

「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	2 3
評点結果	2 6

はじめに

本書は、第31回研究評価委員会において設置された「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」(事後評価)の研究評価委員会分科会(第1回(平成24年10月19日))において策定した評価報告書(案)の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第34回研究評価委員会(平成25年1月15日)にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年1月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」
分科会科会(事後評価)

分科会長 相良 和伸

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会
「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成24年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	さがら かずのぶ 相良 和伸	大阪大学 大学院工学研究科 地球総合工学専攻 教授
分科会長 代理	まつおか しんいち 松岡 信一	明治大学 理工学部 兼任講師 最高裁判所 知的財産高等裁判所 専門委員
委員	いわさき かずお 岩崎 和男	岩崎技術士事務所 所長
	おかもと まさみ 岡本 正巳	豊田工業大学 大学院工学研究科 物質工学専攻 研究教授
	しょうじ まさひろ 庄司 正弘	神奈川大学 工学部 工学部長
	なか れいし 中 礼司	旭有機材工業株式会社 樹脂事業部 発泡材料事業 推進部 顧問
	ひわたし きよし 樋渡 潔	大成建設株式会社 技術センター 建築技術研究 所 環境研究室 課長

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

概要

		作成日		2012/10/10			
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	プロジェクト 番号	P07019				
担当推進部/ 担当者	環境部/坂野主査(H19年4月～H20年9月)、繁田主査(H20年10月～H22年9月)、長岩主査(H22年10月～H23年3月)、山崎主査(H23年4月～H24年3月)						
0. 事業の概要	<p>建築用断熱建材の分野では硬質ウレタンフォーム等が使用されているが、地球温暖化係数(GWP)が高い代替フロン等を使用している問題がある。また、CO₂など低GWP発泡ガスを使用する断熱材の開発・利用が進められているが、熱伝導率等の断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で種々の問題があり、特に現場発泡断熱材にノンフロン化の遅れがある。このため現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有する革新的ノンフロン系断熱材技術の開発を行う。</p>						
I. 事業の位置付け、必要性について	<p>断熱材の発泡剤はHCFCの使用はほぼ全廃したが、2005年以降GWPの高いHFCへの転換が図られ、代替フロンの大気中への排出量の増加が見込まれている。これを抑制するために断熱材のノンフロン化を一層推進することが必要である。しかし現状のノンフロン断熱材は、フロン製品(特にフロン系現場発泡品)と比較すると断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で問題があるため、本格採用には至っていない状況である。</p> <p>京都議定書目標達成計画に基づく温室効果ガスの排出削減は、我が国の責務であり、その達成およびその後の更なる排出削減のため基礎研究/実用化研究の両面的なアプローチにより高い断熱効果を有し、かつ市場への早期導入が見込める高性能断熱材の開発を推進する必要がある。また上記の研究開発に伴い、より高精度・高性能の性能評価技術が要求されることが予想される。更に研究開発成果の上市に際し、高性能断熱材の普及を促進するためにも、製品としての品質を評価する手法や基準が必要である。しかしこれら新技術の開発を推進するためには、一企業単位では開発の負担が大きく、国からの支援が是非必要である。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>建材を中心とする断熱剤分野において、平成23年までに、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上(熱伝導率$\lambda \leq 0.024\text{W/m}\cdot\text{K}$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。</p>						
事業の 計画内容	主な実施事項	H19Fy	H20Fy	H21Fy	H22Fy	H23Fy	
	革新的断熱技術開発						
	断熱性能等の 計測・評価技術開発		(計測技術)				
			(評価技術)				
開発予算 (会計・勘定 別に事業費 の実績額を 記載)	会計・勘定	H19Fy	H20Fy	H21Fy	H22Fy	H23Fy	総額
	一般会計						
	特別会計	313	300	245	140	131	1,129
	総予算額	313	300	245	140	131	1,129
単位：百万円	経産省担当原課	製造産業局化学物質管理課オゾン層保護等推進室					

開発体制	プロジェクト リーダー	大嶋 正裕 (京都大学 大学院 工学研究科 教授)
	サブプロジェクト リーダー	横山 茂 (ウレタンフォーム工業会、専務理事)
	委託先/助成先	<p>【1】革新的断熱技術開発</p> <p>①基盤技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国立大学法人 京都大学 (委託先) <p>②発泡ガス開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・独立行政法人 産業技術総合研究所 (委託先) <p>③硬質ウレタン技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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>④複合断熱材技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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>⑤発泡断熱ボード技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東レ株式会社 (委託先) (H23年度のみ共同研究) ・株式会社カネカ (委託先) (H23年度のみ共同研究) <p>【2】断熱性能等の計測・評価技術開発</p> <p>①計測技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国立大学法人 東京工業大学 (委託先) <p>②評価技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般財団法人 建材試験センター (委託先)

(共同
実施)

<p>情勢変化への対応</p>	<p>地球温暖化問題に対する対策として 1997 年 12 月に京都議定書が採択された。対象となる温室効果ガスは、代替フロン等 3 ガス(HFC,PFC,SF₆)、CO₂、CH₄、N₂O である。これを受けて 2005 年 4 月には京都議定書目標達成計画が閣議決定された。この計画では日本の温室効果ガスを基準年 1990 年の総排出量に対して京都議定書第一約束期間中の 2010 年の段階で 6%削減約束を確実に達成するために必要な措置が定められている。具体的には、(1)排出抑制対策と施策の推進、(2)森林吸収源、(3)京都メカニズムにより目標を達成する計画である。2008 年 3 月には同計画全体が改定された。その結果、代替フロン等 3 ガスの削減目標値は 1995 年の計画値に対して-1.6%であり、全体目標値に対して約 27%の重みを有することになった。</p> <p>代替フロン等 3 ガスの具体的な削減対策として、代替物質等の開発と代替製品の利用促進が挙げられる。この対策の一つとして本プロジェクト「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト（平成 19～23 年度）」を計画した。本プロジェクトは、(1)断熱性能に優れた革新的なノンフロン系の高性能断熱材の開発、(2)ノンフロン断熱材の早急な普及を行うための実用化技術の開発を実施する。</p>
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>平成 19 年度から採択の 13 件について、基礎研究（委託事業：NEDO 負担 100%）、実用化研究（助成事業：NEDO 助成率 50%）の 2 つの事業フェーズ毎に研究開発を実施した。NEDO 技術開発機構は、PL ヒアリングと技術委員会を開催し、研究開発成果及び進捗状況を随時確認しながら、プロジェクトを運営した。各事業の研究開発内容、進捗、成果の状況は以下のとおりである。</p> <p>3.1 事業全体の成果</p> <p>ノンフロン系断熱材技術開発にあたっては、分野別に(1)革新的断熱技術開発、(2)断熱性能等の計測・評価技術開発に区分して実施し、以下の成果を得た。</p> <p>3.1.1 革新的断熱技術開発</p> <p>革新的断熱技術開発においては、(1)基盤技術開発、(2)発泡ガス開発、(3)硬質ウレタン技術開発、(4)複合断熱材技術開発、(5)発泡断熱ボード技術開発を実施し、以下の成果を得た。</p>

