

# 「革新的ノンフロン系断熱材技術開発」

## 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 環境技術開発部
------	------------------------------------

—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 革新的ノンフロン系断熱材技術開発の必要性 .....	1- 4
1.1.1.3 産業界での対応状況 .....	1- 5
1.1.1.4 技術的な課題とNEDOの関与する意義 .....	1- 9
1.1.2 実施の効果（費用対効果） .....	1- 9
1.1.2.1 産業界への効果 .....	1- 9
1.1.2.2 費用対効果 .....	1-10
1.1.2.3 制度への適用性 .....	1-10
1.2 事業の背景・目的・位置づけ .....	1-11
1.2.1 事業の背景 .....	1-11
1.2.1.1 オゾン層保護対策の動向 .....	1-11
1.2.1.2 温暖化対策の動向 .....	1-15
1.2.2 事業の目的と位置づけ .....	1-16
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
2.1.1 革新的断熱技術開発 .....	2- 1
2.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	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
2.2.1.1 革新的断熱技術開発 .....	2- 3
2.2.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	2- 3
2.2.2. 研究開発項目毎の計画 .....	2- 4
2.2.2.1 革新的断熱技術開発 .....	2- 4
2.2.2.1.1 基盤技術開発 .....	2- 4
2.2.2.1.2 発泡ガス開発 .....	2- 8
2.2.2.1.3 硬質ウレタン技術開発 .....	2-11
2.2.2.1.4 複合断熱材技術開発 .....	2-30
2.2.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発 .....	2-39
2.2.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	2-44
2.2.2.2.1 計測技術開発 .....	2-44
2.2.2.2.2 評価技術開発 .....	2-47
2.2.3 研究開発の実施体制 .....	2-51
2.2.4 研究開発の運営管理 .....	2-52
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- 6
3.1.1.2 発泡ガス開発 .....	3- 7
3.1.1.3 硬質ウレタン技術開発 .....	3- 8
3.1.1.4 複合断熱材技術開発 .....	3-10
3.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発 .....	3-11
3.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	3-12
3.1.2.1 計測技術開発 .....	3-12
3.1.2.2 評価技術開発 .....	3-12

3.2. 研究開発項目毎の成果 .....	3-13
3.2.1 革新的断熱技術開発 .....	3-13
3.2.1.1 基盤技術開発 .....	3-13
3.2.1.2 発泡ガス開発 .....	3-29
3.2.1.3 硬質ウレタン技術開発 .....	3-39
3.2.1.4 複合断熱材技術開発 .....	3-62
3.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発 .....	3-75
3.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	3-80
3.2.2.1 計測技術開発 .....	3-80
3.2.2.2 評価技術開発 .....	3-84
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- 2
4.1.1.1.1 基盤技術開発 .....	4- 2
4.1.1.1.2 発泡ガス開発 .....	4- 2
4.1.1.1.3 硬質ウレタン技術開発 .....	4- 3
4.1.1.1.4 複合断熱材技術開発 .....	4- 4
4.1.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発 .....	4- 5
4.1.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	4- 6
4.1.1.2.1 計測技術開発 .....	4- 6
4.1.1.2.2 評価技術開発 .....	4- 6
4.1.2 波及効果 .....	4- 7
4.1.2.1 革新的断熱技術開発 .....	4- 8
4.1.2.1.1 基盤技術開発 .....	4- 8
4.1.2.1.2 発泡ガス開発 .....	4- 9
4.1.2.1.3 硬質ウレタン技術開発 .....	4- 9
4.1.2.1.4 複合断熱材技術開発 .....	4-10
4.1.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発 .....	4-11
4.1.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	4-12
4.1.2.2.1 計測技術開発 .....	4-12
4.1.2.2.2 評価技術開発 .....	4-12
4.2. 今後の展開 .....	4-13
4.2.1 革新的断熱技術開発 .....	4-14
4.2.1.1 基盤技術開発 .....	4-14
4.2.1.2 発泡ガス開発 .....	4-15
4.2.1.3 硬質ウレタン技術開発 .....	4-15
4.2.1.4 複合断熱材技術開発 .....	4-16
4.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発 .....	4-16
4.2.2 断熱性能等の計測・評価技術開発 .....	4-17
4.2.2.1 計測技術開発 .....	4-17
4.2.2.2 評価技術開発 .....	4-17

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		2009/7/13			
制度・施策 (プログラム) 名	METI・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 番号	P07019				
担当推進部/ 担当者	環境技術開発部/繁田主査						
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、2005年以降、GWPの高いHFCへの大気中への排出量の増加が見込まれており、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。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。</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						
開発予算 (会計・勘定別に 事業費の実績額を 記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H19Fy	H20Fy	H21Fy	H22Fy	H23Fy	総額
	一般会計						
	特別会計	300	240	240	未定	未定	未定
	総予算額	300	240	240	未定	未定	未定
	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 ・国立大学法人 京都大学（委託先）</p> <p>②発泡ガス開発 ・独立行政法人 産業技術総合研究所（委託先）</p> <p>③硬質ウレタン技術開発 ・アキレス株式会社（委託先） ・日清紡ケミカル株式会社（委託先） ・旭硝子株式会社（助成先） ・BASF INOAC ポリウレタン株式会社（助成先）</p> <p>④複合断熱材技術開発 ・独立行政法人 産業技術総合研究所（委託先） /シーアイ化成株式会社（委託先） /学校法人 東京理科大学（委託先） ・旭ファイバーグラス株式会社（委託先） ・アキレス株式会社（助成先）</p> <p>⑤発泡断熱ボード技術開発 ・東レ株式会社（委託先） ・株式会社カネカ（委託先）</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 ・国立大学法人 東京工業大学（委託先）</p> <p>②評価技術開発 ・財団法人 建材試験センター（委託先）</p>
情勢変化への対応	<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。</p> <p>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。</p> <p>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>	

Ⅲ. 研究開発  
成果について

平成 19 年度から採択の 13 件（研究開発項目(1)～(13)）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確認した。同会議では PL と SPL により委託先、助成先毎に適切な指導が実施された。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。

**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**

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。

**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礎研究」（委託事業）**

国立大学法人京都大学は、山形大学と共同実施の体制にて、基盤技術開発として「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）を実施した。

具体的には、超低熱伝導率（ $0.024[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 以下）の構造部材の実現に必要な 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）を具現化する断熱体製造技術の提案とその発泡体の試作を行なった。

①微細化・高発泡率化技術の開発

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の結果、下記の成果を得た。

- (A) もう一方のポリマーをポリマー内部でモノマーから重合し、ドメインがナノスケールで分散したポリマーブレンドを創製する手法を考案した。
- (B) このポリマー内重合反応を利用して PMMA ドメインが PS 中にナノスケールで分散したモルフォロジーを持つ、非相溶だが透明な PS/PMMA ブレンド体を創製した。
- (C) このポリマー内重合反応により重合されたポリマーは、モノマー単体で重合した場合と比較して分子量が大きくなり、その分子量はマトリクスの PS ポリマーの分子量により制御が可能であることを解明した。
- (D) このナノブレンド体のモルフォロジーをテンプレートとして利用し、内部に数十 nm の気泡を持つナノ発泡体を創製した。

②高バリア性化技術の開発

気泡内壁の架橋反応・シリケート化などにより高バリア性（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の結果、下記の成果を得た。

- (A) 高断熱性の発泡体の作成法として、発泡体の気泡内部に低熱伝導率のガスを封止する新規手法を考案した。
- (B) この手法を用いて熱伝導度  $21 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$  の発泡体を創製した。

### ③低熱伝導空間の導入技術の開発

中空カプセルと中空ファイバーによる発泡体構造中への低熱伝導空間の導入のための基礎技術開発を実施し、下記の成果を得た。

(A) 低熱伝導空間を有するカプセルまたはファイバーの作製（山形大学）：中空ファイバーまたはカプセルを作製するために二重円筒ノズルを作製し、二重円筒ノズルの外殻から PVA 水溶液、内殻から空気あるいは二酸化炭素をそれぞれシリンジポンプで押し出した結果、空隙率が 99%と非常に高く、熱伝導率も  $0.030\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ より低いフォームを創製した。

(B) 低熱伝導空間を有するカプセルまたはファイバーの作製（京都大学）：金属アルコキシドと有機溶媒の混合液に水を噴霧し、水とアルコキシド溶液の界面においてアルコキシドを加水分解、重縮合させるという新規な金属酸化物中空微粒子合成法を考案し、静電紡糸法を組み合わせ、発泡核剤として利用可能な、中空構造を持ったチタニアファイバーを創製した。

### 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

フルオロオレフィン C について小スケールで脱 HF 反応の条件を種々検討し、従来法よりも高い収率で C を得ることに成功した。この脱 HF 反応において触媒を用い副生成物を定量的に目的物に変換できることを明らかにした。さらに脱 HF 反応、異性化反応それぞれについて反応条件、触媒、反応装置を検討することで数十 g までスケールアップを行うとともに、生成物を蓄積して約 1kg の試料を製造し、各種評価を進めた。フルオロオレフィン D について、中間原料である E の合成と、E の還元による D の合成それぞれについて検討を進めた。E の合成については、原料 G に対して塩化フッ化アルミニウムを作用させることにより E が得られることがわかり、さらにフロー法による効率化にも成功した。E の還元による D の合成については、検討の結果、パラジウム系触媒を用いた水素還元をフロー式反応で行うことにより転化率 95%以上、選択率 90%以上で D を合成することができた。得られた生成物を蒸留精製することにより、純度 99%以上の試料を得ることができた。これらの製造法により約 1kg の試料を製造し、各種評価を進めた。

#### ②熱伝導率評価

D について熱伝導率を測定した結果、気体熱伝導率は約  $14\text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$  であり、HFC-245fa と同程度であることがわかった。

#### ③環境影響評価

OH ラジカルとの反応速度の測定：測定した 15 化合物の中で最も大気寿命の長い A 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。

#### ④安全性評価

(A) 燃焼性評価：鎖状の不飽和化合物の場合は、C3 では水素原子が 1 個以下では不燃、C4 では水素原子が 2 個でも不燃であることが分かった。一方、環状の不飽和化合物の場合は、C4 では水素原子が 1 個でも可燃、C5 では水素原子が 1 個で不燃であることが分かった。

(B) 毒性評価：フルオロオレフィン A、B、C、D について Ames 試験が陰性であることを確認した。

### 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)高速回転式、(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)高速回転式：液を40 $^{\circ}$ C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 $^{\circ}$ C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 $\cdot$ 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おり、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、高压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も約 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 の雰囲気のスンプリング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)**

①セル構造の制御：セルサイズの最適化

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。

次に、ポリオールの界面活性性能制御により、セル構造を制御した場合のフォーム強度の改善に着手した。

ハンド発泡評価においては、従来の水発泡技術に比較して、断熱性能を大きく改善できることが可能であり、中間目標を達成できた。

**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

(A) 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制御したものがヒドロカーボンを良く吸着することが判明した。

- (B) 吸油性材料ハイ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。
- (C) 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。
- (D) ペンタンの量を制御し、その熱伝導率が  $24.7\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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

##### 「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)

高い断熱性能とハンドリング性を両立した断熱材として、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の開発を行い、下記の成果を得た。

#### 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：三成分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高圧相平衡測定装置を構築し、種々の組成、温度、圧力において、三成分系の相状態 (均一混合、相分離) を観察した。各種ポリマーのスクリーニングの結果、シリコンアルコキシドと親和性の高いポリマー系を見いだした。この系について、6-30 MPa, 313-473 K での相図を概成し、均一混合可能な条件を示した。
- (B) scCO<sub>2</sub> 中におけるゾルゲル反応の促進法の開発：scCO<sub>2</sub> 中でシリコンアルコキシドを分解してシリカを生成する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。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の一部が、scCO<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などを見出した。

#### ②減圧、相分離過程の可視化観察と最適化 (東京理科大)

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。ポリマー-アルコキシド-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必要があること、平均気泡径および気泡密度は、アルコキシド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。

#### ③連続気孔型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)

本項目では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構造を持つ材料について、以下の検討を行った。

#### (A) ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化：

市販の連続気孔型ポリマーフォーム数種、また天然高分子であるキトサンゲルについて、この気孔内にゾルゲル溶液を充填後ゲル化、疎水化処理、scCO<sub>2</sub>による超臨界乾燥を行って、目的とする試料を調整し、熱流束計による熱伝導率測定、三点曲げ試験による強度測定等による評価を行った。その結果特定のポリマーフォーム等で高い断熱性能 (0.017-0.020 W/(m·K))、およびシリカエアロゲルより優れた曲げ強度など、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。

#### 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)

##### 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、 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim 0.019\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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)

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、既存断熱材の断熱性能向上と新規断熱材を開発を実施した結果、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おこなった。得られた無機系ナノゲルの断熱性能は $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。

#### 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)

下記の間目標を有する新規断熱性向上シートの開発を実施した。

- ・熱伝導率： $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下

(フロン系硬質ウレタンフォームと同等以上)。

- ・耐久性：5年で熱伝導率の減少率10%以下。
- ・充填ガスの低環境負荷化：地球温暖化係数が従来品の1/2以下。
- ・材料の低環境負荷化：製造時炭酸ガス発生量が従来品の1/2以下。

この結果、下記の成果を得た。

##### ①断熱性向上発泡技術の研究

充填ガスとして炭酸ガスを使用し、ナノアロイ技術と連続溶融押出発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。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： $0.023\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を達成した。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：ポリ乳酸を主成分とするポリマー（炭酸ガス発生量 $(\text{kg}/\text{kg})$ は、炭化水素系：2.9、本開発品：1.2）、及び、充填ガスとして、地球温暖化係数が炭化水素よりも低い炭酸ガス（地球温暖化係数は、炭化水素：11、炭酸ガス：1）を用いていることから、使用素材の面からも地球温暖化防止へ貢献できる。

##### ②断熱性向上バリア技術の研究

ナノアロイ技術と溶融製膜技術を深化させることで、高結晶性の特殊樹脂を含有するフィルムの製膜に成功し、炭酸ガス透気度が $0.1\text{cc}/\text{m}^2\cdot 24\text{hr}\cdot \text{atm}$  (Al 蒸着時)のハイバリアフィルムを得た。更に、製膜条件の最適化による高次構造の制御及び表面構造の制御によりアルミ蒸着層のガスバリア性能を極限まで高めた結果、従来のアルミ蒸着PETフィルムに対し炭酸ガスバリア性が100倍優れるフィルムを創出することに成功した。製膜技術については、ラボスケールからパイロットスケールにスケールアップすることに成功し、長尺サンプルの作成が可能となった。

##### ③断熱性向上シートの基本設計

コンセプトモデル作成による実用性基礎評価（加速テスト）において、5年目相当まで断熱性能に変化がないことを確認し、継続評価中である。本開発品は従来品と比較して、 $\text{CO}_2$ 発生量を20年間で累計50t、約15%削減でき、冷暖房費も累計約50万円削減できるとの結果を得た。

**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)**

①高断熱性を実現する押出發泡体の開発  
独自に開発したセル構造形成が可能であること、さらに構造制御を行うことで熱伝導率低減が可能であることを確認した。これまでの検討により、プロジェクトの熱伝導率目標レベルに到達した。

**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、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

**3.1.2.2 評価技術開発**

**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)**

実用性評価方法を作成し、本プロジェクトでの開発成果の実用性評価を行うことを目標に下記の成果を得た。また本プロジェクトの事業者殿にご試用を戴きコメントを収集した。

- ①革新的ノンフロン系断熱材の実用性評価
  - ・自己評価表(断熱建材の実用性評価)
  - ・発泡プラスチック系断熱材性能変化簡易予測ツール(フェーズ2用)
  - ・発泡プラスチック系断熱材性能変化簡易予測ツールの計算例
  - ・LCCO<sub>2</sub>簡易計算ツール計算結果例
  - ・自己評価表(断熱性能測定技術の実用性評価)

投稿論文	「研究発表・講演」43件、「著作投稿」6件、 「受賞実績」2件、「新聞・雑誌への掲載」3件、
特許	「出願済+出願予定」28件

IV. 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

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。

##### 4.1.1 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。

###### 4.1.1.1 基盤技術開発

基盤技術は、熱伝導率を下げ、断熱性を向上できる基本的な技術の概念、アイデアの創案と実験検証を踏まえて基本技術を確立することにより、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。

###### 4.1.1.2 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生産に向けた製造法を開発することにより実用化が可能である。

###### 4.1.1.3 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セルの微細化と CO<sub>2</sub> の拡散防止
- ②低コスト化、安全対策、規制の緩和活動
- ③既存設備の使用、軽微な改造・追加
- ④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

###### 4.1.1.4 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発泡構造と製造プロセスの最適化
- ②ナノ多孔質シリカの応用
- ③ナノゲルを応用した簡易真空断熱材

###### 4.1.1.5 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ユーザーワークを通じた実用化価値の検討
- ②実使用サイズでの技術獲得
- ③市場ターゲット、展開可能性、市場での受入可能性の確認

##### 4.1.2 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、事業化の見通しが得られている。

###### 4.1.2.1 計測技術開発

計測技術は、下記項目の開発により実用化が可能である。

- ①プローブの安定供給
- ②プローブの高感度化

###### 4.1.2.2 評価技術開発

評価技術は、開発した評価方法を各事業者殿に試用して戴き、そのコメントを評価方法の検討に反映することにより実用化が可能である。

## 4.2 事業化までのシナリオ

各開発技術毎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の実用化検討  
2012年度までにナノセルラー発泡体の実用化について検討する。
- ② ナノセルラー押出／射出発泡体の事業化検討  
2013年度までにナノセルラー押出／射出発泡体の事業化を検討し、ナノセルラーの既存発泡装置による実現と波及を図る。
- ③ 中空カプセル・ファイバーの事業化検討  
2015年までに中空カプセル・ファイバーの事業化を検討し、高性能断熱材の事業化を目指す。

#### 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 大規模プロセス、断熱材開発、毒性検討  
2015年度までに民間との共同開発により、大規模プロセス化による断熱材の開発と毒性の実用化検討を実施する。

#### 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 ノンフロンスプレーフォーム、ボード、パネル等の検討と事業化  
2013年度までにノンフロンスプレーフォーム、ボード、パネル等の実用化検討を実施する。2014年度以降に事業化を開始する。
- ② ノンフロン断熱材の検討と事業化  
2013年度までにノンフロン断熱材の実用化検討を実施する。  
2014年度より事業化を開始する。
- ③ 現場発泡高断熱ウレタン発泡体の検討  
2013年度までに現場発泡高断熱ウレタン発泡体の実用化と事業化を検討する。  
2014年度より事業化を開始する。
- ④ 硬質ウレタンフォームの検討と事業化  
2013年度下期より硬質ウレタンフォームの事業化を検討し、  
2015年度より事業化を開始する。

#### 4.2.1.4 複合断熱材技術開発

- ① 発泡ポリマ=シリカナノコンポジット断熱材及び連続製造プロセスの事業化検討  
2012年度より発泡ポリマ=シリカナノコンポジット断熱材及び連続製造プロセスの事業化検討を実施する。
- ② 高機能無機質系断熱材開発  
2012年度～2013年度まで高機能無機質系断熱材の実用化を検討し、  
2014年度より事業化を開始する。
- ③ ナノゲルの実用化検討  
2012年度～2015年度にナノゲルの実用化を検討する。

#### 4.2.1.5 発泡断熱ボード技術開発

- ① スケールアップ検討  
2012年度～2015年度にスケールアップによる実用化を検討する。
- ② ノンフロン断熱材  
2012年度～2013年度にノンフロン断熱材の事業化を検討し、  
2014年度から事業化を開始する。

#### 4.2.2 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。

##### 4.2.2.1 計測技術開発

2012年度より事業化を開始する。

その後、下記の開発と活動を進める。

- ①高感度化、②操作性向上、③標準化提案、④市販装置・商品開発

##### 4.2.2.2 評価技術開発

2012年度より事業化を開始する。

#### 4.3 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 ナノセルラー断熱建材技術

2010年度～2015年度にナノセルラー断熱建材技術の試作と要素試験を実施する。2015年度～2025年度にモデルハウスでの検討を通じて、実用化を検討する。

###### ② 革新断熱シート

2010年度～2013年度頃にスケールアップ化と実用価値の確認を進め2015年度頃までに実用化を目指す。その後更にフィルムの応用展開を図り、2020年度頃までに実用化を目指す。

###### ③ ナノゲル断熱材

2011年度～2015年度頃に実機を検討し、シート状断熱材を開発する。2015年度頃より実用化を開始する。

###### ④ シリカエアロゲル

2013年度～2015年度頃に実機を検討し成型断熱材を開発する。2016年度頃より実用化を開始する。

###### ⑤ ナノバブル

2010年度～2012年度頃に実機検討し現場スプレー発泡システムを開発する。2013年度頃より実用化する。

2015年度～2018年度頃に工場生産における実機を検討し、2019年度頃に実用化を開始する。

##### < 省エネルギー効果と温室効果ガス削減量 >

上記の実用化により、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。

・ 2020年：2.7[万kl/年]

・ 2030年：7.6[万kl/年]

2007年度のHFCのデータより、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CO<sub>2</sub>の削減ポテンシャルは、CO<sub>2</sub>換算で約600[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600[万CO<sub>2</sub>トン/年]程度

	<p>(2)自動車分野</p> <p>①ナノセルラー断熱建材技術 2015年度～2018年度頃に要素試験を実施する。 2015年度～2025年度頃の実機への適用を検討し、 2025年度頃より実用化を開始する。</p> <p>②ナノゲル断熱材 2015年度～2018年度頃の実機を検討し、シート状断熱材を開発する。 2018年度頃より事業化を開始する。</p> <p>(3)家電分野</p> <p>①超発泡核材 2010年度～2020年度頃に材料選択、試作・発泡実験、押出機・射出機での実験を実施する。 2020年度頃より量産化の検討を開始する。</p> <p>②革新断熱シート 2015年度～2019年度頃に形態最適化を検討する。 2020年度頃より事業化を開始する。</p>	
V. 評価に関する事項	評価履歴	平成18年度 事前評価
	評価予定	平成21年度 中間評価分科会
VI. 基本計画に関する事項	作成時期	平成19年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

## 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
圧力・温度クエンチ	Pressure quench, Temperature quench	減圧あるいは昇温することにより、ポリマー中に解けていた発泡ガスを溶けにくくして、発泡させる方法
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 $\text{CCl}_3\text{F}$ であらわされる化合物。CFC は <u>C</u> hloro <u>f</u> luoro <u>c</u> arbon の意味。
HCFC-141b	HCFC-141b	化学式 $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$ であらわされる化合物。HCFC は <u>H</u> ydro <u>c</u> hloro <u>f</u> luoro <u>c</u> arbon の意味。
HFC-245fa	HFC-245fa	化学式 $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CHF}_2$ であらわされる化合物。HFC は <u>H</u> ydro <u>f</u> luoro <u>c</u> arbon 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 $\text{CO}_2$ 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、 $e=2.718\cdots$ ) 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成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速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

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)

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℃、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。

2.2.2.1.3.3 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
現場発泡	Pour in place foaming	施工現場でポリウレタン原液を発泡させて、ウレタン断熱層を形成させる工法。主として、スプレー法が用いられる。
水発泡	water blown foaming	発泡剤として水を用いたウレタンフォーム成形方法。水がイソシアネートと反応して CO <sub>2</sub> を発生させて発泡剤となる。
熱伝導率	Thermal conductivity	物質の熱を伝えやすさを表す物理量。低い方が熱が伝わりにくく、断熱性能が良好。
ガス透過性	Permeability to gas	気体透過のしやすさ。
ガスバリア	Gas barrier	気体の流れ、拡散を遮断すること。
超臨界 CO <sub>2</sub>	Supercritical fluid CO <sub>2</sub>	臨界点以上の温度・圧力下に置き、気体の拡散性と液体の溶解性を持った CO <sub>2</sub> 。

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
モレキュラーシーブ	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  
「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。

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%、平均空孔径 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
ナノ多孔質シリカ担持断熱材	Meso-porous silica carrier thermal insulation	
遮熱性	Radiation shield effect	放射の抑制効果

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。

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
ポリマー内重合	Polymerization in polymer	ポリマー基板にモノマーを拡散・溶解させ、そのモノマーをポリマー基板の中で重合させ、Interpenetrating network を作る方法
ナノ分散	Nanoblend	海島構造のモルフォロジーにおいて、分散相の大きさがナノオーダーとなる状態
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
貯蔵弾性率	Storage modulus	高分子中の弾性の強さのレオロジー的な評価指標
ホットディスク法	Hotdisk method	熱伝導度の測定手法の一種。非定常面熱源法とも呼ばれる。



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
ヒドリド化合物	Hydride compounds	水素陰イオン (ヒドリドイオン) を有する化合物
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
フロー法	Flow method	反応管などに原料を流通し生成物を連続的に得る合成方法
水素還元	Hydrogenation	水素ガスを還元剤として用いる還元反応
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 $2\mu\text{F}$ ; 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 $2\mu\text{F}$ ) 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シス法の光源であ り、所定のガス (この場合は Ar、 $\text{F}_2$ 、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
ガス透過度		気体透過のしやすさを表す物理量。
形状安定性	Dimensional stability	フォームの収縮、膨張の度合。

### 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ミ珪酸塩の総称
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。

### 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)

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

### 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であったが、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、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。

### 3.2.2.1.1 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

##### 4.1.2.1.1.1 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
Mucell 装置	Mucell injection molding machine	米国トレクセル社の商標が Mucell であり、二酸化炭素・窒素を使って、熱可塑性樹脂を射出機で発泡させる装置である。

##### 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)

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、もっ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

##### 4.1.2.1.3.3 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)

用語 (日本語)	English	用語の説明
ボード	Boardstock foam	連続的に発泡・成形された板状断熱材。
サイジング	Siding panel	金属面材を有するパネル状外壁用断熱材。
注入	Cavity filling	一定形状の型内でウレタンを発泡・充填させ、断熱層を形成させる方法。

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。
植物由来プラスチック	Biomass polymer	「高植物度ポリマー」と同義。



# 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。

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。

図 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」(平成 20 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[%]の抑制目標である。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。

	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
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	---	(▲67)	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ガス分類は1995年を基準年としたCO<sub>2</sub>換算排出量比

図 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

(「京都議定書」目標達成計画(基準年比で 6%削減)の内訳)  
(1998 推進大綱、2005 目標計画、2008 目標計画 (改訂))

表 1.1 フロン類の略号

略号	正式名称	対応する議定書
CFC (約4,500~14,500)	Chlorofluorocarbons	モントリオール議定書 対象物質 (特定フロン類)
HCFC (約80~2,300)	Hydrochlorofluorocarbons	
HFC (約140~12,000)	Hydrofluorocarbons	京都議定書 対象物質 (代替フロン等3ガス)
PFC (約6,500~12,000)	Perfluorocarbons	
SF <sub>6</sub> (23,900)	Sulphur hexafluoride	

( )内は地球温暖化係数:GWP

図 1.2 に温室効果ガスの排出削減の取り組みの流れを示す。

特定フロン類(CFC、HCFC)はそれぞれ 1996 年に全廃、補充用を除き 2020 年までに全廃の計画である。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・除外技術、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。

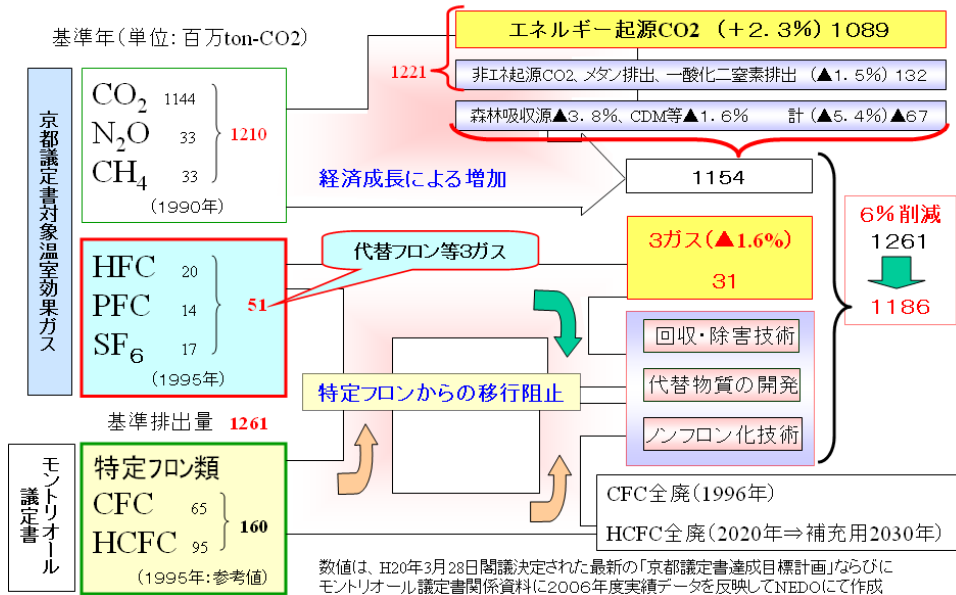


図 1.2 温室効果ガス排出削減の取り組みの流れ

図 1.3 に特定フロン HCFC の規制スケジュールを示す。

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 年の消費量を基準として、2020 年に 0%以下にする計画である。

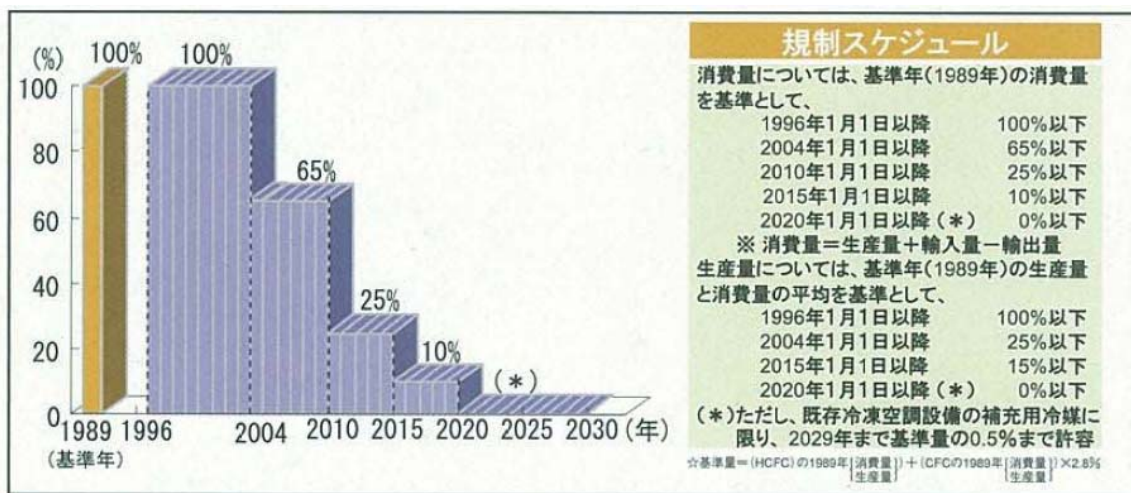


図 1.3 HCFC の規制スケジュール

図 1.4 に代替フロン等 3 ガスの 2010 年の排出量の見通しを示す。

1995 年の 2010 年の代替フロン等 3 ガスの排出量見込みに対して、1998 年の地球温暖化対策推進大綱、2008 年の京都議定書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る動向にある。

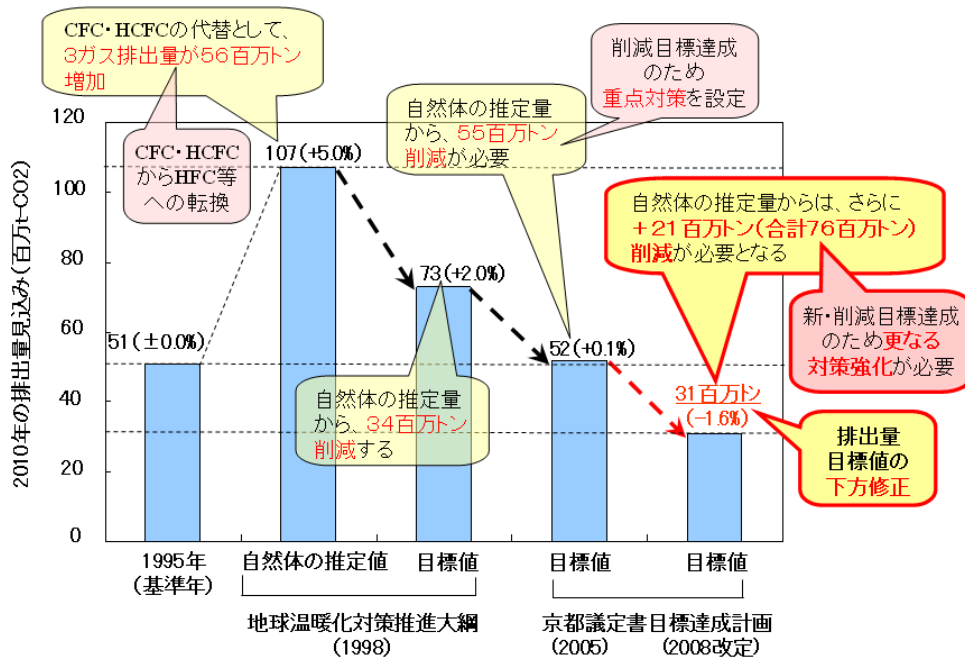


図 1.4 代替フロン等 3 ガスの 2010 年の排出量の見通し

図 1.5 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 (現場発泡)、②冷媒 (冷蔵庫、エアコン等)、③産業洗浄剤 (電子部品、精密加工部品、光学部品等)、④半導体・液晶製造分野 (エッチング等)、⑤電力機器絶縁分野、⑥消化剤、⑦マグネシウム製造分野などで幅広い分野で利用されている。

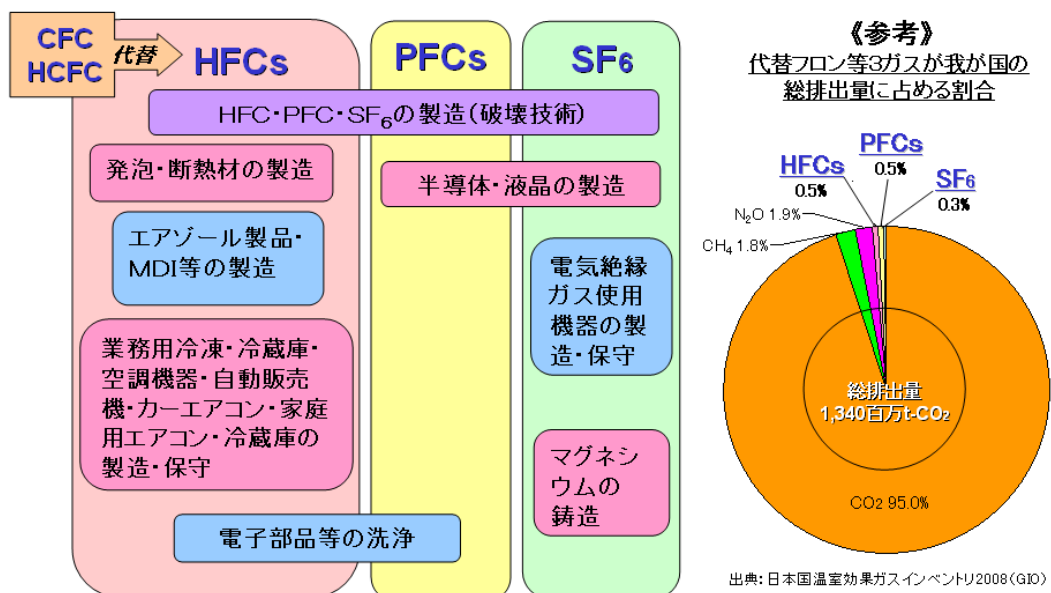


図 1.5 代替フロン等 3 ガスが利用されている分野・業種

図 1.6 に 1995 年度～2007 年度における年度別の発泡・断熱分野における HCFC と HFC の使用量の推移を示す。2010 年度の値は、HFC の使用量の見込み値である。京都議定書の規制対象物質である特定フロン HCFC と代替フロン HFC は、京都議定書の規制対象物質であるため大幅に削減が進むが、HFC-134a を除く HFC(HFC-364mfc、HFC-245fa 等)は、増加の傾向にあり、2010 年の段階では、大幅な削減は期待できない状況にある。ここで、HFC の和名と GWP は下記の通りである。

HFC-365mfc	1,1,1,3,3-ペンタフルオロプロパン	(GWP100Y@IPCC2001= 890)
HFC-245fa	1,1,1,3,3-ペンタフルオロプロパン	(GWP100Y@IPCC2001= 950)
HFC-134a	1,1,1-トリフルオロエタン	(GWP100Y@IPCC2001= 1,300)

HFC-134a を除く HFC(HFC-364mfc、HFC-245fa 等)は、京都議定書の規制対象物質ではないが、上記のように温暖化係数が高いために、ポスト京都においては、規制対象物質とされる可能性が極めて高い。従って 2013 年以降にこれらの物質を削減するために代替物質の開発が必要である。

### 1.1.1.2 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、硬質ウレタンフォーム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。

低 GWP ガスを利用した断熱材の開発が進められているが、断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で問題がある。断熱材の発泡剤は、2005 年以降、GWP の高い HFC への大気中への排出量の増加が見込まれており、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、その達成およびその後の更なる排出削減のため、基礎研究と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 1.7)

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。

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。

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。

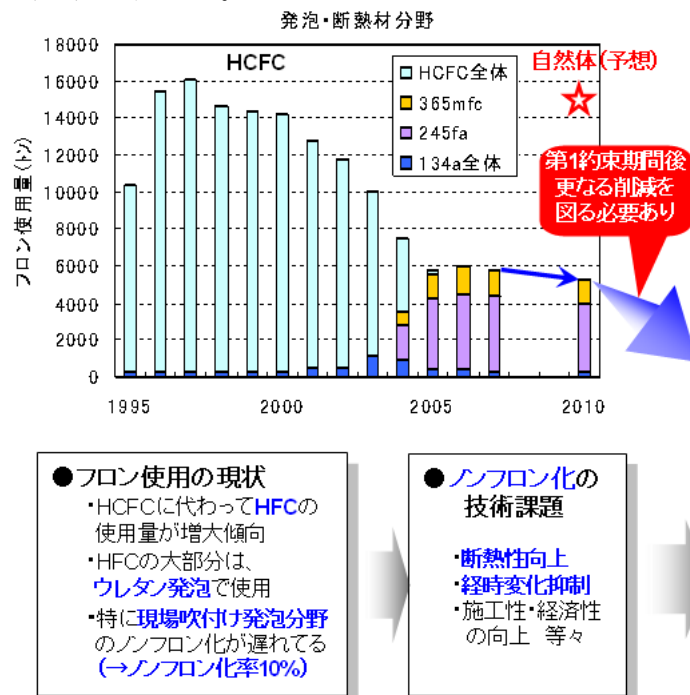


図 1.6 フロン使用量の推移

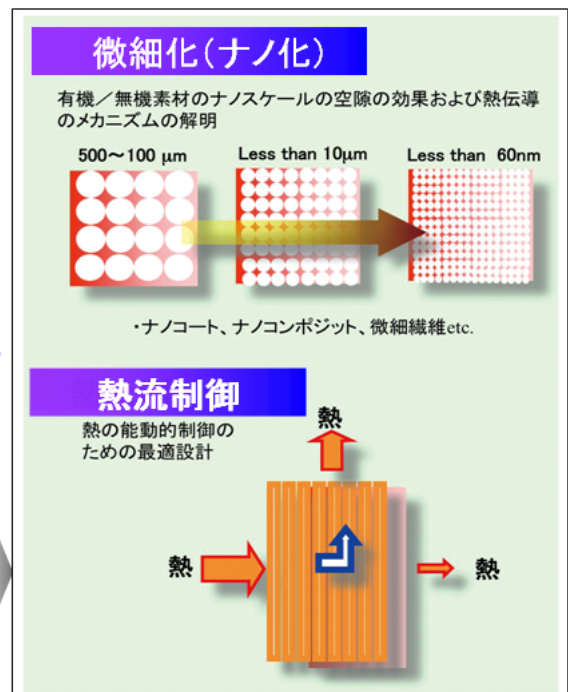


図 1.7 革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト

### 1.1.1.3 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。

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 (900 程度) 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。

産業界における業界団体の自主的取り組みの事例として、発泡・断熱材分野の事例について記す。

#### (1) ウレタンフォーム製造の排出抑制対策

日本ウレタン工業会は、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)
- ②2010 年の HFC-134a 使用見込み量 200[t](2007 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
  - ・ HFC-245fa と HFC-365mfc の混合 (混合比は、HFC-245fa:HFC-365mfc/70:30)、HFE-245pc といったより低 GWP のガスを使用した発泡剤の開発
- ②ノンフロン発泡剤使用技術の開発
  - ・ 水発泡技術を用いた炭酸ガス発泡剤の開発
  - ・ 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)
  - ・ 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】

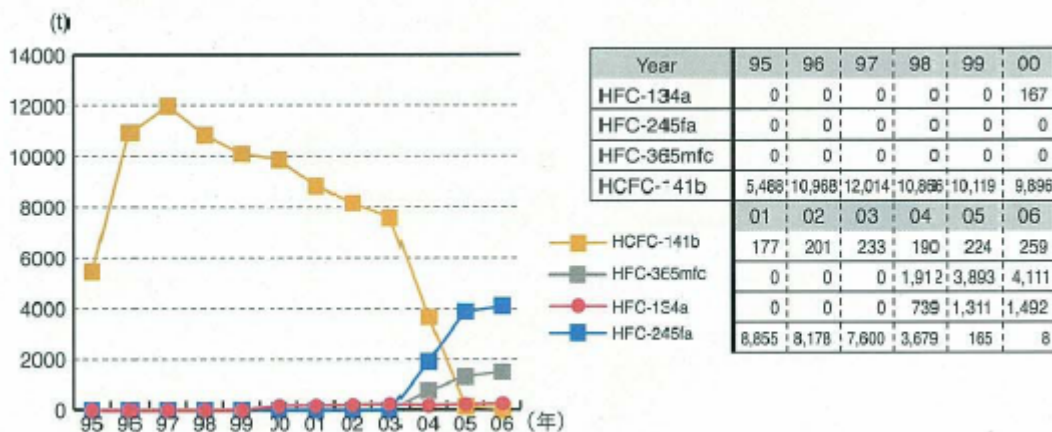


図 1.8 日本ウレタン工業協会における自主行動計画の達成状況

## (2) 押出發泡ポリスチレン製造の排出抑制対策

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(3,550[t])に対する削減目標  
-11.8[%] (1998年一部制定)
- ② 2010年のHFC使用見込み量ゼロ(2004年改定)

### 【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  
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、可燃性であるイソ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】

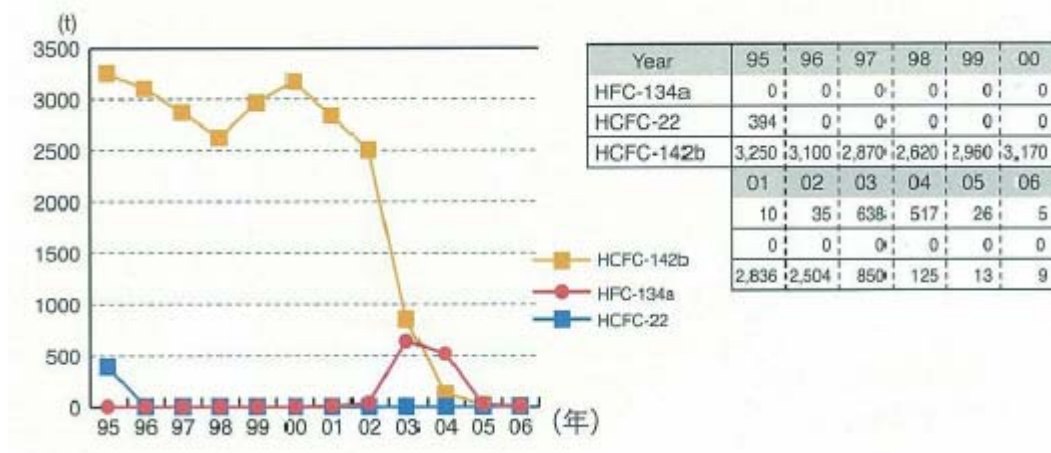


図 1.9 押出發泡スチレン工業会における自主行動計画の達成状況

### (3) 高発泡ポリエチレン製造の排出抑制対策

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 2010年のHFC使用見込み量(1,450[t])に対する削減目標 (1998年制定)
- ② 2010年のHFC使用見込み量(735[t])に対する削減目標 (2005年改訂)  
-88% (2005年改訂)

#### 【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
- ② ノンフロン発泡剤使用技術の開発
  - ・炭化水素(n-ブタン)発泡剤使用技術の開発
  - ・炭酸ガス発泡剤使用技術の開発

#### 【自主行動計画の達成状況】

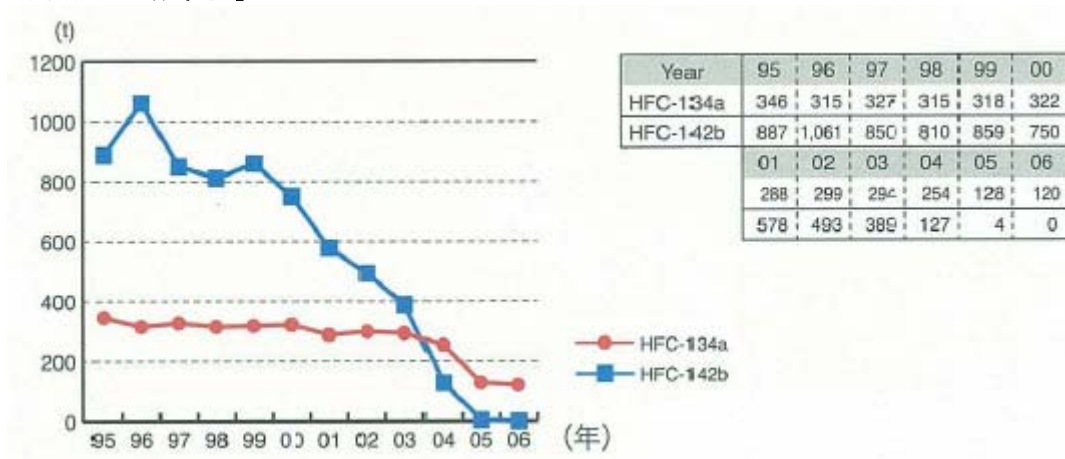


図 1.10 高発泡ポリエチレン工業会における自主行動計画の達成状況

**(4) フェノールフォーム製造の排出抑制対策**

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
  - ・ 炭酸ガス発泡剤使用技術の開発
  - ・ 炭化水素系発泡剤使用技術の開発

**【自主行動計画の達成状況】**

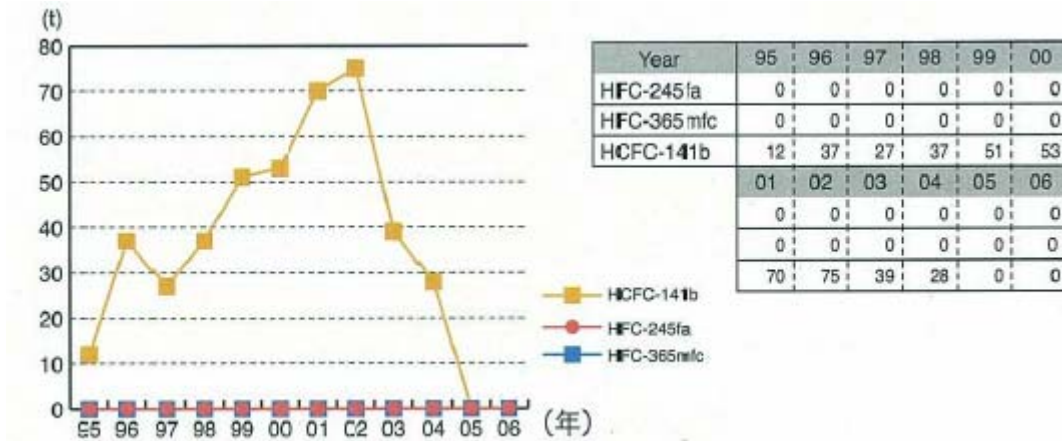


図 1.11 フェノールフォーム協会における自主行動計画の達成状況



#### 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住宅、建築物の省エネルギーという社会的要請に応える
- ②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
- ③京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

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（熱伝導率、長期性能）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

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）における暖房エネルギーは、 $135[\text{MJ}/\text{m}^2]$ <sup>(1)</sup>と算出されている。

1戸あたりの平均面積を  $100[\text{m}^2]$ <sup>(2)</sup>とすると、年間の暖房エネルギーは  $135 \times 100 = 13500[\text{MJ}/\text{年}]$ である。

##### (1) 新築住宅

- ① 新築住宅数は約  $120[\text{万戸}/\text{年}]$ <sup>(2)</sup>。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、2010年から新断熱材導入開始、年々適用率が増加し、2020年に適用率20%（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、2020年の累積適用戸数は約138万戸、2030年には444万戸である。
- ② 新規断熱材では熱伝導率  $\lambda = 0.024[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ を目指している。この目標値は現状のフロン断熱材（ $\lambda = 0.024[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ）と比較すると同程度であるが、上記の通り、2020年以降、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： $\lambda = 0.034[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ）と新規断熱材（ $\lambda = 0.024[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ）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（ $\lambda = 0.024[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ）を比較すると、損失エネルギーが $\lambda$ にほぼ比例するとして、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40%<sup>(4)</sup>）に適用した場合、暖房エネルギーの損失は、

$$(100 - 70)[\%] \times 40[\%] = 12[\%]$$

低減すると考えられる。よって年間削減エネルギーは、

$$\begin{aligned} & 1 \text{戸あたりの年間暖房エネルギー} \times \text{エネルギー削減率}(12[\%]) \times \text{累積戸数} \\ & = 13,500[\text{MJ}/\text{年}] \times 0.12 \times (138 \text{万戸 (2020年) or } 444 \text{万戸 (2030年)}) \\ & = 2,236\text{TJ}/\text{年 (2020年)}, 7,193\text{TJ}/\text{年 (2030年)} \\ & \quad \text{エネルギーの原油換算値 } 1[\text{MJ}] = 0.0258 \times 10^{-3}[\text{kl}] \text{より} \\ & = 5.8[\text{万 kl}/\text{年}] \text{ (2020年)}, 18.6[\text{万 kl}/\text{年}] \text{ (2030年)} \end{aligned}$$

の削減量となる。

本事業は委託研究と助成事業ですすめるため、成功率を30%とすると、削減可能な原油量は、 $1.74[\text{万 kl}/\text{年}]$  (2020年)、 $5.58[\text{万 kl}/\text{年}]$  (2030年)となる。

## (2) 既存住宅

既存住宅はおよそ 5400[万戸]あり、居住住宅は約 4700[万戸]である<sup>(6)</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[万件/年]<sup>(7)</sup> (2003 年度)と既存住宅数の 0.8[%]、ただし増加基調にあることから、適用率は当初 10 年間 0.5[%]、次の 10 年間で 1[%]と仮定する。2020 年の累積適用戸数は約 236[万戸]、2030 年には 484[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 1/5~1/4 と推定) な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 (グラスウールの 2 倍) を持つため、暖房エネルギーの削減率を新築の 1/3 程度の 4[%]と仮定すると、年間の削減エネルギーは、

$$\begin{aligned} & 1 \text{戸あたりの年間暖房エネルギー} \times \text{エネルギー削減率} \times \text{累積戸数} \\ & = 13,500[\text{MJ}/\text{年}] \times 0.04 \times (236[\text{万戸}](2020 \text{年}) \text{or } 484[\text{万戸}](2030 \text{年})) \\ & = 1,275[\text{TJ}/\text{年}] (2020 \text{年})、2,614[\text{TJ}/\text{年}] (2030 \text{年}) \\ & \quad (\text{エネルギーの原油換算値 } 1[\text{MJ}] = 0.0258 \times 10^{-3}[\text{kl}] \text{より}) \\ & = 3.3[\text{万 kl}/\text{年}] (2020 \text{年})、6.7[\text{万 kl}/\text{年}] (2030 \text{年}) \end{aligned}$$

