸近)	問題: 構造から力学特性が低下する
方策2 熱伝導率の低い基材を作る	問題: ポリマーより低いものはあるか
方策3 熱伝導率の低いガスを使う (従来フロン・最近CO <sub>2</sub> )	問題: ガスと空気が置換してN <sub>2</sub> に近づく

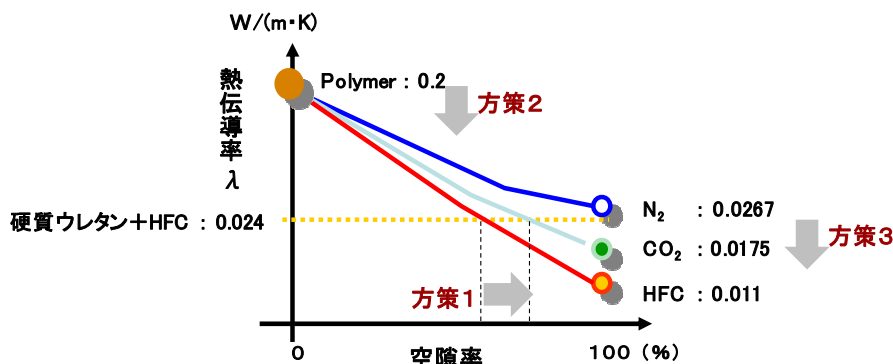


図 3.1.1.1 熱伝導率の低減方策

①革新的断熱技術開発		②計測・評価技術開発
<p><b>微細・高空隙率化</b></p> <p>微細気泡による高空隙率化により断熱性能を向上</p> <p>500~100 μm → &lt; 10 μm → &lt; 60 nm</p>	<p><b>低熱伝導率発泡ガス</b></p> <p>HFC同等以下の熱伝導率を持ち、GWP値が低いガスへの代替により、断熱性能向上</p> <p>HFC → 低GWPガス</p>	<p><b>性能計測</b></p> <p>開発現場、施工現場で、短時間に熱伝導率を測定できる可搬式の計測装置を開発</p>
<p><b>複合断熱材技術</b></p> <p>断熱性能が高く、熱伝導率の経時変化が小さいエアロゲルを用いた技術開発</p> <p>発泡セル内部にエアロゲルを充填 / 不織布にエアロゲルを含浸</p>	<p><b>高ガスバリア性技術</b></p> <p>低熱伝導度ガスを発泡体内に封じ込め、熱伝導率の経時変化を抑制</p> <p>発泡ガスの拡散大 → 発泡ガスの拡散小</p>	<p><b>実用性評価</b></p> <p>新たに開発する断熱材の実用性を評価するガイドラインを作成</p> <p>多様な測定目的に適用可能となる実用性を評価するガイドラインを作成</p>

図 3.1.1.2 開発基本方針

表 3.1.1.1 には各事業者（事後評価対象事業者のみ）が適用する技術分類マップを示す。

表 3.1.1.1 適用技術マップ

開発項目	開発技術	事業者	コア実施内容	気泡微細化	気泡分布制御	ガス封止/ガス/樹脂	エアロゲル	装置化システム化
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	京都大学	ナノセルラー発泡体＋気体透過性制御＋キセロゲル	○	○		○	○
	発泡ガス開発	産業技術総合研究所	発泡ガス開発、評価			○		
	硬質ウレタン技術開発	旭硝子	ポリオール改良	○		○		
	複合断熱材技術開発	産総研、東京理大	エアロゲル＋可塑樹脂連続製造プロセス				○	○
		アキレス	エアロゲル＋ウレタン エアロゲル＋不織布				○	
	発泡断熱ボード技術開発	東レ	ナノ分散化アロイ技術＋バリアフィルム	○	○	○		○
カネカ		可塑樹脂＋押出発泡成形	○	○	○		○	
断熱性能等の計測・評価技術開発	計測技術開発	東京工業大学	非定常熱伝導率測定法システム化					○
	評価技術開発	建材試験センター	評価基準作成 断熱性能経時変化予測					○

表 3.1.1.2 に開発技術（事後評価対象事業者のみ）に対する目標の達成度を示す。いずれの開発技術も目標をほぼ達成している。

表 3.1.1.2 開発技術に対する目標の達成度

開発項目	開発技術	事業者	目標	成果	達成度	今後の課題
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	京都大学	初期熱伝導率 0.024W/mK 以下	ナノセルラー:0.0298W/mK UV硬化:0.021W/mK キセロゲル:0.020W/mK	◎	企業への技術移行 事業化促進
	発泡ガス開発	産業技術総合研究所		気体:0.0126W/mK 発泡体:0.022W/mK 新ガス合成法開発	○	企業との共研 パイロットスケール への展開
	硬質ウレタン技術開発	旭硝子	熱伝導率の 長期維持 実用化の目処	初期:0.022W/mK 熱伝導率維持確認 (シミュレーション)	◎	プラント製造化検討
	複合断熱材技術開発	産総研、東京理大		パッチ:0.018W/mK 連続プロセス:0.028W/mK	◎	連続プロセスの 断熱性能向上
		アキレス		0.017W/mK 10年維持(加速試験)	◎	適用市場絞込み 生産コスト低減
	発泡断熱ボード技術開発	東レ		0.023W/mK 30年変化無(計算値)	○	スケールアップ バリアフィルムの 横展開
カネカ		0.024W/mK 25年推定値0.030W/mK	○	規制動向対応可能な 製品化準備		
断熱性能等の計測・評価技術開発	計測技術開発	東京工業大学	圧着型熱伝導率測定装置を開発	装置の上市化 ISOへの申請	◎	新規測定方法の ISO認証
	評価技術開発	建材試験センター	実用性評価基準、評価ツール開発	実用性評価基準、 評価ツールのホーム ページ公開	◎	なし

◎:大いに達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

図 3. 1. 1. 3 (1)～(9)に各事業（事後評価対象事業者のみ）における開発目標の達成度を示す。

**「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定とその創製のための基盤研究」**  
**京都大学**

分類	項目	目標	成果	達成度
微細・ 高空隙率化	ナノセルラー発泡体の創製と発泡体の高空隙率化	・ウレタンフォーム並みの熱伝導率(0.024W/mK) ・ナノスケール径の気泡径の発泡体の実現	・ $\lambda=0.0298$ W/(mK) 最良値 ・空隙率80%・100nm以下の径のナノファイバー構造発泡体(90%以上のOpenポア率)	○
複合断熱材 技術	キセロゲル(低熱伝導空間)とポリマーの複合化	・ウレタンフォーム並みの熱伝導率(0.024W/mK) ・熱伝導率の経時変化抑制	・ $\lambda=0.019$ W/(mK) ・熱伝導率15ヶ月劣化無し(継続試験中)	◎

◎:大いに達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

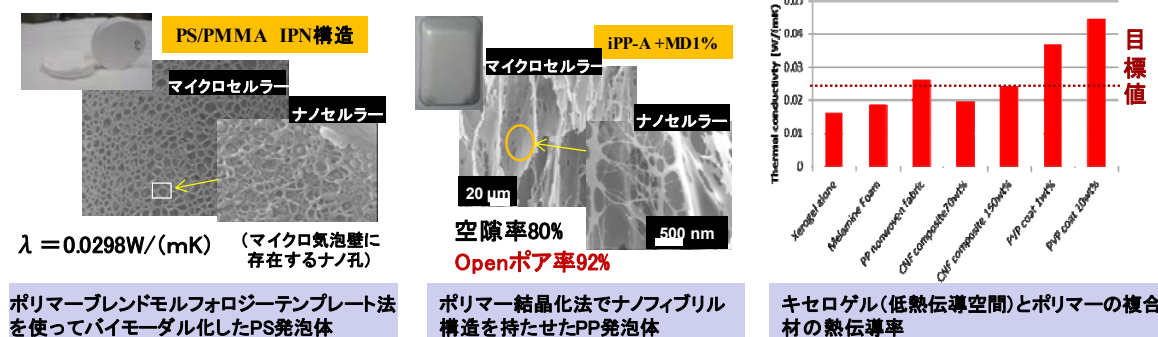


図 3. 1. 1. 3 (1) 開発目標の達成度（基盤技術開発：京都大学）

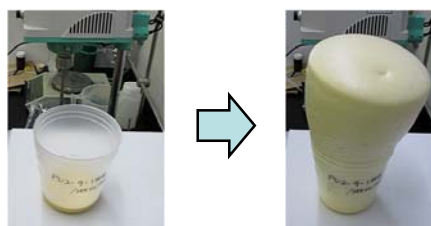
**「次世代断熱発泡剤の研究開発」**  
**独立行政法人 産業技術総合研究所**

分類	項目	目標	成果	達成度
低熱伝導率発泡ガス	発泡剤の気体熱伝導率	0.014 W/(m・K)以下 (HFC-245faとほぼ同等以下)	0.0126 W/(m・K) (HFO-1336mzz-Z)	○
	発泡剤のGWP100年値	150 以下	≤ 19 (HFO-1336mzz-Z)	◎

◎:大いに達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

➤新発泡剤を用いた発泡体の試作

➤ HFO-1336mzz-Zを用いた発泡体を作成。熱伝導率の値はHFC発泡剤の場合と同程度以下。



発泡体の熱伝導率

発泡剤	熱伝導率
HFO-1336mzz-Z	0.022 W/(m・K)
HFC245fa/HFC365mfc (70:30)	0.023 W/(m・K)

図 3. 1. 1. 3 (2) 開発目標の達成度（発泡ガス開発：産業技術総合研究所）

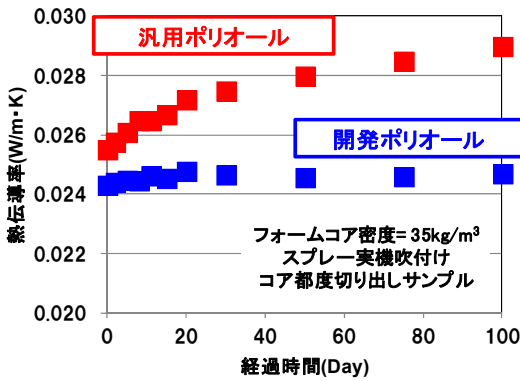


**「水発泡(もしくは超臨界CO2発泡)による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」**  
**旭硝子株式会社**

分類	項目	目標	成果	達成度
高空隙率化	疎水部位導入ポリオール合成および発泡への適応	初期熱伝導率: 0.022W/m <sup>2</sup> ・K以下 コア密度: 35kg/m <sup>3</sup> 以下	高強度化し目標密度を達成 (熱伝導率:0.022W/m <sup>2</sup> ・Kを達成)	◎
高ガスバリア性技術	ポリオール構造の最適化	熱伝導率収束値 0.028W/m <sup>2</sup> ・K以下	凝集力によりガス透過を抑制 出来る事を確認	○

◎: 大いに達成、○: 達成、△: 達成見込み、×: 未達

■ 開発品熱伝導率実測値



■ 財団法人建材試験センター『発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール』を用いたシミュレーション結果

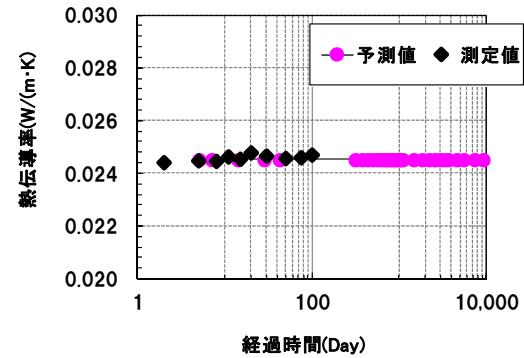
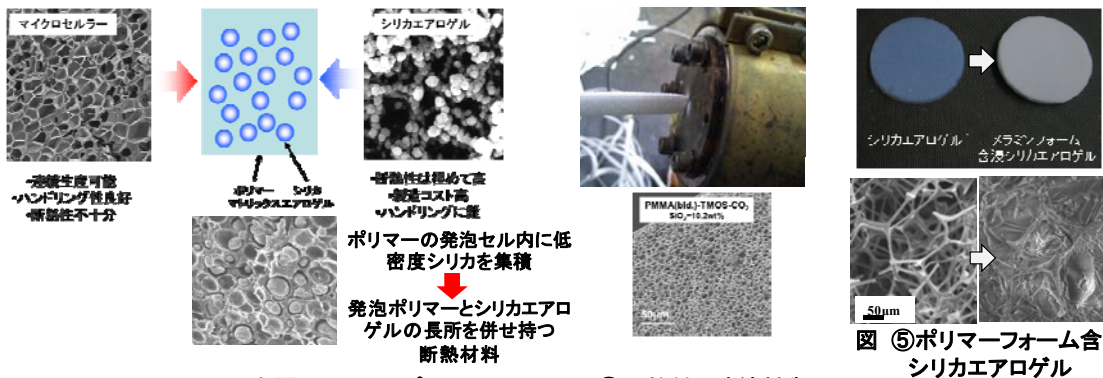


図 3.1.1.3(3) 開発目標の達成度 (硬質ウレタン技術開発: 旭硝子株式会社)

**「発泡ポリマー=シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」**  
**(独) 産業技術総合研究所、東京理科大学**

分類	項目	目標	成果	達成度
複合断熱材技術	④連続製造プロセスの開発	ウレタンフォームと同程度の断熱性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導率0.028W/mK</li> <li>10年相当劣化なし</li> <li>耐熱性の大幅向上</li> </ul>	○
複合断熱材技術	⑤ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの開発	試料の評価、ハンドリング性の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導率0.014W/mK</li> <li>10年相当劣化なし</li> <li>強度の大幅向上</li> </ul>	◎

◎: 大いに達成、○: 達成、△: 達成見込み、×: 未達



■ 本開発のコンセプト

図 ④断熱材の連続製造

図 ⑤ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲル

図 3.1.1.3(4) 開発目標の達成度 (複合断熱材技術開発: 産業技術総合研究所、東京理科大学)

## 「ナノゲル断熱材の研究開発」 アキレス株式会社

分類	項目	目標	成果	達成度
複合断熱材技術	経年劣化の少ない ナノゲル合成法開発	0.024W/(m・K)以下	0.017W/(m・K)	◎
複合断熱材技術	新規断熱材の開発 ・含浸 ・塗工	0.024W/(m・K)以下 0.08W/(m・K)以下	0.017W/(m・K) 0.1W/(m・K)	◎ ○

◎: 大いに達成、○: 達成、△: 達成見込み、×: 未達



図 3.1.1.3(5) 開発目標の達成度 (複合断熱材技術開発: アキレス株式会社)

## 「新規断熱性向上シートの研究開発」 東レ株式会社

分類	項目	目標	成果	達成度
高空隙率化	熱伝導率 低減	0.024W/m・K以下	PLA系、PET系ともに 0.023W/m・K	○
高ガスバリア性 技術	耐久性 向上	熱伝導率の悪化が、 20年で10%以下	CO <sub>2</sub> バリアフィルムにより、 30年でほぼ0%。 (建材試験センター 断熱性能予測ツール)	◎

◎: 大いに達成、○: 達成、△: 達成見込み、×: 未達

### ■ 高空隙率化

		従来製造	マイクロ/ナノ発泡
SEM写真 □: 断面拡大			
	孔径	500 マイクロ(μm)	50 ナノ(nm)
	空隙率 (%)	95	98
	熱伝導率 (W/m・K)	0.031	0.023

### ■ 高ガスバリア性技術(計算シミュレーション)

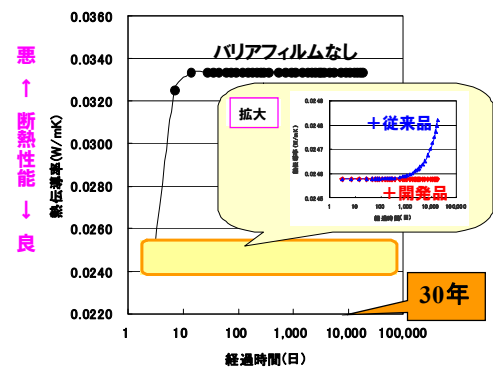


図 3.1.1.3(6) 開発目標の達成度 (発泡断熱ボード技術開発: 東レ株式会社)

## 「高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発」 株式会社 カネカ

分類	項目	目標	成果	達成度
複合断熱材技術	高断熱化技術の調査	多層成形体の設計方針明確化	・多層構造モデル構築 ・該モデルで、目標到達の可能性確認	◎
	高断熱化多層押出发泡体の開発	多層化法の絞り込み、 $\lambda \leq 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$ を達成する外観良好な多層押出发泡体の作製	・多層化法の絞り込み ・外観良好な多層押出发泡体にて熱伝導率 $0.023\text{W/m}\cdot\text{K}$ を確認	◎
	スケールアップ・製品化高断熱化多層押出发泡体の技術獲得	スケールアップ設備仕様並びに製品仕様の決定	・スケールアップ設備の基本構想立案 ・製品仕様を策定 ・初期熱伝導率 $0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$ 、25年後 $\leq 0.030\text{W/m}\cdot\text{K}$ (推算値)	○

◎: 大いに達成、○: 達成、△: 達成見込み、×: 未達

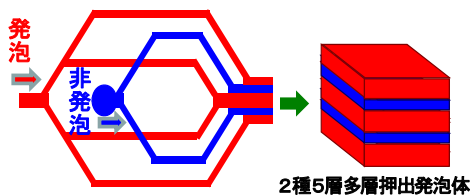


図. 共押出法による多層押出发泡体 (模式図)

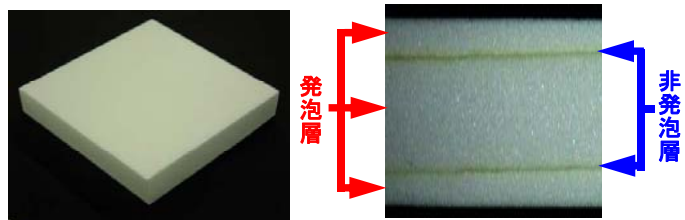


図. 高断熱多層押出发泡体 (左図: 全体 右図: 2種5層断面)

図 3. 1. 1. 3 (7) 開発目標の達成度 (発泡断熱ボード技術開発: 株式会社カネカ)

## 「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」 東京工業大学

分類	項目	目標	成果	達成度
性能計測	温度波法の基礎技術の確立	計測法の国際標準化	ISO/NWIP、CD採択済み	◎
性能計測	高感度プローブおよび小型装置の開発	1mKレベル携帯型装置	1mK 1kgの装置	◎

◎: 大いに達成、○: 達成、△: 達成見込み、×: 未達



発泡材をはじめとする熱絶縁材料の熱伝導率直読装置の開発に成功し、市販化済み

全重量1kg以内、測定時間最短測定で2分を実現した断熱材評価法として世界的にも例がない装置

ISO-TC61SC5プラスチックの物理化学的性質部門に2008年に提案、継続審議中

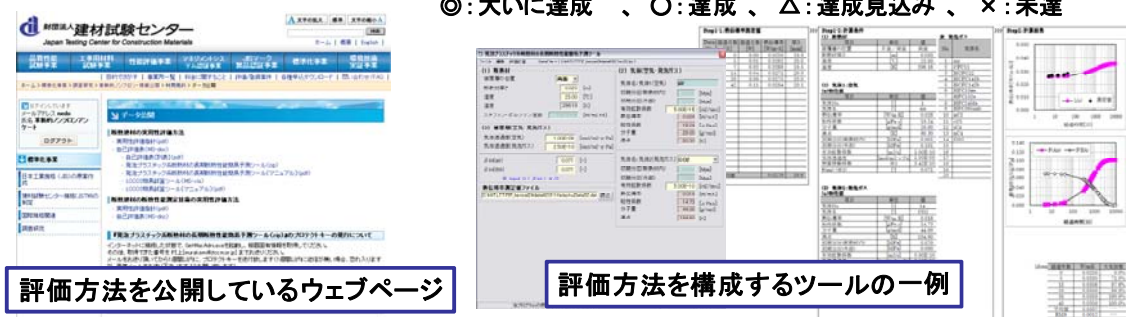
図 3. 1. 1. 3 (8) 開発目標の達成度 (計測技術開発: 東京工業大学)

## 「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価」

### 一般財団法人建材試験センター

分類	項目	目標	成果	達成度
品質評価	②断熱性能等の計測・評価技術 一評価技術開発	断熱材および断熱性能測定技術の総合的な実用性を評価できる評価方法(ガイドライン)の作成 ①革新的ノンフロン系断熱材 ②断熱性能測定技術	2種類の評価方法(ガイドライン)を作成 ※総合的な実用性の評価方法の体系化は世界初	◎
		開発した評価方法(ガイドライン)の公開	ウェブサイトにて公開	◎

◎: 大いに達成、○: 達成、△: 達成見込み、×: 未達



[http://www.jtccm.or.jp/jtccm\\_hyojyun/chosa/non\\_HFC/](http://www.jtccm.or.jp/jtccm_hyojyun/chosa/non_HFC/)

図 3.1.1.3(9) 開発目標の達成度 (評価技術開発: 建材試験センター)

表 3.1.1.3 に知的財産権、成果の普及の状況を示す。

表 3.1.1.3 知的財産権成果の普及の状況

成果	基盤技術開発	発泡ガス開発	硬質ウレタン技術開発	複合断熱技術開発	発泡断熱ボード技術開発	計測技術開発	評価技術開発	合計
特許出願 (うち海外出願)	0	6 (1)	6	13	40 (2)	1	0	66 (3)
論文	25	5	0	6	0	1	0	37
研究発表・講演	67	11	2	27	3	5	0	115
受賞実績	6	1	0	0	1	0	0	8
新聞・雑誌への掲載	1	0	0	0	3	2	1	7
展示会への出典	0	1	0	0	2	3	0	6

### 3.1.1.1 基盤技術開発

#### 3.1.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

その創製のための基盤研究」(委託事業)

H19年度～23年度までの成果を一覧表にまとめたものが下表である。

表 3.1.1.1.1.1 サブテーマ (課題) の目標と成果ならびにその達成度

課題	目標	成果	達成度	今後の課題
ナノセルラー発泡体の創製と発泡体の高空隙率化 <微細孔化・高空隙率化>	ナノスケール径の気泡径の発泡体の実現	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ポリマーブレンドモルフォロジーテンプレート法(<math>\lambda=0.0298</math> W/(mK) 最良値)</li> <li>● ポリマー結晶化法(ナノファイブリフォーム: 空隙率80%で100nm以下の径のナノファイバー構造発泡体)</li> </ul>	○	熱伝導率のさらなる低減と発泡体の用途展開
UVポリマーによるマトリクスへのバリア性導入 <高バリア性>	CO <sub>2</sub> バリア性の高いポリマーをブレンドしCO <sub>2</sub> を発泡体内に封じこめる。	UV硬化性モノマーと熱可塑性樹脂(PS)のブレンド( $\lambda=0.021$ W/(m·K))	○	生産の効率化
中空カプセル・中空ファイバー等の低熱伝導空間の発泡体への導入<低熱伝導空間の導入>	中空カプセルあるいはファイバーを分散させた発泡体を創製する。	二重管紡糸によりCO <sub>2</sub> を含んだカプセル状発泡体を作製 $\lambda=0.0238$ W/(m·K)	○	発泡体中での分散性の向上あるいは表面偏析技術
キセロゲル(低熱伝導空間)とポリマーの複合化 <低熱伝導空間の導入>	キセロゲルとポリマー多孔体の複合化による低熱伝導体の創製	ポリマーハウス法・GNFゲル複合材法・ポリマーコート(塗布)法 $\lambda=0.019$ W/(mK) 長期性	◎	企業との共同

その内容と成果をここに要約する。

#### ① ナノセルラー発泡体の創製による発泡体のセル構造の微細化と高空隙率の実現のための基盤技術開発

空気をその平均自由行程(大気圧・室温で60nm)よりも小さい空間に閉じ込めることにより、分子同士の衝突効率を低減させ、エネルギー伝達効率を落とすことができる(Knudsen効果)。これにより、その空間内の空気の熱伝導率を、大気圧・室温での熱伝導率(およそ0.030 W/(m·K))より小さくできる。この考えに立脚し、気泡径がナノメートルオーダーの発泡体を創製する技術要素を探索し確立することを目指した。その成果は次のようなものである。

ナノセルラー発泡体を作製する手法として、i)共重合体も含め、ポリマーブレンドが作り出すモルフォロジーを気泡生成のテンプレートとする方法、およびii)結晶性ポリマーの結晶構造を気泡生成のテンプレートとする方法を創案し、実験的に実現可能性を検証した。40～500nmの範囲の平均気泡径を持つようなナノセルラー発泡体やナノスケールの直径をもつフィブリルからなるセル構造を呈した発泡体が創製できた。

気泡径は、ナノスケールにまで、微細化できるものの、発泡倍率(空隙率)が大きく出来なかった。H21年度までに実施したポリスチレン樹脂中でアクリルを重合しスチレン・アク



リルの準相互貫入ネットワーク構造をもつブレンドの発泡体では、最も低い熱伝導率として 0.0298 W/(m・K)をもった発泡体の実現できたが、再現性に乏しいものであった。

同じ発泡倍率（空隙率）で、平均気泡径がマイクロスケールの発泡体と気泡径がナノスケールのものの熱伝導率を比較すると次のようなことがわかる：気泡の微細化による熱伝導率の低下効果は観測されるものの、発泡倍率が上がらなかったため、準相互貫入ネットワーク構造以外のポリマーブレンドによる発泡体の熱伝導率は、平均値として最小で 0.046 W/(m・K)までしか低減できなかった。

熱伝導率に関する目標値の達成には至らなかったが、最終年度として、事業化へのステップとしてコアバック式射出発泡成形法を検討し、ナノセルラーをはじめ、さまざまな微細発泡体を工業的な実機で作り出せる可能性を示すことができたことは事業化や用途展開を図る上での価値は大きい。とりわけ、スキン層を持ち、内部が 90%以上の連通率である構造をもつ高倍率発泡体（80%以上の空隙率）がコアバック式射出成形法でできることは、現状、世界的にどこにも報告されていない。その構造の特異性からも、断熱用途をはじめ、フィルターや吸音材・電磁波シールド材などに展開できる可能性をもつと考えられる。

## ② 気泡内壁の架橋反応・シリケート化などによる高バリア性（低二酸化炭素透過性・真空度高保持能力）を賦与した発泡体の開発

樹脂のバリア性をあげ、長期にわたって低熱伝導率を保てる発泡体の開発を目的とした。UV 硬化性モノマーをポリスチレン（PS）に分散させ、発泡ガス（CO<sub>2</sub>）を含浸したあと、UV 光照射し、過飽和状態をつくり、発泡させると共に硬化反応をおこし、バリア性を上げ、熱伝導率として 0.021 W/(m・K)を実現するとともに長期的にその機能を保持できる可能性を示した。

本手法は、UV モノマーとの混練、UV 照射など、プロセスの工程数を増やすこととなる。しかし、そのわりには、大幅な熱伝導率の低減には到らなかったため、H22年度以降は、低熱伝導率空間の導入と融合して研究を推進した。

## ③ 中空カプセル・中空ファイバーあるいはエアロゲルと発泡体のコンポジットによるプラスチック発泡構造体中への低熱伝導空間の導入のための基本技術開発

i) 中空カプセルならびに中空ファイバーを作製することは可能であったが、中を真空にするための手法が草案できず、困難を極めた。その中で、唯一、静電紡糸装置のノズルを 2 重管として、内管に二酸化炭素を流し、静電紡糸によりカプセルを製造することにより、カプセル内に二酸化炭素を充満した 0.0238 W/(m・K)の低熱伝導率をもった発泡体を創成することができた（山形大）。詳細は、中間報告書に記載している。但し、量産性という点では、静電紡糸にはまだまだ工夫が必要であった。

ii) H22 年度からは、キセロゲル（京大：中西）を低熱伝導体として、発泡体中に導入することに注力した。この際、キセロゲルの低熱伝導性を生かし、その機械的脆弱性をポリマーで補うために、ii-①ポリマーハウジング法、ii-②ナノファイバーとキセロゲルのナ

ノコンポジット法、ii-③ポリマーコーティング法の3つの手法を検討した。その中で、PP不織布とのハイブリッド化により、複合体に延性が生まれ、PVPによる薄層コーティングで、弾性を向上させることが出来た。熱伝導率も0.019 W/(m・K)と目標値よりも低い熱伝導率が達成できた。

今後は、ナノセルラーの創製、コアバック発泡射出成形技術の発展、キセロゲルとポリマーの複合体の生産効率の向上とその製品用途の展開を検討することにより、事業化に進めると考えられる。

### 3.1.1.2 発泡ガス開発

#### 3.1.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

フルオロオレフィン類に対し、毒性、熱伝導率、温暖化評価、燃焼性評価、VOC評価、合成法など多方面から検討することで、断熱特性が優れ環境への負荷の小さい発泡剤を開発することを目的として研究開発を実施し、下記の成果を得た。

##### ①フルオロオレフィン系化合物の合成技術開発

還元反応によるオレフィンの製造、脱HXによるオレフィンの製造など、フルオロオレフィンの製造にかかわる反応について検討した。候補化合物の一つであるHFO-1336mzz-Zについて、1,1,1,4,4,4-ヘキサフルオロ-2-ブチン(HFB)を部分水素化する方法を検討し、原料の転化率、HFO-1336mzz-Zの選択率がともに高い合成法を見出した。

##### ②発泡剤としての基礎性能評価

非定常細線加熱法で発泡剤候補化合物の気体熱伝導率の測定を行った。50℃、760torrにおけるHFO-1336mzz-Zの熱伝導率は0.0126 W/(m・K)であり、HFC-245faに比べて約10%熱伝導率が小さいことが分かった。

ポリオールと発泡剤との相溶性試験から、HFC-245faとほぼ同様の相溶性を示すフルオロオレフィンを見出した。フルオロオレフィンを発泡剤として用いて発泡体を試作し、その発泡体の断熱性能がHFC発泡剤を用いた発泡体と比べて同等以上であることを確認した。さらに、発泡剤の安定性についての検討から、一部のフルオロオレフィンはシステム液中での分解が見られたが、触媒の選択によって分解を抑制できることを見出した。

##### ③環境影響評価

絶対速度法を用いて、16種類の含フッ素不飽和化合物とOHラジカルとの反応速度の測定を行った。OHラジカルはフラッシュフォトリシス法、あるいはレーザーフォトリシス法で生成し、反応によって減少したOHラジカルの濃度はレーザー誘起蛍光法で測定した。その結果、

今回測定した 16 化合物の大気寿命は 1 日～1 年以下であり HFC 等の飽和化合物に比べて大気寿命は短く、温暖化に与える影響も非常に小さいことが分かった。また、大気寿命に与える  $O_3$  及び  $NO_3$  ラジカルとの反応の影響は OH ラジカルとの反応に対して無視できることが分かった。

最近開発された GWP に代わる温暖化指標として CEWN, CETN, s-CETN を用い、従来の GWP と比較する形で開発発泡材の温暖化効果を多角的に評価した。新評価手法は温暖化ガスの大気寿命を考慮するなど総合的な評価であり、それを用いた LCCP 評価を行うことでより正確な評価を試みた。この手法で発泡材を評価した結果、フッ素化オレフィンが特に優れた発泡材を提供する発泡剤であることが分かった。この評価はより優れた発泡材の選択に有効であった。

#### ④安全性評価

ASHRAE 法を用いて 15 種類の含フッ素不飽和化合物の燃焼限界の測定を行った。その結果、炭素数が 3 個の鎖状化合物では水素原子が 1 個以下、炭素数が 4 個の鎖状化合物では水素原子が 2 個以下では不燃であることが分かった。

球形容器法を用いてフルオロオレフィンの燃焼速度の測定を行い、最大燃焼速度の値を得た。燃焼性の低い化合物の燃焼速度を予測するため、種々の酸素濃度比における  $CH_2=CFCHF_2$  (1243yf)、及び  $CH_2=CHCF_3$  (1243zf) の燃焼速度の測定を行った。その結果、これら 2 化合物の最大燃焼速度は酸素濃度に比例し、燃焼速度の酸素濃度依存性から燃焼性の低い化合物の燃焼速度を予測できることが分かった。発泡剤候補化合物であるフルオロオレフィンの燃焼速度を測定し、最大燃焼速度の値を得た。

### 3.1.1.3 硬質ウレタン技術開発

#### 3.1.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロン・ウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

超臨界炭酸ガスを利用したノンフロン・スプレーフォームのセル径を現状の  $200\mu m$  前後から数十  $\mu m$  以下に微細化することにより、熱伝導率を低下させることを目的として、ノンフロン・ウレタン断熱技術の研究開発を実施した。その結果、下記の成果を得た。

##### ①ナノバブル発生装置の選定

微細気泡を発生させる装置は発生機構の異なる装置のうち、高粘度なウレタン原液に適用可能でナノバブルを発生の実績のある装置として、(A)高速旋回式、(B)気液剪断式、(C)微細孔式を選定した。

##### ②ナノバブル化の検討

①で選定したナノバブル発生装置を用いウレタン原液のポリオール成分(以下 R 成分)へのバブル導入方法を検討し以下の結果を得た。



- (A)高速巡回式：液を 40℃程度に加熱し、粘度を下げるにより適用可能となった。
  - (B)気液剪断式：液を 25℃前後に加熱し 0.1MPa 程度の圧をかけながら気体を導入した。
  - (C)微細孔式：ポンプを使用して液を流し、吐出先ホースの先端に微細孔膜装着モジュールを設置し、圧縮気体のボンベから液圧より高い圧をかけ気体を導入した。
- またウレタン原液中のバブルを測定する画像解析式粒径測定装置を導入した。

### ③化学的セル微細化の検討

シリコーン整泡剤はナノバブルの安定化と合一の防止に大きな役割を果たすと考えられるため、現行と構造が異なる高活性シリコーン整泡剤を使用し、バブルを導入しながら 超臨界炭酸ガス処方で機械発泡を行った。セル径はSEM写真から計測し、熱流方向である発泡方向に対して平行方向を評価した。この結果、構造の違いによる差はなく、すべて微細化効果を確認した。

### ④ナノバブル化原液の発泡検討

シリコーン整泡剤 B の使用、原液の高粘度化、樹脂骨格の強化および高独立気泡化で 初期熱伝導率 0.024 W/(m・K)を達成した。

## 3.1.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社「熱伝導率経時低下を抑制した

### ノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)

建材を用途とする断熱材分野において、現場発泡及び工場生産分野で現状のフロン系断熱材と同等程度の安全性、断熱性能、コスト、施工性、生産性を有する熱伝導率経時劣化を抑制したノンフロン系硬質 PUF 製造の基礎技術及び実用化技術を開発することを目的として以下の研究開発を実施し、下記の成果を得た。

#### ①混合ガスの安全性、安定性等の評価

空気、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、燃焼範囲を有する低 GWP、低熱伝導率ガス 3 種類の爆発(燃焼)範囲に関して試験を実施した。燃焼範囲を有する低熱伝導率ガスとして3種類を試験し、各々二酸化炭素と混合する事により爆発(燃焼)範囲は小さくなっていることから危険性を減ずることができた。

#### ②混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価

CO<sub>2</sub> と可燃性の低熱伝導率ガス等との混合ガスを密閉容器からガス供給装置等を用いて中圧 PUF 発泡機で PUF 原料(ノンフロン独立気泡系原料)に混合、成型した場合の安定性、安全性評価を実施した。その結果、高圧ガス保安法上不燃性のものは全て成型時及び漏洩時に安全であること、可燃性であっても PUF 原料中の可燃性物質濃度が一定濃度以下の場合には安全である

ことを確認した。

### ③混合ガスを利用した硬質 PUF の LCA 評価

CO<sub>2</sub>と低 GWP、低熱伝導率物質の混合ガスを使用して成型した PUF の熱伝導率が最も低くなる混合量の場合、現行の HFC 発泡剤を用いた場合よりも GWP は大幅に小さくなることを解明した。

また低 GWP、熱伝導率物質と CO<sub>2</sub> の混合ガスを使用した場合の住宅供用時(東京地区集合住宅階間角部屋)の LC-CO<sub>2</sub> は製造時及び発泡時の発泡剤放散による CO<sub>2</sub> 排出を削減できることから HFC 発泡よりも約 20%程度、断熱を施さない場合より約 45%削減できることを解明した。

### ④混合ガスを使用したウレタンフォーム発泡システムへの応用技術開発

#### (A)熱伝導率評価試験

HFC、シクロペンタン(CP)、水(CO<sub>2</sub>)を発泡剤とした PUF 原料でハンドミキシングにて PUF パネルを成型し熱伝導率の経時変化の測定を実施した結果、CP と CO<sub>2</sub> の混合ガスを発泡剤として用いたものは CO<sub>2</sub> 単独を発泡剤とする水発泡よりも熱伝導率経時劣化を抑制できる可能性が大きいことが明らかになった。

また CP を発泡剤とした PUF 原料で PUF パネル及び表面が金属面材の PUF パネルを成型し熱伝導率経時変化を測定した結果、PUF パネルと比較して表面が金属面材の PUF パネルの経時変化は非常に小さいことが明らかになった。

安全性評価時に作成した PUF パネルの熱伝導率等物性から CP、HFE-254pc、HFC-152a を使用して一定量 PUF 原料に混合した場合に良好な熱伝導率(初期・経時)のものが得られた。

#### (B)工場生産技術開発

熱伝導率(初期・経時)が最も小さかった CP/CO<sub>2</sub> 混合ガス(可燃性割合)を用いた大型 PUF パネル成型試験を実施した結果、特定の成型条件では、ほぼ問題無く建材として実用化されているサイズの大型 PUF パネルの成型が可能であることを確認した。また成型時の型内の雰囲気を採用し、ガス濃度測定を実施した結果、いずれの濃度でも爆発(燃焼)下限界以下で、安全であることを確認した。更に混合ガスを使用した PUF は CO<sub>2</sub> を発泡剤とした PUF と比較して初期熱伝導率、熱伝導率劣化度合いとも優れていることを確認した。

#### (C)現場発泡技術開発

発泡直後の PUF 表面から 0~30mm の雰囲気のスAMPLING を行いガス濃度測定を実施した結果、一定量の混合ガスを PUF 原料に混合した場合には CP は検出できず(0.2vol%以下)爆発(燃焼)下限界以下で安全である事が解った。

### 3.1.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub> 発泡）による、 新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」（助成事業）

本助成事業における成果を以下に示す。

#### ①熱伝導率の初期値の向上

気泡セルの形状制御技術を開発し、従来の水発泡技術と比較して断熱性能を大きく改善することが可能で、低密度化と低熱伝導率化を同時に達成できた。

#### ②熱伝導率の経年変化の抑制

硬質ポリウレタンフォーム内部から CO<sub>2</sub> の透過、拡散を抑制することを目的に、用いるポリエーテルポリオール構造最適化を行い、汎用のポリエーテルポリオールと比較して経年変化が抑制されていることを確認できた。

#### ③ガス透過性測定手法の確立

多孔質材料の測定に適した治具を新規に開発し、硬質ポリウレタンフォームのガス透過度が測定可能であることを見出した。

### 3.1.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社 「発泡剤の気相／液相制御技術等による 現場発泡高断熱ウレタンフォームの技術開発」（助成事業）

現状のフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有し、かつ、施工性能、経済性（施工密度）を考慮したノンフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームの開発を実施し、下記の成果を得た。

#### ①吸油性材料によるヒドロカーボン引火性抑制

種々の吸油性材料を評価した結果、熱可塑エラストマーの分子量をコントロールしたものでヒドロカーボンを良く吸着することが判明した。

吸油性材料ヒドロカーボンとして c-ペンタンと n-ペンタンを吸着させ、フォームを発泡させたところ吸着性能が高いのみならず、発泡時にウレタンの反応熱を得て効果的にペンタンガスを放出することが判明した。

吸油性材料を選定し、ペンタンの量を規制することにより、プレミックスの引火性を抑制でき、引火点のないプレミックス液が出来る可能性のあることを確認した。

ペンタンの量を制御し、その熱伝導率が 0.0247W/mK まで下げたものは、簡易引火点測定で一瞬音はするものの引火の有無は確認されず、継続的燃焼も確認されなかった

### 3.1.1.4 複合断熱材技術開発

#### 3.1.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学

##### 「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」 (委託事業)

本開発項目では、発泡ポリマーの柔軟性、ハンドリング性、生産性、シリカエアロゲルの高い断熱性能の利点を合わせ持つ複合断熱材を目指し、 $\mu\text{m}$ 以下の発泡セルをもつポリマーの内部を、熱伝導率の低い低密度シリカで充填した構造を持つ、新規発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材(図 2.2.2.1.4.1.1)を目的として研究開発を実施した。作成法として、ポリマー/シリコンアルコキシド/超臨界二酸化炭素( $\text{scCO}_2$ )の高圧均一相から減圧により相分離を誘起する新規手法(図 2.2.2.1.4.1.2)を提案し、この手法について主に検討した。その結果、下記の成果を得た。

#### ① ポリマー/シリコンアルコキシド/ $\text{scCO}_2$ 反応系の検討

- (a) ポリマー、シリコンアルコキシド、二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )が均一に混合する条件の探索を目的として、高温高圧下での相状態を可視観察するための相平衡測定装置を構築し、種々の組成、温度、圧力において、上記三成分系の相状態を観察した。③で見いだしたポリメチルメタクリレート (PMMA) 系ポリマーとテトラメトキシシラン(TMOS)を含む系に着目し、313 K-393K, 0.1-30 MPa の領域について観察を行い相図を作成した。また、他のアルコキシドについても同様の測定を行い、体系化を行った。
- (b) 本提案の断熱材においてシリカの含有量を制御するため、高圧  $\text{CO}_2$  中でゾルゲル反応を促進させる手法について検討し、分解により酸または塩基を生成するシランカップリング剤が有効であることを見出した。またポリマーと低密度シリカの親和性向上について、PMMA/TMOS 混合物の有効性を検討した。

#### ② 減圧、相分離過程の可視化観察と最適化

発泡構造の制御やプロセスの最適化を目的として、減圧過程を可視化観察するための相分離過程観察装置を構築した。PMMA/シリコンアルコキシド/ $\text{CO}_2$ 系について詳細な解析を行い、発泡時の圧力差を  $\text{CO}_2$  のみの発泡より大きくする必要があること、平均気泡径および気泡密度はシリコンアルコキシドの添加量に依存すること、三成分系での発泡条件はアルコキシド/ $\text{CO}_2$ 二成分系の相平衡から推測できることなど、プロセス設計上必要な知見を多く見いだした。

#### ③ 断熱材の構造と物性の評価

バッチ法により各種ポリマーからの発泡の作成を行い、断熱性能の評価、物性評価、電子顕微鏡による微細構造評価を行った。スクリーニングの結果、ポリエステル、特に PMMA 系ポリマーと TMOS の親和性が高いことを見いだした。最適化の結果、平均径  $3 \mu\text{m}$ 以下の微細発泡で、気泡内にシリカ粒子が析出した構造を持つ材料を調製したが、発泡倍率が小さく、熱伝導率は

0.040 W/mK 程度に止まった。また発泡セルの内部にシリカを集積させるメカニズムについて検証し、CO<sub>2</sub>とシリコンアルコキシドがポリマーから分離する際速度差によると推定されること、加水分解の影響を大きく受けることを見いだした。また発泡セル内に、シリカ含有量がマトリックスより多い単一の粒子が生成した、ユニークな構造を持つ発泡体を作成した。

#### ④ 連続製造プロセスの開発

工業的な生産技術の確立を目的として、バッチ法と同系統の断熱材料を連続的に製造するプロセスの開発を行った。セグメント型の押出成型機をベースとした連続製造装置を構築し、①③でスクリーニングした PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub> 系の発泡試料の押し出し製造を検討した。原料の組成、供給法の変更、押出機の温度、圧力、スクリュウ、ダイの種類と温度などの検討により、吐出の安定化、発泡倍率の向上などを達成し、熱伝導率 0.028 W/mK 程度の試料を安定に連続製造するプロセスを確立した。また作成した試料について、湿度 50 %、温度 50 °C での長期安定性試験（加速試験）を行い、3 ヶ月間（室温下 10 年相当）で、熱伝導率、寸法に大きな変化がないことを確認した。

#### ⑤ 連続気泡型ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの作成（産総研、東京理科大）

本開発項目で提案した断熱材の構造が高い断熱性能を保つことを確認するため、市販の連続気孔型ポリマーフォームの内部にシリカエアロゲルを充填した試料を作成し、熱伝導率や機械的強度の評価を行った。市販メラミンフォーム、ポリプロピレンフォーム等を基材として高い断熱性能（0.017-0.020 W/mK）と、優れた曲げ強度、良好なハンドリング性を併せ持つ断熱材料が調整できることを実証した。この材料についても④と同一の長期安定性試験で性能、寸法の安全性を確認した。さらに超臨界乾燥による本断熱材の製造コストについて、国内で製造した場合のコスト試算を行い、実用化の可能性について検証した。

### 3.1.1.4.2 旭ファイバークラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」

（委託事業）

#### ①無機質繊維基布及びナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作

製造したナノ多孔質シリカ担持断熱材の熱伝導率は、ナノ多孔質シリカ担持量にもよるが、0.019W/m・K～0.024W/m・K に達することが判明した。

### 3.1.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」（助成事業）

発泡剤を使わない新規断熱材としてナノゲルの原材料の合成から応用加工までを研究開発することで、既存断熱材であるウレタンフォームの断熱性能向上と新規断熱材の開発を行った結

果、下記の成果を得た。

①ナノゲル合成法の開発

超臨界炭酸ガスによる量産化を中心として開発を行った。得られた無機系ナノゲルの断熱性能は  $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  で耐久性に優れたものとなった。

②ナノゲルの応用開発

ナノゲルの応用加工の一つとしてナノゲルを空隙率の高い基材に含浸する検討を行った結果、基材とナノゲルを複合化した含浸布の作製に成功した。得られた含浸布の断熱性能は  $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  であり、また含浸布の耐久性を評価した結果良好な性能を保っていた。

3.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発

3.1.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業)

目 標	研究開発成果	達成度
<p>プロジェクト全体の目標</p> <p>ノンフロン系ガスで熱伝導率が <math>0.024\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> 以下の断熱材 (出典:基本計画P1)</p> <p>(1)熱伝導率の更なる低減 熱伝導率:<math>0.020\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math></p> <p>(2)耐久性の向上 熱伝導率の悪化が、20年で10%以下</p> <p>(3)材料のバイオマス化</p>	<p>炭酸ガス発泡で熱伝導率 <math>0.023\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> を達成</p> <p>(1)熱伝導率(平均/チャンピオン)<math>\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> を達成 PLA系 : <math>0.023/0.021</math> PET系 : <math>0.023/0.022</math></p> <p>(2)炭酸ガス透過率が <math>0.04\text{cc}/\text{m}^2\cdot\text{day}</math> のバリアフィルムを開発し、30年でほぼ0%であること確認(建材試験センター長期断熱性能簡易予測ツール)</p> <p>(3)PLA系 : ほぼ100%バイオマス PET系 : 約80wt%バイオマス(原料、ラボ)</p>	<p>達成</p> <p>(1)達成見込み (2013年3月)</p> <p>(2)達成見込み (加速テストでの確認: 2013年3月)</p> <p>(3)PLA系::達成 PET系:達成見込み (2015年以降)</p>

3.1.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出發泡体の研究開発」(委託事業)

小スケールにて、金型・積層装置等の設備面、押出及び押出發泡成形時の樹脂圧力・温度等の成形加工条件面、樹脂・発泡剤・配合剤等の処方面、多層発泡体構造の構成要件について詳細な検討を行い、各構成要件の適正化を図ることで、初期熱伝導率  $0.024\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$  以下、プロジェクト目標値の達成を確認した。

さらに、小スケールの検討にて得られた多層押出発泡体の熱伝導率経時変化を追跡調査し、測定した熱伝導率データより、推算式にて 25 年経過後熱伝導率を  $0.030\text{W/m}\cdot\text{K}$  以下と推定した。

### 3.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

断熱性能等の計測・評価技術開発においては、(1) 計測技術開発 (2) 評価技術開発を実施し、以下の成果を得た。

#### 3.1.2.1 計測技術開発

##### 3.1.2.1.1 東京工業大学「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」(委託事業)

発泡材料の熱伝導を効率的に評価する非定常法ベースの測定法の基礎を確立させた。温度波の伝搬を、ヒーター、熱バッファ板、温度センサー、参照試料、温度センサーという 5 要素直列で構成される測定プローブで解析できることを明らかにし、圧着した材料へ浸透する温度波の量的変化から、材料間の熱伝導率の差異を求めて解析する方法を確認し、測定システムとして完成させることを目標に下記の研究項目を実施し、下記の成果を得た。

- ①温度波を用いた方法論の確立と各種プローブの作製および評価
- ②測定機に必要な電子回路の設計と、解析プログラムの開発
- ③ハンディな測定機としてのプロトタイプの開発
- ④高感度な温度波解析プローブの開発
- ⑤各種試料でのデータ収集

上記プロトタイプの開発を経て、全重量 1kg 以内、測定時間最短測定で 2 分を実現した熱伝導率直読装置の開発に成功し、計測装置を上市した。

また、温度波を用いた熱伝導率測定法について、ISO-TC61SC5 の物理化学的性質部門に 2008 年に提案し、継続審議中である (ISO/NWIP、/CD 採択済み)。

#### 3.1.2.2 評価技術開発

##### 3.1.2.2.1 一般財団法人建材試験センター「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価」(委託事業)

本事業では、革新的ノンフロン系断熱材開発プロジェクトにおいて開発される革新的ノンフロン系断熱材並びに断熱性能の測定技術について、その実用性を評価するための方法を作成することを目的としている。本事業では、本プロジェクトにて開発された革新的な断熱材及び測定技術について、その実用性 (使用目的に適合する性能) を評価する手法である、「実用性評価方法」を開発した。実用性評価方法は、断熱材に適用するもの及び測定技術に適用するもの

2 つで構成され、開発途中における新規技術の実用性を確認し、開発を支援できるものである。また原則本評価方法は、開発者が自ら評価を行う「自己評価」を行うことにより使用するものである。なお、本評価方法を開発する際の検討は、有識者等による委員会を設置することにより進めた。

### (1)断熱材の実用性評価方法

断熱材の実用性評価方法は、断熱材の熱伝導率・透湿抵抗等、各種製品の工業規格に定められる既往の試験・評価項目だけでなく、長期的な断熱性能や LCCO<sub>2</sub> 低減をはじめとする環境負荷低減性能の他、施工性、経済性の評価など、断熱材の総合的な実用性の評価を行うためのものである。従来の製品と比べ断熱性の高い材料の評価のみではなく、開発された断熱材の諸特性についての総合的な評価が行える。

断熱材の開発においては、開発のフェーズ（開発段階）によって評価すべき内容又は評価できる内容が異なっている。開発フェーズは、最初の企画から製品として出荷されるまでを次のように整理した。このうちのフェーズ 1 から 3 が、実用性評価の対象となるものである。また、各フェーズにおける評価の概要は以下の通りである。

フェーズ 0：基礎研究段階 ……………（断熱建材の最も基本的な事項を計画・研究する段階・スタート段階）

フェーズ 1：断熱性能検証段階 ……………（必要な断熱性能を満たすことを検証する段階）

フェーズ 2：実用性能検証段階 ……………（必要な実用性能を明確にし、これを満たすことを検証する段階）

フェーズ 3：製品化段階 ……………（実用性能を有する製品の量産可能性を検証する段階）

フェーズ 4：製品出荷段階 ……………（製品としての出荷を開始する段階・ゴール段階）

表 3.1.2.2.1.1 各フェーズにおける評価の概要

	実施する評価	評価する項目	評価する内容
フェーズ 1	一次評価	断熱性能	初期断熱性能を満たすことの検証と、長期断熱性能確保の考え方を示す。
フェーズ 2	一次評価 二次評価	実用性能※1	開発者が必要な実用性を明確にし、一次評価した結果を基に、二次評価を行う。
フェーズ 3	一次評価 二次評価	実用性能※2	量産化のため、コスト等も踏まえて一次評価、二次評価を行う。

※1：ここでは、初期断熱性能、長期断熱性能、形状安定性、難燃性、強度、原材料の貯蔵安定性、施工性、LCCO<sub>2</sub>等の環境性能等をいう。

※2：※1に経済性を加えたもの。

なお、実用性の評価方法は以下のツールにより構成する。

#### <断熱材の評価方法>

##### a) 断熱建材の実用性評価指針



- b) 断熱建材の自己評価表
- c) 発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール(Assessment Tool for Long-Term Thermal Performance of Insulation Forms)
- d) 断熱材の LCCO<sub>2</sub> 簡易試算ツール

(2)測定技術の実用性評価方法

測定技術の実用性評価方法は、断熱材の各種性能を測定する機器に対して、熱伝導率などの諸物性を測定するなど、基本的性能のみでなく、用途による必要精度、コスト、運搬性、安全性など、測定機器の総合的な実用性の評価を行うためのものである。機器を使用する状況及び目的（研究・現場測定など）に応じ、その性能の評価が行える。

開発のフェーズ（開発段階）によって評価すべき内容又は評価できる内容が異なっている。開発フェーズは、最初の企画から製品として出荷されるまでを次のように整理した。このうちのフェーズ 1 から 3 が、実用性評価の対象となるものである。また、各フェーズにおける評価の概要は以下の通りである。

フェーズ 0：研究・計画段階 …………… 基本的事項の計画または研究（測定目的，測定対象，測定場所等）

フェーズ 1：試作段階 …………… 基本設計によって開発の目的を達成できるかを検証する段階

フェーズ 2：実用段階（1） …………… 目的に合致した装置として製造・製作が可能かを検証する段階

フェーズ 3：実用段階（2） …………… 目的に対する測定技術の精度とコスト等普及に向けた検証を行う段階

フェーズ 4：普及段階 …………… 製品として生産・販売する段階

実用性評価項目の概要とその評価の内容を以下に示す。

表 3.1.2.2.1.2 評価項目の概要

実用性評価項目	基本性能	a) 熱伝導率の測定範囲 b) 測定環境 c) 校正の不確かさ d) 測定の不確かさ e) 測定可能対象
	実用性	f) 測定時の安全性 g) 試料の処理方法 h) 操作性 i) 経済性 j) 環境影響 k) その他関連する項目

表 3.1.2.2.1.3 評価項目と評価内容

フェーズ	評価する実用性評価項目	実施する評価	
1	a), b), c), d), e)	一次評価	
2	a), b), c), d), e), f), g), h)	一次評価	二次評価
3	a), b), c), d), e), f), g), h), i), j), k)	一次評価	二次評価

なお、評価方法は以下のツールにより構成する。

<断熱建材の断熱性能測定技術の評価方法>

- a) 断熱建材の断熱性能測定技術の実用性評価指針
- b) 断熱建材の断熱性能測定技術の自己評価表

(3)各種ツール

実用性評価方法を構成する各種のツールは、以下の様な役割を担う。

- 実用性評価指針：
 

開発品の評価を行うための原則であり、実用化評価に求められる製品の品質、使用用途要件、施工技術要件等の技術事項を示すものである。
- 自己評価表：
 

実用性評価指針に基づき抽出した評価項目を性能の種類別に分類し、表記したもの。断熱材開発のフェーズ毎に評価する項目は異なり、断熱材の開発過程における性能確認のために用いるものである。
- 発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール(Assessment Tool for Long-Term Thermal Performance of Insulation Forms)：
 

自己評価表に記載する、長期断熱性能に係る項目を評価するために用いるツール。開発段階に応じ、断熱材の諸物性から断熱性能を算出し、かつ、長期的な断熱性能の予測をすることができる。製品化段階で、経時的な熱伝導率の測定結果があれば、断熱材の有効拡散係数を同定することも可能である。
- 断熱材の LCCO<sub>2</sub> 簡易試算ツール：
 

自己評価表に記載する、地球温暖化に係る項目を評価するために用いるツール。従来から使用している断熱材と比較して、LCCO<sub>2</sub> をどの程度削減できるかを簡易に算出することができる。

## 3.2 研究開発項目毎の成果

### 3.2.1 革新的断熱技術開発

#### 3.2.1.1 基盤技術開発

##### 3.2.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

##### その創製のための基盤研究」(委託事業)

超低熱伝導率構造部材実現に必要な要素(高空隙率、微細孔、高バリア性、低熱伝導空間の導入)を取り入れたサブテーマからなる研究を進め、超低熱伝導率構造体を高分子発泡体で実現するための基本技術のコンセプトの提案とその実証実験を行ってきた。以下、サブテーマごとに成果をまとめる。

### I 【微細化・高発泡率化】 ナノセルラー発泡体の創製による発泡体のセル構造の微細化と高空隙率の実現のための基礎技術開発

気泡をナノオーダーまでに微細化した発泡体を創製する手法として、以下の2つの手法を考案した。

#### i) ポリマーブレンドのモルフォロジーテンプレート法

高分子ブレンドの(海島)モルフォロジーを気泡生成・成長の鋳型(テンプレート)とする方法。海島相における発泡剤の溶解度・拡散速度の差を利用して、気泡の核生成サイトならびに泡の成長を制御する。

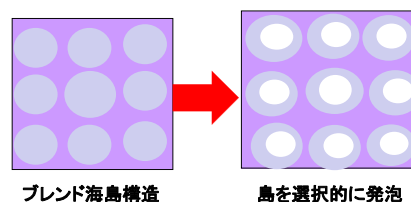


図 3.2.1.1.1.1 ポリマーブレンドのモルフォロジーテンプレート法の概念図

#### ii) ポリマーの結晶構造をテンプレートとする方法(ポリマー結晶化法)

結晶核剤により結晶性高分子の結晶化を促進させ、結晶のインターラメラ間を発泡により延伸・フィブリル化して、ナノフィブリル構造をもった高空隙率な微細発泡体を創製する。

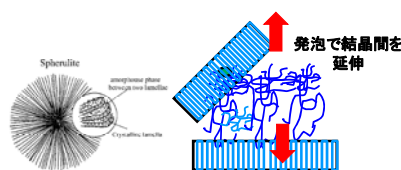


図 3.2.1.1.1.2 ポリマー結晶化法の概念図

### (1) ポリマーブレンドのモルフォロジーテンプレート法の成果の概要

図 3.2.1.1.1.3 に、ポリマーブレンドのモルフォロジーテンプレート法で作製したナノセルラーの事例を示す。左から、ポリスチレン (PS) ポリメチルメタアクリレート (PMMA) のブロック共重合体、PS/PMMA の相互貫入ネットワーク構造をもつブレンド、ポリプロピレン/スチレン系エラストマーのブレンドから作製されたナノセルラー発泡体である。上段にブレンドがもつ相分離構造(モルフォロジー)が見られる AFM あるいは

は TEM 像を示し、下段に得られた発泡体の AFM あるいは SEM 像が示されている。下段の各像の黒い部分が気泡である。

PS-b-PMMA のブロック共重合体では、平均直径 40nm の気泡が観察でき、PS 樹脂内でアクリルモノマーを重合することにより得られた PS/PMMA の相互貫入ネットワーク構造をもつブレンドでは、平均直径 80nm の気泡が、また、ポリプロピレン/スチレン系エラストマーのブレンドでは、平均 200nm の径の気泡が得られている。

気泡径は、ナノオーダーにまで小さく出来たが、発泡倍率が低く、発泡体中に占める空隙の割合（空隙率）が極めて小さいものしか得ることができなかった。そのため熱伝導率は、発泡前のものより、若干低くなる程度で、最終目標値はおろか中間目標値にも届かないものであった。

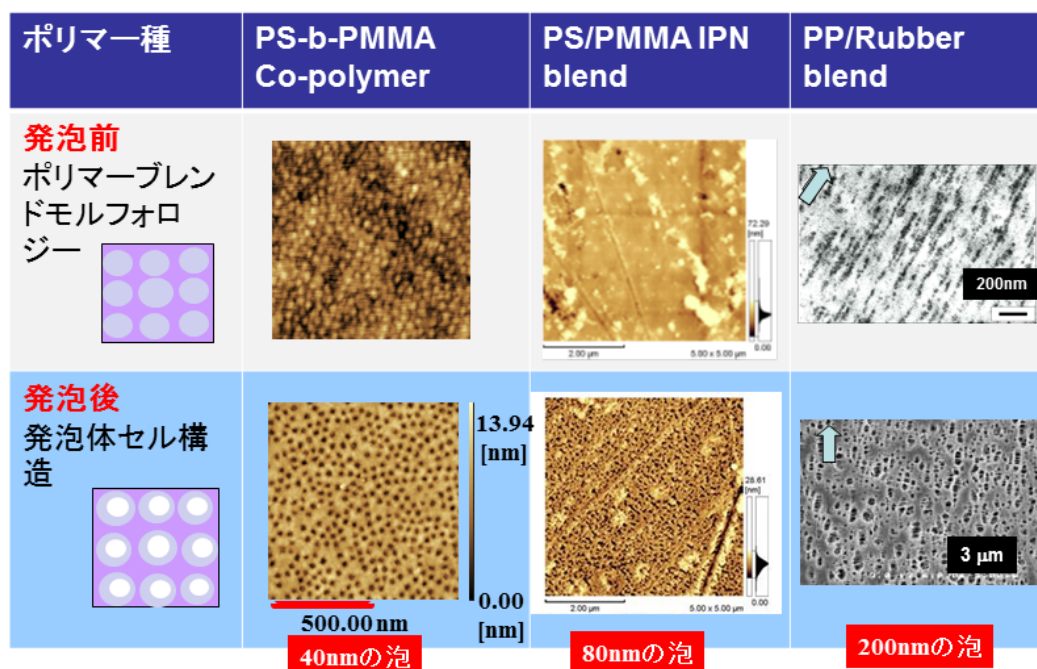


図 3.2.1.1.1.3 ポリマーブレンドのモルフォロジーテンプレート法により作製したナノセルラー発泡体（上段：発泡前、下段：発泡後）

## （2）膜から高空隙率の発泡成形体へバイモーダルセル径分布を持った発泡体

H19 年度後半から H20 年度にかけては、先に紹介したナノセルラーの創製法をさらに進化させた。薄膜だけではなく、高い空隙率をもった成形体を得ることを試みた。その際、ナノセルラーのみでは、発泡倍率が下がり、熱伝導率が期待したほど下がらないことから、マクロとナノのスケールの気泡が混在し、マクロスケールの泡で全体の発泡率（85%以上）を確保し、ナノスケールの泡で気泡壁の熱伝導率をさらに低減させる発泡体の創製手法を検討した。具体的には、相互貫入ネットワーク構造をもった PS/PMMA ブレンド体を二

酸化炭素中で重合と発泡させる。その操作条件を工夫することにより、バイモーダル構造やポリマーゲルを分散させた発泡体を作ることができた。その発泡体の SEM 像を図 3.2.1.1.1.4 に示す。図に示すように大きく 2 つ（マイクロセルラーとナノセルラー）のバイモーダルな気泡径分布をもつセル構造が観測されている。マイクロセルラーは、気泡径およそ  $10\sim 20\mu\text{m}$  のものとなっている。また、マイクロセルラーの気泡の壁に PMMA のナノスケールの微粒子（空隙のところもある）が観察されたものもある。得られた発泡体の熱伝導率をホットディスク法により測定した。その結果、チャンピオンデータではあるが、マイクロセルラーの気泡の壁に PMMA のナノスケールの微粒子が存在する発泡体で  $0.0298\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  が測定された。

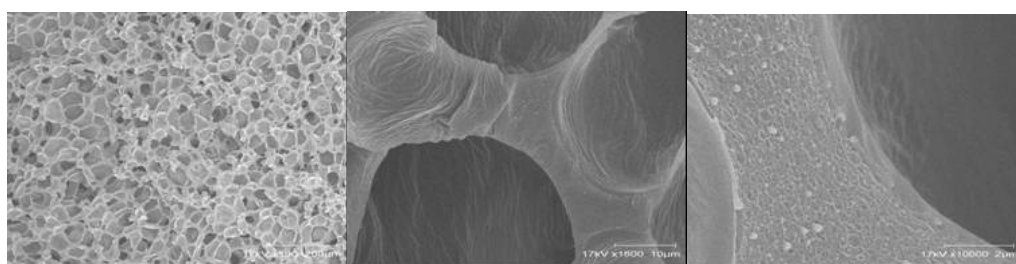


図 3.2.1.1.1.4 バイモーダルな気泡分布をもった PS/PMMA の SEM 像

(左から右へ Magnification X 150 (left) X1500(center) X10000(right)  $0.29\text{ g}/\text{cm}^3$   $\lambda=0.05682\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )

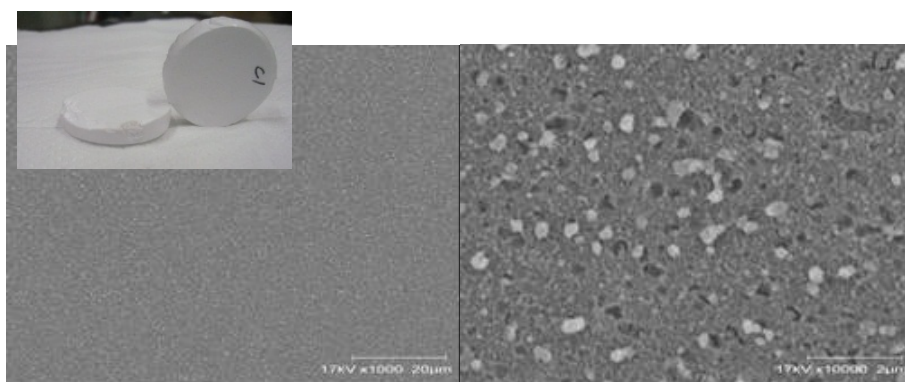


図 3.2.1.1.1.5 PMMA の膨潤粒子を分散相としてもつ発泡体の SEM 像.

(Magnification X 1000 (left) X10000 (right)  $0.853\text{g}/\text{cm}^3$  ,  $\lambda=0.0298\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )

上図の SEM 像の発泡体が、ポリマーブレンドのモルフォロジーテンプレート法で得られた最も低い熱伝導率を持った発泡体である。超臨界二酸化炭素による重合と超臨界乾燥による微細構造の保持の効果から低熱伝導率が実現されたと思われる。しかし、再現性に乏しく、かつ、目標値の  $0.024\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  を下回る熱伝導率の実現が困難であったため、H22 年度からは、ポリマー発泡体中にゲルを分散した構造による熱伝導率の低下の可能性をより現実的に深化させるため、エアロゲル・キセロゲルとポリマー多孔体とのコンポジット

のテーマに一本化して進むこととした。

### (3) ポリマーの結晶構造をテンプレートとする方法 (ポリマー結晶化法) の成果の概要

高発泡倍率と微細気泡径の両方を実現するために、ポリマーの結晶構造をテンプレートとし、結晶間に局所的に気泡核生成を誘起させ、気泡の成長による延伸で、結晶からナノフィブリルを紡ぎ出すような形で多孔構造体を作製する手法を創案した。

まず、結晶性ポリマーであるポリプロピレン (PP) を用いて、結晶融点 (Tm) 以下、結晶化 (Tc) 温度以上の温度範囲下で発泡を行い、ナノ発泡体からマイクロ発泡体に構造が転移する温度があることを見出した。

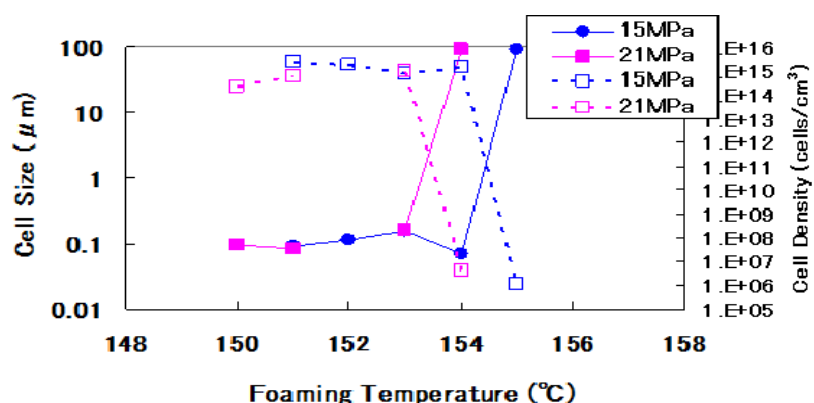


図 3.2.1.1.1.6 ナノセルラーからマイクロセルラーへの構造転移温度の存在

その構造転移温度近傍に発泡温度を選び、結晶核剤 (ソルビトール系結晶核剤 (Bis(p-methylbenzyliden) sorbitol (MDBS) : 商品名:ゲルオール MD:新日本理化製) を添加することによる結晶化度の増加を図ることにより、結晶を起源とするナノスケールのフィブリル構造をもった多孔体が作製できた。

ポリマー種	i-PP+結晶核剤0.5%)	branch-PP+LIPP (50/50)+結晶核剤
発泡後 SEM写真 低倍率(右上) 高倍率(左下)		
密度[g/cm <sup>3</sup> ]	0.476	0.315
空隙率[%]	42.7	65.3
熱伝導率 [W/(mK)]	0.0589	0.0456

図 3.2.1.1.1.7 ポリマー結晶化法で作製したナノフィブリル構造



図 3.2.1.1.1.7 は、結晶核剤（ゲルオール）を添加しバッチ発泡した PP の発泡構造の SEM 写真である。左側は、アイソタクチックな PP に結晶核剤を 0.5%添加し、構造転移温度近傍で二酸化炭素を使ってバッチ発泡して得られた発泡体の気泡構造を、右側は、結晶部を増加させるために、ブランチ型の PP に低立体規則性ポリプロピレン（LIPP）を 50 : 50 でブレンドし、さらに結晶核剤を添加し、二酸化炭素でバッチ発泡して得られた発泡体の SEM 写真である。結晶が存在したと思われる領域に、発泡後フィブリング構造をもった空隙が出来ていることがわかる。また、図 3.2.1.1.1.8 は、同じ空隙率の発泡体ではあるが、一方は、気泡の平均直径がナノメートルスケールの発泡体と、一方は、マイクロメートルスケールのものの熱伝導率を比較した図である。明らかに、ナノメートルスケールの気泡径をもった発泡体の方が熱伝導率は低くなっている。しかし、空隙率も 70%近くまで増加したにも関わらず、熱伝導率は 0.044 W/(m·K)までしか低減できず、目標値の 0.024W/(m·K)を下回るものは作製できなかった。

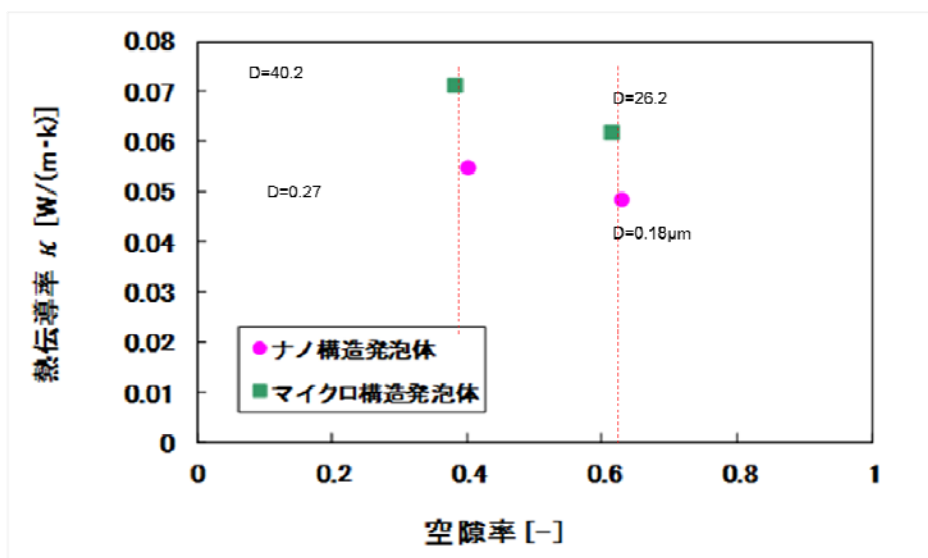


図 3.2.1.1.1.8 マイクロセルラーとナノセルラーの熱伝導率の比較

表 3.2.1.1.1.1 ナノ発泡構造とマイクロ発泡構造による熱伝導率への影響

ナノセルラー			マイクロセルラー			
空隙率	セル径	熱伝導率 $\lambda$	空隙率	セル径	熱伝導率 $\lambda$	
[-]	( $\mu\text{m}$ )	[W/(m·K)]	[-]	( $\mu\text{m}$ )	[W/(m·K)]	
A	0.404	0.27	0.0545	0.384	40.2	0.0709
B	0.631	0.18	0.0483	0.615	26.2	0.0616

#### (4) ナノセルラー・バイモーダル気泡分布をコアバック射出発泡成形法により工業的に実現する手法の検討

上述してきた発泡体の作製手法としては、バッチ発泡法と呼ばれる手法が取られてきた。オートクレーブに樹脂を入れ、高圧で発泡剤を含浸させ、平衡に達した後、減圧や昇温操作により相分離を誘起し、気泡を生成する手法である。バッチ発泡による微細発泡体の製造プロセスは発泡剤である超臨界流体を大量に消費する上、成形に要する時間が非常に長い。そのため、量産性が良くない。微細発泡体を断熱材として市場に適用するためには射出成形、押出成形、ブロー成形等の量産プロセスに載せる必要がある。また、さらなる高空隙率の実現を果たすためにも、本プロジェクトでは成形サイクルが短く、形状の自由度が高いコアバック式射出発泡成形のプロセスを用いた高性能断熱材の微細発泡製造プロセス開発を行なった。

コアバック式射出成形法は、通常の射出成形とはコアバック式と発泡射出という2つの点で異なる。コアバック式とは、樹脂を金型内のキャビティに射出し、保圧を掛けたある時点で、可動側の金型板を、動かし、キャビティ体積を大きくする手法をいう。また、発泡射出成形法とは、射出機のシリンダー途中から高圧の二酸化炭素あるいは窒素を1回に射出樹脂量に対して一定濃度となるように注入し、ガスを分散・溶解させ、金型内で発泡させる射出成形法である。コアバックにより金型体積が増加し、金型内樹脂圧が急激に低下することが、気泡核生成の起因となって発泡させる手法が、コアバック式射出発泡成形法である。

ポリマー結晶化法をこのコアバック式発泡射出成形機で実現して得られた発泡体のSEM写真を下図に示す。バッチ発泡で見られたようなフィブリル構造が、射出成形品にも見られる。

バイモーダルセル技術	ポリマー結晶化法 (コアバック射出成形発泡)
基本技術	ポリマーの結晶構造をテンプレートとする方法(ポリマー結晶化法)
高空隙率化のポイント	マイクロとナノスケールの共存(コアバック発泡によりマイクロセルと結晶誘起によるナノフィブリル化)
SEM写真 左上:コアバック方向に垂直な断面から見るナノフィブリル構造 中左:コアバック方向に垂直な断面から見る低倍像 中右:コアバック方向断面から見る低倍像 右上:コアバック方向断面から見るナノフィブリル	
熱伝導率	0.0831[W/(mK)]
空隙率	80% <b>Open Pore 率 90%以上</b>

図 3.2.1.1.1.10 ポリマー結晶化法で得られたナノフィブリル構造をもつ発泡体



図からわかるように高空隙率の発泡体で連続孔構造のものが作製できている。空隙率に関しては、80%とかなり高いレベルにまで達成したと思える。ただし、スキン層の存在により、熱伝導率は低くない。一方で、得られた構造は、90%の連続孔（オープンポア）率と、従来にない非常に高い連通性を持った構造となっている。この構造を生かすことによる今後この種の微細発泡体の用途が、大きく広がる可能性がある。

## II 気泡内壁の架橋反応・シリケート化などによる高バリア性（低二酸化炭素透過性・真空度高保持能力）をもった発泡体開発の成果概要

高断熱性発泡体の長期的性能維持を目的として、発泡体の気泡内部に低熱伝導率の発泡剤ガス（CO<sub>2</sub>）を長期的に封止するための手法を検討した。低熱伝導率のガスを封止する手法としては、図に記すように、3つの方法が考えられた。

### i) ガスバリア材で発泡体を包装する方法

低熱伝導率のガスを内部に保有した発泡体（多孔体）を最外層にアルミ蒸着させたフィルムやガスバリア性の高いフィルムを融着させ、発泡体全体を包装する形で、内部にガスを封止する方法。

### ii) 気泡壁のガスバリア性を強化する方法

発泡ガスが存在するのは、気泡の空間であることから、気泡ひとつずつを覆いくるむかのように、ガスバリア性の高い層を気泡壁に形成し、ガスの放散を抑制する方法

### iii) マトリクス樹脂のガスバリア性を強化する方法

マトリクスを形成する樹脂のバリア性を向上させ、ガスの放散を抑制する。従来からナノクレイや、ガラス繊維を入れてガス成分の樹脂中の拡散速度を低下させる手法はあるが、これらの従来法では、効果はあるが断熱材において性能の長期性を保証できるほど、ガスの拡散係数は落とせていない。

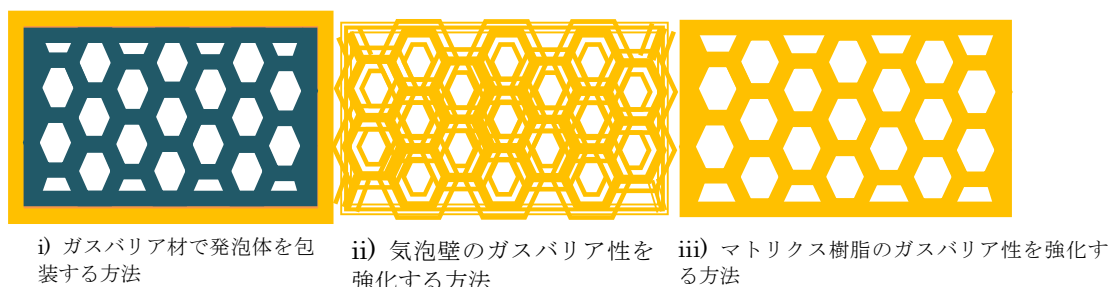


図 3.2.1.1.1.11 バリア性を向上させる3つの手法（概念図）

本プロジェクトでは、i)の手法は、東レならびにカネカのグループで実施されていたため、ii)あるいはiii)に分類される手法の検討を進めた。具体的に検討したバリア性強化の手法は、以下のとおりである。

低熱伝導率のガスを封止するガスバリア性は、紫外線(UV)の照射によってガス透過性の低い架橋構造を形成する UV 硬化モノマーをポリマーに添加することにより発泡体に賦与することとした。UV 硬化モノマー/PS の均質混合体に CO<sub>2</sub> を溶解させ、その後、UV を照射し UV 硬化モノマーの重合による反応熱と架橋形成によって CO<sub>2</sub> の過飽和状態を作り、相分離を誘起する。相分離による発泡が起こると同時に UV 硬化樹脂に起因するガスバリア性の賦与を行うことで、気泡内部に低熱伝導率のガスを封止した発泡体を作製した。この際、UV モノマーとマトリクス樹脂が非相容ならば、UV が分散相を形成し、そこで気泡が生成する。その結果、気泡壁に UV モノマーが存在し、UV 照射を行うことにより、気泡壁が UV 硬化樹脂で覆われ ii) の手法が実現できると考えた。相容系ならば、iii) の手法が実現できるとした。

得られた発泡体は平均気泡径 20 μm、気泡数密度 1×10<sup>8</sup> 個/cm<sup>3</sup> であった。また、架橋構造の形成により発泡体内での CO<sub>2</sub> の拡散係数を低下させることができ、熱伝導率 0.021 W/(m・K) の発泡体を作製することができた。UV モノマー (HDDA) /PS を 50 : 50 で混ぜた試料に CO<sub>2</sub> を含浸後、UV を照射し作製した発泡体の外観写真と断面の SEM 写真を下図に示す。比較のために、最も左に UV 照射前の試料を示す。UV を照射することで発泡が起こり、全体が白化している。また、図の右の SEM 写真より内部に直径 10~100 μm 程度の気泡が形成されていることがわかる。

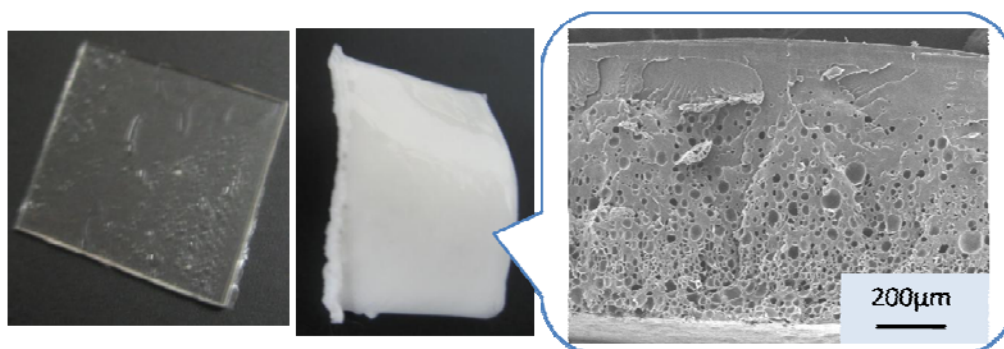


図 3.2.1.1.1.1.12 試料の発泡前後での概観の違いと発泡体の SEM 写真 (UV light 109 mW/cm<sup>2</sup> at 365 nm, exposure time 60 s)

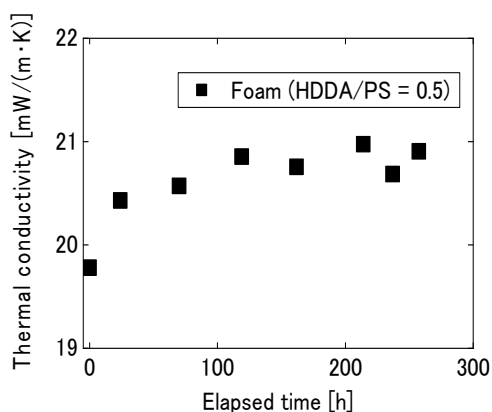


図 3.2.1.1.1.1.1.13 UV 照射による発泡体の熱伝導率の時間変化.