3.1.1.1 基盤技術開発

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

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

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

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

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

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

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

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

樹脂のバリア性をあげ、長期にわたって低熱伝導率を保てる発泡体の開発を目的とした。UV 硬化性モノマーをポリスチレン（PS）に分散させ、発泡ガス（CO₂）を含浸したあと、UV 光照射し、過飽和状態をつくり、発泡させると共に硬化反応をおこし、バリア性を上げ、熱伝導率として 0.021 W/(m・K)を実現するとともに長期的にその機能を保持できる可能性を示した。

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

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

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

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

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

<p>III. 研究開発 成果に ついて</p>	<p>3.1.1.2 発泡ガス開発</p> <p>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)</p> <p>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。</p> <p>①フルオロオレフィン系化合物の合成技術開発</p> <p>還元反応によるオレフィンの製造、脱 HX によるオレフィンの製造など、フルオロオレフィンの製造にかかわる反応について検討した。候補化合物の一つである HFO-1336mzz-Z について、1,1,1,4,4,4-ヘキサフルオロ-2-ブチン (HFB) を部分水素化する方法を検討し、原料の転化率、HFO-1336mzz-Z の選択率がともに高い合成法を見出した。</p> <p>②発泡剤としての基礎性能評価</p> <p>非常細線加熱法で発泡剤候補化合物の気体熱伝導率の測定を行った。50℃、760torr における HFO-1336mzz-Z の熱伝導率は 0.0126 W/(m・K)であり、HFC-245fa に比べて約 10%熱伝導率が小さいことが分かった。</p> <p>ポリオールと発泡剤との相溶性試験から、HFC-245fa とほぼ同様の相溶性を示すフルオロオレフィンを見出した。フルオロオレフィンを発泡剤として用いて発泡体を試作し、その発泡体の断熱性能が HFC 発泡剤を用いた発泡体と比べて同等以上であることを確認した。さらに、発泡剤の安定性についての検討から、一部のフルオロオレフィンはシステム液中での分解が見られたが、触媒の選択によって分解を抑制できることを見出した。</p> <p>③環境影響評価</p> <p>絶対速度法を用いて、16 種類の含フッ素不飽和化合物と OH ラジカルとの反応速度の測定を行った。OH ラジカルはフラッシュフォトリス法、あるいはレーザーフォトリス法で生成し、反応によって減少した OH ラジカルの濃度はレーザー誘起蛍光法で測定した。その結果、今回測定した 16 化合物の大気寿命は 1 日～1 年以下であり HFC 等の飽和化合物に比べて大気寿命は短く、温暖化に与える影響も非常に小さいことが分かった。また、大気寿命に与える O₃ 及び NO₃ ラジカルとの反応の影響は OH ラジカルとの反応に対して無視できることが分かった。</p> <p>最近開発された GWP に代わる温暖化指標として CEWN, CETN, s-CETN を用い、従来の GWP と比較する形で開発発泡材の温暖化効果を多角的に評価した。新評価手法は温暖化ガスの大気寿命を考慮するなど総合的な評価であり、それを用いた LCCP 評価を行うことでより正確な評価を試みた。この手法で発泡材を評</p>
----------------------------------	---

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

	<p>導入した。</p> <p>③化学的セル微細化の検討 シリコーン整泡剤はナノバブルの安定化と合一の防止に大きな役割を果たすと考えられるため、現行と構造が異なる高活性シリコーン整泡剤を使用し、バブルを導入しながら 超臨界炭酸ガス処方で機械発泡を行った。セル径は SEM 写真から計測し、熱流方向である発泡方向に対して平行方向を評価した。この結果、構造の違いによる差はなく、すべて微細化効果を確認した。</p> <p>④ナノバブル化原液の発泡検討 シリコーン整泡剤 B の使用、原液の高粘度化、樹脂骨格の強化および高独立気泡化で 初期熱伝導率 0.024 W/(m・K)を達成した。</p>
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>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)</p> <p>建材を用途とする断熱材分野において、現場発泡及び工場生産分野で現状のフロン系断熱材と同等程度の安全性、断熱性能、コスト、施工性、生産性を有する熱伝導率経時劣化を抑制したノンフロン系硬質 PUF 製造の基礎技術及び実用化技術を開発することを目的として以下の 研究開発を実施し、下記の成果を得た。</p> <p>①混合ガスの安全性、安定性等の評価 空気、二酸化炭素 (CO₂)、燃焼範囲を有する低 GWP、低熱伝導率ガス 3 種類の爆発(燃焼)範囲に関して試験を実施した。燃焼範囲を有する低熱伝導率ガスとして 3 種類を試験し、各々二酸化炭素と混合する事により爆発(燃焼)範囲は小さくなっていることから危険性を減らすことができた。</p> <p>②混合ガスを利用した硬質 PUF の安定性、安全性評価 CO₂ と可燃性の低熱伝導率ガス等との混合ガスを密閉容器からガス供給装置等を用いて中圧 PUF 発泡機で PUF 原料(ノンフロン独立気泡系原料)に混合、成型した場合の安定性、安全性評価を実施した。その結果、高圧ガス保安法上不燃性のものは全て成型時及び漏洩時に安全 であること、可燃性であっても PUF 原料中の可燃性物質濃度が一定濃度以下の場合には安全であることを確認した。</p> <p>③混合ガスを利用した硬質 PUF の LCA 評価 CO₂ 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 CO₂ 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-CO₂ は製造時及び発泡時</p>