の削減量となる。これに事業の成功率 30[%]を乗じて、削減可能な原油量は、下記の様になる。

$$0.99[\text{万 kl}/\text{年}] (2020 \text{年})、2.01[\text{万 kl}/\text{年}] (2030 \text{年})$$

(1)+(2)より、住宅用の暖房エネルギーの削減量は、

$$2.7[\text{万 kl}/\text{年}] (2020 \text{年})、7.6[\text{万 kl}/\text{年}] (2030 \text{年})$$

となる。

2006 年度の HFC のデータ<sup>(8)</sup>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 CO<sub>2</sub> の削減ポテンシャルは、下記試算の示す様に CO<sub>2</sub> 換算で約 600[万 CO<sub>2</sub> トン/年]程度であることが期待できる。

$$\begin{aligned} & \Sigma \text{HFC 使用量} \times \text{GWP for HFC134a, 245fa, 365mfc} \\ & = 384[\text{トン/年}] \times 1,430 + 4,111[\text{トン/年}] \times 1,030 + 1,492[\text{トン/年}] \times 794 \\ & = 596.8[\text{万トン/年}] \end{aligned}$$

### 【参考文献】

- (1) 家庭用エネルギーハンドブック ((株)住環境計画研究所)
- (2) 国交省住宅着工統計 (H18 年 5 月) より算出
- (3) 建材・住宅設備統計要覧 2005 年版 ((社)日本建材・住宅設備産業協会)
- (4) 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)
- (5) 板ガラス協会ホームページより
- (6) 総務省 住宅・土地統計調査 (H15 年)
- (7) 国土交通省 建築物の増改築・改装調査結果 (2003 年)
- (8) 経済産業省 製造産業局 産業構造審議会 化学・バイオ部会  
第19回地球温暖化防止対策小委員会 平成20年7月16日  
資料1 分野ごとの行動計画に基づく取組の進捗状況 (個表) <第10回評価・検証>

#### 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。

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。

## 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冷媒、②産業洗浄剤、③発泡剤、④半導体・液晶製造、⑤電力機器絶縁、⑥消火剤等がある。

1974年に米国ローランド教授は、フロンによるオゾン層破壊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、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「モントリオール議定書」が採択された。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ハイドロブロモフルオロカーボン、⑦臭化メチル、⑧ブロモクロロメタンである。代替フロンも 2020年までに全廃が要求されている。

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)が、代替フロン(HFC、PFC、SF<sub>6</sub>)へと転換される。

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 1.3）は 1-2 ページに示すように、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 1.12 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。

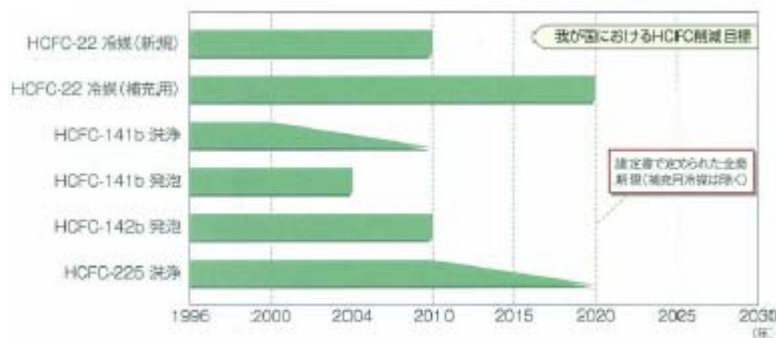


図 1.12 日本の HCFC 削減目標

表 1.2 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 モントリオール議定書における規制物質 (HCFC 以外)

	CFC-11,12,113,114,115	ハロン	その他の CFC	四塩化炭素	1,1,1-トリクロロエタン	HCFC (ハイドロフロモフルオロカーボン)	プロモクロロメタン	臭化メチル
議定書附属書	AのグループI	AのグループII	B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
オゾン層破壊係数(ODP)	0.6~1.0	3.0~10.0	1	1.1	0.1	0.1~14	0.12	0.6
地球温暖化係数(GWP)	8100 (CFC12)	5400 (ハロン1301)	-	1400	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	消火剤	冷媒	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	塩化メチル等の土壌消毒剤、木材、皮革等の輸出入時の検疫熏蒸剤用
生産規制	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	2002年1月1日以降全廃	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)のための生産などは除く。							
	※輸出入に際して行う検査に役立てられる量は規制対象外							

表 1.3 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 1.3 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	規定時(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)	83.7~ 92.1~	1998~50%以下 1992~100%以下	2300~全廃 2300~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~	- -	2300~全廃 2300~全廃 2305~全廃	1996~全廃 1998~全廃 1996~全廃		
HCFC	(89)	96.1~	-	2030~全廃	2020~全廃(消費量)		204~100%以下は全廃
HBFC	(-)	96.1~	-	1998~全廃			
臭化メチル	(91)	95.1~	-	1995~100%以下	2010~全廃	2005~全廃	
プロモクロロメタン	(-)	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]

2007 年 9 月の第 19 回モントリオール締約国会合(モントリオール)では、途上国の 10 年前倒し全廃(2040 年→2030 年)が決議された。

表 1.4 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。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 1.4 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	全廃期間	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	2013年	2030年	2009年~2010年の平均消費量
臭化メチル	2002年	2015年	1995年~1998年の平均消費量

(2007年モントリオール調整による。)

図 1.13 にフロン(CFC、HCFC、HFC)の出荷量の推移を示す。CFC の全廃により 1995 年以降大きくフロンの出荷量が削減され、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。

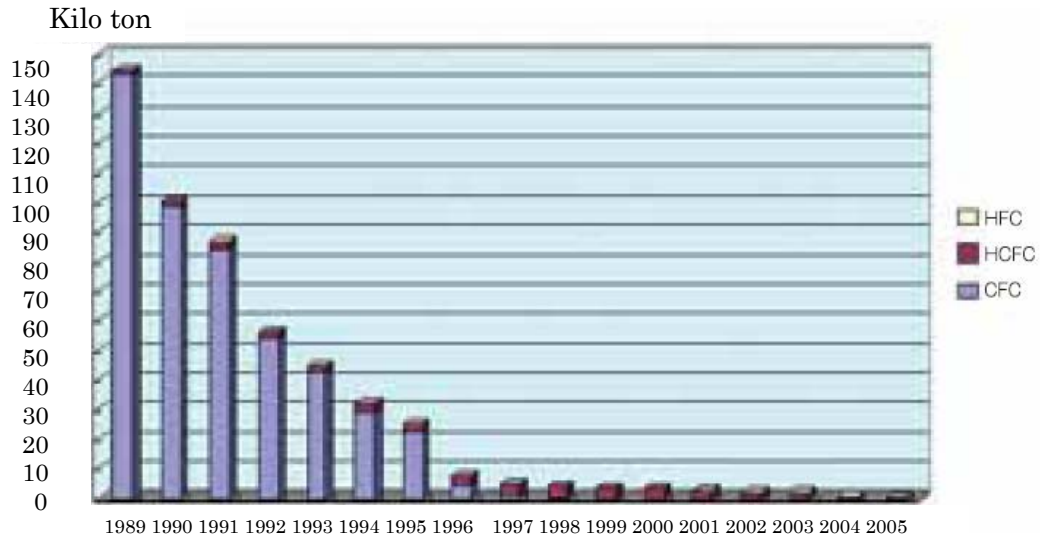


図 1.13 フロン(CFC、HCFC、HFC)出荷量推移

図 1.14 に 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、世界的にオゾン層保護が進展していることが明らかである。

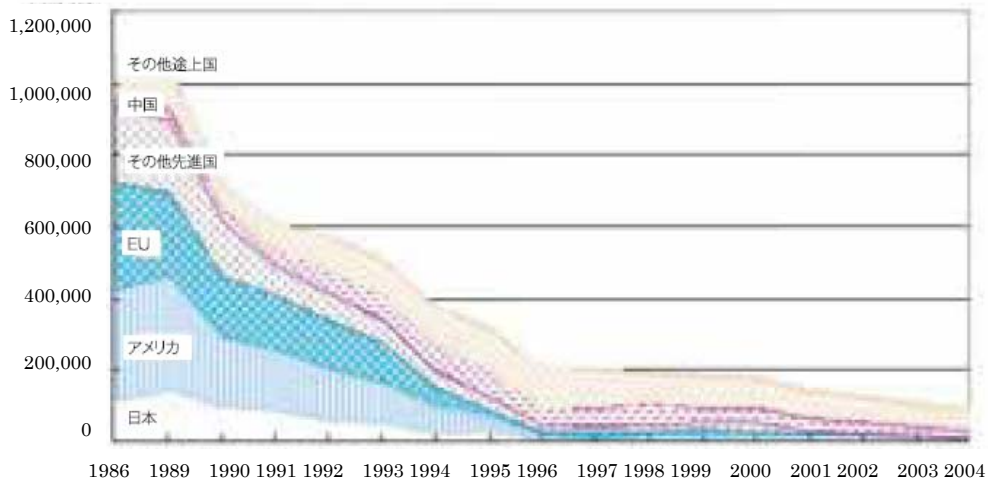


図 1.14 CFC+HCFC 消費量の推移 (オゾン層破壊係数 (ODP) 換算)

図 1.15 に 2005 年における世界のオゾン層破壊物質の消費量の削減結果を示す。先進国では、オゾン層破壊物質の削減が、大きく進展している。今後は途上国における削減が更に進むことが期待される。



図 1.15 世界のオゾン層破壊物質の消費量(2005年)

図 1.16 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。

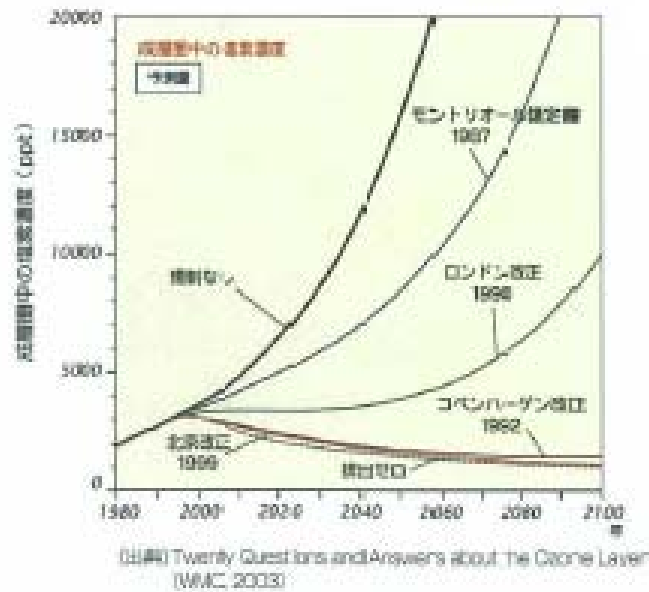


図 1.16 オゾン層破壊物質の生産規制等の効果 (UNEP による予測シナリオ)

### 1.2.1.2 温暖化対策の動向

人類の経済活動の活発化により、化石燃料等の使用の増加にともない、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進展により、特定フロン等の生産量や消費量にかかわる規制の進展により、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 1.5 にこれらの温室効果ガスの用途を示す。

表 1.5 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

先進国の温室効果ガス排出削減目標が決定された。日本は、2008年度～2012年度までの第1約束期間において基準年に対して6%の削減が要求された。

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（1995年）排出量比+2.0%以下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。

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が定められた。また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>）の排出目標が設定された。京都議定書目標達成計画の第1約束期間（2008～2012年）における排出目標が、基準年（1995年）排出量比+0.1%以下とすることに改定された。

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。（2012年12月まで）3月には「京都議定書目標達成計画」が全部改定され、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-1.6%以下とすることに改定された。これは全体目標値に対して約27%の重みを有することになった。

2013年以降の次期枠組みにおいても、更なる追加削減が想定されるため、なお一層の取組が必要と考えられる。

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図 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。

### 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1.17に他の関連プロジェクトとの関係を示す。

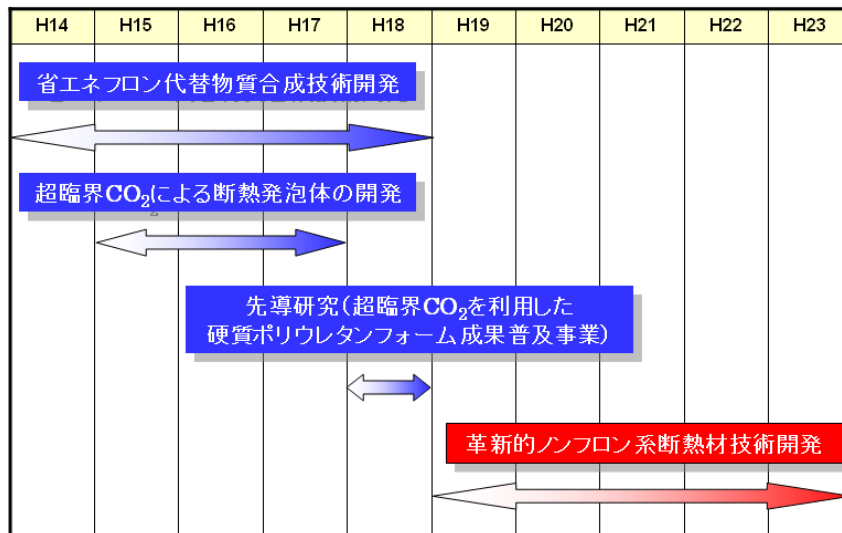


図 1.17 他の PJ との関係



また図 1.18 に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を示す。

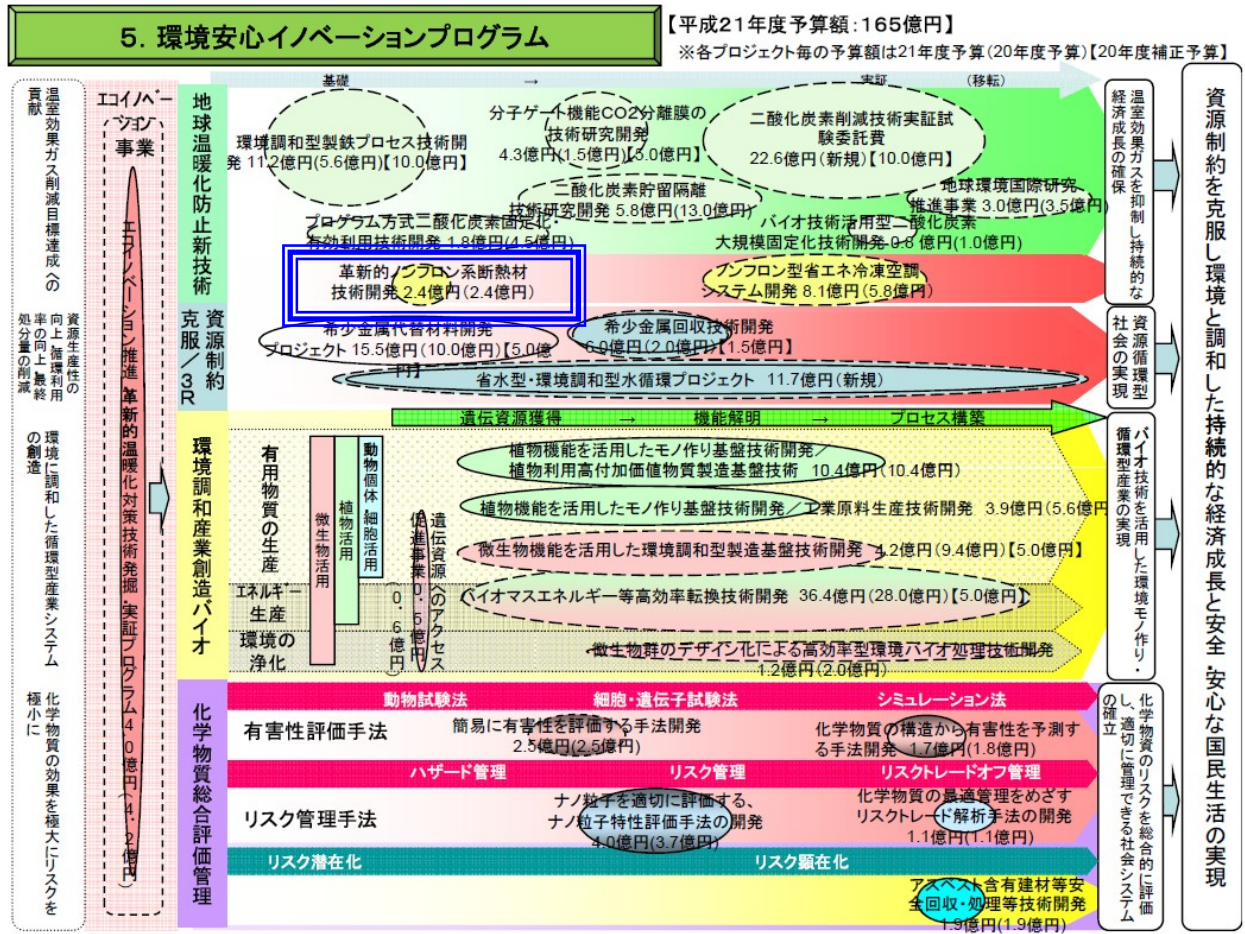


図 1.18 環境安心イノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置付け  
 出展：第 27 回産業構造審議会産業技術分科会研究開発小委員会  
 (資料 11 環境安心イノベーションプログラム基本計画)

## 2.研究開発マネジメント

### 2.1 事業の目標

図 2.1.1 と表 2.1.1 に事業目標と計画を示す。

#### 2.1.1 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  $\lambda \leq 0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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。

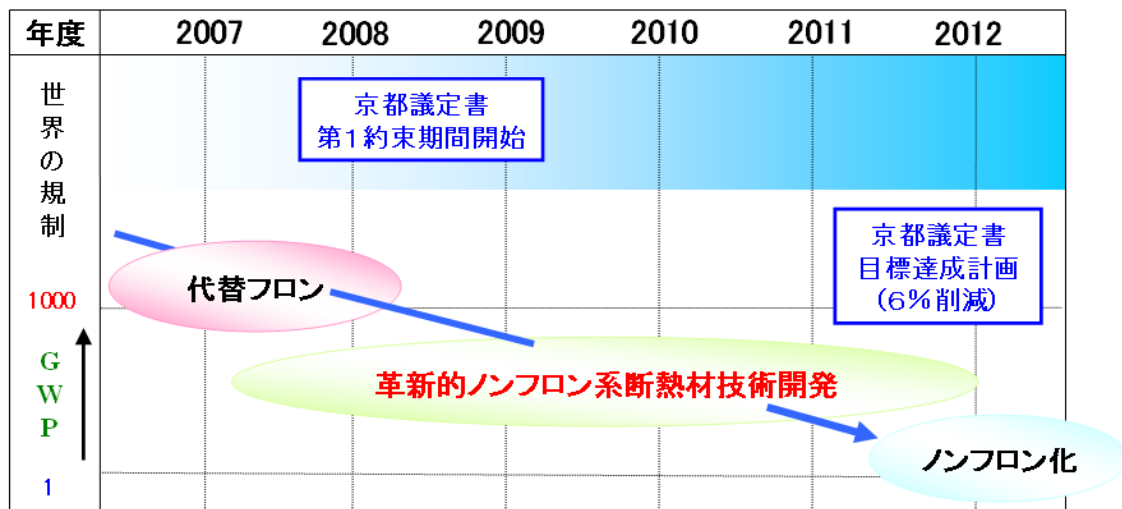
#### 2.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

##### (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。



	単位	従来	中間目標	最終目標
断熱材	-	代替フロン	ノンフロン	ノンフロン
熱伝導率	[W/(m·K)]	0.024	0.024以下	0.024以下
経済性	-	-	-	実用化 市場化

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 (個別テーマ)	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>現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上 <b>熱伝導率 <math>\lambda \leq 0.024 \text{ W/m}\cdot\text{K}</math> の断熱性能</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> <li>革新的なノンフロン系断熱技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状のノンフロン断熱材断熱性能、製造時の燃焼性、施工性の問題本格採用は未達</li> <li>温室効果ガス排出削減 高性能断熱材の技術開発が必要</li> </ul>
②断熱性能等の計測・評価技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>実用的な断熱性能の計測技術の開発</b></li> <li><b>品質評価手法の開発</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>革新的断熱材の技術開発により高精度、高性能な性能評価技術が必要</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

表 2.2.1 に事業全体の研究開発概要を示す。

表 2.2.1 事業全体の研究開発概要(事業者別)

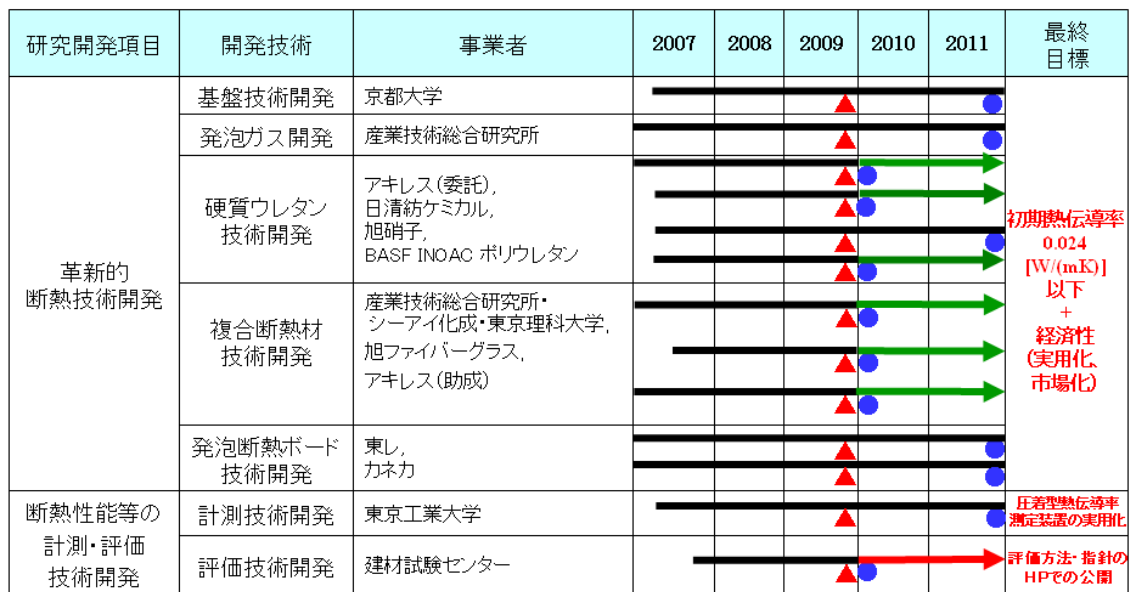
研究開発項目	開発技術	事業者	研究開発テーマ	開発概要
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	京都大学	超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定とその創製のための基盤研究	4つの要素(高空隙率、微細孔、高バリア性、低熱伝導空間の導入)を踏まえた超低熱伝導率構造部材の研究開発
	発泡ガス開発	産業技術総合研究所	次世代断熱発泡剤の研究開発	温暖化係数が小さく断熱特性も優れた発泡剤の開発
	硬質ウレタン技術開発	アキレス(委託)	ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発	臨界炭酸ガス発泡によってノンフロン化したウレタン断熱材を更に微細セル構造化することにより断熱性能を向上
		日清紡ケミカル	熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発	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
		旭硝子	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	ポリオールの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
		BASF INDAO ポリウレタン	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	「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を有する革新的ノンフロン系断熱材の実用化
	複合断熱材技術開発	産業技術総合研究所 シーアイ化成 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	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開発
		旭ファイバーグラス	先進的高機能無機質系断熱材の研究開発	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
		アキレス(助成)	ナノゲル断熱材の研究開発	フロンのような発泡剤を使用せず粒子径をナノサイズにして空気の対流や輻射を抑制し、比重の小さい多孔質ナノゲル断熱材を開発
	発泡断熱ボード技術開発	東レ	新規断熱性向上シートの研究開発	ナノ技術を駆使した微細発泡技術により、革新的断熱性向上シートを創出
カネカ		高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発	熱可塑性樹脂を押出法で発泡成形することにより、ノンフロン発泡断熱材を開発	
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	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	温度波の伝播挙動を精密に解析して、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
	評価技術開発	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	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、ならびにこの評価方法を用いた実用性の評価

### 2.2.1.1 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、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。

### 2.2.1.2 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、微細多孔構造体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。



▲:中間目標達成 ●:最終目標達成 →(緑):実用化検討 →(赤):実用化開始

図 2.2.1 研究開発スケジュール

表2.2.2 研究開発の運営管理（開発予算）

予算の配分(2007年度～2009年度:総額約8.6億円)

研究開発項目	開発技術	予算配分 (2007～2009)
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	88%
	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	
	発泡断熱ボード技術開発	
断熱性能等の計測・評価技術開発	計測技術開発	12%
	評価技術開発	
合計		100%

## 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)

#### 1) 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 $0.024\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 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、微細孔、高バリア性、低熱伝導空間の導入)を具現化する断熱体製造技術の提案とその発泡体の試作を行なう。

##### (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なう。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つのサブテーマを取り上げ研究を進める。平成19年度から21年度には、このうち1)～3)のサブテーマについて研究開発を行なう。但し、中間評価(平成21年度末)における熱伝導率の達成目標値を、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度 $0.033\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ におく。

- 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の開発 【微細化+高発泡率化】
- ② 気泡内壁の架橋反応・シリケート化などにより高バリア性(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 【高バリア性化】
- ③ 中空カプセル・中空ファイバーによる発泡体構造中への低熱伝導空間の導入のための基本技術開発 【低熱伝導空間の導入】
- ④ 上記要素技術を組み合わせ、超低熱伝導率ウレタンのその場発泡成形を実現するための装置・操作技術開発(平成22年度以降)

また、プロジェクトリーダ(PL)として参加全企業の進捗管理を的確に行なうため、ならびに参加企業の技術レベルを正しく推算するために、

⑤ 熱伝導測定装置を開発し、参加企業からの発泡体を統一的に測定する。  
を実施した。

H19年度の研究計画は、①～③のサブテーマを並列に走らせる。H20年度では、作製工程の最適化により各手法で達成しうる最高の断熱性能を見極める。H21年度は、テーマ間の成果の融合・相互利用をはかり、H20年度の見極め値を融合技術によりさらに上回れる可能性について検討する。

#### 2) 個別研究テーマの計画内容

【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の開発

具体的な課題は、つぎの2点である

- 1) PS-b-PMMAの共重合体を含め、高分子ブレンドからのナノ発泡体の創製を目指し、超低熱伝導率化が可能な素材を探索する。
- 2) 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。

H19年度は、1)では、ブレンド系(PS/PMMA, PP/Rubber)の実験を集中的に実施し、その熱伝導度を測定する。H20年度は、2)を実施する。また、1)で、優れた断熱性能を発揮する材料が開発できた場合は、その系を対象に、操作条件ならびにプロセスの最適化を行い、更なる熱伝導率の低減を図る。H21年度は、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、モ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する。

【高バリア性】気泡内壁の架橋反応・シリケート化などにより高バリア性（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2点を検討する。

- 1) 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法とナノセルラー発泡法とを融合させ、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。
- 2) 熱硬化性樹脂のモノマー、架橋反応を起こしうる分子鎖をもつポリマーあるいはシリカモノマーを熱可塑性樹脂に分散させ海島構造等のモルフォロジーを形成し、そのモルフォロジーをテンプレートとして二酸化炭素を使って発泡させる。また、硬化性樹脂として紫外線硬化樹脂の使用も検討する。

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。1)では、熱硬化・熱可塑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たあと、その後さらにUV照射により熱を発生させ、UV硬化したスキン層を形成することによりガスバリア性の高い発泡体を作る。

【低熱伝導空間の導入】中空カプセル・中空ファイバーによる発泡体構造中への低熱伝導空間の導入のための基礎技術

具体的には、次の2点を検討する。

- 1) エマルジョン重合や圧力・温度クエンチにより誘起される相分離等の手法をもって粒子を作成する。加温して微粒子の体積増加を促進するとともに架橋反応により粒子シェルのバリア性と粘弾性を増加させる。そののち温度を下げ、体積一定で温度が下がれば圧力がさがるといふ気体の状態則を利用し、低圧力の中空粒子を創製する。
- 2) エレクトロスピンニング等の装置を使って、真空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成し、その微粒子・ファイバーの表層を真空チャンバー中で、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、発泡体の骨格として利用し、熱伝導率を下げる。

H19年度からH20年度まで、2)の中空カプセルの研究は、山形大学を中核に実施する。

H19年度に1)ならびに2)のナノファイバーの作製研究は、京大で実施する。

H20年度では、2)の研究を山形と京大で共同して実施する。京大では、真空度の高い中空ファイバーを作成しウレタンにフィラーとして混ぜることを考える

H21年度は、山形大学への委託は解除し、サブテーマ1)とサブテーマ2)の成果を融合させる。とりわけ、2)の課題に特化して研究を進める。具体的には、静電紡糸法により中空カプセル・ファイバーを作成し、フィラーとして利用して、高発泡率な発泡体を創成することを目指す。

3)全体スケジュール

事業項目	平成19年度				平成20年度				平成21年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
1)高空隙率・微細化												
1-1)ナノ発泡	→								}			
1-2)バイモーダル					→				}			
1-3)断熱性能測定									}			
									}			
2)高バリア性												
2-1)ブレンド/ ハイブリッド	→				- - - - -				}			
2-2)モルフォロジー					→				}			
2-3)断熱性能測定					→							
3)低熱伝導空間の 導入												
3-1)重合・相分離					→				}			
3-2)エレクトロスピニング	→								}			

事業実施体制

(1) 研究体制スキーム

【委託先】

【共同実施先】(平成20年度で終了)

<p>京都大学 研究実施場所：桂キャンパス内 (京都)</p> <p>研究内容： 1)高空隙率・微細化 2)高バリア性</p>	<p>山形大学 研究実施場所：山形大学工学部 米沢キャンパス内</p> <p>研究内容： 3)低熱伝導空間の導入</p>
---	--

(2) 委託先における研究体制

委託先名	京都大学工学研究科		
業務管理者	工学研究科長 大 鷲 幸 一 郎		
経理責任者	工学研究科学術協力課産学連携掛長 亀山 尚美		
研究実施場所 および 登録研究員	京都大学工学研究科 化学工学専攻 材料プロセス工学分野 〒615-8510 京都府京都市西京区京都大学桂 (最寄りの駅：阪急電鉄 京都本線 桂駅)		
	氏名	所属・役職	主な担当事業内容
	□大嶋 正裕	京都大学工学研究科・教授	研究総括・サブテーマ
	□長嶺 信輔	京都大学工学研究科・講師	1-2), 2-1), 2-2), 3-2)
	□瀧 健太郎	京都大学工学研究科・助教	1-3)、2-2)
	□ABACHA Nabil, 志熊 治雄	博士研究員 研究員	1-1)、1-2) 1-3), 2-3)

(3) 共同実施先における研究体制 (平成20年度で終了)

共同研究先名	山形大学大学院理工学研究科		
業務管理者	大学院理工学研究科長 大 場 好 弘		
経理責任者	山形大学工学部財務会計チームリーダー 木 村 弘 志		
研究実施場所 および 登録研究員	山形大学工学部 〒992-8510 米沢市城南4-3-16 (最寄りの駅： JR東日本 米沢駅)		
	氏名	所属・役職	主な担当事業内容
	▽小山 清人	山形大学理事・副学長 大学院理工学研究科・教授 (兼任)	3-ii)



## 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、熱伝導率の低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低い。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低く、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 (40℃で 14.9mW/(m・k)) 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めざした。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

図 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。

###### 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。

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	→				

図 2.2.2.1.2.1.1 次世代断熱発泡剤の研究開発 進捗計画

### 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整泡剤は、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  $0.024 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、経時熱伝導率  $0.030 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  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  $500 \text{nm}$  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  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  を達成するための原液処方 の確立
  - ・ 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  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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  $200\sim 1,000\text{mPa}\cdot\text{s}/20^\circ\text{C}$  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持す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 ヶ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を検討する。

#### 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 [mW/(m・K)]	17 (23℃)	12 (23℃)	12 (23℃)	13 (25℃)	13 (50℃)	14 (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」（委託事業）

#### (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 はオゾン層は破壊しないものの、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、CO<sub>2</sub> は既存の上記フッ素系発泡剤と比較すると断熱性能が大きく低下してしまうという問題がある。

また、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り、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、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 セル構造の制御
- ② ウレタン樹脂の熱伝導率改良（樹脂の改質）
- ③ CO<sub>2</sub> ガスの透過性抑制（ガスバリア性付与）

①に関しては、同社が有するポリオール界面活性性能制御技術を基に、ポリオールおよび処方検討を実施し、ウレタンフォームの断熱性能を向上させることを目指す。並行して、成形安定性の観点から、フォーム強度への影響も同時に検証する予定である。

②に関しては、①の検討から得られた知見を基に更なるポリオールおよび処方の改良を実施する。

③に関しては、水発泡ではフォームを構成するセル中のガスは CO<sub>2</sub> であるが、HFC に比較してガス透過性が大きく空気と置換しやすく、そのために断熱性能の指標となる熱伝導率が時間と共に高くなる（熱伝導率の経年劣化）傾向がある。

現状では、ウレタンフォームのガス透過性は、熱伝導率の経年劣化から間接的に測定する方法のため評価に多大な時間を要し、効率的な開発に対して阻害要因となっている。

従って CO<sub>2</sub> の透過性を抑制する（ガスバリア性付与）技術開発においては、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が必要である。

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手法は、従来知られていない。よって、樹脂へのガスバリア性付与については、以下のプロセスを進める。

##### i) 中間目標（平成 21 年度末）

新たに、ウレタンフォームのガス透過性の測定方法を開発する。

##### ii) 最終目標（平成 23 年度末）

中間目標で開発した手法を評価ツールとして、ガスバリア性を付与したウレタンフォーム用ポリオール、処方および樹脂改質方法を開発する。

#### (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：0.0240 W/(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：0.0220 W/(m・K)

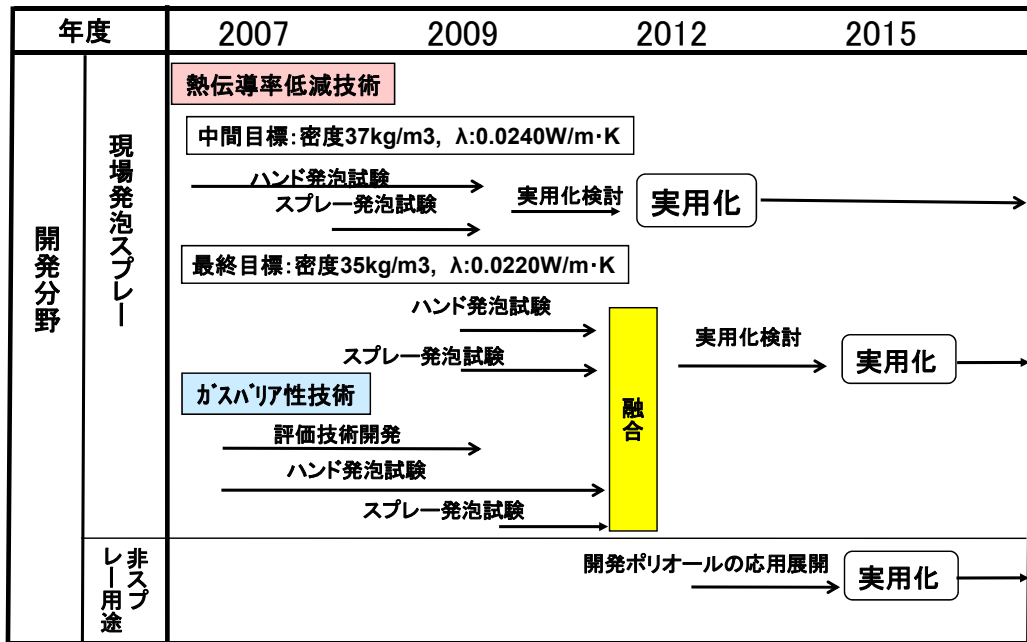


図 2.2.2.1.3.3.1 進捗計画表

### 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」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する。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	26mW/(m・K)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	34mW/(m・K)以下	180m <sup>2</sup> /日以上	60kg/m <sup>3</sup> 以下	-
目標 1 の水準	28mW/(m・K)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	24mW/(m・K)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 ( $\lambda \leq 28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )	開発目標 2 ( $\lambda \leq 24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )
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 $^{\circ}\text{C}$ 及び-30 $^{\circ}\text{C}$ $\times 24$ 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 28 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を満足し、さらに実際の建築現場において施工性 200 $\text{m}^2/\text{日}$ 、施工密度 55 $\text{kg}/\text{m}^3$ を満足することを実証する。	実験室において、熱伝導率 24 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、寸法安定性 $\pm 3.0\%$ 以下 (70 $^{\circ}\text{C}$ 及び-30 $^{\circ}\text{C}$ $\times 24$ 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 24 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を満足し、さらに実際の建築現場において施工性 200 $\text{m}^2/\text{日}$ 、施工密度 55 $\text{kg}/\text{m}^3$ 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 34 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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 34 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下という水準を 28 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下まで下げること为目标とした。

この目標値の設定理由は以下によるものである。

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 2.2.2.2.1 に示した。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およそ 27 $\sim 28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ となる。(グラフ上では 28 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ が限界とみえるが、若干の密度調整等により 27 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ も可能となる。)

②気泡内ガスが炭酸ガスの場合、 hidro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 $\lambda \leq 28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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。

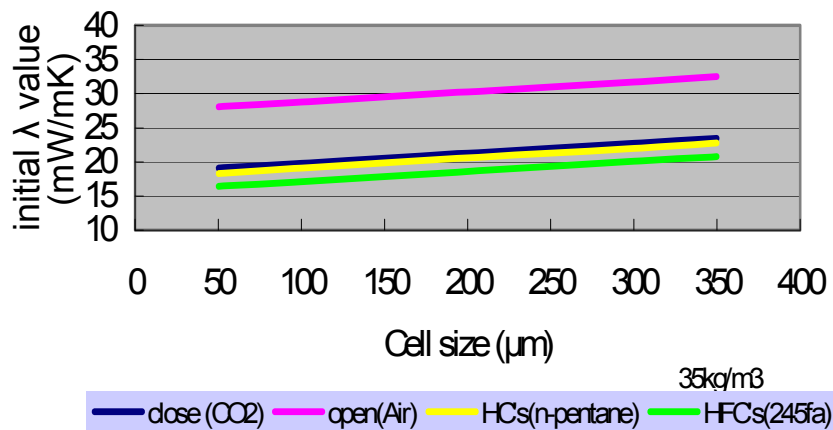


図 2.2.2.1.3.4.1 各種発泡剤を利用した時の気泡径と熱伝導率（初期値）

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  $26\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$  以下を上回る  $24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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。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 $\lambda \leq 24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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 hidroカーボン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きた。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  $26\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下をクリアし、かつ現在の HFC 発泡より魅力的な数値  $24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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  $24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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  $55\text{kg}/\text{m}^3$ 以下とした。

### (3) 研究の計画、内容

目標 1 に挙げた熱伝導率  $28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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。

同社は、現場発泡に使用する液化炭酸発泡システムを開発、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。

本研究では、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。そこで同社は、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する。）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。同社は、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  $24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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บอน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บอน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บอน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、同社が検討を進めているハイドロカーบอน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、同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  $\leq 24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を満足することができる。以下に同社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、見かけ状高分子と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 ( $\lambda \leq 28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )	開発目標 2 ( $\lambda \leq 24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )
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、製作を行なうと共に、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制効果、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。

#### (4)研究開発実施日程長期計画

開始予定日 交付決定の日  
終了予定日 平成 22 年 3 月 20 日

##### (A)開発目標 1 ( $\lambda \leq 28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )

###### ①液化炭酸ガス及び超臨界液化炭酸ガス混入による気泡径微細化

- 1) 実験室スプレー発泡試験以前の検討項目
  1. 超臨界炭酸ガス製造設備の設計、製作  
超臨界炭酸ガス発泡試験においては、この設備の設計、製造が必要条件となる。
- 2) 実験室スプレー発泡試験の主な評価項目
  2. 液化炭酸ガス混入量、ポリオール成分 (A 液) とイソシアネート成分 (B 液) の配分比と気泡径、熱伝導率との相関調査
  3. 超臨界炭酸ガス製造条件、混入量、A、B 液配分比と気泡径、熱伝導率との相関調査
  4. スプレー発泡評価  
熱伝導率、フォーム物性、難燃性、施工性など

実験室スプレー発泡試験において、微細気泡が形成され、目標の熱伝導率を満足し、さらにフォーム物性、施工性能、難燃性などの総合的な評価が得られることが、次の段階すなわち実際の建築現場におけるスプレー発泡評価 (フィールドテスト) の必要条件となる。

###### ②スプレーガンノズルの研究

- 1) 実験室スプレー発泡試験以前の検討項目
  1. 造泡ノズルなど特殊スプレーノズルの調査、選定、調達
  2. スプレーガンへのセッティング

ノズルの調査、選定、調達及びスプレーガンへのセッティングが必要条件となる。

- 2) 実験室スプレー発泡試験の主な評価項目
  3. 造泡ノズル (種類、口径 etc.)、発泡機設定条件 (温度、圧力など) さらにはスプレーガン (チャンバーサイズなど) と気泡径、熱伝導率との相関評価。
  4. スプレー発泡評価  
熱伝導率、フォーム物性、難燃性、施工性など

次の段階すなわち実際の建築現場におけるスプレー発泡評価の必要条件は上記に同じ。

###### ③硬質ウレタンフォーム配合処方

主な段階での実施事項、必要条件は上記と同様のため省略する。

##### (B)開発目標 2 ( $\lambda \leq 24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )

###### ①多孔質吸着剤による hidrocarbon 等の吸脱着制御による高断熱化の研究

- 1) 実験室スプレー発泡試験以前の検討項目
  1. 多孔質吸着剤の調査、選定、調達
  2. 多孔質吸着剤の種類 (材質、孔径など) と hidrocarbon 吸脱着特性評価  
hidrocarbon 吸着多孔質体の引火性試験、hidrocarbon 脱着温度測定など
  3. 多孔質吸着剤と A 液とのプレミックスの安定性 (貯蔵安定性、沈降など)、引火性の検証
  4. hidrocarbon 発泡スプレーブースの防爆機器、hidrocarbon 濃度センサー設置



上記試験において、安全で安定的な現場発泡を行うことができると判断されること、さらに万が一を考慮し、ハイドロカーボン発泡可能なスプレーブースを製作することが必要条件となる。

2) 実験室スプレー発泡試験の主な評価項目

5. スプレー発泡機への適合性評価
6. 雰囲気中のハイドロカーボン濃度測定
7. スプレー発泡評価 熱伝導率、フォーム物性、難燃性、施工性など

実験室スプレー発泡試験で作成したフォームの熱伝導率が目標を満足し、さらにフォーム物性、施工性能、難燃性などの総合的な評価が得られることが、次の段階すなわち実際の建築現場におけるスプレー発泡評価の必要条件となる。

②炭酸ガスの引火性抑制を利用したハイドロカーボン混合発泡剤の研究

1) 実験室スプレー発泡試験以前の検討項目

1. 炭酸ガスの引火性抑制効果に関する調査
2. ハイドロカーボンと炭酸ガスの混合ガスの性状評価 引火性、燃焼性、沸点など
3. ハイドロカーボン発泡スプレーブースの防爆機器、ハイドロカーボン濃度センサー設置

上記試験において、炭酸ガスによる引火性抑制効果が確認され、安全な現場発泡を行うことができると判断されること、さらに万が一を考慮し、ハイドロカーボン発泡可能なスプレーブースを製作することが必要条件となる。

2) 実験室スプレー発泡試験の主な評価項目

4. スプレー発泡機への適合性評価
5. 雰囲気中のハイドロカーボン濃度測定
6. スプレー発泡評価 熱伝導率、フォーム物性、難燃性、施工性など

実験室スプレー発泡試験で作成したフォームの熱伝導率が目標を満足し、さらにフォーム物性、施工性能、難燃性などの総合的な評価が得られることが、次の段階すなわち実際の建築現場におけるスプレー発泡評価の必要条件となる。

③炭酸ガスの気泡膜に対する透過性低減の研究

1) 実験室スプレー発泡試験以前の検討項目

1. 炭酸ガスの透過性低減に関する調査
2. 炭酸ガスの透過性低減手法の検討
3. 炭酸ガスの透過性低減手法を用いた場合の効果の検証
4. 安全性、ポリウレタンシステムへの適合性の検証

上記試験において、炭酸ガスの透過性低減効果が確認され、安全な現場発泡を行うことができると判断されることが必要条件となる。

2) 実験室スプレー発泡試験の主な評価項目

5. スプレー発泡機または現場発泡工法との適合性の評価
6. スプレー発泡評価 熱伝導率、フォーム物性、難燃性、施工性など

実験室スプレー発泡試験で作成したフォームの熱伝導率が目標を満足し、さらにフォーム物性、施工性能、難燃性などの総合的な評価が得られることが、次の段階すなわち実際の建築現場におけるスプレー発泡評価の必要条件となる。

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
	<b>2-2 炭酸ガス引火性抑制</b> 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		→	→
<b>2-2 炭酸ガス透過性低減</b> 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		→	→	→

事業期間中の研究開発日程

開始予定日 交付決定の日  
 終了予定日 平成 22 年 3 月 20 日

1) 平成 19 年度

日 程 表

(●：研究開発項目の実行時期を表す記号)

研究開発項目	平成 19 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
1-1 液化及び超臨界炭酸 ・超臨界設備の設計・製作 ・超臨界炭酸装置導入 ・液炭混入量、配分比 ・ラボスプレー発泡評価 ・電子顕微鏡導入		●	→	→
1-2 スプレーガンノズル ・特殊ノズル調査 ・セッティング ・発泡条件と最適化		→	→	→
2-1 多孔質吸着剤 ・多孔質吸着剤の調査 ・HC 吸脱着特性評価 ・分散機の調査、仕様決定 ・分散機導入 ・プレミックス安定性評価		→	→	●
2-2 炭酸ガス引火性抑制 ・引火性抑制効果の調査 ・混合ガスの性状評価		→	→	→
2-3 炭酸ガス透過性低減 ・透過性低減の調査 ・透過性低減手法の研究		→	→	→

2) 平成20年度

日 程 表

(●: 研究開発項目の実行時期を表す記号)

年度 研究開発項目	平成20年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
1-1 液化及び超臨界炭酸 ・超臨界炭酸混入量、配合比 ・ラボスプレー発泡評価 ・フィールドテスト		→		→
1-2 スプレーガンノズル ・ラボスプレー発泡評価 ・フィールドテスト		→		→
2-1 多孔質吸着剤 ・HC吸脱着特性評価 ・プレミックス安定性評価 ・HC発泡ブースの防爆機器、 HC濃度センサーの設計 (常温) ・防爆機器、濃度センサーの 導入(常温) ・発泡機適合性評価 ・雰囲気中のHC濃度測定		→	●	→
2-2 炭酸ガス引火性抑制 ・混合ガスの性状評価 ・発泡機適合性評価 ・雰囲気中のHC濃度測定		→	→	→
2-3 炭酸ガス透過性低減 ・透過性抑制手法の研究 ・効果の検証 ・安全性、適合性検証 ・現場発泡工法との適合性 検証		→	→	→

3) 平成21年度

日 程 表

(●：研究開発項目の実行時期を表す記号)

年度 研究開発項目	平成21年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
<b>2-1 多孔質吸着剤</b> ・ 雰囲気中の HC 濃度測定 ・ HC 発泡ブースの防爆機器、 HC 濃度センサーの設計(低温) ・ 防爆機器、濃度センサーの 導入 (低温) ・ ラボスプレー発泡評価 ・ フィールドテスト	→	●	→	→
<b>2-2 炭酸ガス引火性抑制</b> ・ 雰囲気中の HC 濃度測定 ・ ラボスプレー発泡評価 ・ フィールドテスト	→	→	→	→
<b>2-3 炭酸ガス透過性低減</b> ・ ラボスプレー発泡評価 ・ 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

#### 「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)

本テーマでは、高い断熱性能とハンドリング性を両立した断熱材として、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の開発を行う。このナノコンポジットを作製する手法として、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）、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压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併せて行う。

これらの開発を行うため、以下の研究開発項目を実施する。

#### (1)ポリマー/シリコンアルコキシド/ $scCO_2$ 反応系の検討（産総研）

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、

①表記三成分系の高压相平衡観察

② $scCO_2$ 中におけるシリコンアルコキシドの加水分解（ゾルゲル反応）の促進法の開発を検討する。

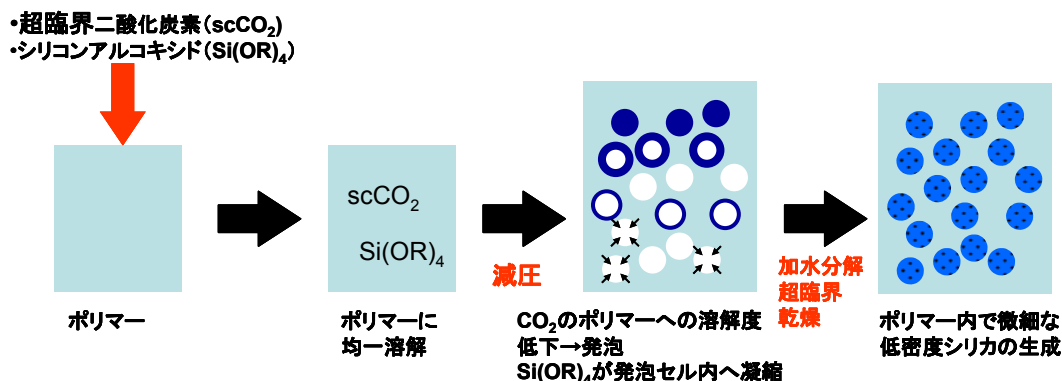


図 2.2.2.1.4.1.1 発泡ポリマー=シリカナノコンポジット断熱材の調製方法（手法1）

#### (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/ $scCO_2$ 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/ $scCO_2$ の三成分系から、バッチ発泡により断熱材試料を作製し、

①断熱性能の予備評価

②熱分析による物性評価

③電子顕微鏡による微細構造評価

④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）

ポリマーの押出成形機をベースとし、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。

(1)~(4)は手法1に相当する。

(5)連続気孔型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。

①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。

②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。

(5)は手法2に相当する。本項目は平成20年度より追加した。

事業項目	年度		
	H19	H20	H21
(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)			
①相平衡観察			→
②ゾルゲル反応の促進		→	
(2)減圧、相分離過程の可視化観察と最適化（東京理科大）			→
(3)断熱材の構造と物性の評価			
①断熱性能の予備評価(シーアイ化成)		→	
②熱分析による評価（シーアイ化成）			→
③電子顕微鏡による評価（産総研）			→
④断熱性能の総合評価（産総研）			→
(4)連続製造プロセスの開発（シーアイ化成）			→
(5)連続気孔型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)			
①ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化			→
②調製プロセスのコスト低減に関する調査および検討		→	



