

## 2024年度実施方針

サーキュラーエコノミー部

## 1. 件名 次世代低 GWP 冷媒の実用化に向けた高効率冷凍空調技術の開発

## 2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 号二、第 3 号、第 9 号

## 3. 背景及び目的・目標

## &lt;背景&gt;

オゾン層保護の観点から特定フロン(CFC、HCFC)の代替として開発された4ガス(HFC、PFC、SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub>)は極めて高い温室効果を有する化合物であることから、京都議定書及びパリ協定において排出削減対象ガスに指定され、世界的に排出削減のための対策が進められている。2016年10月に採択されたモントリオール議定書の改正(以下「キガリ改正」という。)においては、先進国はHFC生産・消費量を段階的に削減する目標が定められている。

我が国においてはHFCの排出抑制対策の一つとして、2015年4月に「フロン排出抑制法」が施行され、2022年10月時点で冷凍空調関連分野の14区分の製品を指定製品として、地球温暖化係数(GWP※)の目標値と目標年度を設定し、HFCを含むフロン類の排出量削減を促進している。また、2019年1月のキガリ改正発効によるHFCの生産量・消費量の削減義務の履行を国内で担保するため、HFCの製造及び輸入を規制する等の措置を講じた「オゾン層保護法」が改正、施行されている。本法では、HFCの生産量・消費量の限度を定めて段階的削減を推進していくとしている。

更に、2020年10月には総理より2050年カーボンニュートラルが宣言され、我が国の温室効果ガス排出量を2050年までに実質ゼロにすることが求められた。2021年4月には、2030年度において、2013年度比で温室効果ガス46%削減を目指すこと、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けることが表明された。これらを踏まえ、2021年5月にはパリ協定と共に2050年カーボンニュートラルを基本理念とすることを定めた「改正地球温暖化対策推進法」が成立、同10月には同理念に基づく「地球温暖化対策計画」及び「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が閣議決定された。「地球温暖化対策計画」の中で、2030年度のHFCの排出量については、2013年度比で55%削減(従来目標は32.7%削減)という高い目標が掲げられている。また、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の中で、HFCの排出抑制対策は喫緊の課題であるとし、2050年のカーボンニュートラル

実現に向けてHFCの排出量の増加傾向を早期に減少に転じさせ、フロン類の段階的な削減を着実に進めるとともに中長期的にはフロン類の廃絶を目指すことが示されている。

※GWP:地球温暖化係数(Global Warming Potential)の略。CO<sub>2</sub>の温室効果の大きさを基準(1.0)として、同量・同期間における温室効果の大きさを相対比較した値。

#### <目的>

キガリ改正の結果、先進国は2036年までにHFCの生産及び消費量をGWP換算値で段階的に85%削減する目標が示されたが、現在普及している冷媒だけではこの目標を達成するのは困難と考えられる。更に2050カーボンニュートラルに向けてはその排出量を実質ゼロにすることが求められている。温室効果ガスの中で排出量が増加傾向にある代替フロンの排出抑制対策は喫緊の課題であり、とりわけ代替フロンに代わる次世代冷媒・機器の技術開発と社会実装の加速が急務となっている。

冷凍機器のうち、家庭用冷凍冷蔵庫においては既に適用されている燃焼性の高い冷媒の安全性評価が十分に行われ、低GWP冷媒への転換が進んでいるが、業務用小型冷凍冷蔵庫等に対しては、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ことなどから、依然としてHFC冷媒が使用されている。また市中冷媒ストック量が多く、大気中への漏えい源としても影響が大きい家庭用・業務用空調機に対する次世代の適切な冷媒候補は未だ開発途上である。

こうした状況をふまえ、本事業では代替冷媒の決まっていない家庭用空調機を対象に、新たな混合冷媒のスクリーニングから適用機器の開発・評価までの一貫通貫の実施による、適用機器設計指針の基盤技術の確立、及び家庭用・業務用空調機、業務用冷凍冷蔵庫を対象とした次世代低GWP冷媒適用機器の普及に必要な要素機器・周辺機器の技術開発により、民間企業による次世代低GWP冷媒及び、その適用機器の早期開発・上市を促す。

#### <目標>

本事業ではこれまでの研究開発の知見を踏まえ、以下の研究開発を実施する。

#### 研究開発項目① 「家庭用空調等に適した低GWP混合冷媒の開発及び評価」

市中冷媒ストック量の多い家庭用空調機を対象とした実装可能なHF0混合冷媒候補を早期に絞り込むとともに、熱交換器、圧縮機など、HF0混合冷媒に対応した要素機器の開発に資する基盤技術の開発(伝熱促進技術、圧縮特性の解明等)、及び安全性や環境影響の評価を行うモデルや評価手法などの開発を行う。

研究開発項目② 「低 GWP 冷媒の対応機器（家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等）の開発」

研究開発①の知見を展開し、業務用冷凍空調機等、HF0 混合冷媒に対応する要素機器及び周辺機器技術開発の加速化を図る。

中間目標・最終目標は以下のとおりとする。

【中間目標（2025 年度）】

研究開発項目① 「家庭用空調等に適した低 GWP 混合冷媒の開発及び評価」

- 1) これまでのプロジェクトの知見をベースに、研究効率化のための手法（例えば AI 技術や DX 技術）を取り入れ、低 GWP・安全性・性能を考慮した次世代冷媒としての HF0 混合冷媒候補の絞り込みを行う。この結果得られた有力な混合冷媒について物性等の詳細な評価を累計 15 件以上実施し、基本物性データを整備する。
- 2) 1) で得られた基本物性データについて、国際データベース等への登録申請に耐える得るデータを 1 種類以上取得する。
- 3) HF0 混合冷媒の伝熱特性の解明と伝熱促進技術の開発（例えば流路形状や構造の最適化）により冷媒に対応する熱交換器の設計指針案を作成する。
- 4) 冷凍機油・冷媒混合物の冷媒溶解・潤滑特性の解明により、HF0 混合冷媒に適した冷凍機油の提案を行う。
- 5) HF0 混合冷媒の圧縮特性（組成変化が圧縮性能に与える影響）を解明し、対応する圧縮機の設計指針案を作成する。
- 6) HF0 混合冷媒の安全性や環境影響に関する評価を行うため、HF0 混合冷媒の着火・爆発に関するモデル化、燃焼特性の解明、自己分解反応の評価方法、及び LCOP（ライフサイクル温暖化特性）等の評価手法を確立する。
- 7) 1) ～ 6) の研究と並行し、空調サイクル全体として総合的に性能評価が出来る試験装置を製作する。