	<p>の発泡剤放散による CO₂ 排出を削減できることから HFC 発泡よりも約 20%程度、断熱を施さない場合より約 45%削減できることを解明した。</p> <p>④混合ガスを使用したウレタンフォーム発泡システムへの応用技術開発</p> <p>(A) 熱伝導率評価試験</p> <p>HFC、シクロペンタン(CP)、水(CO₂)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 CO₂ の混合ガスを発泡剤として用いたものは CO₂ 単独を発泡剤とする水発泡よりも熱伝導率経時劣化を抑制できる 可能性が大きいことが明らかになった。</p> <p>また CP を発泡剤とした PUF 原料で PUF パネル及び表面が金属面材の PUF パネルを成型し熱伝導率経時変化を測定した結果、PUF パネルと比較して表面が金属面材の PUF パネルの経時変化は非常に小さいことが明らかになった。</p> <p>安全性評価時に作成した PUF パネルの熱伝導率等物性から CP、HFE-254pc、HFC-152a を使用して一定量 PUF 原料に混合した場合に良好な熱伝導率(初期・経時)のものが得られた。</p> <p>(B) 工場生産技術開発</p> <p>熱伝導率(初期・経時)が最も小さかった CP/CO₂ 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 CO₂ を発泡剤とした PUF と比較して初期熱伝導率、熱伝導率劣化度合いとも優れていることを確認した。</p> <p>(C) 現場発泡技術開発</p> <p>発泡直後の PUF 表面から 0~30mm の雰囲気のスAMPLING を行いガス濃度測定を実施した結果、一定量の混合ガスを PUF 原料に混合した場合には CP は検出できず(0.2vol%以下)爆発(燃焼)下限以下で安全である事が解った。</p>
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>3.1.1.3.3 旭硝子株式会社「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」(助成事業)</p> <p>本助成事業における成果を以下に示す。</p> <p>①熱伝導率の初期値の向上</p> <p>気泡セルの形状制御技術を開発し、従来の水発泡技術と比較して断熱性能を大きく改善することが可能で、低密度化と低熱伝導率化を同時に達成できた。</p>

	<p>②熱伝導率の経年変化の抑制</p> <p>硬質ポリウレタンフォーム内部から CO₂ の透過、拡散を抑制することを目的に、用いるポリエーテルポリオール構造最適化を行い、汎用のポリエーテルポリオールと比較して経年変化が抑制されていることを確認できた。</p> <p>③ガス透過性測定手法の確立</p> <p>多孔質材料の測定に適した治具を新規に開発し、硬質ポリウレタンフォームのガス透過度が測定可能であることを見出した。</p>
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>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)</p> <p>現状のフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有し、かつ、施工性能、経済性（施工密度）を考慮したノンフロン系現場発泡硬質ウレタンフォームの開発を実施し、下記の成果を得た。</p> <p>①吸油性材料によるハイドロカーボン引火性抑制</p> <p>種々の吸油性材料を評価した結果、熱可塑エラストマーの分子量をコントロールしたものでハイドロカーボンを良く吸着することが判明した。</p> <p>吸油性材料ハイドロカーボンとして <i>c</i>-ペンタンと <i>n</i>-ペンタンを吸着させ、フォームを発泡させたところ吸着性能が高いのみならず、発泡時にウレタンの反応熱を得て効果的にペンタンガスを放出することが判明した。</p> <p>吸油性材料を選定し、ペンタンの量を規制することにより、プレミックスの引火性を抑制でき、引火点のないプレミックス液が出来る可能性のあることを確認した。</p> <p>ペンタンの量を制御し、その熱伝導率が 0.0247W/mK まで下げたものは、簡易引火点測定で一瞬音はするものの引火の有無は確認されず、継続的燃焼も確認されなかった</p>
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>3.1.1.4 複合断熱材技術開発</p> <p>3.1.1.4.1 産業技術総合研究所、シーアイ化成株式会社、東京理科大学「発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材および連続製造プロセスの開発」（委託事業）</p> <p>本開発項目では、発泡ポリマーの柔軟性、ハンドリング性、生産性、シリカエアロゲルの高い断熱性能の利点を合わせ持つ複合断熱材を目指し、μm 以下の発泡セルをもつポリマーの内部を、熱伝導率の低い低密度シリカで充填した構造を持つ、新規発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材(図 2.2.2.1.4.1.1)を目的と</p>

して研究開発を実施した。作成法として、ポリマー/シリコンアルコキシド/超臨界二酸化炭素 (scCO₂) の高压均一相から減圧により相分離を誘起する新規手法 (図 2.2.2.1.4.1.2) を提案し、この手法について主に検討した。その結果、下記の成果を得た。

① ポリマー/シリコンアルコキシド/scCO₂ 反応系の検討

(a) ポリマー、シリコンアルコキシド、二酸化炭素(CO₂)が均一に混合する条件の探索を目的として、高温高压下での相状態を可視観察するための相平衡測定装置を構築し、種々の組成、温度、圧力において、上記三成分系の相状態を観察した。③で見いだしたポリメチルメタクリレート (PMMA) 系ポリマーとテトラメトキシシラン(TMOS)を含む系に着目し、313 K- 393K, 0.1-30 MPa の領域について観察を行い相図を作成した。また、他のアルコキシドについても同様の測定を行い、体系化を行った。

(b) 本提案の断熱材においてシリカの含有量を制御するため、高压 CO₂ 中でゾルゲル反応を促進させる手法について検討し、分解により酸または塩基を生成するシランカップリング剤が有効であることを見出した。またポリマーと低密度シリカの親和性向上について、PMMA/TMOS 混合物の有効性を検討した。

