

「高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発」
(事後評価)分科会 資料7

「高効率低 GWP 冷媒を使用した 中小型空調機器技術の開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	-----------------------------------

—目次—

概 要 プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け	I - 1
1.1 事業の背景	I - 1
1.1.1 オゾン層保護対策の動向	I - 1
1.1.2 温暖化対策の動向	I - 2
1.2 事業の目的と位置付け	I - 3
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I - 3
2.1 NEDO が関与することの意義	I - 3
2.1.1 社会的な背景	I - 3
2.1.2 低 GWP 冷媒機器開発の必要性	I - 6
2.1.3 分野別の対応状況	I - 8
2.1.4 技術的な課題と NEDO の関与する意義	I - 11
2.2 実施の効果（費用対効果）	I - 15
2.2.1 産業界への効果	I - 15
2.2.2 費用対効果	I - 15
2.2.3 制度への適用性	I - 15

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標	II - 1
1.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発	II - 3
1.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価	II - 4
2. 事業の計画内容	II - 9
2.1 研究開発の内容	II - 9
2.1.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発	II - 9
2.1.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価	II - 14
2.2 研究開発の実施体制	II - 21
2.3 研究の運営管理	II - 24
2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性	II - 24
3. 情勢変化への対応	II - 25
4. 評価に関する事項	II - 27

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果	III - 1
1.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発	III - 1
1.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価	III - 2
2. 研究開発項目毎の成果	III - 5
2.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発	III - 8
2.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価	III - 28

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

1. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて	IV - 2
1.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発	IV - 2
2. 成果の実用化に向けての見通し及び取り組みについて	IV - 4
2.1 低温室効果冷媒の性能、安全性評価	IV - 4
3. 波及効果	IV - 7
3.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発	IV - 8

・論文リスト

(添付資料)

- ・「高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発」基本計画 NEDO環境部
- ・「脱フロン対策分野」【技術戦略マップ 2010 より抜粋】(分野別技術ロードマップ)
- ・プロジェクト開始時関連資料(パブリックコメント募集の結果)

概要

		最終更新日	平成 29 年 12 月 5 日
施策名	「平成 26 年度科学技術重要施策アクションプラン」(平成 25 年 9 月 13 日)、フロン排出抑制法第 98 条		
プロジェクト名	高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発	プロジェクト番号	P16004
担当推進部/担当者	環境部/阿部正道、市川直喜、神戸正純、須澤美香 (平成 29 年 12 月現在) 環境部/阿部正道、市川直喜、神戸正純、須澤美香、山下尚人 (平成 28 年 4 月~平成 29 年 6 月)		
0. 事業の概要	<p>高効率かつ低温室効果の中小型空調機器を実現するため、コアとなる以下の要素技術について開発を行う。</p> <p>(主な技術開発課題)</p> <p>(1) 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発</p> <p>(2) 低温室効果冷媒 (自然冷媒等) で高効率化を達成する主要機器 (圧縮機、熱交換器等) の開発</p> <p>また、各冷媒について、使用条件等に対応した安全性評価 (可燃性、毒性等)、性能評価を行い、国際規格等 (IEC 等) への提案に資する。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>京都議定書目標達成計画において、代替フロン等 3 ガス (HFC、PFC、SF6) は排出削減対象に位置付けられている。また、京都議定書第 1 約束期間終了後 (2013 年以降) においても、更なる長期的・継続的な排出削減対策の実施が求められており、温室効果がより小さい代替物質の開発・普及と設備等の導入を推進することが強く要請されている。</p> <p>これまで「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」(2011~2015 年度) においては、業務用冷凍空調機器を対象として、従来フロン機以上の効率性 (省エネ性) と冷媒の低 GWP 化を両立する技術の開発、さらに低温室効果冷媒の安全性評価を実施し、業務用冷凍空調機器についてノンフロン化を進めてきた。一方、空調機器は一旦市場に投入されれば、その後十数年以上にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすものであり、一刻も早く開発し市場に投入させることが不可欠である。さらに HFC の排出源として家庭用空調機器の占める割合が大きいことを踏まえ、省エネ化、低温室効果冷媒への転換を促進するため、低温室効果冷媒として HF0 系冷媒および自然冷媒を対象とし、機器としては家庭用エアコン規模の中小型空調機器を対象とした冷媒開発・機器開発・安全性評価手法の検討を行う。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい分野である家庭用空調機器の開発を見据え、機器サイド、冷媒サイド双方から、低温室効果冷媒を適用した中小型空調機器の省エネ化・高効率化実現のために必要となる基盤要素技術開発につなげるための核となる要素技術を確立する。</p> <p>核となる要素技術を確立することにより、将来、研究開発対象冷媒物質を 2 種以上、システム実用化研究へとつなげることを目指す。</p> <p>研究開発項目①「高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発」： 冷媒開発においては、既に冷凍空調機器に適用されている主たる冷媒以下の GWP と、同等以上の性能を両立する HF0 系冷媒の実現につなげるための核となる要素技術を確立する。また、中小型空調機器を対象として、GWP が既に冷凍空調機器に適用されている冷媒以下である低温室効果冷媒 (自然冷媒、HF0 系冷媒) を用いつつ現状市販フロン適用機器と同等以上の性能の実現につなげるための核となる要素技術の確立を目標とする。</p> <p>研究開発項目②「低温室効果冷媒の性能、安全性評価」： 空調機器性能と省エネ性を両立しうる、現在の空調機器適用冷媒に代わる低温室効果冷媒候補 (自然冷媒、HF0 系冷媒) について、システム実用化研究に値する冷媒選定に資する、安全性に係るデータ及び評価結果を得る。また、有識者と連携し、機器への適用と普及に必要な規格 (リスク評価手法、標準化) や標準の新たな提案に向けた、知見を得る。</p>		

事業の計画内容	主な実施事項		H28fy	H29fy	
	高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発		→		
	低温室効果冷媒の性能、安全性評価		→		
	成果とりまとめ				
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) 契約種類: ○をつける (委託(○) 助成(○) 共同研究(負担率()))	会計・勘定		H28fy	H29fy	総額
	一般会計		-	-	-
	特別会計(需給)		220	63	283
	開発促進財源		-	-	-
	総予算額		220	63	283
	(委託)		163	14	177
	(助成) : 助成率 1/2		57	48	105
	(共同研究) : 負担率△/□		-	-	-
開発体制	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		
	プロジェクトリーダー		飛原英治(東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授)		
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)		①高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発(助成先) ・旭硝子株式会社 ・パナソニック株式会社 ・三菱電機株式会社 ・株式会社デンソー ②低温室効果冷媒の性能、安全性評価(委託先) ・学校法人東京理科大学 諏訪東京理科大学 ・国立大学法人九州大学 ・国立大学法人東京大学 ・国立研究開発法人産業技術総合研究所		
情勢変化への対応	国内では、「高圧ガス保安法 冷凍保安規則」の微燃性冷媒の取り扱いに関する法改正、CO2 を使用した冷媒設備に対する規制合理化があり、当該冷媒実用化に対する戦略的な技術開発を行った。国外では、キガリ改正における HFC 生産・消費の段階的削減スケジュールが決定した状況において、段階的削減目標を視野に入れた、抜本的解決のための技術開発の促進を行った。低 GWP 冷媒の使用に関する要素技術開発、性能・安全性評価に対応している。業務用冷凍空調機器に対する国際規格において、HC 冷媒充填量拡大に関する改正審議が行われており、実環境を踏まえた適切な安全性評価を促進した。				
評価に関する事項	事前評価	平成 27 年度実施 担当部 環境部			
	事後評価	平成 29 年度 事後評価実施			
Ⅲ. 研究開発成果について	研究開発項目①、②について、平成 28 年度から採択の下記 8 テーマ ((a)~(h)) について、委託事業及び助成事業(助成率 1/2) の 2 つの事業フェーズ毎に研究開発を実施した。また、NEDO は、適宜、PL の開催する委託先/助成先毎の進捗検討会議に参加し、研究開発成果及び進捗状況等を確認・指導を実施した。各研究開発テーマの内容及び成果は以下のとおり。				

研究開発項目①「高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発」

(a) 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発【旭硝子株式会社】

中小型空調機器の省エネ化・高効率化実現のために必要となる基盤要素技術を確立することを目標に、下記の目標達成のための研究項目を実施した。

- ・地球温暖化；地球温暖化係数（100年間）GWP が 150 以下
- ・燃焼性；不燃性～微燃性（ASHRAE 安全性区分：1～2L）
- ・毒性；低毒性（LC50>20,000ppm）
- ・冷媒性能；現行冷媒である R410A 又は R32 と同等以上の冷媒性能

目 標	研究開発成果
テーマ： 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発	
中小型空調機器の省エネ化・高効率化実現のために必要となる基盤要素技術を確立する。	中小型空調機器で使用されている既存冷媒の GWP の大幅な低減と冷媒性能を両立することを目的に、HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf 混合冷媒を対象に検討を行い、基盤要素技術を確立するとともに、最適な冷媒組成物の選定を行った。
[1] 地球温暖化	
地球温暖化係数（100年間）GWP が 150 以下	HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf より構成される混合冷媒の選定に際して、高 GWP を有する HFC-32 の組成制限を付与することにより、目標 GWP 値を満足する組成物を選定した。
[2] 燃焼性	
不燃性～微燃性（ASHRAE 安全性区分：1～2L）	HFO-1123、HFC-32 及び HFO-1234yf から構成される GWP150 を満足する候補媒体について、燃焼範囲および燃焼速度の評価を実施し、何れも目標である ASHRAE 安全区分 2L に該当することを確認した。
[3] 毒性	
低毒性（LC50>20,000ppm）	候補媒体構成成分である HFO-1123、HFC-32 及び HFO-1234yf はラットを用いた LC50（4時間）値は何れも 20,000ppm 以上であり、目標値を満足すると考える。
[4] 冷媒性能	
現行冷媒である R410A 又は R32 と同等以上の冷媒性能	HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf より構成される混合冷媒のドロップイン性能について、実機を用いたドロップイン試験、並びに圧力損失を考慮したシミュレーション及び安全特性（燃焼性、不均化反応）を考慮し、最適組成物を選定した。本組成物は機器の最適設計により、現行と同等のサイクル性能を達成するものとする。

(b) 低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発【パナソニック株式会社】

事業者最終目標の低 GWP 冷媒を使用したルームエアコンの要素技術確立を目的とし、下記の研究項目を実施した。

目 標	研究開発成果
テーマ： 低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発	
事業者最終目標の低 GWP 冷媒を使用したルームエアコンの要素技術確立	主成分の一つと考える HFO 冷媒を用いて、事業者最終目標の低 GWP 化が実現できる可能性を確認した。
[1] 事業者中間目標に向けた取組み	
入手可能な HFO・HFC 冷媒（混合冷媒）の省エネ性能評価	R32 を使用したルームエアコンにドロップインし、省エネ性能評価を実施。特に、各成分の沸点差が大きい混合冷媒においては、性能低下要因を明確化。
[2] 事業者中間目標に向けた取組み	
入手可能な HFO・HFC 冷媒（混合冷媒）の信頼性評価	R32 を使用したルームエアコンで長期本体信頼性試験により評価を行い、信頼性課題を明確化。冷媒による圧縮機摺動部の摩耗形態差を表面観察から確認した。

[3] 事業者最終目標に向けた取組み

主成分の一つと考える HF0 冷媒の課題を把握し、解決策を立案・検証

特定条件で発現する HF0 冷媒の課題となる事象を解明の上、この事象を軽減できる技術的着眼点を見出し、課題解決策を立案、有効性を検証した。

(c) 自然冷媒を適用したルームエアコンの研究【三菱電機株式会社】

HC 冷媒を用いたルームエアコンで従来冷媒と同等性能且つ安全性を確保出来る冷媒充填量以下とすることを目的に、下記の研究項目を実施した。

1. HC 冷媒の冷媒量削減
2. HC 冷媒を適用したルームエアコンの性能確保

目 標	研究開発成果
テーマ： 自然冷媒を適用したルームエアコンの研究	
HC 冷媒を用いたルームエアコンで従来冷媒と同等性能且つ安全性を確保出来る冷媒充填量以下	圧縮機の高性能化、細径マイクロチャンネルにより性能確保により目標値達成。漏洩試験により目標冷媒量の安全妥当性も確認した。
[1] HC 冷媒の冷媒量削減	
IEC 規格(IEC 60335-2-40) 以下達成目途確認	細径マイクロチャンネル熱交換器を実装したユニット性能試験では、284g となり、IEC 式から算出される目標冷媒量 320g 以下となることを確認した。
[2] HC 冷媒を適用したルームエアコンの性能確保	
R32 機同等冷房定格 COP 達成目途確認	圧縮機では圧縮要素とモータの組合せ適正化により R32 用圧縮機比で+2.2%の圧縮機効率を確認。対 R32 の冷房定格 COP はドロップイン時は-12%だったが、細径マイクロチャンネルと吸入配管径拡大等対 R32 比で+1%となることを確認した。

(d) 高効率エジェクタを使用した CO2 冷媒空調システムの開発【株式会社デンソー】

冷房条件にて CO2 冷媒で R32 同等の COP を達成することを目的とし、下記の研究項目を実施した。

1. 高効率エジェクタの開発
2. 高効率コンプレッサの開発
3. 高効率サイクルの開発

目 標	研究開発成果
テーマ： 高効率エジェクタを使用した CO2 冷媒空調システムの開発	
冷房条件にて CO2 冷媒で R32 同等の COP を達成する。(COP+31%)	試作エジェクタ及びインジェクションを採用した試作機において冷房定格条件で COP+31%の見込みを得た。冷房中間条件においては定格条件の結果を加味したシミュレーションにより COP+31%の達成見込みを得た。
[1] 高効率エジェクタの開発	
・基礎評価から数値解析の構築に必要な指針を得る ・冷房条件においてエジェクタ効率 50%の達成	・3次元ノズルの評価から、沸騰遅れの現象を捉えた。そのメカニズムを解明し、数値解析に反映させることが必要であることを明らかにした。 ・定格条件で実機にて効率 60%、中間条件で実機にて 48%を達成し、中間条件においても改良指針を反映した場合 50%の達成の目処を得た。
[2] 高効率コンプレッサの開発	
・連続インジェクションコンプレッサにおいて、吐出流量増加 23%以上と、効率低下値 2.0%以内を達成する。	・吐出し流量増加 28%、効率低下 1.6%で目標を達成した。

・二段圧縮コンプレッサにおいて、構想を具体化し、ポテンシャルを見極める。	・低段-高段切替え部位の主要漏れ箇所の影響度を定量化し、現行同等レベルの効率達成のポテンシャルを確認した。
[3] 高効率サイクルの開発	
冷房条件にてCO2冷媒でR32同等のCOPを達成する。 (COP+31%)	冷房定格条件においては試作エジェクタ及びインジェクションを採用した試作機の評価にてCOP+31%の見込みを得た。 冷房中間条件においては定格条件の結果を加味したシミュレーションによりCOP+31%の達成見込みを得た。

研究開発項目②「低温室効果冷媒の性能、安全性評価」

(e) 事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント【学校法人東京理科大学】

対象冷媒を中小型空調機器に適用した場合の冷媒漏洩事故シナリオを抽出するとともに、実際の冷媒漏洩の濃度分布測定や着火実験により火災危険性・フィジカルハザードを明確化する。実施項目は下記の通り。

1. 中小型空調機器に低 GWP 冷媒を適用する際に発生しうる事故シナリオの抽出
2. 低 GWP 冷媒の使用時及び整備時における火災発生可能性及びフィジカルハザード評価

目 標	研究開発成果
テーマ： 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発	
中小型空調機器冷媒への低 GWP 冷媒適用の可能性を検討するために、実際の使用条件を想定した事故シナリオを抽出し、火災・爆発発生の危険性及び発生時の物理的有害度（フィジカルハザード）を実験的に評価する。	以下の各実施項目ごとの研究開発成果に示した通り、産官学連携の下で事故シナリオ及び着火源を抽出した。これに基づき実験を行い、①プロパン噴流の着火判定手法を構築した②漏洩滞留空間底部の排水口が漏洩冷媒の滞留防止及び可燃性混合気形成抑制に及ぼす効果はあまりないことを示した③燃焼威力を定量的に評価できるようピーク過圧・KG 値・温度データを整備した といった成果を得た。以上により、プロパンを中小型空調機器に適用する際の着火可能性及びフィジカルハザードを定量的に評価することができ、当初の目的を達成した。
[1] 中小型空調機器に低 GWP 冷媒を適用する際に発生しうる事故シナリオの抽出	
対象冷媒を中小型空調機器に適用した場合の漏洩シナリオ、対象空間、想定される着火源等を洗い出し、リスク評価及びそれに基づいた対策の立案が必要となるシナリオを吟味・抽出する。シナリオの吟味・抽出にあたっては、業界団体及び有識者とコンソーシアムを組む等の方法により、有識者やメーカー等の知見も参考にすることで、抽出シナリオの妥当性を確保する。	（公社）日本冷凍空調学会内に設置された「次世代冷媒リスク評価研究会」に参加し産官学合同で中小型空調機器からのプロパン漏洩シナリオ及び着火源を検討した。加えて、日本冷凍空調工業会担当者、機器メーカー担当者との意見交換を行った。これらの議論により、評価対象として①室内機と室外機の接続配管からプロパンが急速に噴出漏洩した場合（以下急速漏洩と表記）、②室内機及び室外機から居室内あるいはベランダへ、人が気づかない程度の微速で漏洩し滞留した場合（以下微速漏洩滞留と表記）の2つのシナリオを取りあげた。さらに、着火源として①静電気スパーク、②裸火、③高温表面を取りあげた。以上により本研究項目の当初予定を達成した。
[2] 低 GWP 冷媒の使用時及び整備時における火災発生可能性及びフィジカルハザード評価	
急速漏洩及び微速漏洩滞留のそれぞれのパターンにおいて、プロパン濃度の計測により燃焼範囲形成領域を把握する。さらに、想定着火源により着火実験を行い、着火可能性及びフィジカルハザードを評価する。	まず急速漏洩シナリオについては、プロパン噴流の濃度計測結果から求めた等濃度線図により、燃焼範囲の形成領域を視覚的かつ定量的に明らかにした。また、模擬静電気スパーク、裸火、高温表面を着火源として着火実験を実施し、高温表面による着火が発生しなかったことを示すとともに、その他の着火源については噴流速度と着火源のエネルギー密度及び濃度分布から着火を判定する手法を構築した。微速漏洩滞留では、室外機からベランダへの漏洩を模擬した実験を行い、測定濃度から燃焼範囲の形成領域を、特に排水口の効果も含めて明らかにした。さらに、着火時の燃焼威力を定量的に評価できるよう、圧力上昇や KG 値、温度上昇のデータを整備した。以上により本研究項目の当初予定を達成した。

(f) 中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価【国立大学法人九州大学】

HF0-1123 純冷媒及び HF0-1123 などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価・伝熱特性評価、低 GWP 冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価を行い、冷媒物性や冷媒性能を明らかにすることを目的とし、下記の研究項目を実施した。

1. HF0-1123 などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価
2. HF0-1123 などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価
3. 低 GWP 冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価

目 標	研究開発成果
テーマ： 中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価	
<p>中小型空調機器に適した低 GWP 混合冷媒の提案</p> <p>低 GWP 混合冷媒を用いた熱物性、伝熱特性およびサイクルに関する基礎技術の構築</p> <p>新冷媒の物性情報の成果を国際標準化ツールである NIST REFPROP で情報公開</p>	<p>HF0-1123+HFC-32 混合冷媒が、熱物性評価、伝熱性能評価、サイクル実験によるヒートポンプサイクル性能評価から、次世代冷媒として使用できることを実証した。容積圧縮式ヒートポンプに適した、比較的高圧の HF0-1123+HFC-32 混合冷媒のサイクル性能評価を、既設の水熱源ヒートポンプサイクル試験装置で行い、適正な運転条件を世界で初めて解明した。HF0-1123+HFC-32 [42/58 mass%] の測定結果から、R410A と同等の性能を示すことが判明した。</p> <p>低 GWP 冷媒 HF0-1123 の熱力学的性質（飽和蒸気圧、飽和密度、PvT 性質、臨界定数、比熱、音速）及び輸送的性質（熱伝導率、粘度）を製造元以外の情報として、世界で初めて解明した。</p> <p>低 GWP 混合冷媒 HF0-1123+HFC-32 の熱力学的性質（PvTx 性質、気液平衡性質、臨界定数の組成依存性、比熱、音速）および輸送的性質（熱伝導率、粘度）を製造元以外の情報として、世界で初めて解明した。</p> <p>低 GWP 混合冷媒 HF0-1123+HFC-32 の伝熱性能を、3 種類の熱交換器（プレート式、扁平多孔管式、円管式）で評価し、伝熱計算に関する情報を世界で初めて解明した。</p> <p>低 GWP 混合冷媒 HF0-1123+HFC-32 のサイクル特性に及ぼす蒸発器および凝縮器の熱交換特性の影響を明らかにした。</p> <p>低 GWP 冷媒 HF0-1123 および低 GWP 混合冷媒 HF0-1123+HFC-32 の熱力学性質を算出するための状態方程式を、世界で初めて作成し、NIST の REFPROP Ver. 10 を利用して、世界中で計算が可能になるようにした。これにより、これらの新冷媒の熱物性計算が世界中で利用できるようになり、国際標準値としての情報を我が国から発信、提供できた。</p>
[1] HF0-1123 などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価	
<p>(a) 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定</p> <p>(b) 気液平衡性質の測定</p> <p>(c) 比熱の測定</p> <p>(d) 音速の測定</p> <p>(e) 状態方程式の開発</p> <p>(f) 輸送的性質の測定</p>	<p>(a) HF0-1123 に関して、等容法による PvT 性質測定を行ない温度 310K~430K、計 8 本の等容線に沿った 77 点のデータを得た。27 点の飽和蒸気圧を再測定し、飽和蒸気圧関数式も作成した。HF0-1123 の臨界定数を $T_c=331.73 \text{ K}$、$\rho_c=504 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$、$P_c=4544 \text{ kPa}$ と決定した。</p> <p>40mass%HF0-1123 および 60mass%HF0-1123 混合冷媒で、等容法による PvTx 性質測定を行なった。この 2 組成の臨界定数も測定し、臨界軌跡の相関式を作成した。</p> <p>(b) 循環式気液平衡測定装置を用い、2 研究機関で独立した気液平衡測定を実施した。</p> <p>(c) サーマルフロー式カロリメータを開発し、気相域定圧比熱を測定した。金属ベローズ型カロリメータを用いて、液相域定圧比熱を測定した。</p> <p>(d) HF0-1123 の気相域における音速を 323~333 K、400 kPa までの範囲で測定し、理想気体比熱を求めた。263~333 K の温度範囲における理想気体比熱の温度相関式を作成した。さらに 40mass%HF0-1123 混合冷媒の気相域の音速を 303~333 K の範囲で測定した。</p>

		<p>(e)本研究で得られた熱物性情報に基づいて、HF0-1123 に関するヘルムホルツ型状態方程式を開発した。また、既公表の HF0-32 状態方程式と、作成した HF0-1123 状態方程式を、ヘルムホルツ自由エネルギーの混合則に基づいて組み合わせ、混合冷媒の状態方程式を開発した。</p> <p>(f) 40mass%HF0-1123 混合冷媒の熱伝導率は、1.2～4.3MPa、15～60℃の圧縮液および過熱蒸気で測定し、粘度に関しては、3.2～4.6MPa、-15～20℃の圧縮液の条件で測定した。ただし、純冷媒の熱伝導率と粘度の測定は、装置への試料充填ができず、測定できなかった。</p>						
<p>[2] HF0-1123 などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価</p>								
	<p>(a) プレート式熱交換器内の伝熱特性評価 (b) 扁平多孔管内の伝熱特性評価 (c) 円管内の伝熱特性評価</p>	<p>40mass%HF0-1123/60mass%HFC-32 混合冷媒を主たる対象冷媒として、</p> <p>(a) プレート式熱交換器流路内の蒸発および凝縮における局所熱伝達率の測定を行い、流路両端の熱伝達率が小さいこと、流路出入口側の面の熱伝達率が高いことがわかった。また HFC-32 純冷媒の伝熱特性と比較検討を行った結果、混合物の熱伝達率は、HFC-32 純冷媒の熱伝達率と同程度であることが確認された。</p> <p>(b) 管幅 16 mm、管厚み 1.9 mm、水力直径 1.2 mm のアルミニウム製扁平多孔管を用いて、凝縮および蒸発熱伝達率および圧力損失の測定を行い、HFC-32 との比較を行った。混合冷媒の凝縮および蒸発熱伝達率は、HFC-32 に比べて幾分低い値を示した。また、圧力損失は凝縮および蒸発過程ともに HFC-32 よりも低い値を示した。</p> <p>(c) 外径 6mm、フィン数 60、ねじれ角 18° の銅製らせん溝付管内における混合冷媒の伝熱特性を測定した。凝縮熱伝達率は HFC-32 に比して幾分低いが、蒸発熱伝達率はほぼ同等であった。また、圧力損失は凝縮・蒸発課程とともに幾分低かった。</p>						
<p>[3] 低 GWP 冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価</p>								
	<p>(a) 容積圧縮式ヒートポンプサイクル性能評価</p>	<p>GWP 値が 393 および 285 の 2 種類の HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒について、水熱源ヒートポンプサイクル試験装置を用いて、暖房 2 条件および冷房 1 条件のサイクル性能の評価試験を行い、GWP=393 の混合冷媒のサイクル性能は R410A と同等、GWP=285 の混合冷媒のサイクル性能は R410A に比して若干低いことを明らかにするとともに、それらサイクル性能と冷媒の熱力学的特性および凝縮・蒸発熱交換特性との関係を検討した。</p>						
<p>(g) 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価【国立大学法人東京大学】 微燃性冷媒を安全に使用するために評価すべき事柄について、共通基盤的な情報を提供し、低 GWP・微燃性冷媒の実用化を促進することを目的に、下記の項目を実施した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 可燃性冷媒が室内へ漏えいした時の濃度分布解析 2. エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発 3. HF0 系冷媒の自己分解反応の分析 4. 低 GWP の可燃性冷媒の燃焼時におけるリスク評価 5. 新冷媒の熱交換器性能 6. 中小型空調機器の実性能評価技術の開発 								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">目 標</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">研究開発成果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">テーマ： 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">低 GWP 冷媒を安全に使用するために評価すべき事柄について、共通基盤的な情報を提供し、低 GWP 冷媒の実用化を促進する。</td> <td style="vertical-align: top;">モントリオール議定書キガリ改正の規制を見通して、GWP が極めて小さい炭化水素や HF0 冷媒のリスク評価を行うのに必要な燃焼特性や固有反応発生可能性について学術的な情報を提供した。産学官が協力して、新規低 GWP 冷媒のリスク評価を実施に協力した。</td> </tr> </tbody> </table>			目 標	研究開発成果	テーマ： 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価		低 GWP 冷媒を安全に使用するために評価すべき事柄について、共通基盤的な情報を提供し、低 GWP 冷媒の実用化を促進する。	モントリオール議定書キガリ改正の規制を見通して、GWP が極めて小さい炭化水素や HF0 冷媒のリスク評価を行うのに必要な燃焼特性や固有反応発生可能性について学術的な情報を提供した。産学官が協力して、新規低 GWP 冷媒のリスク評価を実施に協力した。
目 標	研究開発成果							
テーマ： 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価								
低 GWP 冷媒を安全に使用するために評価すべき事柄について、共通基盤的な情報を提供し、低 GWP 冷媒の実用化を促進する。	モントリオール議定書キガリ改正の規制を見通して、GWP が極めて小さい炭化水素や HF0 冷媒のリスク評価を行うのに必要な燃焼特性や固有反応発生可能性について学術的な情報を提供した。産学官が協力して、新規低 GWP 冷媒のリスク評価を実施に協力した。							

[1] 可燃性冷媒が室内へ漏えいした時の濃度分布解析	
可燃性のある冷媒について、室内への漏えいシナリオにおける濃度分布シミュレーション解析を実施する。また、冷媒漏えい実験との比較によりその妥当性を検証する。	ルームエアコンからの冷媒漏えい実験を行い、濃度が拡散する過程を精緻に測定した。その結果に基づいて、CFDモデルの検証を行った。
[2] エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発	
発生条件を明らかにし、潤滑油から冷媒へと燃焼が伝搬する仕組みとの解明に努め、潤滑油の燃焼特性に注目することにより、ディーゼル爆発の発生を抑制する方法を提案する。	新たにプロパンを冷媒として実験を行い、冷媒の燃焼性よりも潤滑油の燃焼性のほうがディーゼル爆発の起きやすさを左右することが分かった。
[3] HF0系冷媒の自己分解反応の分析	
発生条件を明らかにし、反応ガス分析や反応状況を観察するなどにより、発生機構の解明に努める。	HF01123冷媒の不均化反応の発生条件と抑制方法について、熱理論に基づく仮説をたて、その実証実験を行った。有用な情報が得られつつある。
[4] 低GWPの可燃性冷媒の燃焼時におけるリスク評価	
燃焼性のある低GWP冷媒の燃焼についてリスク評価を進める。	日本冷凍空調学会に次世代冷媒リスク評価研究会を組織し、プロパンなどの強燃性冷媒のリスク評価を検討した。
[5] 新冷媒の熱交換器性能	
扁平多孔管を用いた蒸発器を対象として、HF0系冷媒の伝熱特性を明らかにし、チャンネル径やオイル濃度の影響との相関式を提案する。	プロパンの熱交換器性能を実験により求めるとともに、潤滑油が混入しているときの影響を明らかにした。潤滑油の濃度が2%未満の場合、蒸発器性能に与える影響は少ないことを明らかにした。また、高温ヒートポンプや有機ランキンサイクルに用いられる可能性のある低GWP冷媒について、超臨界圧における加熱伝熱特性を明らかにした。
[6] 中小型空調機器の実性能評価技術の開発	
実運転サイクル性能予測を可能とするシミュレータを開発し、高精度なサイクル性能評価技術の確立を目指す。	新冷媒のサイクル特性をシミュレーションにより明らかにすることを目的として、ドロップイン試験を模擬するシミュレーションソフトウェアを開発した。

(h) 自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価【国立研究開発法人産業技術総合研究所】

中小型家庭用室内空調機に自然冷媒が使用された場合を想定して、実寸大のフィジカルハザード評価を行うことを目的に、下記の項目を実施した。

1. 中小型家庭用室内空調機に関する事故シナリオの検討
2. 実寸大模擬空間を利用した自然冷媒の漏洩拡散濃度分布の計測と着火時のフィジカルハザード評価
3. 室外機からの漏洩冷媒着火時の火災影響に関するフィジカルハザード評価

目 標	研究開発成果
テーマ： 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発	
中小型家庭用室内空調機に自然冷媒が使用された場合を想定して、実寸大のフィジカルハザード評価を行う。	IEC60335-2-40の最大許容充填量を守った場合の漏洩拡散挙動と燃焼爆発影響評価を行った。

	<p>[1] 中小型家庭用室内空調機に関する事故シナリオの検討</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="391 208 794 398"> <p>事故シナリオを検討すると同時に、各シナリオで考えうる充填量等の使用条件や漏洩孔径などの被害状況を整理し、②および③の実施項目の実験条件を決定する。</p> </td> <td data-bbox="794 208 1484 398"> <p>一般社団法人日本冷凍空調工業会技術部担当者、当 NEDO 事業に参加し自然冷媒使用機器の開発研究を実施している機器メーカー担当者との意見交換を行い、事故シナリオの検討、状況の整理を行い、②および③の実施項目の実験条件を決定した。</p> </td> </tr> </table> <p>[2] 実寸大模擬空間を利用した自然冷媒の漏洩拡散濃度分布の計測と着火時のフィジカルハザード評価</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="391 461 794 925"> <p>模擬空間は密閉空間とした場合と、扉下に開口部があることを想定して模擬空間に 800×4mm の開口部を設けた場合の 2 ケースについて濃度分布計測を行う。密閉空間のケースでは漏洩量 3 パターン×漏洩速度 3 パターンの計 9 パターン、扉下開口部のケースでは密閉空間のケースから計 3 パターンを選定して計測を実施する。予混合状態の最悪ケースについて漏洩条件を変えて 2 パターン着火後の燃焼・爆発影響評価を実施する。</p> </td> <td data-bbox="794 461 1484 925"> <p>漏洩量違いを 3 パターン行い、それぞれの漏洩量で開口の有無、漏洩線流速違い、漏洩方向違いを、4, 5, 4, パターン、計 13 パターンの拡散挙動実験を行った。燃焼爆発影響評価では、4 パターンの実験の内、着火が起こった 3 パターンの影響評価を行った。その結果、許容充填量を守っている限り 4 分間全量放出の条件でも放出終了後には可燃濃度域がないことを確認した。</p> </td> </tr> </table> <p>[3] 室外機からの漏洩冷媒着火時の火炎影響に関するフィジカルハザード評価</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="391 958 794 1272"> <p>漏洩規模を変えて漏洩拡散挙動計測を 4 ケース程度実施する。計測により得られる濃度分布から、着火源の存在により着火・火炎影響が起こり得る場合には、着火実験により着火後の燃焼・爆発影響評価を 1 から 2 ケース実施して逆火現象などの発現などについて安全性を検証する。</p> </td> <td data-bbox="794 958 1484 1272"> <p>漏洩拡散挙動計測を 4 ケース、燃焼・爆発影響評価を 2 ケース実施した。その結果、作業等による放出廃棄の際に着火事故が起きると危害度が高いことを示した。</p> </td> </tr> </table> <p>投稿論文 「査読付き」12 件、「その他」18 件</p> <p>特 許 「出願済」9 件、「登録」 0 件、「実施」 0 件（うち国際出願 3 件）</p> <p>その他の外部発表（プレス発表等） 0 件</p>	<p>事故シナリオを検討すると同時に、各シナリオで考えうる充填量等の使用条件や漏洩孔径などの被害状況を整理し、②および③の実施項目の実験条件を決定する。</p>	<p>一般社団法人日本冷凍空調工業会技術部担当者、当 NEDO 事業に参加し自然冷媒使用機器の開発研究を実施している機器メーカー担当者との意見交換を行い、事故シナリオの検討、状況の整理を行い、②および③の実施項目の実験条件を決定した。</p>	<p>模擬空間は密閉空間とした場合と、扉下に開口部があることを想定して模擬空間に 800×4mm の開口部を設けた場合の 2 ケースについて濃度分布計測を行う。密閉空間のケースでは漏洩量 3 パターン×漏洩速度 3 パターンの計 9 パターン、扉下開口部のケースでは密閉空間のケースから計 3 パターンを選定して計測を実施する。予混合状態の最悪ケースについて漏洩条件を変えて 2 パターン着火後の燃焼・爆発影響評価を実施する。</p>	<p>漏洩量違いを 3 パターン行い、それぞれの漏洩量で開口の有無、漏洩線流速違い、漏洩方向違いを、4, 5, 4, パターン、計 13 パターンの拡散挙動実験を行った。燃焼爆発影響評価では、4 パターンの実験の内、着火が起こった 3 パターンの影響評価を行った。その結果、許容充填量を守っている限り 4 分間全量放出の条件でも放出終了後には可燃濃度域がないことを確認した。</p>	<p>漏洩規模を変えて漏洩拡散挙動計測を 4 ケース程度実施する。計測により得られる濃度分布から、着火源の存在により着火・火炎影響が起こり得る場合には、着火実験により着火後の燃焼・爆発影響評価を 1 から 2 ケース実施して逆火現象などの発現などについて安全性を検証する。</p>	<p>漏洩拡散挙動計測を 4 ケース、燃焼・爆発影響評価を 2 ケース実施した。その結果、作業等による放出廃棄の際に着火事故が起きると危害度が高いことを示した。</p>
<p>事故シナリオを検討すると同時に、各シナリオで考えうる充填量等の使用条件や漏洩孔径などの被害状況を整理し、②および③の実施項目の実験条件を決定する。</p>	<p>一般社団法人日本冷凍空調工業会技術部担当者、当 NEDO 事業に参加し自然冷媒使用機器の開発研究を実施している機器メーカー担当者との意見交換を行い、事故シナリオの検討、状況の整理を行い、②および③の実施項目の実験条件を決定した。</p>						
<p>模擬空間は密閉空間とした場合と、扉下に開口部があることを想定して模擬空間に 800×4mm の開口部を設けた場合の 2 ケースについて濃度分布計測を行う。密閉空間のケースでは漏洩量 3 パターン×漏洩速度 3 パターンの計 9 パターン、扉下開口部のケースでは密閉空間のケースから計 3 パターンを選定して計測を実施する。予混合状態の最悪ケースについて漏洩条件を変えて 2 パターン着火後の燃焼・爆発影響評価を実施する。</p>	<p>漏洩量違いを 3 パターン行い、それぞれの漏洩量で開口の有無、漏洩線流速違い、漏洩方向違いを、4, 5, 4, パターン、計 13 パターンの拡散挙動実験を行った。燃焼爆発影響評価では、4 パターンの実験の内、着火が起こった 3 パターンの影響評価を行った。その結果、許容充填量を守っている限り 4 分間全量放出の条件でも放出終了後には可燃濃度域がないことを確認した。</p>						
<p>漏洩規模を変えて漏洩拡散挙動計測を 4 ケース程度実施する。計測により得られる濃度分布から、着火源の存在により着火・火炎影響が起こり得る場合には、着火実験により着火後の燃焼・爆発影響評価を 1 から 2 ケース実施して逆火現象などの発現などについて安全性を検証する。</p>	<p>漏洩拡散挙動計測を 4 ケース、燃焼・爆発影響評価を 2 ケース実施した。その結果、作業等による放出廃棄の際に着火事故が起きると危害度が高いことを示した。</p>						
<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>対象技術毎の成果の実用化・事業化の見通しを下表に示す。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="391 1547 555 1653">研究開発項目</th> <th data-bbox="555 1547 842 1653">対象技術等</th> <th data-bbox="842 1547 1484 1653">成果の実用化・事業化見通し</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="391 1653 555 2116"> <p>① 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発</p> </td> <td data-bbox="555 1653 842 2116"> <p>・低 GWP 冷媒開発 ・低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンを開発</p> </td> <td data-bbox="842 1653 1484 2116"> <p>・空調機器を適用した低 GWP 冷媒の事業化は、国際合意（キガリ合意）で要求される 2020 年代前半を予定する。 ・技術的課題の解決に取り組み、HFC 規制に関する各地域や国ごとの対応策動向を注視しつつ、低 GWP 冷媒を使用したルームエアコンのタイムリーな実用化を検討していく予定 ・HC 冷媒を適用した RAC は、分配器の開発、暖房時の冷媒量削減等の技術開発、リスクアセスメントの精緻化、法規・施工面等の課題をクリアした後の実用化を目指す。 ・CO2 冷媒空調システムは、暖房時の COP 向上、可変機構の開発を経て、ヒートポンプ給湯器と冷凍サイクルを共用した住設機器として 2020 年代前半に量産化を目標とする。</p> </td> </tr> </tbody> </table>	研究開発項目	対象技術等	成果の実用化・事業化見通し	<p>① 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発</p>	<p>・低 GWP 冷媒開発 ・低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンを開発</p>	<p>・空調機器を適用した低 GWP 冷媒の事業化は、国際合意（キガリ合意）で要求される 2020 年代前半を予定する。 ・技術的課題の解決に取り組み、HFC 規制に関する各地域や国ごとの対応策動向を注視しつつ、低 GWP 冷媒を使用したルームエアコンのタイムリーな実用化を検討していく予定 ・HC 冷媒を適用した RAC は、分配器の開発、暖房時の冷媒量削減等の技術開発、リスクアセスメントの精緻化、法規・施工面等の課題をクリアした後の実用化を目指す。 ・CO2 冷媒空調システムは、暖房時の COP 向上、可変機構の開発を経て、ヒートポンプ給湯器と冷凍サイクルを共用した住設機器として 2020 年代前半に量産化を目標とする。</p>
研究開発項目	対象技術等	成果の実用化・事業化見通し					
<p>① 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発</p>	<p>・低 GWP 冷媒開発 ・低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンを開発</p>	<p>・空調機器を適用した低 GWP 冷媒の事業化は、国際合意（キガリ合意）で要求される 2020 年代前半を予定する。 ・技術的課題の解決に取り組み、HFC 規制に関する各地域や国ごとの対応策動向を注視しつつ、低 GWP 冷媒を使用したルームエアコンのタイムリーな実用化を検討していく予定 ・HC 冷媒を適用した RAC は、分配器の開発、暖房時の冷媒量削減等の技術開発、リスクアセスメントの精緻化、法規・施工面等の課題をクリアした後の実用化を目指す。 ・CO2 冷媒空調システムは、暖房時の COP 向上、可変機構の開発を経て、ヒートポンプ給湯器と冷凍サイクルを共用した住設機器として 2020 年代前半に量産化を目標とする。</p>					

	<p>② 低温室効果 冷媒の性能、安全性 評価</p>	<p>・冷媒の物性、性能、 安全性評価</p>	<p>・本研究開発で得られた熱力学的・輸送的性質や伝熱特性は、空調機器開発の基盤を提供するものであり、これらの基盤技術は、今後、民間企業が、HF0-1123などを含む混合冷媒を用いるシステム開発を行う上で、極めて有益な情報を提供するものである。 ・安全性評価に関する成果は、強燃性の炭化水素のリスク評価、ならびに炭化水素を含む低 GWP 冷媒の実用化に大きく貢献する。</p>
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 28 年 3 月、制定</p>	
	<p>変更履歴</p>	<p>平成 28 年 10 月、研究開発の実施期間の変更による改定 平成 29 年 1 月、研究開発の実施期間の変更による改定</p>	