CO<sub>2</sub> を含浸した HDDA/PS = 0.5 の試料に 109 mW/cm<sup>2</sup> (365nm) で 2 秒間 UV を照射し発泡させた後、厚さ 2.75mm のガラス板で試料を挟み込み表面を平滑にしながらガラス越しに、さらに 109 mW/cm<sup>2</sup> で 60 秒間 UV 照射を行った。得られた試料の熱伝導率の経時変化を測定した結果を図 3.2.1.1.1.1.1.13 に示す。発泡後 200 時間経過しても試料の熱伝導率は 0.021 W/(m・K)

以下と極めて低い値となった。これは気泡内部に熱伝導率 0.016 W/(m・K)の CO<sub>2</sub>を封入できたためであると考えられる。

### Ⅲ 中空カプセル・中空ファイバーあるいはエアロゲルと発泡体のコンポジットによるプラスチック発泡構造体中への低熱伝導空間の導入のための基本技術開発の成果概要

#### (1) 作製原理

キセロゲルを低熱伝導体として、高分子材料（発泡体、不織布、ナノファイバー等）中に導入することを検討した。このとき、キセロゲルの低熱伝導性を生かし、その機械的脆弱性を補うために、ii-①ポリマーハウジング法、ii-②ナノファイバーとキセロゲルのナノコンポジット法、ii-③ポリマーコーティング法の3つの手法を検討した。その結果、PP不織布とのハイブリッド化により複合体に延性が発現し、また、PVPによる薄層コーティングで弾性を向上させることができた。また、熱伝導率も 0.019-0.020 W/(m・K)と目標値よりも低い熱伝導率が達成できた。

キセロゲルをコア材として様々な高分子材料と組合せ複合化することで、断熱材として延性又は脆性に特徴のある種々の改良できる。この複合化法として、検討した3つ手法をもう少し詳しく説明すると次のようになる。

## キセロゲル（低熱伝導空間）とポリマーの複合化

キセロゲルの高い断熱性を生かし、機械的強度の弱さをポリマー素材で補う。

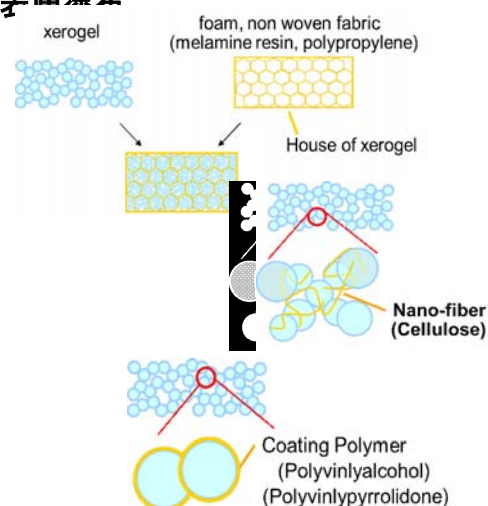
- 1). ポリマー発泡体によるハウジング法
- 2). セルロースナノファイバーによるナノコンポジット
- 3). ポリマーによるキセロゲル粒子表面の塗布

#### 【概念】

**1) ポリマー発泡体によるハウジング法**  
連続セル構造体や不織布などをゲルの骨格として複合化し、機械的強度を上げる

**2) セルロースナノファイバー(CNF)とゲルのナノコンポジット**  
セルロースナノファイバーを複合化し、機械的強度を上げる。

**3) PVPやPVAによるキセロゲル粒子表面の塗布**  
親水性のポリマーのPVPやPVAを使って、ゲルの粒子表面を塗布し、粒子間の接着性を上げる



ii-① ポリマーハウジング法、

連続孔からなる発泡体や不織布などをゲルの骨格として、ポリマー多孔体+ゲルのコンポジットを作る。

ii-② ナノファイバーとキセロゲルのナノコンポジット法

セルロースナノファイバーとゲルを複合化してナノコンポジットを作製する。

ii-③ ポリマーコーティング法

親水性のポリマーである PVP や PVA を使って、ゲルの粒子表面を塗布し、粒子間の接着性を上げ、弾性強度を上げる。

ここで検討に用いた高分子材料は発泡体（メラミン）、不織布（PP、EVOH、ポリエステル）、セルロースナノファイバー、高分子（PVA、PVP、PEG）である。

## キセロゲル+ポリマー複合材（結果）





ハイブリッド材仕様	ポリマーハウジング(発泡体)	ポリマーハウジング(PP不織布)	ゲル+CNFコンポジット	PVP塗布
デジカメ写真 サンプルサイズ (2x2cm)	 白色化	 白色化	 白色化	 透明性高い (文字が見える)
比表面積 [m <sup>2</sup> /g]	593	593	631	599
曲げ弾性率 [Pa]	8.00 x 10 <sup>6</sup>	11.68 x 10 <sup>6</sup>	5.34x 10 <sup>6</sup> (CNF70wt%)	38.45x 10 <sup>6</sup> (10wt%)
熱伝導率 [W/(mK)]	0.019	0.027	0.020 (CNF70wt%)	0.035 (1wt%)

図 3. 2. 1. 1. 1. 13 キセロゲル+ポリマー複合材の結果のまとめ

今回の手法で得られた高分子材料複合キセロゲルの外観写真を図に示す。PVP 複合キセロゲルは複合なしのキセロゲルと同様に透明である。

### (2) 機械的性質（曲げ試験）

複合体の曲げ試験から得られた曲げ応力-ひずみ（Stress - Strain）曲線を図に示す。また、図 3. 2. 1. 1. 1. 13 にも曲げ弾性率の結果を示した。特に、PP 不織布を複合材に用いた場合には変形に対して柔軟性が出現している。しかし、メラミンフォームの場合にはひずみ変位量が 10% に到達する前に破断した。一方、PVP をコーティングしたキセロゲルにおいては固くなり、弾性率が大きく向上した。従って、複合体の硬さ（剛性）および柔ら

かさ（柔軟性）が要求される場合には高分子材料を選択して複合化することが必要となる。

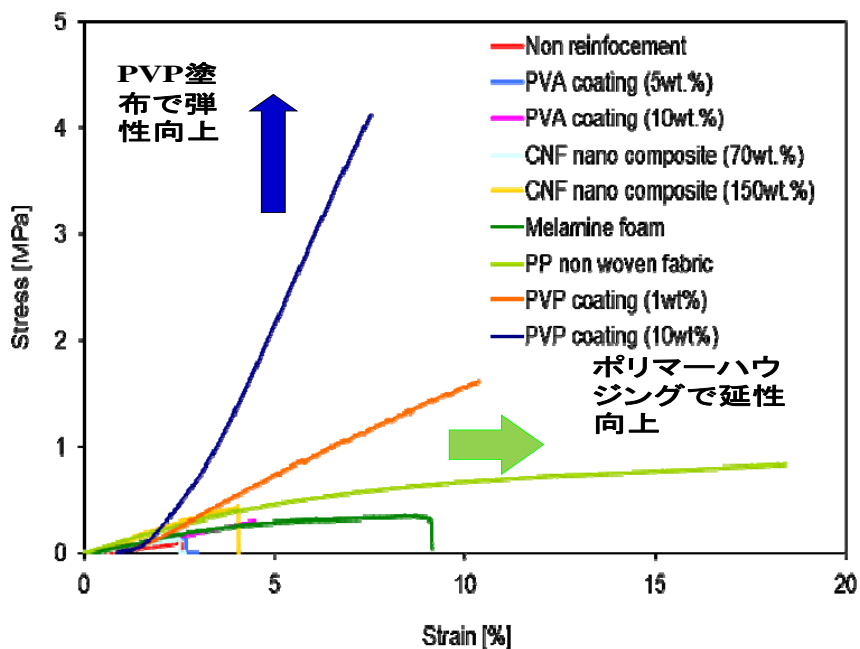


図 3.2.1.1.1.14 キセロゲル+ポリマーの機械的強度

(3) 熱伝導率

キシロゲル+高分子材料複合体の熱伝導率を試作熱伝導率測定装置（保護熱板法）により測定した。その結果を下図に示す。複合化していないキシロゲルの熱伝導率は 0.016 W/(m・K)、複合化したメラミンフォームでは 0.019 W/(m・K)であった。

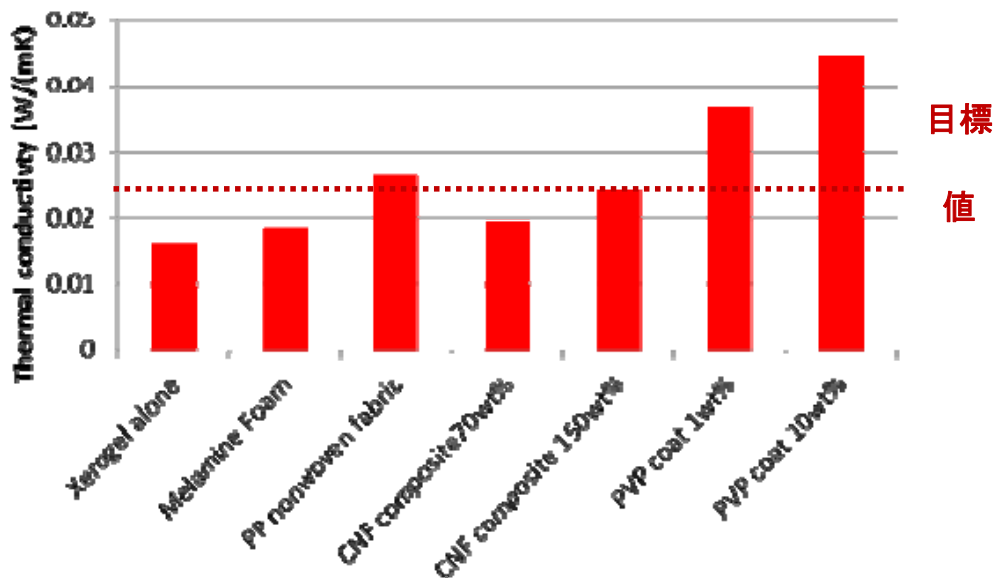


図 3.2.1.1.1.15 キセロゲル+ポリマーの熱伝導率

次図は、メラミン発泡体をハウジングとしたゲルの長期性を検討したデータである。ハイブリッド材の作製後から1年3ヶ月立っているが、熱伝導率は劣化していない。

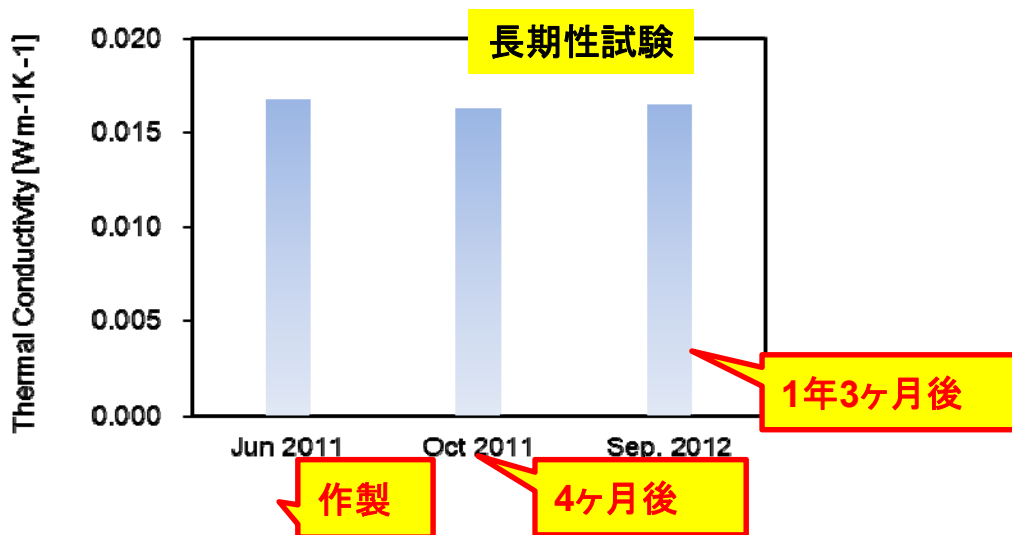


図 3. 2. 1. 1. 1. 16 キセロゲル+ポリマーの長期性

ゲル+高分子多孔体とのコンポジット化により、目標値よりも低い熱伝導率を達成できた。現状、乾燥に係わる時間の長さの問題、キセロゲルのコスト問題はあるが、用途が見出せれば断熱性能の高い材料が創製できたと思われる。

### 3.2.1.2 発泡ガス開発

#### 3.2.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

本研究ではフルオロオレフィン類に対し、毒性、熱伝導率、温暖化評価、燃焼性評価、VOC 評価、合成法など多方面から検討することで、断熱特性が優れ環境への負荷の小さい発泡剤を開発することを目的としている。

発泡剤用途の化合物という観点から沸点が約 10~50℃、大気中での分解のしやすさと燃焼性の低さを考慮して炭素数 4 で水素数 1~2、あるいは炭素数 5 で水素数 1~3 のフルオロオレフィン文献で検索し、条件を満たす化合物を見出した。これらの化合物に対して、入手あるいは合成の容易さ、毒性の知見を考慮して絞り込みを行い、合成及び評価の検討を行った。

以下の研究項目ごとの成果を記載する。

##### (1)フルオロオレフィン系化合物の合成技術開発

合成技術の検討として、フルオロオレフィンの製造にかかわる反応、具体的には、還元反応によるオレフィンの製造、二重結合への H<sub>2</sub> 付加による中間原料製造、脱 HX によるオレフィンの製造、オレフィンの異性化の検討を行った。ここでは、塩素を含む化合物の還元反応によるオレフィンの製造について、一つの具体例を例示する。

HFC などのフッ素化合物の工業的な製法では、原料となる塩素化合物を触媒的にフッ素化して製造する方法が多用される。また、中間原料として塩素を含む CFC や HCFC を用いることも多い。したがって、塩素を含む化合物の還元反応によるオレフィンの製造は工業的なオレフィン製造反応として期待される。特に、気相触媒水素化による還元反応であれば、流通式プロセスとして連続的な製造プロセスとなり得るため、特に有用である。ここでは、以下の隣り合う炭素にそれぞれ塩素が置換した化合物 R<sup>1</sup>-CClF-CClF-R<sup>2</sup> (1) の還元による R<sup>1</sup>-CF=CF-R<sup>2</sup> (2) の製造について検討した。

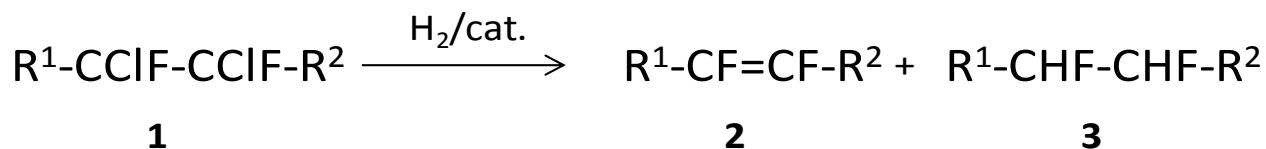


図 3.2.1.2.1.1 R<sup>1</sup>-CClF-CClF-R<sup>2</sup> の還元反応

反応に用いる触媒は主に担持担体に金属を担持したものを用いた。この担持触媒は、金属塩水溶液を担体に終夜含浸し、蒸発乾固したのち水素気流下で加熱して還元を行い、調

製した。

反応は、所定の温度に加熱した触媒に、**1**、水素、窒素を通すことにより行った。反応生成物は GC により分析し、**1** の転化率及び **2** と R<sup>1</sup>-CHF-CHF-R<sup>2</sup>(**3**) の選択率は、HFC-134a を内部標準試料とした補正係数で換算して算出した。

図 3.2.1.2.1.2 に **1** の還元反応の結果を示した。No.1, 2 のように、貴金属系触媒を用いた場合、**2** に水素添加された **3** まで反応が進行する場合があったが、触媒系を検討することにより **2** を高選択的に得ることができた。遷移金属系の触媒では、**2** の選択率は高いが **1** の転化率が低い物が見られた。

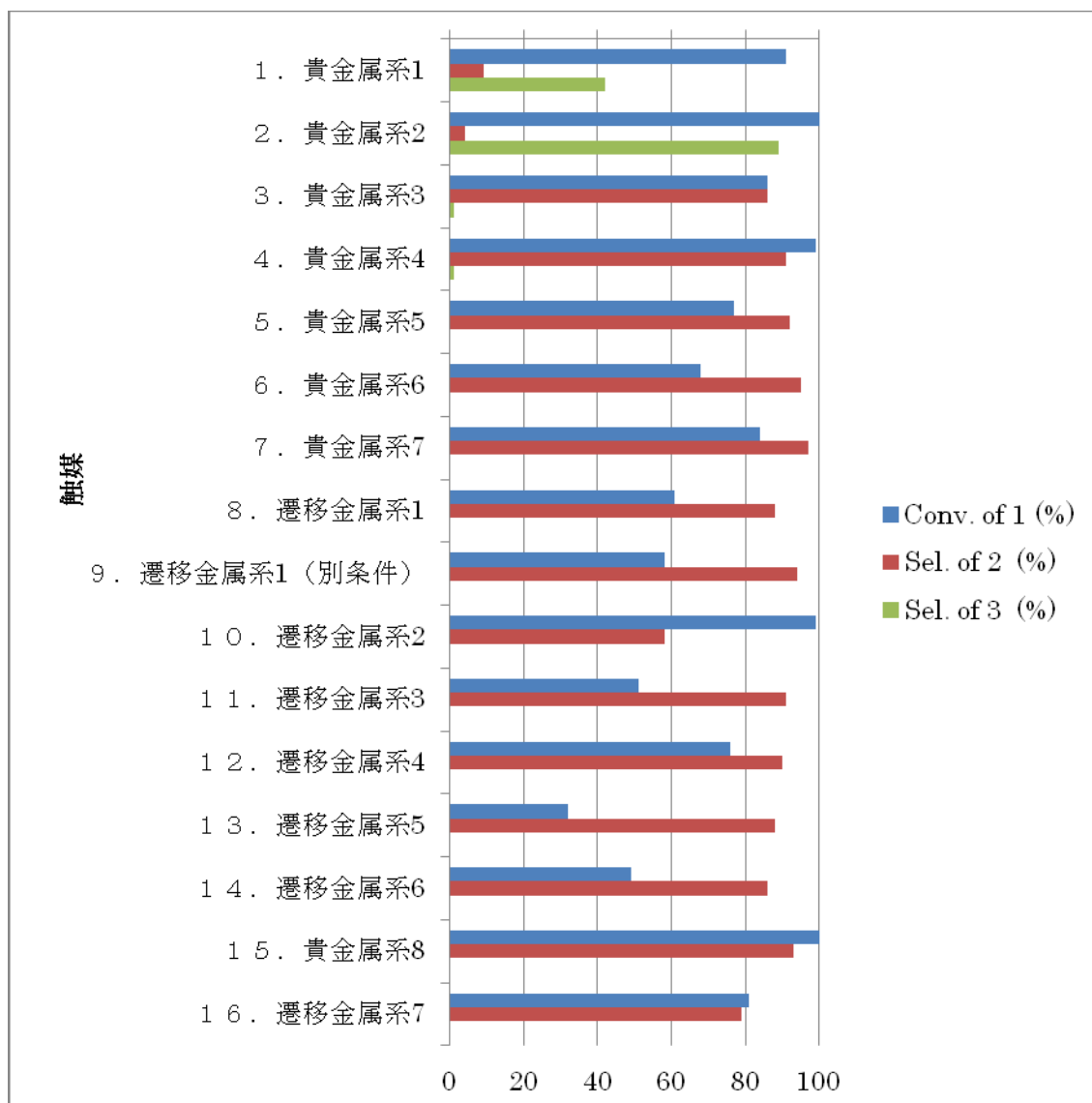


図 3.2.1.2.1.2 R<sup>1</sup>-CClF-CClF-R<sup>2</sup> の還元反応の結果



## (2)有力候補の効率的合成法開発

本研究開発では、フルオロオレフィン類を温暖化係数が小さく断熱特性も優れた発泡剤となる可能性が高い化合物と位置付け、発泡剤としての基礎性能評価、環境影響評価、安全性評価など、種々の検討を進めた。これらの結果については後の章に記載するが、この検討から、発泡剤として特性等が優れた有力な候補化合物を見出すことができた。これらについては、工業化を視野に入れ、より実用的な合成技術について検討を行った。以下、その検討の一つとして、*cis*-1,1,1,4,4,4-ヘキサフルオロ-2-ブテン (HFO-1336mzz-Z) 合成での水素化反応について記載する。

HFO-1336mzz-Z はオゾン層破壊係数 (ODP) がゼロで GWP も低い化合物であり、また不燃である。約 33°C と発泡剤として適当な沸点を持っており、ポリオールへの溶解性も HFC-245fa と同程度と発泡剤としての基礎物性も優れている。さらに、発泡剤としての断熱性能も従来の HFC 発泡剤と同等以上であることも確認された。これらの結果から、有力な発泡剤候補の一つと考えられる。

本研究開発では、気相で連続的に HFO-1336mzz-Z を製造できる方法として、1,1,1,4,4,4-ヘキサフルオロ-2-ブチン (HFB) を部分水素化する方法を検討した。触媒としてパラジウム触媒を用い、気相流通式での反応を検討した。

HFB の水素化反応により、HFO-1336mzz-E、1,1,1,4,4,4-ヘキサフルオロブタン (HFC-356mff)、HFO-1336mzz-Z が主に生成した。(図 3.2.1.2.1.3)

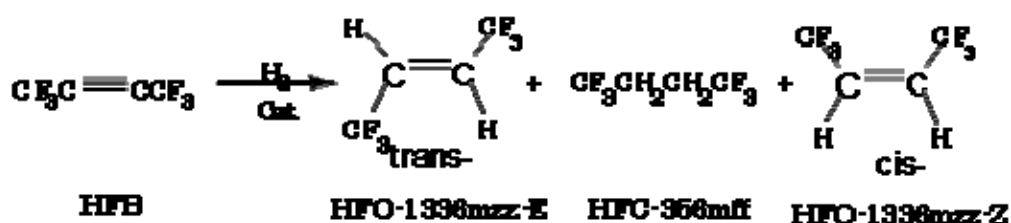


図 3.2.1.2.1.3 HFB の水素化反応

さらに触媒等を種々検討し、ビスマスを追加した触媒を用いることで、HFO-1336mzz-Z の選択率は 90% と云う高い値を達成することができた。(図 3.2.1.2.1.4)

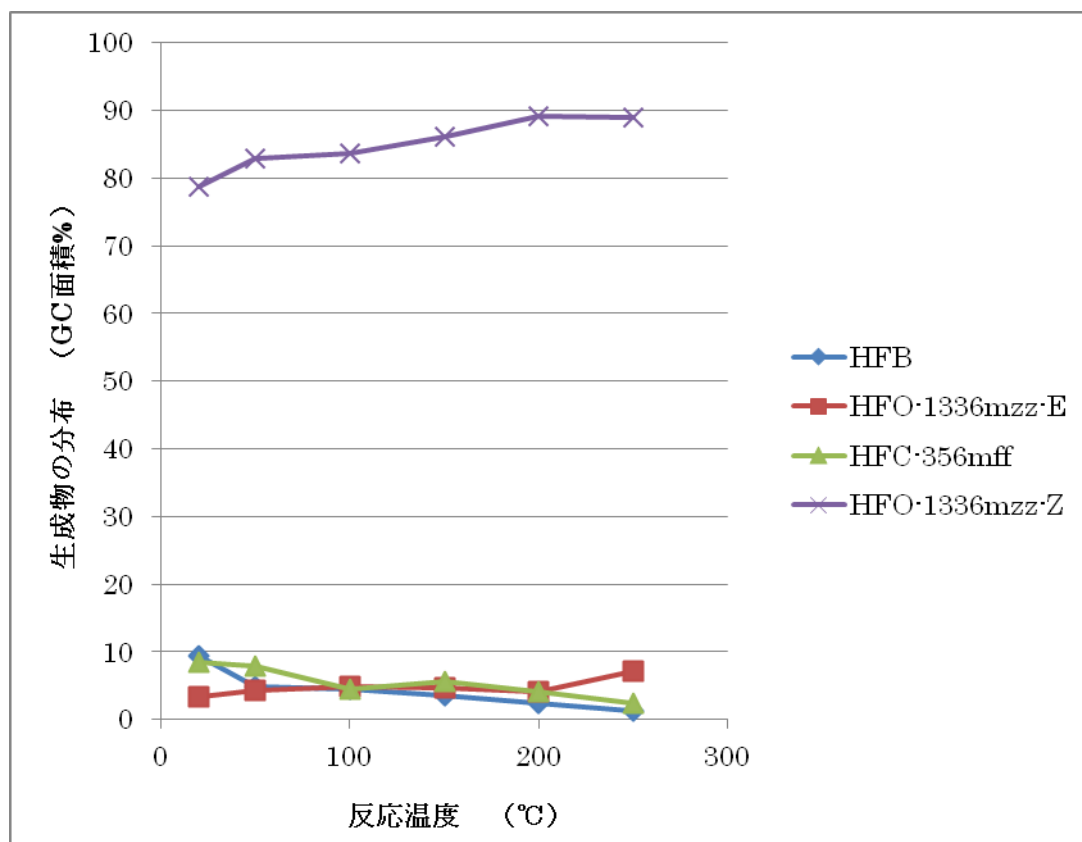


図 3.2.1.2.1.4 Pd-Bi/AlF<sub>3</sub>触媒を用いた HFB の水素化反応

HFB の水素化反応による HFO-1336mzz-Z の合成については他社よりリンドラー触媒 (Pd を鉛で被毒した触媒) などを用いた方法も報告されているが、今回検討した Pd-Bi/AlF<sub>3</sub> 触媒による合成は当方独自のものであり、気相流通式での反応において、原料の転化率、HFO-1336mzz-Z の選択率に優れている。本方法は気相触媒反応であるため大規模製造にも適しており、工業的な製造法にふさわしいと考えている。

### (3)熱伝導率評価

発泡剤候補化合物の気体熱伝導率は、断熱材の性能を左右する重要な要素であり、化合物の選択に不可欠である。そこで、直径 10 $\mu$ m 程度の極細の白金線に電流を流し、その際の白金線の抵抗変化を測定して気体の熱伝導率を求める非定常細線加熱法を採用し、測定に必要な熱伝導率測定セルの試作、及び計測・制御プログラムの作成を行った。試作した装置を用いて行った気体熱伝導率の測定例を図 3.2.1.2.1.5 に示す。熱伝導率は図の直線部分の傾きから求めることができる。気体熱伝導率の測定温度範囲と 50 $^{\circ}$ C換算の気体熱伝導率の測定結果を表 3.2.1.2.1.1 に示す。50 $^{\circ}$ Cにおける HFO-1336mzz-Z の熱伝導率は 0.0126 W/(m $\cdot$ K)であり、CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CHF<sub>2</sub> (HFC-245fa) (0.0134W/(m $\cdot$ K)、50 $^{\circ}$ C)

に比べて約 10%熱伝導率が小さく、HFO-1336mzz-Z は熱伝導率の点で発泡剤として優れていることが分かった。

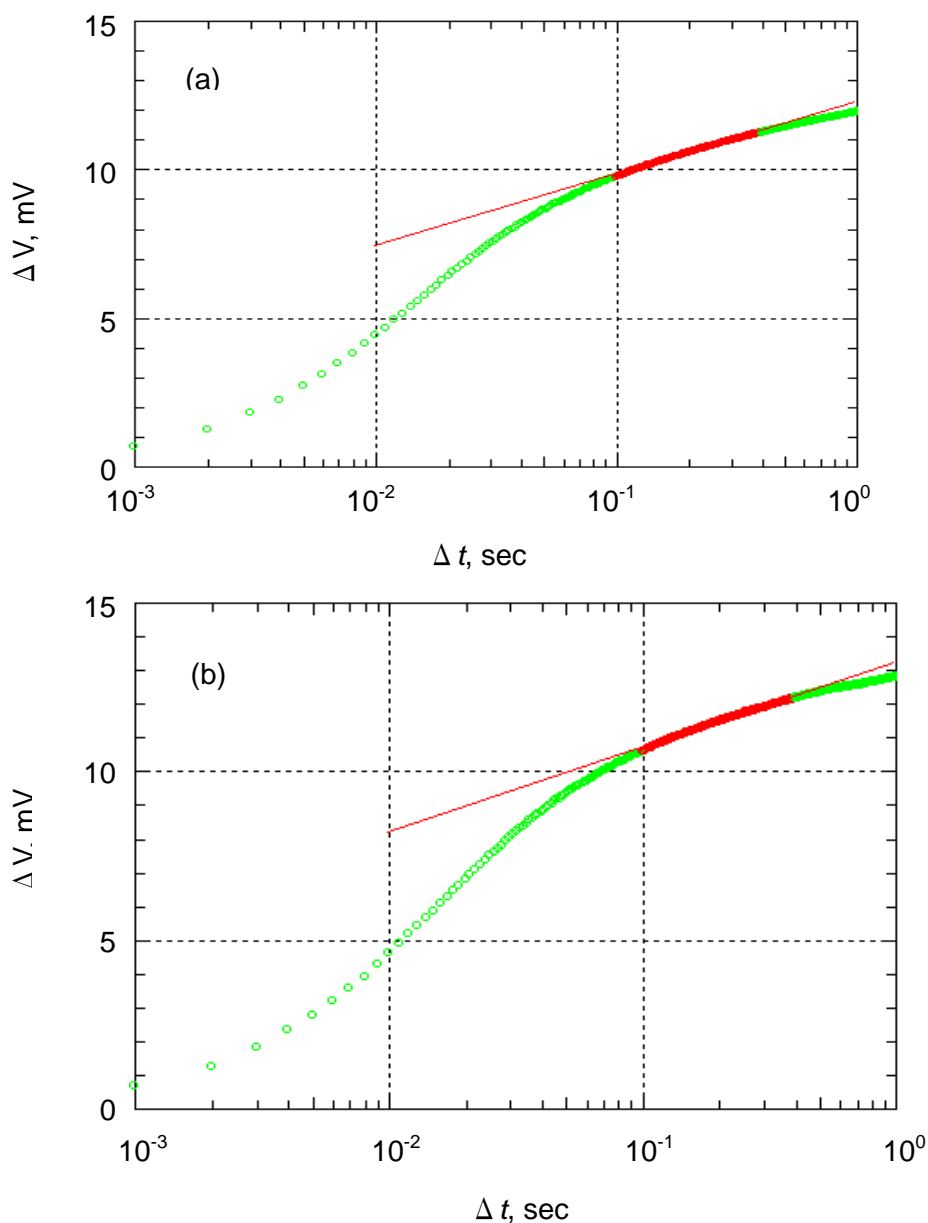


図 3.2.1.2.1.5 気体熱伝導率の測定例

760torr; 50°C; 印加電圧=6V; (a), HFC-245fa; (b), HFO-1336mzz-Z.

表 3.2.1.2.1.1 気体熱伝導率の測定結果 (50°C、760torr)

化合物	測定温度 [°C]	気体熱伝導率 [W/(m·K)]
HFO-1336mzz-Z	40~80	0.0126
HFC-245fa	20~80	0.0134

#### (4)ポリオールとの相溶性の評価

発泡断熱材を製造する場合、通常、断熱材原料であるポリオールなどと発泡剤をあらかじめ混合したプレミックスと、もう一つの原料であるポリイソシアナートとを混合することにより製造される。このため、発泡条件を検討するためには発泡剤とポリオールとの相溶性を評価することが必要である。そこで、断熱材に用いられるポリエーテル系ポリオール 2 種と芳香族ポリエステル系ポリオール 1 種をモデルとして選び、相溶性の評価を行った。

ポリエーテル系ポリオールとしてエクセノール 750ED (旭硝子社製) 及びエクセノール 385SO (旭硝子社製)、芳香族ポリエステル系ポリオールとしてマキシモール RDK-133 (川崎化成社製) を用いた。フルオロオレフィン類として、文献で検索した沸点が約 10~50℃、炭素数 4 で水素数 1~2、あるいは炭素数 5 で水素数 1~3 のフルオロオレフィンの中から、高い毒性が知られておらず、入手容易あるいは合成が比較的容易なものを評価対象とした。また、比較として現在発泡剤として用いられている HFC-245fa、シクロペンタン、*n*-ペンタン、イソペンタンについても評価した。

試験方法として、25℃で評価対象とする化合物をポリオールとを旋回混合し、1 週間放置後に目視により相分離を判断した。以下の表 3.2.1.2.1.2 に、評価対象化合物のポリオールへの溶解度を示す。

表 3.2.1.2.1.2 ポリオールとの相溶性の評価

発泡剤候補化合物	ポリオールへの溶解度 (wt.%)		
	750ED	385SO	RDK-133
<i>cis</i> -CF <sub>3</sub> CH=CHCF <sub>3</sub> (HFO-1336mzz-Z)	> 40	> 40	< 5
<i>trans</i> -CF <sub>3</sub> CH=CHCF <sub>3</sub> (HFO-1336mzz-E)	< 5	5~10	< 5
CH <sub>2</sub> =C(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (HFO-1336mmt)	> 40	5~10	< 5
CF <sub>3</sub> CH=CHCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> (HFO-1438mzz-E)	< 5	< 5	< 5
CH <sub>2</sub> =CHCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> (HFO-1447fzc)	25~30	< 5	< 5
CH <sub>2</sub> =CHCF(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (HFO-1447fzy)	< 5	5~10	< 5
HFC-245fa	> 40	> 40	20~30
cyclopentane (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> )	> 40	25~30	< 5
<i>n</i> -pentane (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	5~10	10~15	< 5
<i>i</i> -pentane (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	20~25	10~15	< 5

その結果、HFO-1336mzz-Z のポリオールへの溶解度は現在発泡剤として用いられている HFC-245fa、シクロペンタンとほぼ同等であることがわかった。

## (5)実用性評価

### ①発泡体の試作

フルオロオレフィン類はこれまで発泡剤として用いられていなかったことから、フルオロオレフィン類を発泡剤として用いて発泡体の製造を行い、発泡剤としての有用性を検証することとした。

発泡剤として HFO-1336mzz-Z の他 1 種のフルオロオレフィン (A) を用いて発泡試験を行った。比較のため、HFC 混合発泡剤(HFC-245fa/HFC-365mfc、重量比 7/3)を用いた発泡試験も行った。

システム液として、ポリオール (100 部)、水 (2 部)、整泡剤 (2.5 部)、難燃剤 (15 部)、触媒 (1.5 部) 混合液を用い、23°Cでイソシアネートと混合した。高速攪拌機を用いて 2500rpm、3 秒間攪拌した後、この混合液を 200ml ポリエチレンカップに移液して発泡体を作製した。その結果、2 種類のフルオロオレフィンのいずれも良好な発泡体を形成し、CT (クリームタイム) 及び GT (ゲルタイム) も HFC の場合とあまり変わらないことが分かった。

### ②発泡体試作と熱伝導率の測定

発泡性能評価の 1 つである断熱性能を評価するため、HFO-1336mzz-Z を用いて発泡体を作製し、熱伝導率を測定した。比較として、HFC 混合発泡剤(245fa/365mfc、重量比 7/3)を用いた発泡体も作製した。

システム液として、ポリオール (100 部)、水 (2 部)、整泡剤 (1 部)、難燃剤 (15 部)、触媒 (2 部) 混合液を用い、23°Cでイソシアネートと混合した。高速攪拌機を用いて 2500rpm、3 秒間攪拌した後、この混合液を 20cm 角箱に移液して発泡体を作製した。発泡体を作製した翌日に約 19 cm×約 19 cm×約 3 cmの試験片を切り出し、熱伝導率測定装置 (ANACON TCA8) を用い、この熱伝導率を測定した。また、発泡体断面のセルサイズは、ケニスズーム式実体顕微鏡 LZ を用いて計測した。

熱伝導率の測定結果を表 3.2.1.2.1.3 に示した。HFO-1336mzz-Z の発泡体は、HFC 混合発泡剤の発泡体よりも低熱伝導率を示した。また、今回の測定では、発泡体のセルサイズと熱伝導率に相関性は認められなかった。

表 3.2.1.2.1.3 発泡体の評価結果

発泡剤	熱伝導率 [W/(m・K)]	発泡体セルサイズ [μm]
HFO-1336mzz-Z	0.022	120~160
HFC 混合	0.023	80~140

### ③発泡剤の安定性の検討

発泡剤の安定性についての発泡時の影響を明らかにするために、2種のフルオロオレフィン（HFO-1336mzz-Z 及び A）について発泡試験を行った。比較のため、HFC 混合発泡剤(HFC-245fa/HFC-365mfc、重量比 7/3)を用いた発泡試験も行った。

システム液として、ポリオール（100 部）、水（2 部）、整泡剤（2.5 部）、難燃剤（15 部）、触媒（1.5 部）混合液を用い、システム液を調製した日、及びシステム液を 23 °C、5 日間貯蔵後に、それぞれ発泡体を作製した。反応性（CT、GT）を測定した結果、及び発泡体中の気体成分をサンプリングして GC 分析を行った結果を表 3.2.1.2.1.4 に示した。

表 3.2.1.2.1.4 発泡体作製結果

発泡剤	発泡体 作製時	CT (秒)	GT (秒)	GC 面積(%)		
				発泡剤	SiF(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	SiF <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
HFO-1336mzz-Z	調製日	26	87	100	0	0
	5 日後	27	87	100	0	0
A	調製日	35	83	95	0	3
	5 日後	49	141	92	1	5
HFC 混合	調製日	25	78	100	0	0
	5 日後	23	71	100	0	0

HFO-1336mzz-Z および HFC 混合発泡剤については、システム液として 5 日間貯蔵した後も反応性が変わらず、発泡体の体積及びセルサイズも測定したが、大きな差異は認められなかった。A については、5 日間貯蔵することにより CT、GT が長くなり、発泡体の体積が小さく、発泡体の断面観察においてもシステム液調製日の発泡体と比較してセルサイズが大きいことが分かった。GC 分析では、A について、発泡体中の気体成分中に整泡剤の分解物である SiF(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> や SiF<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> が生成しているのが確認された。これらの結果から、A はシステム液として貯蔵中あるいは発泡中に一部分解していると考えられた。

A の安定性についてさらに検討を加えた結果、システム液中の触媒の塩基性が A の分解に寄与していること、触媒として *N,N*-ジシクロヘキシルメチルアミン等の立体障害を有する塩基あるいは有機錫化合物に対しては A が安定であることを見出し、これらを触媒に用いて発泡体を作成することで A の分解を抑えることができた。

### (6)環境影響評価

#### ①OH ラジカルとの反応速度の測定

不飽和化合物の大気における主要な分解経路は OH ラジカルとの反応であることから、大気寿命や温暖化係数は OH ラジカルとの反応速度から求めることができ、環境影響評価では OH ラジカルとの反応速度が不可欠である。そこで、候補化合物を評価する

と共に、反応速度の予測手法を開発し候補化合物の選択に資することを目的として、種々の不飽和化合物と OH ラジカルとの反応速度の測定を行った。OH ラジカルはフラッシュフォトリシス法、あるいはレーザーフォトリシス法で生成し、反応によって減少した OH ラジカルの濃度はレーザー誘起蛍光法で測定した。フラッシュフォトリシス法ではパルス Xe フラッシュランプで水を直接分解して OH ラジカルを生成し、レーザーフォトリシス法では ArF エキシマレーザーで N<sub>2</sub>O を分解して O(<sup>1</sup>D)原子を生成し、O(<sup>1</sup>D)+H<sub>2</sub>O→2OH あるいは O(<sup>1</sup>D)+CH<sub>4</sub>→OH+CH<sub>3</sub>の反応で OH ラジカルを生成した。測定は 12 種類の鎖状化合物、及び 4 種類の環状化合物について行った。測定結果を表 3.2.1.2.1.5 に示す。この内、CHF=CF<sub>2</sub> は入手した試料（純度 98.7%）をそのまま測定したが、他の 15 化合物についてはガスクロで分取精製した高純度の試料（純度 99.6%以上）を用いて、250~430K の温度域で測定を行った。その結果、測定した 16 化合物の中で最も大気寿命の長いフルオロオレフィン B でも 1 年以内であり、不飽和化合物は大気中で速やかに分解され、温暖化に与える影響は小さいことが分かった。また、有力候補化合物である HFO-1336mzz の大気寿命は 28 日であり、適度な大気寿命を持つことが分かった。HFO-1336mzz-Z の構造異性体である HFO-1336mzz-E 大気寿命は 135 日であるので、HFO-1336mzz の場合は Z 体は E 体に比べて大幅に大気寿命が短く、HFO-1354mzy の場合も Z 体の大気寿命は E 体の 1/3 程度であることが分かった。HFO-1336mzz-Z について温暖化係数 100 年値を計算したところ、その値は 19 以下であることがわかった。

表 3.2.1.2.1.5 含フッ素不飽和化合物と OH ラジカルとの反応速度の測定結果

化合物	$A, 10^{-12},$ $\text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$ER,$ K	$k_{298}, 10^{-12},$ $\text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	大気寿命, 日
CHF=CF <sub>2</sub>	3.15±0.21	-270±20	7.67±0.09	2
CHF <sub>2</sub> CF=CF <sub>2</sub>	1.43±0.10	-480±20	7.22±0.09	2
CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	1.54±0.05	100±10	1.09±0.01	13
CH <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	3.19±0.37	-490±40	16.6±0.4	1
CH <sub>2</sub> FCH=CH <sub>2</sub>	2.79±0.23	-450±30	12.6±0.2	1
HFO-1336mmt	0.866±0.040	20±14	0.810±0.007	17
HFO-1336mzz-Z	0.459±0.033	-21±22	0.491±0.006	27 <sup>a)</sup>
HFO-1354mzy-E	1.13±0.10	-78±28	1.47±0.02	9
HFO-1354mzy-Z	0.734±0.063	-470±30	3.52±0.05	3
HFO-1447fzc	1.06±0.07	-69±20	1.34±0.02	10
CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CF=C(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.191±0.012	270±20	0.0777±0.0008	190
( <i>E</i> )-CF <sub>3</sub> CF=CF(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.204±0.024	8±36	0.198±0.004	68
Fluoro-olefin A	0.557±0.032	630±20	0.0678±0.0007	240

Fluoro-olefin B	0.632±0.032	740±20	0.0529±0.0005	320
Fluoro-olefin C	0.301±0.014	-81±15	0.394±0.003	33
Fluoro-olefin D	0.542±0.058	490±30	0.107±0.002	150

$$k = A \cdot \exp(-E/RT).$$

a) GWP(100 年値) : ≤19

誤差範囲は 95%信頼限界.

## ②O<sub>3</sub>及びNO<sub>3</sub>との反応速度の測定

揮発性化合物の大気中における主要な分解経路は OH ラジカルとの反応であるが、それ以外にも O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応によっても大気中から除去されることが知られている。したがって、本研究開発の発泡剤候補化合物についても OH ラジカルとの反応の他に O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応も検討する必要がある。そこで、2 種のフルオロオレフィン (HFO-1336mzz-Z 及び A) と O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応についての測定を行った。

O<sub>3</sub> との反応速度の測定は、内容積 1m<sup>3</sup> の大型大気反応チャンバーを用いて絶対速度法で行った。測定温度は 298K である。被測定試料 (HFO-1336mzz-Z あるいは A) の濃度 (1.0~2.7×10<sup>14</sup> molecule cm<sup>-3</sup>) に対して大過剰の O<sub>3</sub> (0.3~3.3×10<sup>16</sup> molecule cm<sup>-3</sup>) を大気反応チャンバーに充填し、反応によって減少した被測定試料の濃度を長光路 FTIR で測定して擬一次反応速度定数 *k* を求めた。次いで、O<sub>3</sub> 濃度を変えて同様の測定を行い擬一次反応速度定数を求め、O<sub>3</sub> 濃度と擬一次反応速度定数のプロットの傾きから O<sub>3</sub> と被測定試料との反応速度定数 *k* を求めた。

NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応の測定は、内容積 1m<sup>3</sup> の大型大気反応チャンバー (ステンレス製、内壁はテフロンコーティング) を用いて相対速度法で行った。測定温度は 298K である。大気反応チャンバーに被測定試料 (HFO-1336mzz-Z あるいは A、濃度は 1.6~2.7×10<sup>14</sup> molecule cm<sup>-3</sup>) と NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応速度が既知の参照試料 ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>) を 1.5×10<sup>14</sup> molecule cm<sup>-3</sup> の濃度で充填し、NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応によって減少した被測定試料と参照試料の濃度を FID 検出器付きのガスクロで測定し、両者の濃度変化から被測定試料の反応速度 (*k*<sub>NO<sub>3</sub></sub>) と参照試料の反応速度 (*k*<sub>r</sub>) の比を求めた。次いで、既知の参照試料の反応速度から、被測定試料と NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応速度を求めた。

HFO-1336mzz-Z 及び A と O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルと反応速度と O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルの大気中平均濃度から求めた O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルと反応による大気寿命を表 3.2.1.2.1.6 に示す。表 3.2.1.2.1.6 には①項で求めた OH ラジカルとの反応による大気寿命も併せて示した。表から分かる様に、O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルと反応による大気寿命は OH ラジカルとの反応による大気寿命に比べて非常に長いことから、大気寿命に与える O<sub>3</sub> 及び NO<sub>3</sub> ラジカルとの反応の影響は OH ラジカルとの反応に比べて無視できることが分かった。



表 3.2.1.2.1.6 OH、O<sub>3</sub>、NO<sub>3</sub>との反応速度定数 (at 298K) と大気寿命

	HFO-1336mzz-Z		A	
	$k, \text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	大気寿命	$k, \text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	大気寿命
OH	$(4.90 \pm 0.07) \times 10^{-13}$	27 日	$(6.78 \pm 0.07) \times 10^{-14}$	240 日
O <sub>3</sub>	$(3.28 \pm 0.16) \times 10^{-21}$	13 年	$(3.71 \pm 0.59) \times 10^{-23}$	1160 年
NO <sub>3</sub>	$(1.98 \pm 1.59) \times 10^{-17}$	64 年	$(2.90 \pm 1.46) \times 10^{-17}$	44 年

### ③総合温暖化評価

地球の温暖化を抑えることに寄与できる発泡材は、特性や環境挙動を考慮した評価手法で優劣を評価できる。しかし、それらの評価手法には種々の手法があり、評価結果も異なってくる。ここでは LCCP 手法を用い、できるだけ公平に評価ができることを目指し、科学的な評価手法の開発に取り組んだ。発泡剤の温暖化評価は以下のように行った。

窓のあるモデルハウス (9m 横×7m 奥×5m 高) を想定した。モデルハウスでは断熱材を使用場所ごとに温度差や施工部材などの条件を入れて想定し、部屋の換気を想定した。モデルハウスを使用する地域を想定し、その地域の気温や冷暖房条件を設定した。発泡剤を変えたときの発泡材はその特性からモデルハウスにセットし、冷暖房条件に換算する一方、発泡剤の生産等の諸条件を加えた。それらの過程で出る温暖化ガスを算出した。これによりモデルハウスによる温暖化ガスの評価手法の確立は確定した。

これらの条件で木造住宅を仮定して評価した結果を以下に示す。評価では 2002 年の東京での気温を元に住宅の省エネルギー基準を基に公平性のある評価とした。分かりやすいように断熱材の厚さを揃えた評価と、断熱材の性能を揃えた評価を両方行い比較した。住宅は 50 年の寿命とし、換気は 1 時間に 0.5 回とした。

LCCP 分析の結果を発泡剤の回収が有る場合と無い場合に分けて以下に示す。

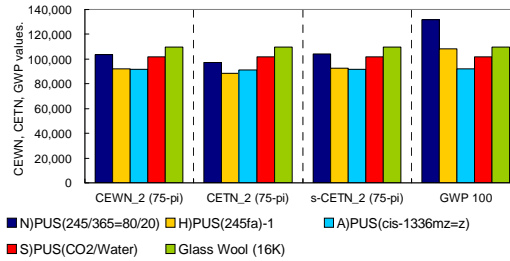
木造住宅の例（発泡剤の回収あり）

**CEWN, CETN, GWP calculation for WOODEN HOUSE with various insulations 1**

- One WOODEN house is built at the beginning
- **Recovery of blowing agent after the use: Yes** (duration of use: 50 years)
- HDD, CDD data: Japan, national average (2002), Number of ventilation: 0.5 times/h

**Case A : equal thickness of insulations**

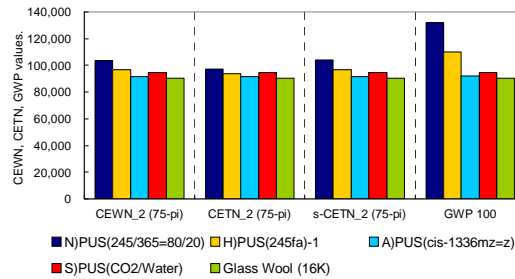
Insulations	thickness of insulations [m]		
	wall	ceiling (2F)	floor (1F)
PUS(HFC-245/365=4/1)	0.062	0.112	0.062
PUS(HFC-245fa)	0.062	0.112	0.062
PUS(F-Olefin)	0.062	0.112	0.062
PUS(CO2/Water)	0.062	0.112	0.062
Glass Wool (16K)	0.062	0.112	0.062



**Case B : equal R (heat transfer resistance) of wall/ceiling/floor**

Each thickness varies in accordance with the set R value and thermal conductivity of the insulation.

Insulations	thickness of insulations [m]		
	wall	ceiling (2F)	floor (1F)
PUS(HFC-245/365=4/1)	0.062	0.112	0.062
PUS(HFC-245fa)	0.051	0.093	0.051
PUS(F-Olefin)	0.061	0.111	0.061
PUS(CO2/Water)	0.077	0.140	0.077
Glass Wool (16K)	0.099	0.180	0.099

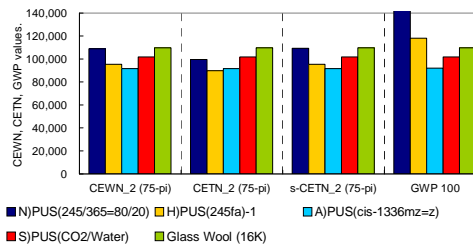


木造住宅の例（発泡剤の回収なし）

- One WOODEN house is built at the beginning
- **Recovery of blowing agent after the use: No** (duration of use: 50 years)
- HDD, CDD data: Japan, national average (2002), Number of ventilation: 0.5 times/h

**Case A : equal thickness of insulations**

Insulations	thickness of insulations [m]		
	wall	ceiling (2F)	floor (1F)
PUS(HFC-245/365=4/1)	0.062	0.112	0.062
PUS(HFC-245fa)	0.062	0.112	0.062
PUS(F-Olefin)	0.062	0.112	0.062
PUS(CO2/Water)	0.062	0.112	0.062
Glass Wool (16K)	0.062	0.112	0.062



**Case B : equal R (heat transfer resistance) of wall/ceiling/floor**

Each thickness varies in accordance with the set R value and thermal conductivity of the insulation.

Insulations	thickness of insulations [m]		
	wall	ceiling (2F)	floor (1F)
PUS(HFC-245/365=4/1)	0.062	0.112	0.062
PUS(HFC-245fa)	0.051	0.093	0.051
PUS(F-Olefin)	0.061	0.111	0.061
PUS(CO2/Water)	0.077	0.140	0.077
Glass Wool (16K)	0.099	0.180	0.099

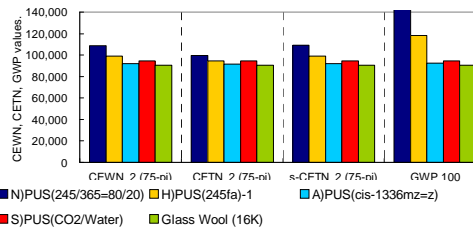


図 3.2.1.2.1.7 モデルハウスの LCCP 分析結果

評価では京都議定書で用いられる温暖化係数（GWP）の 100 年値を用いた場合と、放出後に大気中からの除去率を 75%とした場合の温暖化に寄与するエネルギーを基準とした CEWN 評価と、同じく大気中除去率を 75%とした場合の温度上昇積算値を比較する CETN 値を用いた評価も示した。

以上より以下の結論を得た。

- 1) フッ素系オレフィン是最も優れた発泡剤である。
- 2) 発泡材の等厚と等性能評価では発泡剤の優劣の傾向が逆転する場合がある。
- 3) 発泡剤の大気寿命を考慮した CEWN, CETN, s-CETN での評価と従来の 100 年間評価である GWP での評価結果が大きく異なることから、GWP だけでなく温暖化問題を多角的に評価することが重要である。

本研究開発で開発した発泡材は発泡剤としてフッ素系オレフィンを用いた場合が特に優れることから、本研究の優位性を LCCP 分析で示すことができた。

## (7)安全性評価

### ①燃焼性評価

発泡剤の安全性を考える上で燃焼性の評価は不可欠である。冷媒の燃焼性は、燃焼限界、燃焼速度、及び燃焼熱に基づいて評価される予定であることから、発泡剤候補化合物でもこれら 3 つの要素の評価を行うことが妥当であると考えられる。この内、燃焼熱は分子軌道法計算で高精度な値を得ることが可能であるが、燃焼限界、燃焼速度は実際に測定を行う必要がある。そこで、不飽和化合物の燃焼限界、燃焼速度の測定を行った。

冷媒の燃焼限界の測定は、内容積 12L のガラス製球形容器を用い、ネオントランスによる交流 15kV の放電で試料/空気混合気に着火した時に、放電電極を中心とする 90 度の扇型以上に火炎が広がるかどうかで燃焼限界を判定する ASHRAE 法が標準的な測定法となっている。そこで、本研究でも ASHRAE 法を用いて候補化合物の燃焼限界の測定を行った。

測定は表 3.2.1.2.1.8 に示した 15 化合物について行った。分子中のフッ素原子の数が水素原子の数よりも多い化合物の場合に、系内に水分が存在すると水分子中の水素原子が試料分子中のフッ素原子と結合してフッ化水素を生成することにより反応熱が大きくなるため、燃焼限界が広がることが知られている。そこで、分子中のフッ素原子の数が水素原子の数よりも多い化合物の場合には、水分を含んだ空気を用いた測定も行った。表で wet とあるのは、23°Cで相対湿度 50%の水分を含んだ空気を用いて測定を行ったことを意味している。

表から分かるように、炭素数が 3 個の鎖状化合物では水素原子が 1 個以下、炭素数が 4 個の鎖状化合物では水素原子が 2 個以下では不燃であることが分かった。また、本研

究開発の有力な候補化合物である HFO-1336mzz-Z は不燃であることが分かった。

表 3.2.1.2.1.8 不飽和化合物の燃焼限界の測定結果 (vol%)

化合物	dry/wet	下限界	上限界
CF <sub>3</sub> CF=CF <sub>2</sub>	dry	不燃	
	wet	不燃	
(Z) CF <sub>3</sub> CF=CHF	wet	不燃	
CF <sub>3</sub> CH=CF <sub>2</sub>	dry	不燃	
	wet	不燃	
CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	dry	6.7	11.7
	wet	5.5	13.0
(E)-CF <sub>3</sub> CH=CHF	dry	不燃	
	wet	5.86	12.8
CF <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>	dry	3.83	15.0
CH <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	dry	2.52	11.6
HFO-1336mmt	wet	不燃	
HFO-1336mzz-Z	wet	不燃	
HFO-1336mzz-E	wet	不燃	
Fluoro-olefin A	dry	6.5	15.8
	wet	5.0	15.4
Fluoro-olefin B	wet	不燃	
Fluoro-olefin C	wet	不燃	
Fluoro-olefin D	dry	5.6	9.0
	wet	3.80	9.5
Fluoro-olefin E	dry	7.37	22.5
	wet	7.37	22.0

燃焼速度に関しては、これまで報告された不飽和炭化水素の測定データは僅かであり、フルオロオレフィンの測定例も存在しない。フルオロオレフィンの燃焼速度を定量的に評価する上で、同一手法で測定された不飽和炭化水素のデータを基準に議論することが不可欠なので、C2 及び C3 の不飽和化合物の測定を行った。測定は、内径 18cm の SUS 製球形容器の中心で直流放電により試料/空気混合気に着火し、その後の燃焼領域の広がりに伴う圧力上昇から燃焼速度を求める球形容器法によって行った。

測定結果を図 3.2.1.2.1.9 に示す。CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>、及び CH<sub>2</sub>=CHCH<sub>3</sub> の最大燃焼速度は

67.3、及び 43.4cm/s であり、 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  は飽和炭化水素である  $\text{C}_2\text{H}_6$  (40.9 cm/s) に比べて遥かに大きい、 $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$  の燃焼速度は  $\text{C}_3\text{H}_8$  (38.7 cm/s) に比べて 12%大きい程度であった。このことから、炭素数の増加につれて、不飽和結合による燃焼速度増加の効果が低下することが分かった。フッ素原子を含んだ不飽和化合物の最大燃焼速度は、 $\text{CH}_2=\text{CHF}$ 、 $\text{CH}_2=\text{CF}_2$ 、 $\text{CH}_2=\text{CFCHF}_2$ 、及び  $\text{CH}_2=\text{CHCF}_3$  について、56.1、27.8、19.8、及び 14.1 cm/s であり、 $\text{CH}_2=\text{CHF}$  及び  $\text{CH}_2=\text{CF}_2$  の燃焼速度は  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  よりもそれぞれ約 20%、及び 60%低下した。また、 $\text{CH}_2=\text{CFCHF}_2$ 、及び  $\text{CH}_2=\text{CHCF}_3$  についても、 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$  よりもそれぞれ約 55%、及び 70%低下し、分子内にフッ素が入ることで燃焼速度が大きく低下することが分かった。

$\text{CH}_2=\text{CF}_2$ 、 $\text{CH}_2=\text{CFCHF}_2$ 、 $\text{CH}_2=\text{CHCF}_3$  については、何れも分子内のフッ素置換率  $\text{F}/(\text{H}+\text{F})=0.5$  である。これらの値を、同じ  $\text{F}/(\text{H}+\text{F})$  を有する飽和フルオロアルカン ( $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、6.7cm/s； $\text{CH}_2\text{FCHF}_2$ 、13.1cm/s； $\text{CH}_3\text{CF}_3$ 、7.1cm/s； $\text{CH}_2\text{FCH}_2\text{CF}_3$ 、9.5cm/s) と比較すると、同じ  $\text{F}/(\text{H}+\text{F})$  であっても、オレフィンの方がアルカンより 1.5～2 倍、燃焼速度が大きいことが分かり、二重結合によって燃焼速度が大幅に増加することが示された。構造異性体同士の分子構造に注目すると、 $-\text{CF}_3$  基を有する化合物は、 $-\text{CF}_3$  基を持たない異性体よりも燃焼速度がかなり小さい。これは、分子内に F 原子が分散する方がエネルギー的に不安定で燃焼熱が大きくなるためだと考えられる。以上の結果から、安全な発泡剤の設計にとって有用な、二重結合、炭素鎖長、F 原子の数と分子内分布について定性的な知見を得ることができた。

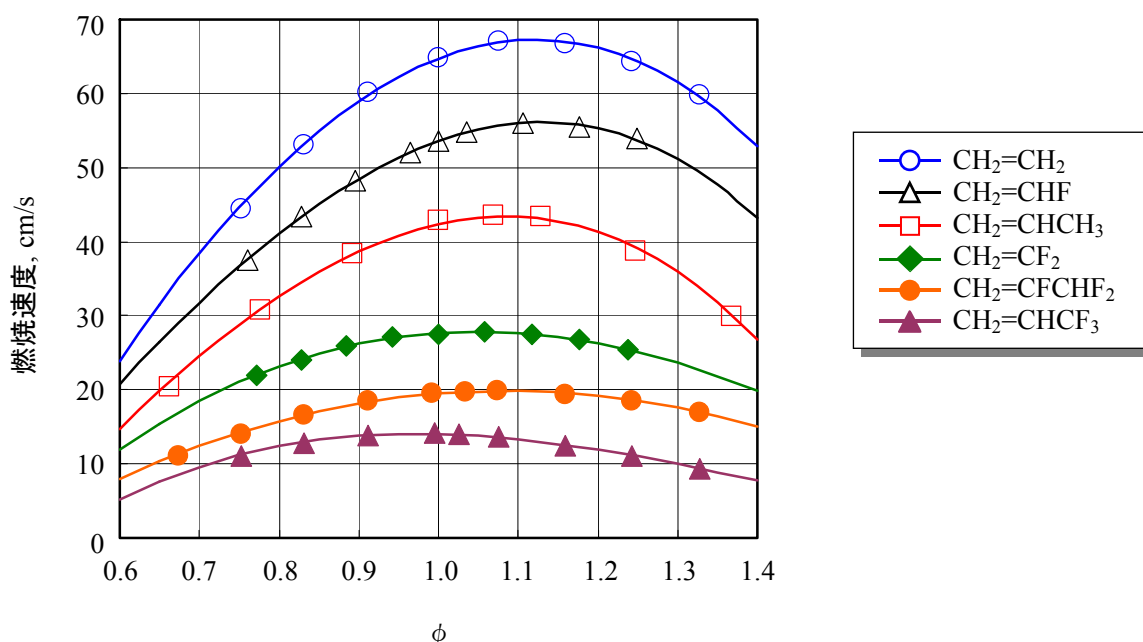


図 3.2.1.2.1.9 フルオロオレフィンの燃焼速度の濃度（当量比  $\phi$ ）依存性

次に、候補化合物であるフルオロオレフィン A の燃焼速度を、シュリーレン法を用いて火炎面の時間的挙動から求める方法で測定した。結果を図 3.2.1.2.1.10 に示す。この化合物は、量論組成では火炎伝播が起こらなかった。また、当量比の極めて大きい、燃料過濃側で燃焼することが分かった。全ての濃度における実験データを 2 次関数でフィッティングし、当量比がおおよそ 1.7 と云う燃料過剰な濃度で最大燃焼速度 4.0 cm/s を得た。これは、従来の可燃性断熱発泡剤化合物である HFC-365mfc ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_2\text{CH}_3$ ) の最大燃焼速度 (7.6 cm/s) のおおよそ 1/2 であり、HFC-365mfc に比べて燃焼性が低いことが分かった。

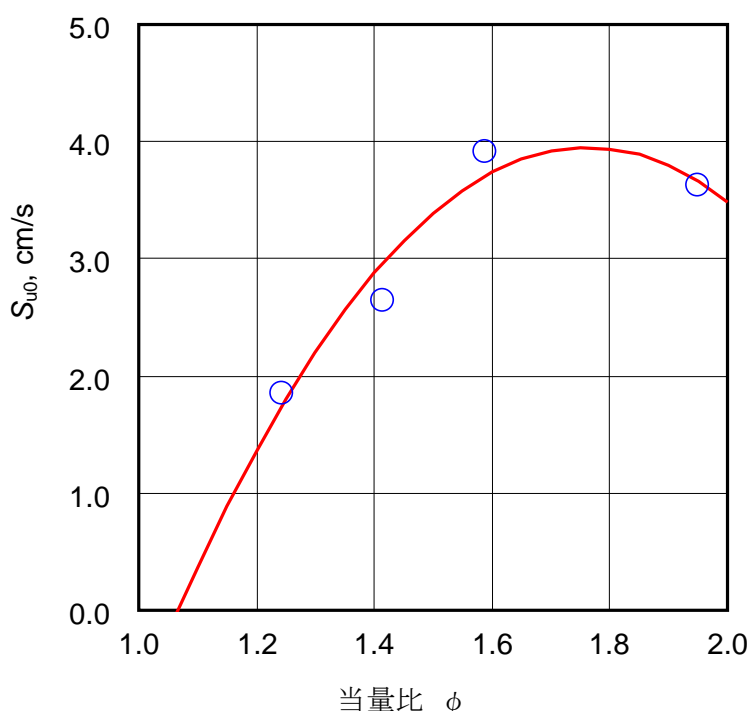


図 3.2.1.2.1.10 フルオロオレフィン A の燃焼速度の濃度依存性

## ②毒性評価

先にも述べたが、発泡剤用途の化合物という観点から沸点が約 10~50℃、大気中での分解のしやすさと燃焼性の低さを考慮して炭素数 4 で水素数 1~2、あるいは炭素数 5 で水素数 1~3 のフルオロオレフィンを検索し、条件を満たす化合物を見出した。毒性評価として、まずこれらの化合物の文献調査を行ったところ、5 化合物について急性毒性に関する記述があり、そのうちの 2 化合物は比較的毒性が低いことがわかった。この調査結果から、毒性が低いとされる化合物を中心に合成等の検討を進めた。

次に、個々の化合物の毒性評価として、変異原性について Ames 試験を行うこととした。対象とする化合物の沸点が室温付近であるため、Ames 試験には数百 g 程度の試料が必要である。このため、合成検討をしている化合物について、評価するのに十分な量の試料が蓄積できた時点で、順に Ames 試験を行うこととした。

この結果、フルオロオレフィン A、B、C、及び HFO-1336mzz-Z について Ames 試験が陰性であることを確認した。

#### (8)目標に対する達成度

本研究では、温暖化係数が小さく断熱特性も優れた発泡剤の開発を行うことを目的に、フッ素系オレフィン類を候補化合物として、合成技術開発、発泡剤としての基礎性能評価、環境影響及び安全性の評価を行った。

合成技術開発では、発泡剤として適度な沸点領域である炭素数 4、5 の化合物を中心に、還元反応や脱 HX によるオレフィンの製造など、フルオロブテン類、フルオロペンテン類の製造にかかわる諸反応について改良を加えることができた。また、HFO-1336mzz-Z など有力な候補化合物について、工業的スケールでの製造につながる合成方法を見出すことができた。

発泡剤性能評価の一つとしてフルオロオレフィンの気体熱伝導率測定を行い、これらが従来の発泡剤である HFC-245fa と比べて同程度あるいはより熱伝導率の小さいことを検証できた。さらに、フルオロオレフィンを発泡剤として用いた発泡体の試作を行い、その熱伝導率の測定から、フルオロオレフィンをういた発泡体の断熱性能が HFC を用いた発泡体と比べて同等もしくはそれ以上であることを検証できた。

フルオロオレフィンの環境影響評価として OH ラジカルとの反応速度の測定及び、NO<sub>3</sub> ラジカル、あるいは O<sub>3</sub> との反応速度の測定も行い、その結果、HFC 等の飽和化合物に比べて大気寿命は短く、温暖化に与える影響も非常に小さいことが分かった。また、新しい評価手法として開発した CEWN, CETN, s-CETN 等を有効に使い、開発された発泡材の優位性を示すことができた。さらに、燃焼性評価として燃焼限界及び燃焼速度の測定を行い、燃焼性の確認をするとともに、毒性に関して Ames 試験データを得ることができた。

これらの検討から、現在用いられている発泡剤とほぼ同等のポリオールへの溶解性を持ち、気体熱伝導率は HFC-245fa と同程度あるいはその値より小さく、GWP100 年値は約 100 以下、燃焼性が不燃性あるいは燃焼速度が小さく、Ames 試験も陰性であるという候補化合物を見出すことができた。その一つである HFO-1336mzz-Z については、上で既に述べたように、試作した発泡体の断熱性能も検証しており、触媒水素化など工業生産に適した反応を用いた製造法も見出しており、開発目標は達したものと考えられる。

(9)成果

表 3.2.1.8 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H19FY	0	2	0	0
H20FY	2	2	0	0
H21FY	0	2	0	0
H22FY	1	3	0	0
H23FY	3	7	1	0



### 3.2.1.3 硬質ウレタン技術開発

#### 3.2.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロムウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

##### (1)開発の流れ

今回の研究の開発の流れを図 3.2.1.3.1.1 と図 3.2.1.3.1.2 に示す。図 3.2.1.3.1.1 にはウレタン原液にナノバブルを発生させ、測定を行うまでの流れであり、図 3.2.1.3.1.2 には気泡核の増量、気泡の安定化や CO<sub>2</sub> の拡散防止等処方検討による断熱性能の向上から実用化までの流れである。(丸数字は開発項目)



図 3.2.1.3.1.1 ナノバブル発生、測定までの流れ

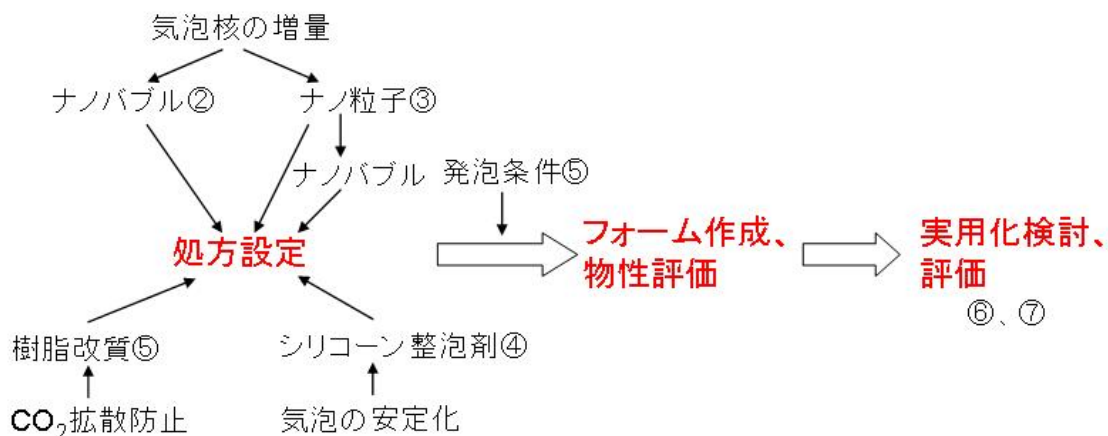


図 3.2.1.3.1.2 断熱性能向上検討から実用化までの流れ

##### (2)各研究項目の開発結果

###### ①ナノバブル発生装置の調査

微細気泡を発生させる装置は発生機構の異なる装置が各種あり主なものを表 3.2.1.3.1.1 に示す。高粘度であるウレタン原液に適用可能でナノバブルを発生の実績のある装置として、(A)高速旋回式、(B)微細孔式、(C)気液剪断式を選定した。各装置のナノバブル発生原

理を図 3.2.1.3.1.3 に示す。

表 3.2.1.3.1.1 微細気泡発生装置

方式	微細孔式	高速回転式	気液剪断式	加圧溶解式	ベンチュリ管式
原理	微細孔をもつ多孔質膜を通して液体中に気体を圧入	高速回転による剪断処理により微細気泡を発生	低圧流に高圧で衝突させることにより気泡を剪断	溶解ガスを過飽和にし、急激な減圧で微細気泡を発生	ベンチュリ管による流速の急激な変化により気泡が粉碎
メリット	バブルの粒径を調整可能	微細なバブルの生成が可能	微細なバブルの生成が可能	大量にバブルの生成が可能	安定的にバブルの生成が可能
デメリット	膜の強度に課題	高粘度の液体に課題	大量処理に課題	水以外の液体に課題	バブルの粒径が比較的大

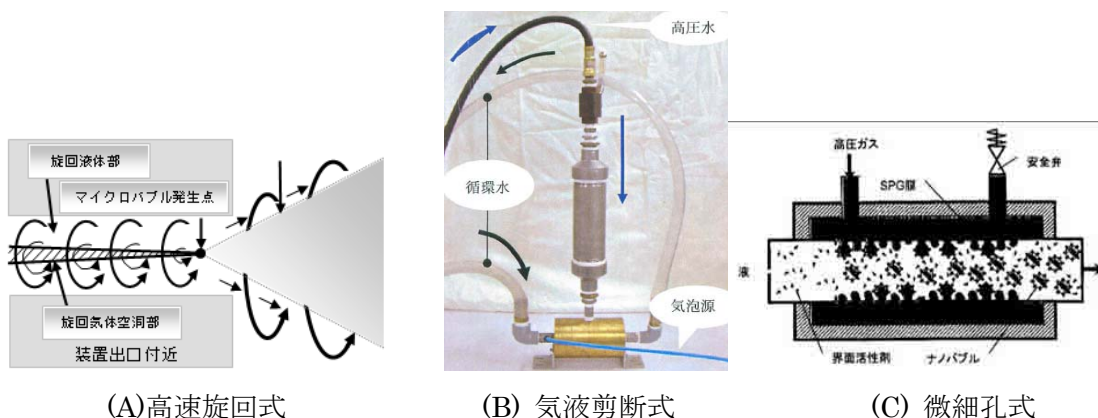


図 3.2.1.3.1.3 ナノバブル発生装置発生原理

## ②ナノバブル化の検討

①で選定したナノバブル発生装置を用いウレタン原液のポリオール成分（以下 R 成分）へのバブル導入方法を検討した。いずれの装置も水への適用を前提としているため、高粘度のウレタン原液（現行品）への適用を検討し、以下の結果を得た。

- (A)高速回転式 液を 40℃程度に加温し、粘度を下げることにより適用可能となった。
- (B)気液剪断式 液を 25℃前後に加温し 0.1MPa 程度の圧をかけながら気体を導入した。
- (C)微細孔式 ポンプを使用して液を流し、吐出先ホースの先端に微細孔膜装着モジュールを設置し、圧縮気体のボンベから液圧より高い圧をかけ気体を導入した。

また導入したバブルの測定方法を検討した。レーザー回折散乱法、光子相関法等を調査したが、いずれもウレタン原液中のバブルを測定するには適さず、唯一この目的に合致すると考えられる画像解析式粒径測定装置を導入した。

### ③ナノ粒子及びメソポーラス粒子の利用検討

ナノ粒子をウレタン原液のR成分系に 混合し、ハンドミックス発泡を行ったところ、若干の微細化効果はあった。しかしナノ粒子は表面処理の有無に係わらず短時間で沈降し、沈降物は発泡機の配管系に閉塞を起こすことがわかっているために検討を中止した。

表 3.2.1.3.1.2 ウレタンへのナノ粒子添加結果

	1	2	3	4
ポリオール成分	100	←	←	←
ナノ粒子	5	←	←	—
表面処理	なし	A	B	—
微細化効果	△	△	△	ブランク

メソポーラス粒子 (以下 MP)を同様に添加してハンドミックス発泡を行った。しかし液が高粘度化することによりあまり多くの量を添加できなかったこともあり、セルの微細化は確認できなかった(表 3.2.1.3.1.3)。ナノ粒子と同様に沈降の問題もある。

表 3.2.1.3.1.3 ウレタンへのメソポーラス粒子添加結果

	5	6	7	8
ポリオール成分	100	←	←	←
MP-1	2.5	←	-	-
MP-2	-	-	2.5	←
加熱	なし	あり	なし	あり
微細化効果	×	×	×	×

### ④化学的セル微細化の検討

シリコーン整泡剤はナノバブルの安定化と合一の防止に大きな役割を果たすと考えられる。そこでシリコーン整泡剤を現行より高活性品へ変更し効果を確認した。なお構造が異なるものを使用し、II-1方式(表 3.2.1.3.1.5 参照)でバブルを導入しながら超臨界炭酸ガス処方で機械発泡を行った。セル径はSEM写真から計測し、熱流方向である発泡方向に対して平行方向を評価した。(以下同様) この結果を表 3.2.1.3.1.4 に示す。(表中の括弧内の数字は基準(現行)品を100としたときの値である。以下同様。)

表 3.2.1.3.1.4 シリコーン整泡剤変更による効果確認

シリコーン整泡剤	A	B	C	B
構造	①	①	②	①
添加量	通常	←	←	増量
セル径 平行 $\mu\text{m}$	185(100)	160(86)	162(87)	133(72)
アスペクト比 (垂直/平行)	0.69	0.56	0.57	0.57

この結果より構造の違いによる差はなく、すべて微細化効果を確認した。さらに最も効果のあった B の添加量を増量したところ、さらにセルは微細化された。しかしシリコーンの変更により、異方性が強くなり寸法安定性が悪化した。

⑤ナノバブル化原液の発泡検討（②、④の内容を含む）

(A) バブル発生方式によるセル微細化効果の確認（ハンドミックス）

②で検討したバブルの発生装置を用いてハンドミックスでのセルの微細化の検討を行った。ハンドミックスではスプレー処方では反応が速くミキシング不良となってしまうため、反応の遅い注入処方で行った。バブルはR成分に導入した。結果を表3.2.1.3.1.5に示す。

表 3.2.1.3.1.5 バブル発生方式によるセル微細化効果の確認（ハンドミックス）

	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
処方	注入	←	←	←	←
バブル発生方式	なし	I	II-1	II-2	III
エア-導入量 vol%	-	50	←	←	←
セル径 平行 $\mu\text{m}$	600(100)	530(88)	520(87)	400(67)	330(55)

I方式では効果は小さく、II方式ではII-2で効果が得られた。またIII方式で最もセルの微細化効果が大きかった。

(B) バブル発生方式によるセル微細化効果の確認（機械発泡）

ハンドミックスで効果が得られたことから、スプレー発泡装置を用いて超臨界炭酸ガスを使用したノンフロン処方で機械発泡を行った。結果を表3.2.1.3.1.6に示す。

表 3.2.1.3.1.6 バブル発生方式によるセル微細化効果の確認（機械発泡）

	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
処方	ノンフロン	←	←	←	←
バブル発生方式	なし	I	II-1	II-2	III
エア-導入量 vol%	-	2.5	←	←	←
セル径 平行 $\mu\text{m}$	194(100)	191(98)	185(95)	184(95)	170(88)

ハンドミックスでは微細化効果が大きかったIII方式も元々セルが細かいスプレーフォームではあまり効果はない。

(C) III方式検討

(B)の結果よりIII方式での検討をさらに行った。④で使用したシリコーン整泡剤 B 増量処方で同様に行ったところ、バブルによる微細化は確認できたが、シリコーン整泡剤によるセルの微細化効果の方が大きいことがわかった。

表 3.2.1.3.1.7 III方式を使用したセルの微細化効果

	a	b	c	d
シリコーン	A	←	B	←
バブル導入	—	○	—	○
セル径 平行 $\mu\text{m}$	194(100)	170(88)	133(69)	124(64)

(D) バブル導入量増量検討

核となるナノバブルの増量をはかるため、イソシアネート成分（以下 I 成分）へのバブル導入を検討した。同一装置で 2 成分を使用するには装置の分解洗浄が必要になるため、ここでは I 方式を利用した。この結果を表 3.2.1.3.1.8 に示す。なお R 成分はシリコーン整泡剤 B 増量処方を用い、I 成分はバブルの安定化のため高粘度のものを用いた（粘度 2 倍）。

表 3.2.1.3.1.8 バブル導入量増量検討

		a	e	f	g
バブル 導入	ポリオール成分	—	○	—	○
	イソシアネート成分	—	—	○	○
シリコーン		A	B	←	←
ポリオール成分粘度		通常	←	←	←
イソシアネート成分粘度		通常	×2	←	←
セル径 平行 μm		194(100)	130(67)	132(68)	135(70)

この結果よりこの系ではどの成分にバブルを導入しても、同等なセルの微細化効果が得られることがわかった。

(E) R 成分/I 成分の高粘度化検討および熱伝導率

成長過程の気泡の安定化、バブルの合一防止のため、R 成分/I 成分の高粘度化を検討した。この結果を表 3.2.1.3.1.9 に示す。

表 3.2.1.3.1.9 R 成分/I 成分の高粘度化検討

		a	h	i	j
バブル 導入	ポリオール成分	—	○	○	○
	イソシアネート成分	—	—	○	○
シリコーン		A	B	←	←
ポリオール成分粘度 mPa·s		通常	×2.5	←	←
イソシアネート成分粘度 mPa·s		通常	←	←	×4
セル径 平行 μm		194(100)	115(59)	120(62)	113(58)

またセル微細化フォームの熱伝導率を評価した。この結果を表 3.2.1.3.1.10 に示す。72h 後はセル中の炭酸ガスが空気と置き換わりすべて 0.033 W/(m·K)であった。セルの微細化（薄膜化）による収縮防止の目的で独立気泡率を下げているために、セルが微細化されているにもかかわらず 24h 後の熱伝導率低下効果は僅かであった。高官能（＝高粘度）イソシアネートにより高強度化した上で、独立気泡率を 80%に高めたところ、0.024 W/(m·K)が得られた。

表 3.2.1.3.1.10 熱伝導率評価

		a	c	j	k
バブル 導入	ポリオール成分	—	—	○	○
	イソシアネート成分	—	—	○	○
シリコーン		A	B	←	←
ポリオール成分粘度	mPa·s	通常	←	×2.5	←
イソシアネート成分粘度	mPa·s	通常	←	×4	←
セル径(平行)	μm	194(100)	133(69)	113(58)	112(58)
独立気泡率	%	70	50	50	80
熱伝導率 W/(m·K)	24h後	0.033	0.031	0.030	0.024
	72h後	0.033	0.033	0.033	0.033

以上の結果より初期熱伝導率は 0.024 W/(m·K)を達成したが、セル径は目標に及ばず、また熱伝導率の経時変化も大きい。今後さらにセルの微細化を進めるとともに、樹脂改質により熱伝導率の経時変化の原因であるセル中の炭酸ガスの拡散を抑える検討を行い、実用化検討段階 (⑥、⑦) に進みたい。

## (3)研究成果まとめ

表 3.2.1.3.1.11 研究成果のまとめ

	目標	成果	達成度
① ナノバブル発生装置の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウレタン原液にナノバブルを発生させるための条件把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウレタン原液にナノバブルを導入できるナノバブル発生器を購入し、適用条件を明らかにした。</li> </ul>	達成 (80%)
② ナノバブル化の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>原液中に 500 nm 以下のバブルを発生させるための条件把握</li> <li>ナノバブルの特性と発生条件との詳細な関係確認</li> <li>ナノバブルの長寿命化 (1ヶ月以上)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>画像式粒径解析システムを使用し、ナノバブル発生装置による粒度分布の違いを測定した。</li> <li>詳細を検討中</li> <li>未実施</li> </ul>	未達 (40%)
③ ナノ粒子及びメソポーラス粒子の利用検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>シリカナノゲル、ナノクレイ等のナノ粒子及びメソポーラス粒子から発生させたナノバブルを核とすることにより、セルの微細化を検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノクレイとメソポーラスシリカの添加効果を確認したが、セルの微細化効果は得られなかった。</li> <li>沈降があり、実用上問題である。</li> </ul>	未達 (30%)
④ 化学的セル微細化の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウレタン原液中に発生させたナノバブルの発泡過程での安定化と合一の防止に適切なシリコーン整泡剤を検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シリコーン整泡剤 B を使用することによりセルの微細化効果が得られた。しかし異方性が強くなるため、その改善およびさらなる微細化が必要。</li> </ul>	未達 (50%)
⑤ ナノバブル化原液の発泡検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノバブル化原液の発泡時の問題点の抽出</li> <li>ナノバブル化原液の機械的条件設定と初期熱伝導率 0.024 W/(m・K)を得るための処方設定</li> <li>樹脂改質による CO<sub>2</sub> 拡散防止</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノバブルを導入した原液を発泡しても特に問題はなかった。ただしバブル量が多く比重が小さくなる場合、I/R 比が変わるため配合による調整が必要。(発泡機の I/R 比は容積比)</li> <li>機械条件は通常条件で問題なし。シリコーン整泡剤 B の使用、原液の高粘度化、樹脂骨格の強化および高独立気泡化で初期熱伝導率 0.024 W/(m・K)を達成した。さらに経時変化の抑制が必要。</li> <li>検討開始した。</li> </ul>	未達 (50%)
⑥ 現場発泡機への応用研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノバブルの寿命が短い場合、ナノバブル発生器の発泡機への設置検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①～⑤が完成しだい行う。</li> </ul>	
⑦ 施工試験及び性能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>現場試験による性能評価と初期熱伝導率 0.024 W/(m・K)の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①～⑤が完成しだい行う。</li> </ul>	

#### (4)成果

表 3.2.1.3.1.12 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H20FY	1	0	0	0

#### 3.2.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社

##### 熱伝導率経時低下を抑制したノンフロンの断熱材の研究開発(平成 19～21 年度)

(委託事業)