② 減圧、相分離過程の可視化観察と最適化

発泡構造の制御やプロセスの最適化を目的として、減圧過程を可視化観察するための相分離過程観察装置を構築した。PMMA/シリコンアルコキシド/CO₂ 系について詳細な解析を行い、発泡時の圧力差を CO₂ のみの発泡より大きくする必要があること、平均気泡径および気泡密度はシリコンアルコキシドの添加量に依存すること、三成分系での発泡条件はアルコキシド/CO₂ 二成分系の相平衡から推測できることなど、プロセス設計上必要な知見を多く見いだした。

③ 断熱材の構造と物性の評価

パッチ法により各種ポリマーからの発泡の作成を行い、断熱性能の評価、物性評価、電子顕微鏡による微細構造評価を行った。スクリーニングの結果、ポリエステル、特に PMMA 系ポリマーと TMOS の親和性が高いことを見いだした。最適化の結果、平均径 3 μm 以下の微細発泡で、気泡内にシリカ粒子が析出した構造を持つ材料を調製したが、発泡倍率が小さく、熱伝導率は 0.040 W/mK 程度に止まった。また発泡セルの内部にシリカを集積させるメカニズムについて検証し、CO₂ とシリコンアルコキシドがポリマーから分離する際との速度差によると推定されること、加水分解の影響を大きく受けることを見いだした。また発泡セル内に、シリカ含有量がマトリックスより多い単一の粒子が生成した、ユニークな構造を持つ発泡体を作成した。

	<p>④ 連続製造プロセスの開発</p> <p>工業的な生産技術の確立を目的として、バッチ法と同系統の断熱材料を連続的に製造するプロセスの開発を行った。セグメント型の押出成型機をベースとした連続製造装置を構築し、①③でスクリーニングした PMMA/TMOS/CO₂系の発泡試料の押し出し製造を検討した。原料の組成、供給法の変更、押出機の温度、圧力、スクリー、ダイの種類と温度などの検討により、吐出の安定化、発泡倍率の向上などを達成し、熱伝導率 0.028 W/mK 程度の試料を安定に連続製造するプロセスを確立した。また作成した試料について、湿度 50 %、温度 50 °Cでの長期安定性試験（加速試験）を行い、3ヶ月間（室温下 10 年相当）で、熱伝導率、寸法に大きな変化がないことを確認した。</p> <p>⑤ 連続気泡型ポリマーフォーム含浸シリカエアロゲルの作成</p> <p>本開発項目で提案した断熱材の構造が高い断熱性能を保つことを確認するため、市販の連続気孔型ポリマーフォームの内部にシリカエアロゲルを充填した試料を作成し、熱伝導率や機械的強度の評価を行った。市販メラミンフォーム、ポリプロピレンフォーム等を基材として高い断熱性能（0.017-0.020 W/mK）と、優れた曲げ強度、良好なハンドリング性を併せ持つ断熱材料が調整できることを実証した。この材料についても④と同一の長期安定性試験で性能、寸法の安全性を確認した。さらに超臨界乾燥による本断熱材の製造コストについて、国内で製造した場合のコスト試算を行い、実用化の可能性について検証した。</p>
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>3.1.1.4.2 旭ファイバーグラス株式会社「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」（委託事業）</p> <p>①無機質繊維基布及びナノ多孔質シリカ担持断熱材の試作</p> <p>製造したナノ多孔質シリカ担持断熱材の熱伝導率は、ナノ多孔質シリカ担持量にもよるが、0.019W/m・K～0.024W/m・Kに達することが判明した。</p>
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>3.1.1.4.3 アキレス株式会社「ナノゲル断熱材の研究開発」（助成事業）</p> <p>発泡剤を使わない新規断熱材としてナノゲルの原材料の合成から応用加工までを研究開発することで、既存断熱材であるウレタンフォームの断熱性能向上と新規断熱材の開発を行った結果、下記の成果を得た。</p> <p>①ナノゲル合成法の開発</p> <p>超臨界炭酸ガスによる量産化を中心として開発を行った。得られた無機系ナノゲルの断熱性能は 0.017W/(m・K)で耐久性に優れたものとなった。</p>

	<p>②ナノゲルの応用開発</p> <p>ナノゲルの応用加工の一つとしてナノゲルを空隙率の高い基材に含浸する検討を行った結果、基材とナノゲルを複合化した含浸布の作製に成功した。得られた含浸布の断熱性能は $0.017\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であり、また含浸布の耐久性を評価した結果良好な性能を保っていた。</p>
<p>III. 研究開発 成果に ついて</p>	<p>3.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発</p> <p>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/共同研究)</p> <p>ノンフロン系ガスで熱伝導率が $0.024\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以下の断熱材を開発するというプロジェクト全体の目標に対して、以下の開発を実施し以下の成果を得た。</p> <p>① 熱伝導率の更なる低減</p> <p>PLA 系樹脂を用いた炭酸ガス発泡断熱材で、熱伝導率 $0.023/0.021\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ (平均/チャンピオン) を達成</p> <p>PET 系樹脂を用いた炭酸ガス発泡断熱材で、熱伝導率 $0.023/0.022\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ (平均/チャンピオン) を達成</p> <p>② 耐久性の向上</p> <p>熱伝導率の悪化が 20 年で 10%以下とする目標に対して、炭酸ガス透過率が $0.04\text{cc}/\text{m}^2\cdot\text{day}$ のバリアフィルムを開発し、30 年で経時劣化がほぼ 0%であることを長期断熱性能簡易予測ツール(建材試験センター開発)を用いて確認した。加速テストでの試験も継続実施中(~2013年3月)である。</p> <p>③ 材料のバイオマス化</p> <p>PLA 系断熱材で、ほぼ 100%のバイオマス材料化を達成した。</p> <p>PET 系断熱材で、約 80%のバイオマス材料化を達成した。</p>
<p>III. 研究開発 成果に ついて</p>	<p>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/共同研究)</p> <p>小スケールにて、金型・積層装置等の設備面、押出及び押出發泡成形時の樹脂圧力・温度等の成形加工条件面、樹脂・発泡剤・配合剤等の処方面、多層発泡体構造の構成要件について詳細な検討を行い、各構成要件の適正化を図ることで、初期熱伝導率 $0.024\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以下、プロジェクト目標値の達成を確認した。</p> <p>さらに、小スケールの検討にて得られた多層押出發泡体の熱伝導率経時変化を追跡調査し、測定した熱伝導率データより、推算式にて 25 年経過後熱伝導率を</p>

