

「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・  
冷凍空調技術及び評価手法の開発」  
中間評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿 .....	1
評価概要（案） .....	2
評点結果 .....	4

## はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき研究評価委員会において設置された「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・冷凍空調技術及び評価手法の開発」（中間評価）の研究評価委員会分科会（2020年10月6日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第63回研究評価委員会（2021年1月8日）にて、その評価結果について報告するものである。

2021年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・  
冷凍空調技術及び評価手法の開発」  
分科会  
（中間評価）

分科会長 鹿園 直毅

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会  
「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・冷凍空調技術

及び評価手法の開発」

(中間評価)

分科会委員名簿

(2020年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	しかぞの なおき 鹿園 直毅	東京大学生産技術研究所 教授
分科 会長 代理	なかじま ひであき 中島 英彰	国立環境研究所 地球環境研究センター 気候モデリング・解析研究室 主席研究員
委員	あさおか たつりのり 浅岡 龍徳	信州大学 学術研究院工学系 工学部 機械システム工学科 准教授
	ささき なおえ 佐々木 直栄	日本大学 工学部 機械工学科 教授
	ささき まさのぶ 佐々木 正信	東京電力エナジーパートナー株式会社 販売本部 副部長
	みうら ひさし 三浦 尚志	建築研究所 環境研究グループ 主任研究員
	わくい てつや 浦井 徹也	大阪府立大学 大学院工学研究科 機械系専攻 機械工学分野 准教授

敬称略、五十音順

# 「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・冷凍空調技術

## 及び評価手法の開発」(中間評価)

### 評価概要(案)

#### 1. 総合評価

明確な研究開発計画を、充実した実施体制の下で意欲的に進め、いずれの課題も目標に向かって着実に良い成果が出ており、進捗状況も良好である。

一方、現時点では、モントリオール議定書キガリ改正の目標を達成できそうな決定的な冷媒の候補はまだ見つかっておらず、残り2年間で引き続き有望な冷媒候補の発掘と、その特性評価、国際規格化・標準化、製品化に向けた一層の取り組みを期待したい。特に、空調機器についての次世代冷媒をどうすべきかについては、性能面・安全性からもまだ多くの議論が必要かと考えられ、次世代冷媒の安全性を担保した上で普及させるために、安全性・リスク評価の成果を基に、産学間の関係強化をより一層進め、日本が主導的に次世代冷媒の国際規格への提案を図り、国際規格化・標準化に貢献するよう、さらに研究を進められることを期待する。

#### 2. 各論

##### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

モントリオール議定書キガリ改正に基づく生産・消費量の段階的削減目標を達成するためには、GWP(地球低温暖化係数)が低い新規冷媒開発は喫緊の課題であり、次世代冷媒およびその適用機器の開発は急務であることから、NEDOとして進める本事業の目的は妥当なものである。

また、当該研究内容は、先行きが不透明な中で市場からの強い要望があり、公共性が高い事業であること、民間企業単独ではリスクが大きく、研究機関と民間企業の連携を要すること、冷媒産業の国際競争力を大きく左右すること等から、NEDO事業としても適当である。

さらに、投じた研究開発費と比較して、十分に有意義な成果が得られることが期待される。

##### 2. 2 研究開発マネジメントについて

冷凍空調分野における有力な低GWP冷媒候補に対しては、物性・性能評価だけでなく、安全性・リスク評価が不可欠であることから、2つの研究開発項目を並行して実施することは極めて戦略的な目標設定である。特に、現状フロン品と同等以上の性能を実現する技術の達成見通しを得るために、委託事業では、成果の国際規格・国際標準への提案と国際データベースへの登録申請を具体的に目標としていること、助成事業では、現状市販フロン品と同等以上の性能を実現するために個別に目標を定める等、達成度を判定できる明確な目標を設定

している点は、評価できる。

また、多岐に渡る研究開発に対して、プロジェクトリーダーとサブプロジェクトリーダーによる事業進捗マネジメントが適切に行われ、事業が順調に進んでいる点も評価できる。

委託事業である物性評価・安全性評価においては、継続的な研究が重要であり、知見集積、人材育成、状況変化への対応は必要である一方、研究リソースは限られることから、今後の研究内容については優先順位を精査し、必要な研究はさらに加速化していただきたい。

## 2. 3 研究開発成果について

いずれのテーマも、設定していた中間目標を達成できる見込みにあることは、高く評価できる。また、委託事業では、国際規格化・標準化および国際データベースへの登録を視野に3年間継続的に成果発表が実施されているだけでなく、一般向けの伝熱データベースの公開準備も進めていること、助成事業では、事業化に向けて必要な知的財産権の確保を戦略的に進めていることは、評価できる。

一方、キガリ改正に対する課題解決のための冷媒候補としては、不均化反応や燃焼性、毒性の問題で解決しなければならない課題が残っており、本研究開発の後半2年間で着実に開発していくことを期待したい。また、安全性・リスク評価の研究成果は重要であり、当該研究成果を踏まえて、産学間の関係強化をより一層進め、合理的なリスクマネジメント対策についても検討して頂くのが望ましく、安全性検討に際しては、実態に即した合理的な評価結果を一般にも解りやすい形で情報提供をして頂きたい。

## 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

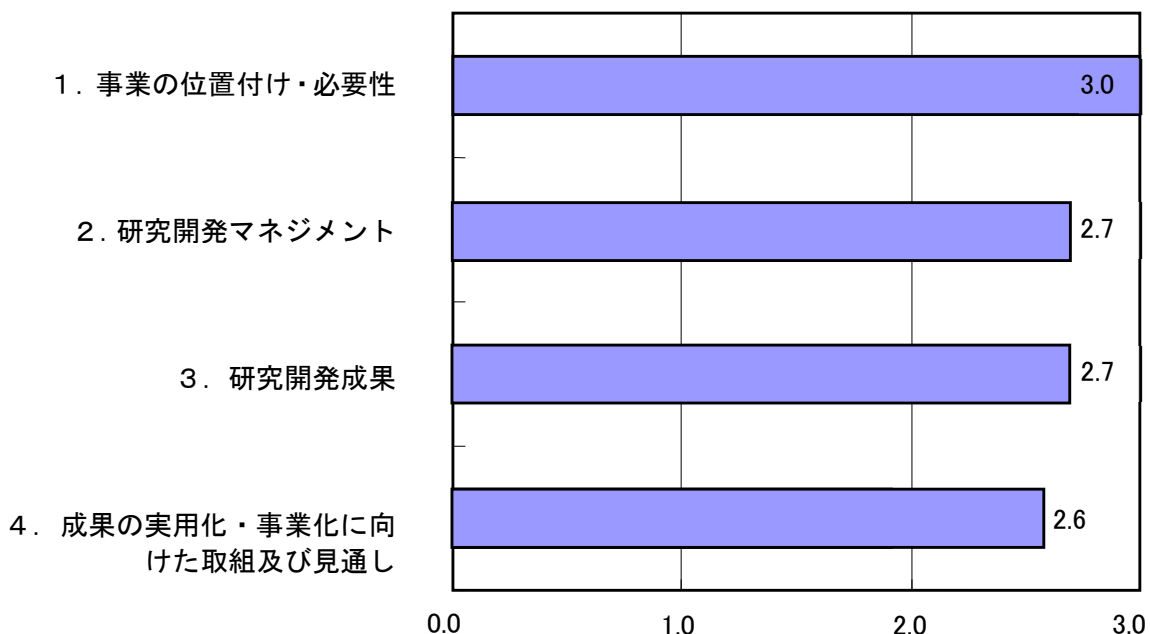
委託事業については、国際規格化・標準化および国際データベース REFPROP に積極的に情報提供し、登録を視野に入れて研究が実施されてきており、学会および事業者団体を含めたワーキンググループを構築し、規制・規格などの動向についての情報共有、ならびに次世代冷媒の安全性・リスクについての意見交換が進められていることは評価できる。

また、補助事業についても、いずれもプロジェクト終了後の事業化に向けた戦略および計画が明確に立てられており、機器開発に関しては想定する市場・ニーズ規模により経済効果を期待することができる。

今後は、実運転性能評価装置を用いた次世代空調機器の様々な性能評価を推進し、次世代冷媒の安全性を担保した上で、安全性・リスク評価の成果に基づいて、複数件の国際規格への提案をすることで、国際規格化・標準化に貢献していただきたい。

加えて、研究成果のデータベースなどを一般向けに公開していくことを推進していただきたい。

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメント	2.7	A	B	A	A	B	A	A	A
3. 研究開発成果	2.7	A	B	A	A	A	B	A	A
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し	2.6	B	B	A	A	A	B	A	A

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

### 〈判定基準〉

- |                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について                |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                    |
| ・重要 →B             | ・よい →B                       |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                     |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D                 |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A                       |
| ・よい →B             | ・妥当 →B                       |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当 →C                     |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D                   |

I. 事業の位置付け・必要性

(1) 背景 ～特定フロンと代替フロン等4ガスについて～

- 冷凍空調機器の冷媒等に使用されてきた特定フロンはオゾン層破壊物質としてモントリオール議定書の規制対象になり、オゾン層を破壊しない代替フロン等4ガスへの転換が進んでいる。
- 一方で、代替フロン等4ガスは**温室効果が大きい点が問題**となっている。

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)	SF <sub>6</sub> (六フッ化硫黄)	NF <sub>3</sub> (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・パリ協定対象物質 (NF <sub>3</sub> 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※1)	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)※2	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 ・洗浄剤、溶剤 等 (95年以降全廃済み)	・冷凍空調機器 の冷媒 ・洗浄剤、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 ・洗浄剤、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表す値)