平成 19 年度は混合ガスの安全性・安定性等の調査を中心に実施した。又、評価の結果数種類の混合ガスを製造し PUF 原料への溶解性を評価し十分な溶解性を有する事が解った。更に、製造した混合ガスを硬質 PUF 製造システムに応用した場合を想定した LCCO<sub>2</sub> 評価を実施した。平成 20 年度は平成 19 年度に製造した混合ガスを硬質 PUF 用原液に溶解させた場合の安全性・安定性、成型時の安全性等の調査を実施し、混合ガスを使用したウレタンフォーム発泡システムへの現場発泡分野や工場生産技術分野での応用技術開発を進め、熱伝導率経時劣化促進評価を実施し、性能評価可能なウレタンフォームを得ることができた。

研究開発項目毎の成果は以下の通りである。

##### (1)混合ガスの安全性、安定性等の評価

空気、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、燃焼範囲を有する低 GWP、低熱伝導率ガス 3 種類の爆発(燃焼)範囲に 関して試験を実施した。図 3.2.1.3.2.1 に試験装置の概略を示す。燃焼範囲を有する低熱伝導率ガスとして 3 種類を試験し、各々二酸化炭素と混合する事により爆発(燃焼)範囲は小さくなっている事から危険性を減ずる事ができたと考える。図 3.2.1.3.2.2 に空気、CO<sub>2</sub>、シクロペンタン (以下 CP と略す場合がある) の爆発(燃焼)範囲を示す。ここで可燃性ガスとは高压ガス保安法第二条第 1 項に定められており以下の要件のどちらかを満たすものをいう。

① 爆発限界(空気と混合した場合の爆発限界をいう。以下同じ)の下限が 10%以下のもの

② 爆発限界の上限と下限の差が 20%以上のもの

図 3.2.1.3.2.2 の CP 濃度と空気濃度 0 の点から二酸化炭素 100%と CP100%を結んだ線に対して線を引き、爆発範囲曲線との交点で爆発上下限濃度を求め各濃度の CO<sub>2</sub> と CP の混合ガスの可燃性を評価した。図 3.2.1.3.2.2 で赤線が可燃性、緑線が不燃性を示す領域である。(三角図による解析)



他の可燃性物質についても同様な解析を実施し安全性を評価した。各低熱伝導率物質をCO<sub>2</sub>と混合した場合に混合ガスが可燃性となる最低濃度を表 3.2.1.3.2.1 に示した。

又、各混合ガスの爆発上下限値を考慮して不燃性濃度、可燃性濃度を選定し密閉容器(高压ガス ボンベ)中に混合ガスを 製造した。

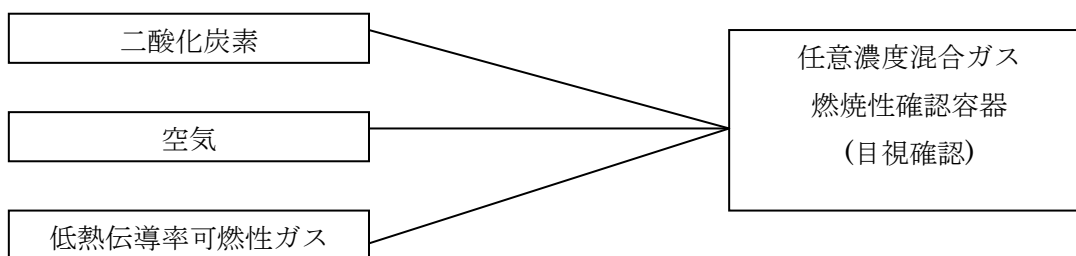


図 3.2.1.3.2.1 燃焼範囲測定装置概略図

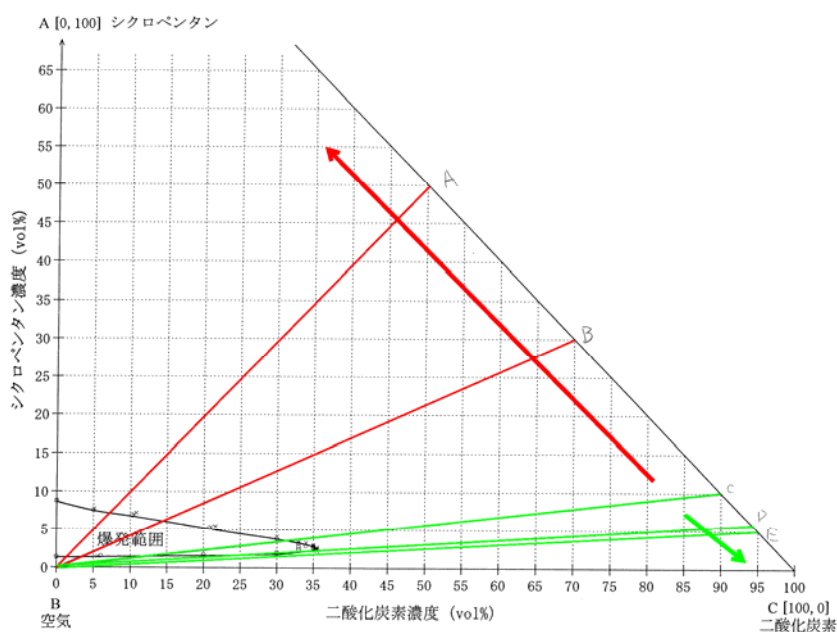


図 3.2.1.3.2.2 CP-CO<sub>2</sub>-AIR3 成分系の爆発範囲 (大気圧・25℃)

表 3.2.1.3.2.1 CO<sub>2</sub>と可燃性物質の混合ガスが不燃性となる可燃性物質の最高濃度

物質名	シクロペンタン	ジメチルエーテル	HFE-254pc	HFC-152a
GWP	3	2	359	140
CO <sub>2</sub> との混合時に 不燃となる可燃性 物質最高濃度 (vol%)	10	15	56	35

## (2)混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価

平成 19 年度は、各混合ガスと PUF 原料の溶解性試験装置やガス供給装置の安全装置や警報装置の検討及び試験に備えて各設備の部品等の準備検討等を実施し、各試験装置の仕様を概ね決定した。又、PUF 成型試験に備えて現場発泡、工場生産の各 PUF 製造設備、工程における FTA を実施した。更に 混合ガスの PUF 原料への溶解性を評価し一般的な PUF 原料に十分な溶解性を有する事が解った。

平成 20 年度は CO<sub>2</sub> と可燃性の低熱伝導率ガス等との混合ガスを密閉容器からガス供給装置等を用いて中圧 PUF 発泡機で PUF 原料(ノンフロン独立気泡系原料)に混合、成型した場合の安定性、安全性 評価を実施した。評価結果を表 3.2.1.3.2.2 に示す。又、成型時の安全性は PUF 原料を金型に吐出し PUF を成型した際の発生ガスを、漏洩時の安全性は PUF 原料を配管 から一斗缶に吐出した際の発生ガスを採取し、GC-MS (島津科学製 GC-17A、QP-5050、キャリアガス He、キャピラリーカラム 60m×0.32mm φ) で成分濃度の定量分析を実施し(1)で評価した爆発(燃焼)範囲で評価を実施した。

表 3.2.1.3.2.2 から PUF 原料への相溶性は各ガスとも良好であったが、ジメチルエーテル(DME)は樹脂への相溶性が大きく成型した PUF パネルが早期に収縮してしまった。又、高圧ガス保安法上不燃性のものは全て成型時及び漏洩時に安全である事が確認できた。又、可燃性であっても PUF 原料中の可燃性物質濃度が一定濃度以下の場合には安全である事が解った。

表 3.2.1.3.2.2 混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価

混合ガス種類 可燃性ガス/ 二酸化炭素	混合ガス中の 可燃性ガス割 合【高圧ガス 保安法定義】	混合ガスの PUF 原料への 混合割合	PUF 成型時の 安全性評価※1	PUF 原料漏洩 時の安全性評 価※1	PUF 原料への 相溶性 [安定性評価]
ジメチルエーテル/ CO <sub>2</sub>	小 【不燃性】	小	○	○	良好(収縮)
		中	○	○	良好(収縮)
	中 【可燃性】	小	○	○	良好(収縮)
		中	×	×	良好(収縮)
	大 【可燃性】	小	○	○	良好(収縮)
		中	×	×	良好(収縮)
シクロヘキサン /CO <sub>2</sub>	小 【不燃性】	小	○	○	良好
		中	○	○	良好
	中 【可燃性】	小	○	○	良好
		中	△	△	良好
	大 【可燃性】	小	○	○	良好
		中	×	×	良好
HFE-254pc /CO <sub>2</sub>	中 【不燃性】	小	○	○	良好
		中	○	○	良好
	大 【不燃性】	小	○	○	良好
		中	○	○	良好
HFC-152a /CO <sub>2</sub>	中 【不燃性】	小	○	○	良好
		中	○	○	良好

※ 1 安全性評価 ○：爆発(燃焼)範囲外、△：爆発(燃焼)範囲近傍又は再測定必要、  
×：爆発(燃焼)範囲内

### (3) 混合ガスを利用した硬質 PUF の LCA 評価

(2) で CO<sub>2</sub> と低 GWP、低熱伝導率物質の混合ガスを使用して成型した PUF の熱伝導率が最も低くなる混合量の場合の発泡剤比率及び GWP を図 3.2.1.3.2.3 に示した。図から何れの場合でも現行の HFC 発泡剤を用いた場合よりも GWP は大幅に小さくなっている事が解った。又、各種発泡剤を用いた硬質 PUF 断熱材を住宅に供用した場合の LC-CO<sub>2</sub> を図 3.2.1.3.2.4 に示した。図より、低 GWP、熱伝導率物質と CO<sub>2</sub> の混合ガスを使用した場合の住宅供用時(東京地区集合住宅階間角部屋)の LC-CO<sub>2</sub> は製造時及び発泡時の発泡剤放散による CO<sub>2</sub> 排出を削減できる事から HFC 発泡よりも約 20%程度、断熱を施さない場合 より約 45%削減できる事が解った。

図 3.2.1.3.2.3 低 GWP 混合ガスを用いた PUF の発泡剤混合比率

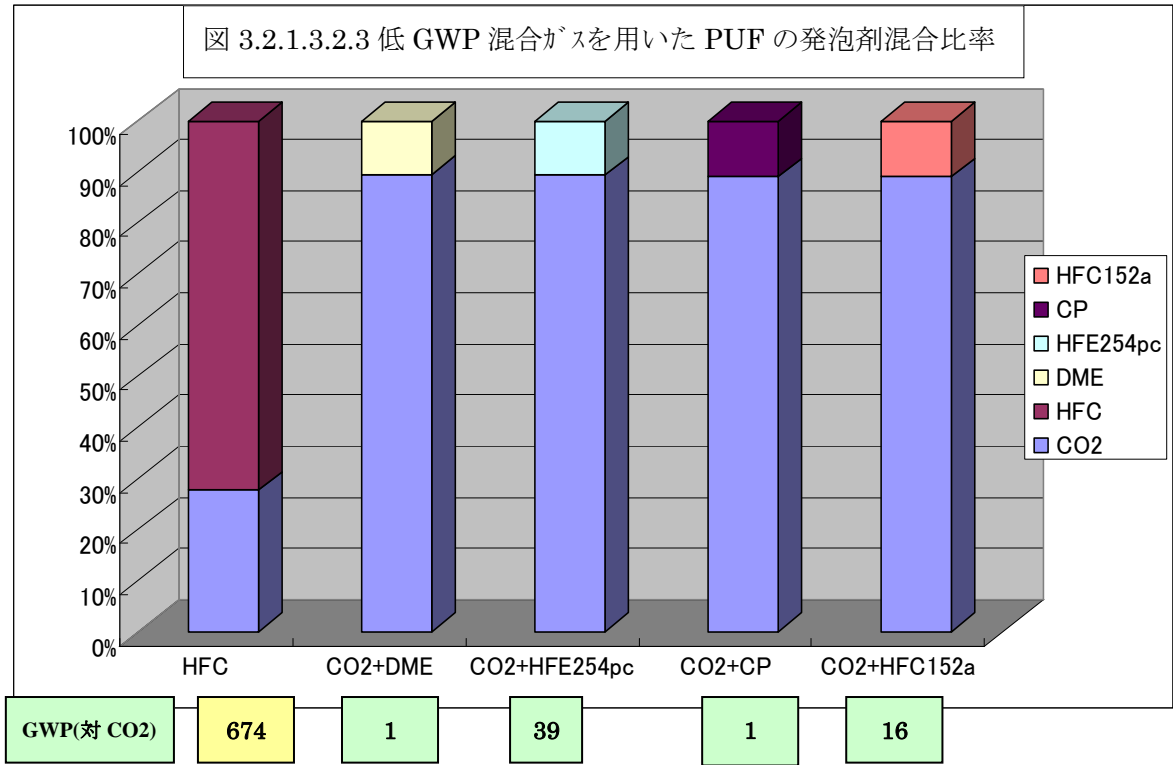
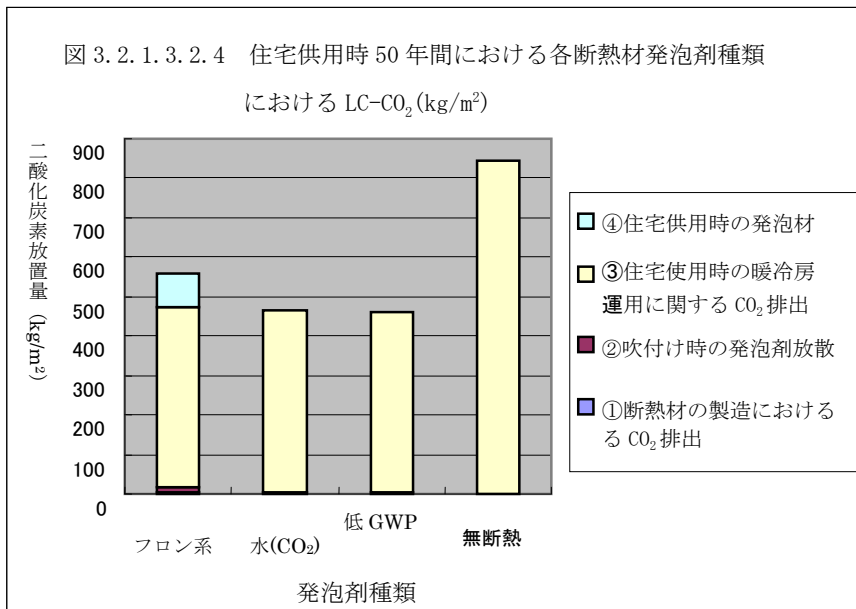


図 3.2.1.3.2.4 住宅供用時 50 年間における各断熱材発泡剤種類  
における LC-CO<sub>2</sub> (kg/m<sup>2</sup>)



(4) 混合ガスを使用したウレタンフォーム発泡システムへの応用技術開発

(A) 熱伝導率評価試験

HFC、シクロペンタン(CP)、水(CO<sub>2</sub>)を発泡剤とした PUF 原料でハンドミキシングにて PUF パネル(寸法：200×200×25mm)を成型し熱伝導率の経時変化の測定を実施した。又、試料はスキン層付 及びパネルから切り出し(スキン層無し)とした。測定結果を図 3.2.1.3.2.5 に示す。図より、CO<sub>2</sub>を発泡剤とする水発泡は HFC、CP と比較して成型後約 3 ヶ月までの経時変化が大きい事が解った。又、スキン層のある試料は無いものより変化が小さい事が解った。ここでスキン層とはポリウレタン発泡成形時に金属面、躯体、雰囲気との界面に形成される樹脂の高密度薄層の事をいう。

本試験結果から、CP と CO<sub>2</sub> の混合ガスを発泡剤として用いたものは CO<sub>2</sub> 単独を発泡剤とする水発泡よりも熱伝導率経時劣化を抑制できる可能性が大きいと考えられる。

又、CP を発泡剤とした PUF 原料で PUF パネル及び表面が金属面材の PUF パネル(各寸法：920×610×50or100mm)を成型し熱伝導率経時変化を測定した結果を表 3.2.1.3.2.3 に示す。表より PUF パネルと 比較して表面が金属面材の PUF パネルの経時変化は非常に小さい事解った。

又、表 3.2.1.3.2.4 に(2)の安全性評価時に作成した PUF パネルの熱伝導率等物性を示す。表から CP、HFE-254pc、HFC-152a を使用して一定量 PUF 原料に混合した場合に良好な熱伝導率(初期・経時)のものが得られた。

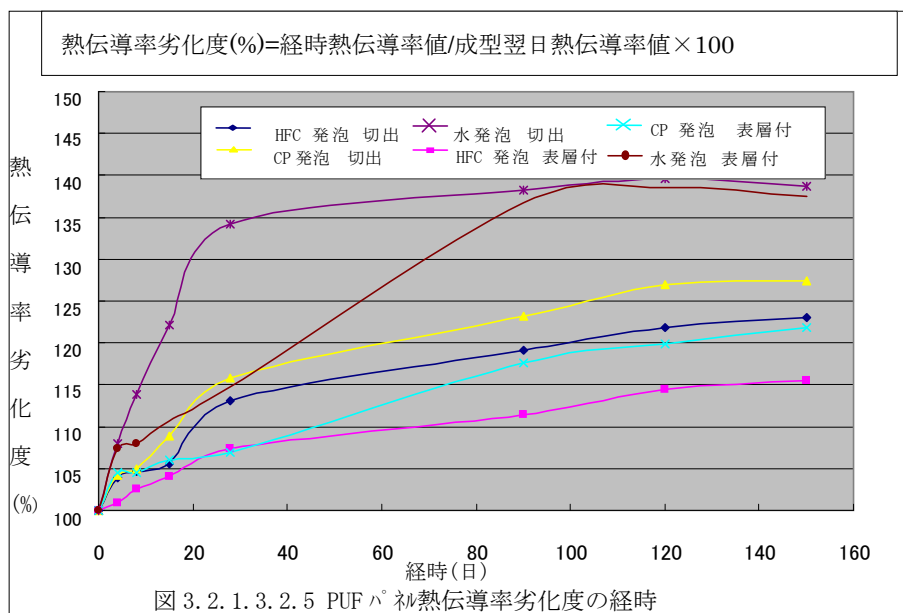


表 3.2.1.3.2.3 ポリウレタンフォームパネル熱伝導率経時変化測定結果

金属面材有無		無し	無し	有り	有り
厚さ (mm)		100	50	100	50
密度 (kg/m <sup>3</sup> )		40	38	40	38
設置温度 (°C)		室温	室温	40	40
熱伝導率 変化率 (%) (対成型 1 日後)	14 日後	104	106	99	99
	30 日後	106	108	102	101
	90 日後	109	115	100	98
	180 日後	115	130	102	103

表 3.2.1.3.2.4 混合ガスを利用した硬質 PUF の物性評価

混合ガス種類 可燃性ガス /二酸化炭素	CO <sub>2</sub> との混合 ガス中の可燃性ガス割合 【高圧ガス保安法定義】	混合ガスの PUF 原料への 混合量 (vol. %)	PUF 成型時の 安全性評価※ <sup>1</sup>	PUF 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝導率 [初期]※ <sup>2</sup> (W/m・K)	熱伝導率 劣化度※ <sup>3</sup> [2 週間室温 放置/初期] (%)
ジメチルエーテル /CO <sub>2</sub>	小 【不燃性】	小	○	40	0.0241	収縮
		中	○	42	0.0240	収縮
	大 【可燃性】	小	○	41	0.0241	103
		中	×	41	0.0242	102
シクロペンタ /CO <sub>2</sub>	小 【不燃性】	小	○	42	0.0242	102
		中	○	43	0.0241	102
	中 【可燃性】	小	○	42	0.0234	104
		中	△	42	0.0243	100
HFE-254pc /CO <sub>2</sub>	大 【可燃性】	小	○	43	0.0231	102
		中	×	41	0.0231	102
HFE-254pc /CO <sub>2</sub>	大 【不燃性】	小	○	40	0.0231	105
		中	○	40	0.0231	103
HFC-152a /CO <sub>2</sub>	中 【不燃性】	小	○	39	0.0225	103
		中	○	40	0.0240	105
(参考)水	—	—	—	41	0.0249	108
(参考)CO <sub>2</sub>	【不燃性】	中	—	40	0.0234	106
(参考) HFC-134a	【不燃性】	中	—	41	0.0228	103

※<sup>1</sup> 安全性評価 ○：爆発(燃焼)範囲外、△：爆発(燃焼)範囲近傍又は再測定必要、  
×：爆発(燃焼)範囲内

※<sup>2</sup> 熱伝導率[初期]※<sup>2</sup>：200×1000×40mmPUF パネルから成型翌日に 200×200×25mm に切断し熱伝導率を測定する。

※<sup>3</sup> 熱伝導率劣化度※<sup>3</sup>：200×1000×40mmPUF パネルを室温(15～25°C)で放置し 2 週間後に 200×200×25mm に切断し熱伝導率を測定した数値と初期値からの変化割合

(B) 工場生産技術開発

PUF 成型機に高圧発泡機を用いて、表 3.2.1.3.2.4 で熱伝導率（初期・経時）が最も小さかった CP/CO<sub>2</sub> 混合ガス（可燃性割合）を用いた大型 PUF パネル成型試験を実施した。以下の成型条件ではほぼ問題なく建材で実用化されているサイズの大型 PUF パネルの成型が可能であった。（図 3.2.1.3.2.6、7 参照）又、使用した PUF 原料は PUF セルの微細化を検討したノンフロン水独立気泡系組成であった。成型時の型内の雰囲気を採取し GCMS にてガス濃度測定を実施した結果何れの濃度でも爆発（燃焼）下限以下で安全である事が解った。得られた PUF パネルの物性を表 3.2.1.3.2.5 に示す。又、熱伝導率が良好であった PUF のセル写真及びセル径分布を図 3.2.1.3.2.8 に示す。得られた PUF の平均セル径は約 120 μm であった。表 3.2.1.3.2.5 から前記混合ガスを使用した PUF は CO<sub>2</sub> を発泡剤とした PUF と比較して初期熱伝導率、熱伝導率劣化度合いとも優れている事が解る。又、得られた PUF の圧縮強度は 15N/cm<sup>2</sup> 以上で高温寸法変化率（70℃×72hr）も何れも 2.0%以下で良好であった。

【PUF パネル成型条件】

PUF パネル寸法（mm）：200×1,000×40〔小型〕、600×900×50〔中型〕、900×1,800×50〔大型〕。

型温度：40～45℃。 脱型時間：15min。

使用ガス：CP/CO<sub>2</sub>（可燃性）、（参考）CO<sub>2</sub>。 面材：無し 及び 全面 Al 1.2mmt 被覆。

表 3.2.1.3.2.5 混合ガスを利用した硬質 PUF パネルの物性評価（高圧発泡機金型発泡）

PUF 原料中混合ガス添加割合		無し	小	中
フリー発泡密度 (kg/m <sup>3</sup> )		2.4	2.3	2.3
パネル成型密度 (kg/m <sup>3</sup> )		3.6	3.7	3.6
熱伝導率 <sup>※1</sup> (mW/m・K)	初期 <sup>※2</sup>	22.8	22.1	22.0
	2週間後	25.1	23.7	23.6
	3ヶ月後	31.9	30.3	28.7
熱伝導率劣化度 <sup>※3</sup> (%)	2週間後	110	108	108
	3ヶ月後	140	138	131
圧縮強度 (N/cm <sup>2</sup> )				

※1 各成型したスキン層有り PUF パネルから 200×200×25mm に切断し測定、その後室温放置

※2 熱伝導率〔初期〕：PUF パネル成型翌日の測定値

※3 熱伝導率劣化度：熱伝導率経時値/熱伝導率初期値×100



図 3.2.1.3.2.6 PUF パネル  
900×1800×50mm



図 3.2.1.3.2.7 金属面材 PUF パネル  
900×1800×50mm

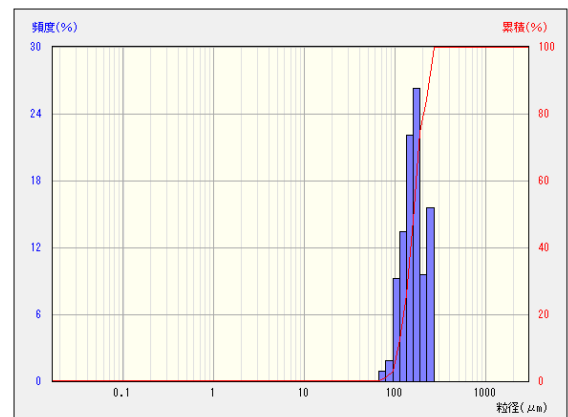
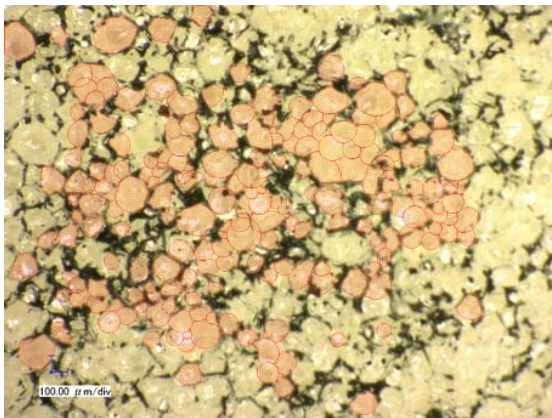


図 3.2.1.3.2.8 工場生産用 CP/CO<sub>2</sub> 混合ガス使用 PUF セル写真及び分布

### (C) 現場発泡技術開発

PUF 成型機に中圧現場発泡機、スプレーガンを用いて、CP/CO<sub>2</sub> 混合ガス(可燃性)を使用した現場発泡 PUF の成型試験を実施した。発泡試験と同時に発泡直後の PUF 表面から 0～30mm の雰囲気のスAMPLINGを行い GCMS にてガス濃度測定を実施した結果一定量の混合ガスを PUF 原料に混合した場合には CP は検出できず(0.2vol%以下)爆発(燃焼)下限界以



下で安全である事が解った。

又、作成した PUF の物性評価結果を表 3.2.1.3.2.6 に示す。PUF の試料は上、中、下部で サンプリングを行い、熱伝導率初期値及び室温にて保管して経時変化を測定し結果は平均値を示した。又、スキン層を含む状態で一定期間室温にて保管した後の経時変化も測定した。又、試料の高温及び低温寸法変化率（70℃、-30℃×72hr）を測定し低温はどれも 0.2%以下で変化は少なく、高温寸法変化率は 10%以上で比較的变化は大きかった。又、圧縮強度は 80～140kPa で JIS A 9526 の A1 種を満たす数値が得られた。PUF 試料を図 3.2.1.3.2.9、10 に示す。

**【現場発泡条件】**

PUF 試料作成：約 300×300mm ホート上にて下吹き後 1 層約 25mm で 4 回吹き付け。（積層厚さ約 100mm）。温度：室温。使用ガス：CP/CO<sub>2</sub>(可燃性)。

表 3.2.1.3.2.6 混合ガスを利用した現場発泡硬質 PUF の物性評価

PUF 原料への ガス混合 割合	スキン層無し PUF <sup>※2</sup>			スキン層有り PUF <sup>※3</sup>		独立気泡率 (%)
	PUF 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝導率 [初期] <sup>※1</sup> (W/m・K)	熱伝導率 [2 日後] (W/m・K)	PUF 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝導率 [4 週間後] (W/m・K)	
無し	38	0.0256	0.0307	39	0.0264	92
小	39	0.0250	0.0282	40	0.0262	96
中	38	0.0248	0.0283	37	0.0271	96

※1 熱伝導率[初期]：PUF 成型翌日の測定値

※2 スキン層無し PUF：スキン層有り PUF 試料から 200×200×25mm に切断し測定、その後室温  
放置

※3 スキン層有り PUF：スキン層有り PUF 試料から 200×200×25mm に切断し測定



図 3.2.1.3.2.9 PUF 試料



図 3.2.1.3.2.10 PUF

(5) 中間目標の達成度と最終目標達成に向けて

中間目標の達成度及び今後の課題を表 3.2.1.3.2.7 に、最終目標達成可能性を表 3.2.1.3.2.8 に示す。

表 3.2.1.3.2.7 中間目標達成度及び今後の課題

開発項目	目標(中間)	成果	達成度	今後の課題
① 混合ガスの安全性、安定性等の評価	PUF 成型に使用可能な混合ガスの選定	使用可能なガス(可燃・不燃性)の選定終了	○	不燃性で低熱伝導率、低 GWP のガスの検討。
②混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価	① 使用可能 PUF 原料の見極め ②成型時の安全性評価実施	①既存の原料使用可能な見込み ②成型、漏洩時の安全性評価完了	○	高圧ガス保安法等法規制への対応
③混合ガスを利用した硬質 PUF の LCA 評価	選定ガスで成型した PUF の LCCO <sub>2</sub> 実施	HFC 発泡 PUF と比較して約 20%CO <sub>2</sub> 削減見込み	○	熱伝導率経時変化実測値での評価実施
④混合ガスを使用した PUF 発泡システムへの応用技術開発	特性評価可能な PUF を得る	PUF 成型システム構築し成型 PUF の特性評価を実施	○	・法規制への対応 ・熱伝導率経時劣化抑制の検討(ガス以外)

表 3.2.1.3.2.8 最終目標達成可能性(製品性能に関わる項目)

項目	最終目標	(参考) HFC 発泡	達成状況 現場発泡	達成状況 工場生産	達成度	達成見通し
熱伝導率 <sup>※1</sup> [W/m・K]	0.024 以下	0.024	0.025	0.022	○	目標ほぼクリア、達成可能な見通し。
熱伝導率 <sup>※2</sup> [W/m・K]	0.029 以下	0.029(当初) ⇒ 0.032(想定)	0.032	金属面材 劣化割合 <sup>※4</sup> 101% PUF 単独 0.032	△	HFC 発泡でも目標値達成は厳しい HFC と同等以上を目指す、面材パネルは優秀、PUF のみ使用の場合は経時劣化抑制法の検討が必要。
密度 <sup>※3</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	35 以下	30	35(芯) 38(スキン)	23	○	寸法安定維持できれば達成可能。
圧縮強さ [N/cm <sup>2</sup> ]	15 以上	15	11	18	○	ほぼ達成可能だが現場発泡は JIS レベル 8 以上でも可と考える。

- ※ 1 熱伝導率は初期値(成型翌日測定値)を示す。
- ※ 2 熱伝導率は経時変化後(約 10 年経過後)を示す。
- ※ 3 密度はフリー発泡値を示す。
- ※ 4 金属面材は 1 年 3 ヶ月経過後カプリング測定値。

(6) 成果

表 3.2.1.3.2.9 特許、論文、外部発表等の件数 (内訳)

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H19FY	0	0	0	0
H20FY	1	0	0	0
H21FY	0	0	0	0

### 3.2.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub> 発泡）による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」（委託事業）

本助成事業における成果を表 3.2.1.3.3.1 に示す。

表 3.2.1.3.3.1 本助成事業における成果

分類	項目	達成度	目標	成果
性能評価	発泡体用ガス透過性測定装置開発	◎	・発泡体の測定 ・経年変化の予測	多孔質体のガス透過性を直接測定可能な手法を開発
高空隙率化	混合性改善	◎	初期熱伝導率： 0.022W/m・K以下 コア密度： 35kg/m <sup>3</sup> 以下	初期熱伝導率：0.022W/m・Kを達成
	疎水部位導入ポリオール合成および発泡への適応	◎		
	無機ナノ粒子表面修飾および発泡への適応	△		
	有機フィラーへの水酸基導入および発泡への適応	△		
高ガスバリア性技術	ポリオール構造の最適化	○	熱伝導率収束値 0.028W/m・K以下	ポリオールの構造最適化により経年変化を抑制
	無機化合物の添加	△		ガス透過性の抑制を達成

#### (1) 物理的条件の制御によるセルの微細化検討

##### (1)-1. 泡の成長、合一の抑制検討

水発泡は、イソシアネートと水の反応により生成した CO<sub>2</sub> ガスを発泡剤として用いる化学発泡である。この発泡工程を大きく分けると、1) 気泡核の生成、2) 気泡の成長、合一、3) 気泡の安定化に分類できる。したがって、セルの微細化のためには、生成した気泡の成長、合一を抑制することが効果的であると考えられる。

気泡の成長及び合一を抑制する手法として、発泡過程での増粘挙動を含め反応系の粘度増加が効果的であると考えられる。そこで本プロジェクトでは、反応液の初期の粘度差によるセル状態への影響を検討した。

表 3.2.1.3.3.2 に示すように、芳香族アミンベースのポリエーテルポリオールに難燃剤、整泡剤等の副資剤を添加して粘度の異なる 3 種類のポリオールシステムを調整した。触媒の量は、ゲルタイムが 16～18 秒になる量とし、発泡剤としては水のみを用い、添加量は密度が 40 kg/m<sup>3</sup> となるように調整した。

ポリオールシステム：A 液とポリイソシアネート：B 液とを液温 20℃で混合、反応させて、硬質ウレタンフォームを作成した（図 3.2.1.3.3.1）。得られたフォームを十分にキュアさせた後、図 3.2.1.3.3.1 および図 3.2.1.3.3.2 に示す位置からサンプルを切り出し、密度、熱伝導率測定及び SEM によるフォームセル径の測定を行なった。

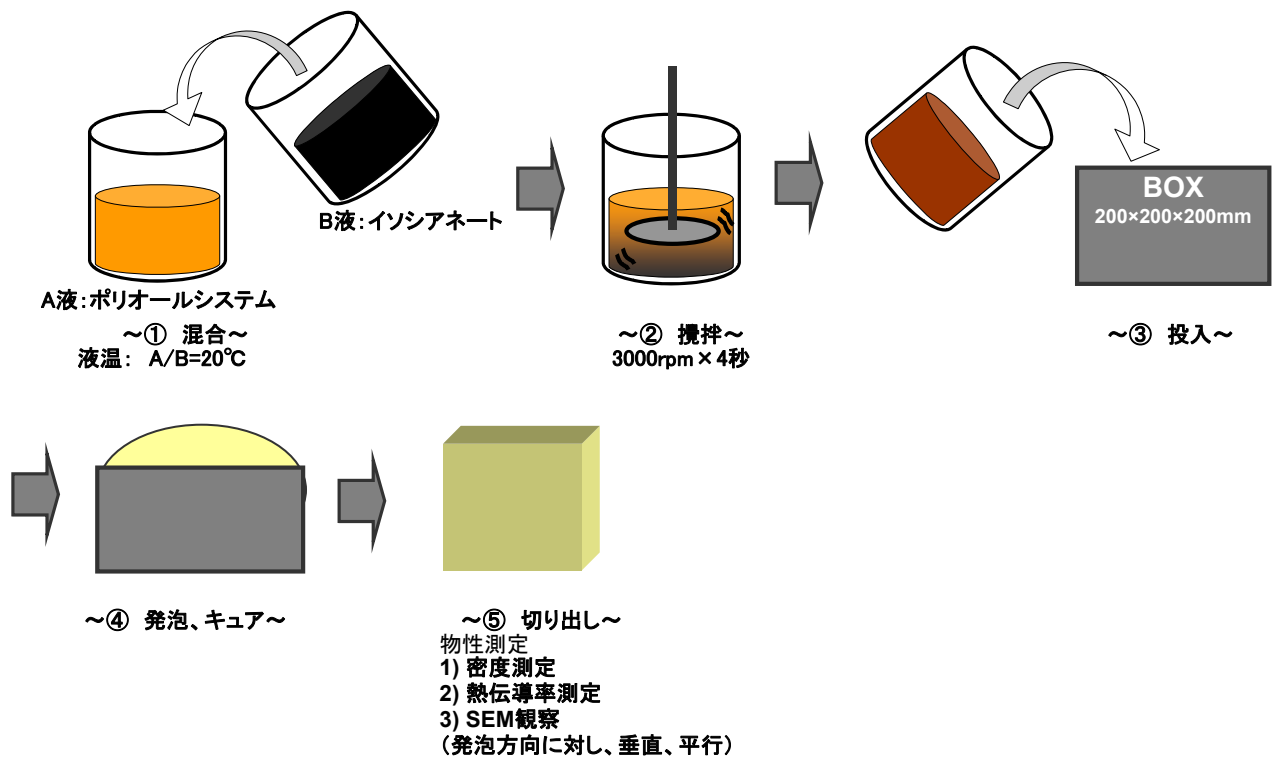


図 3.2.1.3.3.1 発泡評価の流れ

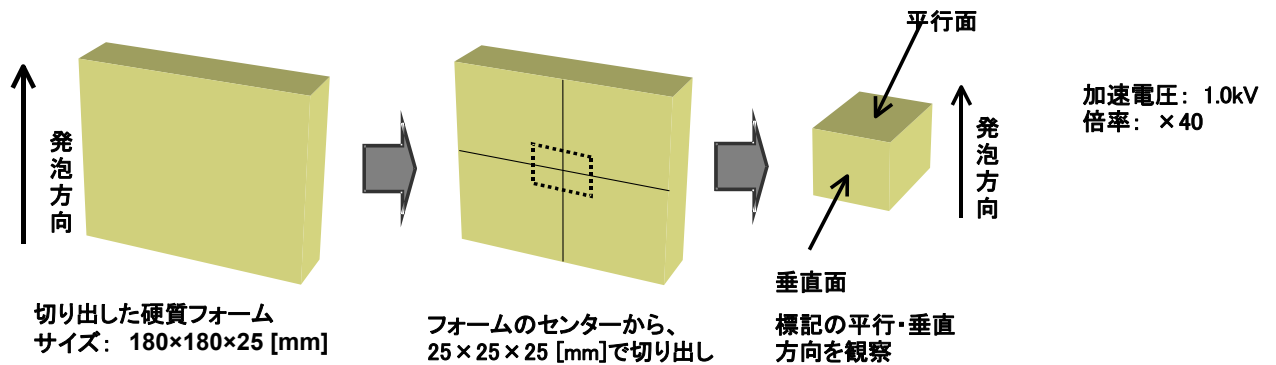


図 3.2.1.3.3.2 SEM 観察条件

表 3.2.1.3.3.2 発泡処方及び物性測定結果

	ポリオール システム I	ポリオール システム II	ポリオール システム III
ポリオール	芳香族アミンベース	←	←
水酸基価 [mgKOH/g]	390	←	←
触媒	泡化/樹脂化併用	←	←
整泡剤	ファイン系整泡剤	←	←
イソシアネート INDEX	110	←	←
システム粘度 [mPa・s/25°C]	2500	1600	1400
熱伝導率 [W/m・K]	0.0226	0.0232	0.0234
平均セル径 [μm]	120	140	180

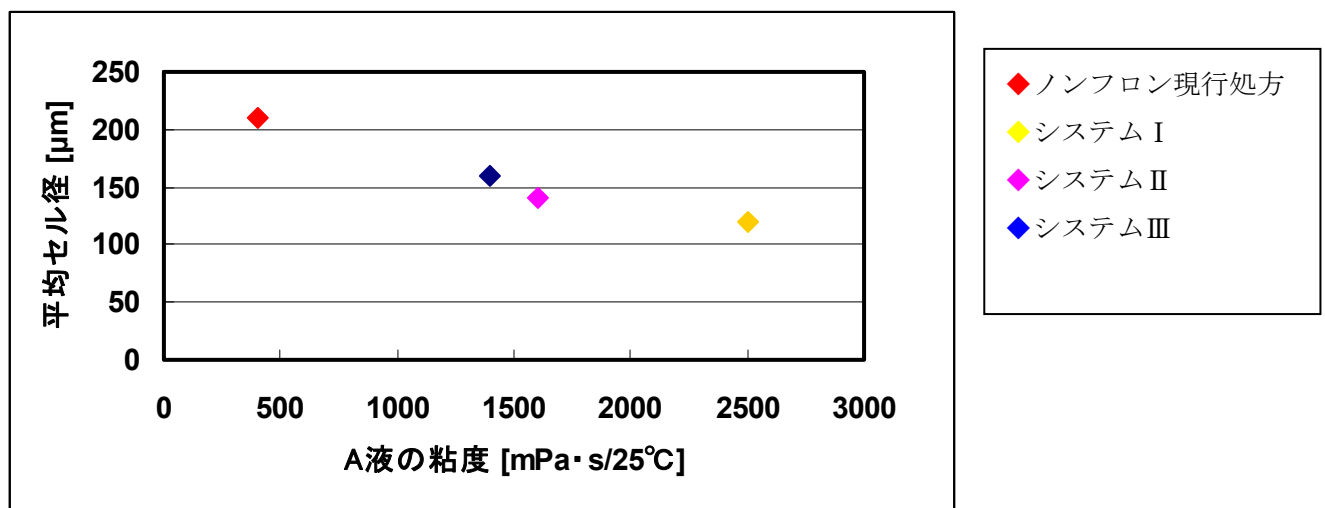


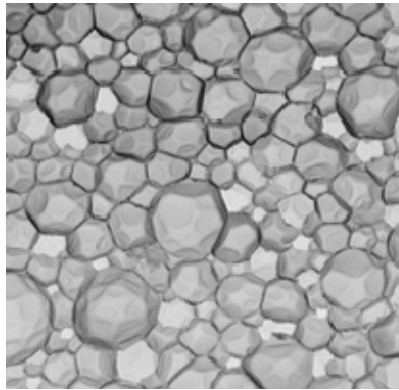
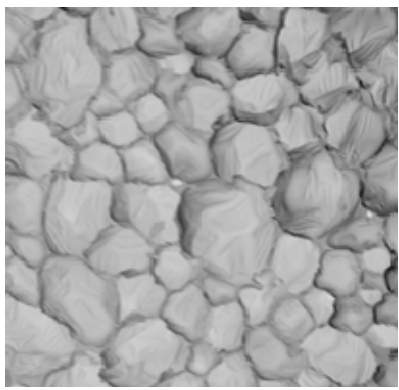
図 3.2.1.3.3.3 ポリオールシステム粘度とセル径の関係

図 3.2.1.3.3.3 はポリエーテルポリオールのシステム粘度とセル平均径の関係を示したものである。現在、実際に施工されているノンフロンスプレー処方を同様の条件で評価した場合、セル径は約 210μm であった。これに対し、粘度を 2500 mPa・s/25°Cまで上げたポリオールシステム I では、平均セル径が 120μm と、現行処方の半分程度にまでセルが微細化されることが分かった。この結果から、反応液粘度がセル径および形状に与える影響は大

きく、従って発泡工程での液増粘挙動の制御が微細セルの形成に大きな効果があることが確認出来た。

表 3.2.1.3.3.3 にポリオールシステム I と現行ノンフロン処方 SEM 測定結果を示す。A 液の粘度上昇に伴いセルの縦伸び（発泡方向への伸び）も抑制され、セルが等方化する傾向にあることを明らかとした。

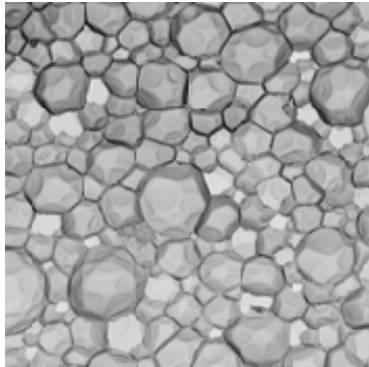
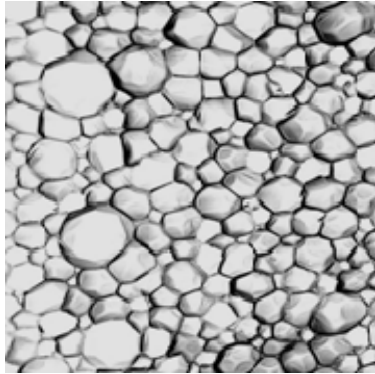
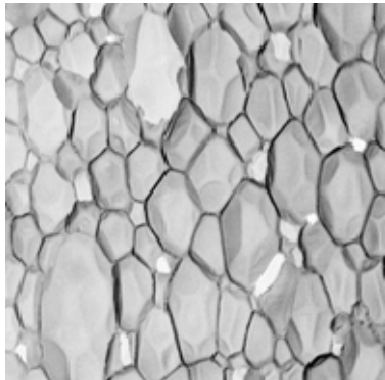
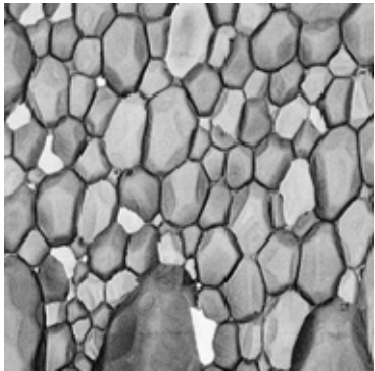
表 3.2.1.3.3.3 ポリオールシステム I と現行スプレーシステムの SEM 写真比較

SEM 写真	システム I	ノンフロンスプレー処方
平行面		

#### (1)-2. 発泡反応制御によるセルの微細化検討

発泡工程において初期の泡化反応、すなわち水とイソシアネートとの反応を効果的に促進し、系中により多くの気泡核を形成（増核）させることができれば、更にセルを微細化できる可能性がある。そこで、(1)-1 の検討で最も微細なセルが得られたポリオールシステム I に対して、泡化反応の促進作用がある反応型添加剤 a を加えて新たにポリオールシステム IV を調整し、図 3.2.1.3.3.1 に示す方法で発泡、硬化させて硬質フォームを作成した。得られたフォームを図 3.2.1.3.3.1 および図 3.2.1.3.3.2 の方法で切り出し、各種物性及び SEM 測定を行なった。その結果、a の添加によりさらなるセルの微細化が達成されている事を確認した（平均セル径 110 $\mu$ m）。

表 3.2.1.3.3.4 増核剤の添加効果

	ポリオールシステム I (添加剤 a なし)	ポリオールシステム IV (添加剤 a あり)
発泡方向に対し 平行		
平均セル径[μm]	120	110
発泡方向に対し 垂直		
熱伝導率 [W/m・K]	0.0230	0.0228

本項目の検討結果により、システムの粘度制御および初期の泡化反応の促進（増核）により、現行のノンフロンスプレー用処方よりも大幅にセルを微細化できることが確認できた。また、熱伝導率も 0.023W/m・K を達成した。

一方、実際に施工現場で使用されるスプレー発泡装置ではシステム粘度に制限があるため、単純に初期の液粘度を大幅に増加させることは困難である。そこで、発泡工程での増粘効率化すなわち架橋反応の促進を目的に、ポリオール構造による界面活性の制御により反応系の相溶性を向上させることを次項目にて検討した。



## (2) 界面活性制御技術の改良によるセルの更なる微細化

### (2)-1 新規水発泡用ポリオールの開発

システム粘度を大幅に上げることなくセルの微細化を達成するための方法として、ポリオールの構造改良による方法を採用した。ポリオールの構造を調整し、イソシアネートもしくは発泡剤との相溶性を向上させることによりセルの微細化を目指すこととした。今回、新規水発泡用ポリオールとして、下記3種類のポリオールを試作した。

ポリオールA、ポリオールBは、イソシアネートとの相溶性向上を目的に構造中に疎水性部位を骨格として導入したポリオールである。一方、ポリオールCは、発泡剤である水との相溶性の向上を目的に構造中に親水性部位を骨格として導入したポリオールである。

表 3.2.1.3.3.5 に各ポリオールの性状を示す。

表 3.2.1.3.3.5 新規ポリオールの物性比較

	ポリオールA	ポリオールB	ポリオールC
水酸基価[mgKOH/g]	365	350	460
アルキレンオキシド	PO/EO	←	←

### (2)-2 新規ポリオールの発泡評価

(2)-1 で合成した新しいポリオールに、(1)のシステムと同じ副資材を添加し、新たに3種類のシステム液を調整した。反応性はゲルタイムで16~18秒、密度は40kg/m<sup>3</sup>となるように調整した。

これら新たに調整された3種類のポリオールシステムとイソシアネートとを反応させて硬質フォームを作成し、得られたフォームの物性及びSEM測定を行なった。表 3.2.1.3.3.6 の発泡評価結果、図 3.2.1.3.3.4 および 3.2.1.3.3.5 にそれぞれのフォームのSEM写真を示す。

表 3.2.1.3.3.6 新規水発泡用ポリオール発泡評価結果

	ポリオール システムV	ポリオール システムVI	ポリオール システムVII
ポリオール	A	B	C
触媒	泡化/樹脂化併用	←	←
整泡剤	ファイン系整泡剤	←	←
イソシアネート INDEX	110	←	←
システム粘度 [mPa・s/25°C]	1500	1500	1100
熱伝導率 [W/m・K]	0.0224	0.0228	0.0226
イソシアネート との相溶性	◎	◎	△
平均セル径 [μm]	109	120	130

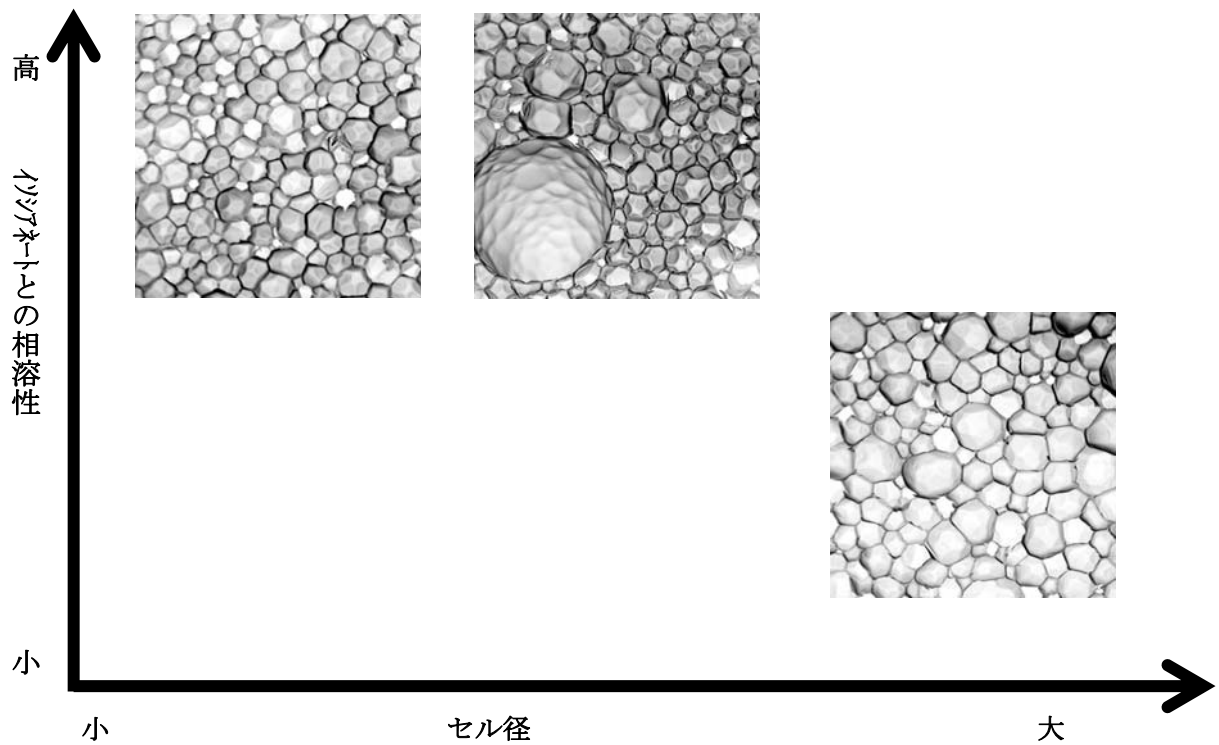


図 3.2.1.3.3.4 イソシアネートとの相溶性とセル径の関係 (平行面)

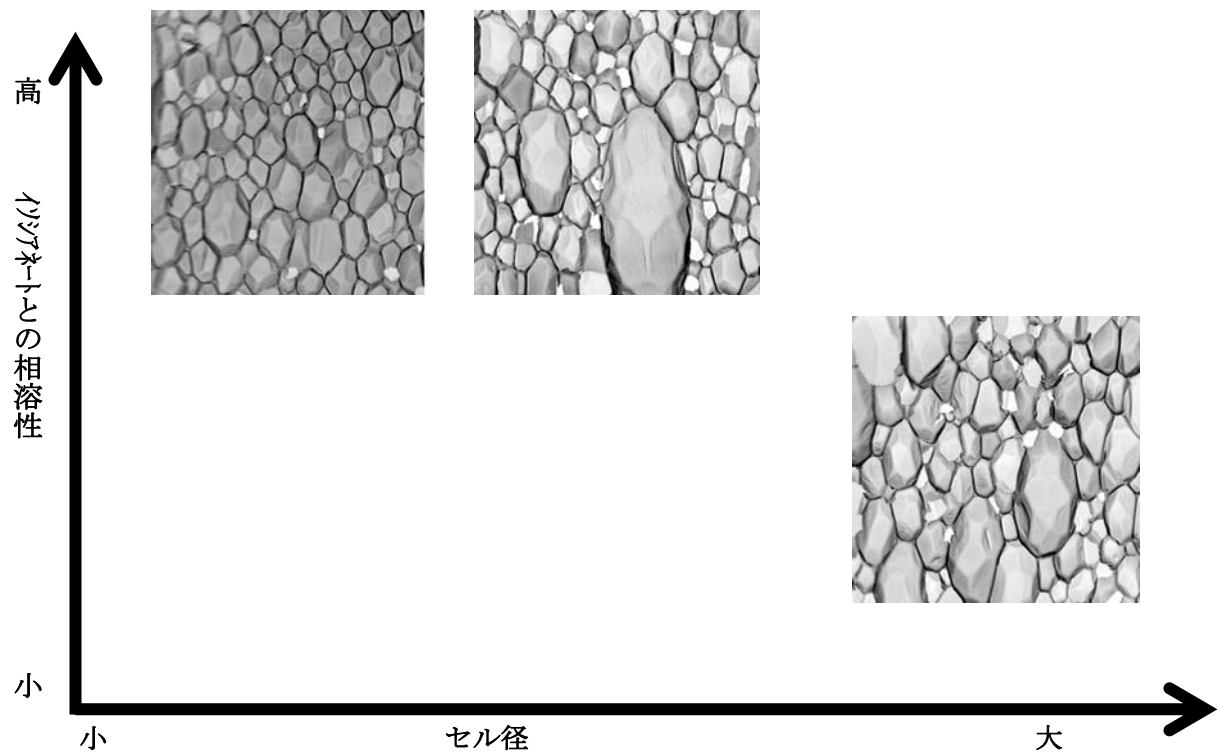


図 3.2.1.3.3.5 イソシアネートとの相溶性とセル径の関係（垂直面）

ポリオールシステムV～VIIの全ての処方で、ポリオールシステムII（平均セル径140 $\mu\text{m}$ ）よりも微細なセルのフォームが得られた。その中でも、ポリオールAでは最も微細なセルが得られ、ポリオールCではセルがやや大きくなる傾向であった。このことから、セルの微細化のためにはイソシアネートとの相溶性を向上させることが重要であることが確認できた。また、ポリオールAのセルは細かく均一であり、更に図3.2.1.3.3.5の垂直面のSEM写真より、セルの縦伸びも抑制されている。一方、ポリオールAとは異なる疎水性部位を導入して、イソシアネートとの相溶性を向上させたポリオールBでは、細かいセルが形成されているもののセルが部分的に合一したため、疎水基構造によってもセル形状が影響を受けることが確認できた。

### (3) 疎水性ポリオールを用いたフォーム低密度化検討

セル構造制御について、平成18年度「革新的ノンフロン系断熱技術開発に関する先行研究」および本プロジェクトでの取組からイソシアネートとの相溶性向上を目的とした新規構造ポリオールにより、フォームのセルが微細化・低熱伝導率化されることを見出した。

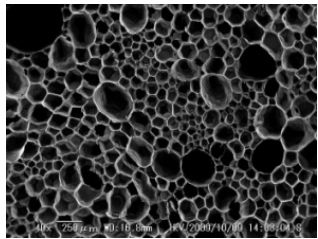
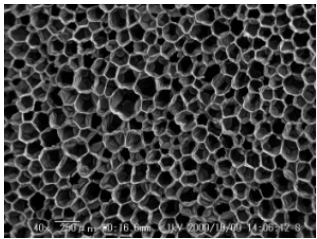
しかしながら、先行研究において得られたフォームは、低熱伝導率化が達成したが、フォーム密度が高い点が問題であった。この問題に対して、配合中の発泡剤比率を高め低密度化を検討したが、フォームの収縮が発生する事が判明した。フォーム収縮の要因は、フォーム中に内包された発泡ガスの体積収縮に対してフォームの強度が不足したためと推定した。従来技術では、低密度化によるフォーム収縮を抑制する事を目的に、気泡セルを意図的に破り連通化するが一般的である。しかしながら、連通化は、フォーム中のセル膜の一部を破っている事から、フォーム中の CO<sub>2</sub> が空気と置換されるために熱伝導率が悪化する。このため、低密度化と低熱伝導率化を同時に達成する事は、非常に困難である。

そこで本プロジェクトでは、低密度化と低熱伝導率化を同時に達成する事を目的に、気泡セルの形状制御技術によるフォーム強度の向上について検討を実施した。すなわち、開発の目標は、独立気泡を維持し低熱伝導率化を達成した上で、気泡セルの形状制御によりフォーム強度を向上させることにより、硬質ポリウレタンフォームを低密度化した際にも収縮が発生しないフォームを得る事である。

気泡セルの形状制御は、ポリエーテルポリオール界面活性性能を制御する事が重要と考え、種々の疎水性官能基を有するポリエーテルポリオールの試作を行い、発泡評価および配合の検討を実施した。

試作したポリエーテルポリオールを用いた発泡評価は、従来技術である連通化による水発泡硬質ポリウレタンフォームに対して、熱伝導率を悪化させる事なく低密度化が達成出来る事を見出した。また、セルの形状および気泡径については、電子顕微鏡を用いたセル径解析を実施した結果、開発品は、従来品と比較して 250nm 以上の比較的粗大な気泡の比率が高くなっている事がわかった。セル径が大きい気泡は、セルを形成するリブが太くなるためセル強度が高くなり事によりフォーム強度が向上する事が知られている。比較的粗大な気泡を有する開発品は、フォーム強度が向上した結果、良好な熱伝導率とフォームの低密度化が同時に達成された。発泡評価の結果を表 3.2.1.3.3.7 にセル径分布の解析結果を図 3.2.1.3.3.6 に示す。

表 3.2.1.3.3.7 開発ポリオールの発泡結果

	開発目標	開発技術	従来技術
セル形状	-		
熱伝導率(W/m・K)	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>0.026</b>
フォーム密度(kg/m <sup>3</sup> )	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>

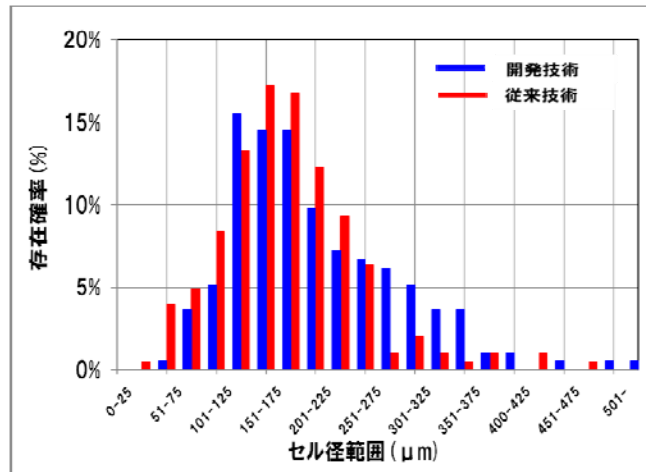


図 3.2.1.3.3.6 セル径分布

#### (4) 熱伝導率の経年変化の抑制

発泡剤に水を用いた硬質ポリウレタンフォームにおける熱伝導率の経年変化は、発泡ガスである CO<sub>2</sub> がフォーム内部から透過、拡散し空気と置換される事により熱伝導率が悪化する。すなわち、硬質ポリウレタンフォーム内が、熱伝導率の良好な CO<sub>2</sub> から熱伝導率の悪い空気と置換されるため、硬質ポリウレタンフォームの熱伝導率が悪化する。

そこで本プロジェクトでは、硬質ポリウレタンフォーム内部から CO<sub>2</sub> の透過、拡散を抑制する事を目的に、用いるポリエーテルポリオール改質を検討した。ポリエーテルポリオールの改質は、ポリエーテルポリオールの分子量、ポリオール粘度、官能基数等を変更しポリエーテルポリオールの試作を行い、ポリエーテルポリオール構造によるガス透過性抑制の効果について検証した。

新規に合成したポリエーテルポリオールを用い発泡評価を行った結果は、汎用のポリエーテルポリオールを用い発泡したフォームと比較して、経年変化が大幅に抑制されている事が確認できた。得られた経年変化の熱伝導率データを基に、財団法人建材試験センター『発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール』を用いたシミュレーションを実施した結果、開発ポリエーテルポリオールを用い発泡したフォームは、熱伝導率の経年変化が小さく長期間良好な熱伝導率を維持出来る事が示唆される結果となった。経年変化実測値および、財団法人建材試験センター『発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール』を用いたシミュレーション結果を、図 3.2.1.3.3.7 および図 3.2.1.3.3.8 に示す。

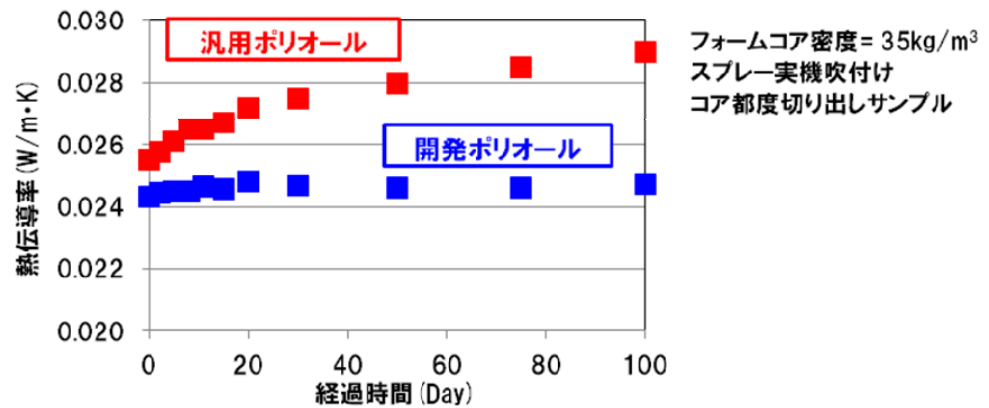


図 3.2.1.3.3.7 経年変化実測値

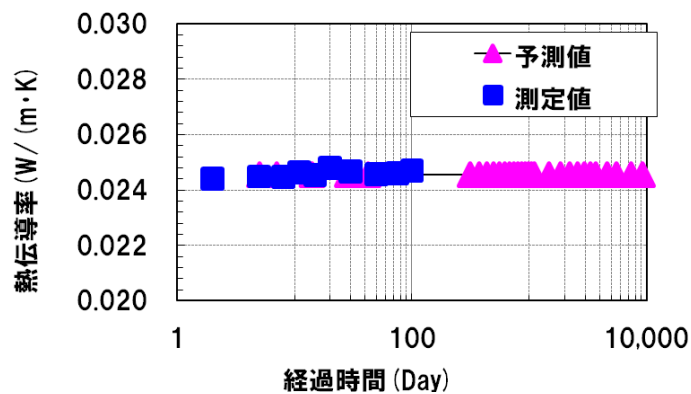


図 3.2.1.3.3.8 簡易予測ツールを用いたシミュレーション結果

#### (5) ガス透過性測定手法の検討

発泡剤に水を用いた硬質ポリウレタンフォームにおける熱伝導率の経年変化は、発泡ガスである  $\text{CO}_2$  がフォーム内部から透過、拡散し空気と置換される事により熱伝導率が悪化する。

従来、硬質ポリウレタンフォームにおける熱伝導率の経年劣化は、発泡したフォームを一定期間ごとに測定を行い熱伝導率の変化を確認しており、長期の評価期間が必要であった。一方で、硬質ポリウレタンフォームのガス透過性を定量的に測定する手法は、提案されていない。

そこで、熱伝導率の経年変化を短期間にかつ、定量的に測定する事を目的に、硬質ポリウレタンフォームのガス透過性を測定する方法について開発を実施した。

従来のガス透過性測定装置は、フィルムのような薄いサンプルの測定を前提としており、硬質ポリウレタンフォームのような多孔質材料の測定には適していない。

本プロジェクトでは、図 3.2.1.3.3.9 に示す多孔質材料の測定に適した特殊な治具を新規

に開発し、硬質ポリウレタンフォームのガス透過度（ガス透過性を表す数値）が測定可能であることを見出した。



図 3.2.1.3.3.9 ガス透過性測定治具

上記測定装置を用い測定を実施した結果は、経年変化が少ない硬質ポリウレタンフォームでは、ガス透過度が小さくなっていることから、経年変化とガス透過度に相関性がある事が判った。測定結果の一例を、図 3.2.1.3.3.10 に示す。

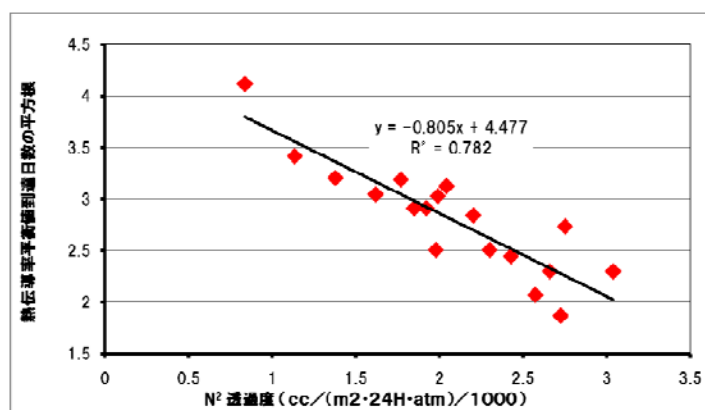


図 3.2.1.3.3.10 熱伝導率平衡値到達日数の平方根と N<sub>2</sub> 透過度の関係

表 3.2.1.3.3.2 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H19FY	0	0	0	0
H20FY	0	0	0	0
H21FY	0	0	0	0
H22FY	2	0	0	0
H23FY	2	1	0	0

### 3.2.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社

「発泡剤の気相／液相制御技術等による現場発泡高断熱ウレタンフォームの技術開発」  
(助成事業)

#### (1)平成19年度の成果

平成19年度の目標：

開発目標 1：実験室レベルで気泡径 100  $\mu\text{m}$ 、寸法安定性 $\pm 3\%$ を満足する硬質ウレタンフォームを得る。

開発目標 2：吸着剤利用技術、炭酸ガス引火性抑制技術、炭酸ガス透過抑制技術に関する情報収集。

#### ①開発目標1の成果

##### 1)液化及び超臨界炭酸ガスによる気泡径微細化

- 超臨界製造プロセスの設計変更（フィルター、レギュレーターの設置）及び炭酸ガス定量ポンプ本体の設計作業を行い、最終仕様を確定、相見積もりを取得、稟議申請を行い、発注を行った。
- 液化炭酸ガスをポリオール成分(A)、イソシアネート成分(B)に混入することで気泡径を微細化する課題では、水発泡モデル処方を組み、これをスプレー発泡するに際し、A/B配分比、混入量など気泡径に影響を及ぼすと考えられるため、気泡径微細化に及ぼす寄与度を実験計画法により定量的に把握する試みを行った。得られたフォームの気泡径を電子顕微鏡で測定した結果、炭酸ガス混入量、A/B配分比が気泡径に影響を及ぼすことが確認されましたが、気泡径が最小で 200  $\mu\text{m}$  とまだまだ大きく満足する値に至らなかった。

##### 2)配合技術による気泡径微細化

配合技術による気泡径の微細化を検討し、整泡剤、触媒等の検討により気泡径微細化を実施、ハンド発泡フォームで 200  $\mu\text{m}$ 、マシン発泡で 140  $\mu\text{m}$  まで微細化することに成功した。

##### 3)スプレーガンノズル

造泡ノズルのポリウレタンスプレーガンへの展開性について調査した結果、原料が非常に微細な流路を経由して吐出することになるため、ポリウレタン原料の性格上継続的な流路確保が困難であり、また安全上の問題も予測されることから、本件テーマによる気泡径微細化の実用化はきわめて困難である判断した。このため基本的にこのテーマを中止することとした。

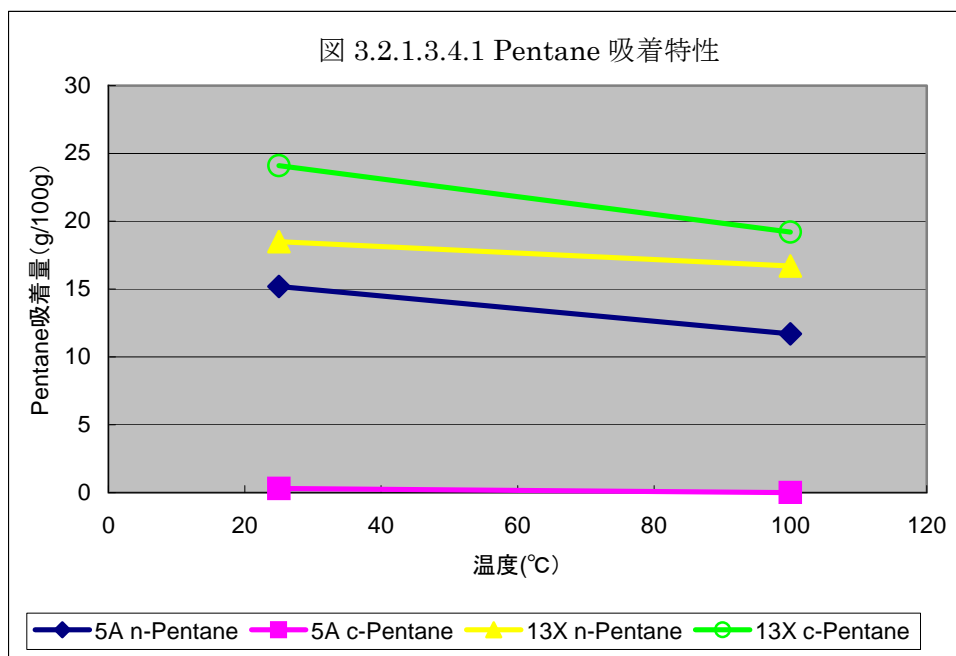
#### ②開発目標2の成果

##### 1)多孔質吸着剤

- 2種のゼオライト吸着剤の n-及び c-Pentane に対する吸着特性を試験しました。この



結果を図 3.2.1.3.4.1 に示す。これによると 5A/n-Pentane、13X/c-Pentane の組み合わせで吸着量差が大きく、発泡への寄与が期待される。温度変化に伴う hidrocarbon 脱着量は各々 3.5g/100g、4.9g/100g となった。



- 並行して、フォーム密度低下に及ぼすであろう各種要因の寄与率の把握を目的に、実験計画法を利用したハンド発泡試験を実施した。この結果、hidrocarbon の温度、種類の寄与率が高かったほか、hidrocarbon を吸着したゼオライトの混入量大きいほど、密度が大きくなることが解った。
- これは、「ウレタン原料系中の発泡剤量が多くなれば密度が低下する。」という従来の常識に整合しなかったが、その後の議論、試験等により、①フォーム内部温度における吸着量以上に hidrocarbon を吸着させておかなければ、hidrocarbon が脱着しないため、密度低下に寄与しない。②当初の吸着条件下において吸着の飽和状態を作らないと、発泡時に脱着した hidrocarbon が即座に再吸着されてしまう。これらが吸着材添加量の増加が密度低下に寄与しない原因と考えた。
- その後、吸引回数を増やす、吸引速度を遅くする、吸着管の直径を細くするなど、吸着飽和状態に近づける手立てを講じたが、密度低下に対して顕著な効果が得られなかった。
- これらの実験を通じて、多孔質吸着剤を利用した発泡技術の確立は、現実性が乏しいと考えるに至った。なぜなら、①単位吸着材量に対する hidrocarbon 脱着量 (25-100°C 吸着量差) が極めて小さいため、現状使用されている密度にま

で低下させることが極めて困難である。②吸着材量を増やしたとしても、容易に密度低下できない。③さらに吸着材量によっては、ウレタン原料系のコストが極めて高価なものになる。ゼオライトのほか、活性炭についても同様の試験を行ったが、ハンド発泡密度はゼオライトと同程度であった。

#### (吸油性材料)

- ゼオライト及び活性炭の hidrocarbon 吸着量が小さいことが最大の問題であり、「吸着量を大きく出来なければ、効率的な、経済的な発泡技術の確立は困難である。」との観点から、「吸着量の増大」をテーマに他の素材を調査、研究した。この中から、高吸水性高分子材料に注目した。
- 高吸水性高分子は、自重の数十倍の水を保持することが可能である。 hidrocarbon に対して同様な性質を持った素材が存在すれば、効率的で、経済的な発泡技術確立に一步近づくことができる。このようなコンセプトで調査した結果、「吸油性材料」、「高吸油性高分子」を見出した。
- 上記「吸油性材料」に hidrocarbon を吸着し、ハンド発泡評価を行った結果、十分に密度低下が可能なが判明した。
- 最大の課題は、 hidrocarbon を吸油性材料に吸着させ、プレミックス中に分散した時の引火性であるが、簡易試験によって吸油性材料を使用しない場合に比べ、引火性が低下していることが確認された。

#### 2)炭酸ガス透過抑制、炭酸ガスによる引火性抑制

- 文献、特許を中心に関連技術情報を収集した。
- 透過性抑制では、超臨界状態の炭酸に若干の極性傾向が現れる可能性があるとの情報もあり、超臨界発泡との組み合わせで技術確立が図れないか？今後研究を行うためのさらなる情報収集をおこなうこととした。

### (2)平成20年度の成果

平成20年度の目標：

開発目標 1：実験室において熱伝導率 0.028W/mK を満足し、実際の施工現場において施工性 200m<sup>2</sup>/日、施工密度 55kg/m<sup>3</sup> を満足する現場発泡硬質ウレタンフォームを得る。

開発目標 2：実験室において熱伝導率 0.024W/mK、寸法安定性±3.0 以下を満足する硬質ウレタンフォームを得る。

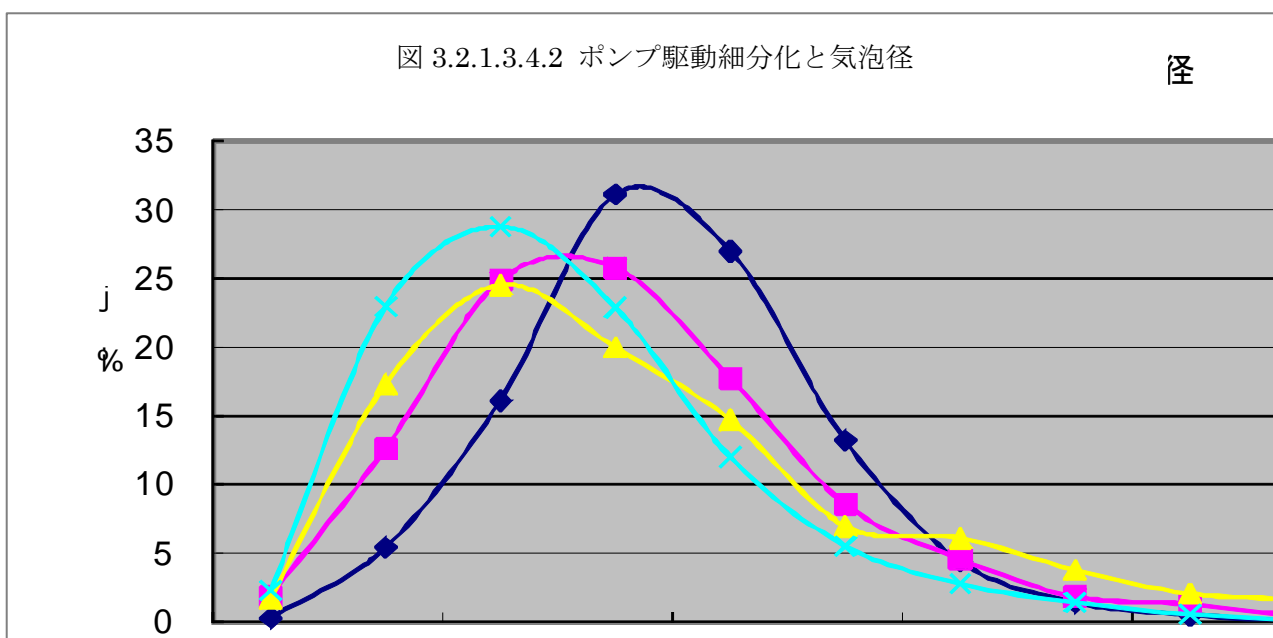
#### ①開発目標1の成果

##### 1)液化及び超臨界炭酸による気泡径微細化

- 平成19年度に導入しました超臨界炭酸製造装置を使用し気泡径の微細化を検討し

た。平成 19 年度に得られた知見に基づき原液システム・超臨界炭酸ガス製造装置を使用しラボスプレー発泡評価を実施し、超臨界炭酸ガスをポンプ駆動の細分化により分散性を向上したことにより気泡径は微細化でき、気泡径  $100\mu$  以下の気泡割合が多くなることを得た。(図 3.2.1.3.4.2) しかし、セル径の微細化は図られたものの熱伝導率の低下は認められず、セル径の微細化だけでは目標とする熱伝導率  $0.028\text{W/mK}$  以下は困難であると判断した。

- 実際のスプレー機を用いて超臨界炭酸ガスを導入したフォームの施工性、経済性、実用性はなんら問題なく施工できることは確認できた。
- 同じくエレメントを通過させることにより炭酸ガス分散性を高める手法では、気泡径の微細化に及ぼす効果は確認されなかった。



## 2) 配合技術による気泡径微細化

- 配合技術（シリコーン組成）による気泡径微細化研究は平成 19 年度、ハンド発泡で気泡径  $120\mu\text{m}$ 、老化後の熱伝導率  $0.029\text{W/mK}$  の硬質ウレタンフォームを得た。この継続検討を実施し、低沸点ガスの導入によりセルの微細化は図れたが、炭酸ガスとの比較では大きな差は得られなかった。
- 炭酸ガス発泡のフォームは気泡径が微細化するに従い気泡の強度は低下し、その結果フォームが収縮を起こすため、半独立気泡のフォームを処方でコントロールし評価した。しかし、低沸点ガスは収縮を起こさないため独立気泡のままのフォームが得られることを確認した。各々得られた微細セルフフォームの熱伝導率を測定した結果、低沸点ガスを導入したフォームは 2 ヶ月後も良好な結果を示した。しかし、この低沸点のオレフィン系ガス HF0 は構造中にフッ素が含まれる

ことから今回の開発主旨にはふさわしくないと判断し、評価を中止した。

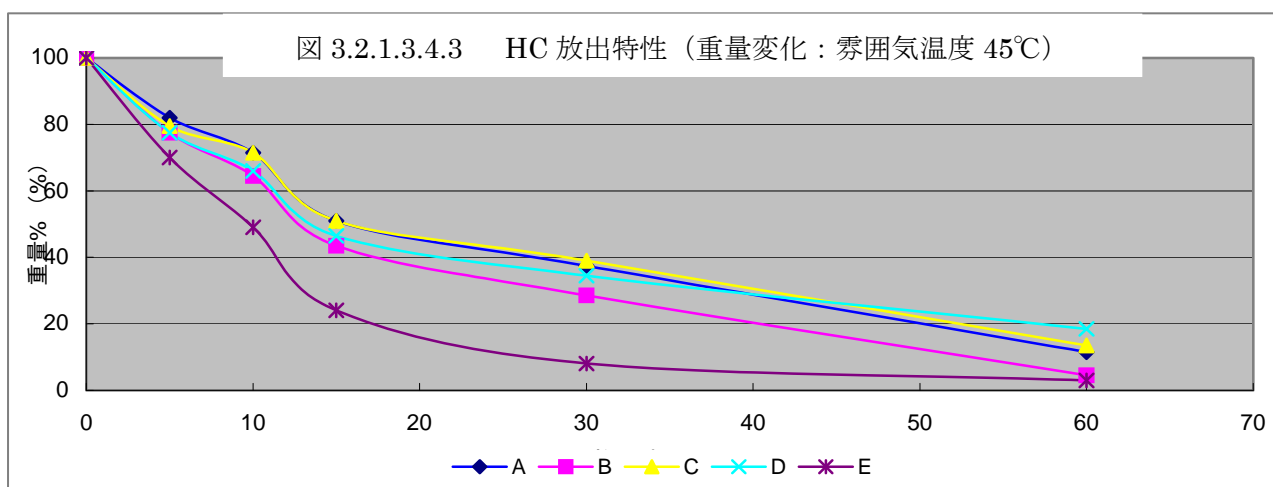
### 3) スプレーガンノズル

- 造泡ノズルのポリウレタンスプレーガンへの展開性の調査、検討は昨年度の結果すなわち、ポリウレタン原料の性格上継続的な流路確保が困難であり、また安全上の問題も予測されることから、本件テーマによる気泡径微細化の実用化はきわめて困難であると判断し中止した。

## ②開発目標2の成果

### 1) 吸油性材料による hidrocarbon 引火性抑制

- 吸油性材料に hidrocarbon を吸着することで hidrocarbon の引火性を抑制するテーマでは、吸油性材料の分子構造を調査し、 hidrocarbon 引火性抑制に対する分子構造の最適化を目的としたサンプル入手を行った。
- 入手した吸油性材料 5 品目の hidrocarbon 放出特性を評価し、 hidrocarbon 引火性抑制効果に対する吸油性材料の分子構造最適化の基礎データの取得を行った。図 3.2.1.3.4.3 に、吸油性材料 5 品目の雰囲気温度 45°C における hidrocarbon 放出特性（重量変化）を示す。



- 種々の吸油性材料を評価した結果、熱可塑エラストマーの分子量をコントロールしたもので hidrocarbon を良く吸着することが判明した。この代表製品を中心に評価することとした。
- 吸油性材料 hidrocarbon として c-ペンタンと n-ペンタンを吸着させ、フォームを発泡させたところ吸着性能が高いのみならず、発泡時にウレタンの反応熱を得て効果的にペンタンガスを放出することが判明した。また、吸油性材料にペンタンガスを吸着させそれを混入したポリオール成分の引火性を簡易的に

評価した結果、特に着火後の継続的燃焼に差異があること、すなわち吸油性材料を選定し、ペンタンの量を規制することにより、プレミックスの引火性を抑制でき、引火点のないプレミックス液が出来る可能性のあることを確認した。

- ペンタンの量を制御し、密度はまだ高いものの、その熱伝導率が 24.7mW/mK まで下げたものは簡易引火点測定で一瞬音はするものの引火の有無は確認されなかった。しかも継続的燃焼は認められなかった。今後はペンタンを単一発泡剤とするのではなく、引火性のない水を補助発泡剤として密度を実際のスプレー発泡と同等にまで下げ、添加吸着させるペンタンの量を目標とする熱伝導率までさらに下げ、それによってその引火性をなくす可能性はあると判断した。

