

プロジェクトの詳細(公開)

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」

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

2018年度～2022年度 5年間

国立大学法人 九州大学

【再委託先】

公立大学法人 富山県立大学

学校法人日本大学 日本大学工学部

国立大学法人 長崎大学

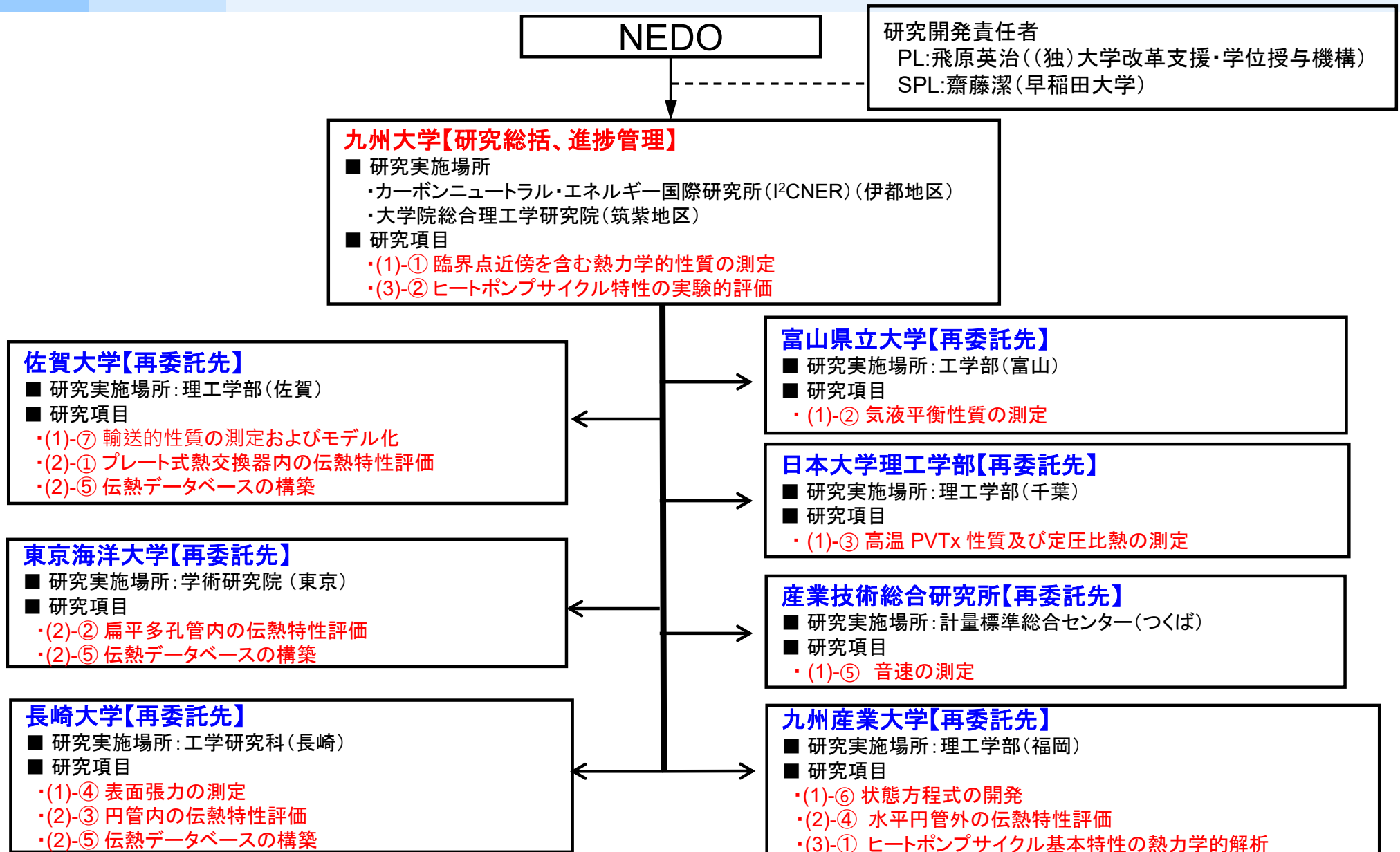
国立研究開発法人 産業技術総合研究所

学校法人中村産業学園 九州産業大学

国立大学法人 佐賀大学

国立大学法人 東京海洋大学

実施体制



社会実装(実用化・規格化等)の目標の設定及び根拠

【背景・意義】

次世代利用を想定した新しい低 GWP 冷媒は、製品開発や性能評価を行うための基本的な熱物性が整備されておらず、伝熱・サイクル性能評価を正確に行うことができません、製品開発が予想通りに進まないことが懸念されている。本事業では GWP 150 以下の低GWP冷媒をターゲットとし、熱物性値を精密測定して、国際標準化を目指し、熱物性データベースを早期に確立して、REFPROP などの物性推算ソフトウェアで使用できる状態方程式を開発することを目的とする。そして、冷凍空調機器の研究開発に必要な物性評価情報を、世界に先立って国内で公開する。国内企業が世界に先駆けてこれらの情報を利用できることで、環境にやさしい低GWP冷媒を使用する空調機器の製品化に加速がかかり、キガリ改正で決められた、HFC冷媒を 2029年までに70%、2036年までに85%削減という目標達成に貢献し、地球環境保全に対する国際的責任の一端を果たすことができる。

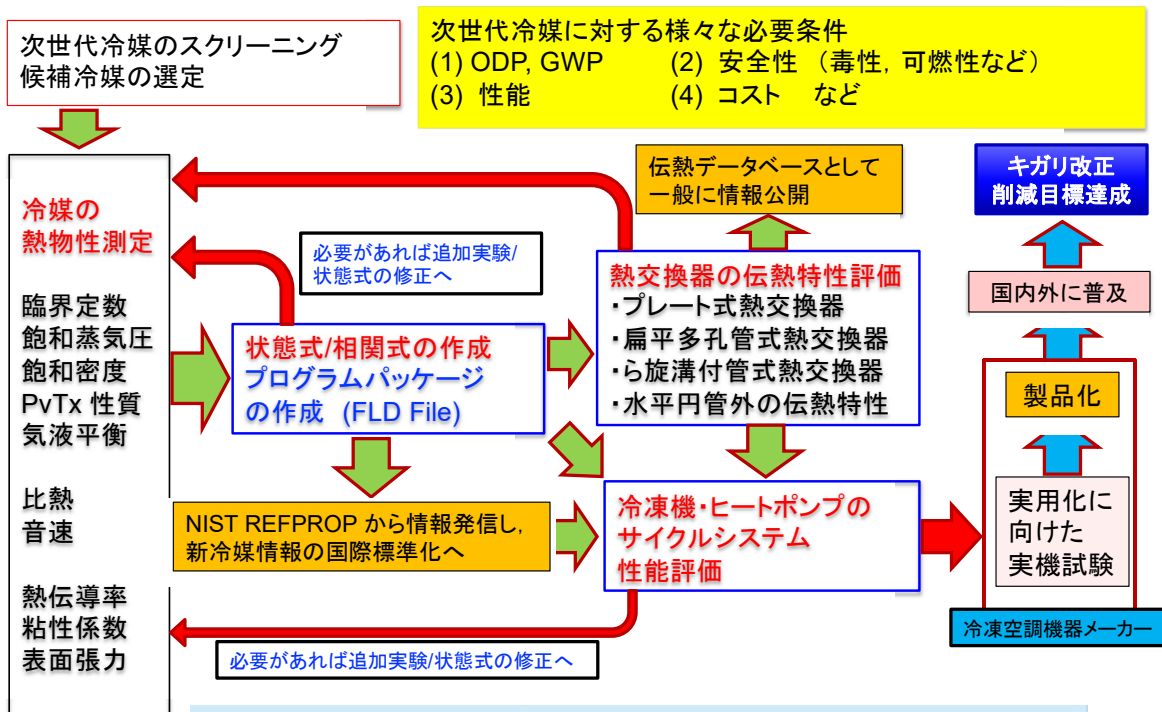
【目標】

- GWP 150 以下の低GWP冷媒及び混合冷媒に関する熱物性値を高精度で測定し、状態方程式及び相関式を作成して、NIST REFPROP で計算できるようにする。
- 冷媒物性の国際標準である ISO17584 での認証に貢献する。
- 複数種類の熱交換器に対応する伝熱特性を評価し、データベースを構築する。

テーマ毎の目標と根拠

最終目標(2023年3月)	根 拠
<p>(1) HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の熱物性評価(九州大学、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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HFO系冷媒の熱力学的及び輸送的性質を解明して評価し、信頼できる状態方程式を開発する。 ・冷媒熱物性を国際規格化及び国際標準化する。 	<p>HFO系低GWP冷媒及び混合冷媒に関しては、サイクル特性評価や機器設計に必要な熱物性情報が十分に整備されていない。そのため、主に2成分系及び3成分系の混合冷媒を対象としてその熱物性値(臨界点、蒸気圧、PVT、比熱、音速、表面張力、粘性係数、熱伝導率)を精密測定し、それに基づいた状態方程式を開発することが急務である。さらに、混合冷媒の実用化を全世界的に加速するため、得られた状態方程式を国際規格化及び国際標準化する必要がある。</p>
<p>(2) HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の伝熱特性評価(佐賀大学、東京海洋大学、長崎大学、九州産業大学)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HFO系冷媒の伝熱実験を種々の管形状に対して行い、伝熱特性を評価する。 ・得られた成果をデータベース化し、HFO系冷媒の設計・実用化に貢献する。 	<p>冷凍サイクルの主要構成要素の一つである熱交換器の設計では、管内・管外において冷媒が相変化する際の熱伝達特性の把握が必要不可欠である。熱物性評価が完了したHFO系冷媒に対して、プレート式・扁平多孔管式・円管式等の熱交換器における蒸発／凝縮熱伝達を実験的に評価するとともに、相関式によって定式化することが必要である。さらに、混合冷媒の実用化を加速するために、得られた成果をデータベース化し、利用者の便益に供することも必要となる。</p>
<p>(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(九州産業大学、九州大学)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・(1)(2)で行なった冷媒特性評価に基づいて、サイクル基本特性を評価する。 ・HFO系混合冷媒の基本サイクル性能評価実験を行う。 	<p>混合冷媒の実用化では、構成成分の最適組成や、組成変化が全体性能に与える影響、混合冷媒特有の冷媒充填量の変化や冷暖房負荷がCOPやサイクルの挙動に与える影響を把握しておく必要がある。本事業で得られる冷媒特性評価の成果を用いて、ヒートポンプサイクルの熱力学的解析及び実際のサイクル性能評価装置による実験を行い、解析的及び実験的の両面からの評価が行える。</p>

目標達成に必要な要素技術



独自に開発した、熱物性計測装置を有する研究機関で分担して物性計測を実施する。

- ・臨界定数・飽和蒸気圧・飽和密度: 九州大学
- ・PVTx 性質: 九州大学・日本大学
- ・気液平衡: 九州大学・富山県立大学
- ・比熱: 日本大学
- ・音速: 産業総合研究所
- ・熱伝導率・粘性係数: 佐賀大学
- ・表面張力: 長崎大学
- ・状態方程式: 九州産業大学

独自に開発した、伝熱性能評価装置を有する研究機関で分担して冷媒性能評価を実施する。

- ・プレート式熱交換器: 佐賀大学
- ・扁平多孔管式熱交換器: 東京海洋大学
- ・ら旋溝付管式熱交換器: 長崎大学
- ・水平円管外伝熱特性: 九州産業大学
- ・サイクル性能評価: 九州産業大学・九州大学



上記の事業を、1つのコンソーシアムとして情報共有しながら連携して行い、低 GWP 冷媒の普及を推進させ、地球温暖化防止とキガリ改正の実現に貢献する

研究開発のスケジュール (2018-2020)

	2018年度	2019年度	2020年度
(1). HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の熱物性評価			
(1)-①. 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定 (九州大学)	HFO1336mzz(E) → HCFO1224yd(Z)	HFC32+HFO1234yf+CO2	HFC32+HFO1234yf+HFO1123
(1)-②. 気液平衡性質の測定(富山県立大学)	HFO1123+HFO1234yf → HFC32+HFO1234yf	真空ポンプの増設 → HFC32+HFO1234yf	高圧微圧調整用ポンプの増設 → HFC32+HFO1234yf+HFO1123
(1)-③. 高温PVTx性質及び定圧比熱の測定 (日本大学理工学部)	装置の調整 → HCFO1224yd(Z)	HFC32+HFO1234yf+CO2	HFO1336mzz(E)+HFO1336mzz(Z)
(1)-④. 表面張力の測定(長崎大学)	HFO1336mzz(E)・HFO1336mzz(Z)	低温域測定用に装置改造	低温域測定用健全性確認
(1)-⑤. 音速の測定(産業技術総合研究所)	HFO1336mzz(E) 液体音速測定装置設計	HFC32+HFO1234yf	液体音速装置の開発
(1)-⑥. 状態方程式の開発(九州産業大学)	HFC32+HFO1234yf+CO2 → HCFO1224yd(Z)	HFC32+HFO1234yf+HFO1123	HFO1336mzz(Z)
(1)-⑦. 輸送的性質の測定及びモデル化(佐賀大学)	HFC32+HFO1234yf	HFO1336mzz(E) 低温域測定用に装置改造	低温域測定用予測精度の検証
(2). HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の伝熱特性評価			
(2)-①. プレート式熱交換器内の伝熱特性評価 (佐賀大学)	装置の改良 → 測定の安全性確認	HFC/HFO単体の比較対象データ取得	HFC32+HFO1234yf
(2)-②. 扁平多孔管内の伝熱特性評価 (東京海洋大学)	装置の改良 → HFO1336mzz(E)	HFC32+HFO1234yf	HFC32+HFO1234yf+CO2
(2)-③. 円管内の伝熱特性評価(長崎大学)	HFC32+HFO1234yf+CO2	HFO1336mzz(E)	HFO1336mzz(Z)
(2)-④. 水平円管外の伝熱特性評価(九州産業大学)	センサ類の校正・配線 → 既存冷媒を用いた比較対象データ取得	HFO1336mzz(E)	高温域測定のため装置改造
(2)-⑤. 伝熱データベースの構築 (佐賀大学・東京海洋大学・長崎大学)			伝熱データベースの作成 → インターネット上でデータ公開
(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			
(3)-①. ヒートポンプサイクル基本特性の熱力学的解析 (九州産業大学)	既存冷媒で構成される3成分系混合冷媒のサイクル基本特解析・評価方法検討	HFC32+HFO1234yf+CO2	HFC32+HFO1234yf+HFO1123
(3)-②. ヒートポンプサイクル特性の実験的評価 (九州大学)	HFC32+HFO1234yf+CO2	HFC32+HFO1234yf+HFO1123	HFC32+HFO1234yf+CO2 → HFC32+HFO1234yf+HFO1123

社会的影響等を踏まえたスケジュールの見直し

- 2019年度には、混合冷媒計測加速のため、気液平衡測定及び比熱測定の装置を追加した。
- 2020年度にR1123混合冷媒の入手が不確定な状況となり、研究スケジュールから除外した。

研究開発のスケジュール(2021-2022)

	2021年度	2022年度
(1). HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の熱物性評価		
(1)-①. 臨界点近傍を含む熱力学的性質の測定 (九州大学)	HFC32+CF ₃ I → HFO1123+CF ₃ I	HFC32+HFO1123+CF ₃ I, HFO1123+HC290
(1)-②. 気液平衡性質の測定(富山県立大学)	CF ₃ I純物質の高温・高圧域におけるPVT性質及び飽和性質	HFO1123+CF ₃ I → HFC32+CF ₃ I
(1)-③. 高温PVT性質及び定圧比熱の測定 (日本大学理工学部)	HFC32+CF ₃ I → HFO1123+CF ₃ I	HFC32+HFO1123+CF ₃ I
(1)-④. 表面張力の測定(長崎大学)	HCO1130(E) → HFC32+CF ₃ I	CF ₃ Iを含む混合系 → HC290混合系の測定
(1)-⑤. 音速の測定(産業技術総合研究所)	CF ₃ I	液相 HFO1336mzz(E), 液相 CF ₃ I
(1)-⑥. 状態方程式の開発(九州産業大学)	CF ₃ Iの実測値評価 → CF ₃ Iの状態方程式作成	CF ₃ Iを含む混合冷媒 → 純冷媒CF ₃ Iの状態方程式の作成 → 方程式の高度化
(1)-⑦. 輸送的性質の測定及びモデル化(佐賀大学)	CF ₃ I純冷媒を測定するための改良及び測定	CF ₃ Iを含む混合冷媒の測定及び簡易相関式の作成
(2). HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の伝熱特性評価		
(2)-①. プレート式熱交換器内の伝熱特性評価 (佐賀大学)	CF ₃ Iの実験を行うための実験装置の改良 → CF ₃ I	CF ₃ Iを含む混合冷媒の測定
(2)-②. 扁平多孔管内の伝熱特性評価(東京海洋大学)	CF ₃ Iの実験を行うための実験装置の改良 → CF ₃ I	CF ₃ Iを含む混合冷媒の測定
(2)-③. 円管内の伝熱特性評価(長崎大学)	平滑管内 HFO1234 → HFO1234ze(E) + HFC32	平滑管内 HFO1234yf → HFO1234yf+HFC32
(2)-④. 水平円管外の伝熱特性評価(九州産業大学)	CF ₃ Iの実験を行うための実験装置の改良 → CF ₃ I	CF ₃ Iの状態方程式 → 輸送的性質モデルの妥当性確認
(2)-⑤. 伝熱データベースの構築 (佐賀大学・東京海洋大学・長崎大学)	文献情報収集 → 伝熱データベースの構築	文献情報収集 → 純冷媒及びCF ₃ Iを含む混合冷媒の伝熱データを追加
(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		
(3)-①. ヒートポンプサイクル基本特性の熱力学的解析 (九州産業大学)	CF ₃ Iを含む混合冷媒の暫定的な熱力学的解析を実施	CF ₃ Iを含む混合冷媒の熱力学的解析を実施
(3)-②. ヒートポンプサイクル特性の実験的評価 (九州大学)	CF ₃ Iの材料適合性調査 → R455A予備実験及び事件装置更新	R455Aの実験的評価

社会的影響等を踏まえたスケジュールの見直し

- 2020年度に機器メーカーからの要望調査を行い、2021年度にはCF₃I混合冷媒を候補冷媒に追加した。
 - 2022年度には R1123+R290 系を候補冷媒に追加し、液体音速測定装置を追加して、成果の加速を図った。
- 5年間を通して、試料入手が困難になったR1123混合冷媒の伝熱性能評価以外は、予定以上の成果が得られた。

各テーマの実施内容および成果と意義

(1)-① 臨界点近傍を含む熱力学性質の測定(九州大学)



臨界点・飽和密度測定装置



PVT性質測定装置



気液平衡性質測定装置

測定した冷媒一覧 (2018-2022)		GWP
2018	R1336mzz(E)	16
(3)	R1224yd(Z)	1
	R455A : R32+R1234yf+CO ₂ [21.5/75.5/3.0 mass%]	151
2019	R32+R1123+R1234yf [21.2/59.5/19.3 mass%]	150
(4)	R32+R1123+R1234yf [21.2/40.3/38.5 mass%]	150
	R32+R1123[追加測定]	
	R1123[追加測定]	
2020	R465A : R32+R1234yf+R290 [21.0/71.1/7.9mass%]	148
(7)	CF ₃ I	5
	R32+CF ₃ I [50/50 mass%]	355
	R32+CF ₃ I [50/50 mol%]	152
	R1123+CF ₃ I [50/50 mass%]	2.5
	R1123+CF ₃ I [50/50 mol%]	3.5
	R290+R1234yf [50/50 mass%]	1
2021	R32+R1123+CF ₃ I [22/73/5 mass%]	155
(5)	R32+R1123+CF ₃ I [22/68/10 mass%]	156
	R32+R1123+CF ₃ I [30/65/5 mass%]	212
	R32+R125+CF ₃ I [49/11.5/39.5 mass%]	744
	R125+CF ₃ I [50/50 mass%]	1728
2022	R1123+R290 [80/20 mass%]	1
(6)	R1123+R290+R1234yf [48/12/40 mass%]	1
	R1123+R290+R1234yf [32/8/60 mass%]	1
	R32+R1336mzz(E) [40/60 mass%]	270
	R1234yf+R1336mzz(E) [40/60 mass%]	1
	R1234ze(E)+R1336mzz(E) [40/60 mass%]	1

合計25種類の冷媒について熱物性値情報を解明した。

各テーマの実施内容および成果と意義

(1)-② 気液平衡性質の測定(富山県立大学)

下表にまとめた混合系について、
気液平衡性質，飽和液体密度，
および付随する $P\rho T_x$ 性質を
測定した。

※ 2成分系5種，3成分系7種



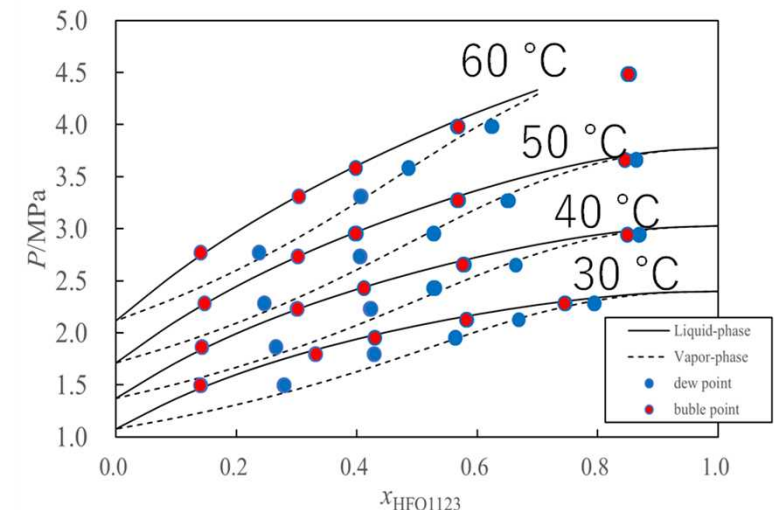
気液平衡性質測定装置



ベローズ法装置

実測値一覧

混合系	温度(K)	圧力(MPa)
HFC32+HFO1123	300-330	2.1-4.4
HFC32+HFO1234yf	300-330	1.0-2.9
HFO1234yf+HFO1123	300-330	1.0-3.3
HFC32+HFO1234yf+HFO1123①	303-328	1.9-3.2
HFC32+HFO1234yf+HFO1123②	278-328	0.9-6.4
HFO1123+CF ₃ I	303-333	1.8-3.9
HFO1123+HC290	303-333	1.5-4.5



HFO1123/HC290系のVLE性質実測値
●; 本実測値 (沸点・露点圧力)。

- R1123 を含む混合冷媒の気液平衡性質を世界で初めて解明した。
- 実測値を3次状態式で相関し、気液平衡性質の計算を可能とした。

各テーマの実施内容および成果と意義

(1)–(3) 高温 PVT_x 性質及び定圧比熱の測定(日本大学理工学部)

プロジェクト期間におけるPVT_x性質測定結果

Refrigerant	Composition
Pure	
HCFO1224yd(Z)	
CF ₃ I	
HFO1123	
Binary	
HFO1336mzz(E)/HFO1336mzz(Z)	43.80/56.20 mass%
HFO1234yf+HFC32	37.41/62.59 mass% 23.29/76.71 mass%
HFO1234yf+CO ₂	97.38/2.62 mass%
HFC32+CO ₂	97.25/2.75 mass%
HFC32+CF ₃ I	87.5/12.5 mass% 95.5/4.5 mass%
HFO1123+CF ₃ I	10/90 mass%
HFO1123+HC290	50/50 mass%
HFO1123+HFO1234yf	50/50 mass%
Ternary	
HFC32+HFO1234yf+CO ₂	30.31/67.12/2.57 mass% 39.59/56.18/4.22 mass% 54.28/42.88/2.85 mass% 26.66/70.02/3.32 mass%