研究開発項目② 「低 GWP 冷媒の対応機器（家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等）の開発」

これまでの関連研究開発事業の成果や、本事業における家庭用空調機を対象とした冷媒・空調要素技術の知見を展開し、次世代低 GWP 冷媒に対応するとともに現状市販フロン品と同等以上の性能 (COP、APF 等<sup>\*</sup>) を実現する要素機器及び周辺機器の技術開発の道筋をつける。

※COP:成績係数 (Coefficient Of Performance) の略。冷暖房器具のエネルギー消費効率を示す係数で、消費電力 1kW に対しての機器の冷却能力、暖房 (加熱) 能力を表したものの。

APF: 通年エネルギー消費効率 (Annual Performance Factor) の略。1 年を通して、ある一定条件のもとに空調機を使用した時の消費電力 1kW あたりの冷房・暖房能力を表したものの。

#### 【最終目標 (2027 年度)】

#### 研究開発項目① 「家庭用空調等に適した低 GWP 混合冷媒の開発及び評価」

中間評価結果を踏まえ、混合冷媒の燃焼特性の解明、及び実用化可能性の高い HF0 混合冷媒の提案、当該冷媒の物性及び当該冷媒に対応した要素機器の設計指針の確立を図る。

- 1) 中間目標 1) に引き続き、物性等の評価を累計 25 件以上実施し、基本物性データを整備する。  
この評価を基に、HF0 混合冷媒の熱物性値情報を高精度で計算できる混合モデルを開発する。
- 2) 中間目標 1) ~ 6) に記した開発成果を、7) で作成した試験機により検証しつつ、各研究開発にフィードバックしながら改善を図ることで、企業の速やかな製品開発に貢献する候補冷媒及び冷凍機油の提案、当該混合冷媒の燃焼特性、自己分解反応機構の解明、並びに候補冷媒に対応した熱交換器・圧縮機の設計指針を確立する。
- 3) HF0 混合冷媒の基本物性データについて、国際データベース等への登録申請に耐える得るデータを 3 種類以上取得する。また、安全性・リスク評価手法等について、空調機器の安全性に係る国際規格等 3 件以上の国際標準の改正の提案に必要となるデータを取得する。

#### 研究開発項目② 「低 GWP 冷媒の対応機器 (家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等) の開発」

中間目標の成果を元に技術開発を行い、次世代低 GWP 混合冷媒に対応する要素機器及び周辺機器の技術を確立する。

なお、中間目標、最終目標等については、研究開発費の確保状況、研究開発の進捗状況、産業への波及効果等を総合的に勘案し、適宜見直しを行う。

#### 4. 実施内容及び進捗（達成）状況

研究開発項目①「家庭用空調等に適した低 GWP 混合冷媒の開発及び評価」、及び研究開発項目②「低 GWP 冷媒の対応機器（家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等）の開発」とともに、公募によって体制を決定し、研究に着手した。

プロジェクトマネージャーに NEDO サーキュラーエコノミー一部チーム長 森智和を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

また、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 飛原英治氏をプロジェクトリーダー、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所附属次世代冷媒物性評価研究センター(NEXT-RP)教授 東之弘氏をサブプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

##### 4. 1 2023年度（委託）事業内容

研究開発項目①「家庭用空調等に適した低 GWP 混合冷媒の開発及び評価」においては、次世代冷媒候補を絞り込むために必要となる各種冷媒の物性計測を実施した。また、次世代冷媒に対応する機器の要素技術開発として、熱交換器においては伝熱促進を図るための検討を行った。圧縮機については次世代冷媒候補に適用出来る圧縮機及び潤滑油の組み合わせについての探索を行った。尚、これらにより開発された冷媒・要素機器を総合評価するモデル試験機の設計を並行して進めた。

また、上記と並行して HF0 冷媒の自己分解反応の機構解明や抑止技術の開発、燃焼特性の解明、次世代冷媒候補の安全リスク評価（漏洩時の着火や自己分解反応リスク等）、及び機器性能評価技術等の開発を進め、前記冷媒・機器開発に資するとともに関連する外部団体と連携し、次世代冷媒に関しての規格化、標準化につながる取組を推進した。

**（1）「低GWP混合冷媒の熱物性・安全性・環境影響評価、対応機器の要素技術開発及びシステムの性能評価／低GWP混合冷媒の特性評価」（2023年度～2027年度）**

**〔冷 A-1〕「低 GWP 混合冷媒の熱物性データ取得及び候補冷媒の絞り込み」（担当：（国）九州大学）**

本項目〔冷 A-1〕では、NEDO で開発された国産冷媒である HF0-1123 あるいは R1132(E) を主成分とし、他の低 GWP 冷媒を混合した 2 成分系あるいは 3 成分系の低 GWP 混合冷媒の熱物性データを高精度で実測し、研究開発項目〔冷 B-1〕で開発する状態方程式及び混合モデルの入力情報とし

て提供する。

2023 年度は、2 成分系混合冷媒 HF0-1123+R1234yf 及び R1132 (E)+R1234yf の熱物性の解明を目標として、(1)PVT<sub>x</sub> 性質、(2)気液平衡性質、(3)臨界点、(4)気液共存曲線（飽和密度）熱物性測定を行い、基本熱物性測定データを蓄積した。