(1)～(5)を統括した年度目標は以下の通りである。

年度	目標
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>
H20	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平均発泡径 10<math>\mu</math>m 以下、シリカ含有量 40wt%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>
	<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>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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。</li> </ul>
H21	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現行ポリウレタンフォーム（熱伝導率 0.024W/(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。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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。</li> </ul>

#### 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  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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

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。

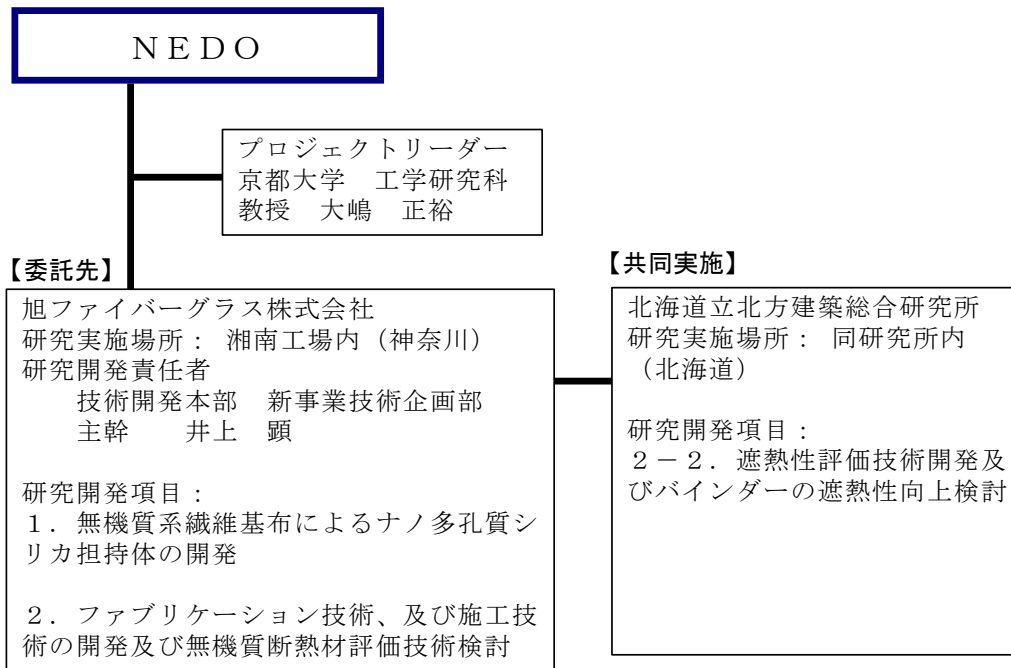
###### (a) 遮熱性評価技術の開発(北海道立北方建築総合研究所/旭ファイバーグラス)

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
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	→		
		→	
			→
			→
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 (ファブリケーション技術の検討) 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			→
			→

### 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

##### (1.1)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は、当初オゾン層を破壊する物質として 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、注入パネルなどは、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 80%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 ( $0.024 \rightarrow 0.034\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) 他、発泡密度も 2 倍以上高くなり、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、建築分野において自然エネルギーや新エネルギーとの組み合わせで「ゼロエネルギー住宅」を実現するためには、断熱材の強化が必要となってきた。

建築用断熱材市場としては、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などで、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。

##### (1.2)開発の位置付け

硬質ウレタン断熱材に代替する新しい断熱材として、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、真空断熱材は、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、価格がウレタン断熱材の 3 倍と高い点も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、エアロゲルあるいは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  $0.012 \sim 0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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おこなっており、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研究開発をおこない、既存の断熱材に付加する形で断熱性能の向上を図ることを目的として、更にはこの素材を新規高性能断熱材として事業化することを目標としている。

## (2)研究開発マネジメントについて

### (2.1)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、既存断熱材の断熱性能向上と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、有機系ではイソシアネート化合物、メラミン、フェノール、ポリイミドなどがあり、無機系ではシリカ、アルミナ、カーボン、チタンなどが知られている。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、 $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下。

#### 課題 2 既存断熱材の断熱性能向上検討

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、 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を実現すること、あるいは真空断熱材を簡易に成形する方法で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群を開発する。その一例としてシート状断熱材を開発する。

### (2.2)事業の計画

ナノゲル断熱材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。

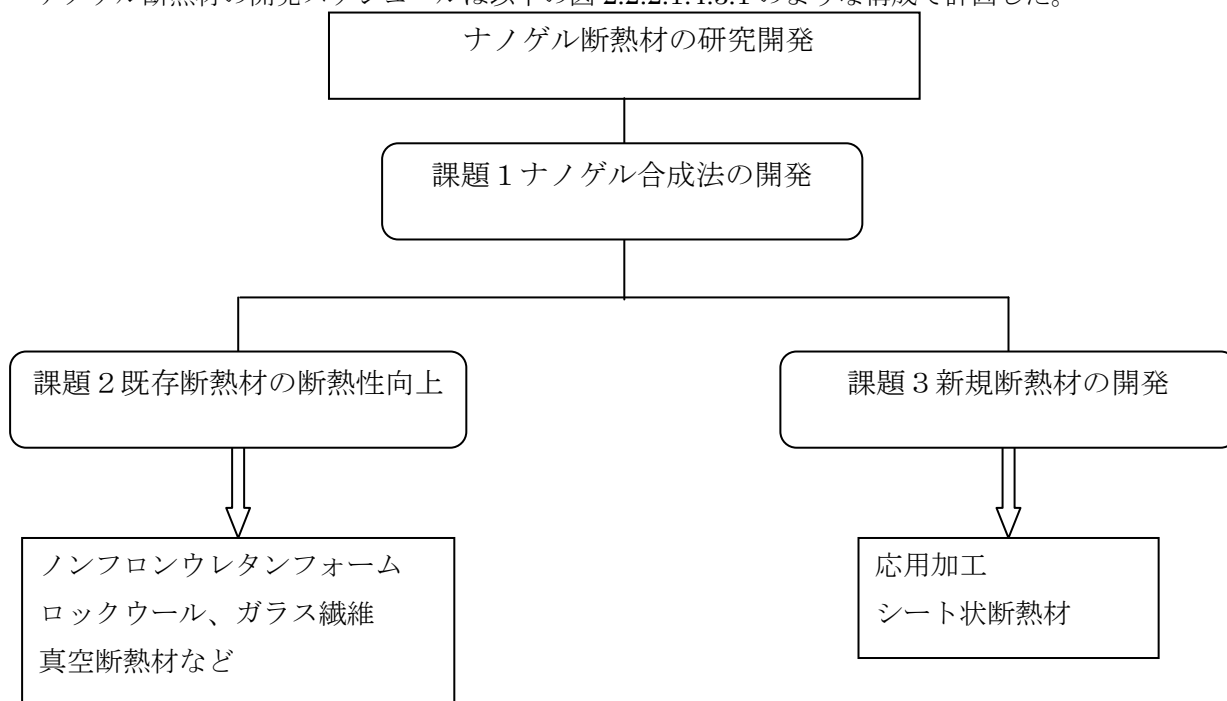


図 2.2.2.1.4.3.1 課題別開発スケジュール

### (2.3)研究開発体制

ナノゲル断熱材の研究開発体制は、主要研究員 1 名と研究員 2 名の 3 名の体制で開発をおこなう。

### 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)

##### (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

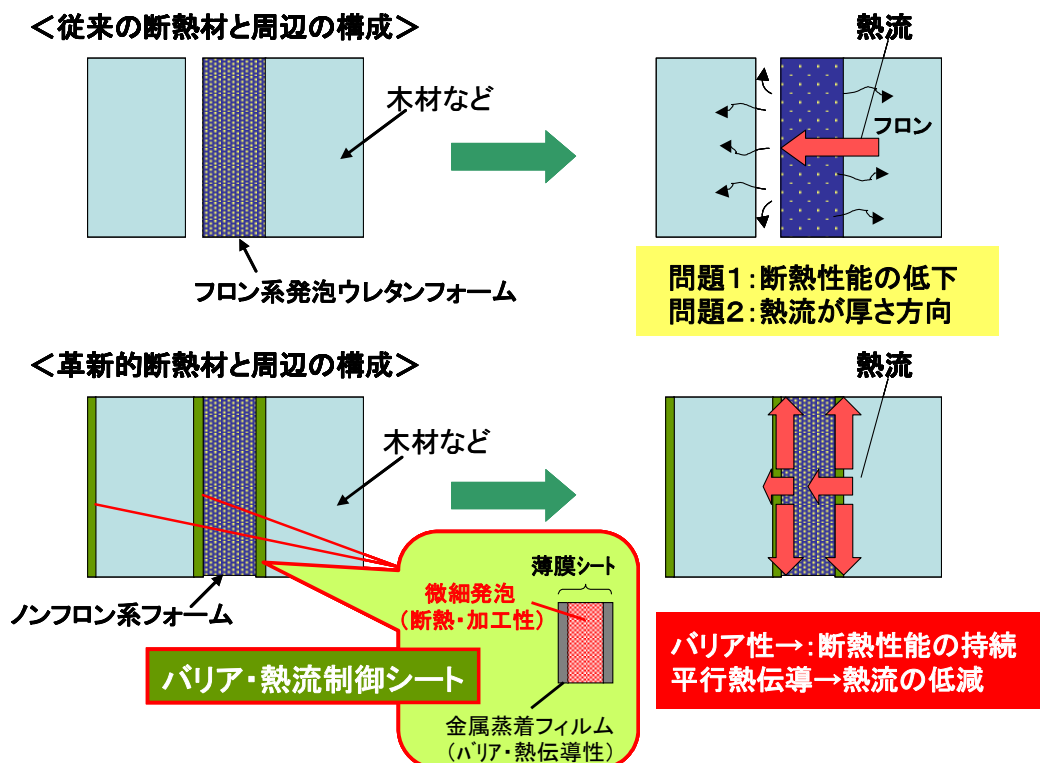
これまで建築断熱材用にノンフロン系断熱材が開発され、ノンフロン系でも比較的断熱性能の高い建築断熱材が開発されてきたが、従来のフロン系と比較すると断熱性能が十分とは言えず、また、ノンフロン系ガス自体も地球温暖化係数がまだ高いことから、性能、環境面で、それらの改善が強く望まれている。従って、性能、環境面の両面で優れる革新的ノンフロン系断熱材を設計する方策として、本事業では断熱性能、環境性能を総合的に向上させる断熱性向上シートの研究開発を目指す。

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  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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、環境性能に優れた材料設計を行う。

##### (3)事業概要

下記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。





本研究は下記の5つの研究及び開発項目からなる。

- (A)断熱性向上発泡技術の研究
- (B)断熱性向上バリア技術の研究
- (C)断熱性向上熱流制御技術の研究
- (D)断熱性向上シートの基本設計
- (E)新規建材材料の基本設計

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。さらに、新規建材材料として印刷性、エンボス性、熱ラミネート性を有するフィルム材料との複合技術を確立し、基本設計を行う。

#### (4)事業内容

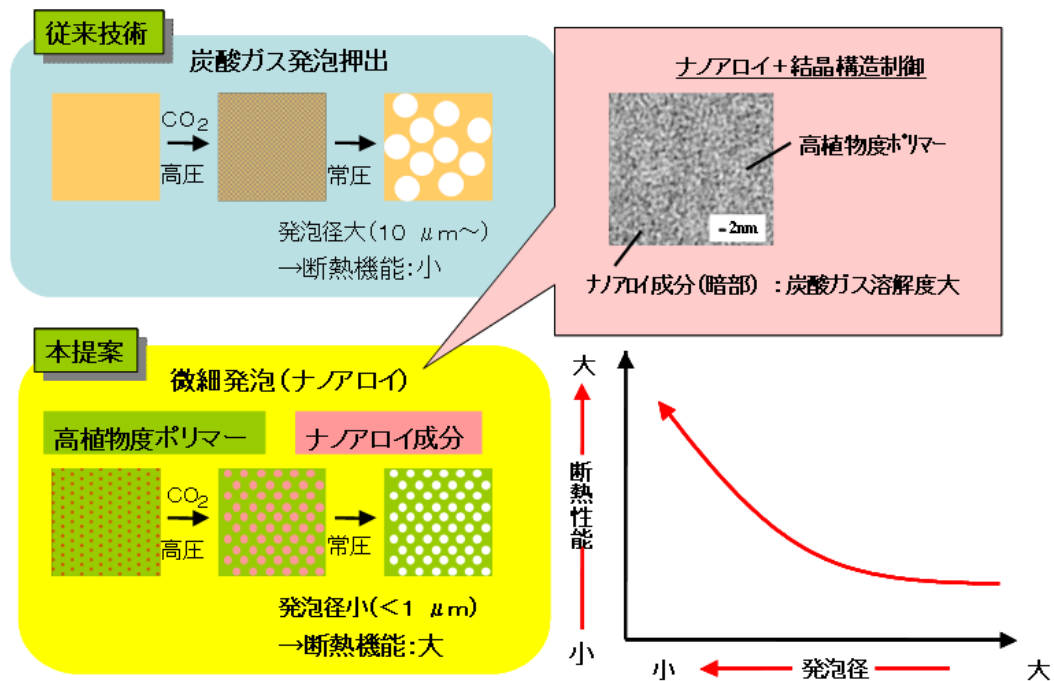
##### ①H19年度

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。

##### (A)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角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。

更に、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。

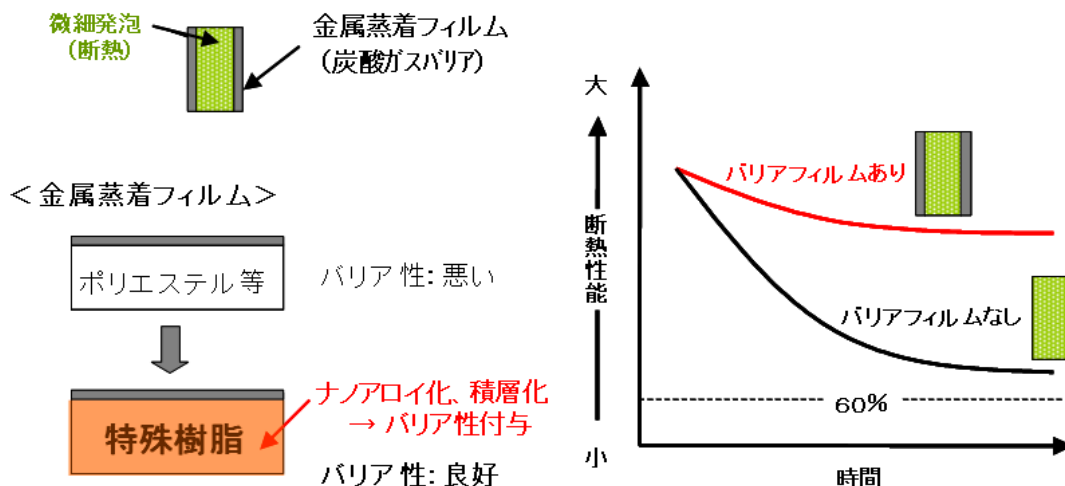


### (B)断熱性向上バリア技術の研究

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（通常は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。

#### <薄膜シート>



高植物度微細発泡技術+高植物度ガスバリア技術で次世代断熱性向上シートを狙う。

### (C)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。

#### ②H20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。

##### (A)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。

##### (B)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。

(C)断熱性向上熱流制御技術の研究

3次元熱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。

(D)断熱性向上シートの基本設計

上記(A)～(C)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。

② 21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 $\lambda \leq 0.024W/(m \cdot K)$ 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基本設計指針の明確化を行う。

(C)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。

(D)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。

(E)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。

(5)全体スケジュール

事業項目	19年度	20年度	21年度
(A)断熱性向上発泡技術の研究		→	
(B)断熱性向上バリア技術の研究		→	
(C)断熱性向上熱流制御技術の研究			→
(D)断熱性向上シートの基本設計			→
(E)新規建材材料の基本設計			→

### 2.2.2.1.5.1 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)

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も鑑み、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。

発泡体構造制御と樹脂・配合剤・発泡剤の選択などを実施する。  
 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について研究開発の方向性を明確にすると共に、発泡体のベースとなる樹脂、配合剤、発泡剤について候補を抽出する。

##### ①発泡体構造モデルの考案・試作・効果検証

- ・熱伝導率推算式を用いて、発泡体の組成・構造因子と熱伝導率の関係を確認、目標を達成するための発泡体構造を推定
- ・モデルを考案して目標達成の可能性を検証、研究開発の方向性明確化

##### ②樹脂、配合剤、発泡剤の探索

- ・押出発泡成形性、高断熱化の観点から樹脂、配合剤、発泡剤の調査・探索を実施し候補抽出

#### (2)高断熱性を実現する押出発泡体の開発

目的とする発泡体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・配合剤・発泡剤の選定について検討し、実験機レベルにて目標を達成する。

##### ①押出発泡成形技術の開発

- ・目的とする発泡体構造を押出発泡成形で実現するための設備の仕様決定、設備取得
- ・樹脂、発泡剤組成および成形加工条件による押出発泡成形性検討し、設備面、成形技術面および樹脂、発泡剤組成面からの課題抽出およびその改善策検討により設備の必要条件、樹脂組成、発泡剤の必要条件を明確化し技術獲得

##### ②高断熱性押出発泡体の開発

- ・発泡体構造と熱伝導率の関係を確認し発泡体構造の構成要件方向性明確化、樹脂、配合剤、発泡剤と押出発泡成形性、熱伝導率の関係を確認し、樹脂、配合剤、発泡剤処方方向性明確化して目標達成の可能性を見極め
- ・目標値および成形性を確保できる樹脂・配合剤・発泡剤組成、成形条件を設定して実験機レベルにて目標を達成

●、▲、★ : 設備導入時期を示す記号

事業項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度
(1)高断熱化技術の調査			
①モデル試作・効果検証	→		
②樹脂、発泡剤等の探索	→		
(2)高断熱性を実現する押出発泡体の開発			
①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高断熱性押出発泡体の開発		→	
		(1)基礎的検討	(2)詳細検討、可能性見極め
			→ 目標達成

## 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、第一にこの計測時間の短縮、建材をそのままの状態あるいは簡単な処理で測定の上点をクリアした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ることを利用する。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則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、このうち位相差は標準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・ヒータは大きさが数  $\text{mm}$  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。

比較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。

高感度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、室温付近で高感度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度性を検討する。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。熱伝導率測定で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5kg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。

#### (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

表 2.2.2.2.1.1 全体スケジュール

事業項目	年度	19年度				20年度				21年度			
	四半期	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4
①断熱材の実用性評価													
(A)基本事項の検討			→										
(B)評価項目の洗い出し			→						→				
(C)各項目の試験・評価方法の検討												→	
(D)開発された革新的断熱材の評価実施													→
②測定技術の実用性評価													
(A)評価項目の検討			→										
(B)各項目の評価方法の検討												→	
(C)開発された測定技術の評価実施													→

(4) 平成19年度～平成21年度の事業内容

①、②共に、平成19年度に評価項目の検討を行い、平成19年度から平成21年度で試験・評価方法の検討及び検証を行って実用性評価方法案（ガイドライン案）を作成する。平成21年度は、この実用性評価方法を用いて実際に実用性評価を行っていく。

①断熱材の実用性評価

当財団内に設置する、外部識者（学識経験者、評価技術又は評価制度についての識者、断熱材メーカー、他）等からなる専門委員会において、評価方法の作成並びに革新的ノンフロン系断熱材の評価を実施する。

(A)基本事項の検討（平成19年度）

作成する評価方法の輪郭を明確にするため、評価の目的、評価対象、評価方法の活用の仕方、評価の方針等を整理する。また、本事業における検討の範囲を整理する（ガイドライン作成までとする／評価基準まで設定する／評価の実施システムの提案まで行う、他）。

(B)評価項目の洗い出し（平成19年度）

断熱材自体の品質項目、環境側面の配慮、並びに施工性やコスト等普及に係る項目について、「断熱材の実用化評価方法指針（試案）」（H17～18年度 NEDO 委託事業（新規フロン代替物質(HFE-254pc)を使用した現場発泡試験及び成果普及事業）の成果報告書より）を参考にしつつ、検討する。

(C)各項目の試験・評価方法の検討（平成19年度～21年度）

(B)で挙げた評価項目に適する試験・評価方法を検討する。試験・評価方法が未制定の項目については、その方法についても検討する（以下、例示）。未制定の試験・評価方法の実証性については、試験又は文献調査により検証する。平成19年度は主に評価項目を洗い出し、評価方法としての合理性、公正性を検討する。平成20年度～21年度には、断熱材メーカーの意見聴取を行う等本格的に検討及び検証を行い、実用性評価方法案（ガイドライン案）を作成する。

(以下、試験・評価方法の例示。)

<断熱材自体に係る項目及び試験・評価方法>

- (a)初期性能 : 熱伝導率は JIS A 1412。その他 JIS で定められている圧縮強度や吸湿性等物理的性能は JIS A 9511 (発泡プラスチック保温材) 等該当 JIS による。
- (b)長期性能 : 実施中の長期性能評価法調査研究 (H15 年度~NEDO 委託事業 (断熱材の長期断熱性能評価に関する標準化調査)) の成果を活用。ただし、既に上市された断熱材以外は検討対象となっていないため、革新的断熱材については新たな開発研究が必要。
- (c)LC 環境性能 : ISO、グリーン購入法等での断熱材の環境側面評価法の国内外の動向を調査する。また、当財団の「建設資材における環境主張適合性評価ガイド」や、(財)日本建築センターの新建築技術認定事業の「ノンフロン断熱材認定基準」を参考に、具体的な評価方法を検討する。
- (d)LCCO<sub>2</sub> : 現在(社)日本建材・住宅設備産業協会で検討されている断熱材の LCCO<sub>2</sub> 評価法の JIS 案。

<普及に係る項目及び試験・評価方法>

- (e)設計施工 : 断熱設計や施工方法の技術的合理性、並びに所定の断熱性能が確保されるか等の評価する方法を具体化する。
  - (f)コスト : 断熱材の販売価格のみならず、施工、維持、廃棄等に係るコストも含めた評価方法を具体化する。
- (D)開発された革新的断熱材の評価の実施 (平成 21 年度)

(C)で検討してまとめた評価方法案 (ガイドライン案) に基づき、革新的断熱材の中間成果物を実際に評価する。具体的には、評価方法が自己評価による手法であることから開発者による自己評価の実施と、その評価結果の確認を行う。このうち、ノウハウにかからない範囲までを対象とする。なお、この結果は NEDO に提示・報告することを想定して行う。

## ②測定技術の実用性評価

当財団内に設置する、外部識者 (学識経験者、測定装置メーカー、断熱材メーカー、他) 等からなる専門委員会において、測定技術に共通して必要となる評価項目及び試験・評価方法を検討し、本プロジェクトで開発される新たな断熱性能測定技術の実用性評価を実施する。

### (A)評価項目の検討 (平成 19 年度)

評価対象となり得る測定技術を抽出し、その測定原理や測定する物性、装置等を整理する。その上で、測定技術において評価すべき項目を洗い出す (以下、例示)。

- (a)合目的性 : 測定技術を活用する目的に対する測定対象物、精度、試験時間、操作性等
- (b)精度保証等 : 再現性、ばらつき、保証精度、精度確保条件、等
- (c)操作性、メンテナンス等 : 使用環境条件、操作容易性、メンテナンス容易性、ケースにより搬送性、等
- (d)実用性 : 上記 a~c に加え、コスト、保証期間、等

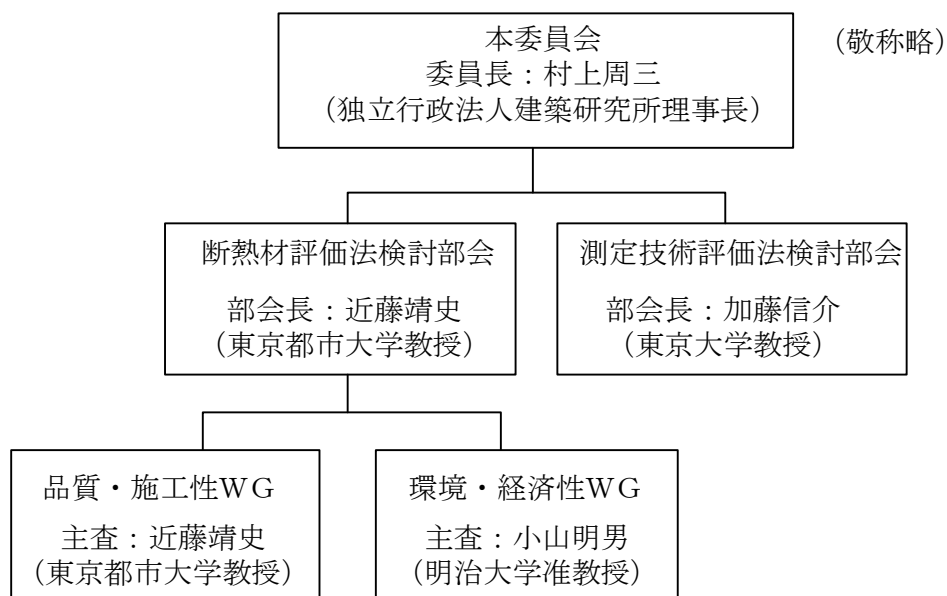
### (B)各項目の評価方法の検討 (平成 19 年度~20 年度)

(A)で挙げた評価項目に適する評価方法を検討する。評価方法の実証性については、試験又は JIS 他の規格等に基づき検討する。平成 19 年度は主に評価項目と評価の要素技術を抽出し、実用性評価の骨格を作成する。この骨格に対する意見を関係メーカー等から聴取する。平成 20 年度には、本格的に検証を行い、実用性評価方法案を作成する。

### (C)開発された測定技術の評価の実施 (平成 21 年度)

①及び②で検討した項目及び評価方法に基づき、開発された測定技術の実用性を実際に評価する。なお、この結果は NEDO に提示・報告することを想定して行う。

(5)研究体制



### 2.2.3 研究開発の実施体制

図 2.2.3.1 に研究開発の体制図を示す。

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。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（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。

[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。

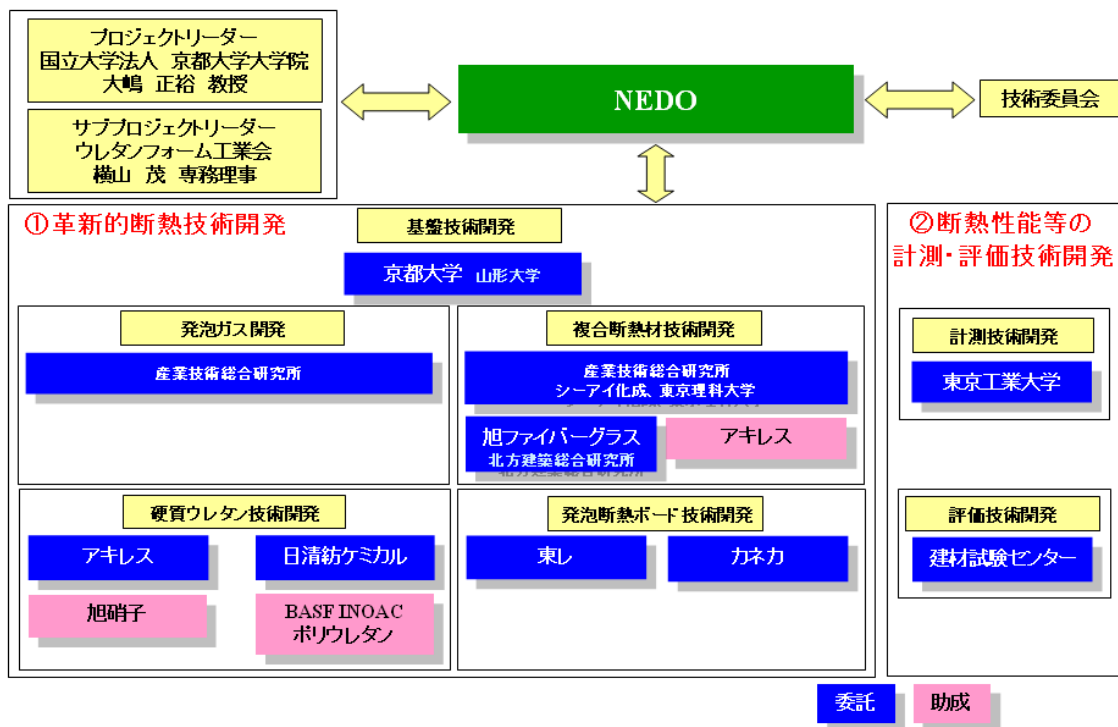


図 2.2.3.1 研究体制図

## 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、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 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。

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	金沢工業大学	新保 實	教授
技術委員	東京都市大学	近藤 靖史	教授
技術委員	近畿大学	岩前 篤	教授
技術委員	北陸先端科学技術大学院大学	山口 政之	准教授

### (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。

#### 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。

### (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。

### 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

革新的断熱技術開発においては、（１）基礎研究、（２）発泡ガス開発、（３）硬質ウレタン技術開発、（４）複合断熱技術開発、（５）発泡断熱ボード開発を実施した。

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オーダー以下で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  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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 3.1.1.1 の右図に示すように、基板となる材料の熱伝導率と多孔内に存在するガスの熱伝導度の関数として大枠が決まると考えられる。

従来利用していた HCFC の熱伝導率は、 $0.0112\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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、気泡率（空隙率）が 85%程度で、 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  が達成できていたと考えられる。HCFC の利用を禁じた場合、 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  を多孔性断熱材にて達成しようの方策として、HCFC に匹敵するような熱伝導度が  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  より低いガスを発泡体中に保持し、その保持量（気泡率とほぼ等価）をあげられれば、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、HCFC を使わず、 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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。

1) 発泡率（気泡率・空隙率）を従来値よりさらに向上させる。

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。気泡の微細化、気泡径の分布制御をいかに行なうかが問題となる。

2)  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  より低い熱伝導度のものを HCFC の代わりに発泡体内に保持する。

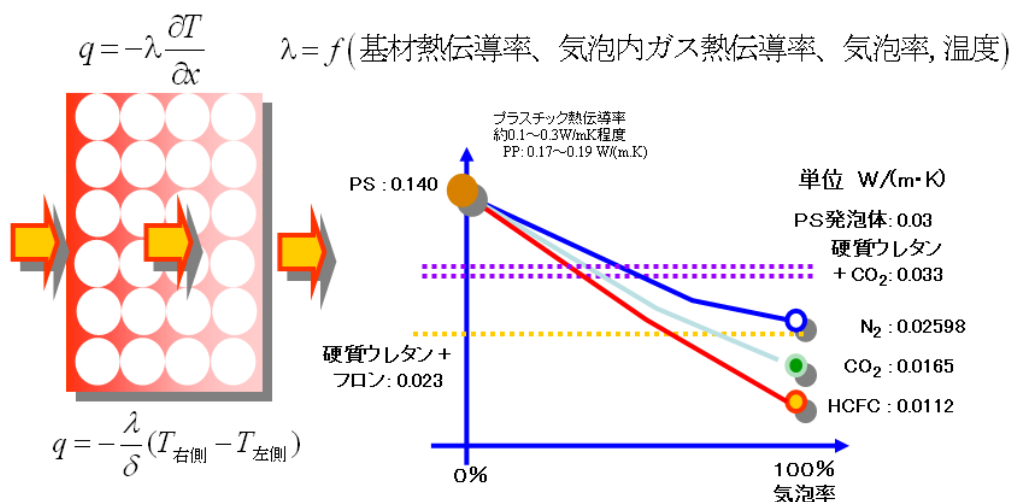
これについては、2つの方策が考えられる。

1つは、HCFC に代替する熱伝導度の低い発泡ガスを作るか、熱伝導度の低い既存のガスを利用するかである。CO<sub>2</sub> の熱伝導度が  $0.0165\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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 CO<sub>2</sub> 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 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  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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。

3)  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  より低い熱伝導度の空間を長期間発泡体内に保持する

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表 3.1.1.1 の分類である。



### 総括熱伝導率の低減

- 方策1 発泡率を上げる（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（熱可塑・熱硬化、配向延伸） 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：ガスと空気が置換するN<sub>2</sub>に近づく

図 3.1.1.1 熱伝導率の低減方策

表 3.1.1.1 に各事業の達成度とコア技術および事業分類との相関を示す。

表 3.1.1.1 事業の達成度（コア技術、事業分類との相関）

	コア実施内容	気泡微細化	気泡分布制御	低熱伝導性ガス封止（ガス・樹脂）	低熱伝導空間の導入（ナノゲルハイブリッド）	装置開発	
京大（委託）	基本コンセプト+熱伝導度測定	◎	○	△	△		汎基礎技術開発
産総研（環境化学）（委託）	発泡剤ガスの開発			○			発泡ガス開発
日清紡ケミカル（委託）	ペンタンの安全使用			○			
BASF-INOAC（助成）	炭化水素の吸油材			△			硬質ウレタン技術開発
アキレス（委託）	バブル発生装置開発による気泡の微細化	○				○	
旭硝子（助成）	ポリオールの改良	○					
産総研、シーアイ化成、東京理科大学（委託）	ナノゲル+可塑樹脂				○		密着断熱材技術開発
アキレス（助成）	ナノゲル+ウレタン				◎		
旭ファイバーガラス（委託）	ナノゲル+無機繊維				○		
カネカ（委託）	押出発泡ボード		○			○	
東レ（委託）	ナノアロイ+バリア性強化	○		◎			発泡断熱ボード技術開発

◎（定義）上市できるレベル、○（定義）中間目標はクリア。しかし、市場に出すにはまだ課題がある。  
△（定義）期待通りの結果がでていない。計画変更の必要もある。

表 3.1.1.2 にコア技術に対する中間目標の達成度を示す。いずれの中間目標も達成している。

表 3.1.1.2 コア技術に対する中間目標の達成度

	中間目標	成果	中間目標の達成度	最終目標の達成度	今後の課題
1)高空隙率・微細化	0.024 W/mK	東レ・ナノ発泡旭硝子 <b>0.023 W/mK</b> <b>0.0225 W/mK</b>	◎	○	事業化の推進、住宅テストスプレー法への展開 ナノセル単体での性能向上
2)高ガスバリア性化 (低熱伝導度ガスの発泡体内封止)	0.024 W/mK	日清紡ケミカル <b>0.022 W/mK</b> 東レ・バリアフィルム <b>0.023 W/mK</b> カネカ <b>0.024 W/mK</b>	◎	○	東レバリアフィルムの横展開 カネカ・装置開発 安全基準
3)低熱伝導度空間 (材料)の導入	0.024 W/mK	産総研 <b>0.017 W/mK</b> アキレス <b>0.017 W/mK</b> 旭ファイバークラス <b>0.019 W/mK</b>	◎	△	エアロゲル(ナノゲル)の製造コストの低減化 ビジネスモデル
4)装置開発	評価可能装置	東工大 建材試験センター	◎	○	評価装置の国際基準認証、評価表の普及

表 3.1.1.3 に開発技術に対する中間目標の達成度を示す。いずれの中間目標もほぼ達成している。

表 3.1.1.3 開発技術に対する中間目標の達成度

研究開発項目	開発技術	事業者	中間目標	成果	中間目標の達成度	最終目標の達成度	今後の課題
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	京都大学	0.024 W/mK	<b>0.021 W/mK</b>	◎	○	
	発泡ガス開発	産業技術総合研究所		発泡体 <b>0.0269 W/mK</b> 気体 <b>0.014 W/mK</b>	○	○	生産コスト、連続化
	硬質ウレタン技術開発	アキレス、日清紡ケミカル、旭硝子、BASF INOAC ポリウレタン		日清紡ケミカル <b>0.022 W/mK</b> 旭硝子 <b>0.0225 W/mK</b>	◎	○	スプレー法への展開
	複合断熱材技術開発	産業技術総合研究所・シーアイ化成・東京理科大、旭ファイバークラス、アキレス		産総研・シーアイ・東理大 <b>0.017 W/mK</b> 旭ファイバークラス <b>0.019 W/mK</b> アキレス <b>0.017 W/mK</b>	◎	○	エアロゲル(ナノゲル)の製造コストの低減化 ビジネスモデル
	発泡断熱ボード技術開発	東レ、カネカ		東レ <b>0.023 W/mK</b> カネカ <b>0.024 W/mK</b>	◎	◎に近い○	東レバリアフィルムの横展開 カネカ・装置開発 安全基準
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	評価可能装置	圧着型熱伝導率測定装置を開発	◎	○	評価装置の国際基準認証、評価表の普及
	評価技術開発	建材試験センター		実用性評価基準と評価ツールを開発	◎	◎に近い○	

◎〈定義〉上市できるレベル、○〈定義〉熱伝導度の目標はクリア。しかし、市場に出すにはまだ課題がある。△〈定義〉期待通りの結果がでていない。計画変更の必要もある



図 3.1.1.2 に各事業における研究開発の成果物を示す。

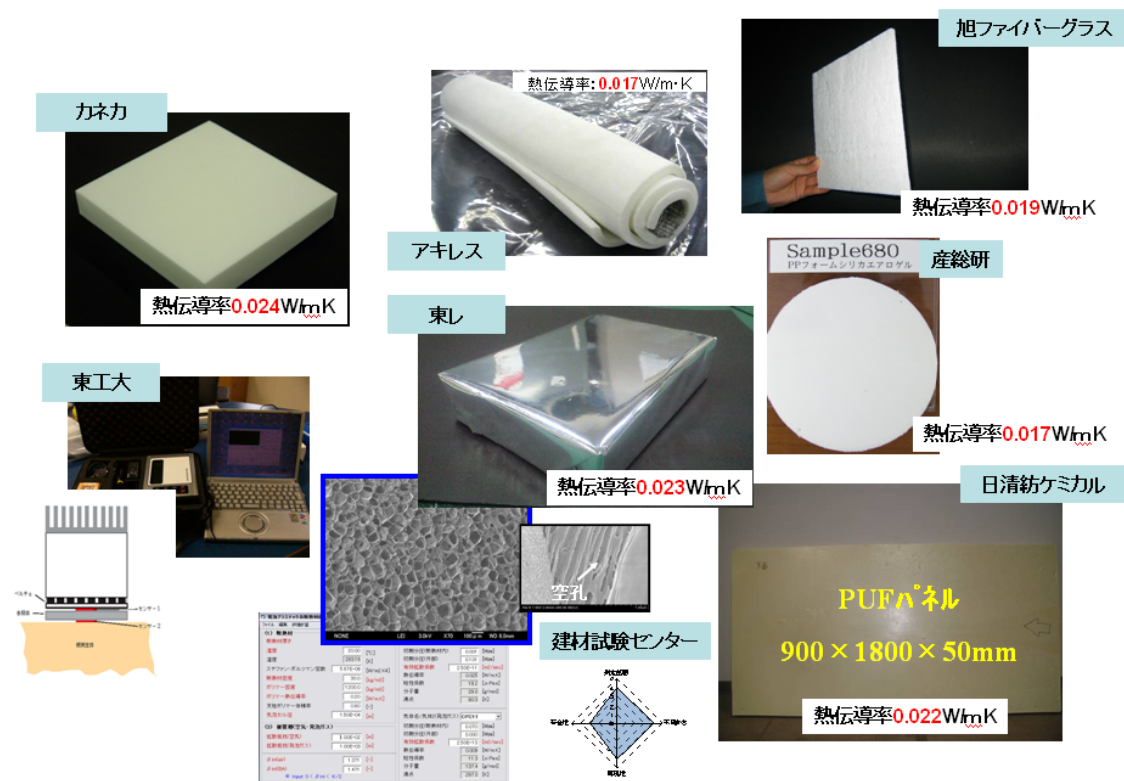


図 3.1.1.2 各事業における研究開発の成果物

表 3.1.1.4 に知的財産権、成果の普及の状況を示す。

表 3.1.1.4 知的財産権成果の普及の状況  
平成19年度～平成21年度

成果	基盤技術開発	発泡ガス開発	硬質ウレタン技術開発	複合断熱材技術開発	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(準備中含)	0	2	2	12	12	0	0	28
論文(査読有)	6	0	0	0	0	0	0	6
研究発表・講演(国内外、査読有含)	30	4	0	4	1	4	0	43
受賞実績	2	0	0	0	0	0	0	2
新聞・雑誌への掲載	1	0	0	0	2	0	0	3
展示会への出展	0	0	0	0	0	0	0	0

平成21年6月26日現在

表 3.1.1.5 に成果の最終目標の達成目標を示す。

表 3.1.1.5 成果の最終目標の達成見通し

研究開発項目	研究課題	最終目標 (平成23年度末)	達成見通し
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気泡位置とサイズの制御技術実証</li> <li>・経年変化の少ない発泡体の創製</li> <li>・低熱伝導率物質をコア材とする発泡体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空隙率85%を達成しており可能</li> <li>・UV樹脂の選定とCO<sub>2</sub>含浸法改良</li> <li>・中空ナノファイバー表面改質</li> </ul>
	発泡ガス開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フロン系発泡剤の発泡体と同程度の熱伝導率を有する発泡体の開発</li> <li>・量産化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発泡処方の検討</li> <li>・性能評価の実施をいかに行なうか</li> </ul>
	硬質ウレタン技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セル径の微細化</li> <li>・混合ガスを利用した硬質PUF</li> <li>・熱伝導率の低減</li> <li>・低熱伝導率の現場発泡硬質ウレタンフォームの創製</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・導入バブルの制御</li> <li>・不燃、低熱伝導率、低GWPガス検討</li> <li>・処方改良、scCO<sub>2</sub>利用</li> <li>・添加吸着ベンタン量の制御</li> </ul>
	複合断熱材技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリカエアロゲル並の断熱性能を有しハンドリング特性の良い材料開発</li> <li>・ナノ多孔質担持断熱材の開発</li> <li>・ナノゲルを応用した断熱材の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナノ多孔質シリカの緒元と断熱性能の関係の調査</li> <li>・表面改質</li> </ul>
	発泡断熱ボード技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CO<sub>2</sub>系の最高の断熱性能の断熱材</li> <li>・高断熱性押出發泡体の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発泡構造の最適化</li> <li>・発泡体の構成要件、組成の絞り込み</li> </ul>
断熱性能等の計測・評価技術開発	計測技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プローブの高感度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可能</li> </ul>
	評価技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実用性評価方法のHP上での公開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可能</li> </ul>

### 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礎研究」(委託事業)

国立大学法人 京都大学は、山形大学と共同実施の体制にて、基盤技術開発として「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)を実施した。

具体的には、超低熱伝導率 ( $0.024[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 以下) の構造部材の実現に必要な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)を具現化する断熱体製造技術の提案とその発泡体の試作を行なった。

##### ①微細化・高発泡率化技術の開発

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の結果、下記の成果を得た。

- (A) もう一方のポリマーをポリマー内部でモノマーから重合し、ドメインがナノスケールで分散したポリマーブレンドを創製する手法を考案した。
- (B) このポリマー内重合反応を利用してPMMAドメインがPS中にナノスケールで分散したモルフォロジーを持つ、非相溶だが透明なPS/PMMAブレンド体を創製した。
- (C) このポリマー内重合反応により重合されたポリマーは、モノマー単体で重合した場合と比較して分子量が大きくなり、その分子量は、マトリクスPSポリマーの分子量により制御が可能であることを解明した。
- (D) このナノブレンド体のモルフォロジーをテンプレートとして利用し、内部に数十nmの気泡を持つナノ発泡体を創製した。

##### ②高バリア性化技術の開発

気泡内壁の架橋反応・シリケート化などにより高バリア性(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の結果、下記の成果を得た。

- (A) 高断熱性の発泡体の作成法として、発泡体の気泡内部に低熱伝導率のガスを封止する新規手法を考案した。
- (B) この手法を用いて熱伝導度  $21 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$  の発泡体を創製した。

##### ③低熱伝導空間の導入技術の開発

中空カプセルと中空ファイバーによる発泡体構造中への低熱伝導空間の導入のための基礎技術開発を実施し、下記の成果を得た。

- (A) 低熱伝導空間を有するカプセルまたはファイバーの作製(山形大学)  
中空ファイバーまたはカプセルを作製するために二重円筒ノズルを作製し、二重円筒ノズルの外殻からPVA水溶液、内殻から空気あるいは二酸化炭素をそれぞれシリンジポンプで押し出した結果、空隙率が99%と非常に高く、熱伝導率も  $0.030\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  より低いフォームを創製した。
- (B) 低熱伝導空間を有するカプセルまたはファイバーの作製(京都大学)  
金属アルコキシドと有機溶媒の混合液に水を噴霧し、水とアルコキシド溶液の界面においてアルコキシドを加水分解、重縮合させるという新規な金属酸化物中空微粒子合成法を考案し、静電紡糸法を組み合わせ、発泡核剤として利用可能な、中空構造を持ったチタニアファイバーを創製した。

### 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

フルオロオレフィン C について小スケールで脱 HF 反応の条件を種々検討し、従来法よりも高い収率で C を得ることに成功した。この脱 HF 反応において触媒を用い副生成物を定量的に目的物に変換できることを明らかにした。さらに脱 HF 反応、異性化反応それぞれについて反応条件、触媒、反応装置を検討することで数十 g までスケールアップを行うとともに、生成物を蓄積して約 1kg の試料を製造し、各種評価を進めた。

フルオロオレフィン D について、中間原料である E の合成と、E の還元による D の合成それぞれについて検討を進めた。E の合成については、原料 G に対して塩化フッ化アルミニウムを作用させることにより E が得られることがわかり、さらにフロー法による効率化にも成功した。E の還元による D の合成については、検討の結果、パラジウム系触媒を用いた水素還元をフロー式反応で行うことにより転化率 95%以上、選択率 90%以上で D を合成することができた。得られた生成物を蒸留精製することにより、純度 99%以上の試料を得ることができた。これらの製造法により約 1kg の試料を製造し、各種評価を進めた。

##### ②熱伝導率評価

D について熱伝導率を測定した結果、気体熱伝導率は約 14mW/(m・K)であり、HFC-245fa と同程度であることがわかった。

##### ③環境影響評価

OH ラジカルとの反応速度の測定：測定した 15 化合物の中で最も大気寿命の長い A 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。

##### ④安全性評価

###### (A)燃焼性評価

鎖状の不飽和化合物の場合は、C3 では水素原子が 1 個以下では不燃、C4 では水素原子が 2 個でも不燃であることが分かった。一方、環状の不飽和化合物の場合は、C4 では水素原子が 1 個でも可燃、C5 では水素原子が 1 個で不燃であることが分かった。

###### (B)毒性評価

フルオロオレフィン A、B、C、D について Ames 試験が陰性であることを確認した。

### 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  $200\mu\text{m}$  前後から数十  $\mu\text{m}$  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) 高速旋回式：液を  $40^{\circ}\text{C}$  程度に加温し、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  $25^{\circ}\text{C}$  前後に加温し  $0.1\text{MPa}$  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は機械発泡を行った。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  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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 ( $\text{CO}_2$ )、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おり、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

$\text{CO}_2$  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

$\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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 の雰囲気のスプリング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)

発泡剤として水もしくは、超臨界 CO<sub>2</sub>を用いた HFC 発泡同等の熱伝導率を有する現場発泡用ウレタン材の開発を実施し、下記の成果を得た。

#### ①セル構造の制御：セルサイズの最適化

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。

次に、ポリオールの界面活性性能制御により、セル構造を制御した場合のフォーム強度の改善に着手した。

ハンド発泡評価においては、従来の水発泡技術に比較して、断熱性能を大きく改善できることが可能であり、中間目標を達成できた。

### 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

- (A)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がヒドロカーボンを良く吸着することが判明した。
- (B)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。

- (C) 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。
- (D) ペンタンの量を制御し、その熱伝導率が  $24.7\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$  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

##### 「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)

高い断熱性能とハンドリング性を両立した断熱材として、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の開発を行い、下記の成果を得た。

#### 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：

三成分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高圧相平衡測定装置を構築し、種々の組成、温度、圧力において、三成分系の相状態（均一混合、相分離）を観察した。各種ポリマーのスクリーニングの結果、シリコンアルコキシドと親和性の高いポリマー系を見いだした。この系について、 $6\text{-}30\text{MPa}$ ,  $313\text{-}473\text{K}$  での相図を概成し、均一混合可能な条件を示した。

##### (B) scCO<sub>2</sub> 中におけるゾルゲル反応の促進法の開発：

scCO<sub>2</sub> 中でシリコンアルコキシドを分解してシリカを生成する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。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の一部が、scCO<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などを見出した。

#### ②減圧、相分離過程の可視化観察と最適化 (東京理科大)

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。

ポリマー-アルコキシド-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必要があること、平均気泡径および気泡密度は、アルコキシド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。

#### ③連続気孔型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)

本項目では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構造を持つ材料について、以下の検討を行った。

##### (A) ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化：

市販の連続気孔型ポリマーフォーム数種、また天然高分子であるキトサンゲルについて、この気孔内にゾルゲル溶液を充填後ゲル化、疎水化処理、scCO<sub>2</sub> による超臨界乾燥を行って、目的とする試料を調整し、熱流束計による熱伝導率測定、三点曲げ試験による強度測定等による評価を行った。その結果特定のポリマーフォーム等で高い断熱性能 ( $0.017\text{-}0.020\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )、およびシリカエアロゲルより優れた曲げ強度など、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。

#### 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)

##### 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、 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim 0.019\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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)

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、既存断熱材の断熱性能向上と新規断熱材を開発を実施した結果、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おこなった。得られた無機系ナノゲルの断熱性能は $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。

#### 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)

下記の間目標を有する新規断熱性向上シートの開発を実施した。

- ・熱伝導率： $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下（フロン系硬質ウレタンフォームと同等以上）。
- ・耐久性：5年で熱伝導率の減少率10%以下。
- ・充填ガスの低環境負荷化：地球温暖化係数が従来品の1/2以下。
- ・材料の低環境負荷化：製造時炭酸ガス発生量が従来品の1/2以下。

この結果、下記の成果を得た。

##### ①断熱性向上発泡技術の研究

充填ガスとして炭酸ガスを使用し、ナノ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。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： $0.023\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を達成した。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：ポリ乳酸を主成分とするポリマー（炭酸ガス発生量 $(\text{kg}/\text{kg})$ は、炭化水素系：2.9、本開発品：1.2）、及び、充填ガスとして、地球温暖化係数が炭化水素よりも低い炭酸ガス（地球温暖化係数は、炭化水素：11、炭酸ガス：1）を用いていることから、使用素材の面からも地球温暖化防止へ貢献できる。

##### ②断熱性向上バリア技術の研究

ナノアロイ技術と溶融製膜技術を深化させることで、高結晶性の特殊樹脂を含有するフィルムの製膜に成功し、炭酸ガス透気度が $0.1\text{cc}/\text{m}^2\cdot 24\text{hr}\cdot\text{atm}$ （Al蒸着時）のハイバリアフィルムを得た。更に、製膜条件の最適化による高次構造の制御及び表面構造の制御によりアルミ蒸着層のガスバリア性能を極限まで高めた結果、従来のアルミ蒸着PETフィルムに対し炭酸ガスバリア性が100倍優れるフィルムを創出することに成功した。製膜技術については、ラボスケールからパイロットスケールにスケールアップすることに成功し、長尺サンプルの作成が可能となった。

##### ③断熱性向上シートの基本設計

コンセプトモデル作成による実用性基礎評価（加速テスト）において、5年目相当まで断熱性能に変化がないことを確認し、継続評価中である。

本開発品は従来品と比較して、 $\text{CO}_2$ 発生量を20年間で累計50t、約15%削減でき、冷暖房費も累計約50万円削減できるとの結果を得た。

##### 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)

##### ①高断熱性を実現する押出發泡体の開発

独自に開発したセル構造形成が可能であること、さらに構造制御を行うことで熱伝導率低減が可能であることを確認した。これまでの検討により、プロジェクトの熱伝導率目標レベルに到達した。



### 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、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

#### 3.1.2.2 評価技術開発

##### 3.1.2.2.1 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)

実用性評価方法を作成し、本プロジェクトでの開発成果の実用性評価を行うことを目標に下記の成果を得た。また本プロジェクトの事業者様にご試用を戴きコメントを収集した。

- ①革新的ノンフロン系断熱材の実用性評価
  - ・自己評価表(断熱建材の実用性評価)
  - ・発泡プラスチック系断熱材性能変化簡易予測ツール(フェーズ2用)
  - ・発泡プラスチック系断熱材性能変化簡易予測ツールの計算例
  - ・LCCO<sub>2</sub>簡易計算ツール計算結果例
  - ・自己評価表(断熱性能測定技術の実用性評価)

## 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礎研究」(委託事業)

(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

PS/PMMA ナノセルラー創製

(A) 成果の要約

もう一方のポリマーをポリマー内部でモノマーから重合し、ドメインがナノスケールで分散したポリマーブレンドを創製する手法を考案した。このポリマー内重合反応を利用して PMMA ドメインが PS 中にナノスケールで分散したモルフォロジーを持つ、非相溶だが透明な PS/PMMA ブレンド体を創製した。このポリマー内重合反応により重合されたポリマーは、モノマー単体で重合した場合と比較して分子量が大きくなり、その分子量は、マトリクス PS ポリマーの分子量により制御が可能であることが分かった。また、このナノブレンド体のモルフォロジーをテンプレートとして利用し、内部に数十 nm の気泡を持つナノ発泡体を創製した。

(B) 研究実施内容

この研究では、PS 相内でモノマー (MMA) から PMMA を重合するポリマー内重合反応法によって、ポリスチレン (PS) 中にポリメタクリル酸メチル (PMMA) がナノ分散しているポリマーブレンドを創製した。そのナノブレンド体をテンプレートとして利用し、内部にナノスケールの気泡を有するナノ発泡体を創製した。ポリマー内重合反応技術において、マトリクスとして利用するポリマーの分子量、ポリマー/モノマーの分率の分子量への影響を調べた。また、ナノブレンド体を利用したナノ発泡体創製に関して、発泡条件、PS/MMA の分率が気泡径・気泡数密度へ与える影響を解析した。

(C) 実験の内容説明

・ポリマー内重合反応法

開始剤 2-2'-Azobis (AIBN) を 1wt% の濃度でメタクリル酸モノマー (MMA, Wako, 98%) に溶解させた。この溶液を溶媒として用い、ポリスチレン (PS,  $M_w=5.8 \times 10^4$ ,  $23 \times 10^4$ ,  $37 \times 10^4$ , Aldrich) をそれぞれ PS/MMA=0.5/1, 1/1, 2/1, 3/1 の割合で溶解させたゲル状溶液を作成した。作成した PS/MMA 溶液を 80°C のオイルバスで 24 時間加熱し重合反応を進行させた。その後 GPC (SPD-20A/RID-10A, Shimadzu, K-806LSHodex) を用いて重合したポリマーの分子量分布を測定した。

比較として AIBN の 1wt%MMA 溶液のみを同じ条件で反応させ、GPC を用いて分子量の測定を行った。

・ポリマーブレンド体の発泡実験

メタクリル酸モノマー (MMA) 溶液を溶媒として用い、ポリスチレン (PS,  $M_w=23 \times 10^4$ ) を PS/MMA=1/1, 2/1, 3/1 の割合で溶解させたゲル状溶液を作成し、この溶液をホットプレス上で 80°C に加熱して重合させ、厚さ 1mm のディスク状のポリマーブレンド体を作成した。その後、重合したサンプルを 90°C の恒温層で 24 時間保持し後重合により、PS ポリマー内の MMA の重合反応を完了させた。さらに、サンプルを 170°C の真空中で 24 時間かけてアニールした。

オートクレーブ内にアニール後のサンプルを入れ 40°C まで昇温し、その後、純度 99.9% の  $\text{CO}_2$  で 8.6MPa まで加圧した。等温等圧状態を 2 時間保持しサンプルに  $\text{CO}_2$  を含浸させ、その後、圧力

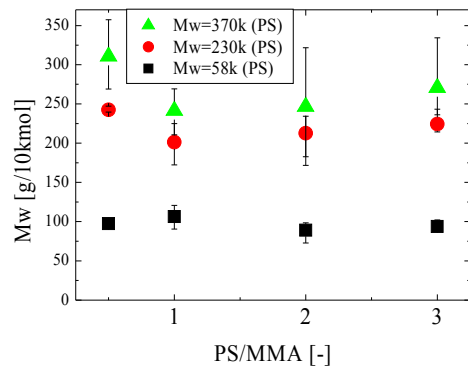


Fig. 3.2.1.1.1.1 マトリクス PS と重合された PMMA の分子量

を 8.6MPa に保持したまま所定の温度(40 or 20°C)まで変化させ、所定の減圧速度で減圧発泡(圧カクエンチ法)を行った。Table 3.2.1.1.1.1 にその実験条件を示す。

Table 3.2.1.1.1.1 発泡プロセスにおける温度と減圧速度

条件	温度	減圧速度
A	40°C	0.1MPa/ min.
B	20°C	0.1MPa/ min.
C	20°C	0.5MPa/ min.