## 2) 炭酸ガスによる引火性抑制

- 文献調査の結果、二酸化炭素による燃焼範囲の縮小効果を“拡張 Le Chaterlier 式”を用いて試算することができることが解った。また CO<sub>2</sub>/Methyl-Formate 混合系において、CO<sub>2</sub>/MF=20/80 付近で不燃性となることが解った。(図 3.2.1.3.4.4 参照)
- 引火性ガス/炭酸ガス混合系発泡剤のスプレー発泡を行うための常温スプレーベース防爆化の見積書を手に入れました。

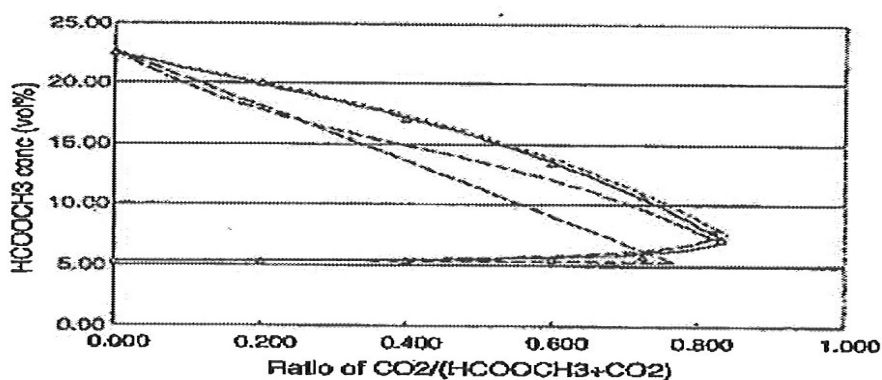


図 3.2.1.3.4.4 CO<sub>2</sub>/HF 混合系の燃焼範囲

### 3) 炭酸ガスの補給

- 炭酸カルシウムに塩素イオンを反応させることにより炭酸ガスを解離させ、補給を行うことにより、熱伝導率を維持させる方策を確認した。ウレタンフォームの原料処方中に炭酸カルシウムを添加し、さらに塩素イオンを発生させるためハロゲン系の難燃剤を添加しフォームを形成した。そのフォームの熱伝導率変化を一定条件下で観察しましたが、その熱伝導率の劣化は比較材と比較して顕著な差異は認められなかった。



### 3.2.1.4 複合断熱材技術開発

#### 3.2.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学

##### 「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」 (委託事業)

本項目では、微細な独立気孔を持つ発泡ポリマーの内部を、シリカエアロゲル状の低密度シリカで充填した構造を持つ発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット (Fig. 2.2.2.1.4.1.1) の開発を行うことを目的とした。このような構造を作成するために、ポリマー、シリコンアルコキシドおよび超臨界二酸化炭素の均一混合状態から、減圧により多段階の相分離を行う新規手法を提案した (Fig. 2.2.2.1.4.1.2)。この手法は押し出し成型機により、連続的に行うことが可能と考えられ、低コストで断熱材を製造するためのプロセスへの展開が期待できる。本研究ではこのような断熱材と製造プロセスの開発を行うため、以下の研究開発項目①～⑤を検討した。

研究開発項目および分担の一覧とそれぞれの成果は以下の通りである。

#### ① ポリマー／シリコンアルコキシド／超臨界二酸化炭素(scCO<sub>2</sub>)反応系の検討 (産総研)

##### (a) ポリマー／シリコンアルコキシド／scCO<sub>2</sub> 三成分系の高圧相平衡観察

目的とする断熱材の製造プロセスを設計する上では、表記三成分の相平衡、すなわち、どのような温度、圧力、組成で三成分が均一状態となり、どのような条件で発泡するのかを把握することが不可欠である。本項目では、相平衡測定のための装置の構築と、それをを用いた代表的なポリマー、シリコンアルコキシドの相平衡測定および相図の作成を行った。さらに測定対象を広げることにより、本法に必要な三成分系相平衡の体系化を行った。以下に内容を示す。

##### a-1. 測定装置の構築

高温高圧下での相状態を可視観察するための高圧相平衡測定装置を構築した (Fig.3.2.1.4.1.1)。装置は内部に可動ピストンを有し、組成一定のまま圧力を制御できる窓付きの体積可変型高圧セルと付帯装置からなる。523 K、26MPa までの高温高圧下で、内部に封入した物質の相平衡観察が可能である。

##### a-2. シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 二成分系の測定

ポリマーを含む系の測定に先立ち、シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> の二成分系について、313 -

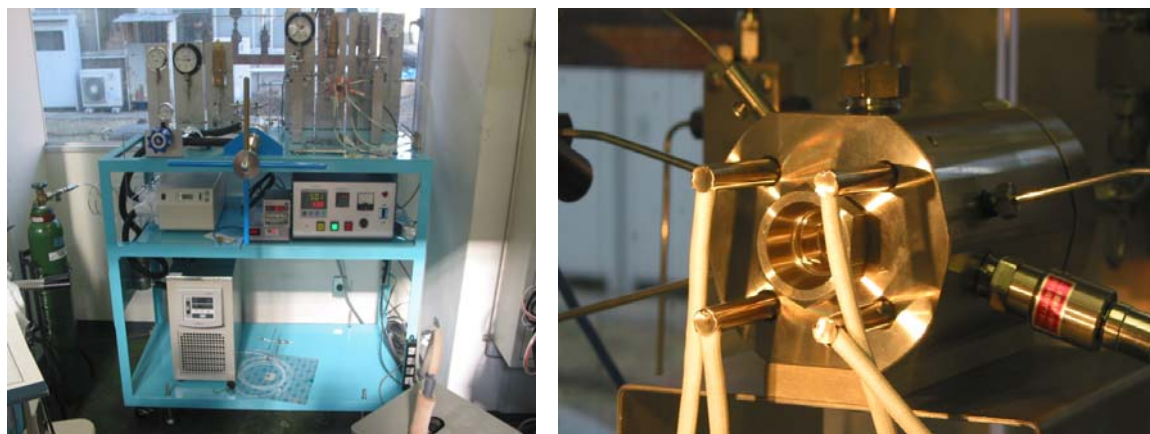


Fig.3.2.1.4.1.1 高圧相平衡測定装置



393K, 0.1-30 MPa の領域について相平衡観察を行った。従来シリコンアルコキシドの高圧 CO<sub>2</sub> への溶解性は知られているが、定量的なデータはほとんどない。測定データについては PR-EOS 法を用いて相関し、相図を作成した。代表的なシリコンアルコキシドである、テトラメトキシシラン (TMOS)、テトラエトキシシラン (TEOS)、および TMOS のオリゴマー (コロコート社製 MS51) について、作成した相図の例を Fig.3.2.1.4.1.2 に示す。

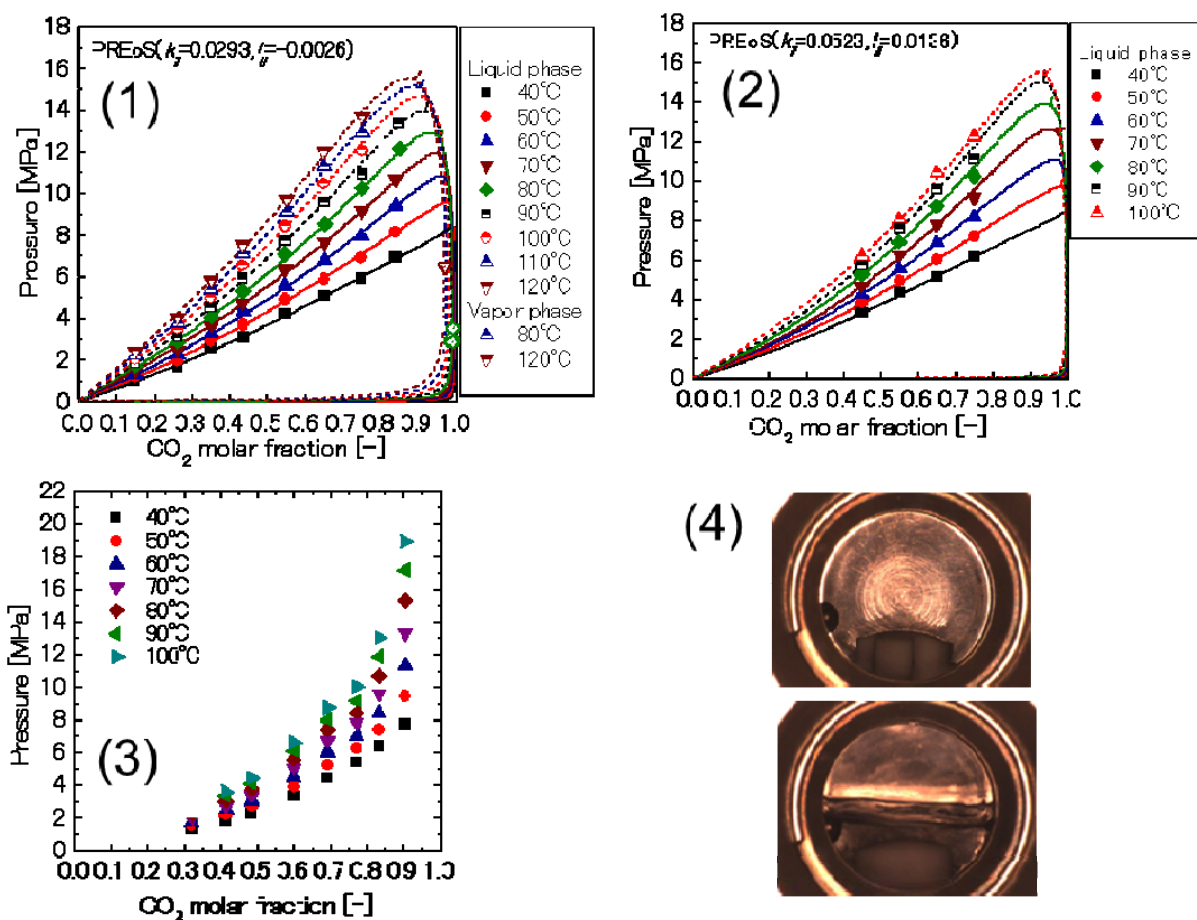


Fig.3.2.1.4.1.2 測定した相図の例 (1) テトラメトキシシラン(TMOS), (2) テトラエトキシシラン (TEOS) ,(3) MS51 (TMOS オリゴマー) (4) 均一相(上)および気液共存 (下) 状態の例

いずれのシリコンアルコキシドも CO<sub>2</sub> と任意の組成で均一相を形成し、温度の上昇に伴って臨界条件が高圧側に移動する。また、TMOS と TEOS は類似の相図を示したが、MS51 については均一相形成条件が明らかに高圧側にシフトし、分子量の上昇に伴う影響が示唆された。MS51 は TMOS と類似の化学反応性を持ちながら毒性が低く、産業用途では広く利用されており、本法に適用するためには相応の高圧が必要になることがわかった。

a-3. PMMA/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 三成分系の測定

研究開発項目③でのスクリーニングの結果に基づき、ポリメタクリル酸メチル(PMMA, Aldrich 製、分子量  $M_w=120,000$ )を本手法における代表的なポリマーとして選定し、PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub> の三成分系について相平衡測定および相図の作成を行った。Fig.3.2.1.4.1.3 に測定した結果の一例を三角相図として示す。同図で線に囲まれた部分（脇の立体図の無着色部分）が均一相の領域に相当し、高圧側になると均一相となる組成の領域が広がることが分かった。

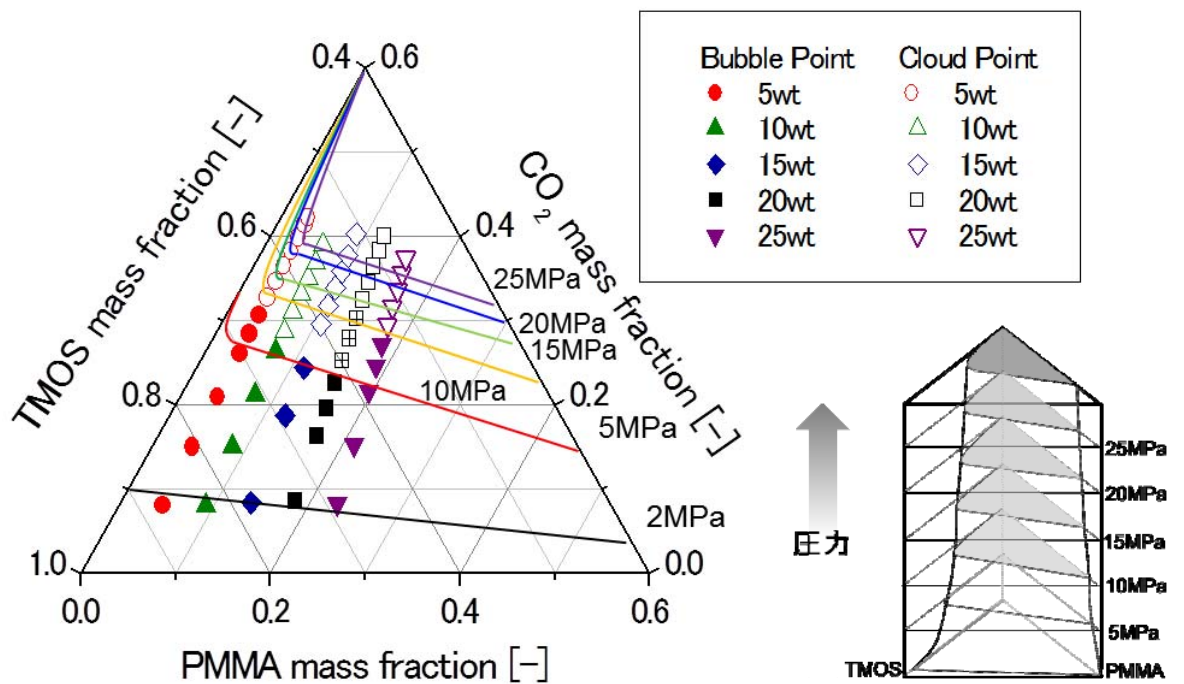


Fig.3.2.1.4.1.3 測定したポリメチルメタクリレート (PMMA) /TMOS/CO<sub>2</sub> 三成分系相図の例.右下図は圧力による均一相および気液分離領域（着色）の圧力依存性を立体視したものである。

三成分系では包含する成分のうち二つが均一相を形成するなど、より複雑な相状態を示す。ポリマー濃度の希薄な領域であるが、その測定を行った例を Fig.3.2.1.4.1.4 に示す。低温側では均一相を減圧すると気液分離して気泡を生成するが、高温の領域では均一相から液-液分離を経て三成分が分離することが明らかとなった。実際の材料製造の領域は装置の使用から測定困難であるためこれとは異なるが、本研究のコンセプト、多段階の相分離による構造形成が可能であることを示す結果である。

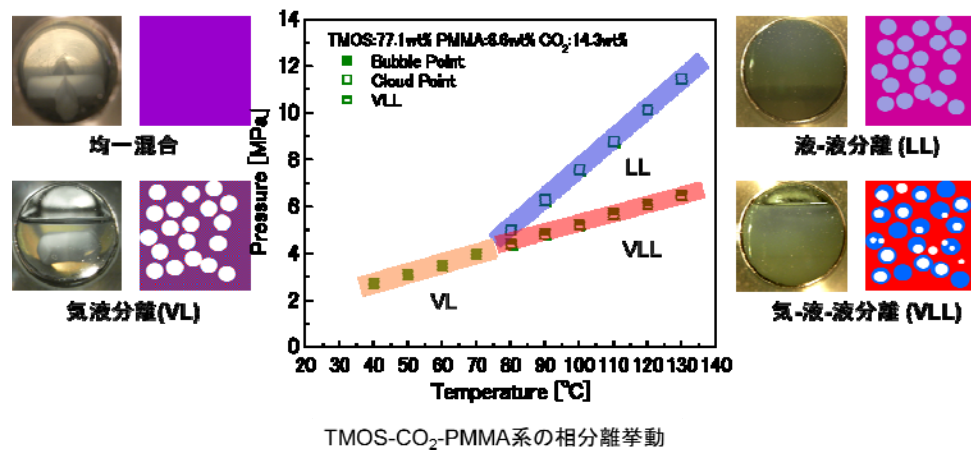


Fig. 3.2.1.4.1.4 PMMA-TMOS-CO<sub>2</sub> 三成分系の相分離挙動の測定例

(b) scCO<sub>2</sub> 中におけるゾルゲル反応の促進法の開発

本研究開発項目で検討している手法においては、CO<sub>2</sub> 雰囲気ではシリコンアルコキシドを相分離して構造を形成させるが、一般にシリコンアルコキシドは揮発性であり、減圧時に CO<sub>2</sub> と共に揮散しやすい。ポリマーに残存するシリカ成分の量を増大させるため、相分離の過程でシリコンアルコキシドのゾルゲル反応を促進し、シリカの含有量を増大させる手法を検討した。ヘキサメチレンジシラザン(HMDS)など、分解により酸または塩基を生成するタイプのシランカップリング剤が、CO<sub>2</sub> への高い親和性と、ゾルゲル反応の促進効果を併せ持ち、シリカの担持量の増大に有効であることを見出した（研究開発項目③に記載）。しかし研究開発項目④において押し出し機での製造に適用した場合、局所的なシリカの析出により配管の閉塞や練りトルクの急激な増大によるトラブルの原因となることがわかった。混合の手法について、さらに検討の必要がある。

また一般に、ポリマーと低密度シリカの複合化において、両者の親和性が乏しく、導入量を増大しにくい、混練時の抵抗が大きい、等の問題がある。研究開発項目①③にて見いだされた PMMA/TMOS 均一混合物をバインダーとして利用することを想定し、高温下での相状態の評価を行った。Fig.3.2.1.4.1.5 のように、両者の混合物は PMMA の融点 (210°C) より高い温度で二相分離を起こす挙動を示すことがわかった。相分離しない条件を用いてシリカエアロゲルの PMMA への混練を行い、TMOS の存在下では大幅に練りトルクが低下することを確認した。なお本内容の検討においてはアキレス (株) と情報交換を行った。

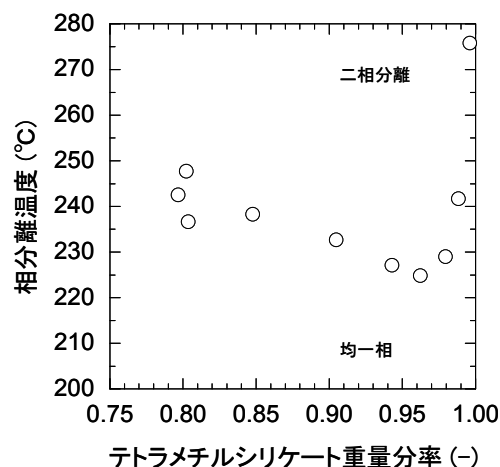


Fig.3.2.1.4.1.5 PMMA/TMOS 二成分系の相分離挙動の測定例

## ② 減圧、相分離過程の可視化観察と最適化（東京理科大）

本項ではポリマー、シリコンアルコキシド、CO<sub>2</sub> 三成分系の均一状態から、相分離を行わせる過程の可視化観察を行い、断熱材の発泡構造の制御および製造プロセスの減圧条件の最適化を行うことを目的とした。

### a. 相分離観察装置の構築

高圧可視化セルおよび画像記録装置等からなる相分離過程観察装置を構築した。装置の模式図（左）と発泡セルの模式図（右）を Fig.3.2.1.4.1.6 に示す。

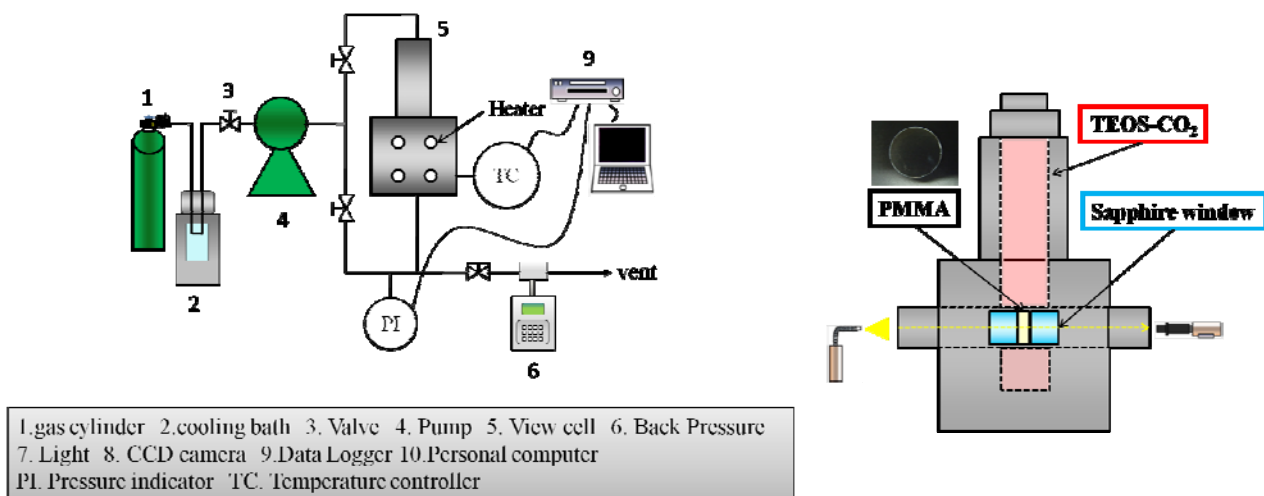


Fig.3.2.1.4.1.6 相分離過程観察装置と測定例

装置は可視化発泡セル（5、右図）、加圧系（1/4）、圧力調整系（6）、温度調整系（TC）、および画像解析系（9）から構成されている。

可視化発泡セルは、内部にある2枚のパイレックスガラス間にポリマーサンプルを挟む構造になっている。ガラスの直径は20 mm、厚さは15 mmである。セルの内容積は76 cm<sup>3</sup>である。加圧系は、CO<sub>2</sub> ボンベ、冷却器、手回しポンプからなっており、圧力を調整しながらCO<sub>2</sub>を加圧送入できるようになっている。圧力調整系は、圧力表示計、圧力計、バックプレッシャーレギュレータ、および制御用パソコンからなっており、圧力を自由に制御できるようになっている。温度調整系は、可視化発泡セルに挿入した4本のカートリッジヒータ、K熱電対、PID温度調整器からなっている。減圧時の圧力および温度はデータロガーにより記録できるようになっている。画像解析系は、CCDカメラ、ビデオタイマー、画像キャプチャーソフト、焦点調節用マイクロメーター、光源、および画像録画用パーソナルコンピュータから構成されている。CCDカメラ、光源、およびセルは光学レール上に置かれている。

### b. 相分離挙動の観察

研究開発項目①③での結果を踏まえて、PMMA/シリコンアルコキシド（TMOS、TEOS、MS51）/CO<sub>2</sub>三成分系の相分離（発泡）挙動を主に測定した。Fig.3.2.1.4.1.7にPMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>系の発泡過程を例として示す。



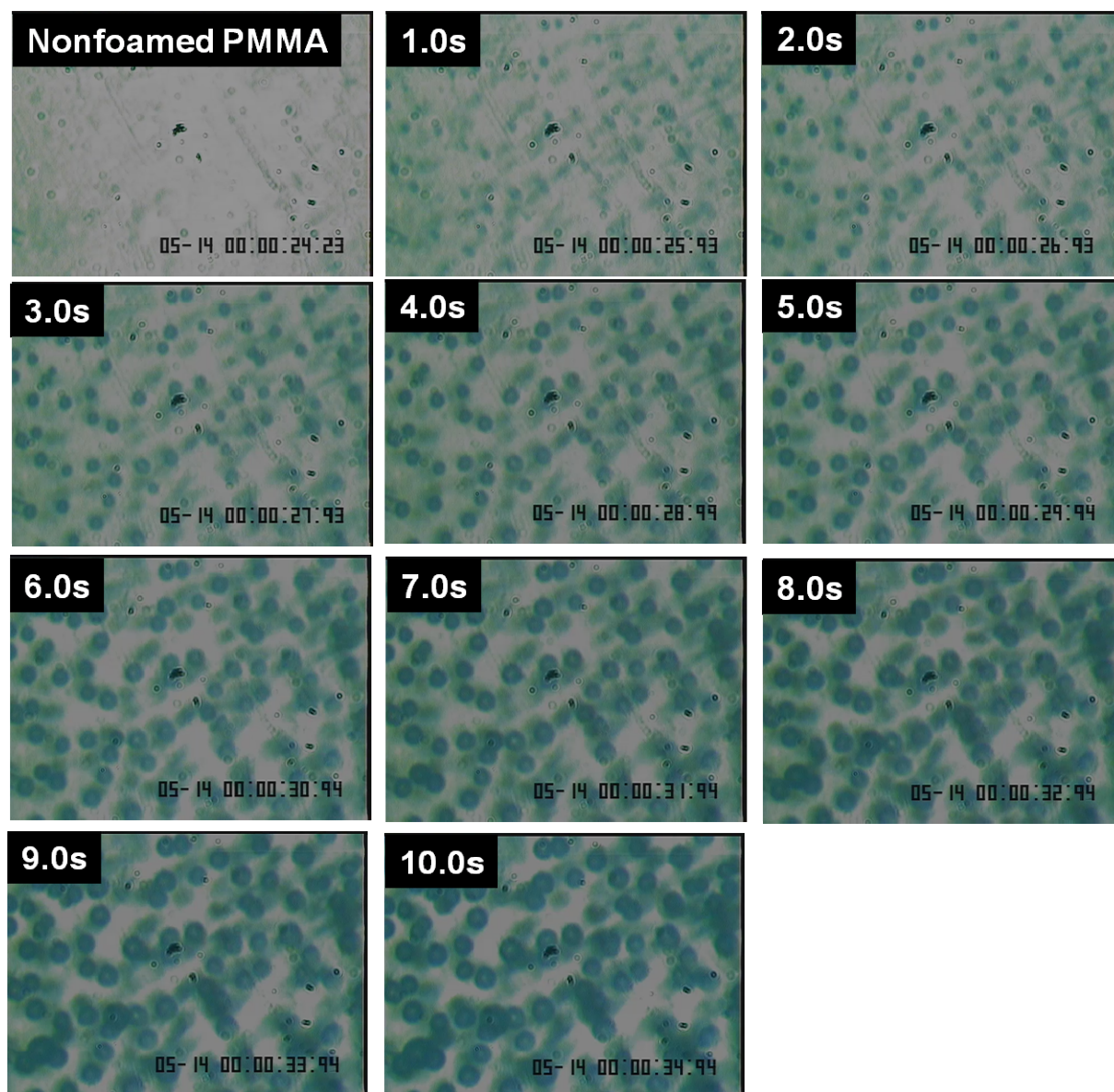


Fig. 3.2.1.4.1.7 PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>系の発泡過程の測定例

均一相の減圧により発泡が開始される平衡条件（気液相分離点）の測定を、PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>系について行った結果を Fig. 3.2.1.4.1.8 に示す。この条件は TMOS/CO<sub>2</sub> 二成分系が相分離する温度、圧力とほぼ一致することがわかった。同様の結果は PMMA/MS51/CO<sub>2</sub> 三成分系と MS51/CO<sub>2</sub> 二成分系の比較でも得られた。すなわち、CO<sub>2</sub>/アルコキシド二成分系が相分離する圧力と、三成分系が気液相分離する条件は一致することを実証し、三成分系での発泡条件は CO<sub>2</sub>/アルコキシドの相平衡から推測できることを見いだした。

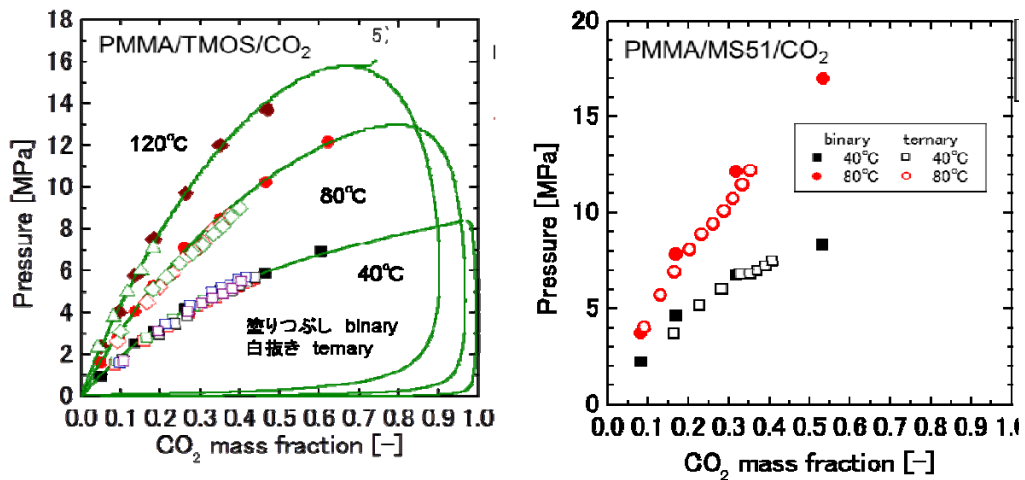


Fig.3.2.1.4.1.8 PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>およびPMMA/MS51/CO<sub>2</sub>三成分系における気液相分離点

また、発泡の動的な相分離現象についても検討を行った。PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>系、PMMA/TEOS/CO<sub>2</sub>系で、所定の圧力にて系を保持し、その系を減圧した際に発泡が観察される条件（発泡開始圧力）を測定した結果を結果の例を Fig.3.2.1.4.1.9 に示す。TMOS,TEOSとも発泡時の圧力差  $\Delta P$  は、CO<sub>2</sub>のみの発泡の場合より大きくする必要があり、アルコキシド濃度が高くなると、発泡開始圧力は二成分系の気液分離点に漸近することなど、平均気泡径および気泡密度は、TMOSの添加量に依存すること等、減圧条件の設定に必要な知見を得た。

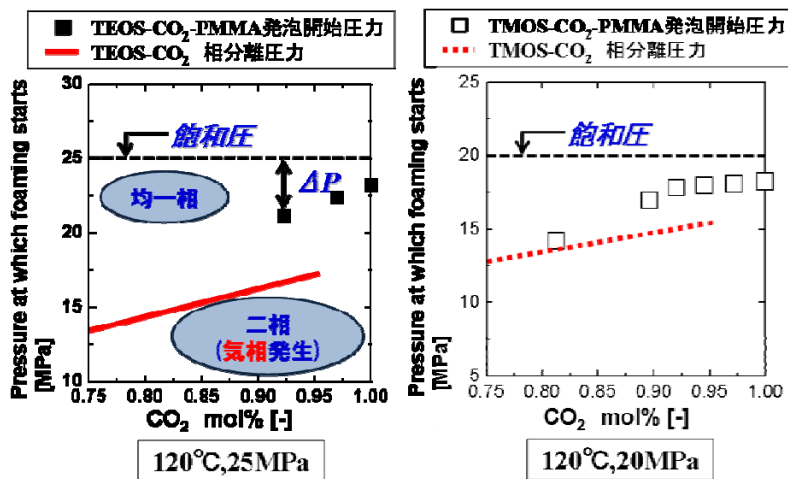


Fig. 3.2.1.4.1.9 PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub> および PMMA/TEOS/CO<sub>2</sub> 三成分系における発泡開始圧力測定

c. 発泡過程の観察および相平衡測定からの考察

発泡現象はポリマーからの気体の分離、つまり相分離である。Fig.3.2.1.4.1.10 にポリマー/シリコ

ンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 三成分系の圧力による相分離過程の模式図を示した。

本検討により、ポリマー/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 三成分系の気液・気液液平衡線はシリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 二成分系の気液平衡線とほぼ一致することがわかった。これは相平衡の上では、ポリマー/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 三成分系において気相の発生にはポリマーは関与しないことを表している。このことを踏まえ、CO<sub>2</sub>/シリコンアルコキシド/ポリマー三成分系の発泡開始圧力とCO<sub>2</sub>/シリコンアルコキシド二成分系の気液平衡線を比較すると、発泡開始圧力は二成分系の気液平衡線に漸近していくことがわかった。

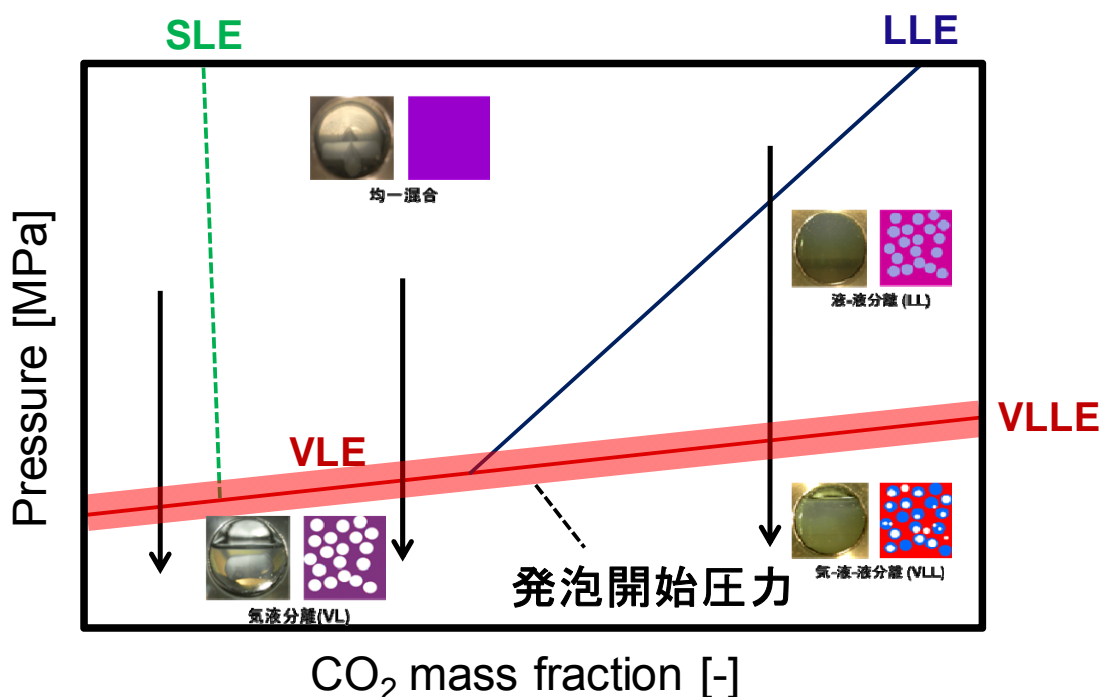


Fig.3.2.1.4.1.10 ポリマー/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 三成分系の圧力による相分離過程の模式図

以上のことは、押し出し機等においても、内部のポリマー/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> 三成分系がダイ出口において減圧されるとき発泡条件が、図中のVLE（気液平衡）およびVLLE（気液液平衡）線上で起こることを意味している。すなわち、相平衡の測定および発泡現象のその場観察の結果から、発泡には様々な要因が絡み合い複雑ではあるが、発泡の開始圧力を推定することが可能であることが示された。

また、発泡サンプル調製において、発泡したセル内部へのシリカの形成が、発泡後の加水分解の速度に依存することが示された（研究開発項目③）これは発泡後の熟成時間の影響を示唆している。この場合、ポリマー混合物は最初均一状態にあり（L）、L→LL（液・液分離）→VLL（気液液分離）の領域を経由して発泡していると考えられる。（図の一番右の矢印）ポリマーの拡散係数はガスや液体に比べ3～4オーダー小さいため、VLLEを横切った気相の分離は速やかに起こるものの、LL相の相分離は非常に遅いことが予想される。

Fig. 3.2.1.4.1.11 は、バッチ発泡試験（含浸温度 80 °C、飽和圧力 20 MPa、CO<sub>2</sub> : TMOS =0.95 : 0.05(モル分率)、減圧速度 0.3 MPa/s、3%NH<sub>3</sub> 水の飽和蒸気 (80°C) ) により生成した試料について、発泡直後と、発泡から 24 時間経過後のサンプルの電子顕微鏡写真である。発泡直後は空の気泡中に、24 時間後は固体粒子が形成されていることがわかる。このような構造が形成される理由は、先に述べたように、LL 相の形成が非常に遅いためであると考えられる。従って、本システムを実用化するに当たっては、発泡後の熟成（相分離の完結）が重要になる。

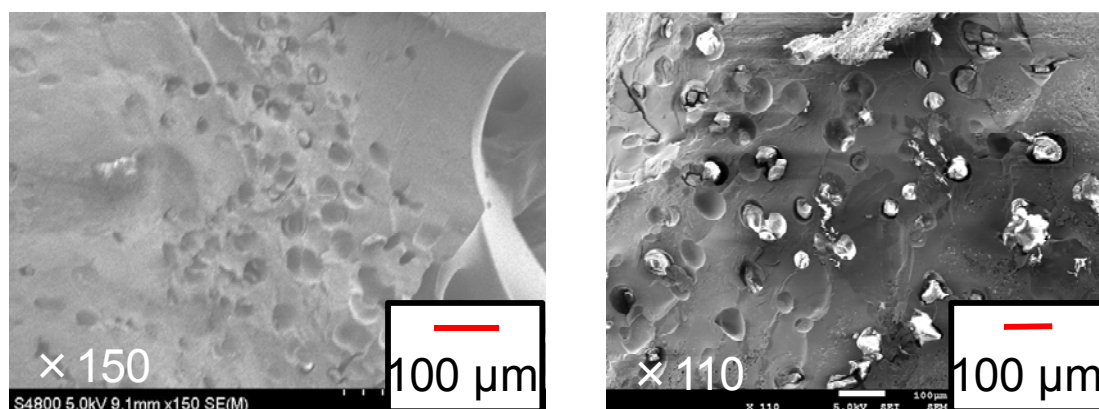


Fig. 3.2.1.4.1.11 バッチ発泡試験により生成した試料の発泡直後（左）および 24 時間後（右）の SEM 像

以上、相平衡と相分離の観察により

- ・発泡が VLL 平衡線上で起こる
- ・発泡は、L→LL→VLL の領域をまたがって起こる動的過程である
- ・LL 相の形成が遅いため、目的とする構造を形成するためには熟成が必要である

などが明らかとなった。

### ③ 断熱材の構造と物性の評価（シーアイ化成、産総研）

本項目では開発項目細分(a)-(d)での検討結果を総合的に記載する。

#### a. バッチ発泡による発泡体の作成（ポリマー種のスクリーニング）

高压の CO<sub>2</sub> は、多くのポリマーに溶解してこれを可塑化する効果を持ち、このことを利用した発泡ポリマーの作成は既に広く用いられている。一方、シリカの前駆体となるシリコンアルコキシドは、①で示したように高压 CO<sub>2</sub> と所定の条件下で完全混合し、均一相を形成するものがある。本項では主にポリマー種のスクリーニングを目的として、各種のポリマーをシリコンアルコキシド、CO<sub>2</sub> と共に高压として減圧し、バッチ発泡試料を作成することを試みた。検討したポリマーの一覧を Table 3.2.1.4.1.1 に示す



Table 3.2.1.4.1.1 検討したポリマー種

	供給者	製品名	化合物名/組成	平均分子量	Tg °C	Tm °C
PDLLA	Natureworks	Biopolymer 4032D	Poly (D, L-lactic acid)	Mw=155,000 <sup>a</sup>	58 <sup>b</sup>	160
PDLLAa	Natureworks	Biopolymer 4060D	Poly (D, L-lactic acid)	Mw=158,000 <sup>a</sup>	56 <sup>b</sup>	
PMMA	Sigma Aldrich		Poly (methyl methacrylate)	Mw=120,000	105	
PMMAm	Mitsubishi Rayon	Acrypet IRK304 <sup>c</sup>	Poly (methyl methacrylate)	Mw=80,000 <sup>a</sup>	117 <sup>b</sup>	
PETG	Eastman Chemical	Easter GN071	Poly (ethylene telephthalate) copolymer	Mw=73,000 <sup>a</sup>	76 <sup>b</sup>	
PET	Sigma Aldrich		Poly (ethylene telephthalate)	Mv = 18,000	81	
LDPE	Sigma Aldrich		Poly(ethylene), low density			116
PP	Chisso Petrochemical	FH3400	Porly(propyrene)	Mw=229, 000		165

a:ゲル濾過クロマトグラフィー (GPC)にて測定. b:示差熱分析 (DSC)にて測定. 印のない物性値は供給元試料による.

c:耐衝撃グレード.

あらかじめポリマーとの混合試験を行い、ポリマーへの高い浸透性を示したテトラメトキシシラン (TMOS) をシリコンアルコキシドとして選択した。ポリマー試料はホットプレスによって、熱流束計による熱伝導率の評価が可能な直径 80 mm, 厚さ 1 mm のディスク状に成型した。各種ポリマーと TMOS をモル比 1 : 4 となるよう 470 cm<sup>3</sup> 圧力容器に仕込み、CO<sub>2</sub> を導入して 20 MPa、353 K まで昇温昇圧した。Fig.3.2.1.4.1.2 (a)で得られた相図の通り、この条件では組成によらず TMOS と CO<sub>2</sub> は均一相を形成する。

同条件で 24 時間維持した後、プログラム可能な背圧調整弁を用いた減圧によりポリマーを発泡させた。発泡した試料は容器より取り出してメタノールで表面を洗浄した後、水蒸気雰囲気中で 1 日静置することにより TMOS の加水分解を行った。減圧条件は急減圧、(20 MPa/min), 緩やかな減圧 (0.1MPa/min) など、いくつかのパターンを試行した。比較のため、同温度条件で CO<sub>2</sub> による加圧をしない場合(TMOS への浸漬)についても検討した。

得られた発泡試料は一部を切断して、走査型電子顕微鏡 (SEM) および透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察による微細構造の評価、熱重量 (TG) 分析によるシリカ含有量の評価 (500°C 焼成時の重量をシリカとした) 等を行った。熱伝導率については、熱線法による簡易的な評価を行い、比較的性の高いものについて、熱流束計による評価を行った。

バッチ発泡による試料の概略について Table 3.2.1.4.1.2 に結果を示す。PDLLAa、PMMA、PMMAm が倍率の高い発泡構造を示し、PETG においても発泡が見られた。PDLLAa においては、発泡セルの内部に微粒子が蓄積した構造が明確に観察され、また局所元素分析により、この析出した粒子にシリカが集積していることが確認された。PMMAm では発泡セル内への粒子析出は顕著ではないが、マトリックスが多孔化する傾向が見られた。Fig.3.2.1.4.1.12 に得られた発泡構造の例を示す。

Table 3.2.1.4.1.2 バッチ発泡による発泡ポリマー=シリカナノコンポジットの調製例  
(Φ80 mm × 1 mm 円盤状試料)

ポリマー種	含浸圧力	減圧速度	シリカ含有量	形状	
	MPa	MPa/min.	wt%	発泡	シリカ
PDLLAa (PLA4060D, NatureWorks)	0.1	-	1.7	発泡なし	表面のみ
	20	0.1	4.9	発泡	セル内/マトリックス
	20	20	5.8	発泡	セル内/マトリックス
PDLA (PLA4032D, NatureWorks)	0.1	-	1.7	発泡なし	表面のみ
	20	0.1	5.8	発泡なし	表面のみ
	20	20	4.9	発泡なし	表面のみ
PMMAm (Acrypet IRK 304, Mitsubishi Rayon)	0.1	-	5.0	一部溶解	混在
	20	0.1	13.6	発泡	混在
	20	20	10.0	発泡	セル内/マトリックス
PMMA (Aldrich)	20	0.1	3.8	一部溶解	マトリックス
	20	20	2.5	発泡	マトリックス
PETG (Eastman GN071)	0.1	-	1.8	発泡なし	表面のみ
	20	0.1	11.3	微発泡	一部セル内
	20	20	3.2	微発泡	混在
PS	0.1	-		溶解	
	20	0.1		不定形	
	20	20		不定形	
LDPE, PP, PET	0.1	-	~0.3	発泡なし	
	20	0.1	~0.3	発泡なし	
	20	20	~0.3	発泡なし	

\*含浸条件はいずれも353 K, 24 hr.

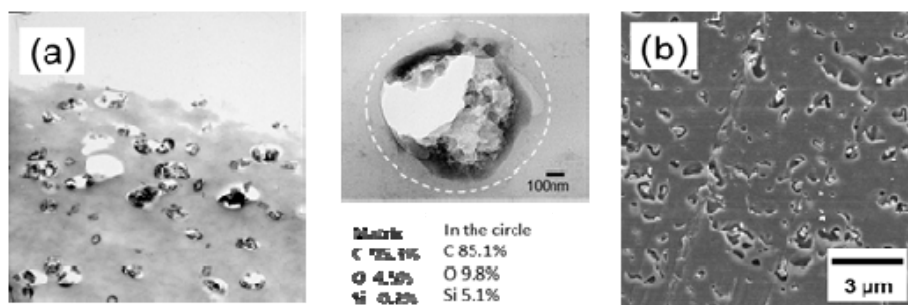
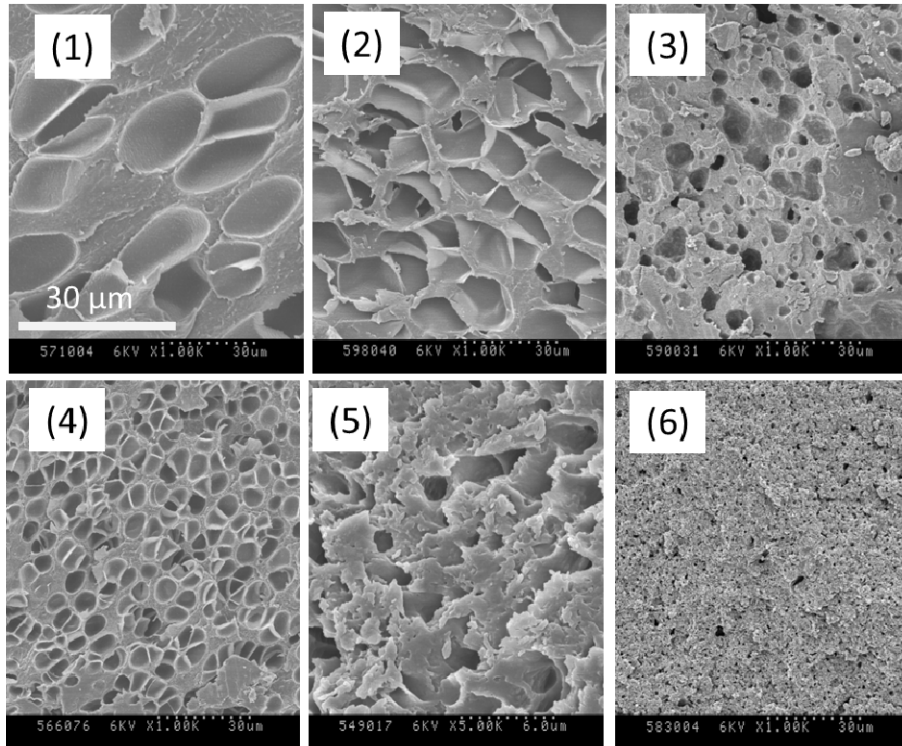


Fig.3.2.1.4.1.12 バッチ発泡により得られた試料の例 (a) PDLLA/TMOS/CO<sub>2</sub> 353 K (TEM 像および EDX による局所分析結果、(b)PETG /TMOS/CO<sub>2</sub>

PS は TMOS に完全溶解し、減圧時に析出するものの、不定形もしくは粉末状であった。一方、結晶性の PLA, LDPE、PP などのポリオレフィン系、および PET については、発泡がほとんどみられなかった。なおこれらの試料においては、同条件で CO<sub>2</sub> のみの場合でも発泡せず、また TMOS への浸漬においても軟化が見られなかった。

発泡の見られた PDLLAa、PMMA、PMMAm では、含浸圧力 0.1 MPa の場合（TMOS への浸漬）の場合と比べて、高いシリカ含有量を示した。いずれの場合も CO<sub>2</sub> の存在によりポリマーの膨潤と可塑化が進行したと考えられる。シリカ含有量は減圧速度の影響を受け、減圧速度が小さい方が高いケースが多いものの、明確な傾向は見られなかった。

シリカの含有量が比較的高く、試料の形状が安定していた PMMAm については、熱伝導率の抑制に有効と考えられる、発泡セルの微細化、発泡倍率の向上およびシリカ含有量の増大を目的とした検討を行った。具体的には、原料の PMMA に予め MS51 を溶融混練したマスターバッチの使用、研究開発項目①(b)で見いだしたゾルゲル反応触媒の使用、を検討した。Fig.3.2.1.4.1.13 に作成した試料の SEM 像を示す。作成した試料はしかしながら発泡倍率が最大でも 5 倍と低く、熱伝導率は最適化された試料でも 0.04 W/mK (20°C)程度であった。バッチ発泡では CO<sub>2</sub> およびシリコンアルコキシドに対するポリマーの量比が制御しにくいという実験上の問題点もあり、断熱材試料の作成については④の連続製造法に収斂させた。



番号	ポリマー原料	発泡	その他	密度 g/cm <sup>3</sup>	灰分 wt%	熱伝導率 W/mK	備考
(1)	PMMAm	CO2		0.31	0.3	0.045	
(2)	PMMAm	CO2-TMOS		0.22	2.3	0.043	
(3)	PMMAm	CO2-TMOS	HMDS 20vol%	0.47	9.1	0.040	マトリックス多孔化
(4)	PMMAm (MS51練込 15wt%)	CO2		0.38	2.5	0.044	
(5)	PMMAm (MS51練込 15wt%)	CO2-TMOS		0.48	17.8	>0.1	発泡構造乱れ
(6)	PMMAm (MS51練込 15wt%)	CO2-TMOS	HMDS 20vol%	0.5	44.0	>0.1	全体的に多孔化

Fig.3.2.1.4.1.13 PMMAm のバッチ発泡により得られた発泡体の種々の微細構造の SEM 像 (1000 倍、スケールバー共通)。HMDS=1,1,1,2,2,2/ヘキサメチレンジシラザン

b. 構造形成機構の検証および単一粒子を内包する発泡ポリマー=シリカコンポジットの作成

試料の発泡セル内に、シリカ成分が凝集した構造が形成される条件およびメカニズムについては、バッチ発泡による詳細な検討を行った。試料サイズを直径 5 mm として均一相形成、減圧時の均一性を十分確保するようにし、また発泡後の処理について、0.1 mol/dm<sup>3</sup> アンモニア水溶液上での処理など、加水分解速度の影響を検討した。その結果、発泡セル内部にシリカが凝集した構造は、親和性が高いポリマー種とアルコキシド種の組み合わせにおいて、発泡構造の生成時に CO<sub>2</sub> が先行して相分離して気泡を形成し、形成された気孔にシリコンアルコキシドが滲出して形成される機構であることが推定された。このことは、研究開発項目②で検討した、ポリマー/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub>の相分離において検討した内容と高い整合性を示している。加水分解の過程を制御することにより、発泡セル内に、シリカリッチなカプセル状の単一粒子が生成した、極めてユニークな構造を持つ発泡体の作成法を確立した。Fig.3.2.1.4.1.14 に生成した粒子の例を示す。これらの構造を持つ多孔体は、現状熱伝導率を測定可能なサイズでは調製できていないが、断熱性

能の高い材料となることが期待される。

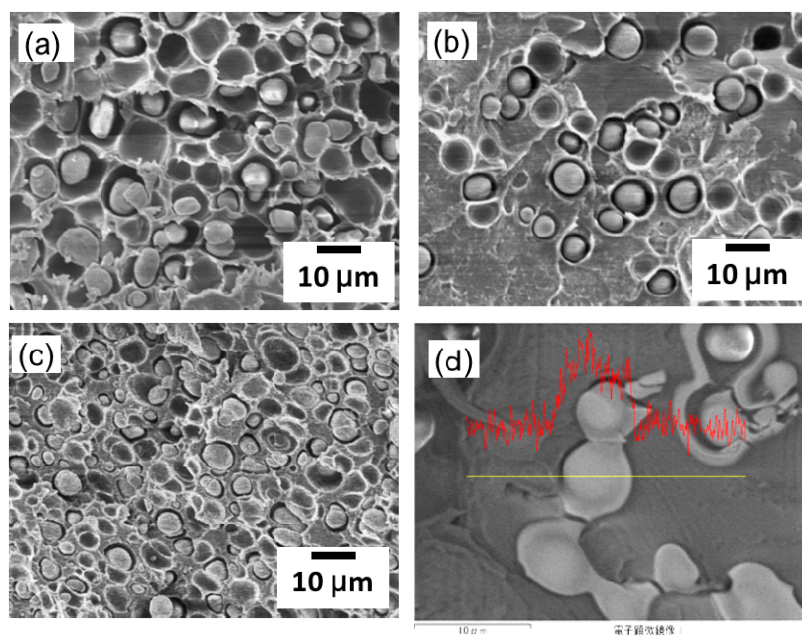


Fig.3.2.1.4.1.14 発泡セル内にシリカ単一粒子の生成した発泡ポリマー=シリカナノコンポジット

(a)PDDLAA, (b) PMMA (c) PMMAm (d)EDX 分析による Si のライン分布分析

#### ④ 連続製造プロセスの開発（シーアイ化成→産総研）

本項目では、製造コストの低減に優れた連続法でバッチ法と同系統の試料が作成可能であることを実証することを目的とした。このため、セグメント型の二軸押し出し成型機をベースとした連続製造装置を作成した。Fig.3.2.1.4.1.15 に装置の写真と概略図を示す。シリコンアルコキシドと CO<sub>2</sub> を混合して導入するための高圧ポンプ、ミキサーを備え、押し出し機のセグメントを選択してこれを導入できる仕様としている。なお、本装置は平成 19 年度にシーアイ化成に設置したが、同社のプロジェクトからの撤退に伴い、平成 22 年度に産業技術総合研究所に移設し、再構築を行った。この際、新規モーター部分の追加による対応混練トルクの増大、CO<sub>2</sub> 供給法の変更、巻取機構の追加などによって、吐出の安定化、発泡倍率の向上に資する改良を行った。

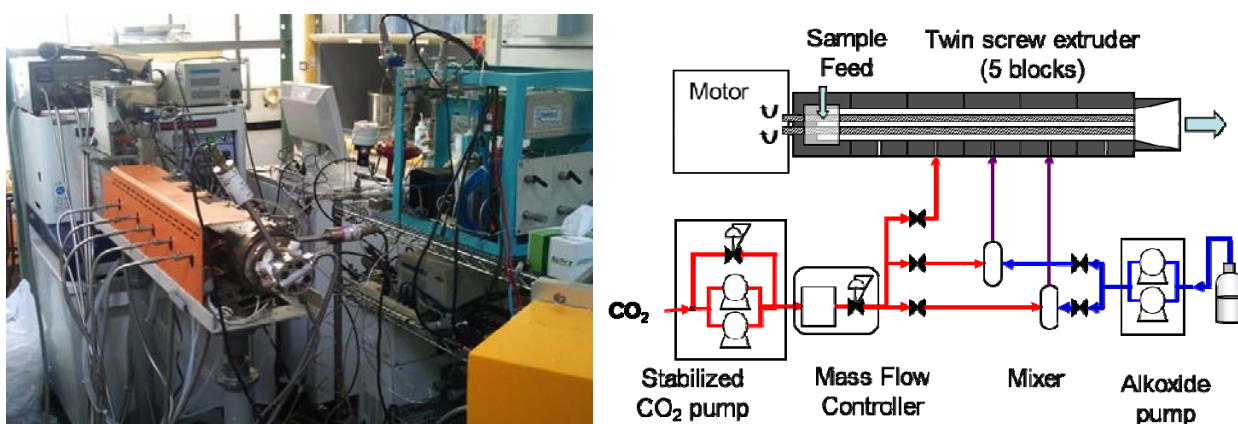


Fig. 3.2.1.4.1.15 構築した連続製造装置（左）と CO<sub>2</sub> およびアルコキシド供給系の概要（右）

押し出し試料の作成は、研究開発項目③の検討結果を踏まえて、ポリマーとして PMMAm、アルコキシドとして TMOS および MS51 を主に検討した。検討した条件は Table 3.2.1.4.1.3 の通りである。

Table 3.2.1.4.1.3 押し出し試料作成における制御パラメーター

制御因子	詳細	制御範囲/使用	目的、効果
ブロック温度	T3(CO <sub>2</sub> 導入部)	230-200°C	CO <sub>2</sub> 供給の安定化
	T4(CO <sub>2</sub> /アルコキシド導入部)	230-100°C	アルコキシドの混合
	T5(アルコキシド導入部)	230-100°C	アルコキシドの混合、相平衡制御
スクリー	コマ組み替え		試料の加圧、混練の調整
ダイ形状	フィッシュテールダイ	幅60mm	シート状試料の調製
	ハンガーダイ	幅150mm	幅広試料の調製
	マルチストランドダイ	3mmΦ×3	発泡倍率増大
	ピンホールダイ	3mmΦ	発泡倍率増大
		2mmΦ	発泡倍率増大
		1mmΦ	発泡倍率増大
マルチホールダイ	0.5mmΦ×9	試料形状の制御	
	スリットダイ	0.5mm×5mm	発泡倍率と試料形状
ダイ温度		170-80°C	粘度、発泡挙動制御
CO <sub>2</sub> 供給量		3-10wt%/ポリマー	発泡倍率、発泡セルサイズ、数密度
TMOS/MS51供給量		6-50wt%/ポリマー	シリカ含有量、発泡倍率、粘弾性制御
添加剤	制泡剤(シリコン系)	0-5wt%	気泡径制御
	ヘキサメチレンジシラザン	0-5wt%	シリカ含有量制御、粘性制御

研究開発項目③にて検討したバッチ発泡試料の結果から、まず発泡倍率を高めることが必要と考えられたため、まず温度制御、CO<sub>2</sub>添加量、シリコンアルコキシドの添加量の制御により、高倍率の発泡試料作成を目的とした最適化を行い、熱伝導率測定の結果等踏まえて、気泡形状等の更なる最適化を検討した。検討した例は多岐に渡るが、下記に一例を示す。

フィッシュテールダイ（60mm 幅）で作成した試料については、CO<sub>2</sub>のみで発泡させる場合と比較して、TMOS または MS51 の添加により、PMMAm の粘性は大幅に低下し、吐出した試料は気泡が潰れた状態となった。この場合温度の制御のみにより粘性を下げ発泡倍率を上げようとすると発泡セルのサイズがサブ mm 以上の粗発泡となるため、制泡剤（東レダウコーニング製 SZ1919）の添加により泡の安定化を図る一方、ダイからの引き出しにより減圧速度を大きくすることで発泡を微細化することができた（Fig.3.2.1.4.1.16）。



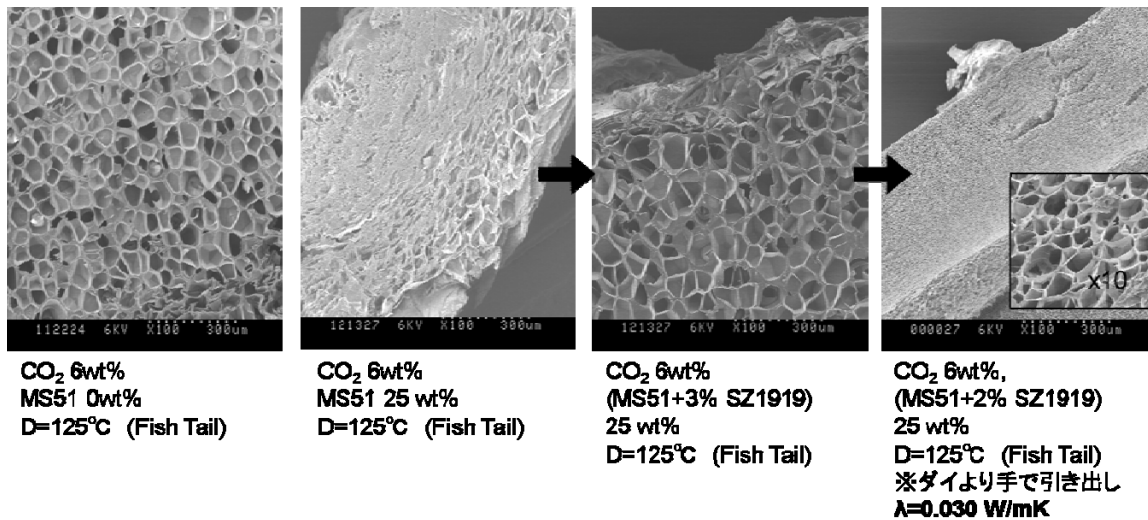


Fig.3.2.1.4.1.16 フィッシュテールダイ(60mm)で作成した試料に及ぼす作成条件の検討例

発泡倍率の増大と発泡の微細化上では、核剤として MS51 を事前に混練する手法、および発泡時の圧力差が取れるピンホールダイ、極細スリットダイの使用が有効であった。

最適化を行って連続的に製造した試料の例を Fig.3.2.1.4.1.17 に示す。発泡倍率が 20 倍で、シリカ含有量が 10-15wt%程度、3 $\mu$ m 程度の発泡セルが均一に分布した発泡体を得られた。セルの内壁には明確にシリカリッチな微粒子が析出していることが確認できた。

このような発泡体はストランドまたはスリットダイを用いて製造しており、熱流束計の試料サイズと比較して小さいため、集積して熱伝導率の測定を行った。試料の熱伝導率測定のまとめを Table 3.2.1.4.1.4 に示す。チャンピオンデータとして 0.027 W/mK、再現性の高いもので 0.028 W/mK 程度であり、目的とした硬質ポリウレタンフォームの熱伝導率(0.024W/mK)には及ばなかった。なお CO<sub>2</sub> で PMMAm を発泡させた試料は 0.034W/mK 程度であり、これよりは優れた断熱性を示している。

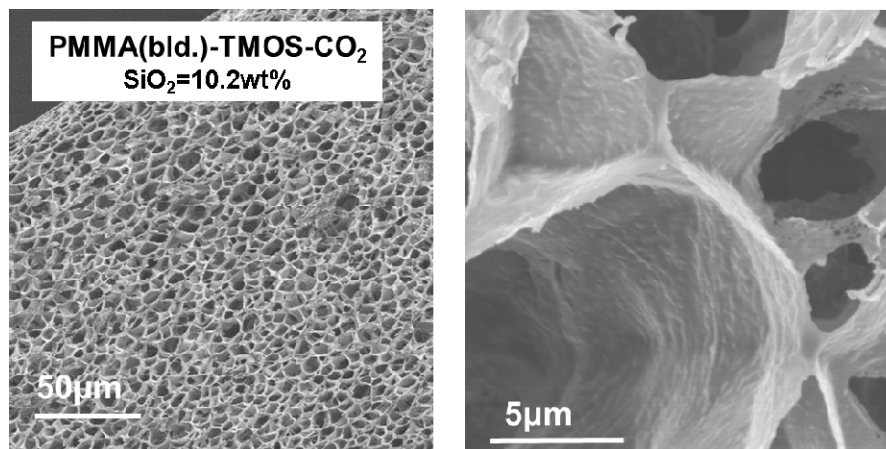


Fig.3.2.1.4.1.17 最適化した試料の SEM 像 (ピンホールダイ、熱伝導率 0.028W/mK)



Table 3.2.1.4.1.4 押し出し試料の熱伝導率集計

サンプル	熱伝導率 W/mK		
	チャンピオンデータ	トップ5	平均値 トップ10
全て	0.0271	0.0275	0.0288
PMMAm- TMOS	0.0271	0.0311	0.0319
シリカ MS51	0.0297	0.0308	0.0132
連続押出 MS51+制泡剤	0.0270	0.0289	0.0360
MS51練込、2段	0.0286	0.0290	0.0297

PMMAm と TMOS を混練した試料からフィルムを作成し、窒素ガスの透過性を確認したところ、PMMAm 単独のフィルムよりガスバリア性が約 20%高いというデータが得られており、セル壁を隔てた対流伝熱が抑制されたことが優れた熱伝導率の一因として考えられる。最適化した試料では、発泡倍率は高いものの、破泡したセルが多く含まれていた。より破泡の少ないセル構造に改善することでさらに熱伝導率の向上が図れると思われる。発泡前の混合物の伸張粘度の向上が必要であり、ポリマーの分子設計に踏み込んだ検討が今後必要である。

なお、これらの試料については、湿度 50%、温度 60°Cでの長期安定性試験（加速試験）を行い、3 ヶ月間（室温下 10 年相当）以上、熱伝導率、寸法に大きな変化がないことを確認した。熱伝導率の測定結果については、後述のポリマーフォーム=シリカエアロゲルの結果と併せて Fig.3.2.1.4.1.19 に示した。

#### ⑤連続気泡型ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの作成（産総研、東京理科大）

本事業においては、発泡ポリマーの独立気泡内部に低密度シリカを充填した構造を持つ断熱材料を作成することを目的としている。このような構造が実際に高い断熱性能を示すかについては、これまで検討例がなく、実証されていない。この構造を研究開発項目③④以外の手法で作成することは困難であるが、連続気孔型のポリマーフォームであれば、ゾル/ゲル法によりシリカの湿潤ゲルを内部に浸透させ、超臨界乾燥を行うことによりシリカエアロゲルを充填させた構造とすることは可能である。本項目ではこのような構造を持つ材料を作成し、熱伝導率や機械的強度等の評価を行った。

この材料は現行の技術で製造可能であり、高性能断熱材の選択肢の一つとなりうるが、一般に超臨界乾燥はコストが高く、実用展開する上では価格競争力が問題となる。そこで超臨界乾燥を使用する以外の製造法についても検証を行うと共に、実際に国内で製造施設を設置して本材料を製造した場合の製造コストを試算し、実用化の可能性についての検討を併せて行った。

##### (a) 連続気泡型ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの作成と評価

ポリマーフォームにはポリウレタンフォーム（（株）ブリヂストン製エバーライト SF シリーズ）、メラミンフォーム、ポリプロピレン(PP)フォーム（INOAC 製）など、市販のオープンポア型ポリマーフォーム（5 mm 厚、薄いものは積層）を使用した。これらのポリマーフォームにテトラメトキシシラン（TMOS）、メタノール、水、触媒（アンモニア）をモル比 2:4:1:0.01 にて混合し調製し

たゾル溶液を浸漬し、気泡を含まないように留意してゲル化を行った。生成したアルコゲルは熟成、溶媒交換の後、ヘキサメチルジシラザン処理によりシリカ骨格表面の疎水化処理を行い、メタノール/二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 二成分系の均一相条件である、353 K、20 MPa で超臨界乾燥し、含浸ゲルを調製した。比較のため、ポリマーフォームを用いないシリカエアロゲルも同様にして作成した。また超臨界乾燥以外の凍結乾燥法、化学的乾燥制御法 (DCCA)、疎水化後の常圧乾燥、ホットプレスによる乾燥法についても検討を行った。得られた含浸ゲルについては、電子顕微鏡による微細構造の評価、三点曲げ試験による機械的強度の評価、熱流束計による熱伝導率の評価を行った。また 323 K、50%RH の条件で維持した試料について、熱伝導率、および寸法の長期安定性試験を行った。

Fig.3.2.1.4.1.18 に作成した含浸ゲルおよびシリカエアロゲルの SEM 像を示す。今回検討したポリマー種においては、超臨界乾燥の過程で膨潤や可塑化の影響が少なく、ポリマーフォームの形状を崩さずに、モノリス状でシリカエアロゲル並の低密度である含浸ゲルの作成が可能であった。

空气中、293 K における熱伝導率の測定結果を Table 3.2.1.4.1.5 に示す。試料密度に多少ばらつきがあるものの、調整した含浸ゲルは、いずれもシリカエアロゲルと同等の高い断熱性能を示した。これらの含浸ゲルは湿度 50%、温度 60°C での長期安定性試験 (加速試験) 開始後、3 ヶ月以上経過しても断熱性能および外寸法にほとんど変化はみられず、長期間にわたり安定した性能を維持することが可能であることがわかった。熱伝導率の長期安定性試験結果について、研究開発項目④の連続製造試料と合わせて Fig. 3.2.1.4.1.19 に示す。

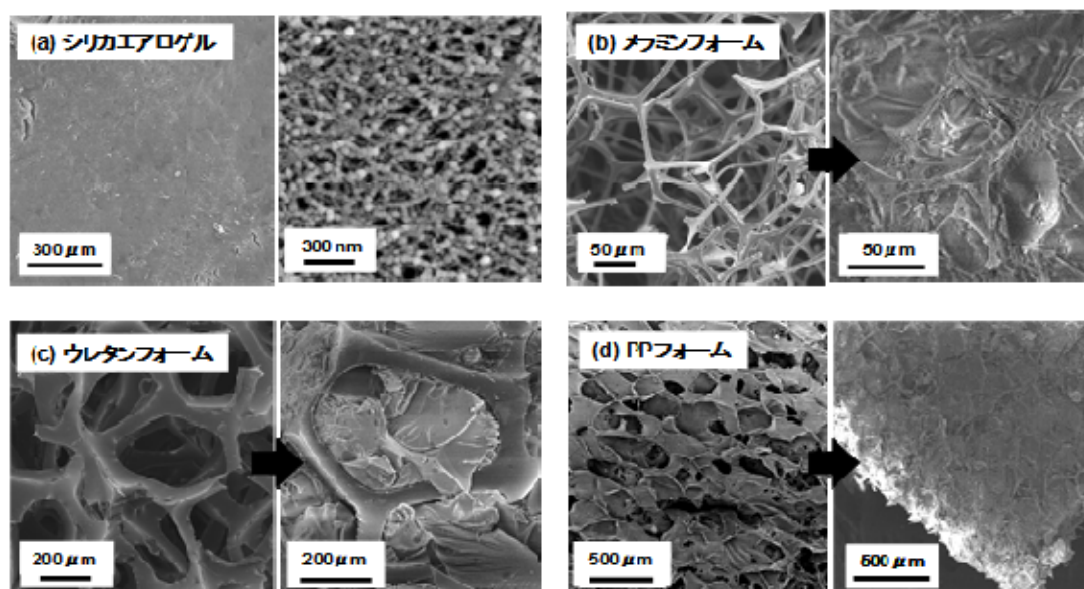


Fig.3.2.1.4.1.18 作成した各種ポリマーフォーム＝シリカエアロゲルの SEM 像

Table 3.2.1.4.1.5 シリカエアロゲルおよびポリマーフォームシリカエアロゲルの熱伝導率

試料名	ポリマーフォーム種	試料密度	熱伝導率(293 K)
		g/cm <sup>3</sup>	W/mK
シリカエアロゲル		0.166	0.018
ウレタンフォーム=シリカエアロゲル	HR-50 (株)ブリジストン	0.143	0.020
メラミンフォーム=シリカエアロゲル	-	0.131	0.022
ポリプロピレンフォーム=シリカエアロゲル	ストランダー社 FOLEC-OPN (株)イノアック技研	0.185	0.017
静止空気(参考)			0.012
ポリウレタンフォーム(参考)			0.025

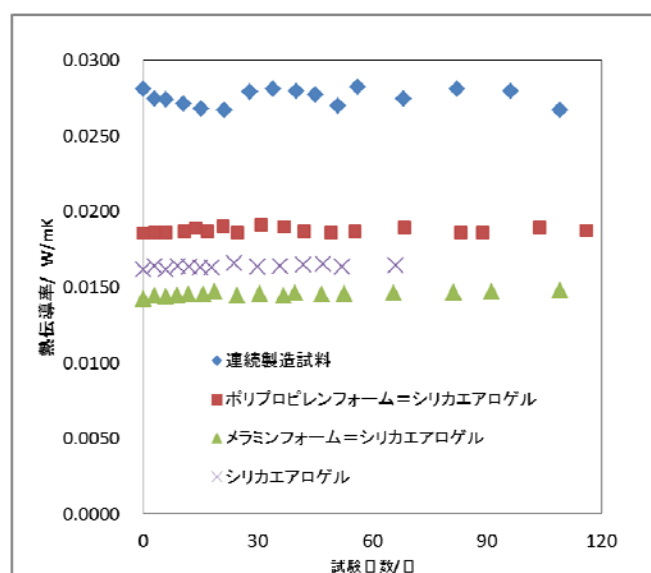


Fig.3.2.1.4.1.19 発泡ポリマー=シリカナノコンポジット連続製造試料、およびポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの熱伝導率の長期安定性試験 (湿度 50%、温度 60℃)

一方、凍結乾燥法、化学的乾燥制御法 (DCCA)、疎水化後の常圧乾燥、ホットプレスによる乾燥法など、超臨界乾燥以外の方法により製造した試料は、いずれも試料の収縮、ひび割れ、粉落ち等がみられ、断熱性能も 0.029-0.039 W/mK の領域であった。

含浸ゲルの三点曲げ試験、圧縮試験の結果を Table 3.2.1.4.1.6 に示す。シリカエアロゲルは柔軟性、靱性がほとんどなく曲げ強度は非常に小さい。一方含浸ゲルでは、シリカエアロゲルの圧縮強度を維持しつつ、曲げ強度、柔軟性が大幅に向上していることがわかる。

作成したいずれの含浸ゲルもシリカエアロゲルよりハンドリング性、加工性の向上が見られた。例えば通常シリカエアロゲルは非常に脆いため、刃物による切断が困難であるのに対し、これらの含浸ゲルは比較的容易に切断が可能であった。また、落下等の衝撃により容易に破損することもなかった。

Table 3.2.1.4.1.6 作成したポリマーフォーム=シリカエアロゲルの機械的性質

種類	密度 g/cm <sup>3</sup>	三点曲げ試験		圧縮試験	
		50%変位時の 曲げ応力 N/mm <sup>2</sup>	状態	変形時の圧縮応力	
				25% N/mm <sup>2</sup>	50% N/mm <sup>2</sup>
ウレタンフォーム=シリカエア	0.143	0.088	破断せず	0.309	1.34
ウレタンフォーム(HR-50)	0.022	0.011	破断せず	0.004	0.005
メラミンフォーム=シリカエアロゲル	0.131	0.161	破断せず	0.316	1.61
メラミンフォーム	0.01	0.017	破断せず	0.007	0.013
PPフォーム=シリカエアロゲル	0.185	0.165	破断せず		
シリカエアロゲル	0.161	(0.032)	破断	0.261	1.75

(b) 製造コストの試算

ここでは、シリカエアロゲルおよび含浸ゲルについて、国内で超臨界乾燥により実製品を製造する場合の製造プロセスを想定し、設備および製造コストの試算を行った。

筆者らの実験室レベルでの検討結果に基づいて、エタノールに含浸したシリカ湿潤ゲルを 353 K, 15 MPa の条件で、CO<sub>2</sub> により超臨界乾燥するプロセスを設定した。抽出に使用する設備については、大手機械メーカーに設計を依頼した。現実的に建設が考えられるサイズとして、300 mm 角の板状試料を作成できる内径 500 mm、容積 200 L の乾燥容器を仮定した。Fig.3.2.1.4.1.20 に試算で想定した超臨界乾燥設備の概略図を、Table 3.2.1.4.1.7 に、今回の試算で仮定したこのプロセスの設備費、およびユーティリティ費用について示す。なお、特にユーティリティ単価等は筆者らが入手できた情報にもとづいており、実際の単価とは差異がある。

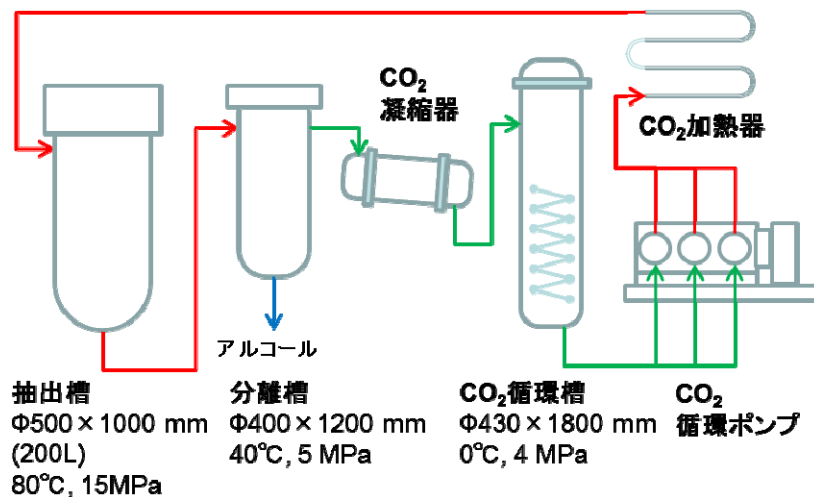


Fig.3.2.1.4.1.20 製造コストの試算で想定した超臨界乾燥施設

Table 3.2.1.4.1.7 超臨界乾燥に関する設備費およびユーティリティ費用

番号	内容	ユーティリティ		費用
		使用量	電力量換算 小計	
①	設備一式建設費			¥110,300,000
②	高圧ガス保安検査費			¥3,000,000/yr
③	電力使用量		662 kW/hr.	¥39,700/batch <sup>d,e</sup>
	装置動力		10 kW/hr.	
	加熱用温水製造(20 °C→90 °C) <sup>a</sup>	5,000 kg/hr.	580 kW/hr.	
	冷却用ブライン(塩水)製造(20 °C→-20 °C) <sup>b</sup>	1,400 kg/hr.	70 kW/hr.	
	計装空気(コンプレッサー)	200 L/min.	2 kW/hr.	
④	CO <sub>2</sub> 使用量		29 kg/batch	¥5,800/batch <sup>f</sup>
	初期仕込量(20バッチで全量交換と仮定)	6 kg/batch		
	1バッチあたりのロス <sup>c</sup>	23 kg/batch		

a: 熱効率70%と仮定。b: 比熱0.75 kcal/kg・°C、熱効率70%と仮定。

c: 試料取り出し時に抽出槽を解放する際の損失

d: 1日1バッチ、6時間運転の場合。連続運転の場合は異なる。詳細は論文(5)参照。

e: 単価を¥10/kWhと仮定 f: 単価を¥200/kgと仮定

Fig.3.2.1.4.1.21 に、柔軟性のない 300 mm 角のシリカエアロゲル、および含浸ゲル等、柔軟性のある試料の 910 mm ロールを製造した場合について、試算の例を示す。設備費は 10 年で償却すると仮定した。また 1 日に 2 バッチ以上行う場合には、温度制御に必要なエネルギーは少なくなると予想されるが、ここでは、2 回目は 1 回目の 70 %、3 回目は 40 %、という仮定にもとづいて算出した。

Fig.3.2.1.4.1.21 に示すように、設備費と電力の割合が大きく、これをどう低減するかがコスト低減の鍵となることがわかる。設備費に関しては他プロセスを含めた共有化、大型化、電力量に関しては、連続的なプロセスの運転等が有効と思われる。また、乾燥に使用する圧力容器の内容積をいかに有効利用するかも重要な要素であり、平板状の試料より柔軟性がある試料の方が有利である。

シリカエアロゲル、含浸ゲルとも、材料として実用性のあるコスト領域には納まっていると思われるものの、真空断熱パネル等、競合する断熱材に比べると競争力に乏しいのは否めない。製造コスト低減のためにはさまざまな角度からの検討が必要である。

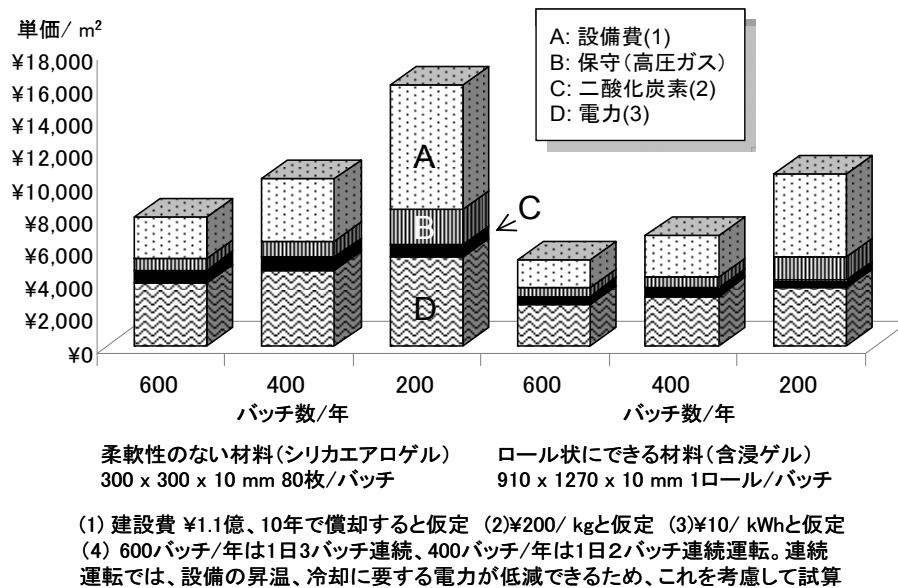


Fig.3.2.1.4.1.21 超臨界乾燥プロセスのコスト試算例

項目ごとの達成度評価は以下の通りである。

番号	目標	研究開発成果	達成度
①	(a)高圧相平衡観察 ・有望な1種以上のポリマーについて想定される条件範囲の相図を完成する。(H19-21) ・必要なポリマー、アルコキシド類についての物性データを蓄積、体系化(H22-23) (b)scCO <sub>2</sub> 中におけるゾルゲル反応 ・scCO <sub>2</sub> 雰囲気下でシリコンアルコキシドの加水分解・縮重合反応を促進させ、シリカの担持量を増大させて断熱性能を高めるための手法を開発する。(H19-21) ・ポリマーとシリカ成分の親和性の向上に関する検討を行う。(H22-23)	・PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> の三成分系について、6-30 MPa, 313-473 Kでの相図を概成した。 ・テトラメトキシシラン(TMOS)等、数種のアルコキシドについて、PMMA/ アルコキシド/CO <sub>2</sub> の三成分系の高圧相平衡を測定し、相図を完成、比較。 ・シランカップリング剤を触媒として使用する手法を開発。 ・PMMA/TMOS系がエアロゲルの混練に有効であることを実証。	◎
②	・ポリマーの発泡とアルコキシドの相分離を行わせる過程の可視化観察を行い、断熱材の発泡構造の制御および製造プロセスの減圧条件の最適化を行う。	・高圧可視化セルおよび画像記録装置等からなる相分離過程観察装置を構築した。 ・PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> 系で、CO <sub>2</sub> のみの発泡と比較して、発泡時の圧力差をCO <sub>2</sub> のみの発泡の場合より大きくすることが必要があること、平均気泡径および気泡密度は、TMOSの添加量に依存すること等、減圧条	○