プロジェクト用語集

APF	Annual Performance Factor(通年エネルギー消費効率):1年を通して、ある一定条件のもとにエアコンを使用した時の消費電力1kWhあたりの冷房・暖房能力を表したもの。
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers(アメリカ暖房冷凍空調学会):暖房、換気、空調、冷凍など(空気調和、HVAC&R)に関わるあらゆる個人や団体のための国際的学会。冷媒の安全性に係る規格(毒性、燃焼性など)も作成している。ASHRAE34は冷媒に関する規格。
CFC(CFCs)	CFC(クロロフルオロカーボン):フロン的一种。冷媒、発泡剤、洗浄剤等として使用される。オゾン層破壊物質であり、モントリオール議定書の規制対象物質。また、強力な温室効果ガスでもある。先進国では1995年末に生産・消費が全廃されており、開発途上国でも2009年末に生産・消費が全廃された。
COP	Coefficient Of Performance(成績係数(動作係数)):冷暖房器具のエネルギー消費効率をチェックするための係数のこと。消費電力1kWに対しての機器の冷却能力、暖房(加熱)能力を示す。
COP3(4,・・・)	Conference of the Parties(締約国会議):気候変動枠組条約に基づき、温室効果ガスの排出量を削減するために開催されている会議。1997年12月に京都で開催されたものがCOP3(第3回)であり、COP3で採択された京都議定書では、地球温暖化問題に対して21世紀以降、人類が中長期的にどのように取り組んでいくのかという道筋の第一歩が定められ、この仕組みを京都メカニズムと呼んでいる。
Fガス	欧州におけるフルオロカーボン類の略称。2007年7月に発効したFガス規制では、カーエアコンにおいて2011年以降の新車にGWP150以下の冷媒を使用することが義務づけられている。
GWP	Global Warming Potential(地球温暖化係数):二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素などの各種の温室効果ガス毎に定められる、温室効果の程度を示す値。二酸化炭素のGWPを1とする。別表参照。
HCFC(HCFCs)	HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン):フロン的一种。オゾン層破壊物質であり、モントリオール議定書の規制対象物質。オゾン層破壊係数はCFCよりも小さい。また、強力な温室効果ガスでもある。先進国では2020年までに、また開発途上国でも2030年までに、生産・消費が全廃される予定。
HFC(HFCs)	HFC(ハイドロフルオロカーボン):CFCやHCFCの代替物質として使用が増えている。オゾン層破壊効果はないものの強力な温室効果ガスであり、京都議定書において排出削減の対象となっている。
HFO(-1234yf,-1234ze)	HFO(ハイドロ・フルオロ・オレフィン):フロン的一种。水とフッ素または二フッ化酸素が反応して生成する極めて不安定な化合物で、すぐにフッ化水素と酸素に分解する。オゾン層を破壊せず、GWPも4(zeは6)と極めて低い。
IEC	International Electrotechnical Commission(国際電気標準会議):電気工学、電子工学、および関連した技術を扱う国際的な標準化団体。その標準の一部は国際標準化機構(ISO)と共同で開発されている。IEC60335-2-40はエアコンに関する基準。
ISO	International Organization for Standardization(国際標準化機構):電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための民間の非政府組織。ISO5149は冷凍空調機器に関する基準。
MIE	Minumum Ignition Energy(最小着火エネルギー):可燃性ガス・空気混合気中でガス濃度とエネルギーを変化させて電気火花を飛ばした場合、それらの混合気が着火する最小のエネルギーのこと。
ODP	Ozon Depletion Potential(オゾン破壊係数):オゾン層を破壊する力を定数値化した値。R11(CFC)を1.0として、同一質量の他の物質が放出されたときのオゾンへの影響(破壊すると考えられる能力)を相対値で示すもの。別表参照。
PAC	Packaged Air Conditioner(パッケージエアコン):空調管理に必要な機能がひとつと組み込まれているエアコン。中規模施設に多く利用されている。
R~(ex.R410A)	フロンに付けられている物質番号(冷媒番号)。別表参照。
RAC	Room Air Conditioner:家庭用室内エアコンの略称。
REFPROP	冷媒物性データベースの標準版として現在流通しているソフトウェア。
オゾン層	地球の大気中でオゾンの濃度が高い部分のこと。オゾンは、地上から約10~50kmほどの成層圏に多く存在し、特に地上20~25kmの高さで最も密度が高くなる。太陽からの有害な紫外線の多くを吸収し、地上の生態系を保護する役割を果たしている。
キガリ改正	2016年10月にルワンダの首都キガリにおいて、モントリオール議定書第28回締約国会合(MOP28)が開催され、ハイドロフルオロカーボン(HFC)の生産及び消費量の段階的削減義務等を定める議定書の改正(キガリ改正)が採択された。本改正では、HFCの生産及び消費量の段階的削減義務として、先進国においては、2011-2013年の平均数量等を基準値として、2019年から削減を開始し、2036年までに85%分を段階的に削減することとなった。
京都議定書	1997年に京都で開催されたCOP3において採択された議定書。2005年2月に発効した。二酸化炭素(CO2)など6種類の温室効果ガスを先進国全体で削減することを義務づけるとともに、排出量取引などの京都メカニズムや森林吸収源の算定などを盛り込んでいる。
京都議定書目標達成計画	地球温暖化対策の推進に関する法律(地球温暖化対策推進法)に基づき、京都議定書発効の際、温室効果ガス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として作成された計画のこと。
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、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスに関する自主的な活動を促進し、公共の安全を確保することを目的とする法律。

プロジェクト用語集

自然冷媒	人工的に化学合成されたものではなく、もともと自然界に存在し生成から消滅までの循環サイクルがすでに確立されている物質を冷媒として使用する場合、このような冷媒を自然冷媒と呼ぶ。アンモニア、プロパン、ブタンなどの炭化水素、炭酸ガス、空気、水、等がある。別表参照。
消炎距離	混合気中を火炎が伝播するとき、火炎が固体壁へ近づくと、壁に熱を奪われて、ある距離以下にまでは近づけず、そこで消炎が起こる。壁近傍の、この火炎伝播が阻害される領域の厚みのこと。通常、平板を向かい合わせにした配置での間隔で議論する。
代替フロン	特定フロンの代替として産業利用されている合成化合物のこと。HCFC類やHFC類等が該当し、オゾン層破壊効果はないが温室効果はある。
代替フロン等4ガス	HFC、PFC、SF ₆ 、NF ₃ の4種類のフッ素系化合物の総称で、オゾン層を破壊しないが、CO ₂ の数百～数万倍と極めて強い温室効果を有する物質。京都議定書や地球温暖化対策計画で規制対象となっている。
地球温暖化対策計画	日本政府はCOP21に先立ち、国際的にも遜色ない野心的な、「2030年度までに2013年度比マイナス26.0%（2005年度比マイナス25.4%）」を水準とする約束草案を、国連気候変動枠組条約事務局に提出し、これを踏まえた地球温暖化対策を総合的かつ計画的に推進するための計画である「地球温暖化対策計画」が2016年5月13日に閣議決定された。GDP当たり排出量で先進国最高水準にある我が国が、これから更に4割程度の改善(0.16kg-CO ₂ /米ドル)を目指す内容。
直膨型空調機	利用する場所で冷媒を膨張させ熱を奪う「直接膨張方式」を用いた空調機のこと。
低GWP冷媒(低温室効果冷媒)	GWPが小さく、温室効果の少ない冷媒。HFOや自然冷媒(CO ₂ 、アンモニア、炭化水素、水)など。
特定フロン	特にオゾン層破壊効果が大きいのCFC(クロロフルオロカーボン)等5種類のフロンおよび3種類のハロンのこと。
燃焼限界	空気と可燃性ガスの混合気において、燃焼できる混合気に含まれる可燃性ガスの濃度の限界のこと。可燃性ガスの濃度の薄い方の燃焼限界を下限界、濃い方の燃焼限界を上限界という。
ノンフロン冷媒	オゾン層破壊の恐れが無く温室効果の低い冷媒の総称として使用。
パリ協定	2015年11月に、気候変動枠組条約の加盟国らによる第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)がパリで開催され、主要排出国を含む全ての国が参加し、パリ協定が合意された。世界共通の長期目標として平均気温の上昇を2℃より十分下方に抑えること(2℃目標)の設定や、各国が5年ごとに削減目標を提出・更新し、また、5年ごとに世界全体の実施状況を検討すること等が規定された。
微燃性冷媒	燃焼性の弱い冷媒のこと。我が国の高圧ガス保安法や冷凍保安規則には不燃と可燃の分類しなく、燃焼性の弱い冷媒の取り扱いについての考慮が少ない。ASHRAE34規格では2L(燃焼熱量<19MJ/kg、燃焼速度<10cm/s)に位置付けられており、アンモニア、R32、R1234yf、R1234ze(E)等が含まれる。
フロン	炭化水素の酸素を塩素やフッ素で置換した化合物(CFC、HCFC、HFC)の総称で、このうち酸素を含まないものをクロロフルオロカーボン(Chlorofluorocarbons: CFCs)と呼んでいる。化学的に安定で反応性が低く、ほとんど毒性を有しない。また揮発性や親油性などの特性を持っており、冷蔵庫などの冷媒、半導体などの精密な部品の洗浄剤、ウレタンフォームなどの発泡剤、スプレーの噴射剤などとして幅広く使用されてきた。
モントリオール議定書	正式名称は「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」。1987年に採択、1989年発効。日本は1988年9月30日に加入。事務局はナイロビのUNEPに置かれている。ウィーン条約に基づき、オゾン層を破壊するおそれのある物質を特定し、該当する物質の生産、消費及び貿易を規制することをねらいとしている。具体的には、成層圏オゾン層破壊の原因とされるフロン等の環境中の排出抑制のための削減スケジュールなどの規制措置を定めている。議定書の発効により、特定フロン、ハロン、四塩化炭素などが1996年以降全廃となり、その他の代替フロン、HCFCなども順次、全廃となった。
冷媒番号	ISO817(国際標準化機構)で定められた、冷媒の種類を表すRで始まる番号。冷媒番号はRの次に3ないし4桁の数字と英添え字で表される。

代表的な冷媒

●フルオロカーボン類*1

種類	冷媒番号	略称	化学式(組成)	地球温暖化係数 GWP*2	オゾン破壊係数 ODP	安全性 分類*3
CFC	R12	CFC12	CCl_2F_2	10900	1	A1
HCFC	R22	HCFC22	CHClF_2	1810	0.055	A1
HFC	R32	HFC32	CH_2F_2	675	0	A2L
	R125	HFC125	CHF_2CF_3	3500	0	A1
	R134a	HFC134a	CH_2FCF_3	1430	0	A1
	R404A	—	(HFC125/143a/134a)	3920	0	A1
	R407C	—	(HFC32/125/134a)	1770	0	A1
	R410A	—	(HFC32/125)	2090	0	A1
	R1234yf	HFO1234yf	$\text{CH}_2=\text{CF}_2$	4	0	A2L
	R1234ze(E)	HFO1234ze(E)	$\text{CHF}=\text{CHF}_2$	6	0	A2L

*1:「特定フロン(CFC/HCFC)およびフルオロカーボン類の環境・安全データ一覧表(日本フルオロカーボン協会)」より

*2:IPCC4次評価報告(2007)100年値

*3:ASHRAE 34 冷媒安全性分類規格; A低毒性、B毒性、1不燃性、2L低微燃性、2微燃性、3強燃性

●自然冷媒

種類	冷媒番号	化学式
プロパン	R290	C_3H_8
プロピレン	R1270	C_3H_6
ブタン	R600	C_4H_{10}
イソブタン	R600a	$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$
二酸化炭素	R744	CO_2
アンモニア	R717	NH_3
水	R718	H_2O

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

1.1 事業の背景

事業背景となるオゾン層保護対策と地球温暖化対策の動向を整理して示す。

1.1.1 オゾン層保護対策の動向

フロン類の中にはオゾン層の破壊を起こすもの（CFC、HCFC等）があるが、これらの物質は1987年に採択されたモントリオール議定書によって生産・消費が段階的に廃止されることとなり、先進国においては2020年までに実質全廃の見通しである。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（MOP19）にて、途上国においても全廃時期の10年前倒し（2040年→2030年）が決議された（図1.1.1-1）。この結果、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きたCFC、HCFCは、オゾン層を破壊しないHFC、PFC（パーフルオロカーボン）、SF₆（六フッ化硫黄）への転換が進んでいる。我が国においては、1988年に「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）を制定・施行し、ウィーン条約及びモントリオール議定書に加入した。同法により、既にCFCは1996年に全廃、HCFCは基準量の15%以下に消費量を削減しており、2020年までに全廃することとしている。また、同法に基づき、オゾン層の破壊の状況や大気中のオゾン層破壊物質の濃度変化の状況を監視し、「オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」として毎年とりまとめ、公表している。

こうしたフロン等の生産・消費規制により、オゾン層の破壊は食い止められつつあるが、冷凍・冷蔵・空調機器の冷媒等として既に世の中に出回っているフロンの回収・破壊を確実にを行うことにより、オゾン層の回復を一層促進することができる。

このため、わが国では、2001年に「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」（フロン回収・破壊法）を制定した。同法では、CFCとHCFCのみならず、オゾン層を破壊しないものの強い温室効果を持つHFCを対象として、業務用の冷凍・冷蔵・空調機器からの冷媒フロン類（CFC、HCFC、HFC）の回収・破壊を義務づけている。

このフロン類回収を一層徹底するために、行程管理制度の創設、整備時回収の適正化、建物解体時の確認義務等を主な内容とする改正フロン回収・破壊法が、2007年10月から施行された。さらに2015年には、フロンの製造から廃棄に至るまでのライフサイクル全体にわたって包括的な対策をとることを目的として同法が全面的に改正され、フロン排出抑制法として施行された。また、家庭用エアコン・冷蔵庫については家電リサイクル法、カーエアコンについては自動車リサイクル法により、フロン類の回収が行われている。

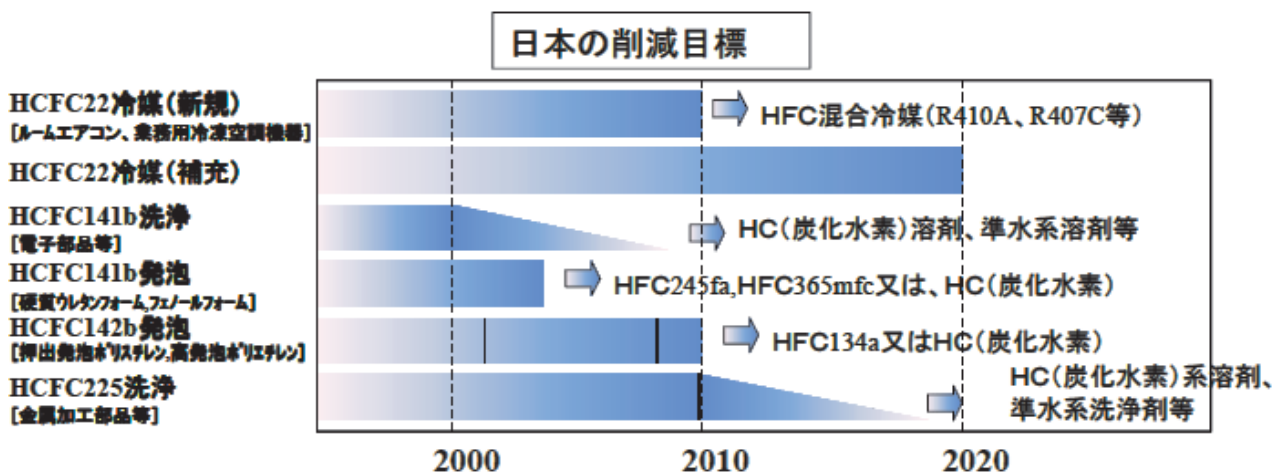
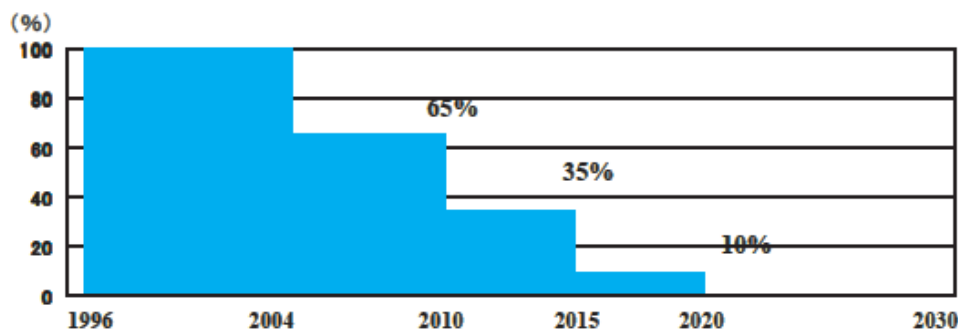


図 1.1.1-1 モントリオール議定書で定められた HCFC 削減スケジュール

1.1.2 温暖化対策の動向

上述のとおりフロン類は、その優れた特性から、冷媒(冷凍・冷蔵庫、空調機器、自動車エアコン等)として利用されて来たが、CO₂の数百倍から一万倍超という極めて強い温室効果を持つ。例えば、家庭用エアコンにはCO₂に換算して数千kg、スーパーなどに設置されている冷蔵ショーケースには数万kgに相当するフロン類が冷媒として充填されており、機器の廃棄時や整備時に冷媒フロン類を回収・破壊することが必要である。一方で、冷媒フロン類は、機器の廃棄時だけでなく使用中にも漏れなどによって相当程度排出されることが判明している。

CFC及びHCFCはモントリオール議定書の規制によりいずれ排出が少なくなってくるが、HFCは、これらの代替物質として使われ始めたものであり、今後、排出量の増大が予想されているので、その排出抑制等を推進することがますます重要である。このため、地球温暖化防止のための京都議定書やパリ協定では、HFC、PFC、SF₆が排出削減対象(代替フロン等3ガスと呼ばれる)になっている(2013年からはNF₃(三フッ化窒素)を加え、代替フロン等4ガスとされている)。(表1.1.2-1)さらに、我が国の京都議定書目標達成計画(2008年3月全部改定)においても排出削減の対策が定められている。

具体的には、法律に基づく回収・破壊の徹底、産業界の計画的取組の推進に加え、代替物質の開発等及び代替製品の利用の促進が挙げられる。例えば、フロンを用いないノンフロン製品の開発・普及が挙げられるが、家庭用の冷蔵庫ではイソブタン、業務用の冷凍・冷蔵機器の一部ではアンモニアや二酸化炭素等が代替冷媒として利用されるとともに、ダストブロー(ほこり飛ばしスプレー)、断熱材等についてもノンフロン製品が実用化されているものがある。これらについて、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」(グリーン購入法)に基づく国等の積極的な調達、業務分野における導入補助、普及啓発等により導入を促進している。

表 1.1.2-1 特定フロン及び代替フロン等4ガス

総称	特定フロン		代替フロン等4ガス			
			代替フロン等3ガス			—
種類	CFC (クロロフルオロカーボン)	HCFC (ハイドロクロロフルオロカーボン)	HFC (代替フロン) (ハイドロフルオロカーボン)	PFC (パーフルオロカーボン)	SF₆ (六フッ化硫黄)	NF₃ (三フッ化窒素)
国際規制	モントリオール議定書 対象物質(生産・輸入規制) 京都議定書対象外		京都議定書対象物質・パリ協定 (NF ₃ は2013年より)			
オゾン層破壊効果	大きい	比較的 小さい	まったくオゾン層を破壊しない			
温室効果 (GWP)	極めて 大きい (約10,000)	大きい (数百～約2,000)	大きい (数百～約4,000)※	極めて 大きい (約6,000～ 9,000)	極めて 大きい (約23,900)	極めて 大きい (約17,200)
主な用途	・ 冷凍空調機器の冷媒 ・洗剤、溶剤等 (95年以降全廃済み)	・ 冷凍空調機器の冷媒 ・洗剤、溶剤等 (2020年全廃予定)	・ 冷凍空調機器の冷媒 ・断熱材の発泡剤等	・半導体、液晶製造 ・洗剤、溶剤	・電気絶縁機器 ・半導体、液晶製造 ・マグネシウム製造	・半導体、液晶製造等

※1 GWP : 地球温暖化係数・・・CO₂の何倍の温室効果を有するかを表す値

※2 主な冷媒種としての値

1.2 事業の目的と位置付け

上述の通り、京都議定書の批准やパリ協定への参加により、我が国においても地球温暖化対策の観点から温室効果ガスの排出量削減が必要とされており、温暖化等に配慮した環境技術開発が不可欠な状況にある。また、国際的な地球温暖化対策加速に対する日本の国際貢献の重要性から、革新的な新技術のための国家レベルでの基礎研究育成・技術的困難の克服・新システムの確認・評価や、早期市場投入が可能な技術の確立ならびに旧来システムの改良に対する技術面・評価面での支援を急ぐことが必要である。これらを受け、代替フロン物質を削減する技術開発を総合的、効率的かつ加速的に推進し、その導入・普及を促進することにより、環境・エネルギー・経済のバランスのとれた持続可能な社会の構築を図ることを目的として、本研究開発では、オゾン層の破壊やその他の環境影響が少なく温室効果も小さい冷媒物質を用いながらエネルギー効率が高い中小型の空調システム技術の開発を行い、省エネルギー性やライフサイクル等の観点から総合的な環境負荷の低減を目指し、産業競争力を持ち、かつ長期的に見ても世界トップクラスの温暖化防止技術の開発を推進するための要素技術開発を実施する。

2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDOが関与することの意義

2.1.1 社会的な背景

HFC(代替フロン)は大気中に長期間に亘って安定に存在し、かつ極めて大きな温室効果を発揮する化合物である点が、地球温暖化防止の観点から新たな課題となっている。

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の取組を開始した。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。さらに2015年11月には、気候変動枠組条約の加盟国らによる第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）がパリで開催され、主要排出国を含む全ての国が参加し、パリ協定が合意された。（図2.1.1-1）

京都議定書やパリ協定における排出規制対象温室効果ガスのうち、フロン対策分野では、HFC、PFC、SF₆、NF₃（代替フロン等4ガス）が対象である。パリ協定における我が国の削減目標では、温室効果ガスの総排出量を2030年度に2013年度比-26.0%の水準にすることを目標としている。そのうち、代替フロン等4ガスについては、2013年比-25.1%の水準にすることを目標とし、これは総排出量比で-0.7%に相当する（表2.1.1-1）。

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。その後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。さらに、「フロン回収・破壊法」が全面的に改定され、2015年4月に「フロン排出抑制法」が施行されている。これはフロン類の排出量削減を目的とし、冷凍空調関連では5区分の製品を指定製品として環境影響度の目標値と目標年度が決定されている。このうち目標年度の最も早いものは、家庭用エアコンで、2018年度に目標年度、目標値が定められている。また、この法律においては、我が国におけるフロン対策に関する研究開発の推進を謳っている*。

※「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」（フロン排出抑制法）抜粋：

第九十八条 国は、フロン類代替物質の研究開発その他のフロン類の使用の合理化に関する技術の研究開発、特定製品に使用されるフロン類の管理の適正化に関する技術の研究開発その他フロン類に係る環境の保全上の支障の防止に関する研究開発の推進及びその成果の普及のために必要な措置を講ずるものとする。

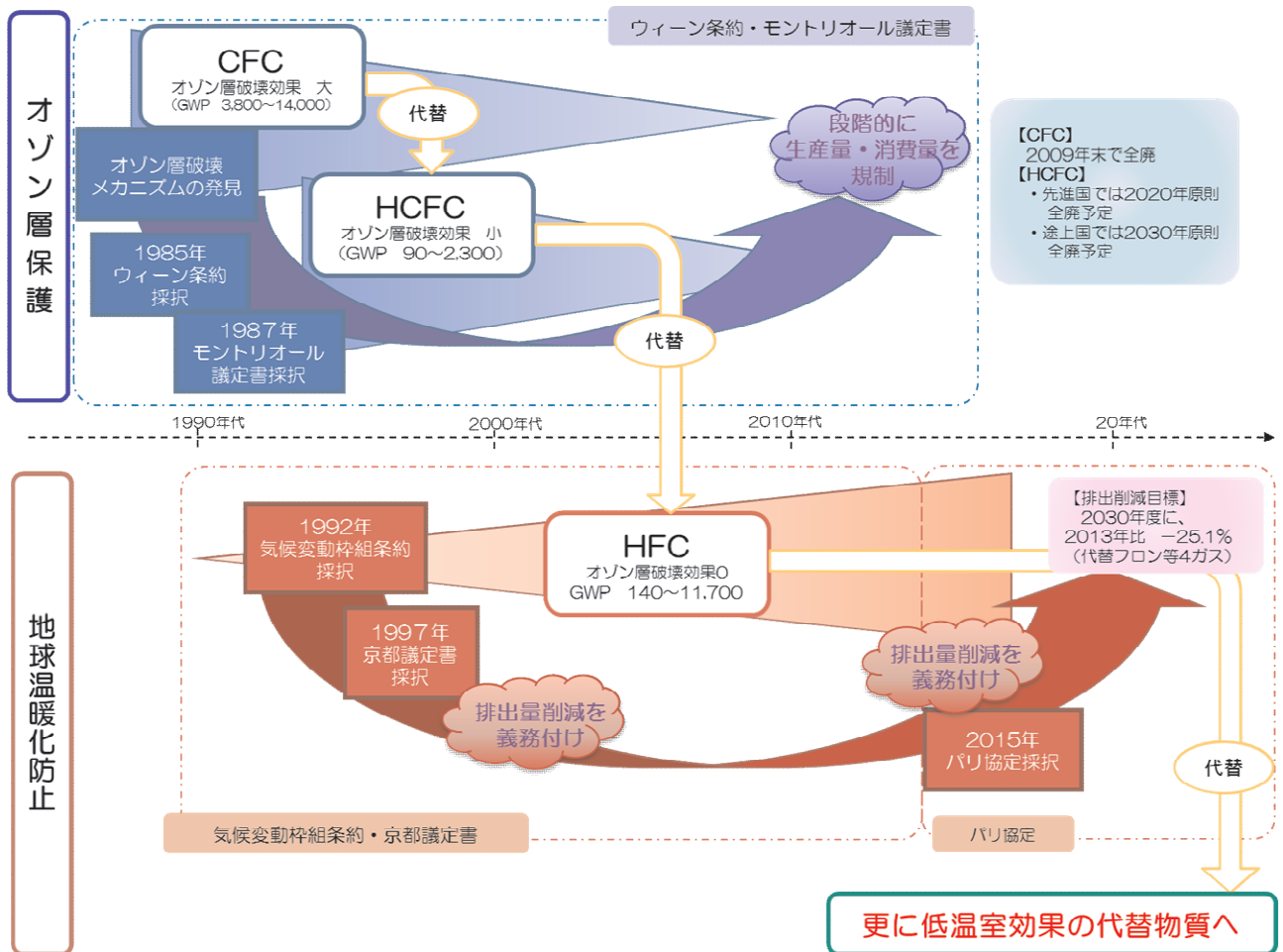


図 2.1.1-1 フロン類を巡る規制と対策の流れ

表 2.1.1-1 パリ協定における我が国の温室効果ガス削減目標

単位:百万 t-CO₂

	2013年	2030年	2013年総排出量比(%)
エネルギー起源 CO ₂	1235	927	▲21.9
非エネルギー起源 CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O	134	124	▲0.8
代替フロン等4ガス HFC、PFC、SF ₆ 、NF ₃	39	29	▲0.7
森林吸収等	—	(▲37)	▲2.6
温室効果ガス 排出量合計	1408	1042	▲26.0

※上記表は四捨五入の都合上、各欄の合計は一致しないことがある。

2.1.2 低 GWP 冷媒機器開発の必要性

今後エアコンや冷蔵・冷凍ショーケース等の冷凍空調分野でオゾン層破壊フロン（CFC、HCFC）から代替フロン（HFC）への冷媒転換が進行する（図 2.1.2-1）。これに伴い、代替フロン等 4 ガスの排出量が急増する見込みであり、さらにこのうち HFC の排出量の大半は冷凍空調分野（2008 年：約 13 百万 t-CO₂→2020 年：約 40 百万 t-CO₂）に起因することが明らかになっている（図 2.1.2-2）。この根本的対策としては、低温室効果冷媒への転換を推進し、排出源となる市中の代替フロン冷媒自体を減らすことが極めて有効である。空調機器は一旦市場に出荷されれば十数年にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすため、一刻も早く代替技術を開発し、市場投入を図ることが不可欠である。

前述の通り、代替フロン等 4 ガスのうち HFC 等代替フロンの使用量は増加に転じる傾向を示し、特に冷凍空調機器に係る事項において顕著である。このことは冷凍空調機器の冷媒の場合、使用中・廃棄時の漏れを完全にゼロにすることが極めて困難であることに起因する。それゆえこの分野での対策が急務であるとして、漏洩時における地球温暖化影響が極めて少ない低 GWP 冷媒の機器の開発が社会的に求められている。

さらに、近年、国際的な規制にも変化の動きがある。HFC はオゾン層を破壊せず、モントリオール議定書の規制対象外であるが、オゾン層破壊物質である CFC や HCFC の生産・消費の禁止により、今後、途上国を中心に HFC への転換が急速に進むことを踏まえ、2009 年に、HFC の生産・消費規制を導入すべき旨の議定書改正提案が北米 3 カ国から提出された（図 2.1.2-3）。これに対し、2012 年 7 月には日本も賛成を表明している。また欧州では、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。中でも、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、新規物質開発の必要性は世界的な広がりを見せている。

一方、近年、世界的に GWP が低いがわずかに燃焼性のある冷媒（微燃性冷媒）に対する安全評価の考え方が変化してきたことや、高圧・超臨界状態での CO₂ 冷媒を用いる新たな冷媒圧縮機技術の登場等を背景として、空調分野での冷媒転換の可能性が近年急速に高まってきている。地球温暖化への影響が小さい冷媒やそれを使用した空調機器について、新規開発とともに、従来と同様安全に使用可能であることの評価の必要性も増している。

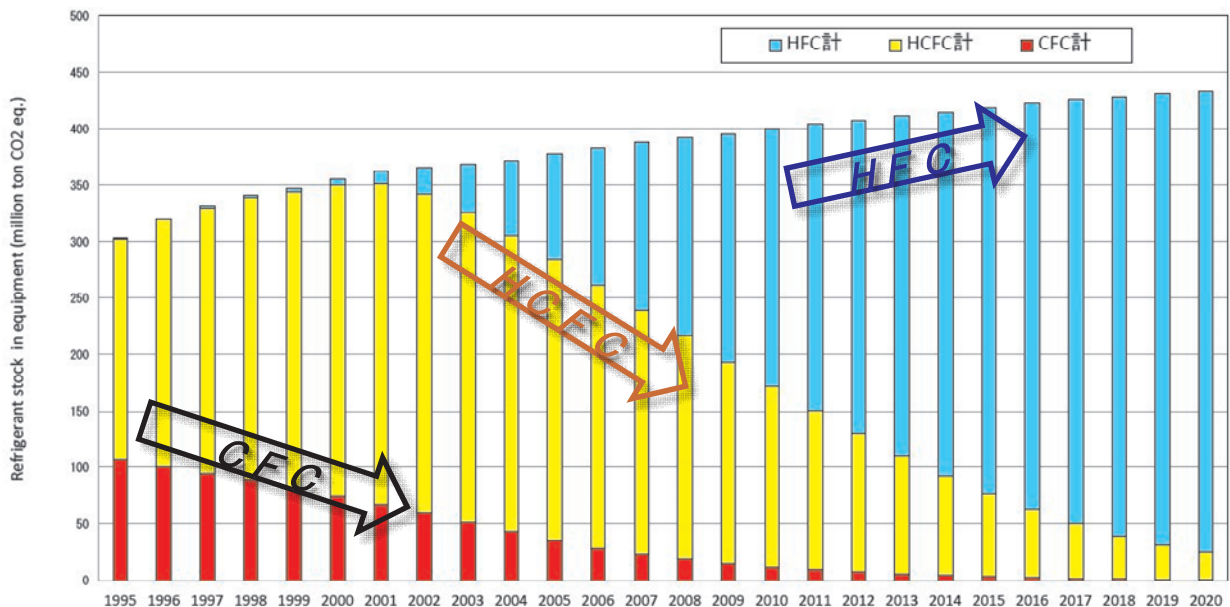


図 2.1.2-1 我が国における冷凍空調機器における冷媒の市中ストック推移の BAU 推計 (CO₂ 換算)

〔出典：産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会第 1 回冷媒対策 WG 資料（2010/6）に基づき NEDO 作成〕

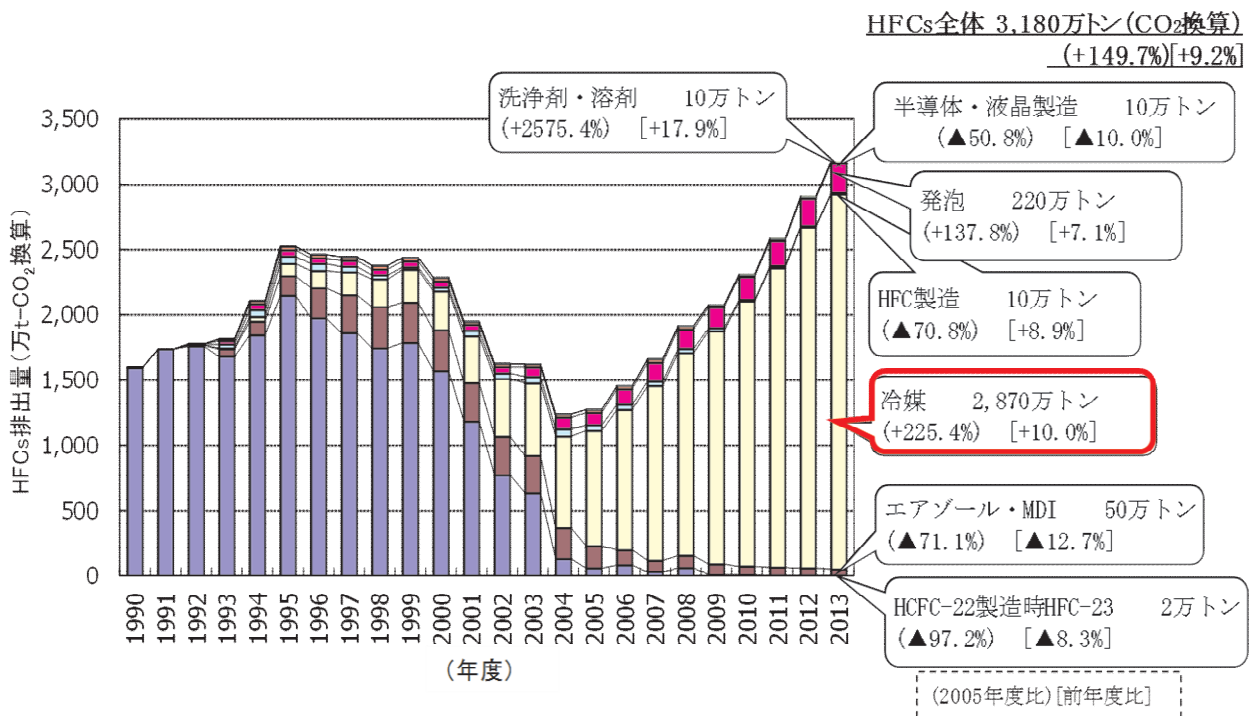


図 2. 1. 2-2 HFC の排出量の推移 (CO₂ 換算)

[出典：実績は政府発表値。BAU 推計値は経済産業省試算値]

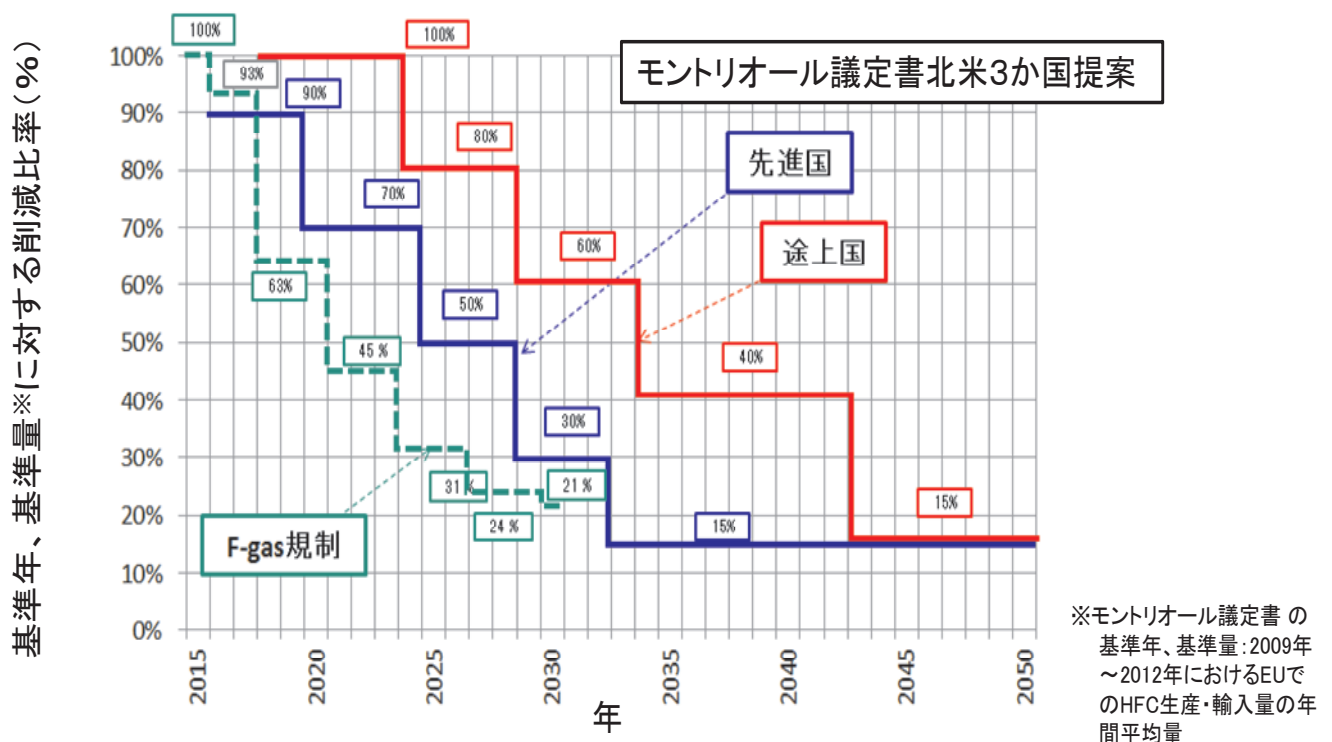


図 2. 1. 2-3 モンリオール議定書 (北米 3 か国提案)、F-gas 規制 (EU) の温室効果ガス削減スケジュール

[出典：NEDO 作成]

2.1.3 分野別の対応状況

こうした状況の下、本事業における各研究開発テーマ別でのフロン類の転換への対応について簡単に述べる。

2.1.3.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発

2.1.3.1.1 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発【旭硝子株式会社】

冷凍空調機器は、一旦市場に出荷されれば長期にわたる温暖化ガス排出源となり得るため、冷媒本体の低 GWP 化、及び空調機器使用時の省エネ化を実現することが重要である。本研究開発では、1 台当たりの冷媒充填量が少ないものの市中台数がきわめて多く、潜在的な温暖化影響が大きい中小型空調機器を対象として、新たな低温室効果冷媒を開発する。

2.1.3.1.2 低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発【パナソニック株式会社】

モントリオール議定書により、家庭用のルームエアコンに使用されていた冷媒の R22 (HCFC) はオゾン層破壊物質として規制対象となったため、国内では 1998 年よりオゾン層を破壊しない R410A (HFC) に転換された。しかしながら、HFC はオゾン層は破壊しないが温室効果が大きいことから、京都議定書において排出量削減の対象となり、近年においては規制の強化等で世界的に低温室効果冷媒への転換の動きが加速されつつある。

このような状況下で、国内においては 2012 年よりルームエアコンの冷媒は R410A から HFC の中では比較的温室効果が少ない R32 への転換が進んでいる (R410A の GWP (地球温暖化係数) = 2090 → R32 の GWP = 675)。一方で、世界的には 2016 年にモントリオール議定書へ HFC の規制を組み込むことが合意され、今後 R32 よりもさらに GWP が低い冷媒への転換が必要になると考えられる。しかしながら、現在のところ安全性を保ちつつ機器の形態、性能、コストを現状から大きく変更せずにさらに GWP を下げることができる冷媒は公表されていない。したがって、特に小型化、安全性が要求されるルームエアコンでは、低 GWP 冷媒を使用した高効率エアコンの研究開発が非常に重要なテーマとなっている。

2.1.3.1.3 自然冷媒を適用したルームエアコンの研究【三菱電機株式会社】

現在、空調機で使われている HFC 冷媒は、2015 年から始まった欧州での冷媒規制や、2016 年 11 月に決定したモントリオール議定書における全世界的な規制(キガリ改定)により、地球温暖化係数 (GWP) の大幅な削減を行う必要がある。

現在、国内の定置用中小型空調機の冷媒として使用されている HFC 冷媒は、R410A 冷媒 (GWP2090) から R32 (GWP675) 冷媒への転換がはかられており、10 年後には GWP200 以下等の更なる低 GWP 化が必要となっている。しかしながら、現在 HFC 冷媒等の開発の中では、実用化可能な GWP200 前後の冷媒は見つかっておらず、また、自動車用エアコン等で用いられている HFO 冷媒については圧力が低い事から配管での圧損が大きなネックとなっており直膨式エアコンにおいて単体で使用する事はかなり難しい状況にある。また、HFO-HFC の混合冷媒等も盛んに検討されているが、沸点の違いによる温度勾配の発生とこれに基づく性能低下や、燃焼性、毒性等に基づく安全性の問題等様々な面での評価で、実用化の目途が立っていると言えるような冷媒が存在しない。

また、HFC 冷媒の後継として自然冷媒も着目されているが、CO₂ 冷媒は圧力上昇による耐圧設計や空調用途における性能面での低下が大きく、空調用途での適用は難しいとされている。一方、可燃ガスである HC 系冷媒は、性能面で HFO 冷媒に比べて優位であるが、強燃性を有しており安全面の課題が大きい。したがってこの HC 冷媒を適用した定置用中小型空調機を実現させるためには、R32 冷媒と同等の性能を確保しながら、冷媒量の削減等を行いながら安全性を確保する事が重要である。

そこで、弊社では省冷媒化を中心とした安全性確保をはかりながら、高性能で R32 並みの性能確保が可能な HC 冷媒搭載冷専ルームエアコンの技術開発を行う。

2.1.3.1.4 高効率エジェクタを使用した CO2 冷媒空調システムの開発【株式会社デンソー】

地球温暖化への懸念から低 GWP 冷媒への転換意識が高まり、我が国においてはフロン排出抑制法によりフロン冷媒の指定製品への使用禁止、漏えい点検、廃棄時の回収等が義務付けられている。国際的な取り組みではモントリオール議定書の改正（キガリ改正）、パリ協定によりフロン冷媒の削減が求められている。前述のフロン排出抑制法では冷凍空調関連で 5 区分の製品が指定され、GWP の目標値とその達成目標年度が決定されている。これにより家庭用空調分野では、R32 冷媒（GWP＝675）への転換が示され、各社から製品化されている。しかしながら、R32 への転換はキガリ改正を踏まえた世界的なフロン冷媒の総量規制の目標からすると十分な転換と言えず、更なる低 GWP の冷媒への転換が求められている。本研究開発では自然冷媒である CO2（GWP＝1）を利用した空調システムを構築することを目的とする。

CO2 は冷媒の特性上、一般的に効率がフロン冷媒と比較して効率が劣ることが分かっている。R32 と比較した場合、冷房定格条件で 31%、暖房定格条件で 11%効率が劣り、年間の APF に換算すると 18%劣ると試算している。（図 2.1.3.1.4-1）この効率差を埋めるために、弊社の独自技術である膨張損失エネルギーを回収できる流体ポンプであるエジェクタの採用と空調条件に合わせた高効率化や低圧容器タイプが特徴のスクロールコンプレッサの効率向上、サイクル構成の最適化を図る。これにより R32 機器と同等の効率を達成することを目標とする。