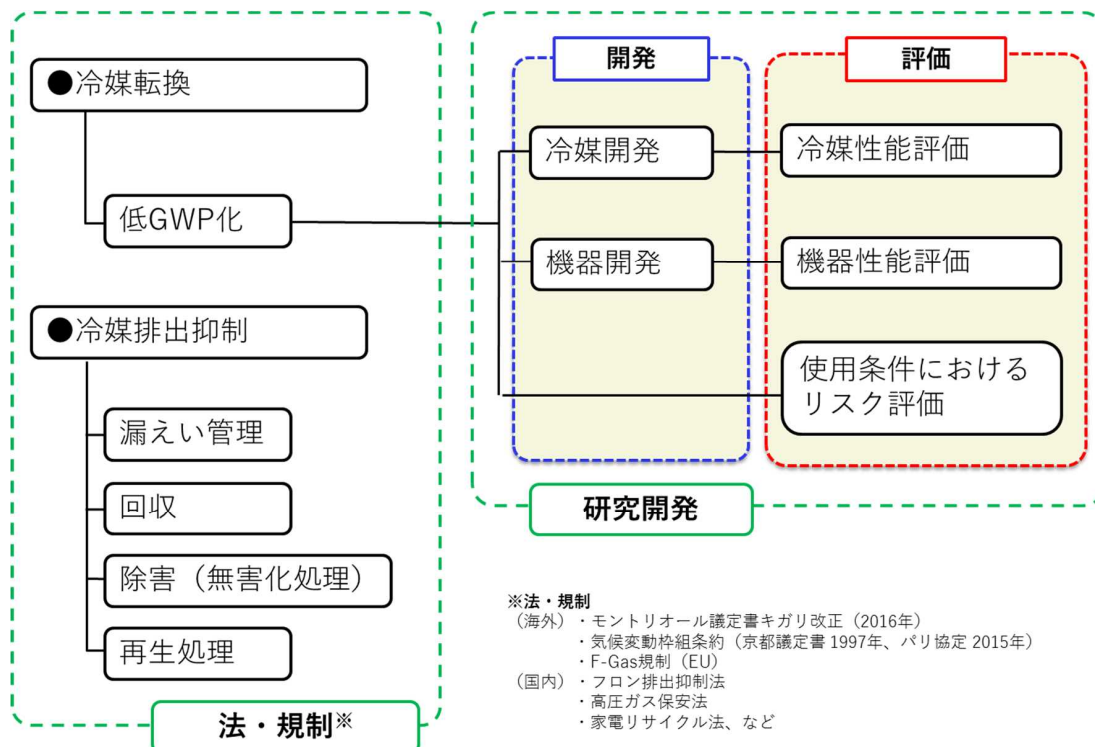
※2 主な冷媒種としての値

I. 事業の位置付け・必要性

(1) 背景 ～事業の位置づけ・ターゲット～

公開

■ 冷凍空調分野におけるフロン対策に係る技術等の方向性



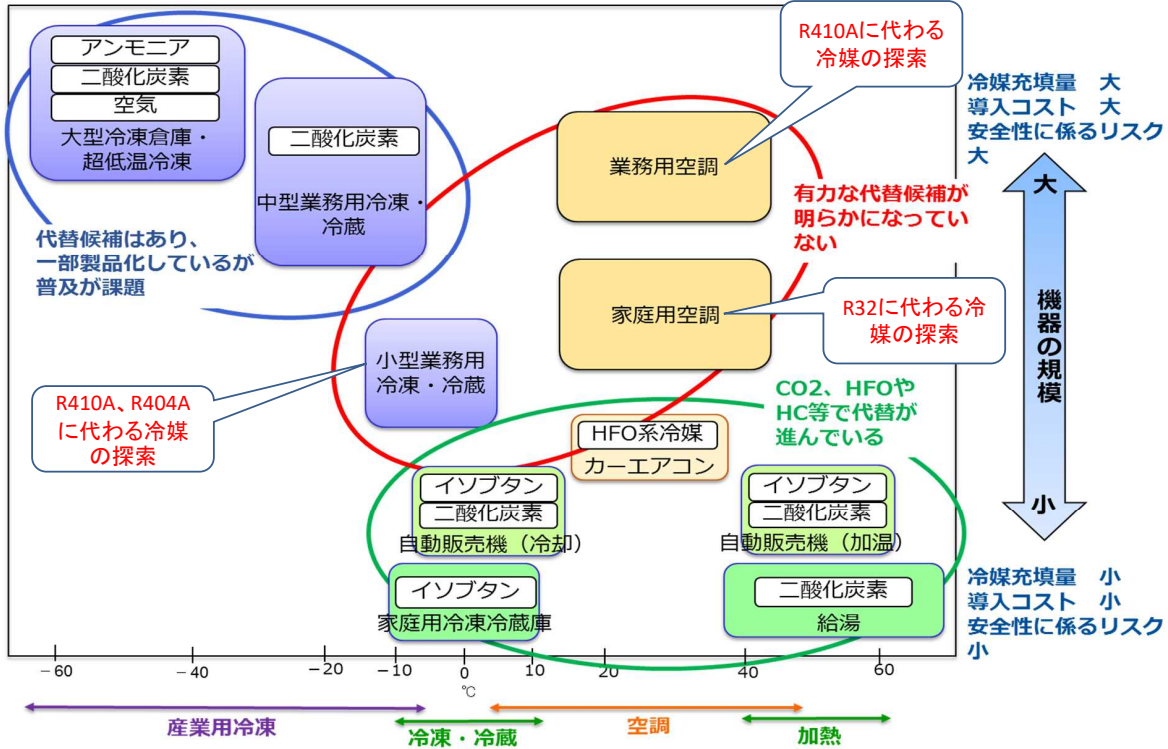
※法・規制  
 (海外) ・モントリオール議定書キガリ改正(2016年)  
 ・気候変動枠組条約(京都議定書1997年、パリ協定2015年)  
 ・F-Gas規制(EU)  
 (国内) ・フロン排出抑制法  
 ・高圧ガス保安法  
 ・家電リサイクル法、など

# I. 事業の位置付け・必要性

## (1) 背景 ～事業の位置づけ・ターゲット～

公開

### ■ 冷凍空調分野における低GWP冷媒への転換状況

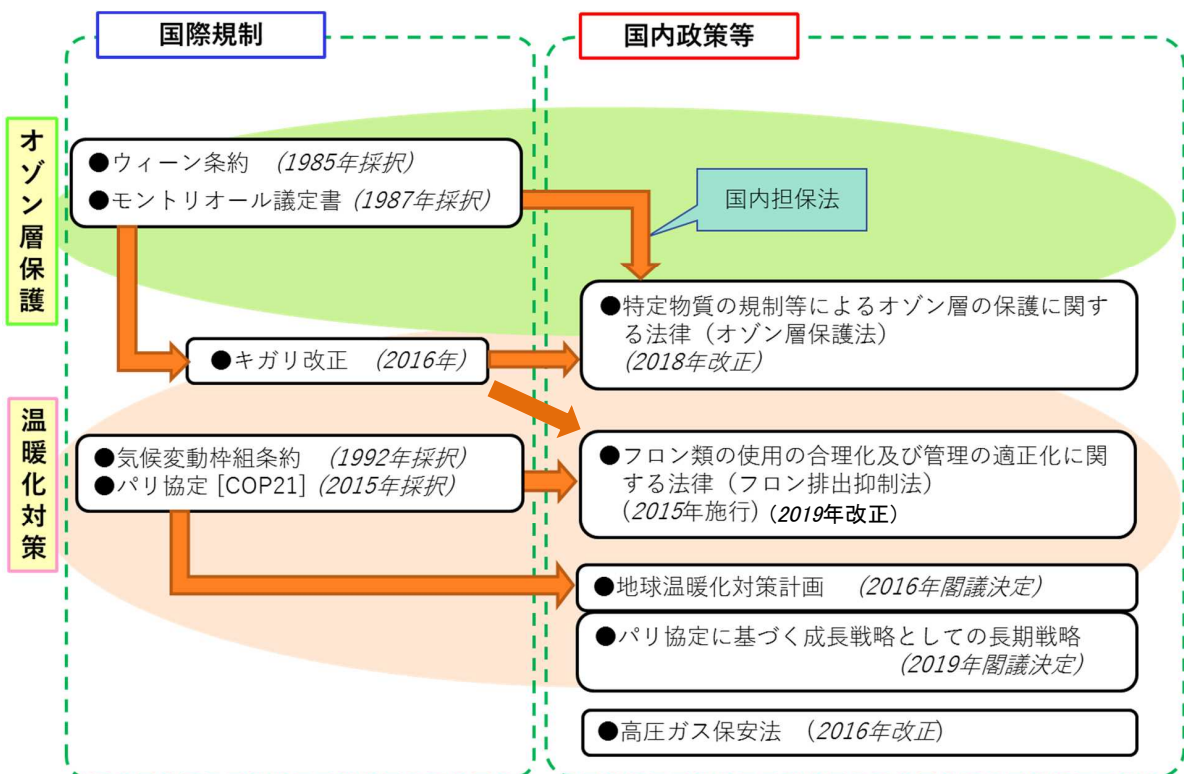


出典：産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会第3回冷媒対策ワーキンググループ資料（2010/6）を参考にNEDO環境部作成（2017）

# I. 事業の位置付け・必要性

## (1) 背景 ～フロン類対策における現在までの国際規制と国内政策等の対応～

公開





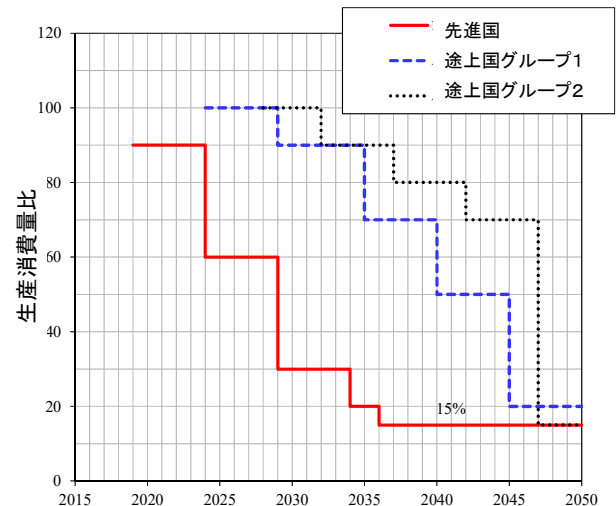
## I. 事業の位置付け・必要性

公開

### (1) 背景 ～代替フロン(HFC)の生産・消費量の段階的削減義務～

- 代替フロン(HFC)の生産・消費量の段階的削減義務等を定めるモントリオール議定書のキガリ改正が2016年に採択、2019年に発効した。
- モントリオール議定書のキガリ改正は、国全体のHFCの生産量及び消費量を一定の水準以下に抑えることが主な内容。
- 先進国は、2036年までにHFCの生産量及び消費量を段階的に85%削減する目標が示された。
- 先進国グループに属する我が国は2019年から段階的な削減が求められ、特に2029年以降、基準値比で約70%以上の大幅な削減が求められる。