		<p>件の決定に必要な事項を見出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・相分離過程観察装置の構築し、減圧条件の決定に必要な知見を得た。(H19-21)</li> <li>・数種のアルコキシドを含む系について測定を行い、発泡開始条件を整理(H22-23)</li> </ul>	
③	<p>バッチ法による試料の作成を行い、断熱性能の評価、熱分析による物性評価、電子顕微鏡による微細構造評価を行って、製造過程の最適化に反映する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スクリーニングの結果、PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>系を中心として、発泡試料の作成を行い、最適化を検討した。</li> <li>・PMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>系を中心として、目的とする発泡構造の作成を実証した。</li> <li>・熱伝導率の目標値は未達 →④連続製造法へ収斂</li> </ul>	○
④	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続法でバッチ法と同系統の試料が作成可能であることを実証する。連続法でバッチ法と同系統の試料が作成可能であることを実証する。</li> <li>・ウレタンフォームと同程度の断熱性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セグメント型の押し出し成型機をベースとした製造装置を作成しPMMA/TMOS/CO<sub>2</sub>系の発泡試料(熱伝導率0.028 W/mK程度)を連続的に作成できることを実証した。</li> </ul>	○
⑤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリカエアロゲルを含浸したポリマーフォームについて、断熱性およびハンドリング性の観点から、ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化を行う。</li> <li>調整プロセスのコスト低減に向けた調査および検討を行う。</li> <li>・ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化を行う。</li> <li>・調整プロセスのコスト低減に向けた調査および検討。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱硬化性、熱可塑性ポリマーの連続気孔型フォーム、キトサンゲル等にシリカエアロゲルを含有した試料を作成し、高い断熱性能(0.018-0.020 W/mK)および、シリカエアロゲルに比して大きな曲げ強度、良好なハンドリング性を持つことを実証した。</li> <li>・凍結乾燥法、化学的乾燥制御法(DCCA)、疎水化後の常圧乾燥、ホットプレスによる乾燥法などを検討した</li> <li>・高い断熱性能(0.017-0.020 W/mK)および大きな曲げ強度、良好なハンドリング性を持つことを実証。</li> <li>・国内での生産を前提としたプロセスを設計し、製造コストを試算</li> </ul>	◎

各項目を総括した年度毎の達成度評価は以下の通りである。

年度	目標	研究開発成果	達成度
H19	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高圧相平衡測定装置および相分離過程観察装置を構築し、バッチ製造プロセス全般の定量的な解析を行う体制を整備する。</li> </ul>	年度内に構築完了	○
H20	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平均発泡径 10 μm以下、シリカ含有量 40 wt%以上の発泡ポリマー=シリカナノコンポジットをバッチ製造プロセスで製造する手法を確立する</li> </ul>	年度内に平均発泡系 3 μm以下、シリカ含有量 54%の試料を作成	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続製造装置を構築し、ポリマー、CO<sub>2</sub>のみの系による動作試験を完了する。</li> </ul>	年度内に動作試験完了	○

	・ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルについて、シリカエアロゲルと同程度の断熱性能と、高いハンドリング性を併せ持つ材料の調製法を確立する。	年度内に調整、評価完了。 シリカエアロゲルより機械的強度に優れ、熱伝導率 0.017-0.020 W/mK の試料を作成	◎
H21	・現行ポリウレタンフォーム（熱伝導率 0.024 W/m・K）と同程度の断熱性能を持つ断熱材料をバッチ製造プロセスにて製造する	PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> 系で熱伝導率 0.040 W/mK	△
	・同系統の材料が連続製造プロセスで製造可能であることを実証する。	PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> 系で連続製造可能であることを実証。熱伝導率 0.031W/mK 程度	○
H22	現行ポリウレタンフォームと同程度の断熱性能を持つ断熱材料を連続製造プロセスで製造する手法を確立する。	PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> 系で連続製造プロセスの最適化を検討。熱伝導率 0.027-30 W/mK 程度。	○
	ポリマー＝シリカ複合系の断熱材の製造プロセスで共通的に必要な物性データを蓄積する。	PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> を中心とした相平衡、相分離のデータを蓄積	◎
H23	発泡ポリマー＝シリカ複合断熱材の実用的な生産プロセスを確立する。	PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> 系で連続製造プロセスの最適化を検討。熱伝導率 0.028W/mK 程度で安定に製造	○
	同断熱材の製造プロセスで共通的に必要となる物性データの体系化を行う。	PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> および TEOS, MS51 などを含む系の相平衡、相分離挙動を体系的に把握	◎

◎：大いに達成、○：達成、△：達成見込み、×：未達

#### 特許、論文等

年度	国内特許出願	論文	学会発表	その他
平成 19	0	1	0	0
平成 20	1	0	1	0
平成 21	2	1	3	0
平成 22	0	1	6	0
平成 23, 24	1	3	15	0
合計	4	6	25	0



### 3.2.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」(委託事業)

#### (1)無機質系繊維基布を使用したナノ多孔質シリカ担持体の開発

(1-1)ナノ多孔質シリカとの反応性を有する無機系バインダーの開発

(1-2)無機質系繊維基布の開発、及びナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作

##### (i)目標

平成19年度にナノ多孔質シリカ担持断熱材に使用する無機系バインダーの開発を行い、平成20年度のナノ多孔質シリカ担持断熱材試作に繋げる。

##### (ii)研究開発進捗・成果

従来、リン系ガラスを使用した水和物を種々の用途に展開することが知られている。本研究開発では、リンを含有するガラス組成にて、部分開裂を行うことで水和物に流動性が生じることを利用して、無機系バインダーの開発に至った。X線回折、FT-IR、示差走査熱量計で分析・解析により、水和して流動性を発現させ、硬化後は、他の成分と相互作用あるいは反応を担う低分子量成分と造膜性に寄与する高分子量成分を両備していることが判明した。

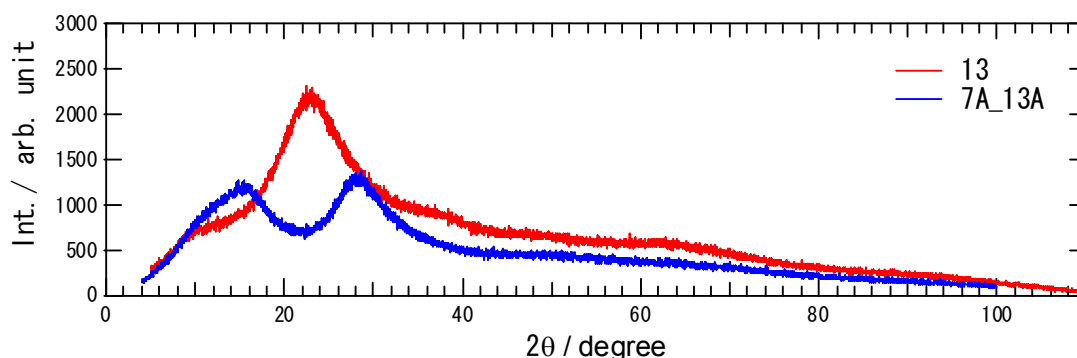


図3.2.1.4.2.1 初期のガラス (No. 13) 及び部分開裂させたガラスの (No. 7A-13) のX線回折スペクトル

#### (1-2)無機質系繊維基布の開発、及びナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作

②無機質繊維基布及びナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作

##### (i)目標

平成19年度に開発した無機系バインダーを使用して、平成20年度にナノ多孔質シリカ担持断熱材の開発及び試作の開発を行い、熱伝導率における目標値を達成する。

また、ナノ多孔質シリカの合成に関しては、断熱性能及び経済性を兼ね備えた製造方法、プロセス技術を提案する。

(ii) 研究開発進捗・成果

(1-1) で開発した無機系バインダーを用いた無機繊維質基布の試作については、研究開発項目(3)②ファブリケーション技術の開発において製造する塗工装置にて行う。

ナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作に関しては、研究開発項目の計画で示した製造方法に従い、検討を進めている。

(A) ナノ多孔質シリカを無機質繊維基布に物理的に固着させる方法

(B) 無機質繊維基布の表面処理剤として使用し、ナノ多孔質シリカ合成時に繊維表面へ化学反応による固着させる方法

(C) 無機質繊維基布中でのナノ多孔質シリカ合成時に、シリカ前駆体組成に混合・反応させ、シリカ粒子間の結合を向上させる合成法

本項目では、ナノ多孔質シリカ合成法の開発が主となる。ナノ多孔質シリカの合成法、とくに多孔性構造を得るために、媒体を含んだ状態のゲル構造を収縮させない乾燥法が重要な点となるが、これまでの技術開発の中で大きく2つの方法が挙げられる。

○超臨界抽出・乾燥法

1931年に米国のKisler博士が開発した方法であり、超臨界状態での非凝集性流体の特性を活かし、固体-液体での界面張力を零にして、乾燥時の固体の凝縮を抑制する乾燥法であり、エアロゲル合成に多く採用されている。

○常圧乾燥法

キセロゲル（空孔を有さないゲル）合成に使用されている方法であるが、1995年にHoest社がシリカ表面にシリル基で修飾することにより、乾燥時の固体-液体での界面張力を低減させてエアロジェルを合成する。

常圧乾燥法では、シリカのハイドロゲルあるいはアルコール媒体ゲル（以下、アルコゲル）での表面修飾が重要な技術ポイントとなる。しかし、表面張力を低減する効果のあるトリアルキルシラン化合物は、非常に高い疎水性を有しているため、シリカハイドロゲルあるいはアルコゲル媒体と相溶せず、シリカ表面の修飾が難しく、上記ゲルの媒体をヘキサン、ヘプタン等の非極性有機溶剤に置換する必要がある。この操作は単純な物理的な拡散現象を利用しているため、日数オーダーの時間と多量の非極性有機溶剤を使用する必要があり、経済性あるいは作業時の安全性の点で好ましいものではない。また、この常圧乾燥法で得られるナノ多孔質シリカの断熱材への実用化例は未だ見られていない。

当研究開発においては、常温乾燥法をもとに上記のシリカゲルの表面修飾工程の簡略化によるエアロゲル合成法を検討した。

本開発で検討したプロセスで合成したナノ多孔質シリカと同組成にて二酸化炭素抽出乾燥させたゲルとの窒素による吸着・脱着等温線から得た空孔径分布および細孔分析結果を下記に示す。

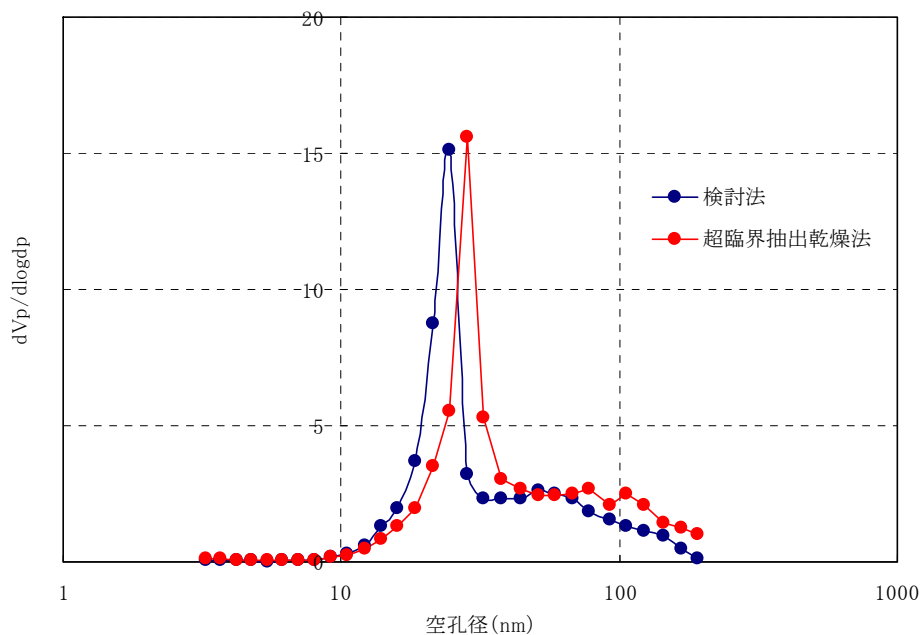


図 3.2.1.4.2.2 ナノ多孔質シリカの空孔径分布 (脱着側 BJH 法)

表 3.2.1.4.2.1 乾燥法によるナノ多孔質シリカ細孔分析結果比較

乾燥条件	見掛け密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	空孔率 (%)	BET比表面積 ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	平均空孔径 (nm)	空孔体積 ( $\text{m}^3/\text{g}$ )
検討法	0.130	94.1	514.9	24.49	3.88
CO <sub>2</sub> 超臨界抽出乾燥法	0.108	95.1	542.2	28.25	3.87

この評価結果より、当研究開発したナノ多孔シリカ合成法でも、超臨界乾燥法で得られるゲルと同等の物性値を得ることが判明した。この平均空孔径は、常温常圧下での空気の平均自由行程約 65nm より小さく、空気の熱伝達を抑制する領域にある。

また、FE-SEMにより、表面構造を確認した。

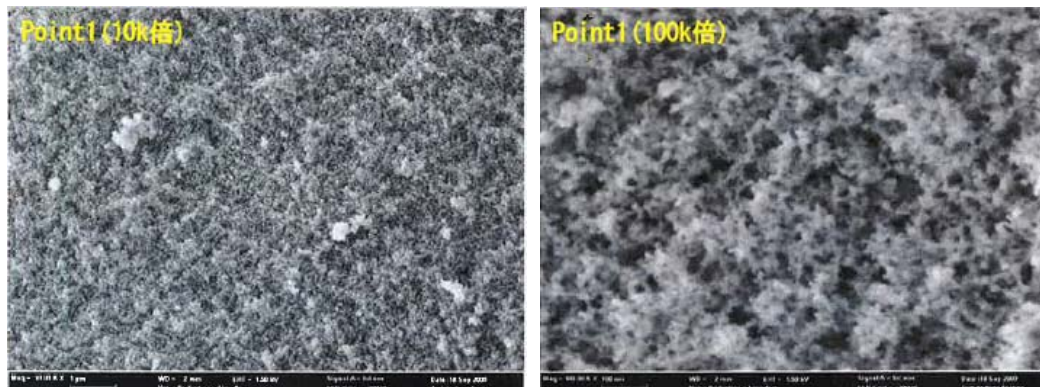


図 3.2.1.4.2.3 減圧 - 常圧乾燥法ナノ多孔質シリカ FE-SEM画像

上記プロセスにて製造したナノ多孔質シリカ担持断熱材の熱伝導率は、ナノ多孔質シリカ担持量にもよるが、 $0.019\text{W/m}\cdot\text{K}\sim 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$ に達することが判明した。

今後は、ナノ多孔質シリカ合成の諸条件およびナノ多孔質シリカ担持断熱材の諸元の最適化により、安定した断熱性能を確保することが可能となった。

## (2)ファブリケーション技術の開発及び無機質断熱材評価技術検討

### (2-1)ナノ多孔質シリカ担持性向上検討

#### (i)目標

平成 19 年度は、ナノ多孔質シリカ担持性評価装置を開発・試作して、平成 20 年度以降に試作するナノ多孔質シリカ担持断熱材の評価を行い、担持性能向上の判定を行う。さらに、平成 20 年度に 開発したナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作機を平成 21 年度に開発・製造して、ナノ多孔質シリカの製造プロセスを確立した。

#### (ii)研究開発進捗・成果

##### (A)ナノ多孔質シリカ担持性評価装置開発

粉塵飛散は、粉塵の密度により飛散状況等に大きく差が現れ、発生する粉塵重量のみでは、評価が 適切でない場合がある。ナノ多孔質シリカの場合、粒子密度が低いため、単位重量あたりの飛散粒子個数が多くなることが予測される。そこで、密閉した筐体内で、試作断熱材を振動装置で振動させ、設置した光学装置で粉塵濃度を測定するナノ多孔質シリカ担持性評価装置の試作を行った。



図3.2.1.4.2.4 担持性評価装置

また、ナノ多孔質シリカ担持方法の違いによる比較評価を行った結果を示す。

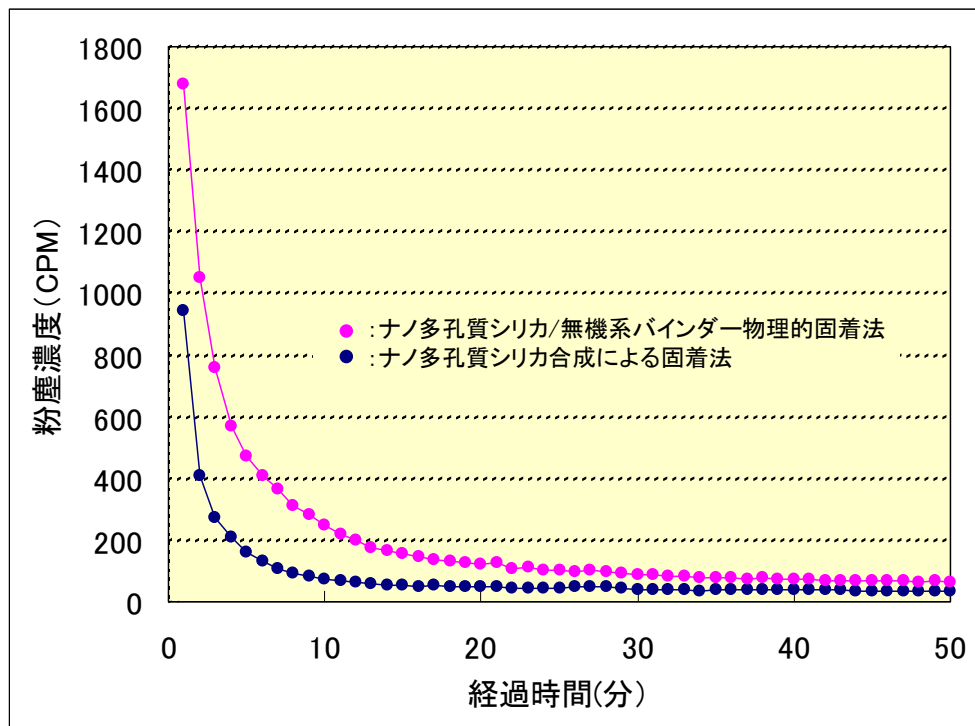


図3.2.1.4.2.5 担持性評価結果

これより、測定開始時に粉塵が多く発生することは、サンプル切断時の粉塵発生が起因していると推定できる。その後の粉塵濃度が低下することより、担持効果は確認できる。更に、化学反応によりナノ多孔質シリカを担持させる方法が良い結果となっている。また、時間による粉塵濃度変化を測定することにより、サンプル作成時に生じやすい個体差の影響を小さくすることが可能であることが判明した。

#### (B) ナノ多孔質シリカ担持断熱材試作機の検討

まだ、途中段階ではあるが、ナノ多孔質シリカ担持断熱材の製造方法としては、無機繊維基布にナノ多孔質シリカ合成用の前駆体を含浸させた後に、ゲル化乾燥工程を経る方法が断熱性能あるいは担持性において優位であるが判明している。このプロセスを具体化するための試作機を製造した。

無機質繊維基布に塗工液を含浸させるためには、内包されている空気を除去することが重要であることは広く認識されている。従来は、無機繊維基布上方から塗工液を落とし、ロール、ドクターナイフ等で脱泡・含浸させる方法が汎用的であるが、装置が大掛かりになる場合が多い。そこで、装置の経済性・省スペース化を考慮し、ロール間で無機質繊維基布を圧縮・脱泡した直後に無機質繊維基布のスプリングバック現象を利用して、前駆体を含浸させる機構を試作機に付与している。

上記製造装置により得られたナノ多孔質シリカ担持断熱材を図 3.2.9.6 にて示す。このナ

ノ多孔質シリカ担持断熱材の熱伝導率は、23°Cにて、0.018~0.021W/mK であり、開発検討した内容をほぼ再現する結果となった。



図3.2.1.4.2.6 製造したナノ多孔質シリカ担持断熱材

## (2-2)遮熱性評価技術開発及びバインダーの遮熱性向上検討

### ①遮熱性評価技術の開発

#### (i)目標

平成 19 年度は、遮熱性評価用の装置試作を行う。ここでは、熱源から気体の熱伝達が生じない真空下で、断熱材を通しての赤外線移動を測定可能にする。

平成 20 年度では、評価方法の開発検討を行い、装置改良及び測定要素を明確にする。

平成 21 年度は、これまでの評価技術をまとめ、断熱材評価を行う。

#### (ii)研究開発進捗・成果

平成 20 年度までに、遮熱性評価技術の 1 次提案を行った。その概要を図 3.2.1.4.2.7 に示す。この方法では、遮熱性評価装置内部を様々な環境条件にコントロールして、試験体の片面に放射熱を与え、評価装置内外の温度や、評価装置内部の温度を一定にするため除去熱量を測定し、その結果から遮熱性能を推定する。



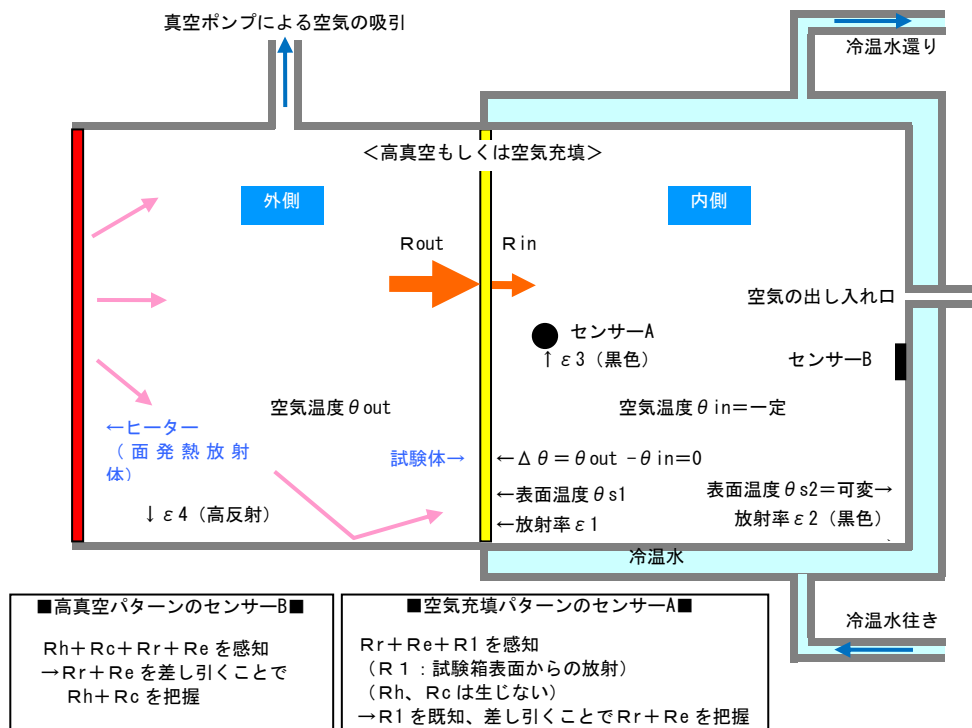


図 3.2.1.4.2.7 遮熱性評価方法及び評価装置の概要

今後の予定として、前述の改良・検討を行い、各種試験体を用いた測定から遮熱性能評価の方法を検討・提案した。この考案をもとに評価装置を試作し、遮熱性能の測定実験を行った。その結果「空気」、「真空」（測定室内を減圧）の2パターンの測定を行うことにより、内外温度差と放射による伝熱が混在する場合と、放射のみの場合について、総熱抵抗値、単位熱伝導率を推定できる。こうした評価手法とすることにより、電磁波エネルギー断熱材内部の熱エネルギー—電磁波エネルギーとなるエネルギー変換挙動に関する放射伝熱の評価が可能となり、実用面においては、内外温度差と放射がそれぞれ個別に変動する建築等の実際の使用環境（例えば、日射が当たる建築外皮、燃焼の on-off や内蔵する水温の変動がある設備機器など）を想定した断熱施工を行うことが可能になると考えられる。

## ② バインダーの熱線反射性向上の検討

### (i) 目標

平成 19 年度に開発した無機系バインダー組成をもとに、平成 21 年度に赤外線遮断あるいは散乱効果を有する金属を組み込むことによる熱線反射（遮断）機能の向上を図る。また、平成 19 年度に赤外線分光器を改良して、黒体炉（放射率 99.9%）を参照した相対的放射率測定装置を試作する。

## (ii)研究開発進捗・成果

平成 20 年度に開発したナノ多孔質シリカに、Cu、Fe、Ti 等の金属含有リン酸ガラス系バインダーを処理したサンプルを作成し、その評価を行った。平成 19 年度に判明した金属含有リン酸ガラスのハイドロゾル化可能組成の試料を作成して、ナノ多孔質シリカと繊維マットの担持用接着剤として使用することにより、真空下での熱伝導率低減を確認した。これは、リン酸ガラス系バインダーに含有される金属による赤外線散乱効果であると推定される。

## (3)成果

表 3.2.1.4.2.2 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H19FY	0	0	0	0
H20FY	0	0	0	0
H21FY	3 件			

### 3.2.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」（助成事業）

#### 課題 1：ナノゲル合成法の開発

ナノゲルの合成方法として一般的にゾルーゲル法と超臨界抽出法を用いたものが知られている。平成 18 年度の革新的ノンフロン系断熱材技術に関する先導研究で基本的な合成法を確立しているが、本研究では、基礎的な合成法から量産化検討、強度補強検討などを行うこととした。

#### ①量産化技術開発

基本的な合成法から原料選定、溶媒量、触媒選定などを経て量産化に適した配合処方確立できた。そこでラボスケールから 4L スケールの超臨界抽出設備へのナノゲルの量産化検討を行った。スケールアップの結果、大型化した設備内では得られるナノゲルの性質に位置的な変化が生じないことを確認し、さらに 20MPa、80℃で 13 時間であった製造条件を 10MPa、60℃、1~5 時間と大幅に緩和することができた。

以下、写真 3.2.1.4.3.1 に 4L スケールの設備、写真 3.2.1.4.3.2 に量産化したナノゲル、写真 3.2.1.4.3.3 にナノゲルの電顕写真を示す。



写真 3.2.1.4.3.1 超臨界抽出設備



写真 3.2.1.4.3.2 ナノゲル

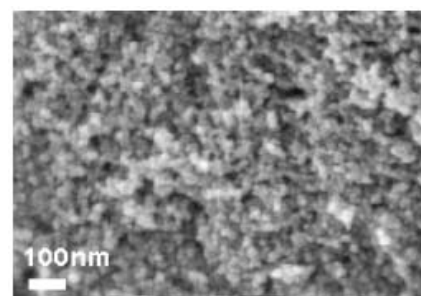


写真 3.2.1.4.3.3 ナノゲルの電顕写真



## ②劣化抑制検討

ナノゲルは通常の合成法で合成した場合、空気中の水分を容易に吸着し劣化してしまう。そこでナノゲルの性能劣化を抑制する手法として、ナノゲルの合成及び実用化のルートの各段階でナノゲルに疎水化処理を施す手法を検討した。またシリカ系ナノゲルの原料について先導研究ではテトラメトキシシラン (TMOS) を使用したが、TMOS は反応性が高いが高価でありさらに眼に対して有毒といった懸念があるため、低コストで安全性の高い原料による合成の検討を行った。さらに疎水化を検討した結果、 $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の良好な熱伝導率を示し高温多湿の促進試験でも優れた耐久性を示す断熱材が得られた。今後更なる疎水化の検討によって優れたナノゲル断熱材を開発していく。

## 課題 2：既存断熱材の断熱性能向上検討

課題 1 で得たナノゲル粉体を既存断熱材に応用することによって断熱性能を向上する目的で検討を行った。例えばノンフロンウレタン断熱材は、フロン発泡剤を使わないために、断熱性能が $0.034\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ になってしまう。このためナノゲルを混合することで断熱性能の向上を図った。しかし、ウレタン原液への無機系ナノゲル粉体の混合は困難でわずかに 1.5 重量部程度しか混合できず、無機系ナノゲルの表面改質に重点をおいた。その結果、無機系ナノゲルに表面処理することによってウレタン原液との相溶性を大幅に改善し 10 重量部以上添加できるようになった。

しかし熱伝導率はブランクと同等であった。ナノゲルの添加量が未だ少ないために熱伝導率の増大を抑制できないと考えられる。今後表面処理を改善しウレタンフォームの性能向上に努めたい。また、ナノゲルを原液に予備混合するのではなく、第 3 成分として混合する方法を検討していきたい。

## 課題 3：新規断熱材の開発

ナノゲル粉末を応用加工することはアキレスにとって得意分野であり、これらの応用加工技術の開発がナノゲル断熱材を早期に実用化させるために必要である。具体的な加工法としては、有機材料への混合、練込の他、分散液を使った塗工、含浸等がある。これらの加工法についてナノゲルを用いて研究を行った。

### ①ナノゲル分散液の塗工検討

ナノゲル粉末を表面処理した後にアクリルエマルジョンに分散し、基材に塗工することで断熱性能を付与するために、ポリエステルフィルム上にナノゲル分散液を塗工し断熱性能を評価した。熱伝導率は $0.10\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。未塗工時は $0.44\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ でナノゲルの表面処理を行わない場合、得られた塗膜の熱伝導率は $0.20\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。

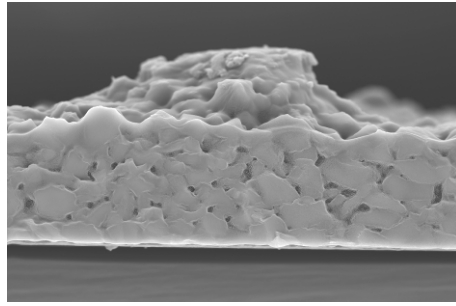


写真 3.2.1.4.3.4 ナノゲル配合塗膜の断面

### ②ナノゲル含浸加工検討

ナノゲル分散液を基材に含浸させて基材全体にナノゲルを分散させ、断熱性能の向上を図る検討を行った。その結果、分散液のバインダー成分の濃度が高いほど断熱性能は悪化して含浸効果は無く、逆にバインダー量を減らすことによって断熱性能が向上する結果となった。（写真 3.2.1.4.3.4 はバインダーの少ない PET 不織布含浸布）

そこで、バインダーを使わない（バインダーレス）方法として基材を下から吸引しナノゲル粉末を基材全体に強制挿入する方法で行った場合、表 3.2.1.4.3.1 のように  $0.36\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K}) \rightarrow 0.045\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  と向上した。このようにナノゲルの含浸加工にはバインダーレス化の検討が必要である。

表 3.2.1.4.3.1 含浸加工検討

項目	含浸布A	含浸布B
バインダー(%)	20%	0%
熱伝導率	0.36	0.045
熱貫流率	72	9



写真 3.2.1.4.3.5 PET 不織布含浸布 A

このため、バインダーレスで含浸する手法の検討を行った。ウレタンフォームや不織布等の空隙率の高い基材にナノゲルを充填し、含浸布を得る方法を試みた。得られたナノゲル含浸布は柔軟でロール状に成形可能であり、さらに熱伝導率  $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  と良好な断熱性能を示した。

一方、通常の方法で合成したナノゲルは表面が親水性であるため吸水性が大きく、劣化し易い問題がある。そこで課題 1②で示したようにナノゲルを疎水化する方法の開発を検討した。その結果得られたナノゲル含浸布は写真 3.2.1.4.3.6 のように柔軟なものであり熱伝導率  $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  と良好な断熱性能を示した。さらに表面に水滴を滴下しても吸水しなかった。



写真 3.2.1.4.3.6 ナノゲル含浸布

得られたナノゲル含浸布について耐久性を評価するために高温高湿条件における劣化促進試験を行った。その結果、熱伝導率にはほとんど変化がなく耐久性に優れることを確認した。

(2)研究成果まとめ

表 3.2.1.4.3.2 研究の成果

	目 標	成 果	達成度
課題 1 ナノゲル合成法の開発	・比重 0.15g/cm <sup>3</sup> ・熱伝導率 0.024W/(m・K)以下	原料構成などの基礎配合確立 量産化によって合成条件の緩和、時間短縮が出来た。断熱性能は 0.017W/(m・K)を達成。	◎
課題 2 既存断熱材の断熱性能向上	ノンフロンウレタン断熱材 熱伝導率 0.024W/(m・K)以下	ウレタン原液との相溶性が悪く表面処理によって解決。 しかし、断熱性能は 0.024W/(m・K)に至らず。	○
	真空断熱材の簡易成形加工 断熱性能 0.005W/(m・K) 経年変化が少ない	簡易真空成型加工法確立。断熱性能は 0.005W/(m・K) 経年変化の少ない VIP を得た。	◎
課題 3 新規断熱材の開発	シート状断熱材 (厚さ 5mm 以下) 断熱性能 0.005W/(m・K)	様々な加工法を組み合わせることでシート状断熱材は可能。 具体的な設備設計では課題が多く、時間がかかる。	○
	その他応用加工法開発	ナノゲルを分散液として塗工。0.10W/(m・K)。 空隙率の高い基材でのナノゲル含浸布を作製。断熱性能 0.017W/(m・K)を達成。性能劣化抑制について継続検討。	◎

◎：大いに達成、○：達成、△：達成見込み、×：未達

(3)成果

表 3.2.1.4.3.3 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H19FY	0	0	0	0
H20FY	2	0	0	0
H21FY	1	0	0	0
H22FY	0	0	0	0
H23FY	3	1	0	0

### 3.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発

#### 3.2.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業、共同研究)

断熱性及びその持続性の向上を目指した発泡技術、バリア技術の検討を行った結果、重要操作因子の解析に成功し、基本技術を確認した。更に、これらの技術を組み合わせることで、新規断熱性向上シートとしての基本コンセプトを確認し、スケールアップ検討を実施中。

##### ①断熱性向上発泡技術の研究

熱伝導は一般に、「 $\text{熱伝導} = \text{材料伝熱} + \text{空隙伝熱 (輻射・対流)}$ 」と表され、断熱性能を上げるには、熱伝導を下げる、すなわち、材料伝熱及び空隙伝熱を下げる必要がある。材料伝熱を下げるには空隙率を高くすることが、空隙伝熱を下げるには発泡径を小さくすることが有効である。しかし、従来の方法では、発泡径を小さくすると空隙率が低くなり、これらを両立することは困難であった(図3.2.1.5.1.1)。

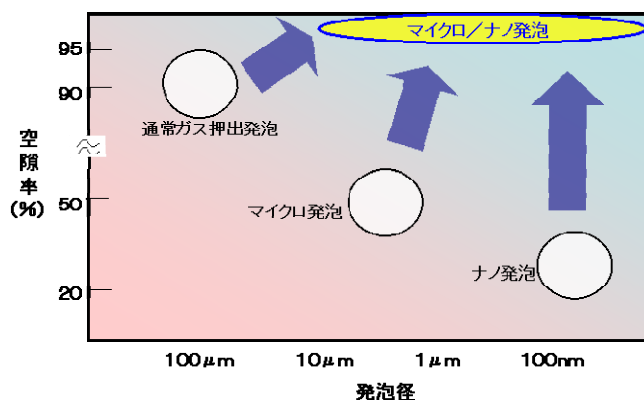


図 3.2.1.5.1.1 発泡径と空隙率の関係

そこで、充填ガスに対する溶解性の異なる2種類のポリマーを用い、マイクロオーダー及びナノオーダーの発泡径の大きく異なる構造を形成することで空隙率を上げられないか検討した(図3.2.1.5.1.2)。溶解性の高いポリマーにより小さい発泡構造が出来ることが分かっており、更にナノ分散化アロイ技術を用いてポリマーの分散径を制御することで、発泡構造の精密制御が可能と考えた(図3.2.1.5.1.3)。

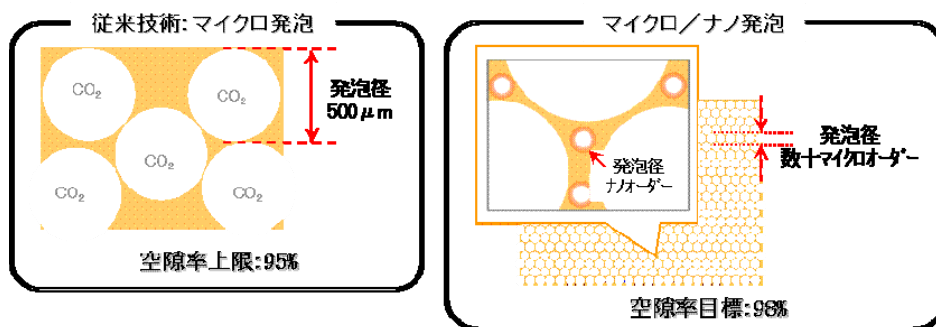


図 3.2.1.5.1.2 マイクロ/ナノ発泡構造のコンセプト

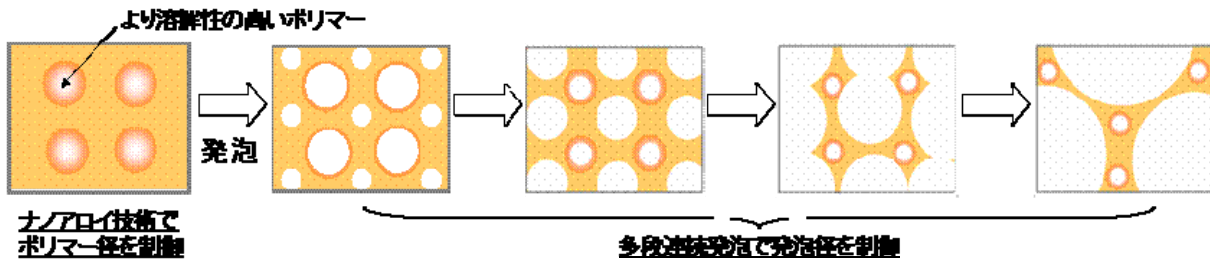


図 3.2.1.5.1.3 マイクロ／ナノ発泡体の構造制御

充填ガスとして炭酸ガスを使用し、ナノ分散化アロイ技術と連続溶融押出發泡技術を組み合わせることで、目標としていたマイクロオーダー及びナノオーダーの発泡構造を併せ持つ発泡体の形成に成功した（表 3.2.1.5.1.1 開発品①）。更に、気泡セル膜間の放射熱伝導、断熱材の固体部分の熱伝導、気泡セル内のガス熱伝導を極小化する構造を検討した結果、空隙率：98%で、熱伝導率を 0.023W/m・K まで低減することが可能となった（表 3.2.1.5.1.1 開発品②）。

表 3.2.1.5.1.1 マイクロ／ナノ発泡体の特性

		従来発泡	開発品①	開発品②
断面 (SEM写真)				
	孔径			
	マイクロ (μm)	500	50	50
	ナノ (nm)	-	200	300
空隙率(%)		93	95	98
熱伝導率(W/mK)		0.033	0.025	0.023

また、発泡体の材料として、製造時の炭酸ガス発生量が従来品の 1/2 以下である植物由来プラスチック：ポリ乳酸（PLA）を主成分とするポリマー（炭酸ガス発生量(kg/kg)は、炭化水素系：2.9 に対し、PLA 系開発品：1.2）、地球温暖化係数が炭化水素よりも低い炭酸ガスを用いていることから（地球温暖化係数は、炭化水素：11、炭酸ガス：1）、使用素材の面からも地球温暖化防止へ貢献できると考える。

PLA 系開発品にて、建材、家電、輸送用断熱材としての実用特性評価を行い、PLA 系では耐熱性及び耐久性が十分でない用途が多いことが明らかとなった。特に、フィルム梱包形態に適した加工の必要の無い用途では、耐熱性の要求が強かった。よって、PLA 系と並行して、耐熱樹脂への発泡技術の展開を図った。

耐熱樹脂として、耐熱性、コスト及び今後のバイオマス化の動きを考慮し、PET を選定した。PET では、従来 10 倍程度の発泡しかできなかったが、共重合成分を導入し、溶融粘度及び張力を特定の範囲に制御することで、PET 系で最高となる約 40 倍の発泡が可能となった。更に、共重合成分を変化させたアロイ成分を検証し、マイクロ／ナノ構造が形成できる目処を得、熱伝導率：0.023W/m・K を達成した。

PLA 系及び PET 系開発品について、他の断熱材と特性の比較を行った（表 3.2.1.5.1.2）。環境に優しい素材からなり、かつ、冷蔵庫用断熱材等に今後求められるリサイクル性を兼ね備えた断熱材としては、

最高の断熱性能を発現する。今後、孔構造の最適化を進め、熱伝導率の更なる低減を行う。

表 3.2.1.5.1.2 他の断熱材との特性比較

		ウレタン	ポリスチレン	フェノール	東レ開発品	
					PLA系	PET系
リサイクル性	樹脂	× (熱硬化)	○ (熱可塑)	× (熱硬化)	○ (熱可塑/バイオマス)	○ (熱可塑)
	充填ガス	△ (代替フロン)	△ (炭化水素)	△ (炭化水素)	○ (CO <sub>2</sub> )	○ (CO <sub>2</sub> )
断熱性	熱伝導率 (W/mK)	0.024	0.022	0.020	0.023	0.023
耐久性		◎	○	◎	△	○
耐熱性		◎	○	◎	△	○

生産化に必要な大型化について、多孔ダイによる均一発泡が可能となり、生産機的设计に必要なプロセスデータの採取が完了した。

#### ②断熱性向上バリア技術の研究

発泡体の樹脂はガスを通しやすく、充填ガスが空気と入れ替わると熱伝導率が大きくなるため、充填ガスの放散を防止するための高ガスバリア性フィルムの開発を行った (図 3.2.1.5.1.4)。

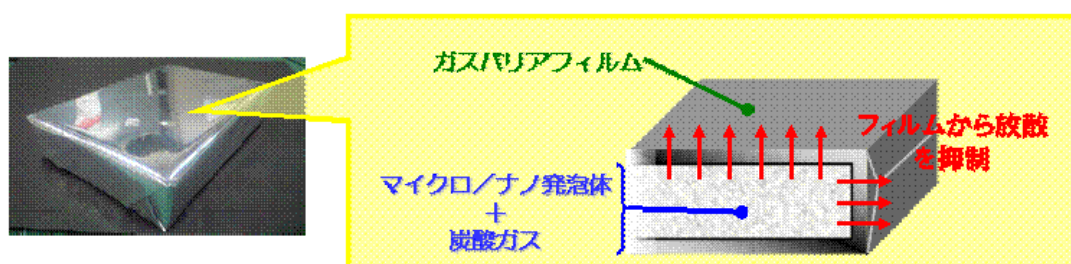


図 3.2.1.5.1.4 ハイバリアフィルムによる耐久性向上のコンセプト

バリアフィルムは一般に、アルミニウム (Al) の蒸着層を設けることでバリア性能を高めているが、フィルム表面の構造により性能が大きく左右される。まず、アルミの蒸着構造を緻密化するため、高結晶性の特殊樹脂を含有するフィルムの製膜技術を確認し、炭酸ガス透過度 0.02cc/m<sup>2</sup>・24hr・atm (Al 蒸着時) を達成した (図 3.2.1.5.1.5)。ただし、ガスバリアフィルムの横展開も考えると、コストがあわず、低コスト化の検討を行った。高結晶性樹脂の Al 蒸着層のバリア発現機構を解析し、蒸着下地層の表面自由エネルギーが重要であることを見出し、コート層で同等の効果を発現させることが可能となった。この結果、低コストで、PET フィルム比 100 倍以上となる炭酸ガス透過量 : 0.04cc/m<sup>2</sup>・24hr・atm を達成した。



	開発品①	開発品②	開発品③	従来品
フィルム構成	Al蒸着層 高結晶樹脂	高結晶樹脂 汎用樹脂アロイ	コート層 PET	PET
CO <sub>2</sub> /バリア (cc/m <sup>2</sup> ・day)	0.02	0.02	0.04	16

図 3.2.1.5.1.5 バリアフィルムの構成

### ③断熱性向上熱流制御技術の研究

熱流制御について検討した結果、断熱材に対して炭酸ガス削減効果が小さいことが判明し、発泡体／バリアフィルムの研究に注力することとした。

### ④断熱性向上シートの基本設計

開発品のバリアフィルムで梱包した場合の断熱性能の変化を『発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール』（建材試験センター）を用いて、Phase2 「被覆あり・なし」で計算した（図 3.2.1.5.1.6）。従来のガスバリアフィルムでも効果を確認できるが、開発品は更に耐久性が向上し、30年以上断熱性能の悪化が無いという計算結果を得た。

発泡体材質；硬質ウレタンスプレー

充填ガス；炭酸ガス

有効拡散係数 窒素：4.00E-12、酸素：5.00E-10

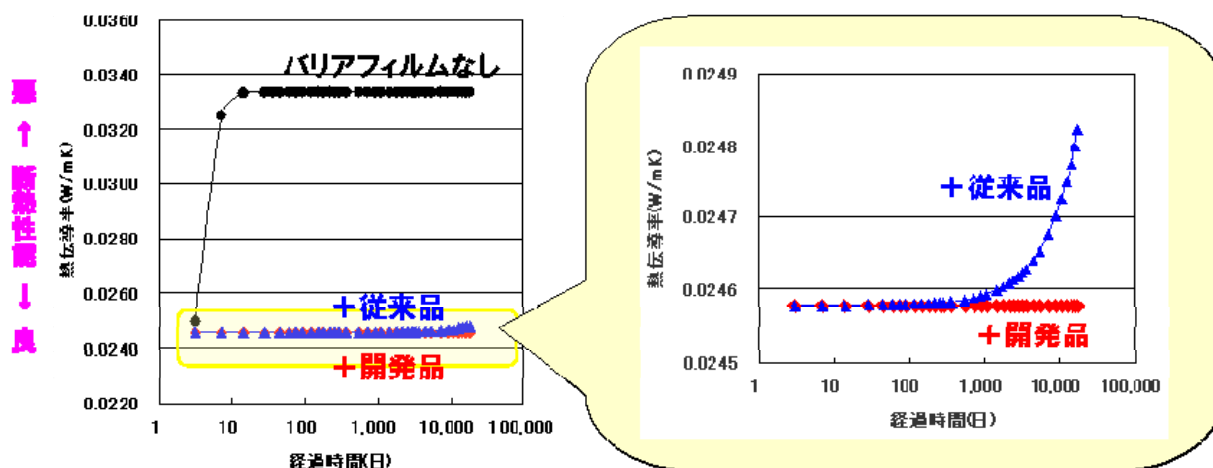


図 3.2.1.5.1.6 経時断熱性能予測

### ⑤新規建材材料の基本設計

バリアフィルムを他の断熱メーカーに提供し、断熱性能の耐久性向上を確認。今後、新規断熱材として展開できないか検討する。

また、バリア梱包形態に適したパネル工法を取り入れている住宅メーカーとの取り組みを検討中。

⑥大型発泡プロセスの確立

スケールアップ時の最大の課題である発泡斑について、ダイの改良及び押し出し条件の最適化により、均一化の目処を得た。

高倍率発泡に適したテーパー長の長い発泡ダイについてプロセスデータの採取が完了し、押し出し装置の吐出量にあわせてテーパー構造を最適化できるダイ設計指針を確立した。

⑦発泡／バリア配合技術の確立及び⑧連続製造プロセスの確立

マイクロ／ナノ発泡体をハイバリアフィルムで梱包する技術について、梱包方法及びシール条件の選定を完了し、発泡工程から連続で製造出来るプロセスを開発中。

発泡体の作成、切断、梱包を実用的な速度で連続して製造できるプロセス設計と同プロセスでの製造コストの精査を実施中。

⑨実用価値の実証

住宅及び家電メーカーで顧客評価を開始したが、まだサンプルが小さく、本格的な評価に至っていない。

サンプルの大型化を進め、顧客評価にて、断熱性能、耐久性能等の特性と製造コストが市場の要求に合致することを実証し、用途の見極めを行う。

⑩年度毎の特許、論文、外部発表等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H19FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H20FY	5件	0件	0件	0件	0件	0件
H21FY	6件	0件	2件	0件	0件	3件
H22FY	5件	0件	0件	0件	0件	1件
H23FY	6件	0件	0件	0件	0件	3件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)



### 3.2.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロンの押出発泡体の研究開発」(委託事業、共同研究)

#### (1) 目標の達成度

本プロジェクトにおける研究開発の推進により以下の成果が得られ、目標を概ね達成した。下表に各研究開発項目の達成状況を示した。

表 3.2.1.5.2.1 各研究開発項目達成状況

項目	目標	成果	達成度	
(1) 高断熱化技術の調査	発泡体構造モデルの考案・試作・効果検証	適正モデル選択, モデル設計, 方針明確化	多層構造モデルの選択。 多層発泡体構造での熱伝導率低減可能性を示唆。 熱伝導率低減目標値、研究開発の方向性明確化。	◎
	樹脂、発泡剤、配合剤の探索	配合、処方、絞込み	樹脂、発泡剤候補の絞込み。配合剤の候補抽出。	◎
(2) 高断熱化多層押出発泡体の開発	多層押出発泡成形技術の開発	押出発泡成形方式の絞り込み。 基礎検討用設備の設計・製作。 押出発泡成形課題(構成、処方、成形条件)の抽出と改善。	・多層発泡体構造モデル実現の押出発泡成形方式を絞り込み、基礎的検討用設備を製作。 ・多層構造モデルの押出発泡成形確認、設備、成形条件、配合面の課題抽出と改善による適正化。	◎
	高断熱化を実現する多層押出発泡体の開発	構造設計の方向性絞り込み。 押出発泡成形性、熱伝導率低減のための処方、成形条件の確立。 目標熱伝導率の達成。	・多層構造の発泡体試作評価による熱伝導率低減効果の確認。 ・発泡体セル構造制御による熱伝導率低減効果の確認。 ・設備、処方、構造、成形条件面の構成要件の詳細検討、適正化により、初期熱伝導率0.024W/m・K以下、プロジェクト目標値の達成を確認するとともに、25年経過後熱伝導率0.030W/m・K以下と推定した。	◎
(3) スケールアップに向けた発泡体の高断熱化多層化獲得	スケールアップ・製品化に向けた構成、処方の設定	製品仕様決定	・熱伝導率低減のための多層発泡体構造、セル構造の方向性を明確にした。 ・熱伝導率経時変化抑制について、多層発泡体構造での到達レベルをシミュレーションにて推定した。	○
	スケールアップ・製品化に向けた設備仕様、成形条件の設定	スケールアップ設備仕様決定	・多層発泡体構造を得るための設備・成形条件について課題を抽出・対策立案を行い、設備仕様・成形条件の方向性を明確にした。 ・小スケール設備での検討結果を踏まえ、スケールアップ設備を構想し、概略設備仕様を設定した。	○
(4) ターゲット設定と事業化構想立案	事業化構想立案	・製品開発の方針を設定。 ・事業化の見通しに対する現状分析と対応方針を設定した。	○	

達成度： ◎：大いに達成， ○：達成， △：達成見込み， ×：未達

#### (2) 成果

以下、具体的な成果を示す。

##### ① 高断熱化技術の調査

###### (A) 発泡体構造モデルの考案・試作・効果検証

- ・既存の発泡体を用いた「多層構造モデル」を考案し、熱伝導率の低減による高断熱化の可能性について調査した。試作した多層構造モデルの評価により、熱伝導率低減の可能性があることが示唆された。
- ・この検討より、熱伝導率の目標値を設定し、研究開発の方向性を明確にした。

###### (B) 樹脂、発泡剤、配合剤の探索

- ・断熱性、押出発泡成形性、自社設備での生産性等の観点から、樹脂、発泡剤の候補を絞り込んだ。
- ・多層構造モデルを用いて配合剤の探索を行い、配合剤の候補を抽出した。

## ②高断熱化多層押出発泡体の開発

### (A) 多層押出発泡成形技術の開発

- ・多層構造モデルを実現するための押出発泡成形方式を調査し、基礎的検討用設備を設計、製作した。
- ・押出発泡成形にて多層構造モデルを実現する押出発泡体の作製が可能であることを確認し、設備面、成形条件面、樹脂など処方面での課題を抽出して、改良する設備の仕様・設計に反映させた。
- ・検討結果より改良型設備を設計、製作し、改善効果を確認した。目的とする高断熱性多層押出発泡体を得るための設備面、発泡成形条件面、発泡成形に適した樹脂特性など樹脂、発泡剤処方面の課題を抽出し、改善策を立案した。

### (B) 高断熱化を実現する多層押出発泡体の開発

- ・多層構造からなる押出発泡体の試作評価により、熱伝導率低減などの効果を確認した。
- ・多層構造からなる押出発泡体において、当社が独自に開発した気泡構造の形成が可能であること、さらに気泡構造の制御を行うことで熱伝導率の低減が可能であることを確認した。
- ・設備面、成形条件面、処方、発泡体構造の構成要件の詳細な検討を行い、初期熱伝導率  $0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$  以下、プロジェクト目標値の達成を確認するとともに、25年経過後熱伝導率  $0.030\text{W/m}\cdot\text{K}$  以下を推定した。

## ③スケールアップ・製品化に向けた高断熱化多層押出発泡体の技術獲得

### (A) スケールアップ・製品化に向けた構成、処方の設定

- ・多層構造、気泡構造と熱伝導率の関係をより詳細に検討し、熱伝導率低減のための多層構造、気泡構造の方向性を明確にした。

### (B) スケールアップ・製品化に向けた設備仕様、成形条件の設定

- ・多層構造からなる押出発泡体を得るための設備・成形条件について課題を抽出し、改善策の検討を行い、設備仕様・成形条件の方向性を明確にした。
- ・スケールアップ設備を構想し、設備仕様を設定した。

## ④市場ターゲット設定と展開の可能性の明確化

- ・前記①～③の項において獲得された成果に基づき、製品開発の方針を決定するとともに、事業化の見通しに対する現状認識を整理し、対応方針を決定した。

## (3) 成果の意義

### ①高断熱化技術の調査

成果：モデル実験により熱伝導率低減効果を検証、材料設計方針明確化。

⇒ 特許出願済

意義：技術的根拠の明確化。研究／開発におけるスタイル確立、効率的運用。

### ②高断熱化多層押出発泡体の開発

成果：多層構造の採用。構成、配合剤、セル構造の適正化により高断熱成形体作製。⇒ 特許出願済

意義：・発泡製品における新しい発想の熱伝導率低減策を提案。

・熱可塑性樹脂発泡体における世界最高レベルの断熱性確認。

(プロジェクトの目標に対し、技術対応の可能性を提示)

### ③スケールアップ・製品化に向けた高断熱化多層押出発泡体の技術獲得

成果：・プロジェクト目標値達成可能な製品向け構成を絞り込み、仕様を策定。

・スケールアップ設備の基本構想立案。

意義：製品サイズへの展開可能性を確認。

#### ④ターゲット設定と事業化構想立案

成果：開発ターゲットを設定し、事業化構想を立案した。

意義：社会（市場／規制）動向に対応できる事業展開の可能性を確認。

#### （４）成果の普及

表 3.2.1.5.2.2 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H 1 9 F Y	1	0	0	0
H 2 0 F Y	2	0	0	0
H 2 1 F Y	4	0	0	0
H 2 2 F Y	2	0	0	0
H 2 3 F Y	7	1	0	0

### 3.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

#### 3.2.2.1 計測技術開発

##### 3.2.2.1.1 東京工業大学「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」

(委託事業)

発泡材料の熱伝導を効率的に評価する非定常法ベースの測定法の基礎を確立させた。温度波の伝搬を、ヒーター、熱バッファ板、温度センサー、参照試料、温度センサーという5要素直列で構成される測定プローブで解析できることを明らかにし、圧着した材料への浸透する温度波の量的変化から、材料間の熱伝導率の差異を求める解析する方法を確認し、測定システムとして完成させることを目標に下記の研究項目を実施した。

- (1) 温度波を用いた方法論の確立と各種プローブの作製および評価
- (2) 測定機に必要な電子回路の設計と、解析プログラムの開発
- (3) ハンディな測定機としてのプロトタイプの開発
- (4) 高感度な温度波解析プローブの開発
- (5) 各種試料でのデータ収集

温度波減衰を厳密に測定する方法で、発泡断熱材等熱的に絶縁性の高い材料の熱伝導率測定装置の試作に成功した。空気、水、発泡スチレン等を標準物質として、熱伝導率既知の材料と比較する方法で、振幅減衰から熱伝導率へ換算する方法を明らかにした。

#### (1) 温度波を用いた方法論の確立と各種プローブの作製および評価

ここでいうプローブとは、交流熱源と参照試料からなり、被対象物圧着する温度波センサーである。

図 3.2.2.1.1.1 は、作製されたプローブの模式図である。

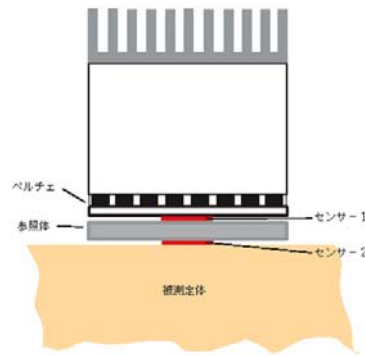


図 3.2.2.1.1.1 プロブの模式図

熱伝導率、熱拡散率等が既知の平行平板でその両側に高感度の温度センサーを貼り付けてある。測定は熱源側の温度振幅と被測定物側の温度振幅の比として常にモニターされる。この比は、被測定物の熱的性質で変化するが、参照試料を適当な厚さに選択するとヒーターへの影響を無視できる条件（表裏での減衰が35%程度）が設定でき、安定したデータをとることができた。熱源としては、スパッタリングで取り付けられたヒーター、ペルチェ素子を検討したが、後者が安定であること、断熱材測定では1Hz以上の高周波数測定が不要であることから採用することとした。温度計測は、熱電対、サーミスター、抵抗体温度計などテストしたが、製作安定性、感度の点で、熱電対のサーモパイルとした。

参照試料は、被測定物と類似の物質が最良であるが、発泡系の材料は安定せず、また発泡構造に依存するなど難点がおおいと判断し、比較的内部の構造に異方性のないアクリル板を採用した。厚さは、周波数帯に応じて。0.5 から 3mm まで実験したが、標準として 2mm、周波数で 0.05Hz、入力側の温度波振幅で約 2℃、裏面での減衰比が 0.5-0.2 程度が適当と判断した。最終的に採用されたプロブは図 3.2.2.1.1.2 に示されるが、温度センサーは5本の銅コンスタンタン熱電対のサーモパイルで、有効な測温面積は1×5mm と狭く、周囲の面積はガードヒータとしての役割を持たせてある。

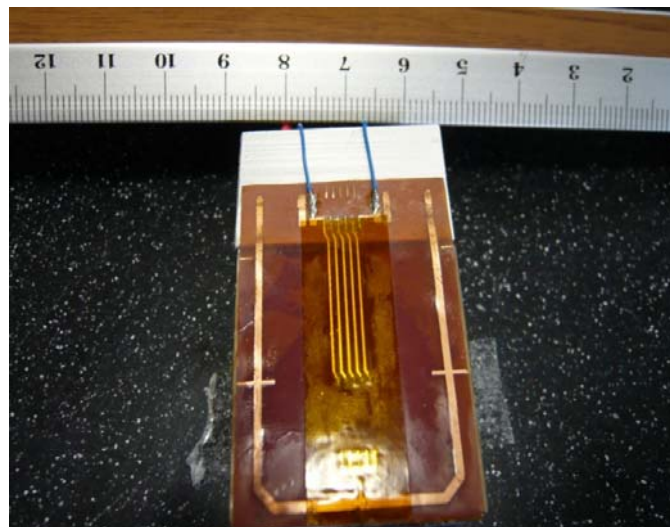


図 3.2.2.1.1.2 最終的に採用されたプロブ

赤外カメラ像出見ると、ペルチェ素子の表面はほぼ一様に温度変化し、アクリルの参照試料の上部でも問題なく測定できていることが確認された。図 3.2.2.1.1.3 は、実際の赤外カメラ像と微分像を示すが、微分像では輻射率の影響がキャンセルされていることがわかる。

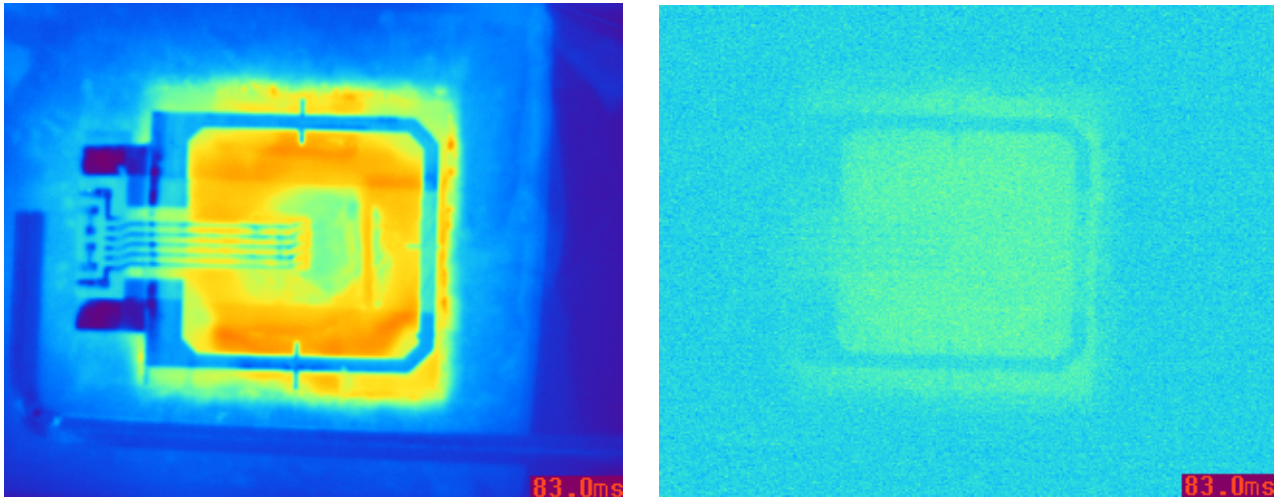


図3.2.2.1.1.3 プロブの発熱状況

左の写真は被測定物から見た温度分布色の分布は配線材の輻射率を反映している。右図は微分画像で、温度の変化分のみ抽出されている。ペルチェは一様に発熱し、中心の5本のサーモパイルに対し周囲がガードヒータの役をはたしていることがわかる。

#### (2) 測定機に必要な電子回路の設計と、解析プログラムの開発

本測定は最終的に市販装置を目指していること、独自の метод論であることから、プローブはもとより、プリアンプ、AD変換回路、積算用CPU、パーソナルコンピュータとのインタフェースを設計し、製作した。温度波の評価は、ピーク温度ではなく波形全体の積分強度から算定した。ペルチェ素子へ供給される電圧（サイン波）を基準として、ポリマー板のヒーター側、被測定物側の3つについて同時に求めて、振幅比ならびに位相遅れを測定できる。

またプログラムも独自開発であるが、代表的な表示画面を図3.2.2.1.1.4に示す。設定条件の変更、測定状況のモニター、結果の保存ができるようになっている、測定は条件設定をすると自動的に繰り返し測定を行え、多数のデータ収集から統計的な処理が可能となる。



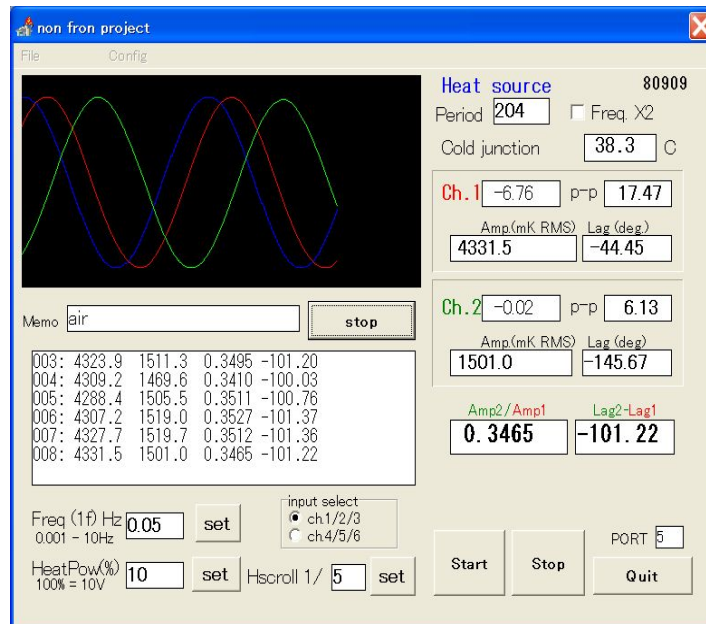


図 3.2.2.1.1.4 開発中の制御・解析プログラムの表示画面

ブルーラインがペルチェへの供給電圧、赤が PMMA 参照板の裏面の温度波形、緑がサンプルと接した面のサーモパイル出力振幅比  $Amp\ 2/Ama1$  から熱伝導率を換算する測定条件の設定測定結果の保存など装置としての必要事項はすべて盛り込んだ。

### (3) ハンディな測定機としてのプロトタイプの開発

装置全体は図 3.2.2.1.1.5 に示される。ケースのサイズは A4 である。プローブ部分は、ペルチェ素子を冷却するためのヒートシンクが主たる重量であるが、300g 程度、アンプ本体がコードを含めて 800g 程度であり、熱伝導率測定システムとしては例外的に小型軽量である。また小型化のメリットとして、持ち運びのはほか、測定機自体の省エネルギー化が特筆される。本機は約 10W であり、驚異的な省エネルギーマシンとなっており、本プロジェクトの最終目的である地球温暖化防止に大いに貢献することとなる。

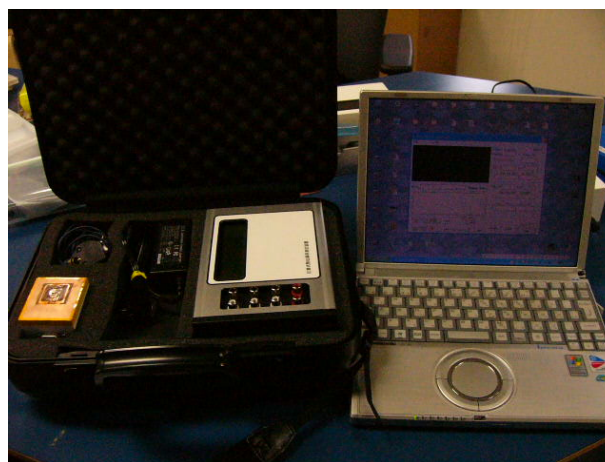


図 3.2.2.1.1.5 装置全体

### (4) 高感度な温度波解析プローブの開発

断熱材は、きわめて微細な変化を知る必要がある。そのために分解能として、0.001W レベルを必要とするが、これをクリアするために、温度計測の高感度化が不可欠である。本研究では図 3.2.2.1.1.6 に

示すような 5 本の熱電対を直列につないだサーモパイルを採用したが、本数を増すことで高感度を図ることができた。ただし、計測面積を小さくして精度を上げるには、高密度配線および熱容量の軽減が重要である。現段階では 5 本であるが、リソグラフィ技術などを駆使して、現在の 5 倍程度の感度を有するプローブ開発する指針を得た。

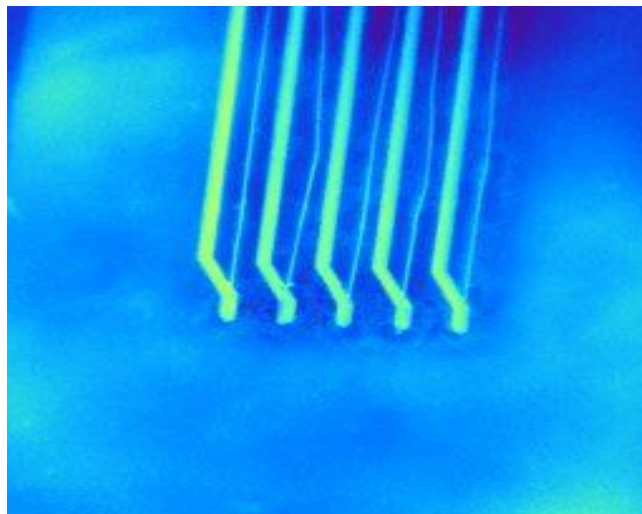


図 3.2.2.1.1.6 5 本の熱電対を直列につないだサーモパイル

#### (5) 各種試料でのデータ収集

暫定的な標準測定 0.05Hz、2mm プローブで各種の発泡材、標準物質、真空断熱材などを測定した。減衰比から熱伝導率への換算は、熱伝導率既知の材料特に空気を標準として比較法で換算した。交流法では、空気などの気体でも対流の影響は軽微で、測定方向や振幅、周波数などを変化させても非線形な結果は得られていない。ただし、風を当てるなどの強制対流にはきわめて敏感であった。結果の一例を図 3.2.2.1.1.7 に示した。当方法での結果と定常法での結果に若干のばらつきがあるが、これは、測定材料が真空断熱材など複合系であることが多く、表面の影響などが測定法で影響を受けることを反映していると考えられる。交流法測定では周波数がパラメータとして選択できるので、今後詳細な検討を加える。

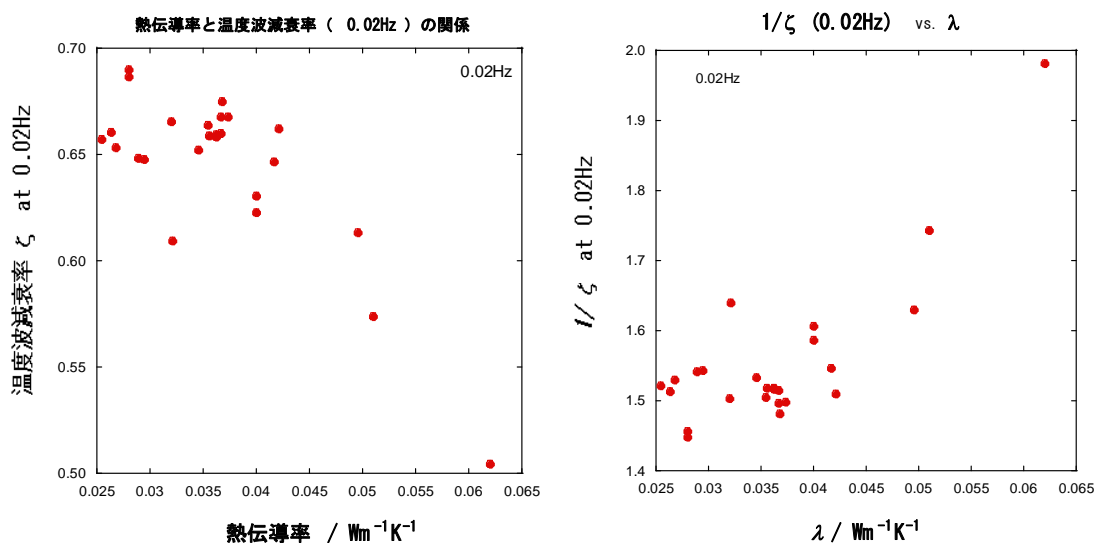


図 3.2.2.1.1.7 測定結果の確認 (一例)

測定結果の例 左図は定常法で測定された見かけ熱伝導率に対しての温度波減衰率。右図は減衰率の逆数に対してプロットしたもので、一定の相関をもって直線に乗っていることがわかる。断熱材は厚み方向

に複雑な構造があり、測定法に依存する部分が多い。

#### (6) 成果の普及

表 3.2.2.1.1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許	研究発表・講演 (口頭発表含む)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H19FY	0	1	0	0
H20FY	0	2	0	0
H21FY	0	0	0	0

### 3.2.2.2 評価技術開発

#### 3.2.2.2.1 一般財団法人建材試験センター

##### 「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価」（委託事業）

#### (1) 目標、研究開発成果及び達成度

本プロジェクトの目標、研究開発成果及び達成度を下記に示す。研究開発成果である、各研究テーマの実用性評価方法は、添付資料に示す。

表3.2.2.2.1.1 研究開発成果及び達成度

目標	成果	達成度	今後の課題
断熱材および断熱性能測定技術の総合的な実用性を評価できる評価方法（ガイドライン）の作成 ①革新的ノンフロン系断熱材 ②断熱性能測定技術	2種類の評価方法（ガイドライン）を作成 ※総合的な実用性の評価方法の体系化は世界初	◎	なし
開発した評価方法（ガイドライン）の公開	ウェブサイトにて公開	◎	なし

#### 《添付資料》

1. 実用性評価指針（断熱建材の実用性評価／断熱性能測定技術の実用性評価）
2. 自己評価表（断熱建材の実用性評価／断熱性能測定技術の実用性評価）
3. 発泡プラスチック系断熱材の断熱性能変化の簡易予測ツール
4. LCCO<sub>2</sub> 簡易計算ツール計算結果例

#### (2) 新聞・雑誌等への掲載

本プロジェクトで開発した評価方法を、一般財団法人建材試験センターの発行する建材試験情報に掲載した。



## 断熱性能測定技術の評価方法の開発 革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価 (測定法評価技術検討部会)

萩原 伸治

### 1. はじめに

環境問題、廃棄物問題など社会的背景により、平成21年6月4日に「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が施行された。これは、従来のフロー消費型からストック型への転換を目指したものであり、劣化対策、耐震性、省エネルギー性などの性能を高くし、良質な住宅とすることで住宅の価値を高めるものである。また、平成21年12月8日に「明日の安心と成長のための緊急経済対策」が閣議決定され、平成22年1月28日に平成21年度2次補正予算が成立したことを受け、経済産業省、国土交通省、環境省の三省合同事業として住宅版エコポイントが開始された。

これらは、ある一定の基準、性能を満たした建物や、製品を使用することにより優遇措置を行うもので、環境対策や経済活性化を図ることを目的としたものである。

長期優良住宅、住宅版エコポイントにも大きく関係する省エネ化については、これらが開始される以前から対策が行われており、その一例として断熱性能の向上が挙げられる。断熱性能の向上のためには、壁などを例に挙げると、熱抵抗を大きくすること、熱伝導率が小さい断熱材などを適切な厚さで施工することが重要である。

しかし、断熱材の熱伝導率を小さくするために使用されていたフロン類は、オゾン層破壊、地球温暖化など地球環境への影響が大きく、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書（1987年）、京都議定書（1997年）などによりその使用は規制され、またこれらに関連する法律などにより使用制限、廃止されている。フロン類は数種類あり具体的にオゾン破壊係数、地球温暖化係数などによりその影響の大きさが示されている。これまで使用されてきたフロン類を使用した製品に関しては、フロン回収・破壊法などにより、廃棄時の処理実施が義務付けられている。このような社会的な情勢の中、断熱材もノンフロン化が進み、発泡系断熱材のJISは、ノンフロン品、フロン品の区分が表示されるようになった。

28

一般に、ノンフロン系断熱材は、従来のフロン類を使用した断熱材より熱伝導率が高いという傾向がある。この状況を解決するために、現在様々なノンフロン系断熱材の開発が行われている。

一方、熱伝導率が小さなノンフロン系断熱材が開発された際、熱伝導率を測定する技術・装置はその性能を評価できるか、という課題がある。断熱材の開発と合わせて、測定技術・装置の開発、及びその測定技術・装置の実用性に対する客観的な評価が必要となる。

### 2. 測定法評価技術検討部会について

本プロジェクトは、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）で実施されている「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」においてノンフロン系断熱材の開発、新しい断熱性能の測定技術開発、断熱材及び熱伝導率測定技術の実用性の評価などを行うことを目的としている。

その中の1テーマとして本報告で示す「測定法評価技術検討部会（部会長：加藤信介 東京大学教授）」は、断熱材の熱伝導率を測定する際の技術に対して、その実用性を客観的に評価できるツールを作成し、またその実用性評価を実施することが目的である。測定技術の実用性評価を行うため、本部会においては実用性評価指針と自己評価表の作成を行っている。

本報告は、部会において昨年度まで取りまとめた成果について報告するものである。

### 3. 評価実施例

#### 3.1 評価方法

ここでは、本部会が昨年度までに作成した評価指針（案）、自己評価表（案）に基づき評価を実施した一例を示す。

評価を行う際のフローを図1に示す。

財団法人試験センター 建材試験情報 10'10

図 3.2.2.2.1.1 建材試験情報（2010年10月号より）<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 萩原伸治. 断熱性能測定技術の評価方法の開発 革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性 評価（測定法評価技術検討部会）, 2010, 7p, [http://www.jtccm.or.jp/library/jtccm/public/mokuji10/kikansi/1010\\_naibu.pdf](http://www.jtccm.or.jp/library/jtccm/public/mokuji10/kikansi/1010_naibu.pdf).