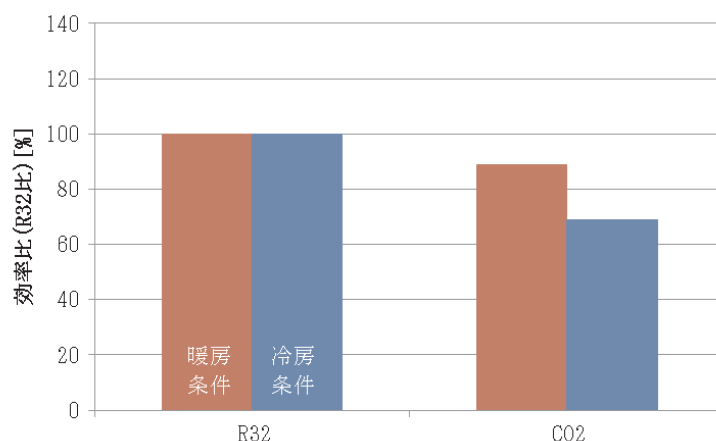


図 2.1.3.1.4-1 空調機利用における R32 と CO2 の効率比較

2.1.3.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価

2.1.3.2.1 事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント【学校法人東京理科大学】

近年の世界的な低温室効果冷媒への転換意識の高まりにより、今後、モントリオール議定書キガリ改正をはじめとする規制の改正や新しい提案などによって、現在冷凍空調機器で使用されている冷媒が使用できなくなる可能性がある。これはフロン排出抑制法で定められた目標 GWP を達成する冷媒であっても同様である。したがって、今後の技術開発においては、より一層低温室効果な冷媒及び冷媒適用機器の開発が必須である。

冷凍空調機器の中でも、家庭用空調機器は市中冷媒ストック量がきわめて多く、また大気中への漏えい源としても影響が大きいと見られるため、家庭用空調機器の規模を視野に入れた中小型機器の低温室効果冷媒への転換を可能にする要素技術を開発し、これを実用化することが望まれている。現実的に家庭用空調機器冷媒として搭載可能でかつ低温室効果である冷媒は、現在のところ、R1234yf や R1234ze (E) などの冷媒を除けば、プロパン（R290）やイソブタン（R600a）などの強燃性自然冷媒

に限定される。これらは言うまでもなく可燃性であるため、ひとたび漏洩事故が発生すれば、火災・爆発に至り重篤な被害を生じる恐れが容易に想像される。したがって、①起こりうる漏洩シナリオを抽出し、②使用環境内で想定される着火源を抽出して、③着火・爆発事故に至るか否かの評価、④着火・爆発に至った場合の危害度、⑤着火確率ないし危害度の低減方策とその効果の検証、をひとくくりとしたリスク管理が、家庭用空調機器冷媒の低 GWP 化に必要不可欠である。このような実際の機器使用状況に応じた冷媒漏洩及び着火シナリオの設定、これに基づいた実験・数値解析等に基づいた着火・爆発可能性及びハザードの学術的評価、安全対策の立案と関連規制の整備・再点検といった研究開発プロセスは、産官学がそれぞれ連携することによってはじめて有機的につながる。そこで NEDO が本事業を主導することにより、産官学のコラボレーションが推進され、本研究開発事業の成果向上が期待される。

2.1.3.2.2 中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価【国立大学法人九州大学】

近年の世界的な低温室効果冷媒への転換意識の高まりにより、オゾン層保護に関するモントリオール議定書とその改定になるキガリ改正、また地球温暖化防止につながる京都議定書とその後の取り決めになるパリ協定において、国際協調的な地球環境問題解決の枠組みに積極的に貢献するため、2019 年 1 月の発効（見込み）時までには、キガリ改正の目標値を遵守することが必須となっている。キガリ改正において、冷凍空調機器で現在使用している代替フロン冷媒である HFC 冷媒の使用量に制限が設けられ、そのスケジュールは基準年として 2011 年から 2013 年を基準値として選んだ時に、2036 年までに 85%削減することになっている。今後、冷凍空調機器が大幅に減少することは想定されないとすれば、現在使用している冷媒より GWP 値が低い新規冷媒を開発し、新規冷媒を用いた新機種の開発が重要であり、これはまさに我が国の冷凍空調産業界においては、そのシェアを拡大する大きなチャンスとなる。

以上のような社会的背景のもと、本研究者のグループは、すでに H21 年度～H22 年度には NEDO 受託研究「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発／実用的な性能評価、安全基準の構築／エアコン用低 GWP 混合冷媒の物性と LCCP 評価」の一部として、世界に先駆けて「HF0-1234ze(E) 混合冷媒の熱物性とサイクル性能の研究」を実施し、HF0-1234ze(E)および HF0-1234ze(E)を含む混合冷媒を空調機器の作動媒体として導入する場合に必要な熱力学的・輸送的性質に関する情報、伝熱特性およびサイクル性能評価について一定の成果を得た。さらに、H23 年度～H27 年度は NEDO 研究プロジェクトの「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発／業務用空調機器に適した低 GWP 冷媒の探求とその安全性、物性および性能評価」の一部として、HF0 系冷媒候補物質の中で熱物性およびサイクル性能がほとんど明らかにされていない HF0-1234ze(Z)に注目し、その安全性を含む化学的性質、熱力学的・輸送性質、伝熱特性およびサイクル基本特性を世界に先駆けて明らかにした。加えて、HF0-1234yf, HF0-1234ze(E), HF0-1234ze(Z)を HFC 系冷媒や自然冷媒などと組み合わせることによって得られる、低 GWP 混合冷媒の中から、業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒として、3 成分系 HF0-1234ze(E)+HFC-32+CO₂ 混合冷媒を探求・選定し、熱力学的・輸送的性質の測定、伝熱特性の測定およびサイクル性能の評価を行い、世界に先駆けた成果を数多く発信してきた。本研究では、H23 年度～H27 年度の NEDO 研究プロジェクト「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」で新規に開発された、日本初の国産冷媒である HF0-1123 純冷媒および HF0-1123 + HFC-32 混合冷媒に注目して、新たに中小型空調機器用冷媒として使用するため、特に新規国産混合冷媒としての HF0-1123 + HFC-32 混合冷媒に関する熱物性、伝熱特性およびサイクルに関する基礎技術を構築することを目的とする。そして、得られた HF0-1123 純冷媒および HF0-1123 + HFC-32 混合冷媒の情報を国際標準化の知的基盤として、世界中で利用できるように、NIST の REFPROP での情報公開することを目標とする。

2.1.3.2.3 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価【国立大学法人東京大学】

本プロジェクトでは、現行の代替フロン冷媒に比べ大幅に温室効果を下げた低温室効果冷媒を用い、かつ高効率を両立する中小型空調機器を実現するため、冷媒の安全性評価、熱交換器などの要

素機器開発の両面から技術開発を行った。新冷媒は概ね可燃性を有していることから、冷媒に関するリスク評価に係る項目について、室内実験や数値計算の技術を駆使した評価研究を実施し、要素機器に関しては使用条件等に応じた性能評価を実施した。また、再委託先では、新冷媒のサイクル性能を評価する際にレトロフィット実験をする前にシミュレーションにより評価する手法の確立を目指すことを目的とした。

低 GWP 型空調機器用冷媒の性能評価と安全性評価をするために、東京大学は強燃性を有するプロパンを対象として、エアコンの室内への冷媒リーク時の安全性評価、ポンプダウン時のディーゼル爆発の安全評価を実施し、HF01123 冷媒を対象として不均化反応に係る安全性評価を実施するとともに、プロパン等の低 GWP 冷媒の熱交換器性能に関する研究を行った。

再委託先の早稲田大学は既存冷媒 R410A 用に開発されているヒートポンプシミュレータを低 GWP 型冷媒に適用するための修正を行い、その性能を検証した。

2.1.3.2.4 自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価【国立研究開発法人産業技術総合研究所】

これまで実際の居室と同程度の密閉度を持つ実寸大の模擬室を用いた漏洩時の冷媒拡散挙動計測や着火時の爆発影響評価は十分には行われておらず、許容充填量や適切な安全管理のためにはこれらの実験的な検証が必要である。

2.1.4 技術的な課題と NEDO の関与する意義

フロン対策分野の研究開発の取組は、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してきた（表 2.1.4-1）。

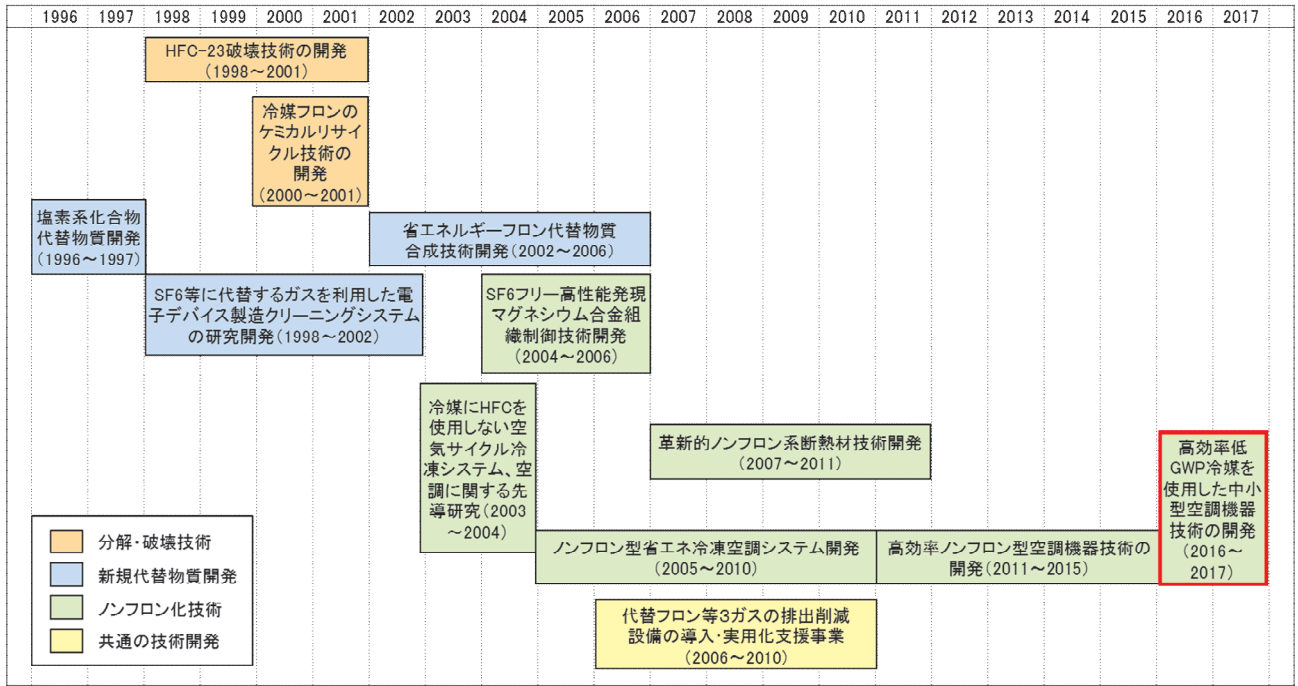
このうち、ノンフロン化技術においては、「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業（H17～H22 年度）により、冷却のみを行う業務用冷凍冷蔵や機器規模が小さい家庭用エアコン分野を対象として冷媒転換の技術開発を行い、従来機比 10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。また、「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」（H23～H27 年度）においては、業務用冷凍空調機器を対象として、従来フロン機以上の効率性（省エネ性）と冷媒の低 GWP 化を両立する技術の開発、さらに低温室効果冷媒の安全性評価を実施し、業務用冷凍空調機器についてノンフロン化を進めてきた。

一方、冷媒を使用する機器のうち、中間的温度帯の業務用・家庭用空調機器では、HFC と同程度の性能・安全性を持つ有力な低温室効果冷媒候補が見つかっていない（図 2.1.4-1）。また、空調機器は一旦市場に投入されれば、その後数十年以上にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすものであり、一刻も早く開発し市場に投入させることが不可欠である。さらに HFC の排出源として家庭用空調機器の占める割合が大きいことを踏まえ（図 2.1.4-2）、「高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発」（H28～H29 年度）においては、低温室効果冷媒として HF0 系冷媒および自然冷媒を対象とし、機器としては家庭用エアコン規模の中小型空調機器を対象とした冷媒開発・機器開発・安全性評価手法の検討を行っている。

こうした開発はいずれも基礎（実験室レベル）からの取り組みが必要であり技術的不確実性が高い。また、パリ協定やフロン排出抑制法は HFC 使用自体の禁止を要求しておらず、低温室効果冷媒への転換はコストアップ要因となる一方、メーカー・ユーザーともに直接の経済的利益がなく事業者が開発インセンティブが働きにくい。低温室効果冷媒の安全性評価、物性評価については、多くの企業、大学、研究機関の知見の結集によるオープンイノベーションが不可欠で、一企業では実施不可能な内容であり、国のプロジェクトとして実施する必要性は高い。さらに、冷媒の安全性評価や基準化手法の策定は、産業界全体の基盤となる技術であり、特定企業に偏りのない実施が必要であることから、国が主体となって実施することが必要である。

表 2.1.4-1 NEDO におけるフロン対策技術の変遷

P J タイトル	実施期間 政府予算	研究概要
HFC-23 破壊技術の開発	H10～H13 年度 総額 12 億円	HCFC-22 製造時に複製する HFC-23 を高温燃焼破壊し無害化、CaF ₂ として回収
冷媒フロンのケミカルリサイクル技術の開発 (3R 技術実用化補助金)	H12 年度 総額 2.2 億円	使用済みエアコンから回収した冷媒フロンを樹脂原料としてリサイクル
塩素系化合物代替物質開発	H8～H9 年度 総額 3 億円	半導体・液晶製造用や産業用洗浄剤への適用
SF ₆ 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プロセスシステムの研究 (半導体 CVD 洗浄プロジェクト)	H10～H14 年度 総額 25 億円	COF ₂ を用いた CVD チャンバークリーニングシステムの有効性を実証
省エネルギーフロン代替物質合成技術開発	H14～H18 年度 総額 10 億円	HFE 類、CF ₃ I、COF ₂ などの低 GWP 値・新規化合物の工業的合成技術開発
SF ₆ フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発プロジェクト	H16～H18 年度 総額 2.9 億円	高強度な Mg 合金ビレットを、SF ₆ を使用せずに連続鋳造
冷媒に HFC を使用しない空気サイクル冷凍システム、空調に関する先導研究	H15～H16 年度 総額 0.3 億円	業務用冷凍倉庫向け空気冷媒冷凍機の排熱をデシカント除湿機の再生に利用
ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発	H17～H22 年度 総額 42 億円	ノンフロン冷媒利用の安全かつ省エネな冷凍空調機器の基礎研究、並びに実用化開発
革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト	H19～H23 年度 総額 15 億円	現行フロン系断熱材同等以上のノンフロン断熱材製造技術開発
高効率ノンフロン型空調機器技術の開発	H23～H27 年度 総額 18.9 億円	低温室効果冷媒を用い、かつ高効率を両立する業務用空調機器を実現
高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発	H28～H29 年度 総額 3.8 億円	低温室効果冷媒を用い、かつ高効率を両立する中小型空調機器実現に必要な要素技術の開発
代替フロン等 3 ガスの排出抑制設備の導入・実用化支援事業	H18～H22 年度 総額 67 億円	温室効果ガス排出量削減に資する先進的かつ波及性の高い事業への助成



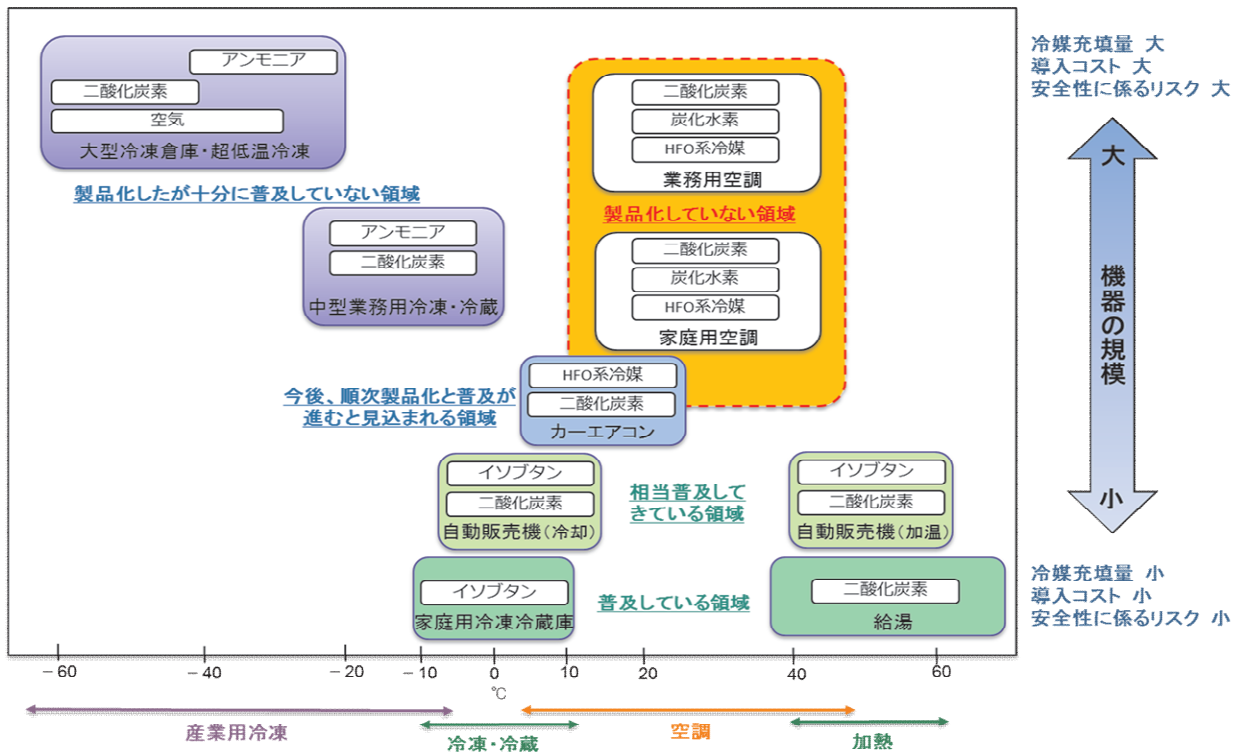


図 2.1.4.-1 フロン類使用製品における排出量比率 (2012年、HFCのみ)

[出典：産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会第3回冷媒対策ワーキンググループ資料(2010/6)に基づき NEDO作成]

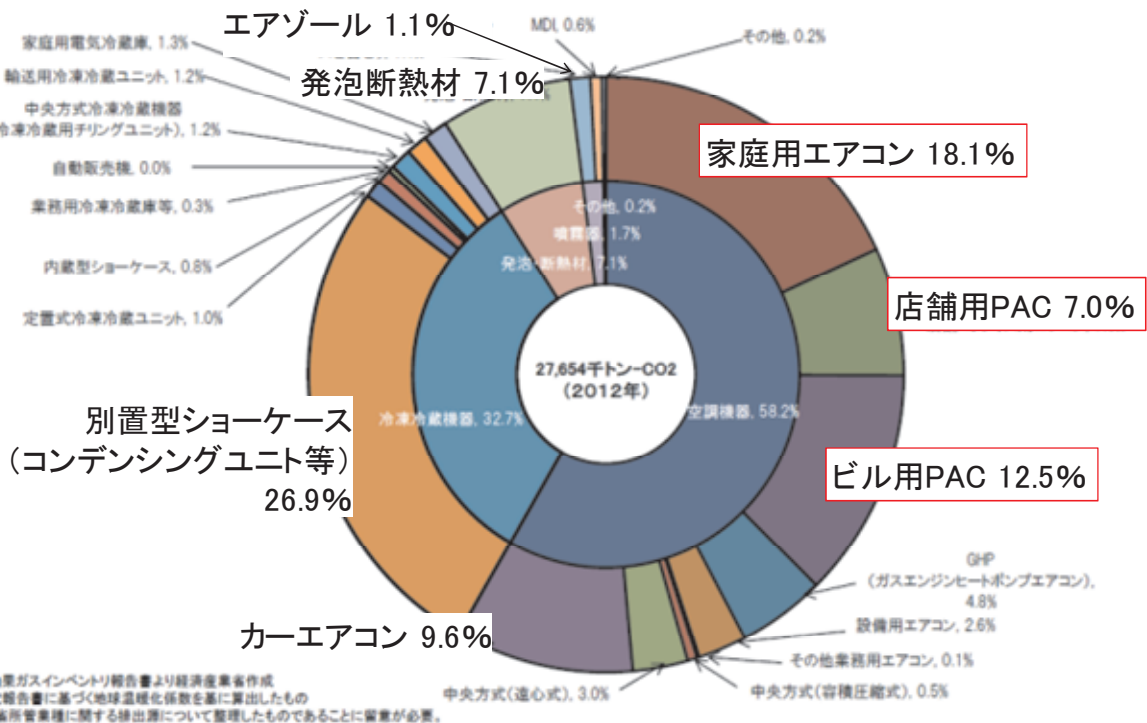


図 2.1.4.-2 フロン類使用製品における排出量比率 (2012年、HFCのみ)

[出典：フロン排出抑制法の概要～改正法に基づき必要な取組～ (経済産業省, 2015)]

2.2 実施の効果（費用対効果）

2.2.1 産業界への効果

空調機器については、現在使用されている R410A の代替候補として有力なものがない。最近では R1234yf、R1234ze(E)、R32 といった R410A より GWP が低いものについて、代替候補となる可能性が国際的に注目され始めているが、こうした低 GWP の冷媒の多くは、微燃性（ASHRAE；米国冷凍空調学会による燃焼等級 2L の分類）であり、使用にあたっては物性や安全性評価が課題となっている。このため、日本冷凍空調工業会でも微燃性冷媒のリスクについて検討を実施している。また、HC（プロパン）冷媒や CO₂ 冷媒の空調機器への使用についても検討されているが、それぞれ技術的あるいは安全性の面で検討すべき課題がある。

本プロジェクトにおいては、代替冷媒として可能性のある物資のこうした検討課題について取扱い、温室効果の低い冷媒を使用した空調機器の開発・実用化に資する。

2.2.2 費用対効果

本プロジェクトは2年間で総額 2.8 億円を投入し、機器開発、冷媒開発及び性能・安全性評価という各分野において研究開発を実施している。プロジェクトリーダー（PL）による適時指導及び各年度末の技術委員会による第三者評価を実施するなどして、プロジェクト終了後に低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する基盤技術が製品化（低 GWP 冷媒適用業務用空調機器及び新規低 GWP 冷媒の上市化）されることを目指している。

2.2.3 制度への適用性

冷凍・空調機器の製造、使用、修理・メンテナンス、廃棄における冷媒漏洩を完全にゼロにすることは極めて困難である。このため、地球温暖化問題への貢献に向けて、フッ素を含有しないオゾン層を破壊効果が無く地球温暖化効果の少ないノンフロン冷媒を使用する冷凍・空調機器を開発することが最も望ましい。

本プロジェクトは世界的な環境保護の高まりの中、国立大学法人東京大学、国立大学法人九州大学、学校法人東京理科大学、及び国立研究開発法人産業技術総合研究所への委託（NEDO 費用負担 100%）、このほか民間企業 4 社への助成（NEDO 費用負担 1/2）により、平成 28 年度から 29 年度の 2 年間の事業実施期間として開始した。

本研究開発の最終目標は「低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する空調機器を実現するために必要な核となる要素技術を確立する」ことにある。低温室効果冷媒を使用するための要素機器技術やシステムコンポーネントの開発により省エネルギーで安全な製品を産業界へ供給し、フロン排出抑制法の目指すフロン類の排出量削減に貢献すると同時に、長期的観点から CO₂ 排出量の削減をはかることでパリ協定における我が国の削減目標に貢献する。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

本研究開発では、温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい分野である家庭用空調機器の開発を見据え、機器サイド、冷媒サイド双方から、低温室効果冷媒を適用した中小型空調機器の省エネ化・高効率化実現のために必要となる基盤要素技術開発につなげるための核となる要素技術を確立する。

核となる要素技術を確立することにより、将来、研究開発対象冷媒物質を 2 種以上、システム実用化研究へとつなげることを目指す。

上記目標を達成するために、以下の 3 研究開発項目を対象に、それぞれの分野で開発目標を定め研究開発を実施した。

研究開発項目①「高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発」

【最終目標】

冷媒開発においては、既に冷凍空調機器に適用されている主たる冷媒以下のGWPと、同等以上の性能を両立するHF0系冷媒の実現につなげるための核となる要素技術を確立する。また、中小型空調機器を対象として、GWPが既に冷凍空調機器に適用されている冷媒以下である低温室効果冷媒（自然冷媒、HF0系冷媒）を用いつつ現状市販フロン適用機器と同等以上の性能の実現につなげるための核となる要素技術の確立を目標とする。

研究開発項目②「低温室効果冷媒の性能、安全性評価」

【最終目標】

空調機器性能と省エネ性を両立しうる、現在の空調機器適用冷媒に代わる低温室効果冷媒候補（自然冷媒、HF0系冷媒）について、システム実用化研究に値する冷媒選定に資する、安全性に係るデータ及び評価結果を得る。また、有識者と連携し、機器への適用と普及に必要な規格（リスク評価手法、標準化）や標準の新たな提案に向けた、知見を得る。

上述の目標の達成を図るため、研究開発テーマ毎に目標等を定め事業を遂行した。研究開発テーマの一覧を表 1-1 に示す。要素技術開発については、新規冷媒開発を実施する 1 テーマ、家庭用ルームエアコン開発 3 テーマ、性能・安全性評価については 4 テーマであるが、低 GWP 冷媒のうち HC 冷媒の特性として強燃性を有することから、冷媒の燃焼性評価に重点をおいている。

以下、各テーマにおける目標を述べる。

表 1-1 「高効率低GWP冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発」研究開発テーマ

研究開発項目	テーマ	委託先/助成先	委託/助成	契約期間	対象技術等	対象冷媒	備考
①要素技術開発	高効率かつ低温温室効果の冷媒の開発	旭硝子株式会社（委託：産業技術総合研究所）	助成（1/2）	H28-H29	低 GWP 冷媒開発	HFO-1123 を主成分とした混合冷媒	安全性、実用性、燃焼性評価
	低GWP冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発	パナソニック株式会社	助成（1/2）	H28	低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンを開発	HFO・HFC 冷媒（混合冷媒）	
	自然冷媒を適用したルームエアコンの研究	三菱電機株式会社（共同研究：東京大学）	助成（1/2）	H28-H29	HC 冷媒（プロパン）をルームエアコンに適用	HC 冷媒（プロパン）	充填量の削減と性能確保
	高効率エジェクタを使用したCO2冷媒空調システムの開発	株式会社デンソー（共同研究：豊橋技術科学大学）	助成（1/2）	H28-H29	CO2 を適用し、現行の R32 冷媒と同等の APF を達成	CO2	CO2 冷媒用高効率エジェクタの開発
②性能・安全性評価	事故シナリオに立脚した低GWP冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント	東京理科大学	委託	H28	火災・爆発発生の危険性及び火災爆発事故発生時の物理的危険度	HC 冷媒（プロパン）	実際の使用条件を想定した事故シナリオを抽出
	中小型空調機器に適合する新規低GWP冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価	九州大学（再委託：富山県立大学、日本大学、長崎大学、産業技術総合研究所、九州産業大学、佐賀大学、東京海洋大学）	委託	H28-H29	冷媒の物性・性能評価	純冷媒 HFO-1123 2成分系混合冷媒 HFO-1123+HFC-32系	熱物性評価、伝熱特性評価、ヒートポンプサイクル評価
	低GWP冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価	東京大学（再委託：早稲田大学）	委託	H28-H29	低GWP冷媒の性能及び安全性評価	低GWP冷媒	次世代冷媒リスク評価研究会を外注
	自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価	産業技術総合研究所	委託	H28	実寸大フィジカルハザード評価	HC 冷媒（プロパン）	実寸大でハザード評価

1.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発

1.1.1 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発【旭硝子株式会社】

空調機器性能と高効率化を両立しうる、現在の空調機器適用冷媒に代わる低温室効果冷媒として、HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf 組成物を対象に評価を実施し、中小型空調機器の省エネ化・高効率化実現のために必要となる基盤要素技術を確立する。具体的には、既に冷凍空調機器に適用されている主たる冷媒以下の地球温暖化係数（GWP）と同等以上の冷媒性能を両立する、下記目標値を満たす低温室効果冷媒を開発する。

- ・地球温暖化係数（100年間）GWPが150以下
- ・不燃性～微燃性（ASHRAE安全性区分：1～2L）
- ・低毒性（LC50>20,000ppm）
- ・現行冷媒であるR410AまたはR32と同等以上の冷媒性能

現在冷凍空調機器に適用されている、あるいは検討されている冷媒のGWPを大幅に低減するとともに冷媒性能、並びに安全性の両立を図ることを念頭に目標設定を行った。

冷媒性能としては、「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業において実施された家庭用エアコン向けに開発を進められた研究成果を踏まえ、高効率空調機器開発の観点から本事業においては現行冷媒であるR410AおよびR32と同等以上の冷媒性能を設定した。

温暖化影響に関しては、現行冷媒のGWP値（R410A:1,924、R32:GWP677）、先のNEDO開発プロジェクト「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」にて設定した目標GWP値300、及び先進国でのGWP規制の閾値等を考慮に入れ、GWP150以下を設定した。

安全性に関しては、自然冷媒として検討されているプロパン（強燃性）やアンモニア（微燃性、高毒性）に対する優位性を確保するため、低毒性及び不燃性～微燃性の目標設定を行うことにより、市場台数の多い民生用途向け機器への採用可能性を担保した。

1.1.2 低GWP冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発【パナソニック株式会社】

研究開発にあたっては、低GWP冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発を最終目標とし、中間目標のステップ1とさらに低GWP化を狙う最終目標のステップ2を並行して検討を進め、段階的にGWP低減を目指す。本事業期間の目標は以下とした。

－本事業期間の目標－

- ・中間目標（ステップ1）の低GWP化に向けて、候補冷媒選定のため、入手可能なHFO・HFC冷媒（混合冷媒）を評価
- ・最終目標（ステップ2）の実現に向けて、主成分の一つと考えるHFO冷媒の課題を把握し、その課題解決策を検証

なお、ステップ1の開発で得られた知見はステップ2の開発に反映させることができ、研究開発の加速に繋げることが可能となる。

【対象】

家庭用ルームエアコン

【対象冷媒】

HFOおよびHFCを主成分とする冷媒

1.1.3 自然冷媒を適用したルームエアコンの研究【三菱電機株式会社】

本研究の目標は、ルームエアコンに環境負荷の少ないHC冷媒を適用することにある。このためには、性能面、安全面の課題を解決する必要がある。そのため、性能および冷媒量の目標を立て開発を進める。安全面については冷媒量削減とともに実用化に対する課題とその対策手段について検討を行う。

ルームエアコンの代表モデルとして、4kWのルームエアコンにて研究を実施する。

- ① 目標（交付期間終了の平成29年度まで）

HC 冷媒使用時の室外機改善時の性能と冷媒量低減を把握する。

[1] HC冷媒の冷媒量削減：目標 IEC規格(IEC 60335-2-40) 以下達成目途確認
(室外機変更時の評価で確認)

[2] HC冷媒を適用したルームエアコンの性能確保：目標 R32機同等APF達成目途確認
(室外機変更時の評価で確認)

上記目標設定の理由

HC 冷媒の適用に際し、IEC 規格の冷媒量以下となるように冷媒量削減することは必須となるが、多方面からの安全性評価を独自に実施することにより、量産時の課題を明確にし、その課題解決していく。IEC 規格では、壁掛け用エアコン 4.0 kW (推奨床面積 18m²) の非換気室での最大ユニット充填冷媒量は 0.322kg となる。裕度を考慮し、暫定の目標冷媒量は 0.32kg (中間評価時) として機器設計を実施する。ユニット冷媒量削減のためには、圧縮機、熱交換器内の冷媒量削減の必要があり、非相溶油の選定、超細径熱交換器の適用が必須となるが、同時に省エネ法の遵守、ユーザメリット確保する上で、現行冷媒 R32 機同等の性能確保する必要がある。

1.1.4 高効率エジェクタを使用した CO₂ 冷媒空調システムの開発【株式会社デンソー】

本研究開発の最終目標は R32 と同等の APF を達成することである。そのために、前章で述べたように、高効率エジェクタの採用、コンプレッサの高効率化、サイクルの高効率化の 3 つの視点で研究開発を行う。本研究開発ではフロン系冷媒との性能差の大きい冷房条件にターゲットを絞り、各開発要素について以下のような目標値とした。

エジェクタについてはこれまで弊社のフロン系エジェクタで開発してきたアイテムを織り込んだ試作機(固定)を作製、評価し、冷房条件における単体効率 50%の目処付けを完了する。これはサイクルがエジェクタを搭載して目標 COP を達成するために必要な効率である。また、将来的には負荷変動、可変技術の効率的な開発のための数値解析技術を構築する必要がある。そのための基礎評価ベンチを構築してデータを取得し、その結果と既存の数値解析を比較検証し、改良の指針を抽出することとした。後者の数値解析技術の構築を目的とした評価は豊橋技術科学大学と共に行った。

コンプレッサについては第一に、高密度な CO₂ 冷媒特性に対応したインジェクション技術を基にコンプレッサを設計、作製しアッセンブリとしての特性評価および短期間での信頼性評価を実施、コンプレッサ単体でのインジェクション効果確認を完了する(以降、連続インジェクションと呼ぶ)。第二に、空調機のような広範囲にわたる使用領域をカバーするコンプレッサに当たっては、信頼性やコスト、搭載性の面から 1 台での仕様確立が有利と考える。そこで、新規構造となる二段スクロールコンプレッサの構想を具体化し、成立性を左右する圧縮機構部について試作機を作製、評価し、圧縮機としてのポテンシャル把握を行う。(以降、二段圧縮と呼ぶ。)

サイクルについては、インジェクションおよび前述の効率向上エジェクタを織り込んだ試作機を作製、評価し、フロン冷媒との性能差の大きい冷房定格条件での COP 向上+31%の目処付けを完了する。

1.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価

1.2.1 事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント【学校法人東京理科大学】

プロパンに代表される自然冷媒や、今後開発が期待されている HFO 系冷媒は、オゾン層破壊係数 ODP がゼロで、かつ、GWP が非常に小さい(プロパン:約 3) ため、代替低 GWP 冷媒として期待されている。反面、これらの冷媒は従来冷媒に比して燃焼性があり、特に自然冷媒で低 GWP を満たす物質は基本的に強燃性のものがほとんどである。そのため中小型冷凍空調機器への適用にあたっては、燃焼・爆発性の面において十分な安全性を担保したうえでの規制再点検が必要であり、そのために、対象とする低 GWP 冷媒の着火事故を想定した危害度(フィジカルハザード)評価に基づいた、リス

クアセスメントが不可欠である。例えばプロパンについては、燃焼範囲、最小着火エネルギー、燃焼速度などといった基礎的な燃焼性データはすでに十分既知となっているが、実際の漏洩シチュエーションにおいてもこれらの値がそのまま適用できるか否かについては、明確な知見は得られていない。また、着火時の火炎長さや圧力上昇等は、雰囲気温度や湿度、漏洩条件等に依存して変化するが、これらの影響が体系的に明らかになっているわけではない。

そこで本研究開発では、中小型空調機器冷媒への低 GWP 冷媒適用の可能性を検討するために、実際の使用条件を想定した事故シナリオを、たとえば業界団体及び有識者を交えて実施されるリスクアセスメント等に基づいて抽出し、火災・爆発発生の危険性及び火災爆発事故発生時の物理的危害度（フィジカルハザード）を実験的に評価する。

具体的には、低 GWP 化を達成しうる冷媒として、炭化水素系の自然冷媒をメインターゲットとし、配管等の破断による急速漏洩と、室外機や室内機から低速漏洩し、空間内に滞留する（漏洩滞留）といった 2 つの漏洩シチュエーションを取りあげ、中小型空調機器の使用時や、機器の据え付け・メンテナンス時等に、想定される各種着火源による着火可能性及びフィジカルハザードを評価する。本研究開発の成果は、これらの新規冷媒の中小型空調機器への適用を検討するための資料となるとともに、安全ガイドライン等の作成に寄与するものと期待される。

1.2.2 中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価【国立大学法人九州大学】

本開発研究の目標は、平成23年度から27年度に実施されたNEDO研究開発プロジェクト「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」において新たに開発されたHF0系冷媒HF0-1123に着目し、中小型空調機器の冷媒として適した混合冷媒を探求・選定することも想定して、主たる研究開発対象冷媒として、純冷媒 HF0-1123およびHF0-1123を成分物質に含む 2 成分系混合冷媒HF0-1123+HFC-32系を位置づけて、①HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価、②HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価、③低GWP冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価の三項目からなる開発研究を行うことである。本事業は、九州大学と、再委託先である富山県立大学、日本大学理工学部、産業技術総合研究所、九州産業大学、佐賀大学、東京海洋大学、長崎大学が共同で実施する。以下、各研究開発項目の担当組織と目標を示す。

① HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価

(a) 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定（国立大学法人九州大学）

HF0-1123 純冷媒および HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒の臨界定数および臨界点近傍における飽和密度をメニスカス消滅の観察により測定する。また等容法を用いた装置により、圧力-体積-温度-組成の関係（ PVT_x 性質）と飽和蒸気圧を測定し、さらには循環法を用いた気液平衡測定装置により混合冷媒の気液平衡性質も測定する。

(b) 気液平衡性質の測定（公立大学法人富山県立大学）

HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒の気液平衡性質を循環型気液平衡性質測定装置で測定する。

(c) 比熱の測定（学校法人日本大学理工学部理工学研究所）

HF0-1123 純冷媒および HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒に関して、気体比熱は熱線式フロー型カロリメータで、液体比熱は熱緩和法金属ベローズ型カロリメータで測定する。

(d) 音速の測定（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

HF0-1123 純冷媒および HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒の音速を、円筒型共鳴式音速測定装置により測定する。

(e) 状態方程式の開発（学校法人中村産業学園九州産業大学）

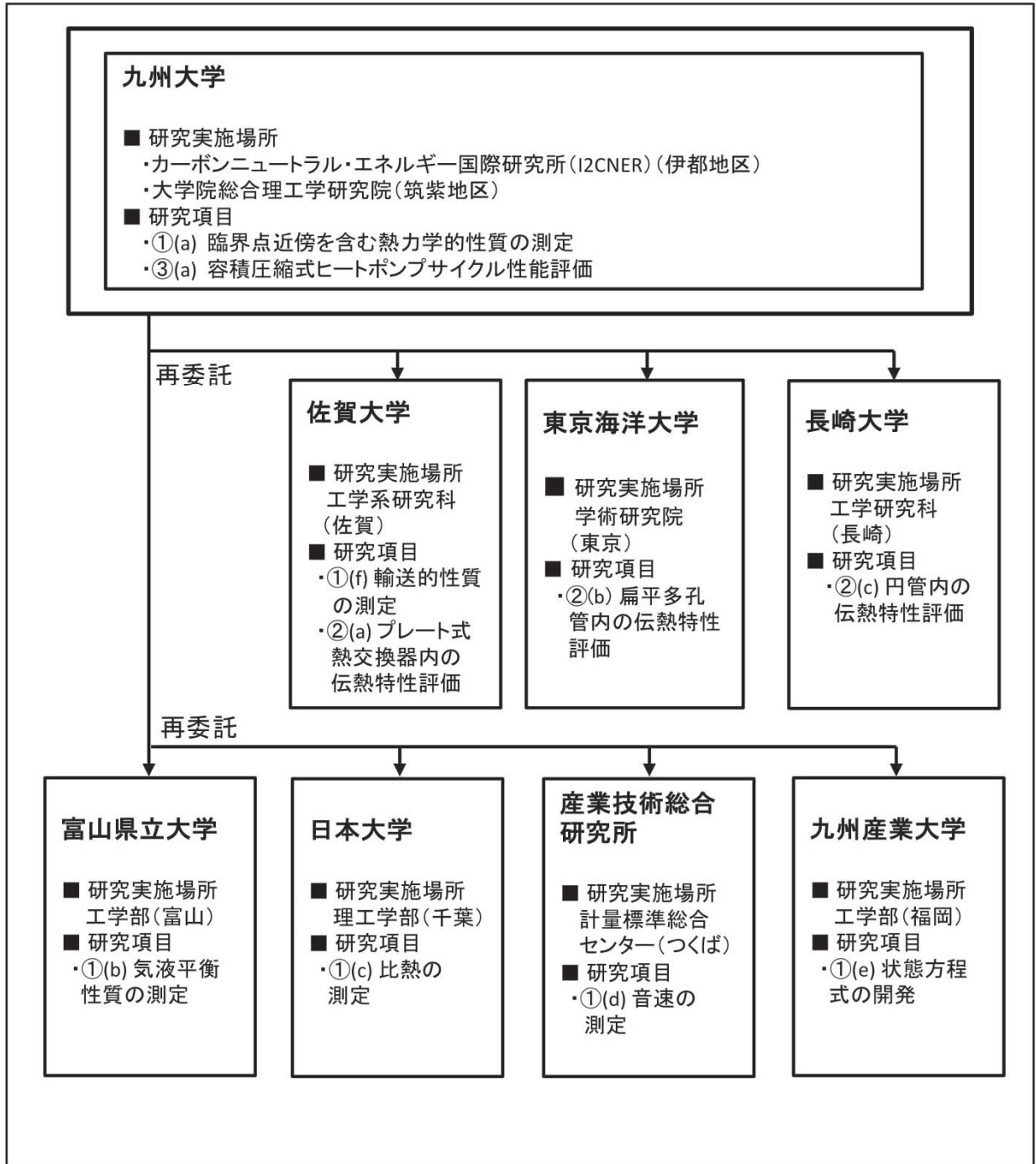
HF0-1123 純冷媒および HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒の状態方程式を作成する。作成した状態方程式を熱物性計算ソフトウェア（NIST Standard Reference Database 23 REFPROP）で計算できるようにする。

(f) 輸送的性質の測定（国立大学法人佐賀大学）

HF0-1123 純冷媒および HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒の液相および気相における熱伝導率を、非定常細線法熱伝導率測定装置で測定する。また、液相および気相における粘度を、タンデム型細管法粘度測定装置で測定する。