モントリオール議定書キガリ改正によるHFCの削減スケジュール



## I. 事業の位置付け・必要性

公開

### (2) NEDOが関与することの意義

- 地球温暖化対策は国内外における緊要であり、HFC排出削減は急務
- キガリ改正における目標の達成(2036年までにHFCの生産及び消費量を85%削減)には、より一層低GWP冷媒への転換が必須
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(2019年6月閣議決定)」及び「革新的環境イノベーション戦略(2020年1月統合イノベーション戦略推進会議決定)」において、フロン類の削減に向けたイノベーション創出を推進
- 次世代冷媒の物性評価、安全性・リスク評価については、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あり、高度な研究開発マネジメントのもと国内安全基準の策定や国際規格化・標準化策定に取り組むことが重要
- 我が国産業の競争力強化のためにも、世界に先駆けた次世代冷媒及びその適用機器の開発が急務



NEDO事業としての妥当性は極めて高い

NEDOのミッション  
「エネルギー・地球環境問題の解決」  
「産業技術力の強化」

## I. 事業の位置付け・必要性

### (3) 実施の効果

公開

<プロジェクト予算総額>

30億円(予定)

(NEDO負担額)

(5年間)

#### <産業界への効果>

- 冷媒の低GWP化が困難な機器分野に、産学官の英知を集中させ、安全性が担保された次世代冷媒及び冷凍空調機器の開発・製品化を推進
- ルームエアコンについて、2040年代に世界市場(約4兆円/年)において日本企業のシェア拡大が期待

#### <費用対効果>

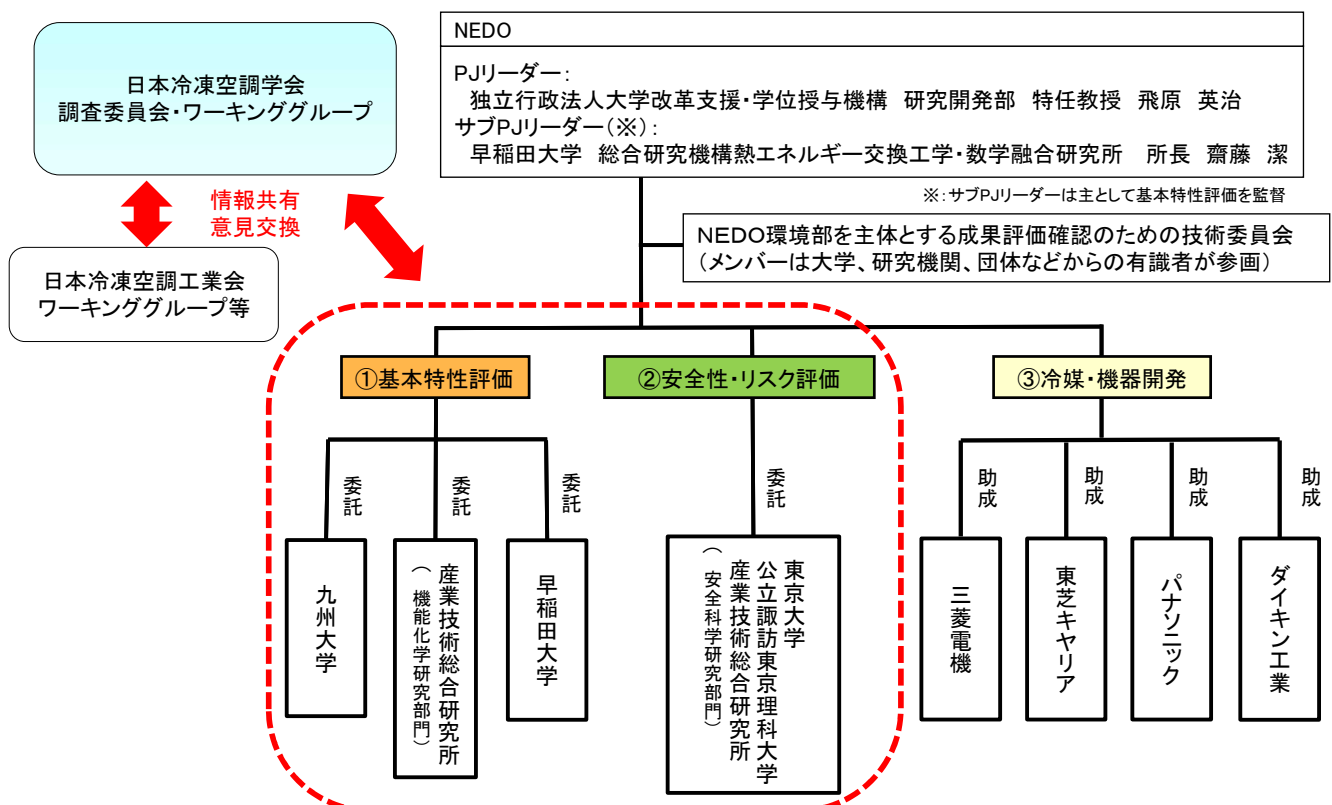
- 本プロジェクトによるCO<sub>2</sub>排出量削減効果は2029年度に最大で572万CO<sub>2</sub>-t/年(※)

※本プロジェクトの成果により、家庭用エアコン、業務用エアコン、小型冷凍冷蔵機器、中型冷凍冷蔵機器において、GWP(地球温暖化係数)が150に低下することを前提として算出。機器は、2025年に上市し、2025~28年の4年で新たに出荷される全品目を置き換えると想定。

## II. 研究開発マネジメントについて

### (5) 研究開発の実施体制

公開



## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

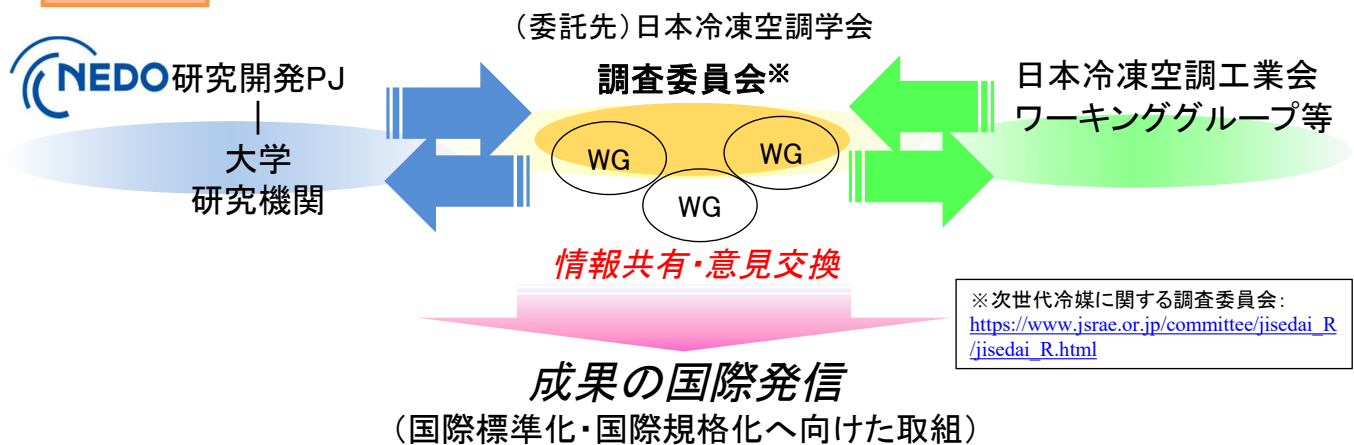
公開

### (7) 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

#### ■ 標準化戦略・標準化活動

- 調査事業「次世代冷媒に係る安全性・リスク評価に関する検討」において、次世代冷媒に係る規制・規格等の動向調査の他、研究開発項目①及び②(委託事業)の事業者を中心とした産学官のワーキンググループを設定し、次世代冷媒及びその適用機器の使用時における安全性・リスクに係る課題の抽出及びその対応方法の検討を進めている。

#### 実施体制



## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

公開

### (6) 運営管理

#### ■ 研究開発計画・予算の最適化

- (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
- (1)(2)による進捗管理
- (2) プロジェクトリーダー、NEDOによる事業者ヒアリング(年2回開催)
- (3) NEDOにおける次年度繰越案の策定(計画修正・予算配分)
- (4) 技術検討委員会(年1回開催)による評価(年度末及び事業終了前)

運営管理に従った、計画・予算の絞り込み等により、  
実用化・事業化の高い技術開発に資源を集中。

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2018			委託事業開始							PLヒアリング(第1回)		技術検討委員会
	NEDO及びPLによる進捗把握											
2019	助成事業開始				PLヒアリング(第1回)				PLヒアリング(第2回)			
	NEDO及びPLによる進捗把握											
2020			技術検討委員会(※)		PLヒアリング(第1回)				PLヒアリング(予定)			技術検討委員会(予定)
	NEDO及びPLによる進捗把握											

※コロナウイルス感染症拡大の為、2019年度委員会(2/28予定)を2020年度に延期して実施。

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

公開

### (8) 情勢変化への対応

■ モントリオール議定書キガリ改正のHFC生産・消費量の削減目標の達成へ向け、2019年度より次世代冷媒及び適用技術の開発(助成事業)を開始した。

年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023
情勢変化	キガリ改正発効 (2019年1月)	オゾン層保護法施行 (2019年1月)				
研究開発項目 1 [委託]	次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価					
研究開発項目 2 [委託]	次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発					
研究開発項目 3 [助成]	次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発					