発泡させたサンプルは酸素プラズマエッチング装置 (HDT-400, JEOL DATUM) を用いて 1 時間処理しサンプル表面を削って気泡を露出させた。エッチング処理をしたサンプルの表面構造を AFM にて観察した。

(D) 実験の結果

・ポリマー内重合反応

Fig.3.2.1.1.1.1 に、重合された PMMA の重量平均分子量 ( $M_w$ ) とマトリクスである PS の重量平均分子量、PS/MMA の関係を示す。重合された PMMA の分子量はマトリクスとして利用した PS の分子量の影響を強く受けており、どの条件でも MMA のみから重合した場合より分子量が大きくなっている。ラジカル重合は開始反応、成長反応、停止反応という 3 種類の反応によって進行する。このとき成長反応過程では、ポリマーラジカルに対してモノマーが、停止反応過程では、ポリマーラジカルに対してポリマーラジカルが拡散し衝突することによって反応が進行する。ポリマーラジカルの分子量は、モノマーの分子量よりも非常に大きく、マトリクスのポリマーとの絡み合い効果の影響もあり、ポリマーマトリクス中ではポリマーラジカルの拡散が阻害される。このことにより停止反応が抑制され分子量が大きくなったものと考えられる。

・ポリマーブレンド体の発泡実験

Fig.3.2.1.1.1.2 に発泡前後での表面構造の変化の AFM 高さイメージを示す。AFM 高さイメージで濃い色で表現されている部分は周囲より凹んでいることを示している。発泡の前後での表面構造において発泡前には観察されなかった空隙(凹)が確認できる。この AFM イメージを画像解析することで、数平均気泡径(以下平均気泡径)と気泡の数密度を算出した。

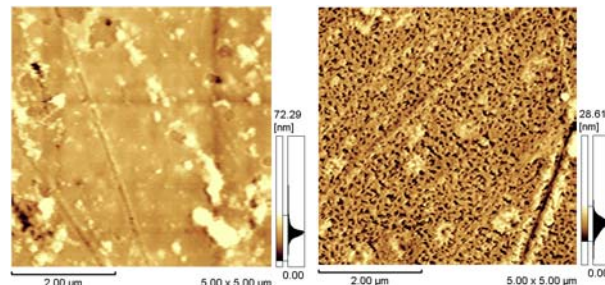


Fig. 3.2.1.1.1.2 発泡前後でのサンプル表面の変化(左:発泡前、右:発泡後、発泡条件 20°C, 0.5MPa/min.)

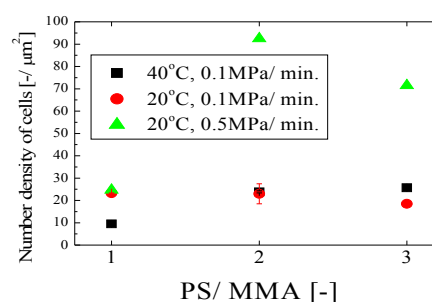
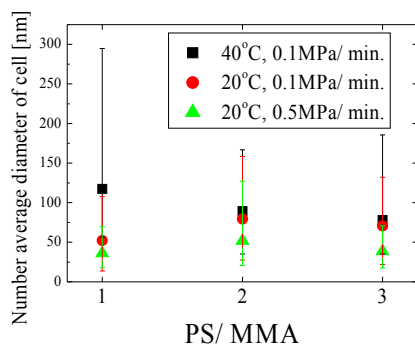


Fig. 3.2.1.1.1.3 発泡体の数平均気泡径の発泡条件での変化 Fig. 3.2.1.1.1.4 発泡体の気泡数密度の発泡条件による変化

減圧速度を 0.1 あるいは 0.5 MPa/s、発泡温度を 20°C か 40°C のいずれかで固定し、組成比の異なるブレンド体を発泡させた。得られた発泡体のセル径を Fig.3.2.1.1.1.3 示す。結果から PS/ MMA= 3/1, 2/1 のサンプルでは発泡温度の違いによる数平均気泡径の変化に大きな差は見られないが、PS/ MMA= 1/1 においては発泡温度の違いが平均気泡径と数密度に大きな影響を与えていることがわかる。これは、PS/ MMA= 3/1, 2/1 では、PMMA ドメインが PS 中にナノ分散している。従って、40°C という温度条件では気泡の成長が PS マトリクスによって妨げられたことが原因と考えられる。一方、PS/ MMA= 1/1 のサンプルにおいては、40°C の温度条件下では、気泡は、PMMA ドメインサイズの影響をあまり受けることなく成長したため、平均気泡径が発泡温度の変化によって支配的に影響を受けたと考えられる。

発泡温度を固定し、減圧速度を変化させた場合の結果をみると、上述の発泡温度の場合とは逆に PS/ MMA= 1/1 のサンプルでは大きな差は認められず、PS/ MMA= 2/1, 3/1 では平均気泡径・数密度に大きな差が認められる。これも PMMA ドメインが PS マトリクス中にナノ分散していることが原因といえる。すなわち、減圧速度を増加させることにより、サンプル内部の過飽和度が急激に大きくなる。増大した過飽和度により気泡の生成が促進されるが、PMMA ドメインが大きい PS/ MMA= 1/1 のサンプルでは気泡の合一がドメイン内部で起こるため、気泡数と気泡径に差は生じなかったと考えられる。一方、PS/ MMA=3/1, 2/1 では PMMA ドメインが PS マトリクス中でナノ分散しかつそのサイズも小さいため気泡の合一が妨げられ、かつ過飽和度の上昇により気泡生成が促進された効果が大きく現れたものと考えられる。

(E)膜から成形体へ

19年度後半から20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て、薄膜だけではなく、ある厚みをもった成形体を得ることを試みた。また、ナノセルラーのみでは、バルクの発泡率が下がり、熱伝導度が高くなるため、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度をさらに低減させる発泡体の創製手法を検討した。結果、次のような手法で、マクロとナノのスケールの気泡が混在バイモーダルな気泡径分布を持つ発泡体の作製できることが明らかとなった。

PSとモノマーであるMMAの溶液をオートクレーブに仕込み、二酸化炭素でパージした後、所定の温度まで上げ、その後、オートクレーブ内に炭酸ガスを注入して圧力を所定レベルまで上げ、ポリマーに炭酸ガスを溶解させる。MMAの重合反応を促進したのち、減圧することにより発泡体を作製する。Fig.3.2.1.1.1.5、およびFig.3.2.1.1.1.6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)の様相が観測された。マイクロセルラーは、気泡径およそ10~20 $\mu\text{m}$ のもので、そのマイクロセルラーの気泡の壁にナノスケールの微粒子(空隙のところもある)が観測された。

得られた発泡体の熱伝導度をHotプレート法により測定した。その結果、チャンピオンデータではあるが、0.0293W/(m $\cdot$ K)が測定された。

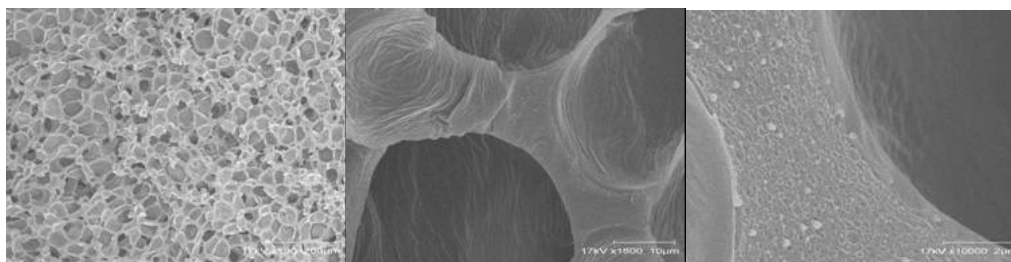


Fig.3.2.1.1.1.5 SEM micrographs of PS/PMMA foam with bimodal cell structure (Magnification X 150 (left)X1500(center) X10000(right) 0.29 g/cm<sup>3</sup> l=0.05682 W/mK

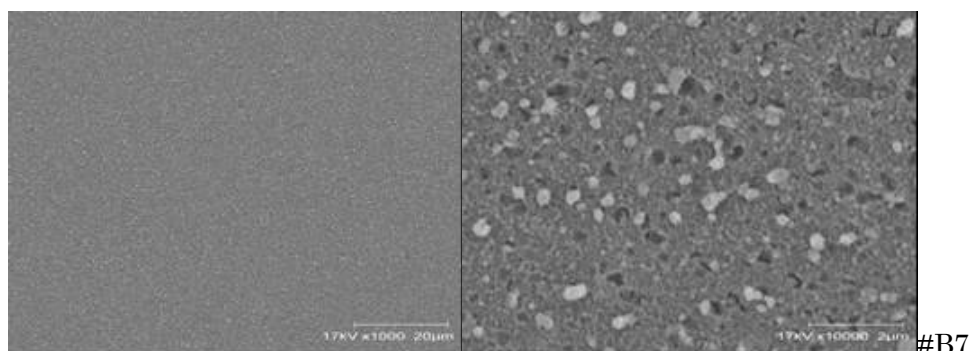


Fig. 3.2.1.1.1.6 SEM micrographs of PS/PMMA foam with nanoscale swollen particles. #B7

## PP/Rubber のマイクロ/ナノセルラー

### (A) 成果の概要

我々は、より汎用的な樹脂において、発泡体の気泡の微細化を進めた。ポリプロピレン (PP) とラバー (PER、HSIS や HSBR など) のブレンド系において、ラバー相が微細に分散されている押出・延伸シートを、炭酸ガスを含浸した後に温度クエンチ法で発泡し、延伸方向に 200-400 nm の大きさの配向した気泡をもつ発泡体を創製している。

### (B) 実施研究の概要

この研究では、工業的に広く用いられているポリプロピレン系樹脂をベースとし、ポリマーブレンドのモルフォロジーを活かした多孔構造制御の可能性を検討する。

具体的には工業的に広く用いられているポリプロピレン (PP) をベースとし、PP とブレンドした際に、PP 中に可視光の波長 (380 nm) 以下に微分散することが可能なスチレン系エラストマー (TPS) に着目し、PP と TPS とのブレンドによる多孔構造制御について検討した。

### (C) 実験方法・使用原料

マトリックス成分 (PP) としてポリプロピレン (日本ポリプロ株式会社製: FY4)。分散相成分としてスチレン系エラストマー (TPS) HSBR: JSR 株式会社製: DYNARON1320P と HSIS を利用した。PP と TPS のブレンド比率が PP/TPS = 75/25wt% の比率となるようにまずドライブレンドしたペレットを  $\phi$ 25mm 同方向2軸押出機 (スクリー L/D=40) に供し、押出温度=200°C、スクリー回転数 120 rpm にて混練し、リップギャップを 1mm に調整した T ダイより熔融押し出す。その後、設定温度=30°C のチラーロールに接触させ、急冷することで厚み=250  $\mu$ m のシートを得た。尚シートスピードは 2 m/min で製膜した。2つの樹脂への CO<sub>2</sub> 溶解度の差が本手法の鍵因子のひとつであるため、以下のようにして、溶解度を測定した。まず、製膜したシートを用い、温度=23°C で 10 分間プレス処理を行い、サンプル形状

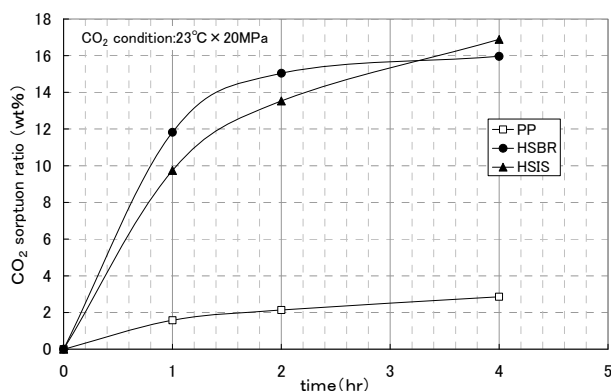
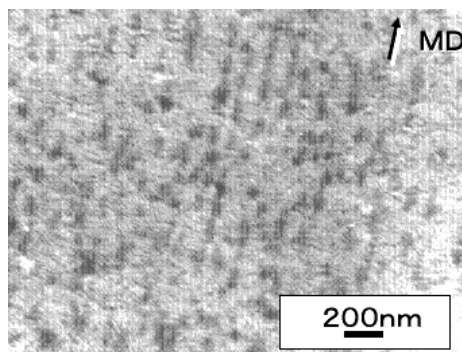
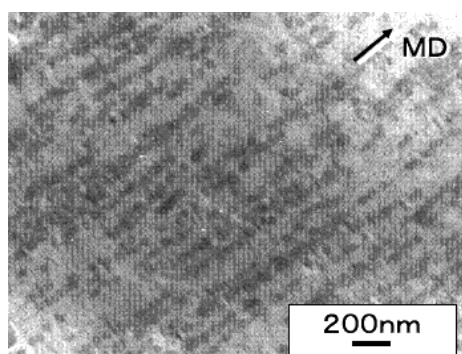


Fig.3.2.1.1.1.8 CO<sub>2</sub> sorption curves of each samples.



(a) PP/HSBR=75/25



(b) PP/HSIS=75/25

Fig.3.2.1.1.1.7 Transmission electron micrograph showing the morphology of (a) PP / HSBR = 75 / 25, and (b) PP / HSIS = 75 / 25.

(縦×横×厚み=30×30×3mm) の試料を作成し、試料をオートクレーブに入れ、23°C、20MPa の条件で各時間含浸した後に急減圧した後の重量減少挙動を電子天秤で測定した。

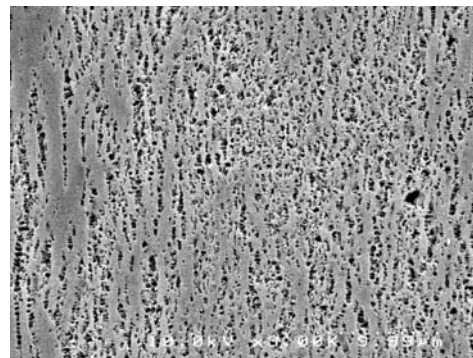
モルフォロジー観察の観察は日本電子透過電顕 JEM-1200EX を使って行った。染色前処理として RuO<sub>4</sub> で気相染色 × 1hr 実施した。加圧電圧は 80Kv、直接観察倍率は ×30,000 で観測した。また、発泡構造の観察は、電界放射型走査電子顕微鏡 (日立製作所 S-4500) で、加速電圧 10 kV、倍率 ×3,000 で実施した。

#### (D)結果と考察

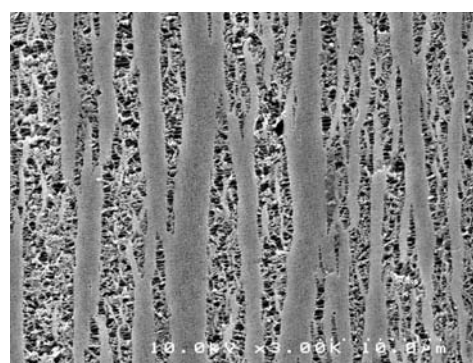
Fig. 3.2.1.1.1.7 に各ブレンドの多孔体断面構造のモルフォロジーを示す。HSBR、HSIS ブレンドとも TPS がナノオーダーで分散していることが確認できる。また、HSIS ブレンド系では HSIS 相は流動方向 (MD) に並んでいる。Fig. 3.2.1.1.1.8 には PP、HSBR、HSIS 単体の CO<sub>2</sub> の溶解挙動を示す。PP に比べ、TPS の方が大幅に溶解度が高いことが確認できる。また、TPS の比較では、HSBR の方が HSIS よりも CO<sub>2</sub> の拡散速度が速いことが確認できる。Fig. 3.2.1.1.1.9 にはそれぞれのブレンドの多孔体断面構造の SEM 観察結果を示す。各ブレンドのモルフォロジーを反映した多孔構造分布となり、サブミクロンオーダーの空孔形成が確認できる。モルフォロジーに見合った多孔構造が形成される原因としては、TPS への CO<sub>2</sub> の溶解度および拡散係数が PP に比べ大きいため、TPS が時間的に過飽和状態となり発泡するためであると考えられる。(E)この課題のまとめ

ポリプロピレンに微分散することが可能なスチレン系エラストマーをブレンドすることで、サブミクロンオーダーの多孔構造を発現できることを明らかにし、モルフォロジーと相関のある発泡多孔構造を形成することが可能であることを確認した。

本研究は、気泡の位置とサイズを制御する技術を検討したものであり、現段階で、熱伝導率の低い断熱材として活用できるものにはなっていない。しかし、モルフォロジーをテンプレートとする考え方、ブレンド体の発泡ガスの溶解度の差を利用して核生成のタイミングを制御する考え方は、今後の断熱材の製造に活かせるものと考えられる。



(a) PP/HSBR=75/25



(b) PP/HSIS=75/25

Fig.3.2.1.1.1.9 Scanning electron micrographs of foamed sample of (a) and (b).

(2) 高バリア性：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

(A) 成果の要約

高断熱性の発泡体の作成法として発泡体の気泡内部に低熱伝導率のガスを封止する新規手法を考案した。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 (HDDA) をポリスチレン(PS)に添加することで発泡体に賦与した。UV 硬化モノマー/PS の均質混合体に CO<sub>2</sub> を溶解させ、さらに UV を照射することで、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> の過飽和を引き起こし、相分離による PS の発泡と同時にガスバリア性の賦与を行い、気泡内部に低熱伝導率のガスを封止した発泡体を作成した。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、熱伝導度 21 mW/(m・K)の発泡体を作成することができた。

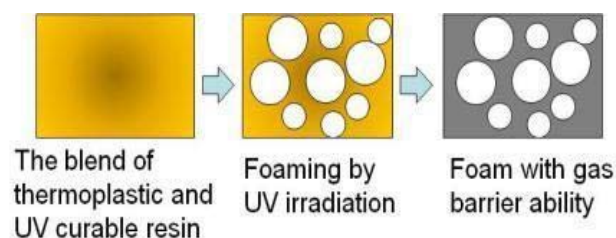


Fig.3.2.1.1.1.10 Preparation method of a cellular structure with gas barrier.

(B) 研究実施内容

この研究では、二官能以上のメタクリレート基を有し、UV 照射により架橋硬化しガスの拡散係数を低下する。具体的には、UV 硬化樹脂 (HDDA) <sup>1-2)</sup>を熱可塑樹脂であるポリスチレン (PS)に添加し、CO<sub>2</sub> を含浸させたその HDDA/PS の混合体に、UV を照射し、発泡 (多孔構造形成) と同時に架橋構造形成によ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 CO<sub>2</sub> を封止した発泡体の新規作成手法を考案した(Fig.3.2.1.1.1.10)。ここでは、発泡に関わる樹脂物性の測定、UV 照射による発泡体のセル構造とガスの封止能力及び断熱特性について報告する。

(C) 実験方法

硬化開始剤 (2-ヒドロキシ-2-メチルプロピオン) 和光純薬) を 5 wt%加えた UV 硬化モノマー(HDDA,1,6-ビス(アクリロイルオキシ)ヘキサン 東京化成)溶液に PS ( $\bar{M}_w = 195,000$  Aldrich) を所定の比率 (HDDA/PS=0~2) で混合し均質溶液を得た。その試料を圧力容器に入れ、CO<sub>2</sub> 圧力 2 MPa、温度 35°C で 24 時間 CO<sub>2</sub> を含浸し、発泡させずに圧力容器より取り出した。その後、直ちに UV 照射装置 (MUV-202UORITEX) にて UV を照射し、発泡体を作成した。作成した発泡体の断面構造は走査型電子顕微鏡(Tiny-SEM テクネックス工房)で観察し、発泡体の熱伝導率は HOTDISK 法熱物性測定装置 (TPA-501 京都電子)により測定した。

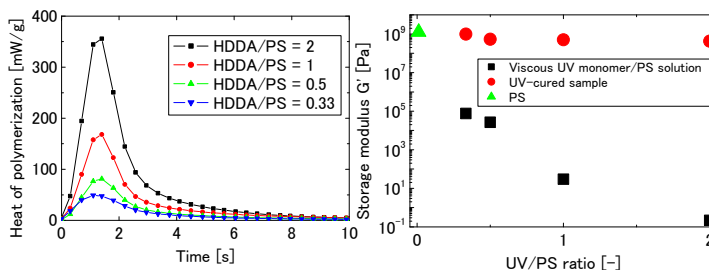


Fig.3.2.1.1.1.11(left) Heat of polymerization measured by Differential Scanning Calorimetry with a UV light source.

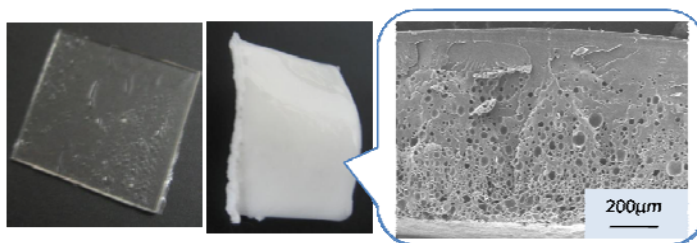


Fig.3.2.1.1.1.12 (right) Storage moduli of non-cured samples and UV cured samples and PS.

Fig.3.2.1.1.1.13 Overviews of pre-foamed and foamed samples, and SEM micrograph of foamed sample. UV light 109 mW/cm<sup>2</sup> at 365 nm, exposure time 60 s



(D) 実験結果と考察

・UV 硬化反応による反応熱

試料に 33.7 mW/cm<sup>2</sup> (365nm) で 1.2 秒間 UV を照射した時に発生する反応熱を Photo-DSC を用いて測定した結果を Fig.3.2.1.1.1.11 に示す。Fig.3.2.1.1.1.11 より全ての HDDA/PS の比率において発熱がみられ、その発熱量は試料中の UV 硬化樹脂の比率が高くなるにつれて大きく、また発熱速度は増加する傾向がみられた。

・ブレンド体の貯蔵弾性率

UV 照射 (109 mW/cm<sup>2</sup> at 365nm 60 s) 前後の試料の貯蔵弾性率 G' を Fig.3.2.1.1.1.12 に示す。全ての HDDA/PS 比率で硬化後の G' は PS と同等までに上昇している。これは UV 照射により、HDDA が重合することに加え、HDDA による PS の可塑化効果が HDDA の重合の進行とともに消失したためと考えられる。

・UV 照射による微細発泡成形

HDDA/PS = 0.5 の試料に CO<sub>2</sub> を含浸後、UV を照射し作成した発泡体の外観写真と断面の SEM 写真を Fig.3.2.1.1.1.13 に示す。比較のために、Fig.3.2.1.1.1.13 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、Fig.3.2.1.1.1.13 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。

・UV 照射条件による発泡への影響

UV 照射強度を 33.7, 61.7, 109 mW/cm<sup>2</sup> の 3 通りに変え、UV を 60 秒間照射した結果を Fig.3.2.1.1.1.14 の(a)(b)(c)に示す。また、UV 照射強度を 109 mW/cm<sup>2</sup> に保ち、UV 照射を 2, 5, 60 秒間の 3 通りに変えて実験を行った結果を Fig.3.2.1.1.1.14 の(d)(e)(f)に示す。それぞれの平均気泡径と気泡数密度の解析結果を Fig.3.2.1.1.1.15 に示す。UV の照射強度を増加すると平均気泡径は 20 μm 程度まで減少し、気泡数密度は 1.0×10<sup>8</sup> 個/cm<sup>3</sup> まで増加した。UV の照射強度が増加すると開始剤の開裂が促進され重合速度が増加する<sup>3)</sup>。そのため重合速度が増加し、試料の温度上昇が急激になる。その結果、CO<sub>2</sub> の過飽和度が増加して気泡の生成数が増加したと考えられる。同時に重合速度の増加は弾性率の上昇を促し、気泡の成長を抑制し、気泡径を小さくとどめられたと考えられる。また、UV 照射時間を 2 秒から 5 秒と増加させると平均気泡径は 20μm まで減少し、気泡数密度は 1.5×10<sup>8</sup> 個/cm<sup>3</sup> まで増加した。しかし、UV 照射時間をさらに 5 秒から 60 秒に変更しても平均気泡径と気泡密度には大きな変化は見られなかった。このことより、UV 照射時間を長くすれば気泡生成を促し、気泡径を小さくできるが、UV 硬化反応の大部分は短時間(本実験では 5 秒まで)で

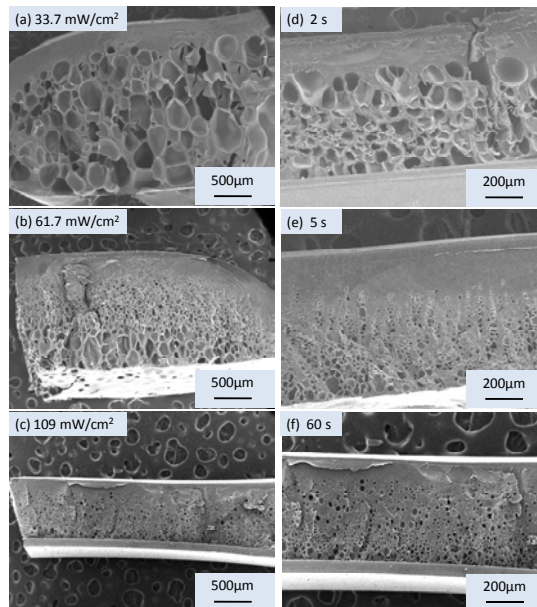


Fig. 3.2.1.1.1.14 SEM micrographs of photo-induced foaming of UV monomer (HDDA) /PS = 0.5. (a) 33.7, (b) 61.7 and (c) 109 mW/cm<sup>2</sup> at 365 nm for 60 s, 109 mW/cm<sup>2</sup> at 365 nm for (d) 2, (e) 5 and (f) 60 s

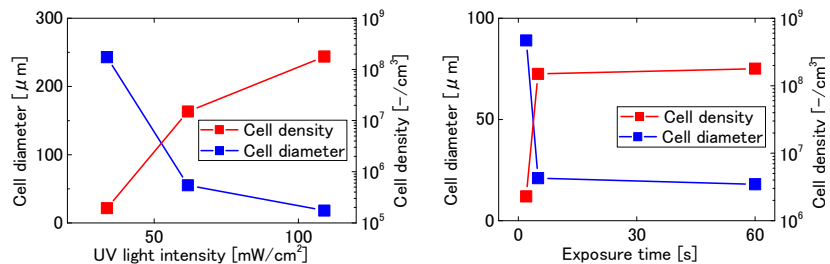


Fig. 3.2.1.1.1.15 Effects of light intensity (left) and exposure time (right) on cellular structure

終わるためそれ以上 UV 照射を続けても発泡体の構造に変化が起こらないことがわかった。

・架橋構造が CO<sub>2</sub> の拡散に及ぼす影響

UV 照射で発泡した試料と CO<sub>2</sub> 含浸後に発泡させずに大気に曝した試料の重量の経時変化を比較した結果を Fig.3.2.1.1.1.16 に示す。UV 照射で発泡させた試料は HDDA の架橋によって試料内における CO<sub>2</sub> の拡散が低下し、重量減少が緩慢になっている。

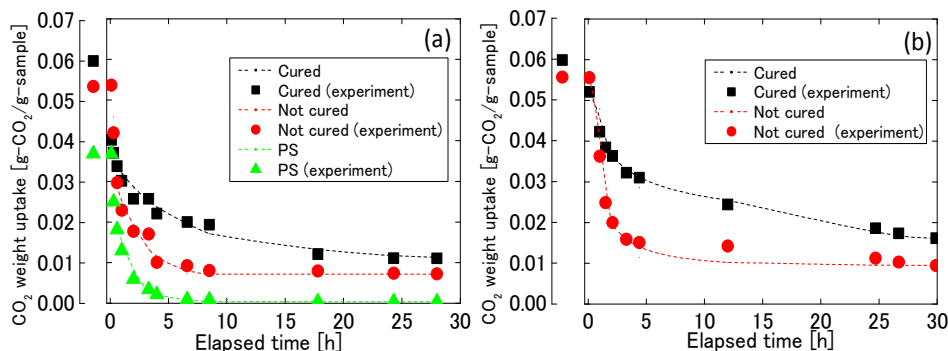


Fig. 3.2.1.1.1.16 Effect of cross-linking on CO<sub>2</sub> diffusivity, for HDDA/PS = (a) 0.5 (b) 0.33.

・熱伝導率の測定

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 Fig.3.2.1.1.1.17 に示す。発泡後 200 時間経過しても試料の熱伝導率は 21 mW/(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 16 mW/(m·k) の CO<sub>2</sub> を封入できたためであると考えられる。

Fig.3.2.1.1.1.18 は、本課題で利用したホットディスク法で測定した他のサンプルと本試作サンプルの熱伝導度の比較である。明らかに有意な差が出ているといえる。

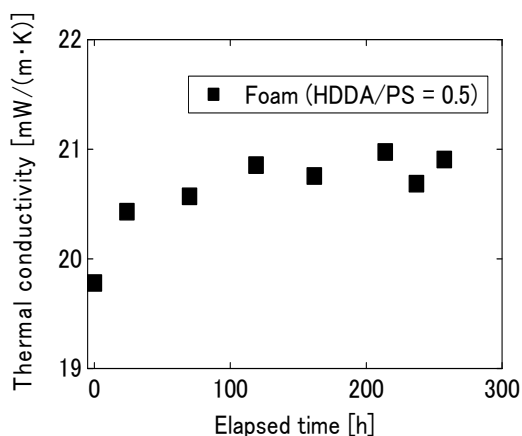


Fig. 3.2.1.1.1.17 Thermal conductivity of photo-induced foam.

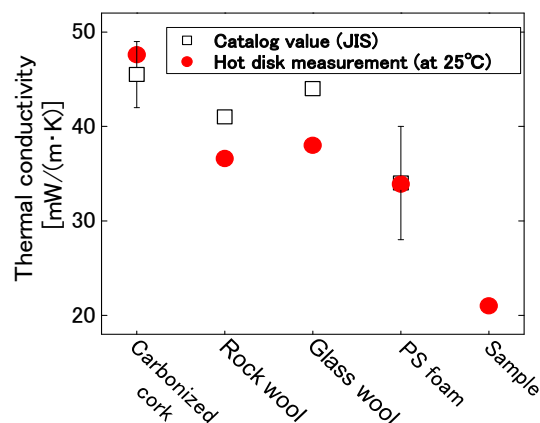


Fig.3.2.1.1.1.18 Thermal Conductivity of several materials

(E) この課題のまとめ

CO<sub>2</sub> を含浸した UV 硬化モノマー (HDDA) と PS の混合物に UV を照射し、硬化と発泡を同時に行う手法を開発した。この結果、架橋硬化反応により発泡体内部での CO<sub>2</sub> の拡散性を低下させ、熱伝導度 24 mW/(m・K) 以下の高断熱発泡体を作成できた。

参考文献

- 1) Masamitsu, S., Kazuyuki, M. and Haruyuki, O.: Chem.Mater, (20), 1971-1976 (2008)
- 2) Hidetoshi, k., Tetsuya, I., Kazuhiro, T. and Ken-ichi, O.: Membrane Science, (87), 139-147 (1994)
- 3) Kristi S.A., Cynthia M.W. and Christopher N.B: Polymer Volume 35, (15), 3243-3250 (1994)

(3) 低熱伝導空間の導入：中空カプセル・中空ファイバーによる

発泡体構造中への低熱伝導空間の導入のための基礎技術

(3-1) 低熱伝導空間を有するカプセルまたはファイバーの作製 (山形大学)

(A) 成果の概要

中空ファイバーまたはカプセルを作製するために二重円筒ノズルを作製し、二重円筒ノズルの外殻から PVA 水溶液、内殻から空気あるいは二酸化炭素をそれぞれシリンジポンプで押し出した。その結果、写真のようなフォームが作製できた。空隙率が、99% と非常に高いものが作製でき、熱伝導率も 0.030W/(m・K) より低いものが得られた。

(B) 実施研究内容

二重円筒ノズルによって外側のノズルに溶液、内側のノズルに気体を吐出することで溶液中に気泡を膨らませた後、その溶液を気泡が含まれた状態で堆積させ、溶液の溶媒を乾燥させる事で作製する方法で発泡体を作製した。ここでは気体の種類や流量等の気泡体に影響を及ぼす基体特性についてさらなる検討を実施した。

(C) 実験

試料には重量平均分子量が約 4 万のポリビニルアルコール (PVA) 水溶液を使用した。溶液濃度は 20wt% を使用し、気泡体へ封入する気体には窒素、二酸化炭素、アルゴンの 3 種類を用いて実験を行った。また、内側のノズルから吐出する気体流量の影響を調査するため、溶液流量を固定して実験を行った。同様に外側のノズルから吐出する溶液流量の影響は気体流量を一定にして実験を行った。ノズル先端の気泡の挙動は CCD カメラで観察した。得られた気泡体セルの平均気泡径は、実体顕微鏡を用いて撮影した画像の解析から算出した。

(D) 結果と考察

気体の種類が気泡体形状に与える影響を調べた。二酸化炭素を用いた場合には、窒素やアルゴンを用いた場合よりも径が減少し、気泡体セルが均一に配列した、また二酸化炭素で作製された気泡体は薄いフィルム状であるのに対し、窒素、アルゴンで作製された気泡体は 3 次元であった。二酸化炭素は窒素やアルゴンよりも水への溶解量が多いため、ノズル先端で気泡中へ封入された二酸化炭素が溶液中に溶解することで、気泡中の気体量が徐々に減少し気泡の径が減少すると考えられる。気体の種類により気泡体がフィルム状と 3 次元のというように違っていたのは、二酸化炭素を用いた場合、気泡の径が減少し、表面積が小さくなるため乾燥が遅くなり気泡体が重力の効果により広がりながら流動するためフィルム状になったと考えている。また、溶液流量が増えるにつれ平均径が減少した。これは、溶液流量が増加することで、ノズル先端で作成される気泡の中の単位体積あたりの気体量が減少し、ノズル先端の気泡径が減少するため、気泡体の平均径が減少するためであると考えられる。こ

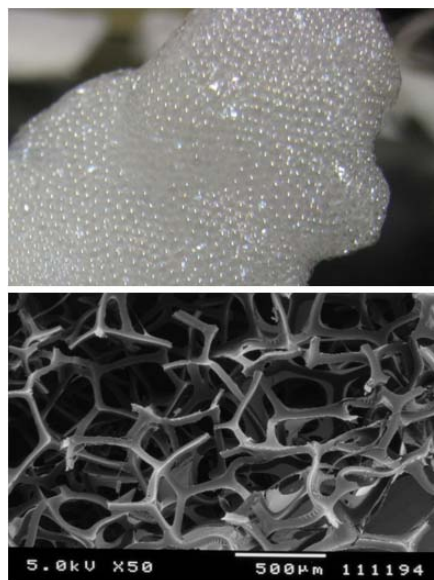


Fig. 3.2.1.1.19 Foams prepared by a coaxial nozzle.

のように、この方法で作製される気泡体はノズル先端で作成される気泡中の気体の種類と、気体と溶液の流量に依存する事が分かった。

(E) 熱伝導度の測定

作製された発泡体の熱伝導度を京都大学で開発した熱伝導度測定装置で、測定した。その結果、表のような値を得た。表面形状の粗さから測定にかなりの誤差が伴うが、熱伝導度として、低いものが得られている。空隙率が非常に高いものが作製できるのが本手法の魅力であり、PVA から光硬化性樹脂に変えることにより、バリア性を持たせた低熱伝導度断熱フォームが作れる可能性がある。

サンプル名	ガス	密度	空隙率	熱伝導率
A-1	N <sub>2</sub>	0.011	99.1	23.8* 表面凹凸有 誤差有
A-2	N <sub>2</sub>	0.006	99.5	23.45* 表面凹凸有 誤差有
B-1	CO <sub>2</sub>	0.124	90.2	36.31
B-2	CO <sub>2</sub>	0.242	80.7	59.79

\* 測定誤差の存在

(3-2) 低熱伝導空間を有するカプセルまたはファイバーの作製 (京都大学)

(A) 成果の概要

我々は、金属アルコキシドと有機溶媒の混合液に水を噴霧し、水とアルコキシド溶液の界面においてアルコキシドを加水分解、重縮合させるという新規な金属酸化物中空微粒子合成法を考案し、静電紡糸法を組み合わせ、発泡核剤として利用可能な、中空構造を持ったチタニアファイバーを創製した。

(B) 実験内容

実験装置の概略図を Fig. 3.2.1.1.1.20 に示す。シリンジにポリエチレングリコール (PEG) 水溶液を入れ、3.77 mL/h で定常供給しながら、シリンジ先端に設置した針 (内径:0.80 mm) に高電圧 (10 kV) を印加すると、12 cm 下方に設置されたアース平板 (銅板) 上のアルコキシド溶液中に PEG 水溶液が静電紡糸される。静電紡糸された PEG 水溶液中の水分とアルコキシドが加水分解・重縮合反応を起こし、金属酸化物のファイバーが生成すると考えられる。本研究では、アルコキシド溶液として、濃度 1 M のチタンテトライソプロポキシド (TTIP) /ヘキサン溶液 20 mL を用いた。また、PEG 水溶液は濃度 0.1 ~ 5 wt%、分子量 500,000 ~ 4,000,000 の範囲で変化させて実験をおこなった。PEG 水溶液が供給されると、TTIP 溶液中ですぐに白色の生成物が観察される。この生成物を濾過により回収し、TTIP と空気中の水分との反応を防ぐためにヘキサンで洗浄し、90 °C で乾燥させた。得られた試料の形態を SEM により観察した。

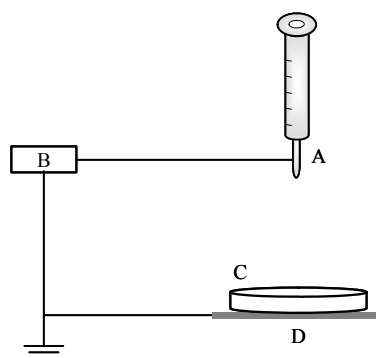


Fig 3.2.1.1.1.20 Schematics of experimental apparatus (A: stainless needle, B: high voltage power supply)

### (C) 実験結果と考察

5wt% PEG (500,000) 水溶液を TTIP 溶液中に静電紡糸し、得られたチタニアの SEM 像を Fig. 3.2.1.1.1.21-a) に示す。サブミクロン径の中空ファイバーが観察できる。TTIP 溶液に糸状の PEG 水溶液が射出されたことで、水-油界面で TTIP の加水分解反応が起こり、界面付近で反応が終了したために中空構造が得られたと考えられる。比較のため、同じ PEG 水溶液を基板の上に静電紡糸し、室温で乾燥して得られた PEG ファイバーの SEM 像を Fig. 3.2.1.1.1.21-b) に示す。サブミクロン径のファイバーが観察できる。また Fig. 3.2.1.1.1.21-b) に示した PEG ファイバーの直径は 3.2.1.1.1.21-a) のチタニア中空ファイバーの外径よりもやや細い。チタニア中空ファイバーの場合、射出された PEG 水溶液中の水がチタニア殻形成に使われるが、PEG 水溶液を静電紡糸した 3.2.1.1.1.21-b) では、水分は全て蒸発するので 3.2.1.1.1.21-a) よりも細くなったのだと考えられる。3.2.1.1.1.21-a) のチタニア中空ファイバーを 500 °C で 2 h 焼成し、得られた生成物の SEM 像を Fig. 3.2.1.1.1.21-c), d) に示す。焼成により PEG が焼失したことで、3.2.1.1.1.21-a) に比べて 3.2.1.1.1.21-c) ではファイバーの収縮が見られるが、拡大した SEM 像 (Fig. 3.2.1.1.1.21-d) から、焼成しても中空構造が維持されていることがわかる。

濃度を 2 wt% にした PEG (500,000) 水溶液を TTIP 溶液に射出し、得られた生成物の SEM 像を Fig. 3.2.1.1.1.22 に示す。先ほどの 5 wt% PEG 水溶液とは異なり、生成物はファイバーではなく粒子になっている (Fig. 3.2.1.1.1.22-a))。粒子を拡大した SEM 像 (Fig. 3.2.1.1.1.22-b)) からは、粒子が中空構造をしていることがわかる。PEG 水溶液の濃度が小さくなったことで、PEG 水溶液の粘性が低下する。そのため PEG 水溶液が曳糸性を失い、静電噴霧されたために、生成物の形態はファイバーから粒子へと変化したと考えられる。

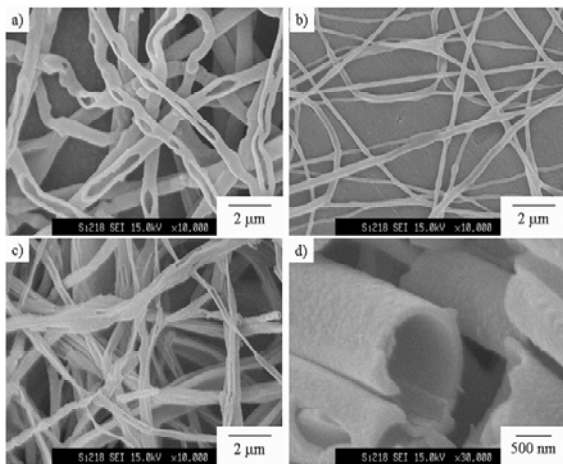


Fig.3.2.1.1.1.21 SEM images of resultant structures. (a) titania fiber prepared by electrospinning PEG aqueous solution into TTIP/hexane solution, (b) electrospun PEG fiber, (c) calcined fiber of (a), and (d) magnification of (c)

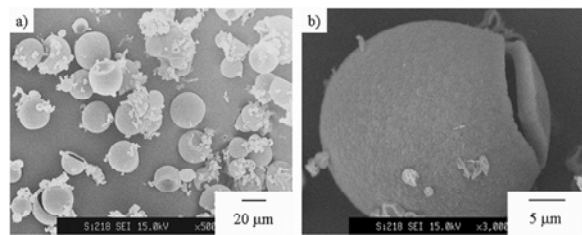


Fig.3.2.1.1.1.22 SEM images of resultant hollow particles prepared by electrospinning of 2 wt% PEG(500,000) aqueous solution.

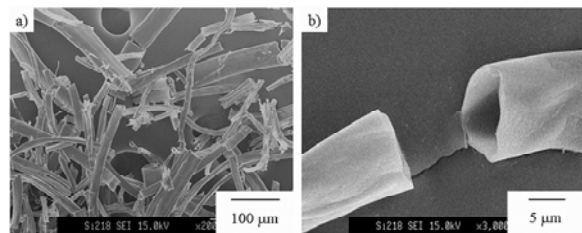


Fig.3.2.1.1.1.23 SEM images of resultant hollow fibers prepared by electrospinning of 5% PEG(2,000,000) aqueous solution.