②HF0-1123 などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価

- (a) プレート式熱交換器内の伝熱特性評価（国立大学法人佐賀大学）
HF0-1123+HFC-32系混合冷媒のプレート式熱交換器内における凝縮熱伝達実験および蒸発熱伝達実験を行い、それぞれの伝熱特性を明らかにする。
 - (b) 扁平多孔管内の伝熱特性評価（国立大学法人東京海洋大学）
HF0-1123+HFC-32系混合冷媒の扁平多孔管内の凝縮熱伝達実験および蒸発熱伝達実験を行い、それぞれの伝熱特性を明らかにする。
 - (c) 円管内の伝熱特性評価（国立大学法人長崎大学）
HF0-1123+HFC-32系混合冷媒の円管内における凝縮熱伝達および蒸発熱伝達の実験を行い、伝熱特性を明らかにする。
- ③低 GWP 冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価
- (a) 容積圧縮式ヒートポンプサイクル性能評価（国立大学法人九州大学）
HF0-1123 を含む比較的高圧の低 GWP 混合冷媒のサイクル性能評価を、既設の水熱源容積圧縮式ヒートポンプサイクル試験装置による実験によって実施し、対象混合冷媒を使用するための適正な冷房および暖房の運転条件を明らかにする。サイクル性能実験は、本事業で対象としている中小型空調機の実機での運転条件を考慮して実施する。



1. 2. 3 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価【国立大学法人東京大学】

①「低GWP冷媒を用いた空調機器の安全性評価」(担当：東京大学)

(a) 可燃性冷媒が室内へ漏えいした時の濃度分布解析

可燃性冷媒が室内へ漏洩したときの濃度分布の解析においては、可燃性のある冷媒について、室内への漏えいシナリオにおける濃度分布シミュレーション解析を実施する。また、冷媒漏えい実験との比較によりその妥当性を検証する。

(b) エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発の検証

圧縮機内でのディーゼル爆発については、発生条件を明らかにし、潤滑油から冷媒へと燃焼が伝搬する仕組みとの解明に努め、潤滑油の燃焼特性に注目することにより、

ディーゼル爆発の発生を抑制する方法を提案する。

(c) HF0系冷媒の自己分解反応の分析

HF0系冷媒の自己分解反応については、発生条件を明らかにし、反応ガス分析や反応状況を観察するなどにより、発生機構の解明に努める。

(d) 低GWPの可燃性冷媒の燃焼時におけるリスク評価

燃焼性のある低GWP冷媒の燃焼についてリスク評価を進める。

②「低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能評価」(担当：東京大学)

(a) 新冷媒の熱交換器性能

新冷媒の熱交換器性能評価においては、扁平多孔管を用いた蒸発器を対象として、HF0系冷媒の伝熱特性を明らかにし、チャンネル径やオイル濃度の影響との相関式を提案する。

③「中小型空調機器の実性能評価技術の開発」(担当：早稲田大学)

中小型空調機器の実性能評価技術の開発においては、実運転サイクル性能予測を可能とするシミュレータを開発し、高精度なサイクル性能評価技術の確立を目指す。

1.2.4 自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価【国立研究開発法人産業技術総合研究所】

近年の世界的な低温室効果冷媒への転換意識の高まりにより、今後、モントリオール議定書北米3か国提案をはじめとする規制の改正や新しい提案によって、現在冷凍空調機器等で使用している冷媒が使用できなくなる可能性がある。フロン排出抑制法で定められた目標 GWP 値を達成する冷媒であっても、例えば、モントリオール議定書北米3か国提案で求められる規制に対応するには不十分と考えられる。したがって、今後の技術開発においては、より一層低温室効果な冷媒及び冷媒適用機器の開発が必須である。

冷凍空調機器の中でも、家庭用空調機器は市中冷媒ストック量がきわめて多く、また大気中への漏洩源としても影響が大きい。本事業では、家庭用空調機器の規模を視野に入れた中小型機器の低温室効果冷媒への転換を可能にする要素技術開発を実施する。

その中で、研究開発項目「低温室効果冷媒の性能、安全性評価」として、低温室効果冷媒(自然冷媒、HF0系冷媒)に関する性能・安全性について、実験や数値計算等により、共通基盤的な評価手法及び評価項目を検討し、評価を実施する。評価結果については、必要に応じて研究開発項目「高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発」の実施者との間で情報交換を行い、研究内容へフィードバックする。

本研究開発では、中小型家庭用室内空調機に自然冷媒が使用された場合を想定して、実寸大のフィジカルハザード評価を行うことを目的とする。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発

2.1.1.1 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発【旭硝子株式会社】

目標を達成する高効率かつ低温室効果の冷媒（HF0 系冷媒）を実現するためには、HF0-1123/HFC-32/HF0-1234yf 混合冷媒の混合組成を決定することが重要となる。冷媒性能に関連する評価項目としては、熱力学性質、サイクル性能、ドロップイン試験が例示される。また、実用化の為には、最適な冷凍機油の選定、各種構成材料等との適合性、熱的・化学的安定性等の特性項目が、安全性・環境影響に関しては、毒性、燃焼性、固有安全性、地球温暖化性能等の特性項目に関する特性値の取得が重要である。これらの基礎特性を取得、解析することにより、高効率かつ低温室効果の冷媒の実用化の見通しをつける。

研究 開発項目	年度	平成 28 年度	平成 29 年度
基本特性評価			
項目 熱力学性質		_____	
項目 輸送特性		_____	
項目 冷媒性能		_____	
項目 冷媒組成決定		_____ △	
安全性評価			
項目 毒性		_____	
項目 燃焼性		_____	
項目 固有安全性		_____	
実用化評価			
項目 機器性能		_____	
項目 冷凍機油		_____	
項目 回収装置		_____	
項目 材料適合性		_____	
項目 試料試作		_____	
委託研究			
項目 燃焼性		_____	
開発完了			★
予算		24,720,000 円(助成金 12,360,000 円)	44,740,000 円(助成金 22,370,000 円)

なお、上記評価に際しては、研究項目「低温室効果冷媒の性能、安全評価」との間で情報交換を行い、研究内容へフィードバックを行うことにより、重複研究を排除するとともに、試験の効率化を図る。

2.1.1.2 低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発【パナソニック株式会社】

今後 R32 よりもさらに GWP が低い冷媒への転換が必要になると考えられる中、現在のところ安全性を保ちつつ機器の形態、性能、コストを現状から大きく変更せずにさらに GWP を下げることができる冷媒は公表されていない。この課題を解決するために、GWP が低い HFO 冷媒と HFC 冷媒の混合冷媒より、現状よりも大幅な低 GWP 化が可能な冷媒を選定し、現行と同等以上の性能を実現するルームエアコンの開発を行うと共に、さらなる低 GWP 化が可能な冷媒の検討を行い、この冷媒を使用して現行と同等以上の性能を実現するルームエアコンの要素技術の確立を目指す。

本事業期間においては、当社 GWP 中間目標として位置づける、現状よりも大幅な低 GWP 化が可能な候補冷媒選定に向けて、HFO・HFC 冷媒（混合冷媒）を可能な限り入手して評価しながら、加えて、当社 GWP 最終目標のさらなる低 GWP 化が可能な冷媒の検討に向けて、主成分の一つと考える HFO 冷媒の課題解決策検証に取り組んだ。

年度	平成 28 年度
研究 開発項目	
【1】ステップ 1 中間目標に向けた取組み	
①省エネ性能評価	→
②信頼性評価	→
【2】ステップ 2 最終目標に向けた取組み	
①課題把握	→
②解決策の立案・検証	→
予算	20,003,250 円

2.1.1.3 自然冷媒を適用したルームエアコンの研究【三菱電機株式会社】

[1] HC冷媒の冷媒量削減

熱交換器内冷媒量削減：高効率/省冷媒熱交換器適用

[2] HC冷媒を適用したルームエアコンの性能確保

① 圧縮機性能確保：HC冷媒対応圧縮機適正化

② ルームエアコンでの性能評価と分析

(R290をドロップインしたルームエアコンでの性能評価と分析)

③ ルームエアコンでの性能評価と分析

(高効率/省冷媒熱交換器を搭載したルームエアコンでの性能評価と分析)

事業スケジュールを以下に示す。

研究開発項目	H28 年度				H29 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
I. 研究開発						
[1] HC冷媒の冷媒量削減						
熱交換器内冷媒量削減 ・熱交換器管仕様検討 (穴径、穴数、管ピッチ)			熱交換器内 冷媒量予測 □			
[2] HC冷媒を適用したルームエアコンの性能確保						
①圧縮機性能確保			圧縮機性能評価 □			
②熱交換器性能確保						
(a) 管外側性能 (伝熱) ・コルゲートフィン ・フィンレス				単体熱交換器試作		単体熱交換器 評価(冷媒) □
(b) 管内側性能 ・伝熱測定			単体熱交換器試作	管内熱伝達率 測定		単体熱交換器 評価(水、フライン) □
③ルームエアコンでの性能評価と分析			伝熱管試作			
(a) 室外機 ・HC対応圧縮機、熱交換器実装 ユニット評価 (冷房)				ユニット用熱交換器試作		ユニット評価 □
2. 設備導入、改造						
[1] 冷凍サイクル装置				冷凍サイクル装置		検収 □
3. 費用の推移				2017年度支出合計 11,074,000円		2018年度支出合計 26,678,180円

2.1.1.4 高効率エジェクタを使用した CO2 冷媒空調システムの開発【株式会社デンソー】

2.1.1.4-1 高効率エジェクタの開発

本研究開発で対象とする空調条件は、製品化実績のある給湯機やカーエアコンと大きくサイクルバランスが異なる。具体的には超臨界から過冷却状態を介して二相域まで減圧、かつ超音速に加速している二相領域が大きく増えているという、これまでにない領域での作動が予想され、目標を達成するためには、このような作動領域での高効率なノズルの開発が必要となる。本研究開発では分解型の試作機を用いてその作動バランスと最適寸法を見出すこととした。具体的にはフロン系冷媒との性能差の大きい冷房条件にターゲットを絞り、サイクルで COP+31% を達成に必要なエジェクタ効率 50% を目標とした。

一方、空調機に使用する場合、運転モード、負荷の変動があってもその高効率を維持することが求められる。様々な運転モードを考慮した設計を効率よく行っていくためには数値解析技術を構築し詳細な形状検討を出来るようにする必要がある。そこで試作評価と並行しながら、将来的な数値解析技術構築に向けた基礎データ取得及び改良指針の抽出を行った。

2.1.1.4-2 高効率コンプレッサの開発

後述の高効率サイクルの開発で述べるようなインジェクションサイクルの採用を検討した場合、コンプレッサもインジェクションに対応する必要があると共に、インジェクション流量、効率は、広範囲な作動領域において目標値を満足する必要がある。本研究では連続インジェクション、二段圧縮の2つのアイテムについて取り組みを行った。

<連続的インジェクション>

圧縮過程で連続的にインジェクションを行う場合、圧縮室内圧力と中間圧力とが逆転し冷媒が流出してしまうことを防ぐための逆止弁が必要となる。また圧縮室内圧力は刻々と上昇していくので効率よくインジェクション動作を行うために、弁は速やかに開閉することが求められる。加えてインジェクションポートから逆止弁までの容積はデッドボリウムとなり再圧縮損失を招くため、CO₂ のような高密度冷媒においては、フロン系冷媒のおよそ 1/4、容積にしてわずか 0.1cc 以下で成立させる必要がある。この課題に対しては、搭載性から小型化が必須要件とされるカーエアコン用コンプレッサにおいて蓄積してきた逆止弁設計技術を基に、極小体格が実現できる逆止弁構成を具体化した。

<二段圧縮>

コンプレッサの効率低下要因は主に内部漏れ、摺動部損失、モータ・インバータ損失の 3 つである。弊社では独自の損失解析を基に給湯条件における各損失の MIN 化に取り組み、業界トップレベルの高効率化を達成してきた。空調、給湯の両条件を加味した圧縮比、冷媒流量とも広範囲に渡るため、それぞれの条件での損失 MIN 化はもちろん、それらを両立することが不可欠である。

弊社が提案する二段圧縮コンプレッサの最大の課題は、従来型単段スクロールとは異なるシール技術が必要になることであると考えている。この課題に対しては、まず使用条件から全体構成を具体化し、低段側圧縮室のみの単体モデルを作製して各シール部位における漏れの影響度を実機解析し、圧縮機としてのポテンシャルを把握した。

2.1.1.4-3 高効率サイクルの開発

給湯条件よりもガスクーラ出口温度（空調機の場合は空気の吹き出し温度）が低く、ガスクーラ入口水温（空調機の場合は吸い込み温度）が高い暖房条件では、CO₂ 冷媒はガスクーラでエンタルピ差が小さくなることと、冷媒と水温の温度差を維持するために圧力を高く維持しなければならないことから、フロン系冷媒に対して効率が劣るという問題がある。また、同様にガスクーラ入口温度が高い冷房条件においても、蒸発器でのエンタルピ差が小さくなり、CO₂ 冷媒は冷房性能、効率が劣る問題がある。

このような課題に対応するために前述のエジェクタを採用すると共に、インジェクションサイクルを採用することを検討した。本研究開発では、サイクルシミュレーションおよび試作による試験を通して、エジェクタと組み合わせたときの最適インジェクション量等の機能部品の仕様を明確にすると共に、冷房条件 COP+31%の目処付けを目標とした。

前述の各開発要素の目標を達成するために、各開発要素につき以下の内容を実施計画に基づき研究開発を行った。

実施計画

項目	年度		平成 28 年度				平成 29 年度		
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
エジェクタ <効率向上> ・作動点抽出 ・既存品評価 ・改良品 1 次試作 ・改良品 2 次試作 ・改良品 3 次試作 <解析理論構築> ・評価装置作成 ・基礎評価 ・理論構築指針作成			→	→	→	→	→	→	→
コンプレッサ <連続インジェクション> ・構想検討 ・アッセンブリ試作 ・信頼性課題抽出 <二段圧縮> ・構想検討 ・要素試作				→	→	→	→	→	→
サイクル ・シミュレーション作成 ・要素部品仕様決め ・1 次試作 ・2 次試作			→	→	→	→	→	→	→

また、本研究開発の予算を記す。

開発予算

単位 (千円)	助成対象費目	平成 28 年度	平成 29 年度	合計
助成率:1/2	自社分	49,149	27,220	76,369
	再委託先分	9,259	0	9,259
		58,408	27,220	85,628

2.1.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価

2.1.2.1 事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント【学校法人東京理科大学】

本研究開発では、1.2.1 節に述べた事業目標を達成するために、以下の 2 つのサブテーマにより研究を構成する。

- ① 中小型空調機器に低 GWP 冷媒を適用する際に発生しうる事故シナリオの抽出
対象冷媒を中小型空調機器に適用した場合の漏洩シナリオ、対象空間、想定される着火源等を洗い出し、リスク評価及びそれに基づいた対策の立案が必要となるシナリオを吟味・抽出する。シナリオの吟味・抽出にあたっては、業界団体及び有識者とコンソーシアム（例えば、平成 23～27 年度 NEDOPJ “高効率ノンフロン型空調機器技術の開発”に関連して（公社）日本冷凍空調学会内に設置された、微燃性冷媒リスク評価研究会のような組織を想定）を組む等の方法により、有識者やメーカー等の知見も参考にすることで、抽出シナリオの妥当性を確保する。
- ② 低 GWP 冷媒の使用時および整備時における火災発生可能性及びフィジカルハザード評価
 - (a) 燃焼範囲形成領域の把握
実際の漏洩空間を模擬した、内部が視認可能な模型を製作し、①配管破断時の噴出漏洩、②比較的小さい漏洩速度で室内に滞留した場合（漏洩滞留）、の 2 つの漏洩シチュエーションを設定する。微速（②の漏洩滞留を想定）～急速（約 10 kg/h、①の配管破断を想定）漏洩を模擬して漏洩速度を 3 段階程度変化させる。測定濃度をもとに、燃焼範囲形成領域と漏洩条件の関係を明らかにする。
 - (b) 各着火源による着火可能性とフィジカルハザード評価
サブテーマ①で実施されるリスクアセスメント等によって、実際に存在しうると想定される着火源について、実験により着火可能性を評価する。具体的には、上記(a)での結果に基づき、微速（漏洩滞留）～急速（約 10 kg/h）漏洩を模擬して漏洩速度を 3 段階程度変化させ、燃焼範囲が形成される領域内に、存在が想定される着火源（静電気、裸火、高温表面等）を設置し、噴出火炎の形成可能性を実験（都合 10 ケース程度）により評価する。特に、本ケースでは冷媒が速度を持って流動しているため、最小着火エネルギーは静穏環境下で得られた既知のデータとは異なると推測されるので、この点を明らかにする。噴出口から着火源までの距離を 2～3 段階変化させることにより、濃度及び噴流速度と着火エネルギーの関係についても評価する。
着火した場合、火炎長さ、火炎及び熱気流温度、周囲への熱流束等を計測し、噴出条件とこれらのフィジカルハザードデータの関係を明らかにする。イソブタンなど既にある程度実用化されている強燃性冷媒及び R32, R1234yf, R1234ze (E) などの HF0 系冷媒の燃焼特性データと直接比較可能とするデータベース（図表）を整備する。
以下に研究開発スケジュールを示す。

研究開発スケジュール

→ : 当初計画 → : 実際の進捗

事業項目		H28 第1四半期	H28 第2四半期	H28 第3四半期	H28 第4四半期
① 中小型空調機器に低GWP冷媒を適用する際に発生しうる事故シナリオの抽出				→	
② 低GWP冷媒の使用時及び整備時における火災発生可能性及びフィジカルハザード評価	(a) 燃焼範囲形成領域の把握			→	
	(b) 各着火源による着火可能性とフィジカルハザード評価			→	
事業費		20,392,000円			

2.1.2.2 中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価【国立大学法人九州大学】

① HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価

(a) 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定（国立大学法人九州大学）

HF0-1123 純冷媒および HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒の臨界定数および臨界点近傍における飽和密度をメニスカス消滅の観察により換算密度 ($\rho_r = \rho/\rho_c$) $0.5 < \rho_r < 1.5$ の範囲で測定する。また、等容法を用いた装置により、圧力-体積-温度-組成の関係 (PVT_x 性質) と飽和蒸気圧を 20°C から 150°C で測定し、さらには循環法を用いた気液平衡測定装置により混合冷媒の気液平衡性質も温度範囲 -20°C から 50°C の範囲で測定する。まずは HF0-1123 純冷媒について、メニスカスの消滅の観察による臨界点近傍における飽和密度の測定及び PVT_x 性質と飽和蒸気圧の測定の確認実験から開始し、引き続いて、2成分系混合冷媒 HF0-1123+HFC-32 系の 60/40 mass%、40/60 mass% の測定を行う。さらに、臨界軌跡（組成依存性）の決定も行い、臨界定数を表現する相関式を作成して、臨界点の組成依存性を明らかにする。また、気液平衡測定に関しては、装置の改良から始めて、測定装置の健全性の確認作業を行ったのち、2成分系混合冷媒 HF0-1123+HFC-32 系の測定を実施する。本混合系の測定結果、特に臨界点測定の結果は、本研究グループにおいて検証実験で一部取得したデータしか存在しておらず、HF0-1123 混合物の熱物性値の解明および状態式や相関式の作成には、非常に価値のある情報となる。また、他の測定結果の情報をとりまとめる際に作成する相関式においては、臨界点の情報は基幹となるパラメータであり、その価値は非常に高い。

(b) 気液平衡性質の測定（公立大学法人富山県立大学）

HF0-1123+HFC-32 系混合冷媒の気液平衡性質を循環型気液平衡性質測定装置で測定温度範囲 20°C から 70°C で測定する。測定を実施するために一部装置の改良を行い、純冷媒の飽和蒸気圧測定、およびすでに気液平衡性質が十分に知られている混合冷媒で装置の健全性の確認作業を行ったのち、2成分系混合冷媒 HF0-1123+HFC-32 系の気液平衡性質の測定を実施する。本混合系の気液平衡性質の測定結果は、現状ではメーカーの取得したものしか存在せず、その結果もバラツキが多い。そのため、測定結果自体に新規性があり、状態式の作成にも非常に有益な情報となる。

(c) 比熱の測定（学校法人日本大学理工学部理工学研究所）

HF0-1123純冷媒およびHF0-1123+HFC-32系混合冷媒に関して、気体比熱は熱線式フロー型カロリーメータで常温から 50°C まで、液体比熱は熱緩和法金属ベローズ型カロリーメータで常温から 150°C まで測定する。測定を実施するために新たに装置の製作及び既存装置の改良を行い、信頼できるデータの存在する純冷媒および混合冷媒で装置の動作確認を行っ

たのち、HF0-1123 および 2 成分系混合冷媒 HF0-1123+HFC-32系の比熱の測定を実施する。本混合系の比熱測定結果は、現状入手できない。そのため、測定結果自体に新規性があり、状態式の作成にも非常に有益な情報となる。

(d) 音速の測定（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

HF0-1123純冷媒およびHF0-1123+HFC-32系混合冷媒の音速を、円筒型共鳴式音速測定装置により測定温度範囲30℃から80℃で測定する。すでに HF0-1123 純冷媒に関して検証実験を開始しており、測定精度を上げるために装置の製作及び既存装置の更なる改良を行う。そしてHF0-1123の補充データを測定し、さらに 2 成分系混合冷媒HF0-1123+HFC-32系の音速の測定を実施する。音速測定結果は、現状本測定装置で得られた一部のデータしか存在しておらず、測定結果自体に新規性があり、状態式の作成にも非常に有益な情報となる。

(e) 状態方程式の開発（学校法人中村産業学園九州産業大学）

HF0-1123純冷媒およびHF0-1123+HFC-32系混合冷媒の状態方程式を作成する。作成した状態方程式を熱物性計算ソフトウェア（NIST Standard Reference Database 23 REFPROP）で計算できるようにする。本研究で作成するのはヘルムホルツ型状態方程式であり、飽和状態量、 PVT_x 性質、比熱、音速等の熱力学的状態量を高精度で表現できる。まず、現在入手可能なHF0-1123の実測値情報を精査し、状態方程式の開発に用いる実測値を選定する。年度後半から実際に開発する状態方程式の最適化を行い、REFPROP用の物質定義ファイル（FLDファイル）を作成する。このファイルを用いることにより、REFPROP上での熱物性計算が可能になり、学術的にも、機器を開発する産業界に取っても、非常に有益な情報を提供できる。

(f) 輸送の性質の測定（国立大学法人佐賀大学）

HF0-1123純冷媒およびHF0-1123+HFC-32系混合冷媒の液相および気相における熱伝導率を非定常細線法熱伝導率測定装置で、並びに液相および気相における粘度をタンデム型細管法粘度測定装置でそれぞれ0℃付近から、冷媒の圧力値を逐次考慮しながら測定する。まず、本測定装置を用いてHF0-1123純冷媒の測定を行うための調整を行い、確認後測定を開始する。引き続き、混合冷媒の測定を行うための調整を行い、混合モデルがECSモデルに適用できるかの検証を行いながら、HF0-1123+HFC-32系の測定を進める。

② HF0-1123 などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価

(a) プレート式熱交換器内の伝熱特性評価（国立大学法人佐賀大学）

HF0-1123+HFC-32系混合冷媒のプレート式熱交換器内における凝縮熱伝達実験および蒸発熱伝達実験を行い、それぞれの伝熱特性を明らかにする。実験条件は、中小型空調機器の運転条件を考慮し、凝縮温度は40℃、蒸発温度は10℃を中心に実験を実施する。また得られた実験データを用いて、プレート式熱交換器の設計に必要な相関式を作成する。ここで得られた実験データは、今後の伝熱性能改善、また高性能プレート式熱交換器の開発を行う際の貴重な情報となる。

(b) 扁平多孔管内の伝熱特性評価（国立大学法人東京海洋大学）

HF0-1123+HFC-32系混合冷媒の扁平多孔管内の凝縮熱伝達実験および蒸発熱伝達実験を行い、それぞれの伝熱特性を明らかにする。まず測定装置の製作を行い、比較対象となるHFC-32単体のデータを取得するとともに、装置の健全性・基本特性を確認する。中小型空調機器の運転条件を考慮し、凝縮温度は 40℃、蒸発温度は10℃の条件で実験を実施し、HF0-1123+HFC-32系混合冷媒の伝熱特性とHFC-32単体の特性とを比較する。ここで得られた実験データは、伝熱性能改善、高性能扁平多孔管の開発、また扁平多孔管を用いたマイクロチャンネル熱交換器などの設計・開発への貴重な情報となる。

(c) 円管内の伝熱特性評価（国立大学法人長崎大学）

HF0-1123+HFC-32系混合冷媒の円管内における凝縮熱伝達および蒸発熱伝達の実験を行い、伝熱特性を明らかにする。まず測定装置の製作を行い、比較対象となるHFC-32単体のデータを取得するとともに、装置の健全性を確認する。中小型空調機器の運転条件を考慮し、凝縮温度は40℃、蒸発温度は10℃の条件で実験を実施し、HF0-1123+HFC-32系混合冷媒の伝熱特性とHFC-32単体の特性とを比較する。ここで得られた実験データは、

混合冷媒の伝熱性能改善、また高性能フィンチューブ式熱交換器の開発への貴重な情報となる。

③ 低 GWP 冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価

(a) 容積圧縮式ヒートポンプサイクル性能評価 (国立大学法人九州大学)

HFO-1123 を含む比較的高圧の低 GWP 混合冷媒のサイクル性能評価を、既設の水熱源容積圧縮式ヒートポンプサイクル試験装置による実験によって実施し、対象混合冷媒を使用するための適正な冷房および暖房の運転条件を明らかにする。サイクル性能実験は、本事業で対象としている中小型空調機の実機での運転条件を考慮して実施する。冷房条件では、低温熱源温度を 20～25℃、高温熱源温度を 30～35℃の範囲で設定し、暖房条件では、低温熱源温度を 5～10℃、高温熱源温度を 20～25℃の範囲で設定する。また、熱負荷については、新規冷媒の熱物性値が明らかにならないと明確な数値は出せないが、冷房負荷を 1.5～2.5kW、暖房負荷を 1.5～2.5kW を目処として実験を計画する。

以下に研究開発スケジュールを、平成 28 年度と平成 29 年度に分けて表にまとめた。なお年度毎の予算の推移は、平成 28 年度が年度委託費 50,568,560 円 (うち再委託費 22,408,560 円)、平成 29 年度が年度委託費 7,500,000 円 (うち再委託費 0 円) である。

平成28年度 【年度委託費 50,568,560 (うち再委託費 22,408,560)】	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
a. HFO-1123などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価				
a-1. 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定(九州大学)		測定装置の動作確認		HFO-1123およびHFO-1123+HFC-32の測定
a-2. 気液平衡性質の測定(富山県立大学)		測定装置の動作確認		HFO-1123+HFC-32の測定
a-3. 比熱の測定(日本大学理工学部)		測定装置の製作/動作確認		HFO-1123およびHFO-1123+HFC-32の測定
a-4. 音速の測定(産業技術総合研究所)		測定装置の動作確認		HFO-1123およびHFO-1123+HFC-32の測定
a-5. 状態方程式の開発(九州産業大学)		入力データの収集・選定	状態方程式の開発	
a-6. 輸送的性質の測定(佐賀大学)		測定装置の動作確認		HFO-1123+HFC-32の測定
b. HFO-1123などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価				
b-1. プレート式熱交換器内の伝熱特性評価(佐賀大学)		測定装置の動作確認		HFO-1123+HFC-32の測定
b-2. 扁平多孔管内の伝熱特性評価(東京海洋大学)		測定装置の動作確認		HFO-1123+HFC-32の測定
b-3. 円管内の伝熱特性評価(長崎大学)		測定装置の動作確認		HFO-1123+HFC-32の測定
c. 低GWP冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価				
c-1. 容積圧縮式ヒートポンプサイクル性能評価(九州大学)		HFO-1123+HFC-32のサイクル性能評価		

平成29年度【年度委託費 7,500,000 (うち再委託費 0)】	第1四半期			第2四半期		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月
a. HFO-1123などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価						
a-1. 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定(九州大学)	HFO-1123の測定			HFO-1123+HFC-32の測定		
a-2. 気液平衡性質の測定(富山県立大学)	担当者交代による測定装置の動作確認			HFO-1123+HFC-32の測定		
a-3. 比熱の測定(日本大学理工学部)	HFO-1123の測定		HFO-1123+HFC-32(気相の測定)		HFO-1123+HFC-32(液相の測定)	
a-4. 音速の測定(産業技術総合研究所)	HFO-1123の測定			HFO-1123+HFC-32の測定		
a-5. 状態方程式の開発(九州産業大学)	HFO-1123の状態方程式の開発			HFO-1123+HFC-32の混合モデルの開発		
a-6. 輸送的性質の測定(佐賀大学)	HFO-1123の測定		HFO-1123+HFC-32の測定		相関式の作成	
b. HFO-1123などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価						
b-1. プレート式熱交換器内の伝熱特性評価(佐賀大学)	装置設定	HFC-32の実験		HFO-1123+HFC-32の測定		
b-2. 扁平多孔管内の伝熱特性評価(東京海洋大学)	HFO-1123+HFC-32の凝縮実験		HFO-1123+HFC-32の蒸発実験		HFO-1123+HFC-32の追加実験	
b-3. 円管内の伝熱特性評価(長崎大学)	HFC-32の実験		HFO-1123+HFC-32の測定		HFO-1123+HFC-32の追加実験	
c. 低GWP冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価						
c-1. 容積圧縮式ヒートポンプサイクル性能評価(九州大学)		HFO-1123+HFC-32のサイクル性能評価実験			HFO-1123+HFC-32の追加実験	

2. 1. 2. 3 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価【国立大学法人東京大学】

① 「低GWP冷媒を用いた空調機器の安全性評価」(担当：東京大学)

低 GWP 冷媒の使用におけるリスク評価のため、以下の項目を実施する。

(a) 可燃性冷媒が室内へ漏えいした時の濃度分布解析

燃焼性リスク評価に資するため、可燃性のある低GWP冷媒について、室内への漏えいシナリオを検討し、濃度分布シミュレーション解析を実施する。冷媒濃度の時間的推移を計算し、可燃範囲に入る条件を明らかにする。その後、リスク評価の結果、何らかの対策が必要な場合は、可能な対策、冷媒充填量の削減を検討し、その効果を明らかにする。また、冷媒漏えい実験を行い、数値シミュレーションとの比較することにより数値計算結果の妥当性の検証を行う。

(b) エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発の検証

エアコンのポンプダウン運転時の事故として想定される圧縮機内でのディーゼル爆発について、爆発の抑制効果を検証するため、着火のメカニズムを解明し、発生条件を実験的に明らかにする。内部の可視化や排気分析を行うことにより、自己着火燃焼メカニズムの解明に努める。

(c) HFO系冷媒の自己分解反応の分析

HFO系冷媒の使用時に想定される冷媒の自己分解反応について、着火源特性、エネルギー投入量、冷媒の種類などを変えて発生条件を明らかにし、排気分析結果などに基いて反応の機構解明に努める。

(d) 低GWPの可燃性冷媒の燃焼時におけるリスク評価

燃焼性のある低GWP冷媒(新規HFO冷媒または自然冷媒)の漏えい時に燃焼事故が発生した場合のリスク評価の検討を行う。

② 「低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能評価」(担当：東京大学)

低 GWP 冷媒を実際の機器に使用した場合の性能評価のため、以下の項目を実施する。

(a) 新冷媒の熱交換器性能

扁平多孔管を用いた蒸発器を対象として、チャンネル径や形状、オイル濃度の影響等を考慮したHFO系冷媒の伝熱特性を実験的に明らかにする。チャンネル内流動の可視化を行い、伝熱特性と流動の関係を明らかにし、チャンネル形状の最適化の知見を得る。

③「中小型空調機器の実性能評価技術の開発」（担当：早稲田大学）

今後、中小型空調機器に採用すべき低GWP冷媒として検討が必須となるHC、HFO、CO₂系冷媒を導入した機器の高精度サイクル性能評価技術の確立を目指す。

1)モデリング，数値解析

十分な文献調査を実施し，最新の伝熱，圧縮機モデルを改めて整理する．これをベースに高精度な数値計算を可能とする圧縮機，熱交換器，膨張弁の数理モデルを構築する．この際には，非共沸混合冷媒に関連する文献を重点的に調査する．また，パソコンレベルでの数値計算を可能とするために，適切な数値解析スキームを選定するとともに，計算精度についても十分な検証を行う．

2)サイクル性能シミュレーション(定常解析)

明確化した数理モデル，数値解析手法にもとづいてコードを記述する(C++を利用予定)．そして，これまでに開発してきたシミュレータを改良し，構築したシミュレータを用いて具体的に低GWP冷媒を用いた機器のシステムとしての数値解析の実施を可能とする．このシミュレータを用いて数値計算も実施し，冷媒の種類がCOP，伝熱性能等に与える影響を解明する．

事業項目	平成28年度				平成29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
①低 GWP 冷媒を用いた空調機器の安全評価 (a)可燃性冷媒が室内へ漏洩したときの濃度分布の解析 (b)エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発 (c)HFO 冷媒の自己分解反応の安全評価 (d)可燃性冷媒の燃焼時のリスク評価								
②低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能評価 (a)新冷媒の熱交換器性能								
③中小型空調機器の実性能評価技術 (a)モデリング，数値解析 (b)コード改良 (c)サイクル性能シミュレーション								
開発予算（総額 50,000,000 円）	43,200,000 円				6,800,000 円			

2.1.2.4 自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価【国立研究開発法人産業技術総合研究所】

実施内容、実施スケジュール及び事業費を表に示した。事故シナリオ検討では R290 を用いた空調機を開発中のメーカー及び日本冷凍空調学会の担当者と意見交換を行い、漏洩条件や実寸大模擬空間の仕様を決定したのち、2つのフィジカルハザード評価の資材調達、室内実験、野外実験を行った。

研究開発スケジュール

事業項目	平成 28 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
① 中小型家庭用室内空調機に関する事故シナリオの検討			→	
② 実寸大模擬空間を利用した自然冷媒(R290)の漏洩拡散濃度分布の計測と着火時のフィジカルハザード評価				→
③ 室外機または室内機が火炎に暴露した場合のフィジカルハザード評価				→
事業費	3,372,560 円			

2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は低温室効果冷媒を用いつつ現行機器に比べ同等以上の高効率（省エネ）を達成する中小型空調機器システム実用化に必要な基盤要素技術開発につなげるための核となる要素技術の確立を目指すものである。

研究開発計画に基づき冷媒別、あるいは事業フェーズ（基礎研究／実用化研究）別に研究開発事業を推進した。

図 2.2-1 に示すように、本プロジェクトは NEDO の指名したプロジェクトリーダーの助言・指導、また別途有識者による成果評価確認のための技術委員会による進捗評価を得て、参加 8 事業者毎に事業を推進した。

委託先は、国立大学法人東京大学、国立大学法人九州大学、学校法人東京理科大学諏訪東京理科大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所である。

助成先は、旭硝子株式会社、パナソニック株式会社、三菱重工業株式会社、三菱電機株式会社、株式会社デンソーである。

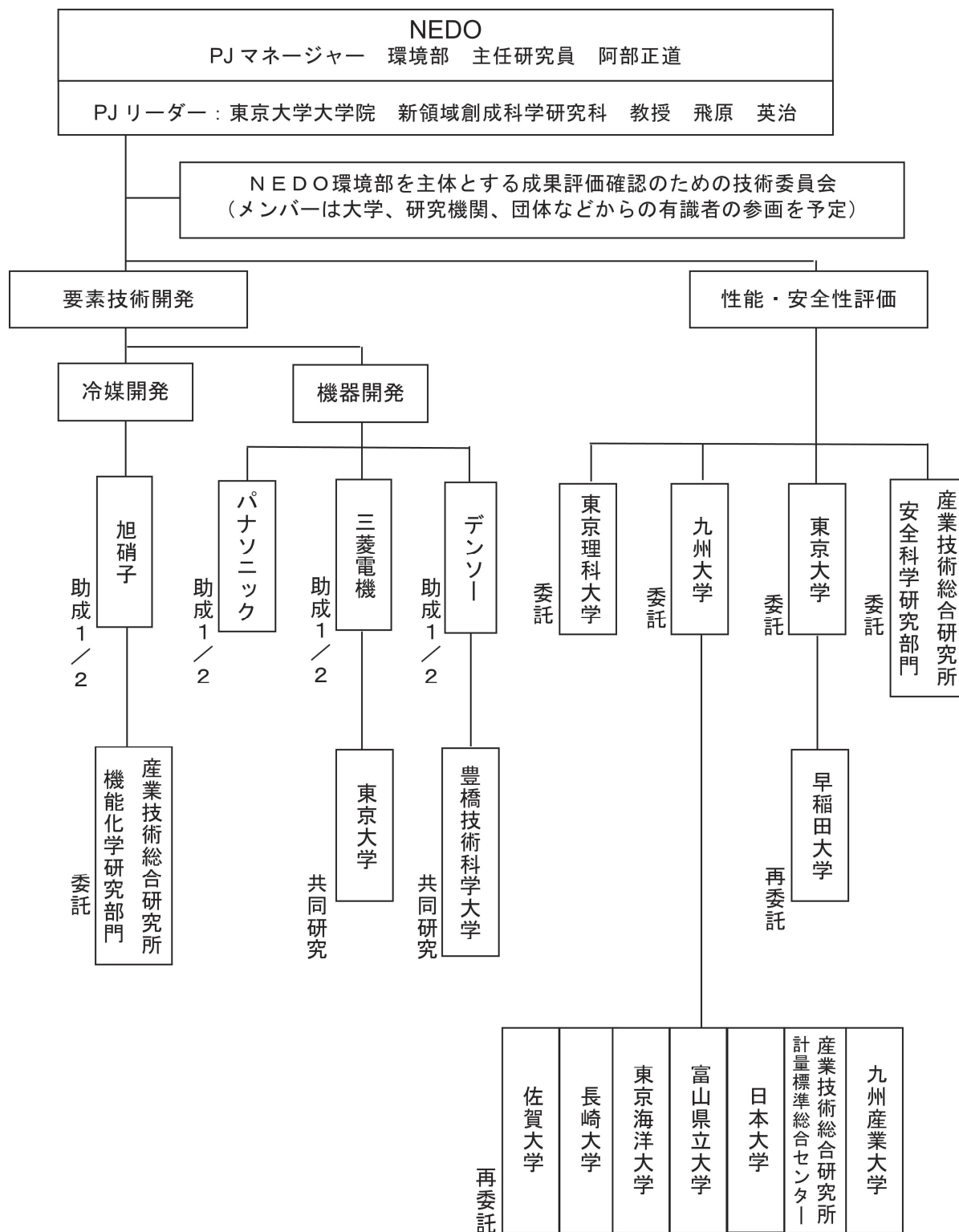


図 2.2-1 プロジェクトの実施体制全体図（平成 28 年度）

平成 28 年度内に他律的な事情が発生し、平成 29 年度に繰越した事業がある。図 2.2-2 に平成 29 年度の実施体制全体図を示した。

委託先は、国立大学法人東京大学、国立大学法人九州大学、助成先は、旭硝子株式会社、三菱電機株式会社である。

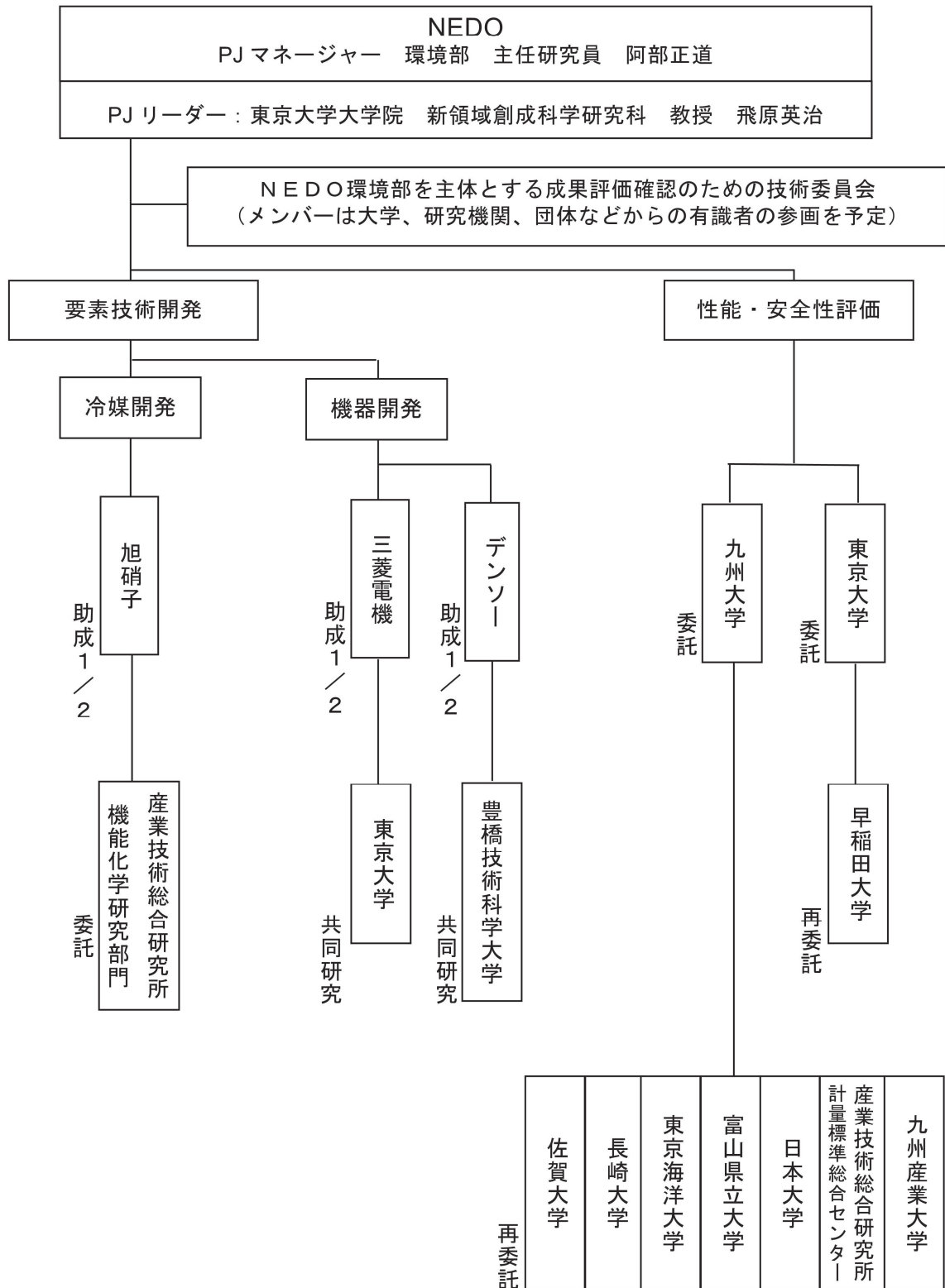


図 2.2-2 プロジェクトの実施体制全体図（平成 29 年度）

2.3 研究開発の運営管理

NEDO は、経済産業省、プロジェクトリーダー及び各研究開発責任者等と密接な関係を維持しつつ、プロジェクトの目的、目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、外部有識者の意見を運営管理に反映させるため技術委員会を定期的に開催するとともに、プロジェクトリーダーと各事業の進捗管理を行った。