■ 国内外の規制等の動向と連携しつつ、研究開発を実施していく。

● 国内の規制動向

- ・ 高圧ガス保安法
- ・ フロン排出抑制法

● 国内の政策動向

- ・ パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略
- ・ 革新的環境イノベーション戦略

● 国外の規制動向

- ・ 国際規格・国際標準



< 想定される規格・標準 >

- ISO5149 (機器)、ISO817 (冷媒物性)、IEC60335-2-40 (空調)、IEC60335-2-89 (冷凍冷蔵)、ASHRAE34 (冷媒物性)、ASHRAE15 (機器)等

## Ⅲ. 研究開発成果

公開

### (1) 各テーマの達成目標(事業者による自己評価)

研究開発項目	テーマ名	対象	目標(中間目標)	成果	達成度 (2020年度末)
① 基本特性評価	中小型規模の冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の熱物性、伝熱特性および基本サイクル性能特性の評価研究	HFO系混合冷媒の物性データ取得	次世代冷媒の熱力学的性質及び輸送的性質の高精度データを取得し、信頼できる熱物性計算ツールを開発する。さらに、伝熱特性及び冷凍サイクル基本特性を明らかにし、既設の容積圧縮式ヒートポンプ試験装置を用いて、次世代冷媒のヒートポンプサイクル基本性能評価を行う。	単体の新冷媒(HCFO1224yd(Z)、HFO1336mzz(E))及び3成分系混合冷媒(HFC32+HFO1234yf+CO <sub>2</sub> 系等)を対象に熱物性、伝熱特性及びサイクル特性に関する基礎的データ取得を進めている。混合冷媒に関しては、国際データベースへの登録等を目指す。	○
	低GWP低燃焼性混合冷媒の安全性評価	HFO系混合冷媒の燃焼性評価	次世代冷媒の実用化にむけた基本特性の評価として、特に冷媒の混合が燃焼特性等の安全性に与える影響を明らかにする。	2020年度下半期には、代表的な混合冷媒を選定し、国際標準化やリスク評価に必要な燃焼特性指標(燃焼限界、燃焼速度、消炎距離)を評価が完了する見込み。	○
	低GWP冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発	性能評価シミュレーターの開発	次世代冷媒空調機器に対する性能評価ツールを開発するため、性能解析技術、性能評価技術、シミュレーター開発の目途付けを行う。	2020年度下半期には、評価ツールに係る要素技術(モデリング・性能解析、数理的な性能評価手法、性能評価装置開発等)が完成見込み。	○
② 安全性・リスク評価	次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発	HC系冷媒、HFO系冷媒の安全性評価	次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の確立を目指し、評価すべき事項について、共通基盤的な情報を提供し、可燃性低GWP冷媒の実用化を促進する。	冷媒漏えい時の拡散、燃焼時の危害度評価、現実的な使用環境下で想定される着火源による火災危険性評価等、安全性・リスク評価手法の確立に向けた共通基盤的な情報を提供している。また、国際規格(IEC60335-2-40、IEC60335-2-89)への登録に向けて、積極的に情報提供を行った。	○

### Ⅲ. 研究開発成果

公開

#### (1) 各テーマの達成目標(事業者による自己評価)

研究開発項目	テーマ名	対象	目標(中間目標)	成果	達成度(2020年度末)
③ 冷媒・機器開発	自然冷媒および超低GWP冷媒を適用した大形クーリングユニットの研究	大型冷凍冷蔵倉庫向けクーリングユニット	従来機器(60馬力R404A冷凍機)と比べ、定格条件ならびに年間の運転を想定した特定の負荷パターンでの年間COPが100%以上、機器販売価格が140%以下を達成するため、冷媒選定及び高元側サイクルの要素技術を完成させる。	2020年度下半期には、冷媒選定、高元側サイクルの要素技術(オーラルミ熱交換器、アキュムレータ、カスケード熱交換器等)が完成見込み。	○
	コンデンシングユニットの次世代低GWP冷媒対応化技術の開発	コンデンシングユニット	低GWP冷媒を使用したコンデンシングユニットの開発へ向けて、定格機器性能 対従来比100%を達成する冷媒種の選定し、コンデンシングユニットの仕様を決定する。	2020年度下半期には、冷媒候補の選定を完了し、従来機種に対して同等の定格機器性能を達成する機器仕様(冷凍サイクル構成、サイクル制御)を確定する見込み。	○
	低温機器におけるCO <sub>2</sub> 冷媒を使用した省エネ冷凍機システム開発及びその実店舗評価	コンビニエンスストア、スーパーマーケット、物流倉庫、食品加工工場のCO <sub>2</sub> 冷凍機システム	CO <sub>2</sub> 冷凍機の普及に求められる、CO <sub>2</sub> 冷凍機の大出力化、高外気温度対応、CO <sub>2</sub> 冷媒の特性を活かした未利用熱利用、中高温度領域への利用範囲拡大について、実用化へ向けた装置群の技術的な目途付けを行う。	2020年度下半期には、装置群(冷凍機、熱交換器ユニット、排熱空調ユニット)の開発を完了し、実証実験へ進む見込み。	○
	GWP10以下の直膨型空調機器用 微燃性冷媒の開発	冷媒、直膨型空調(家庭用エアコン、業務用エアコンの一部)	次世代冷媒の成分物質を用いて、直膨型空調機器に適したGWP10以下の次世代冷媒の組成を決定する。	2020年度下半期には、新冷媒の成分物質について、初期の性能評価(現行冷媒に対しCOP、APFが90%以上)、燃焼性・毒性に関する基礎データを取得し、次世代冷媒の組成を決定する見込み。	○

◎ 大きく上回って達成、○達成見込み、△一部達成、×未達

### Ⅲ. 研究開発成果

公開

#### (4) 成果の普及について

#### ■ 国際会議等における本プロジェクト成果の発信実績

##### 事業者の発信

- 日本冷凍空調学会2019年度年次大会でのワークショップ「次世代低GWP冷媒の安全性・物性・サイクル性能評価」の開催
- 調査委員会プログレスレポート  
⇒ 成果の発信を目的として、調査事業全般の紹介、各WGの成果を年度ごとにレポート(和文)を作成し、2018年度版、2019年度版を日本冷凍空調学会ホームページにて公開。今後、英文版も公開の予定。

##### NEDOの発信

- Meeting of the Open-ended Working Group of the Parties to the Montreal Protocol; OEWG)におけるワークショップ「Japan's F-gas policy and current status of measures to curb greenhouse gas emissions and to enhance energy efficiency products in RACHP sector」, Bangkok, Thailand
- Meetings of the Parties to the Montreal Protocol (MOP)におけるワークショップ「Japan's F-gas policy and current status of measures to curb greenhouse gas emissions and to enhance energy efficiency products in RACHP sector」, Rome, Italy



国内外へ本プロジェクト成果を積極的に発信

### Ⅲ. 研究開発成果

公開

#### (6) 成果の最終目標の達成可能性

■ 中間目標はいずれも達成の見込みであり、最終目標は達成される見通し。

研究開発項目	最終目標(2022年度末)	現状の進捗状況	達成の見通し
①基本特性評価 ②安全性・リスク評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 次世代冷媒の基本物性データ及び安全性・リスク評価手法等について、<u>国際規格・国際基準への提案を1件以上、及び国際データベース等への登録申請を1件以上</u>行う。</li> <li>■ 次世代冷媒使用にあたっての<u>実用的な安全基準(業界規格等)の策定に資するデータや評価結果を提供</u>する。</li> <li>■ 中間評価結果を踏まえ、冷凍空調機器性能と省エネ性を両立しうる、次世代冷媒候補について、<u>基本物性データの取得及び評価を実施し、安全性・リスク評価手法を確立</u>する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <u>基本特性データの取得、性能評価ツールの開発とも最終目標を予定通り達成見込み</u>。</li> <li>■ 安全性、リスク評価手法に係る各種評価は中間目標を予定通り達成見込み。</li> <li>■ <u>国際規格(IEC等)の改正、国際データベース(REFPROP等)への登録に向けて、積極的に情報提供を実施</u>。</li> </ul>	○
③冷媒・機器開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 中間評価結果を踏まえ、次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発において、<u>現状市販フロン品と同等以上の性能(COP、APF等)を実現する技術について、個別テーマごとに目標を定め、これを達成</u>する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <u>各テーマについて、技術的課題を明確化し、解決の見込み</u>。</li> <li>■ 各テーマで最終目標を達成する見込み。</li> </ul>	○

◎ 大きく上回って達成、○達成見込み、△一部達成、×未達

### Ⅲ. 研究開発成果

公開

#### (4) 成果の普及について (5) 知的財産権の状況

研究開発項目 区分	成果の発表			計
	①基本特性評価 (3テーマ)	②安全性・リスク評価 (1テーマ)	③冷媒・機器開発 (4テーマ)	
論文(査読付き)	36	4	0	40
論文(その他)	27	7	0	34
その他外部発表 (プレス発表等)	9	0	0	9
計	72	11	0	83
区分	特許出願			計
国内	0	0	7	7
外国	0	0	1	1
PCT※出願	0	0	2	2
計	0	0	10	10

※Patent Cooperation Treaty:特許協力条約

- 公共的な知的基盤整備を目的とする研究開発項目①、②(委託事業)においては、論文投稿、講演発表等を多く実施。
- 新型コロナウイルス感染症の影響で、多くの国際会議、学会が中止あるいは順延され、成果発表の機会が減っている。
- 製品開発を目的とする研究開発項目③(助成事業)においては、各事業者毎の企業戦略に沿った特許出願を実施。