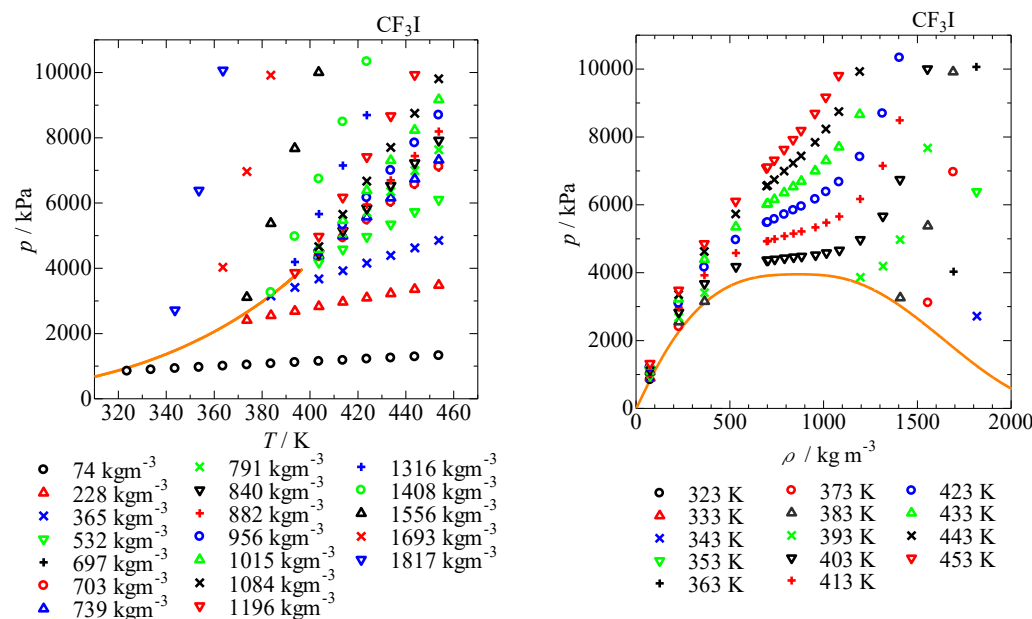
プロジェクト期間における定圧比熱測定物質

【純冷媒: 検証物質も含む】

CO₂, R22, R134a, R125, Ar, R32, R1234yf, CF₃I, R1123, R1224yd(Z), R1243zf, R1233zd(E), R1336mzz(E),

【混合冷媒】

R32+R125+R134a, R32+CF₃I, R32+R125+CF₃I, R1123+R290, R1123+R1234yf



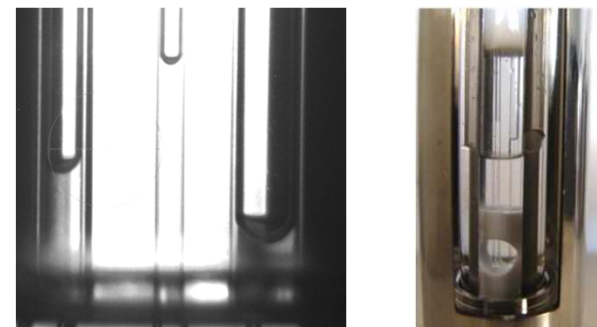
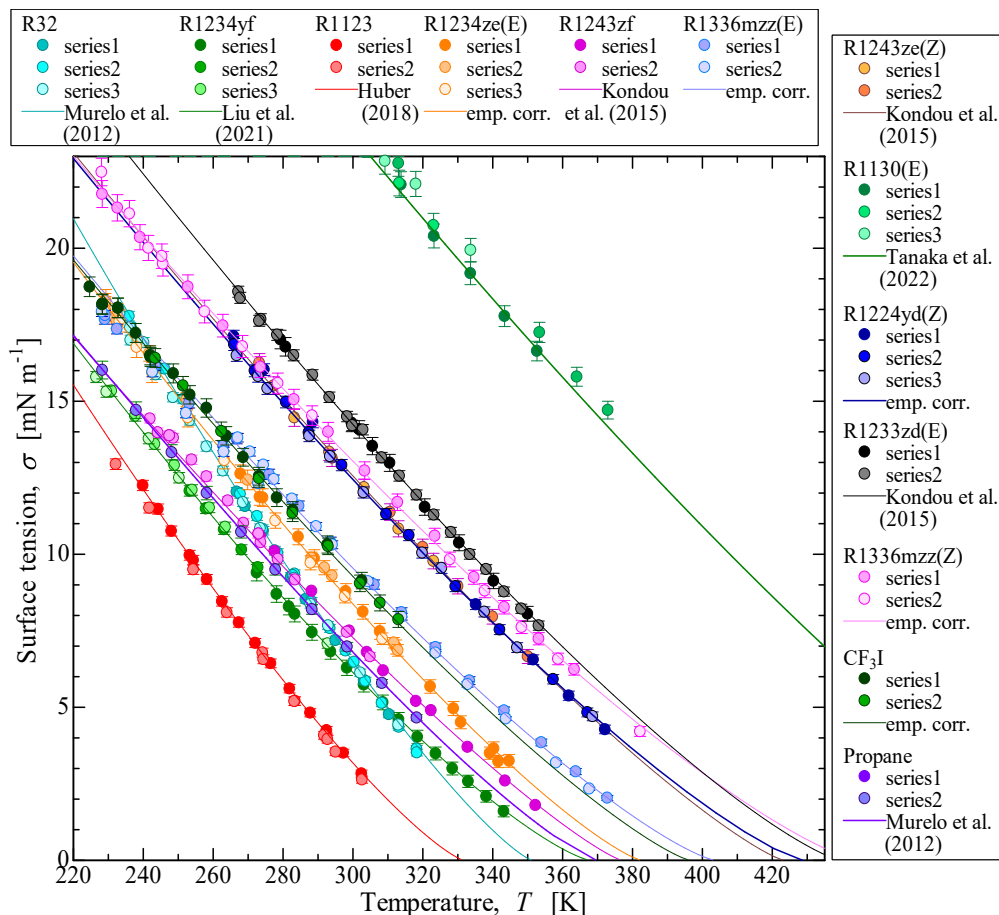
CF₃I のPVT性質測定結果

- 高温域、高圧域を中心に、純冷媒3種類、2成分系8種類、3成分系1種類の PVT_x 性質を測定した。
- 純冷媒13種類、2成分系混合冷媒3種類、3成分系混合冷媒2種類の定圧比熱を測定した。

各テーマの実施内容および成果と意義

(1)-④ 表面張力の測定(長崎大学)

測定済みの単一冷媒: 13種類



示差毛管上昇法

12種類の混合冷媒について測定を完了した。

- R32+R1123
- R32+R1234yf
- R32+R1234ze(E)
- R1123+R1234yf
- R32+CF₃I
- R1123+CF₃I
- R1123+R1234yf+R32
- R32+R1123+CF₃I [22/73/5 mass%] [30/65/5 mass%] [22/68/10 mass%]
- R32+R1234yf+CO₂ [R455A:21.5/75.5/3 mass%]
- R32+R125+R134a+R1234yf+R1234ze(E) [R448A:26/26/21/20/7 mass%]
- R1123+R290 [63.5/36.5 mass%] [78/22 mass%]
- R1234yf+R290 [50/50 mass%] [71/29 mass%]

- 純冷媒13種類、混合冷媒12種類の表面張力を測定し、表面張力相関式を作成した。
- Parachor 法(*)により、混合冷媒の表面張力推算法を評価した。

(*)Parachor Method

REFPROP 10.0から REFPROPIに組み込まれている. 混合モデルを用いて組成 x, y が計算される.

$$\sigma = \left\{ \sum_{i=1}^N [P_i] (\tilde{\rho}' x_i - \tilde{\rho}'' y_i) \right\}^4$$

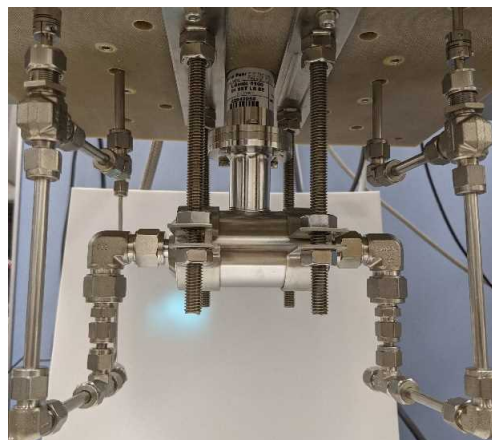
各テーマの実施内容および成果と意義

(1)-⑤ 音速の測定(産業技術総合研究所)

冷媒サンプル	温度範囲 (K)	圧力範囲 (kPa)	音速データ数
HFO1336mzz(E)	303 – 403	40 – 900	36 (vapor)
HFO1336mzz(Z)	303 – 403	40 – 1000	36 (vapor)
	283 – 343	40 – 6550	95 (liquid)
CF ₃ I	280 – 343	310 – 6850	35 (liquid)
HFO1234yf/HFC32 : 78.5/21.5 mass% (R454C)	283 – 313	130 – 490	18 (vapor)
HFO1234yf/HFO1123 : 50/50 mass%	313	200 – 980	7 (vapor)
HFO1234yf/HFC32/CO ₂ : 75.5/21.5/3 mass% (R455A)	283 – 313	150 – 780	17 (vapor)



気体音速測定装置



液体音速測定装置

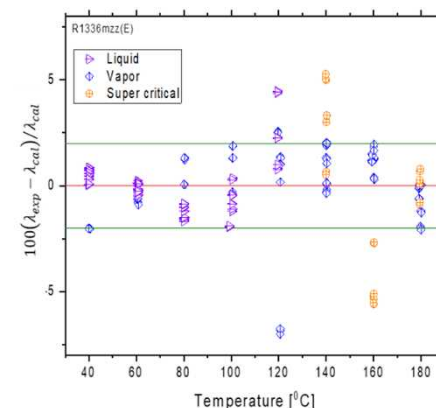
- 純冷媒3種類、2成分系混合冷媒2種類、3成分系混合冷媒1種類の音速を測定した。
- 気相音速データから、理想気体状態の定圧比熱 c_{p0} を算出した。
- 新たに液相音速測定装置を製作し、液相側の音速測定も行った。

各テーマの実施内容および成果と意義

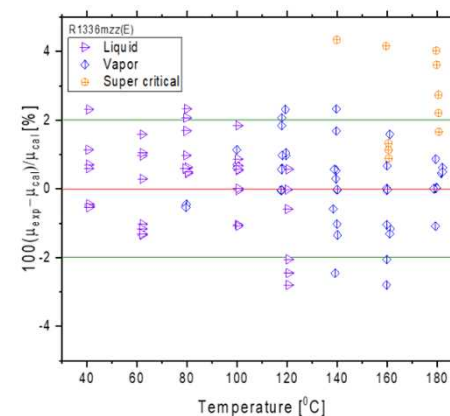
(1)-⑦ 輸送的性質の測定及びモデル化(佐賀大学)

Refrigerants/Blends	Properties	Measurement range Pressure, Temperature	Prediction method
HFC32	Thermal conductivity	1 to 4 MPa 40 to 140 °C	REFPROP Ver. 10.0
	Viscosity	1 to 4 MPa 40 to 140 °C	REFPROP Ver. 10.0
HFO1234yf	Thermal conductivity	1 to 4 MPa 40 to 140 °C	REFPROP Ver. 10.0
	Viscosity	1 to 4 MPa 40 to 140 °C	REFPROP Ver. 10.0
HFO1336mzz(E)	Thermal conductivity	0.25 to 4 MPa 40 to 180 °C	ECS model (NIST)
	Viscosity	0.25 to 4 MPa 40 to 180 °C	ECS model (NIST)
CF ₃ I	Thermal conductivity	0.5 to 4 MPa 40 to 120 °C	ECS model by modified EOS
	Viscosity	0.5 to 4 MPa 40 to 120 °C	ECS model by modified EOS
HFC32/HFO1234yf [68.9/31.1 mass%] [21.5/78.5 mass%]	Thermal conductivity	1 to 4 MPa -40 to 20 °C	REFPROP Ver. 10.0
	Viscosity	1 to 4 MPa -40 to 20 °C	REFPROP Ver. 10.0

- HFO系冷媒の熱伝導率および粘度を測定し、測定対象の純冷媒を±3%以下で再現可能な相関式を作成した。
- HFC32+HFO1234yf系混合冷媒のR454B及びR454Cに関して、熱伝導率および粘度を測定し、組成依存性を含む相関式を検討した。



測定値と予測計算モデルの比較
(R1336mzz(E)熱伝導率,
NIST REFPROPと連携)

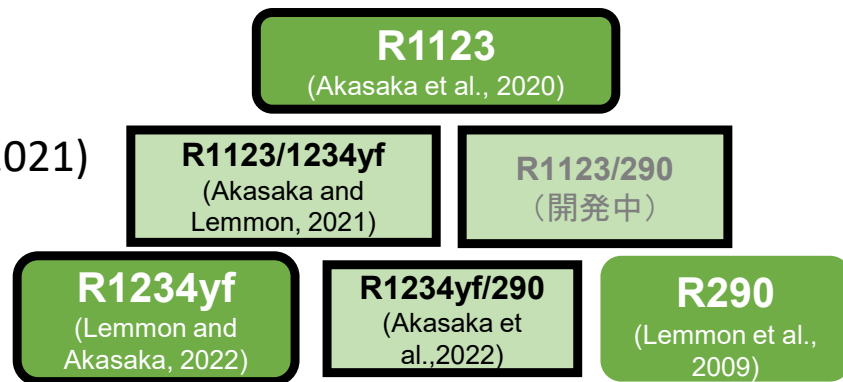


測定値と予測計算モデルの比較
(R1336mzz(E)粘度,
NIST REFPROPと連携)

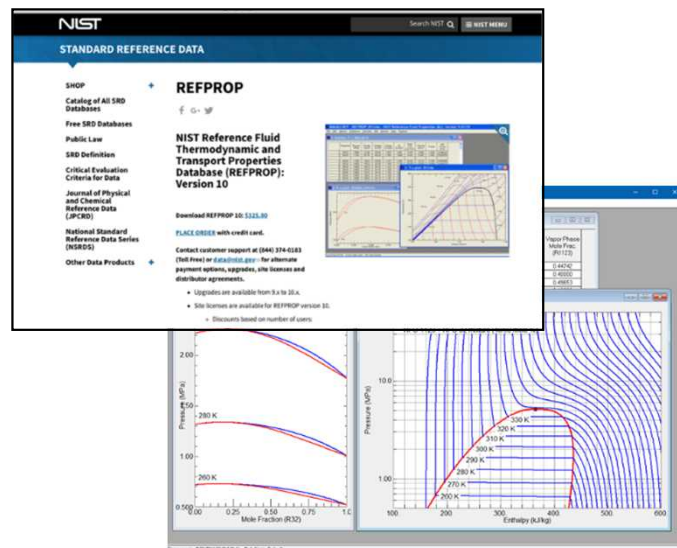
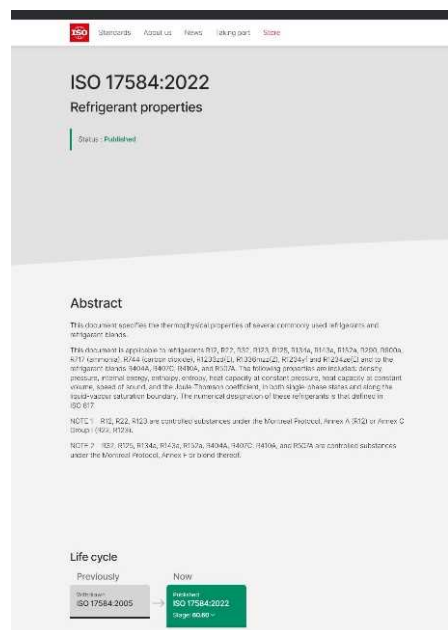
各テーマの実施内容および成果と意義

(1)–⑥ 状態方程式の開発(九州産業大学)

- 3成分系の混合モデル開発(例: R1123/1234yf/290系)
 - ✓ R1234yfのISO状態方程式 (Lemmon and Akasaka, 2022)
 - ✓ R1123/1234yf系の混合モデル (Akasaka and Lemmon, 2021)
 - ✓ R1234yf/290系の混合モデル (Akasaka et al., 2022)
 - ✓ R1123/290系の混合モデル (開発中)



これまで本プロジェクトの成果として得られた状態方程式は、ISOやREFPROPに採用され**国際標準式**として広く認知されている。



■ NIST REFPROP 10.0 (熱物性データベース)

以下の次世代冷媒の状態方程式が搭載済み(もしくは搭載予定)

搭載済み: R1123, R1224yd(Z), R1336mzz(Z), R1234ze(Z), R1243zf, R245fa, R32/1234yf, R32/1234ze(E)

10.1版以降に搭載予定: R1234yf, R1233zd(E), R1336mzz(E), R1132(E), R1132a, CF₃I, R32/1123, R1123/1234yf, R1234yf/CO₂

REFPROPに搭載された状態方程式は機器設計のほか、ASHRAE34の冷媒番号登録や特許申請にも使われている。

各テーマの実施内容および成果と意義

(1)-⑥ 状態方程式の開発(九州産業大学)

REFPROP 10.0: 2018年リリースの正式版. HFO冷媒の状態方程式は暫定式が多い.

REFPROP 10.0N: これまでのNEDOプロジェクトで開発した状態方程式や混合モデルを10.0に追加した独自バージョン.
NEDOプロジェクトのメンバー内でのみ共有されている.

冷媒	REFPROP 10.0	REFPROP 10.0N
R245fa	Akasaka et al. (2015)	
R1234ze(Z)	Akasaka and Lemmon (2019)	
R1243zf	Akasaka and Lemmon (2019)	
R1336mzz(Z)	McLinden and Akasaka (2020) (ISO 17584)	
R1234yf	Richter et al. (2011)	Lemmon and Akasaka (2022) (ISO 17584)
R1234zd(E)	Mondejar et al. (2015)	Akasaka and Lemmon (2022) (ISO 17584)
R1123	Akasaka et al. (2016)	Akasaka et al. (2020)
R1224yd(Z)	Akasaka et al. (2017)	Akasaka and Lemmon (2021)
R1336mzz(E)	N.A.	Akasaka et al. (2023)
CF ₃ I	Lemmon and Span (2015)	Akasaka (開発中)
R32/1234yf	Akasaka (2013)	
R32/1234ze(E)	Akasaka (2013)	
R32/1123	N.A.	Akasaka and Lemmon (2021)
R1123/1234yf	N.A.	Akasaka and Lemmon (2021)
R1234yf/290	N.A.	Akasaka et al. (2022)

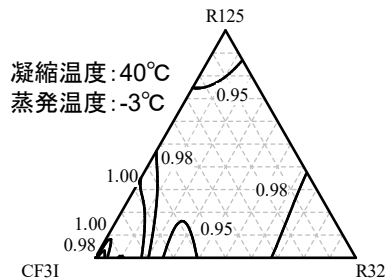
※赤字はNEDOプロジェクトで開発した状態方程式または混合モデル

各テーマの実施内容および成果と意義

(3)-① ヒートポンプサイクル基本特性の熱力学的解析(九州産業大学)

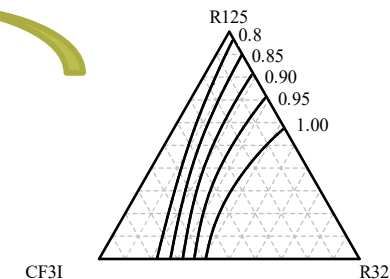
COP比(対R410A)

全体的にほぼR410Aと同等



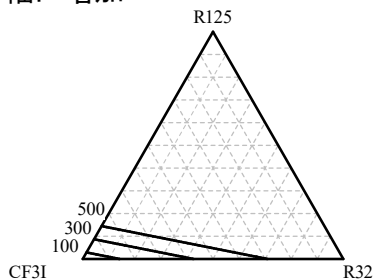
体積能力比(対R410A)

R32単体が最も高く、特にCF3Iの割合が高くなると低下



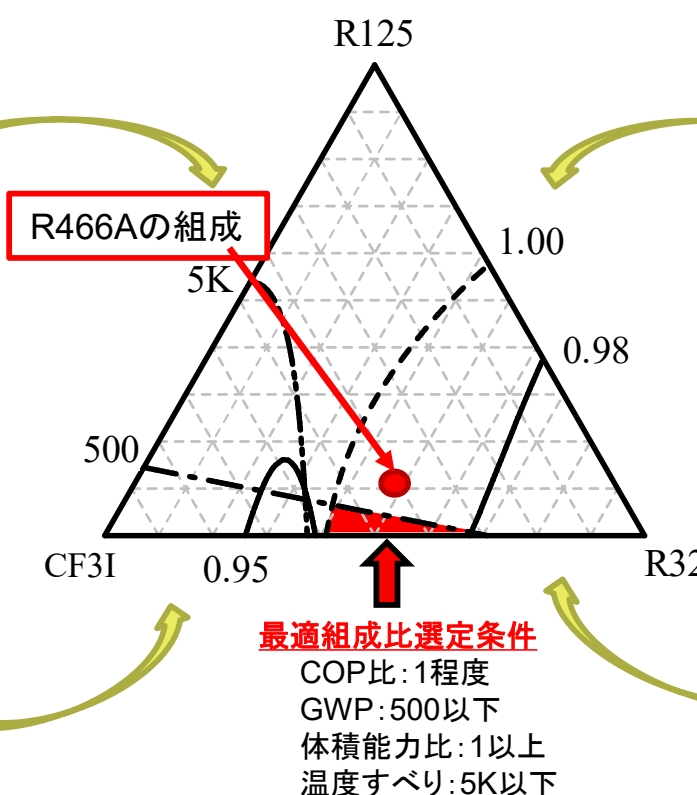
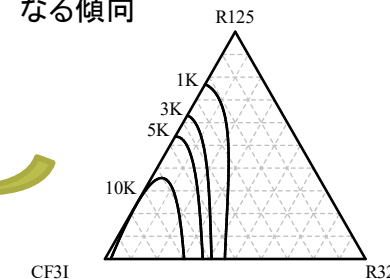
GWP

特にR125の割合が高くなると大幅に増加



温度すべり

CF3Iの割合が高い領域で高くなる傾向

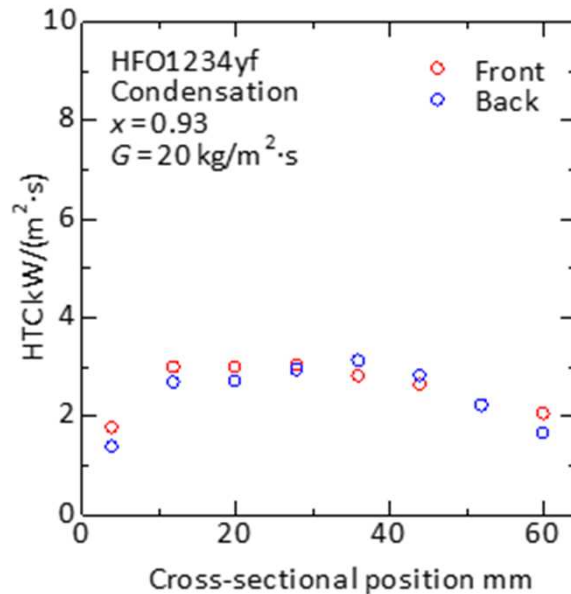
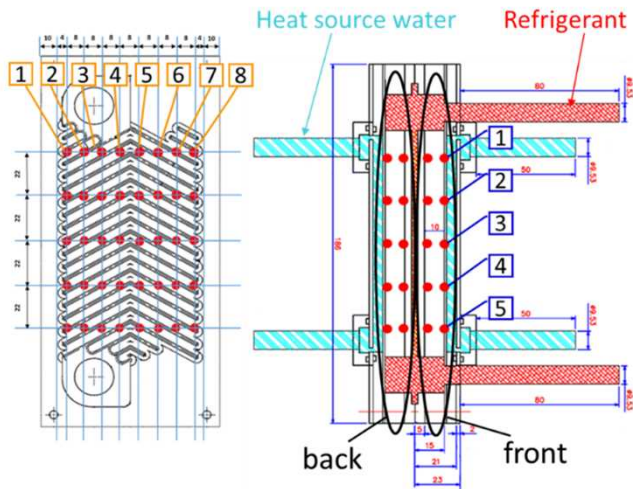


計算条件: 凝縮温度25°C、蒸発温度-3°C(混合冷媒に関しては露点沸点平均温度), 過熱度 3 K

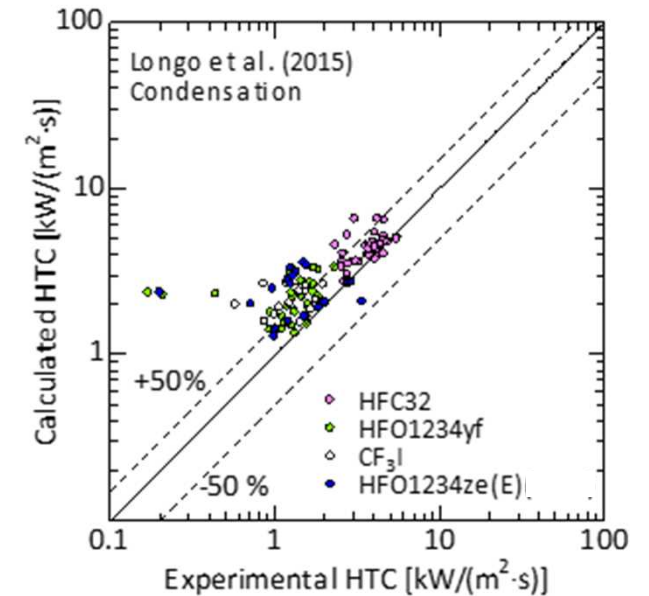
- 本事業で開発した REFPROP 10.0N を利用して、3成分系混合冷媒 HFC32+HFC125+CF₃I 及び HFC32+HFO1123+CF₃I の熱力学的サイクル性能解析を行なった。
- COP だけでなく、GWP・体積能力比・温度すべりも考慮した最適組成比について検討し、提案した。