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

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

IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>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。</p> <p>4.1.1 成果の実用化の可能性</p> <p>4.1.1.1 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。</p> <p>4.1.1.1.1 基盤技術開発 発泡により得られたナノ構造、パイモダル構造などはユニークなものであり、用途展開が広がる可能性を持つ。また、熱伝導率の低さを考えると、キセロゲルとポリマーの複合体も有望である。これらの技術を用いて本プロジェクト参加企業または発泡関連企業に対する支援、提案を通じた企業化が期待できる。</p> <p>4.1.1.1.2 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的スケールでの製造につながる合成法を見出しており、国内メーカーに対する製造法に関する知財のライセンス化等により実用化が可能である。</p> <p>4.1.1.1.3 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。</p> <p>①「ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発」 セルの微細化とCO₂の拡散防止</p> <p>②「熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発」 低コスト化、安全対策、規制の緩和活動</p> <p>③「水発泡による、新規現場発泡高断熱ウレタン発泡剤の技術開発」 硬質ポリウレタンフォーム用原料の開発により高空隙率化、高ガスバリア化を実現し、目標である初期熱伝導率改善、熱伝導率の経時劣化抑制の見通しを得た。既存の現場発泡設備または軽微な改造・追加のみで使用できるため、現場発泡施工業者にとっても導入が容易で実現性が高い。</p> <p>④「気相/液相制御技術等による高断熱現場発泡硬質ウレタンフォームの開発」</p>
---------------------	---

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

4.1.1.1.4 複合断熱材技術開発

複合断熱材技術は、下記の技術開発により、実用化が可能である。

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

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

②「先進的高機能無機質系断熱材の研究開発」

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

③「ナノゲル断熱材の研究開発」

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

4.1.1.1.5 発泡断熱ボード技術開発

発泡断熱ボード技術は下記の技術開発と活動により実用化が可能である。

①「新規断熱性向上シートの研究開発」

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

②「高断熱性ノンフロン押出發泡体の研究開発」

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

4.1.1.2 断熱性能等の計測・評価技術開発

断熱性能等の計測・評価技術開発では、以下の実用化、事業化を達成している。

4.1.1.2.1 計測技術開発

①開発した可搬型の圧着式熱伝導率測定装置は上市化済み

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

	<p>4.1.1.2.2 評価技術開発</p> <p>①断熱材および断熱性能測定技術の総合的な実用性を評価できる評価方法（ガイドライン）を作成済みで、これを用いて開発した断熱材の実用性を評価することが可能</p> <p>②開発した評価方法（ガイドライン）をウェブサイトで公開済み</p>
<p>IV. 実用化、事業化の見通しについて</p>	<p>4.1.2 波及効果</p> <p>本プロジェクトによる革新的断熱技術開発と断熱性能等の計測・評価技術開発の波及効果は、下記の通りである。</p> <p>(1) 建築分野</p> <p>①キセロゲル+ポリマー複合断熱材 2013年度～2020年度にキセロゲル+ポリマー複合断熱材の試作と要素試験を実施し、2020年度～2025年度に実用化を検討する。</p> <p>②シリカエアロゲル応用 2014年度～2016年度頃に窓用の光透過性断熱材の要素試験を実施し、2017年度～2020年度頃に輻射制御機能を付加し、実用化を目指す。</p> <p><省エネルギー効果と温室効果ガス削減量></p> <p>開発した技術の実用化により、新築住宅と既存住宅における住宅用の暖房エネルギーの削減量（原油換算値）は、下記のように推定される。</p> <p>・2030年：6.3[万kL/年]</p> <p>民生部門において、省エネ効果によりエネルギー使用量を削減（原油換算で2030年に6.3[万kL]の削減を見込む）すると同時に、フロン発泡剤の使用量削減による更なるCO₂の削減ポテンシャルは、CO₂換算で約325[万CO₂トン/年]程度であることが期待できる。</p> <p>・CO₂換算の削減ポテンシャル：約325[万CO₂トン/年]程度</p> <p>(2) 自動車分野</p> <p>①ナノセルラー吸音、電磁シールド材 2015年度～2018年度頃に要素試験を実施する。 2018年度～2022年度頃に実機への適用を検討し、 2023年度頃より実用化を開始する。</p> <p>②ナノゲル断熱材 2012年度～2015年度頃に要素試験を実施し、 2015年度～2018年度頃に実機への適用を検討し、実用化を目指す。</p> <p>(3) 家電分野</p> <p>①高植物度ポリマー断熱材 2014年度～2018年度頃に形態最適化を検討する。</p>

	<p>(4) 日用品</p> <p>① ナノゲル含侵断熱材</p> <p>2011年度～2014年度頃にナノゲル含侵断熱材の用途検討、要素試験を実施し、2015年度～2020年度頃に実用化を検討する。</p> <p>4.2 今後の展開</p> <p>各開発技術の事業化までのシナリオは以下のとおりである。</p> <p>4.2.1 革新的断熱技術開発</p> <p>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。</p> <p>4.2.1.1 基盤技術開発</p> <p>基盤技術開発においては、下記の検討を実施する。</p> <p>① ナノセルラー発泡体</p> <p>2020年度までにコアバック射出発泡成形の実証試験を民間企業と共同実施し、事業化を目指す。</p> <p>② キセロゲル複合断熱材</p> <p>2020年度までに複合材料の最適化を図り、民間企業との共同開発により事業化を目指す。</p> <p>4.2.1.2 発泡ガス開発</p> <p>発泡ガス開発においては、下記の検討と開発を実施する。</p> <p>① 発泡ガス開発、評価</p> <p>2020年度までに民間企業と共同してパイロットプラントスケールでの製造テスト、化審法申請のための毒性試験等を実施し、事業化を目指す。</p> <p>4.2.1.3 硬質ウレタン技術開発</p> <p>硬質ウレタン技術開発においては、下記を実施する。</p> <p>① 水発泡による新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材</p> <p>施工性試験を重ねて、ポリオール構造の最適化を図った後に、プラント製造の検討を行い、2016年度の事業化を目指す。</p> <p>4.2.1.4 複合断熱材技術開発</p> <p>① 発泡ポリマー＝シリカナノコンポジット断熱材</p> <p>民間企業と共同で、本研究で開発した手法を他のポリマーに適用して、建築用内装材等を実用化し、2020年度の事業化を目指す。</p> <p>② エアロゲル＋ウレタン材</p>
--	---