# 概 要

		最終更新日	2020年9月1日
プロジェクト名	省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・冷凍空調技術及び評価手法の開発	プロジェクト番号	P18005
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM 阿部 正道 (2018年4月～現在)		
0. 事業の概要	2026年を目途とする次世代冷媒及び次世代冷媒適用機器の実用化及び普及を実現するため、次世代冷媒候補の使用に必要な安全対策の技術開発や安全性・リスク評価手法が確立していない業務用冷凍冷蔵機器及び家庭用空調機器を主とする中小型規模の冷凍空調機器に対する次世代冷媒使用時の性能評価及び安全性・リスク評価手法を開発する。さらに、冷凍空調機器のうち、一部では次世代冷媒の適用されているものの普及に至っていない領域に対し、新しいシーズ技術を踏まえた次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術を開発する。		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>現在、冷凍空調機器の冷媒をはじめ様々な用途で使用されている代替フロン (HFC) は、温室効果が大きく、パリ協定において排出削減対象ガスに指定され、排出削減対策が求められている。また、従来はオゾン層保護を目的とするモントリオール議定書の対象外であったが、2016年10月の改正 (キガリ改正) において、新たに生産及び消費量の段階的削減義務が追加された。本改正で先進国は、HFC 生産・消費量を 2011-2013 年の生産・消費量の平均数量等に基づく基準値から最終的には 2036 年までに 85% を段階的に削減する目標が定められている。</p> <p>一方、地球温暖化への影響が極めて少ない冷媒 (次世代冷媒) の多くは、従来の HFC 冷媒適用冷凍空調機器と同等の機器性能を維持、あるいはそれ以上の性能とするための技術的ハードルが高く、さらに安全性においても課題 (燃焼性、化学的不安定性等) があるため、世界的に冷凍空調機器分野では実用化に至っていない。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p><b>【中間目標】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 冷凍空調機器性能と省エネ性を両立しうる次世代冷媒候補について、基本物性データ (熱物性、伝熱特性等) の取得及び評価 (漏洩時挙動評価、フィジカルハザード評価等) を実施し、安全性・リスク評価手法確立に向けた目途付けを行う。</li> <li>2) 産官学の外部有識者との検討を踏まえつつ、本事業で得られた次世代冷媒の安全性評価手法に関する成果を、次世代冷媒を普及させるために必要な業界の実用的な安全基準や、国際規格化・国際標準化、及び国際データベース等<sup>*</sup>への登録に効果的に結び付けるためのロードマップを策定する。  <small>※次世代冷媒の社会実装に必要な国際規格、国際標準としては ISO5149 (機器)、ISO817 (冷媒物性)、IEC60335-2-40 (空調)、IEC60335-2-89 (冷凍冷蔵)、ASHRAE34 (冷媒物性)、ASHRAE15 (機器) が想定される。また、国際データベースでは、NIST (アメリカ国立標準技術研究所) が作成する冷媒熱物性データベースソフトウェア; REFPROP が想定される。</small></li> <li>3) 次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発において、現状市販フロン品と同等以上の性能 (COP、APF 等) を実現する技術について、個別テーマごとに目標を定め、これを達成する見通しを得る。</li> </ol> <p><b>【最終目標】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 中間評価結果を踏まえ、冷凍空調機器性能と省エネ性を両立しうる、次世代冷媒候補について、基本物性データの取得及び評価を実施し、安全性・リスク評価手法を確立する。</li> <li>2) 次世代冷媒使用にあたっての実用的な安全基準 (業界規格等) の策定に資するデータや評価結果を提供する。</li> <li>3) 次世代冷媒の基本物性データ及び安全性・リスク評価手法等について、国際規格・国際標準への提案を1件以上、及び国際データベース等への登録申請を1件以上行う。</li> <li>4) 中間評価結果を踏まえ、次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発において、現状市販フロン品と同等以上の性能 (COP、APF 等) を実現する技術について、個別テーマごとに目標を定め、これを達成する。</li> </ol>		

事業の計画内容	主な実施事項	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	
	基本特性データ取得及び評価	→					
	安全性・リスク評価手法の開発	→					
	冷媒及び適用技術の開発	→					
	成果取りまとめ						
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額 (評価実施年度については予算額) を記載) (単位: 百万円)	会計・勘定	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額
	一般会計	—	—	—	—	—	—
	特別会計 (需給)	250	653	700	—	—	(1603)
	開発成果促進財源	—	—	—	—	—	—
	総 NEDO 負担額	250	653	700	—	—	—
	(委託)	250	333	380	—	—	—
	(助成) : 助成率 1/2	—	320	320	—	—	—
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	PL: 独立行政法人大学改革支援・学位授与機構研究開発部 特任教授 飛原 英治 SPL: 早稲田大学総合研究機構熱エネルギー交換工学・数学融合研究所 所長 齋藤 潔					
	プロジェクトマネージャー	環境部 阿部 正道					
	委託先 (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)	<p>2018 年度</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発項目①次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価 【委託先】九州大学、早稲田大学、(国研)産業総合技術研究所 【再委託先】東京海洋大学、九州産業大学、佐賀大学、富山県立大学、(国研)産業総合技術研究所、日本大学、長崎大学</li> <li>研究開発項目②次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発 【委託先】東京大学、公立諏訪東京理科大学、(国研)産業総合技術研究所 【再委託先】静岡大学</li> </ul> <p>2019 年度</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発項目①次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価 【委託先】九州大学、早稲田大学、(国研)産業総合技術研究所 【再委託先】東京海洋大学、九州産業大学、佐賀大学、富山県立大学、(国研)産業総合技術研究所、日本大学、長崎大学</li> <li>研究開発項目②次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発 東京大学、公立諏訪東京理科大学、(国研)産業総合技術研究所 【再委託先】静岡大学</li> <li>研究開発項目③次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発 【助成先】三菱電機(株)、東芝キャリア(株)、パナソニック(株)、ダイキン工業(株) 【再委託先】(国研)産業総合技術研究所</li> </ul> <p>2020 年度</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発項目①次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価 【委託先】九州大学、早稲田大学、(国研)産業総合技術研究所</li> </ul>					



		<p>【再委託先】東京海洋大学、九州産業大学、佐賀大学、富山県立大学、（国研）産業総合技術研究所、日本大学、長崎大学</p> <p>・研究開発項目②次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発</p> <p>【委託先】東京大学、公立諏訪東京理科大学、（国研）産業総合技術研究所</p> <p>【再委託先】静岡大学、広島大学</p> <p>・研究開発項目③次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発</p> <p>【助成先】三菱電機(株)、東芝キャリア(株)、パナソニック(株)、ダイキン工業(株)</p> <p>【再委託先】（国研）産業総合技術研究所</p>
情勢変化への対応	<p>2019年1月のモントリオール議定書キガリ改正発効による代替フロン(HFC)の生産量・消費量の削減義務を履行するため、2019年1月にHFCの製造及び輸出を規制する等の措置を講じた「オゾン層保護法」が改正・公布された。本法においては、HFC削減に寄与する画期的な低GWP冷媒の製造等に対し、インセンティブの付与やグリーン冷媒及びそれを活用した機器の開発・導入を計画的に推進することとされている。本事業では、これらの政策動向及び社会動向に応え、グリーン冷媒を含む次世代冷媒の導入の促進に大きく寄与するものである。</p>	
中間評価結果への対応	-	
評価に関する事項	事前評価	2017年度実施 担当部 環境部
	中間評価	2020年度 中間評価実施
	事後評価	2023年度 事後評価実施（予定）
3. 研究開発成果について	<p>研究開発項目①～③について、2018年度から採択の下記、委託事業4テーマ（(a)～(d)）及び2019年度から採択の下記、助成事業（助成率1/2）4テーマ（(e)～(h)）について、研究開発を実施した。また、NEDOは適宜進捗検討会議を開催し、委託先/助成先に対して、研究開発成果及び進捗状況等について、PL、SPLと連携して確認・指導を実施した。各研究開発テーマの内及び成果は以下の通り。</p> <p><b>研究開発項目①「次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価」</b></p> <p><b>(a) 中小型規模の冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の熱物性、伝熱特性および基本サイクル性能特性の評価研究【国立大学法人九州大学】</b></p> <p>本研究開発では、中小型規模冷凍空調機器用冷媒としてのHFC32+HF01234yf混合冷媒にCO2やHF01123などを添加した次世代の3成分系混合冷媒や、中規模冷凍空調機器用としてHF01336mzz(E)やHCF01224yd(Z)などの次世代の純冷媒に関する熱力学的性質及び輸送的性質の高精度データを取得し、信頼できる熱物性計算ツールを開発して、伝熱特性及び冷凍サイクル基本特性を明らかにし、次世代冷媒のヒートポンプサイクル基本性能評価を行うことである。特に混合冷媒に関しては、実環境を加味した冷媒特性評価及び混合冷媒比率の最適化を行い、GWPの低いHF0系冷媒を主成分とした次世代冷媒を使用する上で、業界の実用的な安全基準、国際規格化・国際標準化としてのISO817（冷媒物性）、ISO17584、ASHRAE34（冷媒物性）等への登録に結びつける取り組みや国際データベースNIST REFPROPへの登録を目標とし、以下の研究開発を実施した。</p> <p>(1)HF0系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HF0系冷媒の熱物性評価</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定（担当：九州大学）</li> <li>② 気液平衡性質の測定（担当：富山県立大学）</li> <li>③ 高温PVT<sub>x</sub>性質及び定圧比熱の測定（担当：日本大学理工学部）</li> <li>④ 表面張力の測定（担当：長崎大学）</li> <li>⑤ 音速の測定（担当：産業技術総合研究所）</li> <li>⑥ 状態方程式の開発（担当：九州産業大学）</li> <li>⑦ 輸送的性質の測定及びモデル化（担当：佐賀大学）</li> </ol> <p>(2)HF0系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HF0系冷媒の伝熱特性評価</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① プレート式熱交換器内の伝熱特性評価（担当：佐賀大学）</li> <li>② 扁平多孔管内の伝熱特性評価（担当：東京海洋大学）</li> <li>③ 円管内の伝熱特性評価（担当：長崎大学）</li> <li>④ 水平円管外の伝熱特性評価（担当：九州産業大学）</li> <li>⑤ 伝熱データベースの構築（担当：佐賀大学、東京海洋大学、長崎大学）</li> </ol> <p>(3)HF0系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HF0系冷媒のヒートポンプサイクル性能評価</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①ヒートポンプサイクル基本特性の熱力学的解析（担当：九州産業大学）</li> </ol>	