各テーマの実施内容および成果と意義

(2)-① プレート式熱交換器内の伝熱特性評価(佐賀大学)



HFO1234yf における局所熱伝達率の水平方向分布(凝縮)



Longoらの式と実験値との比較(凝縮)

局所熱伝達率(凝縮)

- ・プレートの中央で高く、両端で低い
- ・前面側と背面側との差は小さい

局所熱伝達率(蒸発)

- ・プレートの中央で高く、両端で低い
- ・ドライアウトの発生
- ・前面側と背面側との差は小さい

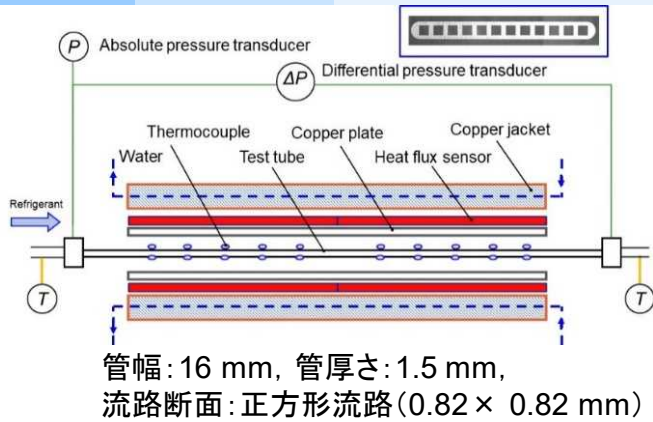
熱伝達率の予測

- ・凝縮・蒸発ともに、純冷媒は Longo らの式が適している
- ・凝縮・蒸発ともに、混合冷媒の実験値は予測値より低い

- HFC32、HFO1234yf、CF₃I及び2成分系混合冷媒 HFC32+HFO1234yf の2組成 (R454B, R454C)について、凝縮熱伝達実験及び蒸発熱伝達実験を行った。
- プレート式熱交換器内の気液二相流の観察及びボイド率測定を行い、凝縮の流動特性を評価した。

各テーマの実施内容および成果と意義

(2)-② 扁平多孔管内の伝熱特性評価(東京海洋大学)



混合冷媒の沸騰熱伝達率に関する提案した予測式

- Boiling heat transfer coefficients for mixed refrigerants:

$$\alpha_{\text{mix}} = (\alpha_{\text{cb,mix}}^3 + \alpha_{\text{nb,mix}}^3)^{1/3}$$

$$\alpha_{\text{cb,mix}} = \max(\alpha_{\text{fc,mix}}, \alpha_{\text{lf,mix}})$$

$$\alpha_{\text{fc,mix}} = \alpha_{\text{fc,id}}, \quad \alpha_{\text{lf,mix}} = \left[\frac{1}{\alpha_{\text{lf,id}}} + \left(\frac{B_{\text{mlf}} x c_{pV} \Delta T_{\text{glide}}}{\Delta h_{\text{LV}}} \right) \frac{1}{a_v} \right]^{-1}$$

$B_{\text{mlf}} = 8$ for annular and churn flows

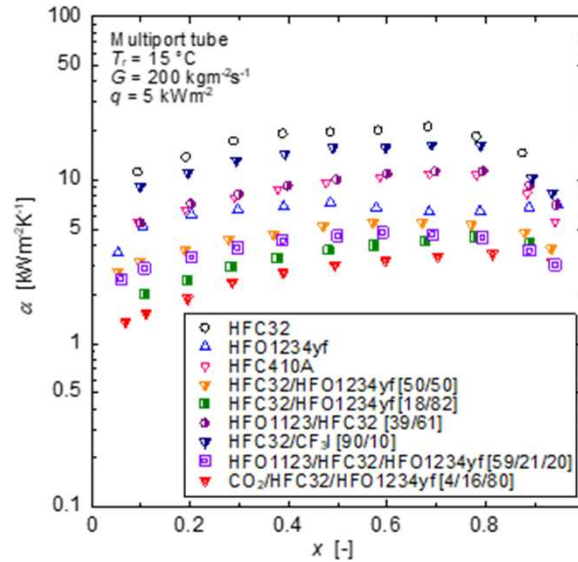
$B_{\text{mlf}} = 16$ for intermittent (plug) and slug-annular flows

$$\alpha_{\text{nb,mix}} = \alpha_{\text{nb,id}} \left\{ 1 + \frac{\Delta T_{\text{glide}}}{(q/a_{\text{nb,id}})} \left[1 - \exp\left(\frac{-4 \times 10^3 q}{\rho_L \Delta h_{\text{LV}}}\right) \right] \right\}^{-1} \quad \text{for binary mixtures}$$

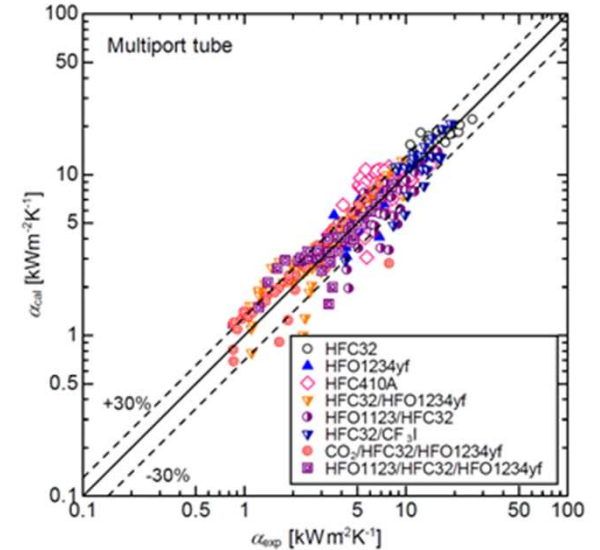
$$\alpha_{\text{nb,mix}} = \alpha_{\text{nb,id}} \left\{ 1 + \frac{\Delta T_{\text{glide}}}{(q/a_{\text{nb,id}})} \left[1 - \exp\left(\frac{-9 \times 10^3 q}{\rho_L \Delta h_{\text{LV}}}\right) \right] \right\}^{-1} \quad \text{for ternary mixtures}$$

- Terms of forced convection heat transfer:

$$\alpha_{\text{fc,id}} = \left[1 + 1.32 \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0.87} \left(\frac{\rho_L}{\rho_V} \right)^{1.61} \left(\frac{\mu_V}{\mu_L} \right)^{1.55} \right] \alpha_L$$



種々の冷媒の熱伝達率の分布(蒸発)



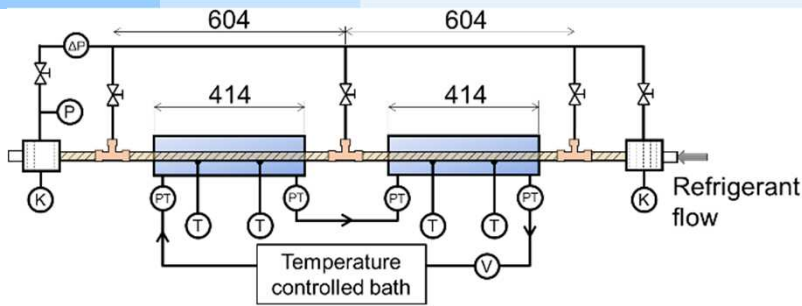
提案した式と実験値との比較(蒸発)

- 核沸騰熱伝達, 強制対流熱伝達, 薄液膜蒸発熱伝達の寄与
- 非共沸混合冷媒の場合は伝熱劣化の影響を考慮
- ドライアウト開始クオリティの予測
- ドライアウト後の熱伝達率の予測

- HFC32+HFO1234yf、HFC32+HFO1123、HFC32+CF₃I、HFC32+HFO1234yf+HFO1123、HFC32+HFO1234yf+CO₂ について、扁平多孔管における凝縮・蒸発伝熱特性を評価した。
- 凝縮・蒸発熱伝達率の予測モデルを提案した。

各テーマの実施内容および成果と意義

(2)-③ 円管内の伝熱特性評価(長崎大学)



純冷媒の凝縮熱伝達率推奨式

- ・平滑管は原口らの式
- ・溝付管は米本-小山の式

混合冷媒の凝縮熱伝達率推奨式

- ・Silver-Bell-Ghaly の手法を導入

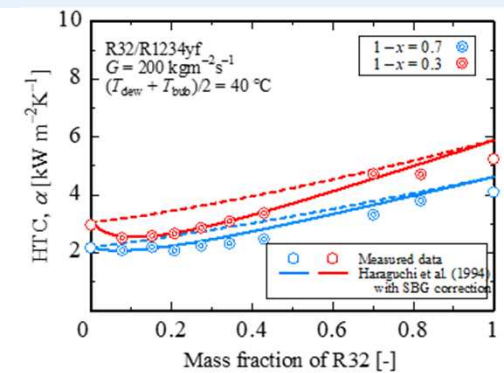
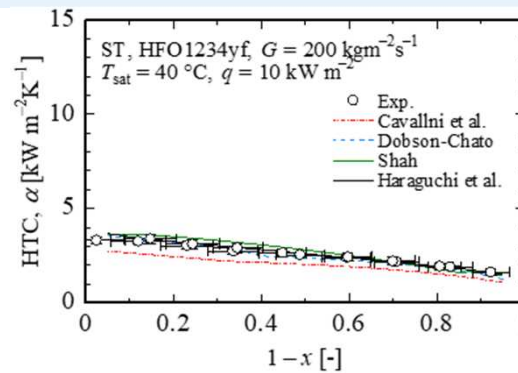
$$\alpha_{\text{mix}} = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{pure}}} + \frac{3xc_{pV}(\Delta T_{\text{glide}} / \Delta h_{\text{LV}})}{\alpha_V} \right)^{-1}$$

純冷媒の蒸発熱伝達率推奨式

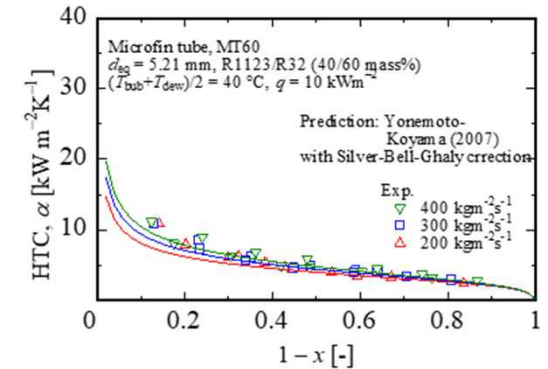
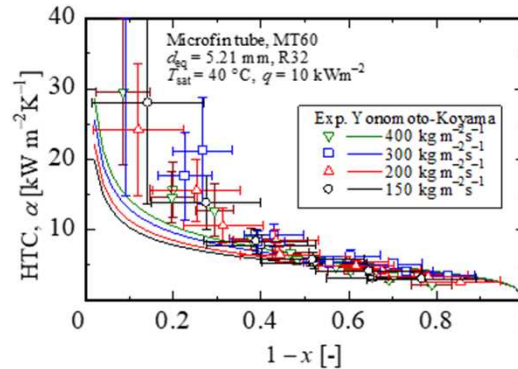
- ・平滑管に対する高松らの式
- ・溝付管に対する Thome らの式

混合冷媒の蒸発熱伝達率推奨式

- ・平滑管に対する高松らの式
- ・溝付管に対する近藤らの式



平滑管の熱伝達率の組成依存性



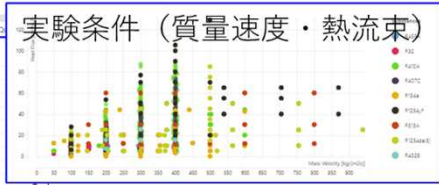
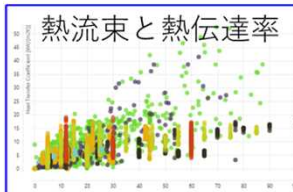
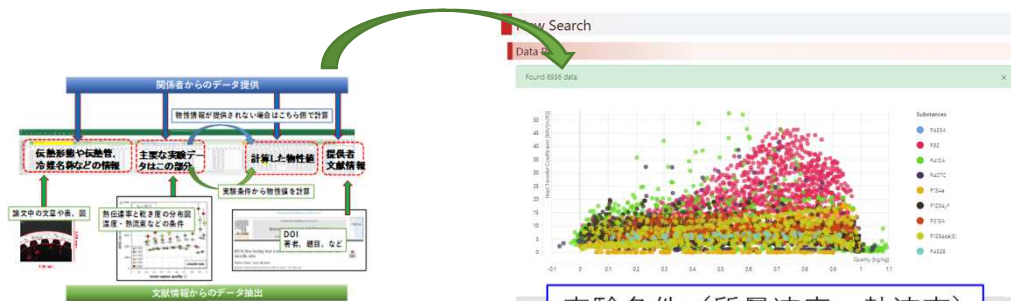
ら旋溝付き管の熱伝達率の組成依存性

- HFO1123+HFC32、HFO1234ze(E)+HFC32、HFO1234yf+HFC32 及び R455A で凝縮・蒸発伝熱特性を評価した。
- 混合冷媒においても、らせん溝付き管の効果は乾き度の大きな領域で顕著であった。
- 平滑管と溝付管の測定結果を比較し、らせん溝によって混合冷媒でも伝熱促進が認められることを定量化して示すことができた。

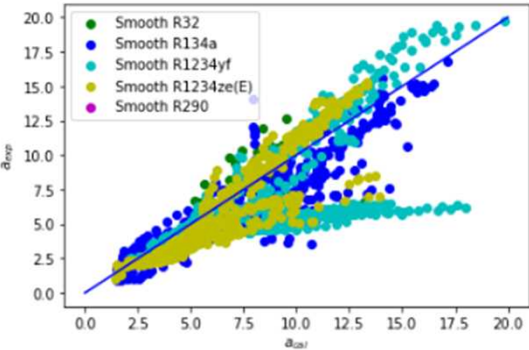
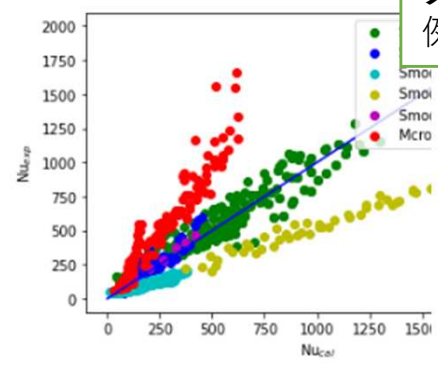
各テーマの実施内容および成果と意義

(2)-⑤ 伝熱データベースの構築(佐賀大学・東京海洋大学・長崎大学)

- Web上で大量のデータを検索・閲覧が可能な伝熱データベースを構築した。
- 現在までに、30000点以上のデータを収集
- ダウンロードデータを用いた詳細な解析が可能



ダウンロードデータ解析
 例：相関式と実験値との比較



RecDB Refrigerant Evaporator and Condenser DB
 Top Page
 Data Search
 All Heat Exchangers
 Round Tube
 Multiport Tube
 Plate Heat Exchanger
 Compare Search Results
 Latest Data
 Uploaded Heat Transfer

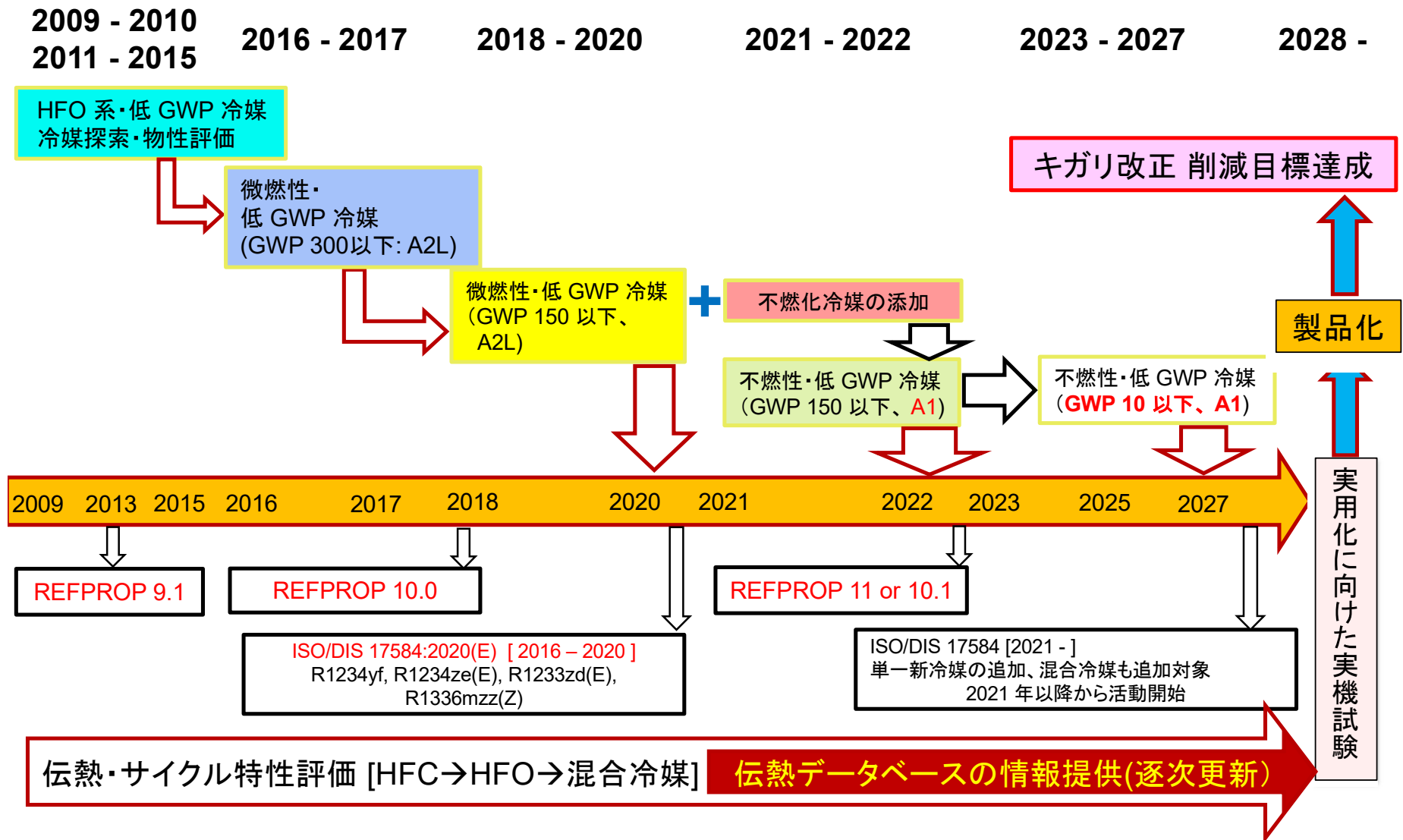
円管内の沸騰/凝縮				扁平多孔管				プレート式			
純冷媒/組成比既定混合冷媒		混合冷媒(成分物質指定)		純冷媒/組成比既定混合冷媒		純冷媒/組成比既定混合冷媒		純冷媒/組成比既定混合冷媒		純冷媒/組成比既定混合冷媒	
冷媒種類	沸騰	凝縮	断熱	冷媒種類	沸騰	凝縮	断熱	冷媒種類	沸騰	凝縮	断熱
R1224yd(Z)	7	0	0	R1123	117	267	0	R12	0	63	0
R123	0	386	0	R1123	117	267	0	R1233zd(E)	63	127	0
R1234yf	1380	189	165	R123	0	756	0	R1234ze(E)	209	173	0
R1234ze(E)	612	6	600	R1234yf	1170	0	0	R124	0	95	0
R125	72	168	0	R1234ze(E)	0	24	0	R1234ze(E)	70	0	0
R134a	1461	496	634	R134a	60	816	0	R1336mzz(Z)	84	0	0
R14	0	228	0	R141b	834	0	435	R134a	190	156	0
R141b	100	0	50	R152a	0	96	0	R22	0	22	0
R161	160	0	0	R170	0	123	0	R245fa	70	0	0
R170	0	266	268	R245fa	894	60	435	R32	0	112	0
R22	1186	1195	0	R290	72	252	0	R404A	63	19	0
R236ea	0	34	0	R32	1359	387	0	R410A	653	21	0
R245fa	559	89	90	R50	0	129	0	R448A	225	18	0
R290	143	0	0					R449A	68	16	0
R32	1918	103	93					R454C	68	16	0
R404A	25	31	0					R455A	70	16	0
R407C	316	175	40								
R410A	1042	540	0								
R448A	0	36	0								
R449A	0	36	0								
R452A	152	0	0								
R452B	66	0	0								
R454C	0	34	0								
R455A	108	119	0								
R513A	636	0	0								
R600a	520	0	0								
R744	33	0	0								

2023年9月現在:
 ✓ データ点数
32838
 ✓ 文献調査件数
247
 ✓ 物質数
40

テーマ毎の目標達成状況

最終目標 (2023年3月)	成果	達成度	達成の根拠と課題
(1) HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の熱物性評価 (九州大学、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)			
<ul style="list-style-type: none"> ・HFO系冷媒の熱力学的及び輸送的性質を明らかにして評価し、信頼できる状態方程式を開発する。 ・冷媒熱物性を国際規格化及び国際標準化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2成分系及び3成分系混合冷媒に対して、臨界点、PVT、比熱、音速、表面張力、粘性係数及び熱伝導率の精密測定を行った。 ・ヘルムホルツ型状態方程式を開発し、REFPROPに登録準備した。 	○ 2023年 3月達成	<p>実用化に近い低GWP冷媒の熱物性測定及び状態方程式開発は完了し、ISO17584,REFPROPで国際標準化された。新たな混合冷媒が今後も登場するので、事業継続が必須である。</p>
(2) HFO系冷媒を含む混合冷媒及び高沸点HFO系冷媒の伝熱特性評価 (佐賀大学、東京海洋大学、長崎大学、九州産業大学)			
<ul style="list-style-type: none"> ・HFO系冷媒の伝熱実験を種々の管形状に対して行い、伝熱特性を評価する。 ・得られた成果をデータベース化し、HFO系冷媒の設計・実用化に貢献する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・混合冷媒を対象としたプレート式、扁平多孔管、らせん溝付管、平滑管熱交換器内外の実験を行い、熱伝達の予測モデルを提案した。 ・本プロジェクトで得られたデータ及び文献収集したデータをまとめた伝熱データベースを構築した。 	◎ 2023年 3月達成	<p>種々の管形状に対する伝熱特性評価は完了し、データの蓄積が十分になされた。また、データを有効活用する伝熱データベースも新規に構築し、一般公開している。データベースの更新が課題である。</p>
(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 (九州産業大学、九州大学)			
<ul style="list-style-type: none"> ・(1)(2)で行なった冷媒特性評価に基づいて、サイクル基本特性を評価する。 ・HFO系混合冷媒の基本サイクル性能評価実験を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度すべりやGWPも考慮し、混合冷媒の最適組成域を見出した。 ・サイクル性能評価実験から、冷媒充填量や冷暖房負荷がサイクル挙動に与える影響を評価した。 	○ 2023年 3月達成	<p>HFO1123やCO2を含む3成分系混合冷媒の最適組成を提案し、実験的に検証できた。今後、より多種で、実機に即した性能解析を行う必要である。</p>

社会実装(実用化・規格化等)達成に向けた戦略・具体的取組



次世代冷媒の実用化へのロードマップ及び国際標準化へのマイルストーン (基本方針)

社会実装(実用化・規格化等)目標の達成見込み

【今後の見通しや課題、次の取り組み】

- HF0系冷媒を中心とした低GWP冷媒の2成分系及び3成分系混合冷媒25種類の基本冷媒物性を明らかにし、熱物性データベースであるNIST REFPROP上で計算できるように状態方程式も整備した。この結果、REFPROP公開前から利用可能となり、わが国の冷凍空調機器の社会実装においても、優位性を確保できることになる。ただし、公開には制限が必要となる。
- 単一冷媒に関してはISO17584が2022年に認証され、2023年以降に混合冷媒の認証作業が開始される。今後、冷媒の主流は混合冷媒となり、ISOでも混合冷媒の認証作業がスタートするので、本事業で蓄積した情報が、世界をリードする重要な基盤情報となっていく。
- 実用化する上で、新冷媒の入手性が大きな課題となることが予想される。その際、ASHRAE34におけるR番号獲得という認証作業が必要であり、一般には申請から取得まで、3年～5年は必要となる。つまり、早期に対象冷媒を絞り込み、冷媒メーカーと機器メーカーの間で、開発時点から製品開発における情報共有が必須である。

特許・論文リスト(特許出願及び論文発表等)

分類	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度 (予定含む)	合計
特許出願	0	0	0	0	0	0	0
(うち外国出願)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
論文	1	3	9	10	9	6	38
研究発表・講演	10	23	7	45	21	4	110
受賞実績	0	0	2	2	0	0	4
新聞・雑誌等への 掲載	0	1	1	1	0	0	3
展示会への出展	0	0	0	0	0	0	0
TVその他	0	0	0	0	0	0	0
合計	11	27	19	58	30	10	155