**〔冷 A-2〕「低 GWP 混合冷媒の音速データ取得」（担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所 工学計測標準研究部門（再委託））**

本項目〔冷 A-2〕では、HF0-1123 や R1132 (E)を主成分とする 2 成分系または 3 成分系の混合冷媒に対し、状態方程式及び混合モデルの開発に必要な音速データを取得する。また、モデルの有効範囲拡張を目的に、室温以下の低温域における PVT<sub>x</sub> 性質データを取得する。

2023 年度は、R1132 (E) 純物質の音速データ及び室温以下の低温域における PVT 性質データの取得を目標として、高精度な気相域音速測定を実現するための熱伝導率計測装置の導入を行った。また R1132 (E) 純物質の気相域音速データを取得すると共に、室温以下の低温域における PVT 測定を行い、PVT 性質データを取得した。

**〔冷 B-1〕「低 GWP 混合冷媒の状態方程式及び混合モデルの開発」（担当：学校法人中村産業学園九州産業大学）**

本項目〔冷 B-1〕では、従来進めてきた低 GWP 冷媒やそれらの混合冷媒に対するヘルムホルツ型状態方程式及び多流体モデル近似に基づいた混合モデルの開発を更に高度化する。また、最終的に REFPROP や ISO 17584 に登録し、公共の便益に供する技術的基盤情報とする。

2023 年度は、モデル開発環境の整備完了及び既存の状態方程式及び混合モデルの高度化を目標として、過去の NEDO プロジェクトで構築した状態方程式及び混合モデル最適化のアルゴリズムの見直しを行い、少ない実測値情報から妥当なモデルを構成できるように改善した。

**〔冷 C-1〕「低 GWP 混合冷媒の絞り込みに資する安全性特性評価」（担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所機能化学研究部門）**

本項目〔冷 C-1〕では、HF0-1123 や R1132 (E) などのフルオロエチレン類と自然冷媒を主成分とする 3 成分系混合冷媒を中心に、燃焼限界、燃焼速度、及び消炎距離といった燃焼特性の評価を行い、冷媒の安全性基準を満足する混合組成の範囲を明らかにする。

2023 年度は、1 種類以上の 3 成分系の燃焼特性推算に必要な単体及び 2 成分系のデータを取得する事を目標に、本研究項目の遂行に必要な研究環境を整備し、低濃度の R290、HF0-1123 の燃焼速度及び R1132 (E) の LFL の温度依存性等評価、CO<sub>2</sub>/R290 混合系の燃焼速度の混合比依存性の評価を実施した。

**〔冷 D-1〕「低 GWP 混合冷媒のサイクル特性及び冷凍サイクルモデル試験機による性能評価」（担当：学校法人中村産業学園九州産業大学）**

本項目〔冷 D-1〕では、サイクル性能評価装置を開発すると共に、機器要素技術グループで開発された熱交換器及び圧縮機を用いてサイクル全体での性能評価を実施する。試験結果を用いてサイクル性能予測プログラムを開発し、実験範囲外の領域の冷媒組成を補完し、幅広いサイクル特性の把握を行う。

2023 年度は、サイクル試験装置による熱力学的解析結果を提供することを目標に、熱交換器及び圧縮機を交換できる構造を持ったサイクル試験装置の設計・製作を行い、簡易的に熱伝達率と圧力損失の影響を考慮した混合冷媒のサイクル解析結果を得た。

**〔冷 D-2〕「低 GWP 混合冷媒のサイクル要素内損失分析」（担当：国立大学法人長崎大学（再委託））**

本項目〔冷 D-2〕では、候補に挙げられた冷媒混合組合せについて、その性能評価の根拠となる損失分析を行う。混合冷媒利用技術の課題を明確にするとともに、候補冷媒の性能を正当に評価するためのデータを提供する。

2023 年度は、評価装置の設計・製作を行うことを目標に、特に混合冷媒の特性を適切に評価するために水熱源を用いた直交流式熱量計の要求仕様を決定し、冷凍サイクル評価装置へ組み込んだ。また冷媒の流動様相及び冷凍機油の相溶状態を確認する可視化設備を整えた。

**〔冷 E-1〕「低 GWP 混合冷媒対応空調機器の LCCP 評価方法の開発及び AI 解析」（担当：株式会社エイゾス）**

本項目〔冷 E-1〕では、低 GWP 混合冷媒対応空調機器について、LCCP 評価方法を開発し LCA 評価を実施するとともに、将来需要推計を行う。また、多入力多目的システムを予測・要因分析・多目的最適化する AI 解析ツール等を開発・活用し、最適条件の探索等において研究開発を支援する。

2023 年度は、LCCP 評価手法の開発に向け、既存の冷媒及び家庭用空調機器に関するインベントリデータを整備した。また、既存の LCCP 評価手法についての先行研究を調査し、解析環境を整備した。国内家電の販売量に関するデータの整備と、将来需要推計手法の検討を行った。

AI を用いた解析ツールの開発においては、他研究開発項目のニーズの調査を行い、ニーズに対応した解析を実施できるようインターフェースや解析プログラムの開発を行った。

**(2) 「低 GWP 混合冷媒の熱物性・安全性・環境影響評価、対応機器の要素技術開発及びシステムの性能評価／混合冷媒に対応する要素技術開発」(2023 年度～2027 年度)**

**〔機 A-1〕 「低 GWP 混合冷媒の伝熱劣化を抑制する熱交換器要素技術の研究開発 (担当：国立大学法人佐賀大学)」**

本項目〔機 A-1〕では、HF0-1123 や R1132(E)などを成分物質とする低 GWP 混合冷媒で想定される伝熱劣化抑制技術(研究開発項目〔機 A-2〕及び〔機 B-1〕)を組み入れた高性能熱交換器の開発や性能評価を行う。