②ヒートポンプサイクル特性の実験的評価（担当：九州大学）

目 標	研究開発成果
テーマ： 中小型規模の冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の熱物性、伝熱特性および基本サイクル性能特性の評価研究	
HF0 系冷媒を含む混合冷媒、高沸点 HF0 系冷媒の熱物性、伝熱特性及びヒートポンプサイクル性能を評価する。	本研究では、ターボ圧縮式の中型から大型冷凍空調機器用次世代冷媒として新冷媒 HCF01224yd (Z)、HF01336mzz (E)、3 成分系混合冷媒 HFC32+HF01234yf+CO <sub>2</sub> 系、日本初の国産冷媒である HF01123 を成分物質に含む 3 成分系混合冷媒 HFC32+HF01234yf+HF01123 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、及びサイクル特性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 系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点 HF0 系冷媒の熱物性評価	
①臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定	沸点の高い HF0 系冷媒 HCF01224yd (Z) 及び HF01336mzz (E)、そして 3 成分系混合冷媒 HFC32+HF01234yf+CO <sub>2</sub> 及び HFC32+HF01234yf+HF01123 における PVT 性質、飽和密度、飽和蒸気圧、臨界定数を高精度で測定した。
②気液平衡性質の測定	HFC32+HF01234yf 系および HF01123+HF01234yf 系混合冷媒の気液平衡性質を測定し、PR-MC 状態方程式を相関した。また、HFC32+HF01234yf+HF01123 系混合冷媒の測定準備を実施した。
③高温 PVT <sub>x</sub> 性質及び定圧比熱の測定	PVT <sub>x</sub> 性質は、HCF01224yd (Z) の純成分ならびに HFC32+HF01234yf の 2 成分系は 3 組成で、HF01336mzz (E) + HF01336mzz (Z) の 2 成分系は 1 組成で、HFC32+HF01234yf+CO <sub>2</sub> の 3 成分系は 2 組成で測定をおこなった。定圧比熱測定は、装置を製作し、完成した。
④表面張力の測定	表面張力は、HF01336mzz (E) と HF01336mzz (Z)、そして三成分系の混合冷媒 R455A (HF01234yf/HFC32/CO <sub>2</sub> : 75.5/21.5/3.0 mass%) 及び HF01123/HFC32/HF01234yf (65.0/24.0/11.0 mass%) に対し測定を行った。さらに-40℃までの低温域を測定できるよう装置の改良を行い、順次低温の補足データを取得した。
⑤音速の測定	HF01336mzz (E) 及び HF01336mzz (Z) の音速データを取得し、それぞれの理想気体比熱を求め、状態式開発に必要な温度相関式を作成した。また、2 成分系混合冷媒 R454C の音速データを取得した。
⑥状態方程式の開発	HFC32+HF01234yf+CO <sub>2</sub> 系及び HFC32+HF01234yf+HF01123 系の 3 成分系混合冷媒、単一冷媒 HF01336mzz (E) 及び HCF01224yd (Z) の状態方程式を作成し、REFPROP で計算できるようにした。
⑦輸送的性質の測定及びモデル化	単一冷媒 HF01234yf および HF01336mzz (E) の、圧縮液および過熱蒸気域における熱伝導率および粘度データを取得するとともに、理論計算モデル (ECS モデル) との比較を行った。
(2)HF0 系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点 HF0 系冷媒の伝熱特性評価	
①プレート式熱交換器内の伝熱特性評価	単一冷媒 HF01234yf 及び HFC32 のプレート式熱交換器内局所蒸発・凝縮熱伝達率の測定を行い、熱伝達特性の把握及び既存冷媒データとの比較検討を行った。
②扁平多孔管内の伝熱特性評価	扁平多孔管内における純冷媒 HFC32、HF01234yf、HF01336mzz (E) 及び 2 成分系混合冷媒 HFC32+HF01234yf の凝縮・蒸発熱伝達特性を評価するとともに、3 成分系混合冷媒 HFC32+HF01234yf+CO <sub>2</sub> の凝縮熱伝達特性を評価した。また、扁平多孔管内における純冷媒の沸騰熱伝達率の予測式を新たに提案した。

③ 円管内の伝熱特性評価	らせん溝付き円管内における、HF01224yd(Z)の蒸発熱伝達特性、そしてR455A (HF01234yf/HFC32/CO <sub>2</sub> :75.5/21.5/3.0 mass%)の凝縮・蒸発熱伝達特性を測定し、以前取得したHFC32とHF01123/HFC32(40/60mass%)の結果と比較を行った。
④ 水平円管外の伝熱特性評価	HF01336mmz(E)の管外凝縮熱伝達率を測定し、ヌセルトの液膜理論より算出した理論値と比較を行い、状態方程式の妥当性を検討した。
(3)HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒のヒートポンプサイクル性能評価	
①ヒートポンプサイクル基本特性の熱力学的解析	HF01234yf+HFC32+CO <sub>2</sub> 系混合冷媒の熱力学的解析を実施した。また、解析に圧力損失および熱交換器性能を導入中である。
②ヒートポンプサイクル特性の実験的評価	3成分系混合冷媒HFC32+HF01234yf+CO <sub>2</sub> 及びHFC32+HF01234yf+HF01123についてGWPが約150となる混合比、ならびにGWPが約120となるHFC32+HF01234yf+HF01123の混合比について実験を実施し、COP等の性能指標を計測した。その結果、冷暖房熱負荷及び熱源運転条件がサイクル性能に与える影響を明らかにした。各要素機器の特性がサイクル性能に与える影響について2020年度中に整理する予定である。

**(b) 低GWP低燃焼性混合冷媒の安全性評価【国立研究開発法人産業総合技術研究所】**

本課題では、次世代冷凍空調機器用の冷媒に求められる要素のうち、低GWPかつ安全性に優れた冷媒の開発を支援するため、対象として沸点の低い炭素数3以下の、燃焼性の高い低GWP冷媒と、燃焼性の低い中～高GWP冷媒の組合せを中心に検討し、国内外で採用されている冷媒の安全性基準を満たす冷媒と同等以上の高安全性となる混合組成範囲を明らかにし、併せて混合に伴い有意に安全性が向上或いは低下する組成について定量化し、安全性の観点から科学的根拠に基づく最適な混合組成を明らかにする。また、次世代冷媒の国内外での実用化を見据え、現行のISO817の規定する評価条件（均一混合条件、23℃、1気圧、湿度ゼロ、等）を超えて、温度、湿度、冷媒の濃度分布等が燃焼性に与える影響を評価し、実用上の燃焼安全性を明らかにする。

目 標	研究開発成果
テーマ： 低GWP低燃焼性混合冷媒の安全性評価	
産学官の外部有識者との検討を踏まえつつ、本事業で得られた次世代冷媒の安全性評価手法に関する成果を、次世代冷媒を普及させるために必要な業界の実用的な安全基準や、国際規格化・国際標準化、および国際データベース等への登録に効果的に結び付けるためのロードマップを策定する。そのために低GWP混合冷媒の安全性評価、実用上の安全性評価を実施する。	低GWP低燃焼性混合冷媒の対象として、国内外で開発中の代表的な混合系を選定し、冷媒の国際標準において必要な燃焼限界、燃焼速度や、実用化の検討において重要な消炎特性について評価した。また、混合系の実用上の燃焼特性として、温度湿度影響の評価を実施中である。燃焼限界測定法は、種々の標準法を実用上の火災に近い大規模容器での測定結果と比較検証した。
(1)低GWP混合冷媒の安全性評価	
① 安全特性の混合比依存性の評価 ② 不活性化条件の明確化	①評価対象として、R32/1234yf混合系を選定し、標準条件における燃焼限界、燃焼速度の混合比依存性を明らかにし、消炎距離については高压条件からの推算も行い混合比依存性を明らかにした。 ②特定不活性ガスであるR32、R1234yf単体よりも燃焼性が低いことを示した。
(2)低GWP混合冷媒の実用上の安全性評価	
①実用条件下での安全特性の混合比依存性の評価 ②濃度分布を有する条件における評価法の検討	①評価対象として、R32/1234yf混合系を選定し、燃焼限界の温度湿度依存性を明らかにし、数式化した。燃焼速度及び消炎距離の温度湿度影響を評価中である。 ②大規模容器での均一混合系の燃焼性評価を可能にし

た。冷媒の濃度分布を測定するための計測系を用意した。

**(c) 低GWP冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発【学校法人早稲田大学】**

本研究は、HC冷媒やHFO系冷媒、さらにはそれらの混合冷媒や次世代冷媒が次々と提案される混沌とした状況の中で、単に冷媒の低GWP化だけでなく、次世代冷媒を導入した機器の性能も含めてどのような冷媒が次世代冷媒としてふさわしいのかを冷静に選定していく必要がある。そこで、次世代冷凍空調機器に対して適切な冷媒の選定に必要な不可欠な論理的、実験的性能評価ツールとしてのシミュレーション技術、評価装置を開発することを目標とし、以下の研究を実施した。