知財戦略

- 冷媒物性では NIST のREFPROPが世界標準値の提供元になっており、本事業の成果も次期バージョンで掲載予定となっている。
- ISO17584やASHRAE34の登録に結びつけるための情報提供を行なった。
- 伝熱特性に関しては独自に伝熱データベースを開発し、WEB公開した。

プロジェクトの詳細(公開)

研究開発項目①

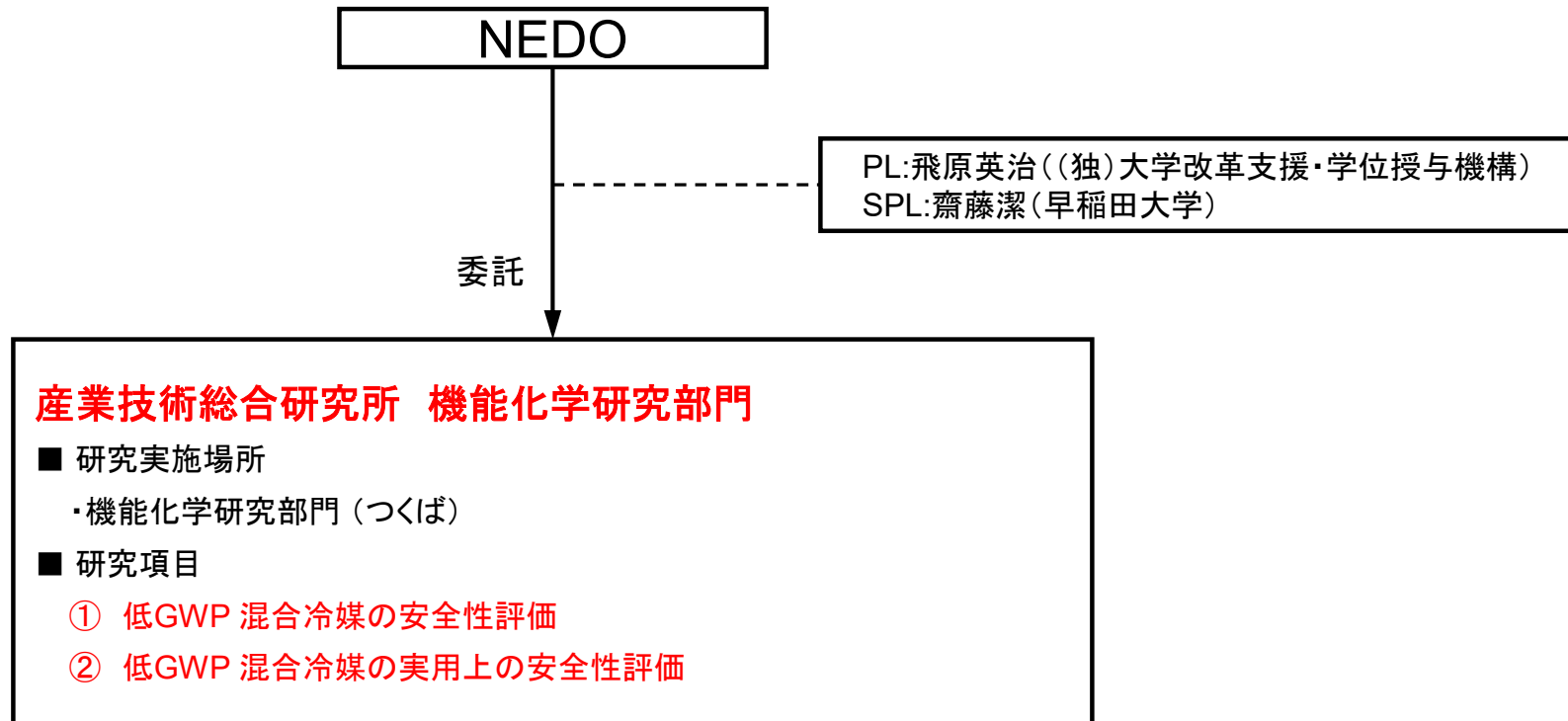
「次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価」

低GWP 低燃焼性混合冷媒の安全性評価

2018年度～2022年度 5年間

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

実施体制



社会実装(実用化・規格化等)の目標の設定及び根拠

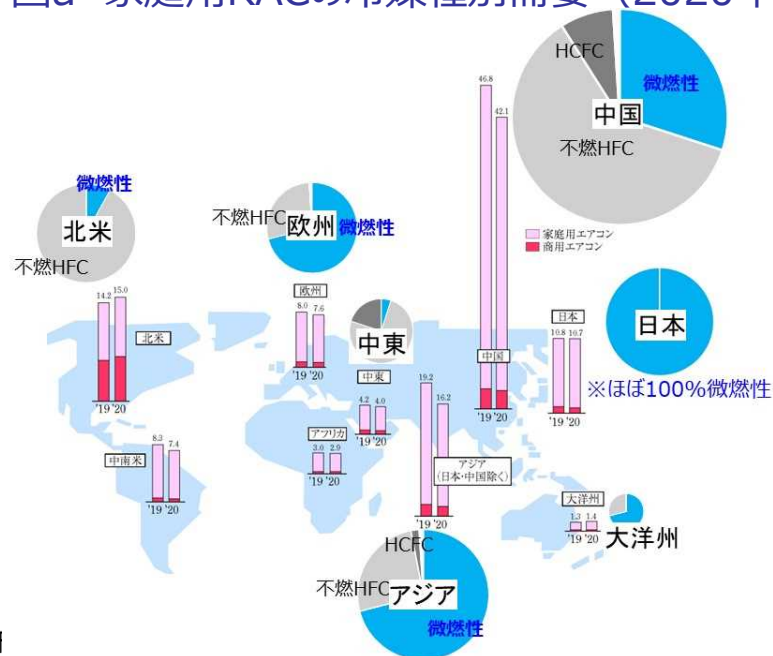
【背景・意義】

- ・近年、R32等が実用化され、低GWP微燃性冷媒の安全性の実績が積上がってきた(図a)
- ・より性能、環境性、安全性に優れた混合冷媒の開発が世界的に進められている(図b)

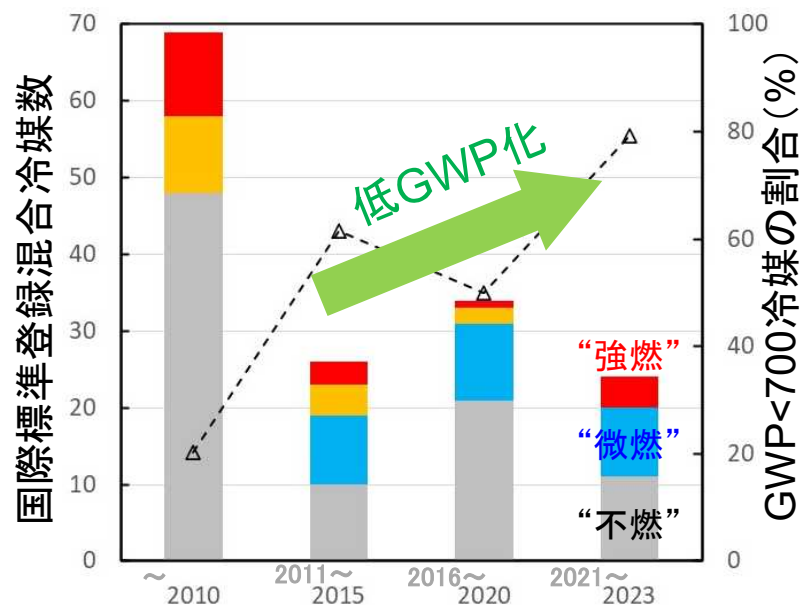
【目標】

- ・安全性を向上した低GWP冷媒及び機器を迅速に実用化することを支援する
- ・この目的のため、信頼性の高い混合冷媒の燃焼特性評価データ及び評価方法を提供し、国内外の規格等に反映させる

図a 家庭用RACの冷媒種別需要 (2020年)



図b 混合冷媒の構成の変遷



テーマ毎の目標と根拠

最終目標(2023年3月)	根 拠
<p>① 低GWP 混合冷媒の安全性評価(国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・3種類以上のフルオロオレフィン混合系について、燃焼特性の混合組成依存性及び混合効果を明らかにするとともに不活性化条件を明確化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・次世代低GWP冷媒として期待されるフルオロオレフィンであるが、燃焼性が明らかなものは少なく、その混合物については殆ど知られていない。安全性に優れた次世代冷媒を普及させるために、できる限り多くのフルオロオレフィン混合系の燃焼特性を系統的に評価し、その燃焼特性データや評価手法を、必要な国際規格化・国際標準化及び国際データベース等へ反映させることが重要である。
<p>② 低GWP 混合冷媒の実用上の安全性評価(国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・3種類以上のフルオロオレフィン混合系の燃焼特性の温度及び湿度依存性を検討し明らかにする ・1種類以上のフルオロオレフィン混合系の燃焼特性の濃度分布影響を明らかにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フルオロオレフィンには、湿度によって燃焼性が大幅に増大するものが知られている。安全性に優れた次世代冷媒を普及させるために、標準条件をこえた実使用環境を想定した燃焼特性データを蓄積し、国際規格化・国際標準化及び国際データベース等へ反映させることが重要である。

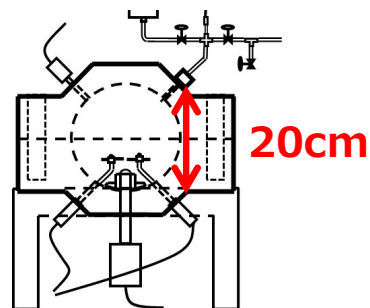
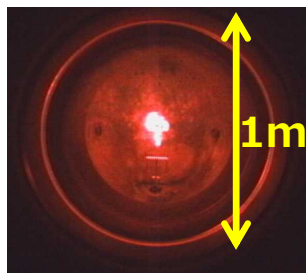
社会的影響等を踏まえたアウトプット指標・目標値の見直し

●無し。

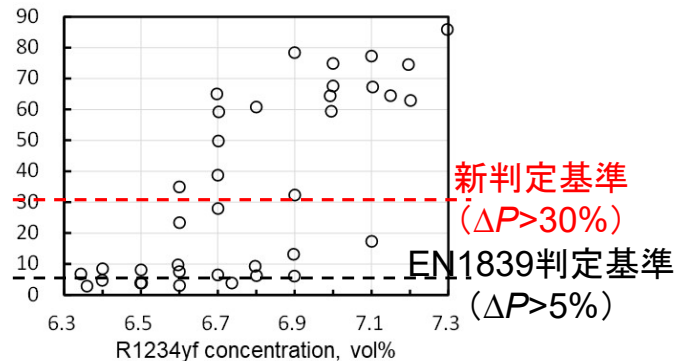
目標達成に必要な要素技術

燃焼限界の新評価法の開発

① 大規模装置と比較し新評価装置を提案



② 基準データ*、判定基準の提案

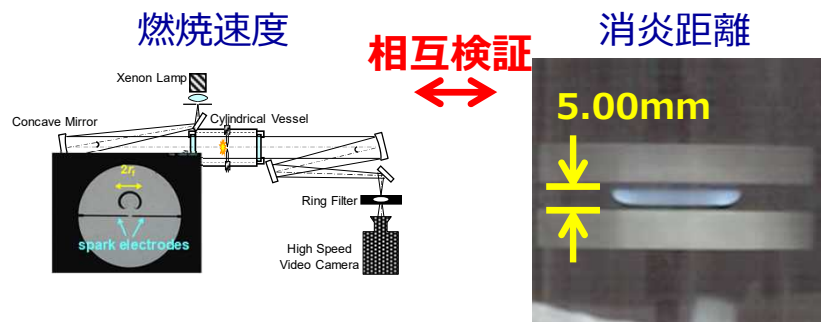


*記載データの2/3は本研究で実施したものの。

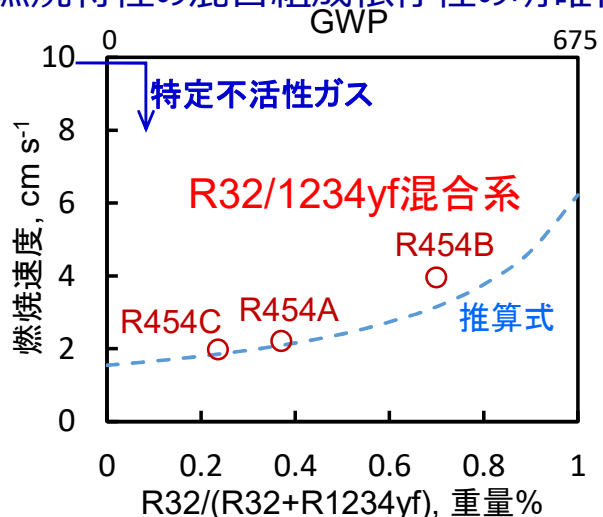
大規模容器で多様な化合物の燃焼限界近傍の火炎広がり測定し、種々の標準的評価法と比較、EN1839B法の判定基準を修正することで適正な燃焼限界が得られることを明らかにし、国内規格（保安法）に反映させた。

本評価法による「特定不活性ガス」の評価・判定

① 3種類の混合系の詳細な燃焼特性評価

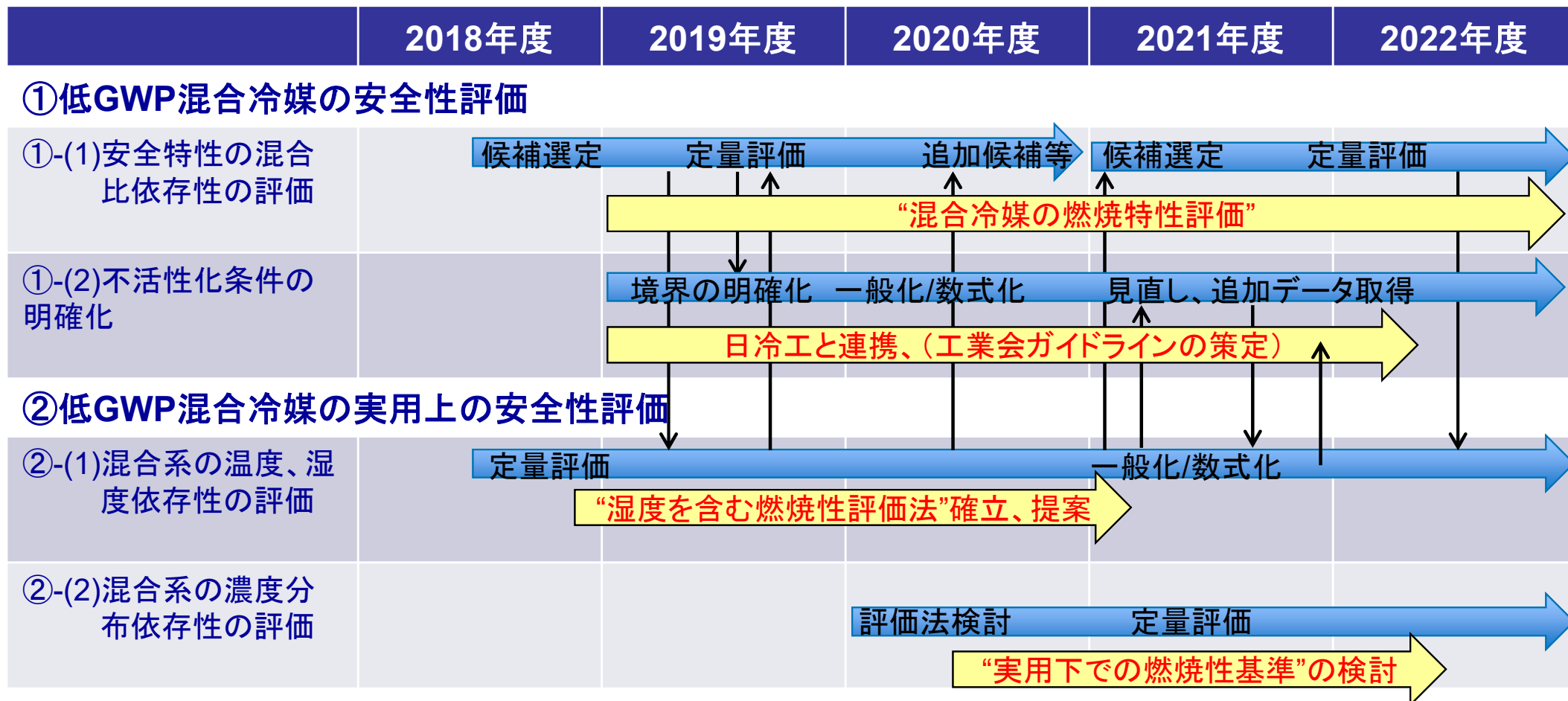


② 燃焼特性の混合組成依存性の明確化



3種類のフルオロオレフィン混合系の詳細な評価を実施、R32/1234yf全混合組成において「特定不活性ガス」に分類され、任意の実用範囲の湿度下でR32単体の燃焼速度よりも低いことを公表、JRA1001に引用された。R32/1234yf混合系の濃度分布のある燃焼特性を行い、均一混合系との違いを明らかにした。

研究開発のスケジュール



社会的影響等を踏まえたスケジュールの見直し
 ●無し。

テーマ毎の目標達成状況

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

最終目標(2023年3月)	成果	達成度	達成の根拠と課題
① 低GWP 混合冷媒の安全性評価(国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
<ul style="list-style-type: none"> ・3種類以上のフルオロオレフィン混合系について、燃焼特性の混合組成依存性及び混合効果を明らかにするとともに不活性化条件を明確化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・以下の3種類の混合系について、標準条件における燃焼特性の混合比依存性を明確化した。 R32/1234yf混合系 HFO-1123/R32混合系 HFO-1123/R1234yf混合系 	○ (2023年3月達成)	<ul style="list-style-type: none"> ・3種類のフルオロオレフィン混合系の燃焼特性の混合組成依存性及び特定不活性化条件を明らかにし、日本冷凍空調学会の最終報告書として公開した。
② 低GWP 混合冷媒の実用上の安全性評価(国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
<ul style="list-style-type: none"> ・3種類以上のフルオロオレフィン混合系の燃焼特性の温度及び湿度依存性を検討し明らかにする ・1種類以上のフルオロオレフィン混合系の燃焼特性の濃度分布影響を明らかにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・以下の3種類の混合系について、実用上の温度・湿度条件における燃焼特性の混合比依存性を明確化した。 R32/1234yf混合系 HFO-1123/R32混合系 HFO-1123/R1234yf混合系 ・大規模容器を用いたR32/1234yf混合系の濃度分布による燃焼特性の変化を明確化した。 	○ (2023年3月達成)	<ul style="list-style-type: none"> ・3種類のフルオロオレフィン混合系の燃焼特性の温度、湿度影響を明らかにし、また1種類のフルオロオレフィン混合系の濃度分布を有する場における燃焼特性を明らかにし、日本冷凍空調学会の最終報告書として公開した。

各テーマの実施内容および成果と意義

① 低GWP 混合冷媒の安全性評価

爆発限界に関する法令改正

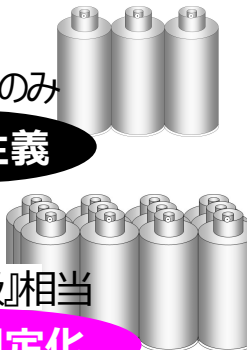
【これまで】
『特定不活性ガス』 = R32, R1234yf, R1234zeのみ

↓

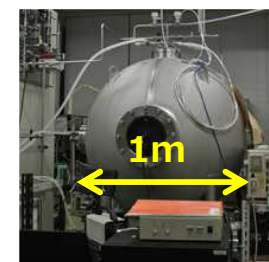
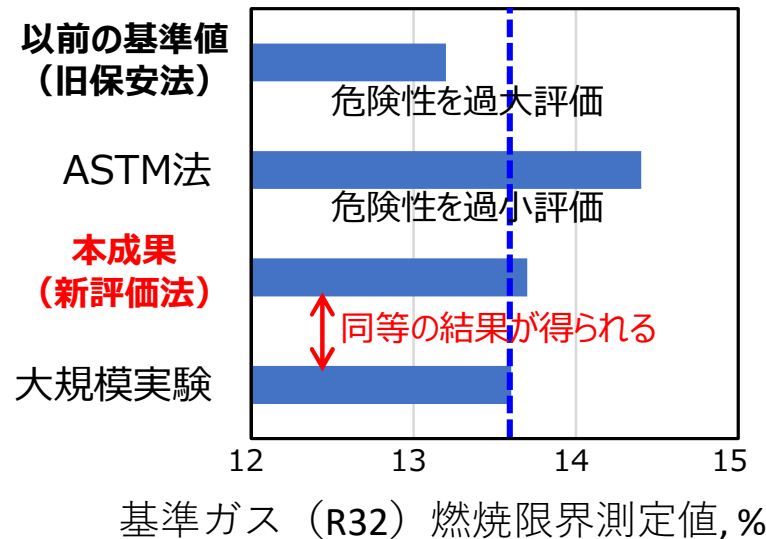
【改正、2021年4月～】
『特定不活性ガス』 = ISO817『微燃性冷媒等級』相当

掲名主義 → **性能規定化**

…新冷媒開発と普及の加速が期待



高圧ガス保安法令の微燃性冷媒関連の改正



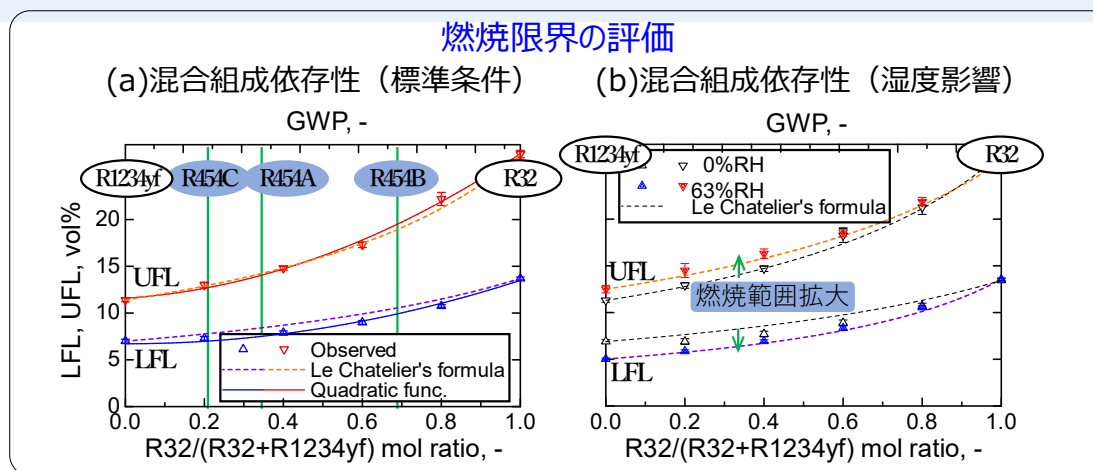
成果及び意義 (副次的成果や波及効果等)

- 実用上の観点から、標準測定法と実環境での燃焼挙動との比較が重要 (例えば室内での燃焼を想定した大型容器での測定)
- 種々の標準法の結果を大規模容器と比較し、保安法、EN法は低めに (厳しく)、ASTM法は高めに (甘く) 評価されることが判明
- EN法の判定基準 (圧力上昇5%) を圧力上昇30%に修正することで、大規模実験をほぼ再現可能
- 本成果により、2021年4月から、高圧ガス保安法におけるフルオロカーボンの爆発限界測定は、EN1839B法 (圧上昇30%) を使用することになり、国際整合性、測定再現性、信頼性の観点から改善

各テーマの実施内容および成果と意義

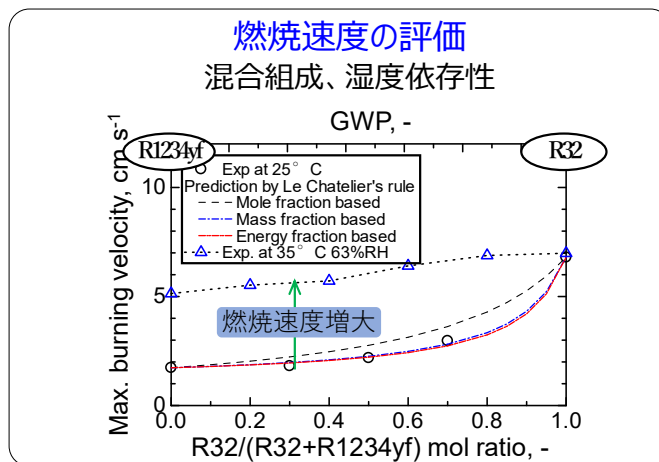
混合冷媒の標準及び実用条件における燃焼特性の混合比依存性、特定不活性ガス化条件の明確化