分子量 2,000,000 の 5 wt% PEG 水溶液を TTIP 溶液に射出し、得られた生成物の SEM 像を Fig.3.2.1.1.1.23 に示す。Fig.3.2.1.1.1.23-a), b) の SEM 像から、分子量が 500,000 の場合と同様に、生成物は中空ファイバーである。しかし、そのファイバー径は数十ミクロンであり、PEG (500,000) の場合と比較して、太くなっている。これは静電紡糸の際の PEG 水溶液の射出形状が原因であると考えられる。分子量が 500,000 の場合、静電紡糸された PEG 水溶液は TTIP 溶液に供給される前に電荷により分裂するために径がサブミクロンまで細くなっているが、分子量が 2,000,000 では分裂が起きず、PEG 水溶液が 1 本の糸状になり TTIP 溶液に入っ

ていく様子が観察された。そのため、数十ミクロンの太いファイバーが生成したと考えられる。

PEG 水溶液の濃度を 0.1 ~ 5 wt%、分子量を 500,000 ~ 2,000,000 の範囲で変化させて実験を行い、得られたチタニアの形態をまとめたものを Fig.3.2.1.1.1.24 に示す。全体的な傾向として、低濃度・低分子量であれば粒子が得られ、高濃度・高分子量であればファイバーが得られた。サブミクロン径のチタニア中空ファイバーが得られたのは 5 wt% PEG (500,000) の場合のみであった。高分子の絡み合い作用が小さいと静電噴霧になり粒子形状が得られる。また逆に絡み合い作用が大きいと、1本の糸のようになって PEG 水溶液が供給されて太いファイバーが得られる。PEG 水溶液の分子量・濃度を変化させ、チタニアの形態を制御できる可能性が示唆された。

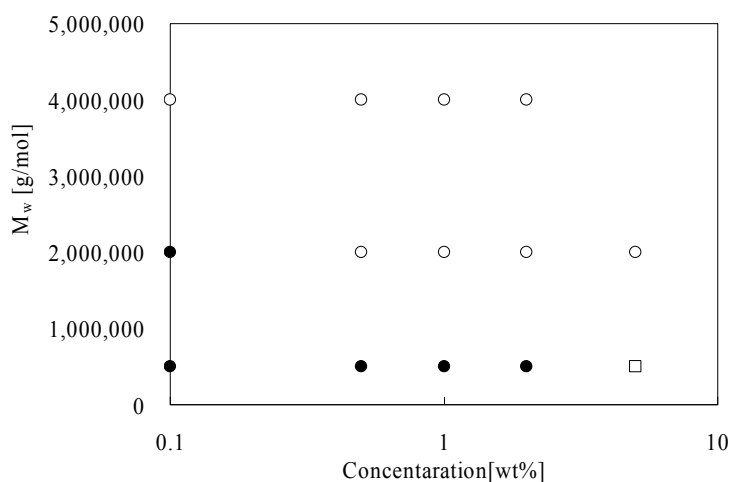


Fig.3.2.1.1.1.24 Effects of molecular weight (Mw) and concentration of PEG on products shape. (●)particles, (○)fibers and (□) thin

#### (D) この課題のまとめ

本課題研究中で開発したように、金属酸化物中空微粒子合成法と静電紡糸法を組み合わせることでチタニア中空ファイバーが作製できた。射出する PEG 水溶液が低濃度・低分子量であれば中空粒子、高濃度・高分子量であれば中空ファイバーが得られた。

作製した中空ファイバーを熱可塑性樹脂と溶融混練ならびに溶媒混練の 2 種類の方法で混ぜ、発泡体を作製する実験を進めている。現状、ファイバーの樹脂中での分散性が低いという問題があり、表面改質等の手法で、樹脂との親和性を改質し分散性を向上する必要がある。

#### Reference

- [1] S. Nagamine et al, *Mater. Lett.* **61** (2007) 444.
- [2] S. Nagamine et al, *Powder Technol.* In press

#### (4) 熱伝導度測定装置の開発と測定

左の写真に示すような熱伝導 JIS A1412-1 GHP (Guarded Heater Plate 法) に準拠して設計・製作し、作製されたサンプルの熱伝導度を測定した。測定結果の一例を Fig. 3.2.1.1.1.26 に示す。



Fig.3.2.1.1.1.25 熱伝導度測定装置

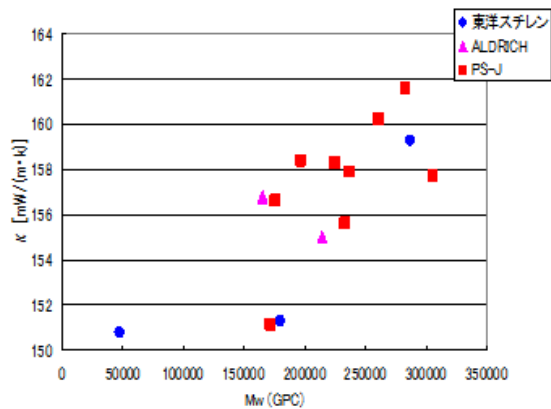


Fig.3.2.1.1.1.26 測定例

(5) 研究成果総括

上述した、研究の成果をまとめると、次の表のようになる。

課題	目標	成果	達成度	今後の課題
1) ナノセルラー発泡体の創製など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 <b>微細孔化</b>	ナノセルラーの実現 気泡の位置とサイズの制御技術の概念の提示と実証	①PS-b-PMMA で 40nm, ②PP/rubber で 100nm ③ PS/PMMA の IPN 構造でマイクロ/ナノ気泡構造 $\lambda=0.0298 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	◎	気泡セルサイズをナノに保った上で空隙率をさらにあげる技術・マイクロとナノのハイモダルな気泡径の分布制御技術の確立
2) 高バリア性（低二酸化炭素透過性・真空度高保持能力）をもった発泡体の開発 <b>高バリア性</b>	硬化性樹脂のモノマーや架橋反応を起こすポリマーをブレンドして、CO <sub>2</sub> 透過性を低減させ、CO <sub>2</sub> を発泡体内に封じこめる。	UV 硬化性モノマーと PS を混合体を発泡の後、UV 照射しバリア膜を作り CO <sub>2</sub> 透過性を軽減する。 $\lambda=0.021 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	◎	大面積の発泡体を作る技術に昇華
3) 中空カプセル・ファイバーによる発泡体構造中への低熱伝導空間の導入技術の開発 <b>低熱伝導空間+高空隙率</b>	低熱伝導物質をコア材としてもつ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。	①二重管紡糸により CO <sub>2</sub> を含んだ発泡体を作製 $\lambda=0.0238 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ②静電紡糸法により TiO <sub>2</sub> 中空ナノファイバーを作製	○	①機械的強度向上 ②発泡体中での分散性の向上あるいは表面偏析技術

さらに、成果の達成可能性について、次のようにまとめる。

研究課題	最終目標（平成23年度末）	達成見通し
①ナノセルラー発泡体の創製など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 <b>微細孔化</b>	ナノセルラーの実現（20年度達成） 気泡の位置とサイズの制御技術の概念の提示と実証（2・3成分系については20年度に達成） 熱伝導度 $\lambda=0.024 \text{ W/mK}$ を実現する	ナノセルラーの創成手法の概念の正当性は確認済み。樹脂の選択ならびに他の概念との組み合わせにより空隙率を85%以上になるような高い発泡率を実現し達成可能
②高バリア性（低二酸化炭素透過性・真空度高保持能力）をもった発泡体の開発 <b>高バリア性</b>	CO <sub>2</sub> 透過性を低減させ、CO <sub>2</sub> を発泡体内に封じこめ、経年変化の少ない熱伝導性をもつ発泡体を創成する。 初期値で熱伝導度が $\lambda=0.024 \text{ W/mK}$ のものを実現する	現在の手法では、量産化に問題あり、UV樹脂の選定、二酸化炭素の含浸法を改良することにより達成を目指す。
③中空カプセル・ファイバーによる発泡体構造中への低熱伝導空間の導入技術の開発 <b>低熱伝導空間+高空隙率</b>	低熱伝導物質をコア材としてもつ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。	中空ナノファイバーの分散性に問題があり、表面の改質により分散性をあげる。CO <sub>2</sub> を含むカプセルを光感光性樹脂等で作製することにより、検討し達成を目指す。



(6) 成果

Table 3.2.1.1.1.2 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) (国内)	研究発表・講演 (口頭発表含む) (国外・査読有)	論文 (査読有)	受賞実績	その他外部発表 (プレス発表等)
H19FY	0	9	3	1	1	1
H20FY	0	9	6	4	1	0
H21FY	0	2	1	1	0	0

### 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。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

フルオロオレフィン A 及び B について合成法を調査したところ、合成法特許が公開されていることがわかった。このため、この 2 化合物についてはこの特許を公開した企業からこの 2 化合物について試料提供を受け、各種評価を進めた。

フルオロオレフィン C について、還元反応による合成法と、脱 HF 反応による合成法が知られている。前者は還元剤としてヒドリド化合物を用いるため高価で量産が不向きなこと、過剰に還元された副生物が生成することから、後者の脱 HF による合成法を検討した。

まず小スケールで脱 HF 反応の条件を種々検討し、従来法よりも高い収率で C を得ることに成功した。この脱 HF 反応においては、目的物以外にその異性体が副生成物として生じることから、この副生成物を異性化して目的とする化合物に変換する方法を検討した。その結果、触媒を用いて、この副生成物を定量的に目的物に変換できることを明らかにした。

さらに、この反応のスケールアップを検討し、脱 HF 反応、異性化反応それぞれについて反応条件、触媒、反応装置を検討することで数十 g までスケールアップを行うとともに、生成物を蓄積して約 1kg の試料を製造し、各種評価を進めた。

フルオロオレフィン D について、中間原料である E の合成と、E の還元による D の合成それぞれについて検討を進めた。

E の合成については、原料 G に対して塩化フッ化アルミニウムを作用させることにより E が得られることがわかり、さらにフロー法による効率化にも成功した。

E の還元による D の合成については、検討の結果、パラジウム系触媒を用いた水素還元をフロー式反応で行うことにより転化率 95%以上、選択率 90%以上で D を合成することができた。得られた生成物を蒸留精製することにより、純度 99%以上の試料を得ることができた。これらの製造法により約 1kg の試料を製造し、各種評価を進めた。

##### (2)有力候補の効率的合成法開発

発泡剤候補化合物の実用化を考えると、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。このため、本研究開発の目標の一つとして、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挙げている。ここでは、中間目標時まで選定された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。

後述するように、不燃、あるいは燃焼性が低く大気寿命も短いことが期待され、発泡体形成も確認している化合物があることから、今後、当面これらの化合物を対象として効率的合成法を検討する予定である。

##### (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 Ar の測定例を図 3.2.1.2.1.1 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、Ar 以外にも N<sub>2</sub>、HFC-245fa でも同様に良好な直線部分が認められた。また、測定した熱伝導率の値は文献値とほぼ一致する結果が得られたことから、候補化合物の気体熱伝導率測定の目的を得た。そこで、D について測定を試みたところ、概略値ではあるが気体熱伝導率は約 14 mW/(m・K)であり、HFC-245fa と同程度であることがわかった。

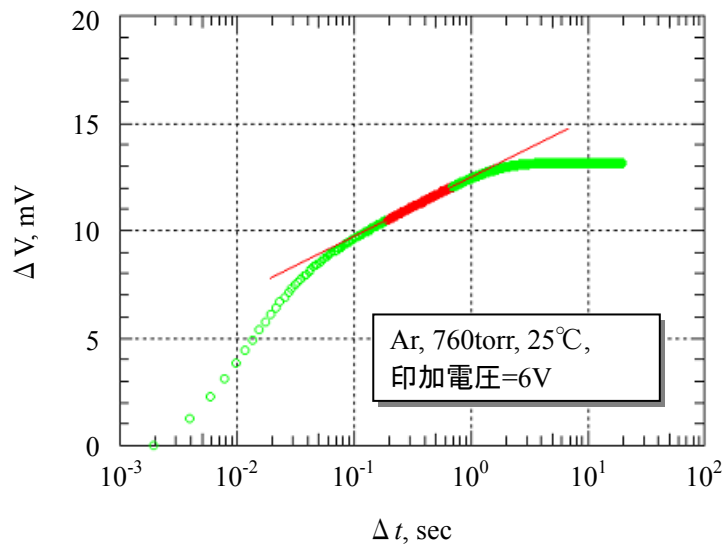


図 3.2.1.2.1.1 気体熱伝導率の測定例

#### (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。

試験方法として、25°C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。フルオロオレフィン類ばかりでなく、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。

以下の表 3.2.1.2.1.1 に、評価対象化合物のポリオールへの溶解度を示す。

表 3.2.1.2.1.1 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.%)		
	ポリオール(1)	ポリオール(2)	ポリオール(3)
A	> 40	> 40	< 5
B	> 40	> 40	< 5
C	> 40	> 40	< 5
D	> 40	> 40	< 5
E	> 40	5~10	< 5
F	< 5	5~10	< 5
G	< 5	< 5	< 5
H	25~30	< 5	< 5
I	< 5	5~10	< 5
HFC-245fa $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CHF}_2$	> 40	> 40	20~30
cyclopentane $\text{C}_5\text{H}_{10}$	> 40	25~30	< 5
n-pentane $\text{C}_5\text{H}_{12}$	5~10	10~15	< 5
i-pentane $\text{C}_5\text{H}_{12}$	20~25	10~15	< 5

その結果、フルオロオレフィン類 4 化合物について、ポリオールへの溶解度は HFC-245fa、シクロペンタン cyclopentane とほぼ同等であることがわかった。

#### (5)実用性評価

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が発泡剤として使用できるか否かを確認するため、これらを用いた発泡体製造の試みを行うこととした。

発泡剤としてフルオロオレフィン C、D、および HFC-245fa、システム液として、ポリオール、触媒、整泡剤、水、発泡剤の混合物 (HFC245fa の場合は重量比 100:2:2:4:35、他の場合もこれに準ずる) を用いた。

発泡条件は、500ml カップにシステム液とイソシアナートを混合して攪拌用ミキサーで室温、3000rpm で 5 秒攪拌した。結果を表 3.2.1.2.1.2~3.2.1.2.1.4 に示す。

表 3.2.1.2.1.2 C を用いた発泡体製造の試み

発泡剤	C		
イソシアナート	イソシアナート(1)	イソシアナート(2)	イソシアナート(3)
水(ポリオールに対する重量比、%)	1.5	1.5	1.5
フォーム外観等	セルサイズ細かい、僅かに不均一	セル荒れ、筋	セル荒れ、筋

表 3.2.1.2.1.3 D を用いた発泡体製造の試み

発泡剤	D		
イソシアナート	イソシアナート(1)	イソシアナート(2)	イソシアナート(3)
水(ポリオールに対する重量比、%)	1.5	1.5	1.5
フォーム外観等	セル荒れ、筋、発泡後沈む	セルサイズ細かい、僅かに不均一、発泡後しぼむ	セル荒れ、筋、発泡後大きく沈む

表 3.2.1.2.1.4 HFC-245fa を用いた発泡体製造の試み

発泡剤	HFC-245fa		
イソシアナート	イソシアナート(1)	イソシアナート(2)	イソシアナート(3)
水(ポリオールに対する重量比、%)	4	4	4
フォーム外観等	セルサイズ粗い、均一	セル荒れ、筋	セルサイズ細かい、中心部粗い

この中でフォーム外観が比較的良好であった、発泡剤 C、イソシアナート(1)を用いた発泡体の熱伝導度を測定したところ、 $29.1 \text{ mW}/(\text{m} \cdot \text{K})$ であった。

このように、フルオロオレフィン類を発泡剤として用いて発泡体が形成することが確認されたことから、さらに発泡処方検討を行った。

発泡剤として D、システム液として、ポリオール、触媒、整泡剤、水、発泡剤の混合物（重量比 100:2:2:0~1.5:43）を用いた。

発泡条件は、システム液とイソシアナートを混合して攪拌用ミキサーで室温、6000rpm で攪拌した後、所定の容器に注入した。結果を表 3.2.1.2.1.5 に示す。

表 3.2.1.2.1.5 発泡体製造の検討

No.	1	2	3
ポリオール	ポリオール(1)	ポリオール(2)	ポリオール(2)
水(ポリオールに対する重量比、%)	1.5	1.5	0
攪拌時間 (秒)	7	4	6
CT (秒)	約 30	12	15
RT (秒)	>330	42	49
断面の外観	均一	均一	均一
セルサイズ (最頻値)	~200 $\mu\text{m}$ 以上	80~120 $\mu\text{m}$	70~100 $\mu\text{m}$
セルサイズのばらつき	広い	狭い	狭い
熱伝導率(mW/(m $\cdot$ K))		26.9	28.3

このように、セルサイズが 100 $\mu\text{m}$  程度でサイズのばらつきの少ない発泡体を得ることができ、熱伝導率も 26.9 mW/(m $\cdot$ K)まで向上した。しかし、発泡処方が同じでも、移液する容器の容量を変えただけで熱伝導率の値がばらつくという結果も得られており、発泡体の製造条件としては検討の余地が多分にあると思われる。今後さらにウレタン原料や発泡条件を検討することにより、目標とする断熱性能を持つ発泡体開発の可能性は十分にあると考えている。

#### (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 3 種類の環状化合物について行った。測定結果を表 3.2.1.2.1.6 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、N は現在精製中であるため精製前の試料 (純度 91.5%) を室温 (298K) でのみ測定したが、他の 13 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 15 化合物の中で最も大気寿命の長い A 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 D 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。構造異性体である J と K の場合は、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。CD 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 3.2.1.2.1.6 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	$A, 10^{-12}$ $\text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$E/R,$ K	$k_{298}, 10^{-12}$ $\text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	大気寿命, 日
CHF=CF <sub>2</sub>	2.91±0.41	-290±40	7.67±0.20	2
CHF <sub>2</sub> CF=CF <sub>2</sub>	1.29±0.30	-510±70	7.12±0.31	2
CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	1.36±0.16	60±40	1.11±0.03	12
CH <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	3.44±0.81	-470±70	16.7±0.7	1
CH <sub>2</sub> FCH=CH <sub>2</sub>	2.66±0.61	-460±70	12.4±0.6	1
A	0.652±0.097	750±50	0.0530±0.0015	320
B	0.236±0.068	-130±90	0.371±0.020	35
D	0.496±0.184	10±120	0.480±0.032	28 <sup>a)</sup>
E	0.889±0.118	30±40	0.812±0.020	17
H	1.08±0.36	-600±100	1.30±0.08	10
J	1.57±0.54	25±110	1.44±0.10	9
K	0.727±0.362	-460±160	3.44±0.32	3
L	0.171±0.075	250±140	0.0747±0.0060	190
M	0.234±0.087	60±120	0.192±0.013	71
N			0.135±0.006	>100

誤差範囲は 95%信頼限界 a) GWP(100 年値) : ≤19

## ②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、その評価手法には種々の方法があり、評価結果もさまざまである。地球の気温を産業革命から 2°C以内に抑えることを想定した科学的な評価手法の開発に取り組んできたが、発泡剤の開発においても以下のように取り組んだ。

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、時間軸を基にした計算法でグラフ化することで温暖化の効果を比較可能とした。モデルハウスによる温暖化評価手法の確立に努め、ほぼ評価法骨格を確定した。

この手法を使って評価するために入力データの収集や測定を進めた。発泡ガスの温暖化の強さ、大気寿命等により、既存の発泡断熱材の評価を行い、新発泡剤の評価に備えた。温暖化評価は時間軸を基準とすることから、ワット (W) 評価を用いる TWPG (Total Warming Prediction Graph) を用いた。

以上の手法による評価の一例を図 3.2.1.2.1.2 に示す。

## シナリオによる発泡剤の比較例

● TWPG, CWP calculation for CONCRETE HOUSE with various insulations ●

..... in the case where 1113145 houses are built every year from 1990 for 1500 years

Areas/Cities

Japan, national average (2002)

Service Life 50 years

HDD [K\*d/y] 1023  
GDD [K\*d/y] 423

base temp.  
14°C  
22°C

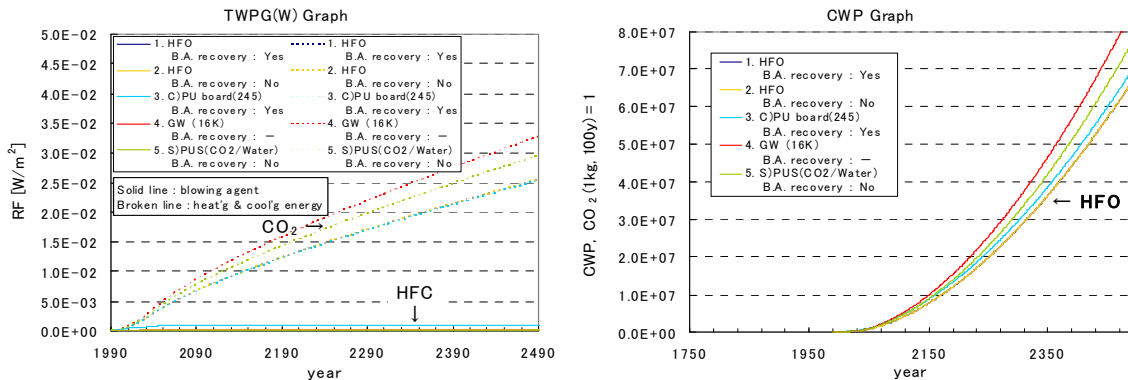
Number of ventilation 0.5 times/h

heating & cooling parameter 1

Insulations	recovery of blowing agent after the use	thickness of insulation			Volume of insulation [m <sup>3</sup> ]	Insulation			usage of blowing agent at the production [kg]	dispersal of blowing agent		remaining blowing agent after the use [kg]	CO <sub>2</sub> emission [kg/y]		
		wall [m]	ceiling (2F) [m]	floor (1F) [m]		specific weight [kg/m <sup>3</sup> ]	thermal conductivity λ [W/mK]	weight at the beginning of the use [kg]		at the production [kg]	1st year of use [kg/y]		2nd year or later of use [kg/y]	heating	cooling
1 HFO	Yes	0.07	0.11	0.10	23.34	32	0.0233	746.82	50.33	7.55	2.14	0.51	15.49	1278.9	277.3
2 HFO	No	0.07	0.11	0.10	23.34	32	0.0233	746.82	50.33	7.55	2.14	0.51	15.49	1278.9	277.3
3 C)PU board(245)	Yes	0.07	0.11	0.10	23.34	29.9	0.0227	697.81	58.77	2.84	0.11	0.11	48.54	1288.1	275.0
4 GW (16K)	No	0.07	0.11	0.10	23.34	16	0.0450	373.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1641.5	358.0
5 S)PUS(CO <sub>2</sub> /Water)	No	0.07	0.11	0.10	23.34	60	0.0350	1400.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1481.1	321.2

[Insulations] PU: polyurethane spray, PUS: polyurethane spray, RW: rock wool, GW: glass wool

[Blowing Agents] 141: HFC-141b, 245: HFC-245fa



HFO is the most environment-friendly foam blowing agent even in the non-recovery case

図 3.2.1.2.1.2 種々の発泡剤で作った断熱材に置き換えた場合の温暖化比較

現在、この方法で発泡剤の温暖化評価は可能であるが、新発泡剤の特性、環境データが得られ次第評価する。また、環境データを最新の値に修正すること、ワット以外の分かりやすい評価への取り組み、更に分かりやすい新評価手法も視野に入れて総合温暖化評価指標の構築を進めている。

### (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 3.2.1.2.1.7 に示した 13 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て測定を行った。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。

この結果、鎖状の不飽和化合物の場合、C3 では水素原子が 1 個以下では不燃、C4 では水素原子が 2 個でも不燃であることが分かった。一方、環状の不飽和化合物の場合、C4 では水素原子が 1 個でも可燃、C5 では水素原子が 1 個で不燃であることが分かった。



表 3.2.1.2.1.7 不飽和化合物の燃焼限界の測定結果 (vol%)

化合物		下限界	上限界
CF <sub>3</sub> CF=CF <sub>2</sub>	wet	不燃	
CF <sub>3</sub> CH=CF <sub>2</sub>	wet	不燃	
(Z) CF <sub>3</sub> CF=CHF	wet	不燃	
CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	dry	6.7	11.7
	wet	5.5	13.0
CF <sub>3</sub> CH=CHF	dry	不燃	
	wet	5.86	12.8
CH <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	dry	2.52	11.6
A	wet	不燃	
B	wet	不燃	
C	dry	6.5	15.8
	wet	5.0	15.4
D	wet	不燃	
E	wet	不燃	
F	wet	不燃	
N	dry	5.6	9.0
	wet	3.80	9.5

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3.2.1.2.1.3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、CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>は飽和炭化水素であるC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(40.9 cm/s)に比べて遥かに大きい。CH<sub>2</sub>=CHCH<sub>3</sub>の燃焼速度はC<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(38.7cm/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、CH<sub>2</sub>=CHF、CH<sub>2</sub>=CF<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>=CFCHF<sub>2</sub>、及びCH<sub>2</sub>=CHCF<sub>3</sub>について、56.1、27.8、19.8、及び14.1cm/sであり、CH<sub>2</sub>=CHF及びCH<sub>2</sub>=CF<sub>2</sub>の燃焼速度はCH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>よりもそれぞれ約20%、及び60%低下した。また、CH<sub>2</sub>=CFCHF<sub>2</sub>、及びCH<sub>2</sub>=CHCF<sub>3</sub>についても、CH<sub>3</sub>CH=CH<sub>2</sub>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。

CH<sub>2</sub>=CF<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>=CFCHF<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>=CHCF<sub>3</sub>については、何れも分子内のフッ素置換率F/(H+F)=0.5である。これらの値を、同じF/(H+F)を有する飽和フルオロアルカン(CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、6.7cm/s；CH<sub>2</sub>FCHF<sub>2</sub>、13.1cm/s；CH<sub>3</sub>CF<sub>3</sub>、7.1cm/s；CH<sub>2</sub>FCH<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>、9.5cm/s)と比較すると、同じF/(H+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。

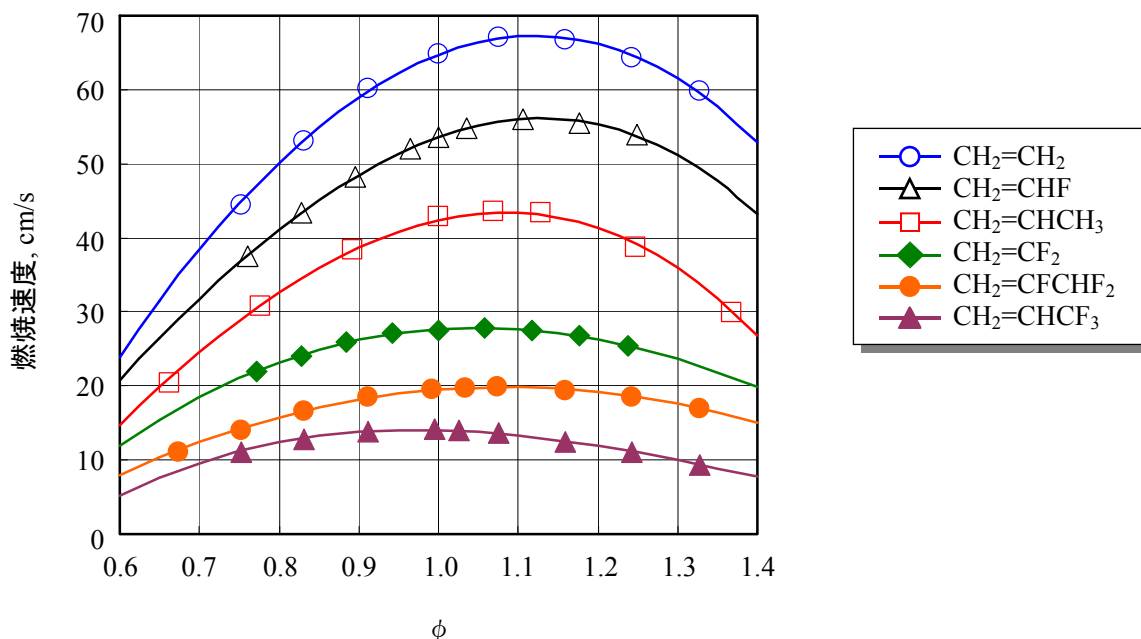


図 3.2.1.2.1.3 フルオロオレフィンの燃焼速度の濃度（当量比  $\phi$ ）依存性

## ②毒性評価

毒性評価として、発泡剤用途の化合物という観点から沸点が約  $10\sim 50^\circ\text{C}$  のフルオロオレフィンを対象として文献調査を行った。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、D 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

これまでの検討から、フルオロオレフィン A、B、C、D の 4 化合物は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、Ames 試験も陰性である。大気寿命については、1 化合物は未検討であるが、他の 3 化合物は  $28\sim 320$  日という短い大気寿命を持つことがわかっている。この中で D については、温暖化係数は 19 以下であることがわかった。既存の HCFC 類、HFC 類の大気寿命と温暖化係数とを勘案すると、他の化合物の温暖化係数も 150 以下であると考えられる。今後さらに検討して確認する予定である。燃焼性も 1 化合物以外は不燃であることが確認されている。この化合物については今後燃焼速度を評価する予定であるが、H 数に対して F 数が多いため燃焼性は低いと期待される。

これらの観点から、フルオロオレフィン A、B、C、D の 4 化合物は発泡剤として有望であると考えている。この中の C および D については発泡体の試作も行っており、発泡体の熱伝導度も  $26.9 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$  まで達していることから、有力な候補化合物として期待できる。

気体熱伝導率の測定については、D については概略値ではあるが 14mW/(m・K)という値が得られている。また、類似の構造を持つ化合物のデータがあり、同条件の HFC-245fa の値とほぼ同じである。これより、これらの候補化合物の気体熱伝導率も HFC-245fa とほぼ同じであることが期待できる。気体熱伝導率測定装置や計測・解析プログラムの改良を行い、測定精度の向上を図る予定である。

以上より、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ており、中間目標は達成された。

#### (9)成果

表 3.2.1.2.1.8 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	1	1	0	0
H20FY	1	2	0	0
H21FY	0	1	0	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「ノンフロウ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

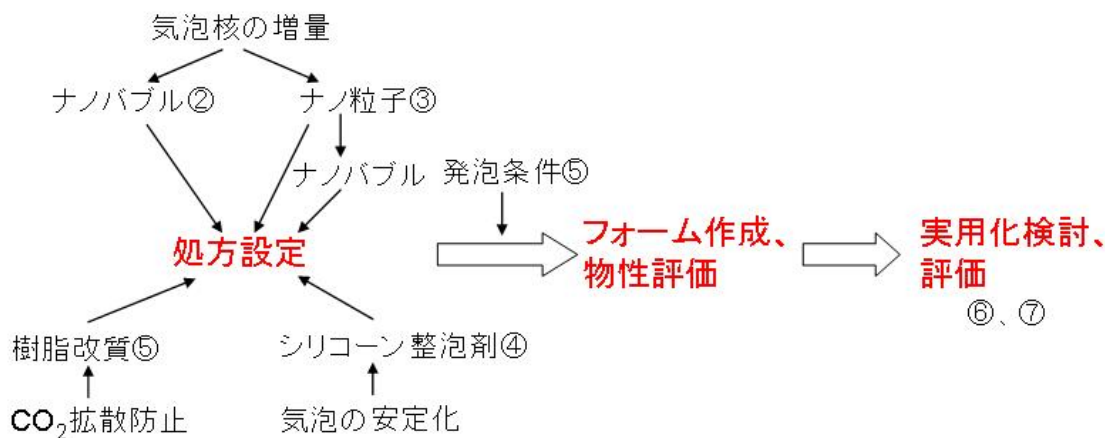


図 3.2.1.3.1.2 断熱性能向上検討から実用化までの流れ

(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 3.2.4.1 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	高速旋回式	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	高速旋回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

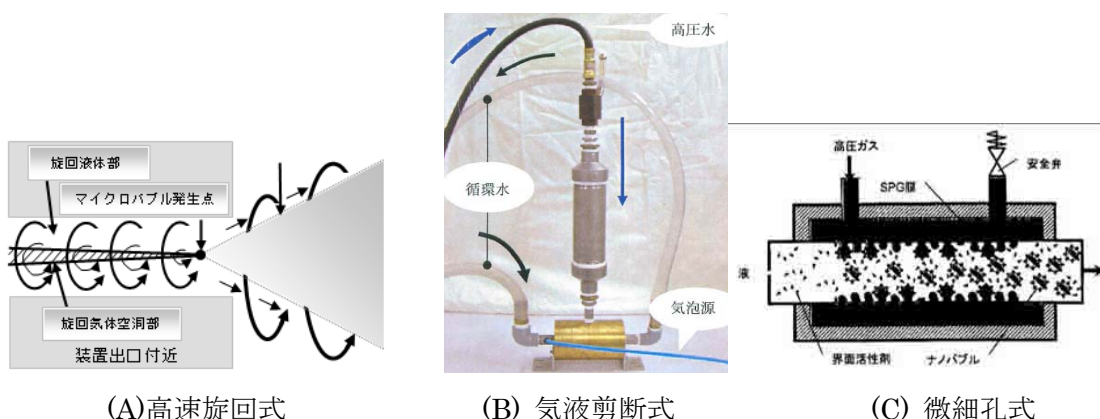


図 3.2.1.3.1.3 ナノバブル発生装置発生原理

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)高速旋回式 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 増量処方と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	・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	・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。	達成 (80%)
②ナノバブル化の検討	・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 ・ナノバブルの特性と発生条件との詳細な関係確認 ・ナノバブルの長寿命化 (1 ヶ月以上)	・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。 ・詳細を検討中 ・未実施	未達 (40%)
③ ナノ粒子及びメソポーラス粒子の利用検討	・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	・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。 ・沈降があり、実用上問題である。	未達 (30%)
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	・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。	未達 (50%)
⑤ ナノバブル化原液の発泡検討	・ナノバブル化原液の発泡時の問題点の抽出 ・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 ・樹脂改質による CO <sub>2</sub> 拡散防止	・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) ・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。 ・検討開始した。	未達 (50%)
⑥現場発泡機への応用研究	・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	・①～⑤が完成しだい行う。	
⑦施工試験及び性能評価	・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	・①～⑤が完成しだい行う。	

(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)
H19FY	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)

他の可燃性物質に関し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。

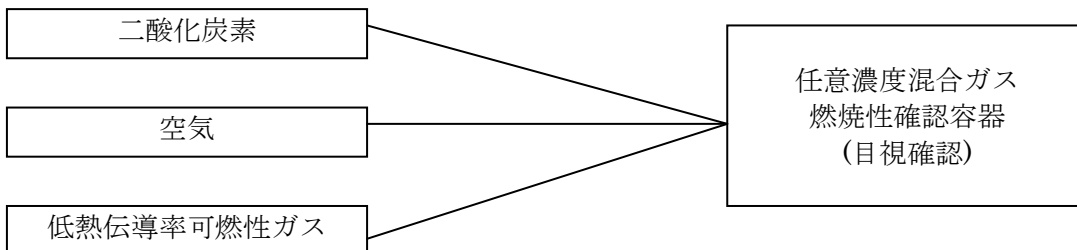


図 3.2.1.3.2.1 燃焼範囲測定装置概略図

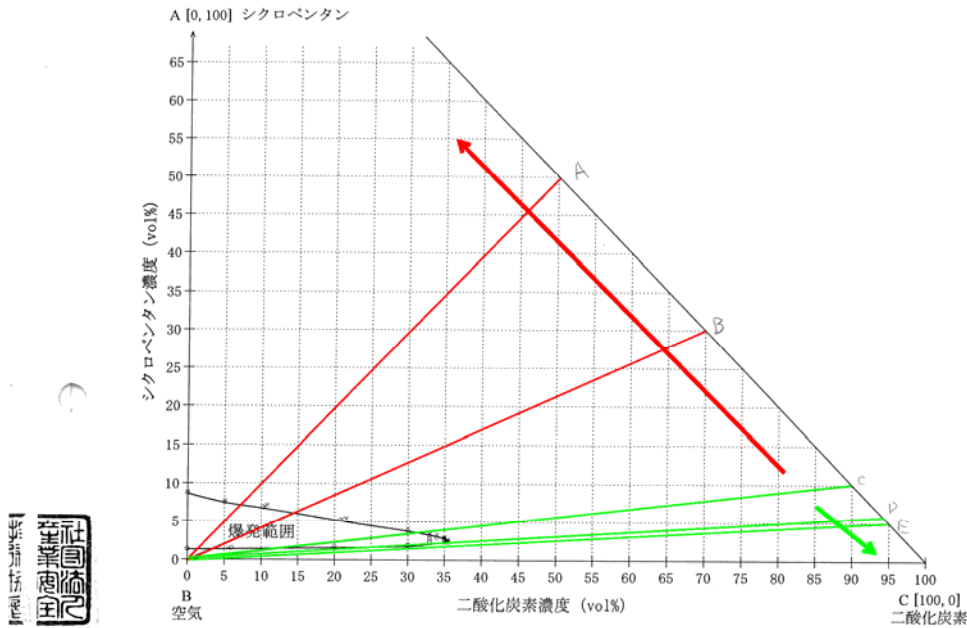


図 3.2.1.3.2.2 シクロペンタン・二酸化炭素・空気 3 成分系の爆発範囲 (大気圧・25°C)

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×0.32mmφ) 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。

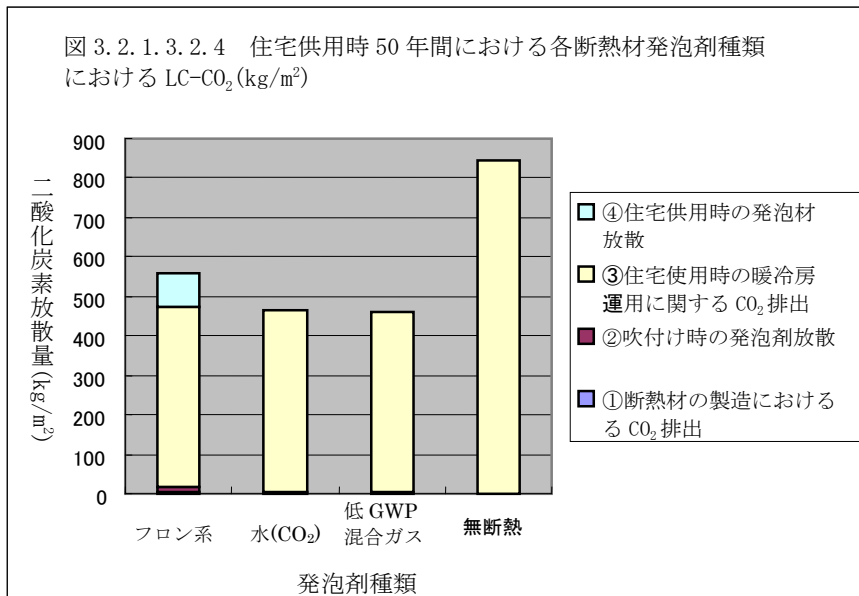
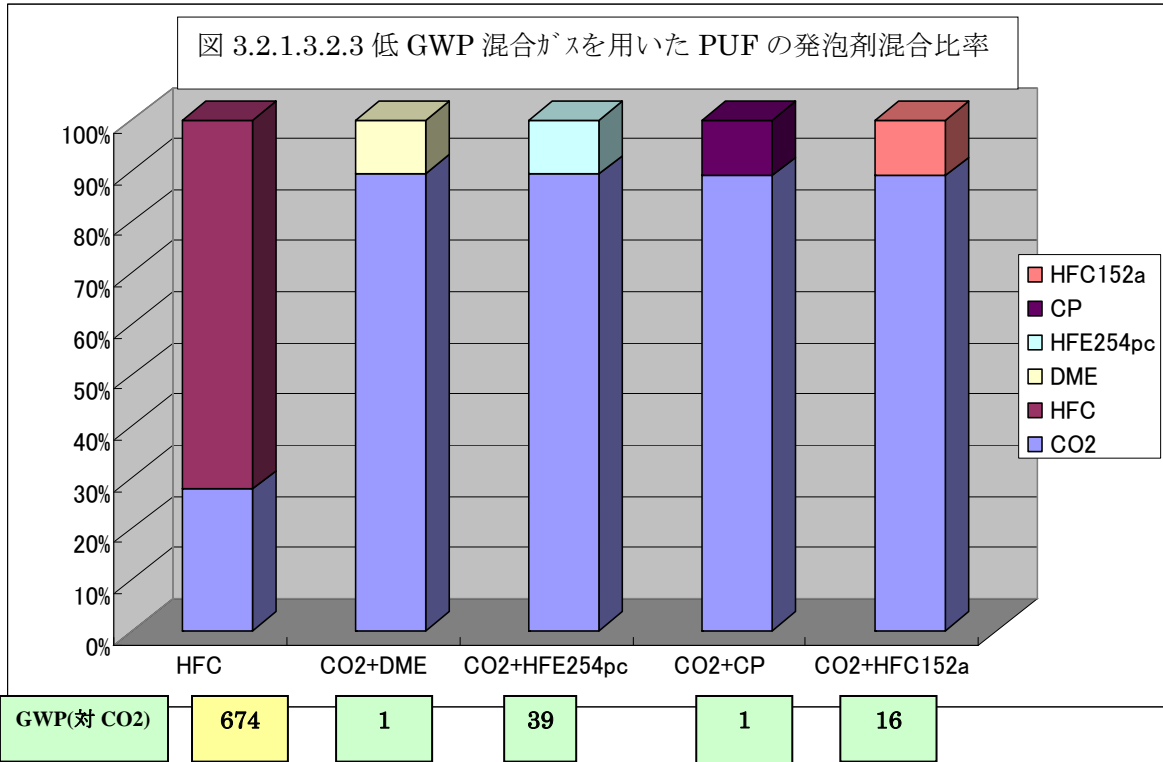
表 3.2.1.3.2.2 混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価

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)
シクロペンタン /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。



(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。

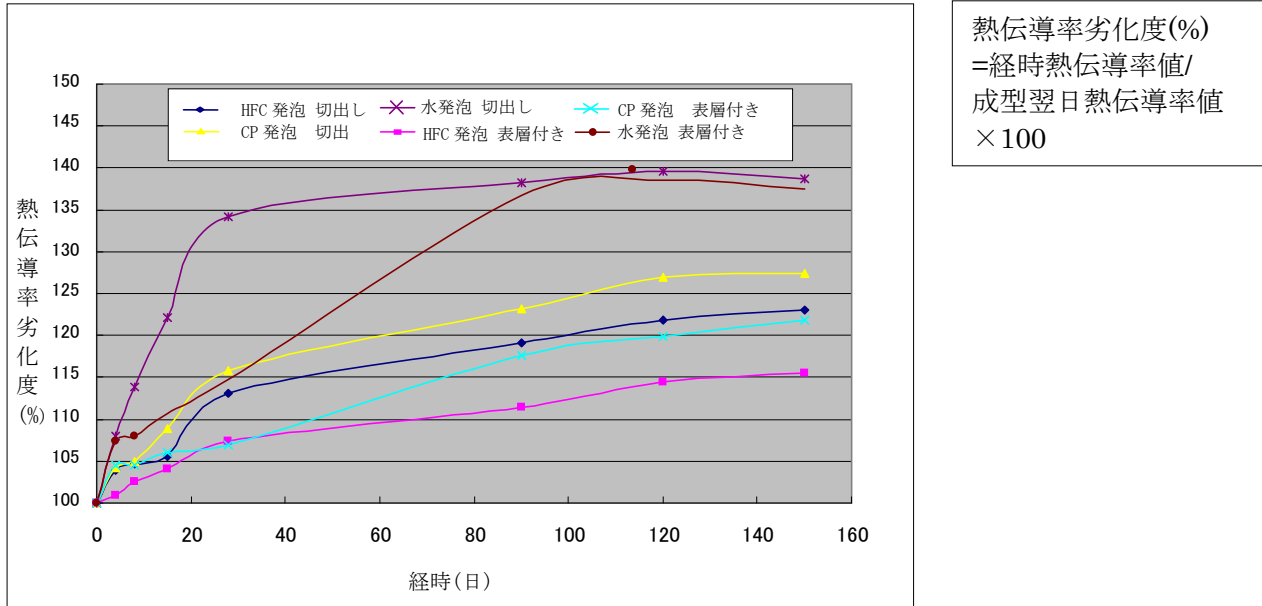


図 3.2.1.3.2.5 PUF 初熱伝導率劣化度の経時変化

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
	30日後	106	108	102
	90日後	109	115	100
	180日後	115	130	102

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※1	PUF 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝導率 [初期]※2 (mW/(m・K))	熱伝導率 劣化度※3 [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	24.1	収縮
		中	○	42	24.0	収縮
	大 【可燃性】	小	○	41	24.1	103
		中	×	41	24.2	102
シクロペンタ /CO <sub>2</sub>	小 【不燃性】	小	○	42	24.2	102
		中	○	43	24.1	102
	中 【可燃性】	小	○	42	23.4	104
		中	△	42	24.3	100
	大 【可燃性】	小	○	43	23.1	102
		中	×	41	23.1	102
HFE-254pc /CO <sub>2</sub>	大 【不燃性】	小	○	40	23.1	105
		中	○	40	23.1	103
HFC-152a /CO <sub>2</sub>	中 【不燃性】	小	○	39	22.5	103
		中	○	40	24.0	105
(参考)水	—	—	—	41	24.9	108
(参考)CO <sub>2</sub>	【不燃性】	中	—	40	23.4	106
(参考) HFC-134a	【不燃性】	中	—	41	22.8	103

※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

※2 熱伝導率[初期]※2：200×1000×40mmPUF 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。

※3 熱伝導率劣化度※3：200×1000×40mmPUF パネルを室温(15～25℃)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 $\mu$ m 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 $^{\circ}$ C $\times$ 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 $\times$ 1,000 $\times$ 40[小型]、600 $\times$ 900 $\times$ 50[中型]、900 $\times$ 1,800 $\times$ 50[大型]。

型温度:40 $\sim$ 45 $^{\circ}$ C。 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 $\cdot$ 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 各成型したスリ層有り PUF パネルから 200 $\times$ 200 $\times$ 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 $\times$ 100



図 3.2.1.3.2.6 PUF パネル  
900 $\times$ 1800 $\times$ 50mm



図 3.2.1.3.2.7 金属面材 PUF パネル  
900 $\times$ 1800 $\times$ 50mm

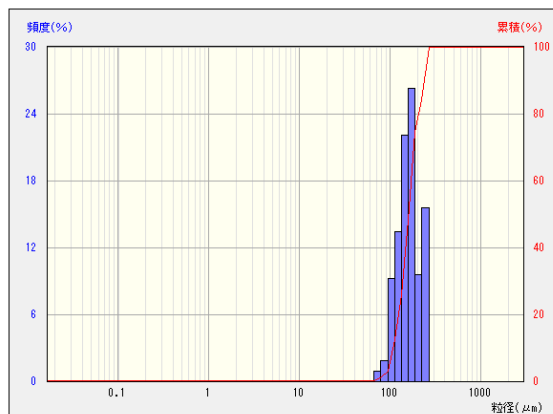
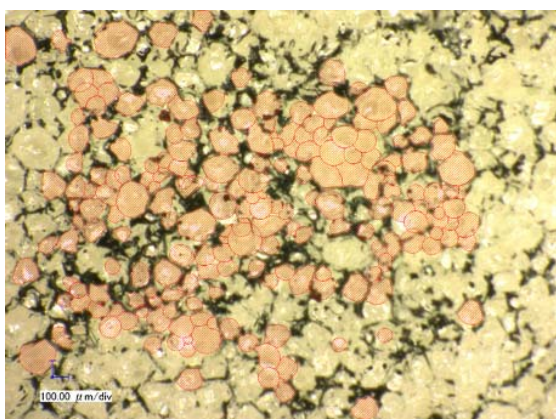


図 3.2.1.3.2.8 工場生産用 CP/CO<sub>2</sub> 混合ガス使用 PUF セル写真及び分

(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AMPLING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 ボード上に下吹き後 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> (mW/(m·K))	熱伝導率 [2 日後] (mW/(m·K))	PUF 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝導率 [4 週間後] (mW/(m·K))	
無し	38	25.6	30.7	39	26.4	92
小	39	25.0	28.2	40	26.2	96
中	38	24.8	28.3	37	27.1	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 試料作成



図 3.2.1.3.2.10 PUF 試料

(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 ヶ月経過後サンプル測定値。

(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）

(1)セル構造の制御：セルサイズの最適化

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。

次に、ポリオールの界面活性性能制御により、セル構造を制御した場合のフォーム強度の改善に着手した。

ハンド発泡評価においては、従来の水発泡技術に比較して、断熱性能を大きく改善できることが可能であり、中間目標を達成できた。表 3.2.1.3.3.1 に結果を示す。

今後は、実機での評価を行い、その結果を基に①ポリオールの改良、②処方改良、③超臨界 CO<sub>2</sub> の併用等を検討する。

表 3.2.1.3.3.1 開発ポリオールの発泡評価結果  
(発泡条件：ハンド発泡、液温 10°C)

原料	内容	処方 (pbw)	
		開発技術	従来技術
界面活性性能制御ポリオールA	開発品	40	
従来ポリオールB	弊社従来技術		40
その他成分	発泡剤(水)、整泡剤等	77.3	78.0
イソシアネート(G-MDI)	INDEX	110	110
コア密度	(kg/m <sup>3</sup> )	24.8	24.0
フォーム収縮	形状安定性試験(70°C)	無	無
熱伝導率(初期値)	(W/m·K)	0.0225	0.0265

(2)CO<sub>2</sub> ガスの透過性抑制（ガスバリア性付与）

水発泡ウレタンフォームの性能上の問題点のとして、CO<sub>2</sub> の透過により、フォーム中の発泡剤ガスと空気が置換して熱伝導率の経年劣化が発生することが挙げられる。上記現象の抑制方法として、ウレタンフォームのガスバリア性付与技術が必要であり、その開発には、ウレタンフォームの直接的なガス透過性測定方法の確立が必要である。

従来ウレタンフォームのガス透過性評価は、熱伝導率の経年劣化を追跡する方法で間接的に測定されてきた。

しかし、上記方法では評価に多大な時間を要し、研究開発の効率低下につながる。そこで、より短時間かつ簡便にウレタンフォームのガス透過性を直接的に測定できる装置・治具の開発が必要となる。

従来のガス透過性測定装置では、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、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。

本研究開発では、多孔質材料の測定に適した特殊な治具を新規に開発し、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。

今後は、ガス透過度と熱伝導率の経年劣化の相関性を確認し、中間目標であるウレタンフォームの簡便かつ直接的なガス透過性評価方法の確立を目指す。

その後、上記評価方法を評価ツールとして、最終目標である断熱性能の経年劣化が小さいウレタンフォーム用ポリオール、処方および樹脂改質方法の開発を行う。

### 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定）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  $\mu\text{m}$ 、マシーン発泡で 140  $\mu\text{m}$  まで微細化することに成功した。

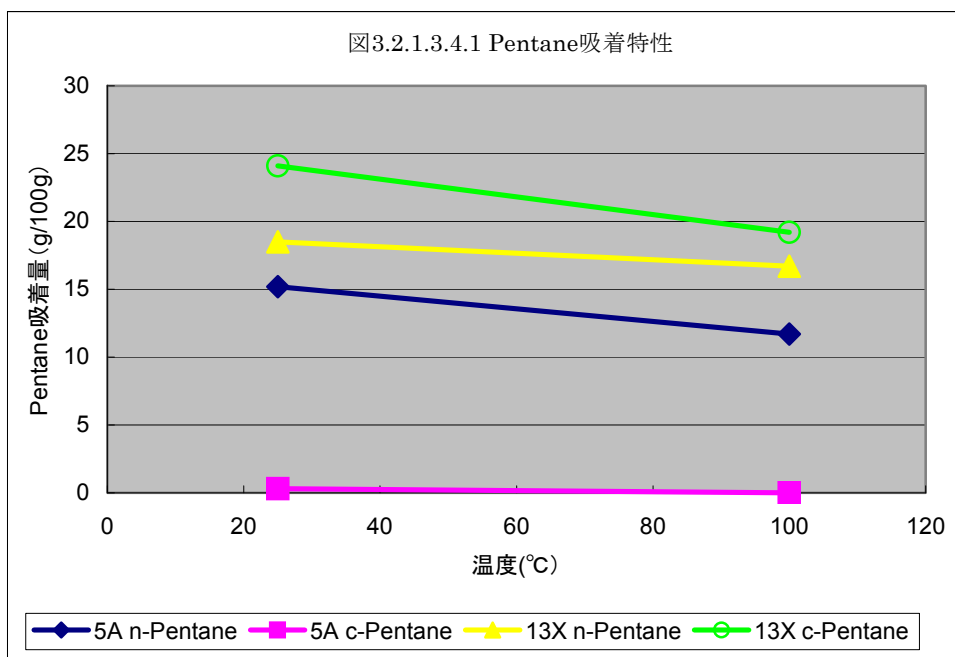
###### 3) スプレーガンノズル

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、 hidroカーボンの温度、種類の寄与率が高かったほか、 hidroカーボンを吸着したゼオライトの混入量が大きいほど、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 hidroカーボンを吸着させておかなければ、 hidroカーボンが脱着しないため、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 hidroカーボン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 hidroカーボン脱着量 (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 hidroカーボン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。 hidroカーボン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 hidroカーボンを吸着し、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、 hidroカーボン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行うこととした。

(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  $28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を満足し、実際の施工現場において施工性  $200\text{m}^2/\text{日}$ 、施工密度  $55\text{kg}/\text{m}^3$ を満足する現場発泡硬質ウレタンフォームを得る。

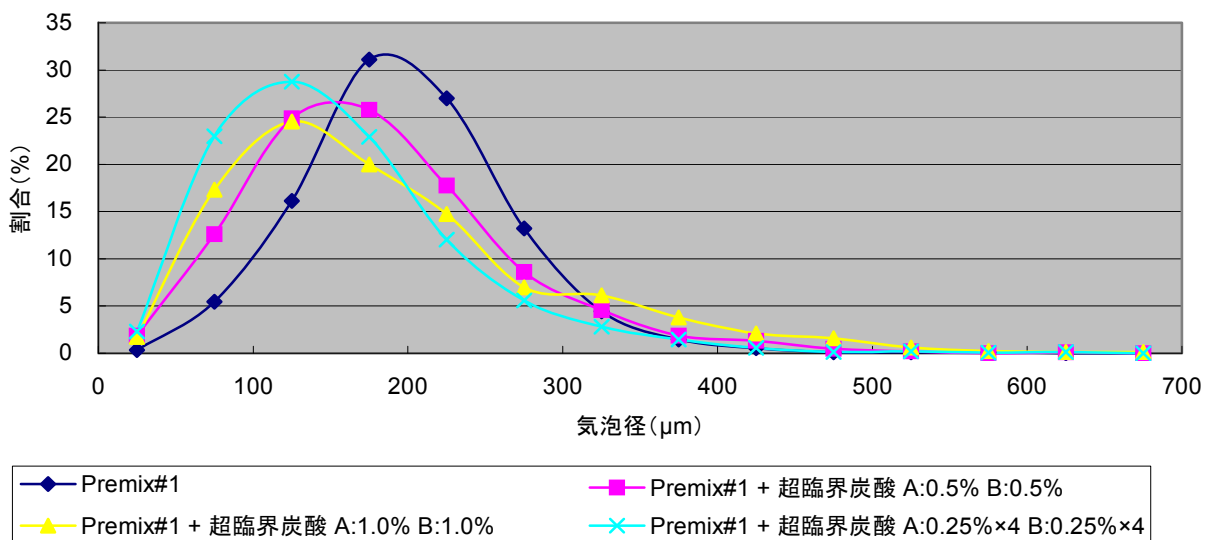
開発目標 2：実験室において熱伝導率  $24\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、寸法安定性 $\pm 3.0$ 以下を満足する硬質ウレタンフォームを得る。