2023 年度は、冷媒-空気熱交換器の基本的な性能評価を行うための温度制御が可能な熱交換器試験風洞の仕様を検討し、製作を開始した。また、HF0-1123 や R1132(E) を成分物質とする低 GWP 混合冷媒に関して、候補となる組成比 1 種類以上の粘度及び熱伝導率を測定した。伝熱データベースは、データ蓄積を継続しながら、1 種類以上の相関式の評価機能を追加した。

**〔機 A-2〕 「低 GWP 混合冷媒の伝熱劣化抑制の基礎研究と熱交換器適用技術の開発」(担当：国立大学法人東京海洋大学(再委託))**

本項目〔機 A-2〕では、低 GWP 混合冷媒の伝熱劣化メカニズムの解明、伝熱劣化を抑制する要素技術、これを実際の熱交換器として具現化する技術を開発する。

2023 年度は、伝熱劣化メカニズムの評価に供する沸騰・凝縮伝熱性能の評価装置を製作し、装置健全性を検証、入手可能な現行の混合冷媒を用いて沸騰熱伝達及び凝縮熱伝達を評価した。また、アルミニウム製伝熱面へ表面処理を施し、熱伝達特性及び流動様相への効果を実験的に検証・評価し、流動様相の可視化手法を検討した。

**〔機 B-1〕 「低 GWP 混合冷媒の熱流動メカニズムの解明と伝熱促進技術の研究開発 (担当：国立大学法人神戸大学)」**

本項目〔機 B-1〕では、非共沸混合冷媒で生じる熱交換器の伝熱劣化を抑制・促進するため、〔機 A-1〕、〔機 A-2〕と協力して微細流路内の気液界面構造を明らかにし、その流動構造に応じた濃度境界層攪拌による液膜内核沸騰の促進、熱流動メカニズムの解明により性能予測モデリングの開発につなげる。

2023 年度は、微細流路内の気液界面構造を評価可能な実験プラットフォームを構築し、流動構造の可視化、ボイド率の計測、ボイド率特性への影響を定量的に評価した。また、アルミニウム製扁平多穴管内沸騰熱伝達率の計測システムを構築し、沸騰核生成に関わる壁面過熱度が影響を受ける加熱方法として想定されるヒーター加熱と流体加熱の影響評価実験を行った。

**〔機 C-1〕 「圧縮機における冷凍機油の冷媒溶解挙動と適合性評価及び低 GWP 混合冷媒圧縮特性の解明（担当：国立大学法人静岡大学）」**

本項目〔機 C-1〕では、非共沸混合冷媒の冷凍機油に対する溶解性、潤滑特性を解明し、冷凍機油の適合性、安定性評価により、混合冷媒に適した潤滑油を開発する。また、圧縮機設計指針作成に向け、圧縮機モデルにより混合冷媒の相分離時におけるアキュムレータの冷媒組成変化と圧縮特性の関係を検討する。

2023年度は、冷凍機油/冷媒混合物の物性値測定装置を構築し、冷凍機油に溶解している冷媒の組成の測定が行えるようにした。また、吸い込み配管における返油特性を評価する試験装置の構築、冷媒組成を考慮した圧縮機計算モデルの構築、冷凍機油1種類の安定性試験を実施した。

**〔機 C-2〕 「圧縮機の機械効率向上のための低 GWP 混合冷媒雰囲気中における摩擦・摩耗・潤滑特性の解明（担当：学校法人大阪電気通信大学（再委託）」**

本項目〔機 C-2〕では、冷媒の特性に合わせた機械力学的な検討及びモデル試験による圧縮機内の潤滑特性を把握し、潤滑特性や〔機 C-1〕での圧縮特性の検討に基づいて、低 GWP 混合冷媒用圧縮機の設計指針を明らかにする。また、圧縮機の小型軽量、高性能化のため、複合素材の適用も検討する。

2023年度は、現有の摩擦・摩耗・潤滑試験装置に対し、摩擦損失の正確な把握に必要なオイル・冷媒攪拌装置の設置と、付随する圧力容器底面フランジの交換、摩擦発生個所の試験機構部の詳細設計を実施し、次年度以降の試験環境を整備した。

**〔機 C-3〕 「圧縮機部品に適した金属基複合材料の開発と基礎物性評価（担当：アドバンスコンポジット株式会社）」**

本項目〔機 C-3〕では、研究開発項目〔機 C-1〕及び〔機 C-2〕と連携し、低 GWP 混合冷媒に対応する、圧縮部品の素材特性を設計し、その特性を明らかにした軽量高剛性の新素材を開発する。

2023年度は、既存圧縮機部品代替と想定している金属の特性調査と、機械的物性値を達成できる金属基複合材料の設計、高圧鋳造法による複合材料の製作、機械的特性評価を実施し、設計された金属基複合材料と既存材料の比較データを示すとともに、1種類の素材に対して密度、引張強度など素材特性を評価した。

### **(3)「低GWP混合冷媒の安全性・性能評価及び全体システム評価手法開発／低GWP混合冷媒の安全性・性能評価」(2023年度～2027年度)**

#### **[安 A-1]「HF0 冷媒の自己分解反応の安全性の研究」(担当：一般財団法人電力中央研究所)**

本項目 [安 A-1] では、① 自己分解反応評価方法の確立、②自己分解反応を抑制する冷媒組成の検討、③自己分解反応の実証試験、④シミュレーションによる冷媒性能予測、⑤実験による冷媒性能評について研究開発を実施する。

2023 年度は、自己分解反応について、規格化を想定した簡便な評価手法の確立に必要な、着火に用いる電極や電源、実験用の圧力容器の備えるべき構造などの要件をまとめるとともに、放電や溶断による着火手法を中心に、過去提案されている複数の評価手法間の差異や整合性のとり方について検討を行った。また機器性能評価について、前プロジェクトまでに提案されている冷媒組成についてのサイクル性能を取得した。