燃焼限界の評価



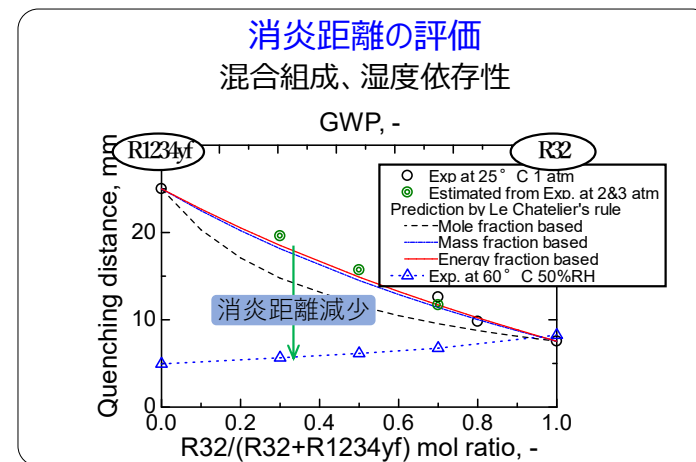
燃焼速度の評価

混合組成、湿度依存性



消炎距離の評価

混合組成、湿度依存性



成果

●R32/1234yf混合系の燃焼性は、任意の混合組成、実用範囲の温度・湿度において、R32又はR1234yf単体を上回ることが無いことを明らかにした。

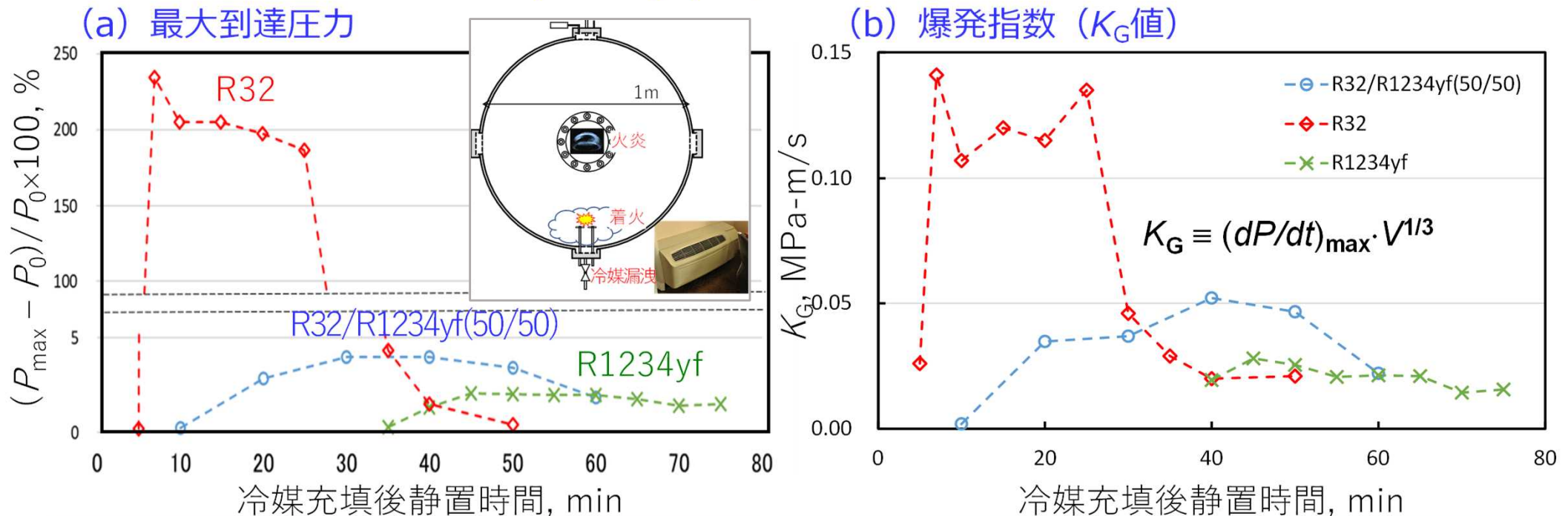
意義(副次的成果や波及効果等)

●本成果は工業規格JRA1001に引用された。
 ●JRA1001は、新冷媒の燃焼諸特性がR32、R1234yf、R1234zeの内数であることを示せば追加のリスク評価をすることなく既存の機器ガイドラインを適用できると定めていることから、**本成果は全てのR32/1234yf混合冷媒の機器への導入の迅速化に繋がる。**

各テーマの実施内容および成果と意義

② 低GWP 混合冷媒の実用上の安全性評価

冷媒下方漏洩時の、R32/1234yf(50/50 vol%)と各成分単体の燃焼威力比較



成果

- 爆発威力は、均一混合条件のR1234yf、R32単体よりはるかに小さいことを示した。
- 本混合系は、その均一混合条件の燃焼速度(1.8 cm s^{-1})からすると、R32及びR1234yf単体に比べやや高めの K_G 値を取り、またより長期間燃焼を起こしうることを示した。

意義(副次的成果や波及効果等)

- 特定の使用条件では、均一混合条件の燃焼特性に基づいて決められた許容充填量を、更に緩和できる可能性を示した。
- 分子量や燃焼特性の異なる化合物の混合では、成分単体よりも燃焼特性が危険サイドにふれる場合があることを示した。

社会実装(実用化・規格化等)達成に向けた戦略・具体的取組

高压ガス保安法令の改正 (2021年4月)

【これまで】

『特定不活性ガス』 = R32, R1234yf, R1234zeのみ



掲名主義

学会規格で詳細を規定
(2021年10月制定)

- 原案作成委員
- 爆発限界評価法及び基準値の提供
- 2023年11月までの全6冷媒の特定不活性ガス認定データの提供
- 評価法及びデータの国際標準提案(随時)

日本冷凍空調学会規格
JSRAE S 0003:2021

冷媒の燃焼性区分判定のための試験方法

学会規格制定分科会



性能規定化

【改正、2021年4月～】

『特定不活性ガス』 = ISO817『微燃性冷媒等級』相当

…新冷媒開発と普及の加速が期待

日冷工規格 (JRA1001) の制定 (2018年発行、2022年改正)

JRA

微燃性 (A2L) 冷媒を使用した機器の規格
及びガイドラインに適用できる冷媒の
判定基準及び物性値

- 『新冷媒が先行3冷媒の燃焼諸特性全てで下回ると示せば、新たなりスク評価を実施しなくても機器ガイドラインに適用可能』

…新冷媒対応機器の早期実用化が期待

- 原案作成委員
- 基礎燃焼特性データ及びR32/1234yf混合系データの提供
- 新冷媒データの反映(随時)

新制度の構築を支援し、安全性に優れた新冷媒・機器の実用化加速に貢献する

社会実装(実用化・規格化等)目標の達成見込み

【今後の見通しや課題、次の取り組み】

●本研究では、R32/1234yf混合系、HFO-1123/R32混合系、及びHFO-1123/R1234yf混合系について詳細な燃焼特性評価を実施した。このうち、R32/1234yf混合系については、本研究を通して開発した評価法によってR454A～Cの3種類の新冷媒の評価を行いJSRAE S003規格の「特定不活性ガス」認定の支援をするとともに、本研究で公表したデータは工業会規格JRA1001に引用されるなど、成果の社会実装が進んでいる。一方、HFO-1123混合系に関連して、HFO-1123が現時点で冷媒として登録されていない。今後、国際標準登録されれば、本研究開発の成果は速やかに国際標準や実用的な安全基準の策定に反映されると考えられる。

●今後、低GWPかつ低沸点の冷媒の必要性から、反応性の高いフルオロエチレン系冷媒の開発が更に進むと考えられるため、より多様なフルオロオレフィン混合系に適用可能な燃焼特性評価が必要になる。従って、今後本研究で対象外だった、既に冷媒登録されているR1132a及びR1132(E)等フルオロエチレンを含めた多様なフルオロオレフィン混合系について、統一的・系統的な燃焼特性評価及び標準化を検討する。

特許・論文リスト(特許出願及び論文発表等)

分類	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度 (予定含む)	合計
特許出願							
(うち外国出願)							
論文			1			1	2
研究発表・講演	6	3	3	4	5	2	23
受賞実績		1					1
新聞・雑誌等への 掲載							
展示会への出展							
TVその他							
合計	6	4	4	4	5	3	26

プロジェクトの詳細(公開)

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」

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

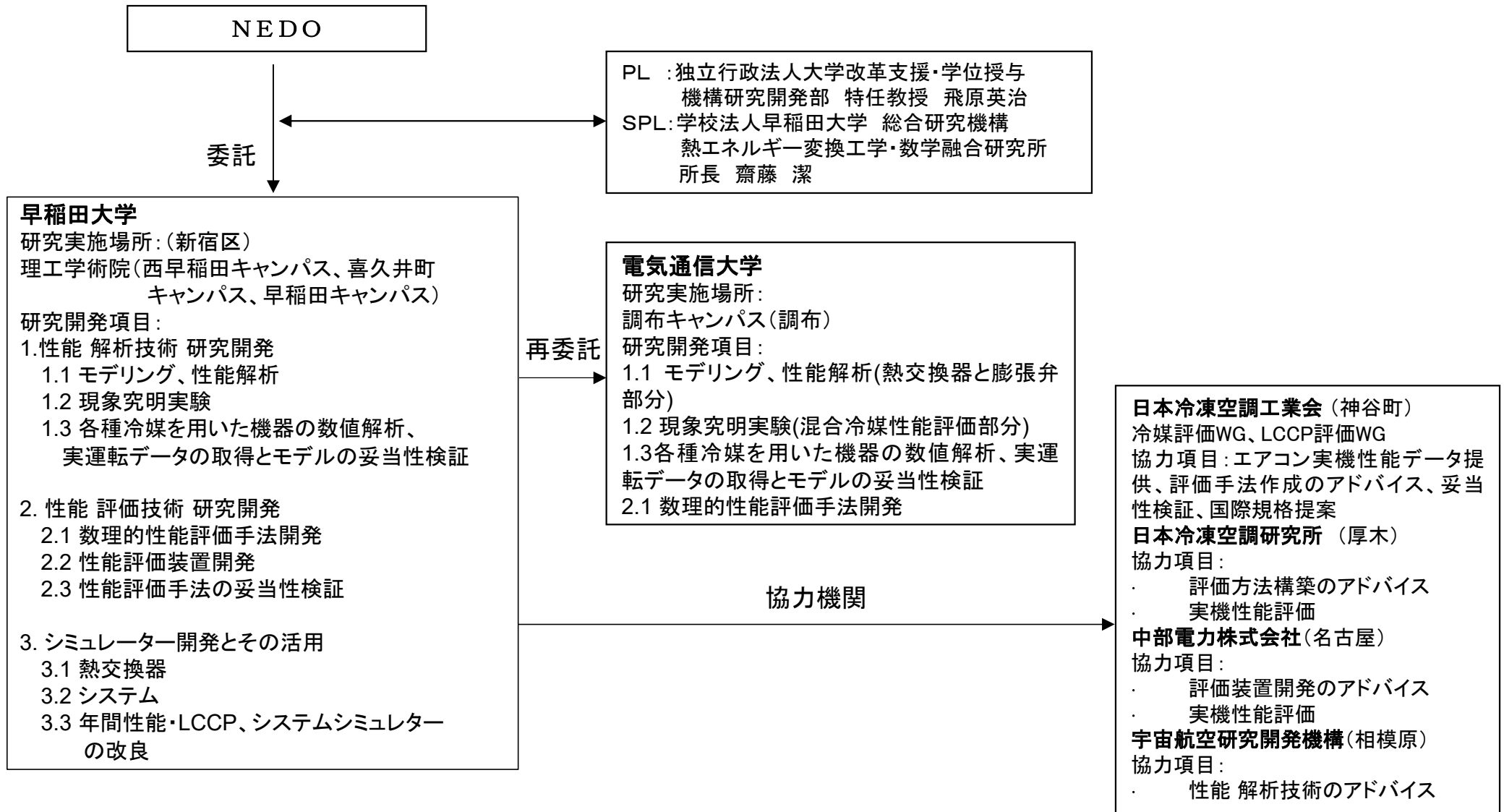
2018年度～2022年度 5年間

学校法人 早稲田大学

【再委託先】

国立大学法人 電気通信大学

実施体制



社会実装(実用化・規格化等)の目標の設定及び根拠

研究開発項目	最終目標(2024年3月)	根拠
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	多様な次世代冷媒が導入された空調機器に関して、 機器の性能が広範囲で高精度に予測できるツールや評価手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> 開発したシミュレーターを用いて次世代低GWP冷媒機器の開発促進 次世代冷媒を導入した機器の実運転性能を反映できる新たな評価方法を提案
	日本冷凍空調 工業会での活用	<ul style="list-style-type: none"> 開発したシミュレーターを工業会における「標準解析コード」化 開発シミュレーターを用いた各種次世代冷媒機器の性能分析と国際提案 開発シミュレーターを用いた機器のライフサイクル評価と国際提案
	国際規格への提案	<ul style="list-style-type: none"> エアコン性能に関する国際規格ISO 16358-1、ISO 16358-2、ISO 16358-3への提案 冷媒充填量を規定しているIEC60335-2-89への冷媒充填量提案

テーマ毎の目標と根拠

研究開発項目	最終目標(2024年3月)	根拠
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	①空調機器の性能解析技術の確立	低GWP冷媒を用いたデバイスのシミュレーション解析が行える数値モデルの構築を行う。 現象が究明できていない因子については、実験により現象の究明と定式化を行う。
	②熱交換器、空調機器、LCCPシミュレーター開発と活用	蒸気モデルを用いて、最重要デバイスである熱交換器、空調機器システム、さらには、ライフサイクル評価を可能とするLCCPシミュレーターの3種のシミュレーターの開発を行う。
	③空調機器の評価方法の確立	次世代冷媒を導入した空調機器の実運転性能を把握可能な評価装置を開発し、様々な次世代冷媒を導入した機器の性能評価まで具体的に行う。

目標達成に必要な要素技術

研究開発項目	最終目標(2024年3月)	要素技術
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	①空調機器の性能解析技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> 熱交換器の数理モデリング技術 圧縮機の数理モデリング技術 膨張弁の数理モデリング技術 混合冷媒の伝熱性能評価技術 冷媒充填量評価技術
	②熱交換器, 空調機器, LCCPシミュレーター作成と活用	<ul style="list-style-type: none"> 多様な次世代低GWP冷媒を用いた機器の性能解析を可能とする解析技術 シミュレーター開発技術
	③空調機器の評価方法の確立	<ul style="list-style-type: none"> 機器の実運転性能を評価可能な技術 熱的現象の最適化技術 AI技術

研究開発のスケジュール

2018

2019

2020

2021

2022

(i) データ取得基盤構築

(ii) データ取得及び評価

実験データによる評価

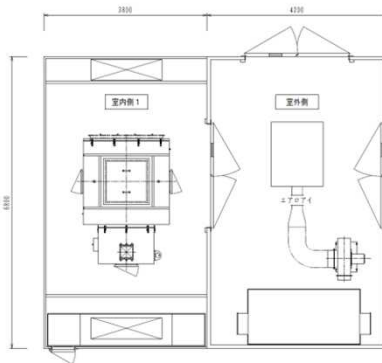
現象究明評価装置

ボイド率評価装置
沸騰伝熱評価装置



システム実運転性能評価装置

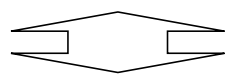
実運転性能評価装置



実験データ取得及び評価

- システム：エアコン，ショーケース (R32, R454C, R290・・・を対象)
- 現象：ボイド率，局所沸騰
- デバイス：熱交換器，圧縮機，膨張弁

国際規格化提案実施



- 実験データは取得できないものは，解析で実施
- 解析の妥当性検証

理論データによる評価

数理モデリング

デバイス数理モデル

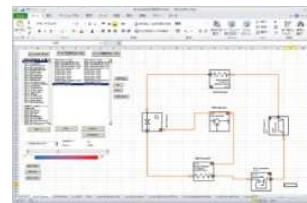
- 熱交換器
- 膨張弁
- 圧縮機

数理モデル妥当性検証

- 熱交換器
- 膨張弁
- 圧縮機

システム解析論

シミュレーター開発



シミュレーション技術

- 熱交換器シミュレーター
- システムシミュレーター
- LCCPシミュレーター

理論データ取得及び評価

冷媒：エアコン：

R22, R290, R32, R410A, R454C, R466A

低温：R290, R404A, R454C

システム：エアコン，ショーケース

デバイス：熱交換器，圧縮機，膨張弁

テーマ毎の目標達成状況

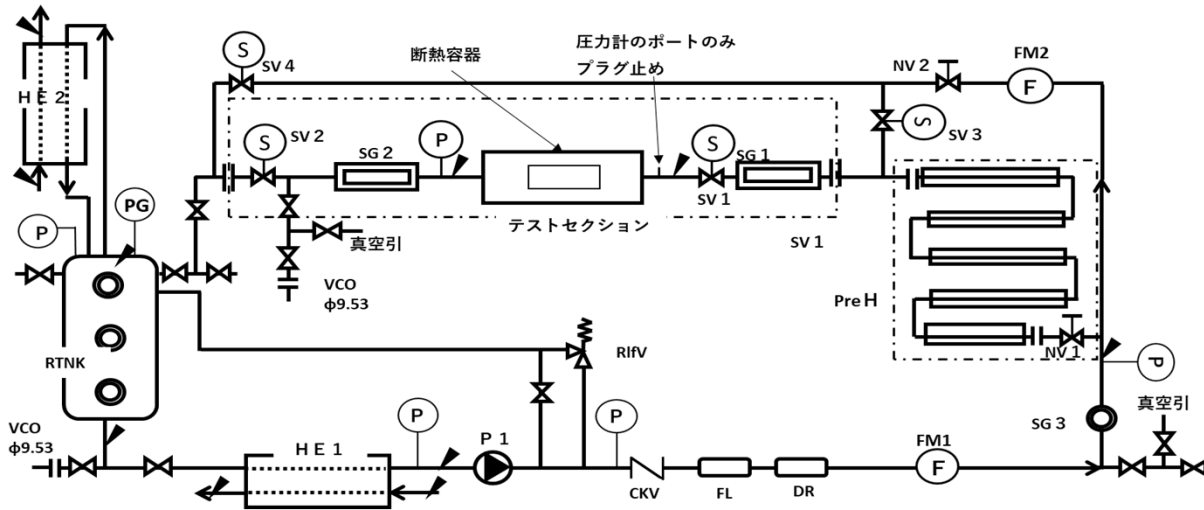
研究開発項目	目標 (2023年3月)	成果(実績) (2023年3月)	達成度	達成の根拠/解決方針
低GWP冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発	①空調機器の性能解析技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> 冷媒充填量(ボイド率)評価装置の開発と実験データの取得と定式化 混合冷媒伝熱評価装置の開発と伝熱予測法の確立 熱交換器、圧縮機、膨張弁デバイスのモデリングと数値解析の実現 	○	当初の目標を達成しているため「達成」と評価
	②熱交換器, 空調機器, LCCPシミュレーター作成と活用	<ul style="list-style-type: none"> 熱交換器シミュレーターの開発とこれを用いた熱交換器の性能評価と最適化解析の実現 サイクルシミュレーターの開発とこれを用いた各種次世代冷媒機器の性能評価、性能比較の実現 LCCPシミュレーターの開発と多様な冷媒や世界の多様な地域におけるLCCP解析の実現 	○	当初の目標を達成しているため「達成」と評価
	③空調機器の評価方法の確立	<ul style="list-style-type: none"> システム実運転性能評価装置の開発完了 上記評価装置の健全性評価完了 R22、R290、R454Cのエアコン、ショーケースのシステム実運転データの取得 シミュレーターを活用した理論に基づいた性能評価法の確立 	○	当初の目標を達成しているため「達成」と評価

各テーマの実施内容および成果と意義

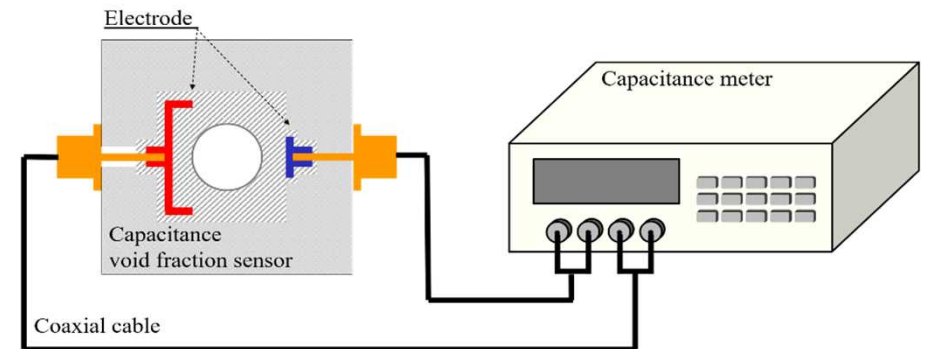
研究開発項目	意義	副次的効果
低GWP冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発	<p>次世代冷媒に対しては、単にGWPが低いだけでなく、機器性能も高い機器の短時間で開発必要。</p> <p>システム全体としての性能評価技術や最適化ツールまで含めた基盤技術を構築し、理論面と実際のデータの両面から、機器の実運転の性能まで評価できる体制を構築できたこと。</p> <p>これにより、メーカーによる次世代冷媒を採用した機器の開発促進を支援できるようになったこと</p>	<p>共通するシミュレーションや性能評価技術ができたこと</p> <p>学会や工業会などがそれらを活用して我が国が戦略的に考える次世代冷媒を導入した機器性能などを国際情報発信することができるようになったこと</p> <p>国際規格策定を我が国が主導権をもって進められていること</p>

各テーマの実施内容および成果と意義

(i) 実験データ取得基盤の構築～冷媒充填量評価装置の開発



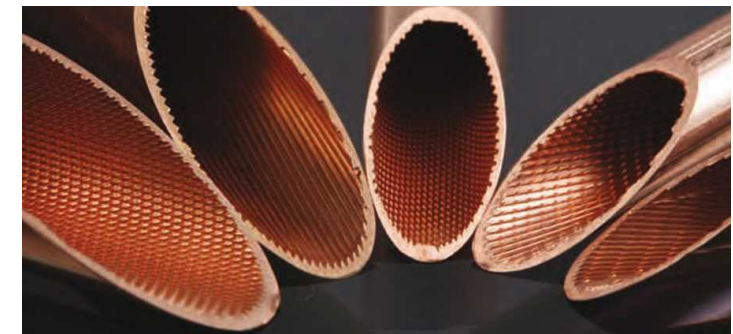
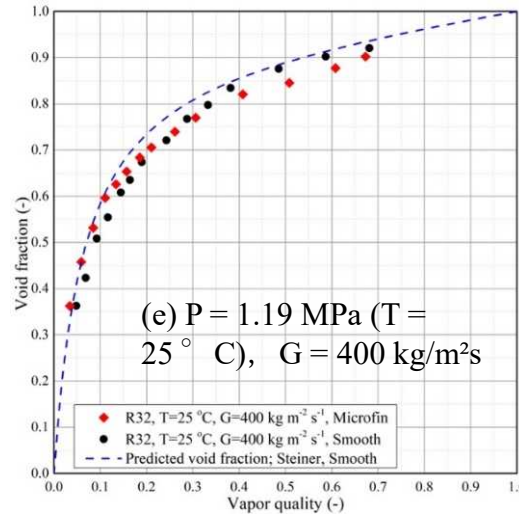
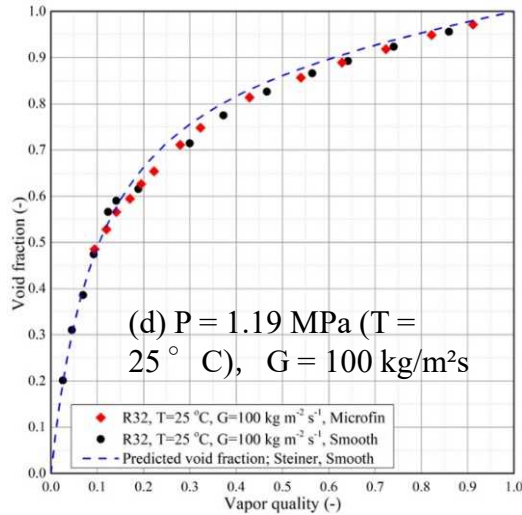
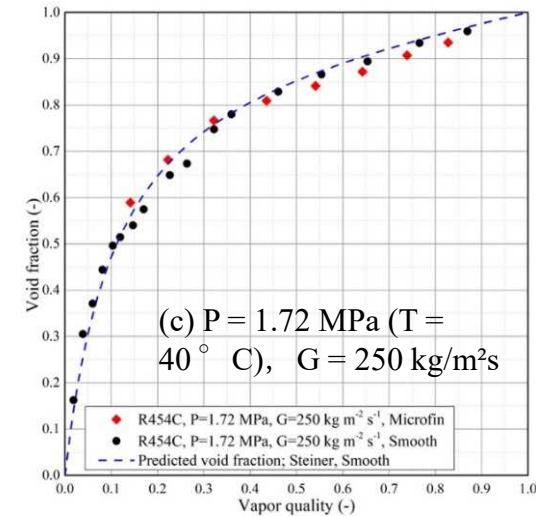
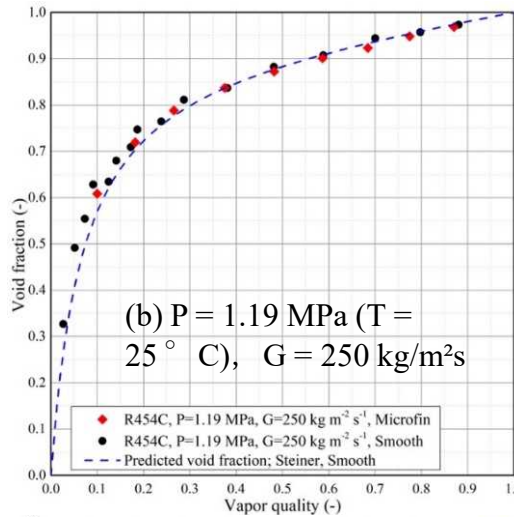
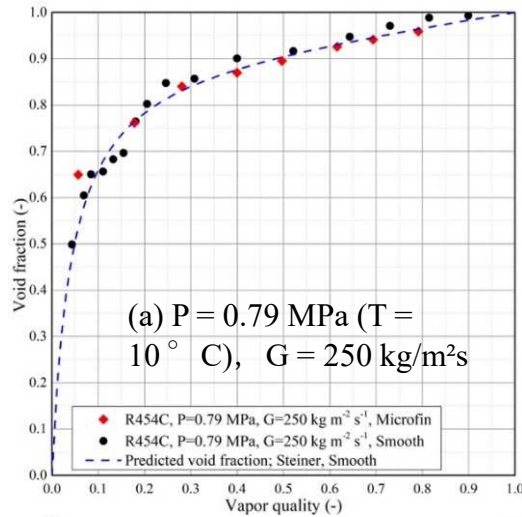
記号	名称	備考
HE 1	冷却熱交換器	プレート熱交
HE 2	凝縮熱交換器	
RTNK	冷媒タンク	製作品
P 1	冷媒ポンプ	ギヤポンプ
CKV	逆止弁	タスコ
FL	ストレーナ	タスコ
DR	ドライヤー	
FM 1	流量計	質量流量計
FM 2	流量計	
PreH	プレヒータ	電気加熱
SV 1	電磁弁	通電時間型
SV 2	電磁弁	
SV 3	電磁弁	
SV 4	電磁弁	