本研究開発は基礎研究（委託）と実用化研究（助成）の2つの研究開発フェーズに分け運営管理・予算管理を適切に行った。

運営管理の流れを以下に示す。

- (1) 月例報告（委託先／助成先より研究進捗報告書（月報）を提出）
・ NEDO 及びプロジェクトリーダー(PL)による確認・把握
- ↓
- (2) NEDO 及び PL による委託先／助成先のヒアリング
- ↓
- (3) (1) (2) による研究進捗の整理
・ NEDO における次年度繰越案の策定（計画修正・予算配分）
- ↓
- (4) 技術委員会による評価（年度末及び事業終了前）

2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- 1) 運営管理に従った、計画・予算の絞り込みにより、実用化・事業化の可能性の高い技術開発に資源を集中した。
- 2) 技術委員会等において各事業者は実用化・事業化の見通しについて発表、それに対してプロジェクトリーダー、技術委員（外部有識者）が意見を述べるとともに助言を行い、各テーマの研究開発内容にフィードバックさせる。
- 3) 研究開発項目①（助成事業）は原則として競争的雰囲気を実施する。したがって、成果報告等は各事業者個別に呼び込み方式で実施する。
- 4) 研究開発項目②（委託事業）は公共性が高いことから、産業界を加えた研究会を通じて成果を共有する。
 - ・ 東京大学飛原教授（プロジェクトリーダー）が主体となり発足。
 - ・ 研究開発項目①で実施する低温室効果冷媒の安全性に関するリスク評価条件に、産業界のニーズを反映させるとともに、得られた成果を産業界へ積極的に発信し、本プロジェクトの研究開発項目②の研究内容にフィードバック。
- 5) 知的財産に関して
 - ・ 研究開発項目②（助成事業）については、各事業者毎の企業戦略（積極的な出願、ノウハウ秘匿のための出願抑制等）に沿った知的財産管理を推奨している。
 - ・ 研究開発計画①（委託事業）については、主として公共的な知的基盤の整備を目的とするため、原則として成果は積極的に公表する方針としている。（ただし、知的財産取得を妨げるものではない。）

3. 情勢変化への対応

国内外の規制動向を注視しつつ、研究開発を実施。

3.1 高圧ガス保安法

2016年11月1日に、「高圧ガス保安法施行令の一部を改正する政令」等が施行され、環境負荷の小さい微燃性の新冷媒の利用手続きが簡素化されるとともに、当該ガスの特性を踏まえた技術基準が整備された。HFC-32、HF0-1234yf 及び HF0-1234ze は「特定不活性ガス」として取り扱われ、高圧ガスとして使用する際の許可が必要となる事項のうち、一部は届出で良いこと、当該ガスの冷凍設備を設置する際に換気設備や警報装置を設置すること等とされた（表 3.1-1）。これをふまえ、当該冷媒実用化に対する戦略的な技術開発を行った。

表 3.1-1 高圧ガス保安法 冷凍保安規則の規制体系の概要

冷媒の種類	冷凍能力（1日当たりの能力）※3				
	3トン未満	3トン以上 5トン未満	5トン以上 20トン未満	20トン以上 50トン未満	50トン以上
フルオロカーボン（不活性ガス）	法の適用を受けない。 許可・届出は不要	法の適用を受けない。 許可・届出は不要。	法の適用は受ける。※2 許可・届出は不要。	届出（第2種製造者）	許可（第1種製造者）
【改正後】 フルオロカーボン（特定不活性ガス） R32、R1234yf、R1234ze のみ※1		法の適用を受けない。 許可・届出は不要。	法の適用は受ける。※2 許可・届出は不要。	届出（第2種製造者）	許可（第1種製造者）
【改正前】 フルオロカーボン（不活性ガスを除く。）、アンモニア		法の適用は受ける。（その他製造者）※2 許可・届出は不要。	届出（第2種製造者）		許可（第1種製造者）
上記以外 二酸化炭素、可燃性ガス等		届出（第2種製造者）		許可（第1種製造者）	

※1 R32、R1234yf、R1234ze 以外の不活性ガスでないフルオロカーボン及びアンモニアについては、今回の改正においても取扱いは変更なし。

※2 「法の適用は受ける」については、技術上の基準への適合が必要であることを示している。

※3 1 冷凍トンは 1 日（24 時間）に 1 トンの 0℃の水を氷にするために除去すべき熱量のこと。

出典：指定製品の対象に関するフォローアップ（経済産業省、2016）

また、2017年7月25日以降、二酸化炭素冷媒を用いた冷媒設備を使用する際の事務手続きの緩和など規制が緩和された。具体的には、冷凍能力が20トン以上50トン未満の設置については従来の許可対象から届出対象とし、20トン未満の設備については届出が不要となった。これにより、二酸化炭素冷媒の一層の普及が期待される。

3.2 モントリオール議定書によるオゾン層等破壊物質の生産消費規制

2016年10月にルワンダの首都キガリにおいて、モントリオール議定書第28回締約国会合（MOP28）が開催され、HFCの生産及び消費量の段階的削減義務等を定める議定書の改正（キガリ改正）が採択された。本改正では、HFCの生産及び消費量の段階的削減義務として、①先進国においては、2011-2013年の平均数量等を基準値として、2019年から削減を開始し、2036年までに85%分を段階的に削減、②開発途上国においては、（ア）第一グループ（中国・東南アジア・中南米・アフリカ諸国・島嶼国等、グループ2以外の開発途上国）は2020-2022年の平均数量等を基準値として、2024年に凍結、2045年までに80%分を段階的に削減、（イ）第二グループ（インド・パキスタン・イラン・イラク・湾岸諸国）は、2024-2026年の平均数量等を基準として、2028年に凍結し、2047年までに85%分を段階的に削減することになった（表3.2-1、図3.2-1）。この段階的な削減目標を視野に入れた、抜本的解決のための技術開発の促進を行った。

表 3.2-1 キガリ改正における HFC 生産・消費の段階的削減スケジュール

	開発途上国 第1グループ	開発途上国 第2グループ	先進国
基準年	2020-2022年	2024-2026年	2011-2013年
基準値 (CO ₂ 換算とする)	各年のHFC量の平均 +HCFCの基準値の 65%	各年のHFC量の平均 +HCFCの基準値の 65%	各年のHFC量の平均 +HCFCの基準値の 15%
凍結年	2024年	2028年	なし
第1段階	2029年 ▲10%	2032年 ▲10%	2019年 ▲10%
第2段階	2035年 ▲30%	2037年 ▲20%	2024年 ▲40%
第3段階	2040年 ▲50%	2042年 ▲30%	2029年 ▲70%
第4段階			2034年 ▲80%
最終削減	2045年 ▲80%	2047年 ▲85%	2036年 ▲85%

(注1) 2022年、及びその後5年ごとに技術評価を実施する。

(注2) 途上国第2グループについて、凍結年(2028年)の4～5年前に技術評価を行い、凍結年を2年間猶予することを検討する。

(注3) 先進国に属するベラルーシ、露、カザフスタン、タジキスタン、ウズベキスタンは、規制措置に差異を設ける(基準値の算出方法として、HCFCの基準値の25%を算入、及び削減スケジュールについて、第1段階は2020年に▲5%、第2段階は2025年に▲35%削減とする)。

出典：NEDO 環境部作成(2017)

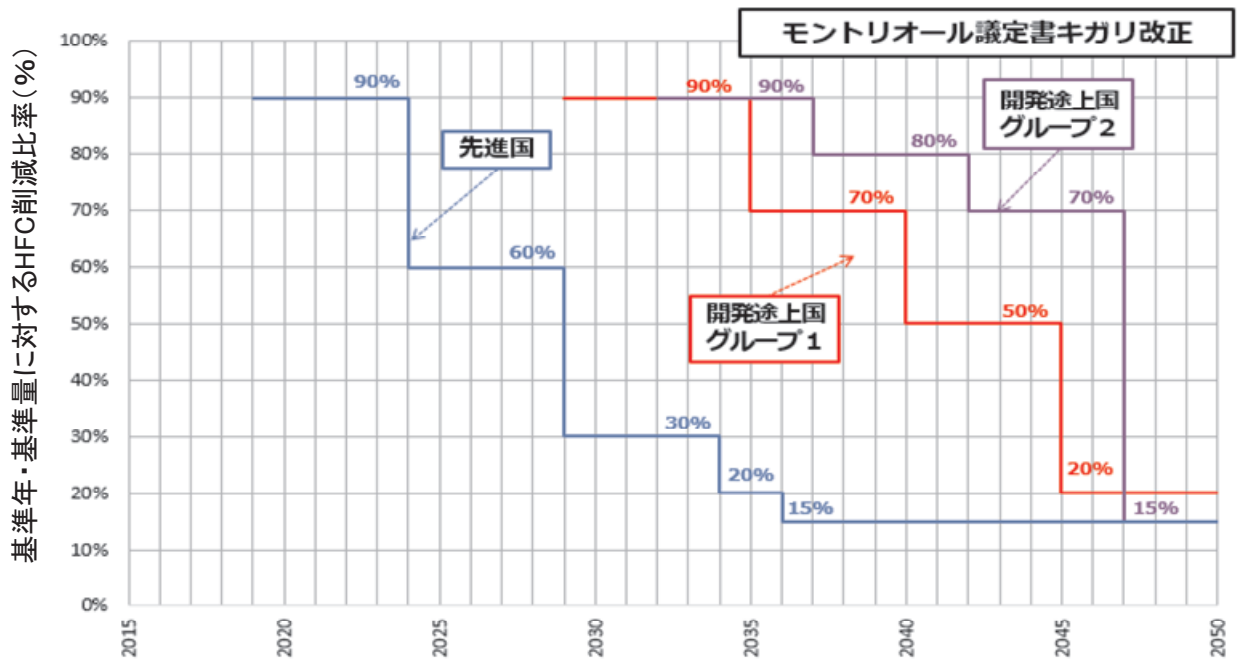


図 3.2-1 キガリ改正における HFC 生産・消費の段階的削減スケジュール

出典：NEDO 環境部作成(2017)

3.3 標準化の動向

低 GWP 冷媒の社会実装に関する国際規格としては ISO5149 (機器)、ISO817 (冷物性)、IEC60335-2-40 (空調)、IEC60335-2-89 (冷凍空調) が、北米規格として ASHRAE34 (冷媒物性)、ASHRAE15 (機器) がある。これら国際規格及び北米規格には、一般社団法人日本冷凍空調工業会から委員を派遣し、日本提案を行っている。業務用冷凍空調機器に対する国際規格 IEC60335-2-89 (冷凍空調) において、HC 冷媒充填量拡大に関する改正審議が行われており、これを注視しつつ実環境を踏まえた適切な安全性評価を促進した。

4. 評価に関する事項

NEDO は、国の定める技術評価に係わる指針及び NEDO が定める技術評価実施要領に基づき、技術的及び実用化の観点から、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事後評価を平成 29 年度に実施する。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に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発

1.1.1 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発【旭硝子株式会社】

中小型空調機器で使用されている既存冷媒の GWP の大幅な低減と冷媒性能を両立することを目的として、HF0-1123/HFC-32/HF0-1234yf 混合冷媒を対象に下記研究項目を実施した。

- ・基本本特性評価
- ・安全性評価（毒性評価、燃焼性評価、固有安全性評価）
- ・実用化評価（機器性能、冷凍機油、回収装置、材料適合性）
- ・委託研究（燃焼性）

1.1.2 低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発【パナソニック株式会社】

低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発を目的として、中間目標と最終目標に向けた以下の取組みを実施した。

- ・中間目標（ステップ 1）に向けた取組み
入手可能な HF0・HFC 冷媒（混合冷媒）の省エネ性能評価と信頼性評価
- ・最終目標（ステップ 2）に向けた取組み
主成分の一つと考える HF0 冷媒の課題を把握し、解決策を立案・検証

1.1.3 自然冷媒を適用したルームエアコンの研究【三菱電機株式会社】

低 GWP 冷媒である HC 冷媒の安全性確保のため省冷媒化（冷媒充填量 320g 以下）を高効率/省冷媒熱交換器を用いることで達成した上で性能は HC 冷媒対応の高効率圧縮機、高効率/省冷媒熱交換器の搭載、吸入配管径増加、冷凍サイクル状態の調整等で現行冷媒 R32 と同等を確保した。

1.1.4 高効率エジェクタを使用した CO2 冷媒空調システムの開発【株式会社デンソー】

R32 と同等の APF を CO2 で実現することを目的として、下記の研究項目を実施した。
なお、本プロジェクトでは性能差の大きい冷房条件を対象とした。

- ・高効率エジェクタの開発
超臨界からの減圧過程を解明し、高効率なノズルの設計を目的とした数値解析の構築に必要な指針を得るための基礎評価を行った。
エジェクタの完成試作機を作成し、冷房条件にてエジェクタ効率 50%以上を達成する仕様の確立を目指した開発、評価を行った。
- ・高効率コンプレッサの開発
連続インジェクションコンプレッサにおいて、吐出流量増加 23%以上と、効率低下値 2.0%以内を達成する仕様を確立するための開発、評価を行った。
二段圧縮コンプレッサにおいて、構想を具体化し、ポテンシャルを見極める基礎評価を行った。
- ・高効率サイクルの開発
前記エジェクタを用いたインジェクションサイクルにて冷房条件下 R32 同等の COP 達成の目処付けを評価及びシミュレーションにて行った。

1.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価

1.2.1 事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント【学校法人東京理科大学】

本研究では、特に 1 台当たりの冷媒量は少ないものの、市中流通台数の多さから大気中への HFC 漏洩源として影響が大きいと思われる、中小型空調機器の低 GWP 冷媒への転換に注目した。漏洩シナリオ及び想定着火源による着火可能性及びフィジカルハザード評価を実施し、中小型空調機器へのプロパンの適用可能性を検討することとした。本研究はⅡ-2.1.2.1 節に示す 2 つのサブテーマにより構成されており、その概要及び主な成果は以下のとおりである。

① 中小型空調機器に低 GWP 冷媒を適用する際に発生しうる事故シナリオの抽出

大学、研究機関、冷凍空調機器メーカー（工業会）が一堂に会するコンソーシアムとして、（公社）日本冷凍空調学会内に設置された「次世代冷媒リスク評価研究会」に参画して、産官学合同で中小型空調機器からのプロパン漏洩シナリオ及び着火源を検討した。加えて、実験条件の決定に際しては、一般社団法人日本冷凍空調工業会技術部担当者、当 NEDO 事業に参加し自然冷媒使用機器の開発研究を実施している機器メーカー担当者との意見交換を行った。その結果、評価対象として①室内機と室外機の接続配管からプロパンが急速に噴出漏洩した場合（以下急速漏洩と表記）、②室内機及び室外機から居室内あるいはベランダへ、人が気づかない程度の微速で漏洩し滞留した場合（以下微速漏洩滞留と表記）の 2 つのシナリオを抽出した。また、着火源として①電気スパーク（静電気スパークを模擬）、②裸火、③高温表面 をとりあげた。

② 低 GWP 冷媒の使用時及び整備時における火災発生可能性及びフィジカルハザード評価

(a) 急速漏洩

配管の亀裂や破断を考慮したピンホールからプロパンを噴出させて濃度分布を計測し、これにより求めた等濃度線図から燃焼範囲の形成領域を視覚的かつ定量的に明らかにした。また、模擬静電気スパーク（直流放電）及び裸火を着火源とした実験を行い、噴流速度、着火源のエネルギー密度及び濃度分布から、着火の有無を判定できる手法を構築した。また高温表面を着火源とした場合、本実験の温度及び噴出時間の範囲内では、着火しないことを明らかにした。

(b) 微速漏洩滞留

室外機からベランダへの漏洩を模擬した実験を行い、測定した濃度分布をもとに燃焼範囲の形成領域を視覚的かつ定量的に明らかにした。特に、ベランダの排水口を模擬した開口部の開閉が滞留抑制及び燃焼範囲の形成抑制につながる効果はほとんどないことが明らかとなった。さらに、着火時の燃焼威力は、ピーク過圧・爆発強度指数（ K_G 値）は文献値の半値程度、室内温度上昇は最大で 450 °C 程度であることを示した。

以上により得られた成果は、今後プロパン等の強燃性自然冷媒を中小型空調機器に適用するためのリスクアセスメントの資料としての活用が期待できる。

1.2.2 中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価【国立大学法人九州大学】

本研究では、H23 年度～H27 年度の NEDO 研究プロジェクト「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」で新規に開発された、日本初の国産冷媒である HF0-1123 純冷媒および HF0-1123 + HFC-32 混合冷媒に注目して、新規低 GWP 混合冷媒を中小型空調機器用冷媒として使用するための熱物性、伝熱特性およびサイクルに関する基礎技術を構築することを目的として、下記の研究項目を実施した。

① HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価

- (a) 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定
- (b) 気液平衡性質の測定
- (c) 比熱の測定
- (d) 音速の測定
- (e) 状態方程式の開発

- (f) 輸送的性質の測定
- ② HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価
 - (a) プレート式熱交換器内の伝熱特性評価
 - (b) 扁平多孔管内の伝熱特性評価
 - (c) 円管内の伝熱特性評価
- ③ 低GWP冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価
 - (a) 容積圧縮式ヒートポンプサイクル性能評価

以上の研究開発によって、以下の主たる成果が得られた。

- ① HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価

【純冷媒 HF0-1123】

- (1) 等容法によるPVT性質測定を行ない温度310K～430K、計8本の等容線に沿った77点のデータを得た。27点の飽和蒸気圧を再測定し、飽和蒸気圧相関式も作成した。
- (2) HF0-1123の臨界定数を $T_c=331.73$ K、 $\rho_c=504$ kg·m⁻³、 $P_c=4544$ kPaと決定した。
- (3) サーマルフロー式カロリメータを開発し、気相域定圧比熱3点を測定した。金属ベローズ型カロリメータを用いて、25°C、5MPaの液相域定圧比熱1点を測定した。
- (4) 気相域における音速を323～333 K、400 kPaまでの範囲で測定し、理想気体比熱を求めた。263～333 Kの温度範囲における理想気体比熱の温度相関式を作成した。
- (5) 本研究で得られた熱物性情報に基づいて、HF0-1123に関するヘルムホルツ型状態方程式を開発した。作成した状態式は、REFPROP次期バージョンに組み込まれる。

【混合冷媒 HF0-1123+HFC-32】

- (1) 等容法によるPVT_x性質測定を、40mass%HF0-1123および60mass%HF0-1123混合冷媒で行なった。この2組成の臨界定数も測定し、臨界軌跡の相関式を作成した。
 - (2) 循環式気液平衡測定装置を用い、2研究機関で独立した気液平衡測定を実施した。
 - (3) サーマルフロー式カロリメータで、気相域の混合冷媒の定圧比熱を1点測定した。
 - (4) 40mass%HF0-1123混合冷媒の気相域の音速を303～333 Kの範囲で測定した。
 - (5) 40mass%HF0-1123混合冷媒の熱伝導率は、1.2～4.3MPa、15～60°Cの圧縮液および過熱蒸気で測定し、粘度に関しては、3.2～4.6MPa、-15～20°Cの圧縮液の条件で測定した。
 - (6) 既公表のHF0-32状態方程式と、作成したHF0-1123状態方程式を、ヘルムホルツ自由エネルギーの混合則に基づいて組み合わせ、混合冷媒の状態方程式を開発した。
- ② HF0-1123などを成分物質とする混合冷媒の伝熱特性評価
40mass%HF0-1123/60mass%HFC-32混合冷媒を主たる対象冷媒として、
 - (1) プレート式熱交換器流路内の蒸発および凝縮における局所熱伝達率の測定を行い、流路両端の熱伝達率が小さいこと、流路出入口側の面の熱伝達率が高いことがわかった。またHFC-32純冷媒の伝熱特性と比較検討を行った結果、混合物の熱伝達率は、HFC-32純冷媒の熱伝達率と同程度であることが確認された。
 - (2) 管幅16 mm、管厚み1.9 mm、水力直径1.2 mmのアルミニウム製扁平多孔管を用いて、凝縮および蒸発熱伝達率および圧力損失の測定を行い、HFC-32との比較を行った。混合冷媒の凝縮および蒸発熱伝達率は、HFC-32に比べて幾分低い値を示した。また、圧力損失は凝縮および蒸発過程ともにHFC-32よりも低い値を示した。
 - (3) 外径6mm、フィン数60、ねじれ角18°の銅製らせん溝付管内における混合冷媒の伝熱特性を測定した。凝縮熱伝達率はHFC-32に比して幾分低いが、蒸発熱伝達率はほぼ同等であった。また、圧力損失は凝縮・蒸発課程でともに幾分低かった。
 - ③ 低GWP冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価
GWP値が393および285の2種類のHF0-1123/HFC-32系混合冷媒について、水熱源ヒートポンプサイクル試験装置を用いて、暖房2条件および冷房1条件のサイクル性能の評価試験を行い、GWP=393の混合冷媒のサイクル性能はR410Aと同等、GWP=285の混合冷媒のサイクル性能はR410Aに比して若干低いことを明らかにするとともに、それらサイクル性能と冷媒の熱力学的特性および凝縮・蒸発熱交換特性との関係を検討した。

以上へ挙げたように、HF0-1123 純冷媒および HF0-1123+HFC-32 混合冷媒の基本物性および性能評価を解明したことは、特に低い温度域で利用する冷媒選択肢が少ない現状の中で極めて有益で、中小型家庭用ヒートポンプ冷媒の低 GWP 化の可能性に道を拓くものである。HF0-1123 に関しては、不均化反応の影響などのリスク評価の判断が難しい現状ではあるが、その抑制効果も期待できる混合物としての HF0-1123+HFC-32 混合冷媒が R410A などの代替冷媒として使用可能であることを示したことは、中小型空調機器の低 GWP 化を促進する上で有用である。さらに、取得した熱物性が、NIST の REFPROP の新バージョンに採用され、2017 年末に公開されることになったことは、我が国初の国産冷媒 HF0-1123 を世界に広める上でも、今後の低 GWP 冷媒を用いた空調機器を民間企業等が設計する上で極めて有用である。

1.2.3 低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価【国立大学法人東京大学】

「可燃性冷媒が室内へ漏えいした時の濃度分布解析」については、ルームエアコンからの冷媒漏えい実験を行い、濃度が拡散する過程を精緻に測定した。その結果に基づいて、CFD モデルの検証を行った。

「エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発」に関しては、新たにプロパンを冷媒として実験を行い、冷媒の燃焼性よりも潤滑油の燃焼性のほうがディーゼル爆発の起きやすさを左右することが分かった。

「HF0 系冷媒の自己分解反応の分析」については、HF01123 冷媒の不均化反応の発生条件と抑制方法について、熱理論に基づく仮説をたて、その実証実験を行った。まだ検証途中であるが、有用な情報が得られつつある。

「低 GWP の可燃性冷媒の燃焼時におけるリスク評価」については、日本冷凍空調学会に次世代冷媒リスク評価研究会を組織し、プロパンなどの強燃性冷媒のリスク評価を検討した。

「新冷媒の熱交換器性能」については、プロパンの熱交換器性能を実験により求めるとともに、潤滑油が混入しているときの影響を明らかにした。潤滑油の濃度が 2%未満の場合、蒸発器性能に与える影響は少ないことを明らかにした。また、高温ヒートポンプや有機ランキンサイクルに用いられる可能性のある低 GWP 冷媒について、超臨界圧における加熱伝熱特性を明らかにした。

「中小型空調機器の実性能評価技術の開発」については、新冷媒のサイクル特性をシミュレーションにより明らかにすることを目的として、ドロップイン試験を模擬するシミュレーションソフトウェアを開発した。

1.2.4 自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価【国立研究開発法人産業技術総合研究所】

中小型家庭用室内空調機に自然冷媒が使用された場合を想定して、実寸大のフィジカルハザード評価を行うことを目的として、下記の研究項目を実施した。

- ・中小型家庭用室内空調機に関する事故シナリオを検討し、評価を行う漏洩条件や実寸大模擬空間の仕様を決定した。
- ・実寸大模擬空間を利用した自然冷媒の漏洩拡散濃度分布の計測と着火時のフィジカルハザード評価を行い、許容充填量を守っている限り 4 分間全量放出の条件でも放出終了後には可燃濃度域がないことを確認した。
- ・室外機からの漏洩冷媒着火時の火炎影響に関するフィジカルハザード評価を行い、作業等による放出廃棄の際に着火事故が起きると危害度が高いことを示した。

2. 研究開発項目毎の成果

研究開発は順調に進捗し、研究開発テーマ毎の最終目標に対する達成度は、表 2-1 に示す通り、全てのテーマが「目標達成」となっている。低 GWP 冷媒の適用を目指し異なった冷媒種に対し、短期間の状況下において、十分な成果を得ていると考えられる。

論文などの成果は、表 2-2 の通りである。助成事業である研究開発項目①においては、研究開発途上ということもあり、知的財産の観点からも、現時点での成果の外部発表は少ない。一方、委託事業であり、公共的な知的基盤整備を目標としている研究開発項目②においては、論文投稿、講演発表等が多く実施されている。

知的財産権の状況については、表 2-3 の通りである。研究開発途上ということもあり、特許等の登録には至っていない。また、研究開発項目②に関しては、公共性の強いテーマであるため、現時点で知財等が発生していない。

表 2-1 最終目標に対する達成度

研究開発項目	対象技術等	テーマ	最終目標	成果	自己評価
①要素技術開発	低 GWP 冷媒開発	高効率かつ低温室効果の冷媒の開発	中小型空調機器の省エネ化・高効率化実現のために必要となる基盤要素技術を確立する。	中小型空調機器で使用されている既存冷媒の GWP の大幅な低減と冷媒性能を両立することを目的に、HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf 混合冷媒を対象に検討を行い、基盤要素技術を確立するとともに、最適な冷媒組成物の選定を行った。	○
	低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンを開発	低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発	事業者最終目標の低 GWP 冷媒を使用したルームエアコンの要素技術確立	主成分の一つと考える HFO 冷媒を用いて、事業者最終目標の低 GWP 化が実現できる可能性を確認。	○
	HC 冷媒（プロパン）をルームエアコンに適用	自然冷媒を適用したルームエアコンの研究	HC 冷媒を用いたルームエアコンで従来冷媒と同等性能かつ安全性を確保出来る冷媒充填量以下	圧縮機の高性能化、細径マイクロファンにより性能確保により目標値達成。漏洩試験により目標冷媒量の安全妥当性も確認。	○
	C02 を適用し、現行の R32 冷媒と同等の APF を達成	高効率エジェクタを使用した C02 冷媒空調システムの開発	冷房条件にて C02 冷媒で R32 同等の COP を達成する。（COP+31%）	試作エジェクタ及びインジェクションを採用した試作機において冷房定格条件で COP+31% の見込みを得た。冷房中間条件においては定格条件の結果を加味したシミュレーションにより COP+31% の達成見込みを得た。	○
②性能・安全性評価	火災・爆発発生の危険性及び火災爆発事故発生時の物理的危険度	事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント	中小型空調機器冷媒への低 GWP 冷媒適用の可能性を検討するために、実際の使用条件を想定した事故シナリオを抽出し、火災・爆発発生の危険性及び発生時の物理的危険度（フィジカルハザード）を実験的に評価する。	産官学連携の下で事故シナリオ及び着火源を抽出した。これに基づき実験を行い、 ①プロパン噴流の着火判定手法を構築した。 ②漏洩滞留空間底部の排水口が漏洩冷媒の滞留防止及び可燃性混合気形成抑制に及ぼす効果はあまりないことを示した。 ③燃焼威力を定量的に評価できるようピーク過圧・KG 値・温度データを整備した。 以上により、プロパンを中小型空調機器に適用する際の着火可能性及びフィジカルハザードを定量的に評価できた。	○

	冷媒の物性・性能評価	中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価及び基本サイクル性能評価	<p>HFO-1123 純冷媒及び HFO-1123 などを成分物質とする混合冷媒の熱物性評価・伝熱特性評価、低 GWP 冷媒候補物質のヒートポンプサイクル性能評価を行い、冷媒物性や冷媒性能を明らかにする。</p>	<p>HFO-1123+HFC-32 混合冷媒が、熱物性評価、伝熱性能評価、サイクル実験によるヒートポンプサイクル性能評価から、次世代冷媒として使用できることを実証した。</p> <p>低 GWP 冷媒 HFO-1123 および低 GWP 混合冷媒 HFO-1123+HFC-32 の熱力学性質を算出するための状態方程式を、世界で初めて作成し、NIST の REFPROP Ver. 10 を利用して、世界中で計算が可能になるようにした。</p>	○
	低 GWP 冷媒の性能及び安全性評価	低 GWP 冷媒を用いた空調機器の性能及び安全性評価	<p>低 GWP 冷媒を安全に使用するために評価すべき事柄について、共通基盤的な情報を提供し、低 GWP・微燃性冷媒の実用化を促進する。</p>	<p>モントリオール議定書キガリ改正の規制を見通して、GWP が極めて小さい炭化水素や HFO 冷媒のリスク評価を行うのに必要な燃焼特性や固有反応発生可能性について学術的な情報を提供した。</p> <p>産学官が協力して、新規低 GWP 冷媒のリスク評価を実施に協力した。</p>	○
	実寸大フィジカルハザード評価	自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価	<p>中小型家庭用室内空調機に自然冷媒が使用された場合を想定して、実寸大のフィジカルハザード評価を行う。</p>	<p>IEC60335-2-40 の最大許容充填量を守った場合の漏洩拡散挙動と燃焼爆発影響評価を行った。</p> <p>許容充填量を守っている限り 4 分間全量放出の条件でも放出終了後には可燃濃度域がないことを確認した。</p>	○

【◎：計画以上、○：計画通り（目標達成）、△：ほぼ計画通り（一部未達）、×：計画未達】

表 2-2 論文等の成果

研究開発項目 区分	成果の発表		計
	① 要素技術開発	② 性能・安全性評価	
論文 (査読付き)	0	12	12
論文 (その他)	0	18	18
その他外部発表 (プレス発表等)	0	0	0
計	0	30	30

表 2-3 本事業の特許状況

研究開発項目 区分	特許出願		計
	① 要素技術開発	② 性能・安全性評価	
国内	6	0	6
外国	0	0	0
PCT※出願	3	0	3
計	9	0	9

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

以下、研究開発テーマ毎に研究開発成果の詳細を述べる。

2.1 高効率かつ低温室効果の空調機器を実現する要素技術開発

2.1.1 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発【旭硝子株式会社】

<研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度
テーマ：高効率かつ低温室効果の冷媒の開発		
中小型空調機器の省エネ化・高効率化実現のために必要となる基盤要素技術を確立する。	中小型空調機器で使用されている既存冷媒の GWP の大幅な低減と冷媒性能を両立することを目的に、HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf 混合冷媒を対象に検討を行い、基盤要素技術を確立するとともに、最適な冷媒組成物の選定を行った。	○
[1]地球温暖化		
地球温暖化係数(100年間)GWP が 150 以下	HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yfより構成される混合冷媒の選定に際して、高 GWP を有する HFC-32 の組成制限を付与することにより、目標 GWP 値を満足する組成物を選定した。	○
[2]燃焼性		
不燃性～微燃性(ASHRAE 安全性区分:1～2L)	HFO-1123、HFC-32 及び HFO-1234yf から構成される GWP150を満足する候補媒体について、燃焼範囲および燃焼速度の評価を実施し、何れも目標である ASHRAE 安全区分2L に該当することを確認した。	○
[3]毒性		
低毒性(LC50>20,000ppm)	候補媒体構成成分である HFO-1123、HFC-32 及び HFO-1234yf はラットを用いた LC50(4時間)値は何れも20,000ppm 以上であり、目標値を満足すると考える。	○
[4]冷媒性能		
現行冷媒である R410A 又は R32 と同等以上の冷媒性能	HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yfより構成される混合冷媒のドロップイン性能について、実機を用いたドロップイン試験、並びに圧力損失を考慮したシミュレーション及び安全性(燃焼性、不均化反応)を考慮し、最適組成物を選定した。本組成物は機器の最適設計により、現行と同等のサイクル性能を達成するものとする。	○

【 ◎:計画以上、○:計画通り(目標達成)、△:ほぼ計画通り(一部未達)、×:目標未達 】

2.1.1.1 基本特性評価

HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf を対象に冷媒性能及び GWP の両立を可能とする適切な混合冷媒組成物を選定した。冷媒性能評価は、熱力学性質に基づくサイクルシミュレーション並びにドロップイン試験結果、及び安全性の点より不均化領域を考慮し、空調運転において、安全に使用できる組成とした。

圧力損失を考慮したルームエアコンへのドロップインシミュレーション評価の結果、

- ・ HFO-1123 濃度の増加と共に COP が増加する
- ・ GWP の低減に伴い HFO-1123 濃度増加に伴う COP の増加割合が大きい

事が確認され、HFO-1123 の有効性を確認した。

なお、冷媒の選定、並びに機器設計に際して必要となる高精度な熱力学性質並びに輸送特性に関する情報取得に関しては、重複研究の排除並びに試験の効率化を図るため、研究項目「低温室効果冷媒の性能、安全評価」にて得られた研究成果のフィードバックを得る事とし、評価用試料の提供協力を行った。

2.1.1.2 安全性評価

2.1.1.2.1 毒性評価

(i) 吸入毒性試験／代謝予測

冷媒として事業化するためには、ヒトに対する安全性を確保するための必要十分な安全性評価が求められる。HF0-1123についてはラットを用いた種々毒性試験で安全性が確認されているが、上記の目的から、ヒトへの外挿を視野に入れた安全性評価を行った。その結果、HF0-1123の影響発現にHF0-1123の代謝機構が関与することが示唆された。

(ii) 基礎毒性評価（環境影響試験）

HF0-1123に関しては、環境影響データが不足しており、グローバルに展開する上では、各国の申請にこれらのデータが不可欠となる。そこで、環境中での分解度試験、蓄積性試験（オクタノール／水分配係数）、水生生物を用いた生態毒性試験（藻類生長阻害、ミジンコ遊泳阻害、魚類急性毒性）を実施した。その結果、活性汚泥に対し難分解性であるが、蓄積性はないことが確認され、また、水生生物への影響もないことが確認された。

2.1.1.2.2 燃焼性評価

(i) 燃焼範囲

冷媒組成物の燃焼性評価に重要である燃焼範囲の評価を実施した。評価方法としては、国内高圧ガス保安法で定められているA法、並びにASHRAE34及びISO817にて採用されているASTM法の2手法に基づき実施した。評価の結果、地球温暖化係数（GWP）が150となる混合組成物はどれもASHRAE34規格の安全区分2に該当する事を確認した。

(ii) 燃焼速度

HF0-1123、HFC-32、HF0-1234yfを構成成分として含み地球温暖化係数（GWP）が150となる混合組成物について円管法による乾燥条件での燃焼速度評価を行い、いずれの組成物も乾燥条件での燃焼速度は測定装置（円管法）の下限（4cm/sec）以下であることが判明した。本評価結果よりASHRAE34規格の安全区分2Lに相当する微燃特性を持つことを確認した。

2.1.1.2.3 固有安全性評価

HF0-1123は単独で自己分解反応を生じる課題を有している。これまでの自己分解反応試験では白金線溶断の着火システムで評価を実施してきたが、空調機器のリスク評価を行ってきた経緯の中でHF0-1123の自己分解反応を発生させる着火リスクとしては圧縮器内部のモーターコイルの絶縁破壊によるレイヤーショートであることを明らかにしてきた。また、白金溶断と電気スパークによる着火では、同じエネルギーでも自己分解反応発生に至る確率が異なることも確認されている。我々は空調機器の運転時に圧縮器内部で発生する温度、圧力条件で任意のエネルギーを持つスパークを発生させる着火システムを考案し、HF0-1123の自己分解反応が発生するスパーク着火エネルギーを評価することで空調機器において安全に使用できるHF0-1123組成を評価した。

空調機異常状態（高温、高圧）を想定した自己分解性評価結果より、インバーター機種においては、空調機通常運転状態においてHF0-1123濃度60wt%までは自己分解性を有しないと想定される。また自己分解反応による危害度の低減を目的とした安全装置の有効性検証を実施した。安全装置（安全弁）により自己分解反応による圧力上昇抑制を確認し、装置破損状況から危害度の低減を確認したが、本試験の安全弁仕様では装置破損を防止するところまでは至っていない。

2.1.1.3 実用化評価

2.1.1.3.1 機器性能

HF0-1123/HFC-32/HF0-1234yf 混合冷媒の実機冷媒性能を4kWクラスのR32ルームエアコンを用いたドロップイン試験として機器メーカーにて実施した。HFC-32にて最適化された機器を用いたドロップイン試験では現行機よりもAPFが低下する結果であるが、機器の最適化により、性能向上が期待できると考えられる。なお、試験条件はJIS B8651-1に基づいて実施された。

2.1.1.3.2 冷凍機油

HF0-1123/HFC-32/HF0-1234yf 混合冷媒に適した冷凍機油の検討を行った。冷媒組成としてはGWP150を下表に示す2組成物を選定した。冷凍機油としてはHFC冷媒で実績のあるPOE油を選定

した。

表 2.1.1.3.2-1 評価冷媒

冷媒組成 [wt%]	HF0-1123	40	60
	HFC-32	22	22
	HF0-1234yf	38	18

(i) 相互溶解性

冷媒と冷凍機油の相互溶解特性を油分率 20%にて評価した。粘度グレードの異なる 3 種類の POE 油について実施した結果、何れも低温側分離温度は -60°C 以下であったが、高温側分離温度に関しては、粘度の増加に伴い低下すると共に、同一粘度グレードでは HF0-1123 濃度の増加に伴いこと低下することを確認した。評価の結果、粘度グレード VG32 並びに VG68 は実用上十分な相互溶解性を有していることを確認した。

(ii) 熱安定性

冷媒と冷凍機油の熱安定性を POE (VG68) 油について実施した。 175°C 及び 200°C の温度条件下にて 14 日間のエージング試験を実施した結果、試験前後における冷凍機油の色相の変化、金属触媒の外観に変化が認められないことから、優れた安定性を有する事を確認した。

2.1.1.3.3 回収装置

HF0-1123 混合冷媒用回数装置の開発を行った。R410A 用は設計圧力を 3MPa (50°C) と設定しているが、HF0-1123 混合冷媒用としては、4.5MPa と設定した。R410A 用回収装置の変更点としては、圧力の影響を直接受けるコンプレッサーのピストン径を小さくすると共に熱交換器のサイズアップとなる。

2.1.1.4 委託研究

2.1.1.4.1 燃焼性

温暖化係数 GWP150 を満足する候補冷媒 HF0-1123/HFC-32/HF0-1234yf (60%/22wt%/18wt%) について、燃焼特性を表す重要な性質である最小着火エネルギー、消炎距離および消炎直径の評価を実施した。

(i) 消炎距離の評価

標準条件 (Dry) は、温度 25°C 、湿度ゼロとした。湿度条件 (Wet) は、日本冷凍空調工業会の指定する温度 27°C 相対湿度 100%RH に相当する、 35°C 相対湿度 63%RH とした。10 回の試行のうち、火炎が一度でも通過した最小平板間距離と、一度も通過しなかった最大平板間距離の平均値を消炎距離とした。標準条件で $9.1 \pm 0.1 \text{ mm}$ (濃度 21.5 vol%)、湿度条件で $6.55 \pm 0.05 \text{ mm}$ (濃度 12.5 vol%) の消炎距離を得た。

(ii) 消炎直径の評価

消炎直径では、上部のマイクロメータに交換式の間隙 (真円孔) 開き平板 (SUS 製、厚さ 1mm) を取り付け、着火源から間隙の距離 h を 9mm 一定にして測定を行った。孔の直径が 0.5mm 刻みのため、消炎直径の最小分解能は 0.5mm となる。5 回の試行のうち、火炎が一度でも間隙を通過した最小直径と、一度も通過しなかった最大直径を表記した。最小の消炎直径を与える濃度は、最小の消炎距離を与える濃度とほぼ等しいため、測定は最小の消炎距離の濃度で実施した。標準条件で 7.5–8.0 mm (濃度 21.5 vol%)、湿度条件で 5.0–5.5 mm (濃度 12.5 vol%) の消炎直径を得た。

(iii) 燃焼速度の評価

最小着火エネルギーの推算に必要な燃焼速度の評価を行った。測定は、ガラス又はアクリル製の窓付き横型円筒容器を用い、シュリーレン可視化法によって行った。標準条件で 3.9 cm/s (濃度 19 vol%)、湿度条件で約 5.5 cm/s (濃度 10 vol%) の最大燃焼速度を得た。

(iv) 最小着火エネルギーの推算

これまでの冷媒と同様の方法 (Takizawa et al., Fire Saf. J., 71, pp. 58–68 (2015)) を

用いて推算した。標準条件及び湿度条件でそれぞれおよそ 50 mJ、19 mJ と推算された。

2.1.1.5 まとめ

環境影響、冷媒物性、サイクル性能、燃焼性、不均化リスクに関する総合的評価の結果、本設定目標を満足する冷媒として HF0-1123/HFC-32/HF0-1234yf=60%/22%/18%を選定した。

<特許、論文、外部発表等の件数>

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT [※] 出願	査読付き	その他	
H28FY	1	0	0	0	0	0
H29FY	0	0	0	0	0	0

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2.1.2 低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発【パナソニック株式会社】

<研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度
テーマ：低 GWP 冷媒を使用した高効率ルームエアコンの開発		
最終目標の低 GWP 冷媒を使用したルームエアコンの要素技術確立	主成分の一つと考える HFO 冷媒を用いて、最終目標の低 GWP 化が実現できる可能性を確認。	○
[1]中間目標に向けた取組み		
入手可能な HFO・HFC 冷媒(混合冷媒)の省エネ性能評価	R32 を使用したルームエアコンにドロップインし、省エネ性能評価を実施。特に、各成分の沸点差が大きい混合冷媒においては、性能低下要因を明確化。	○
[2]中間目標に向けた取組み		
入手可能な HFO・HFC 冷媒(混合冷媒)の信頼性評価	R32 を使用したルームエアコンで長期本体信頼性試験により評価を行い、信頼性課題を明確化。冷媒による圧縮機摺動部の摩耗形態差を表面観察から確認。	○
[3]最終目標に向けた取組み		
主成分の一つと考える HFO 冷媒の課題を把握し、解決策を立案・検証	特定条件で発現する HFO 冷媒の課題となる事象を解明の上、この事象を軽減できる技術的着眼点を見出し、課題解決策を立案、有効性を検証。	○