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  $28\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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。

図3.2.1.3.4.2 ポンプ駆動細分化と気泡径





## 2)配合技術による気泡径微細化

- 配合技術（シリコン組成）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 $\mu$ m、老化後の熱伝導率 29mW/(m $\cdot$ K)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 HFO 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。

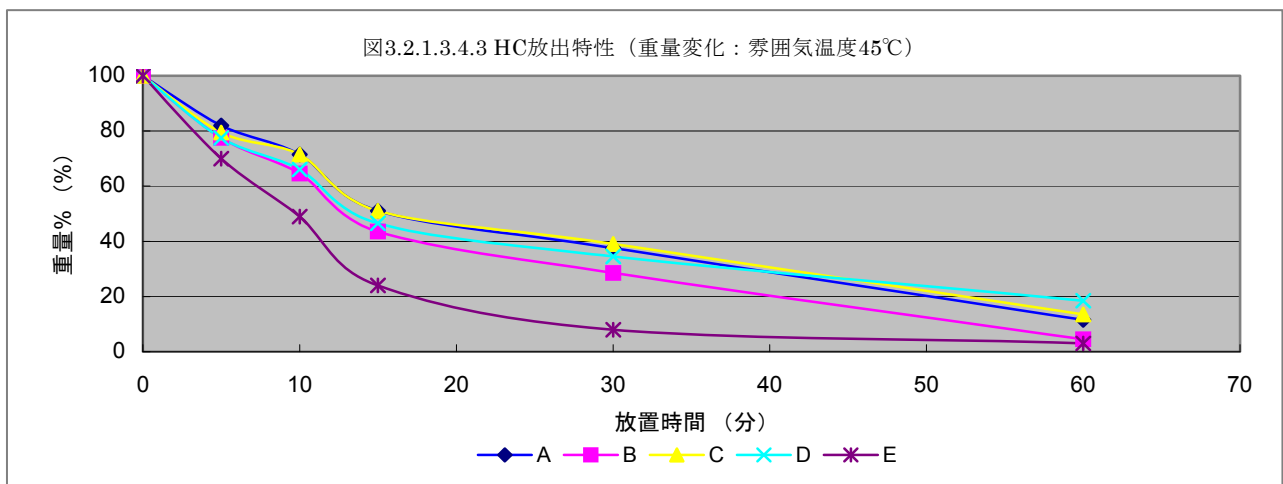
## 3)スプレーガンノズル

- 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 $^{\circ}$ 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/(m $\cdot$ K)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ブウス防爆化の見積書を入手した。

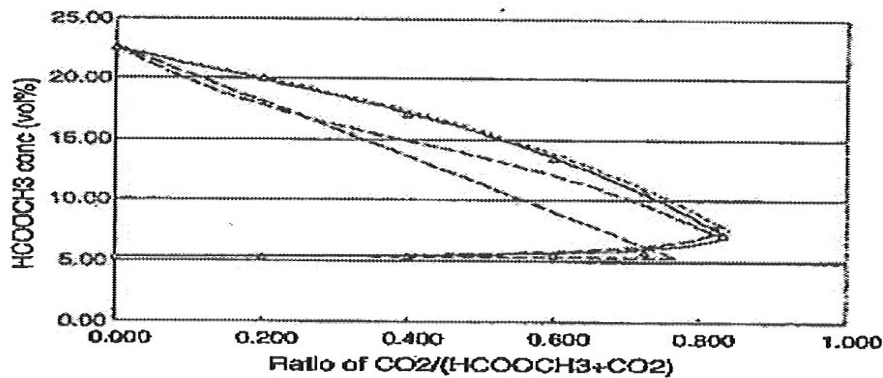


図 3.2.1.3.4.4 CO<sub>2</sub>/HF 混合系の燃焼範囲

### 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

##### 「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)

本テーマでは、高い断熱性能とハンドリング性を両立した断熱材として、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の開発を行った。

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)

##### ①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

本項目では、表記三成分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高圧相平衡測定装置を構築し、種々の組成、温度、圧力において、三成分系の相状態（均一混合、相分離）を観察した。各種ポリマーのスクリーニングの結果、シリコンアルコキシドと親和性の高いポリマー系を見いだした。この系について、6-30MPa、313-473Kでの相図を概成し、均一混合可能な条件を示した。

##### ②scCO<sub>2</sub> 中におけるゾルゲル反応の促進法の開発

本項目では、scCO<sub>2</sub> 中でシリコンアルコキシドを分解してシリカを生成する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。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の一部が、scCO<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などを見出した。

#### (2)減圧、相分離過程の可視化観察と最適化（東京理科大）

本項目では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ことを目的とした。そのため、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。

ポリマー-アルコキシド-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必要があること、平均気泡径および気泡密度は、アルコキシド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。

#### (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、バッチ法による試料の作製を行い、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ことを目的とした。選定したポリマー-アルコキシド-CO<sub>2</sub>系を中心として、発泡試料の作製を行い、最適化を検討した。発泡構造の制御においては、対流伝熱を抑制するための発泡の微細化と、発泡体へのシリカ含有量の増大に重点を置いた。検討の結果、バッチ発泡により、平均発泡径 3 μm 以下の微細発泡構造と、発泡構造内にシリカ粒子が析出した構造を併せ持つ複合体を調製できること、この構造体の骨格部分もポーラスな構造にできることを見出した。また触媒の利用や水による後処理で、シリカの含有量を 53 wt%まで増大させることができた。しかしバッチ発泡では発泡倍率が低く、またシリカ含有量と発泡倍率がトレードオフになるという問題があり、熱伝導率は 0.040 W/(m・K) (25℃での予備測定値、以下の熱伝導率も同様)に止まっている(H21.5 現在)。

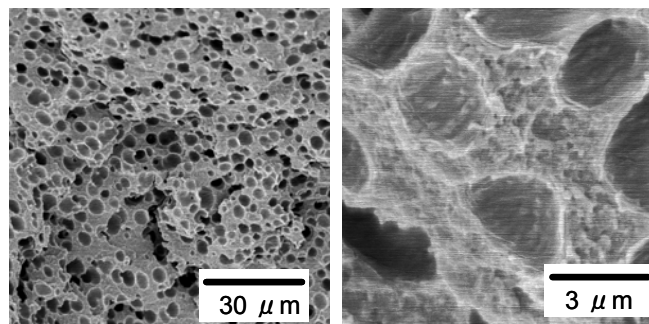


図 3.2.1.4.1.1 作製したバッチ発泡試料の微細構造の例  
(走査型電子顕微鏡による)

#### (4)連続製造プロセスの開発（シーアイ化成）

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、セグメント型の押出成形機をベースとした連続製造装置を構築した。選定したポリマー-アルコキッド-CO<sub>2</sub>系の発泡試料の押出製造を行い、熱伝導率 0.031 W/(m・K)程度の試料が連続的に作製できることを実証した。



図 3.2.1.4.1.2 連続製造試験の状況

#### (5)連続気孔型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)

本項目では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構造を持つ材料について、以下の検討を行った。

##### ①ポリマー種、フォームの形状および調製法の最適化

市販の連続気孔型ポリマーフォーム数種、また天然高分子であるキトサンゲルについて、この気孔内にゾルゲル溶液を充填後ゲル化、疎水化処理、scCO<sub>2</sub>による超臨界乾燥を行って、目的とする試料を調整し、熱流束計による熱伝導率測定、三点曲げ試験による強度測定等による評価を行った。その結果特定のポリマーフォーム等で高い断熱性能 (0.017-0.020W/(m・K))、およびシリカエアロゲルより優れた曲げ強度など、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。

##### ②調製プロセスのコスト低減に関する調査および検討

ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの調製においてもっともコストのかかる超臨界乾燥過程をより低コストなプロセスに代替する手法を検討した。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が、いずれも超臨界乾燥により製造した試料より断熱性能が低下し(0.029-0.039W/(m・K))、十分な競争力に乏しいことが分かった。

(6)達成度の評価（項目毎）

項目ごとの達成度評価は以下の通りである。

表 3.2.1.4.1.1 達成度評価（研究開発項目毎）

番号	目標	研究開発成果	達成度
①	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。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。	選定したポリマー-アルコキシド-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。シランカップリング剤を触媒として使用するなど、シリカ担持量の増大に有効な手法を開発した。	達成
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。選定したポリマー-アルコキシド-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必要があり、平均気泡径および気泡密度は、アルコキシドの添加量に依存すること等、減圧条件の決定に必要な事項を見出した。	達成
③	バッチ法による試料の作製を行い、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。	スクリーニングの結果、選定したポリマー-アルコキシド-CO <sub>2</sub> 系を中心として、発泡試料の作製を行い、最適化を検討した。	達成
④	連続法でバッチ法と同系統の試料が作製可能であることを実証する。	セグメント型の押出成形機をベースとした製造装置を構築し選定したポリマー-アルコキシド-CO <sub>2</sub> 系の発泡試料（熱伝導率0.031W/(m・K)程度）を連続的に作製できることを実証した。	達成
⑤	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。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。	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製し、高い断熱性能（0.018-0.020W/(m・K)）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。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	達成

## (7)達成度の評価（年度毎）

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。

表 3.2.1.4.1.2 達成度評価（年度毎）

年度	目標	研究開発成果	達成度
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。	年度内に構築完了。	達成
H20	・平均発泡径 10 $\mu$ m以下、シリカ含有量 40wt%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。	年度内に平均発泡系 3 $\mu$ m 以下、シリカ含有量 54%の試料を作製。	達成
	・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。	年度内に動作試験完了。	達成
	・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/(m $\cdot$ K)の試料を作製。	達成
H21	・現行ポリウレタンフォーム（熱伝導率 0.024 W/(m $\cdot$ 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。	選定したポリマー-アルコキシド-CO <sub>2</sub> 系で熱伝導率 0.040W/(m $\cdot$ K) (H21.5 現在)。	未達
	・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。	選定したポリマー-アルコキシド-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/(m $\cdot$ K)程度 (H21.5 現在)。	達成

## (8)成果

表 3.2.1.4.1.3 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	1	学会発表 1	0	0
H21FY	2 (準備中 2)	論文 0 (準備中 1) 学会発表 1 (予定 3)	0	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ている。

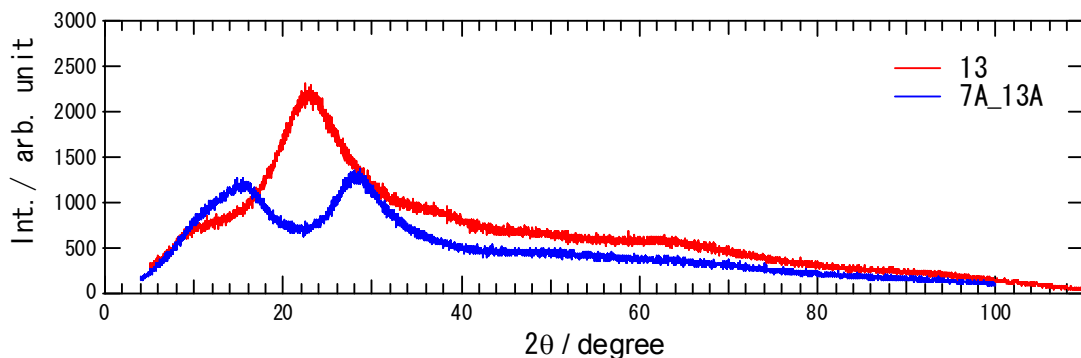


図3.2.1.4.2.1 初期のガラス (No. 13) 及び部分開裂させたガラスの (No. 7A-13) のX線回折スペクトル

(達成度) 達成

#### (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

達成度：達成見込み 平成21年10月

###### (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、エアロジェ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ジェ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・脱着等温線および細孔分析結果を下記に示す。

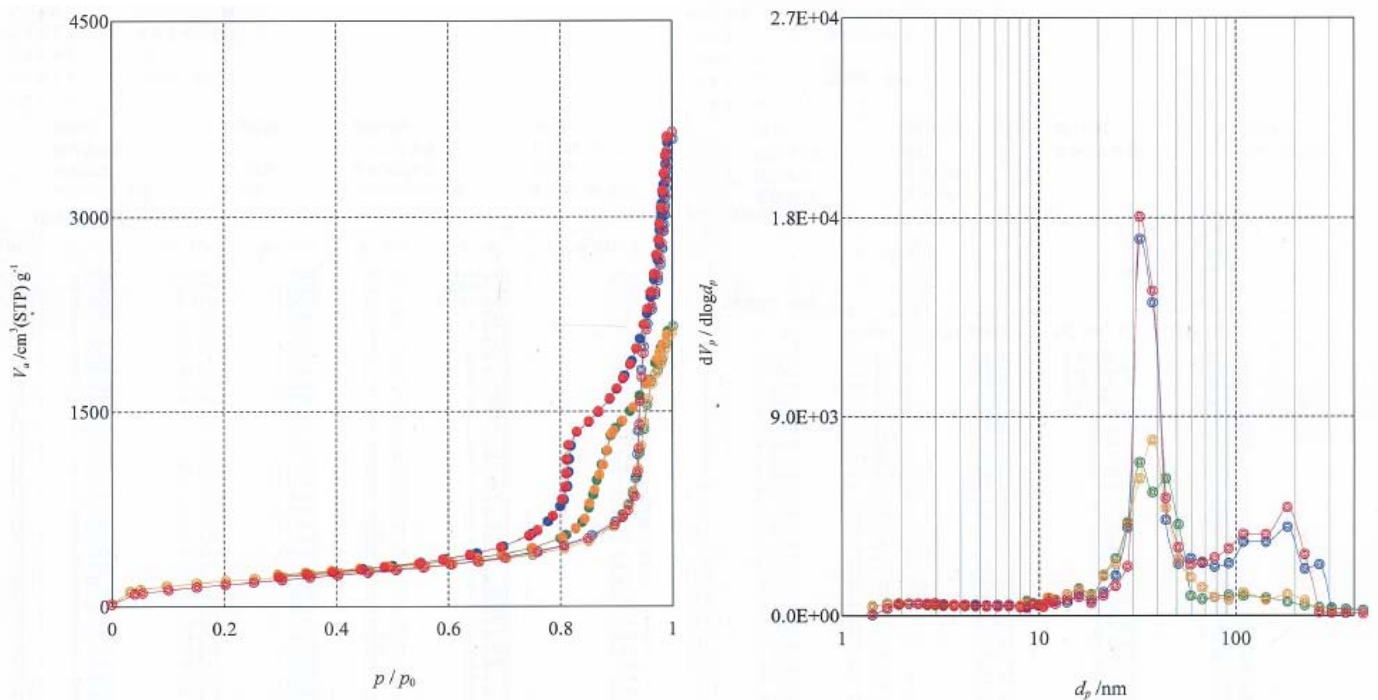


図 3.2.1.4.2.2 同一組成ゲルにて乾燥法による窒素吸着・脱着等温線（吸着温度：77 K）及びBJH法による細孔分布解析結果  
赤 - 青ドット：超臨界抽出法ナノ多孔質シリカ  
橙 - 緑ドット：検討法ナノ多孔質シリカ



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

	窒素吸着測定		
	平均孔径 (nm)	細孔表面積 (m <sup>2</sup> /g)	全空孔体積 (cc/g)
二酸化炭素 超臨界抽出法	33/ 183	694	5.7
<b>検討法</b>	<b>33</b>	<b>743</b>	<b>3.3</b>

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。

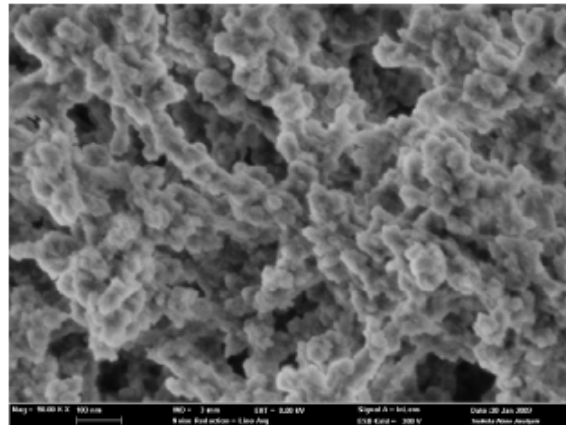


図 3.2.1.4.2.3 減圧 - 常圧乾燥法ナノ多孔質シリカ FE - SEM 画像 (90000 倍)

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、0.024W/(m・K)~0.019W/(m・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、更なる断熱性能向上を図る。

(達成度) 達成見込み 平成 21 年 10 月

## (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する。

#### (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。

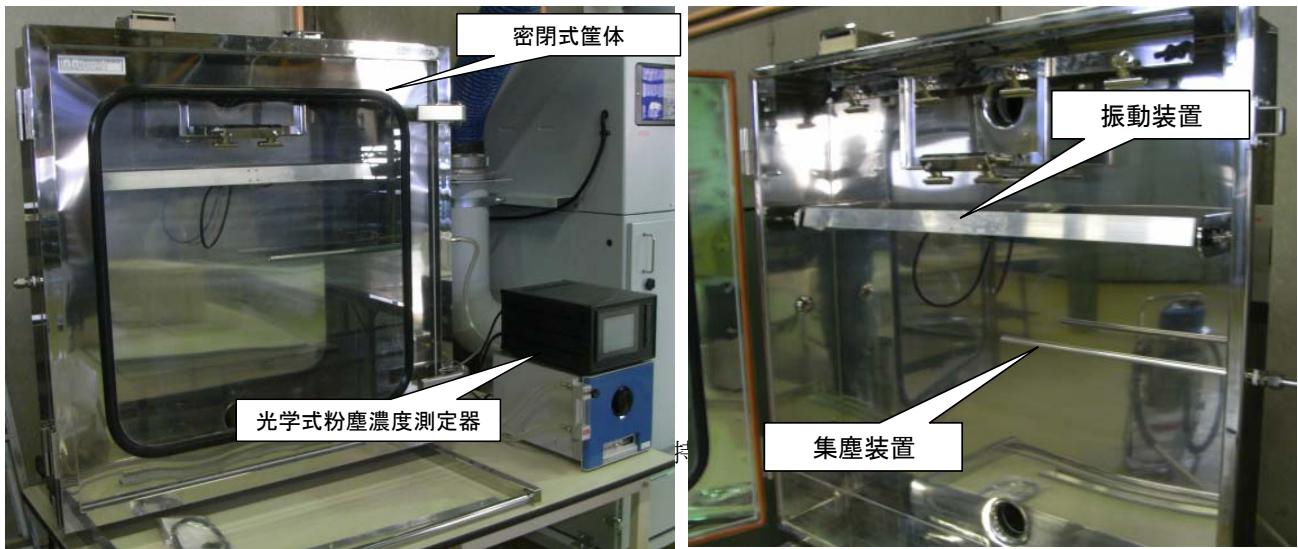


図3.2.1.4.2.4 担持性評価装置

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。

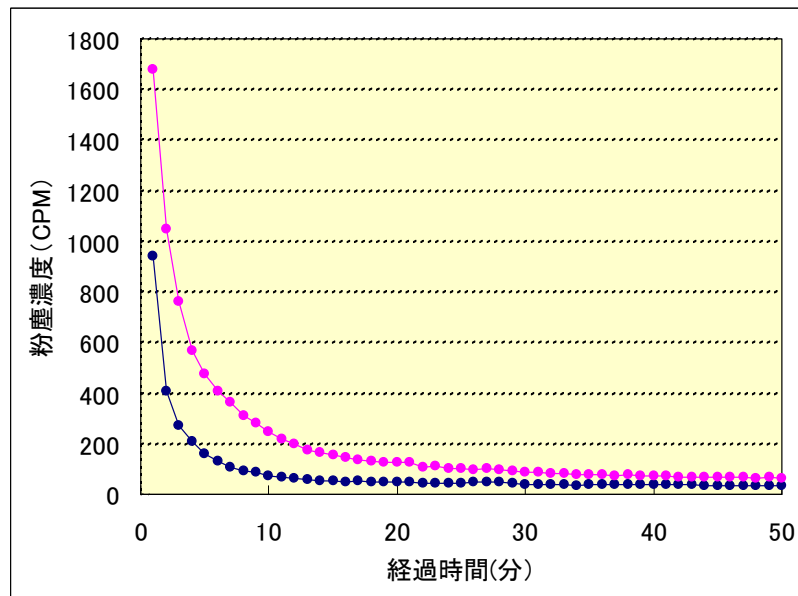


図3.2.1.4.2.5 担持性評価結果

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。

**(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開発に着手している。

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た試作機を製作中である。

(達成度) 達成見込み 平成21年12月

(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 3.2.1.4.2.6 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。

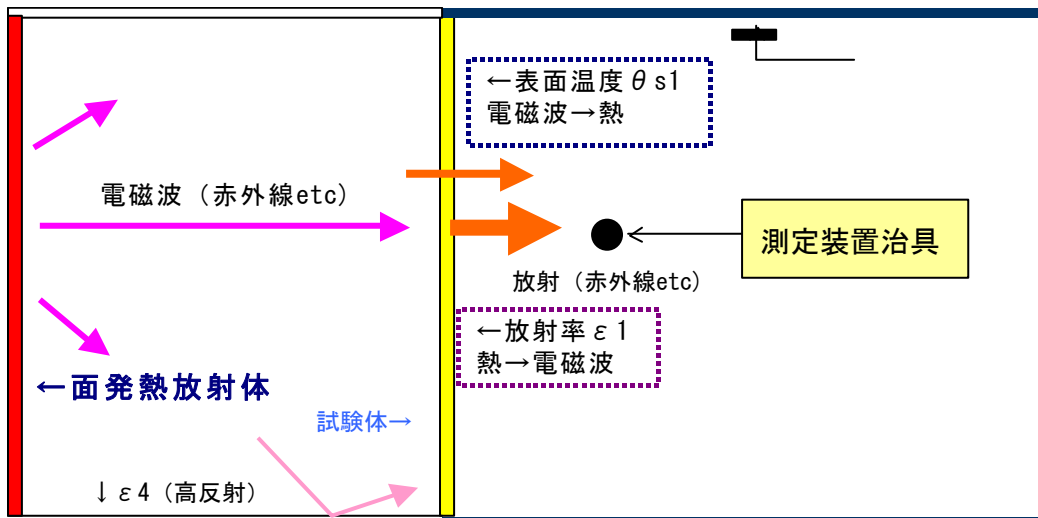


図 3.2.1.4.2.6 遮熱性評価方法及び評価装置の概要

また、前述の 1 次提案に基づき評価装置を試作して、遮熱性能評価法を検討中である。

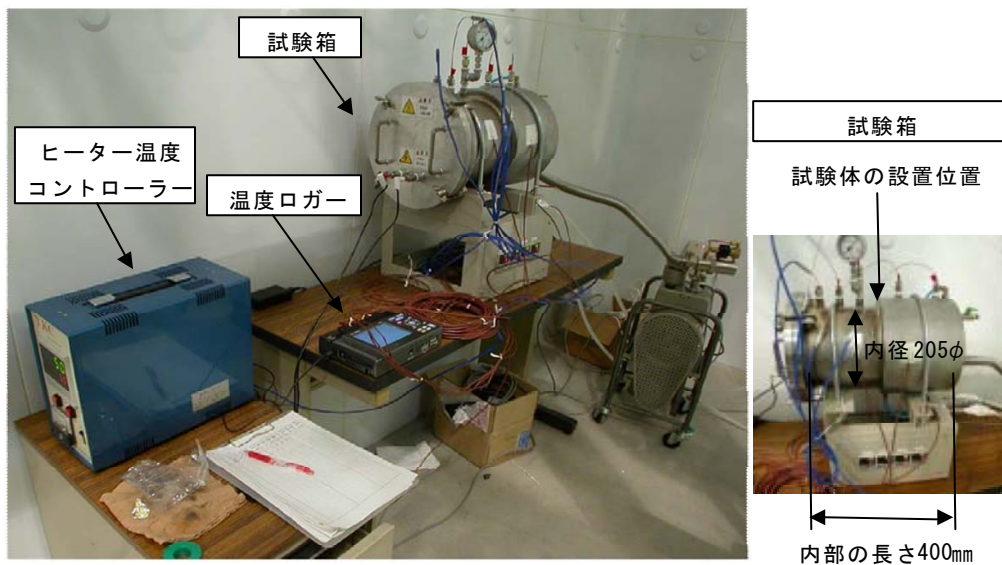


図 3.2.1.4.2.7 遮熱性評価装置

今後と予定として、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・提案する。

(達成度) 達成見込み 平成22年2月

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、赤外線散乱効果を有する金属化合物含有無機系バインダーを処理したサンプルを作成に着手して検討段階である。

現段階では、上記金属化合物含有量と放射率の関係を調査中である。

(達成度) 未達

(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	予定 4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

ゾルゲル法による合成によって収縮の少ない無機系ナノゲル断熱材を得る方法としては、超臨界抽出による乾燥法が知られている。この他溶媒置換法、凍結粉碎法、自然乾燥法などがある。既に先導研究によって超臨界炭酸ガスによる乾燥法の合成技術を確立していたために、本研究開発では量産化を中心として開発をおこなった。

量産化については、これまでの基礎合成法よりも大幅な条件緩和、時間短縮による合成法を確立できた。得られた無機系ナノゲルの断熱性能は  $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  であった。

以下、写真 1 に超臨界抽出設備、写真 2 に量産化したナノゲル、写真 3 にナノゲルの電顕写真を示す。



写真 1 超臨界抽出設備



写真 2 ナノゲル

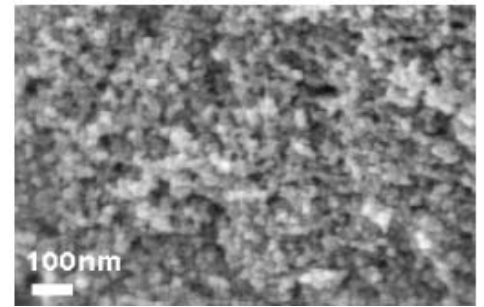


写真 3 ナノゲルの電顕写真

一方、超臨界乾燥法以外の合成法として最も安価な製造法として自然乾燥法を選定して合成法を検討した。その一例としてジフェニルメタンジイソシアネートにアクリル等の添加剤、溶媒及び三量化触媒を混合しゲル化させ、自然乾燥の後にナノゲルを得た。樹脂濃度の低下や収縮防止剤の添加により低密度化を図り、熱伝導率  $0.026\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  を得た。しかし、得られたゲル体は微細構造を形成する粒径が数十  $\mu\text{m}$  と非常に大きく、優れた断熱性能を発現するためのナノ粒子化が難しい結果であった。

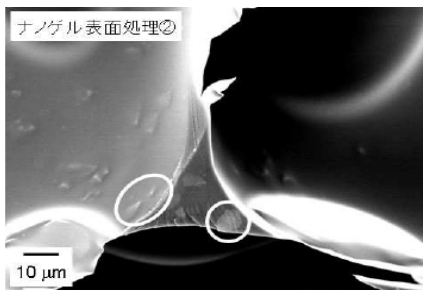


写真 4 電顕写真 ( $\times 1,000$  倍)

#### 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おこなった。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することができた。無機系ナノゲルを添加して得られたウレタンフォームの断熱性能は

ほとんど変わらなかった。

写真 4 に示すように、ナノゲルを添加した硬質ウレタンフォームを構造観察したところナノゲルがウレタンのセル膜に散在し、樹脂中に埋没しているものもあった。断熱性能に変化が現れなかったのはこれらが原因と考えられる。今後さらに表面改質の検討をおこない、断熱性能の改善を図る。

また、真空断熱材 (Vacuum Insulation Panel 以下 VIP と略す) の場合は、国内で販売されている VIP は、ガスバリアー性フィルムに極細ガラス繊維を芯材として高度な真空成形加工 ( $5\text{Pa}$  以下、8 分) をおこなっているものである。断熱性能は  $0.0025\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  と優れた断熱性能を示し、家庭用冷蔵庫や自動販売機などへ使用されている。しかし、高真空の断熱材は経年変化に課題がある。ナノゲルを芯材とした場合は、簡易真空成形加工でも  $0.005\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  が得られることがわかった。簡易真空断熱材は経年変化が少ないと言われており、建築分野には適したものと言える。

今後更なる加工法の開発をおこなって長期安定性を検討していく予定である。

### 課題 3：新規断熱材の開発

ナノゲルを応用加工することによって様々な形態の断熱材が期待される。特に建築分野では、シート状断熱材の要望が強い。そこでナノゲルを応用加工してシート状断熱材の開発をおこなった。具体的には、ナノゲルを樹脂練込、混合、基材への塗工、含浸等から高性能の断熱材を得るもので、現段階では基礎実験中である。

一方、加工設備についても設計を開始し、各ユニットでの性能評価を実施した。課題は多くまだ設備導入には至っていない。

また、ナノゲルの応用加工の一例として基材への含浸加工開発を示す。

例えば表面改質した無機系ナノゲル粉体をアクリルエマルジョンに分散した分散液をポリエステル不織布へ含浸処理した場合、表 3.2.1.4.3.1 の結果のとおりバインダーの量が多いと得られた含浸布（写真 5）の断熱性能は悪い。この結果からバインダーを出来るだけ減らすことが断熱性能を向上するものである。

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 5 PET 不織布含浸布 A

そこでバインダーレス化の手段として基材に無機系ナノゾルを含浸させておいて基材中でゲル化させ、超臨界乾燥法で含浸布を得る方法を検討した。その結果、得られた含浸布の断熱性能は、 $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を得た。

今後は、長期安定性の他、バインダーレス加工技術の展開を図っていく。

研究成果まとめ

	目 標	成 果	達成度
課題 1 ナノゲル合成法の開発	断熱性能 $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下 圧縮強度 $0.15\text{N}/\text{cm}^2$	原料構成、疎水化、表面処理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 $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を達成	達成 (80%)
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 断熱性能 $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下  真空断熱材の簡易成形加工 断熱性能 $0.005\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 経年変化が少ない	ウレタン原液との相溶性悪く表面処理によって解決。 しかし、断熱性能は $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ に至らず。 簡易真空成型加工法確立。断熱性能は $0.005\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 経年変化の少ない VIP を得た。	未達 (30%)  (70%)
課題 3 新規断熱材の開発	シート状断熱材 (厚さ $5\text{mm}$ 以下) 断熱性能 $0.005\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  その他応用加工法開発	様々な加工法を組み合わせると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。  バインダーレス加工による含浸布 断熱性能 $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を達成。継続検討	未達 (30%)  (70%)

出願特許リスト (国内)

出願 2 件、申請中 1 件

論文発表 なし

その他外部発表 なし

### 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)

##### (A)目標

###### (1)中間目標

- ・熱伝導率：0.024W/(m・K)以下（フロン系硬質ウレタンフォームと同等以上）。
- ・耐久性：5年で熱伝導率の減少率10%以下。
- ・充填ガスの低環境負荷化：地球温暖化係数が従来品の1/2以下。
- ・材料の低環境負荷化：製造時炭酸ガス発生量が従来品の1/2以下。

###### (2)最終目標

- ・熱伝導率：0.020W/(m・K)（炭酸ガス系で最高の熱伝導率）。
- ・耐久性：20年で熱伝導率の減少率10%以下。

###### (3)中間目標の達成度

- ・熱伝導率：達成
- ・耐久性：達成見込み
- ・充填ガスの低環境負荷化：達成。
- ・材料の低環境負荷化：達成。

###### (4)研究成果内容

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、基本処方を確立した。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立した。

##### 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）。

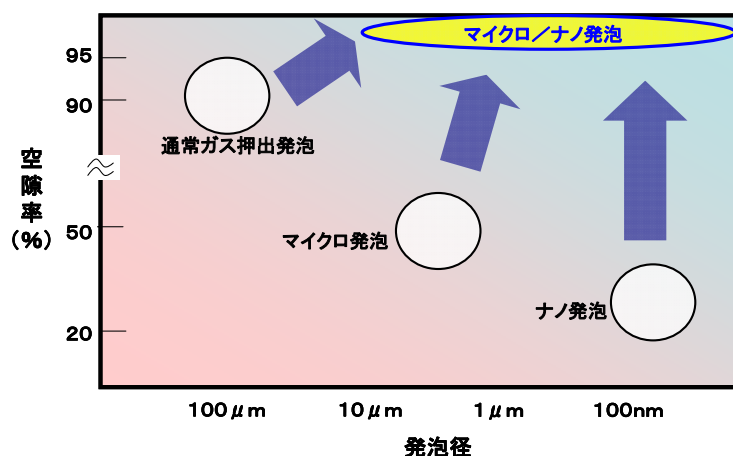


図 3.2.1.5.1.1 発泡径と空隙率の関係



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、更にナノアロイ技術を用いてポリマーの分散径も制御することで、発泡構造の精密制御が可能と考えた(図 3.2.1.5.1.3)。

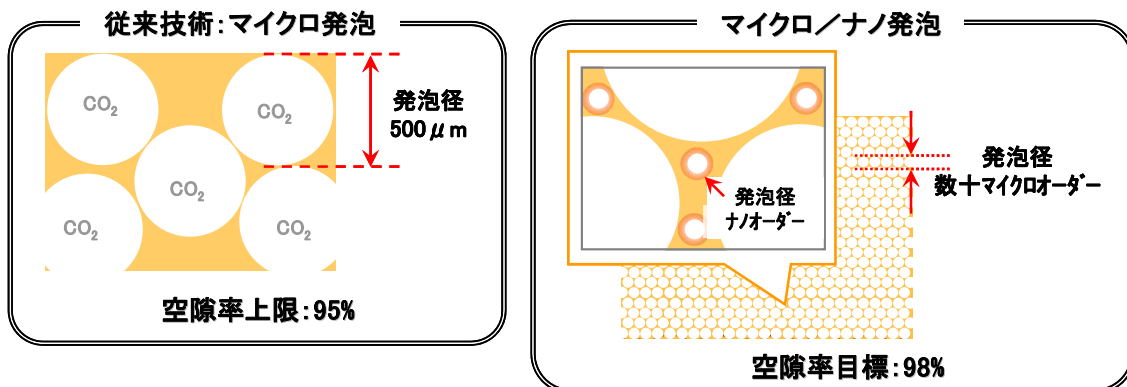


図 3.2.1.5.1.2 マイクロ/ナノ発泡構造のコンセプト

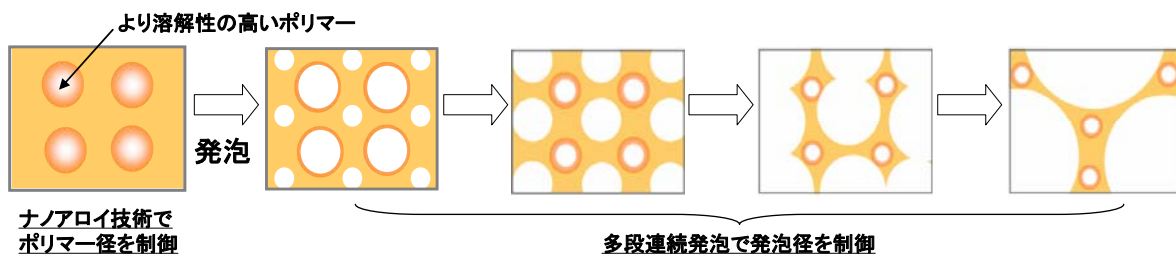


図 3.2.1.5.1.3 マイクロ/ナノ発泡体の構造制御

充填ガスとして炭酸ガスを使用し、ナノアロイ技術と連続溶融押出発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。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:0.023W/(m・K)を達成した(図 3.2.1.5.1.4)。

	従来発泡	開発品
断面 (SEM写真)	<p>マイクロオーダー ナノオーダー 空孔無し</p>	<p>空孔</p>
空隙率(%)	93	98
熱伝導率(W/mK)	0.033	0.023

図 3.2.1.5.1.4 マイクロ/ナノ発泡体の特性

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, 本開発品:1.2)、及び、充填ガスとして、地球温暖化係数が炭化水素よりも低い炭酸ガス(地球温暖化係数は、炭化水素:11, 炭酸ガス:1)を用いていることから、使用素材の面からも地球温暖化防止へ貢献できる。

製造プロセスについては、スケールアップ可能な基本プロセスの設計について目処を得た。今後、スケールアップに向けた設備設計を行い、基本製造プロセス確立を目指す。

### ②断熱性向上バリア技術の研究

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。ナノアロイ技術と熔融製膜技術を深化させることで、高結晶性の特殊樹脂を含有するフィルムの製膜に成功し、炭酸ガス透気度が  $0.1\text{cc}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr} \cdot \text{atm}$  (Al 蒸着時) のハイバリアフィルムを得た。更に、製膜条件の最適化による高次構造の制御及び表面構造の制御によりアルミ蒸着層のガスバリア性能を極限まで高めた結果、従来のアルミ蒸着PETフィルムに対し炭酸ガスバリア性が 100 倍優れるフィルムを創出することに成功した (図 3.2.1.5.1.5)。

製膜技術については、ラボスケールからパイロットスケールにスケールアップすることに成功し、長尺サンプルの作成が可能となった。

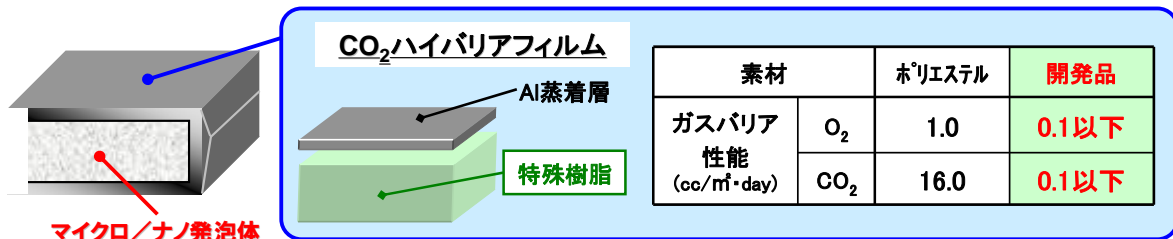


図 3.2.1.5.1.5 断熱材構成とハイバリアフィルム

### ③断熱性向上シートの基本設計

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、炭酸ガスの拡散を抑制することで、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ことが期待される。シミュレーションの結果、25年以上断熱性能が低下しないことが分かった (図 3.2.1.5.1.6)。更に、コンセプトモデル作成による実用性基礎評価 (加速テスト) において、5年目相当まで断熱性能に変化がないことを確認し、継続評価中である。加速テスト条件は、 $60^\circ\text{C} - 15\% \text{RH}$  の雰囲気下で行い、11日が1年に相当する。

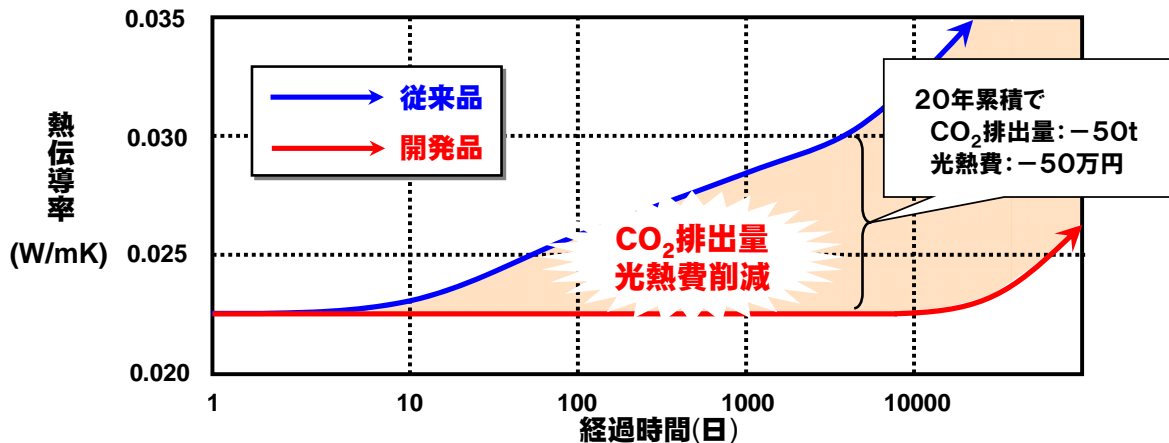


図 3.2.1.5.1.6 経時断熱性能予測

従来品との性能比較を行うため、断熱材料費と累積冷暖房費を試算した。試算は、住宅用熱負荷計算プログラム「SMASH」(IBEC)を用いて算出した。計算モデル: 戸建住宅 (日本建築学会 標準住宅)、東京 (次世代省エネ基準: IV地域) であり、空調条件: 24 時間空調 (冷房: 温度  $28^\circ\text{C}$ 、 $60\% \text{RH}$ 、暖房: 温度  $22^\circ\text{C}$ ) とした。本開発品は、従来品と比較して、CO<sub>2</sub>発生量を20年間で 累計50 t、約15%削減でき、冷暖房費も累計約50万円削減できるとの結果を得た。開発品は 初期のみならず、20年間以上すぐれた断熱性能を保持するため、長期間使用するほど削減効果が 大きくなる。

これら試算については、実用性能評価用スケールアップ検討を行い、トータル性能 (断熱性、環境性) を材料レベルで最終確認し、妥当性を判断する。

### ④断熱性向上シートの加工技術の開発

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、プロセス検討を開始した。最終的には、発泡工程から連続で製造出来るプロセスの確立を目指す。

## (5)成果

表 3.2.1.5.1.1 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	2	0	0	0
H20FY	4	1	0	1
H21FY	0	0	0	1

### 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）

#### (1) 目標の達成度

これまでの研究開発により以下の成果が得られており、現時点では計画通りの達成度である。

主な成果として、

- ①発泡体構造モデルから特定の発泡体構造にて目標の熱伝導率に到達する可能性のあることを確認し、熱伝導率低減目標値と研究開発の方向性を明確にした。
- ②押出發泡成形用設備を導入し、ポリスチレンを用いて特定の発泡体構造の成形が可能であることを確認した。
- ③上記押出發泡体の試作評価により、熱伝導率低減などの効果、当社が独自に開発したセル構造形成が可能であることを確認し、プロジェクトの熱伝導率目標レベルに到達した。

#### (2) 課題

目標達成のためには以下の課題が挙げられる。

- ①設備、樹脂、配合剤、発泡剤処方が必要要件を明確化して目標達成の可能性を見極め
- ②押出發泡成形における諸課題の解決
- ③発泡体構造の構成要件および樹脂、配合剤、発泡剤の種類、設備、成形加工条件の絞り込み
- ④目標到達実現性の見極め、実験機レベルでの高断熱化押出發泡体およびその成形技術獲得

#### (3) 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

- ・発泡構造体モデルを考案し、既存の発泡体を用いてモデルを試作した。このモデルの評価より、特定の発泡体構造にて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低減目標値と研究開発の方向性を明確にした。

###### (B)樹脂、配合剤、発泡剤の探索

- ・押出發泡成形性、断熱性、自社設備での生産性などの観点から、樹脂、発泡剤の候補を絞り込んだ。
- ・モデルを用いて配合剤の探索を行い、候補を抽出した。

##### ②高断熱性を実現する押出發泡体の開発

###### (A)押出發泡成形技術の開発

- ・発泡体構造モデルを実現するための押出發泡成形方式を調査し、基礎的検討用設備を設計、製作した。
- ・モデル構造の発泡体成形が可能であることを確認し、設備面、成形条件面、樹脂など組成面での課題を抽出して、次に製作する設備の仕様・設計に反映させた。
- ・検討結果より改良型の設備を設計、製作し改善効果を確認した。目的の高断熱性押出發泡体を得るための発泡成形条件、発泡成形に適した樹脂特性など樹脂、発泡剤組成面、設備面での課題の抽出と改善策の検討を実施中である。

(B)高断熱性押出発泡体の開発

- ・ 特定構造の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、さらに詳細な検討を実施中である。
- ・ 当社が独自に開発したセル構造形成が可能であること、さらに構造制御を行うことで熱伝導率低減が可能であることを確認した。
- ・ これまでの検討により、プロジェクトの熱伝導率目標レベルに到達した。
- ・ 押出発泡成形における諸課題の改善策検討、発泡体構造の構成要件および樹脂、配合剤、発泡剤の候補絞り込みを実施中である。

(4) 成果の意義

①高断熱化技術調査

成果：モデルより開発の方向性明確化

意義：特定の発泡体構造により目標到達の可能性確認

②押出発泡成形技術の開発

成果：特定の発泡体構造の押出発泡成形が可能であることを確認

意義：モデル構造の実現可能性を示唆

③高断熱性押出発泡体の開発

成果：特定の発泡体構造、配合剤、セル構造による高断熱化の可能性確認

意義：プロジェクトの目標である、

「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  $\lambda \leq 0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  を目安）の断熱性能を有する革新的なノンフロン系断熱技術開発」  
に対し、技術的可能性があることを示した。

(5) 成果の普及

表 3.2.1.5.2.1 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	1	0	0	0
H20FY	2	0	0	0
H21FY	3	0	0	0

(6) 最終目標の達成可能性

プロジェクトの目標レベル以上の断熱性には到達できる可能性がある。

最終目標達成には樹脂・配合剤組成面、成形条件面、設備面での課題を克服する必要がある。場合により目標・ターゲットの設定変更を検討する。

### 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。

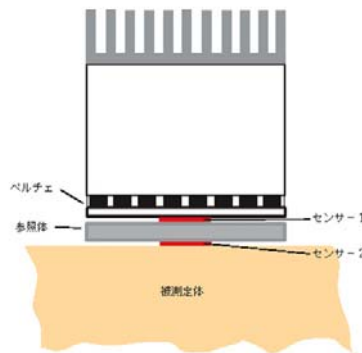


図 3.2.2.1.1.1 プローブの模式図

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、安定したデータをすることができた。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°C、裏面での減衰比が 0.5-0.2 程度が適当と判断した。最終的採用されたプローブは図 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。

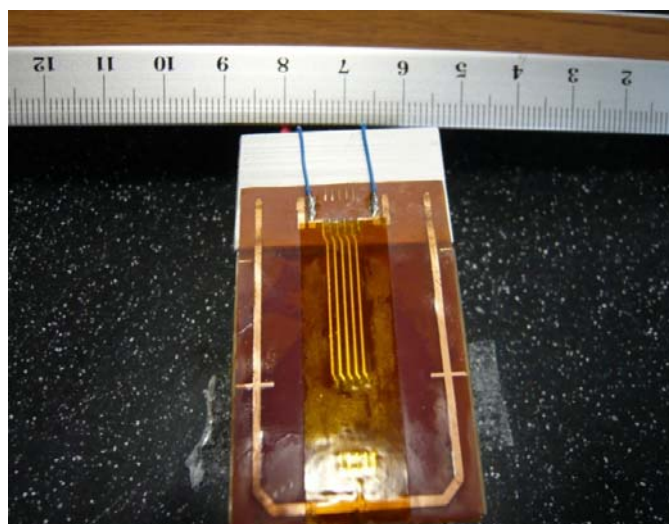


図 3.2.2.1.1.2 最終的に採用されたプローブ

赤外カメラ像を見ると、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。

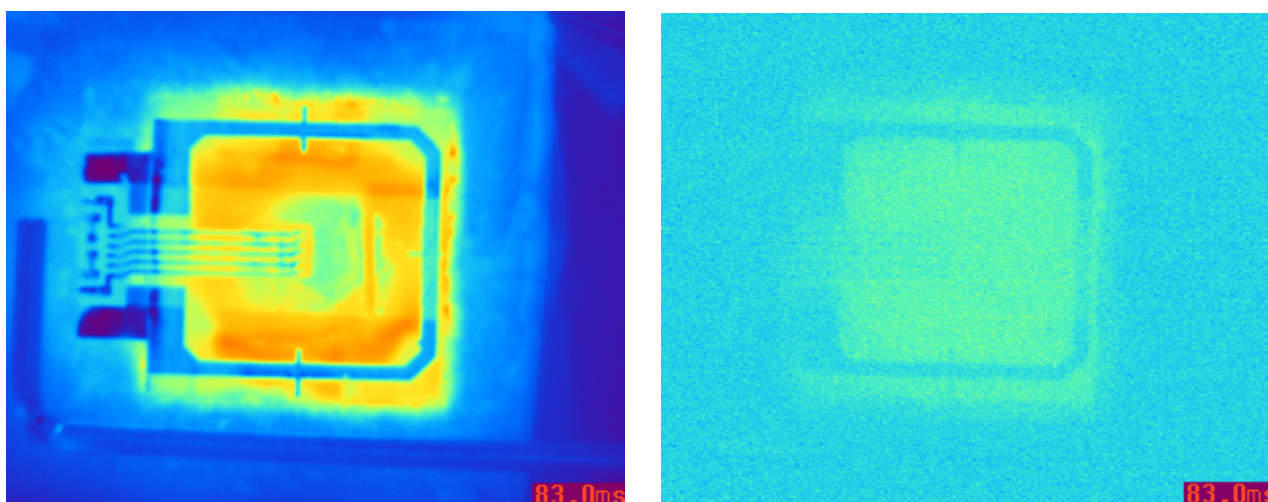


図3.2.2.1.1.3 プローブの発熱状況

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、独自の方法論であることから、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ーフェースを設計し、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。

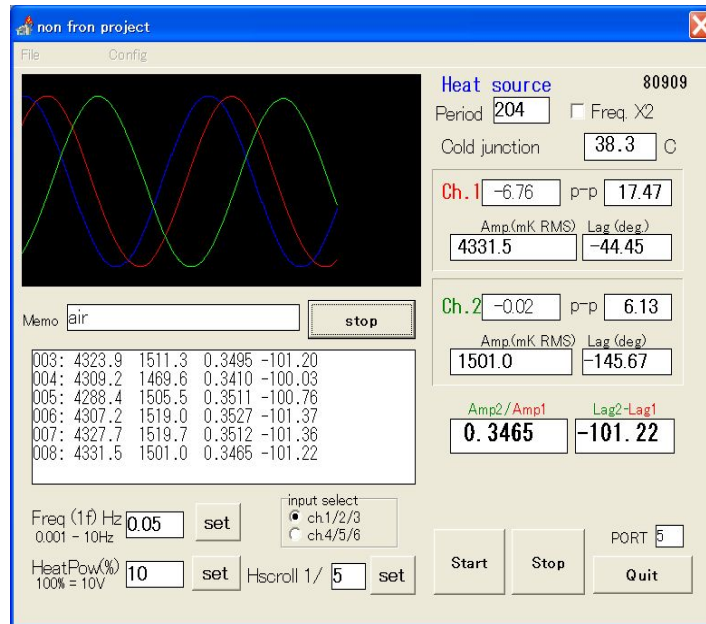


図 3.2.2.1.1.4 開発中の制御・解析プログラムの表示画面

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  $Amp\ 2/Amp\ 1$  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。