#### **[安 A-2]「自己分解反応評価手法の開発及び HF0-1123 混合冷媒の研究」(担当：AGC 株式会社 (再委託))**

本項目 [安 A-2] では、これまで開発を進めてきた冷媒組成を更に改良・開発することにより、安全に適用可能で、かつ省エネ性能、低 GWP 性能を有する HF0-1123 混合冷媒組成物を実用化する技術を開発する。

2023 年度は、HF0-1123 混合冷媒の国際登録組成の決定に向けた検討を実施するとともに、実機で発生する自己分解反応の着火現象を再現しリスク評価試験方法を確立するため、定量的な放電現象を発生可能な放電着火装置を構築した。

#### **[安 A-3]「自己分解反応の評価手法の開発及び R1132(E)を含む混合冷媒の安全性確認」(担当：ダイキン工業株式会社 (再委託))**

本項目 [安 A-3] では、①自己分解反応の評価手法の開発、②R1132(E)/1234yf 混合冷媒の自己分解反応の各種条件における境界の明確化、③自己分解反応のメカニズム解明、④実機での安全性確認の研究開発を実施するとともに、自己分解反応の安全対策等を実用化し次世代低 GWP 冷媒をグローバルに普及させるため、⑤次世代低 GWP 冷媒の普及に向けた安全対策の実用化に関する課題とその対応について検討を行う。

2023 年度は、ISO817 に提案可能な自己分解反応の評価装置を作成した。また、次世代低 GWP 冷媒をグローバルに普及させるための課題、及びそれら課題に対する解決方法のリストアップを行った。

**〔安 B-1〕 「圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発」**（担当：公立大学法人公立諏訪東京理科大学）

本項目〔安 B-1〕では、調査・理論・計算・実験的アプローチを駆使し、圧縮機内での自己分解反応誘発要因について、データの収集とテーブル化を通じてその発生メカニズムの解明を行う。これを元に圧縮機の運転条件等から自己分解反応誘発要因を定量的に評価する推算モデルを開発すると同時に、実機模型を用いた実証試験を行うことで本モデルの妥当性を検証する。本研究テーマは①「圧縮機内でのアーク放電発生メカニズムの解明とエネルギー評価手法の開発」、②「圧縮機内でのその他の自己分解反応誘発要因の調査とエネルギー定量化」、の2つのサブテーマで実施する。

2023年度は、圧縮機内でのアーク放電発生パターン及び運転条件を特定するとともに、圧縮機内でのアーク放電を模擬しそのエネルギーを定量観測可能な実験装置の設計製作を完了した。

**（4）「低 GWP 混合冷媒の安全性・性能評価及び全体システム評価手法開発／低 GWP 混合冷媒のシステム評価手法開発」**（2023 年度～2027 年度）

**〔評 A-1〕 「低 GWP 混合冷媒のシステム評価手法開発」**（担当：早稲田大学）

本項目〔評 A-1〕では、①「冷凍サイクル実機シミュレーション技術研究開発」、②「AI を活用した冷凍サイクルシミュレーターの最適化技術研究開発」③「冷凍サイクルシステム評価技術研究開発」を実施する。

2023年度は、アキュムレータの数理モデル、及び熱交換器の最適化計算が可能となるシミュレーター及び最適化検証装置の構築を行うとともに、この最適化検証装置の一部を使った予備実験により最適化検証データを取得した。

**〔評 A-2〕 「冷凍サイクルシミュレーター用 AI 最適化アルゴリズムの開発」**（再委託先：電気通信大学）

本項目〔評 A-2〕では、研究テーマ XX. ②「AI を活用した冷凍サイクルシミュレーターの最適化技術研究開発」に適用する、熱交換器を実際に製造する工程における各種の制約条件を考慮した AI 最適化アルゴリズムの開発を行う。

2023年度は、熱交換器最適化（熱交換効率の最大化や一定の熱交換効率条件における熱交換器の物理的大きさの最小化）に対して、熱交換器を実際に製造する工程における各種の制約条件を考慮した新アルゴリズムの構築を行った。

#### 4. 2 2023年度（助成）事業内容

研究開発項目②「低 GWP 冷媒の対応機器（家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等）の開発」（助成事業）においては、次世代冷媒対応機器の開発を進めた。

##### [助 A-1]「グリーン冷媒を使用したコンデンシングユニットの開発」（日立ジョンソンソンコントロールズ空調株式会社）（2023 年度～2027 年度）

本研究開発では、①「シミュレーションによる HF0 混合冷媒の性能評価と選定」②「冷凍機油及び材料評価と選定」を実施し、これらの知見を基に選定冷媒に適応した長期信頼性を確保できる③「圧縮機的设计」及び④「コンデンシングユニット設計」を行う。

次に、③の設計を基に、⑤「圧縮機試作及び性能信頼性評価」を実施し、ここで開発した圧縮機を搭載した⑥「コンデンシングユニット試作及び性能評価」を行い、最終的にはここで製作したコンデンシングユニットとショーケースをつなぎ、実店舗模擬試験室において長期モニタ試験を実施する。試験にて性能、信頼性評価を実施し、設計改善に反映する。

2023 年度は、候補冷媒、及び冷凍機油の方向性を決定するとともに、圧縮機、及び COP 向上策の積み上げに基づくコンデンシングユニットの設計指針を策定した。また、候補冷媒を使用した現行機での性能評価結果をまとめた。

#### 4. 3 実績推移

	2023 年度	
	委託	助成
実績額推移 需給勘定(百万円)	420	20
特許出願件数(件)	—	—
論文発表数(報)	13	—
フォーラム等(件)	1	—

#### 5. 事業内容

プロジェクトマネージャーに NEDO サーキュラーエコノミー一部チーム長 森智和を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

また、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 飛原英治氏をプロジェクトリーダー、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所附属次世代冷媒物性評価研