【 ◎:計画以上、○:計画通り(目標達成)、△:ほぼ計画通り(一部未達)、×:目標未達 】

2.1.2.1 中間目標（ステップ1）に向けた取組み

入手可能な HFO・HFC 冷媒（混合冷媒）の省エネ性能と信頼性を評価し、目標達成の可能性のある候補冷媒の選定時に必要となる重要指標を明確化した。

① 省エネ性能評価

R32 を使用したルームエアコンに、より低 GWP の HFO/HFC 混合冷媒をドロップインし、JIS 条件にて省エネ性能評価を実施した。特に、沸点差が大きい混合冷媒においては、蒸発温度や凝縮温度の非等温性や圧力損失等による性能低下要因を明確化した。

② 信頼性評価

R32 を使用したルームエアコンで、長期の本体信頼性試験による評価を行い、HFO/HFC 混合冷媒の信頼性課題を明確化した。冷媒による圧縮機摺動部の摩耗形態差を表面観察から確認し、更に、それに対応して、冷凍機油を添加剤仕様の変更によって改善し、その効果を検証した。

2.1.2.2 最終目標（ステップ2）に向けた取組み

主成分の一つと考える HFO 冷媒の課題解決策を以下の順で立案・検証し、この冷媒を用いて、更なる低 GWP 化が実現できる可能性を確認した。

・HFO 冷媒の課題把握

特定条件で発現する HFO 冷媒の安定性低下課題を再現実験や可視化実験により深掘りし、課題となる事象を解明した。また、この取組みから、本冷媒の課題を招く事象を精度よく再現する実験手法を構築した。

・HFO 冷媒の課題解決策検証

解明した事象を軽減できる技術的着眼点を当社独自のアプローチから見出し、課題解決策を立案した。この有効性をスケールの影響も含めて検証した。

<特許、論文、外部発表等の件数>

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT [※] 出願	査読付き	その他	
H28FY	4	0	0	0	0	0

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2.1.3 自然冷媒を適用したルームエアコンの研究【三菱電機株式会社】

<研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度
テーマ：自然冷媒を適用したルームエアコンの研究		
HC 冷媒を用いたルームエアコンで従来冷媒と同等性能且つ安全性を確保出来る冷媒充填量以下	圧縮機の高性能化、細径マイクロチャンネルにより性能確保により目標値達成。漏洩試験により目標冷媒量の安全妥当性も確認。	○
[1] HC 冷媒の冷媒量削減		
IEC 規格(IEC 60335-2-40) 以下達成目途確認	細径マイクロチャンネル熱交換器を実装したユニット性能試験では、284g となり、IEC 式から算出される目標冷媒量 320g 以下となることを確認。	○
[2] HC 冷媒を適用したルームエアコンの性能確保		
R32 機同等冷房定格 COP 達成目途確認	圧縮機では圧縮要素とモータの組合せ適正化により R32 用圧縮機比で+2.2%の圧縮機効率を確認。対 R32 の冷房定格 COP はドロップイン時に-12%だったが、細径マイクロチャンネルと吸入配管径拡大等で対 R32 比で+1%となることを確認。	○

【 ◎:計画以上、○:計画通り(目標達成)、△:ほぼ計画通り(一部未達)、×:目標未達 】

研究開発項目毎の成果として以下の結果を得た。

[1] HC冷媒の冷媒量削減

① 熱交換器内冷媒量削減：高効率/省冷媒熱交換器適用

現行R32機からHC冷媒へ変更したドロップイン試験（HC冷媒対応の高効率圧縮機）に加え、高効率/省冷媒熱交換器を実装したユニット性能試験実施した。図2.1.3.1にユニット試験の冷凍サイクル図、図2.1.3.2に高効率/省冷媒熱交換器搭載ユニット試験使用の室外機、図2.1.3.3にR32、R290（ドロップイン）、R290（高効率/省冷媒熱交）でのユニット冷媒量測定値（延長配管10m）をそれぞれ示す。現行円管熱交換器を搭載したHC冷媒のドロップイン試験では、冷媒充填量が400gであったが、高効率/省冷媒熱交換器を実装したユニット性能試験では、284gとなり、IEC式から算出される目標冷媒量320g以下となることを確認した。

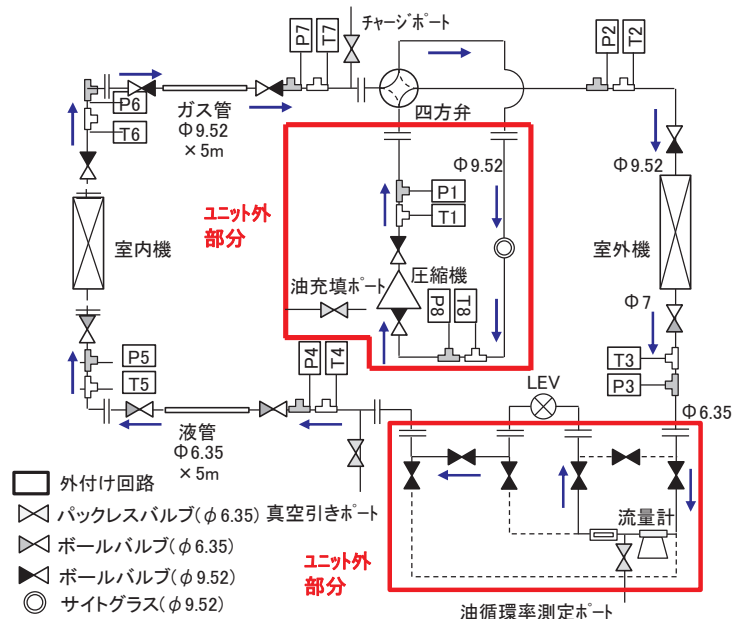


図2.1.3.1 ユニット試験の冷凍サイクル図



図2.1.3.2 高効率/省冷媒熱交換器搭載ユニット試験使用の室外機

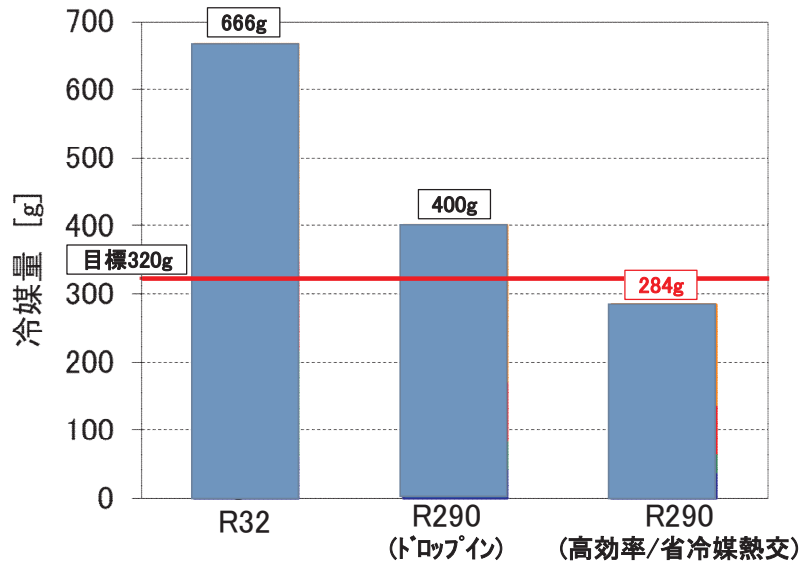


図2.1.3.3 R32、R290(ドロップイン)、R290(高効率/省冷媒熱交)でのユニット冷媒量測定値

[2] HC冷媒を適用したルームエアコンの性能確保

① 圧縮機性能確保：HC冷媒対応圧縮機適正化

モータと圧縮要素の組合せ適正化を実施した。図2.1.3.4にR32用圧縮機でのモータと圧縮要素の組合せとR290用圧縮機の概要図、図2.1.3.5にR32およびR290用圧縮機の圧縮機効率測定結果を示す。R32用圧縮機は、小容量時、モータ(小)では1シリンダ、大容量時、モータ(大)では2シリンダとなっているが、R290冷媒でR32と同等能力確保するには、押しつけ量1.8倍化が必要なため、R290用圧縮機は効率の高いモータ小で押しつけ量拡大のため2シリンダを採用した。R290用圧縮機はR32用圧縮機に対し、圧縮機効率は2.2%向上することを確認した。

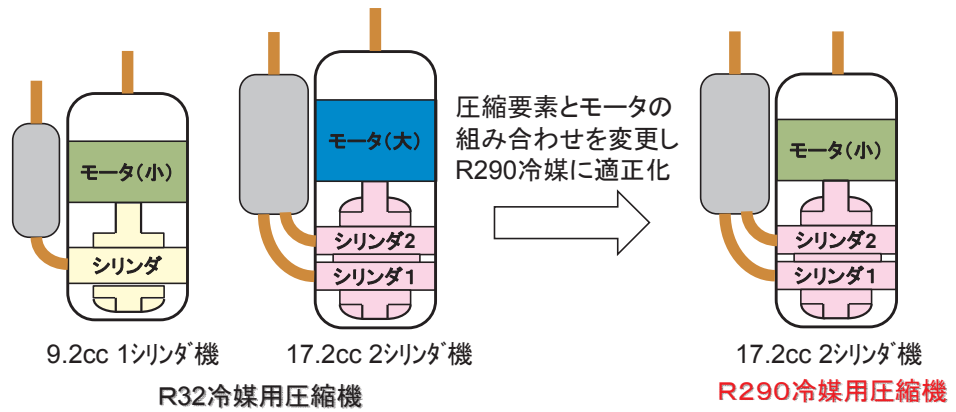


図2. 1. 3. 4 R32用圧縮機でのモータと圧縮要素の組み合わせとR290用圧縮機

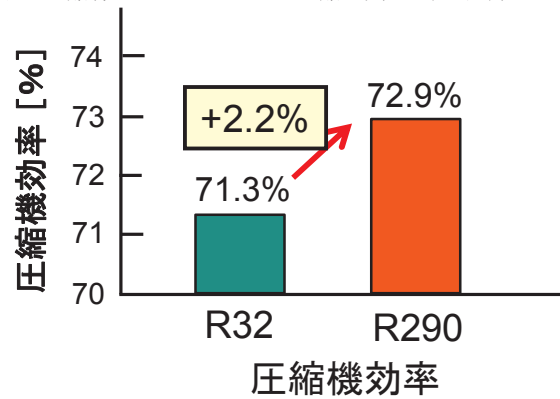


図2. 1. 3. 5 R32およびR290用圧縮機の圧縮機効率測定結果

- ② ルームエアコンでの性能評価と分析（R290をドロップインしたルームエアコンでの性能評価と分析）

HC冷媒ドロップイン試験（図2. 1. 3. 1参照）を実施した。図2. 1. 3. 6にR290ドロップイン試験結果と改善策、図2. 1. 3. 7にR290ドロップイン試験COP低下要因分析をそれぞれ示す。対R32機冷房定格はCOP-12%となった。主な性能低下要因は、蒸発器、吸入配管、延長配管の管内圧損増加であり、性能改善策として吸入配管径Up、室内蒸発器圧損低減+3%(2→3パス)により対R32機冷房定格COP+4%見込みとなった。

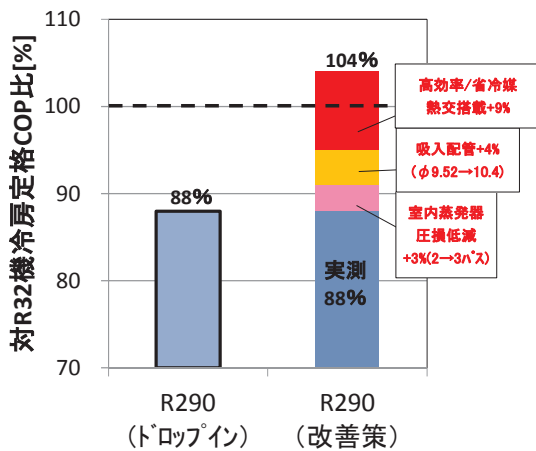


図2. 1. 3. 6 R290ドロップイン試験結果と改善策

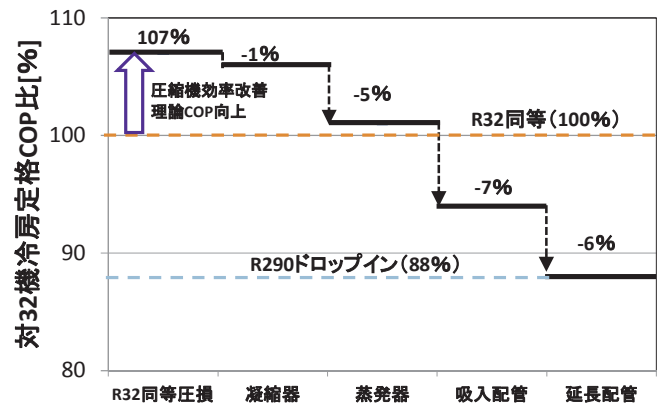


図2. 1. 3. 7 COP低下要因分析

③ルームエアコンでの性能評価と分析（高効率/省冷媒熱交換器を搭載したルームエアコンでの性能評価と分析）

高効率/省冷媒熱交換器搭載したR290ユニット試験実施した。図2.1.3.8に高効率/省冷媒熱交換器搭載時のユニット評価結果を示す。ドロップイン試験時の-12%から、高効率/省冷媒熱交換器で+9%、吸入配管拡大で+3%、冷凍サイクル調整で+1%となり、対R32機冷房定格COP+1%となることを確認した。図2.1.3.9に高効率/省冷媒熱交換器ユニット実装評価結果を示す。対現行円管の室外熱交換器性能AoK比は予測値の65%に対し、実測では61%となり、ほぼ予測値通りの室外熱交換器性能を得られた。

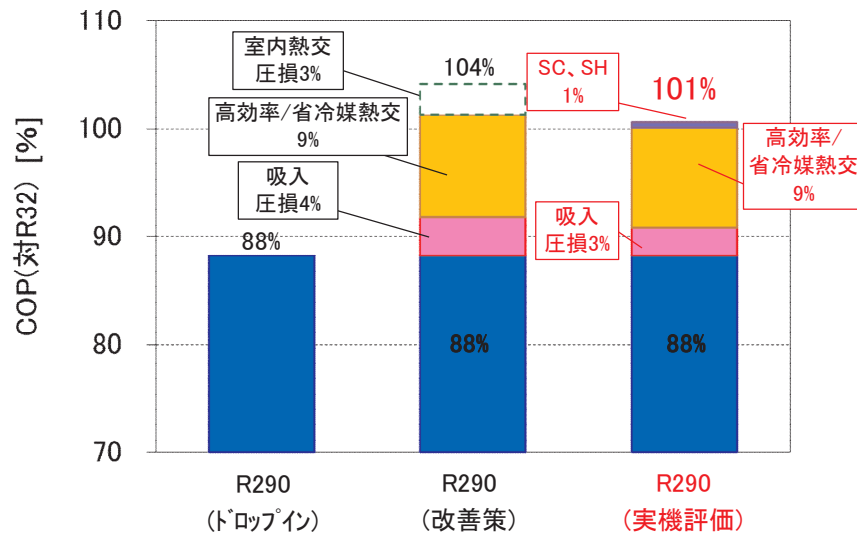


図2.1.3.8 高効率/省冷媒熱交換器搭載時のユニット評価結果

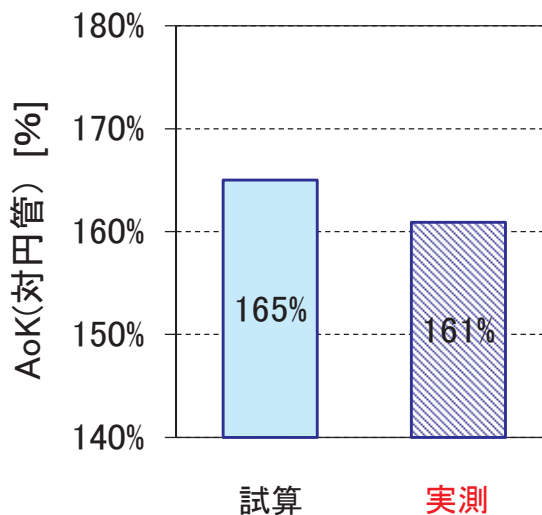


図2.1.3.9 高効率/省冷媒熱交換器ユニット実装評価結果

<特許、論文、外部発表等の件数>

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H28FY	0	0	0	0	0	0
H29FY	0	0	3	0	0	0

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2.1.4 高効率エジェクタを使用した CO2 冷媒空調システムの開発【株式会社デンソー】

<研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度
テーマ：高効率エジェクタを使用した CO2 冷媒空調システムの開発		
冷房条件にて CO2 冷媒で R32 同等の COP を達成する。(COP+31%)	試作エジェクタ及びインジェクションを採用した試作機において冷房定格条件で COP+31%の見込みを得た。 冷房中間条件においては定格条件の結果を加味したシミュレーションにより COP+31%の達成見込みを得た。	○
[1]高効率エジェクタの開発		
<ul style="list-style-type: none"> ・基礎評価から数値解析の構築に必要な指針を得る ・冷房条件においてエジェクタ効率 50%の達成 	<ul style="list-style-type: none"> ・3次元ノズルの評価から、沸騰遅れの現象を捉えた。そのメカニズムを解明し、数値解析に反映させることが必要であることを明らかにした。 ・定格条件で実機にて効率 60%、中間条件で実機にて 48%を達成し、中間条件においても改良指針を反映した場合 50%の達成の目処を得た。 	○
[2]高効率コンプレッサの開発		
<ul style="list-style-type: none"> ・連続インジェクションコンプレッサにおいて、吐出流量増加 23%以上と、効率低下値 2.0%以内を達成する。 ・二段圧縮コンプレッサにおいて、構想を具体化し、ポテンシャルを見極める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・吐出し流量増加 28%、効率低下 1.6%で目標を達成した。 ・低段-高段切替え部位の主要漏れ箇所の影響度を定量化し、現行同等レベルの効率達成のポテンシャルを確認した。 	○
[3]高効率サイクルの開発		
冷房条件にて CO2 冷媒で R32 同等の COP を達成する。(COP+31%)	冷房定格条件においては試作エジェクタ及びインジェクションを採用した試作機の評価にて COP+31%の見込みを得た。 冷房中間条件においては定格条件の結果を加味したシミュレーションにより COP+31%の達成見込みを得た。	○

【 ◎:計画以上、○:計画通り(目標達成)、△:ほぼ計画通り(一部未達)、×:目標未達 】

本研究開発の最終目標は R32 と同等の APF を CO2 冷媒で達成することである。そのために、高効率エジェクタの採用、コンプレッサの高効率化、サイクルの高効率化の 3 つの視点で研究開発をおこなった。

2.1.4.1 高効率エジェクタの開発

エジェクタの高効率化については前章で述べたように、ノズルの数値解析技術構築に向けた基礎データ取得及び改良指針の抽出と試作によるエジェクタ効率 50%達成の 2 つの視点で研究開発を行った。以下にその成果について記す。

2.1.4.1.1 数値解析技術の開発（豊橋技術科学大学）

数値解析技術を開発するに際し、重要となってくるのは現象を把握することにある。本研究開発では 3次元エジェクタ評価用の新ベンチを構築して評価を行うこととした。

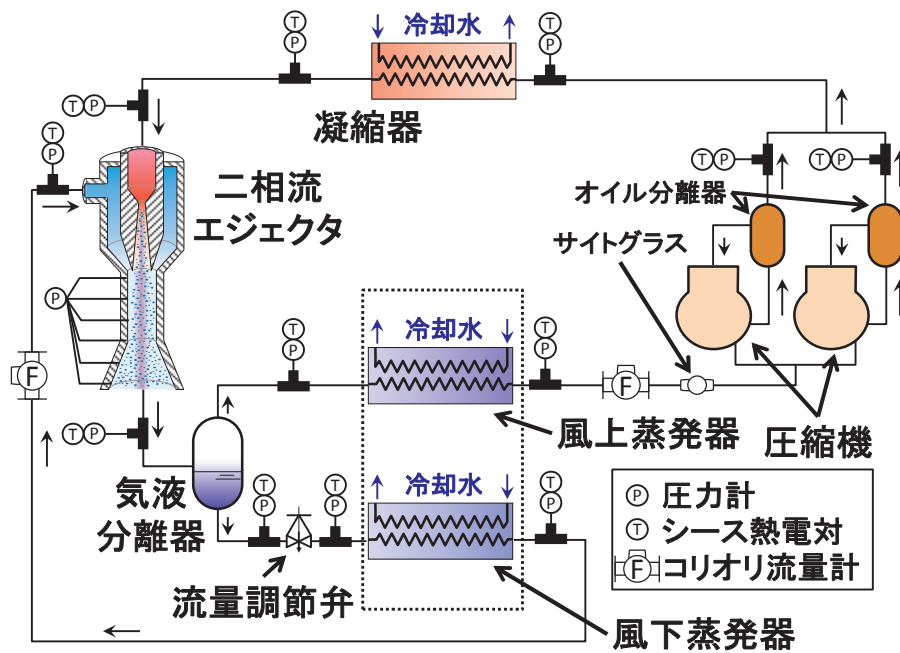


図 2.1.4.1.1-1 実験装置模式図

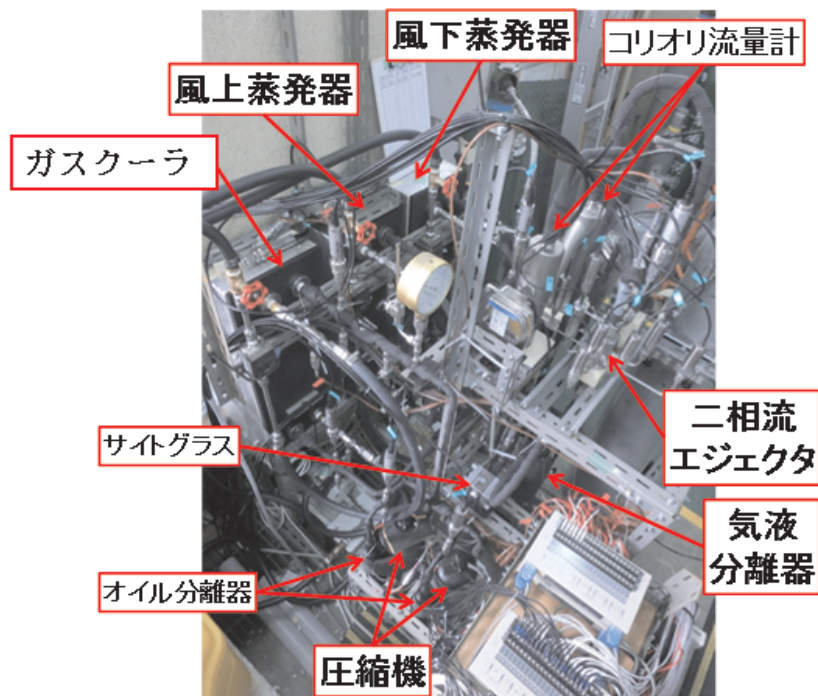


図 2.1.4.1.1-2 実験装置外観写真

図 2.1.4.1.1-1 に実験装置の模式図、図 2.1.4.1.1-2 に外観図を示す。

実験では、圧縮機の回転数、熱交換器(ガスクーラー、風上・風下蒸発器)の冷却水量、流量調節弁の開閉度を調整することで、実験条件を達成させた。

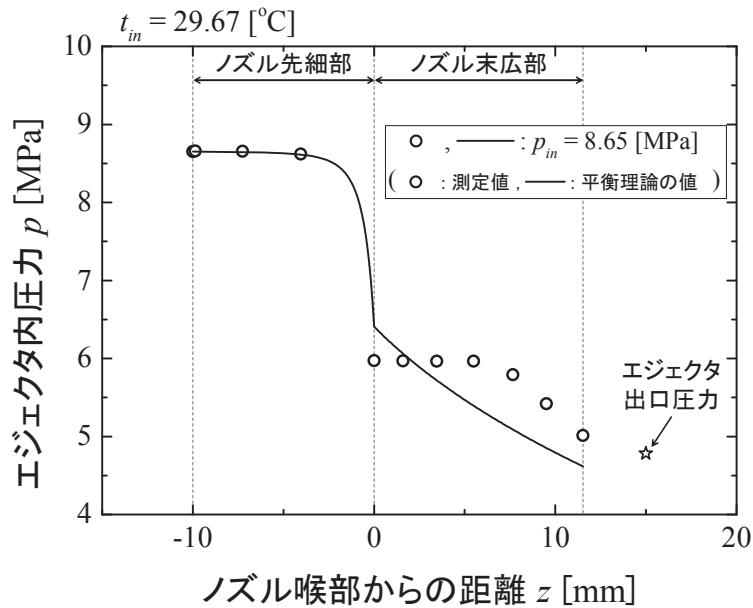


図 2.1.4.1.1-3 3次元ノズル単体試験結果

図 2.1.4.1.1-3 には 3 次元ノズル単体で行った実験より得られたノズル内静圧分布を示す。図 2.1.4.1.1-3 はノズルの駆動流入口温度を 29.7[°C]とした場合の結果を表している。図中において、プロット (○) が実験で測定された圧力を、実線が平衡理論 (HEM) を用いて算出されたノズル内の減圧膨張曲線を表している。なお、図中の (☆) 印はノズル出口圧力を示している。静圧分布をみると、ノズル喉部以降、ノズル出口に向かうにつれて減圧していることが分かる。この結果より、ノズル末広部では、流れが超音速状態に遷移していることがわかる。しかし、実験値は平衡理論の減圧膨張曲線とは大きく異なった減圧傾向を示している。喉部以降圧力ほぼ一定の区間があるがこれは冷媒の沸騰遅れが生じているためであると考えられる。解析技術の構築においては、この沸騰遅れが与える影響についてより明確化する必要がある、最終的にこの沸騰遅れのメカニズムを解明し、数値解析に反映させることで沸騰遅れの無いノズル形状を設計できるようにする。

2.1.4.1.2 試作によるエジェクタ効率 50%達成

図 2.1.4.1.2-1 に示すようにエジェクタの効率に影響を与えるパラメータを 6 つとして評価を行った。このうち、②混合部径、③混合部長さ、④ディフューザテーパ角度はノズル以降の流れであることから従来の知見を用いて数値解析を作成して最適寸法を事前に予測して行った。数値解析と実験結果の整合性を確認するために流れの途中の圧力を計測できるように圧力ポートを設けた。(図 2.1.4.1.2-2)

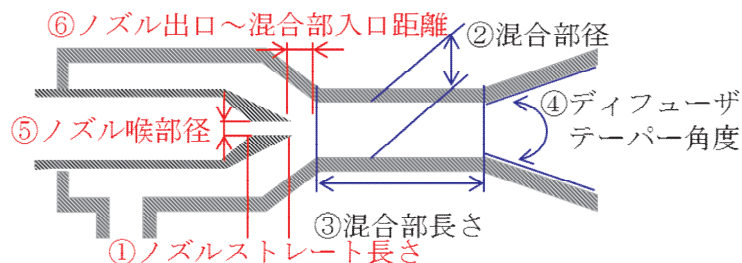


図 2.1.4.1.2-1 エジェクタ効率の影響パラメータ

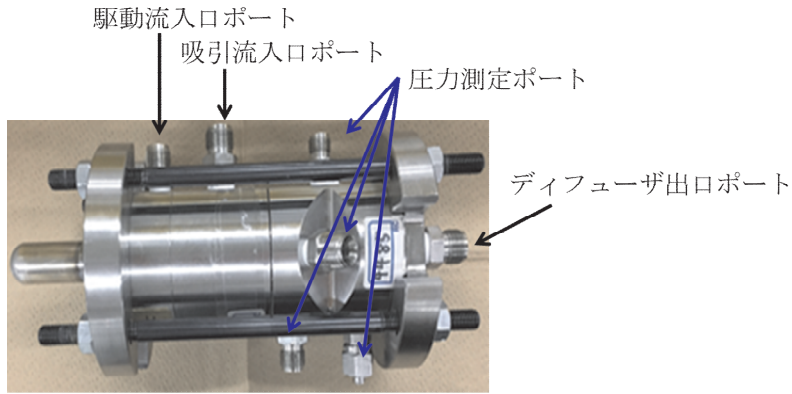


図 2.1.4.1.2-2 試作エジェクタの外観

図 2.1.4.1.2-3 にエジェクタ内の圧力変化の数値解析結果と評価結果との比較を示す。本研究開発で作成した数値解析は超臨界からの減圧過程を計算することができないため、ノズル出口の条件を初期条件として与えて計算する必要がある。図から分かるようにノズル効率を適切に設定すれば、混合部以降の計算は概ね正しく計算できていると考える。逆に言えばエジェクタ全体の効率を数値解析で事前予想し最適な形状を決めるためにはノズルの効率の計算、すなわち、ノズルの超臨界からの減圧過程の詳細計算が必須であると言える。

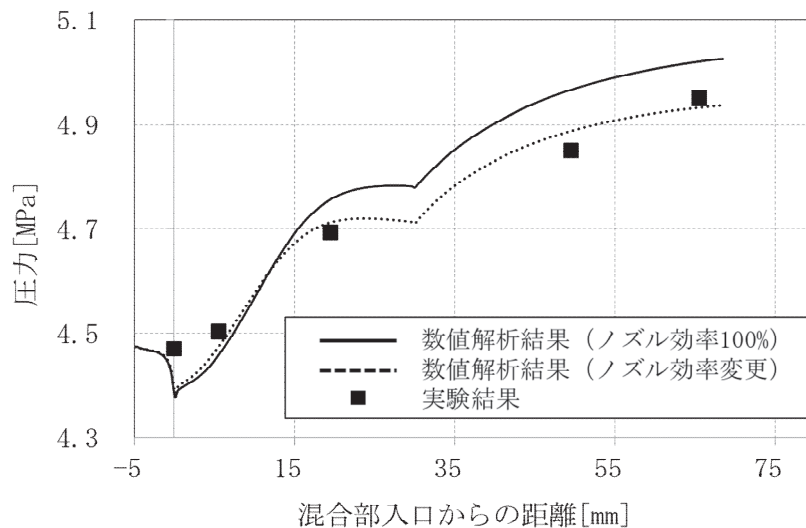


図 2.1.4.1.2-3 数値解析結果と実験結果の比較

図 2.1.4.1.2-4 に冷房定格条件および冷房中間条件における試作機のエジェクタ効率の測定結果を記す。ここで、冷房定格条件および冷房中間条件とは JIS B 8615-1 の 5.1 冷房能力試験に基づきサイクルが性能測定を行った際に目標 COP を達成するためのサイクルバランスから決まるエジェクタ作動条件である。

冷房定格条件においては目標のエジェクタ効率 50%に対して、エジェクタ効率 60%を達成する仕様を確立することができた。冷房中間条件においては目標のエジェクタ効率 50%に対して、エジェクタ効率 48%となり、目標に対して 2%未達となった。一方で、全体流量を増加させたバランスで評価するとエジェクタ効率 53%達成したことから、混合部径を小さい側に微調整することで目標効率 50%達成することができると考えている。このずれは試作機の寸法を決定する際に用いた数値解析において与えたノズル出口条件が実機と差異があったためであると考えられる。

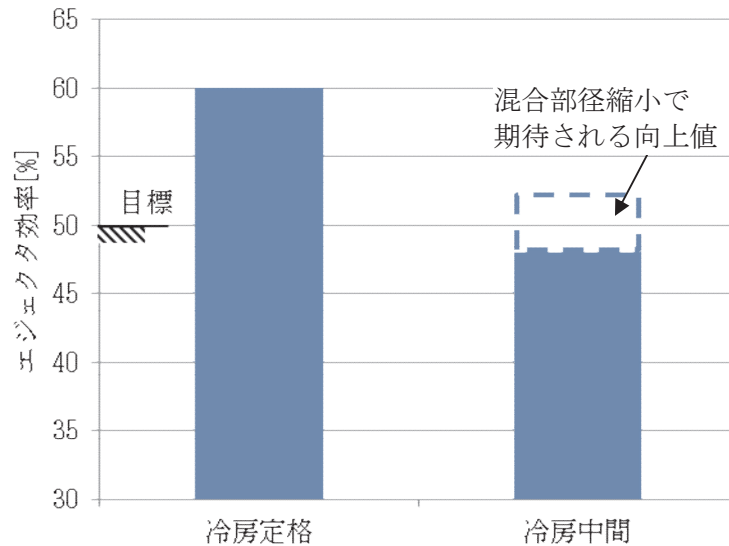


図 2.1.4.1.2-4 試作機評価結果

2.1.4.2 高効率コンプレッサの開発 ＜連続的インジェクション＞

連続インジェクション方式は、スクロールコンプレッサの圧縮過程に中間圧力冷媒を導入するインジェクションポートを設けた構成としている。

デッドボリウムによる影響を低減するために逆止弁を圧縮室の直近に配置する必要があると判断し、固定スクロール基板内に設置可能な構成として、デッドボリウムを最小 (0.1cc) にでき、かつ信頼性が高く、また部品点数が少ないためコスト性にも優れるといった観点から、「リード弁型」を採用した。

リード弁の最適開閉タイミングの見極めおよび、固定スクロールの組付け時及び運転時の歪みを考慮した設計を行った結果、図 2.1.4.2-1 および図 2.1.4.2-2 に示すように吐出し流量および効率ともに目標値を達成することができた。

また本研究開発では、上記目標性能を達成する設計指針を明らかにするとともに、1000 時間の短期耐久試験も実施し信頼性の確認を行った。耐久条件は、①中間圧力冷媒 (インジェクション冷媒) を気相状態 (乾き) としたインジェクション連続、②中間圧力冷媒を気液二相状態 (湿り) とした液戻りインジェクション連続の 2 条件を実施した。精査の結果、逆止弁の折損などの異常個所は見られなかった。また、逆止弁シール部の摩耗量は、シール不良から性能低下を招く機能限界摩耗量に対し、1.0~3.3%と十分小さい摩耗量で問題ないことを確認した。

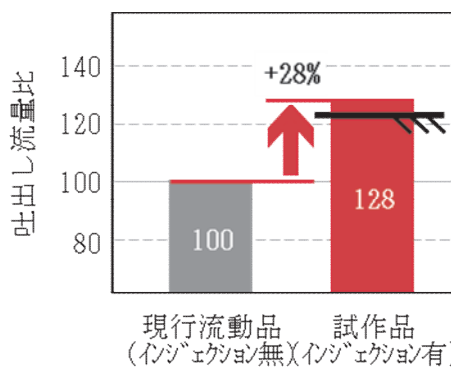


図 2.1.4.2-1 インジェクション流量測定結果

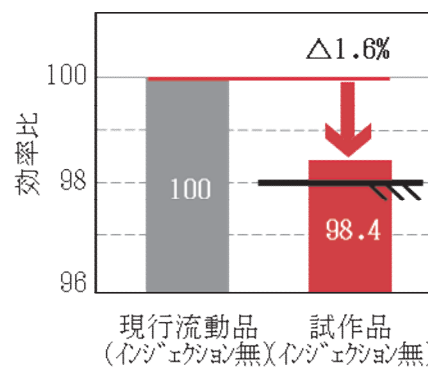


図 2.1.4.2-2 効率測定結果

＜二段圧縮＞

前述の連続インジェクション技術は、現行流動品ベースで実現可能であるため、コンプレッサ単体効率の面で有利な手段であるが、インジェクション流量はコンプレッサの構造による制約を

受ける。より多様な範囲に対応するためには、低段側と高段側の容積比の設定次第でインジェクション流量が得られる二段圧縮コンプレッサが必要となる。本研究では、図 2.1.4.2-3 に示す、ラップ分断部を設けて外周側を低段側、内周側を高段側としたスクロール二段圧縮コンプレッサについて構想を具体化し、低段～高段間シール部における漏れの影響度について検証を行った。

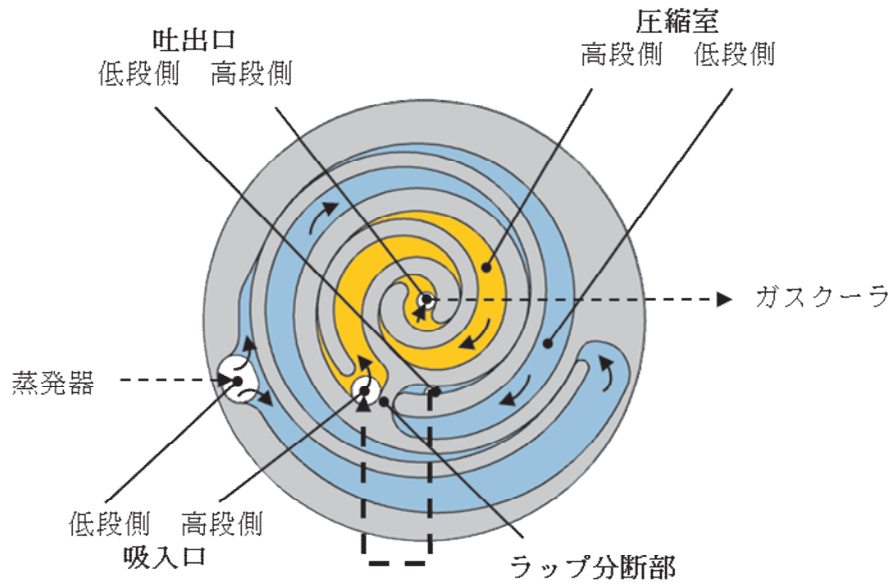


図 2.1.4.2-3 スクロール二段圧縮コンプレッサ

一次試作品からの効率ポテンシャルの確認結果を図 2.1.4.2-4 に示す。解析においては、新規構造となる低段側圧縮室のみの単体モデルを作製した。各部漏れ箇所における影響度は 25.7pt に達し、シール技術を確認していくことで、現行品効率に対し 110.3%のポテンシャルがあることが判った。

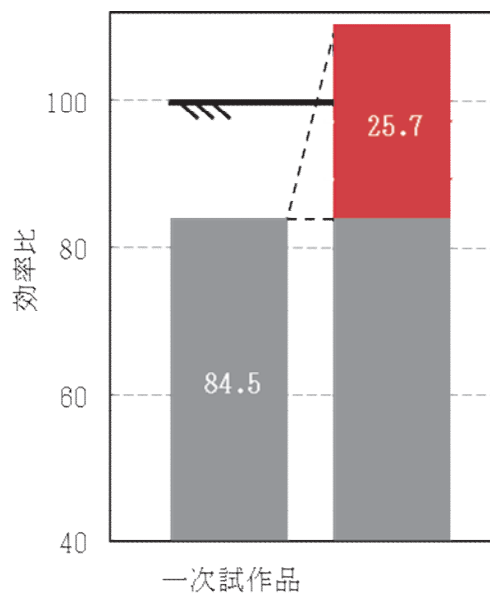


図 2.1.4.2-4 効率ポテンシャル

2.1.4.3 高効率サイクルの開発

本研究開発では冷房条件において従来サイクルに対して COP+31%の達成目途の検討を実験、数値解析の両面から行った。冷房能力は省エネルギー基準による地域区分のうち東京を含む6地域における UA 値 0.6 の標準住宅とし、その空調負荷を国立研究開発法人建築研究所作成の計算プログラムを基に 5kW とした。

図 2.1.4.3-1 に研究開発対象とした冷凍サイクルの構成を、図 2.1.4.3-2 に比較対象とした従来サイクルの構成を示す。エジェクタは前述の試作エジェクタを使用した。一方でコンプレッサは給湯機のコンプレッサを改良した 2 つを用いて、回転数を調整することで、全体流量に対するインジェクション流量を調整した。

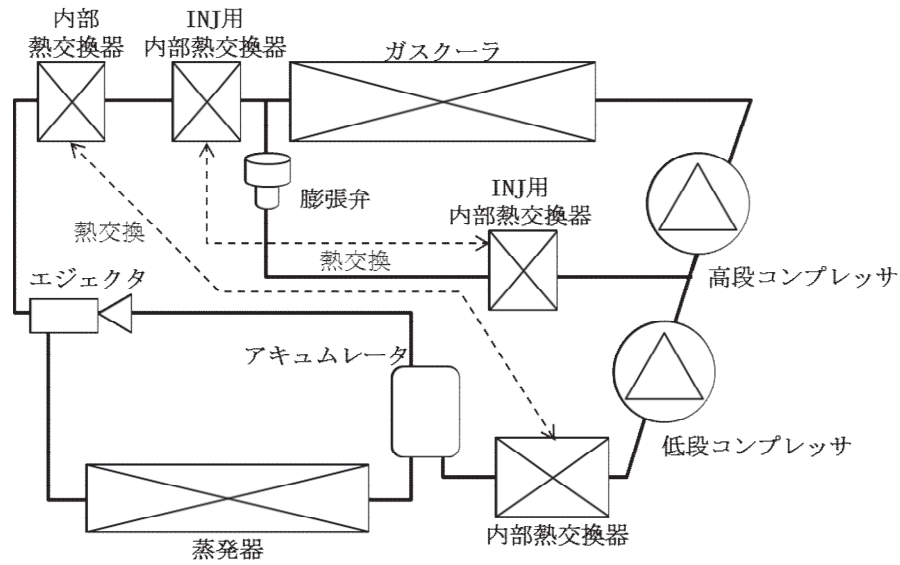


図 2.1.4.3-1 二段圧縮インジェクションおよびエジェクタ複合サイクル

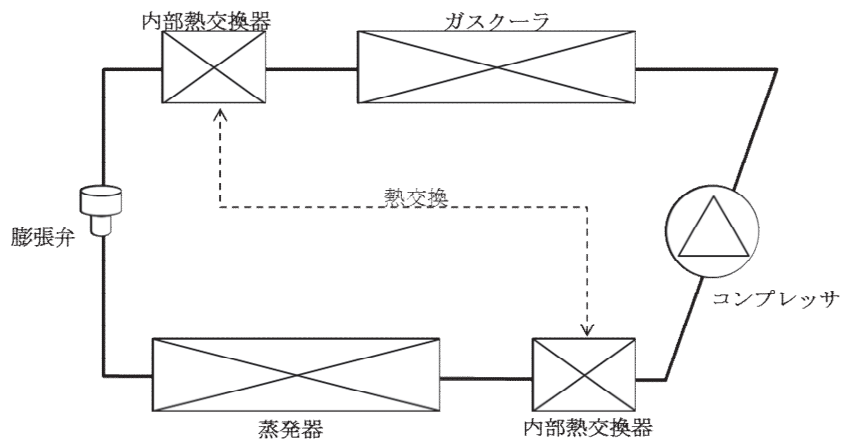


図 2.1.4.3-2 従来サイクル

表 2.1.4.3-1 に冷房定格条件実験と数値解析結果を記す。本評価で用いたコンプレッサについて、モータ、冷媒吐出穴径についてインジェクション用に設計されたものではないことから η_{tad} (全断熱効率) の量産時の想定よりも悪化が見られた。そこで測定結果 η_{tad_real} に対して、想定する量産時の効率 η_{tad_mass} の補正を行った結果でも比較をした。表 2.1.4.3-1 から分かるようにインジェクション比 8% で η_{tad_mass} の補正を踏まえると向上率 33% と目標値 31% を超える結果が得られた。

表 2.1.4.3-1 冷房定格条件測定結果と計算結果

インジェクション流量比 %		8	18
COP 向上率 (従来サイクル比)	実測値	+28% (η_{tad_real})	+24% (η_{tad_mass})
	実測 η_{tad} 補正後	+33%	+30%
	計算値 (η_{tad_mass})	+24%	+30%