## 断熱建材の実用性評価指針

### 1 適用範囲

本指針は、建築物に使用されることを想定して開発された断熱建材の実用性評価に適用する。本指針では、後述する開発フェーズのうち、フェーズ1からフェーズ3までを対象とする。

実用性評価とは、開発された断熱建材の性能・品質などに関する実用性を、試験、シミュレーションなどによって工学的に検証するシステム及びその検証行為をいう。この実用性評価は、併せて環境性能、経済性などを検証し、使用上または普及上の合理性を評価するものである。

なお、一部の断熱建材が持つ特殊な性能（透光性や空気浄化など）に対する評価は想定していない。

- ・ 解説) 本指針は、NEDO 技術開発機構の「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」において開発された断熱建材を対象としている。但し、本指針は一般の断熱建材にも適用可能であるため、適当な時期に公開することを想定している。

### 2 用語の定義

本指針に用いる用語を以下のように定義する。

- a) **断熱材** 断熱性能を有する材料をいう。以下に例示する。
  - 1) 発泡系断熱材 ポリウレタン、ポリスチレン、ポリエチレン、ユリア樹脂、フェノール樹脂、その他を発泡した断熱材
  - 2) 繊維系断熱材 グラスウール、ロックウール、セルロース、その他の繊維状の断熱材
  - 3) その他（新素材、新構造などを含める）
- b) **断熱製品** 断熱材を用いた断熱パネルなどの製品をいう。
- c) **断熱建材** 断熱材及び断熱製品をいう。
- d) **実用性能** 断熱性能を主とした、実用にあたって必要な性能をいう。なお、断熱建材の使用目的によって必要な実用性能は異なる。断熱性能以外の実用性能を以下に例示する。
  - 1) 防湿性能、気密性能、形状安定性能、その他（強度、難燃性、作業性など）の使用に係わる性能
  - 2) LCCO<sub>2</sub> など環境性能
  - 3) LCC など経済性
- e) **断熱性能** 断熱建材に要求される最も重要な性能である。熱伝導率が基準値以下である場合、「必要な断熱性能を有する」という。また、工場出荷時の断熱性能を初期断熱性能といい、施工後 25 年程度経過した時点での断熱性能を長期断熱性能という。
  - ・ 解説) 本プロジェクトにおける初期断熱性能の基準値は熱伝導率 0.024W/mK である。

f) **開発フェーズ** 断熱建材の開発段階を以下に区分する。

- 1) フェーズ0 基礎研究段階 断熱建材の最も基本的な事項を計画・研究する段階
- 2) フェーズ1 断熱性能検証段階 必要な断熱性能を満たすことを検証する段階
- 3) フェーズ2 実用性能検証段階 必要な実用性能を明確にし、これを満たすことを検証する段階
- 4) フェーズ3 製品化段階 実用性能を有する製品の量産可能性を検証する段階
- 5) フェーズ4 製品出荷段階 製品としての出荷を開始する段階

### 3 実用性評価の前提

実用性評価は次の項目を前提として行われる。フェーズ1では a)~c)を、フェーズ2では、a)~f)を前提とする。フェーズ3においては、量産試作したものについて、全ての項目が明確であることを前提とする。

- a) 開発目的及び目標が明確であること
- b) 開発した技術の実現可能性とそれを証明する資料・データを有すること
- c) 使用する材料の化学的・物理的特性を示すデータを有すること
- d) 用途、使用条件などが具体的であること
- e) 輸送、保管、施工などの方法が具体的であること
- f) 環境負荷低減のための計画や目標が具体的であること
- g) 製品価格や関連コストなどの算定が具体的であること
- h) 上記以外で、必要と考えられる項目が具体的であること

### 4 実用性評価の手順及び実施方法

実用性評価は、断熱建材の開発者が、開発のフェーズ毎に定める自己評価表に基づいて行う「一次評価」と、この自己評価結果を基に第三者が行う「二次評価」からなる。原則として、フェーズ1及びフェーズ2では一次評価を行い、フェーズ3では一次評価並びに二次評価を行う。

二次評価は、開発された断熱建材の使用者やエンドユーザー、有識者などの第三者が行う。なお、これらで構成される評価委員会を立ち上げてよい。

また、フェーズ1においては、必要な断熱性能を満たすことが確認できなくとも、これを満たすことが十分に期待できる場合はフェーズ2に進むことができる。

### 5 一次評価

一次評価は、5.1の項目に対し、5.2の方法により開発者が実施する。

#### 5.1 評価項目

フェーズ1では断熱性能のうち初期断熱性能の評価を行い、さらに長期断熱性能確保の考え方を評価する。フェーズ2及びフェーズ3では実用性能の評価を行う。なお、長期断熱性能の評価は主にフェーズ2で行う。フェーズ3における評価は製品化に際し、フェーズ2から追加・変更した事項について重点的に評価を行い、さらに経済性の評価をより具体的に行う。評価項目の詳細は、各フェーズの自己評価表で別途定める。

## 5.2 検証・試験方法

規格等に定められている方法により行う。検証・試験方法の詳細は、各フェーズの自己評価表で別途定める。

## 6 二次評価

二次評価は、一次評価結果の技術的合理性を検証した後、更に検証の必要がある項目を整理し、これを評価する。評価方法は一次評価に準ずる。

## 7 評価結果報告書

評価結果報告書に以下を記載する。

- a) 評価実施者、実施日、開発フェーズ
- b) 評価の前提項目
- c) 必要な評価項目の整理
- d) 各評価項目の評価結果
- e) 総合的な評価結果
- f) その他、特記すべき事項

(参考) 開発フェーズごとの評価内容

開発フェーズ	実施する評価	評価する項目
フェーズ1	一次評価	断熱性能
フェーズ2	一次評価	実用性能
フェーズ3	一次評価/二次評価	実用性能

断熱材開発自己評価表

◎：必ず評価 ○：できれば評価 △：必要に応じ評価

大項目	中項目	No.	小項目	フェーズ1 断熱性能検証段階 必要な断熱性能を満たすことを検証する段階	フェーズ2 実用性能検証段階 必要な実用性能を明確にし、これを満たすことを検証する段階	フェーズ3 製品化段階 実用性能を有する製品の量産可能性を検証する段階	
1. 開発に係わる項目	使用目的	1-1	使用用途	—	◎ ・使用用途（例えば、木造充填断熱・外張断熱・吹込断熱・吹付断熱、RC造内断熱・外断熱・吹付断熱・打込断熱、断熱改修など）を明確にする。	◎ ・同左	
		1-2	使用部位	—	○ ・使用部位（例えば、壁、天井、屋根、床、基礎など）を明確にする。	◎ ・同左	
		1-3	使用環境	—	◎ ・使用環境（例えば、常温、高温、低温、高温など）を明確にする。	◎ ・同左	
	原理	1-4	低λの原理（初期性能）	◎ ・低λの原理を論理的かつ科学的に説明する。	◎ ・同左	◎ ・同左	
		1-5	低λの原理（長期性能）	△ ・長期的に低λに保つ原理の有無を記す。	○ ・製造後に考えられる劣化要因（例えば、熱、水分、湿気、発泡ガスの放散、振動など）を整理し明確化する。 ・長期的に低λに保つ原理がある場合、それを論理的かつ科学的に説明する。	◎ ・製造後に考えられる劣化要因を整理し、その原因を論理的かつ科学的に説明する。	
2. 使用に係わる性能項目	初期性能	断熱性	2-1	熱伝導率	◎ ・適切な試験方法に基づき性能を測定し、熱伝導率が0.024 W/m・K以下であることを確認し、その結果を記す。また、選定した測定方法、測定条件〔製造後（現場発泡の場合、施工後）の経過時間、熱流方向、平均温度、温度差など〕などを明記する。	◎ ・同左	◎ ・同左
			防湿性	2-2	透湿抵抗・透湿係数	—	○ ・適切な試験方法に基づき性能を測定し、その結果を記す。その際には、試験方法及び試験条件を記す。該当あるいは類似する材料のJIS規格又はその他の規格等で性能が要求されている場合は、規格値を満たしている事を確認する。
		2-3		吸水率	—	○発ブラ系 △繊維系 ・同上	◎発ブラ系（現場発泡を除く） ○発ブラ系（現場発泡） △繊維系 ・同上
		気密性	2-4	透気度	—	○発ブラ系 △繊維系 ・同上	○発ブラ系 △繊維系 ・同上
		形状安定性	2-5	製造時寸法安定性・厚さ安定性 ・そり、変形 ・バラツキ	—	○ ・同上	◎ ・同上
		その他	2-6	圧縮強さ	—	○発ブラ系 △繊維系 ・同上	◎発ブラ系 △繊維系 ・同上
			2-7	圧縮弾性率・クリープ	—	△ ・同上	△ ・同上
			2-8	曲げ強さ・曲げ弾性率	—	△ ・同上	△ ・同上
			2-9	引張強さ	—	△ ・同上	△ ・同上
			2-10	せん断強度・せん断弾性率	—	△ ・同上	△ ・同上
			2-11	自己接着性	—	○発ブラ系（現場発泡） △発ブラ系（現場発泡を除く）、繊維系 ・同上 ・対象とする躯体（面材）を記載する。	◎発ブラ系（現場発泡） △発ブラ系（現場発泡を除く）、繊維系 ・同上 ・対象とする躯体（面材）を記載する。
			2-12	燃焼性	—	○ ・同上	◎ ・同上
				2-13	最高使用温度	—	△ ・同上

			2-14	作業性・施工性	—	△ ・従来品又は汎用品と比較した場合の、作業性・施工性の優位性を具体的に記す。作業性・施工性が変わらない場合や悪くなる場合はその旨を記す。 ・発泡系（現場発泡）で、プレミックス剤を製造後長期間（数ヶ月）貯蔵した後に施工する場合、施工時に所定の性能を確保している事を確認する。 ・繊維系で圧縮梱包した状態で輸送・保管する場合、施工時に所定の性能・寸法を確保している事を確認する。	◎ ・同左		
			2-15	その他 ・ガス有害性	—	—	○ ・火災（燃焼）時に発生する燃焼生成ガスの毒性を適切な試験方法により確認し、その結果を示すことが望ましい。		
		長期性能	断熱性	2-16	熱伝導率	○ ・長期的に熱伝導率が変化する可能性の有無を記す。また、変化の理由・要因を記載する。	◎ ・長期的な熱伝導率変化が生じる場合、その要因を整理し明確化する。 ・発泡プラスチック系断熱材は、「発泡プラスチック系断熱材の断熱性能変化の簡易予測ツール」により発泡ガスの放散に伴う熱伝導率の経年変化を予測し、その結果を示す。	◎ ・各性能変化要因に対して、適切な試験方法に基づき熱伝導率の経年変化を測定し、その結果を示す。 ・発泡プラスチック系断熱材は、「発泡プラスチック系断熱材の断熱性能変化の簡易予測ツール」により発泡ガスの放散に伴う熱伝導率の経年変化を予測し、その結果を示す。被覆層がある場合はこれを考慮することが望ましい。 また、従来品又は汎用品と比較し、その優位性を明確化すると共に、比較対象とした材料や種類を具体的に記す。	
				形状安定性	2-17	寸法安定性、厚さ安定性、密度安定性 ・密度制御パラメーター ・製品内密度分布の制御	—	◎ ・長期的に寸法、厚さ及び密度が変化する可能性の有無を記す。変化が生じる可能性がある場合、その要因（湿気、水分、熱など）を整理し明確化する。	◎ ・同左 ・適切な試験方法に基づき性能を確認し、その結果を示すことが望ましい。
				その他	2-18	耐溶剤性	—	◎ ・供用段階で断熱材の長期性能に影響を与えると考えられる溶剤（例えば、塩化メチル、アルコール類、アセトン、酢酸メチル、トルエン、キシレン、フタル酸エステルなど）を列挙する。	◎ ・同左 ・適切な試験方法に基づき性能を確認し、その結果を示す事が望ましい。
		3. 環境に係わる項目	環境負荷の有無	3-1	地球温暖化		◎ ・「LCCO2 簡易試算ツール」の方法1又は方法2を用いLCCO2を試算し、その結果を示す。また、従来品又は汎用品と比較し、その優位性を明確化すると共に、比較対象とした材料や種類を具体的に記す。	◎ ・フェーズ2と同様に「LCCO2 簡易試算ツール」を用いLCCO2を試算し、その結果を示す。なお、試算には可能な限り方法2を選択することが望ましい。	
3-2	エネルギーの大量消費					◎ ・2.性能に係わる項目 初期性能 2-1 熱伝導率の検証結果を基に、熱伝導率の区分を記す。なお、熱伝導率の区分は、(独)住宅金融支援機構の断熱材の種類による。 [熱伝導率の区分] □ A-1 : 0.052~0.051 W/m・K □ A-2 : 0.050~0.046 W/m・K □ B : 0.045~0.041 W/m・K □ C : 0.040~0.035 W/m・K □ D : 0.034~0.029 W/m・K □ E : 0.028~0.023 W/m・K □ F : 0.022 W/m・K 以下	◎ ・同左 ・断熱材の製造方法を明確化する。 ・製造、供用の各段階におけるエネルギー消費量を推計し、従来品又は汎用品との比較優位性を明確化すると共に、比較対象とした材料や種類を具体的に記す。		
3-3	資源の大量消費/使い捨て				○ ・製造段階における同一製品または他製品の再利用の有無を記す。	◎ ・製造段階における再生品の使用の有無を記す。再生品を使用している場合、その種類及び使用方法などを明確化する。 ・製造段階における資源消費量を推計し、従来品又は汎用品との比較優位性を明確化すると共に、比較対象とした材料や種類を具体的に記す事が望ましい。			
3-4	廃棄物 リサイクル方法			—	○ ・廃棄物の排出を抑制する配慮（例えば、自主回収、再利用・再資源化など）の有無を記す。	◎ ・廃棄物の排出を抑制する配慮の有無を記す。配慮されている場合は、その内容を具体的に記す。			



					・廃棄物が地域及び地区環境を著しく悪化させない配慮（例えば、第一種指定化学物質、第二種指定化学物質を含まないなど）の有無を記す。	・廃棄物が地域及び地区環境を著しく悪化させない配慮の有無を記す。配慮されている場合は、その内容を具体的に記す。 ・解体段階における廃棄物の分別、収集及び処分などの容易性（例えば、躯体や内装材との分離が容易、特殊な処理が不要など）を示す。
		3-5	地球環境に影響を与える有害物質 ・地球温暖化物質 ・オゾン層破壊物質	◎ ・温室効果ガスの排出の有無を記す。排出がある場合は、そのガスの種類とGWP（地球温暖化係数）を記す。GWPが関連法規又はその他の文献等で公表されている場合はその出典を明記する。値が公表されていない場合は、何らかの方法（例えば、類似するガスの値を記す等）で値を示すことが望ましい。 ・発泡剤を使用する場合、そのガスの種類とODP（オゾン層破壊係数）を記し、ODPが0であることを示す。	◎ ・フェーズ1と同様に温室効果ガスの排出の有無を記す。排出がある場合は、そのガスの種類とGWP（地球温暖化係数）を記す。GWPが関連法規又はその他の文献で公表されている場合はその出典を明記する。値が公表されていない場合は、何らかの方法で値を示すことが望ましい。また、その回収の可能性の有無についても記す。 ・フェーズ1と同様に発泡剤を使用する場合、そのガスの種類とODP（オゾン層破壊係数）を記し、ODPが0であることを示す。	◎ ・同左
		3-6	地域環境に影響を与える有害物質 ・大気汚染物質 ・水質汚濁物質 ・土壌汚染物質 ・難分解物	—	◎ ・関連法規で定められている有害物質（例えば、重金属、ハロゲン、リンなど）の含有あるいは排出の有無を記す。有害物質の含有あるいは排出がある場合は、その種類を記す。	◎ ・関連法規で定められている有害物質（例えば、重金属、ハロゲン、リンなど）の含有あるいは排出の有無を記す。有害物質の含有あるいは排出がある場合は、その種類を記す。なお、有害物質が含有していても、排出される可能性が無い場合は、その旨を記す。 ・関連法規で定められている有害物質の含有あるいは排出がある場合、適切な方法に基づき含有量あるいは排出量を調べ、基準値を超えていない事を確認する。また、従来品又は汎用品と比較し、その優位性を明確化すると共に、比較対象とした材料や種類を具体的に記す。
		3-7	居住環境に影響を与える有害物質 ・室内空気汚染物質		◎ ・室内空気汚染物質（例えば、ホルムアルデヒド、VOCなど）の放散の有無を記す。室内汚染物質の放散がある場合は、その種類を記す。	◎ ・適切な試験方法に基づき性能を測定し、その結果を記す。該当あるいは類似する材料のJIS規格又は関連法規等で規格値、又は基準値が定められている場合は、規格値又は基準値を超えていない事を確認する。
		3-8	その他			
4.	ライフサイクルコストに 係わる項目	4-1	製造 ・設備費 ・材料費 ・歩留まり	—	○ ・既存の製造設備の使用の可否及び新規の設備投資の有無を記す。 ・従来品又は汎用品と比較して、製造時の歩留まりの低下、直材費の上昇の有無を記す。	◎ ・フェーズ2で示す各項目について、従来品又は汎用品と比較してコストアップ又はコストダウンに繋がる要因を具体的に示す。また、明確な裏付けがある場合は併せて記す。
		4-2	輸送/保管 ・管理方法	—	○ ・従来品又は汎用品と比較して、輸送/保管時の温度・圧力管理、容量増加によるコストアップの有無を記す。	◎ ・同上
		4-3	施工 ・施工容易性・困難性	—	○ ・従来品又は汎用品と比較して、施工時の作業及び施工がコストアップに繋がるかを記す。	◎ ・同上
		4-4	供用 ・メンテナンス ・耐久性	—	○ ・従来品又は汎用品と比較して、供用時のメンテナンス及び耐久性がコストアップに繋がるかを記す。	◎ ・同上
		4-5	解体 ・解体容易性・困難性	—	○ ・従来品又は汎用品と比較して、解体時の分解、分離がコストアップに繋がるかを記す。	◎ ・同上
		4-6	廃棄/利用 ・処理費	—	○ ・従来品又は汎用品と比較して、廃棄/利用時の処理費増加の有無を記す。 ・特別管理廃棄物の有無を記す。	◎ ・同上



発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール(2010年度版)  
操作マニュアル目次

1	長期断熱性能簡易予測ツールの概要	1
2	熱伝導率変化の数値解析手法	3
2.1	熱伝導率変化	3
2.1.1	熱伝導率測定結果がない場合(フェーズ2)	
2.1.2	熱伝導率測定結果がある場合(フェーズ3)	
2.2	断熱材内分圧変化	7
2.2.1	被覆層がない場合	
2.2.2	被覆層がある場合	
2.3	物質移動係数と気体透過度の関係	11
3	簡易予測ツールの操作方法	13
3.1	インストールと起動	13
3.1.1	インストール	
3.1.2	起動	
3.2	操作手順	16
3.3	計算条件の入力	18
3.3.1	熱伝導率測定結果がない場合(フェーズ2)	
	(ア) 被覆層がない場合	
	(イ) 被覆層がある場合	
3.3.2	熱伝導率測定結果がある場合(フェーズ3)	
	(ア) 被覆層がない場合	
	(イ) 被覆層がある場合	
	(ウ) 熱伝導率測定値ファイルの読込	
3.4	発泡ガスデータベースの編集	24
3.4.1	発泡ガスデータベースの起動	
3.4.2	データの追加	
3.4.3	データの編集	
3.4.4	データの削除	
3.4.5	発泡ガスデータベースの終了	
3.5	初期値の編集	27
3.6	計算条件入力ファイルの保存・読込	28
3.6.1	保存	
3.6.2	読込	

3.7	計算の実行	30
3.8	計算結果の表示・保存	31
3.9	使用期間・アンインストール	34
	3.9.1 使用期間	
	3.9.2 アンインストール	

## 1 長期断熱性能簡易予測ツールの概要

発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能簡易予測ツール(ATLTTPIF.exe(Assessment Tool for Long-Term Thermal Performance of Insulation Forms、以降簡易予測ツールと記す)は、発泡プラスチック系断熱材を対象に、製造から約 50 年後までの長期的な熱伝導率変化を簡易的に予測するための計算プログラムである。

この簡易予測ツールは、長期断熱性能評価における各段階(以降、フェーズと記す)において、各フェーズに対応して熱伝導率変化などを検討するために用いることができる。また、断熱材に関する物性値と断熱材に用いられる発泡ガスや空気の物性値などに基づいて熱伝導率を構成する各要因や断熱材内の空気と発泡ガスの分圧変化に基づいて熱伝導率の変化を予測することができる。

図 1.1 に簡易予測ツールの概要を示す。長期断熱性能評価におけるフェーズ 2 と呼ばれる段階で簡易予測ツールを使用して熱伝導率変化を予測する場合には、断熱材の開発の初期段階で対象断熱材の熱伝導率変化に関する継続的な測定が行われていない場合において断熱材の使用期間(約 50 年)の熱伝導率変化を予測するために用いることを想定している。一方、フェーズ 3 と呼ばれる段階で簡易予測ツールを使用する場合には、開発中の断熱材が概ね製造段階に入り、対象断熱材の熱伝導率変化に関する数ヶ月程度以上の継続的な測定が行われている場合において、それ以降の熱伝導率変化を予測するために用いることを想定している。また、面材やスキン層などの被覆層は熱伝導率変化の主要な要因である断熱材周囲にある空気の断熱材内部への侵入と断熱材内部にある発泡ガスの周囲空気への拡散の抵抗として作用し、熱伝導率変化に大きな影響を与える。したがって、この簡易予測ツールでは、各フェーズにおいて対象断熱材の表面に面材やスキン層などの被覆層がない状態と被覆層がある状態の 2 つの被覆状態について検討することができる。

なお、これまでの簡易予測ツールでは、断熱材表面のみから空気と発泡ガスが移動し、断熱材裏面からの空気と発泡ガスの移動はないものとして、熱伝導率変化を予測することを想定していた。2010 年度版の簡易予測ツールでは、フェーズ 2 およびフェーズ 3 における検討において上記のような断熱材表面での物質の移動を考慮する場合のほか、断熱材の両面(表面と裏面)に面材などの被覆層を用いた場合においても検討することができる機能を追加した。

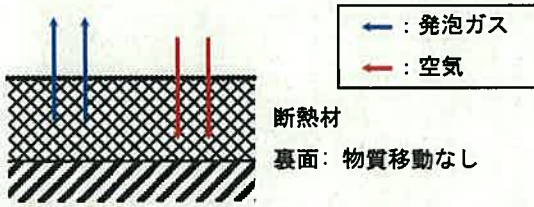
また、フェーズ 3 における検討では、対象断熱材の熱伝導率を測定した結果と計算結果の誤差を検討するための二乗平均平方根 RMS(Root Mean Square)を算出し、その結果を出力シートへの表示機能を追加した。

### 追加機能(2010 年度版)

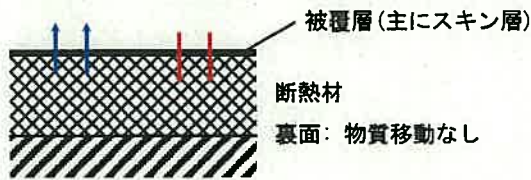
- (1) 断熱材の表面及び裏面に被覆層がある場合の熱伝導率変化の予測(フェーズ 2、3 共通)  
※ ただし、表面及び裏面の被覆層は同一素材のものに限る。
- (2) 二乗平均平方根 RMS の表示(フェーズ 3)

フェーズ2：熱伝導率測定結果がない場合

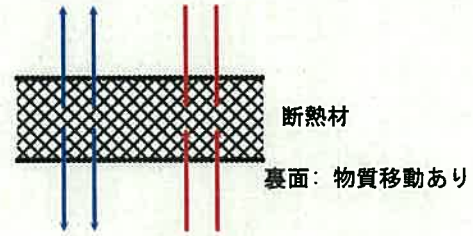
→ 熱伝導率変化



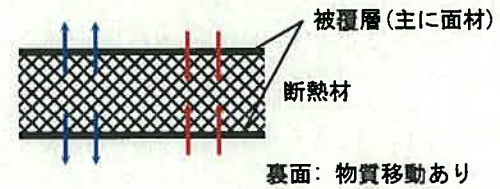
① 被覆層なし：片面



② 被覆層あり：片面



③ 被覆層なし：両面



④ 被覆層あり：両面

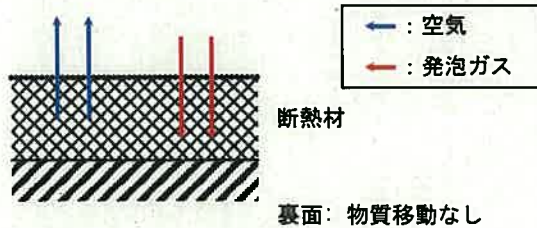
※ 点線枠内：2010年度版追加機能

フェーズ3：熱伝導率測定結果がある場合

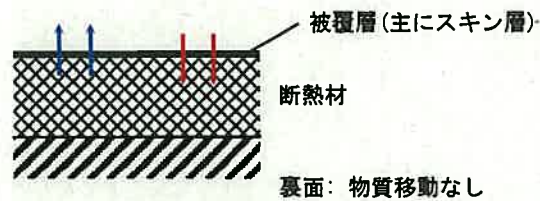
→ 熱伝導率変化

→ RMS (Root Mean Square)

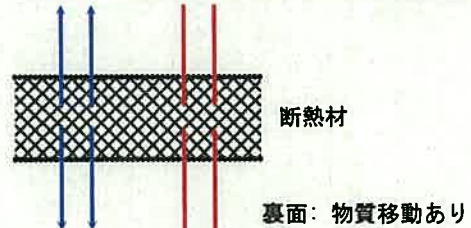
※ 2010年度版追加機能



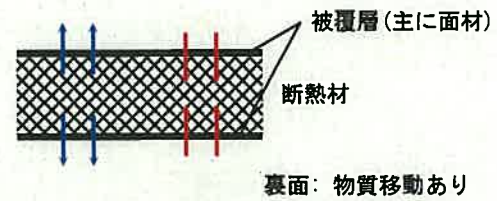
① 被覆層なし：片面



② 被覆層あり：片面



③ 被覆層なし：両面



④ 被覆層あり：両面

※ 点線枠内：2010年度版追加機能

図 1.1 簡易予測ツールの概要

### 3.3 操作マニュアル

簡単な操作については、入力シート上段に記している。備考欄にも入力についての(図3.2)本ツールは、東京における次世代基準(平成11年省エネ基準)の仕様規定を満たす戸建住宅(供用50年)に使用する断熱材を対象としている。

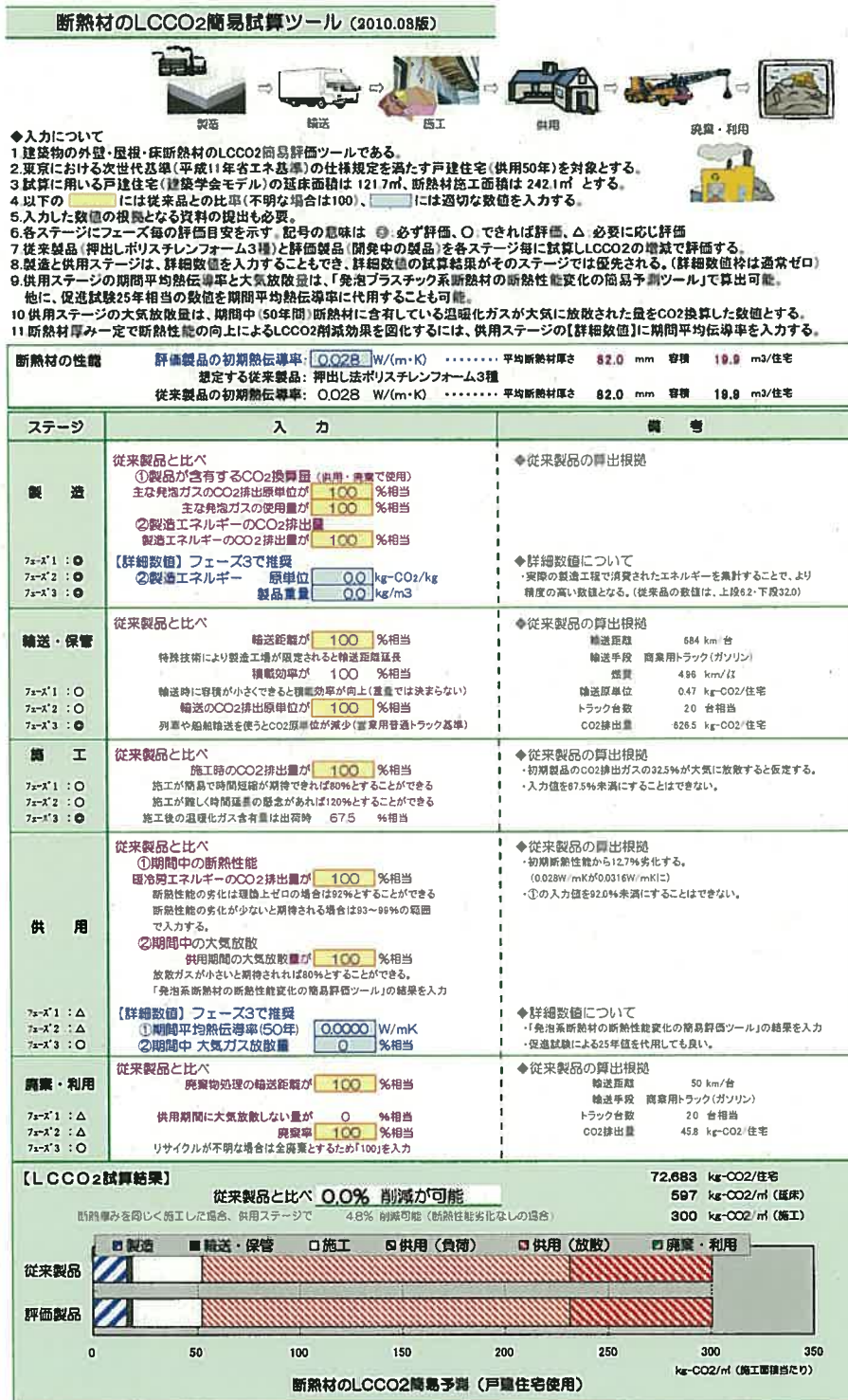


図3.2 入力シートイメージ



(1) 入力について



1. 建築物の外壁・屋根・床断熱材のLCCO2簡易試算ツールである。
2. 東京における次世代基準（平成11年省エネ基準）の仕様規定を満たす戸建住宅（供用50年）を対象とする。
3. 試算に用いる戸建住宅（建築学会モデル）の延床面積は 121.7㎡、断熱材施工面積は 242.1㎡ とする。
4. 以下の  には従来品との比率（不明な場合は100）、 には適切な数値を入力する。
5. 入力した数値の根拠となる資料の提出も必要。
6. 各ステージにフェーズ毎の評価目安を示す。（表3.1）

表 3.1 評価目安

ステージ	フェーズ1	フェーズ2	フェーズ3
製造	◎	◎	◎
輸送・保管	○	◎	◎
施工	○	◎	◎
供用	△	△	○
廃棄・利用	△	△	○

記号) ◎: 必ず評価、○: できれば評価、△: 必要に応じ評価

7. 従来製品（押し出しポリスチレンフォーム3種）と評価製品（開発中の製品）を各ステージ毎に試算しLCCO2の増減で評価する。
8. 製造と供用ステージは、詳細数値を入力することもでき、詳細数値の試算結果がそのステージでは優先される。（詳細数値枠は通常ゼロ）
9. 供用ステージの期間平均熱伝導率と大気放散量は、「発泡プラスチック系断熱材の断熱性能変化の簡易予測ツール」で算出可能。他に、促進試験25年相当の数値を期間平均熱伝導率に代用することも可能。
10. 供用ステージの大気放散量は、期間中（50年間）断熱材に含有している温暖化ガスが大気に放散された量をCO2換算した数値とする。
11. 断熱材厚み一定で断熱性能の向上によるLCCO2削減効果を図化するには、供用ステージの【詳細数値】に期間平均伝導率を入力する。

他に、入力欄や備考欄にも入力についての記述をしている。

## (2) 断熱材の性能

断熱材の性能	評価製品の初期熱伝導率: <input type="text" value="0.028"/> W/(m・K) ……平均断熱材厚さ <input type="text" value="82.0"/> mm 容積 <input type="text" value="19.9"/> m <sup>3</sup> /住宅
	想定する従来製品: 押出し法ポリスチレンフォーム3種 従来製品の初期熱伝導率: 0.028 W/(m・K) ……平均断熱材厚さ <input type="text" value="82.0"/> mm 容積 <input type="text" value="19.9"/> m <sup>3</sup> /住宅

- 比較対象の従来製品は、初期熱伝導率は0.028 (W/(m・K)) の「押出しポリスチレンフォーム3種」としている。
- 評価製品の初期熱伝導率 (W/(m・K)) を入力する。数値を入力することで、次世代基準 (平成11年省エネ基準) の仕様規定を満たす断熱材使用量が示される。

## (3) 製造ステージ

ステージ	入 力	備 考
製 造	従来製品と比べ ①製品が含有するCO <sub>2</sub> 換算量 (供用・廃棄で使用) 主な発泡ガスのCO <sub>2</sub> 排出原単位が <input type="text" value="100"/> %相当 主な発泡ガスの使用量が <input type="text" value="100"/> %相当 ②製造エネルギーのCO <sub>2</sub> 排出量 製造エネルギーのCO <sub>2</sub> 排出量が <input type="text" value="100"/> %相当 【詳細数値】 フェーズ3で推奨 ②製造エネルギー 原単位 <input type="text" value="0.0"/> kg-CO <sub>2</sub> /kg 製品重量 <input type="text" value="0.0"/> kg/m <sup>3</sup>	◆従来製品の算出根拠  ◆詳細数値について ・実際の製造工程で消費されたエネルギーを累計することで、より精度の高い数値となる。(従来品の数値は、上段6.2・下段32.0)
フェーズ1 : ○		
フェーズ2 : ○		
フェーズ3 : ◎		

- 従来製品と比較した数値を  枠に % 入力する。
- ①には、製品が含有するCO<sub>2</sub>換算量について入力する。上段には、発泡ガスの種類による原単位の違いを入力し、下段には使用量の増減を入力する。複数ガスの混合で単純に算出できない場合は、上段と下段を乗じた数値と従来製品との比となる数値を入力する。
- ②には、製造工場での製造エネルギー比を入力する。製造工程が短縮され、少ないエネルギーで製造できたり、一般的な工場よりも省エネ対策を施している工場で製造される場合は、相当の削減率を入力する。但し、数値の根拠を示す資料は必要。
- 開発が進み、具体的な数値を入力できる場合は、詳細数値の  枠に入力する。その場合、上記②  に入力されている数値は無視され、詳細数値が優先される。
- 製造ステージでは、重量比率で1%未満の原材料については算定対象外とすることができる。

## (4) 輸送・保管ステージ

輸送・保管	従来製品と比べ 輸送距離が <input type="text" value="100"/> %相当 特殊技術により製造工場が限定されると輸送距離延長 積載効率が <input type="text" value="100"/> %相当 輸送時に容積が小さくできると積載効率が向上 (重量では決まらない) 輸送のCO <sub>2</sub> 排出原単位が <input type="text" value="100"/> %相当 列車や船舶輸送を使うとCO <sub>2</sub> 原単位が減少 (営業用普通トラック基準)	◆従来製品の算出根拠 輸送距離 684 km/台 輸送手段 商業用トラック (ガソリン) 燃費 4.96 km/l 輸送原単位 0.47 kg-CO <sub>2</sub> /住宅 トラック台数 2.0 台相当 CO <sub>2</sub> 排出量 626.5 kg-CO <sub>2</sub> /住宅
	フェーズ1 : ○	
フェーズ2 : ○		
フェーズ3 : ◎		

- 従来製品と比較した数値を  枠に % 入力する。
- 断熱材は、単位重量が比較的に軽いので、輸送用トラックは重量よりも容積に左右されるため、断熱材使用量よりトラックの台数を算出している。
- 従来製品の算出根拠は、備考欄に記述。

## (5) 施工ステージ

施 工	従来製品と比べ	◆従来製品の算出根拠	
		施工時のCO2排出量が <input type="text" value="100"/> %相当	・初期製品のCO2排出ガスの32.5%が大気に放散すると仮定する。
	フェーズ1 : ○	施工が簡易で時間短縮が期待できれば80%とすることができる	・入力値を67.5%未満にすることはできない。
	フェーズ2 : ○	施工が難しく時間延長の懸念があれば120%とすることができる	
フェーズ3 : ◎	施工後の温暖化ガス含有量は出荷時 67.5 %相当		

- ・ 従来製品と比較した数値を  枠に % 入力する。
- ・ 施工時に32.5%の温暖化ガスが大気に放散される(文献4)状態を従来製品としているため、大気への放散がゼロの場合は、67.5%と入力する。
- ・ 具体的な数値の根拠のない場合は、施工が簡易で時間短縮などが期待できれば80%、多少施工に時間や取り付け部材が増える懸念がある場合は120%という数値を与えることとする。但し、施工時間短縮の根拠となる資料は必要。

## (6) 供用ステージ

供 用	従来製品と比べ	◆従来製品の算出根拠
	①期間中の断熱性能 暖冷房エネルギーのCO2排出量が <input type="text" value="100"/> %相当	・初期断熱性能から12.7%劣化する。 (0.028W/mKが0.0316W/mKに)
	断熱性能の劣化は理論上ゼロの場合は92%とすることができる 断熱性能の劣化が少ないと期待される場合は93~99%の範囲で入力する。	・①の入力値を92%未満にすることはできない。
	②期間中の大気放散 供用期間の大気放散量が <input type="text" value="100"/> %相当	
フェーズ1 : △	放散ガスが小さいと期待されれば80%とすることができる。 「発泡系断熱材の断熱性能変化の簡易評価ツール」の結果を入力	◆詳細数値について
フェーズ2 : △	【詳細数値】フェーズ3で推奨	・「発泡系断熱材の断熱性能変化の簡易評価ツール」の結果を入力
フェーズ3 : ○	①期間平均熱伝導率(50年) <input type="text" value="0.0000"/> W/mK	・促進試験による25年値を代用しても良い。
	②期間中大気ガス放散量 <input type="text" value="0"/> %相当	

- ・ 従来製品と比較した数値を  枠に % 入力する。
- ・ ①には、製品が含有するCO<sub>2</sub>換算量について入力する。従来製品は、供用期間中に断熱性能の劣化が、初期断熱性能から12.7%劣化(文献4)するものとしている。
- ・ 理論上、断熱性能の劣化がゼロの場合は、92%を入力することができる。断熱性能の劣化が少ないと期待される場合は93~99%の範囲で入力する。
- ・ ②には、供用期間中に温暖化ガスが大気に放散してしまう比率を入力する。放散ガスが従来よりも少ないと期待できる場合は80%とすることができる。
- ・ 「発泡系断熱材の断熱性能変化の簡易試算ツール」の期間平均熱伝導率(50年)結果を詳細数値①  枠に、期間中温暖化ガスの大気放散量を②  枠に入力する。その場合、上記①  に入力されている数値は無視され、詳細数値が優先される。
- ・ 50年の期間平均熱伝達率は、促進試験による25年値を代用しても良い(数値として安全側)。

## (7) 廃棄・利用ステージ

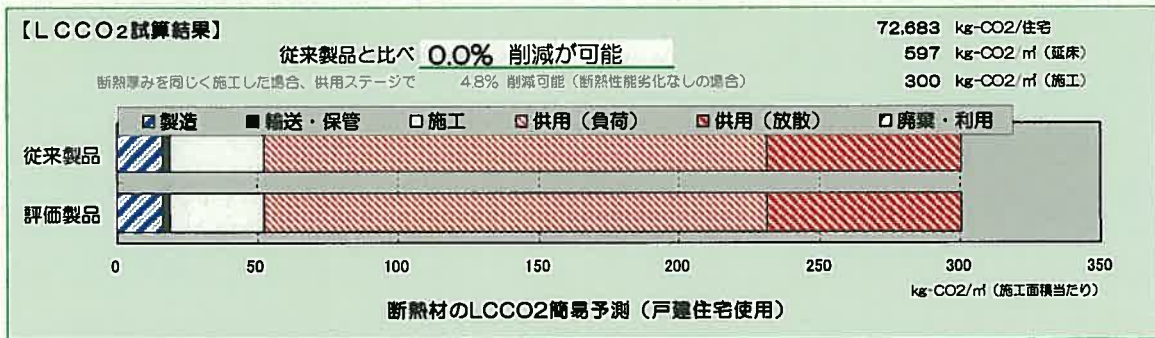
廃棄・利用	従来製品と比べ	◆従来製品の算出根拠
	廃棄物処理の輸送距離が <input type="text" value="100"/> %相当	輸送距離 50 km/台
	供用期間中大気放散しない量が <input type="text" value="0"/> %相当	輸送手段 商業用トラック(ガソリン)
	廃棄率 <input type="text" value="100"/> %相当	トラック台数 2.0 台相当
フェーズ1 : △	リサイクルが不明な場合は全廃棄とするため「100」を入力	CO2排出量 45.8 kg-CO2/住宅
フェーズ2 : △		
フェーズ3 : ○		

- ・ 従来製品と比較した数値を  枠に % 入力する。
- ・ 断熱材は単位重量が比較的軽いため、輸送用トラックは重量よりも容積に左右されるため、断熱材使用量よりトラック台数を算出している。



- ・ 従来製品の算出根拠は、備考欄に記述。
- ・ リサイクル率が不明な場合は全廃棄と想定し100%と入力する。それ以外の数値を入力する場合は、数値の根拠となる資料が必要。

### (8) LCCO<sub>2</sub>試算結果



- ・ 入力した結果がグラフ化される。従来製品との比較をしているため、従来製品の図は固定されているが、評価製品のステージ毎のLCCO<sub>2</sub>の比較が行える。
- ・ 具体的な削減量も、「従来製品と比べ〇〇%削減が可能」と表示している。
- ・ ステージ毎の数値は、エクセルファイルの別シート「計算シート」で確認することができる。

### 3.4 入力と結果の関係

入力によって、変化する項目と変化の程度を把握することで、LCCO<sub>2</sub>削減のために重点的に改善すべき項目がみえてくる。ここでは、簡単にどこの数値を変えるとどこに影響するかなどの傾向を紹介する。

(1) 通常入力

製造ステージ-1

断熱性能向上によるLCCO<sub>2</sub>の数値は、断熱材の使用量の違いに反映される。例えば、初期熱伝導率の数値が小さい（断熱性能UP）断熱材では、戸建住宅1棟あたりの使用量が減り、輸送用トラックの台数が削減されるため、結果的に積載効率が高くなる。それがLCCO<sub>2</sub>の輸送・保管ステージの数値を小さくし、削減率として算出される。

断熱材の性能	評価製品の初期熱伝導率: <b>0.028</b> W/(m・K) .....	平均断熱材厚さ	82.0 mm	容積	19.9 m <sup>3</sup> /住宅
	想定する従来製品: 押出し法ポリスチレンフォーム3種				
	従来製品の初期熱伝導率: 0.028 W/(m・K) .....	平均断熱材厚さ	82.0 mm	容積	19.9 m <sup>3</sup> /住宅

輸送・保管	従来製品と比べ	◆従来製品の算出根拠
	輸送距離が <b>100</b> %相当 特殊技術により製造工場が限定されると輸送距離延長 積載効率が <b>100</b> %相当 輸送時に容積が小さくできると積載効率が向上(重量では決まらない) 輸送のCO <sub>2</sub> 排出原単位が <b>100</b> %相当 列車や船舶輸送を使うとCO <sub>2</sub> 原単位が減少(営業用普通トラック基準)	輸送距離 684 km/台 輸送手段 商業用トラック(ガソリン) 燃費 4.96 km/l 輸送原単位 0.47 kg-CO <sub>2</sub> /住宅 トラック台数 2.0 台相当 CO <sub>2</sub> 排出量 626.5 kg-CO <sub>2</sub> /住宅



断熱材の性能	評価製品の初期熱伝導率: <b>0.020</b> W/(m・K) .....	平均断熱材厚さ	<b>58.6 mm</b>	容積	<b>14.2 m<sup>3</sup>/住宅</b>
	想定する従来製品: 押出し法ポリスチレンフォーム3種				
	従来製品の初期熱伝導率: 0.028 W/(m・K) .....	平均断熱材厚さ	82.0 mm	容積	19.9 m <sup>3</sup> /住宅

輸送・保管	従来製品と比べ	◆従来製品の算出根拠
	輸送距離が <b>100</b> %相当 特殊技術により製造工場が限定されると輸送距離延長 積載効率が <b>140</b> %相当 輸送時に容積が小さくできると積載効率が向上(重量では決まらない) 輸送のCO <sub>2</sub> 排出原単位が <b>100</b> %相当 列車や船舶輸送を使うとCO <sub>2</sub> 原単位が減少(営業用普通トラック基準)	輸送距離 684 km/台 輸送手段 商業用トラック(ガソリン) 燃費 4.96 km/l 輸送原単位 0.47 kg-CO <sub>2</sub> /住宅 トラック台数 2.0 台相当 CO <sub>2</sub> 排出量 626.5 kg-CO <sub>2</sub> /住宅

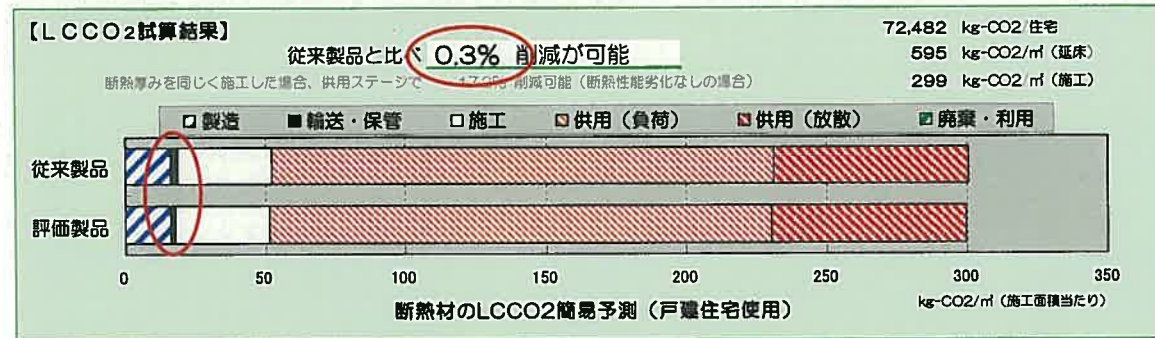


図3.3



## 製造ステージ-2

①の数值は、断熱材に含有する温暖化ガスのCO<sub>2</sub>換算量を示すため、数值の変化は製造ステージではなく、施工ステージや供用ステージなどに影響を及ぼす。①の数值を小さくすると、出荷時の含有率が少なくなるため、施工時の大気放散量も小さくなり、竣工後の含有率も小さくなる。更に、供用ステージ（放散）も小さくなるなど、その影響は複数のステージに及ぶ。

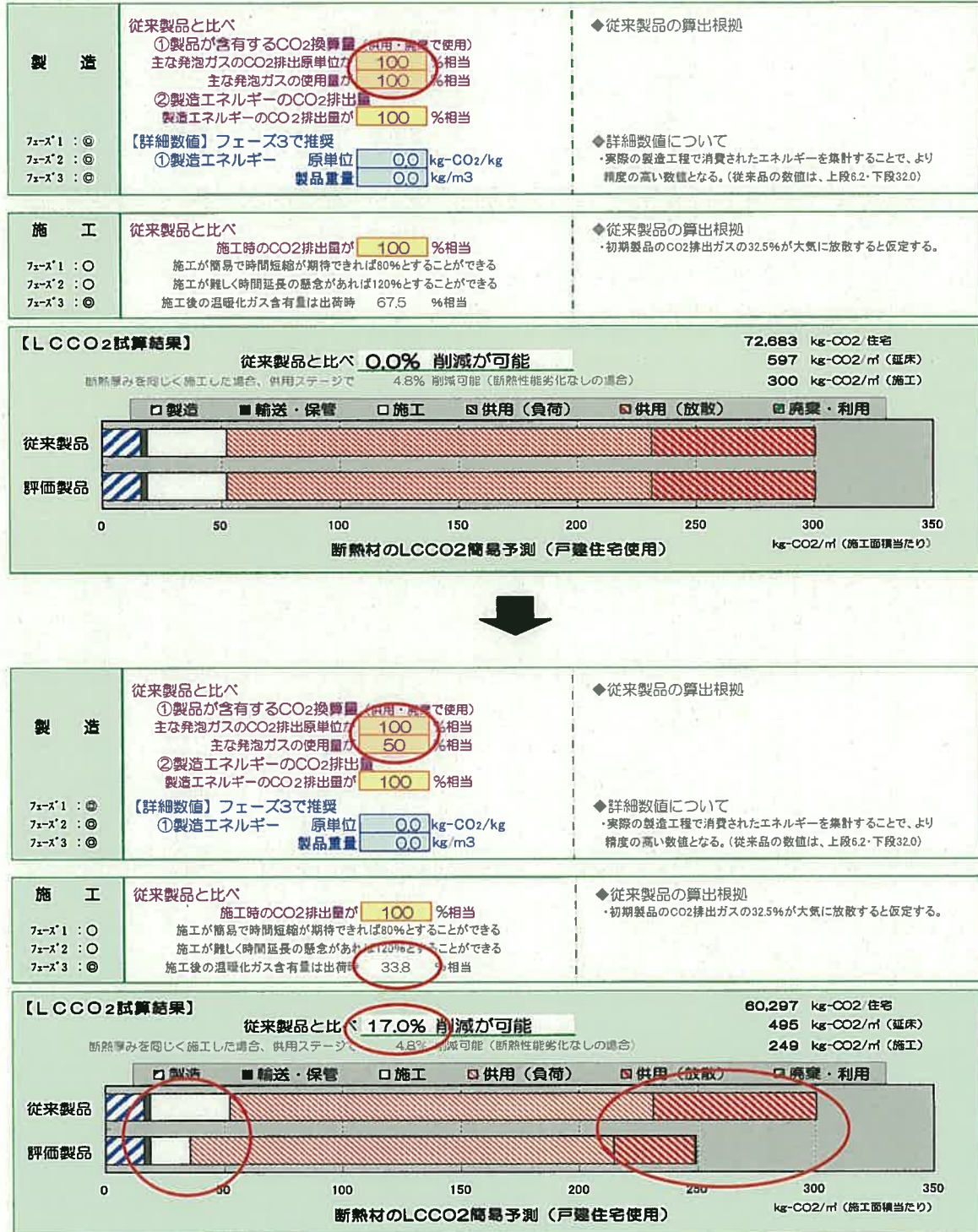


図3.4

### 製造ステージ3

②の数値は、製造エネルギーのCO<sub>2</sub>排出量を示す。断熱材の製造工程が少なくなるなど、製造するためのエネルギー消費量が小さくなると、②の数値を小さくすることができる。また、製造する工場の省エネ化による効果も反映することができる。②を50%に小さくすることで、製造ステージの値も50%小さくなる。

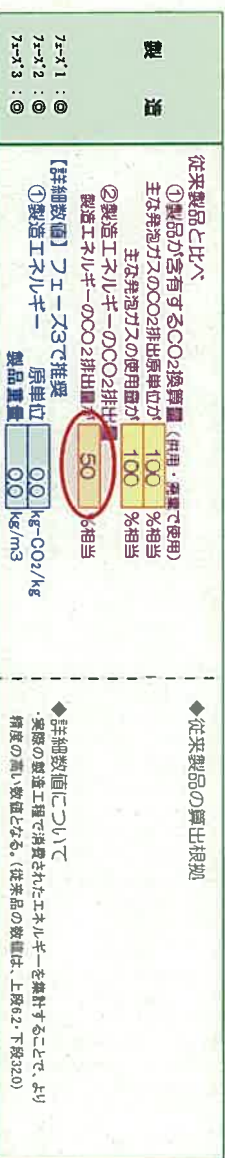
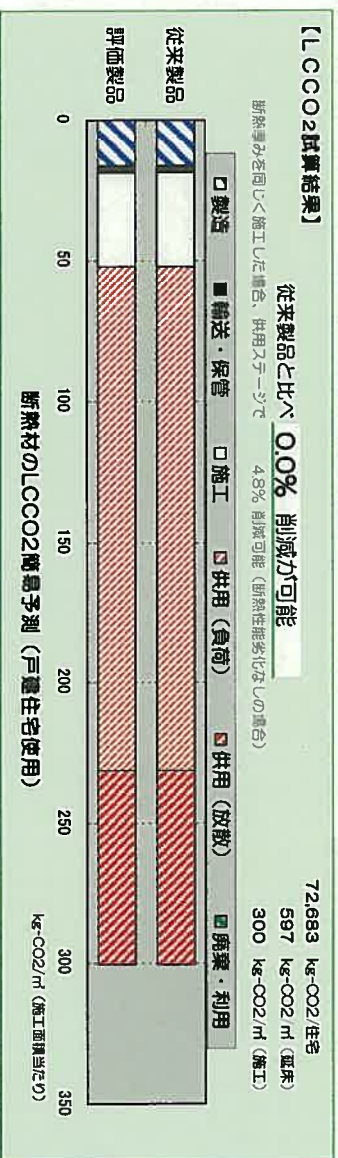
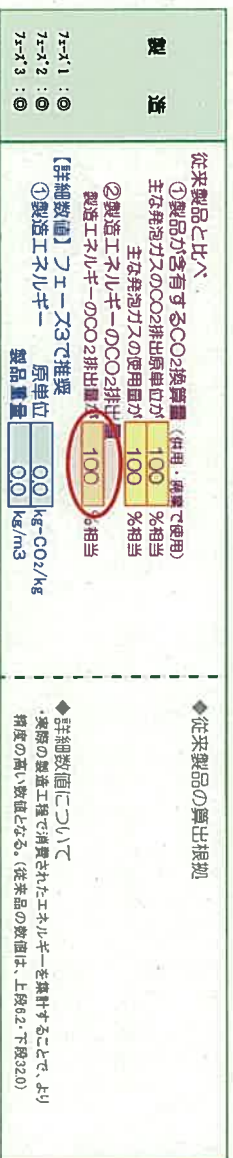


図3.5



## 断熱建材の断熱性能測定技術の実用性評価指針

### 1 適用範囲

この指針は、主に断熱建材（建築物に使用することを想定した断熱材及び断熱製品）の断熱性能を測定する技術の実用性評価に適用する。

実用性評価とは、何処で（測定場所）、何を（測定対象）、どのように（測定方法）測定するかという目的に対して開発された技術の、測定精度、測定対象に要求される事項、測定結果の使用目的との整合性といった基本性能や実用性を評価する項目によって工学的に検証するシステム及び検証行為をいう。この実用性評価は、併せて安全性、操作性、経済性、環境影響なども検証し、使用上または普及上の合理性を評価するものである。

解説) この指針は、開発者による自己評価や、第三者による客観的な評価に用いられることを想定して定めたものである。

解説) この指針は、NEDO 技術開発機構の「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」で開発された断熱性能測定技術の実用性評価のために作成されたものであるが、同プロジェクトでの開発に限らずその他測定技術の開発においても適用可能なものであるため、公開を前提としてまとめた。

### 2 用語の定義

本指針に用いる用語を以下のように定義する。

- a) **断熱材** 断熱性能を有する建築材料をいう。
- b) **断熱製品** 断熱材を用いた断熱パネルなどの製品をいう。
- c) **基本性能** この指針で扱う基本性能は以下の通りである。
  - 1) **熱伝導率の測定範囲** 【最終目的である熱伝導率を挙げておく】

解説) 最終の結果表示は、熱伝導率とすること。
  - 2) 測定環境
  - 3) 校正の不確かさ
  - 4) 測定の不確かさ
  - 5) 測定可能対象
- d) **実用性** 実用性は、基本性能に加えて、安全性、操作性、経済性、環境影響等をいう。
- e) **開発フェーズ** 断熱性能測定技術の開発段階をいう。各フェーズの内容を以下に示す。
  - 1) フェーズ 0 基本的事項の計画または研究（測定目的、測定対象、測定場所等）
  - 2) フェーズ 1 基本設計によって開発の目的を達成できるかを検証する段階、試作段階
  - 3) フェーズ 2 目的に合致した装置として製造・製作が可能かを検証する段階、実用段階（1）
  - 4) フェーズ 3 目的に対する測定技術の精度とコスト等普及に向けた検証を行う段階、実用段階（2）
  - 5) フェーズ 4 製品として生産・販売する段階、普及段階

### 3 実用性評価項目

本指針における実用性評価は、フェーズ 1～フェーズ 3 を対象とし、フェーズ毎に、次に掲げる実用性評価項目のうち関連する項目について検討を行う。

実用性評価項目	基本性能	a) 熱伝導率の測定範囲 b) 測定環境 c) 校正の不確かさ d) 測定の不確かさ e) 測定可能対象
	実用性	f) 測定時の安全性 g) 試料の処理方法 h) 操作性 i) 経済性 j) 環境影響 k) その他関連する項目

解説)

- b) 測定環境 測定条件（温度、湿度、圧力、雰囲気ガス）等。
- c) 校正の不確かさ 校正方法、校正頻度、校正に要する時間等。
- e) 測定可能対象 異方性材料、等方性材料、均質材料、複合材料、導電性材料等。
- h) 操作性 測定に要する時間も含む。
- j) 環境影響 測定時に起こり得る影響等。

#### 4 実用性評価の手順及び実施方法

本指針における実用性評価は、測定技術の開発者が自己評価表を用いて宣言・表明する「一次評価」と、客観的な立場の者が行う「二次評価」からなる。評価の基本的な分類は下表の通りとする。

フェーズ	評価する実用性評価項目	実施する評価	
1	a)、b)、c)、d)、e)	一次評価	
2	a)、b)、c)、d)、e)、f)、g)、h)	一次評価	二次評価
3	a)、b)、c)、d)、e)、f)、g)、h)、i)、j)、k)	一次評価	二次評価

#### 5 一次評価

一次評価は、評価項目に対して検証・試験方法を定めた自己評価表を用いて、開発者が自ら実施する。

##### 5.1 評価項目

フェーズ1では基本性能の評価を行い、フェーズ2及びフェーズ3では実用性の評価を行う。評価項目の詳細は、自己評価表等により別途定める。

##### 5.2 検証・試験方法

検証・試験方法の詳細は、自己評価表等により別途定める。

#### 6 二次評価

二次評価は、一次評価結果の技術的合理性の検証に加え、さらに必要と考えられる課題を整理しこれを評価し、必要に応じて検証を行う。

二次評価は、開発された測定技術の使用者、有識者などの第三者で構成される評価委員会が行う。

#### 6.1 評価・判定項目

評価・判定項目の詳細は、自己評価表等により別途定める。

#### 6.2 検証方法

検証方法の詳細は、自己評価表等により別途定める。

### 7 評価結果の表示

評価委員会が二次評価を行った結果は、評価結果として報告する。その内容は、以下の項目を含むものとする。

基本性能	a) 熱伝導率の測定範囲 b) 測定環境 c) 校正の不確かさ d) 測定の不確かさ e) 測定可能対象
実用性	f) 測定時の安全性 g) 試料の処理方法 h) 操作性 i) 経済性 j) 環境影響 k) その他関連する項目

## 4. 実用化、事業化の見通しについて

### 4.1 実用化、事業化の見通し

#### 4.1.1 成果の実用化の可能性

##### (A) 革新的断熱技術開発

革新的断熱技術開発では、以下の実用化、事業化の見通しが得られている。

##### (1) 基盤技術開発

発泡により得られたナノ構造、バイモーダル構造などはユニークなものであり、用途展開が広がる可能性を持つ。また、熱伝導率の低さを考えると、キセロゲルとポリマーの複合体も有望である。これらの技術を用いて本プロジェクト参加企業または発泡関連企業に対する支援、提案を通じた企業化が期待できる。

##### (2) 発泡ガス開発

発泡ガス技術は、環境影響評価を含めた発泡剤としての特性の検証と工業的スケールでの製造につながる合成法を見出しており、国内メーカーに対する製造法に関する知財のライセンス化等により実用化が可能である。

##### (3) 硬質ウレタン技術開発

硬質ウレタン技術は、下記の技術開発により、実用化が可能である。

##### ① 「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」

セルの微細化と CO<sub>2</sub> の拡散防止

##### ② 「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」

低コスト化、安全対策、規制の緩和活動

##### ③ 「水発泡による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡剤の技術開発」

硬質ポリウレタンフォーム用原料の開発により高空隙率化、高ガスバリア化を実現し、目標である初期熱伝導率改善、熱伝導率の経時劣化抑制の見通しを得た。既存の現場発泡設備または軽微な改造・追加のみで使用できるため、現場発泡施工業者にとっても、導入が容易で実現性が高いと考えられる。

##### ④ 「気相／液相制御技術等による高断熱現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」

ハイドロカーボンの原液中への分散とスプレー時の雰囲気濃度の安全レベル以内の制御

##### (4) 複合断熱材技術開発

複合断熱材技術は、下記の技術開発により、実用化が可能である。

##### ① 「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」

連続製造プロセスにより、ナノコンポジット発泡体の安定した連続製造に成功しており、更な



る断熱性能の向上、汎用ポリマーへの適用、低コスト化により実用化が可能である。

②「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」

ナノ多孔質シリカの応用

③「ナノゲル断熱材の研究開発」

軽量で柔軟性あるシート状の高断熱性断熱材は、建築分野で広く使用できるもので、断熱リフォームなどにも適している。量産設備の開発などを実施することで実用化が可能である。

(5)発泡断熱ボード技術開発

発泡断熱ボード技術は下記の技術開発と活動により実用化が可能である。

①「新規断熱性向上シートの研究開発」

マイクロ/ナノ発泡体とバリアフィルムを組み合わせることにより、初期だけでなく長期にわたり良好な断熱性能を維持できる断熱シートを開発した。生産技術の確立、市場（建材、家電）での評価結果等に基づいて事業化を判断する。

②「高断熱性ノンフロン押出發泡体の研究開発」

マテリアルリサイクル可能な高断熱性断熱材の開発により、環境適合性に優れた高断熱性断熱材の住宅への普及が期待される。スケールアップ設備の検討、市場ターゲット、規制動向の見極めにより、事業化を判断する。

(B)断熱性能等の計測・評価技術開発

断熱性能等の計測・評価技術開発では、以下の実用化、事業化を実施している。

(1)計測技術開発

開発したプロトタイプの計測装置を再設計し、可搬型の圧着式熱伝導率測定装置を上市化済みである。また、測定方法（温度波分析法）をISOに申請しており、現在継続審査中である。

(2)評価技術開発

評価方法については、委員会方式で作成したものを実際に断熱材を開発する企業等に試用してもらい、コメントを得ながら検討を進めており、評価方法として実用性は十分あると考える。本評価法はウェブサイト上で公開している。

表 4.1.1.1 に成果の実用化の可能性を示す。

表 4.1.1.1 成果の実用化の可能性

開発項目	開発技術	成果の実用化可能性
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	・コアバック射出発泡成形技術の安定化、キセロゲルとポリマーの複合体の生産効率向上と製品用途展開ができれば、実用化の可能性は大きい
	発泡ガス開発	・パイロットプラントスケールでの製造プロセス開発、化審法申請のための毒性試験、断熱材への適用試験をメーカーと共同実施することで実用化可能
	硬質ウレタン技術開発	・硬質ポリウレタンフォーム用原料の開発により課題を解決 ・既存設備により実施可能
	複合断熱材技術開発	・連続製造プロセスにより、ナノコンポジット発泡体の安定した連続製造に成功。更なる断熱性能の向上、汎用ポリマーへの適用、低コスト化により実用化可能 ・軽量で柔軟性あるシート状の高断熱性断熱材は、建築分野で広く使用できるもので、断熱リフォームなどにも適している。量産設備の開発などを実施して実用化可能
	発泡断熱ボード技術開発	・スケールアップ設備の導入と該設備を用いた多層押出発泡成形技術の獲得、市場ターゲット、規制動向を加味した事業化判断の見極め ・生産技術の確立、実物大サンプルによる市場(建材、家電)での評価を通して、事業化を判断
断熱性能等の計測・評価技術開発	計測技術開発	・開発した可搬型の圧着式熱伝導率測定装置は上市化済み。測定方法「温度波分析法」をISOに申請中
	評価技術開発	・開発した評価基準、評価ツールは、ホームページで公開済み

#### 4.1.1.1 革新的断熱技術開発

##### 4.1.1.1.1 基盤技術開発

###### 4.1.1.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

###### その創製のための基盤研究」(委託事業)

開発してきた微細発泡成形ならびに超低熱伝導率部材の作製法の実用化可能性について、下図のようにまとめる。

ナノセルラー・マイクロセルラーでは、 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ より低い熱伝導率を実現できたわけではない。従って、断熱性という観点からは、ナノセルラーの実用化は望めない可能性が高い。一方で、発泡により得られたナノ構造、バイモーダル構造などはユニークなものであり、用途展開が広がる可能性を持つ。とりわけ、結晶化法とコアバック式発泡射出成形法によって作られるナノフィブリルからなる連続孔の高倍率発泡体は、自動車や家電分野において、吸音材や電磁波シールド材への応用展開が考えられる。

また、熱伝導率の低さを考えみると、キセロゲルとポリマーの複合体は、有望である。しかし、現状、製造コストの問題、それに関連して生産効率の低さの問題がある。コストに応じた機能をもった断熱部材が必要なところから展開を図る必要がある。

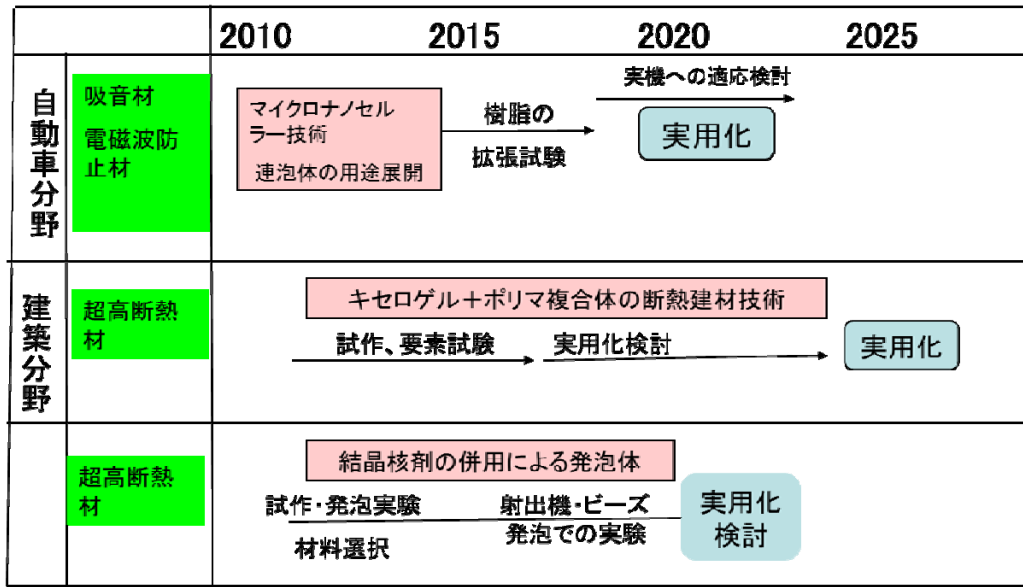


図 4.1.1.1.1.1.1 微細発泡成形ならびに超低熱伝導率部材の作製法の実用化可能性

#### 4.1.1.1.2 発泡ガス開発

##### 4.1.1.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

本研究で断熱特性に優れ温暖化係数が小さい発泡剤を開発することで、断熱性能が高く環境への影響も小さい発泡断熱材を実現できる。

これまでの検討から熱伝導率が HFC-245fa とほぼ同等で温暖化係数が 150 以下の発泡剤候補化合物を見出し、環境影響評価、燃焼性評価、熱伝導率評価、発泡試験など、発泡剤としての特性の検証を行い、発泡剤としての有用性も示すことができた。また、工業的スケールでの製造につながる合成方法も見出すことができた。

一方、本研究開発の間に、ハネウエル社及びデュポン社から発泡剤の開発が発表された。ハネウエル社の発泡剤は  $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCl}$  であり、これは分子内に塩素原子を含み、性能としては HFO-1336mz-Z のほうが優位である。デュポン社の発泡剤は本研究開発で見出した HFO-1336mz-Z と同じであるが、本研究では DuPont 社と異なる製造法を開発、効率的にも優位である。

今後の実用化に向けては、本研究開発で見出した製造法の知財を国内メーカー企業にライセンス化、DuPont 社とはクロスライセンスをすることで、国内企業での HFO-1336mz-Z の工業化を進めることができると考えている。

#### 4.1.1.1.3 硬質ウレタン技術開発

##### 4.1.1.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

現在のところ、経時による断熱性能の劣化を抑制できておらず、この改善が必要である。具体的にはさらにセルの微細化を図ると同時に、樹脂改質によりセル中の炭酸ガスの拡散を防止すること

で、達成できると考えている。また物性の確認を行うと同時に、ナノバブル発生器を発泡機へ装着するなど、現場発泡機への応用を検討する。さらに現場試験を繰り返すことにより、性能の評価、問題点の抽出、対策を行うことで実用化を図る。

#### 4.1.1.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)

実用化においてはH21年度に表4.1.1.1.3.2.1を満たす事を目標として検討を進めており各項目の現在の見通しをまとめる。

(原料コスト)

使用する PUF 原料コストは完全水発泡と同様な原料を用いる事が可能であり、ほぼ同様と考えられる。又、使用する混合ガスのコストは現在算出中である。

(生産設備コスト)

既存のウレタンフォーム成型設備に混合ガスを供給する装置及び付属品を追加するのみで成型可能な発泡システムで検討している。但し PUF を成型する設備と比較して、ガスを供給する設備は高圧ガス製造設備となり同様な耐圧部品等を用いる場合にも高圧ガス保安協会の認定品を使用しなければならず、その面で導入費用、保守費用等がコストUPになる可能性がある。

(安全性)

3.2.1.1.3.2 で安全性は評価できた。設備の安全確保に関しても安価な警報装置等で対応できる見込みである。

(発泡剤の GWP)

凡そ 10 以下で対応可能な見込みである。

(工場生産への対応、現場発泡への対応、法対応)

混合ガスが可燃性となる場合、不燃性となる場合での高圧ガス保安法、消防法に関しての法規制項目の抽出を行い、問題点及び対応策をガスメーカー、設備メーカーとも協議し立案した。規制対応が不明な事項に関して千葉県への問い合わせを行い実用化に関して障壁がある事が判明した。今後、実用化に向け規制緩和等に関して検討を進める予定である。

表 4.1.1.1.3.2.1 実用性に関する項目の比較

項目	研究目標	HFC 発泡	炭化水素発泡	完全水発泡
原料コスト	安価	高価	安価	安価
生産設備コスト	中間	安価	高価	安価
安全性	安全	安全	引火危険あり	安全
工場生産への対応	可	可	可	可
現場発泡への対応	可	可	困難	やや困難
発泡剤の GWP	10 以下	約 900	3	1

#### 4.1.1.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub>発泡）による、

#### 新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」（助成事業）

本研究開発は、発泡装置および工法等に関するものではなく、硬質ポリウレタンフォーム用原料の開発・改良によって課題解決を図るものである。よって、既存設備を活用し、若しくは軽微な改造・追加で実施できると考える。

また、現場発泡施工業者にとっても、導入が容易で実現性が高いと考えられる。

#### 4.1.1.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社

#### 「気相/液相制御技術等による高断熱現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」

#### （助成事業）

##### （1）内容

本研究開発により得られる成果すなわち高断熱で、経済性に優れ、さらに安全に現場発泡が可能な硬質ウレタンフォームシステムは、弊社の結露防止用ノンフロンシステムフォームライト・エコの後継製品（断熱性能改良品）として、吹付施工業者に供給され、共同住宅や商業施設の断熱・結露防止目的に施工が開始される。

##### （2）用途（販売予定先）

現状の現場発泡硬質ウレタンフォームシステム販売と同様に、弊社から販売代理店を通じて吹付施工業者に販売することを予定している。

##### （3）実用化の可能性

現時点、ハイドロカーบอนを吸油性材料に吸着させたものを原料成分に均一に分散させる手立てが確定していないため実用化の可能性を言及できないがうまく分散させかつ、スプレー施工時の雰囲気濃度を如何に安全レベル内に抑えるかが課題となる。

本研究の最終あるべき姿は以下のように想定している。

- ①本プロジェクトの実用化は、ウレタン原料システム原液の発泡剤としてペンタンを補助発泡剤として採用する。
- ②主発泡剤としては水発泡とする。
- ③システム原料中にシクロペンタンを混入させているにもかかわらずその原料は引火点を示さない。
- ④この原料を使用してスプレー発泡する場合、通常のスプレー発泡と同程度の施工性及び施工密度を示す。

なお、この最終製品に求められる必要条件としては以下の点が挙げられる。

- ①システム原料は定常状態でペンタンを吸着し、安定していること。
- ②原料は均一である、あるいはたやすく均一になる。
- ③長期保存条件でも安定し、ウレタン発泡時の反応性などに変化がないこと。

- ④ウレタン反応開始とともに吸着したペンタンを解離し、発泡剤として効果を示すこと。
- ⑤主発泡剤である水の発泡剤としての使用に支障をきたさないこと。

#### 4.1.1.1.4 複合断熱材技術開発

##### 4.1.1.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学

###### 「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」 (委託事業)

ポリマー、シリコンアルコキシド、および二酸化炭素の均一混合状態から相分離を行う手法（手法1）については、研究開発項目④において、発泡押し出し連続製造プロセスによる製造法を開発し、安定した発泡体の連続製造に成功している。このため、通常の発泡押し出しによる発泡体に近いレベルまで製造コストを低減できる見込みがあり、様々な成形品への応用が期待される。具体的には、住宅の壁、床、天井用の断熱材、冷蔵庫、クーラーボックス、自動販売機などの断熱材料としての展開である。特に本材料は、シリカとのナノコンポジット化によって、製品の耐熱性、難燃性が通常のポリマー発泡体より優れていることが利点の一つであり、難燃性が要求される住宅の内装用材料としてのポテンシャルがあるものと考えられる。製品の価格帯、製造するサイズの点からも内装用材料としての展開が実用化に近く、こちらを中心に検討を進める予定である。

実用化に向けては、(1)断熱性能の向上（連続法で0.020 W/mK 台前半以下）、(2) PMMA, PLA 以外の汎用ポリマーへの適用、(3) 既存の断熱建材（ポリスチレン板、さらにはガラスウール）に対抗できる価格競争力（付加価値を含む）の実現が必要であり、更なる開発が求められる。また、シリコンアルコキシドの添加に最適化した押し出し成形装置の開発も必要である。

連続気孔型のポリマーフォーム内部にシリカエアロゲルを充填する手法（手法2）については、0.01 W/mK 台の熱伝導率を達成しているが、検証したように製造コストが課題である。現状では国内で製造設備を構築して製造する限り、建材レベルでは価格競争力に乏しいと考えられる。付加価値の高い断熱材としての用途展開を模索するとともに、革新的な低コスト製造プロセスの改革が必要である。

##### 4.1.1.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」(委託事業)

平成20年度のまでの研究開発により、本研究開発無機質系断熱材の基本設計は、完了し、汎用的な方法でのナノ多孔質シリカの製造に目処をつけたと判断している。

平成21年度以降は、これまでの検討で見出された課題解決、製造に繋げるプロセス技術及び品質安定技術の検討を行い、本研究開発の実用化を目指す。

事業化の見通しについては、ナノ多孔質シリカは従来の発泡体とは異なり、断熱性の高い発泡ガスを使用せずに同等あるいはそれ以上の断熱性を発現することから、本研究開発無機質系断熱材は経年による断熱性変化がほとんどない。これは長期でのエネルギーコスト改善あるいは断熱材省スペース化による住環境、住居空間の改善効果を有しており、市場における価値創造の可能性がある。

#### 4.1.1.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」(助成事業)

##### (1) 既存断熱材の断熱性能向上

###### ① ウレタン断熱材の断熱性能向上

ウレタンフォーム断熱材は、ノンフロン化を目指して開発が行われているが、現場吹き付け発泡のように炭酸ガス発泡では、断熱性能が悪く早急な断熱性の改善が求められている。また、今後低炭素社会に向けた省エネ住宅の普及に伴い、更なる断熱性能向上が求められるようになってきた。現状では、ナノゲルを応用したウレタン断熱材の目標値  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  を達成していないが、2015年までに実用化を検討している。

###### ② 簡易真空断熱材

現状で最も断熱性能に優れた真空断熱材では、初期性能が  $0.0025\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  と高性能であるが、10Pa以下の高真空成形加工であるために経年での断熱性能の悪化が懸念される。そこでナノゲルを芯材とした1,000Pa程度の簡易真空成形によって  $0.005\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  が得られたが、包装材料、シール材、成形設備面での課題が多く、他の研究課題に注力するために開発を中断した。

##### (2) 新規断熱材 (シート状断熱材)

軽量で柔軟性のあるシート状断熱材は、建築分野では木造から鉄骨、RC造まで広く使用できるので、断熱リフォームなどにも適している。シート状断熱材は厚さが5mm以下を想定しており、これに相当する断熱性能も高く要求されている。

基礎技術の他、設備設計についても課題が多く、事業化には2015年以降を想定している。

#### 4.1.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発

##### 4.1.1.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業/共同研究)

- ・ 実用化の可能性について、2012年度末に、生産化技術の確立状況、顧客評価結果、事業性をあわせて、総合的に判断する。
- ・ 建材(特に住宅)用、家電(特に冷蔵庫)用断熱材として、以下に記すように有望と考える。顧客評価中であり、マイクロ/ナノ発泡のコンセプトについて高い評価を得ている。コストを含めた市場価値を明らかとするため、実物大サンプルの評価へ進捗させる。

###### A. 住宅用

施工方法が、充填型から剛性の必要な外張り型に移行しており、繊維系断熱材に代わって発泡系断熱材の採用が進んでいる。2020年までに、国交省が新築住宅の省エネ化ガイドラインを設定する。断熱性能の耐久性高い弊社開発品にとっては有利となる可能性がある。ただし、フィルム梱包は施工性悪い欠点があり、住宅メーカーと施工法の改良を検討する。

###### B. 家電用

家電リサイクル法の改定で、今後、ウレタン等の熱硬化性の発泡体は使用が制限されていく可能性が高い。弊社開発品は、リサイクル性の高い樹脂を使用しており有利であるが、充填ガスが炭酸ガスのため熱伝導率低減の限界あり、代替フロン系に対する競争力の

見極めを行う。

- ・バリアフィルムの横展開として、他社断熱材への適用を別途探索中。

#### 4.1.1.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発」

(委託事業／共同研究)

本事業の実用化は、住宅・建築物の断熱施工に高断熱性ノンフロン押出発泡体を提供することを目指す。

建築物に対する省エネルギー基準の強化、高断熱性断熱材の普及に関する制度化など普及促進に対する動向が一部確認されており、これら動向の詳細把握、確度の見極めが事業化判断のポイントの一つとなる。今後の開発にて、判断していく。

実用化に向けた課題としては、下記が挙げられる。

##### ①製品サイズでの技術獲得

- ・製品サイズでの断熱性到達レベルの見極め
- ・スケールアップ設備の導入と該設備を用いた押出発泡成形技術の獲得

##### ②市場ターゲット及び展開の可能性明確化

- ・市場ターゲット規模の確認と競争力評価
- ・設備投資、コストおよび採算性の明確化

##### ③市場での受け入れ可能性確認

- ・市場対応を可能とする製品ラインアップの充実
- ・施工性の確認
- ・公的機関での認定の取得

#### 4.1.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

##### 4.1.1.2.1 計測技術開発

###### 4.1.1.2.1.1 東京工業大学「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの

研究開発」(委託事業)

開発したプロトタイプ of 計測装置を再設計し、可搬型の圧着式熱伝導率測定装置を上市化済みである。また、測定方法(温度波分析法)をISOに申請しており、現在継続審査中である。

ISO取得後、ベンチャー企業を通して本装置を拡販する。また、プローブの高感度化等の性能向上は継続して実施する予定である。



#### 4.1.1.2.2 評価技術開発

##### 4.1.1.2.2.1 建材試験センター「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の 実用性評価」(委託事業)

本事業の成果物は、新たに開発される断熱材や断熱性能測定技術・装置の実用性についての評価方法である。この評価方法の検討は、実際に開発を行う企業等に試用いただいてコメントを得ながら進めており、評価方法の実用性は十分あるものと考えている。

現在は、評価方法の開発が終了したため、広く一般に使用されることを目指して公開している。公開の方法は、建材試験センターのウェブサイト上への掲載により行っている。閲覧は、登録者のみとしている。

本事業で開発された評価方法は全て公開されており、登録すれば使用が可能となっている。そのため、現段階で同評価方法は実用化されていると考えられる。



図 4.1.1.2.2.1.1 評価方法を公開するウェブページ

表 4.1.1.2.2.1.1 各種データのダウンロード数

項目		ダウンロード数
①革新的ノンフロン系断熱材の実用性評価方法	1) 断熱建材の実用性評価指針	70
	2) 断熱材開発自己評価表	46
	3) 発泡プラスチック系断熱材の断熱性能変化の簡易予測ツール	70
	4) LCCO <sub>2</sub> 簡易計算ツール	76
②断熱性能測定技術の実用性評価方法	1) 断熱建材の断熱性能測定技術の実用性評価指針	63
	2) 断熱性能測定技術自己評価表	37

※ダウンロード数は、2012年9月現在のもの

#### 4.1.2 波及効果

本プロジェクトによる革新的断熱技術開発と断熱性能等の計測・評価技術開発の波及効果は、下記の通りである。

##### (1) 建築分野

###### ①キセロゲル+ポリマー複合断熱材

2013年度～2020年度にキセロゲル+ポリマー複合断熱材の試作と要素試験を実施し、2020年度～2025年度に実用化を検討する。

###### ②シリカエアロゲル応用

2014年度～2016年度頃に窓用の光透過性断熱材の要素試験を実施し、2017年度～2020年度頃に輻射制御機能を付加し、実用化を目指す。

##### <省エネルギー効果と温室効果ガス削減量>

開発した技術の実用化により、新築住宅と既存住宅における住宅用の暖房エネルギーの削減量(原油換算値)は、下記の様に推定される。

・2030年：6.3[万kL/年]

民生部門において、省エネ効果によりエネルギー使用量を削減(原油換算で2030年に6.3[万kL]の削減を見込む)すると同時に、フロン発泡剤の使用量削減による更なるCO<sub>2</sub>の削減ポテンシャルは、CO<sub>2</sub>換算で約325[万CO<sub>2</sub>トン/年]程度であることが期待できる。

・CO<sub>2</sub>換算の削減ポテンシャル：約325[万CO<sub>2</sub>トン/年]程度

(2)自動車分野

①ナノセルラー吸音、電磁シールド材

2015年度～2018年度頃に要素試験を実施する。  
2018年度～2022年度頃に実機への適用を検討し、  
2023年度頃より実用化を開始する。

②ナノゲル断熱材

2012年度～2015年度頃に要素試験を実施し、  
2015年度～2018年度頃に実機への適用を検討し、実用化を目指す。

(3)家電分野

①高植物度ポリマー断熱材

2014年度～2018年度頃に形態最適化を検討する。

(4)日用品

①ナノゲル含浸断熱材

2011年度～2014年度頃にナノゲル含浸断熱材の用途検討、要素試験を実施し、  
2015年度～2020年度頃に実用化を検討する。

表 4.1.3.1 に成果の波及効果シナリオを示す。

表 4.1.3.1 成果の波及効果シナリオ

分野	適用技術	2010	2015	2020	2025
建築	キセロゲル+ポリマー複合断熱材		試作・要素試験	実用化検討	実用化
	シリカエアロゲル応用		窓用光透過性断熱材	輻射制御	実用化
自動車	ナノセルラー吸音、電磁シールド材		要素試験	実機適用検討	実用化
	ナノゲル含浸断熱材	用途検討・要素試験	実用化検討		実用化
家電	高植物度ポリマー断熱材		形態最適化		実用化
日用品	ナノゲル含浸断熱材	用途検討・要素試験	実用化検討		実用化

#### 4.1.2.1 革新的断熱技術開発

##### 4.1.2.1.1 基盤技術開発

###### 4.1.2.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

###### その創製のための基盤研究」(委託事業)

本プロジェクトの基盤研究テーマ「微細化・高発泡率化」において、二つの手法①ポリマーブレンドの海・島構造をテンプレートとして利用したマイクロ/ナノ発泡技術と②結晶構造をテンプレートとしたナノ発泡技術を確立した。バイモーダル気泡制御技術に関する考え方については、参加企業である東レの技術に反映されている。もう1つのナノ構造制御の考え方はコアバック射出発泡成形法により、工業的に実現できる目処がたった。今後はさらなる実証実験の繰り返しと自動車分野等への展開も期待できる。さらに、キセロゲル/高分子複合体系では製造プロセスの簡略化とコスト見直し等を図ることができれば、建築分野等へのさらなる展開ができる。

##### 4.1.2.1.2 発泡ガス開発

###### 4.1.2.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

発泡断熱材は、住宅やビルディングなどにおける建築用断熱材のほか、冷蔵庫や冷凍冷蔵倉庫といった冷凍・空調分野、船舶、車両等の運輸分野など、幅広い分野で用いられている。現在使われている HFC 系発泡剤は地球温暖化係数(100年値)が高いという問題点があるが、一方、CO<sub>2</sub>や炭化水素を発泡剤に用いる断熱材は、断熱性能や燃焼性などに問題があり、特定の用途以外には本格採用に至っていない。

本研究で断熱特性に優れ温暖化係数が小さい発泡剤を開発することで、断熱性能が高く環境への影響も小さい発泡断熱材を実現できる。本研究開発で得られる発泡剤は発泡断熱材全般に対応することから、上記のような幅広い分野での波及効果が期待できる。また、本研究開発は発泡剤の開発であって発泡体の構造や断熱素材には依らないことから、微細発泡や素材のハイブリッド化などより高性能化した発泡技術にも応用でき、より性能の高い断熱材の開発に貢献すると期待される。

また、今後の温暖化対策は更に加速することが予想され、他の用途においても特性に優れ温暖化係数が小さい化合物の開発が求められる。本研究で得た成果はこれらの研究開発にも展開できると期待される。

##### 4.1.2.1.3 硬質ウレタン技術開発

###### 4.1.2.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

現行の水発泡、超臨界 CO<sub>2</sub> 発泡品の置き換えにより壁の厚さを薄くできる。また HFC 類を使用した現場発泡フォームの切り替えにより、ノンフロン化による地球温暖化物質排出を抑制することができる。さらにこの技術を応用することで工場生産のボード、パネル、サイディングや注入用途にも適用可能である。これらを進めていくことで LCCO<sub>2</sub> の削減に貢献できると考えられる。

#### 4.1.2.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)

本事業は、約8～10万トンを超える硬質ウレタンフォーム市場において約8割を占める断熱を必要とする用途(建築、断熱機器等)において、環境対応製品を拡大生産する事が期待できる。又、他の発泡プラスチック系断熱材におけるHFC及び炭化水素を発泡剤とした分野に関しても、本成果の市場拡大が期待できる。

本成果における熱伝導率を低下させる手法の一つとしてウレタンフォームのセルサイズの微細化を挙げる事ができ、本成果の活用領域を拡大する事が期待できる。又、可燃性物質と二酸化炭素を混合する事によって危険性を減ずる事、不燃性とできる技術に関しても同様である。

又、本成果は環境影響の小さい高性能断熱材としての技術的波及効果、又、安価な設備投資、原料改良による経済的波及効果が期待できる。

図3.2.1.3.2.5に示した通り住宅供用時に断熱を施さない場合やHCFC-141b、HFC等のGWPの大きな発泡剤を使用したPUFと比較して、可燃性物質とCO<sub>2</sub>の低GWP混合ガスを用いたPUFではCO<sub>2</sub>放散量が小さくなっており環境影響が小さい事が解る。CO<sub>2</sub>削減効果もHFCを使用したPUFの約20%、断熱を施さない場合の約45%である。

H20年度の住宅着工件数は分譲マンション約164,623戸、床面積13,714,000m<sup>2</sup>である。全てのマンションの壁にPUFが用いられるとし次世代省エネルギー基準値から断熱材使用量を算出した場合には全国で約27,000tとなる。現在使用中PUFのうち8割がHFCを使用しており、発泡剤がPUF原料中に約10%含有されていると考え、GWPが約650低下すると考えると1,404,000t/年のCO<sub>2</sub>削減となる。

さらに、新設住宅は年間100万戸を超え、現在断熱材を使用していない、又断熱効果が劣っている場合に本技術を活用した場合の住宅供用時のCO<sub>2</sub>排出削減量を考えるとCO<sub>2</sub>削減効果は多大であると考えられる。

#### 4.1.2.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡(もしくは、超臨界CO<sub>2</sub>発泡)による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」(助成事業)

本研究開発の対象である現場発泡(吹付け)ウレタンフォームは、硬質ポリウレタンフォームの中でも現在フロン使用量が特に多い分野である。従って本研究開発の成果によって、フロン使用量の大幅な削減が見込まれる。また、ノンフロン系断熱材の性能向上(断熱性向上)による省エネルギー化の相乗効果により、温室効果ガスの排出削減が可能で、地球温暖化防止に貢献できるものと考えられる。

\*現場発泡(吹付け)ウレタンフォームのフロン使用量:

硬質ウレタンフォーム全体の約6割(弊社推定値)。

また、本研究開発は現場発泡ウレタンフォームをターゲットとしたものであるが、本技術を基にボード、サイジング、および注入用(非スプレー用途)の断熱性能向上にも展開できる可能性を有している。

#### 4.1.2.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社「気相/液相制御技術等による高断熱現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」(助成事業)