究センター(NEXT-RP)教授 東之弘氏をサブプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

## 5. 1 2024年度(委託)事業内容

研究開発項目①「家庭用空調等に適した低 GWP 混合冷媒の開発及び評価」においては、次世代冷媒候補を絞り込むために必要となる各種冷媒の物性計測を実施する。また、次世代冷媒に対応する機器の要素技術開発として、熱交換器においては伝熱促進を図るための検討を行う。圧縮機については次世代冷媒候補に適用出来る圧縮機及び潤滑油の組み合わせについての探索を行う。尚、これらにより開発された冷媒・要素機器を総合評価するモデル試験機の設計を並行して進める。

また、上記と並行して HF0 冷媒の自己分解反応の機構解明や抑止技術の開発、燃焼特性の解明、次世代冷媒候補の安全リスク評価(漏洩時の着火や自己分解反応リスク等)、及び機器性能評価技術等の開発を進め、前記冷媒・機器開発に資するとともに関連する外部団体と連携し、次世代冷媒に関しての規格化、標準化につながる取組を推進する。

(1)「低 GWP 混合冷媒の熱物性・安全性・環境影響評価、対応機器の要素技術開発及びシステムの性能評価/低 GWP 混合冷媒の特性評価」(2023 年度~2027 年度)

[冷 A-1]「低 GWP 混合冷媒の熱物性データ取得及び候補冷媒の絞り込み」(担当：(国)九州大学)

2024 年度は、3 成分系混合冷媒 R32+HF0-1123+R1234yf 及び R32+R1132(E)+R1234yf の熱物性を解明する事を目標に、前年度に取り組んだ 2 成分系混合冷媒 HF0-1123+R1234yf 及び R1132(E)+R1234yf に、第 3 成分として冷媒 R32 を 10 mass%加えた、低 GWP の 3 成分系混合冷媒等についての測定を 1 種類以上の組成で行い、8 件以上の基本熱物性測定データを蓄積する。

[冷 A-2]「低 GWP 混合冷媒の音速データ取得」(担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所工学計測標準研究部門(再委託))

2024 年度は、2 成分系混合冷媒 HF0-1123+R1234yf 及び R1132(E)+R1234yf の音速データを取得する。また、混合モデルの有効範囲拡張につなげるため、室温以下の低温域において 2 成分系混合冷媒 HF0-1123+R1234yf 及び R1132(E)+R1234yf の PVTx 性質データを取得する。

[冷 B-1]「低 GWP 混合冷媒の状態方程式及び混合モデルの開発」(担当：学校法人中村産業学園九州産業大学)

2024 年度は、研究開発項目 [冷 A-1] で絞り込まれた混合冷媒に対して、1 種類以上の混合モデルの開発に取り組み、委託事業及び助成事業を実施する全ての研究機関及び企業と共有し、フィードバックを受けながら国際標準レベルまで完成度を高める。

**[冷 C-1] 「低 GWP 混合冷媒の絞り込みに資する安全性特性評価」 (担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所機能化学研究部門)**

2024 年度は、研究開発項目 [冷 A-1] で絞り込まれた混合冷媒に対する測定と推算法の開発に取り組み、前年度に成分単体や 2 成分系として燃焼性を明らかにした冷媒等を含む、1 種類以上の 3 成分混合系冷媒の燃焼特性を明らかにする。

**[冷 D-1] 「低 GWP 混合冷媒のサイクル特性及び冷凍サイクルモデル試験機による性能評価」 (担当：学校法人中村産業学園九州産業大学)**

2024 年度は、研究開発項目 [冷 D-2] の伝熱モデルを組み込み、直交流型に対応した蒸発器及び凝縮器の熱交換性能計算モデルの構築を行う。製作したサイクル試験装置で現行冷媒 R32 の性能評価を行うと共に、冷媒のサイクル解析結果を候補冷媒の絞り込みの一つの情報として事業関係者に提供する。

**[冷 D-2] 「低 GWP 混合冷媒のサイクル要素内損失分析」 (担当：国立大学法人長崎大学 (再委託))**

2024 年度は、熱交換器や圧縮機など、サイクルの主構成要素内の状態計算モデルを開発し、研究開発項目 [冷 D-1] に提供する。製作した評価装置を用いて現行冷媒 R32 の熱交換器内温度分布や圧力損失の値を取得し、状態計算モデルで得られた値と比較することで伝熱モデルの妥当性を確認する。

**[冷 E-1] 「低 GWP 混合冷媒対応空調機器の LCCP 評価方法の開発及び AI 解析」 (担当：株式会社エイゾス)**

2024 年度は、2023 年度の調査結果に基づいて LCA 評価を実施し、LCCP 評価に向けて、国内の低 GWP 混合冷媒対応空調機器の将来需要推計を行う。また、AI を用いた解析ツールを開発・活用し、各研究チームの研究開発の効率化を支援する。

**(2) 「低 GWP 混合冷媒の熱物性・安全性・環境影響評価、対応機器の要素技術開発及びシステムの性能評価／混合冷媒に対応する要素技術開発」 (2023 年度～2027 年度)**

**〔機 A-1〕「低 GWP 混合冷媒の伝熱劣化を抑制する熱交換器要素技術の研究開発（担当：国立大学法人佐賀大学）」**

2024 年度は、風洞試験装置を完成させ、装置の検証、熱交換器の基本性能評価実験、入手可能な混合冷媒を用いた性能評価を行う。また、冷媒分配や熱交換器形状に関する実験を開始する。研究開発項目〔冷 A-1〕で熱力学性質が解明された混合冷媒の粘度及び熱伝導率を測定し、予測モデルを開発する。伝熱データベースについては、伝熱データの収集・登録を継続し、熱伝達率及び圧力損失については、相関式との比較機能の追加、AI 予測機能の追加を計画する。