静電容量式ボイド率センサーによる測定
+ 直接容量測定も可

各テーマの実施内容および成果と意義

(i) 実験データ取得基盤の構築～R32,R454Cのボイド率データ取得と予測式の定式化
 R454Cのボイド率測定結果(溝付き管と平滑管の比較)



The example of microfin tube

各テーマの実施内容および成果と意義

(ii) 実験データ取得及び評価：AIによる伝熱性能評価式の作成

本学独自にデータベースを作成

相変化熱伝達 約 5,000 点

摩擦圧力損失 約 1,800 点

オレフィン系冷媒

フロン冷媒

代替フロン冷媒

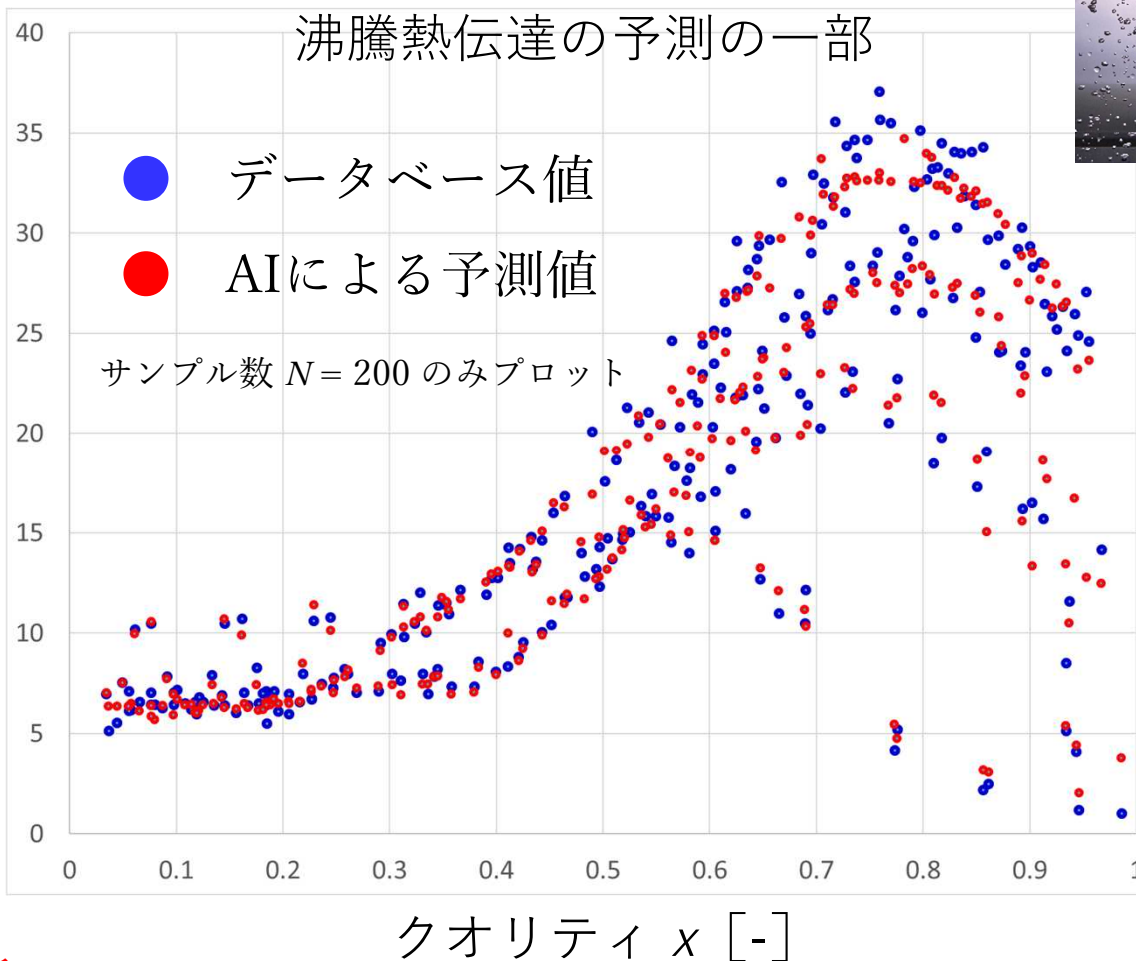
アンモニア

12種

加えて混合冷媒も予測

沸騰熱伝達において、ドライアウト
以降の熱伝達特性まで含めよく再現

従来の伝熱性能予測法を根本的に革新



Asia's Science, Technology and Research Awards 2023において**Outstanding Researcher Award**を受賞

令和5年度の日本学術振興会賞ノミネート中

各テーマの実施内容および成果と意義

(i) 実験データ取得基盤の構築～システム実運転評価装置の開発



建物外観



装置外観



室外機室



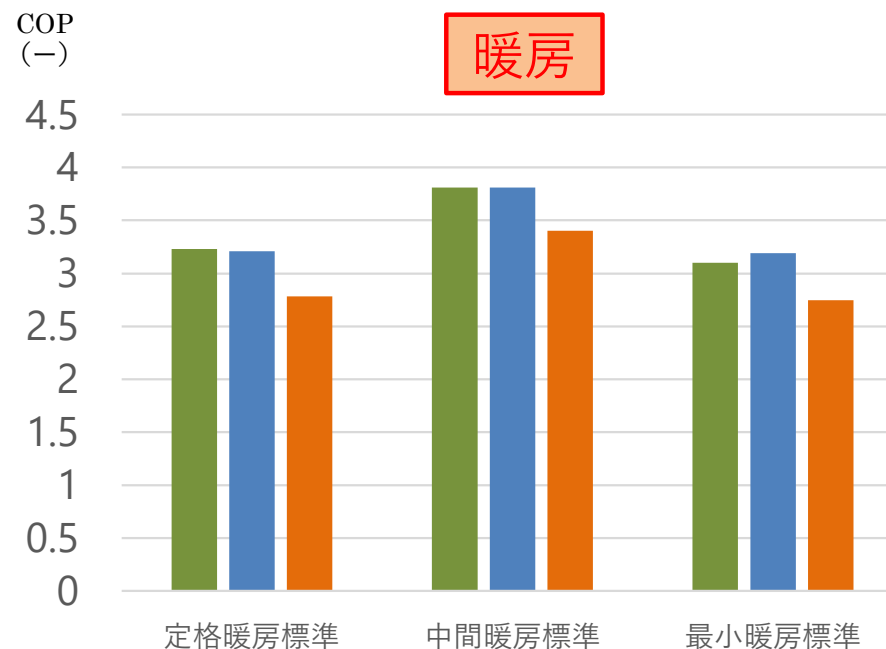
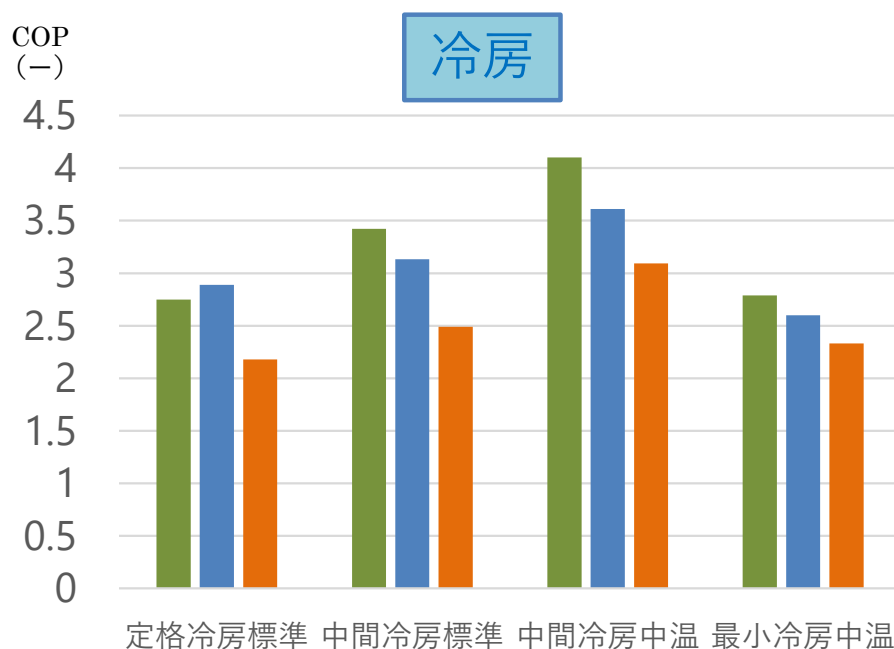
室内機受風チャンバー

2022年度日本冷凍空調学会年次大会の講演において会長奨励賞を受賞

各テーマの実施内容および成果と意義

(ii) 実験データ取得及び評価～R22, R290, R454Cのエアコン, ショーケース
のシステム実運転データの取得

Type		Room air-conditioner for R22
Refrigerant		R454C, R290
Full capacity	Cooling W	2200
	Heating W	2500



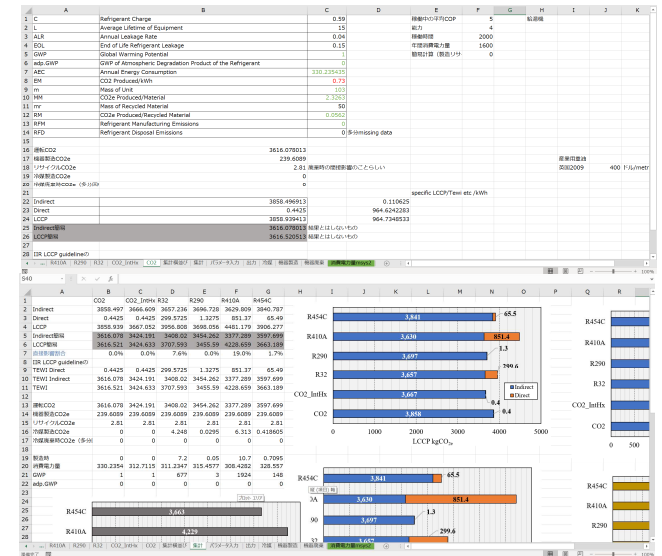
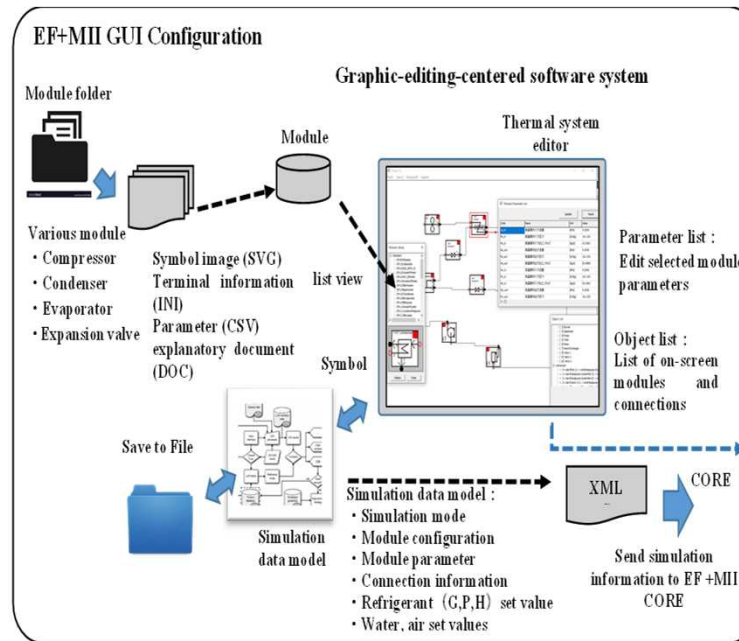
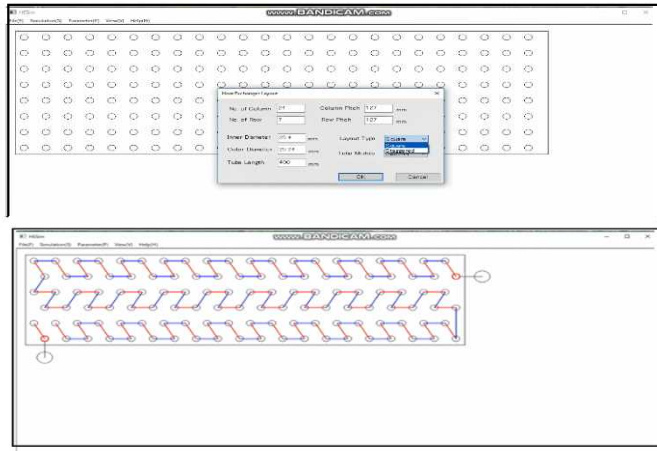
■ R22 ■ R290 ■ R454C

■ R22 ■ R290 ■ R454C

各テーマの実施内容および成果と意義

(i) 理論データ取得基盤構築～システムシミュレーター開発

数理モデルを構築するとともに、それに基づいた熱交換器シミュレーター、サイクルシミュレーター、LCCPシミュレーターを開発し、これらを使って解析を実施



熱交換器シミュレーター

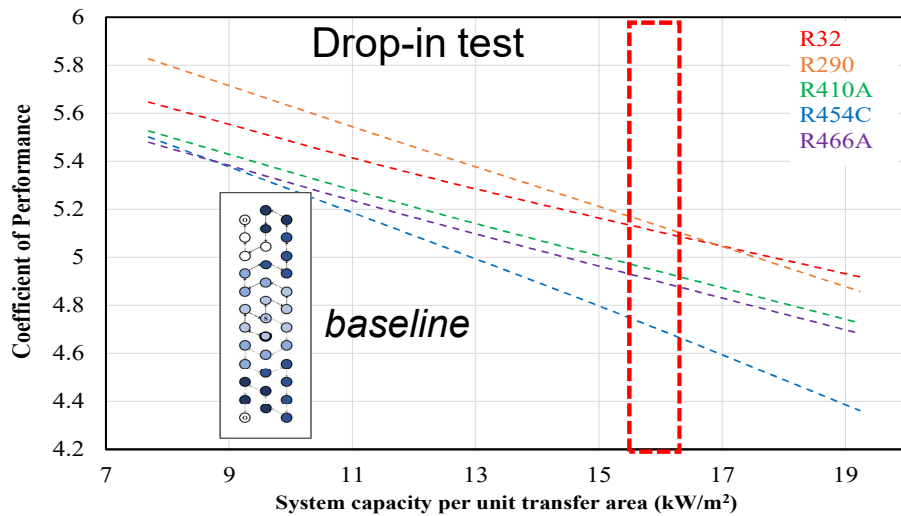
サイクルシミュレーター

LCCPシミュレーター

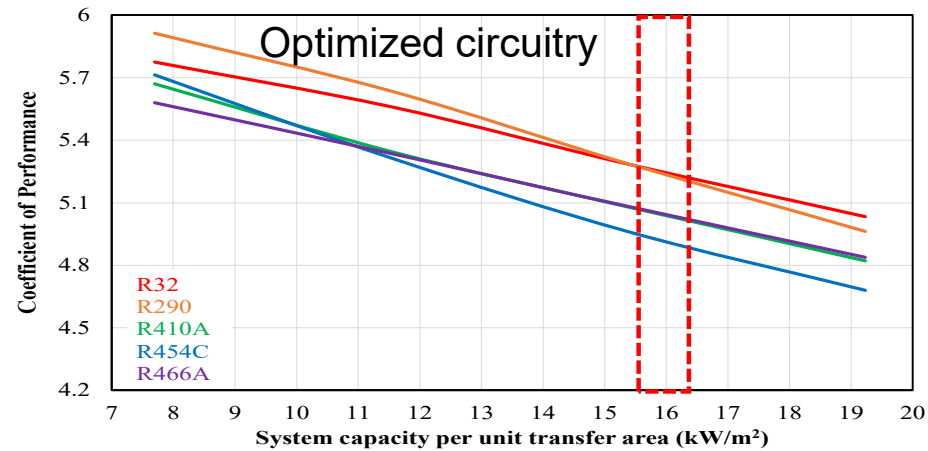
令和4年度科学技術分野 科学技術賞（研究部門） 文部科学大臣表彰
 「回路論的視点に基づく熱システムの統一解析論に関する研究」

各テーマの実施内容および成果と意義

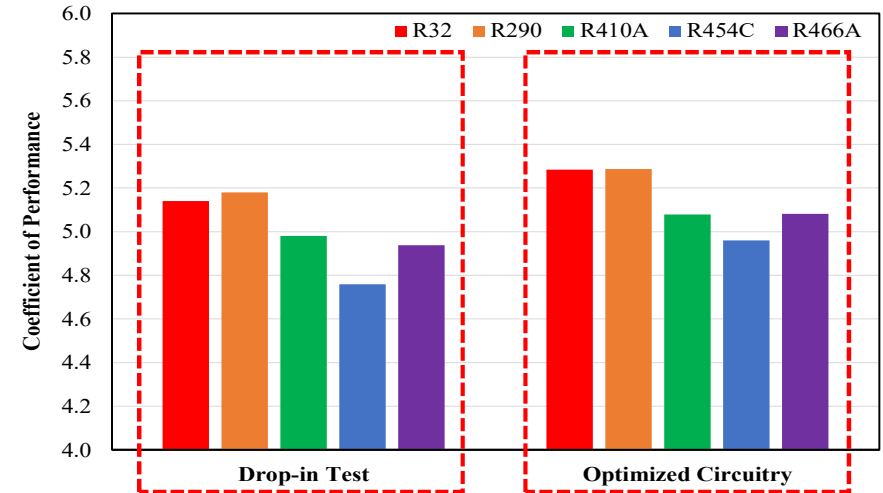
(ii) 理論データ取得及び評価～熱交換器の性能評価と最適化解析



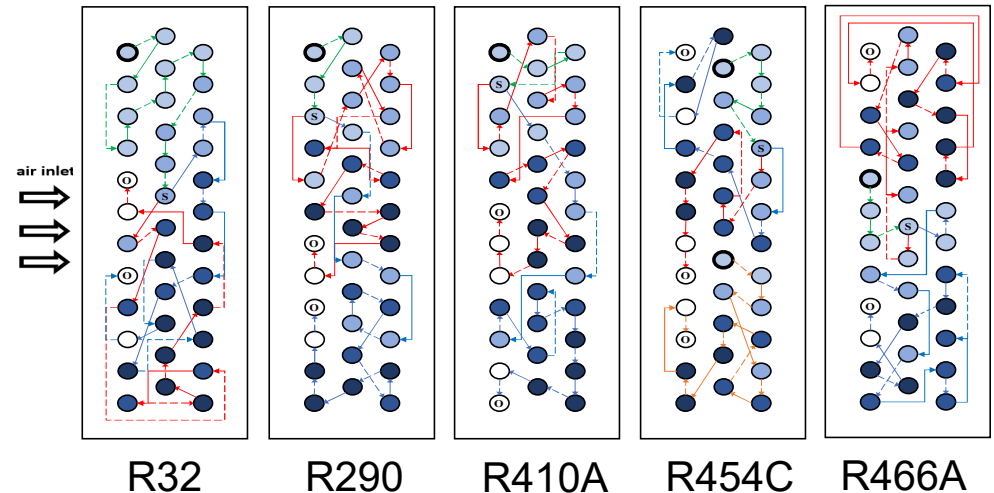
Drop-in test simulation in a typical serpentine circuitry



Refrigerant performance in optimized circuitry



冷媒ごとに熱交換器を最適化することでCOPが向上



各テーマの実施内容および成果と意義

(ii) 理論データ取得及び評価～サイクルシミュレーターによる解析

解析例(R32とR454Cの性能比較)

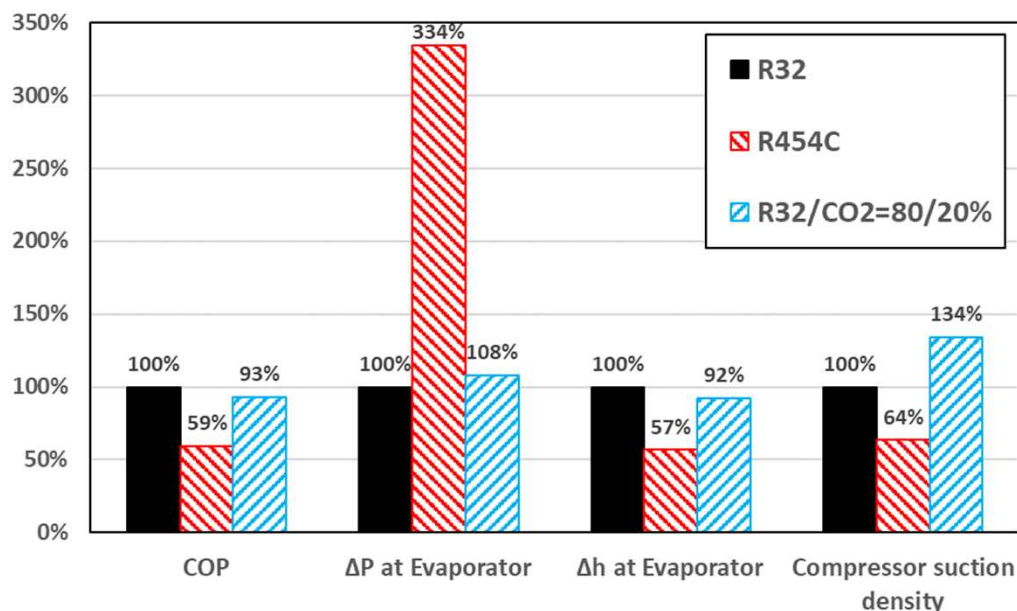


Fig. Comparison of performance (2.5kW, 100% of rated cooling capacity)