一方で、計算値においてはインジェクション流量比を増やすことで COP が向上していく傾向を示したのに対して、今回の実機評価においてはインジェクション流量比 8% のときに COP が最大となる結果となった。この理由については、計算においてはエジェクタ効率を一定 (50%) としたのに対して、実機においてはインジェクションにより駆動流温度が変化することで、エジェクタの効率 (= 昇圧量) が低下したことが原因であると考えられる。つまり、インジェクション流量比が 8% の時においては、駆動流温度は 31.3°C であり、昇圧量は目標値に到達しているが、一方インジェクション流量比が 18% の時においてはノズルの入口温度が 29.9°C と低くなり、昇圧量がインジェクション流量比 8% の時よりも減少したためであると考えられる。

冷房中間運転は冷房定格条件を踏まえた数値解析を行い COP 向上率+27% (従来サイクル比) と 4% の目標未達となった。冷房定格運転では 31% の向上を確認できたのに対して、冷房中間運転では 27% にとどまった理由は目標値を立てた開発当初はインジェクション流量比を 20% と想定していたが、実際にコンプレッサの設計を検討すると 13% となることが分かり、それを計算に反映したためである。(図 2.1.4.3-3)

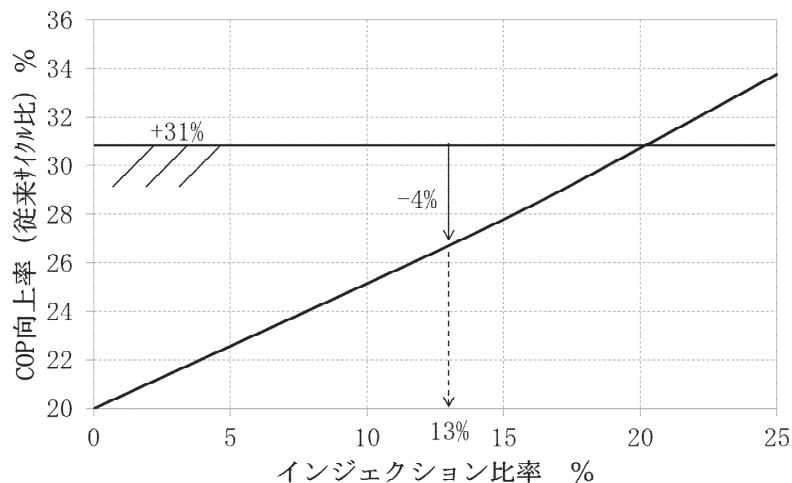


図 2.1.4.3-3 冷房中間条件の COP 向上率計算結果

未達分である 4% を向上させる手段としては以下のことを継続して検討していく。

・冷媒圧損の低減

本研究開発では冷媒配管は給湯機で用いたものと同じ径のものを使用した。しかし、空調条件は給湯条件の 1.5 倍の冷媒流量が流れるため、圧損が大きくなっている。冷媒配管径を最適化し、給湯機レベルの圧損とすることでサイクル COP+4% が期待できる。

・エジェクタ効率の向上

2.1.4.1.2 高効率エジェクタの開発に示したように定格条件においてエジェクタ効率 60% を達成しているのに対して、中間条件は実測でエジェクタ効率 48%、ポテンシャルとしてエジェクタ効率 53% に留まっている。本研究開発では結論を得ていないノズル内での冷媒の挙動を解析することでノズル効率の向上、ひいては更なるエジェクタ効率の向上の可能性を引き続き検討する。仮に定格条件と同じ効率 60% が達成できたとするとサイクル COP+4% が期待できる。

<特許、論文、外部発表等の件数>

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H28FY	0	0	0	0	0	0
H29FY	1	0	0	0	0	0

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2.2 低温室効果冷媒の性能、安全性評価

2.2.1 事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント【学校法人東京理科大学】

<研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度
テーマ： 事故シナリオに立脚した低 GWP 冷媒の燃焼性評価とリスクアセスメント		
<p>中小型空調機器冷媒への低 GWP 冷媒適用の可能性を検討するために、実際の使用条件を想定した事故シナリオを抽出し、火災・爆発発生時の危険性及び発生時の物理的有害度（フィジカルハザード）を実験的に評価する。</p>	<p>以下の各実施項目ごとの研究開発成果に示した通り、産官学連携の下で事故シナリオ及び着火源を抽出した。これに基づき実験を行い、①プロパン噴流の着火判定手法を構築した②漏洩滞留空間底部の排水口が漏洩冷媒の滞留防止及び可燃性混合気形成抑制に及ぼす効果はあまりないことを示した③燃焼威力を定量的に評価できるようピーク過圧・KG 値・温度データを整備した といった成果を得た。以上により、プロパンを中小型空調機器に適用する際の着火可能性及びフィジカルハザードを定量的に評価することができ、当初の目的を達成した。</p>	○
[1]中小型空調機器に低 GWP 冷媒を適用する際に発生しうる事故シナリオの抽出		
<p>対象冷媒を中小型空調機器に適用した場合の漏洩シナリオ、対象空間、想定される着火源等を洗い出し、リスク評価及びそれに基づいた対策の立案が必要となるシナリオを吟味・抽出する。シナリオの吟味・抽出にあたっては、業界団体及び有識者とコンソーシアムを組む等の方法により、有識者やメーカー等の知見も参考にすることで、抽出シナリオの妥当性を確保する。</p>	<p>（公社）日本冷凍空調学会内に設置された「次世代冷媒リスク評価研究会」に参加し産官学合同で中小型空調機器からのプロパン漏洩シナリオ及び着火源を検討した。加えて、日本冷凍空調工業会担当者、機器メーカー担当者と意見交換を行った。これらの議論により、評価対象として①室内機と室外機の接続配管からプロパンが急速に噴出漏洩した場合（以下急速漏洩と表記）、②室内機及び室外機から居室内あるいはベランダへ、人が気づかない程度の微速で漏洩し滞留した場合（以下微速漏洩滞留と表記）の 2 つのシナリオを取りあげた。さらに、着火源として①静電気スパーク、②裸火、③高温表面を取りあげた。以上により本研究項目の当初予定を達成した。</p>	○
[2]低 GWP 冷媒の使用時及び整備時における火災発生可能性及びフィジカルハザード評価		
<p>急速漏洩及び微速漏洩滞留のそれぞれのパターンにおいて、プロパン濃度の計測により燃焼範囲形成領域を把握する。さらに、想定着火源により着火実験を行い、着火可能性及びフィジカルハザードを評価する。</p>	<p>まず急速漏洩シナリオについては、プロパン噴流の濃度計測結果から求めた等濃度線図により、燃焼範囲の形成領域を視覚的かつ定量的に明らかにした。また、模擬静電気スパーク、裸火、高温表面を着火源として着火実験を実施し、高温表面による着火が発生しなかったことを示すとともに、その他の着火源については噴流速度と着火源のエネルギー密度及び濃度分布から着火を判定する手法を構築した。微速漏洩滞留では、室外機からベランダへの漏洩を模擬した実験を行い、測定濃度から燃焼範囲の形成領域を、特に排水口の効果も含めて明らかにした。さらに、着火時の燃焼威力を定量的に評価できるよう、圧力上昇や KG 値、温度上昇のデータを整備した。以上により本研究項目の当初予定を達成した。</p>	○

◎：計画以上、○：計画通り（目標達成）、△：ほぼ計画通り（一部未達）、×：目標未達

2.2.1.1 サブテーマ①「中小型空調機器に低 GWP 冷媒を適用する際に発生しうる事故シナリオの抽出」

(公社)日本冷凍空調学会内に、“次世代冷媒リスク評価研究会”(主査：飛原英治東京大学教授)が設置され、これに参加した。参加メンバーは大学(東京大学、九州大学、諏訪東京理科大学)、研究機関((国研)産業技術総合研究所)、(一社)日本冷凍空調工業会であり、オブザーバーとして経済産業省、NEDO、日本冷凍空調学会から関係者が出席する形となった。会議は平成 28 年度に 3 回、平成 29 年度に 2 回開かれ、産官学の立場から活発な議論を行った。加えて、実験条件の決定に際しては、日本冷凍空調工業会技術部担当者、当 NEDO 事業に参加し自然冷媒使用機器の開発研究を実施している機器メーカー担当者と意見交換を行った。これに基づき、中小型空調機器に自然冷媒(主としてプロパン)を搭載するにあたって考えうる漏洩シナリオ及び着火源を抽出することができた。具体的には、

- (a) 室内機と室外機を接続する配管等に形成された亀裂やシール部等から冷媒が急速で噴出漏洩した場合(以下急速漏洩と表記)
 - (b) 室内機から室内へ、あるいは室外機からベランダ等へ、人が気づかない程度の微速で漏洩し滞留した場合(以下微速漏洩滞留と表記)
- の 2 つの漏洩シナリオを抽出した。さらに、着火源として(a)電気スパーク(静電気スパークを模擬)、(b)裸火、(c)高温表面を取りあげた。

2.2.1.2 サブテーマ②「低 GWP 冷媒の使用時及び整備時における火災発生可能性及びフィジカルハザード評価」

2.2.1.2.1 急速漏洩

2.2.1.2.1.1 研究の概要

室内機と室外機をつなぐ配管から冷媒(プロパン)が噴出漏洩し、着火源に接触した場合の火災発生可能性を調べるため、プロパン噴流の濃度分布計測と、模擬静電気スパークや裸火を着火源とした着火実験を行い、漏洩条件と燃焼範囲形成領域の関係を明確化するとともに、着火の有無を簡易的に判定できる評価手法を構築することとした。

2.2.1.2.1.2 実験

(a) 噴出系統

図 2.2.1.2.1.2-1 に噴出系統の写真を示す。エアアクチュエータバルブと電磁弁により任意のタイミングで冷媒噴出を可能とした。噴出口はピンホール形状で、ボンベと接続された配管先端に取り付けており、口径は $\phi 0.2$ 、 $\phi 1.0$ 、 $\phi 4.0$ mm である。 $\phi 1.0$ 、 $\phi 4.0$ mm については、キャップ型継手(Swagelok 製 SS-400-C)中央部に穴をあけたものを、 $\phi 0.2$ mm については、1/4 インチサイズメタルガスケット継手のメタルガスケット中央部に穴をあけたものを使用した(図 2.2.1.2.1.2-2)。ピンホールからの噴出を制御するために、アクチュエータバルブ(Swagelok 製 SS-4BK-1C)1 個をピンホール手前に設置し、エア供給を電磁弁(CKD AG31-02-2)により制御することにより任意のタイミングでの急速漏洩を可能とした。噴出圧力はピンホールとアクチュエータバルブとの間に取り付けた圧力トランスミッタ(長野計器製 KH-15)及び圧力ゲージ(Swagelok 製 PGI)にて測定し、圧力トランスミッタからの出力値を表示器

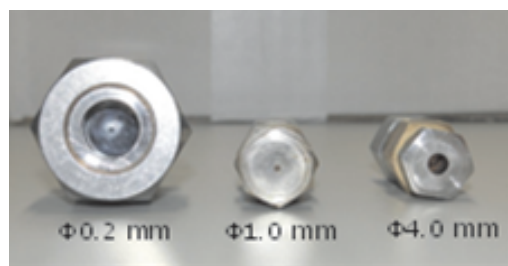
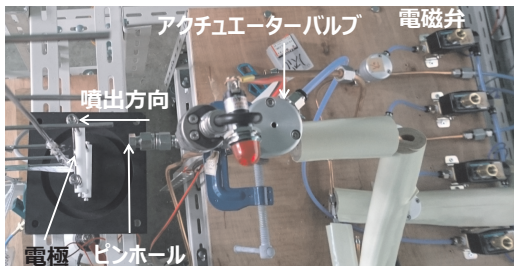


図 2.2.1.2.1.2-1 噴出系統概略図

図 2.2.1.2.1.2-2 使用したピンホール

(CHINO 製 DB670)に表示させるとともに、チャートレコーダ(日置電機製 8860-50)に記録した。

実際の家庭用空調機器では、冷媒の運転圧力は約 0.5~3 MPa 程度であるが、本研究では実験装置の都合上 1 MPa を超える高圧での実験ができないため、プロパンの蒸気圧(0.5~0.7

MPa) で噴出させた。また、雰囲気温度の影響を極力排除するために、配管をウレタン製保温材で覆った。後述するように噴出直後のプロパンは気液混相状態となっていたため、ピンホール径 $\phi 0.2$ mm 及び $\phi 1.0$ mm では、噴出直後に若干の圧力変動が見られたが、噴出後 1 秒程度にはほぼ一定の圧力で噴出した (図 2.2.1.2.1.2-3 (a))。ピンホール径 $\phi 4.0$ mm では、断熱膨張により噴出圧力は大きく低下し、噴出後 2 秒前後からはほぼ一定の圧力で噴出した (図 2.2.1.2.1.2-3 (b))。

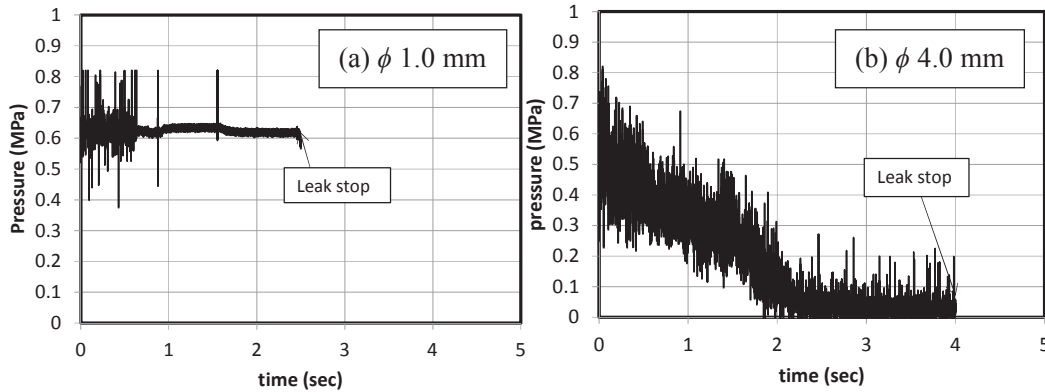


図 2.2.1.2.1.2-3 ピンホールから噴出したプロパンの圧力変動

(b) 撮影系統

着火源周囲の様子は、常速度カメラ (Panasonic, HC-V520M) 及び小型 CCD カメラ (Mintron, MTV-53KM21H) にて撮影した。

(c) 着火系統

着火源には電気スパーク (静電気スパークを模擬)、裸火、高温表面を用いた。

電気スパークは、タングステン製針電極 (直径 $\phi 2.0$ mm, 電極間隔 2.0 mm, 先端角 30°) を直流高電圧電源 (増田研究所製) と接続し発生させた。この放電発生回路は、電源のスタートスイッチを押下すると装置内のコンデンサに充電が開始され、電極間の絶縁破壊電圧に達すると放電が生じる仕組みであるため、スイッチ押下後数秒後に放電が生じる。そこで、放電に伴う電圧の立ち下がりトリガー信号として、オシロスコープを起動し放電電圧波形及び噴出圧力の記録を同期した。回路全体のキャパシタンスは約 700 pF である。直流放電スパークは静電気によるスパークを想定したため、文献[1]にある、人体の帯電電位と電撃の強さの関係から、「手のひらから前腕まで痛む」場合 (1.3 mJ) を、静電気によるエネルギーの最大値と仮定して、おおむねこの程度の値となるように回路キャパシタンス及び回路抵抗を選択した。このエネルギーはプロパンの最小着火エネルギー (0.25 mJ: 大野ら, 基礎からの爆発安全工学, p. 92, 2012) よりも十分大きな値である。なお、静電エネルギーは式 (1) で見積もった。

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

ただし E はエネルギー (J), C はキャパシタンス (F), V は電圧 (V) である。印加電圧はキャパシタンス及び電極間隔の組み合わせによって変化するので、後述の結果一覧 (表 2.2.1.2.1.3-1) には式 (1) で最終的に求められた静電エネルギー値を載せている。

裸火の場合は、市販のブンゼンバーナー燃焼筒を 1/4 インチ銅管 (内径 4.75 mm) に変換して、高さ約 20 mm の裸火を生じさせ、これを噴流中心軸上に設置した。

高温表面の場合は、パネルヒーター (坂口電熱製, 図 2.2.1.2.1.2-4) を用いた。このパネルヒーターは寸法が 300 mm \times 300 mm \times 30 mm の SUS310S 製で、その内部にシーズヒーター 8 本が内蔵されているもので、最高温度は設定値で 800°C , 表面温度で 700°C (図 2.2.1.2.1.2-4 の ③ に示すパネルヒーター内蔵の N 型熱電対 (保護管径 $\phi 3.2$ mm) による測定値) である。高温表面の設定温度は、プロパンの発火点 (432°C [2]) を考慮して、これより十分に高温な表面への衝突を想定して、400, 500, 600, 700°C とした。ヒーターへの電源供給はスライダック (山菱電機製 S-260-60) により行い、ヒーター内の N 型熱電対の指示値をモニターしながら設定温度となるようにスライダックを調整した。なお、高温表面への冷媒の吹き付けは、高温表面が上記の設定温度となった時点から開始し、5~15 秒行った。

品番	品名	材料	仕様	数量	備考
1	プレート	SUS310S		1	□300×t30(透視板材料)
2	レイロッドスーパー	耐熱鋼		8	φ10(1本は内蔵TC)
3	N型シース熱電対(非接地)			1	φ3.2×200L

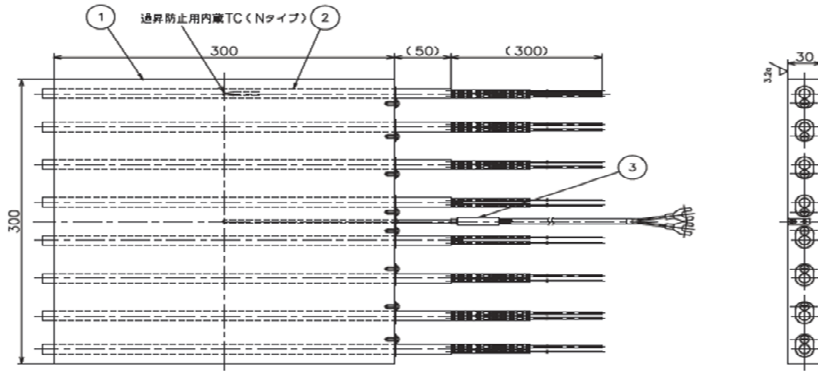


図 2.2.1.2.1.2-4 高温表面ホットプレート図面 (単位: mm)

なお、本実験で設定したプロパン流量・高温表面設定温度・吹き付け時間の範囲内では、プロパン噴流の衝突に伴う高温表面の温度低下は1%未満であり、無視できるものと考えられる。着火源の設置位置は、噴流中心軸上で噴出口から下流側0～500mmの間で4～5段階変化させた。

(d) 使用冷媒及び濃度・速度測定系統

対象とした冷媒はプロパン(住友精化製, 純度99%)であり, ボンベを重量計(最小秤量単位1g)に載せて重量減少を測定した。着火実験に先立ち, プロパン噴流の濃度分布を, 噴出口高さおよびこれを基準として上下50mmの3高さの, 下流側5～6地点で超音波式ガス濃度計(第一熱研製US-II-T-S, 応答速度:90%応答で約10秒, 測定範囲0～100vol%, 分解能4桁)により測定するとともに, 噴流中心軸上の速度を, 下流側6地点で熱線風速計(KANOMAX, 6162, 応答速度:90%応答で約4秒(風速5m/s))により測定した。濃度測定及び速度測定では, 噴出時間は30秒としたので, 上記の応答速度でも測定値は十分に定常状態のプロパンの濃度及び速度を追従できている。また, 着火時のジェット火炎の温度を測定するために, ピンホール下流側にK型熱電対(線径φ0.32mm)30本を設置した。熱電対の設置位置は, 図2.2.1.2.1.2-5に示すように着火源の位置(0mm)から下流側900mmまで100mm間隔で, ピンホール高さおよびその上下50mmの3高さに設置した。測定温度はデータロガー(NEC Avio)により, 10ms間隔で記録した。ただし熱電対の応答速度は約1秒程度であるので, 瞬間的な温度上昇は十分に追従できているわけではなく, 本報で報告する温度は参考値である。

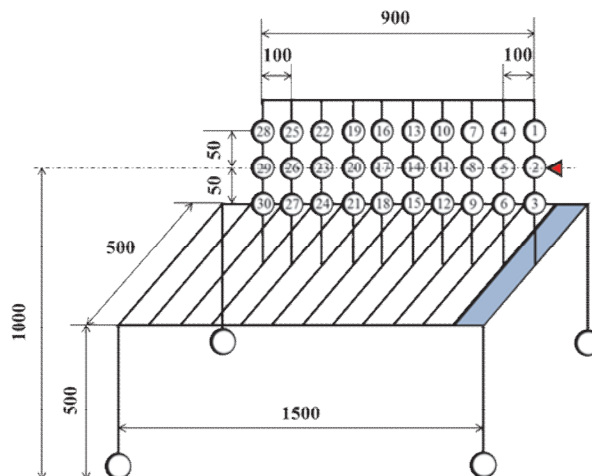


図 2.2.1.2.1.2-5 温度測定位置(急速漏洩時, 単位: mm)

(e) 実験条件

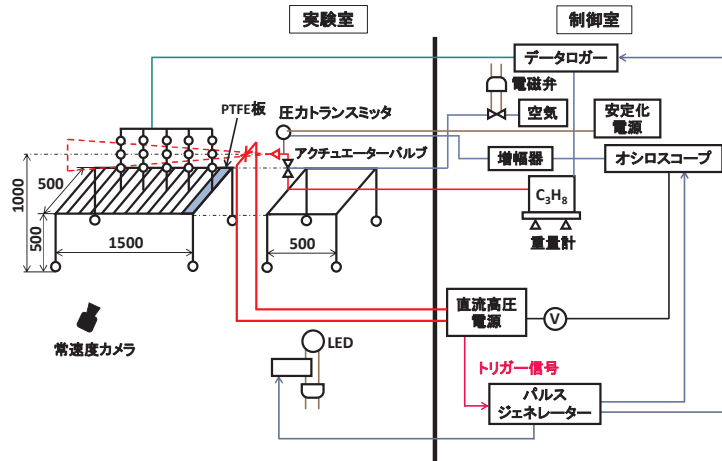


図 2. 2. 1. 2. 1. 2-6 急速漏洩着火実験概略図（電気スパーク）

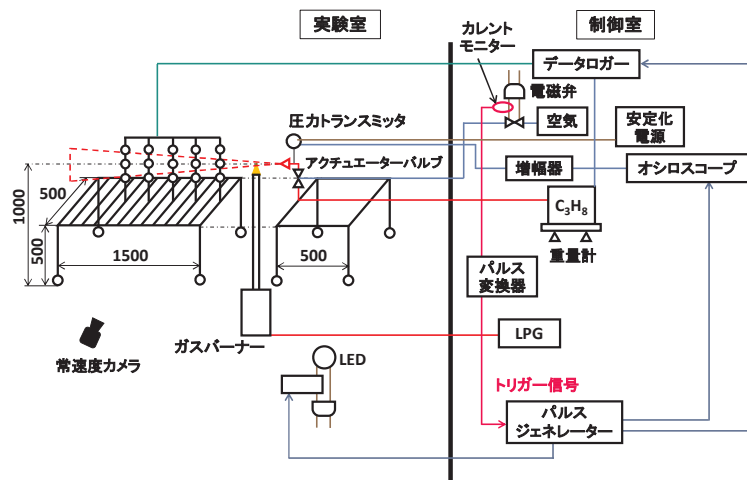


図 2. 2. 1. 2. 1. 2-7 急速漏洩着火実験概略図（裸火）

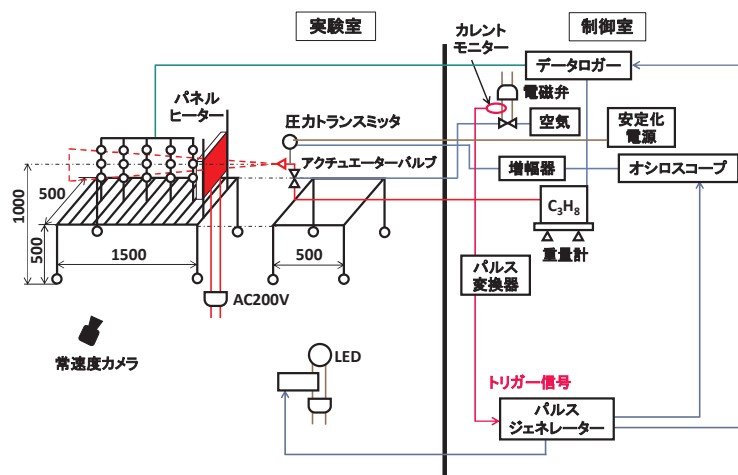


図 2. 2. 1. 2. 1. 2-8 急速漏洩着火実験概略図（高温表面）

図 2. 2. 1. 2. 1. 2-6 に電気スパークによる着火実験の概略図，図 2. 2. 1. 2. 1. 2-7 に裸火による着火実験の概略図，図 2. 2. 1. 2. 1. 2-8 に高温表面による着火実験の概略図をそれぞれ示す。ピンホール及び着火源はその中心が床から 1085 mm の高さになるよう設置した。また，ピンホールは架台とともに水平方向に移動可能とした。プロパン濃度は， $\phi 0.2$ mm では下流側 50, 100,

200, 300, 500, 1000 mm, $\phi 1.0$ mm では下流側 100, 200, 300, 500, 1000 mm, $\phi 4.0$ mm では下流側 100, 200, 300, 500, 700, 1000 mm の各下流側位置において、ピンホール高さおよびその上下 50 mm の位置で測定した。測定回数は各ピンホール径において 2 回ずつとした。漏洩時間は $\phi 0.2$ mm 及び $\phi 1.0$ mm では 60 秒間、 $\phi 4.0$ mm では 45 秒間とした。

プロパン速度は、各ピンホール径において下流側 100, 200, 300, 500, 700, 1000 mm の位置に熱線風速計のプローブを移動させて測定した。測定回数は各ピンホール径および測定位置の組み合わせにおいて 2 回ずつとした。噴出時間は 30 秒間とした。

電気スパークによる着火実験では、 $\phi 0.2$ mm ではピンホールから着火源までの距離（着火源距離）を 0, 50, 100, 200 mm, $\phi 1.0$ mm, $\phi 4.0$ mm では 0, 50, 100, 200, 500 mm とした。測定回数は各ピンホール径・着火源距離において 3 回ずつとした。直流放電スパークによる着火実験では、噴出時間は 4~5 秒とし、着火した場合は周囲への延焼の危険を考慮して即プロパン噴出を停止した。

裸火着火実験では、 $\phi 0.2$ mm では着火源距離を 0, 50, 100, 300 mm, $\phi 1.0$ mm では 0, 50, 100, 200 mm, $\phi 4.0$ mm では 0, 50, 100, 200, 500 mm に設定した。測定回数は各ピンホール径、着火源距離において 3 回ずつとした。裸火による着火実験では、噴出時間は最大 5 秒間とし着火した場合は周囲への延焼の危険を考慮して即プロパン噴出を停止した。

高温表面着火実験では、 $\phi 0.2$ mm, $\phi 1.0$ mm では着火源距離を 100, 200 mm, $\phi 4.0$ mm では 100, 200, 300, 500 mm に設定した。高温表面温度は 400, 500, 600, 700 °C に設定した。測定回数は各ピンホール径・着火源距離・高温表面温度の組み合わせについて 3 回ずつとした。噴出時間は安全性の観点から、 $\phi 0.2$ mm, $\phi 1.0$ mm では最大 15 秒、 $\phi 4.0$ mm では最大 5 秒間とした。

2.2.1.2.1.3 結果及び考察

(a) プロパン噴流の濃度分布

図 2.2.1.2.1.3-1 にピンホール径 $\phi 1.0$ mm, 測定位置 100 mm, 測定高さがピンホール高さの場合における濃度の経時変化を示す。図 2.2.1.2.1.3-2 に示すように、噴出中の観察から、噴出直後は気化せずに液相の状態で噴出し、一定時間後に気化した状態で噴出することが観察された。この現象の原因について、本実験ではボンベからのプロパンは気相で取り出しているため、正確なところは不明であるが、アクチュエータバルブ開放前の配管内のプロパンが断熱膨張によって温度低下し、液相となって滞留していた可能性が考えられる。実際の RAC においても、エアコン運転時に冷媒が液相となっている場合があるので、噴出漏洩が生じた場合同様の噴出特性を示す可能性がある。なお図 2.2.1.2.1.3-2 中の文字 t は、プロパン噴出開始からの経過時間を示している。図 2.2.1.2.1.3-1 と図 2.2.1.2.1.3-2 の比較から、プロパン濃度は気液混相状態での噴出時に濃度が大きく変動し、気相で定常的に噴出する時間帯ではほぼ一定の濃度を示す傾向が認められた。後述する着火実験において、着火源がすでに存在している状況下でプロパンを噴出させた場合は、気液混相状態で着火源とプロパン噴流が衝突するため、着火の瞬間は図 2.2.1.2.1.3-1 に示すような、噴出初期の急峻なピークを示す、複雑な濃度変動を示す時間帯にあると考えられる。そこで、噴出から約 10 秒間（以下気液混相状態と呼称、

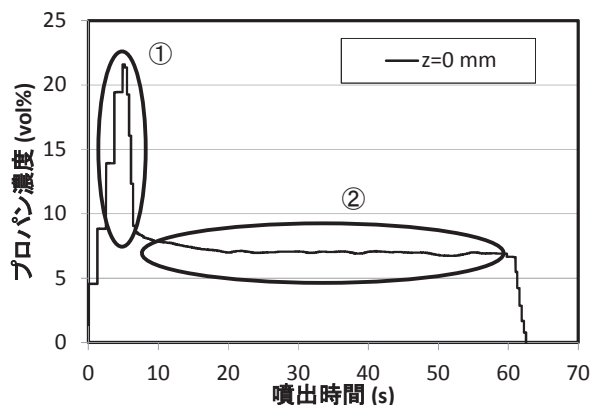


図 2.2.1.2.1.3-1 ピンホール高さにおけるプロパン噴流濃度の経時変化の一例 ($\phi 1.0$ mm, 測定位置：ピンホール下流側 100 mm)

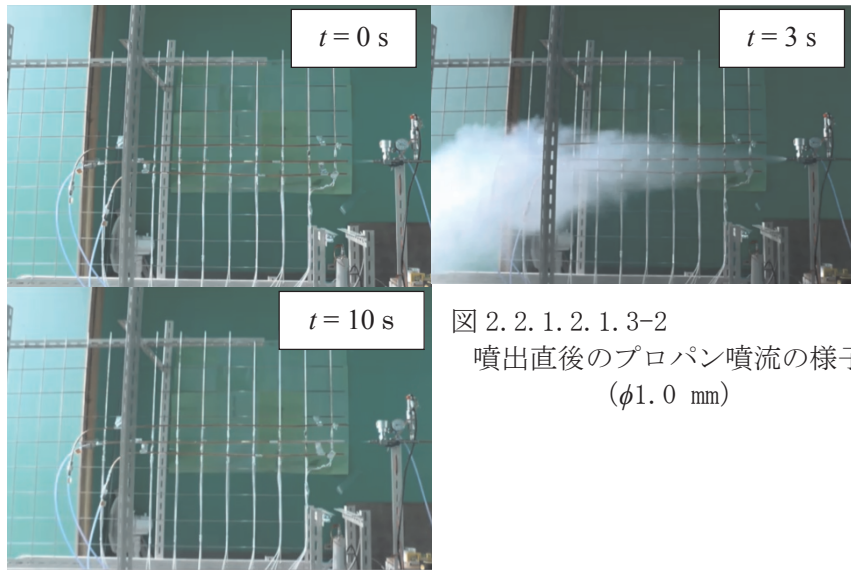


図 2.2.1.2.1.3-2
噴出直後のプロパン噴流の様子
($\phi 1.0$ mm)

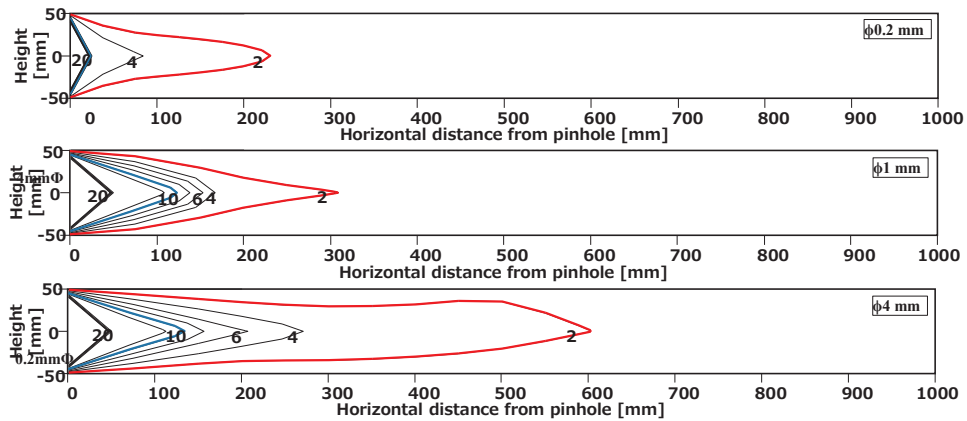


図 2.2.1.2.1.3-3 気液混相状態におけるプロパン噴流の等濃度線図

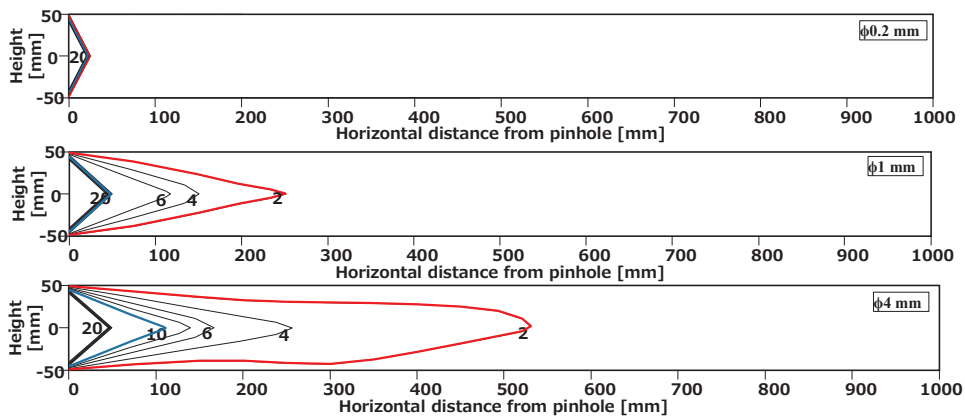


図 2.2.1.2.1.3-4 気相定常状態におけるプロパン噴流の等濃度線図

図 2.2.1.2.1.3-1 中の①の濃度の平均を着火実験時の濃度とし、定常となっている時間帯（以下気相定常状態と呼称）での濃度（図 2.2.1.2.1.3-1 中の②）と分けて以下議論することとした。また、ピンホールから下流側 0 mm での濃度はプロパン濃度 100 vol% と仮定した。

図 2.2.1.2.1.3-3 に気液混相状態における濃度をもとに作成した、各ピンホール径における等濃度線図を、図 2.2.1.2.1.3-4 に気相定常状態におけるそれを示す。等濃度線図の縦軸は高さ（0 mm はピンホール高さに相当）を、横軸はピンホールからの下流側距離を示している。また、図中の赤線はプロパンのおおよその燃焼下限界（LFL: 2.1 vol%）を、青線はおおよその燃焼上限界（UFL: 9.5 vol%）を示している。これらの図より、気液混相状態の場合、噴流中心軸上においてプロパンの燃焼範囲に入っている領域は、 $\phi 0.2$ mm の場合ピンホールから約 20

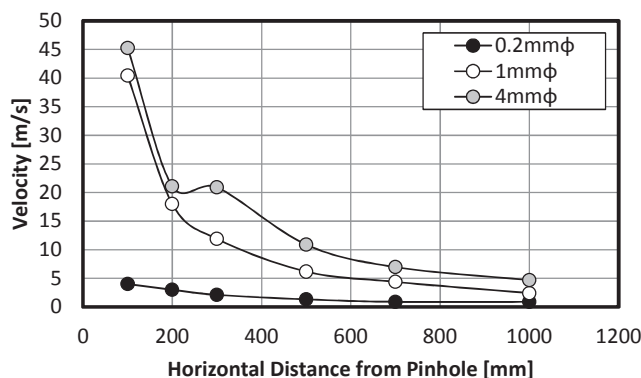


図 2.2.1.2.1.3-5 気液混相状態における噴流速度と測定位置の関係

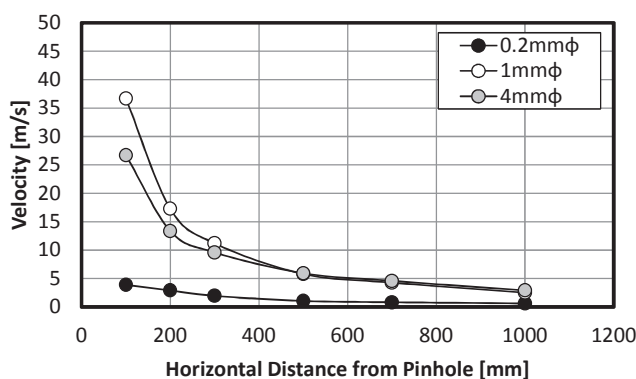


図 2.2.1.2.1.3-6 気相定常状態における噴流速度と測定位置の関係

～230 mm, ϕ 1.0 mm の場合ピンホールから約 120～310 mm, ϕ 4.0 mm の場合約 130～600 mm であった。これに対し気相定常状態では, ϕ 0.2 mm の場合, 下流側すべての測定領域で燃焼下限界を下回る濃度分布を示した。 ϕ 1.0 mm の場合, 約 50～250 mm, ϕ 4.0 mm の場合, 約 110～530 mm が燃焼範囲に入っていることがわかる。また, 噴流中心軸から上下 50 mm 鉛直方向に離れた領域では, 気液混相状態, 気相定常状態ともに, 燃焼範囲は形成されていない。

(b) プロパン噴流の速度分布

図 2.2.1.2.1.3-5 に気液混相状態における噴流速度と測定位置の関係を, 図 2.2.1.2.1.3-6 に気相定常状態における噴流速度と測定位置の関係を示す。図 2.2.1.2.1.3-5 より, 気液混相状態の噴流速度は, すべての測定位置において ϕ 4.0 mm が最も大きい値を示した。図 2.2.1.2.1.3-6 より, 気相定常状態は, 測定位置 100～300 mm までは ϕ 1.0 mm が最も大きな値を示し, 測定位置が 500 mm より遠ざかると, ϕ 4.0 mm とほぼ同じ値となった。 ϕ 0.2 mm の場合は, 測定位置 100 mm でも噴流速度が 5 m/s を下回り, ϕ 1.0 mm, ϕ 4.0 mm の場合とは大きく差がある。しかし, 測定位置が遠くなるほど, ピンホール径による速度の違いは小さくなっていき, 測定位置 1000 mm ではほぼ同じ値となった。

(c) プロパン噴流の着火実験結果

表 2.2.1.2.1.3-1～表 2.2.1.2.1.3-3 に電気スパーク, 裸火, 高温表面をそれぞれ着火源としたときの着火実験結果を示す。また, 図 2.2.1.2.1.3-7 に着火時の一例として, ϕ 0.2 mm, 着火源距離 100 mm (s63-4) における直流放電スパークによる着火の様子と測定温度をもとにした等温度線図を, 図 2.2.1.2.1.3-8 に ϕ 1.0 mm, 着火源距離 100 mm におけるそれを示す。これらの結果から, 以下の事項が認められた。

- (i) 同じ着火源位置であっても, ピンホール径によりプロパン噴流の濃度が異なるので, 着火源位置が燃焼範囲の濃度であれば着火が認められ, 燃焼範囲外の場合は着火しなかった。
- (ii) 同じ着火源位置および濃度であっても, 着火源によって着火する場合とそうでない場合があった。
- (iii) 電気スパークを着火源とした場合, プロパン濃度がおよそ 2～4 vol%となる位置でスパークと接触すると, 着火するケースが多かった。
- (iv) 裸火を着火源とした場合, 電気スパークと比べてよりプロパン濃度が高い (約 5 vol%) 場合でも着火するケースがあった。

高温表面を着火源とした場合、今回実施した着火源位置及び噴出条件においては、いずれのピンホール径でも着火は認められなかった。高温表面に接触しても、プロパン温度が発火点まで上昇する前にプロパン自身が高温表面から離れてしまうためと考えられる。