集合住宅や商業施設の結露防止を目的として現場発泡硬質ウレタンフォームが広く使用されており、現在でも HFC が発泡剤として一般的に使用されています。その使用量はおよそ 4000t と試算されている。本研究開発により期待される直接的な効果は、この 4000t の HFC を断熱性能や経済性を維持したまま全廃することにある。

地球温暖化係数の大きい HFC の削減は、地球温暖化防止に効果を発揮するのみならず、断熱性能の改善による省エネ効果、さらには低密度化に伴う天然資源の有効活用にも効果を及ぼす。また現場発泡硬質ウレタンフォームが建築物の断熱・結露防止を目的に広く使用されているのは、その断熱性によるところだけではなく、結露防止効果(対象物に密着する)、経済性(施工スピード、施工コストなど)に起因するところが大きい。このような観点から、高品質の住宅など建築物を経済的な価格で提供することによる経済波及効果も大きいといえる。

今回の開発研究は現場発泡スプレーに限定して検討を進めているが、昨今の地球温暖化対策に対する市場からの要望はきわめて大きく、HFC を依然として使用している硬質ウレタンフォームの他分野、すなわち建材を中心に冷蔵、冷凍分野で使用される断熱パネル分野への展開、また高い断熱性能が必要とされる硬質ウレタンスラブ分野での展開が予想される。

#### 4.1.2.1.4 複合断熱材技術開発

##### 4.1.2.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学

#### 「発泡ポリマー=シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」 (委託事業)

住宅の冷暖房に関するエネルギー消費の抑制は急務であり、既存の断熱材をより性能の高いものに置換していく不断の努力が必要である。本研究で開発したナノコンポジットの連続製造技術は、住宅用断熱材(建材)としての実用化、普及ができれば、新築住宅、住宅の改築時において、既存の性能が高くない断熱材を置換していくことにより、住宅のエネルギーの使用低減による省エネルギー、CO<sub>2</sub> の削減、フロンガスの使用低減による地球温暖化の抑制に貢献できる。また、内装材としての展開により、既存住宅における冷暖房エネルギーの使用低減に貢献しうる。

また、本項目で開発した、ポリマー/シリコンアルコキシド/CO<sub>2</sub> の三成分の高圧混合系を利用した発泡ナノコンポジットの製造手法は、高圧下での相平衡が明らかになれば、様々なポリマー、金属アルコキシドに適用可能である。完全に混合した状態から相分離により構造形成を行うため、ナノレベルの微細な構造の構築に適している。今回研究開発項目③にて例示したように、ユニークな構造を持つコンポジットの製造が期待でき、断熱材のみならず、制振材料、防音材料、低誘電率材料など、様々な機能性多孔体への波及が期待できる。

研究開発項目⑤で検討したシリカエアロゲル系材料は、検証したように本格的な実用化に向けてはコスト面での問題が大きい。実用化、普及に当たっては、超臨界乾燥を利用せず、かつ高い断熱性能が可能な新規製造プロセスの開発か、もしくは既存技術でも低コストで製造可能な、海外での

生産プロセス展開が必要となる。国内での生産で実用的なコストを達成するためには、高压ガス関連法規の緩和などが必要になる。

また、昨今のエネルギーを取り巻く情勢から、燃料電池、廃熱利用技術、蓄熱材、熱電変換素子、太陽熱利用技術などの領域で、熱を効率的に利用するための断熱材料へのニーズが多く出てきている。これらの分野に融合、最適化された断熱材料としての展開により、熱マネジメント技術全般への波及貢献が期待できる。

#### 4.1.2.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」(委託事業)

本研究開発の製品化により期待できる効果は下記の項目が考えられる

- ・高断熱化によるエネルギー使用量、CO<sub>2</sub>発生量の削減
- ・製品寿命の長期化による生産時のエネルギー使用量、CO<sub>2</sub>発生量の削減

本研究開発無機系断熱材は、無機質材料が本来有する耐熱性、不燃性、耐候性に加えて、ナノ多孔質シリカが有する高い撥水性により耐水性も兼ね備えており、材料の劣化が進行し難く、製品寿命も長くなっている。また、経年後の断熱改修あるいは補修作業を軽減することが可能なので、他の建材資材等の消費量も抑えられ、上記の効果が増幅されると期待している。

例えば、新築建築物の木造、S造(鉄骨構造)に限定した付加断熱材としての適用での省エネルギー効果、及びCO<sub>2</sub>排出削減量を、市場規模7,300万m<sup>2</sup>の10%普及、暖房負荷低減率5%にて省エネルギー効果5.2GJ/戸を前提に概算すると、原油換算値116,000KL/年、CO<sub>2</sub>排出削減量85,600t/年となり、大きな効果が期待できる。

#### 4.1.2.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」(助成事業)

ナノゲルを応用したノンフロンウレタンフォームは既存の設備を使用して生産することができるため、実用化には最も展開が早い商品になる。実使用は既存分野である住宅分野を中心に展開されると思われる。一方でシート状断熱材は既存の断熱材よりも断熱性能が遥かに高いため、厚みが薄いまま既存の断熱材と同等の性能を発揮することができる。これにより、シート状断熱材を住宅分野だけでなくこれまで厚みに制限があることで断熱材を使用できなかった他の分野にも展開できるものと思われる。現状で考えられる分野は自動車及び鉄道等の車両分野や、防寒着及び防寒靴といった日用品の分野であるが、今後の技術進歩によりさらなる展開が生まれるものと期待している。

#### 4.1.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発

##### 4.1.2.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業/共同研究)

・マイクロ/ナノ発泡体とハイバリアフィルムを組み合わせることにより、初期だけでなく、長年にわたり良好な断熱性能を維持できる新規断熱シートを開発した。本技術を省エネ・エコ化が進む建材、家電、自動車産業の各用途に展開することにより、地球温暖化防止への貢献が期待される。また、バリアフィルムについて、他社断熱材での効果も確認できており、バリアフィルムでの横展開も進める。

#### 4.1.2.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発」

(委託事業／共同研究)

本事業の高断熱性ノンフロン押出発泡体の実現により、建材・機器の性能向上に寄与でき、吹き付け硬質ウレタンフォームで使用されていた分野への代替展開が可能となり、ノンフロン化を促進することができる。

さらに、発泡プラスチック産業への波及により、マテリアルリサイクル可能な熱可塑性樹脂を用いた高断熱性断熱材の開発が加速され、マテリアルリサイクル可能な熱可塑性樹脂を用いた高断熱性断熱材の普及が予想される。

マテリアルリサイクル可能なノンフロン高断熱性断熱材の普及により、より高い省エネ性能の住宅・建築物の建築が促進され、省エネ性能の確保により省エネルギー化が加速される。

これにより、住宅・建築物でのゼロ・エネルギー化の実現、低炭素社会の実現が期待される。

#### 4.1.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

##### 4.1.2.2.1 計測技術開発

###### 4.1.2.2.1.1 東京工業大学「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」(委託事業)

小型軽量装置でかつ経験を問わないため、非常に迅速かつ再現性のよいデータ得られる。これは材料開発現場では評価用に特別な試料を用意する必要がないため、材料開発へのフィードバックが早くなり、無駄が大幅に減ずることになる。同時に測定装置が省エネルギーであり、多数の装置が同時に作動しても問題がない。いままで難しかった全品検査を可能とするものである。

小型軽量であることは、その場発泡の多い建築用断熱材の効果について、現場で測定することが可能となる。このメリットは計り知れない。

##### 4.1.2.2.2 評価技術開発

###### 4.1.2.2.2.1 建材試験センター「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価」(委託事業)

断熱材を建築用途に使用する上で要求される事項を、断熱建材実用性評価方法によって明らかにし評価が可能となることで、断熱材開発の各フェーズにおいて検討・開発すべき事項の明確化、ならびに開発の進展に繋がるものと考えられる。建築用材料は、工場で生産されたものが最終ユーザーに渡る他の工業製品とは異なり、建設現場において施工され最終的に建築物として完成する。例えば、高断熱性を有する材料でも釘打ちができない場合は、施工方法も併せて開発する必要が生じる。また一方で、建築物の寿命は数十年となることから長期的な性能の変動も重要となる。このような実用性を開発段階から考慮できるようになることで、効果的・効率的に用途開発が行えると思われる。

同様に、断熱性能の測定を行う段階と測定の目的はさまざまであり、要求される性能も異なる。例えば、測定装置が研究室内で使われる場合と建設現場で使われる場合とでは、必要な機能や性能



が異なってくる。

断熱性能測定技術の実用性評価方法により、測定を行う段階毎の要求性能が評価可能になることで、測定技術・装置の開発フェーズにおける課題の明確化、開発の促進に繋がるものと思われる。

また、本事業の成果物が広く一般に公開されると、開発メーカーでの使用の他、ゼネコン・ハウスメーカーなどの断熱建材の使用者や、業界団体・第三者機関などによる使用も見込まれる。使用の目的はそれぞれ異なると思われるが、推測されるものを以下に例示する。

- 材料・機材開発メーカーの新技术開発支援ツールとしての使用
- ゼネコン・ハウスメーカーなどでの材料選択の1項目として又は性能確認としての使用

## 4.2 今後の展開

### (A) 革新的断熱技術開発

革新的断熱技術開発の各開発技術の事業化までのシナリオは下記のとおりである。

#### (1) 基盤技術開発

基盤技術開発においては、下記の検討を実施する。

##### ① ナノセルラー発泡体

2020年度までにコアバック射出発泡成形の実証試験を民間企業と共同実施し、事業化を目指す。

##### ② キセロゲル複合断熱材

2020年度までに複合材料の最適化を図り、民間企業との共同開発により事業化を目指す。

#### (2) 発泡ガス開発

発泡ガス開発においては、下記の検討と開発を実施する。

##### ① 発泡ガス開発、評価

2020年度までに民間企業と共同してパイロットプラントスケールでの製造テスト、化審法申請のための毒性試験等を実施し、事業化を目指す。

#### (3) 硬質ウレタン技術開発

硬質ウレタン技術開発においては、下記を実施する。

##### ① 水発泡による新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材

施工性試験を重ねて、ポリオール構造の最適化を図った後に、プラント製造の検討を行い、2016年度の事業化を目指す。

#### (4) 複合断熱材技術開発

##### ① 発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材

民間企業と共同で、本研究で開発した手法を他のポリマーに適用して、建築用内装材等を実

用化し、2020年度の事業化を目指す。

②エアロゲル+ウレタン材

ナノゲル粒子の表面改質により有機系材料の相溶性改良、具体的な合成設備、生産方式の検討を行い、2020年度の事業化を目指す。

③ナノゲル応用開発

断熱性能以外の商品アイテムごとに必要な物性、特性を検討、対策し、2015年度以降の事業化を目指す。

(5)発泡断熱ボード技術開発

①ナノ分散化アロイ技術+バリアフィルム

要素技術の確立及び実用価値の実証を2012年度までに実施した後、生産化技術の確立、顧客評価結果等を行い、事業化を判断する。

②可塑樹脂+多層押出發泡成形体

パイロット設備を用い、実使用サイズにて高断熱性の多層押出發泡体作成技術を確立するとともに、サンプルワークにて市場適合性を見極める。法規制動向などを含む市場動向を踏まえ、事業化時期を判断する。

(B)断熱性能等の計測・評価技術開発

断熱性能等の計測・評価技術開発における各事業の事業化までのシナリオは下記のとおりである。

(1)計測技術開発

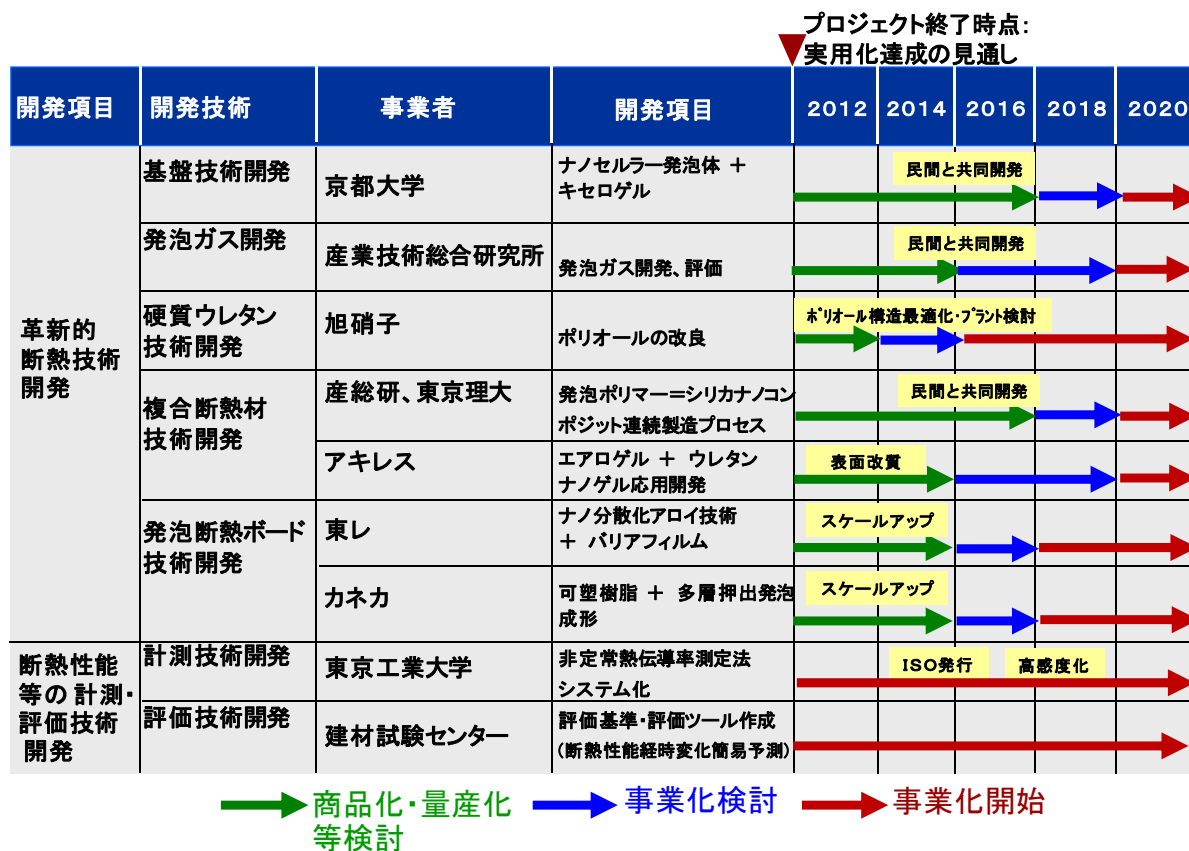
計測器については、2012年度より事業化を開始する。また計測法について標準化提案し、ISO承認を得て、装置拡販のアピールポイントとする。

(2)評価技術開発

2011年度より開発した評価技術をウェブ上で公開している。

表 4.1.2.1 に成果の事業化までのシナリオを示す。

表 4.1.2.1 成果の事業化までのシナリオ



#### 4.2.1 革新的断熱技術開発

##### 4.2.1.1 基盤技術開発

###### 4.2.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

その創製のための基盤研究」(委託事業)

ナノセルラー発泡に関しては、如何にして発泡率(空隙率)をあげるかの技術の極限を追求しながら、これまでの基盤研究結果と核剤種による影響をコアバック射出発泡成形へどこまで適用できて、バッチ実験の結果がどこまで立証できるかを明確にする。合わせて、ナノ構造体が故の利点を波及できる用途探索へと進める。また、キセロゲル/高分子複合体については、さらなる高分子材料との複合化適正を図るとともにある温度域で熱伝導率が極端に変化(転位)する断熱材材料の探索や温度差から生じる起電力を利用して、熱を電気に変換する熱電変換断熱フィルムの開発を検討する。

##### 4.2.1.2 発泡ガス開発

###### 4.2.1.2.1 産業技術総合研究所「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

これまでの検討から熱伝導率が HFC-245fa とほぼ同等で温暖化係数が 150 以下の発泡剤候補化合物を見出し、環境影響評価、燃焼性評価、熱伝導率評価、発泡試験など、発泡剤としての特性の

検証を行い、発泡剤としての有用性も示すことができた。また、工業的スケールでの製造につながる合成方法も見出すことができた。

本研究で開発した発泡剤化合物の製品化を考えると、現在の HFC 発泡剤の生産規模を考慮して年間数千トン規模での生産が求められると予想される。また、実際の使用に関し、急性・慢性毒性など化合物の毒性についてさらに検討する必要がある。このため、開発した化合物の製造が可能な民間企業と共同し、パイロットプラントスケールで製造テストなど製造プロセス開発、化審法申請のための毒性試験の実施など、製品化に向けた開発を進め、実用化につなげていきたい。また、発泡断熱材メーカーとも連携し、開発された発泡剤を用いた断熱材の実用化を進めていきたい。

#### 4.2.1.3 硬質ウレタン技術開発

##### 4.2.1.3.1 アキレス株式会社「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」(委託事業)

更にセルの微細化を図ると同時に樹脂改質を検討し、経時熱伝導率の改良が出来次第実用化の検討を行う。

##### 4.2.1.3.2 日清紡ケミカル株式会社

##### 「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」(委託事業)

3章で示した今後の課題と最終目標達成見通し、実用性を考慮して、GWP の低い硬質 PUF 発泡システムを確立させる。

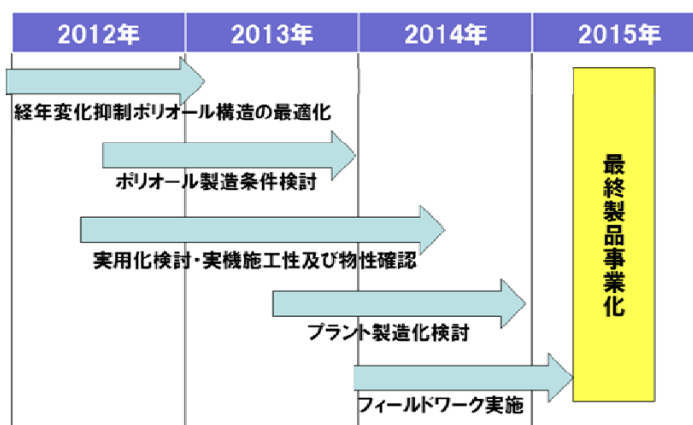
##### 4.2.1.3.3 旭硝子株式会社「水発泡（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub>発泡）による、新規現場発泡

##### 高断熱ウレタン発泡材の技術開発」(助成事業)

本研究開発テーマの目標を達成後、実際に施工性試験を重ね、最終製品へ仕上げることを目指す。非スプレー用途については、スプレー用途の実用化の目処が得られた後、その知見を基に応用展開を実施する。

本研究開発の事業化までのスケジュールを、表 4.2.1.3.3.1 に示す。

表 4.2.1.3.3.1 事業化までのシナリオ



#### 4.2.1.3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社

##### 「気相/液相制御技術等による高断熱現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」(委託事業)

我々は、現場発泡硬質ウレタンフォームのシステム製造、販売を事業とし、且つ収益を生み出し、本研究開発の成果は、新製品(従来製品の断熱性能改良品)という位置づけで販売されるもので、改めて事業化と云うものではない。

- ・現場発泡分野でもノンフロン製品への移行の社会的要求は大きいですが、従来品との断熱性能差が大きく、結果、価格競争力(トータル施工コスト)で劣っているために遅々として進まない状況である。この断熱性能差(価格競争力)が改良できれば、環境にやさしい製品を求める社会的要求により、加速度的にノンフロン品に移行できる。
- ・これまでに多くの研究者が、断熱性能に優れ、環境負荷が小さく、安全な新規発泡剤を追求してきたが、現場発泡分野においてはHFCに代わる発泡剤は見出されていない。我々の研究開発は、その引火性のために現場発泡分野では使用が困難と考えられてきたハイドロカーボンを、吸油性材料による吸脱着制御により安全に使用するなど極めて独創的なアイデアである。
- ・我々は、硬質ウレタンフォームシステム(原液)を販売しているが、単に原液の販売ではなく、発泡設備、生産技術指導などトータルシステムを提供することで顧客から高い評価を得ている。我々はこれをフォームシステムと呼んでいる。現場発泡分野では品質確保、安全衛生の観点からも施工技術指導は極めて重要であり、さらに液化炭酸ガス発泡設備の開発、普及などわれわれのフォームシステムが顧客に受け入れられ、特に最近この分野での我々のマーケットシェアは拡大しており、これが我々の最大の競争力と認識している。したがって、是非この開発を生かして弊社の新製品に結び付けたいと考える。

#### 4.2.1.4 複合断熱材技術開発

##### 4.2.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学

##### 「発泡ポリマー=シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」 (委託事業)

本研究で主にPMMAにて開発した手法を他のポリマーに適用して、フローリング材、あるいは壁紙材などの内装材を実用化するため、民間企業との共同研究、および公的資金の獲得について準備を進めている。また、断熱性能の向上とナノ構造の制御に関しては引き続き自主的な研究開発を進める。

手法2のポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルは、現状でのコストで展開可能なニーズの調査を行うとともに、低コスト化を目指して製造プロセスの抜本的な見直し、新規開発を検討する。また、シリカエアロゲル系材料は、現在適当な標準試料がない低熱伝導率(0.02W/mK以下)の領域で、熱伝導率の基準的な試料となる可能性があると考えており、今後の高性能断熱材料開発に資するため、計測標準、材料評価関連の機関と連携して検討を行う

#### 4.2.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」(委託事業)

本研究開発無機系断熱材は、住宅・建築分野以外の産業・輸送分野等への展開の可能性があり、この分野での要求性能の付加を今後検討する予定である。

また、製造設備の制約が少ないナノ多孔質シリカの製造方法を確立することにより、経済性を有する断熱素材の提供に取り組んでいく。

#### 4.2.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」(助成事業)

ナノゲルの合成から応用加工までの開発については、個々の研究成果としては目標を達成しているものが多いが、具体的な商品化については未だ詳細部分で改良が必要となっている。

断熱性能以外に商品アイテム毎にそれらの物性や商品特性への対応などの検討が不足しているため、今後これらの課題を解決し、2015年以降の事業化を達成する予定である。

#### 4.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発

##### 4.2.1.5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業/共同研究)

- ・長期にわたり高断熱性能を維持できることから、建材用を始めに、家電や自動車などの断熱材への展開も図る。また、マイクロ/ナノ発泡体以外の断熱素材とバリアフィルムの組み合わせについても検討する。
- ・下記の各要素技術の確立及び実用価値の実証を、2012年度末を目処に進め、実用化の可能性について、生産化技術の確立状況、顧客評価結果、事業性をあわせて、総合的に判断する。

##### A. マイクロ/ナノ発泡技術

パイロット製造機で得られたプロセスデータを基に生産化技術を確立する。

##### B. バリアフィルム

品位の向上を進めると共に、製膜機の新設または現存設備の改良の判断を行う。

##### C. 梱包技術

包装機械メーカーと「発泡/梱包」連続製造プロセスを設計する。

##### D. 実用価値実証

現在実施している基本特性評価を完了し、パイロット製造機の改造により得られる実物大サンプルの評価へ進む。

##### 4.2.1.5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出發泡体の研究開発」(委託事業/共同研究)

小スケールでの技術確立目処付けをもとに、製品サイズにて高断熱性の多層押出發泡体を得るためのスケールアップ化に向けた生産技術検討、製品化技術の検討を推進し、製品サイズでの技術確立の可能性を見極める。

一方で、住宅の高断熱化(省エネルギー基準の厳格化)、発泡剤規制(ノンフロン化)の関連政策など法規制動向を注視し、市場動向を踏まえた製品化の準備を推進し、タイムリーな市場参入を果たす。

## 4.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

### 4.2.2.1 計測技術開発

#### 4.2.2.1.1 東京工業大学「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」 (委託事業)

開発した装置は試料に粉体、液体、プラスチック、生体などへの対応ができる。このことは、単なる断熱材評価法から、すべての材料の熱伝導測定簡易計測システムとしての展開が期待できる。熱伝導測定分野は難しいとされ、測定データが少ないが、環境問題、エネルギー問題を考える上で、研究上のみならず実際の運用でも精密な測定用途は拡大するものと考えられる。

### 4.2.2.2 評価技術開発

#### 4.2.2.1.2 建材試験センター「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価」 (委託事業)

当面は、建材試験センターのウェブサイト上で公開し、適切に管理する。

# イノベーションプログラム 基本計画

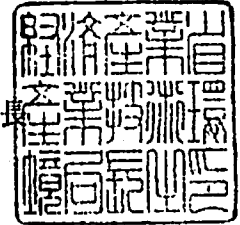
平成21年4月  
経 済 産 業 省



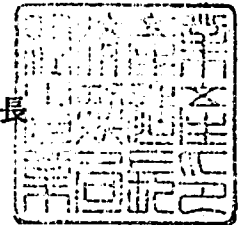
# 経済産業省

平成21・03・24産局第1号  
平成21年4月1日

経済産業省産業技術環境局長



経済産業省製造産業局長



環境安心イノベーションプログラム基本計画の制定について

上記の件について、イノベーションプログラム実施要領（平成16・07・27産局第1号）第4条第1項の規定に基づき、別添のとおり制定する。

平成21・03・24産局第1号  
平成21年4月1日

## 環境安心イノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するため、革新的な技術開発や低炭素社会の構築等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制（リデュース）、製品や部品の再使用（リユース）、原材料としての再利用（リサイクル）推進による循環型社会の形成、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造、化学物質のリスクの総合的な評価及びリスクを適切に管理する社会システムの構築を推進する。

### 2. 政策的位置付け

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）及び分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点推進分野である環境分野及び国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発の推進分野であるエネルギー分野に位置付けられるものであるほか、次のとおり位置付けられている。

新産業創造戦略2005（2005年6月経済産業省）

先端的新産業分野として揚げられた戦略7分野の一つの「環境・エネルギー・機器・サービス」及び「健康・福祉・機器・サービス」に該当し、「技術戦略マップ」を活用し、効果的な研究開発を促進することが今後の取組として指摘されている。

「新・国家エネルギー戦略」（2006年5月経済産業省）

省エネルギーフロントランナー計画において省エネルギー技術開発の一層の推進を図ることとしている。

経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

「環境と経済の両立を図るため、金融面からの環境配慮を進めるとともに、環境技術の開発、3Rイニシアティブやアジア環境行動パートナーシップ構想による優れた技術・制度の国際的な普及と標準化等に向けた取組を進める」との方針が示されている。

イノベーション25（2007年6月閣議決定）

イノベーション立国に向けた政策ロードマップ - 社会システムの改革戦略 - 早急に取り組むべき課題「環境・エネルギー等日本の科学技術力による成長と国際貢献」において、「環境・資源・エネルギー等の世界的制約となる課題の解決に貢献し、技術開発や環境整備を通じて持続可能な産業体系・社会基盤・生活を実現することにより世界と日本の経済成長の原動力とするエコイノベーションを実現すべきである。」との方針が示されている。

イノベーション立国に向けた政策ロードマップ - 技術革新戦略ロードマップ「世界的課題解決に貢献する社会 ものづくり技術分野」の中で「3R型設計・生産・メンテナンス技術、製品の設計・製造段階でのリサイクル阻害物質の使用排除を可能とする技術、製品中の有用・有害物質管理技術の開発・標準化」が資源を有効利用し、環境に配慮したものづくり技術として位置づけられている。

21世紀環境立国戦略（2007年6月閣議決定）

今後1、2年で重点的に着手すべき八つの戦略の中で「3R関連法制度等の充実や技術開発の支援を通じて、製品のライフサイクル全体での天然資源投入量の最小化や

再生資源の高付加価値製品への利用を促進し、資源生産性の更なる向上と環境負荷の低減を図る」との方針が示されている。

同じく、今後1、2年で重点的に着手すべき八つの戦略のうち「環境・エネルギー技術の中核とした経済成長 - 環境技術・環境ビジネスの展開」において「環境重視・人間重視の技術革新・社会革新を図る「エコイノベーション」というコンセプトの下、我が国の強みである「ものづくり」と「環境・省エネ」の技術力を根子に、持続可能な生産システムへの転換、ゼロエミッション型社会インフラ整備、環境価値を重視した持続可能な生活の実現に向けた技術革新と社会システム改革を一体的に推進し、その成果をOECD等を通じて世界に発信する。」との方針が示されている。

「地球温暖化対策技術研究開発の推進について」(2003年4月総合科学技術会議)

総合科学技術会議重点分野推進戦略専門委員会に設置された温暖化対策技術プロジェクトチームでまとめられた上記報告書における研究開発推進戦略に対応するものである。

京都議定書目標達成計画(2005年4月閣議決定)

目標達成のための対策と施策のうち地球温暖化対策技術開発の推進に位置づけられるものである。

Cool Earth - エネルギー革新技术計画(2008年3月経産省公表)

重点的に取り組むべきエネルギー革新技术「21」を含むものである。

低炭素社会づくり行動計画(2008年7月閣議決定)

「低炭素社会を目指し、長期目標を実現するために重要な革新的技術開発の推進及び既存先進技術の普及促進を行う。」とされている。

産業構造審議会廃棄物・リサイクル小委員会基本政策ワーキンググループ報告書(2008年1月)

「近年、安定供給が懸念されているレアメタルの中には、使用製品からの回収・再利用技術が確立していないものもあることから、回収された使用済製品から効率的に抽出するための新たな技術の開発にも取り組むべきである。」とされている。

バイオマス・ニッポン総合戦略(2006年3月閣議決定)

バイオマスの変換に関する戦略として、経済性の向上、革新的な変換技術の開発に取り組むこととしている。

ドリームBTジャパン(2008年12月BT戦略推進官民会議取りまとめ)

バイオテクノロジー(BT)を活用して、環境に優しい低炭素社会の実現と環境修復のための技術開発と実用化支援を行うこととしている。

### 3. 達成目標

#### ・地球温暖化防止新技術

- (1) 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、経済成長と温室効果ガスの排出削減の双方を同時に達成できる革新的技術を開発するとともに、低炭素社会モデル構築に向けた取り組みを推進。

【目標】 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減

- (2) 「京都議定書」で課せられた温室効果ガス削減目標の達成

(「京都議定書目標達成計画」に示された各部門の目安としての目標(基準年比)は以下のとおり)

【目標】

エネルギー起源CO<sub>2</sub>: +1.3~2.3%

非エネルギー起源CO<sub>2</sub>: 0.04%

メタン: 0.9%

一酸化二窒素： 0.6%  
代替フロン等3ガス： 1.6%

( ) 「京都議定書目標達成計画」とは、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき、「京都議定書」の6%削減約束を確実に達成するために必要な措置を定めるものをいう(平成17年4月閣議決定、平成18年7月一部改定、平成20年3月全部改定)

#### ・資源制約克服 / 3R

「第2次循環型社会形成推進基本計画(平成20年3月閣議決定)に基づき、2015年度までに以下の目標の達成を図る。

資源生産性：約42万円/トン(2000年度：約26万円/トン)

循環利用率：約14~15%(2000年度：約10%)

最終処分量：約23百万トン(2000年度：約57百万トン)

(備考)

資源生産性 = (GDP) / (天然資源等投入量)

循環利用率 = (循環利用量) / (循環利用量 + 天然資源等投入量)

#### ・環境調和産業創造バイオ

バイオプロセスによって有用物質を生産し、廃棄物や汚染物質を発酵等により処理又は再資源化するという、循環型の産業システムを実現するために必要な技術基盤の構築を図るとともに、遺伝子組換え体の産業利用における安全性管理の充実を図る。具体的には、工業プロセスにバイオテクノロジーを導入することや、微生物や植物機能等を活用したモノ作り技術の開発、バイオマス利用、及びバイオ技術による産業廃水等処理技術の開発等を通して、環境調和型産業の創出に資する。

#### ・化学物質総合評価管理

化学物質のリスクの総合的な評価を行いつつ、リスクを評価・管理するための技術体系を構築する。そのために、化学物質のリスクに係る国民の理解増進のための基盤、事業者が自らリスクを判断する手段及び国が規制等の施策を講ずる際の手段として、化学物質のライフサイクルにわたるリスクの総合的な評価管理を行うための手法を確立するとともに、リスクの削減に資するプロセス、手法の開発、さらには知的基盤を整備する。

### 4. 研究開発内容

#### - 1. CO2固定化・有効利用技術

地球温暖化対策のため、排出される二酸化炭素を分離回収・固定化することや、有用物質に変換する技術を開発し、低炭素社会の構築に資する。

( ) 共通技術開発等

(1) プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発

##### 概要

二酸化炭素の固定化・有効利用技術開発は、現時点においては基礎的な段階に属する研究が多く、長期的観点からの取り組みが必要不可欠。このため本事業では将来において実現可能性の高い二酸化炭素固定化・有効利用技術に関する革新的な技術シーズを発掘し、実現可能性を確認した上で、基盤技術として確立する。

##### 事業期間

1999年度～2011年度

##### 実施形態

適切な研究課題等を選定して研究開発を実施。

(2) 地球環境国際研究推進事業

概要

地球温暖化問題の解決に向け、CTI（気候変動技術イニシアティブ）等の国際的な枠組みを活用し、諸外国の先進的取組との研究協力や、発展途上国への技術普及を進めることにより、世界的な温暖化問題への取り組みを強化する。

事業期間

2002年度～2011年度

実施形態

諸外国との連携のもと、テーマ毎に適切な体制を構築し実施。

( ) 二酸化炭素回収・貯留(CCS)に関する技術開発

(1) 分子ゲート機能CO<sub>2</sub>分離膜の技術研究開発

概要

二酸化炭素回収・貯留(CCS)の実用化に向け、最大の課題のひとつであるCO<sub>2</sub>分離回収コストの大幅低減を目指し、圧力を有するガスからのCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>の分離用に期待されている膜分離技術の実用化のため、分子ゲート機能CO<sub>2</sub>分離膜の高圧下におけるCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>選択性の向上、分離膜モジュールの大型化等に取り組む。

技術目標及び達成時期

2015年頃において、石炭ガス化複合発電(IGCC)等で発生する圧力ガスから従来の3分の1程度(1,500円/t-CO<sub>2</sub>程度)のコストでCO<sub>2</sub>を分離回収することを可能とする膜分離技術の確立を目指す。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(2) 二酸化炭素貯留隔離技術研究開発

概要

二酸化炭素回収・貯留(CCS)(地中貯留及び海洋隔離)の実用化に向け、CCS実施における安全性評価・社会的信頼醸成に必要な基盤技術や手法の開発に重点的に取り組む。本事業の実施にあたっては、国内外で実施される実証事業等と必要な連携をしながら取り組む。

また、本事業で獲得した安全性評価等に関する知見を活用し、CCS事業を計画する上での基礎情報である、貯留隔離ポテンシャルの調査を行う。

技術目標及び達成時期

貯留した二酸化炭素のモニタリング技術、挙動予測手法、環境・生物影響評価、安全性評価手法の開発、及び全国貯留層賦存量調査を行う。

研究開発期間

フェーズ1：2000年度～2004年度

フェーズ2：2005年度～2012年度

注) 本事業は、平成20年度までの「二酸化炭素地中貯留技術研究開発」(うち実証試験を除く)と「二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」を統合したもの。

(参考：「二酸化炭素海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」の研究開発期間)

フェーズ1：1997年度～2001年度

フェーズ2：2002年度～2006年度

フェーズ3：2007年度～2011年度

当初単独事業として2011年度まで実施する予定であったが、2009年度

より地中貯留技術研究開発と事業統合。海底下帯水層への地中貯留等に係る、安全性評価・環境影響評価等にこれまでの成果を活用する。

(3) 二酸化炭素削減技術実証試験委託費

概要

二酸化炭素回収・貯留(CCS)技術の実用化に向けた実証試験を行う。具体的には、火力発電所等の大規模発生源から分離回収したCO<sub>2</sub>を年間約10万トン規模で地下帯水層(地下1,000m程度)等へ貯留する技術を実証するとともに、長期挙動予測可能な二酸化炭素挙動予測シミュレーション技術、モニタリング技術等の基盤技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2015年度までに、CCS技術の本格導入となる、100万トン/年規模での地中貯留を実現するために必要な基盤技術を確立する。

研究開発期間

2008年度(補正)~2013年度

( ) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)

概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

技術目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

研究開発期間

2008年度~2017年度

( ) 大規模植林

(1) バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発

概要

バイオエタノール化に適した樹木への環境耐性付与を遺伝子技術により実施し、これら原料樹木の不良環境下での効率的な植林技術を開発する。

技術目標及び達成時期

事業4年目までに、未利用の不良環境地でも生育できる高セルロース樹木を遺伝子技術により開発し、実証植林を行う。

研究開発期間

2008年度~2011年度

- 2. 脱フロン等技術

代替フロンの排出量を抑制するため、代替フロンを削減する技術(脱フロン等技術)を開発する。

(1) 革新的ノンフロン系断熱材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、住宅・建築物の省エネルギーという社会適用性に応えるため超微細発泡等による断熱性能の向上のための技術開発を行う。

技術的目標及び達成時期

既存のノンフロン断熱材では達成できていない断熱性能を実現し、更には従来のフ

ロン断熱材の断熱性能を超える高断熱性能を実現する断熱材を2012年頃を目途に開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ノンフロン型省エネ冷凍空調システムの開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、家庭用・業務用及び運輸用エアコン及びショーケース等に使用可能なノンフロンかつ高効率を達成でき、安全性についても配慮された新たな冷凍システムの開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、ノンフロン(自然冷媒等)型省エネ冷凍・空調システムを開発する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

・資源制約克服/3R

( ) 金属資源等3R対策

(1) 希少金属等高効率回収システム開発(再掲)

概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されているため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

技術目標及び達成時期

- ・従来方法(乾式製錬)で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現(省エネルギー効果:原油換算で約78万k1/年削減)
- ・廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上(インジウム0% 90%、ニッケル50% 95%、コバルト0% 95%、タンタル0% 80%、タングステン90% 95%、レアアース0% 80%)

研究開発期間

2007年度～2010年度

(2) 希土類金属等回収技術研究開発

概要

今後、普及拡大が見込まれる製品の製造工程において排出されるレアアースを含む不要物など技術的・経済的に抽出が困難なレアアース含有物について、レアアース等有用金属のリサイクル技術の研究開発を行う。

具体的には、液晶パネル用ガラス、ハードディスク用ガラスの製造工程等で使用された低品位状態のレアアースについて高品位化し再利用するための技術開発を実施する。

技術目標及び達成時期

液晶パネル用ガラス、ハードディスク用ガラスなどの精密な表面処理が必要な製品の研磨に使用されているセリウム等のレアアースを含有する研磨剤について、

研磨廃滓中のレアアース成分と不純物の分離に新たな低温での化学的・物理的プロセスを確立・導入（具体的には低温での効率的な化学処理や、研磨剤成分ではなく不純物を物理的に分離する回収プロセスに変更する等）することでレアアース回収プロセスの低コスト化及びエネルギー使用合理化を目標とする。

研究開発期間

2008年度（補正）～2012年度

### （3）希少金属代替材料開発プロジェクト（再掲）

概要

希少金属は、特殊用途において希少な機能を発揮する一方で、その希少性・偏在性・代替困難性から、市場メカニズムが必ずしもうまく機能せず、その供給停止は川下の経済成長の制約要因となりうるリスクを伴っている。近年、「コンピュータによる材料設計」、「ナノテクによる微細構造制御」等が飛躍的に向上した結果、従来できなかった、「コンピュータによる最適制御設計による候補元素系の探索」、「結晶粒界、界面の制御等マイクロ構造の制御」等が可能となりつつあることから、こうした最先端技術を用いることで、希少金属の新たな代替/使用量低減技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、以下希少金属元素の使用原単位について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等を少なくとも維持することを前提とする。

- ・透明電極向けインジウム（In）：現状から50%以上低減
- ・希土類磁石向けディスプロシウム（Dy）：現状から30%以上低減
- ・超硬工具向けタングステン（W）：現状から30%以上低減

研究開発期間

2007年度～2011年度

### （ ）水資源制約克服

#### （1）環境調和型水循環プラント実証事業（運営費交付金）

概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を活用し、省水型・環境調和型の水循環システムを開発するとともに、海外展開等を支援する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに省水型・環境調和型の水循環システムを確立し、以降、国内外の水不足が深刻な地域へ当該水循環システムを順次普及させる。

研究開発期間

2009年度～2013年度

#### （2）環境調和型水循環技術開発（運営費交付金）（再掲）

概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を強化し、省水型・環境調和型の水循環システムの開発に資する省エネ・省水型の要素技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、以下の技術を開発する。

- 革新的膜分離技術の開発：

従来法に比べ膜透過加圧エネルギー等を50%以上削減。



- 省エネ型膜分離活性汚泥法（MBR）技術の開発：  
従来法に比べ膜洗浄の曝気（空気気泡）エネルギー等を30%以上削減。
- 有用金属・有害物質の分離・回収技術の開発：  
従来法に比べ汚泥の削減により汚泥処理・処分エネルギーを80%以上削減。
- 高効率難分解性物質分解技術の開発：  
従来法に比べ窒素処理に係るエネルギーを50%以上削減。  
オゾン酸化法等のエネルギーを50%以上削減。

研究開発期間

2009年度～2013年度

・環境調和産業創造バイオ

(1) 植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発

( ) 植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発（運営費交付金）

概要

現在の化学工業プロセスに代わる、植物の有する有用物質生産能を活用した省エネルギー・低環境負荷型の工業原料生産プロセスへの変換を促進する。具体的には、工業原料の生産に関わる重要な物質生産プロセスに関する代謝系をゲノム情報に基づき解析するとともに、有用物質生産制御に必要な一連の代謝遺伝子群の発現を統一的に制御する技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、工業原料として有望なバイオマスとしてイソプレノイド、油脂などの有用物質生産に関わる代謝経路とその調節メカニズム及び生産物質の蓄積・移動に係るメカニズムの解析を行い、関連遺伝子情報を整備するとともに、統括的発現制御技術を開発する。

研究開発期間

2002年度～2009年度

(ii) 植物利用高付加価値物質製造基盤技術開発

概要

動物や微生物による物質生産と比較して、安全性が高い、生産コストが低い、省エネルギーで環境調和型といった特徴を有する植物を活用した高機能タンパク質等の高付加価値物質生産（モノ作り）の基盤技術を開発するために、有用物質を高効率に高生産させる組換え植物の基盤技術を開発するとともに、閉鎖型人工環境下での高効率な栽培技術の開発を一体的に進める。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実用植物において実用可能なレベルまで有用物質を効率的に高生産・高蓄積させる組換え植物を開発するとともに、目的有用物質を安定かつ均一に生産・蓄積させる栽培技術を確立し、その生産の実用性を閉鎖型人工環境下において確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(2) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発（再掲）

( ) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス（モノ作り）の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高

性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する（バイオリファイナリー）ための基盤技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御（デザイン化）することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発（再掲）

概要

食料と競合しないセルロース系バイオマスからバイオ燃料を製造する革新的技術の開発を軸に、バイオ燃料生産に有用な遺伝子組み換えによる植物・微生物の開発等、バイオ燃料のコスト競争力強化に資するバイオリファイナリーの一環として、ブタノール、プロピレン等の製造技術の実用化を目指した開発を行う。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、セルロース系バイオマスを原料とし、バイオ燃料製造の従来技術に比べて画期的に優れた効率や低コスト化を可能とする糖化・発酵等の基盤技術を開発するとともに、バイオマス利用に資する微生物の利用基盤技術の開発を行う。さらに、プロパノール等の高効率取得のための触媒開発等により、化成品製造の実用化を目指した技術開発を行い、バイオマスに関する燃料分野と化成品分野の融合・連携を図る。

研究開発期間

2007年度～2013年度

- 1. 化学物質総合評価管理

(1) 化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発（運営費交付金）

概要

化学物質のリスクを共通指標で比較、検討し、事業者等における代替物質の選択の際に、リスクの相互比較が可能となるリスク評価手法及び社会経済分析等リスクトレードオフ解析手法を構築する。

#### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、代表的な化学物質用途群につき、化学物質のライフサイクルに応じたあらゆる暴露を考慮した排出量推計手法や室内暴露評価手法等環境動態解析手法を構築する。さらに、用途群内の物質間でのリスクトレードオフ解析手法を開発する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (2) ナノ粒子の特性評価手法開発(運営費交付金)(再掲)

#### 概要

ナノ粒子のキャラクタリゼーション、計測技術の確立とともに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びナノテクノロジーによるリスク不安に対処したリスク管理手法を開発する。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びリスク評価手法を開発し、ナノ粒子のリスク評価及び管理の考え方の提言を行う。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

### (3) 構造活性相関手法による有害性評価手法開発(運営費交付金)

#### 概要

従来動物実験による反復投与毒性試験に代わり、*in silico* や類推等を用いた予測・評価を可能とするため、既知の毒性情報を整備したデータベースを基に、よりの確に効率よく毒性を評価可能とする有害性評価支援システムを構築する。

#### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、公開されている反復投与毒性試験データや毒性作用機序情報が搭載されたデータベース、肝臓における代謝産物・代謝経路を予測する手法、及び対象とする化学物質の標的臓器・症状やその毒性の強さの範囲等を予測する手法を開発する。さらに、それらを統合して毒性判断に必要な情報を効率的に抽出する有害性評価支援システムを構築する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (4) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)(再掲)

#### 概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro* 培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた *in vitro* 系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセットを完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

- 2 . 化学物質リスク削減技術開発

アスベスト含有建材等回収・処理等技術開発事業（運営費交付金）

概要

今後、大量の排出が予測されるアスベスト含有建材等の廃棄物を対象として、そのアスベスト含有状況について簡易かつ確実な探知・分析を可能とし、安全性、信頼性の高い回収・処理を実現する関連機器・システムの技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時においてオンサイト方式で検出感度0.1wt%超レベルに検出できる計測技術を確立し、アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及びばく露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術を確立する。また、アスベスト含有廃棄物の無害化処理における安全性、効率性に優れた技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

・その他

エコイノベーション推進・革新的温暖化対策技術発掘・実証プログラム（運営費交付金）

概要

エコイノベーション（環境重視・人間重視の技術革新・社会革新）の創出および、低炭素社会の構築のため、それに資するテーマを公募し、その実現可能性調査や地域実証試験を実施する。発掘された技術シーズや実証された有望な社会システムモデルは広く国民に示し、民間におけるエコイノベーション推進や低炭素社会構築に関する研究や取組を加速させる。

技術目標及び達成時期

F S 結果や実証モデルから生み出された公的機関の実施する研究開発件数や民間主導の取り組みモデル件数を事業のアウトカムとしてモニタリングする。

また、OECDにおいて、エコイノベーション・ロードマップとともに、その進捗を測る指標の2010年を目処にした作成が検討されているところ。こうした指標を参考とし、エコイノベーションが進展する度合いの数値化を可能にした上で調査段階でこれらの指標を設定し国際比較を行う。

研究開発期間

2008年度～2012年度

5 . 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

【導入普及促進】

排出量の多い品目・業種や処理困難物を中心にリサイクルシステムなどの実証・市場化対策に関するフィージビリティ・スタディを実施する。

サプライチェーングループを対象に、部品等の仕様と原材料の使用・副産物の発生状況等に関する診断を実施し、製品設計及び製造プロセスの同時改善の方向性に関する提案、指導を行うとともに、取組事例を分析・評価し、資源投入量の抑制効果の高い優良な事例を公開する。

商品選択に資するわかりやすい3R配慮情報（省資源性や再生資源・部品の使用状況等）を消費者に提供し、環境配慮型製品の市場拡大を推進するため、指標の策定や、情報提供手法の確立、製品の情報検索が可能なシステムの検討・開発を行う。

3R対策が講じられている製品等の市場開拓を促進するため、政府が環境物品等を率先購入することを定めたグリーン購入法について、同法の判断基準が引き続き3R対策

を適切に反映するようにしていく。

化学物質の有害性評価、暴露分析、リスク評価等のデータベースの構築を図るとともに、それらの手法の各種活動（事業者の自主管理活動、事業者、地方自治体等が国民とリスクコミュニケーションを図る活動等）等への導入を図る。

公害防止設備に対する優遇税制等の支援を行う。

#### 【法規制・制度改革】

二酸化炭素回収・貯留（CCS）の国内での本格実施に必要な法規制・制度の整備等に関して検討を行う。

資源有効利用促進法等のリサイクル関連法制度によるスキームを活用して、3R対策を網羅的に講じることにより、循環型社会の構築を図る。

遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）に基づく立入検査で査収した生物が遺伝子組換え生物であるか否かを判断するための基盤的な技術の高度化や収去方法を確立すること等により、的確な法律の執行体制を整備する。

#### 【ガイドライン】

事業者による自主的取組を促進する観点から、産業構造審議会において策定している「業種別・品目別廃棄物処理・リサイクルガイドライン」（自主的な目標の設定）について、3R対策を加速する観点から適宜フォローアップを行い、改定を行う。

#### 【基準・標準化】

各プロジェクトや民間における技術開発等で得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。

CO<sub>2</sub>回収・貯留後のモニタリング、植林等によるCO<sub>2</sub>固定化量の計算、バイオマス利用時のCO<sub>2</sub>排出削減量の評価、環境影響や安全性評価手法など、CO<sub>2</sub>固定化・有効利用を推進するに当たって標準化が必要となる事項については、研究・開発状況や社会情勢を常に意識しながら計画的に標準化を推進する。

リサイクル品などの3R配慮製品に対する需要の創出・拡大を図るため、「環境JIS策定促進のアクションプログラム」に基づき、リサイクル品等の品質基準及び試験評価方法の規格（環境JIS）の策定を引き続き推進する。

バイオマス由来プラスチックにおけるバイオマス含有量測定の標準化を推進するとともに、生分解性プラスチックに係る微生物嫌気分解試験方法の国際標準化を着実に実施する。

石油精製物質等簡易有害性評価手法開発については、開発された簡易有害性評価手法等を2014年度を目途に経済開発協力機構（OECD）にテストガイドラインとして提案することを検討し、国際標準化を推進する。

#### 【調達促進】

バイオマス由来プラスチック等、生物機能を用いた生産プロセスにより生産された製品について、グリーン購入法に基づく調達品目として位置付けられるべく検討を行う。

#### 【広報・啓発】

研究開発プロジェクトの成果について広く普及啓発を図るため、シンポジウム等を行う。

3Rの普及・促進を図るため、毎年10月を「3R推進月間」とし、この期間を中心として、3R活動への関係者の取組を促すための「3R推進功労者等表彰」や、循環ビジネス振興のための「資源循環技術・システム表彰」等の普及啓発活動を実施する。

#### 【知的基盤整備】

国内外との共同研究等を通じ、革新的な温暖化対策技術や方策についての情報交換に資する、情報ネットワークの構築等を行う。

物質生産用に関与された汎用宿主細胞や取得した生物遺伝資源は、独立行政法人製品

評価技術基盤機構に整備し、社会に幅広く提供する。

独立行政法人製品評価技術基盤機構の化学物質管理センターにて事業者・国民・公的機関の化学物質管理に関する冷静な対話（科学的知見の共有）を促進するための知的情報基盤整備を図る。

【国際協力】

生物多様性条約に基づく遺伝子資源へのアクセス促進事業において、日本のバイオ関連企業の遺伝子資源保有国（途上国）の遺伝子資源に対するアクセスを促進するための技術的環境整備及び遺伝子資源へのアクセス実施の調整を行う。

【他省庁との連携】

総合化学技術会議が推進する科学技術連携施策群の「食料・生物生産研究」及び「総合的リスク評価による化学物質の安全管理・活用のための開発技術」、ライフサイエンスPT、社会還元プロジェクトの下での関係府省間における適切な連携の実施。

【プロジェクト等との連携】

CO<sub>2</sub>固定化・有効利用技術のロードマップに基づき、技術シーズ発掘型技術開発事業成果のプロジェクトへの取り込みや、プロジェクト間の連携により、低炭素社会モデルの構築に資する効果的なCO<sub>2</sub>固定化・有効利用システムの実現を図る。

植物機能を活用したモノ作り基盤技術開発に係る2つのプロジェクト間での、遺伝子高発現技術やモデル植物での基盤技術及び実用作物への技術展開に関する情報交換を推進する。

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

- ・事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。
- ・プログラム目標等については、京都議定書目標達成計画の評価・見直しプロセスに伴う対応を行う。
- ・各プロジェクトを横断的観点からマネジメントする体制を整備し、技術の進捗状況や社会情勢等を踏まえた適切な資源配分、技術成果のレビュー、普及施策の検討、実施すべき技術開発テーマ・領域・分野等の検討等を実施する。

7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。
- (2) 平成14年2月27日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画制定。生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成12・12・27工総第15号）は、廃止。平成14年2月28日付け、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画、3Rプログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成12・12・27工総第14号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成14・02・25産局第16号）、3Rプログラム基本計画（平成14・02・25産局第13号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成14・02・25産局第5号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成14・02・25産局第7号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成15・03・07産局第18号）及びエネルギー環境二酸化炭素固定化・有効利用プログラム基本計画（平成15・03・07産局第19号）は、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画に統合することとし、廃止。3Rプログラム基本計画（平成15・03・

- 07産局第6号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成15・03・07産局第3号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成15・03・07産局第8号)は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成16・02・03産局第13号) 3Rプログラム基本計画(平成16・02・03産局第5号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成16・02・03産局第15号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成16・02・03産局第3号)は、廃止。
- (6) 平成18年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成17・03・25産局第8号) 3Rプログラム基本計画(平成17・03・29産局第1号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成17・03・25産局第2号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成17・03・25産局第10号)は、廃止。
- (7) 平成19年4月2日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成18・03・31産局第9号) 3Rプログラム基本計画(平成18・03・31産局第10号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成18・03・31産局第3号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成18・03・31産局第11号)は、廃止。
- (8) 平成20年4月1日付け、環境安心イノベーションプログラム基本計画制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成19・03・19産局第6号) 3Rプログラム基本計画(平成19・03・19産局第5号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成19・03・16産局第2号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成19・03・20産局第2号)は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (9) 平成21年4月1日付け制定。環境安心イノベーションプログラム基本計画(平成19・03・25産局第7号)は、廃止。

(環境安心イノベーションプログラム)  
「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」基本計画

環境部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

京都議定書目標達成計画に基づく温室効果ガスの排出削減は我が国の責務である。中でも、民生部門における CO<sub>2</sub> 排出量は日本全体の約 30%、さらにそのうち 25%以上を占める冷暖房エネルギーが大きな CO<sub>2</sub> 排出源となっている。この領域の CO<sub>2</sub> 排出を削減するために、住宅やビル等に使用される建材の断熱性能を高めるための技術開発が期待されている。

そこで、京都議定書に定められた温室効果ガスの削減目標に寄与することを目的とする「環境安心イノベーションプログラム」の一環として、本プロジェクトを実施する。

建築用断熱材の分野では、断熱性能と現場施工性の観点から硬質ウレタンフォームが使用されているが、発泡剤として地球温暖化係数 (GWP) の高い代替フロン (HFC) 等を使用しているという問題点がある。一方、ノンフロン系発泡剤として CO<sub>2</sub>、シクロペンタン等の低 GWP ガスを利用した断熱材の開発が進められているが、フロン製品と比較すると断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で問題がある。そのため、ノンフロン系発泡剤は、特定の用途以外には本格採用には至っていないのが現状である。

このような状況から、本プロジェクトでは、高分子素材の発泡等の微細化・多孔化技術や各種断熱素材の複合化技術、新規断熱材料の合成技術等を確立することによって、建材を中心とする断熱材分野において、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有する、革新的なノンフロン系断熱材技術開発を行うことを目的とする。

これにより、民生部門において、省エネ効果によりエネルギー使用量を削減（原油換算で 2030 年に 7.6 万 kL の削減を見込む）すると同時に、フロン発泡剤の使用量削減による更なる温室効果ガスの削減（削減ポテンシャルは CO<sub>2</sub> 換算で 600 万 CO<sub>2</sub> トン/年）が期待できる。また、この技術開発は、建築分野のみならず、冷凍・空調、運輸等、種々の断熱材使用分野への波及効果を有するため、地球温暖化防止に対してさらに大きな効果が期待できる。

(2) 研究開発の目標

[最終目標 (平成 23 年度 (※))]

建材を中心とする断熱材分野において、平成 23 年度までに、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上(熱伝導率  $\lambda \leq 0.024 \text{W/m}\cdot\text{K}$  を目安)の断熱性能を有し、かつ、実用化、市場化に際して経済性を考慮した上で、従来技術と比肩して優位性のある性能・特徴を有する革新的なノンフロン系断熱技術を確立するための技術課題を解決することを目標とする。



- (※) 平成 23 年度終了予定のところ、東日本大震災の影響により、実施場所のインフラが被害を受け、また、夏期の節電により実験を行う上で制約を受けたため、一部事業者は、平成 24 年 5 月まで実施する。

[中間目標（平成 21 年度）]

当該プロジェクトはテーマ公募型を主体として運営するため、提案採択時に提案内容を精査の上、中間目標を設定する。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

[委託事業・共同研究事業（基礎・基盤研究）、助成事業（実用化研究）]

- ① 革新的断熱技術開発
- ② 断熱性能等の計測・評価技術開発

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という）が、単独ないし複数の原則本邦の企業、技術研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）、大学等から、公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

本研究開発を実施する各研究開発実施者の有する研究開発ポテンシャルを最大限に引き出すことにより効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDO が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を置き、その下で、各実施者が各々の研究開発テーマの達成目標を実現すべく研究開発を実施する方式を採用する。

本研究開発において、NEDO が主体となって実施すべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される事業は助成（助成率 1 / 2）により実施する。

[委託事業・共同研究事業（基礎・基盤研究）]

ノンフロン系断熱材技術等について、実用化を見据えた基礎的・基盤的な研究開発を行う。本研究開発期間（次項参照）内で、製品化までさらに実用化研究が必要なものにおいては、成果ならびに事業性等を評価し、必要に応じ助成事業への移行を認める。

なお、平成 23 年度からは、民間企業等が実施する事業は、NEDO 負担率 1 / 2 の共同研究として実施する。

[助成事業（実用化研究 助成率：1 / 2）]

民間企業等が主要な技術やノウハウ等を所有しているノンフロン系断熱材技術等

について、経済性、導入効果等について分析を行うことにより研究開発終了後の事業化計画を明確にして実用化研究を行う。研究開発テーマの事業終了後、2～3年以内に製品化を想定できるものを対象とする。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

具体的には、半期に一回程度、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受ける他、必要に応じて NEDO に設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を受ける等により、選択と集中の観点から優秀な技術を育成する運営管理を行う。例えば、成果が得られた時点で実用化研究・実証試験等の次ステップへの転出を推奨し、反面、期間内に成果が見込めないと判断された事業は開発途中であっても中止する等の判断を行う。また、研究期間中にも新規技術に関する動向調査を実施し、有望と認められる研究については、新規研究開発テーマとして追加する等の自由度を有する運営を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成19年度から平成23年度（※）までの5年間とする。

(※) 平成23年度終了予定のところ、東日本大震災の影響により、実施場所のインフラが被害を受け、また、夏期の節電により実験を行う上で制約を受けたため、一部事業者は、平成24年5月まで実施する。

## 4. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成21年度に、事後評価を平成24年度に実施する。中間評価では、研究開発テーマ毎に定めた中間目標に対する進捗状況を評価し、その評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ① 成果の普及

研究開発実施者及び NEDO は、得られた研究開発成果については、国民の利益を損なわない範囲で国内外を問わず普及に努めるものとする。

#### ② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、施策の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ハ及び第3号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成19年3月、制定。
- (2) 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。
- (3) 平成23年3月、次の2点の記載を改訂。
  - ・「1. 研究開発の実施方式(1) 実施体制」に共同研究事業項目を追加
  - ・機構名、部門表示を変更
- (4) 平成23年7月、根拠法の改正による改訂。
- (5) 平成24年1月、一部事業者の研究開発の実施期間を変更

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「革新的断熱技術開発」

1. 研究開発の必要性

断熱材の発泡剤は、HCFC (HCFC141b) の全廃に伴い、2005年にはほぼHFCに移行した。そのため、今後、GWPの高いHFCの大気中への排出量の増加が見込まれ、これを抑制するため断熱材のノンフロン化を一層促進する必要がある。しかし、現状のノンフロン断熱材は、フロン製品 (特にフロン系現場発泡品) と比較すると断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で問題があるため、本格採用には至っていない状況である。

京都議定書目標達成計画に基づく温室効果ガスの排出削減は我が国の責務であり、その達成及びその後の更なる排出削減のため、基礎研究/実用化研究の両面的なアプローチにより、高い断熱効果を有し、かつ市場への早期導入が見込める高性能断熱材の開発を推進する必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

建材を中心とする断熱材 (現場発泡品も含む) におけるノンフロン化技術を開発するために、断熱材構造の微細化・多孔化技術、各種断熱素材のハイブリッド化技術、発泡体/低GWP発泡剤の合成技術、熱流制御技術等の、新しいコンセプトを用いた各種の要素技術を、基礎検討から施工・加工プロセスも含めた実用化技術に至る各段階において、検討・開発する。

3. 達成目標

[最終目標 (平成23年度 (※) ) ]

現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上 (熱伝導率 $\lambda \leq 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$ を目安) の断熱性能を有し、かつ、実用化、市場化に際して経済性を考慮した上で、従来技術 (フロン系硬質ウレタンフォーム現場発泡) と比肩して優位性のある性能・特徴を有する革新的なノンフロン系断熱技術を確立することを目指す。

(※) 平成23年度終了予定のところ、東日本大震災の影響により、実施場所のインフラが被害を受け、また、夏期の節電により実験を行う上で制約を受けたため、一部事業者は、平成24年5月まで実施する。

[中間目標 (平成21年度) ]

当該プロジェクトはテーマ公募型を主体として運営するため、提案採択時に提案内容を精査の上、中間目標を設定する。

研究開発項目②「断熱性能等の計測・評価技術開発」

1. 研究開発の必要性

現行の断熱材の品質や性能の測定方法については、JIS等により規定されているが、上記①の研究開発に伴い、より高精度・高性能の性能評価技術が要求されることが予想される。また、これらの研究開発成果の上市に際し、高性能断熱材の普及を促進するためにも、製品としての品質を評価する手法や基準が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

断熱材構造の微細化および断熱性能の高性能化に伴い必要不可欠となる、微細空間の熱伝導率測定方法並びに高性能断熱性能測定方法を検討・開発する。また、必要に応じて、規格化・標準化のための項目について検討を行う。

3. 達成目標

[最終目標（平成23年度）]

新規ノンフロン断熱技術の基礎研究及びその実用化研究の進捗に歩調を合わせ、実用的な断熱性能等の各種性能計測技術や品質評価手法の開発を目指す。

[中間目標（平成21年度）]

当該プロジェクトはテーマ公募型を主体として運営するため、提案採択時に提案内容を精査の上、中間目標を設定する。

## 脱フロン対策分野

フッ素を含有する化合物は、冷媒、産業洗浄剤、発泡剤、半導体・液晶製造、電力機器絶縁、消火剤など幅広い産業分野で利用されるが、モントリオール議定書(1987年)において、フルオロカーボン（フロン）の一部がオゾン層破壊物質として規制対象に指定された。その代替物質としてHFC、PFCの導入が進んだが、これらは温室効果ガスとして京都議定書(1997年)の規制対象となった。

2001年からの第2次科学技術基本計画において、環境分野は「重点推進の4分野」の一つと位置づけられた。中でも地球温暖化問題は、影響の大きさや深刻さから見て、人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題の一つである。その後、2004年に制定された「地球温暖化防止新技術プログラム」基本計画では、代替フロン等3ガス（HFC、PFC、SF<sub>6</sub>）の削減技術の開発推進およびその導入・普及の促進を通じて、京都議定書第1約束期間での排出目標の達成が盛り込まれている。本プログラムによって、温室効果の小さい代替物質の開発、およびノンフロン化技術の開発が実施された。その成果は、フロン類の生産・使用現場での漏洩防止技術や、使用済フロン類の回収・破壊技術等の従来の取組みに加えて、現在、導入が進められている。

「脱フロン対策分野」は、これらの取組みを取り纏めたものであり、京都議定書の第1約束期間の後も、更なる温室効果ガス排出削減の強化が図られることを念頭に置き、今後20年程度を見据えたマップとした。

## 脱フロン対策分野の技術戦略マップ

### I. 導入シナリオ

#### （1）脱フロン対策分野の目標と将来実現する社会像

フッ素を含有する化合物は、その優れた特性から、冷媒、産業洗浄剤、発泡剤、半導体・液晶製造、電力機器絶縁、消火剤など、幅広い産業分野で利用されている。このうち、オゾン層の破壊や地球温暖化へ大きな影響をもつ一部のフロン類は、代替の物質や技術に置き換わりつつある。

オゾン層の破壊を起こすもの（CFC、HCFC等）は、先進国においては2020年までに実質全廃の見通しである。しかしながら、特にHCFCに関しては、第19回モントリオール議定書締約国会合において途上国の10年前倒し全廃（2040年→2030年）が決議された。これに伴い凍結基準年も2015年から2009～2010年に前倒しとなり、特にHCFCの冷媒用途の代替品への転換に向けた技術開発が急務となってきた。一方、地球温暖化対策については、当面の課題は京都議定書の第1約束期間での温室効果ガスの排出削減である。1994年の気候変動に関する国際連合枠組条約では、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」を将来の最終的な目的と定めている。それには現在の温室効果ガスの排出を大幅に削減する必要がある。

京都議定書の排出規制対象温室効果ガスのうち、脱フロン対策分野は、HFC、PFC、SF<sub>6</sub>（代替フロン等3ガス）が対象である。我が国では、2002年の地球温暖化対策推進大綱改訂で、第1約束期間（2008～2012年）における排出量目標を基準年（1995年）排出量比プラス2%以下、その後、2005年の京都議定書目標達成計画にてプラス0.1%以内と定めた。2008年3月の目標達成計画追加対策では基準年排出量比マイナス1.6%に引き下げている。

また、京都議定書第1約束期間が終了した後の次の枠組でも、温室効果ガスに対する更なる追加削減が想定されることから、なお一層の取組みが必要と見られる。

#### （2）研究開発の取組み

研究開発の取組みは、フロン等の破壊・回収技術の開発と、フロンの代替物質の開発として物質の探求とその合成および精製技術の開発、さらに、フロン類を全く使用しないノンフロン化技術の開発に分類され、NEDOのプロジェクトとして体系的に実施されている。以下にその代表的な事例を示す。

「HFC-23破壊技術の開発」（1998～2001年）では、冷媒やフッ素樹脂原料として使用されるHCFC-22の製造時に副生するHFC-23を破壊する技術開発を行った。また、「冷媒フロンのケミカルリサイクル技術の開発」（2000年）において、回収HCFC-22を高純度化してフッ素樹脂原料としてリサイクルする技術の開発を行った。HFC-23の破壊に関しては、多くのCDMプロジェクトにより海外への技術移転が実施されており、世界

規模での温室効果ガスの削減に効果を挙げている。

代替物質の開発については、「新規冷媒等研究開発」（1994～2001年）と「SF<sub>6</sub>等に代替するガスを利用した電子デバイス製造クリーニングシステムの研究開発」（1998～2002年）において、それぞれ冷媒、洗浄剤、発泡剤と、半導体のCVDクリーニングガスを対象として環境負荷の小さい新規フロン代替物質の開発を行った。そこで有望と思われた物質については、「省エネルギーフロン代替物質合成技術開発」（2002～2006年）で省エネルギー性確立の観点から工業的合成技術の開発を行った。

また、ノンフロン化技術では、「SF<sub>6</sub>フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発」（2004～2006年）、「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」（2005～2009年）および「革新的ノンフロン系断熱材技術開発」（2007～2011年）により、マグネシウムダイカスト用カバーガス、冷媒、断熱発泡剤等の分野における低GWPフッ素系ガスを含むノンフロン化技術開発に取り組んでいる。

なお、いわゆる自然物質の安全性や省エネ性能の限界が判明してきている一方で、オゾン層を破壊せず、GWPの低いフッ素化合物の開発が進められており、ノンフロンというよりは低GWPの観点からの対象物質の拡大が、各分野における早期の実用化のためには必要になっている。

### （3）関連施策の取組み

大気放出されたCFCや消火剤のハロン等がオゾン層を破壊するのを防ぐため、国連環境計画（UNEP）は1987年「モントリオール議定書」を採択し、CFC5種、消火剤ハロン4種が規制されることとなり、1990年の改正からは更にメチルクロロホルム、四塩化炭素も追加された。その後1992年には、先進国におけるCFCの1995年末全廃、及び代替化合物HCFCの2020年原則全廃が採択された。

温暖化防止に関しては、1988年、UNEPが世界気象機関（WMO）と「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」を設立し、地球温暖化に関する自然科学的及び社会科学的研究を組みを開始した。その後、1992年には「気候変動枠組条約」が締結され、その具体的な温室効果ガスの排出抑制対策として、1997年に「京都議定書」が採択され2005年に発効した。また、第1約束期間における温室効果ガスの6%削減約束の達成に必要な措置を定めた「京都議定書目標達成計画」を閣議決定し、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>OとともにHFC、PFC、SF<sub>6</sub>（代替フロン等3ガス）も排出目標が設定された。

また、2006年施行の改正大気汚染防止法により、浮遊粒子状物質や光化学オキシダントに係る大気汚染の原因としてVOCの排出規制が開始され、炭化水素系の化学物質に対しても規制が強化された。

一方、使用済みとなった機器からのフロン類の回収・破壊等については、「フロン回収・破壊法」、「家電リサイクル法」、「自動車リサイクル法」等の施行により対策が行われている。さらにフロン類の回収率向上を図るため、2006年度にはフロン回収・破壊法の改正が行われ、2007年に施行された。



このような取組とあわせて、「代替フロン等 3 ガスの排出抑制設備の開発・実用化支援事業」が実施されている。

〔導入補助・支援〕

- ・ 「地域地球温暖化防止支援事業」（非プログラム事業、2005～2009）で、代替フロン等 3 ガスの排出抑制に資する企業等の先導的な取組に対して、削減見込量に応じた補助を実施中。

〔サンプル提供・実用化促進〕

- ・ 「省エネルギーフロン代替物質合成技術開発」（2002～2006）で開発された新規ガスについて、実用化を目指した適用研究に対してサンプル提供を実施している。また、既に一部実用化・市販化されたものもある。

〔規制・制度改革〕

- ・ 1997 年の京都議定書の採択を受け、我が国の地球温暖化対策の第一歩として、国、地方公共団体、事業者、国民が一体となって地球温暖化対策に取り組むため、1998 年に「地球温暖化対策の推進に関する法律」を制定した。2006 年 4 月の同法一部改正では、2005 年の京都議定書の発効及び我が国の温室効果ガスの排出の現状にかんがみ、地球温暖化対策のいっそうの推進を図るため、地球温暖化対策推進本部の所掌事務の追加、一定規模以上の温室効果ガスを排出する事業者に対して、排出量の報告等を義務づけた。一方、2005 年の京都議定書目標達成計画においては、京都議定書の 6%削減約束を確実に達成するとともに、更なる長期的・継続的な排出削減を目指すこととされている。
- ・ また、2007 年 6 月にフロン回収破壊法が改正され、整備時のフロン類回収義務化、管理票制度等の導入、制度が大幅に強化されたことから、「業務用冷凍空調機器等フロン類回収等推進事業」（2005 年～）により法改正に係る関係者への普及啓発事業を実施している。

〔国際連携・協力〕

- ・ 「地球環境国際連携推進事業」（2003～2007 年）により、地球温暖化問題の解決に貢献する技術の開発を国際レベルで効率的かつ経済的に進めるために IPCC 国際会議等を開催し各国におけるエネルギー消費効率化に関する取組みについて情報交換、温暖化防止等に関する我が国の戦略的取組みの検討及び各国方法収集調査等を実施した。
- ・ また、「地球環境国際研究推進事業」（2002～2011 年）により、地球温暖化問題の解決に向け、諸外国と共同で革新的な温暖化防止技術の研究開発を実施。また、CTI（気候変動技術イニシアティブ）等の国際的な枠組を活用し、諸外国との研究協力を進めることにより、世界的な温暖化問題への取組みを実施している。

〔他省庁との連携〕

- ・ 「京都議定書目標達成計画」の評価・見直しのため、産業構造審議会環境部会地球環境小委員会と中央環境審議会は、合同会合を開催している。

#### （４）海外での取組み

特定フロンおよび代替フロン等 3 ガスに係る規制としては、モントリオール議定書、欧州 F ガス規制、REACH 規制、米国 CAA、欧州 EPER、米国知る権利法などがある。

欧州 EPER や米国の知る権利法は、PRTR 制度を司る根拠であるが、これは環境中への移動量を管理する措置である。

欧州では、F ガス規制により、発泡剤、エアゾール、消火剤など用途ごとに排出抑制や使用禁止措置などが決まっている。また、マグネシウムダイカスト製法で年間 850kg 以下の SF<sub>6</sub> を使用しているものを除き、2008 年からはその使用が禁止される。加えて、カーエアコンについては、2011 年からの新型車への GWP150 以上の冷媒の使用禁止を定めており、新規物質開発への影響は世界的な広がりを見せている。特に温暖化係数が 10 以下の新規なフッ素化合物の開発が注目されているが、これは全く新たなカテゴリーに属する物質であり、大気寿命が 10 日前後と短いこれらの化合物の VOC としての挙動、大気中での分解挙動、総合的な環境影響・毒性問題への取組みが重要な課題となってきた。また、REACH 規制の施行により、化学物質に対しても規制が強化されている。

米国は、オゾン層保護に関しては CAA に基づいた SNAP プログラムを推進している。しかしながら、京都議定書には批准しておらず、地球温暖化防止については、半導体、自動車、アルミニウム、マグネシウム、ガス製造や電力などの事業者または業界が、それぞれ自主的に EPA に削減計画を提出し、その目標達成に取り組んでいる。

#### （５）民間での取組み

HFC 等製造、発泡・断熱材、エアゾール等、冷凍空調機器、洗浄剤・溶剤、半導体等製造、電気絶縁ガス使用機器、金属製品の合計 8 分野 22 団体において、自主行動計画が策定、実施されており、排出削減に大きな成果をあげている。また、HCFC の新規用途での使用については 2010 年までに全廃を目標として取り組んでいる。

#### （６）改訂のポイント

- 対象を 2020 年から 2030 年に延長するとともに、「海外における技術開発・規制動向等の調査」結果から見直しを図り、EU 規制、特に欧州 F ガス規制について最新情報を追加した。

## Ⅱ. 技術マップ

### （１）技術マップ

導入シナリオを踏まえ、「分野」、「用途」、「技術分類」、「詳細技術」、「技術開発が対象とする排出量の大きさ」毎に脱フロン技術を俯瞰し、技術マップを作成した。

### （２）重要技術の考え方

2008 年度に技術マップの大幅な改訂を行ったことから、重要技術の選定にまで至らなかった。今後、改訂後のマップに基づいた重要技術の選定を進めることとする。

### （3）改訂のポイント

- 業務用冷凍空調機器について現在、具体的に進められているプロジェクトの洗い出しを行い、上市に向けた可能性を検討、具体的な製品として技術開発が対象とする排出量の大きさの推計を行った。
- なお、これまでは「削減ポテンシャル」という言葉を使用してきたが、この言葉が示す排出量は、技術が対象としている市場や製品の排出量を推計したものであり、当該技術の実用化に伴う削減効果はこの量の一部に留まるのが通常であることから、これを明確に示す意味で、今回からは、「技術開発が対象とする排出量の大きさ」とした。
- 断熱材については、関係企業や業界団体の積極的な取組みにより、京都議定書対象ガスの使用量が大幅に削減されていることから、直近の取組みと、直近の使用量を基準とした記述と推計を行った。
- エアゾールについては、これまでの取組みに加え、新たな製品の新規開発として、埃除去装置・製品の開発や急冷装置・製品の開発を追加した。

## Ⅲ. 技術ロードマップ

### （1）技術ロードマップ

技術マップで整理した技術について、より具体的な検討課題を記載した。

なお、技術ロードマップに従って技術開発が進展し実用化された場合のイメージとして、生活空間を切り出した図【参考資料1：脱フロン技術の製品化イメージ図】を添付している。

### （2）改訂のポイント

- 全体として、これまでのロードマップが対象としていた 2020 年から、2030 年までのロードマップとした。
- 技術マップの変更に伴い、冷凍空調機器に係る分野、発泡・断熱材に係る分野、エアゾールに係る分野について改訂を行った。

脱フロン対策分野の技術マップ(1/3)

分野	用途	技術分類	技術番号	詳細技術	技術開発が対象とする排出量の大きさ	推計の考え方	
冷凍空調機器に係る事項	冷凍冷蔵・空調機器	業務用冷凍空調機器及び家庭用空調機器に自然系冷媒を使用した製品の開発	101	二次冷却回路を用いたコンビニ向け冷凍・冷蔵・空調システム開発	978千GWPt/年	2030年の内蔵形ショーケースと業務用冷凍冷蔵庫、店舗用パッケージエアコンからのHFC-134a及びR-404A、R-410Aの排出予測量に対して20%、本システムにより代替すると考えた場合の代替対象機器による年間排出量	
			102	住宅用マルチ空調機に係る技術開発	1,131千GWPt/年	2030年の家庭用エアコンからのR-410Aの排出予測量に対して10%、本システムにより代替すると考えた場合の代替対象機器による年間排出量	
			103	二次冷却回路を用いたビル用マルチ空調機開発	1,586千GWPt/年	冷暖房同時運転ビル用マルチ空調機の開発	2030年のビル用パッケージエアコンからのR-410Aの排出予測量に対して20%、本システムにより代替すると考えた場合の代替対象機器による年間排出量
			104	冷暖房同時運転ビル用マルチ空調機の開発			
			105	混合冷媒を用いた食品工場やスーパーマーケット向け冷凍・冷蔵・空調システム開発	518千GWPt/年	チリングユニットの開発	2030年の設備用パッケージエアコンからのR-410Aの排出予測量に対して20%、本システムにより代替すると考えた場合の代替対象機器による年間排出量
			106	チリングユニットの開発			
			107	二次冷却回路を用いたプレハブ冷凍庫用冷凍システム開発	84千GWPt/年	2030年の冷凍冷蔵用チリングユニットからのR-407Cの排出予測量に対して20%、本システムにより代替すると考えた場合の代替対象機器による年間排出量	
			108	二次冷却回路を用いた業務用空調・給湯システム開発	57千GWPt/年	2030年の空調用チリングユニットからのR-407Cの排出予測量に対して20%、本システムにより代替すると考えた場合の代替対象機器による年間排出量	
			109	冷凍ショーケース向けシステム開発	954千GWPt/年	2030年の別置形ショーケースからのR-404Aの排出予測量に対して5%、本システムにより代替すると考えた場合の代替対象機器による年間排出量	
		冷媒以外の技術を使用した製品の開発	110	デシカント(調湿剤)を用いた換気・調湿システム開発	—	新たな考え方に基づく技術であり、既存のシステムの代替ではなく、追加的に普及が見込まれる技術と考え、排出量推計の対象外とした	
			111	磁性体に磁界変化を与えることで温度変化を得る物質の開発及びシステム開発	—	技術が対象とする製品が未だ定まっておらず、基礎的な研究であることから、排出量推計の対象外とした	
		運輸機器に自然系冷媒や低GWP冷媒等の技術を使用した製品の開発	112	エンジン廃熱を活用するノンフロン型カーエアコンシステム開発	—	排出量削減に係る取り組みや技術を補完する技術(間接的技術)であり、排出量推計の対象外とした	
			113	低GWP冷媒を使用したカーエアコンの研究	—		
		業務用冷凍空調機器及び家庭用空調機器に低GWP冷媒を使用した製品の開発	114	低GWP冷媒を使用した省エネ空調機の研究	—	技術が対象とする製品が未だ定まっておらず、基礎的な研究であることから、排出量推計の対象外とした	
			115	低GWP冷媒を使用したルームエアコンの研究	—		
			116	HFE-143mを冷媒として活用した技術の開発	—		
			117	HFE-245mcを冷媒として活用した技術の開発	—		
			118	HFO-1234yfを冷媒として活用した技術の開発	—		

脱フロン対策分野の技術マップ(2/3)

分野	用途	技術分類	技術番号	詳細技術	技術開発が対象とする排出量の大きさ	推計の考え方	
冷凍空調機器に係る事項(つづき)	冷凍冷蔵・空調機器(つづき)	新たな考えに基づく冷凍冷蔵・空調システムの検討	119	燃料電池で発電される電力と燃料電池の廃熱を吸収式冷凍機やヒートポンプで利用する技術の開発	—	排出量削減に係る取り組みや技術を補完する技術(間接的技術)であり、排出量推計の対象外とした	
			120	分散型電源や各種ビル設備用動力源などの廃熱を活用した新たな複合熱利用システムの検討	—		
		高GWP冷媒の回収を促す製品や社会システムの検討	121	回収した冷媒フロン類から蛍石レベルまで戻さずにフッ素樹脂を生産する技術の開発	—		技術番号122を促進する間接的な技術であり、排出量は以下に含まれる(但し、あくまで間接的な技術であることから、排出量推計の対象外とした)
			122	短時間で全量回収可能な冷媒回収装置の開発	19,346千GWPt/年		2030年の使用済み業務用冷凍空調機器に含まれるHFCの量
発泡・断熱材に係る事項	断熱材	硬質ウレタンフォーム工場発泡品によるフロン系発泡剤と同等の断熱性能を確保した製品の開発	201	次世代断熱発泡剤の開発	255千GWPt/年	2007年のHFC発泡剤(HFC-134a、HFC-245fa、HFC-365mfc)の使用量が継続されると考え、これに対して初年度10%、その後、20年かけて残り90%排出するとした場合の平均年間排出量	
			202	非フロン系発泡剤を使用した断熱材の熱伝導率経時低下の抑制に係る研究			
		硬質ウレタンフォーム現場発泡品によるフロン系発泡剤と同等の断熱性能を確保した製品の開発	203	非フロン系発泡剤使用に係る断熱性能向上技術開発			
			204	ナノコンポジット断熱材とその連続製造プロセスの開発	—		排出量削減に係る取り組みや技術を補完する技術で、さらに基礎的な研究であることから、排出量推計の対象外とした
	新規な断熱材の開発	205	ナノセルラ-発泡体、架橋反応・シリケート化発泡体、ナノゲルを用いた発泡体の開発				
		206	ナノゲルを用いた断熱材製造技術の開発				
		207	断熱性向上シートの開発				
電気絶縁ガス使用機器に係る事項	電気絶縁ガス	代替ガスの検討	301	N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 等とSF <sub>6</sub> の混合に係る検討、及び新規代替ガスの探索	—	毎年削減が進む分野であり、基準とする排出量の設定が難しいことから、排出量推計の対象外とした。 なお、参考として、2007年の電気絶縁ガス使用機器からの排出量は、約900千GWPt/年となる	
エアゾール等に係る事項	エアゾール	新規な噴射剤の開発	401	新規な噴射剤の開発	453千GWPt/年	2007年のHFC噴射剤(HFC-134a、HFC-152a)の使用量が継続すると思われた場合の年間排出量。 埃除去用エアゾール製品と急冷用エアゾール製品は8:2の割合とした	
			402	ATMや券売機、自動改札機における埃・紙粉非蓄積技術			
		403	携帯可能で小型の圧縮空気発生技術の開発				
		404	埃・紙粉非蓄積技術の開発				
		新たな急冷装置・製品の開発	405	環境試験装置としての急冷技術の開発	113千GWPt/年		
			406	被急冷体への吹きつけ型急冷方法の開発			