**〔機 A-2〕「低 GWP 混合冷媒の伝熱劣化抑制の基礎研究と熱交換器適用技術の開発」（担当：国立大学法人東京海洋大学（再委託））」**

2024 年度は、熱伝達特性、流動様相への表面処理効果を実験的に評価する。伝熱劣化抑制のための新規流路形状を加工した試験流路を製作し、熱伝達及び流動様相に及ぼす影響を実験的に評価する。その後、研究開発項目〔冷 A-1〕で絞り込まれた候補冷媒に関して、伝熱劣化の抑制効果を検証する。伝熱実験より得られたデータは伝熱データベースに随時登録し、伝熱劣化を抑制するための流路構造に関する指針を得る。

**〔機 A-3〕「アルミニウムの表面構造制御による混合冷媒の蒸発・凝縮性能の向上と伝熱管適用に関する研究開発」（担当：株式会社 UACJ（再委託））」**

2024 年度は、現行冷媒や混合冷媒を用いた際の伝熱性能の劣化を抑制する伝熱面表面及び伝熱管構造について検討を行う。伝熱面表面の検討では、表面処理の手法により種々の表面形態を有する伝熱面を作製し、伝熱面の沸騰・凝縮性能を評価する。伝熱管構造の検討では前述の評価の結果を基に伝熱管への表面処理の適用方法について検討する。

**〔機 B-1〕「低 GWP 混合冷媒の熱流動メカニズムの解明と伝熱促進技術の研究開発（担当：国立大学法人神戸大学）」**

2024 年度は、微細流路内の冷媒流動を解明するため、気液二相流実験による流路形状に応じたボイド率相関式の作成と、熱伝達率への加熱方法の影響評価を行う。伝熱促進に関する検討として、扁平多穴管を想定した微細形状の並列流路について、流路間の不均一流量分配による不安定流動を評価するための装置を構築し、純冷媒を用いた実験を行う。また、流路分断による攪拌方法の検証のため、パーフォレートリブ、オフセットリブを持つ扁平伝熱流路を製作し、非共沸混合冷媒を用いた熱流動評価実験を行う。

**〔機 C-1〕「圧縮機における冷凍機油の冷媒溶解挙動と適合性評価及び低 GWP 混合冷媒圧縮特性の**

### **解明（担当：国立大学法人静岡大学）」**

2024年度は、冷凍機油/冷媒混合物の物性値測定を2種類の油について行う。吸い込み配管を可視化、高速度カメラを用いて、吸い込み配管における油膜の輸送状態を検討し、非共沸混合冷媒を用いた場合の返油特性を明らかにする。圧縮機計算モデルの精度を検証し、冷媒組成の変化が圧縮特性に及ぼす影響を明らかにする。

### **〔機 C-2〕「圧縮機の機械効率向上のための低 GWP 混合冷媒雰囲気中における摩擦・摩耗・潤滑特性の解明（担当：学校法人大阪電気通信大学（再委託）」**

2024年度は、ロータリ圧縮機のブレード・固定溝間について、摩擦・摩耗試験部を作製し、摩擦特性を計測する。得られた摩擦特性を整理し、効率シミュレーションに反映させる評価式を検討する。また、2026年度以降に実施の試験のため、摩擦発生箇所の詳細検討を進める。

### **〔機 C-3〕「圧縮機部品に適した金属基複合材料の開発と基礎物性評価（担当：アドバンスコンポジット株式会社）」**

2024年度には、2023年度に取り組んだ金属基複合材料に2~3種類の新たな金属基複合材料の設計を行う。新たに設計した金属基複合材料を、高圧鋳造法を用いて単純形状で製作する。金属基複合材料の機械的特性の評価を実施し、〔機 C-1〕及び〔機 C-2〕と共有して圧縮機の設計指針に役立てる。

### **（3）「低GWP混合冷媒の安全性・性能評価及び全体システム評価手法開発／低GWP混合冷媒の安全性・性能評価」（2023年度～2027年度）」**

#### **〔安 A-1〕「HF0 冷媒の自己分解反応の安全性の研究」（担当：一般財団法人電力中央研究所）」**

複数の評価手法を実施できる自己分解反応試験装置を用いて、HF0 混合冷媒の自己分解反応の評価を進めるとともに、この評価結果を踏まえて、新たな種類の混合組成について冷媒性能評価試験装置でのサイクル性能試験により期待されるエアコン性能の評価を行う。また、これらの実験の計画及び検討のため、計算によるシミュレーションを実施する。

#### **〔安 A-2〕「自己分解反応評価手法の開発及び HF0-1123 混合冷媒の研究」（担当：AGC 株式会社（再委託）」**

放電着火試験技術を高度化すると共に、更に GWP の低い HF0-1123 冷媒組成の開発を実施する。国際標準化対応の放電着火システムを導入した自己分解試験装置を構築し、低 GWP 目標の達成に向けた混合成分候補の絞り込みの方向性を検討する。

**【安 A-3】「自己分解反応の評価手法の開発及び R1132(E)を含む混合冷媒の安全性確認」(担当：ダイキン工業株式会社(再委託))**

自己分解反応の評価手法の確立のため、放電試験装置を用いた自己分解評価結果の再現性検証、既存データや他社の評価手法との比較を行い、境界条件の妥当性を検証する。R1132(E)/1234yf 混合冷媒については最大温度 200℃までの反応境界を明らかにする。また、自己分解反応のメカニズム解明について、これまでに収集した実験データについて反応の解析を行うと同時に、必要に応じて新たな実験データを取得する。

次世代低 GWP 冷媒の普及に向けた安全対策の実用化に関する課題とその対応においては、本事業成果を活用するためのあるべき姿を特定し、具体的な解決策を検討する。さらに立案した解決策を実行する際に必要となる準備項目を洗い出す。