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

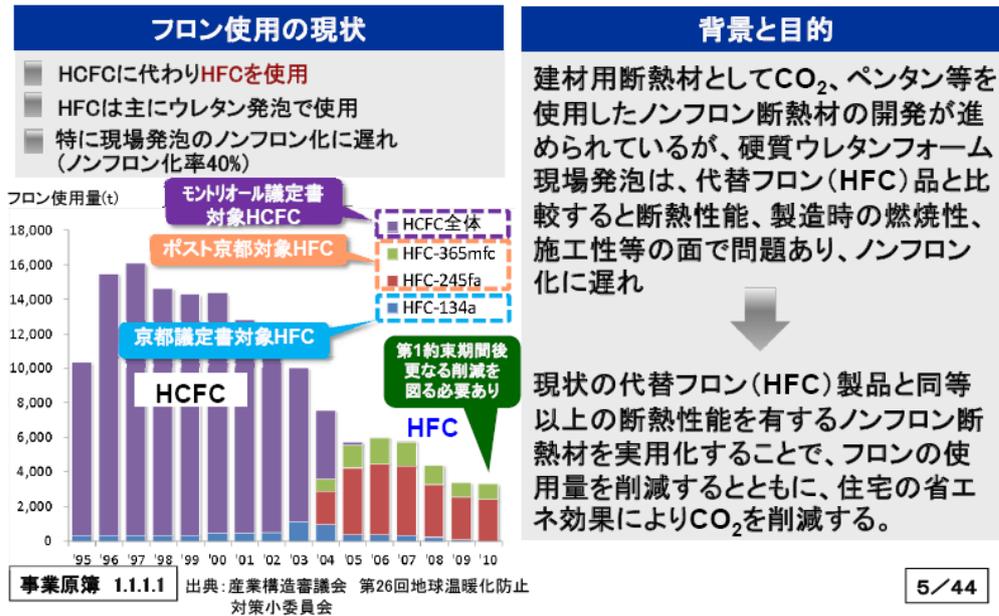
技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6—1より抜粋)

1. 事業の位置付け・必要性について —NEDOの事業としての妥当性—

公開

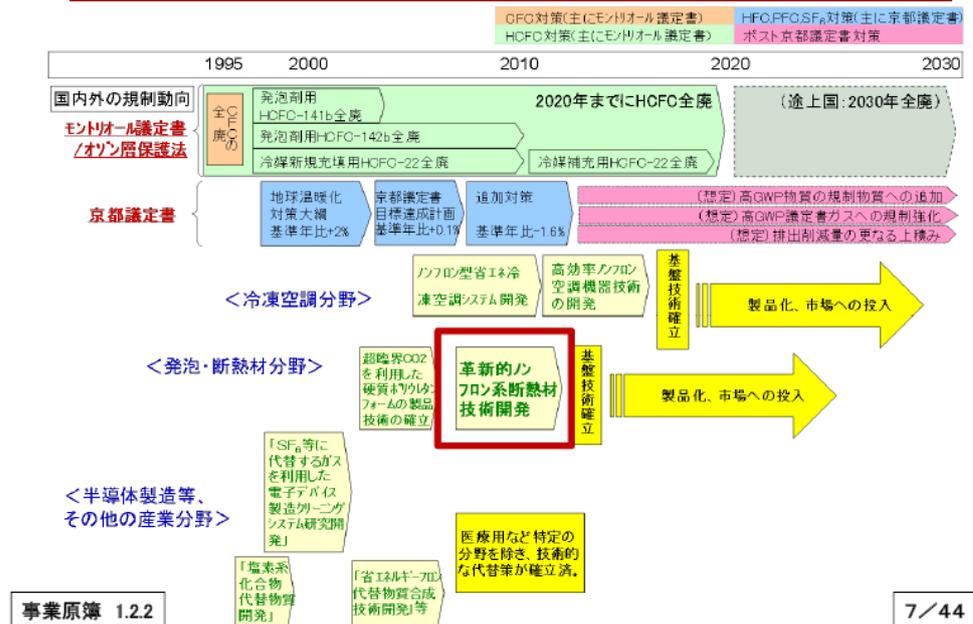
(1) 背景 (発泡・断熱分野におけるフロン使用の現状)