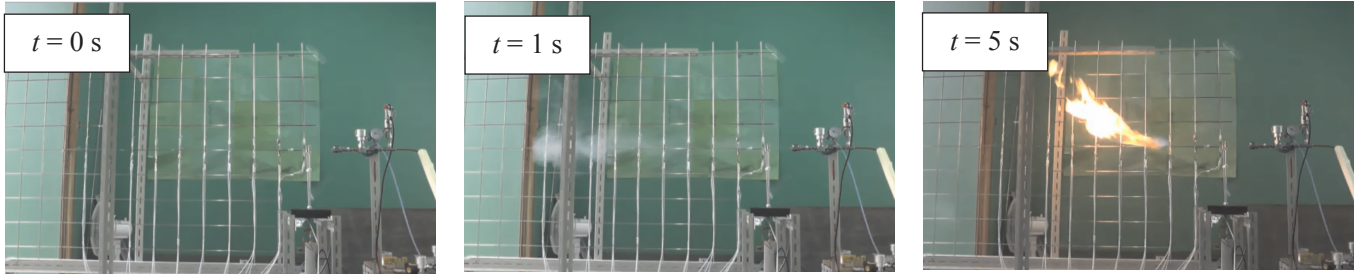
表 2.2.1.2.1.3-1 着火実験結果（着火源：電気スパーク）

着火源	ピンホール径 [mm]	着火源距離 [mm]	濃度 [vol%]	周囲環境条件		漏洩量 [g]	漏洩時間 [s]	漏洩速度 [kg/h]	エネルギー [mJ]	着火		
				室温 [°C]	湿度 [%R.H.]							
直流放電 スパーク	1	0	100.00	2.1	53.2	14.0	4	12.6	2.59	×		
				2.6	51.4	8.0	4	7.2	2.44	×		
				2.6	51.5	10.0	4	9.0	2.51	×		
		50	14.00	2.8	48.8	10.0	4	9.0	5.83	×		
				3.2	48.1	9.0	4	8.1	2.59	×		
				4.5	40.6	9.0	4	8.1	3.67	×		
		100	13.14	4.7	40.0	6.0	4	5.4	1.88	×		
				8.5	29.5	16.0	5	11.5	9.32	×		
				11.5	23.8	8.0	4	7.2	1.82	×		
		200	6.10	13.9	19.4	11.0	4	9.9	1.46	×		
				15.8	17.3	8.0	5	5.8	3.49	×		
				12.5	19.7	11.0	4	9.9	2.29	×		
		500	0.84	7.9	26.3	8.0	4	7.2	1.82	×		
				6.4	31.8	8.0	4	7.2	1.63	×		
				5.7	33.5	12.0	5	8.6	1.46	×		
		4	0	100.00	4.5	35.3	11.0	4	9.9	2.29	×	
					4.6	27.8	17.0	3	20.4	3.32	×	
					4.6	28.2	18.0	7	9.3	5.38	×	
			50	14.10	4.4	27.4	20.0	5	14.4	4.05	×	
					0.4	62.1	19.0	4	17.1	2.02	×	
					0.3	62.4	16.0	4	14.4	1.76	×	
			100	13.23	0.7	61.7	16.0	4	14.4	2.08	×	
					0.9	61.4	13.0	4	11.7	1.69	×	
					0.8	61.2	16.0	4	14.4	1.63	×	
	200		6.22	1.1	59.6	22.0	4	19.8	1.63	×		
				1.5	59.6	19.0	4	17.1	1.69	×		
				1.7	57.6	18.0	4	16.2	1.63	×		
	500		2.61	1.6	54.9	17.0	4	15.3	1.46	×		
				5.1	32.5	14.0	5	10.1	2.02	○		
				6.2	28.8	20.0	4	18.0	1.51	△		
	0.2		0	100.00	7.8	24.5	17.0	5	12.2	2.51	○	
					2.5	58.1	0.0	5	0.0	2.05	×	
					3.3	57.9	0.0	5	0.0	3.23	×	
			50	5.03	3.7	57.5	0.0	5	0.0	2.78	×	
					3.3	68.0	4.7	7	2.4	2.19	×	
					3.4	69.4	5.1	7	2.6	2.29	×	
			100	3.89	3.5	69.2	3.5	7	1.8	1.93	×	
					3.7	63.6	14.8	6	8.9	2.55	○	
					3.7	65.5	13.3	7	6.9	2.35	×	
		200	2.72	3.5	66.5	9.8	7	5.0	1.87	×		
				3.5	71.1	17.8	8	8.0	1.69	○		
				3.2	71.9	22.3	7	11.5	2.07	○		
						3.1	72.5	21.5	8	9.7	2.00	×

表 2. 2. 1. 2. 1. 3-2 着火実験結果 (着火源：裸火)

着火源	ピンホール 径 [mm]	着火源距離 [mm]	濃度 [vol%]	周囲環境条件		漏洩量 [g]	漏洩時間 [s]	漏洩速度 [kg/h]	着火
				室温 [°C]	湿度 [%R.H.]				
裸火	1	0	100.00	5.9	80.3	7	1	25.2	×
				6.0	81.8	3	1	10.8	×
				6.0	81.9	7	2	12.6	×
				6.4	35.2	3	2	5.4	×
		50	14.00	5.8	80.1	5	1	18.0	×
				5.8	82.8	6	1	21.6	×
				5.9	82.5	6	2	10.8	×
				5.9	36.2	5	2	9.0	×
		100	13.14	6.0	82.1	5	1	18.0	×
				6.1	83.0	5	2	9.0	×
				6.0	83.4	4	2	7.2	×
				5.5	37.0	4	1	14.4	○
		200	2.95	5.9	83.8	5	1	18.0	○
				6.1	83.2	6	2	10.8	×
				6.1	83.1	9	3	10.8	×
				1.8	39.0	9	1	32.4	○
	1.9			35.5	5	1	18.0	○	
	2.2			34.2	6	2	10.8	×	
	4	0	100.00	4.5	77.4	7	1	25.2	×
				5.4	76.8	7	1	25.2	×
				5.5	72.1	8	1	28.8	×
				5.6	77.2	12	1	43.2	×
		50	14.10	5.5	80.1	11	1	39.6	×
				5.2	77.4	9	1	32.4	×
				5.2	78.7	11	1	39.6	○
				5.4	77.1	11	1	39.6	×
		200	6.22	5.5	77.8	12	2	21.6	×
				6.0	77.1	11	3	13.2	×
				6.3	74.4	12	1	43.2	×
				6.3	74.8	10	1	36.0	×
		500	2.61	2.2	35.8	9	1	32.4	○
				2.9	33.0	9	1	32.4	○
				3.3	33.5	9	1	32.4	○
				5.3	38.6	4	5	2.9	×
	0.2	0	100.00	5.3	40.2	2	5	1.4	×
				4.9	40.2	4	5	2.9	×
				5.0	41.6	8	5	5.8	○
				5.1	41.0	5	5	3.6	○
		50	5.03	4.9	42.5	6	5	4.3	○
				5.4	31.6	1	5	0.7	×
5.2				31.6	7	5	5.0	×	
5.2				32.4	5	5	3.6	×	
100		3.89	5.2	32.7	2	5	1.4	×	
			5.1	32.9	3	5	2.2	×	
			5.1	33.2	3	5	2.2	×	
			5.1	33.2	3	5	2.2	×	

(a) 火炎挙動



(b) 等温度線

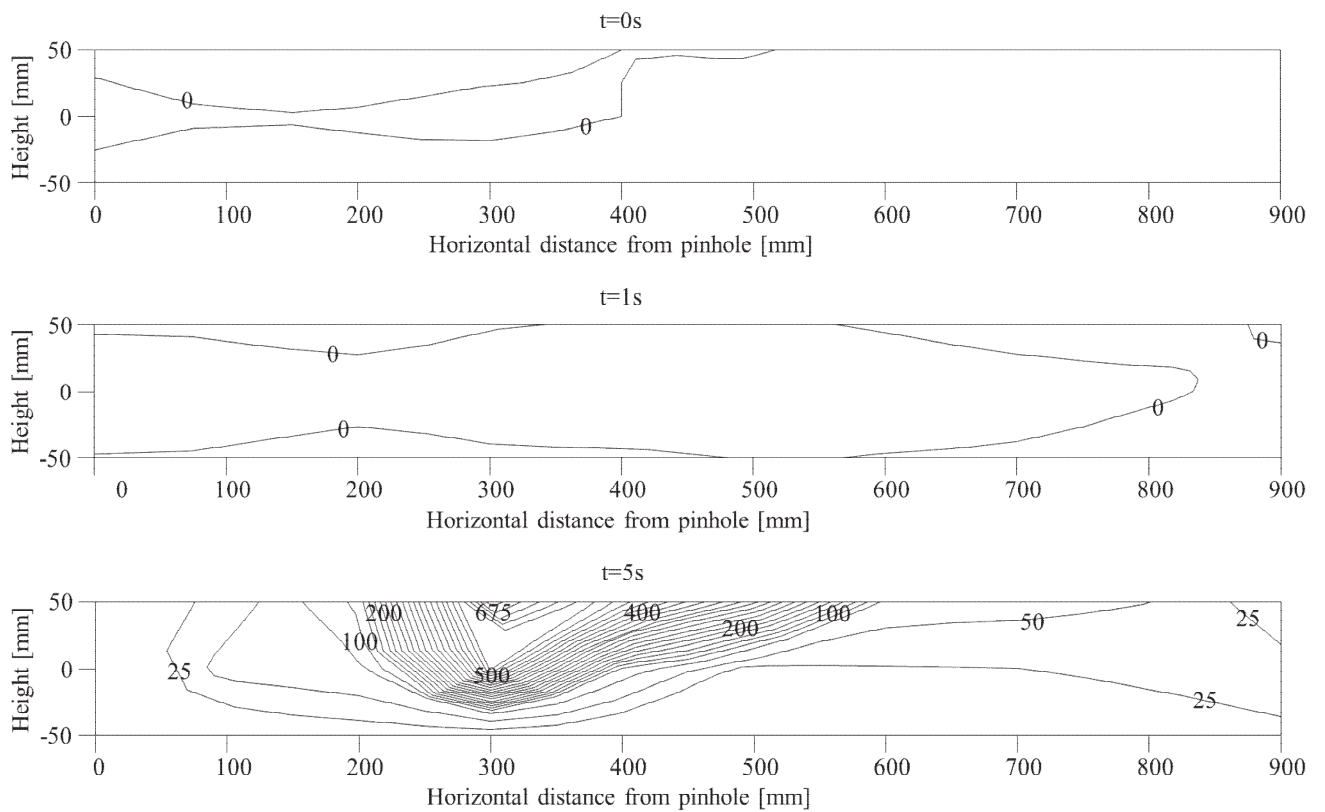
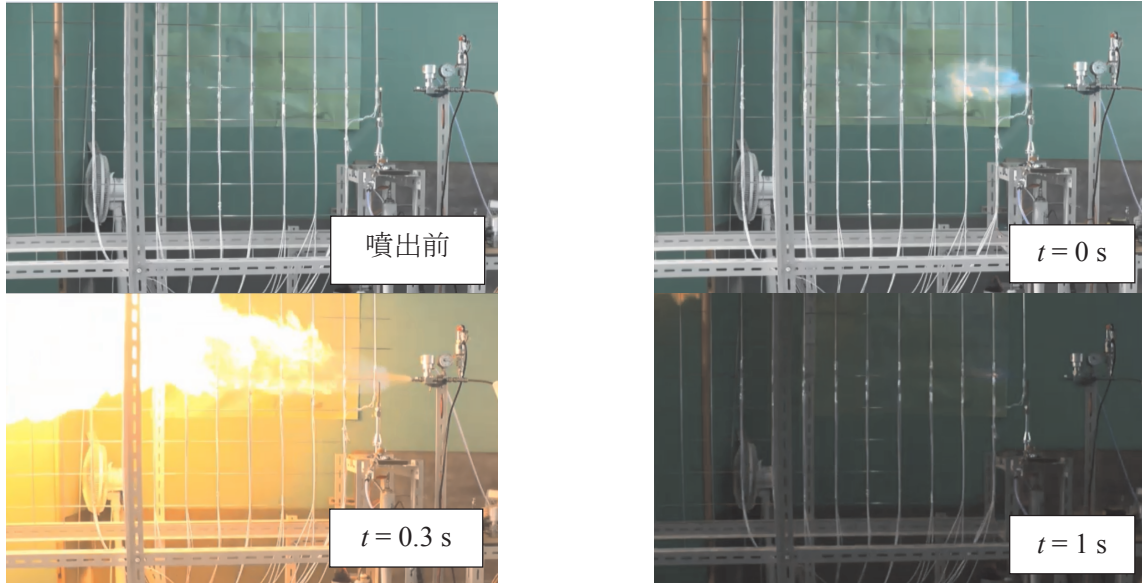


図 2. 2. 1. 2. 1. 3-7 電気スパークによるプロパン噴流への着火挙動と温度分布
(ピンホール径 $\phi 0.2 \text{ mm}$, 着火源距離 100 mm)

(a) 火炎挙動



(b) 等温度線

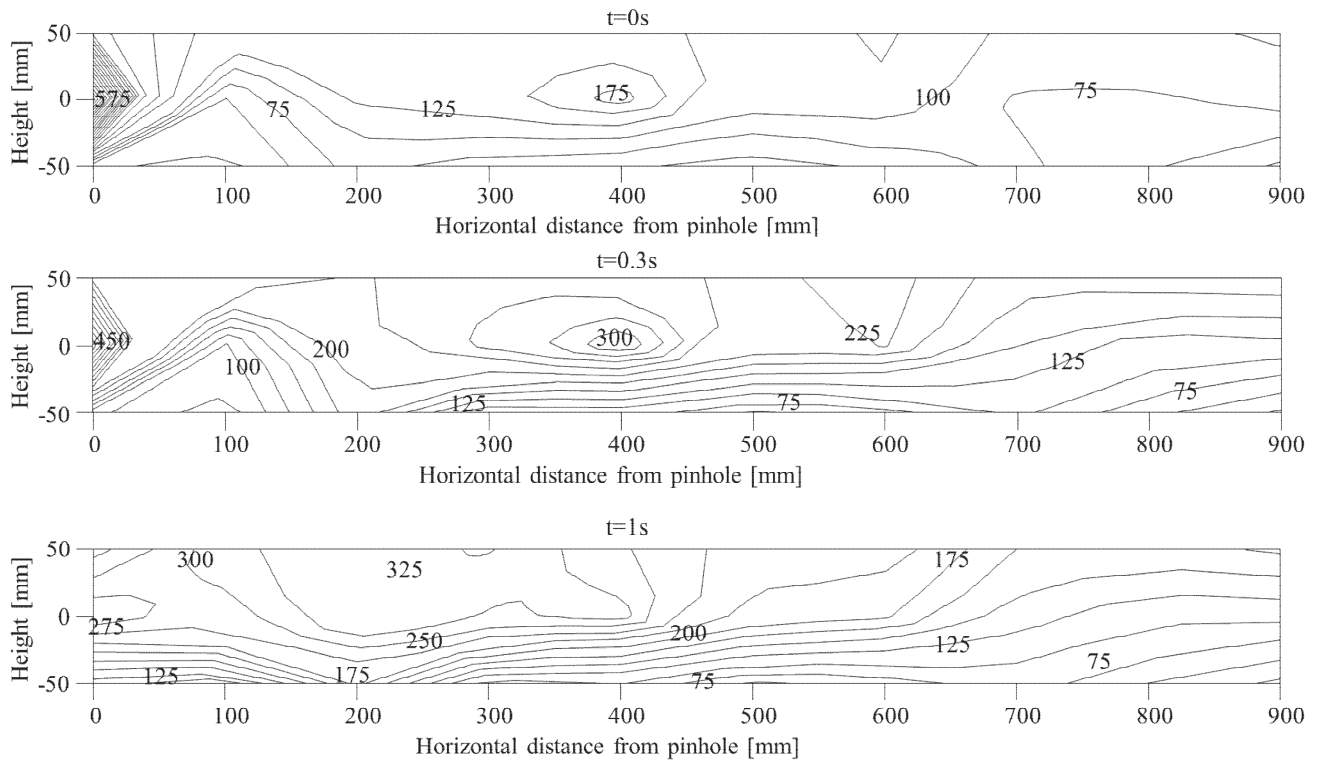


図 2. 2. 1. 2. 1. 3-8 裸火によるプロパン噴流への着火挙動と温度分布
(ピンホール径 $\phi 1\text{mm}$, 着火源距離 100mm)

(d) 着火有無の評価手法

上述(c)の結果より、プロパン噴流の着火は、①プロパン噴流の濃度、②噴流速度、③着火源のエネルギーに依存すると考えられた。そこで、これらの3つのパラメータを含めて統一的に着火の有無を評価可能とするために、“エネルギー密度”の考え方を新たに導入することとした。エネルギー密度の算出方法は以下のとおりである。

- (i) 計測した電圧波形から放電電圧を読み取り、式(1)によりスパークのエネルギーを求め、放電時間で除して発熱速度を求めた。このエネルギーを、電極間隔を直径とする火炎球が有していると考えてその体積で除し、“着火源強度”を求めた。
- (ii) 裸火の場合は、燃料(プロパン)の重量減少速度を計測し、これに低位発熱量(46.34

MJ/kg[3]) を乗じて発熱速度を求めた。これが、1/4 インチ銅管内径を底面直径とし、火炎高さを高さとする円錐形状の火炎に蓄えられていると考えてその体積で除し、“着火源強度”とした。

(iii) 単位時間 (1 秒) あたりに形成されるプロパン-空気混合気 (ピンホール径を直径とする底面を有し、流速を長さとする円柱で仮定) に、この着火源強度が与えられると考え、着火源強度をプロパン-空気混合気の体積で除した。これを“エネルギー密度”とした。

(iv) 高温表面の場合は、着火したケースが見られなかったことから、ここでは対象としなかった。

図 2.2.1.2.1.3-9 にエネルギー密度と濃度の関係を、着火源強度ごとの着火・不着火を凡例として示す。プロパン噴流濃度が LFL~3 vol% の範囲では、広い範囲のエネルギー密度 (2~5000 mW/(mm³)/mm³) で着火源種類を問わず着火が認められた。ただしこの範囲のエネルギー密度では、より大きな着火エネルギーが必要となる、6 vol% 程度のプロパン-空気混合気には着火できていない。さらにエネルギー密度を大きくすると、徐々に着火できる範囲が過濃側へシフトした。したがって、図中に示す点線は着火・不着火を分ける目安となり、燃焼範囲内であってかつこの点線よりも下にある領域は着火する可能性が高いと考えられる。ただし、一部これに従わない結果がみられるが、これはいずれも裸火を着火源とした場合であるため、プロパン噴流中心軸と着火源位置のわずかなずれが要因の 1 つと推測される。

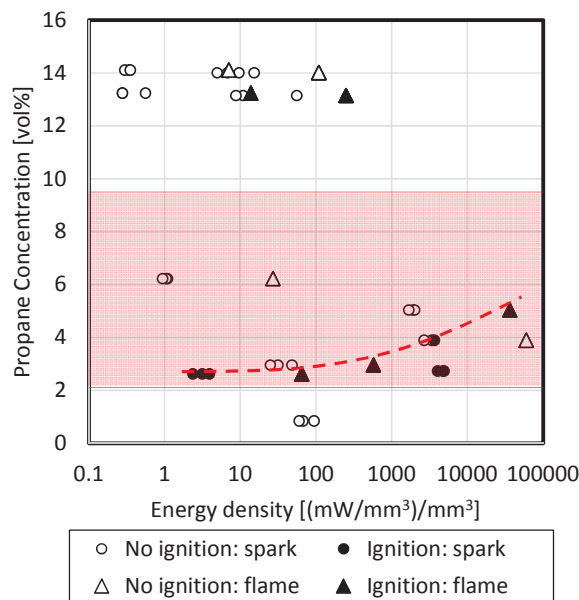


図 2.2.1.2.1.3-9 プロパン噴流の着火・不着火判定図
(着火源：直流放電スパークおよび裸火)

2.2.1.2.2 微速漏洩滞留

2.2.1.2.2.1 研究の概要

ここでは、室内機から居室内、あるいは室外機からベランダ、といった密閉あるいは半密閉空間内へ、人が気づかない程度の微速で冷媒が漏洩し滞留した場合の火災発生可能性を調べることにした。そのために、まず冷媒漏洩滞留空間の濃度分布を測定し、これに基づいて、電気スパークを使用した着火実験を行った。特にこのシナリオでは、微速漏洩が生じた場合でも、滞留を防止し燃焼範囲の形成を局限化できる技術の開発を目指して、室内に開口部 (ベランダ排水口を想定) を設けた場合の効果についても検討することとした。

2.2.1.2.2.2 実験

(a) 滞留空間

図 2.2.1.2.2.2-1 に模型滞留空間の概略を示す。模型滞留空間は SUS304 製の直方体で、断面寸法は 350 mm×350 mm、長さは 1000 mm である。これを直径 642 mm の SUS304 製円筒容器内

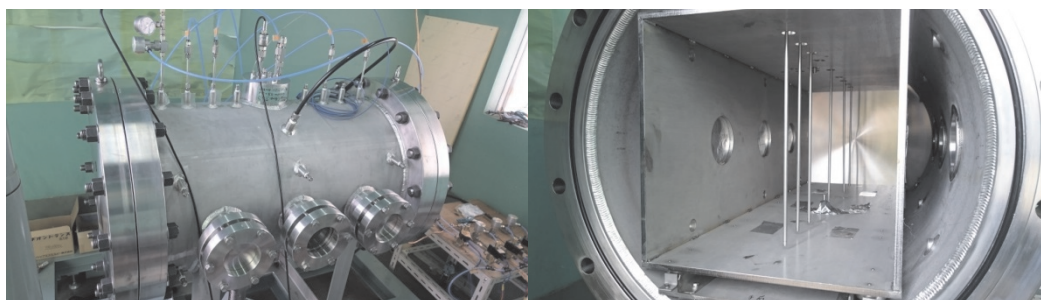


図 2.2.1.2.2-1 模型滞留空間概略写真
 (左：円筒容器と合わせて用いた場合の外観)
 (右：模型滞留空間の外観)

に格納し、耐圧を高めた。円筒容器と合わせて用いる場合の耐圧は 2 MPa である。模型滞留空間上面には図 2.2.1.2.2.3-1 に示すように、冷媒漏洩管、濃度計測用配管、熱電対等を設置できるポートを設置している。また底面には、図 2.2.1.2.2.3-2 に示すように $\phi 40$ mm の 6 か所の穴が開いており、これによりベランダの排水口を模擬した。実験条件としてこの 6 か所の排水口を全閉とした場合と、全開とした場合の 2 パターンの実験を実施した。

(b) 冷媒漏洩系統

冷媒は図 2.2.1.2.2.3-1 の 9 番ポートに 1/4 インチ SUS チューブを挿入し、鉛直下向きに漏洩させた。漏洩量は観測室内に設置したポンペの取り出し口に設置したニードルバルブにより調整し、10 g/min の速度で漏洩させた。漏洩量は急速漏洩時と同じ重量計にて計測した。

(c) 濃度計測系統

1/4 インチ SUS チューブを、3, 5, 7, 8, 10 番ポートから挿入し、これを急速漏洩時の実験でも用いた超音波式ガス濃度計に接続して、室内の濃度分布を測定した。なお、測定管の高さは 3, 5, 8 番ポートは床面直上（以下高さ 0H と表記）、7 番ポートは高さ 175 mm（高さ 1/2H と表記）、10 番ポートは天井直下（高さ 350 mm、以下高さ H と表記）とした。これにより濃度の長手方向分布及び鉛直分布を検討可能とした。なお、事前の測定により、短手方向へはほとんど濃度分布は見られず、均一な濃度を示すことを確認した。なお、ポートの高さと電極の高さが容器構造上一致しないため参考値ではあるが、着火実験時には容器側面にある高さ 25 mm のポートへ濃度測定管を挿入し、室内濃度をモニタリングした。

(d) 温度計測系統

着火実験時において、容器内の温度を K 型シース熱電対（保護管径 1.0 mm）9 本により測定した。測定位置は図 2.2.1.2.2.3-3 のとおりである。

(e) 圧力計測系統

図 2.2.1.2.2.3-1 の 1 番ポートに、圧力トランスミッタ（長野計器製 KH15-L34）を設置し、チャートレコーダ（日置電機製 8860-50）にて記録した。チャートレコーダのトリガー信号は、後述する着火源とした電気スパークの放電に伴う電圧降下信号を用いた。

(f) 着火源

着火源として、直流放電スパークを用いた。直流放電スパーク用の電源は急速漏洩時と同じものである。電極はタングステン製で線径 1.0 mm、電極間隔は 2 mm である。電極の設置高さは床から 87.5 mm である。

(g) 実験条件

実験条件として、排水口の開閉の有無、漏洩高さ、漏洩量を変化させた。漏洩高さは高さ 0H, 1/2H, H の 3 段階とした。漏洩量は、全量が漏洩し均一に混合した場合に、計算上室内濃度が燃焼下限界（LFL：2.1 vol%）、化学量論濃度（ C_{st} ：4.0 vol%）、燃焼上限界（UFL：9.5 vol%）となる量として、それぞれ 5, 10, 24 g とした。1 つの漏洩高さ・漏洩量・開口部条件の組み合わせについて最低 3 回ずつ実験を行い再現性を調べた。

2.2.1.2.2.3 結果及び考察

(a) 滞留空間内でのプロパン濃度分布

図 2.2.1.2.2.3-4 に、漏洩高さごとのプロパン濃度の鉛直分布及び水平分布を示す。図中の白抜きプロットは排水口開口時、塗りつぶしプロットは排水口全閉時を示す。これより、以下

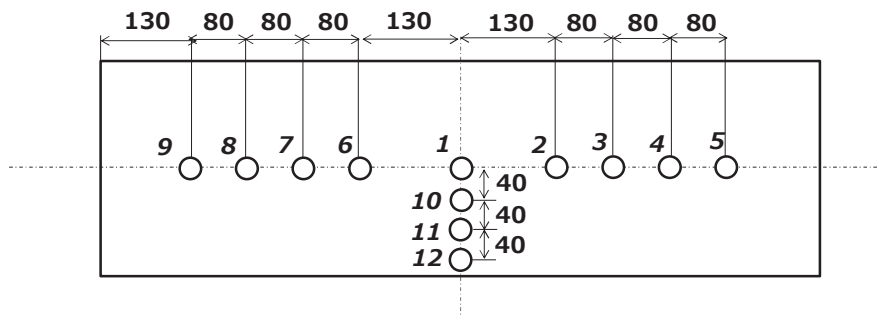


図 2.2.1.2.2.3-1 模型滞留空間上面設置の各種測定ポート配置図 (単位: mm)

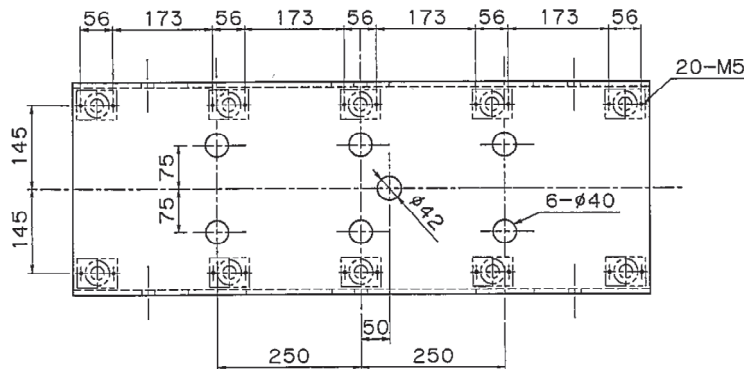


図 2.2.1.2.2.3-2 模擬排水口の位置 (単位: mm)

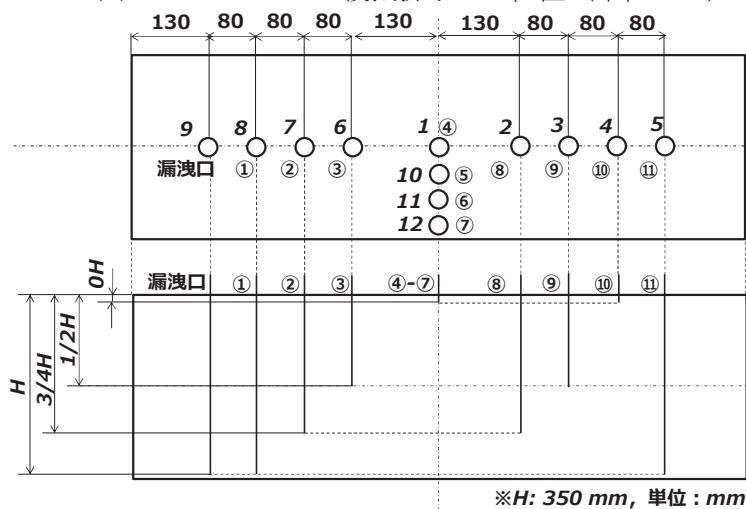


図 2.2.1.2.2.3-3 模型滞留空間内の熱電対設置位置
斜体数字: ポート番号, 丸数字: 熱電対番号

の事項が読み取れた。

(i) 漏洩高さが高くなるほど、周囲空気と混合しながら室内に滞留するため、濃度勾配が小さくなる。

(ii) 排水口を開口することによる濃度低減効果はほとんどみられず、開口によりむしろ濃度上昇する場合があった。一因として、開口により滞留空間内の圧力が低下するため、流れ込む冷媒量が重量計の最小秤量単位以下の質量で増加した可能性が考えられる。

したがって、実際のベランダ等において床面に設置されている排水口等により、漏洩プロパンの滞留及び燃焼領域形成を防止・低減する効果は非常に小さいと考えられる。

(b) 着火実験

表 2.2.1.2.2.3-1~2.2.1.2.2.3-3 に各漏洩高さにおける着火実験結果の一覧を示す。表中の N.D. はデータが取得できなかったことを示している。図 2.2.1.2.2.3-5 は一例として漏洩高さ 1/2H, 漏洩量 10 g における容器内温度の経時変化, 図 2.2.1.2.3-1 は圧力上昇の経時変化

表 2.2.1.2.2.3-1 微速漏洩滞留着火実験結果 (漏洩高さ 0H)

漏洩高さ [mm]	気象条件		プロパン噴出量 [g]	噴出時間 [s]	噴出速度 [kg/h]	プロパン 濃度[vol%]	当量比 [-]	静電エネルギー [mJ]	圧力上昇[kPa]	着火
	気温 [°C]	湿度 [%R.H.]								
0	2.1	40.5	5	23	0.8	3.4	0.84	N.D.	N.D.	×
	2.2	38.8		31	0.6	3.3	0.81	N.D.	N.D.	×
	2.3	37.7		24	0.8	3.2	0.79	N.D.	N.D.	×
	3.7	34.5	10	51	0.7	5.6	1.41	N.D.	N.D.	×
	6.8	25.0		54	0.7	6.1	1.55	N.D.	N.D.	○
	6.3	33.7		53	0.7	6.6	1.68	N.D.	N.D.	○
	2.1	50.6		57	0.6	6.1	1.55	N.D.	N.D.	○
	4.0	43.5		63	0.6	7.5	1.93	N.D.	N.D.	○
	7.5	27.4		51	0.7	5.6	1.41	N.D.	N.D.	×
	6.9	35.8	24	114	0.3	7.1	1.82	N.D.	275.58	○
	7.3	24.3		53	0.7	6.0	1.52	N.D.	N.D.	×
	7.9	33.2		58	0.6	6.1	1.55	N.D.	N.D.	×
	7.2	23.7		119	0.3	13.0	3.56	0.77	N.D.	×
	7.9	34.9		138	0.3	14.0	3.88	N.D.	N.D.	×
	7.5	32.6		140	0.6	14.2	3.94	0.72	N.D.	×
	6.8	32.6	144	0.6	14.2	3.94	N.D.	N.D.	×	

表 2.2.1.2.2.3-2 微速漏洩滞留着火実験結果 (漏洩高さ 1/2H)

漏洩高さ [mm]	気象条件		プロパン噴出量 [g]	噴出時間 [s]	噴出速度 [kg/h]	プロパン 濃度[vol%]	当量比 [-]	静電エネルギー [mJ]	圧力上昇[kPa]	着火
	気温 [°C]	湿度 [%R.H.]								
175	6.6	38.7	5	30	0.6	2.8	0.69	0.67	N.D.	×
	8.2	32.8		35	0.5	3.8	0.94	0.68	N.D.	×
	10.4	29.7		33	0.5	4.8	1.20	0.69	N.D.	×
	10.5	27.4	10	55	0.3	5.8	1.47	0.67	N.D.	×
	4.8	75.9		54	0.3	6.8	1.74	0.49	N.D.	×
	5.3	77.4		54	0.3	7.8	2.01	0.36	N.D.	×
	10.4	29.0		56	0.3	8.8	2.30	0.64	N.D.	×
	4.7	78.4		55	0.3	9.8	2.59	0.52	362.73	○
	10.0	30.4		58	0.3	10.8	2.88	0.68	450.40	○
	5.1	70.3	24	127	0.7	11.3	3.03	0.42	N.D.	×
	4.6	74.3		126	0.7	11.3	3.03	0.51	N.D.	×
	4.6	75.0		127	0.7	11.5	3.09	0.58	N.D.	×

表 2.2.1.2.2.3-3 微速漏洩滞留着火実験結果 (漏洩高さ H)

漏洩高さ [mm]	気象条件		プロパン噴出量 [g]	噴出時間 [s]	噴出速度 [kg/h]	プロパン 濃度[vol%]	当量比 [-]	静電エネルギー [mJ]	圧力上昇[kPa]	着火
	気温 [°C]	湿度 [%R.H.]								
350	5.3	77.4	5	21	0.9	1.9	0.46	0.53	N.D.	×
	4.9	79.4		28	0.6	2.7	0.66	0.48	N.D.	×
	4.7	79.1		25	0.7	2.4	0.59	0.48	N.D.	×
	4.6	80.2	10	51	0.7	4.6	1.15	0.40	N.D.	×
	4.4	76.8		54	0.7	4.7	1.17	0.49	N.D.	×
	4.8	77.4		47	0.8	4.4	1.10	0.69	N.D.	×
	5.4	60.5	24	129	0.7	8.5	2.21	0.51	N.D.	×
	5.9	57.1		130	0.7	8.6	2.24	0.42	N.D.	×
	6.4	52.4		129	0.7	8.5	2.21	0.40	N.D.	×

を示したものである。本実験で与えたエネルギーの範囲では、高さ 0H (床漏洩) の場合に最も着火確率が高く、次いで高さ 1/2H であり、高さ H (天井漏洩) の場合は着火が認められなかった。火炎表面はきれいな層流表面を維持して伝播した。着火時の室内温度は、長手方向へは着火源から見て、漏洩管と反対側 (図 2.2.1.2.2.3-3 の熱電対番号⑧~⑩) のほうが高い温度を示す傾向があったが、最高温度は着火源の長手側左右でいずれも 450 ° C 程度であり、長手方向と短手方向で見ても、温度自体に大きな差は見られないことから、容器内全体に均一に火炎が広がったものと推測される。圧力上昇のピーク値は約 350 kPa、圧力波形をもとに算出した爆発強度指数 (K_G 値) はおよそ 45 bar・m/s となり、文献値[4] (ピーク過圧 790 kPa, K_G 値 100 bar・m/s,) のおよそ半分程度の値となった。この一因として、本実験で使用した直方体容器の場合、球形及び立方体容器に比べて早く火炎面が容器壁面に衝突するため、火炎が十分に成長していない段階で熱損失が起こるためと考えられる。なおここで K_G 値は式 (2) で与えられる。

$$K_G = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max} \cdot V^{1/3} \quad (2)$$

ただし dP/dt : 圧力上昇速度 (bar/s), V : 燃焼容器の容積 (m^3) である。

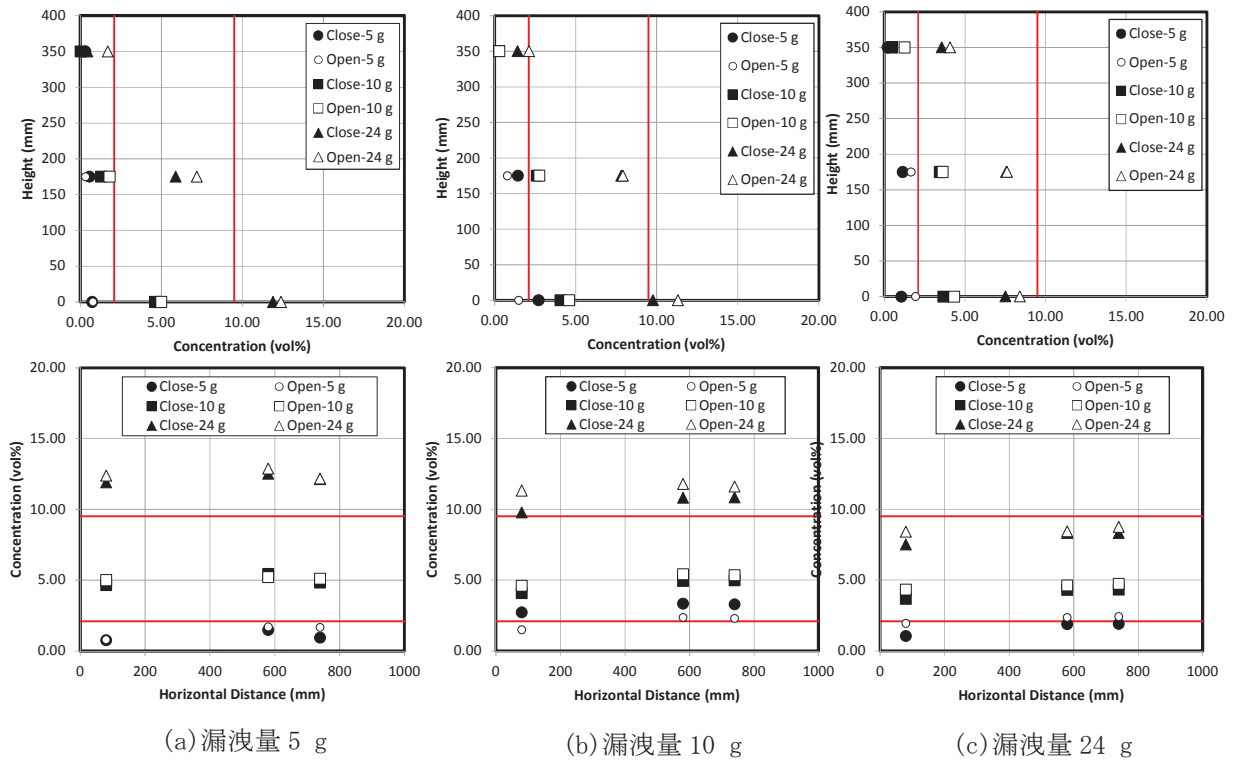


図 2.2.1.2.2.3-4 微速漏洩滞留実験における室内冷媒濃度分布
上段：鉛直分布 下段：水平分布

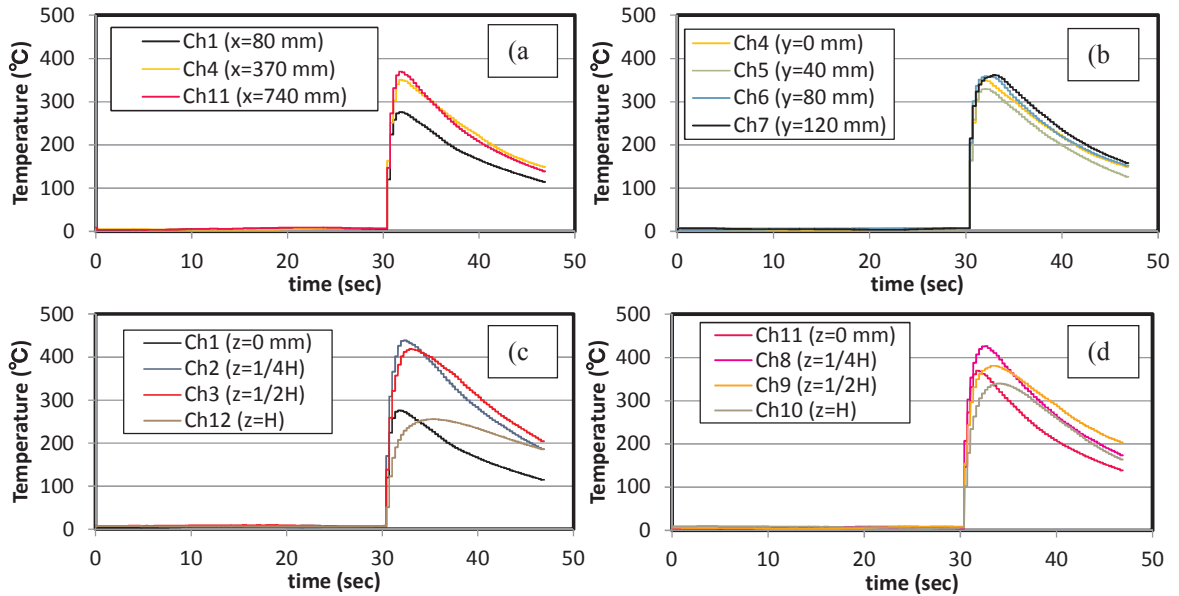


図 2.2.1.2.2.3-5 漏洩高さ 1/2H，漏洩量 10 g における容器内温度の経時変化
(a) 床面近傍，長手方向の温度分布 (b) 床面近傍，短手方向の温度分布
(c) 漏洩管側，鉛直方向の温度分布 (d) 漏洩管逆側，鉛直方向の温度分布

2.2.1.2.3 まとめ

本研究では，中小型空調機器冷媒への低 GWP 冷媒適用の可能性を検討するため，実際の使用状況を想定した事故シナリオを，たとえば業界団体及び有識者を交えて実施されるリスクアセスメントに基づいて抽出し，火災・爆発発生の危険性及び火災爆発事故発生時の物理的危険度（フィジカルハザード）を実験的に評価することとした。その結果，以下の成果を得た。

(a) (公社)日本冷凍空調学会内に設置された“次世代冷媒リスク評価研究会”に参画し，大学，研究機関，日本冷凍空調工業会関係者と，中小型空調機器冷媒を強燃性自然冷媒に転換する際の事故シナリオについて議論し，漏洩シナリオ及び着火源を選定し，検討シナリオを抽出する

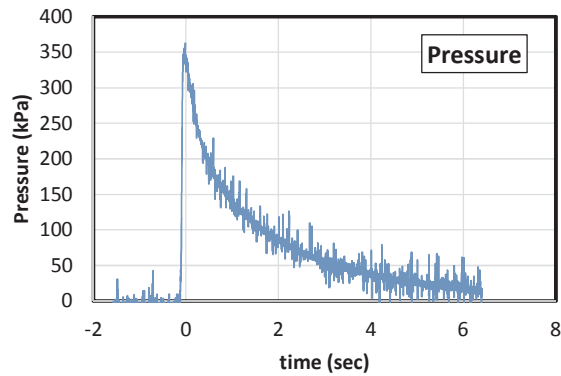


図 2.2.1.2.3-1 漏洩高さ 1/2H, 漏洩量 10 g における容器内圧力の経時変化

ことができた。

- (b) 抽出した漏洩シナリオに基づき、まず、室内機と室外機をつなぐ配管等からプロパン冷媒が急速漏洩した場合の着火可能性を評価するための実験を実施した。これをもとに、電気スパークおよび裸火を着火源とした場合について、着火の有無が、噴流速度および着火源のエネルギー密度とプロパン濃度の関係図から着火の有無を判定できる手法を構築した。
- (c) 微速漏洩滞留時については、漏洩滞留空間底部に排水口を模擬した開口部を設置しても、滞留防止効果および可燃性混合気形成抑制効果はほとんど認められないことが分かった。着火時の燃焼威力は、容器形状の効果もあり、ピーク過圧・ K_G 値については文献値のおよそ半値程度、室内温度上昇は最大で 450°C 程度であった。

以上により、プロパンを中小型空調機器に適用する際の着火可能性及びフィジカルハザードを定量的に評価することができ、当初の目標を達成した。

(参考文献)

- [1] (独) 産業安全研究所：産業安全研究所安全ガイド“圧縮空気駆動式小型研磨機の静電気対策－電撃及び可燃性物質への着火防止方法－”，NIIS-SG-No.2，2004，<https://www.jniosh.go.jp/publication/doc/sg/SG-No2.pdf>，2017年9月9日閲覧
- [2] 大野友則編，藤本一男，飯田光明，藤掛一典，別府万寿博，染谷雄史：“基礎からの爆発安全工学－構造物の耐爆設計の基礎”，共立出版，p.18，2011.
- [3] 水谷幸夫：燃焼工学（第3版），共立出版，p.41，2002.
- [4] 佐分利 禎：微燃性冷媒リスク評価研究会最終報告書，2016，http://www.jsrae.or.jp/committee/binensei/final_report_2016v1_jp.pdf，2017年9月9日閲覧