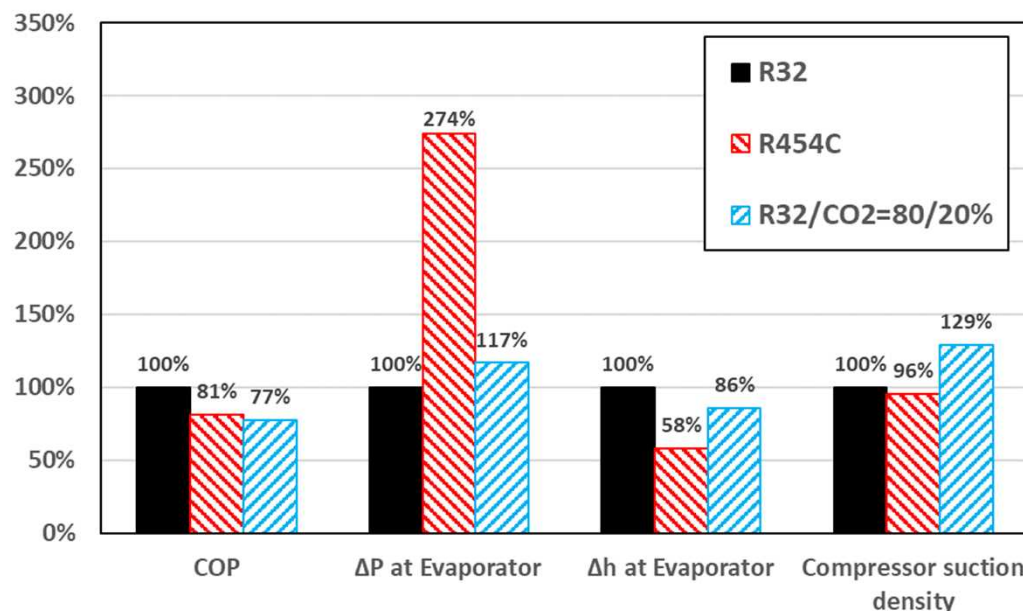


Fig. Comparison of performance (1.25kW, 50% of rated cooling capacity)

2022年度日本冷凍空調学会年次大会の講演において優秀講演賞を受賞

各テーマの実施内容および成果と意義

(ii) 理論データ取得及び評価～各地におけるLCCP評価

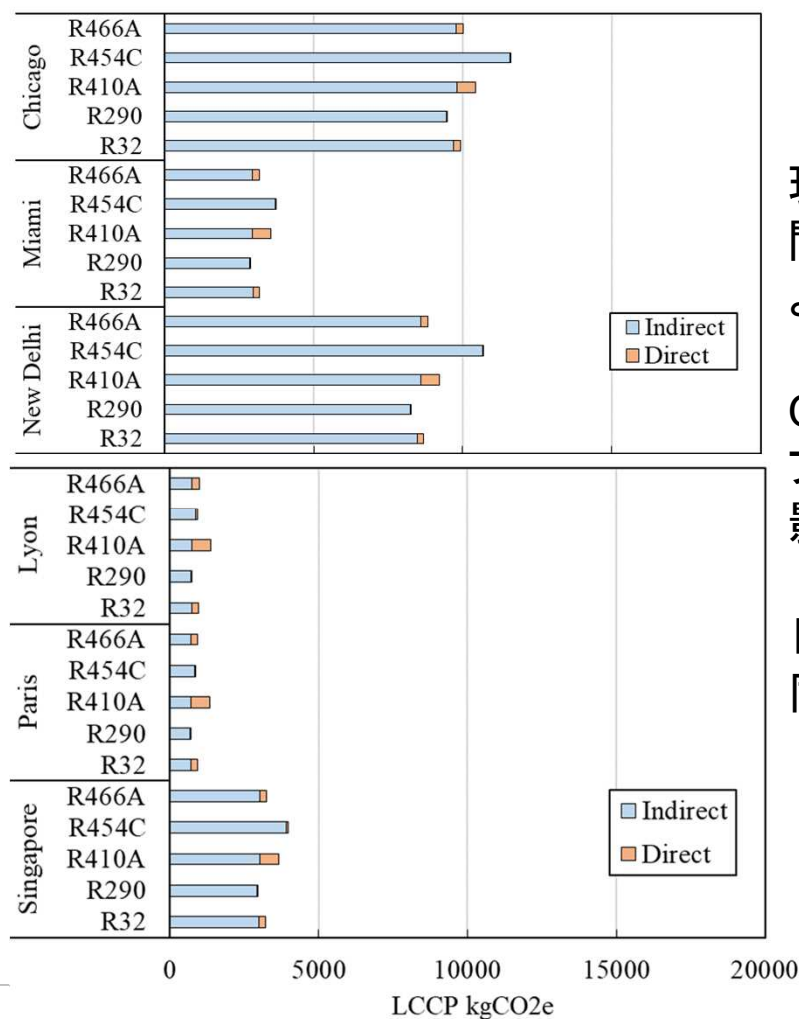
世界各地での解析結果

計算条件

項目	
冷房負荷	JIS C9612:2013 付属書Bに準拠
暖房負荷	JIS C9612:2013 付属書Bに準拠
外気温度	気象庁の1時間間隔データ
稼働時間帯	6時～24時
定格冷房能力	2.2k W
凝縮温度-空気入口温度	定格条件で10℃, 温度差5℃以上の場合負荷に比例, 最小の温度差5℃
空気入口温度-蒸発温度	温度差5℃
凝縮器出口過冷却度	5℃
蒸発器出口過熱度	5℃
断熱効率	0.7
圧縮機総合効率/断熱効率	0.95
補機類消費電力	運転時0.05kW

Country	CO ₂ emission factor kgCO ₂ e/kWh
India	0.962
U.S.A	0.497
Singapore	0.418
France	0.069

LCCP評価結果



現状日本では, 運転により間接的に排出されるCO₂による温暖化効果が大.

CO₂排出量原単位が小さいフランスなどでは, 冷媒の影響大

日本でも脱炭素化が進むと同様の状況となる

社会実装(実用化・規格化等)達成に向けた戦略・具体的取組

国際標準化・規格化へ向けた取り組み

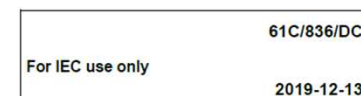
冷媒充填量規制緩和への活用

日冷工冷媒評価WGより

大型の内蔵ショーケースに必要な冷媒量をA2Lでも賄えない状況だった。そこで、1.2kgの制限を外し、冷媒種によらず、LFLの13倍まで冷媒を充填できるようにするよう、日本からIECに提案した。

R454C等の幾つかのA2L冷媒の必要冷媒量を早稲田大学のシミュレータによって解析し、R290の約2倍の冷媒量があれば同等能力が確保できることを明らかにした。

日本からの働きかけによって、2023年に発行されるIEC 60335-2-89の次の版では、冷媒種によらずLFLの13倍の冷媒量まで充填してよい規定にすることが決定。



INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
TECHNICAL COMMITTEE NO. 61: SAFETY OF HOUSEHOLD AND SIMILAR ELECTRICAL APPLIANCE

SUBCOMMITTEE 61C: SAFETY OF REFRIGERATION APPLIANCES FOR HOUSEHOLD AND COMMERCIAL USE

Proposal of Japanese NC to IEC 60335-2-89: "Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor" – Refrigerant Charge

Comments / proposals should be submitted using the IEC Electronic voting system by the National Committees by 2020-02-21.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

Introduction:

Note of secretary: This DC combined together with the others DCs listed in the SC61C agenda for London 2020 initiate the formal revision of IEC 60335-2-89. National Committees are requested to provide their support for this revision. A Review Report will follow.

According to the clause 22.110, it is able to charge up to 13 times the LFL for A3 refrigerants within a refrigerating circuit, but it is able to charge only up to 1,2 kg for A2L refrigerants, which is about 4 times the LFL of A2L refrigerant, consequently, because of the requirements "13 x LFL or 1.2 kg whichever is smaller. A2L refrigerants have higher LFL and lower flammability than A2 and A3 refrigerants. According to IEC 60335-2-40, A2 and A3 refrigerants are allowed to charge up to 26 times the LFL and A2L refrigerants up to 52 times the LFL, A2L refrigerant is larger than the A3 refrigerant in the multiple of the LFL that defines the refrigerant charge. Therefore, in order to make it easier to use A2L refrigerant in the refrigerant unit, the multiple of A2L refrigerant to LFL should be at least the same multiple as A3 refrigerant and it is necessary to be able to charge the refrigerant up to the same multiple of the refrigerant charge as the LFL regardless of the flammability of the refrigerant.

Proposal:

22 Construction

Delete the provision about the maximum refrigerant charge of 1,2 kg to A2L, and change the first sentence of 22.110 as follows.

- 1 22.110 The refrigerant charge of flammable refrigerant in appliances with an incorporated refrigerant
- 2 unit or motor-compressor shall not exceed 13 times the LFL of the flammable refrigerant in any
- 3 refrigerating circuit. However, the refrigerant charge for A2 and A3 shall be less than 1,2 kg, whichever
- 4 is smaller.

社会実装(実用化・規格化等) 目標の達成見込み

負荷試験法に関するISO公式会議への参画

(ISO / TC86 / SC6 / TG13 / Informal group for Load-based test method)

すでに本学から2回の発表を行った。

参画組織

CSA, BAM, Purdue Univ. KRAAC,

エミュレーター一式が負荷試験の国際標準化に向けて認知されつつあり、これが主流になる



ISO/TC 86/SC 6/TG 13

ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Discussions on the Guests' Presentations
N 22

- TG13 3rd meeting on June 29th, 2021
- 1. **NEDO project at Waseda University (Prof. Kiyoshi Saito)**
 - There is a reason why Prof. Saito is invited to this MT. Waseda's method allows to realize load-based test and it can emulate the heat load in the room. Furthermore, the method is carried out in an air enthalpy chamber, which most of the larger unit is tested. It enables many kinds of unit to be tested with lower cost since the cost to build an air enthalpy chamber is lower than a calorimeter chamber. (Osami)
 - I understand that mathematical model of room emulator is very important. However, there are many types of buildings and rooms, which are very different. How the emulator applies to those different buildings and rooms? (Jun)
 - Buildings in each country are completely different, however we can easily change the emulator according to such as building size, conditions, and climate. In my opinion, simple emulator should be used for standardization in order to make people understand easily. (Kiyoshi Saito)
 - A calorimeter chamber has much larger heat capacity because air flow has to be very high in the room and wall has larger impact than an actual room. Heat capacity can be bigger than actual room. In order to cancel this effect, this emulator can work as if the room is small and we can evaluate the control of the unit. This emulator is necessary to see the actual reaction of the ACs. (Osami)
 - I have a question on thermal capacitance that vary from laboratory to laboratory. What are the effects of the walls and thermal capacity of the test chamber? (Rusty)
 - The point is room emulator compensate everything like the time delay of the test chambers, and cancel everything such as thermal capacity of the test facility. Since we are still under the investigation, there are some time delay for a measurement chamber and a condition generator, however they are very small. The room emulator can cancel the unique conditions or characteristics of the test facility. (Kiyoshi Saito)
 - What is the difference between BAM's method and Waseda's method? (Michele)
 - The most important difference might be Waseda's method considers not only building load but also thermal capacity. Even though a test facility is changed, you can obtain completely reproducible result. Building load and capacity are measured virtually with the Emulator. (Kiyoshi Saito)



ISO/TC 86/SC 6/TG 13

"Load-based test method" informal meeting
Meeting minutes of the 3rd meeting in Zoom (2022-04-12)

Attendees:	Name
Organization	Warren STEM
USA, Cadeo group	Xudong WANG
USA, AHRI	Chris STONE
USA, AHRI	Bruce HARLEY
Canada, CSA	Charlie STEPHENS
Canada, CSA	Kiyoshi SAITO
Japan, Waseda University	Niccolo GIANNETTI
Japan, Waseda University	Andre WACHAU
Germany, BAM	Jim BRAUN
USA, Purdue University	Parveen DHILLON
USA, Purdue University	Matthias MEIER
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Convenor	Eri UENO
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Secretary	Drake ERBE
ISO/TC 86 Chair	Nao YANAGAWA
ISO/TC 86/SC 6 Secretary Support	Kanna UEYAMA
ISO/TC 86/SC 6 Secretary Support	Osami KATAOKA
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Hideaki KASAHARA
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Laure MELJAC
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Els BAERT
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Yang CAO
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Allen KIRKWOOD
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Kevin MCFADDEN
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Alfredo OLIVEIRA
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Jyotirmay MATHUR
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Andreas ZOTTI
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Jun-Young CHOI
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Jin DONGSIK
France,	Christophe FRAYSSE
USA, Intertek	Byron HORAK
Belgium, proxy of TG 13 Member	Charlotte LOT
Australia	Satya MAVURI



ISO/TC 86/SC 6/TG 13

"Load-based test method" informal meeting
Meeting minutes of the 4th meeting in Zoom (2022-06-08)

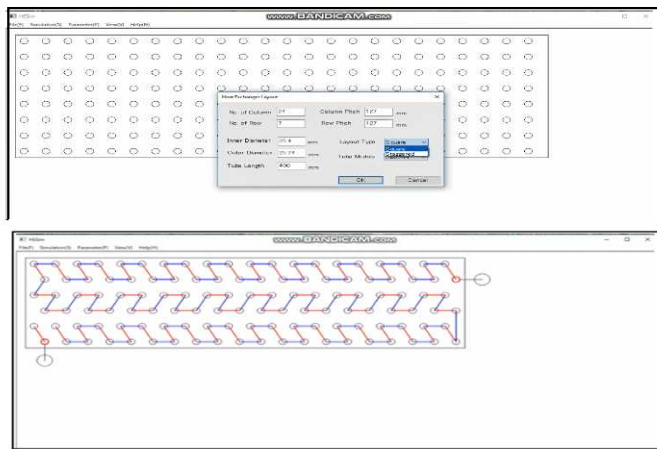
Attendees:	Name
Organization	Rick HUDDLE
USA, Cadeo group	Warren Mike STEM
USA, Cadeo group	Xudong WANG
USA, AHRI	Parveen DHILLON
USA, Purdue University	Satya MAVURI
Australia, Rinnai	Bruce HARLEY
Canada, CSA	Christopher DYMOND
Canada, CSA	Charlie STEPHENS
Canada, CSA	Gary HARMER
Canada, CSA	Christophe FRAYSSE
France, Carrier	Daniel MOCK
Germany, BAM	Ingo SELIGER
Germany, Viessmann	Khushbu Jyotsna KINDO
India, BIS	Kiyoshi SAITO
Japan, Waseda University	Niccolo GIANNETTI
Japan, Waseda University	Naohiko ISHIBASHI
Japan, JISC	Parveen DHILLON
USA, Purdue University	Matthias MEIER
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Convenor	Nao YANAGAWA
ISO/TC 86/SC 6 Secretary Support	Kanna UEYAMA
ISO/TC 86/SC 6 Secretary Support	Fumika MASUDA
ISO/TC 86/SC 6 Secretary Support	Hirono TSUTAMOTO
ISO/TC 86/SC 6 Secretary Support	Osami KATAOKA
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Hideaki KASAHARA
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Els BAERT
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Yang CAO
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Allen Chad KIRKWOOD
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Gary KNOX
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Kevin MCFADDEN
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Andre WACHAU
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Alfredo OLIVEIRA
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Seung-Kap LEE
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Henk KRANENBERG
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Jyotirmay MATHUR
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Andreas ZOTTI
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Jun-Young CHOI
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Bimal TANDON
ISO/TC 86/SC 6/TG 13 Member	Dongsik JIN

社会実装(実用化・規格化等) 目標の達成見込み

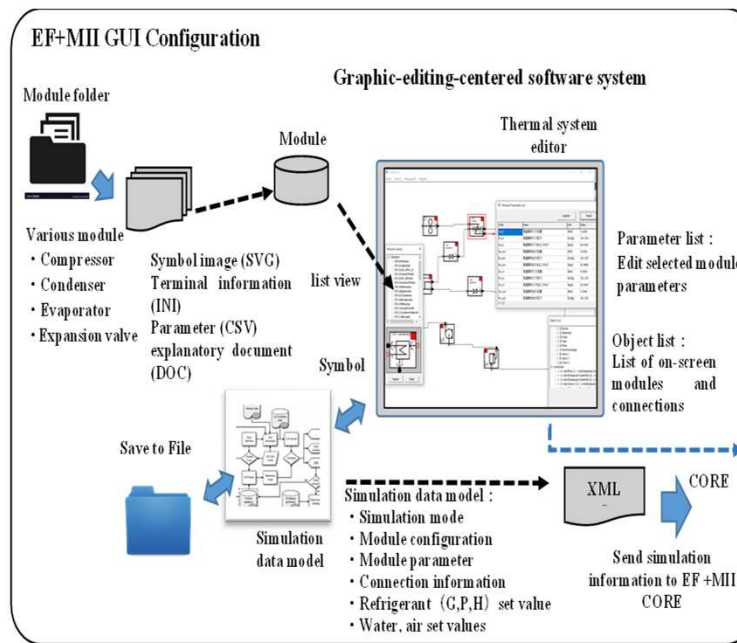
開発した3つのシミュレーターの日本冷凍空調工業会における「標準コード化(標準解析ツールとして採用)」により、冷凍空調機器メーカーにおける各種機器(冷凍機、パッケージエアコン、ルームエアコン、マルチエアコン等)の低GWP化の機器の開発促進

各種次世代冷媒機器の性能分析結果の国際提案

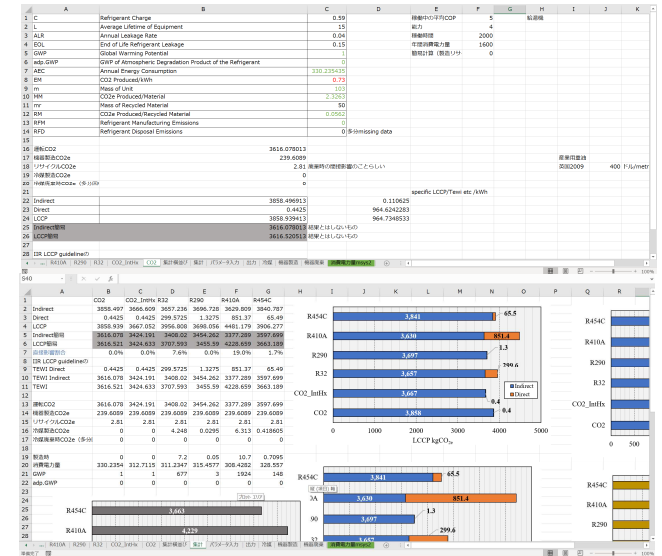
開発したLCCPシミュレーターを用いたライフサイクル評価結果の国際提案



熱交換器シミュレーター



サイクルシミュレーター



LCCPシミュレーター

特許・論文リスト(特許出願及び論文発表等)

論文発表および受賞実績

年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	計
査読付き論文			2	2	4	2	10
研究発表・講演		3	8	15	13	5	44
受賞実績					7		7
合計		3	10	17	24	7	61

特許・論文リスト(特許出願及び論文発表等)

受賞内容

	受賞名	タイトル
1	令和4年度科学技術分野 科学技術賞(研究部門) 文部科学大臣表彰	回路論的視点に基づく熱システムの統一解析論に関する研究
2	日本冷凍空調学会 優秀講演賞	ルームエアコンの起動運転時における運転制御の検討
3	日本冷凍空調学会 会長奨励賞	分子振動解析を用いた R32 および R1123 の理想・気体比熱推算
4	空気調和・衛生工学会 優秀講演奨励賞	エミュレーター式性能評価装置を用いた空調機の動的性能評価
5	日本冷凍空調学会 学術賞	遺伝的冷媒流路生成アルゴリズムを用いた熱交換器の最適化に関する研究
6	Asia's Science, Technology and Research Awards 2023	Outstanding Researcher Award
7	日本学術振興会	日本学術振興会賞 令和5年度受賞ノミネート中 (受賞発表2023年12月)

Appendix

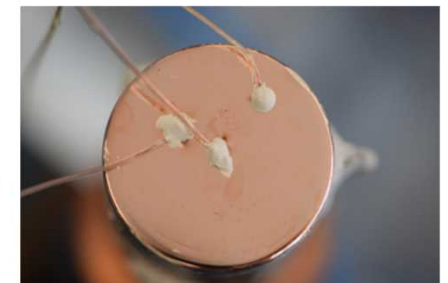
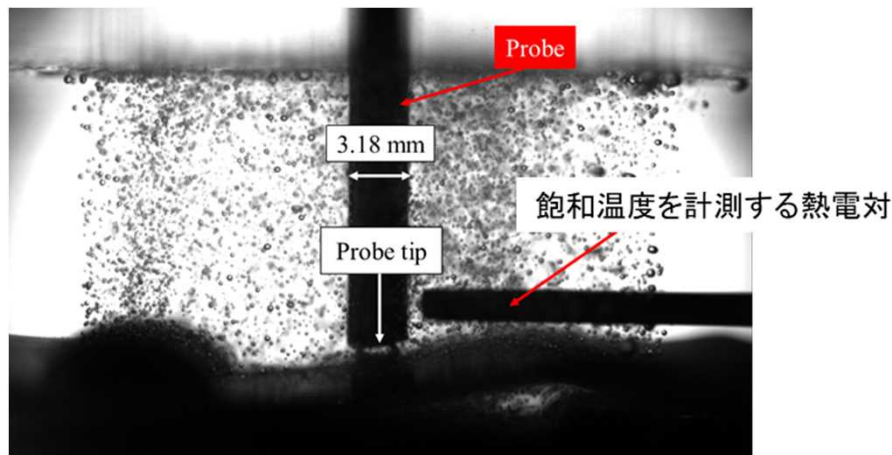
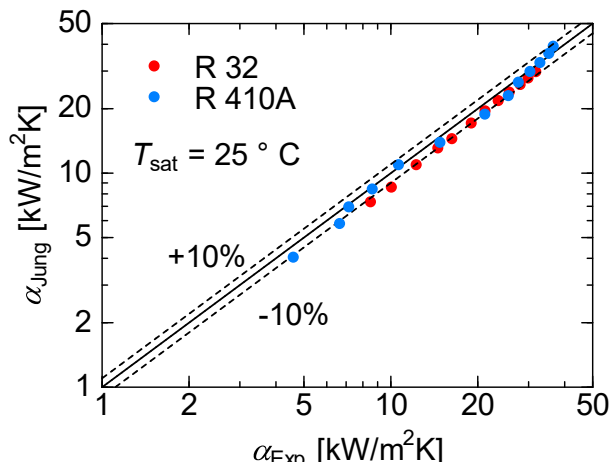
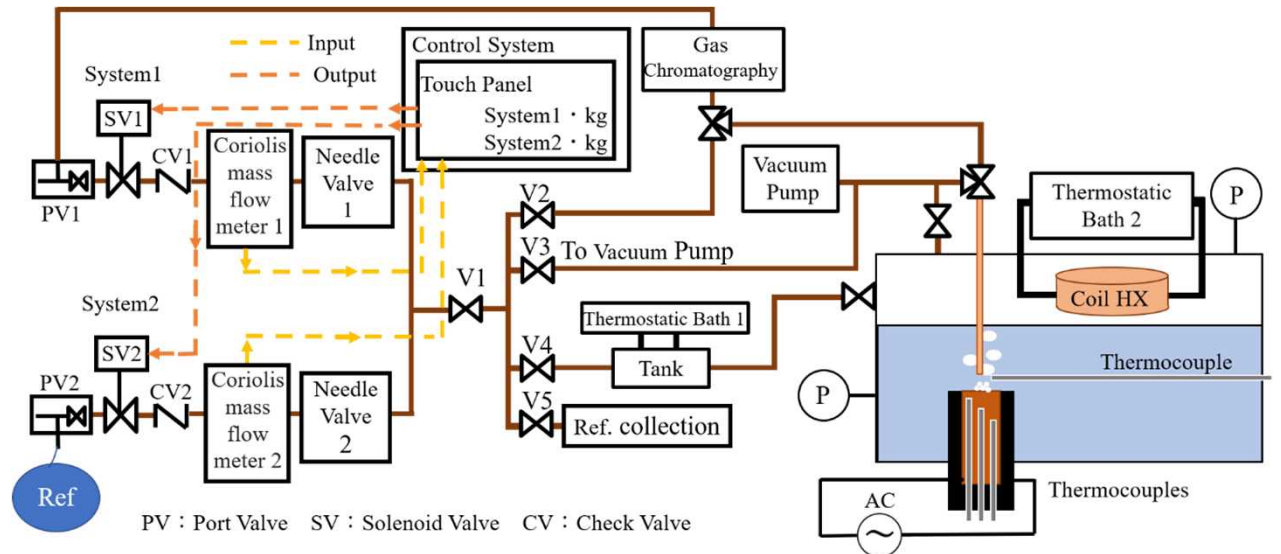
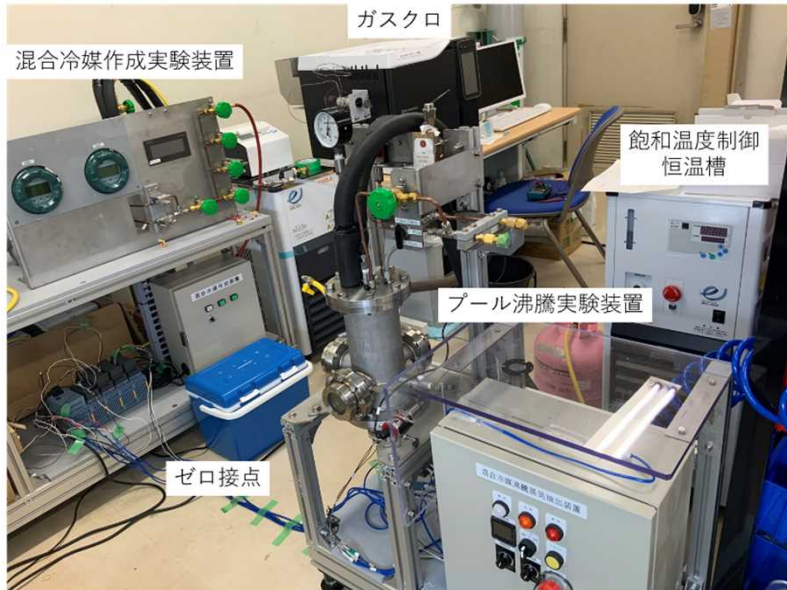
研究開発のスケジュール