目 標	研究開発成果
テーマ： 低GWP冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発	
次世代冷凍空調機器に対して適切な冷媒の選定に必要な不可欠な論理的、実験的性能評価ツールとしてのシミュレーション技術、評価装置を開発する。 具体的な項目は以下。 【1】性能解析技術、【2】性能評価技術、【3】シミュレーター開発とその活用	評価に必要な解析と評価ツールを開発し、次世代冷媒の性能評価確立を目的に次の研究項目を実施した。 【1】性能解析技術 研究開発 【2】性能 評価技術 研究開発 【3】シミュレーター開発とその活用
【1】性能 解析技術 研究開発	
デバイスやシステムの定常、非定常解析を実現するとともに、現象自体が不明確な現象については、詳細な特性を把握できる評価装置を開発する。熱交換器については、モデルの妥当性を確認する。	・熱交換器、圧縮機、膨張弁からなるデバイスのモデリングとシステムの定常、非定常解析を可能とする。 ・混合冷媒の伝熱性能評価を可能とする実験装置を完成し、実験的に混合冷媒の組成が機器性能に与える現象の解明を可能とする。2022年度まで継続予定 ・冷媒充填量評価を可能とする実験装置を完成し、機器内をどのように冷媒が分布、滞留しているのか評価を可能とする。2022年度まで継続予定 ・熱交換器モデルが上記精度で解析可能なことを実験で確認する。
【2】性能 評価技術 研究開発	
次世代冷媒の性能の良しあしを比較分析可能な評価方法をシミュレーション、実験の両面で確立する。	・構造が複雑で多様な構造をとるため、最も性能評価が難しい熱交換器に対して最適性も保証した構造での性能評価手法を明確化する。 ・5%の精度で定常状態の評価を可能なハイブリッド実運転性能評価装置を開発する。
【3】シミュレーター開発とその活用	
最重要な要素となる熱交換器とそれを含むシステム全体のシミュレーションを可能とするシミュレーターを開発する。	・混合冷媒を含む多様な冷媒で、多様な構造となる熱交換器の性能を予測可能なシミュレーターの開発を完了する。 ・混合冷媒を採用したシステムのシミュレーターを開発する。 ・年間の性能を評価できるシミュレーターの概形の開発を完了する。

**研究開発項目②「次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発」**

**(d) 次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発【国立大学法人東京大学・公立大学法人公立諏訪東京理科大学・国立研究開発法人産業総合技術研究所】**

次世代冷媒を空調機器や冷凍冷蔵機器に適用するときの燃焼に伴う安全性やリスク評価を行う手法の確立を目指して、冷媒漏えい時の拡散、燃焼時の危害度評価、現実的な使用環境下で

想定される着火源による火災危険性評価、実規模実験によるフィジカルハザード評価を行う。また、HF0 冷媒の自己分解反応の機構解明、抑制効果評価を行う。本研究開発は 10 のサブテーマにより構成されており、各サブテーマにおける研究成果は以下の通り。

目 標	研究開発成果
テーマ：次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発【東京大学】	
可燃性低 GWP 冷媒を安全に使用するために評価すべき事項について、共通基盤的な情報を提供し、可燃性低 GWP 冷媒の実用化を促進する。	GWP が極めて小さい炭化水素のリスク評価を行うのに必要な共通基盤的な特性や HF0 冷媒の固有反応の抑制可能性について情報を提供した。産学官が協力して、リスク評価の実施に協力した。
[1] 燃性冷媒漏洩時のリスクの研究	
炭化水素がルームエアコンから室内に漏洩したとき、および炭化水素がショーケースから室内に漏洩したときの濃度分布のシミュレーション解析を行う。	炭化水素がルームエアコンから室内に漏洩したとき、およびショーケースから室内に漏洩したときの濃度分布のシミュレーション解析を行い、最大充填量評価、ファンによる攪拌効果を評価した。
[2] 可燃性冷媒が室内で着火したときの危害度の研究	
小型容器内で炭化水素、可燃性冷媒 (R32) が燃焼するときのシミュレーションを行う。燃焼性の強さと圧力の上昇速度の関係を整理する。	炭化水素、可燃性フルオロカーボン冷媒 (R32) が層流燃焼するときのシミュレーションをゼロ次元から 3 次元までの燃焼モデルに対して実施した。燃焼性の強さと、燃焼時の圧力の上昇速度の関係を整理した。
[3] エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発の発生抑制	
圧縮機内でのディーゼル爆発の発生条件を明らかにし、ディーゼル爆発の発生を抑制する方法を提案する。	添加剤を含む潤滑油 (POE) と冷媒 R22, R32, R1234yf, R290 の組み合わせでディーゼル圧縮実験を行った。複数の燃焼抑制剤の効果を明らかにした。
[4] HF0 冷媒の自己分解反応の安全評価	
HF01123 冷媒について、自己分解反応の発生条件を明らかにする。反応抑制ガスを添加し、抑制効果を整理する。	HF01123 冷媒+R32+CF3I 混合系による自己分解反応の抑制効果を明らかにした。R32 と CF3I には反応抑制に関する相乗効果があることを明らかにした。
[5] 冷媒圧縮機におけるレイヤーショートの原因および放電パターンの解明 (静岡大学に再委託)	
HF0 冷媒の自己分解反応を引き起こす原因となる冷媒圧縮機内のレイヤーショートについて、その発生要因と発生時の通電エネルギーを明らかにする。	圧縮機モータのそれぞれの端子におけるショート時の保護回路の動作と通電エネルギーを調査した。主巻き線のショートは物理的に起きない構造にする必要がある、副巻き線のショートには適切な保護回路の導入が有効であることが分かった。
テーマ：実使用環境における着火源を考慮した次世代冷媒の燃焼に係るフィジカルリスク評価手法の確立【公立諏訪東京理科大学】	
炭化水素系自然冷媒や HFC 系・HF0 系冷媒等の次世代冷媒を搭載した業務用冷凍冷蔵機器及び家庭用空調機器の、実際の使用時を想定した着火源の評価手法の確立を目指す。	<左記目標に対する成果を記載> 実際の使用時を想定した着火源候補を、有識者及び関係団体との綿密な意見交換により抽出し、それぞれグループ分けして、再現実験及びモデル実験による着火性評価を実施している。当初計画通りの進捗がみられている。
[1] 機器使用時に問題となる着火源のスクリーニングと着火源モデルの構築	
特に炭化水素系自然冷媒について、着火源となりうる機器及び現象を文献調査その他の方法により抽出し、いくつかの着火源カテゴリへ分類すること。分類したカテゴリごとに着火源モデルを構築すること。	NEDO 調査委員会及び同委員会 WG2 に出席するなどにより、有識者・関係団体と綿密な意見交換を実施した。これにより、業務用冷凍冷蔵機器及び家庭用空調機器冷媒の炭化水素系冷媒への転換にあたって検討しなければならない着火源を抽出し、電気系 (接点リレー、照明スイッチ、プラグ抜き差し、静電気、整流火花) 着火源及び高温熱面 (煙草等) に分類し、それぞれについて着火性評価手法の考え方を一通り構築した。

[2] 各種着火源による次世代冷媒のフィジカルリスク評価	
特に炭化水素系自然冷媒に注目し、テーマ[1]で分類・構築した着火源モデルによる着火可能性について、主として実験によりデータを蓄積するとともに、実使用環境における着火源を考慮したフィジカルリスク評価手法の確立に向けた見通しを得ること。初期湿度や劣化度等の影響について、主として実験により、各着火源モデルによる着火特性に対する初期湿度や劣化度等の環境条件の影響評価の見通しを得ること。	上記テーマ[1]での要検討着火源候補について、それぞれ実験により着火性評価を進めた。電気系着火源では接点リレー、照明スイッチ、プラグ抜き差しについては状況を再現した実験により、静電気については主として文献により着火性評価を実施した。整流火花についても調査を開始したところである。高温表面着火源ではモデル実験により着火性の評価を行っている。今後は、電気系着火源については着火性評価手法の一般化を課題としており、そのために、回路特性が放電エネルギー及び着火性に及ぼす影響を明らかにする予定である。高温熱面についてはモデル実験により構築する着火性評価手法の妥当性検証のためのケーススタディを実験的に実施する予定である。
テーマ： 実使用条件を考慮した自然冷媒使用冷凍空調機器の燃焼に係る実規模フィジカルハザード評価【産業技術総合研究所安全科学研究部門】	
可燃性ガスである自然冷媒のプロパン、R290を用いた冷凍空調機からの冷媒の漏洩を想定して、プロパンガス、実在機器を使用した実規模の点火能評価実験、漏洩拡散挙動計測実験を行い、漏洩着火事故の頻度評価に寄与する知見を提供するとともに、漏洩拡散挙動計測実験の結果を用いて燃焼影響評価実験を行い、漏洩着火事故の実規模フィジカルハザードを評価する。	点火能評価試験の実施手法を確立し、当初予定の3件の評価を行った。リスク評価上の必要性から3件程度の追加を予定している。また、漏洩事故におけるフィジカルハザード評価については、エアコン室内機からの急速漏洩における実規模拡散挙動計測を完了し、最大許容充填量の妥当性や送風、扉下隙間の影響に関する知見を得た。
[1] 冷凍空調機器からの冷媒漏洩事故事例の検討と漏えい条件のモデル化	
冷凍空調機器からの冷媒漏洩事故事例の検討を行い、着火事故とその周囲影響が懸念される漏えい条件のモデル化を完了する。	比較的小規模の空調システムの漏洩事故事例を検討し、急速漏洩に関する実験のための漏洩条件のモデル化を行った。
[2] 可燃濃度域内に存在する実在の機器類の点火能評価	
公立諏訪理大の研究により着火源となり得るとされた機器について、最大6件程度の実在の機器類を用いて評価する。	2019年度に、実験用アクリル容器と遠隔操作手法を確立し3件の機器について評価した。
[3] 少量長時間漏洩時の拡散挙動計測と実規模フィジカルハザード評価	
少量長時間漏洩時の冷媒拡散挙動を計測し、着火の危険性を評価する。また危険性が高いと推定される条件が見いだされた場合、燃焼影響評価実験を行い燃焼影響を評価する。	今年度の実規模拡散挙動計測の実験条件を絞り込むためのスケール実験を準備中。2021年度以降に予定されていた燃焼影響評価実験を今年度に前倒した。
[4] 室内機等での急速漏洩時の拡散挙動計測と実規模フィジカルハザード評価	
実規模室内空間における、室内機等に発生した破断等の大きな漏洩口を想定した、冷媒の急速漏洩時の拡散挙動を計測し、着火の危険性を評価する。また危険性が高いと推定される条件について燃焼影響評価実験を行い、燃焼影響を評価する。	2019年度にエアコン室内機の実規模拡散挙動計測を終了。2021年度以降に予定されていた燃焼影響評価実験を今年度に前倒した。冷蔵機内蔵ショーケースに関する実規模拡散挙動計測、燃焼影響評価実験を追加した。