**【安 B-1】「圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発」(担当：公立大学法人公立諏訪東京理科大学)**

2023 年度に調査した圧縮機の運転条件のうち少なくとも 2 つ以上の条件について、その値を 3 段階以上変化させた試験条件の下で、アーク放電エネルギー及びアーク発光強度等の基礎データを測定する。さらに、圧縮機実機を用いた実証実験のための装置の設計を行う。

また、機器メーカー等との意見交換や現物調査などにより、アーク放電以外に圧縮機内で自己分解反応誘発要因となりうる現象(摩擦摺動やトラッキング)の発生可能性やエネルギー等を調査する。

**(4)「低 GWP 混合冷媒の安全性・性能評価及び全体システム評価手法開発／低 GWP 混合冷媒のシステム評価手法開発」(2023 年度～2027 年度)**

**【評 A-1】「低 GWP 混合冷媒のシステム評価手法開発」(担当：早稲田大学)**

「冷凍サイクル実機シミュレーション技術研究開発」においては熱交換器に対して、2022 年度までに構築した熱交換器シミュレーターを発展、高度化させることにより各種低 GWP 冷媒の熱交換性能を解析できるようにする。「AI を活用した冷凍サイクルシミュレーターの最適化技術研究開発」においては、前述の熱交換器シミュレーターを使って解析を進めると共に、最適化検証装置を使って R32 と R454C それぞれを用い、温度や圧力の状態を変化させて試験データを取得する。また、理論解析により定格能力や部分負荷時における冷凍空調機器の性能を明確化する。「冷凍サイクルシステム評価技術研究開発」においては、熱交換器シミュレーターで得られた結果に対す

る妥当性検証を行う。外気条件を変化させて冷凍サイクルシステムにおいてデータ取得を行うと同時に、最適化されたサイクルでの LCCP 評価を実施する。また、各種低 GWP 冷媒に応じたシステムの最適化についてハードウェアにおいても検討を進める。

**〔評 A-2〕「冷凍サイクルシミュレーター用 AI 最適化アルゴリズムの開発」(再委託先：電気通信大学)**

2023 年度に開発した AI 最適化アルゴリズムの検証を進めると共に改良し、CFD 解析も取り入れつつ学習データ数を増やし、実験データとの整合性をチェックしながら解析を行う。

## 5. 2 2024 年度(助成)事業内容

研究開発項目②「低 GWP 冷媒の対応機器(家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等)の開発」(助成事業)においては、次世代冷媒対応機器の開発を進める。

**〔助 A-1〕「グリーン冷媒を使用したコンデンシングユニットの開発」(日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社)(2023 年度～2027 年度)**

圧縮機については 2023 年度に策定した設計指針に基づき、候補冷媒と冷凍機油の潤滑性試験を実施して能力検証を行い、この結果を元に試作機の設計と製作を行う。この試作機の性能・信頼性試験を行うとともに解体調査を実施する。

コンデンシングユニットについては 2023 年度に策定した設計指針に基づき、シミュレーションモデルの計算精度の向上を図るとともに、2023 年度に検討した COP 向上策の効果について検証し設計改善を図る。得られた設計を基にコンデンシングユニットを製作し、前述の試作圧縮機を搭載してユニット性能試験を実施するとともに COP 向上策についての評価を行う。これと並行し、25 年度から実施する実店舗模擬試験の準備を行う。

## 5. 3 フロン対策分野に係る技術動向の把握

2024 年度は、フロン対策分野における、冷凍空調機器開発動向、冷媒漏洩状況とその対策(機器の使用時及び廃棄時)、国内外の可燃性冷媒等の法規制、規格、次世代冷媒適用機器の普及促進方策等についての関係調査等による情報収集を実施し、その結果を本事業の運営に活用する。なお、調査の効率化の観点から、必要に応じて本プロジェクトにおける委託事業として実施する。

## 5. 4 2024 年度予算規模

委託事業

助成事業

エネルギー対策特別会計(需給) 450 百万円 (継続) 50 百万円 (継続)

事業規模については、変動があり得る。

## 6. その他重要事項

### (1) 評価の方法

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果について、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。

### (2) 運営・管理

年に一回以上プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受け、必要に応じて、NEDO に設置する委員会及び技術検討会等を開催し、外部有識者の意見を参考として、選択と集中により優秀な技術を短期間に育成するマネジメントを行う (例えば、成果が得られた時点で、実用化研究など次ステップへの転出を奨励する。反面、期間内に成果が見込めないと判断された事業は開発途中であっても中止するなど。)

加えて、研究期間中にも新規技術に関する動向調査を実施し、有望と認められる内容については、新規開発に着手するフレキシビリティを保持した研究開発マネジメントに心掛ける。

### (3) 複数年度契約の実施

2023 年度～2025 年度の複数年度契約を行う。

### (4) 知財マネジメントにかかる運用

「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。  
(研究開発項目①のみ)

### (5) データマネジメントにかかる運用

「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメントに係る基本方針 (委託者指定データを指定しない場合)」に従ってプロジェクトを実施する。(研究開発項目①のみ)

### (6) 成果の普及アウトカム目標達成に向けての取組

研究開発項目①で得られた研究開発成果については、標準化等との連携を図ることとし、標準化に向けて開発する評価手法の提案、データの提供等を積極的に行う。

## 7. スケジュール (予定)

### 本年度のスケジュール

- 2024年4～12月・・・2～4回/年程度で進捗報告・PL指導
- 2025年1月・・・年間実績に対するPL指導
- 2月中旬・・・2024年度技術委員会

### 8. 実施方針の改訂履歴

- (1) 2024年2月、制定。
- (2) 2024年4月、改訂。5. 1 (2)に項目[機 A-3]を追加。別紙の実施体制にて、佐賀大学の再委託先として株式会社 UACJ の追加。
- (3) 2024年7月、改訂。組織改編に伴う、部署名等の変更。

以上

【別紙】事業実施体制の全体図

2024年度「次世代低 GWP 冷媒の実用化に向けた高効率冷凍空調技術の開発」