脱フロン対策分野の技術マップ(3/3)

分野	用途	技術分類	技術番号	詳細技術	技術開発が対象とする排出量の大きさ	推計の考え方
半導体等製造に係る事項	半導体・液晶製造	使用量の削減/除害装置の導入	501	使用量の削減/除害装置の導入	5,102千GWPt/年	2007年の半導体・液晶製造時の代替フロン等3ガスの実排出量
		代替ガスの導入	502	低GWPガスの導入検討		
金属製品に係る事項	マグネシウム	カバーガスとしてのSF <sub>6</sub> の使用量を削減する技術	601	溶解炉からの放出抑制に関する技術	—	これまで進められてきた取り組みであり、追加的な削減の余地は少ないものとした
				ポンベから溶解炉までの配管からの漏洩防止に関する技術		
				ガス流量精密計量装置の開発		
		代替カバーガスの検討	602	HFC-134a使用技術の採用と検証	43千GWPt/年	2007年の実排出量からHFC-134aのGWP値で再計算した値を引いた値。なお、導入割合は全体の5%とした
			603	FK使用技術の採用と検証	45千GWPt/年	2007年の実排出量からFKのGWP値で再計算した値を引いた値。なお、導入割合は全体の5%とした
604	HFO-1234ze使用技術の採用と検証	542千GWPt/年	2007年の実排出量からHFO-1234zeのGWP値で再計算した値。なお、導入割合は全体の60%とした			
カバーガスを使用しない技術の検討	605	SF <sub>6</sub> フリー高機能発現Mg合金組織制御技術開発	90千GWPt/年	2007年の実排出量に対して導入割合を10%として計算した対象分の年間排出量		

# 脱フロン対策分野のロードマップ(1/5)

添付資料3

技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ)

技術番号 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030

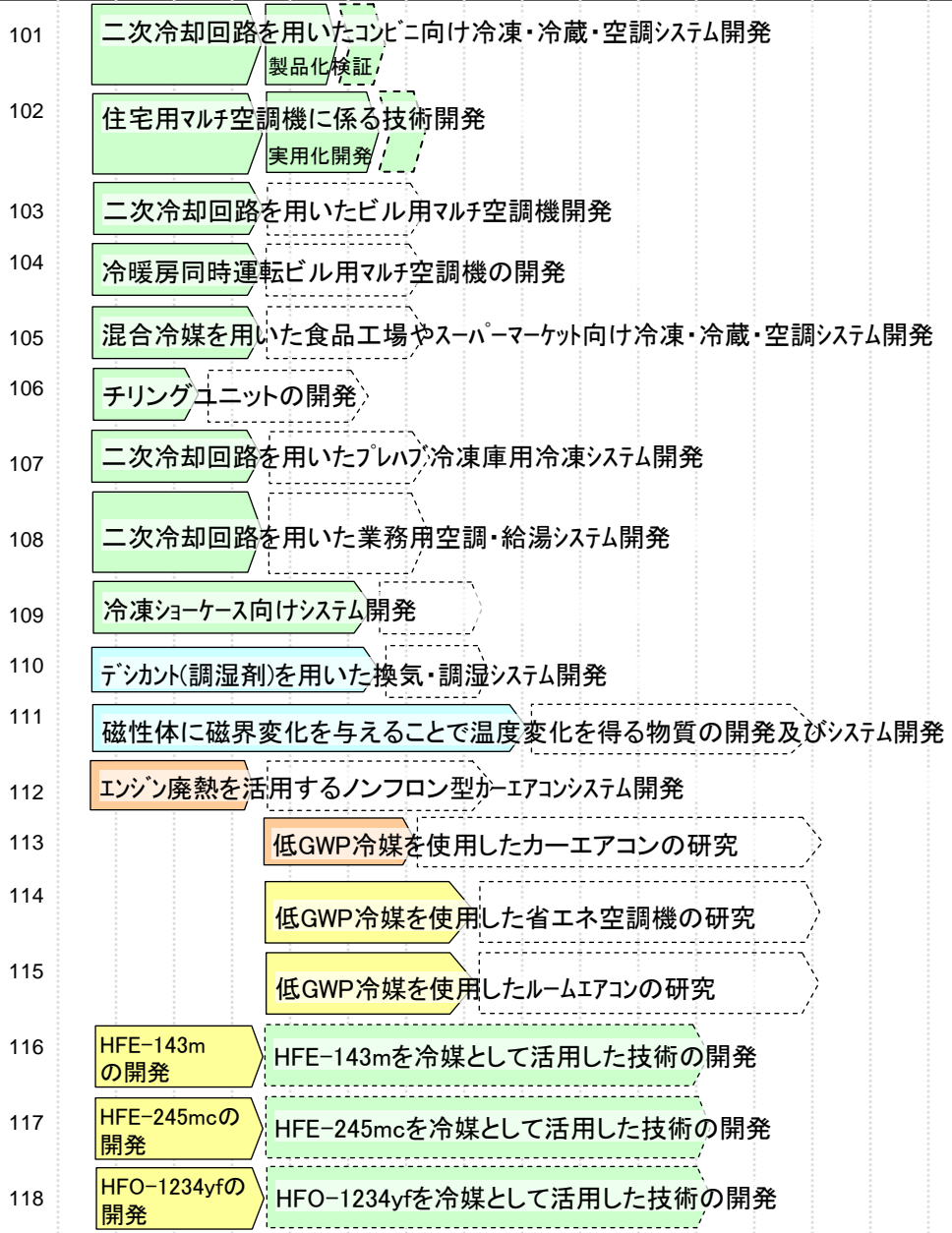
冷凍空調機器に係る分野

業務用冷凍空調機器及び家庭用空調機器に自然系冷媒を使用した製品の開発

冷媒以外の技術を使用した製品の開発

運輸機器に自然系冷媒や低GWP冷媒等の技術を使用した製品の開発

業務用冷凍空調機器及び家庭用空調機器に低GWP冷媒を使用した製品の開発



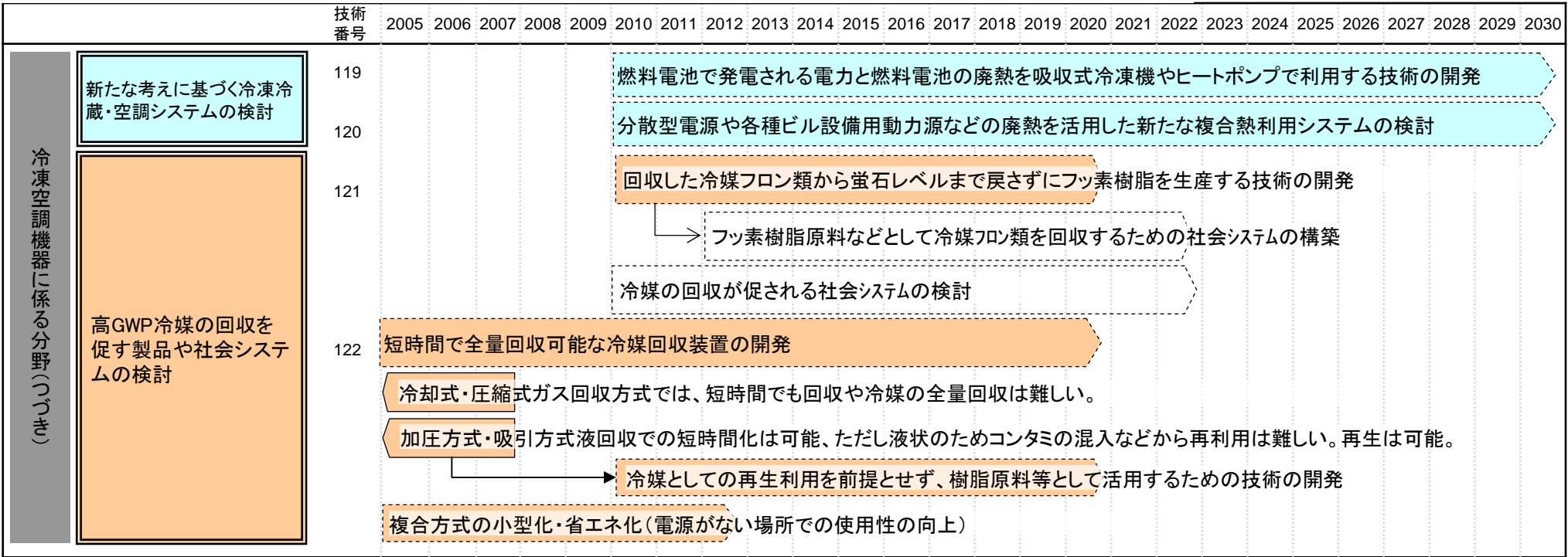
自然系冷媒については、現状でCOPがHFC冷媒と比較して40~20%劣るとされており、さらに設置においては、安全性の確保が必要となる。

継続した効率の向上や安全性確保に係る技術開発も必要であるが、仮に自然系冷媒の普及を図る場合には、労働基準関連法、高圧ガス関連法、消防関連法などの改正や緩和などの社会の仕組みの変革が求められる。

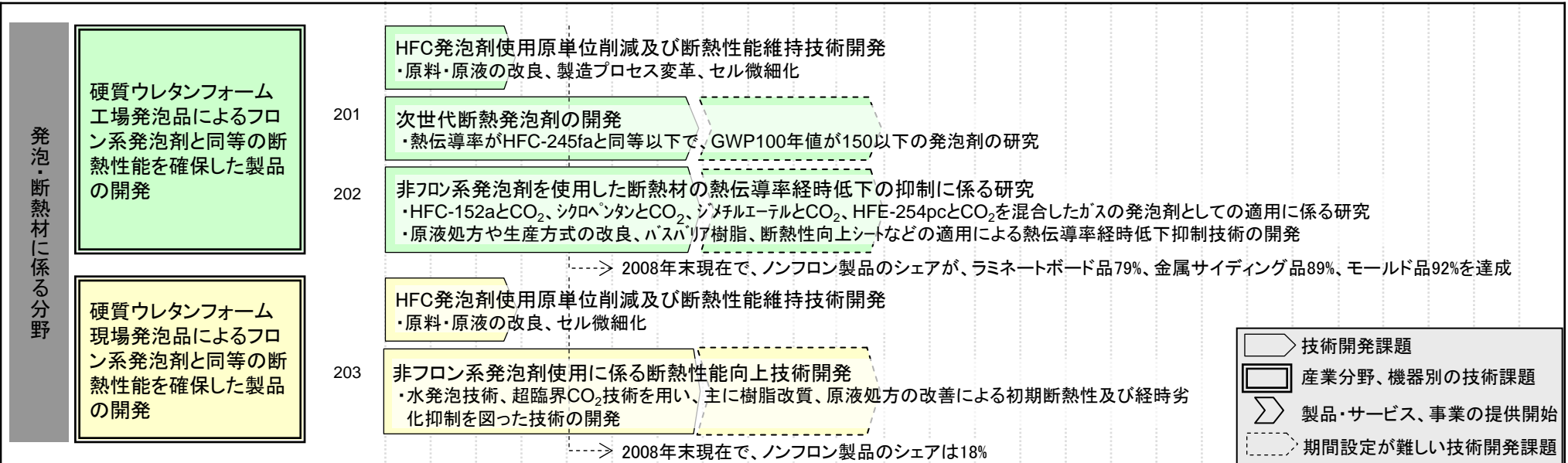
- 技術開発課題
- 産業分野、機器別の技術課題
- 製品・サービス、事業の提供開始
- 期間設定が難しい技術開発課題



# 脱フロン対策分野のロードマップ(2/5)



冷凍空調機器に係る分野(つぎ)

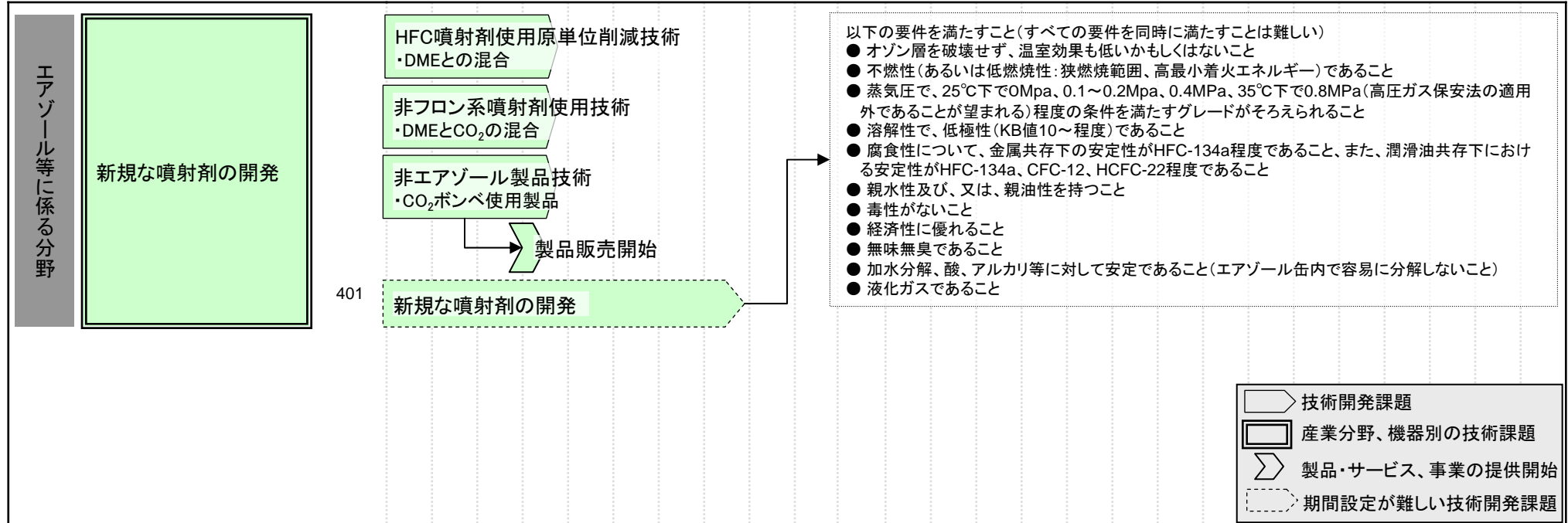
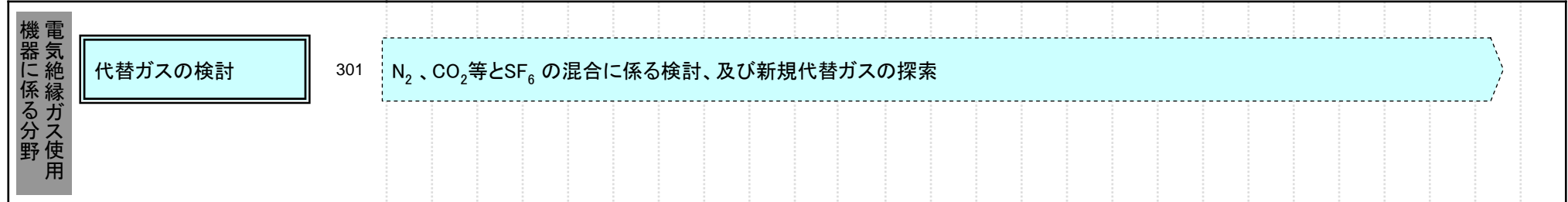


発泡・断熱材に係る分野

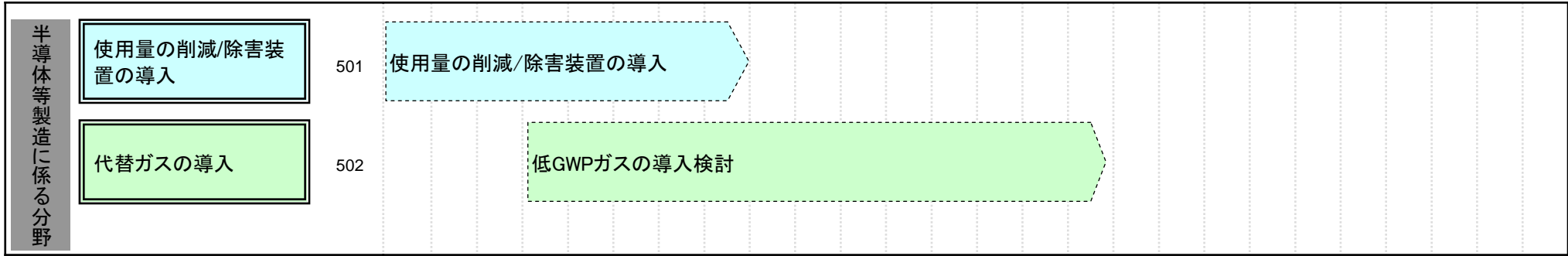
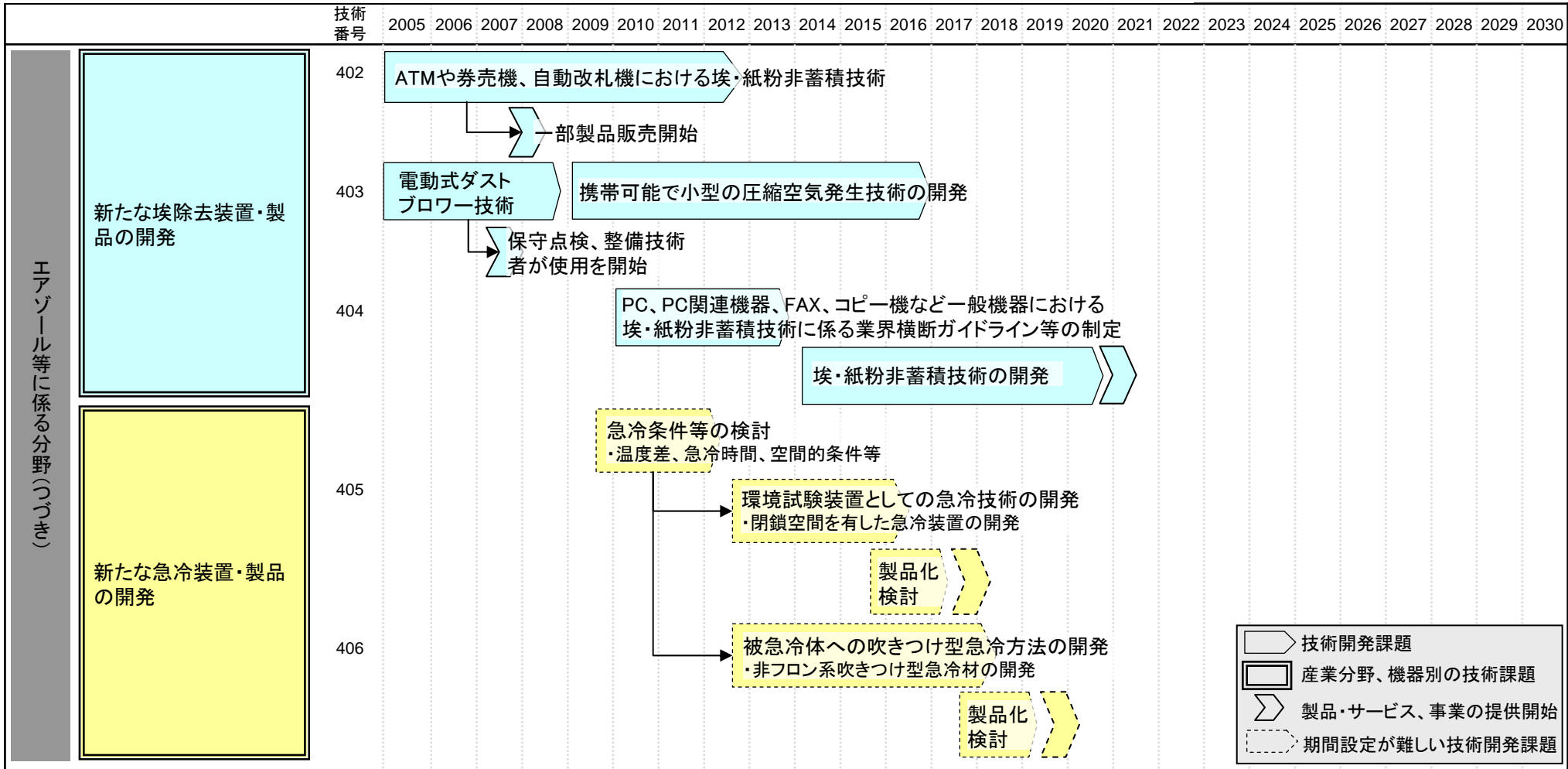
- 技術開発課題
- 産業分野、機器別の技術課題
- 製品・サービス、事業の提供開始
- 期間設定が難しい技術開発課題



# 脱フロン対策分野のロードマップ(3/5)



# 脱フロン対策分野のロードマップ(4/5)



エアゾール等に係る分野(つづき)

新たな埃除去装置・製品の開発

新たな急冷装置・製品の開発

使用量の削減/除害装置の導入

代替ガスの導入

# 脱フロン対策分野のロードマップ(5/5)

添付資料3

技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ)

技術番号 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030

カバーガスとしてのSF<sub>6</sub>の使用量を削減する技術

601 溶解炉からの放出抑制に関する技術  
ボンベから溶解炉までの配管からの漏洩防止に関する技術  
ガス流量精密計量装置の開発

代替カバーガスの検討





602 HFC-134a使用技術の採用と検証  
603 FK使用技術の採用と検証  
604 HFO-1234ze使用技術の採用と検証

最小規模を除く多くのマグネシウム鋳造企業でいずれからの技術の採用が決まっている

カバーガスを使用しない技術の検討

605 SF<sub>6</sub>フリー高機能発現Mg合金組織制御技術開発  
製品品質を確保しつつ、難燃性に優れた物質を添加する技術の検討  
一部のユーザー製品で採用開始  
ユーザーの製品受容性の検証  
鋳造以外の方法で製品品質を確保する製造方法の検討(真空溶融技術、不活性ガス溶解鋳造技術、低温溶解技術、半溶融溶解鋳造技術など)

金属製品に係る分野

-  技術開発課題
-  産業分野、機器別の技術課題
-  製品・サービス、事業の提供開始
-  期間設定が難しい技術開発課題

# 脱フロン対策分野の導入シナリオ

添付資料3

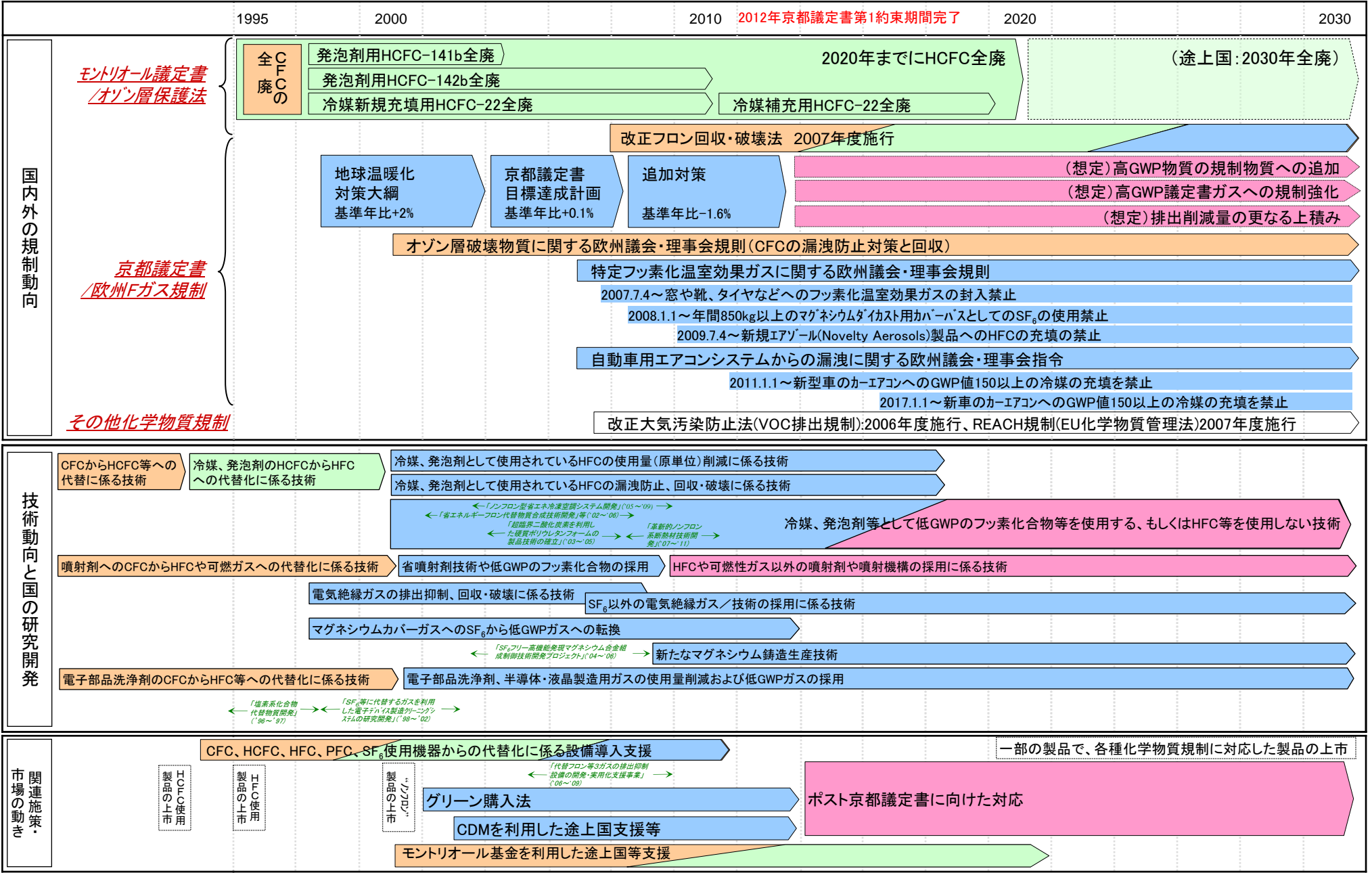
技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ)

CFC対策(主にモントリオール議定書)

HCFC対策(主にモントリオール議定書)

HFC,PFC,SF<sub>6</sub>対策(主に京都議定書)

ポスト京都議定書対策

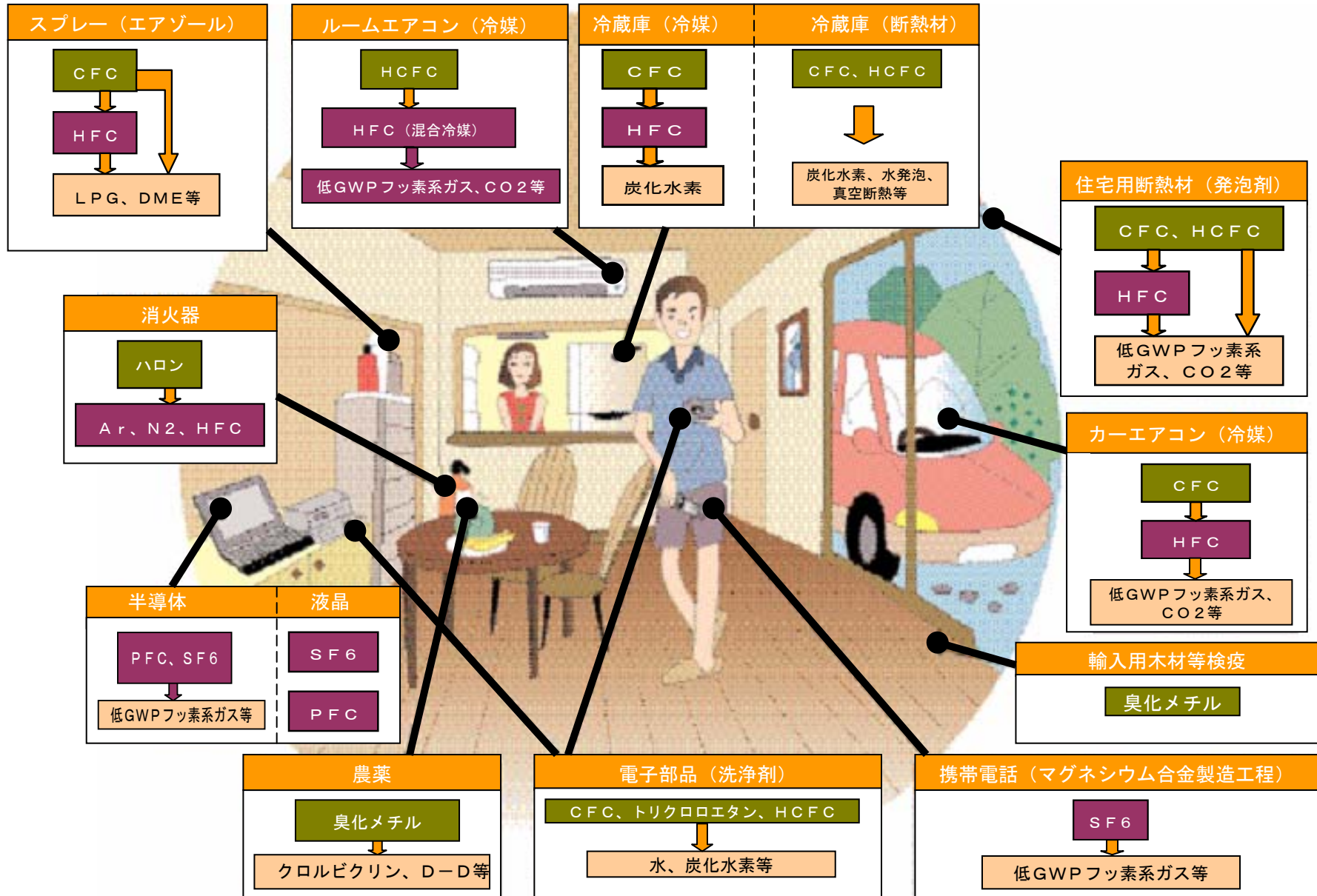


その他      フッ素の物質循環(3R、化学物質と関連あり)、標準化の推進

# 脱フロン技術の製品化イメージ図

添付資料3  
技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

オゾン層破壊物質  
 京都議定書対象物質  
 ↓ 代替物質の転換例を示す  
 ↓ 研究開発中又はこれから考えられる転換例



## 事前評価書

		作成日	平成18年11月27日
1. 事業名称 (コード番号)	革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト		
2. 推進部署名	環境技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：主に建材用断熱材のノンフロン系発泡剤として、CO<sub>2</sub>、シクロペンタン等を使用した断熱材の開発が進められているが、硬質ウレタンフォームの現場発泡品のように、ノンフロン系発泡剤は、代替フロン製品と比較すると断熱性能や施工後の形状安定性等の面で問題がある。そのため、ノンフロン系発泡剤は、特定の用途以外には本格的な採用には至っていない。</p> <p>そこで、建材用断熱材を使った住宅の省エネ効果によりCO<sub>2</sub>を削減するとともに、代替フロン発泡剤の使用量削減を図るために、断熱性能等に優れた革新的なノンフロン系の高性能断熱材の開発を行う。</p> <p>目標は、現状のフロン系断熱材と同等以上の断熱性能を有し、早期の実用化、市場化を図る革新的なノンフロン系断熱技術を確立するための技術課題を解決することである。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費（国費分）15億円（予定）（委託・助成混成、助成分 補助率未定）</p> <p>(3) 事業期間：平成19年度～23年度（5年間）</p>		
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>京都議定書に定められた削減目標の達成を目標とする「地球温暖化防止新技術プログラム」の一環として実施するものである。</p> <p>日本国内のCO<sub>2</sub>排出量の約30%を占める民生部門からの排出量を削減するために、住宅やビル等に使用される建材の断熱性能を高めると同時に、発泡剤として用いられる代替フロンをノンフロン化して使用量を削減することが期待されている。</p> <p>断熱材に用いられている代替フロンは、CO<sub>2</sub>に比して温室効果が1,000倍程度高いため、その排出量抑制及び使用量削減が地球温暖化防止の観点から重要であることから、NEDOが高性能のノンフロン断熱材技術の研究開発を実施することが必要である。</p>		



(2) 研究開発目標の妥当性

脱フロン対策分野の技術マップおよびロードマップに照らして、既存のノンフロン断熱材では達成できていない断熱性能（既存のフロン系断熱材と同等以上）、及びコスト、施工性等、種々の面で市場へ導入しやすい性能・優位性を持つ断熱材を、平成23年度頃を目処に開発することを目標としている。これにより、本事業の成果であるノンフロン高性能断熱材が京都議定書の第1約束期間およびその後に普及し、民生部門でのエネルギー消費量の抑制によるCO<sub>2</sub>排出削減及びノンフロン化による代替フロンの排出削減が期待されることから、目標設定は妥当である。

(3) 研究開発マネジメント

将来の実用化が十分に見込まれるノンフロン系断熱材技術等について、断熱原理を踏まえた基盤技術及び周辺技術に関する基礎研究・評価を行うことを目的とした委託事業と、3年程度の事業期間終了後2～3年以内に製品化を想定するノンフロン系断熱材技術等の実用化研究を実施する助成事業を同時に実施する。研究開発責任者（プロジェクトリーダー：PL）の下で、それぞれの研究開発テーマの達成目標を実現すべく研究開発を実施する方式を採用することにより、プロジェクトの効率的な運営が可能になる。

(4) 研究開発成果

断熱性能のみならず、コスト、施工性等、種々の面で市場へ導入しやすい性能・優位性を持つ断熱技術の開発を目指すことにより、本研究開発成果は、建築分野以外にも冷凍・空調、運輸等、種々の断熱材使用分野への波及効果を持つ。硬質ウレタンフォームの国内生産量10万トン/年のうち約90%が断熱材として利用されており、そのうちフロン製品が占める割合は65%程度である。我が国におけるこの分野の代替フロン削減ポテンシャルは約600万t-CO<sub>2</sub>/年であり、中長期的に地球温暖化防止に対して大きな効果が期待できる。

(5) 実用化・事業化の見通し

プロジェクト開発目標（現状のフロン系断熱材と同等以上の断熱性能、その他市場へ導入しやすい性能・優位性を有するノンフロン系断熱技術の確立）が達成されれば、その後実用化研究を経て、京都議定書の第1約束期間内（～2012年）からポスト京都議定書まで、助成事業から委託事業に至る各技術が順次市場に投入されることを想定した事業化シナリオは、CO<sub>2</sub>排出削減を達成する上で妥当な計画である。

(6) その他特記事項

特になし。

5. 総合評価

NEDO事業として積極的に推進すべき。委託事業と助成事業をともに効果的、効率的に推進するために、PLの強力なリーダーシップのもと、技術の市場化を促進することが重要である。

## 「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成19年3月14日  
NEDO技術開発機構  
環境技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
お寄せいただきましたご意見を検討し、別添の基本計画に反映させていただきました。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

### 1. パブリックコメント募集期間

平成19年2月15日～平成19年2月22日

### 2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>

計1件

### 3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
<p>全体について</p> <p>[意見1] 有機系材料は製造の段階で多くのエネルギーを消費し、二酸化炭素を排出する。それに対し、木毛繊維系の断熱材は製造の段階(森林で成長の段階)で逆に二酸化炭素を吸収し、炭素として固定する。また、廃棄時時には燃焼すればほとんど無公害でエネルギー源となり、腐朽すれば肥料ともなる。樹木を利用した断熱材の開発により、日本の林業復興、森林面積の回復等が期待できるため、京都議定書を守るには樹木の有効利用に関する研究開発が急務と考える。</p>	<p>[考え方と対応] 断熱材料として有機系材料に限定するものではありません。断熱性能がよく、かつ市場に導入されやすい(ユーザーにメリットのある)特徴を有するものであれば、有機・無機、あるいは天然素材等々、断熱材の材料は問いません。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 種々の材料が対象である点を強調するために、1(1)研究開発の目的、及び(別紙)研究開発計画に、「各種」という語句を挿入しました。</p>

以上



特許論文リスト

1 基盤技術開発

1.1 国立大学法人 京都大学 「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定とその創製のための基盤研究」（委託事業）

【研究発表・講演（口頭発表を含む）（国内学会発表）】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	根本 友幸 高木 潤 大嶋 正裕	超臨界二酸化炭素を用いたポリプロピレン／ プロピレン-エチレン共重合体ブレンドの発泡挙 動	成形加工学会第 18 回年次大会 P-33 東京	2007 年 6 月
2	根本 友幸 高木 潤 大嶋 正裕	超臨界二酸化炭素を用いたポリプロピレン／ スチレン系エラストマーブレンドの発泡挙動	成形加工学会第 18 回年次大会 I-104 東京	2007 年 6 月
3	金 鎮雄 瀧 健太郎 大嶋 正裕	高分子ブレンドフィルムでの CO <sub>2</sub> 含浸による延伸 と構造形成	プラスチック成形加工学会 第 18 回年次大会 I-109	2007 年 6 月
4	伊藤 彰浩 伊藤 彰浩 澤 尚志 川口 泰広 大嶋 正裕	発泡マイクロカプセルの挙動可視化とモデリン グ	I-202	2007 年 6 月
5	瀧 健太郎 北野 大作 大嶋 正裕	結晶性樹脂の炭酸ガス発泡における結晶と発泡 性	I-105	2007 年 6 月
6	瀧 健太郎 北野 大作 大嶋 正裕	高分子物理発泡における結晶成長と気泡生成の 関係	化学工学会第 39 回秋季大会 K213 仙台	2007 年 9 月
7	児玉 清明 瀧 健太郎 長嶺 信輔 大嶋 正裕	相分離を利用したポリ乳酸中空粒子の創製	化学工学会第 73 年会 O305 浜松	2008 年 3 月
8	矢作 拓也 瀧 健太郎 大嶋 正裕	ポリスチレン b-ピリジンのナノ発泡体の作成	化学工学会第 73 年会 L113 浜松	2008 年 3 月
9	田中 良敬 長嶺 信輔 大嶋 正裕	静電紡糸高分子ファイバーをテンプレートとし たチタニア中空ファイバーの創製	化学工学会第 73 年会 P113 浜松	2008 年 3 月
10	田中 良敬 長嶺 信輔 大嶋 正裕	静電紡糸高分子ファイバーをテンプレートとし たチタニア中空ファイバーの創製	粉体工学会 2008 年度春期研究発表会 BP-13 京都	2008 年 5 月
11	瀧 健太郎 矢作 拓也 大嶋 正裕	ブロック共重合体によるナノ発泡体の作成と金 属ナノ粒子の含浸	D-103	2008 年 6 月
12	長嶺 信輔 田中 良敬 遠山 聡史 大嶋 正裕	静電紡糸を利用した TiO <sub>2</sub> 中空構造体の作製と形態制御	化学工学会第 40 回秋季大会 P213 仙台	2008 年 9 月
13	梶井 昭佳 瀧 健太郎 長嶺 信輔 大嶋 正裕	UV 硬化モノマー/PS/CO <sub>2</sub> 系の UV 照射による 微細発泡成形	C212	2008 年 11 月
14	田中 良敬 遠山 聡史 長嶺 信輔 瀧 健太郎 大嶋 正裕	エレクトロスピンングを利用した TiO <sub>2</sub> 中空 ファイバーの形態制御	高分子材料開発のための 俯瞰的シンポジウム ポスター15 京都	2009 年 1 月
15	遠山 聡史 田中 良敬 山形 岳 長嶺 信輔 瀧 健太郎 大嶋 正裕	エレクトロスピンングを利用した無機ナノファ イバーの創製	高分子材料開発のための俯瞰的 シンポジウム 口頭 16 京都	2009 年 1 月

## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

16	遠山 聡史 田中 良敬 長嶺 信輔 瀧 健太郎 大嶋 正裕	エレクトロスピンングを用いたメソポーラスシリカファイバーの作製	化学工学会第 74 年会 H109 横浜	2009 年 3 月
17	田中 良敬 遠山 聡史 長嶺 信輔 瀧 健太郎 大嶋 正裕	静電噴霧・紡糸を用いたチタニア中空構造体の形態制御	化学工学会第 74 年会 H117 横浜	2009 年 3 月
18	梶井 昭佳 瀧 健太郎 奥村 修平 長嶺 信輔 大嶋 正裕	UV 硬化モノマー/PS/CO <sub>2</sub> 系の UV 照射による微細発泡成形	化学工学会第 74 年会 K303 横浜	2009 年 3 月
19	瀧 健太郎, 奥村 修平 梶井 昭佳 長嶺 信輔 大嶋 正裕	光誘起重合相分離を利用した UV硬化モノマー/オリゴマー/CO <sub>2</sub> 系の発泡	B-104	2009 年 6 月
20	R.W.Sharudin A.Nabil 瀧 健太郎 大嶋 正裕	PP/PS/PMMA 3 成分ポリマーブレンドの発泡モルフォロジーとセル構造	B-203	2009 年 6 月
21	大嶋 正裕	高分子多孔質材料の成形加工	第 8 回高分子ナノテクノロジー研究会講座	2010 年 2 月
22	大嶋 正裕	超臨界流体の高分子成形加工の応用とその課題	第 46 回プラスチックフィルム研究会講座	2010 年 3 月
23	大嶋 正裕	超臨界二酸化炭素を利用した高分子成形加工に関する研究	化学工学会第 75 回年会	2010 年 3 月
24	日浦 泰三 長嶺 信輔 瀧 健太郎 大嶋 正裕	超臨界二酸化炭素中での酸化チタン中空粒子の作製	化学工学会第 75 回年回	2010 年 3 月
25	越智 奨 長嶺 信輔 大嶋 正裕	ナノスケールの表面構造を有する TiO <sub>2</sub> ファイバーの作製	粉体工学会 2010 年春期研究発表会	2010 年 5 月
26	田積 皓平 長嶺 信輔 大嶋 正裕	一方向凍結を用いたセラミック用構造体 (ファイバー・ラメラ・ハニカム) の作製とその構造制御	粉体工学会 2010 年春期研究発表会	2010 年 5 月
27	志熊 治雄 瀧 健太郎 大嶋 正裕	UV 硬化モノマー/PS/CO <sub>2</sub> 系の UV 照射による微細発泡成形 (その 2)	第 21 回成形加工学会年次大会	2010 年 6 月
28	福森 正人 大嶋 正裕	二酸化炭素と水の混合発泡剤によるブレンドポリマーの物理発泡とそのセル構造制御	第 21 回成形加工学会年次大会	2010 年 6 月
29	越智 奨 長嶺 信輔 瀧 健太郎 大嶋 正裕	ナノスケールの表面構造を有する TiO <sub>2</sub> 中空ファイバーの作製	化学工学会第 42 回秋季大会	2010 年 9 月
30	大嶋 正裕	発泡成形のレオロジー	日本レオロジー学会 レオロジーイブニングセミナー	2010 年 10 月
31	伊藤 彰浩 仙波 健 島村 哲朗 北川 和男 瀧 健太郎 大嶋 正裕	エポキシ樹脂の物理発泡における樹脂硬化特性の影響について	成形加工シンポジウム'10	2010 年 11 月
32	大嶋 正裕	超臨界流体を用いた微細発泡成形技術—過去・現状・未来	日本ゴム協会秋季講演会	2010 年 11 月
33	大嶋 正裕	超臨界 CO <sub>2</sub> の利用による微細構造制御と新規材料創製—マイクロセルラーからナノセルラーへ	第 19 回ポリマー材料フォーラム	2010 年 12 月
34	R.B.Sharudin 大嶋 正裕	CO <sub>2</sub> induced reinforcement of mechanical property in polyolefin based nanocellular foams	材料化学システム工学討論会	2010 年 12 月
35	P. Ratanajiaroen 大嶋 正裕	Chitin beads incorporated with curcumin for drug delivery applications:Preparation method and release ability of curcumin from the chitin matrix	材料化学システム工学討論会	2010 年

## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

36	大嶋 正裕	高分子発泡成形ー現状とこれからー	高分子加工技術研究会第74回例会	2011年 3月
37	石川 健 大嶋 正裕	コアバック射出発泡成形課程の可視化とモデル化	第22回成形加工学会年次大会	2011年 6月
38	川口 泰広 松窪 竜也 山内 博史 小坂 義行 大嶋 正裕	発泡成形のための熱膨張性マイクロカプセルの開発	第22回成形加工学会年次大会	2011年 6月
39	大嶋 正裕 志熊 治雄	高断熱特性を目指したマイクロ/ナノセルラーフォーム開発の基本技術とその達成度	第22回成形加工学会年次大会	2011年 6月
40	志熊 治雄 瀧 健太郎 大嶋 正裕	高断熱特性を目指したマイクロ/ナノセルラーフォーム開発の基本技術とその達成度	第22回成形加工学会年次大会	2011年 6月
41	志熊 治雄 大嶋 正裕	高分子溶融体の気泡成長・成長に及ぼす核剤の影響	第22回成形加工学会年次大会	2011年 6月
42	志熊 治雄 大嶋 正裕	二酸化炭素を用いた各種ポリプロピレンと核剤添加によるナノ発泡体の創製	第22回成形加工学会年次大会	2011年 6月
43	大嶋 正裕	二酸化炭素と可塑化・結晶化誘起そして発泡成形	高分子シュミレーション技術セミナー合宿	2011年 10月
44	石川 健 瀧 健太郎 大嶋 正裕	コアバック射出成形での気泡形成におよぼすガス種の影響	成形加工シンポジウム'11	2011年 10月
45	細川 和則 志熊 治雄 大嶋 正裕	連通高分子多孔体中にシリカセロゲルを形成した革新的断熱材の創製	成形加工シンポジウム'11	2011年 10月
46	志熊 治雄 瀧 健太郎 大嶋 正裕	二酸化炭素と核剤を用いたシンジオポリプロピレンのナノ発泡と構造形成	成形加工シンポジウム'11	2011年 10月
47	伊藤 彰浩 仙波 健 瀧 健太郎 大嶋 正裕	二酸化炭素を用いたエポキシ樹脂の物理発泡におけるゲル構造の影響について	成形加工シンポジウム'11	2011年 10月

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む) (国際学会発表、査読有)】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	T. Otsuka K. Taki M. Ohshima	Nano cellular foams of PS/PMMA Polymer blends	Annual Technical Meeting of Society of Plastics Engineers	May 2007
2	J.W. Kim J.K. Kim Kentaro Taki M. Ohshima	Preparation of porous polymeric materials from ternary components polymer solution using phase separation	Proc. of Biofoams 2007, Capri, Italy	June 2007
3	K. Taki D. Kitano M. Itoh M. Ohshima	Visual observation of bubble nucleation and growth on growing crystals in a biodegradable polymer and an attempt to create interconnected porous structure	Proc. of Biofoams 2007, Capri, Italy	June 2007
4	K. Taki D. Kitano M. Ohshima	Effect of spherulites' growth on bubble nucleation in CO <sub>2</sub> -dissolved poly(lactide) matrix	ISSF-Fiber2008, Tower Hall, Funabori, Tokyo	6/17-6/18, 2008
5	T. Yahagi K. Taki S. Nagamine M. Ohshima	Foaming of block copolymer with CO <sub>2</sub> and delivering nanoparticles into the cells	ISSF-Fiber2008, Tower Hall, Funabori, Tokyo	6/17-6/18, 2008
6	J. Kim, K. Taki, S. Nagamine, M. Ohshima	"Preparation of honeycomb monolith structure with micro/nanoscale porous wall"	8th Japan-Korea Symposium on Materials & Interfaces	Nov. 2008
7	S. Nagamine Y. Tanaka M. Ohshima	TiO <sub>2</sub> Hollow Nanofibers Templated by Electrospun Polyethylene Oxide (PEO) Aqueous Solutions	AICHE 2008 Annual Meeting, 322f, Philadelphia, USA	Nov. 2008
8	Ohshima, M. Nemoto, T. Itoh, M. Kabamoto, A. Kim, J. W. J. K. Taki, K.	Preparation of Porous Polymeric Materials by Polymer Processing	4th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials Nagoya	Nov. 2008

## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

9	A. Nabil M. Ohshima	Foam of PLA/PS/PMMA ternary polymer blend	PPS25, Goa, India	Mar. 2009
10	A. Nabil M. Ohshima	Investigation of PS/PMMA Nano-blending and nanofoaming using supercritical CO <sub>2</sub>	Frontiers in polymer science conference, Mainz, Germany	June 2009
11	A. Nabil M. Ohshima	Preparation of nano-cellular foam of Polystyrene (PS)/ Polymethyle methacrylate (PMMA) Inter Penetrating Network using supercritical CO <sub>2</sub>	FOAMS 2009 Iselin, U.S.A	Sep. 2009
12	M. Ohshima	"Preparations of Nano-scale Porous Materials by several Polymer Processing Scheme	Industrial Chemistry and Chemical Engineering of the 13th Asian Chemical Congress Shanghai, China	Sep. 2009
13	R.B.Sharudin M. Ohshima	PP/PS/PMMA (80/10/10) Ternary Blend Foaming: Morphology and Cell Structure	Asian Workshop on Polymer Processing 2009, Malaysia	Dec. 2009
14	M. Ohshima J. Kim N. Abacha	Processing and Fabrication of Porous Polymer Materials	Processing and Fabrication of Advanced Materials-XVIII	Dec. 2009
15	M. Ohshima	Processing and Fabrication of Porous Polymeric Materials	Egypt-Japan Joint Workshop on Advances in Engineering Science and Technologies	Feb. 2010
16	M. Ohshima	Nanocellular Foams Prepared from Supercritical CO <sub>2</sub> and Polymer Blends	The 13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress TAIWAN	Oct. 2010
17	M. Ohshima H. Shikuma R.B.Sharudin	Preparation of Nanocellular Foams and their Properties	Bayreuth Polymer Symposium 2011 Bayreuth, GERMANY	Sep. 2011
18	M. Ohshima T. Ishikawa	Visual Observation and Numerical Analysis for a Core-back mode Foam Injection Molding	Bayreuth Polymer Symposium 2011 Bayreuth, GERMANY	Sep. 2011
19	M. Ohshima H. Shikuma	Preparation of Polypropylene Nanocellular Foams by Controlling their Crystallinity with CO <sub>2</sub> and Crystal Nucleating Agent	The 9th international conference on foam materials and technology Newjersey, U.S.A.	Sep. 2011
20	M. Ohshima	Environmentally-benign polymer foaming - Beyond microcellular technology-	Polymer Processing Society, PPS-Asia/Australia, Kish island, Iran	Nov. 2011

## 【その他外部発表 (プレス発表等) (雑誌、査読有)】

番号	発表者	タイトル	雑誌名称	発表年
1	E. Funami, K. Taki, M. Ohshima	Density measurement of polymer/CO <sub>2</sub> single-phase solution at high temperature and pressure using a gravimetric method	J. Appl. Polym. Sci. 105(5), 3060-3068	2007
2	T. Nemoto J. Takagi M. Ohshima	Control of Bubble Size and Location In Nano-/Microscale Cellular Poly(propylene)/Rubber Blend Foams	Macrom. Materials Eng., 293, 7, 574-580	2008
3	T. Nemoto J. Takagi M. Ohshima	Nanoscale Cellular Foams from a Poly(propylene)-Ruber Blend, Macrom	Macrom. Materials Eng. 293, 12, 991-998	2008
4	K. Taki Y. Waratani M. Ohshirna	Preparation of nanowells on a PS-b-PMMA copolymer thin film by CO <sub>2</sub> treatment	Macromol. Mater. Eng. 293(7), 589-597	2008
5	S. Nakai K. Taki I. Tsujimura M. Ohshima	Numerical simulation of a polypropylene foam bead expansion process	Polym. Eng. Sci. 48(1), 107-115	2008
6	S. Nagamine Y. Tanaka M. Ohshima	Fabrication of Hollow TiO <sub>2</sub> Fibers Templated by Electrospun Aqueous Poly(ethylene oxide)(PEO) Solution	Chemistry Letters, 38, 3, 258-259	Mar. 2009
7	J. Kim, K. Taki, S. Nagamine, M. Ohshima	"Preparation of a Polymeric Membrane with a Fine Porous Structure by Dry Casting"	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE, Vol. 111, No. 5, pp. 2518-2526,	2009
8	J. Kim, K. Tazumi, R. Okaji, M. Ohshima,	"Honeycomb Monolith-Structured Silica with Highly Ordered, Three-Dimensionally Interconnected Macroporous Walls"	CHEMISTRY OF MATERIALS, Vol. 21, No. 15, pp. 3476-3478,	2009
9	J. Kim, K. Taki, S. Nagamine, M. Ohshima,	"Preparation of Porous Poly(L-lactic acid) Honeycomb Monolith Structure by Phase Separation and Unidirectional Freezing"	LANGMUIR, Vol. 25, No. 9, pp. 5304-5312,	2009
10	大嶋 正裕,	"超臨界流体の高分子成形加工技術への応用と課題"	工業材料, Vol. 57, No. 3, pp. 18-21	2009

## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

11	大嶋 正裕	微細発泡ポリマーの構造制御	科学と工業 第 84 巻 4 月発行 125-130 頁	2010
12	大嶋 正裕	革新的断熱材開発と高分子発泡成形加工	伝熱 9 第 49 巻 208 号 47-51 頁	2010
13	Y. Kawaguchi D. Ito Y. Kosaka M. Ohshima	Thermally expandable microcapsules for polymer foaming-Relationship between expandability and viscoelasticity	POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE Vol. 50, No. 4, pp. 835-842	2010
14	Y. Kawaguchi, D. Ito, Y. Kosaka, M. Okudo, T. Nakachi, H. Kake, J.K. Kim, H. Shikuma, M. Ohshima,	"Thermally expandable microcapsules for polymer foaming-Relationship between expandability and viscoelasticity"	POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 50, No. 4, pp. 835-842,	2010
15	T. Nemoto, J. Takagi, M. Ohshima,	"Nanocellular foams-cell structure difference between immiscible and miscible PEEK/PEI polymer blends"	POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 50, No. 12, pp. 2408-2416	2010
16	N. Okamoto, T. Matsuo, M. Ohshima	"ポリ乳酸合成における脱ガスに用いるラクトド気泡核形成速度モデル"	JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN, Vol. 43, No. 3, pp. 275-284	2010
17	大嶋 正裕	超臨界二酸化炭素利用の高分子微細発泡成形	材料の科学と工業 第 48 巻 3 号 7-11 頁	2011
18	R. B. Sharudin A. Nabil K. Taki M. Ohshima	Polypropylene-dispersed domain as potential nucleating agent in PS and PMMA solid-state foaming	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE Vol. 119, No. 2, pp. 1042-1051 頁	2011
19	K. Taki, D. Kitano, M. Ohshima	"Effect of Growing Crystalline Phase on Bubble Nucleation in Poly(L-Lactide)/CO2 Batch Foaming"	INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH, Vol. 50, No. 6, pp. 3247-3252	2011
20	大嶋 正裕	"超臨界二酸化炭素利用の高分子微細発泡成形",	日本材料科学学会誌 材料の科学と工業, Vol. 48, No. 3, pp. 7-11	2011
21	R.W. Sharudin, A. Nabil, K. Taki, M. Ohshima,	"Polypropylene-dispersed domain as potential nucleating agent in PS and PMMA solid-state foaming"	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE, Vol. 119, No. 2, pp. 1042-1051	2011
22	T. Ishikawa, M. Ohshima	"Visual observation and numerical studies of polymer foaming behavior of polypropylene/carbon dioxide system in a core-back injection molding process"	POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 51, No. 8, pp. 1617-1625	2011
23	M. Ohshima, R. Sharudin, T. Nemoto, J. Takagi,	"Nanocellular foams prepared from Polymer blends"	Magazine for the Polymer Industry, Rubber Fiber Plastics (RFP) international, No. 1, pp. 28-31	2011
24	D. Kohlhoff, A. Nabil, M. Ohshima	"In situ preparation of cross-linked polystyrene/poly(methyl methacrylate) blend foams with a bimodal cellular structure"	Polymers for Advanced Technologies pp. n/a-n/a, 2011 Online	2011
25	Sharudin, R.W.B., Ohshima, M	CO2-induced mechanical reinforcement of polyolefin-based nanocellular foams	Macromolecular Materials and Engineering, 296 (11), pp. 1046-1054	2011

## 【その他外部発表 (プレス発表等)】

番号	タイトル	発表媒体	発表年
1	プラスチックシート CO <sub>2</sub> で微少穴制御	日経産業新聞	平成 19 年 6 月 15 日

## 【受賞】

番号	賞	学会名	発表年
1	Foams Division Best Paper 賞	ANTEC 2007 (米国プラスチック成形加工学会年会)	2007 年
2	プラスチック成形加工学会ポスター賞	プラスチック成形加工学会	2008 年 11 月
3	ポスター賞	Foams 2009、 TP&M Division Society of Polymer Engineers	2009 年 10 月
4	学生ベストプレゼンテーション賞	粉体工学会春期大会	2010 年 5 月
5	研究賞 (内藤雅喜賞)	化学工学会	2010 年 3 月
6	青木固技術賞	プラスチック成形加工学会	2011 6 月

## 2 発泡ガス開発

## 2.1 産業技術総合研究所 「次世代断熱発泡剤の研究開発」(委託事業)

## 【特許】

番号	出願者	出願 番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	産業技術総合 研究所	*****	国内	平成 20 年		*****	水門潤治 権 恒道 田村 正則 関屋 章
2	産業技術総合 研究所	*****	国内	平成 20 年		*****	水門潤治、 田村 正則、 関屋 章
3	産業技術総合 研究所	*****	国内	平成 22 年		*****	権 恒道、 田村正則、 水門潤治、 関屋章
4	産業技術総合 研究所	*****	PCT	平成 23 年		*****	権 恒道、 田村正則、 水門潤治、 関屋章
5	産業技術総合 研究所	*****	国内	平成 24 年		*****	権 恒道、 田村正則、 水門潤治、 関屋章
6	産業技術総合 研究所	*****	国内	平成 24 年		*****	権 恒道、 田村正則、 水門潤治、 関屋章

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む) (国内学会発表)】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	徳橋和明、 陳 亮、 内丸忠文、 滝澤賢二、 高橋明文、 近藤重雄、 関屋 章	含フッ素不飽和化合物の大気寿命評価	第 32 回フッ素化学討論会	2008
2	徳橋和明、 陳 亮、 内丸忠文、 滝澤賢二、 高橋明文、 近藤重雄、 関屋 章	含フッ素不飽和化合物と OH ラジカルとの反応 速度の測定	第 33 回フッ素化学討論会	2009

## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

3	関屋章	温暖化対策とフッ素系炭素材料の評価	炭素、2011(250), 241-247	2011
4	田村 正則、 関屋 章、 徳橋 和明、 権 恒道、 水門 潤治、 滝澤 賢二、 陳 亮、 高橋 明文、 内丸 忠文、 鈴木 康正、 周 曉猛、 賈 曉卿	次世代断熱発泡剤の研究開発	プラスチック成形加工学会第 22 回年次大会	2011
5	田村 正則、 関屋 章、 徳橋 和明、 権 恒道、 水門 潤治、 滝澤 賢二、 陳 亮、 高橋 明文、 内丸 忠文、 鈴木 康正、 周 曉猛、 賈 曉卿	次世代断熱発泡剤の研究開発	平成 23 年度産総研環境・エネルギー シンポジウムシリーズ 5	2012

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む) (国際学会発表)】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	関屋章、 岡本小百合	The total global warming effects of house insulating materials by TWPG and CWP analyses	Polyurethanes 2007 Technical Conference	2007
2	関屋章	The evaluation of time variation global warming effects, TWPA and CWP, for CFC alternatives	J. Fluorine Chemistry, 128(2007) 1137-1142	2007
3	関屋章、 岡本小百合	The needed technologies to prevent global warming related to house insulation using TWPG and CWP analyses	Polyurethanes 2008 Technical Conference	2008
4	関屋章、 岡本小百合	Comparison of house polyurethane global warming using different indicators; GWP, TWPP, TWPG, CEWN, GTP, and TTPG	Polyurethanes 2009 Technical Conference	2009
5	関屋章、 岡本小百合、 田村正則	The CEWN and its applications for the evaluation of global warming	Polyurethanes 2010 Technical Conference	2010
6	関屋章、 岡本小百合	Evaluation of carbon dioxide equivalent values for greenhouse gases: CEWN as a new indicator replacing GWP	J. Fluorine Chemistry, 131(2010) 364-368	2010
7	関屋章	Global warming evaluation of fluorocarbons by new indicators, CEWN and CETN	20th Winter Fluorine Conference 2011	2011
8	関屋章、 岡本小百合、 田村正則	Evaluation of foamed polyurethane insulation for residential use by new indicators of global warming and from a viewpoint of carbon resources	Polyurethanes 2011 Technical Conference	2011
9	賈 曉卿、 周 曉猛、 権 恒道、 田村 正則、 関屋 章	Preparation of cis-1,1,1,4,4,4-hexafluorobut-2-ene by cis-selective semi-hydrogenation of perfluoro-2-butyne	J. Fluorine Chemistry 132 (2011) 1188-1193	2011
10	関屋章、 岡本小百合	New global warming indicators, CEWN, CETN and s-CETN based on removal rate of GHGs from the atmosphere	EcoDesign2011: 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing	2011
11	関屋章、 岡本小百合	New global warming indicators, CEWN, CETN and s-CETN based on removal rate of GHGs from the atmosphere	Proceedings of EcoDesign 2011: 7th International Symposium on Environmentally Conscious	2011



## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

			Design and Inverse Manufacturing	
--	--	--	----------------------------------	--

## 【その他外部発表 (プレス発表等)】

番号	タイトル	発表媒体	発表年
1	次世代断熱発泡剤の研究開発	平成 24 年産総研オープンラボ	2012

## 【受賞】

番号	賞	学会名	発表年
1	Best Presentation Award	Polyurethanes 2012 Technical Conference	2012

## 3 硬質ウレタン技術開発

## 3.1 アキレス株式会社 「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」 (委託事業)

## 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	アキレス株式会社	特願 2008- 090098	国内	平成 20 年 3 月 31 日	出願	硬質ポリウレタンフォーム の製造方法	小池 裕治 宮田 義広

3.2 日清紡ケミカル株式会社 「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」  
(委託事業)

## 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	日清紡ケミカル株式会社	特願 2008- 149833	国内	平成 20 年 6 月 6 日	出願	2 液硬化型樹脂発泡体の 成形方法及び成形装置	永田 和久 花岡 秀之

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む)】

番号	発表者	所属	タイトル	学会名称	発表年
1	永田 和久	日清紡ケミカル(株) 断熱事業部	熱伝導率経時劣化を抑制したノン フロンポリウレタンフォームの研究開発	プラスチック成型 加工学会	2011 年



3.3 旭硝子株式会社 「水発泡（もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub>発泡）による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発」(助成事業)

## 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	旭硝子	2010-020247	国内	2010年 2月1日	出願 公開	硬質発泡合成樹脂およびその製造方法	藪野 達哉 笹倉 英史 豊田 賢伯 和田 浩志
2	旭硝子	2010-263893	国内	2010年 11月26日	出願 公開	硬質発泡合成樹脂の製造方法	和田 浩史 豊田 賢伯 波田野 茂夫 黒木 忠信 林 知弘
3	旭硝子	***	国内	2011年	出願 未公開	*****	波田野 茂夫 佐々木 孝之 黒木 忠信 和田 浩史 鈴木 千登志 林 知弘
4	旭硝子	***	国内	2011年	出願 未公開	*****	藪野 達哉 佐々木 孝之 波田野 茂夫

## 【研究発表・講演（口頭発表を含む）（国内学会発表）】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	波田野 茂夫	水発泡による高断熱硬質ポリウレタンフォームの開発	プラスチック成形加工学会	2011年

3.4 BASF INOAC ポリウレタン株式会社 「発泡剤の気相／液相制御技術等による現場発泡高断熱ウレタンフォームの技術開発」(助成事業)

いずれも無し。

## 4 複合断熱材技術開発

## 4.1 産業技術総合研究所、東京理科大学、シーアイ化成株式会社 「発泡ポリマー=シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」(委託事業)

## 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	産総研 シーアイ化成	特願 2008- 214424	国内	2008年 8月22日	出願	柔軟性、成型性を有する発泡ポリマー-シリカ複合体およびそれを用いた断熱材料	依田 智 亀田 孝秀 松本 博文 眞子 祥子 古屋 武
2	産総研 シーアイ化成 東京理科大	特願 2009- 133988	国内	2009年 6月3日	出願	無機物・ポリマーコンポジット成形体の製造方法	亀田 孝秀 中山 英隆 依田 智 古屋 武 大竹 勝人
3	産総研 シーアイ化成 東京理科大	特願 2009- 133989	国内	2009年 6月3日	出願	無機物・ポリマーコンポジット発泡成形体の製造方法	亀田 孝秀 中山 英隆 依田 智 古屋 武 大竹 勝人
4	産総研 東京理科大	特願 2012- 03057	国内	2012年 2月15日	出願	ポリマー・シリカコンポジット及びその製造方法	依田 智 古屋 武 大竹 勝人

## 【論文】

番号	発表者	タイトル	雑誌名称	発表年
1	依田 智	超臨界二酸化炭素を利用した無機=ポリマーナノコンポジットの調製	最近の化学工学, 58-, pp.158-163、	2007年12月
2	依田 智	超臨界プロセスを用いた高性能断熱材の開発	ペテロテック, 33-4, pp.230-234	2010年4月
3	依田 智	シリカエアロゲル系の断熱材	成形加工, 22(11), pp.616-621	2010年11月
4	依田 智 大原 基広 古屋 武 大竹 勝人	Fabrication of polymer form/silica nanocomposite thermal insulator via high pressure mixture of polymer/silicon alkoxide/carbon dioxide	Proc. of 13th European Meeting on Supercritical Fluids, -, pp.-	2011年10月
5	依田 智	ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの作成とその断熱材としての評価	成形加工, 24(3), pp.154-158	2012年2月
6	濱田 健史 小林 大祐 高橋 智輝 庄野 厚 大竹 勝人 辻 智也 依田 智 古屋 武	Phase Behavior for Carbon dioxide/Tetraalkoxysilane Systems	FLUID PHASE EQUILIBRIA, 322-323/, pp.135-141	2012年5月

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む)】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	依田 智 亀田 孝秀 松本 博文 眞子 祥子 古屋 武	新規シリカエアロゲル複合体の作成と断熱材料への応用	化学工学会 第40秋季年会 仙台市	2008/09/15
2	依田 智 亀田 孝秀 松本 博文 古屋 武 大竹 勝人	圧力による相変化を利用した発泡ポリマー=シリカナノコンポジットの創製	化学工学会 第41秋季大会 広島県東広島市	2009/09/18
3	笠原 隆士 高橋 智輝 大竹 勝人 庄野 厚 依田 智 亀田 孝秀 松本 博文 古屋 武	高分子/テトラメトキシシラン/二酸化炭素混合系の発泡挙動の観察	化学工学会 第41秋季大会 広島県東広島市	2009/09/18
4	大竹 勝人 田中 昌明 笠原 隆士 高橋 智輝 庄野 厚 亀田 孝秀 松本 博文 依田 智 古屋 武	Initial Stage of Foaming of PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> Systems	AICHE 2009 Annual Meeting, Nashville, TN, USA	2009/11/10
5	濱田 健史 高橋 智輝 大竹 勝人 庄野 厚 辻 智也 依田 智 古屋 武	高圧における二酸化炭素/テトラメトキシシラン系の相平衡の測定と相関	分離技術会 2010年会, 東京	2010/06/02
6	濱田 健史 高橋 智輝 大竹 勝人 小林 大祐 庄野 厚 辻 智也 依田 智 古屋 武	高圧における二酸化炭素/テトラアルコキシシラン系の相平衡の測定と相関	化学工学会宇都宮大会, 宇都宮	2010/08/19
7	田中 雅章 濱田 健史 高橋 智輝 大竹 勝人 小林 大祐 庄野 厚 依田 智 古屋 武 亀田 孝秀 松本 博文	ポリメタクリル酸メチル/二酸化炭素/テトラエトキシシラン系における発泡挙動の観察	材料システム工学 討論会, 京都	2010/12/05

## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
8	濱田 健史 高橋 智輝 大竹 勝人 小林 大祐 庄野 厚 辻 智也 依田 智 古屋 武	Phase Behavior of Carbon Dioxide/Tetraalkoxysilane Systems	13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, Taipei, Taiwan	2010/10/05
9	依田 智 古屋 武	発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材と連続製造プロセスの開発	H22 産業技術連携推進会議 ナノテク・材料部会 製造プロセス部会 合同研究発表会, つくば	2011/02/03
10	依田 智 大原 基広 古屋 武 大竹 勝人	高压均一状態からの相分離を利用した発泡ポリマー＝シリカナノコンポジットの製造	第 59 回高分子年次大会 大阪	2011/05/27
11	濱田 健史 小林 大祐 高橋 智輝 庄野 厚 大竹 勝人 依田 智 古屋 武	PMMA/CO <sub>2</sub> /シリコンアルコキシド系の相平衡の測定	分離技術会年会 2011, 東京	2011/06/03
12	依田 智 大原 基広 古屋 武 高橋 智輝 大竹 勝人	ポリマー/シリコンアルコキシド/CO <sub>2</sub> 系の高圧相制御を利用した発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材の開発	第 22 回プラスチック成形加工学会年次大会, 東京都	2011/06/22
13	依田 智 大原 基広 古屋 武 高橋 智輝 大竹 勝人	ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの作成とその断熱材としての評価	第 22 回プラスチック成形加工学会年次大会, 東京都	2011/06/22
14	依田 智 古屋 武	高性能断熱材製造のためのバッチ超臨界乾燥プロセスに関する検討	化学工学会 第 43 回秋季大会, 名古屋	2011/09/12
15	濱田 健史 小林 大祐 高橋 智輝 庄野 厚 大竹 勝人 依田 智 古屋 武	PMMA/CO <sub>2</sub> /テトラアルコキシシラン三成分系の相平衡の測定	化学工学会 第 43 回秋季大会, 名古屋	2011/09/12
16	依田 智、 大原 基広 古屋 武 高橋 智輝 大竹 勝人	発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材の連続製造法の開発	化学工学会 第 43 回秋季大会, 名古屋	2011/09/12
17	田中 雅章 小林 大祐 高橋 智輝 庄野 厚 大竹 勝人 依田 智 古屋 武	MMA/CO <sub>2</sub> /テトラエトキシシラン系の発泡挙動	化学工学会第 43 秋季大会, 名古屋	2011/09/12

## 添付資料 5

## 特許論文リスト (公開)

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
18	依田 智 古屋 武 陶 究 竹林 良浩 伯田 幸也 大原 基広 高橋 智輝 大竹 勝人	四方窓付き高温セルを用いたポリマー系液液平衡測定装置開発	第43回秋季大会, 名古屋工業大学 (名古屋)	2011/09/14
19	古屋 武 依田 智 陶 究 竹林 良浩 伯田 幸也 大竹 勝人	Multi window high temperature view cell for the measurements of polymer phase equilibria	2011 AIChE Annual Meeting, Minneapolis, MN	2011/10/17
20	依田 智 大原 基広 古屋 武 大竹 勝人	Fabrication of polymer form/silica nanocomposite thermal insulator via high pressure mixture of polymer/silicon alkoxide/carbon dioxide	13th European Meeting on Supercritical Fluids, Den Hage, Netherlands	2011/10/14
21	濱田 健史 小林 大祐 高橋 智輝 庄野 厚 大竹 勝人 古屋 武 依田 智	Phase Behavior of PMMA/CO <sub>2</sub> /Tetraalkoxysilane Ternary Systems	AIChE 2011 Annual Meeting, Minneapolis, USA	2011/10/20
22	田中 雅章 小林 大祐 高橋 智輝 庄野 厚 大竹 勝人 古屋 武 依田 智	Initial Stage of Foaming of Poly(methyl methacrylate)/Carbon Dioxide / Tetraethoxysilane Ternary System	AIChE 2011 Annual Meeting, Minneapolis, USA	2011/10/20
23	依田 智	Polymer foam/silica nanocomposite via high pressure phase control	5th NRI(AIST) – NINT(NRC) Collaboration Workshop, つくば	2012/04/27
24	依田 智	高圧相制御を利用した発泡ポリマー＝シリカナノコンポジットの開発	日本ゾルゲル学会第10回討論 会, 慶応義塾大学 (神奈川)	2012/07/27
25	依田 智 大原 基広 竹林 良浩 陶 究 伯田 幸也 古屋 武 山田 満彦 大竹 勝人,	シリコンアルコキシド/ポリマー/CO <sub>2</sub> の高圧相制御を利用した“蜂の子”ナノコンポジットの創製	化学工学会第44秋季 大会, 東北大学 (仙台)	2012/09/21

#### 4.2 旭ファイバーグラス株式会社 「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」（委託事業） 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	旭ファイバーグラス株式会社		国内	平成 21 年 9 月 2 日 出願	公開中	無機質系水性組成物	井上 顕 遠藤 秀樹
2	旭ファイバーグラス株式会社		PCT	平成 21 年 10 月 30 日 出願	審査中	低密度キセロゲルの製造方法	井上 顕
3	旭ファイバーグラス株式会社		PCT	平成 21 年 12 月 28 日 出願	出願中	金属酸化物含有低密度シリカ キセロゲルの製造方法	井上 顕
4	旭ファイバーグラス株式会社 /北海道立北方建築総合研究所		国内		出願 取り下げ	断熱材の遮熱測定装置	井上 顕 鈴木 大隆 北谷 幸恵

#### 【研究発表・講演（口頭発表を含む）】

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体	発表年
1	北谷 幸恵	北海道立総合研究機構 北方建築総合研究所	採光を行う断熱壁の開発	太陽エネルギー学会	2009 年

#### 4.3 アキレス株式会社 「ナノゲル断熱材の研究開発」（助成事業） 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	アキレス株式会社		国内	平成 21 年 3 月 12 日	出願	ナノ構造を有する無機多孔質体の 表面を改質する方法	前田慎一 井上 望 木村正典
2	アキレス株式会社		国内	平成 21 年 3 月 25 日	出願	ナノ構造を有する多孔質体の 微粉末を層状に配列させた複合体	前田慎一 井上 望 木村正典
3	アキレス株式会社		国内	平成 21 年 6 月 24 日	出願	ナノ構造を有する多孔質体を 内包する複合体	井上 望 杉尾圭太郎 木村正典
4	アキレス株式会社		国内	平成 23 年 9 月 12 日	出願	疎水性に優れるナノ構造多孔質体	井上 望 横山浩樹
5	アキレス株式会社		国内	平成 24 年 8 月 31 日	出願	エアフィルター	井上 望 横山浩樹
6	アキレス株式会社		国内	平成 24 年 9 月 24 日	出願	採光断熱材	井上 望

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む) (国内学会発表)】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	井上 望、杉尾圭太郎、 小池裕治、横山浩樹	ナノゲルを使用した断熱材の作製と その特性評価	第 22 回プラスチック成形加工学会 年次大会	2011

## 5 発泡断熱ボード技術開発

## 5.1 東レ株式会社「新規断熱性向上シートの研究開発」(委託事業/共同研究)

## 【特許】

番号	出願者	出願 番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	東レ株式会社	2008- 057544	国内	2008/3/7	擬制 取下	断熱材	仲村 博門他
2	東レ株式会社	2008- 057545	国内	2008/3/7	擬制 取下	樹脂発泡体	仲村 博門他
3	東レ株式会社 株式会社クレハ	2008- 156502	国内	2008/6/16	擬制 取下	蒸着フィルム	角 沙織他
4	東レ株式会社	2008- 199418	国内	2008/8/1	擬制 取下	断熱材	篠 一弘他
5	東レ株式会社	2008- 229405	国内	2008/9/8	未請 求取下	高性能断熱材	仲村 博門他
6	東レ株式会社	2009- 040430	国内	2009/2/24	擬制 取下	樹脂成形体およびその製造方法	平鍋 隆一郎他
7	東レ株式会社	2009- 511289	国内	2009/3/6	審査 請求	断熱材	仲村 博門他
8	東レ株式会社 株式会社クレハ	2009- 553347	国内	2009/6/12	出願 公開	蒸着フィルム	山村 剛平他
9	東レ株式会社	2009- 186323	国内	2009/8/11	擬制 取下	樹脂発泡体	仲村 博門他
10	東レ株式会社	2009- 284770	国内	2009/12/16	擬制 取下	積層フィルム、それを用いた蒸着 フィルム	新沼館 浩他
11	東レ株式会社	2009- 284771	国内	2009/12/16	擬制 取下	積層フィルム、及びそれを用いた 蒸着フィルム	末岡 雅則他
12	東レ株式会社	2010- 030921	国内	2010/2/16	出願 公開	樹脂成形体およびその製造方法	平鍋 隆一郎他
13	東レ株式会社	2010- 173309	国内	2010/8/2	出願 公開	樹脂発泡体	仲村 博門他
14	東レ株式会社	2010- 197348	国内	2010/9/3	擬制 取下	樹脂発泡体	仲村 博門他
15	東レ株式会社	2010- 257522	国内	2010/11/18	出願 公開	積層フィルム、それを用いた蒸着 フィルム	新沼館 浩他
16	東レ株式会社	2010- 272211	国内	2010/12/7	出願 公開	積層フィルム、及びそれを用いた 蒸着フィルム	新沼館 浩他
17	東レ株式会社	PCT/JP2 009/054 261	PCT	2009/3/6	出願 公開	断熱材	仲村 博門他
18	東レ株式会社 株式会社クレハ	PCT/JP2 009/060 775	PCT	2009/6/12	出願 公開	蒸着フィルム	山村 剛平他

上記以外に未公開 6 件。

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む) (国内学会発表)】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	仲村 博門	環境に優しい新規断熱シートの開発	プラスチック成形 加工学会、年次大会	2011 年 6 月 23 日

添付資料 5  
特許論文リスト（公開）

【研究発表・講演（口頭発表を含む）（国際学会発表）】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	末岡 雅則	“Micro/Nano” Foaming for thermal insulation materials	IUMRS-ICEM2012	2012年9月

【その他外部発表（プレス発表等）】

番号	タイトル	発表媒体	発表年
1	「環境に優しい革新断熱マイクロ/ナノ発泡シートの開発」	日本経済新聞	2009年 6月20日
2	「革新断熱シート」	nanotech2010 (ポスター発表)	2010年 2月17～19日
3	「環境に優しい断熱発泡シート」	「高分子」2月号 (論文)	2010年 2月
4	「環境に優しい新規断熱シートの開発」	「成型加工」11月号 (論文)	2010年 11月
5	「マイクロ・ナノ発泡体」	nanotech2012 (ポスター発表)	2012年 2月15～17日

【受賞】

番号	賞	学会名	発表年
1	ナノテック大賞・Green Nanotechnology 部門賞	nanotech2010	2010年 2月19日

5.2 株式会社カネカ「高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発」（委託事業／共同研究）

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	株式会社カネカ	特願 2008-057627	国内	平成 20 年 3 月 7 日	公開	断熱性能の優れた発泡積層体	上田亨
2	株式会社カネカ	特願 2009-052971	国内	平成 21 年 3 月 6 日	公開	断熱性能の優れた発泡積層体	上田亨
3	株式会社カネカ	特願 2009-055934	国内	平成 21 年 3 月 10 日	公開	断熱性能に優れた発泡成形体	上田亨
4	株式会社カネカ	特願 2009-173494	国内	平成 21 年 7 月 24 日	公開	断熱性能に優れた発泡成形体	大原洋一
5	株式会社カネカ	特願 2009-173568	国内	平成 21 年 7 月 24 日	公開	断熱性能に優れた発泡成形体	上田亨
6	株式会社カネカ	特願 2010-036845	国内	平成 22 年 2 月 23 日	公開	断熱性能に優れた発泡成形体	菊地武紀
7	株式会社カネカ	特願 2010-063451	国内	平成 22 年 3 月 19 日	公開	押出發泡成形体の製造方法及び装置	上田亨
8	株式会社カネカ	特願 2010-163886	国内	平成 22 年 7 月 21 日	公開	断熱性能に優れた発泡成形体	上田亨
9	株式会社カネカ	特願 2011-017960	国内	平成 23 年 1 月 31 日	公開	押出發泡成形体の製造方法	上田亨
10	株式会社カネカ	特願 2011-085810	国内	平成 23 年 4 月 7 日	出願	断熱性能に優れた押出發泡成形体	上田亨
11	株式会社カネカ	特願 2011-172510	国内	平成 23 年 8 月 8 日	出願	断熱性能に優れた発泡成形体	菊地武紀
12	株式会社カネカ	特願 2011-172512	国内	平成 23 年 8 月 8 日	出願	断熱性能に優れた発泡成形体	菊地武紀
13	株式会社カネカ	特願 2011-182196	国内	平成 23 年 8 月 24 日	出願	断熱性能に優れた発泡成形体	菊地武紀
14	株式会社カネカ	特願 2011-250406	国内	平成 23 年 11 月 16 日	出願	断熱性能に優れた押出發泡成形体	上田亨
15	株式会社カネカ	特願 2011-250461	国内	平成 23 年 11 月 16 日	出願	断熱性能に優れたポリスチレン系樹脂押出發泡積層体	中道幹芳
16	株式会社	特願 2012-	国内	平成 24 年 3 月 27 日	出願	断熱性能に優れたポリスチレン系	中道幹芳



	カネカ	071554			樹脂押出発泡積層体	
--	-----	--------	--	--	-----------	--

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む) (国内学会発表)】

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
1	上田亨、菊地武紀、大原洋一	高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発	第 22 回プラスチック成形加工学会年次大会	平成 23 年

## 6 計測技術開発

## 6.1 国立大学法人 東京工業大学 「交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発」(委託事業)

## 【研究発表・講演 (口頭発表を含む)】

番号	発表者	所属	タイトル	学会名称	発表年
1	佐野晋一 森川淳子 橋本壽正	東京工業大学	高分子発泡断熱材の熱拡散率の温度波による評価	第 44 回熱測定討論会	2008
2	佐野晋一 森川淳子 橋本壽正	東京工業大学	高分子発泡断熱材の温度波による評価法の開発	第 43 回熱測定討論会	2007
3	Shinichi Sano, Junko Morikawa, Toshimasa Hashimoto	東京工業大学	Measurement of Thermal Conductivity and Diffusivity of Polymeric Thermal Insulation Materials by Temperature Wave Analysis	The 5 <sup>th</sup> international and 7th China-Japan Joint Symposium on Calorimetry and Thermal Analysis	2008
4	橋本壽正、森川淳子	東京工業大学	温度波によるノンフロン系断熱材の圧着式熱伝導率測定法	第58回高分子討論会、熊本大学	2009

## 7 評価技術開発

## 7.1 一般財団法人 建材試験センター 「革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価」

## 【その他外部発表 (プレス発表等)】

番号	タイトル	発表媒体	発表年
1	断熱性能測定技術の評価方法の開発 革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性 評価 (測定法評価技術検討部会)	建材試験情報	2010