1. 事業の位置付け・必要性について —事業目的の妥当性—

公開

(3) NEDOフロン対策分野での位置付け

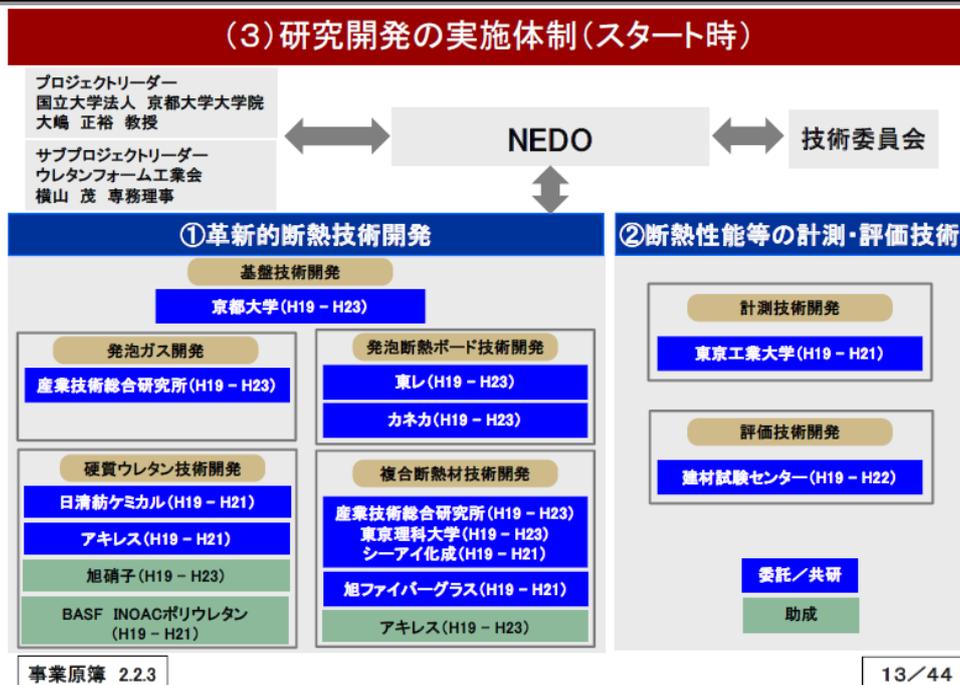


「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」

全体の研究開発実施体制

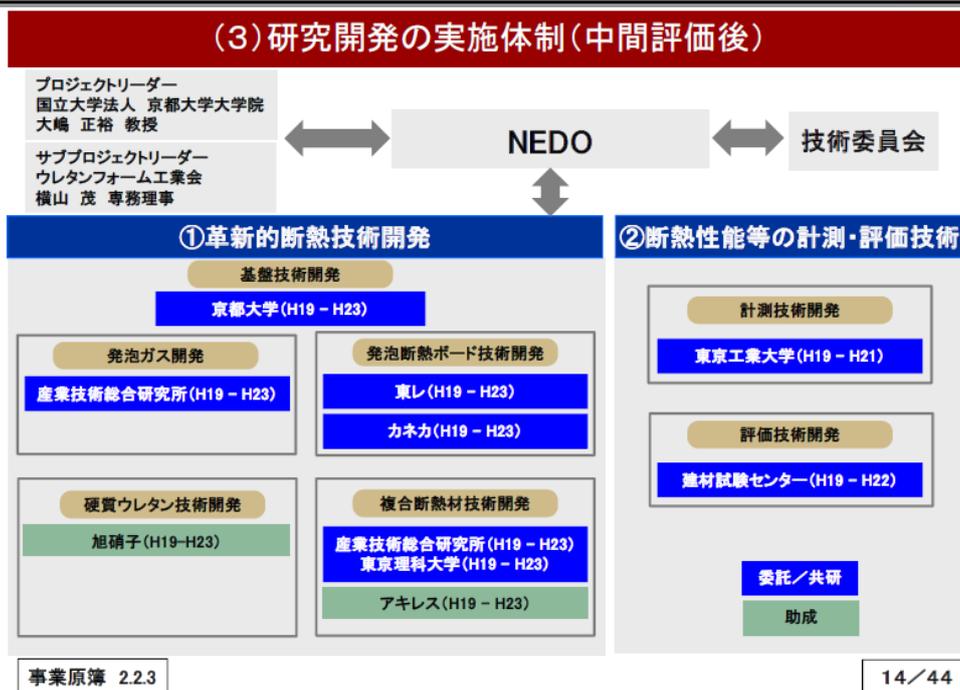
2. 研究開発マネジメントについて ー研究開発実施の事業体制の妥当性ー

公開



2. 研究開発マネジメントについて ー研究開発実施の事業体制の妥当性ー

公開



「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」(事後評価)

評価概要(案)

1. 総論

1) 総合評価

建物などでの冷暖房エネルギー消費に伴う CO₂ 排出抑制のために建物の断熱化推進は大変効果的であるが、そのために地球温暖化係数の高いフロンを用いた断熱材を使用していることは基本的に矛盾しており、本プロジェクトにおいてノンフロン系断熱材の技術開発に取り組むことには大きな意義がある。性能目標を現行のフロン系硬質ウレタンフォームのもつ熱伝導率 0.024W/m・K 以下とした目標設定は妥当であり、目標達成に必要な開発の基本方針として、微細・高空隙率化、低熱伝導率発泡ガス、複合断熱材技術、高ガスバリア性技術、性能計測、実用性評価を上げて、技術開発がなされた点は評価できる。大学等における基礎的研究と、民間企業における実用化研究との研究体制の連携は、プロジェクトリーダーを中心によくなされている。また、中間評価以降、事業者間で連携を強化するとともに、有望な開発案件に絞り込み予算の重点化を図った点を評価する。

しかし、断熱性能の目標値(熱伝導率 0.024W/m・K)をクリアし、性能の経年変化について劣化促進試験やシミュレーションなどで検証されてはいるが、想定されない影響も考えられるため、実時間による長期安定性について継続評価する必要がある。また、実際の建材用断熱材としての普及を考えると、従来製品に比べてコスト競争力が十分とは言えず、全体的に事業化時期も遅い。さらに「革新的」を標榜しているが、従来技術の改良と思えるテーマも見受けられ、より独創性、新規性のある熱伝導率低減法への挑戦も望まれる。国内や世界における最新の技術との対比に基づいた取り組みが十分とは言えない。また、事前にシミュレーション等をしっかり行い、個々の事業開発に異なった目標を設定しておけば、より多くの成果が得られたのではないか。

2) 今後に対する提言

温暖化ガス削減の実効をあげるためには、ノンフロン断熱材が普及しなければ意味が無いことから、今後は従来の断熱材に十分対抗できるコストで製造できるような技術開発をしていく必要があり、高性能で実用化が近い技術を優先的に支援すべきである。

本プロジェクトで取り扱った「ノンフロン系断熱材」は、発泡を主とするケ

ミカル（的）な成形技術である。これに対して、全く手法が異なる物理的・機械的技術の断熱材（VIP）が注目されており、これと比較して、どんな点が有利か、どこに特徴があるかなど応用分野を含めて、その優位性や実用性を説くことが肝要である。

事業化の検討にあたり、早い段階から施主・設計者・施工業者等に対するヒアリングや試験施工などが重要である。ノンフロン断熱材の普及を促進するために、補助金制度、フロン発泡断熱材の使用規制など、コスト高を相殺できるような施策も望まれる。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