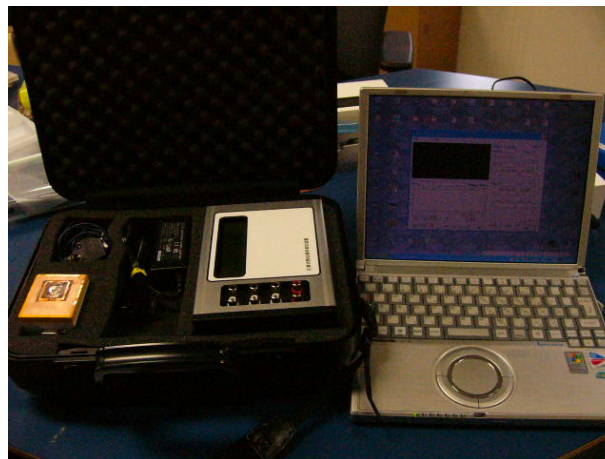


図 3.2.2.1.1.5 装置全体

### (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。

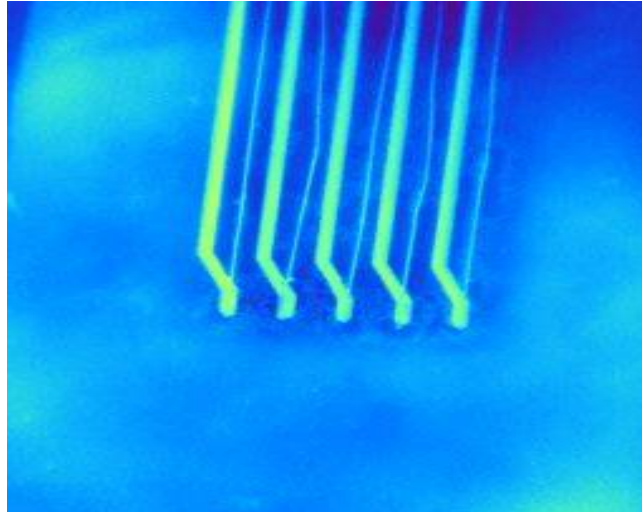


図 3.2.2.1.1.6 5本の熱電対を直列につないだサーモパイル

(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。

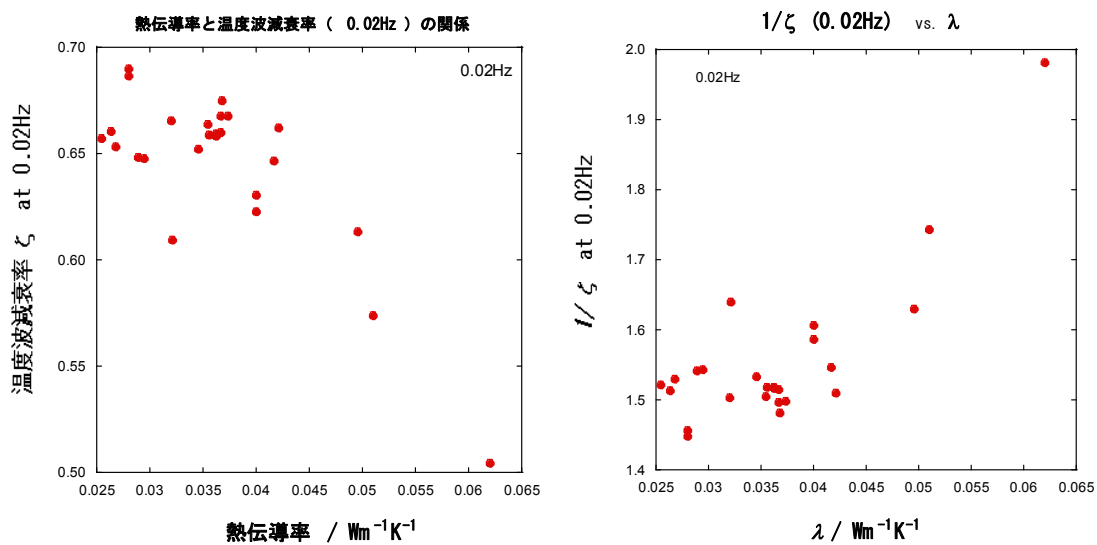


図 3.2.2.1.1.7 測定結果の確認 (一例)

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。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大きい。



### 3.2.2.2 評価技術開発

#### 3.2.2.2.1 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 目標、研究開発成果及び達成度

研究テーマ	目標	研究開発成果	達成度
革新的ノンフロン系断熱材の実用性評価	実用性評価方法を作成し、本プロジェクトでの開発成果の実用性評価を行う。	実用性評価方法*1を作成し、広く一般に公開する。*2	70%
断熱性能測定技術の実用性評価	同上	同上	60%

\*1：平成21年6月までに作成された、実用性評価方法を添付資料に示す。

\*2：作成した実用性評価方法は、当センターのウェブサイトにて平成22年度に公開する予定である。また、断熱材の開発者のみでなく、断熱材のユーザーその他にも使用できるよう、体制を整備することを予定している。

#### 【研究開発成果に係る今後の予定】

##### ①革新的ノンフロン系断熱材の実用性評価

実用性評価方法を作成し、開発者に試用を依頼済み。評価方法に対するコメントが返ってきており、今後修正する予定。

##### ②断熱性能測定技術の実用性評価

自己評価表の評価項目・評価方法の精査を実施中。①同様、精査が終了次第、評価方法に関する意見等を収集する予定。

#### 《添付資料》

- 1 自己評価表（断熱建材の実用性評価）
- 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(フェーズ2用)
- 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の計算結果例
- 4 LCCO2 簡易計算ツール計算結果例
- 5 自己評価表（断熱性能測定技術の実用性評価）
- 6 評価方法の一例（断熱性能測定技術の実用性評価）

①自己評価表（断熱建材の実用性評価）

表 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	フェーズ2	フェーズ3
				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	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	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、高湿など）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（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、その結果を記す事が望ましい。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。	◎ ・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 規格又はその他の規格等で規格値が定められている場合は、規格値を満たしている事を確認する。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。
			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	2-3	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	2-4	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		2-5	圧縮強さ・弾性率・クリープ	—	○発ブラ系 △繊維系 ・同上	◎発ブラ系 △繊維系 ・同上
2-6			曲げ強さ・弾性率	—	△ ・同上	△ ・同上	
2-7			引張強さ	—	△ ・同上	△ ・同上	
2-8			せん断強度・弾性率	—	△ ・同上	△ ・同上	
2-9			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	◎発ブラ系(現場発泡) △発ブラ系(現場発泡を除く), 繊維系 ・同上	
2-10			燃焼性	—	○ ・同上	◎ ・同上	
2-11			最高使用温度	—	△ ・同上	△ ・同上	

		2-12	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。 ・発プラ系(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
		2-13	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	2-14	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。	◎ ・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	2-15	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	2-16	耐溶剤性	—	◎ ・ 供用段階で断熱材の長期性能に影響を与えらるる溶剤（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		○ ・ 製造段階における再生品の使用の有無を記す。	◎ ・ 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	<p>地域環境に影響を与える有害物質</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大気汚染物質</li> <li>・水質汚濁物質</li> <li>・土壌汚染物質</li> <li>・難分解物</li> </ul>	—	<p>◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>	<p>◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>
		3-7	<p>居住環境に影響を与える有害物質</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・室内空気室汚染物質</li> </ul>		<p>◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・室内空気質汚染物質(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。</li> </ul>	<p>◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>
		3-8	その他			
4. コストに係わる項目	ライフサイクルコスト上昇の有無	4-1	<p>製造</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設備費</li> <li>・材料費</li> <li>・歩留まり</li> </ul>	—	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	<p>◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>
		4-2	<p>輸送/保管</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・管理方法</li> </ul>	—	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>	<p>◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同上</li> </ul>
		4-3	<p>施工</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工容易性</li> <li>・困難性</li> </ul>	—	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・従来品又は汎用品と比較して、施行時の作業及び施工がコストアップに繋がるかを記す。</li> </ul>	<p>◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同上</li> </ul>

		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断熱性能変化の 簡易予測ツール(フェーズ 2)

- 1 簡易予測ツール(フェーズ 2)の使用にあたって
- 2 熱伝導率変化に関する数値解析理論
  - 2.1 熱伝導率変化
  - 2.2 断熱材内分圧変化
  - 2.3 記号表
  - 2.4 参考文献
- 3 簡易予測ツールの操作方法
  - 3.1 被覆層なし
  - 3.2 被覆層あり

## 1 簡易予測ツール(フェーズ 2)の使用にあたって

硬質ウレタンフォームやポリスチレンフォームなどの発泡プラスチック系断熱材は、工場や建築現場においてポリマー樹脂などに熱伝導率の低い発泡ガスを混合して発泡させることによって製造される。また、このような発泡プラスチック系断熱材の気泡セル内に存在する断熱性の高いガス状の発泡ガスは時間経過とともに徐々に周囲空気中に放散すると同時に、周囲空気が断熱材内部に浸入することによって断熱材の熱伝導率は変化する。

この簡易予測ツールは断熱建材の実用性評価におけるフェーズ 2 の段階で使用することを前提に開発しており、この段階では対象断熱材の熱伝導率変化に関する測定値がないことを想定している。また、この簡易予測ツールは以下に示す Microsoft® Excel 2000 によって作成された 2 つのファイルによって構成されている。これらのツールを用いて熱伝導率変化を予測する場合には以下の項目を入力する必要がある。

### レベル 1・被覆層なし

- (1) 断熱材関連：断熱材厚さ、使用温度、断熱材密度、ポリマー樹脂密度、ポリマー樹脂熱伝導率、気泡セル径
- (2) 気体関連：発泡ガスの種類、有効拡散係数(空気、発泡ガス)

「レベル 1・被覆層なし」では、被覆層がない状態の断熱材を対象に熱伝導率変化を予測することを目的としている。このような状態の断熱材の熱伝導率変化は ISO 11561 に基づいて測定した場合の熱伝導率変化と対応する。

### レベル 2・被覆層あり

- (1) 断熱材関連：断熱材厚さ、使用温度、断熱材密度、ポリマー樹脂密度、ポリマー樹脂熱伝導率、気泡セル径
- (2) 気体関連：発泡ガスの種類、有効拡散係数(空気、発泡ガス)
- (3) 被覆層関連：拡散抵抗(空気、発泡ガス)

「レベル 2・被覆層あり」では、被覆層がある状態の断熱材を対象としており、面材やスキン層などの被覆層による影響を考慮した場合の熱伝導率変化を予測することを目的としている。ただし、これらの予測ツールを使用するにあたって、現在の JIS や ISO には被覆層の拡散抵抗の測定方法などに関する規定がない。したがって、フェーズ 3 の段階で使用する簡易予測ツールでは測定値があることを想定して、測定値と予測値との整合性を確認することで被覆層の拡散抵抗などをチューニングすることが可能な予測ツールを開発する予定である。

## 2 発泡プラスチック系断熱材の熱伝導率変化の数値解析モデル

### 2.1 熱伝導率変化

#### (1) 熱伝導率測定値がない場合<sup>文1)、文2)</sup>

発泡プラスチック系断熱材の熱伝導率  $\lambda_{foam}(t)$  は、気泡セル膜間の放射熱伝達、断熱材内の固体部分の熱伝導、気泡セル内の発泡剤(混合気体)の熱伝導の3つの要因に分けて以下のように表される。

$$\lambda_{foam}(t) = \lambda_{rad} + \lambda_{sol} + \lambda_{gas}(t) \quad (1)$$

ここで、 $\lambda_{rad}$  は気泡セル膜間の放射熱伝達による伝熱成分[W/(m・K)]、 $\lambda_{sol}$  は気泡セル膜やポリマー支柱部の固体中の熱伝導による伝熱成分[W/(m・K)]、 $\lambda_{gas}(t)$  は気泡セル内の発泡剤(混合気体)中の熱伝導による伝熱成分[W/(m・K)]を表す。

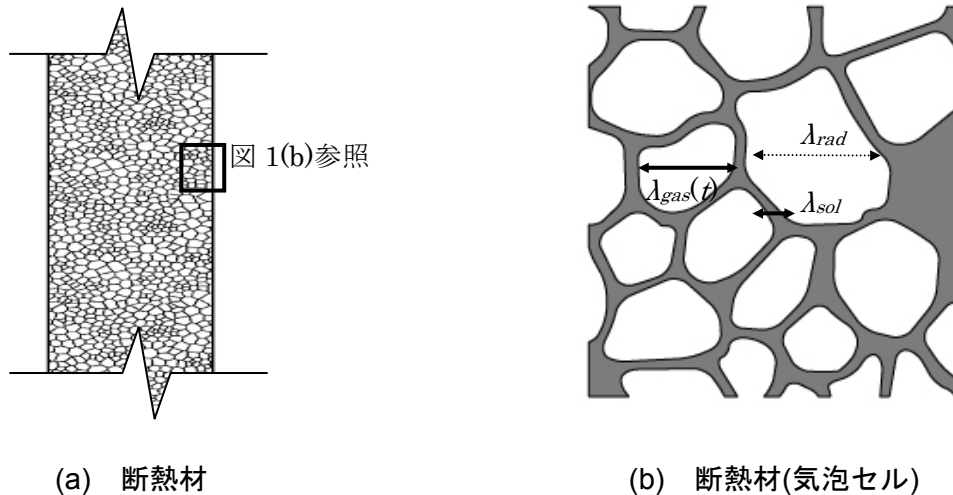


図1 断熱材の熱伝導率を構成する各要因

#### (a) 気泡セル膜間の放射熱伝達による伝熱成分( $\lambda_{rad}$ )

$$\lambda_{rad} = \frac{16\sigma T^3}{3 \times 4.1 \times \frac{\sqrt{V_{st} \cdot \rho_{foam} / \rho_{pol}}}{\varphi}} \quad (2)$$

#### (b) 断熱材固体部分の熱伝導による伝熱成分( $\lambda_{sol}$ )

$$\lambda_{sol} = \frac{1}{3} (2 - V_{st}) \frac{\rho_{foam}}{\rho_{pol}} \lambda_{pol} \quad (3)$$

#### (c) 気泡セル内の発泡剤中の熱伝導による伝熱成分( $\lambda_{gas}(t)$ )

$$\lambda_{gas}(t) = \sum_{i=1}^n \omega_i(t) \cdot \lambda_i \quad (4.1)$$

$$\omega_i(t) = \frac{x_i(t)}{\sum_{j=1}^n x_j(t) \cdot A_{ij}} \quad (4.2)$$

$$x_i(t) = \frac{P_i(t)}{\sum_{i=1}^n P_i(t)} \quad (4.3)$$

$$A_{ij} = \frac{1}{4} \left( 1 + \sqrt{\left( \frac{n_i}{n_j} \right) \left( \frac{M_j}{M_i} \right)^{3/4} \cdot \frac{T + 1.5T_{b,i}}{T + 1.5T_{b,j}}} \right)^2 \frac{T + \sqrt{1.5T_{b,i} \cdot 1.5T_{b,j}}}{T + 1.5T_{b,j}} \quad (4.4)$$

## (2) 熱伝導率測定値がある場合<sup>文3)</sup>

製造から時間  $t$  経過したときの発泡プラスチック系断熱材の熱伝導率  $\lambda_{foam}(t)$  は、製造直後に測定された熱伝導率  $\lambda_{foam,ini}$  と製造から時間  $t$  経過したときの熱伝導率の変化量  $\lambda_{aging}(t)$  の和によって表すことができ、以下の式により求めることができる。

$$\lambda_{foam}(t) = \lambda_{foam,ini} + \lambda_{aging}(t) \quad (5)$$

ここで、 $\lambda_{foam,ini}$  は製造直後に測定された熱伝導率[W/(m・K)]を、 $\lambda_{aging}(t)$  は製造から時間  $t$  経過したときの熱伝導率の変化量[W/(m・K)]を表す。

### (a) 熱伝導率の変化量( $\lambda_{aging}(t)$ )

$$\lambda_{aging}(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i (\omega_i(t) - \omega_i(0)) \quad (6.1)$$

$$\omega_i(t) = \frac{x_i(t)}{\sum_{j=1}^n x_j(t) \cdot A_{ij}} \quad (6.2)$$

$$x_i(t) = \frac{P_i(t)}{\sum_{i=1}^n P_i(t)} \quad (6.3)$$

$$A_{ij} = \frac{1}{4} \left( 1 + \sqrt{\left( \frac{n_i}{n_j} \left( \frac{M_j}{M_i} \right)^{3/4} \frac{T + 1.5T_{b,i}}{T + 1.5T_{b,j}} \right)^2 + \frac{T + \sqrt{1.5T_{b,i} \cdot 1.5T_{b,j}}}{T + 1.5T_{b,j}}} \right) \quad (6.4)$$

## 2.2 断熱材内分圧変化<sup>文4)</sup>

断熱材内から放散する発泡ガスや断熱材内に浸入する周囲空気の断熱材内分圧は、以下の式によって表すことができる(式(7)の導出過程の詳細については文献3を参照されたい)。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = D_{eff,i} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right) \quad (7)$$

断熱材表面に被覆層がない場合と被覆層がある場合によって、式(7)はそれぞれ以下に示す式により扱うことができ、任意の時刻  $t$  における断熱材内の発泡ガスと空気の分圧を求めることができる。

### (1) 被覆層がない場合

断熱材内の空気、発泡ガスの分圧変化は以下の式により表される。

$$P_i(t) = P_{i,out} + (P_i(0) - P_{i,out}) \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp(-D_{eff,i} \mu^2 t) \quad (8.1)$$

$$\mu = \frac{(2n-1)\pi}{2L} \quad (8.2)$$

式(8)の詳細については文献4を参照されたい。

### (2) 被覆層がある場合<sup>文5)</sup>

断熱材内空気の分圧変化は以下の式により表される。

$$P_i(t) = (P_{i,out} - P_i(0)) \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\mu_i^2 \exp(-\beta_n^2 D_{eff,i} t / L^2)}{\beta_n^2 \{\beta_n^2 + \mu_i^2 + \mu_i\}} \right\} + P_i(0) \quad (9.1)$$

$$\beta_n \tan \beta_n = \mu_i \quad (9.2)$$

$$\mu_i = \frac{L}{R_i} \quad (9.3)$$

また、断熱材内発泡ガスの分圧変化は以下の式により表される。

$$P_i(t) = (P_i(0) - P_{i,out}) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\mu_i^2 \exp(-\beta_n^2 D_{eff,i} t / L^2)}{\beta_n^2 \{\beta_n^2 + \mu_i^2 + \mu_i\}} + P_{i,out} \quad (10.1)$$

$$\beta_n \tan \beta_n = \mu_i \quad (10.2)$$

$$\mu_i = \frac{L}{R_i} \quad (15-3)$$

式(9)および式(10)の詳細については文献5を参照されたい。

### 2.3 記号表

$A_{foam}(t)$	発泡プラスチック系断熱材の熱伝導率 [W/(m・K)]
$A_{rad}$	気泡セル膜間の放射熱伝達による伝熱成分 [W/(m・K)]
$A_{sol}$	断熱材固体部の熱伝導による伝熱成分 [W/(m・K)]
$A_{gas}(t)$	気泡セル内の発泡ガスおよび空気の熱伝導による伝熱成分 [W/(m・K)]
$A_{foam,ini}$	製造直後の初期熱伝導率 [W/(m・K)]
$A_{aging}(t)$	製造から時間 $t$ 経過したときの熱伝導率の変化量 [W/(m・K)]
$K$	平均減衰係数 [m <sup>-1</sup> ]
$\sigma$	ステファン・ボルツマン定数 (=5.67×10 <sup>-8</sup> ) [W/m <sup>2</sup> ・K <sup>4</sup> ]
$\rho_{foam}$	断熱材の密度 [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{pol}$	気泡セル膜などを構成するポリマーの密度 [kg/m <sup>3</sup> ]
$V_{st}$	支柱ポリマー体積率 [-]
$\varphi$	気泡セル直径 [ $\mu$ m]
$A_{polymer}$	気泡セル膜などを構成するポリマーの熱伝導率 [W/(m・K)]
$\omega_i$	重み係数 [-]
$\lambda_i$	断熱材内気体 $i$ の熱伝導率 [W/(m・K)]
$x_i$	断熱材内気体 $i$ のモル分率 [-]
$\eta_i$	断熱材内気体 $i$ の粘性係数 [ $\mu$ Pa・s]
$M_i$	断熱材内気体 $i$ の分子量 [g/mol]
$T$	温度 [K]
$T_{b,i}$	断熱材内気体 $i$ の沸点 [K]
$P_i(t)$	断熱材内気体 $i$ の分圧 [Pa]
$P_{total}(t)$	気泡セル内に存在する混合気体の全圧 [Pa]
$D_{eff,i}$	断熱材内気体 $i$ の有効拡散係数 [m <sup>2</sup> /s]
$R_i$	気体 $i$ に対するスキン層や面材の拡散抵抗 [m]
$x$	座標 [m]
$t$	時間 [s]
$L$	断熱材厚さ [m]

## 2.4 参考文献

- 文1) G. F. Smith and J. A. Thoen: Mathematical Modeling Techniques to Predict Important Aspects of k-Factor Aging of CHC-11 Free Rigid Insulation: Journal of Cellular Plastics Volume29, pp.57-98, 1993
- 文2) 近藤靖史、長澤康弘、小笠原岳、村上周三：建築用プラスチック系断熱材の熱伝導率の長期経年変化に関する数値解析、日本建築学会環境系論文集 第 606 号 pp.23-30、2006.8
- 文3) 近藤靖史、長澤康弘、藤本哲夫、田坂太一：発泡プラスチック系断熱材の長期断熱性能変化の測定および数値解析、日本建築学会環境系論文集 第 634 号 pp.1361～1368、2008.12
- 文4) 近藤靖史、長澤康弘、村上周三：断熱材内 CFC および HCFC の有効拡散係数の同定と残存量の経年変化 建材用断熱材内のフロン残存量の推定(その 1)、日本建築学会環境系論文集 第 582 号 pp.99～106、2004.8
- 文5) J. Crank: The Mathematics of Diffusion, 2nd Edition, Oxford, 1975

### 3 簡易予測ツールの操作方法

この簡易予測ツールはフェーズ 2 の段階において用いるツールであり、測定値が無いことを想定して開発している。ここでは、「被覆層なし」と「被覆層あり」の 2 つの簡易予測ツールの操作方法について解説する。

#### 3.1 被覆層なし

被覆層がない状態の断熱材を対象に熱伝導率変化を予測するためのツールであり、以下に示す 2 つのシートによって構成されている。

##### (a) Excel シート・計算条件

このシートは、熱伝導率変化を予測するための計算条件を入力するためのシートであり、入力項目は以下の通りである。また、各計算条件を入力することで、製造から 10,000 日後(約 30 年)までの熱伝導率変化をグラフにより把握することができる。

入力項目

##### (1) 断熱材

- 断熱材厚さ[m] : セル E4<sup>注1)</sup>
- 使用温度[°C] : セル E5
- 断熱材密度[kg/m<sup>3</sup>] : セル E8
- ポリマー樹脂の密度[kg/m<sup>3</sup>] : セル E9
- ポリマー樹脂の熱伝導率[W/(mK)] : セル E10
- 気泡セル径[m] : セル E12

##### (2) 断熱材内気体

- 空気の有効拡散係数[m<sup>2</sup>/s] : セル J8
- 発泡ガスの気体 No. : セル J14<sup>注2)</sup>
- 発泡ガスの有効拡散係数 : セル J18

注釈

注1) 断熱材の両面が開放している場合には、想定する断熱材厚さの 1/2 の値を入力する。

注2) 右表(発泡ガスデータベース)より気体 No.を入力すると、各気体の物性値(熱伝導率、粘性係数、分子量、沸点)が自動的に入力される。

##### (b) Excel シート・熱伝導率変化

Excel シート・計算条件に基づいて、対象断熱材の熱伝導率変化を予測するためのシートである。

気泡セル膜間の放射熱伝達による伝熱成分( $\lambda_{rad}$ )・式(2)参照 : セル AS7~3AS6

断熱材固体部分の熱伝導による伝熱成分( $\lambda_{sol}$ )・式(3)参照 : セル AT7~AT36

気泡セル内気体の熱伝導による伝熱成分( $\lambda_{gas}(t)$ )・式(4)参照 : セル AU7~AU36

対象断熱材の熱伝導率変化 : セル AV7~AV36

#### 3.2 被覆層あり

被覆層がある状態の断熱材を対象に熱伝導率変化を予測するためのツールであり、以下に示す 4 つのシートによって構成されている。

##### (a) Excel シート・計算条件

熱伝導率変化を予測するための計算条件を入力するためのシートである。

##### (1) 断熱材

- 断熱材厚さ[m] : セル E4<sup>注1)</sup>
- 温度[°C] : セル E5

- ・ 断熱材密度[kg/m<sup>3</sup>] : セル E8
- ・ ポリマー密度[kg/m<sup>3</sup>] : セル E9
- ・ ポリマー熱伝導率[W/(mK)] : セル E10
- ・ 気泡セル径[m] : セル E12

(2) 断熱材内気体

- ・ 空気の有効拡散係数[m<sup>2</sup>/s] : セル J8
- ・ 発泡ガスの気体 No. : セル J14 <sup>注2)</sup>
- ・ 発泡ガスの有効拡散係数 : セル J18

(3) 被覆層

- ・ 空気に対する拡散抵抗[m<sup>2</sup>/s] : セル J26
- ・ 発泡ガスに対する拡散抵抗[m<sup>2</sup>/s] : セル J27

また、被覆層がある場合には、2章に示した式(9)、式(10)を計算するため、計算条件として  $\beta_{ini}$  を入力する必要がある。

- ・  $\beta_{in}(\text{Air})$  : セル J31 <sup>注3)</sup>
- ・  $\beta_{in}(\text{BA})$  : セル J32 <sup>注3)</sup>

注釈

注1) 断熱材の両面が開放している場合には「断熱材厚さ[m]」は厚さの 1/2 の値を入力する。

注2) 右表(発泡ガスデータベース)より気体 No.を入力すると、各気体の物性値(熱伝導率、粘性係数、分子量、沸点)が自動的に入力される。

注3) 式(9)および式(10)における  $\beta_i$  を算出するための計算条件を入力する。ここでは、 $\beta_i$  をニュートン・ラプラス法により求めるために用いる  $\beta_{ini}$  として  $0 < \beta_{ini} < \pi/2$  を満たす値を入力する(ただし、入力した値によって正しく計算されていることを確認するため、Excel シート・ $\beta_{i-}$ (空気)、Excel シート・ $\beta_{i-}$ (発泡ガス)の  $\beta_1 \sim \beta_{10}$  の f の欄がすべて 0 となるように値を入力すること)。

(b) Excel シート・ $\beta_{i-}$ (空気)

(c) Excel シート・ $\beta_{i-}$ (発泡ガス)

式(9)および式(10)を計算するため、ニュートン・ラプラス法によって  $\beta_{i-}(i=1 \sim 10)$  を計算するためのシートである。

(d) Excel シート・熱伝導率変化

Excel シート・計算条件などに基づいて、対象断熱材の熱伝導率変化を予測するためのシートである。

気泡セル膜間の放射熱伝達による伝熱成分( $\lambda_{rad}$ )・式(2)参照 : セル AY9~38

断熱材固体部分の熱伝導による伝熱成分( $\lambda_{sol}$ )・式(3)参照 : セル AZ9~38

気泡セル内気体の熱伝導による伝熱成分( $\lambda_{gas}(t)$ )・式(4)参照 : セル BA9~38

対象断熱材の熱伝導率変化 : セル BB9~38



イ) 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計算結果例

計算条件

(1) 断熱材

項目	単位	値
断熱材厚さ	[m]	0.010
温度	[Cdeg]	20.00
温度	[K]	293.16
ステファン・ボルツマン定数	[W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup> ]	5.67E-08
断熱材密度	[kg/m <sup>3</sup> ]	30.0
ポリマー密度	[kg/m <sup>3</sup> ]	1200.0
ポリマー熱伝導率	[W/m.K]	0.20
支柱ポリマー体積率	[-]	0.60
気泡セル径	[m]	1.50E-04

(2) 気体(空気・発泡ガス)

項目	単位	値
気体No.	[-]	1
気体名	[-]	air
初期分圧(断熱材内)	[MPa]	0.001
初期分圧(外部)	[MPa]	0.101
有効拡散係数	[m <sup>2</sup> /sec]	2.50E-11
熱伝導率	[W/m.K]	0.025
粘性係数	[μPa.s]	18.20
分子量	[g/mol]	29.00
沸点	[K]	80.30
項目	単位	値
気体No.(右表参照)	[-]	2
気体名	[-]	CFC11
初期分圧(断熱材内)	[MPa]	0.070
初期分圧(外部)	[MPa]	0.000
有効拡散係数	[m <sup>2</sup> /sec]	2.50E-13
熱伝導率	[W/m.K]	0.009
粘性係数	[μPa.s]	11.30
分子量	[g/mol]	137.40
沸点	[K]	297.00

発泡ガスデータベース

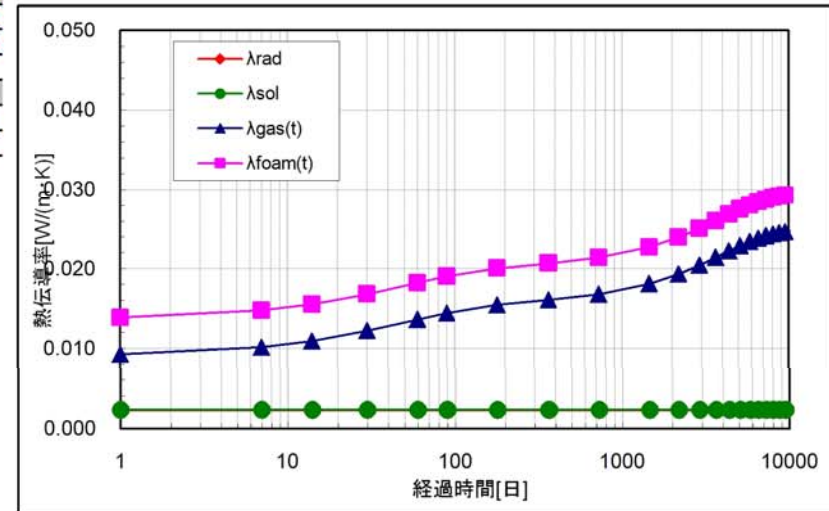
No.	気体名	熱伝導率		粘性係数 ni [μPa.s]	分子量 Mi [g/mol]	沸点 Tb,i [K]
		λi=a*T+b [W/(m.K)]				
1	air	0.080	1.76	18.2	29.0	80.3
2	CFC11	0.035	-1.57	11.3	137.4	297.0
3	HCFC22	0.062	-7.40	12.7	86.5	232.4
4	HCFC141b	0.053	-5.90	10.1	117.0	305.2
5	HCFC142b	0.064	-7.47	11.2	100.5	263.6
6	HFC134a	0.084	-11.48	12.2	102.0	246.7
7	HFC152a	0.074	-8.53	10.3	66.0	248.3
8	HFC245fa	0.064	-6.88	9.4	134.0	288.5
9	HFC365mfc	0.065	-8.39	8.4	148.0	313.2
10	nC5	0.095	-13.22	6.9	72.0	309.2
11	cC5	0.078	-11.26	7.4	70.0	322.2
12	iC4	0.104	-15.02	7.4	58.1	261.5
13	nC4	0.107	-15.43	7.4	58.1	272.5
14	CO2	0.075	-5.80	14.7	44.0	194.6

(3) 被覆層(空気・発泡ガス)

項目	単位	値
拡散抵抗(空気)	[m]	1.00E-02
拡散抵抗(発泡ガス)	[m]	1.00E-03

項目	単位	値
βini(air)	[-]	1.371
βini(BA)	[-]	1.471

※ input: 0<βini<π/2



ウ) LCCO2 簡易計算ツール計算結果例

LCCO2簡易試算ツール (2009.03版)



◆入力について

- 1.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)を対照とする。
- 2.試算に用いる戸建住宅の延床面積は121.7㎡、断熱材施工面積は242.1㎡とする。
- 3.各ステージで入力可能な方法(方法1又は方法2)を選択し [ ] に数値を入力する。  
(ステージ毎で方法1と方法2が混在しても構わない。方法1において不明な場合は100を入力する)
- 4.各ステージ枠にフェーズ毎の評価目安を示す。記号の意味は ◎:必ず評価、○:できれば評価、△:必要に応じ評価
- 5.評価は、各ステージの従来製品(同様な製造工程で一般的な製品)と、評価製品(開発中の製品)のCO2発生量積算値で行つ。
- 6.方法2の基準製品とは、東京の次世代基準(平成11年省エネ基準)を初期性能で満足する厚みを持つ施工面積1㎡の製品とする。
- 7.供用ステージの熱伝導率は、別途「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」で算出することができる。(方法2)
- 8.供用ステージの期間平均熱伝導率は、促進試験25年相当の数値を代入することができる。(方法2)
- 9.供用ステージの大気放散量は、期間中に大気に放散される地球温暖化ガスをCO2換算した数値とする。

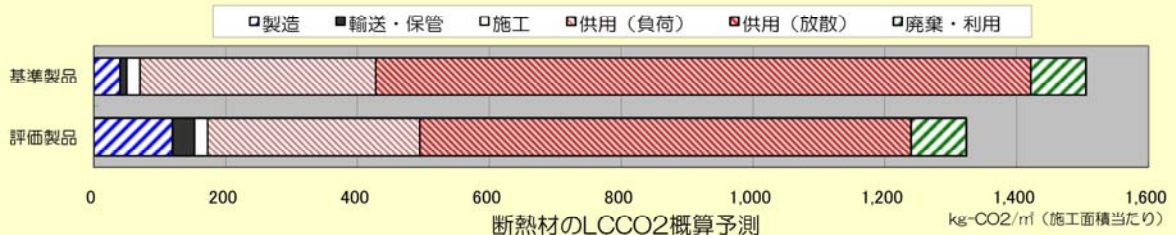
断熱材の性能	評価製品の初期熱伝導率:	<input type="text" value="0.024"/>	W/(m・K)	.....	平均断熱材厚さ	<input type="text" value="70.3"/>	mm	容積	<input type="text" value="17.017"/>	m <sup>3</sup> /棟
	想定する従来商品:	<input type="text" value="商品名"/>								
	従来製品の初期熱伝導率:	<input type="text" value="0.034"/>	W/(m・K)	.....	平均断熱材厚さ	<input type="text" value="99.6"/>	mm	容積	<input type="text" value="24.107"/>	m <sup>3</sup> /棟

ステージ	方法 1	方法 2 (未完成)
製造	従来製品と比べ ①製品が含有するCO2換算量(供用・廃棄で使用) 主な材料のCO2排出原単位が <input type="text" value="50"/> %相当 材料使用量が <input type="text" value="150"/> %相当 ②製造エネルギーのCO2 製造エネルギーのCO2排出量が <input type="text" value="300"/> %相当	使用熱源 電気 <input type="text"/> kWh/基準製品 ガス <input type="text"/> m <sup>3</sup> /基準製品 重油 <input type="text"/> k <sup>g</sup> /基準製品 蒸気 <input type="text"/> k <sup>g</sup> /基準製品
輸送・保管	従来製品と比べ 輸送距離が <input type="text" value="500"/> %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="150"/> %相当 輸送時の容積が小さくできると積載効率が向上 輸送のCO2原単位が <input type="text" value="100"/> %相当 列車や船舶輸送を使うとCO2原単位が減少(ここでは100とする)	輸送手段 陸送 <input type="text"/> km/台 トラック <input type="text"/> 台/住戸 列車 <input type="text"/> km/コンテナ コンテナ <input type="text"/> 台/住戸 船舶 <input type="text"/> km/コンテナ コンテナ <input type="text"/> 台/住戸
施工	従来製品と比べ 施工エネルギーのCO2排出量が <input type="text" value="100"/> %相当 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 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 CO2削減根拠があれば、その数値を入力	使用熱源 電気 <input type="text"/> kWh/住戸 重油 <input type="text"/> k <sup>g</sup> /住戸
供用	従来製品と比べ 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="90"/> %相当 断熱性能の劣化が少ないと期待される場合は90%とすることができる 断熱性能の劣化は原理上ゼロの場合は70%とすることができる ②期間中の大気放散 初期製品が含有するCO2換算量は <input type="text" value="75"/> %相当 大気放散するCO2排出量が <input type="text" value="100"/> %相当 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 CO2削減根拠があれば、その数値を入力	期間平均熱伝導率 <input type="text"/> W/mK 大気放散量 <input type="text"/> kg-CO2/住戸
廃棄・利用	従来製品と比べ 廃棄エネルギーのCO2排出量が <input type="text" value="100"/> %相当 CO2削減根拠があれば、その数値を入力 廃棄時のCO2換算量は <input type="text" value="0"/> %相当 廃棄率 <input type="text" value="100"/> %相当 リサイクルが不明な場合は全廃棄とするため「100」を入力	電気使用量 <input type="text"/> kWh/住戸 ガス使用量 <input type="text"/> m <sup>3</sup> /住戸

【試算結果】

削減率

<input type="text" value="320,357"/>	kg-CO2/住戸
<input type="text" value="2,631"/>	kg-CO2/㎡(延床)
<input type="text" value="1,324"/>	kg-CO2/㎡(施工)



エ) 自己評価表（断熱性能測定技術の実用性評価）

【基本性能】

a) 熱伝導率の測定範囲

No	大項目	小項目
1	測定範囲	熱伝導率 ~ W/(m・K)
2	測定項目	熱伝導率 熱拡散率 比熱(熱容量) 熱浸透率 その他
3	測定時の試料加熱方法	定常法 非定常法：パルス加熱 非定常法：周期加熱 非定常法：ステップ加熱 その他
4	測定方法 (関連規格等)	絶対法 比較法 その他
5	熱移動の方向	厚さ方向 面方向 線熱源を軸とした径方向

b) 測定環境

ユーザー側が判断する項目，又は装置開発者が提示する項目

No	大項目	小項目
6	測定場所	研究室 工場 現場 その他
7	測定場所の環境	温度変動の有無 高温多湿の環境 低温の環境 電源の確保 電源のノイズ 気圧(真空，大気圧) 強力な磁場が周囲にある 特殊な環境 振動(地下鉄，交通，その他) その他
8	試料姿勢	垂直 水平
9	測定部の状態	平面 凹凸面 局面 試料内部に差し込む

装置の測定範囲

No	大項目	小項目
10	測定の雰囲気	大気中

No	大項目	小項目
11	測定温度の範囲	その他 低温(0℃以下) 常温(0~70℃程度) 高温(100℃以上)
12	測定厚さの範囲	厚さ ~ mm
13	測定面積	面状(大・中・小) 線(長・短) 点

測定システム

No	大項目	小項目
14	温度測定	接触式 非接触式 測定点数
15	熱量測定	電流，電圧，抵抗 熱線の長さ 熱流計
16	厚さの測定	装置，機器 測定場所 測定回数
17	時間の測定	
18	測定時の試料の設置方法	接触圧あり(接触荷重) 接触圧なし

c) 校正の不確かさ

No	大項目	小項目
19	校正の有無	校正 有り，必要 校正 なし，不要
20	校正方法	自己点検 外注(外注先)
21	参照標準の有無	有り(参照標準の物質名，校正方法，校正履歴，入手のしやすさ，等) 無し
22	校正頻度	
23	校正に要する時間	
24	校正作業	簡易 チェック項目多数，複雑
25	校正の不確かさ	

d) 測定の不確かさ

No	大項目	小項目
26	測定値の信頼性	定期検査の方法，頻度
27	測定精度	不確かさ 再現性

e) 測定可能対象

No	大項目	小項目
28	試料の寸法	厚さ(薄い，厚い)

		寸法 (大・中・小) 面積 ( $\circ\circ\text{mm}\times\circ\circ\text{mm}$ ) (又は $\triangle\triangle\sim$ $\nabla\nabla\text{mm}^2$ )
29	試料の形状, 品質	平板状, シート状 現場発泡 不均一性 積層構成 面材の有無 繊維の配列等による異方性 材質の安定性

### 【実用性】

#### f) 測定時の安全性

No	大項目	小項目
30	安全性	
31	火傷, 怪我などの危険性	なし (危険な箇所に保護対策がされている。) 危険な箇所に保護対策がされていない。 要注意箇所有り。
32		

#### g) 試料の処理方法

No	大項目	小項目
33	試料の条件	処理の必要なし 製品形状のまま 測定用に加工
34	測定する試料の状態	サンプリングの有無 梱包の有無 材料の品質 養生の必要性 測定する温度の依存性 水分の影響 ガスによる泡空孔径内 空気の置換 気泡, 空隙の大きさ

#### h) 操作性

No	大項目	小項目
35	操作性	
36	測定者の習熟度	初心者可, トレーニング要, 熟練者, ...
37	測定開始前の装置準備	数分 1時間以内 1時間以上
38	測定に要する時間	数分 数時間 数日
39	1 試料における測定回数	数回の平均
40	装置重量	数 kg, 数百 kg, 数 t
41	可搬性	

#### i) 経済性

No	大項目	小項目
42	装置価格	価格 ¥
43	測定コスト	1 回に掛かる経費 (消耗品, 電力, 他)
44	装置を提供できるまでの期間	

#### j) 環境影響

No	大項目	小項目
45	環境へ与える影響	廃棄物 ガス等の放出 消費電力

#### k) その他関連する項目

##### ユーザーの要求

No	大項目	小項目
46	使用目的	製品開発 品質管理 受け入れ検査 施工後の性能確認 現位置測定 その他
47	測定に対する要求精度	低 中 高

##### ユーザー側が判断する項目

No	大項目	小項目
48	測定回数	1 回 数回 ロット別 所定の数量から 1 回
49	測定箇所	

##### 制御システム

No	大項目	小項目
50	試料温度制御方法 (加熱)	
51	試料温度制御方法 (冷却)	
52	周波数	
53	その他の制御	

##### 装置に関連する情報

No	大項目	小項目
54	電源	100V, 200V, ... 乾電池, バッテリー
55	必要機材	装置のみ PC 必要 その他 (ロガー等)
56	消耗品	
57	その他	損傷しやすい箇所がある 素手で触れてはいけない箇所がある

### オ) 評価方法の一例（断熱性能測定技術の実用性評価）

■ ニーズを考慮した評価方法を行うため、段階に応じて評価ポイントを変更する

評価（ポイント）		1	2	3	4	5
測定性能 熱伝導率 W/(m・K)		0.1 以上	0.1 以下	0.024 以下	0.01 以下	0.005 以下
測定精度 (不確かさ)	研究	10%以上	10%以下	5%以下	3%以下	1%以下
	試作	10%以上	10%以下	5%以下	3%以下	1%以下
	量産 試作	15%以上	15%以下	10%以下	5%以下	3%以下
	現場	15%以上	15%以下	10%以下	5%以下	3%以下
測定精度 (再現性)	研究					
	試作					
	量産 試作					
	現場					
測定時間	研究	12 時間以上	12 時間以下	1 時間以下	30 分以下	10 分以下
	試作	12 時間以上	12 時間以下	1 時間以下	30 分以下	10 分以下
	量産 試作	30 分以上	30 分以下	10 分以下	5 分以下	1 分以下
	現場	30 分以上	30 分以下	10 分以下	5 分以下	1 分以下
可搬性 (装置の大きさ・ 重量によってポイ ントを区分)	研究	不可 100kg 以上	不可 100kg 以下	不可 50kg 以下	可 20kg 以下	可 10kg 以下
	試作	不可 100kg 以上	不可 100kg 以下	不可 50kg 以下	可 20kg 以下	可 10kg 以下
	量産 試作	不可 100kg 以上	不可 100kg 以下	不可 50kg 以下	可 20kg 以下	可 10kg 以下
	現場	不可	可 40kg 以下	可 20kg 以下	可 10kg 以下	可 3kg 以下
操作性	研究	・初心者不可 ・多量の取扱 説明書 ・講習が必要	・初心者不可 ・多量の取扱 説明書	・初心者不可 ・取扱説明書	・初心者可 (工学知識必 要) ・取扱説明書	・初心者可 (工学知識必 要)
	試作					
	量産 試作					
	現場					
安全性	研究	要注意箇所 が多い 機械の露出 部あり 感電，怪我 の可能性あり	要注意箇所 所有り 一部機械の 露出部あり	通常の使用 範囲であれ ば怪我の問 題なし		
	試作					
	量産 試作					
	現場					
装置価格	研究	1,000 万以上	1,000 万以下	500 万以下	100 万以下	50 万以下
	試作					
	量産 試作					
	現場	500 万以上	500 万以下	100 万以下	50 万以下	10 万以下
費用/回 (1 回測定する 際のコスト)	研究					
	試作					
	量産 試作					
	現場					

・段階において、評価ポイントの変化する項目と、変化しない項目がでることもある

■ 試行例

記号		装置 A				
装置名/製造メーカー						
必須	測定方法	比較法 JIS A 1412-2 (熱流計法)				
	試料の加熱方法	定常法				
	測定項目	熱伝導率				
	測定温度の範囲	-10~70℃				
	測定対象	建材関係				
	測定部の状態	平面				
評価項目	項目	性能	段階			
			研究	試作	量産試作	現場
	測定性能 熱伝導率 W/(m・K)	0.009~1.16	4	4	4	4
	測定精度 (不確かさ)	3%	4	4	5	5
	測定精度 (再現性)	1%	4	4	5	5
	測定時間	2~3 時間	2	2	2	2
	可搬性	不可 計測部：約 90kg 制御部：パソコン 付属：ロガー	2	1	1	1
	操作性	試料の加工が必要 厚さの均一性が重要 パソコンによる入力	3	3	3	3
	安全性	通常の使用範囲で問題なし	3	3	3	3
	装置価格 費用/回	100 万以上 30,000	2 3	1 2	1 1	1 1

記号		装置 B				
装置名/製造メーカー						
必須	測定方法	熱線法				
	試料の加熱方法	非定常法				
	測定項目	熱伝導率				
	測定温度の範囲	-10~200℃				
	測定対象	建材				
	試料の形状	平面 (プローブを取換えて、試料に差し込むタイプも可能)				
評価項目	項目	性能	段階			
			研究	試作	量産試作	現場
	測定性能 熱伝導率 W/(m・K)	0.02~10	3	3	3	3
	測定精度 (不確かさ)	10%	2	2	3	3
	測定精度 (再現性)	5%	1	2	2	3
	測定時間	1 分	5	5	5	5
	可搬性	可能 装置：約 8.5kg	5	5	5	4
	操作性	プローブ設置と 簡単なボタン操作	5	5	4	4
	安全性	通常の使用範囲 で問題なし	4	4	4	4
	装置価格 費用/回	 1,000	5 4	5 4	5 4	5 5

■ ニーズを考慮したレーダーチャートの作成

段階	装置 A	装置 B
研究		
試作		
量産試作		
現場		

## 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

基盤技術は、熱伝導率を下げ、断熱性を向上できる基本的な技術の概念、アイデアの創案と実験検証を踏まえて基本技術を確立することにより、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生産に向けた製造法を開発すること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セルの微細化と CO<sub>2</sub> の拡散防止
- ②低コスト化、安全対策、規制の緩和活動
- ③既存設備の使用、軽微な改造・追加
- ④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発泡構造と製造プロセスの最適化
- ②ナノ多孔質シリカの応用
- ③ナノゲルを応用した簡易真空断熱材

##### (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ユーザーワークを通じた実用化価値の検討
- ②実使用サイズでの技術獲得
- ③市場ターゲット、展開可能性、市場での受入可能性の確認

##### (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、事業化の見通しが得られている。

##### (1)計測技術開発

計測技術は、下記項目の開発により実用化が可能である。

- ①プローブの安定供給
- ②プローブの高感度化

##### (2)評価技術開発

評価技術は、開発した評価方法を各事業者殿に試用して戴き、そのコメントを評価方法の検討に反映することにより実用化が可能である。



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

研究開発項目	研究課題	成果の実用化可能性
革新的断熱技術開発	基盤研究	・断熱性能を向上するアイデアの創案と企業化
	発泡ガス開発	・環境影響評価も含めた発泡剤としての特性の検証、工業生産に向けた製造法の開発により可能
	硬質ウレタン技術	・セルの微細化とCO <sub>2</sub> の拡散防止により可能 ・低コスト化、安全対策、規制の緩和活動により可能 ・既存設備の使用、軽微な改造、追加で実用化は可能 ・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により可能
	ハイブリッド断熱材	・発泡構造と製造プロセスの最適化により可能 ・ナノ多孔質シリカの応用により可能 ・ナノゲルを応用した簡易真空断熱材により可能
	発泡断熱ボードグループ	・ユーザワークを通じ実用価値の検討を進める。 ・実用サイズでの技術獲得、市場ターゲットおよび展開の可能性明確化、市場での受入可能性の確認を通じて可能性を検討する。
断熱性能等の計測・評価技術開発	計測技術	・プローブの安定供給と高感度化により可能である。
	性能評価・標準化技術	・評価方法の検討において本プロジェクトの各事業者殿にご試用におけるコメントを反映することにより可能性がある。

#### 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)

大学という立場を鑑み、事業化に向けては次のような姿勢を進める。

①熱伝導率を下げ、断熱性を向上できる基本的な技術の概念・アイデアを創案し、実証実験を踏まえながら本プロジェクト参加企業ならびに発泡関連企業に技術を提案していく。

②プロジェクト参加企業の研究・事業化を支援する。

ナノ発泡成形法を例として、研究・事業化の進め方を説明する。大学における研究で、基本的な技術を確認し、企業ならびにベンチャー企業に移行する。

##### 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が見出されており、実用化に向けた課題として、環境影響評価も含めた発泡剤としての特性の検証、工業生産に向けた製造法の開発があげられる。

今後、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は、本プロジェクトで引き続き進めていく。製造法についても、ラボスケールではあるが、工業原料から工業規模での製造が可能なプロセスの開発を本プロジェクト内で検討していく。

さらに、工業化を考えた場合、製造については年間数千トン規模での生産が求められると予想され、そのためのプロセス開発が必要である。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。開発した発泡剤を使用した断熱材についても、用途等に応じてさらなる開発が必要と思われる。これらについては、プロジェクト後、民間と共同して開発を進めることで実用化が可能であると考えている。

#### 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)

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 実用性の関する項目の比較

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、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)

###### (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

##### 「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)

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相分離を行う手法(手法1)については、連続製造プロセスによる製造法を開発しており、現時点での試算において、市販の高性能断熱材に近いレベルまで製造コストを低減できる見込みがある。

断熱性能については、連続法で  $0.020\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  台前半以下の熱伝導率を達成する必要がある、発泡の微細化、シリカ含有量の増大など、製造プロセスおよび発泡構造のもう一步の最適化が必要である。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、 $0.01\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  台の熱伝導率を達成しているが、製造にはコストの高い高圧バッチプロセスを利用している。競争力のある断熱材料とするためには、ある程度性能を犠牲にしても常圧あるいは低圧での製造プロセスを開発することが不可欠であると認識している。

##### 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おこなわれているが、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て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、2012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、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。そこでナノゲルを応用した簡易真空成形によって長期安定性に優れた真空断熱材を実用化するもので、2012年までには実用化可能であると予測している。

##### (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もので、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  $5\text{mm}$  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)

建築用断熱材としてユーザーワーク中であり、コンセプトと基礎データの紹介を行った結果、高い評価を得た。サンプル評価を行いたいとの要請があり、サンプル作成を進め、2009年度中に実用価値を明らかとする。

##### 4.1.1.1.5.2 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)

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發泡体を提供することを目指す。

事業化については今後判断するが、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きがあれば事業化の判断ポイントの一つとなる。