**研究開発項目③「次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発」**

**(e) 自然冷媒および超低 GWP 冷媒を適用した大形クーリングユニットの研究【三菱電機株式会社】**

本研究開発は、入れ替え気運が高まっている大型冷蔵倉庫向けのクーリングユニットに環境負荷の少ない自然冷媒である CO<sub>2</sub> を適用し、そのうえで安価で高い省エネ性を持ち、設備管理者も不要なシステムの開発を目的として、下記の研究項目を実施した。

目 標	研究開発成果
テーマ： 自然冷媒および超低 GWP 冷媒を適用した大形クーリングユニットの研究	
当社 60 馬力 R404A 冷凍機比で、定格条件ならびに年間の運転を想定した特定の負荷パターンでの年間 COP が 100%以上。機器販売価格が 140%以下。	COP 目標達成のための冷媒のメリットとデメリットを明確にし、安価かつ高効率実現のための機能部品の仕様を明確化した。また机上検討結果の実機検証で性能特性、PFC 熱交換器の圧力損失と放熱量を明確化した。
[1] 高元側に最適な冷媒選定	
高元側冷媒選定／理論性能／実現コスト見積もりと製品の馬力に応じた最適圧縮機選定	高元側に最適な冷媒選定を目的として、4つの冷媒（R290、R1234yf、R32、CO <sub>2</sub> ）の性能計算と特徴比較（GWP、COP、圧縮機の必要容量、燃焼性、コスト）を行い、それぞれの冷媒のメリットとデメリットを明確化した。
[2] 安価かつ高効率実現のための高元側サイクルの開発	
圧縮機吸入圧損の低減技術、圧縮機増速による小型化技術及び熱交換器の最適分配及び最適容量の開発	安価かつ高効率実現のための高元側サイクルの開発として、オールアルミ熱交換器（PFC 熱交換器）、アキュムレータ、カスケード熱交換器（プレート式熱交換器）のシミュレーション計算を行い、必要な仕様を明確化した。
[3] 机上検討結果の実機検証	
机上検討結果の実機での検証	上記机上検討結果の実機検証での評価を行い、候補冷媒それぞれにおいて、性能特性、PFC 熱交換器の圧力損失と放熱量の関係を明確化した。試験後の各部品の調査を進める。
[4] 高元側に最適な冷媒での詳細構造設計と実機検証	
機器の詳細構造設計および実現コスト見積もり、課題抽出と製品の馬力に応じた最適圧縮機の搭載構造設計	冷媒回路部品と制御回路の仕様検討を行い、高元側の圧縮機仕様と制御 I/O、制御機器の組み合わせによるコスト比較を行った。
[5] 安価かつ高効率実現のための二元サイクルの開発	
圧縮機吸入圧損の低減技術、圧縮機増速による小型化技術の実現見極めと二元冷凍機サイクルの制御構築。またその実証試験機評価	高元回路の PFC 熱交換器の最適パスについて検討し仕様を構築した。

**(f) コンデンシングユニットの次世代低 GWP 冷媒対応化技術の開発【東芝キャリア株式会社】**

本研究開発では、低 GWP 冷媒を使用したコンデンシングユニットの開発を目的とし、以下の研究項目を実施した。

- ・冷媒種の選定
- ・定格機器性能 対従来比 100%
- ・実運転に基づく機器仕様の確立
- ・実運転時の年間機器性能 5%改善

目 標	研究開発成果
-----	--------

テーマ：コンデンシングユニットの次世代低 GWP 冷媒対応化技術の開発	
1. 低 GWP 冷媒種を選定する。 2. 従来機種に対して同等の定格機器性能を確保する。 3. 年間機器性能 5%改善可能な見込みを得る。	1. 候補冷媒を 3 種まで絞り込んだ。 2. 蒸発温度帯ごとの実力を把握した。熱交換器改善およびサイクル部品追加により、2020 年度末までに達成見込みである。 3. 弊社社内基準による年間使用電力量試算し実力把握した。2020 年度までに課題抽出と改善施策立案まで完了予定である。
[1]冷媒の探索と選定	
現行利用冷媒 R404A と物性値の近い、低 GWP 冷媒を選定する。	冷凍サイクルシミュレーション実施し、コンデンシングユニット用の次世代低 GWP 冷媒の候補として、HFO 混合冷媒 3 種を抽出した。またこれら冷媒のドロップイン試験を実施し、性能ポテンシャル把握に必要なデータ蓄積を行った。
[2]冷媒物性値の把握	
絞り込み済み冷媒種の物性値計測、および物性式修正と、REFPROP 混合モデルの評価を行う。	低温側計測のための設備改造が完了し、2020 年度末までに物性値計測完了見込みである。また、現状の物性式での REFPROP 混合モデル評価が完了し、2020 年度までに推算式修正による評価完了予定である。
[3]性能ポテンシャル把握	
従来機種に対して同等の定格機器性能確保、および年間機器性能 5%改善をはかる。	コンデンシングユニット仕様（冷凍サイクル構成、サイクル制御）検討を実施し、2020 年度末までに仕様確定予定である。
[4]信頼性把握	
コンデンシングユニット長期信頼性評価を行う。	設計寿命を満足するための信頼性評価を実施し、候補冷媒に対する課題洗い出し（ウィークポイント抽出）、および対応施策の策定を実施予定である。
[5]安全性検討	
微燃性冷媒漏えい時の安全性評価を行う。	冷媒漏えいシミュレーション、および漏えい試験を実施する。その結果に準じた安全対策組み込み、および対応制御実装までを実施予定である。

**(g) 低温機器における CO<sub>2</sub> 冷媒を使用した省エネ冷凍機システム開発及びその実店舗評価【パナソニック株式会社】**

本事業では、以下の課題を解決し、CO<sub>2</sub>冷媒の普及を促進することを目的とする。

CO<sub>2</sub>冷凍機の普及が促進されない要因には、業界の CO<sub>2</sub>冷凍機の出力帯の主体が、2～20HP となっており、スーパーマーケットで使用される 30HP 以上の出力機種がないため、使用台数が多くなり施工費用が高くなることが挙げられる。また、冷凍機の仕様が屋外型一体型のみのも構成となっていることも要因の一つとなっている。このことに加え、業界の認識が HFC 冷媒に対する自然冷媒に転換するメリットが環境性のみになっているため、導入が促進されない状況にあると分析している。このことに鑑み、本研究開発では、各課題に対して、下記の研究項目を実施した。

目 標	研究開発成果
テーマ： 低温機器における CO <sub>2</sub> 冷媒を使用した省エネ冷凍機システム開発及びその実店舗評価	
CO <sub>2</sub> 冷媒の導入促進を目的に、以下の課題を解決する技術を開発する。 [1]CO <sub>2</sub> 冷凍機の大出力化 [2]高外気温度対応 [3]CO <sub>2</sub> 冷媒の特性を活かした未利用熱利用 [4]中高温度領域への利用範囲拡大	[4]を除いた全ての課題に対して、試作機を製作し、評価推進中。また、実証実験先が決定し、実証実験の準備も並行して推進中。



[1]CO <sub>2</sub> 冷凍機の大出力化	
水冷式 40HP 冷凍機の開発完了	水冷式 20HP の屋内型圧縮機ユニットを 2 台連結した水冷式 40HP 冷凍機の試作が完成。年度内に、性能評価及び改良検討を行い、実証実験を実施予定。
[2]高外気温度対応	
貯水しないメンテナンスフリーの空冷型水冷却熱交換器ユニットの開発完了	課題抽出を行うために、現行 HFC 冷媒用リモートコンデンサを用いた散水効果の予備評価を実施。また、空冷型水冷却熱交換器ユニットの試作が完成。年度内に、性能評価及び改良検討を行い、実証実験を実施予定。
[3]CO <sub>2</sub> 冷媒の特性を活かした未利用熱利用	
CO <sub>2</sub> 冷凍機の排熱を利用した給湯システムの開発完了	水冷式冷凍機の排熱を有効に利用できる水回路を開発。年度内に性能評価及び改良検討を行い、実証実験を実施予定。 また、排熱を利用した空調システムの一次試作機が完成。年度内に性能評価及び改良検討を行い、次年度実証実験を実施予定。
[4]中高温領域への利用範囲拡大	
中高温領域にも適用可能な CO <sub>2</sub> 冷凍機の構想設計完了	予備評価の準備に着手。2020 年度下期より本格的に構想設計開始予定。

**(h) GWP10 以下の直膨型空調機用 微燃性冷媒の開発【ダイキン工業株式会社】**

次世代冷媒の成分物質を用いて、直膨型空調機器を対象に GWP<10 の混合冷媒の開発を目的として、下記の研究項目を実施した。冷媒性能目標としては、機器については直膨型空調機器を対象に現行冷媒である R410A に対して COP、APF において 90%以上を設定した。燃焼性については、現行で R32 が使用されていることから、ASHRAE 安全性区分 2L を目標に設定した。また、毒性については、民生用途では、低毒性が求められることから、ASHRAE 安全性区分 A の目標を設定した。

目 標	研究開発成果
テーマ： GWP 10 以下の直膨型空調機用 微燃性冷媒の開発	
直膨型空調機に使用されている市販フロン品と同等以上の性能 (COP、APF 等) を示す GWP 10 以下の冷媒を開発することを目標とする	次世代冷媒の成分物質について、燃焼性、毒性に関する基礎データを取得。新冷媒の代表的な候補について、初期評価を行い、性能 (COP、APF) が R410A 比で 90%以上であることを確認した。
[1] 温暖化係数	
・温暖化係数が 10 以下	次世代冷媒の成分物質と GWP<10 になるような混合する成分物質を絞り込んだ。 次世代冷媒の成分物質の熱分解開始温度、分解率、生成物の評価を行った。
[2] 燃焼性	
・微燃性 (ASHRAE 安全性区分 2L) ・冷媒充填量の許容量を把握	次世代冷媒の成分物質単体及び別の物質との混合における燃焼性に係るデータを取得し、評価を行った。
[3] 毒性	
・急性毒性 LC50 > 20,000ppm。 ・ASHRAE 安全性区分で区分 A の見通し	次世代冷媒の成分物質の毒性試験において、急性毒性 LC50 で 20,000ppm 以上であることを確認した。