本プロジェクトは、フロン削減の技術開発であって、環境安心イノベーションプログラムの目標達成に寄与するとともに、温暖化対策という公共性が高い取り組みである。建材用断熱材として熱伝導率 $0.024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 以下の断熱性能を目標として設定しており、その開発は挑戦的であり開発リスクも高い。また各テーマの研究内容は民間企業の枠をこえたものであり、その実現には NEDO の関与が必要であり NEDO の事業として妥当である。

一方、各課題およびその周辺分野の技術開発は日進月歩であり、その動向を的確に把握しプロジェクトに反映させ、見直しや修正をかける努力が必要である。

今後、このような問題を含む技術開発では、法律の規制も同時に並行して進めないと、業界としては競争原理により、どうしてもコストの安い方に向かってしまう。

2) 研究開発マネジメントについて

技術動向や市場の規模などから、開発目標を建築分野への適用に限定し、建材用断熱材のトップランナーとなる明確な数値目標を設定したこと、断熱材の製造法の技術開発だけでなく、経年変化抑制技術、安全性の検討、簡易測定法まで幅広く取り組んだことを評価する。さらに全体を統括するプロジェクトリーダー主導の下で関連要素技術に実績のある企業との連携研究体制を整え、その連携活動もよくなされたことなど、研究開発マネジメントは妥当であったと判断される。

一方、建築分野での実用化・事業化が目標であれば製造性のみならず施工性の観点も重要であり、エンドユーザーである実際の施工業者も含めて問題点を洗い出す必要がある。さらに、競合技術との厳密な技術の対比や海外企業の新発泡剤の動向、また真空断熱材の動向などの変化への対応が十分とは言えない

ところがある。

3) 研究開発成果について

すべての事業者が建材用断熱材として現在最高レベルとなる $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の断熱性能の目標をクリアしていることは高く評価できる。また、建築分野のみならず他分野への展開が可能な新しい発見や成果も得られている点も評価できる。さらに、温度波法による熱伝導率計測技術開発では、高感度プローブおよび小型装置の開発を行い、 $1\text{m}\cdot\text{K}$ レベルの感度を得たことや ISO/NWIP CD に採択されたことは評価できる。

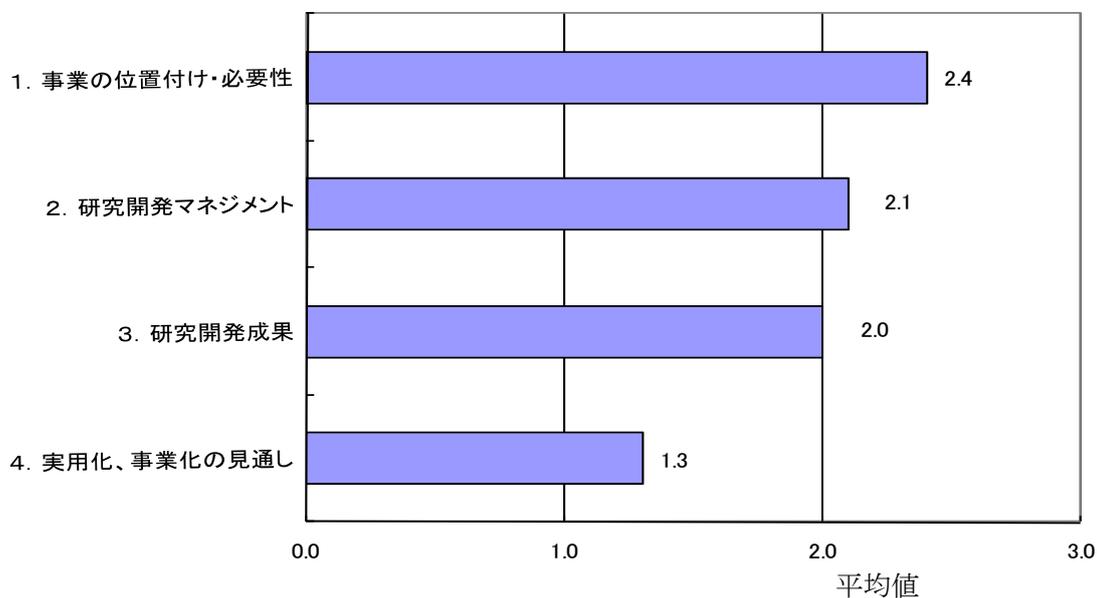
一方、既存フロン系硬質ウレタンフォームを代替するためのシナリオが明確でなく、本プロジェクトの得られた成果にどの程度優位性があるのかを詳細に検証することを、後半の 2 年間で実施する体制があれば良かった。また、成果の早期普及のためには、製造コストを低減する技術開発を進める必要がある。さらに今回のプロジェクトの成果を有効に活用するためには、どのような環境で、どのような条件で用いるかなどの実用化・事業化に向けた指針・指標の提示が足りない。

4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化に向けて単に断熱材の製造法だけでなく、経年変化を少なくする技術を主要なテーマに掲げ、建材用断熱材の実用化に重要な検討がなされた。ナノゲルの活用など、広く応用展開が期待できる。計測技術は、既に製品化、市販化済みということで評価でき、今後幅広い分野への貢献が期待できる。

一方、経年変化については、劣化促進試験やシミュレーションなどで検証されているが、想定されない影響も考えられるため、実時間による長期安定性について継続評価する必要がある。実際の建材用断熱材としての普及を考えると、従来製品に比べてコスト競争力は十分であるとはいえない状況である。また、事業化計画が曖昧なものがあり、さらに多くのテーマで事業化計画自体が遅すぎる。最今の国内外各社の事業化スピードを考えると、国際競争に負けることを危惧する。発泡ガス開発については、デュポン社、ハネウェル社も事業化に近い段階だと考えられ、2020 年事業化開始のスケジュールは妥当なのか見極めに努めて頂きたい。

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		B	A	A	A	B	B	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.4	B	A	A	A	B	B	B	
2. 研究開発マネジメントについて	2.1	A	B	B	B	B	B	B	
3. 研究開発成果について	2.0	B	B	B	B	B	A	C	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.3	B	C	B	C	C	C	C	

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

〈判定基準〉

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