実用化に向けた課題としては下記が挙げられる。

###### ①実使用サイズでの技術獲得

- ・実試用サイズでの断熱性到達レベルの見極め
- ・スケールアップにむけた押出發泡成形技術獲得

###### ②市場ターゲットおよび展開の可能性明確化

- ・市場ターゲットおよびその規模確認
- ・設備投資、コストおよび採算性明確化

###### ③市場での受け入れ可能性確認

- ・市場に対応できる製品群のラインアップ
- ・施工性の確認
- ・公的機関での認定取得

#### 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)

現段階で実用化に必要な基本的問題はクリアされている。装置の市販の課題として、ハード的にはプローブの安定供給だけが問題で、連続安定性などを評価し、ケース、接続など問題は少ない。課題としてはプローブの高感度化であるが、これは引き続き開発を続行する。また、測定のアゴリズムに関しては、熱伝導率への換算式の再検討、標準物質の算定などであるが、これは他の研究機関との連携が不可欠である。

本測定システムは電子基板1枚であり、現状のプロトタイプを市販する場合に、開発コストは低減でき、測定機としては比較的安価に供給できるのではないかと考えている。

##### 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。

評価方法の開発が終了した後は、広く一般に使用されることを目指して公開する予定である。公開の方法としては、建材試験センターのウェブサイト上への掲載を検討中であり、誰でも自由に使用できるようになる予定である。評価方法が公開され、使用が可能となった段階で、同評価方法は実用化されたものと位置付けられる。

#### 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 ナノセルラー断熱建材技術

2010年度～2015年度にナノセルラー断熱建材技術の試作と要素試験を実施する。  
2015年度～2025年度にモデルハウスでの検討を通じて、実用化を検討する。

###### ② 革新断熱シート

2010年度～2013年度頃にスケールアップ化と実用価値の確認を進め  
2015年度頃までに実用化を目指す。その後更にフィルムの応用展開を図り、  
2020年度頃までに実用化を目指す。

###### ③ ナノゲル断熱材

2011年度～2015年度頃に実機を検討し、シート状断熱材を開発する。  
2015年度頃より実用化を開始する。

###### ④ シリカエアロゲル

2013年度～2015年度頃に実機を検討し成型断熱材を開発する。  
2016年度頃より実用化を開始する。

###### ⑤ ナノバブル

2010年度～2012年度頃に実機検討し現場スプレー発泡システムを開発する。  
2013年度頃より実用化する。  
2015年度～2018年度頃に工場生産における実機を検討し、  
2019年度頃に実用化を開始する。

##### < 省エネルギー効果と温室効果ガス削減量 >

上記の実用化により、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。

- ・ 2020年：2.7[万 kl/年]
- ・ 2030年：7.6[万 kl/年]

2007年度のHFCのデータより、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CO<sub>2</sub>の削減ポテンシャルは、CO<sub>2</sub>換算で約600[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600[万 CO<sub>2</sub> トン/年]程度

##### (2) 自動車分野

###### ① ナノセルラー断熱建材技術

2015年度～2018年度頃に要素試験を実施する。  
2015年度～2025年度頃に実機への適用を検討し、  
2025年度頃より実用化を開始する。

###### ② ナノゲル断熱材

2015年度～2018年度頃に実機を検討し、シート状断熱材を開発する。  
2018年度頃より事業化を開始する。

##### (3) 家電分野

###### ① 超発泡核材

2010年度～2020年度頃に材料選択、試作・発泡実験、押出機・射出機での実験を実施する。  
2020年度頃より量産化の検討を開始する。

###### ② 革新断熱シート

2015年度～2019年度頃に形態最適化を検討する。  
2020年度頃より事業化を開始する。

表 4.1.3.1 に成果の事業化までのシナリオを示す。

表 4.1.3.1 成果の事業化までのシナリオ

分野	革新的断熱技術	2010	2015	2020	2025	
建築	ナノセルラー断熱建材技術	試作、要素試験 スケールアップ化 実用価値確認	実用化	フィルムの実用展開	モデルハウスでの検討	実用化
	革新断熱シート		実用化			実用化
	ナノゲル断熱材	実機検討 シート状断熱材	実用化			
	シリカエアロゲル	実機検討 成型断熱材	実用化			
	ナノバブル	実機検討 現場スプレー発泡 パネル	実用化	実機検討 工場生産	実用化	
自動車	ナノセルラー断熱建材技術		要素試験	実機への適応検討	実用化	
	ナノゲル断熱材		実機検討 シート状断熱材	実用化		
家電	超発泡核材	試作・発泡実験 材料選択	押出機・射出機 での実験	量産化検討		
	革新断熱シート		形態最適化	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

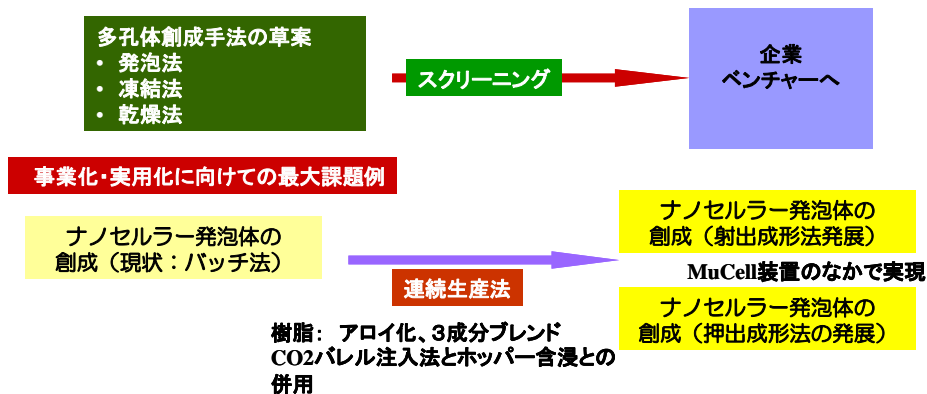
###### 4.1.2.1.1.1 京都大学「超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定と

その創製のための基盤研究」(委託事業)

すでに、マイクロ/ナノ発泡技術野の基本的な考え方(高分子のモルフォロジーを鋳型として、発泡剤の各ポリマー相での溶解度、拡散係数違いにより、気泡核生成の制御ならびに気泡径の制御を行なう)については、本プロジェクトの参加企業である東レの技術に反映されている。また、本プロジェクト参加企業以外で、樹脂発泡を実施している企業にも普及し始めている。

本プロジェクトにおいて、実施している技術の事業化・実用化に向けての最大の課題は、連続化による生産効率の向上を如何に果すかという課題である。

現状では、超臨界二酸化炭素や窒素を利用した射出発泡成形技術(MuCell装置)のなかで、実現できるような、素材開発ならびに操作条件の最適化をすすめていく。



#### 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できることから、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<sup>7</sup>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（吹き付け）ウレタンフォームは、硬質ウレタンフォームの中でも現在代替フロン使用量が多い分野である。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。

\*現場発泡ウレタンフォームの代替フロン使用量：硬質ウレタンフォーム全体の約6割(同社推定値)

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）

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。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 「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）

本研究で開発した材料が、住宅用断熱材の高性能断熱材として製品化が可能となれば、石油エネルギーの使用低減による 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、開発した技術は高性能断熱フィルムなどへの製造にも応用可能であり、建材以外の分野への展開が想定される。

高い断熱性能を持つことで知られるシリカエアロゲル系の断熱材は、主に高圧を用いるバッチ法によって製造されており、高コストとなる原因となっていた。本研究で開発したゾルゲル反応の促進、連続製造法の技術は、シリカエアロゲル系の断熱材を連続的に、低コストで製造する手法の可能性を示したものと考えている。

住宅等における窓からの熱放散は省エネルギー上大きな問題であり、光透過性と断熱性、柔軟性を合わせ持つ高性能断熱材が開発できればその効果は大きい。難度は高いが、例えば本研究で開発した材料の構造をさらに均質化、微細化していくことで、原理的には光透過性を付与できる可能性がある。本研究での知見が貢献できる分野と考える。

#### 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㎡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 85,600 t/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)

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。更に、植物由来プラスチックをベースとしており、製造時の炭酸ガス発生量を従来の発泡系断熱材よりも 1/2 以下に低減できる。本技術を省エネ・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、地球温暖化防止への貢献が期待される。

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

本事業の高断熱性ノンフロン押出發泡体が実現できれば、フロン系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波及すれば、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の断熱材の開発が加速するもの予想される。

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が開発されることにより、環境適合性に優れた高断熱性断熱材の住宅・建築物の断熱施工への普及が促進され、民生分野での省エネルギー化・温室効果ガス排出量削減に貢献することが期待される。

#### 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の実用化検討

2012年度までにナノセルラー発泡体の実用化について検討する。

##### ②ナノセルラー押出／射出発泡体の事業化検討

2013年度までにナノセルラー押出／射出発泡体の事業化を検討し、ナノセルラーの既存発泡装置による実現と波及を図る。

##### ③中空カプセル・ファイバーの事業化検討

2015年までに中空カプセル・ファイバーの事業化を検討し、高性能断熱材の事業化を目指す。

#### (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大規模プロセス、断熱材開発、毒性検討

2015年度までに民間との共同開発により、大規模プロセス化による断熱材の開発と毒性の実用化検討を実施する。

#### (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ノンフロンスプレーフォーム、ボード、パネル等の検討と事業化

2013年度までにノンフロンスプレーフォーム、ボード、パネル等の実用化検討を実施する。

2014年度以降に事業化を開始する。

##### ②ノンフロ断熱材の検討と事業化

2013年度までにノンフロ断熱材の実用化検討を実施する。

2014年度より事業化を開始する。

##### ③現場発泡高断熱ウレタン発泡体の検討

2013年度までに現場発泡高断熱ウレタン発泡体の実用化と事業化を検討する。

2014年度より事業化を開始する。

##### ④硬質ウレタンフォームの検討と事業化

2013年度下期より硬質ウレタンフォームの事業化を検討し、2015年度より事業化を開始する。

#### (4)複合断熱材技術開発

##### ①発泡ポリマ=シリカナノコンポジット断熱材及び連続製造プロセスの事業化検討

2012年度より発泡ポリマ=シリカナノコンポジット断熱材及び連続製造プロセスの事業化検討を実施する。

##### ②高機能無機質系断熱材開発

2012年度～2013年度まで高機能無機質系断熱材の実用化を検討し、

2014年度より事業化を開始する。

##### ③ナノゲルの実用化検討

2012年度～2015年度にナノゲルの実用化を検討する。

#### (5)発泡断熱ボード技術開発

##### ①スケールアップ検討

2012年度～2015年度にスケールアップによる実用化を検討する。

##### ②ノンフロ断熱材

2012年度～2013年度にノンフロ断熱材の事業化を検討し、2014年度から事業化を開始する。

(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

2012年度より事業化を開始する。その後、下記の開発と活動を進める。

- ①高感度化、②操作性向上、③標準化提案、④市販装置・商品開発

(2)評価技術開発

2012年度より事業化を開始する。

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

研究開発項目	開発技術	事業者	開発項目	2012	2013	2014	2015
革新的断熱技術開発	基盤技術開発	京都大学	①ナノセルラー発泡体 ②ナノセルラー押出/射出発泡体 ③中空カプセル・ファイバー	→	ナノセルラーの既存発泡装置による実現と波及		
	発泡ガス開発	産業技術総合研究所	大規模プロセス・断熱材開発、毒性検討		民間と共同開発		
	硬質ウレタン技術開発	①アキレス ②日清紡ケミカル ③旭硝子 ④BASF INOAC ポリウレタン	①ノンフロンスプレーフォーム、ボード・パネル等 ②ノンフロン断熱材 ③現場発泡高断熱ウレタン発泡体 ④硬質ウレタンフォーム	→	→	→	→
	複合断熱材技術開発	①産業技術総合研究所・シーアイ化成・東理大 ②旭ファイバーグラス ③アキレス	①発泡ポリマ=シリカ ナノコンポジット断熱材及び連続製造プロセス ②高機能無機質系断熱材開発 ③ナノゲル	→	→	→	→
	発泡断熱ボード技術開発	①東レ ②カネカ	①スケールアップ検討 ②ノンフロン断熱材	→	→	→	→
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	断熱材熱伝導測定システム	→	高感度化 操作性向上	標準化 提案	市販装置 商品開発
	評価技術開発	建材試験センター	公開実用化	→	→	→	→

→ 実用化検討   
 → 事業化検討   
 → 事業化開始

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、セルサイズをナノスケールに保ちながら、如何にして発泡率をあげるかの技術を迫及する。すなわち、マイクロスケールの気泡とナノスケールの気泡を両方もち、空隙率を85%以上にし、かつ、気泡径を各スケールで制御する技術を開発する。具体的には、核生成速度を高めるための気泡核剤の開発や、二酸化炭素と親和性の高い素材のブレンドならびに、マクロスケールのセル構造を作る発泡剤として、水の利用を検討する。

また、2重管をつかった手法で、光硬化性オリゴマーと二酸化炭素で泡をつくり、その後、光硬化させ、バリア性が高く、かつ空隙率の高い熱硬化性フォームを作成する。

さらに、上述のような受身の断熱材の開発ではなく、温度差から生ず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が見出されており、引き続き環境影響評価、燃焼性評価、熱伝導率評価を進めるとともに、発泡試験や安定性、発泡体の熱伝導率評価を行って発泡剤としての特性の検証を行う。また、工業規模での製造が可能な製造法の開発に向けて検討する。

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)

セルの微細化を更に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。

##### 4.2.1.3.4 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」(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ており、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บอน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

##### 「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)

高い断熱性能を持つナノコンポジットを、連続製造プロセスにて製造することが現時点での目標である。この目標が達成できれば、民生用の断熱材としてのインパクトは高い。作製すべき断熱材の構造は手法2の検討で明確になっており、今後断熱性能の向上と製造コストの低下について、連続製造手法のさらなる改良と最適化を進める。

##### 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、まだまだ詳細部分で改良が必要となっている。

断熱性能  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下にすることや経年変化の少ない断熱材とするためには、ナノゲルの加工法の開発が重要課題であり、今年度中に開発の目途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)

- ・長期にわたり高断熱性能を維持できることから、建築用を始めに、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ハイバリアフィルムの組み合わせについても検討する。
- ・2010年度のマイクロ/ナノ発泡体とガスバリアフィルムの配合技術確立、2011年度の連続製造プロセスの設計及び大型サンプル評価による建材特性の確認を経て、2012年度中の実用化を目指す。

##### 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)

目標達成に向けさらに樹脂・配合剤組成面、成形条件面、設備面での課題対策について検討し、実験機レベルにて特定の発泡体構造の押出發泡成形技術を獲得すると共に、目標値および成形性を確保できる樹脂・配合剤・発泡剤組成を設定して実験機レベルにて目標を達成する。

引き続き、実使用サイズにて高断熱性の押出發泡体を得るためのスケールアップに向けた研究開発を進め、実使用サイズでの技術確立の可能性を見極める。

## 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)

市販装置として再設計・再検討を行う。プローブとプリアンプの一体化によるノイズ低減など、装置としての完成度を高め、測定範囲を拡大する。プローブの参照試料を変更することで、適用周波数帯が変化させることができ、粉体、液体、プラスチック、生体などへの展開が容易である。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することを予定している。また、実用性評価方法の使用 方法についての指導・アドバイスなどを並行して行う予定である。



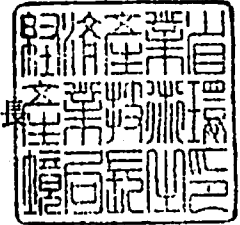
# イノベーションプログラム 基本計画

平成21年4月  
経 済 産 業 省

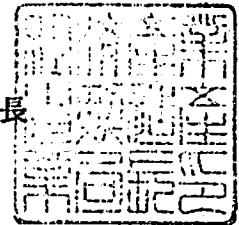
# 経済産業省

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

環境技術開発部

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 (900 程度) 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 CO<sub>2</sub> 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。

[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（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 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。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 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（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。

[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 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、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 技術開発機構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（2007 年度）から平成 23 年度（2011 年度）までの 5 年間とする。

### 4. 評価に関する事項

NEDO 技術開発機構は、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 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。

##### 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 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。

(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15条第1項第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。

(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はいない状況である。

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。

[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	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	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考え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

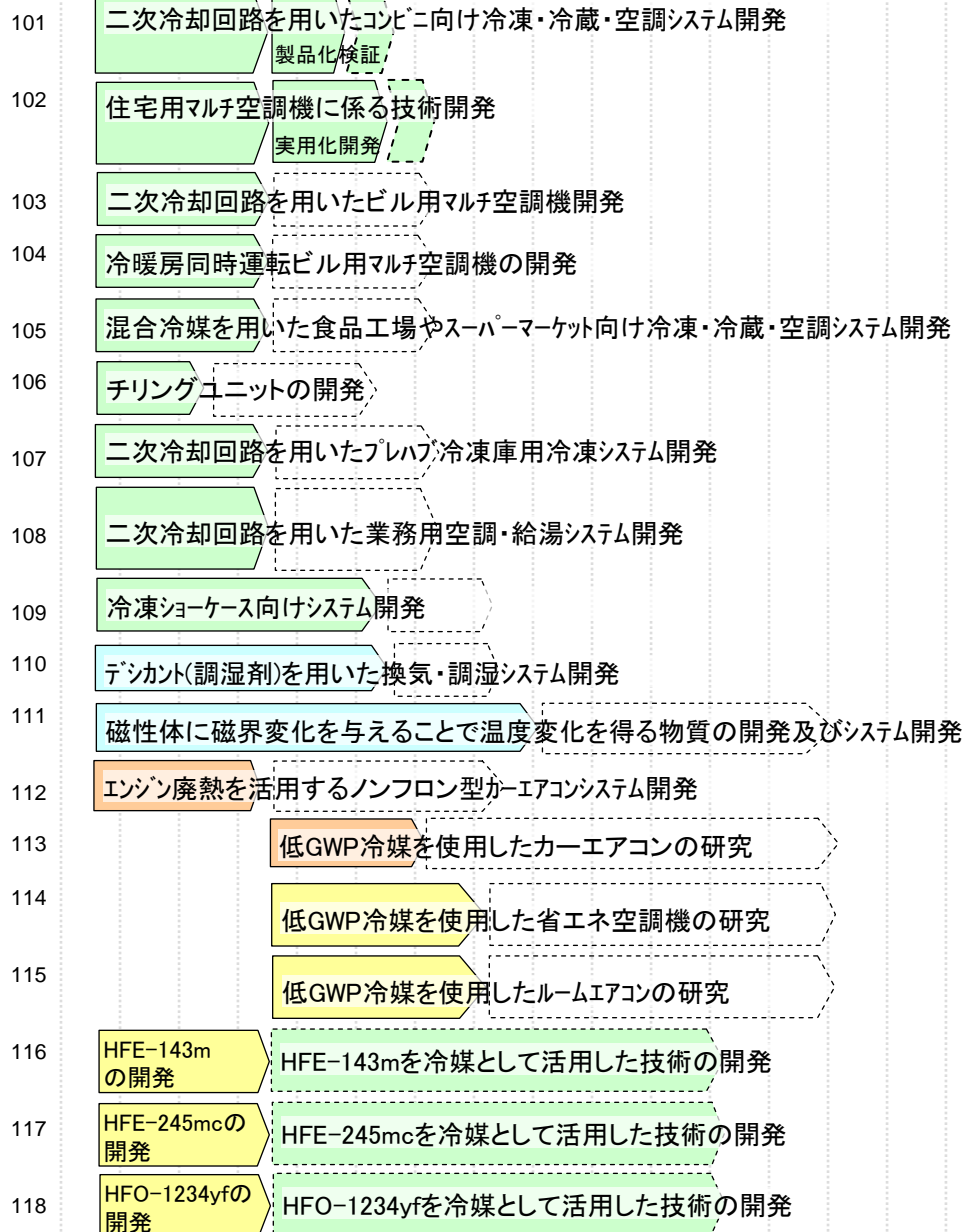
冷凍空調機器に係る分野

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

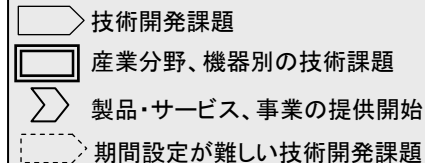
運輸機器に自然系冷媒や低GWP冷媒等の技術を使用した製品の開発

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



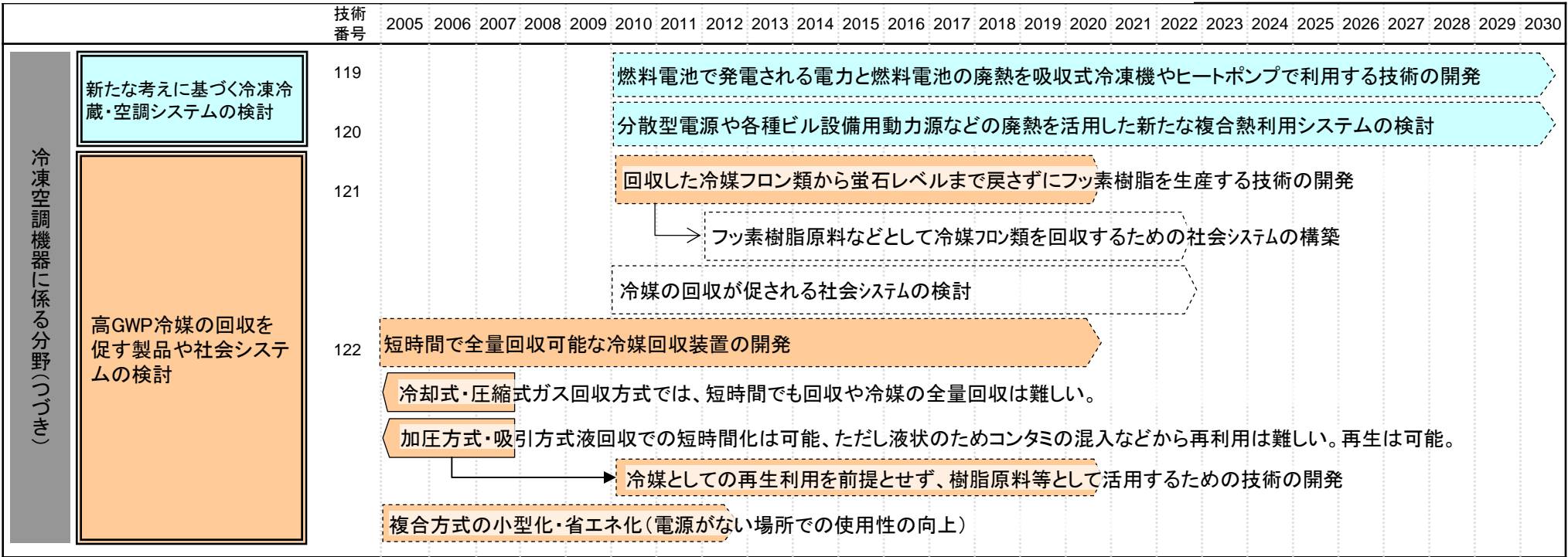
自然系冷媒については、現状でCOPがHFC冷媒と比較して40~20%劣るとされており、さらに設置においては、安全性の確保が必要となる。

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。

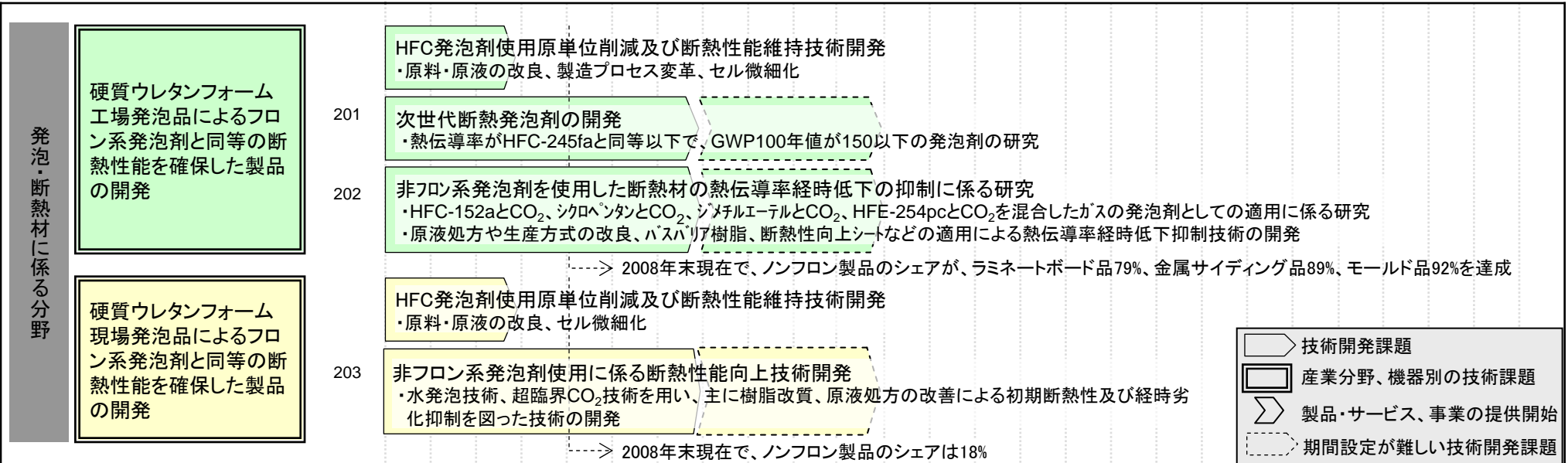




# 脱フロン対策分野のロードマップ(2/5)



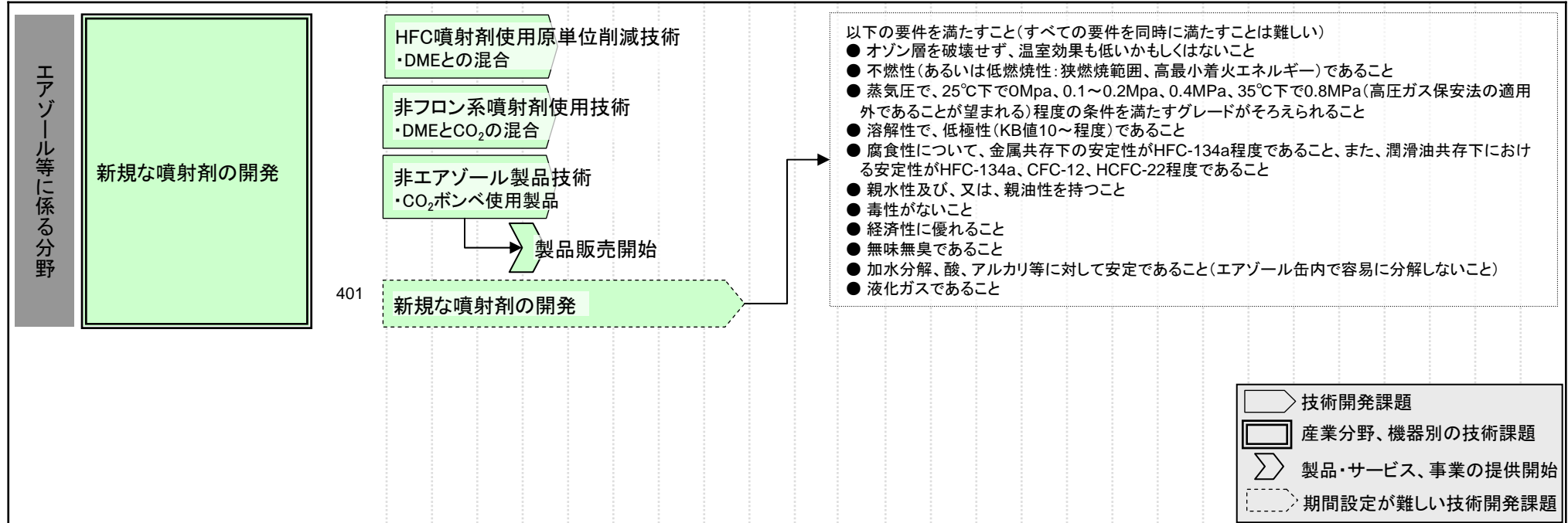
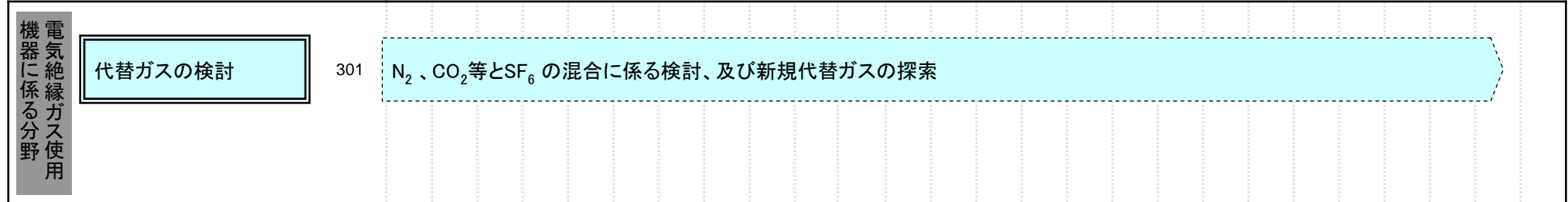
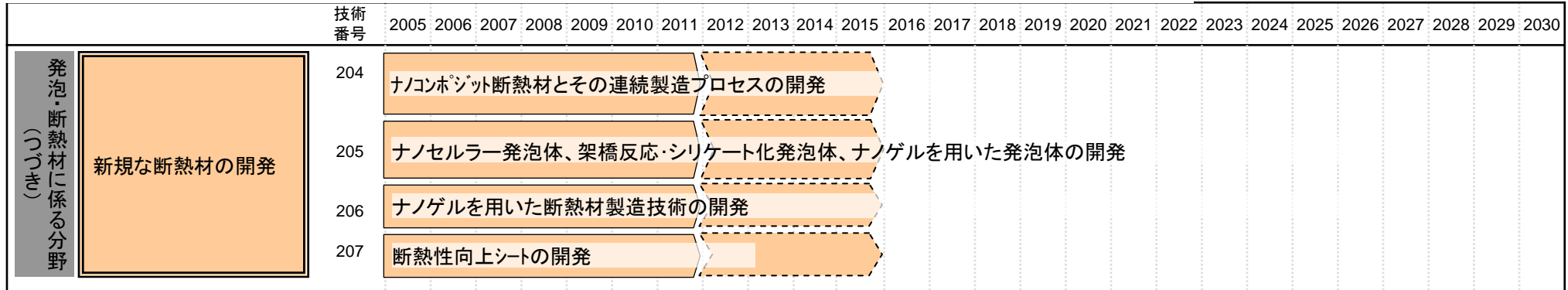
冷凍空調機器に係る分野(つぎ)



発泡・断熱材に係る分野

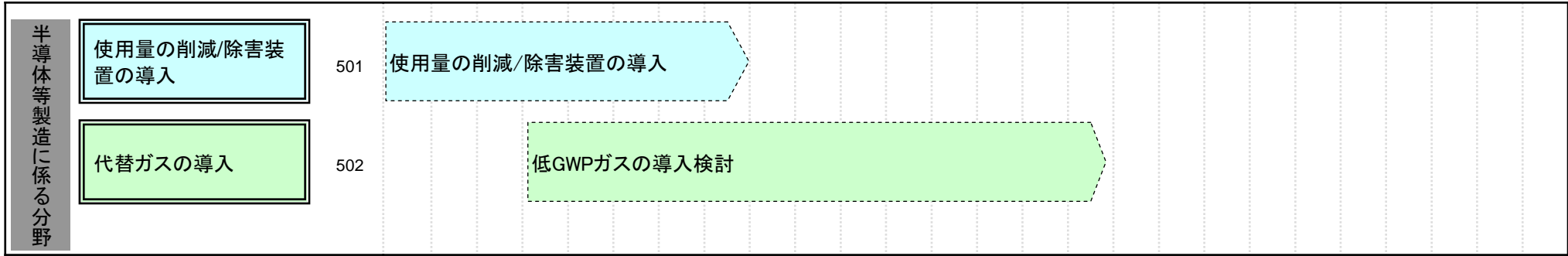
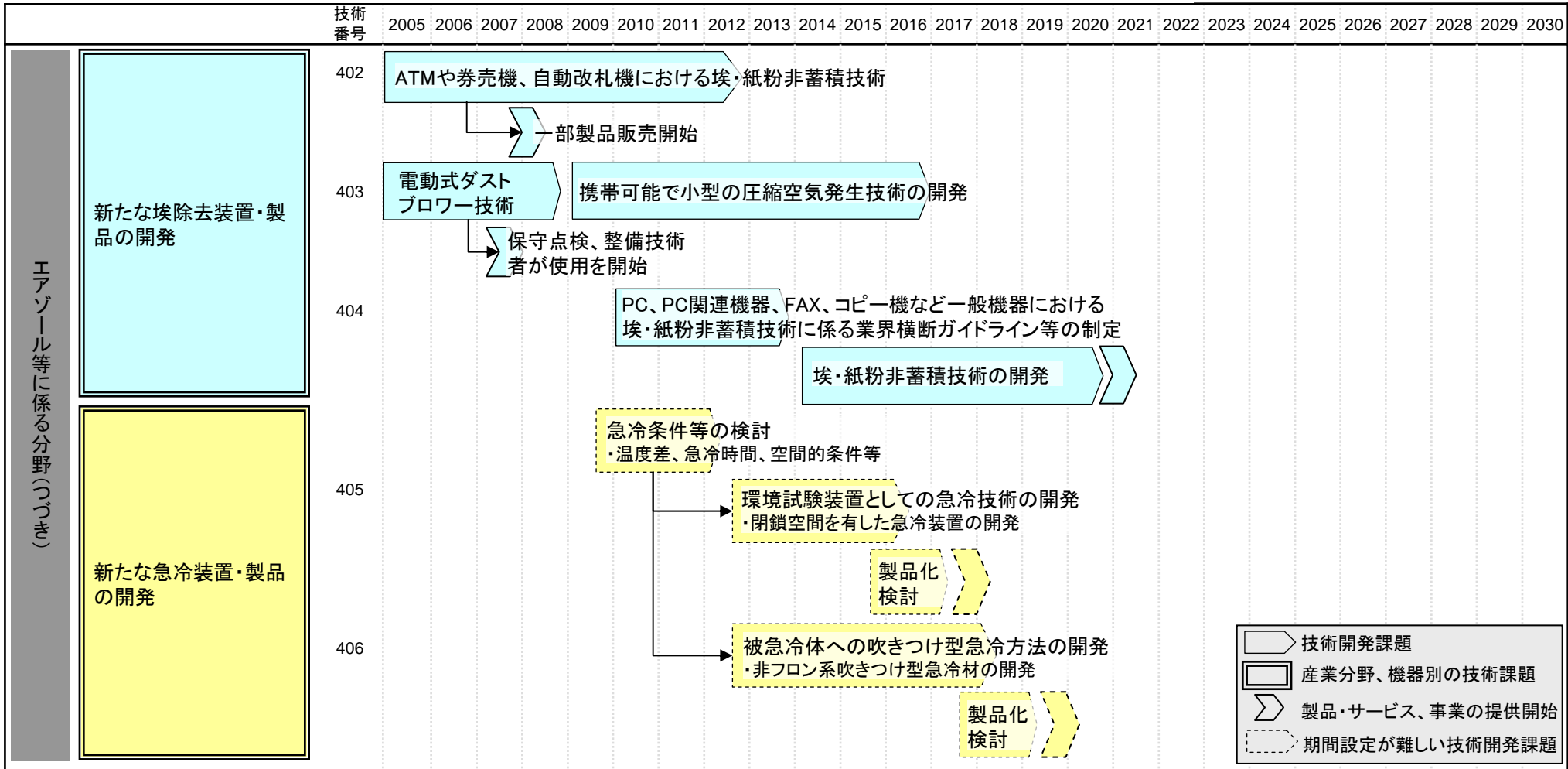
- 技術開発課題
- 産業分野、機器別の技術課題
- 製品・サービス、事業の提供開始
- 期間設定が難しい技術開発課題

# 脱フロン対策分野のロードマップ(3/5)

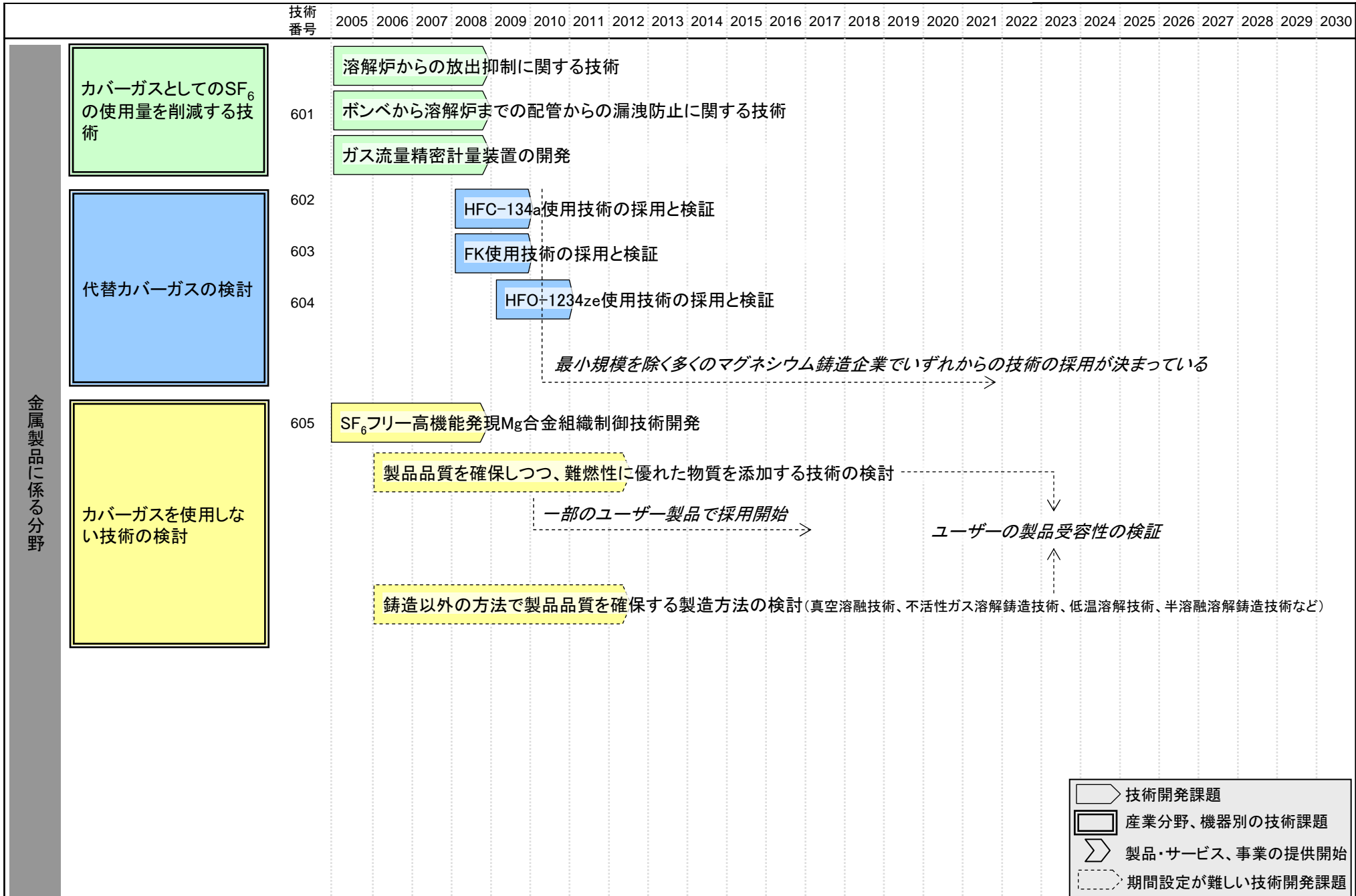


- 技術開発課題
- 産業分野、機器別の技術課題
- 製品・サービス、事業の提供開始
- 期間設定が難しい技術開発課題

# 脱フロン対策分野のロードマップ(4/5)



# 脱フロン対策分野のロードマップ(5/5)



金属製品に係る分野

カバーガスとしてのSF<sub>6</sub>の使用量を削減する技術

代替カバーガスの検討

カバーガスを使用しない技術の検討

- 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

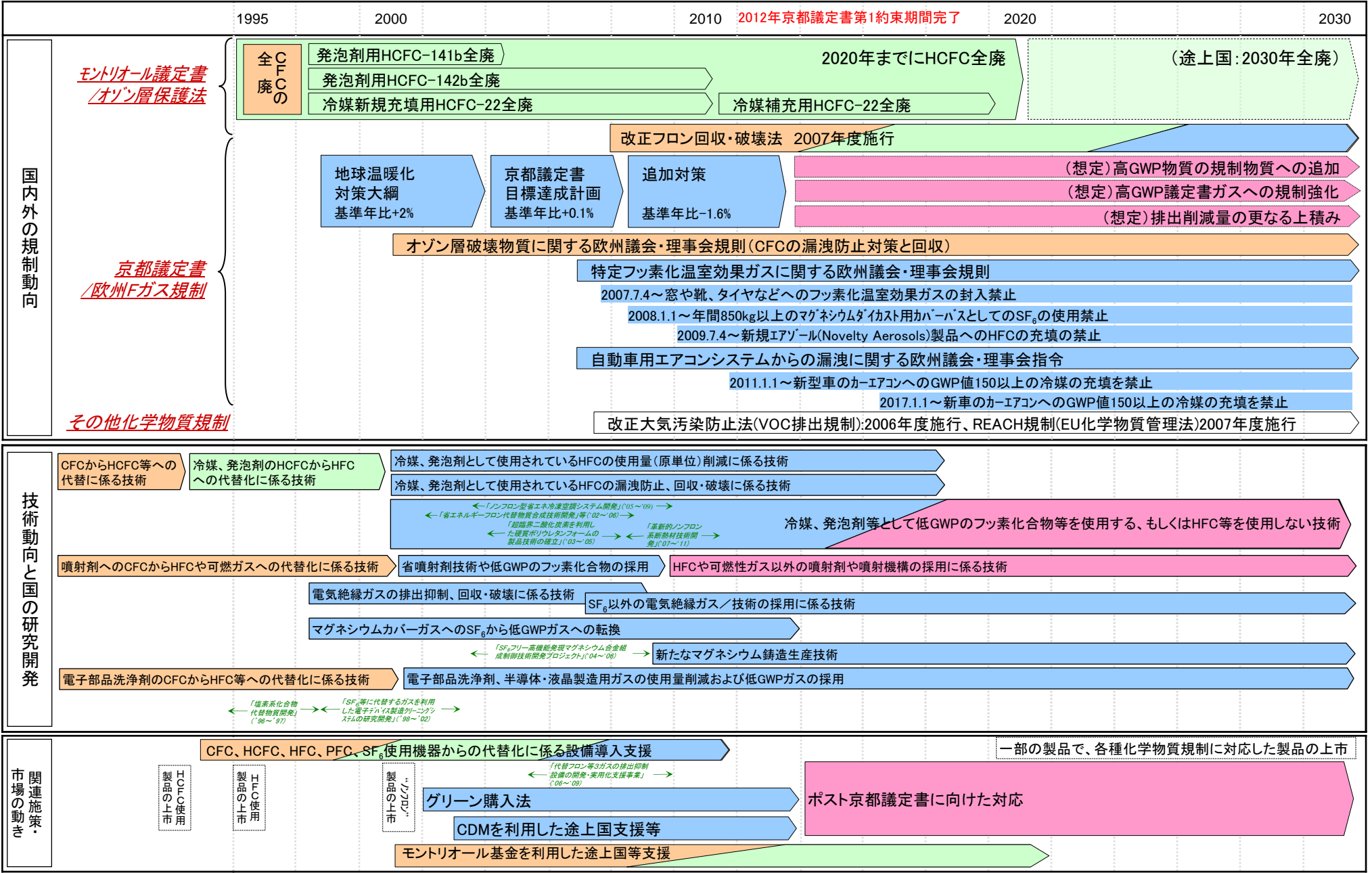
技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ)

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)

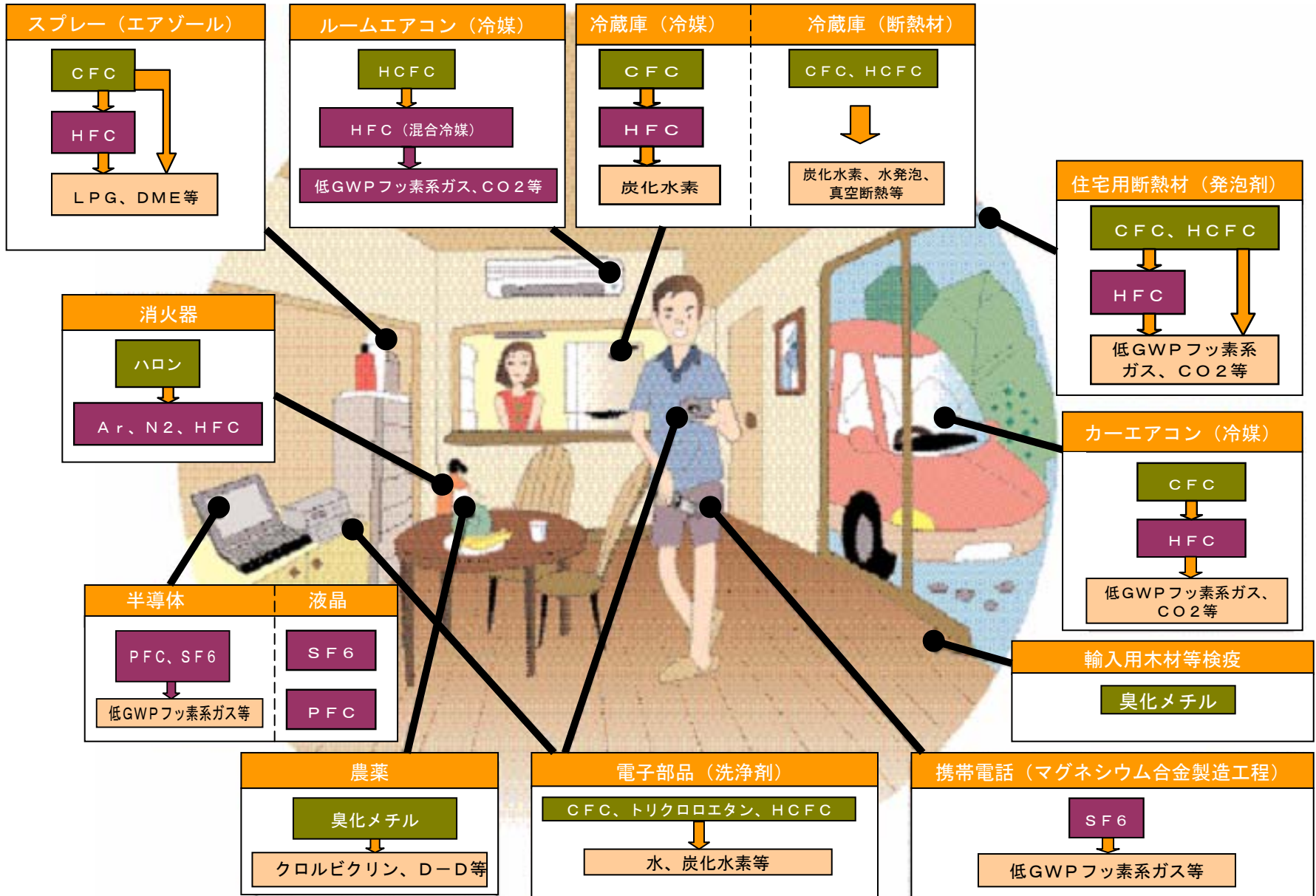
ポスト京都議定書対策



# 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」(委託研究)

## 【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	エレクトロスピンニングを利用した 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	エレクトロスピンニングを利用した 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)

番号	発表者	タイトル	学会名称	発表年
16	遠山 聡史 田中 良敬 長嶺 信輔 瀧 健太郎 大嶋 正裕	エレクトロスピンニングを用いた 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.Sharud in 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

## 【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	K. Taki T. Yahagi S. Nagamine M. Ohshima	Nanocellular foam of PS-b-P4VP block copolymers and delivering nanoparticles into nano-cells	FOAMS 2008 Society of Plastics Engineers Charlotte	September 10-11 <sup>th</sup> 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
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

## 【論文(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, and 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 5, 2009

## 【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> で微小穴制御	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	Foam 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

## 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	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			出願		
2	産業技術 総合研究所			出願		

## 【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	関屋 章 岡本 小百合	産業技術 総合研究所	The Total Global Warming Effects of House Insulating Materials by TWPG and CWP Analyses	Polyurethanes 2007 Technical Conference, Orlando, Florida	2007 年
2	関屋 章 岡本 小百合	産業技術 総合研究所	The needed Technologies to Prevent Global Warming Related to House Insulation Using TWPG and CWP Analyses	Polyurethanes 2008 Technical Conference, San Antonio, Texas	2008 年
3	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	産業技術 総合研究所	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 年
4	関屋 章 岡本 小百合	産業技術 総合研究所	Global Warming Analysis of GHGs by TTPG Compared With GWP and TWPG	International Conference on Fluorine Chemistry '09 Kyoto	2009 年

## 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	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 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

## 4 合断熱材技術開発

## 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）

## 【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 シーアイ化成 東京理科大				出願 準備 中	柔軟性、成形性、熱可塑 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（仮）	依田 智 古屋 武 亀田 孝秀 松本 博文 大竹 勝人
5	産総研 シーアイ化成 東京理科大				出願 準備 中	キトサンエアロゲルの 製造方法（仮）	大竹 勝人 依田 智 古屋 武 亀田 孝秀 松本 博文

## 【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	○依田 智 亀田 孝秀 松本 博文 眞子 祥子 古屋 武	産総研 シーアイ化成	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 秋季大会	H20. 09. 15 仙台
2	○入江 祐輔 高橋 智輝 庄野 厚 大竹 勝人	東京理科大学	キトサン/シリカ複合エアロ ゲルの調製及び物性評価	日本膜学会 第 31 年会	H21.5.21 東京
3	○依田 智 亀田 孝秀 松本 博文 古屋 武 大竹 勝人	産総研 シーアイ化成 東京理科大学	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	H21.9.19 広島
4	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	産総研 シーアイ化成 東京理科大学	Initial Stage of Foaming of PMMA/TMOS/CO <sub>2</sub> Systems	AICHe 2009 Annual Meeting	H21.11 米国 ナッシュ ビル市



## 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）

## 【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					マイクロ／ナノ発泡体	
2	東レ株式会社					ガスバリアフィルム	
3	東レ株式会社					マイクロ／ナノ発泡体＋ バリア被覆	
4	東レ株式会社					マイクロ／ナノ発泡体＋ バリア被覆	
5	東レ株式会社					マイクロ／ナノ発泡体＋ バリア被覆	
6	東レ株式会社		PCT			マイクロ／ナノ発泡体＋ バリア被覆	

## 【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	代表取締役 副社長 田中 千秋	株式会社 東レ	地球環境に軸足をおいた 東レの新成長戦略	研究・技術開発に関する 説明会 (口頭発表)	2009年 3月25日

## 【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	地球環境に軸足をおいた東レの新成長戦略	WEB	2009年 3月25日
2	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

## 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）

## 【特許】

番号	特許出願の内容	件数	出願年
1	発泡体構造による断熱性向上に関する特許	2*1	2008年 2009年
2	押出發泡体に関する特許	1 3（準備中）	2009年 2009年

\* 1：優先権主張出願1件を含む

## 6 断熱性能等の計測・評価技術開発

## 6.1 計測技術開発

## 6.1.1 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)

## 【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	高分子発泡断熱材料の熱拡散率の 温度波による評価 第 44 回熱測定討論会講演要旨集、P180	第 4 4 回熱測定 討論会	2008 年 10 月 16-18 日 つくば 国際会議場
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 4 3 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 5 8 回高分子 討論会、熊本大学 (予定)	2009年、 9 月 16-18 日