各研究項目の研究スケジュールは下表のとおりであり、このスケジュールに沿って研究は進められた。

大項目	小項目	明細	担当機関	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
1. 性能解析技術研究開発	1-1 モデリング, 性能解析	熱交換器	早稲田+電通大					
		圧縮機	早稲田					
		膨張弁	早稲田+電通大					
		システム	早稲田					
	1-2 現象究明実験	混合冷媒評価 冷媒充填	電通大 早稲田					
	1-3 各種冷媒を用いた機器の 数値解析, 実運転データの 取得とモデルの妥当性 検証	熱交換器 システム定常 システム非定常	早稲田+電通大 早稲田 早稲田					
2. 性能評価技術研究開発	2-1 数理的性能 評価手法開発	熱交換器 システム	早稲田+電通大 早稲田+電通大					
	2-2 性能評価装置開発		早稲田					
	2-3 評価手法の 妥当性検証	熱交換器 エアコン ショーケース	早稲田 早稲田 早稲田					
3. シミュレーター開発と その活用	3-1 熱交換器		早稲田					
	3-2 システム		早稲田					
	3-3 年間性能, LCCP, システ ムシミュレーターの改良		早稲田					

各テーマの実施内容および成果と意義

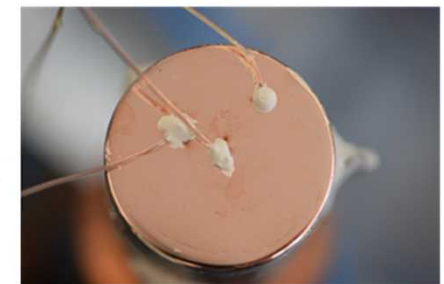
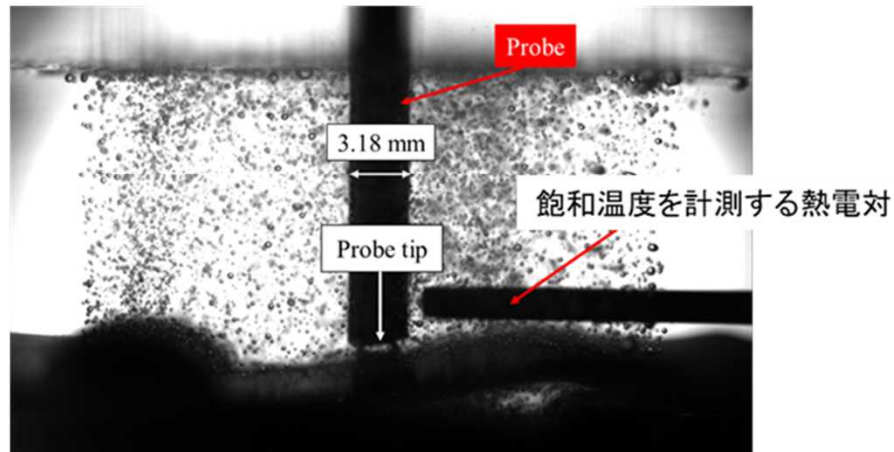
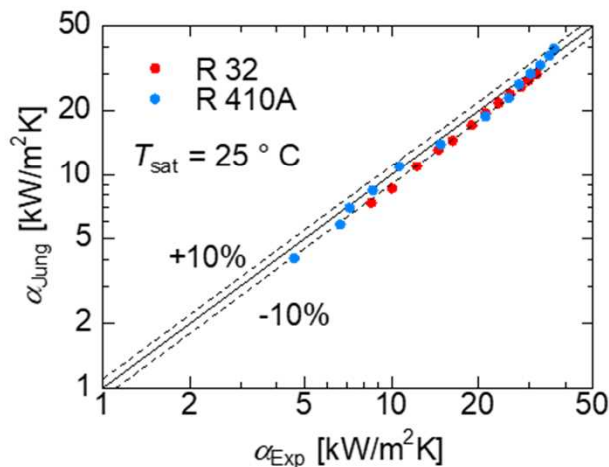
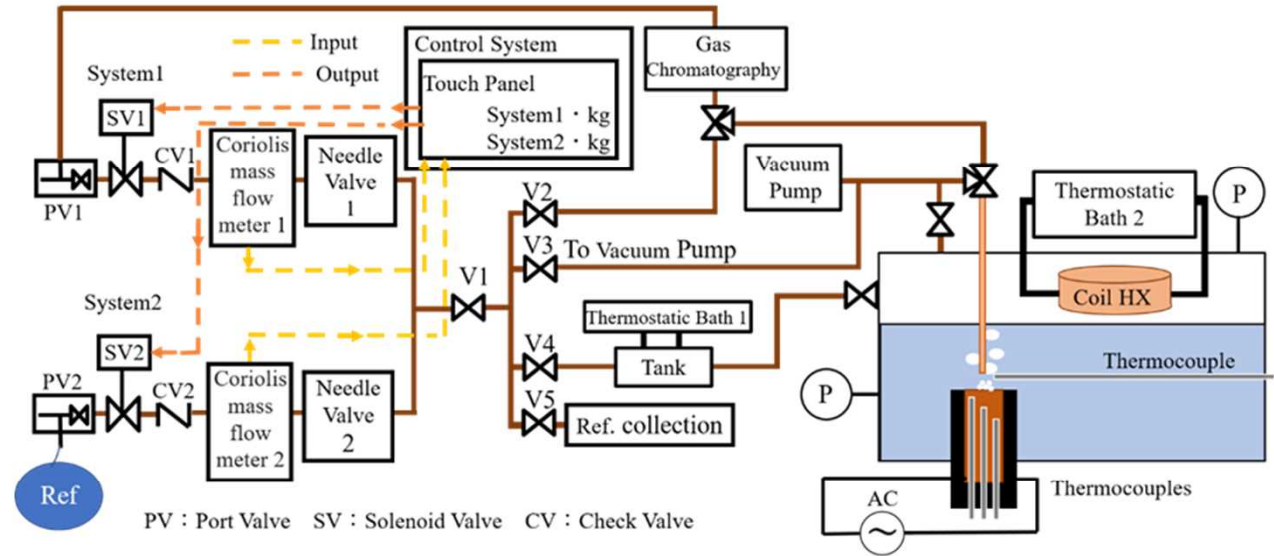
(i) 実験データ取得基盤の構築～混合冷媒伝熱性能評価装置の開発



素線径0.08mmのK型熱電対を直接伝熱面へスポット溶接 (測定誤差±0.05K以内)

各テーマの実施内容および成果と意義

(i) 実験データ取得基盤の構築～混合冷媒伝熱性能評価装置の開発



素線径0.08mmのK型熱電対を直接伝熱面へスポット溶接 (測定誤差±0.05K以内)

各テーマの実施内容および成果と意義

(ii) 実験データ取得及び評価～膨張弁の実験データと妥当性検証

本研究では、ヒートポンプの、起動や停止、断続運転などの複雑な運転条件を含めた条件下で、制御検討などが可能な数理モデルの構築

Inlet pressure	kPa	3000
Inlet subcool	K	3
Outlet pressure	kPa	1200 – 2800
Valve opening	%	14, 20, 30

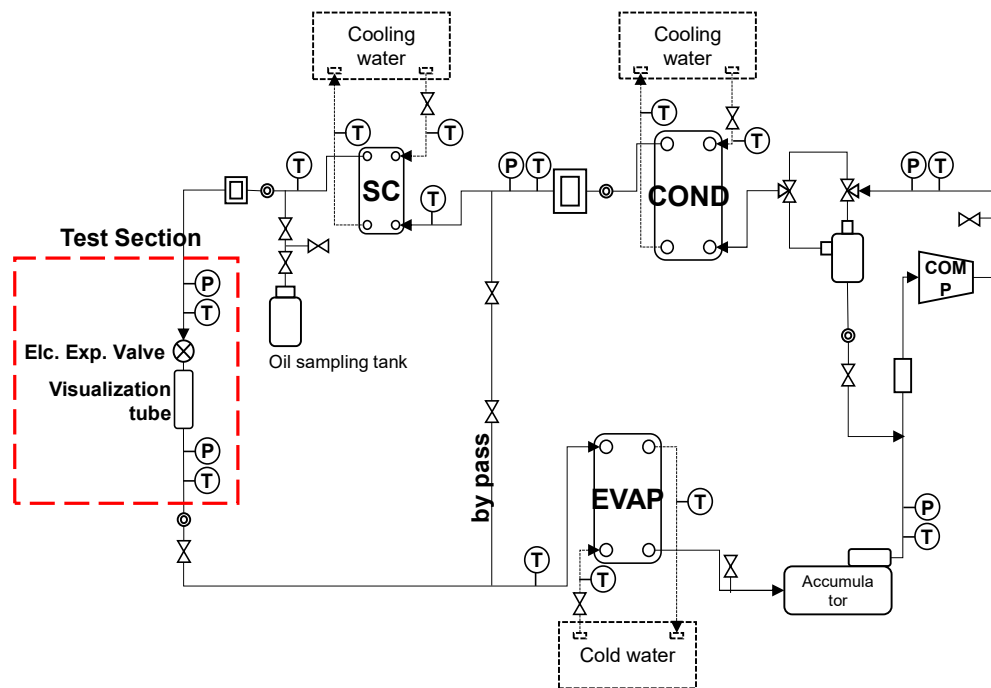
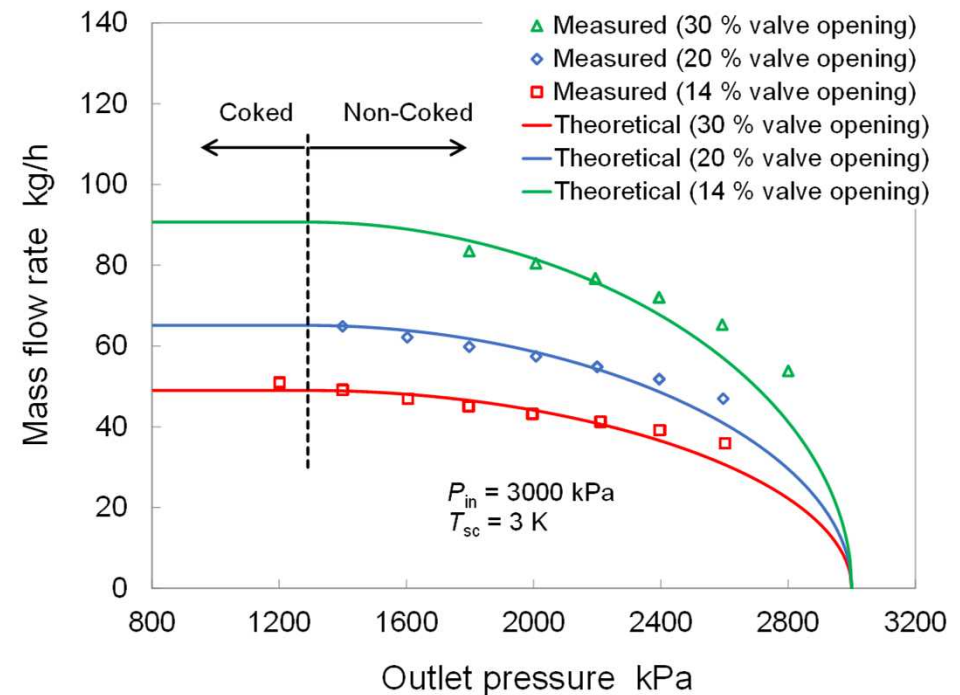
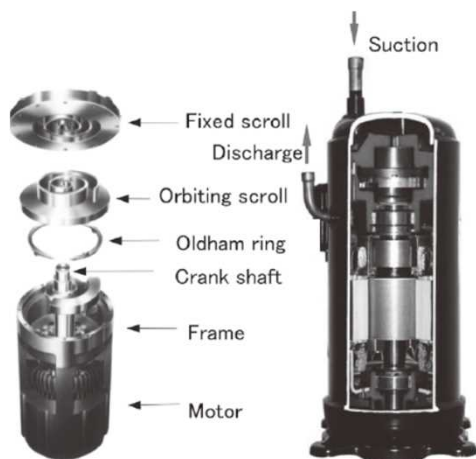


図 実験装置のフロー

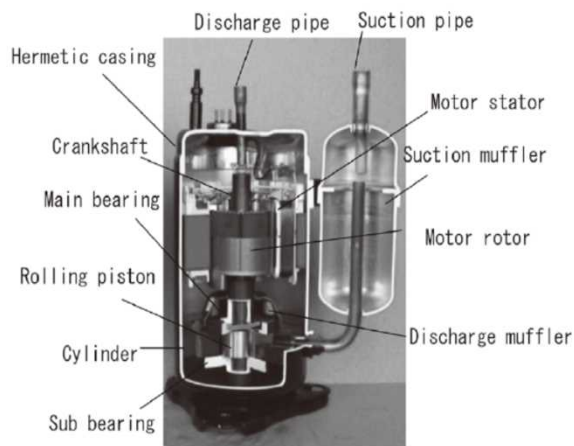


各テーマの実施内容および成果と意義

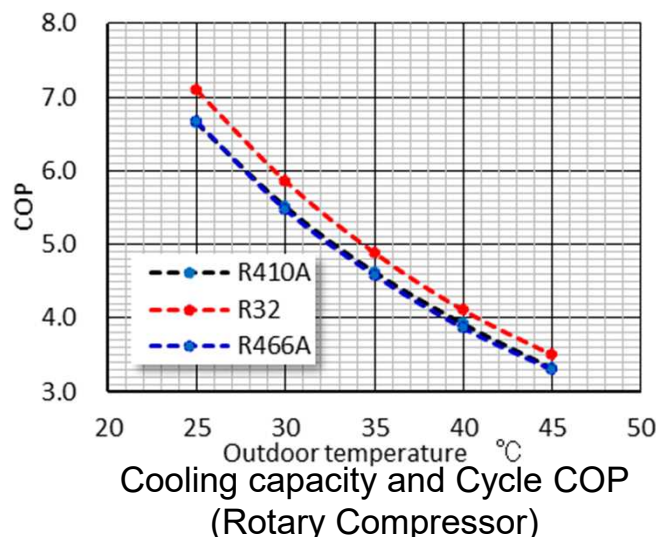
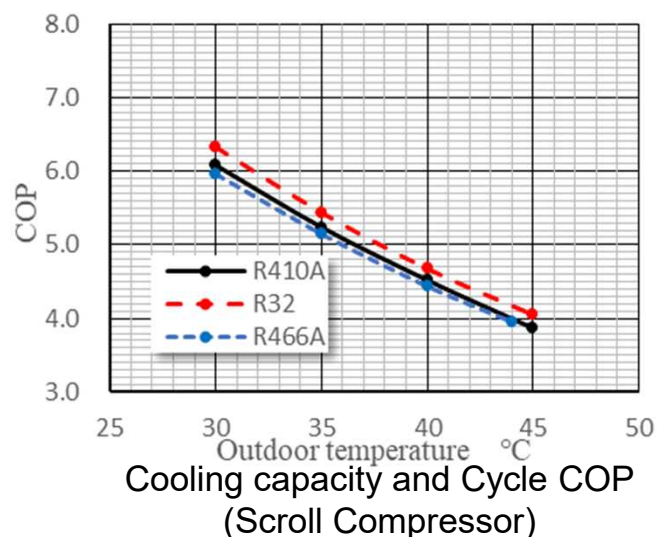
(ii) 実験データ取得及び評価～圧縮機の実験データと妥当性検証



Scroll compressor



Rotary compressor

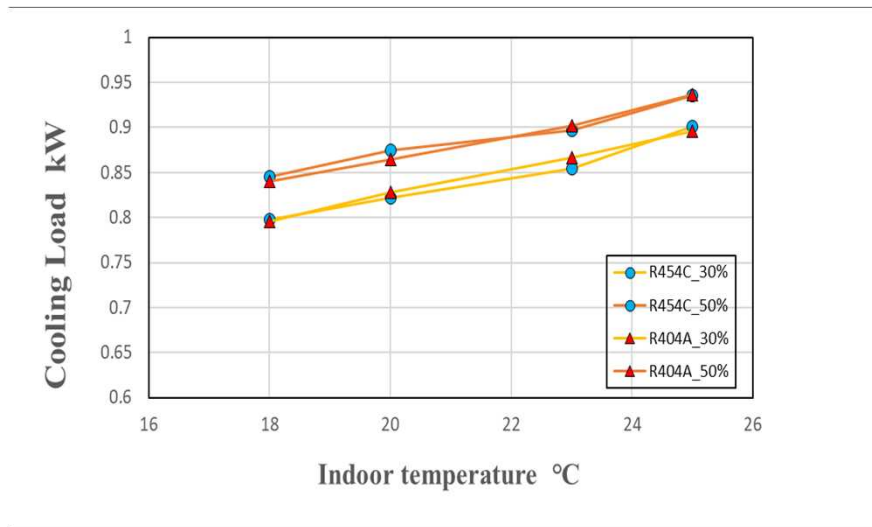


[実験データによる評価]
 R410A、R32を用いた実験を行いシミュレーションモデルの妥当性を検証し、より実際に近い冷媒の性状を踏まえたサイクル特性評価を可能とした。
 冷凍冷蔵分野への展開が期待できる

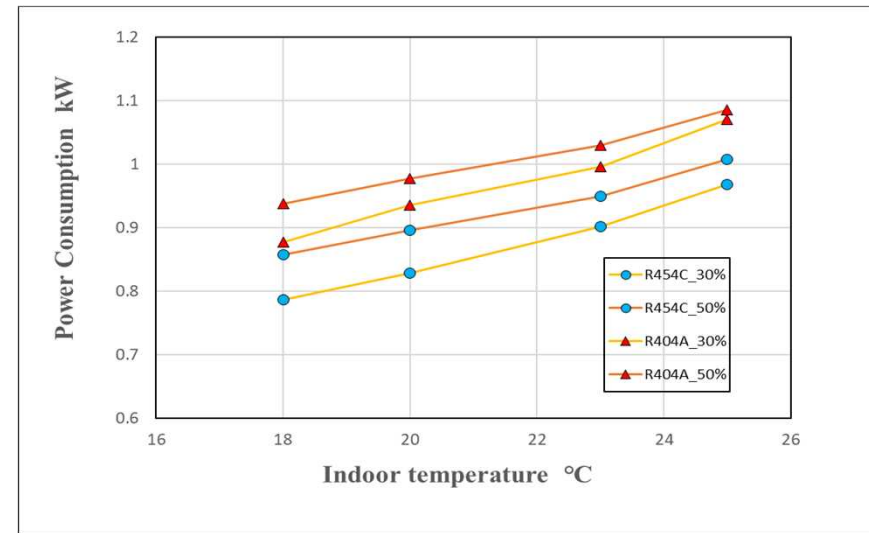
各テーマの実施内容および成果と意義

(ii) 実験データ取得及び評価～次世代冷媒導入機の性能試験(ショーケース)

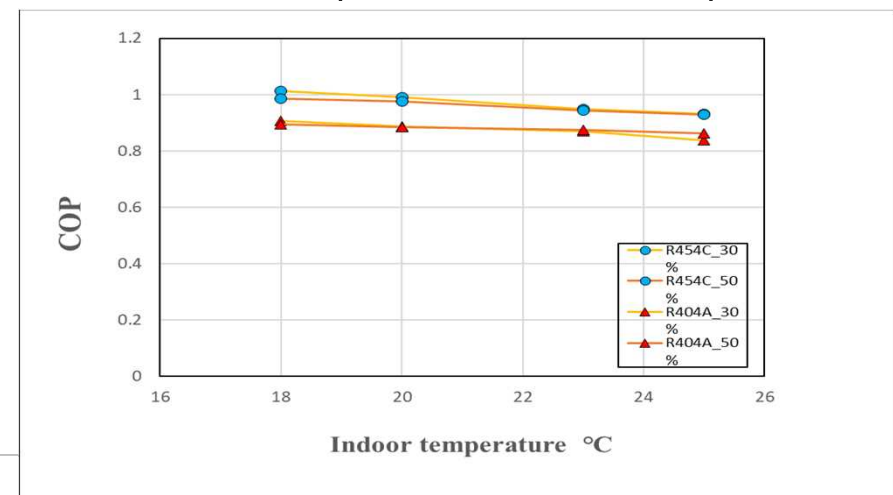
冷凍負荷(R404A, R454C)



消費電力量(R404A, R454C)



COP(R404A, R454C)



試験条件

試験室周囲温度：18～25°C
庫内温度：-18°C



プロジェクトの詳細(公開)

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」

2018年度～2022年度 5年間

国立大学法人 東京大学

【再委託先】

国立大学法人 静岡大学

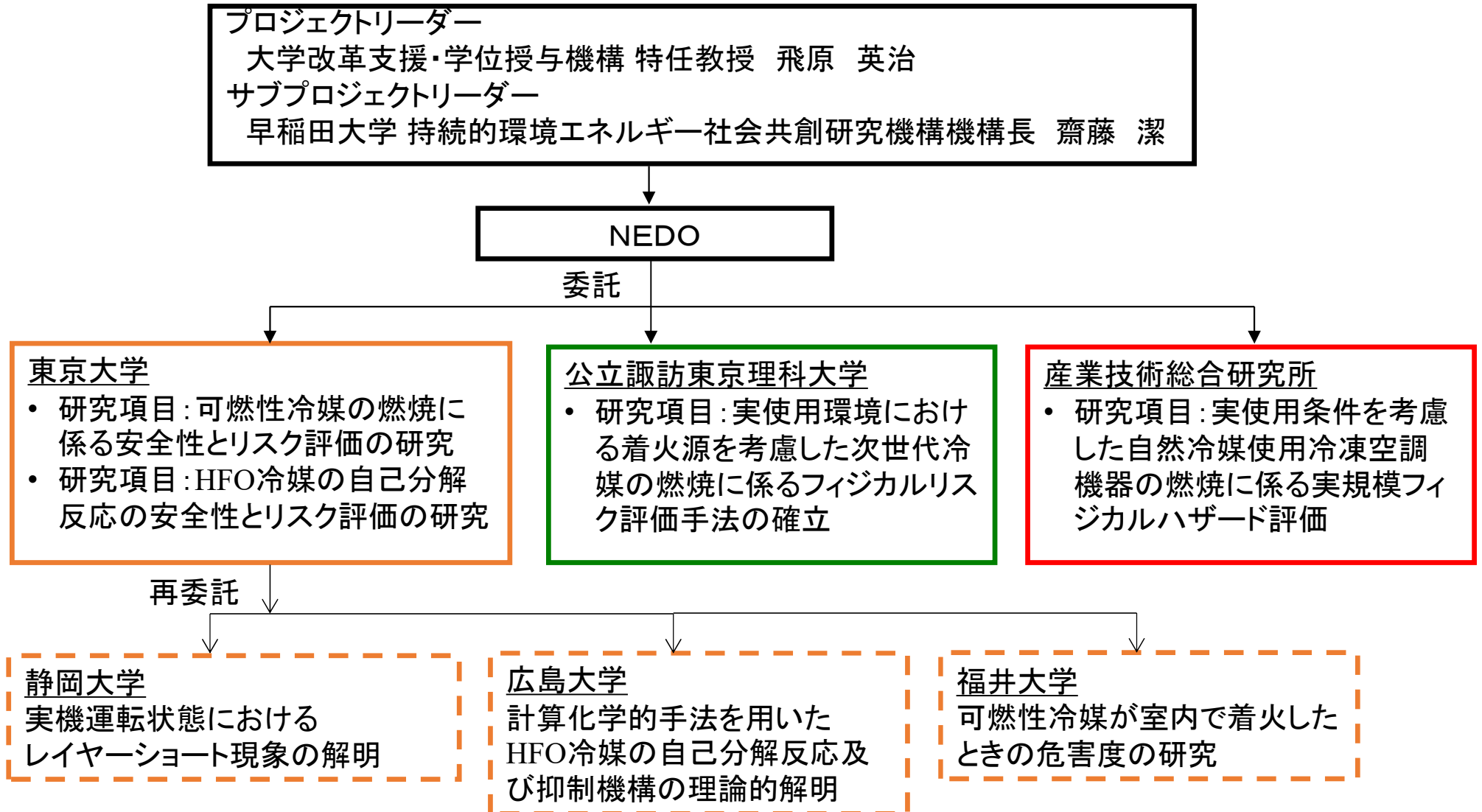
国立大学法人 広島大学

国立大学法人 福井大学

公立大学法人 公立諏訪東京理科大学

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

実施体制



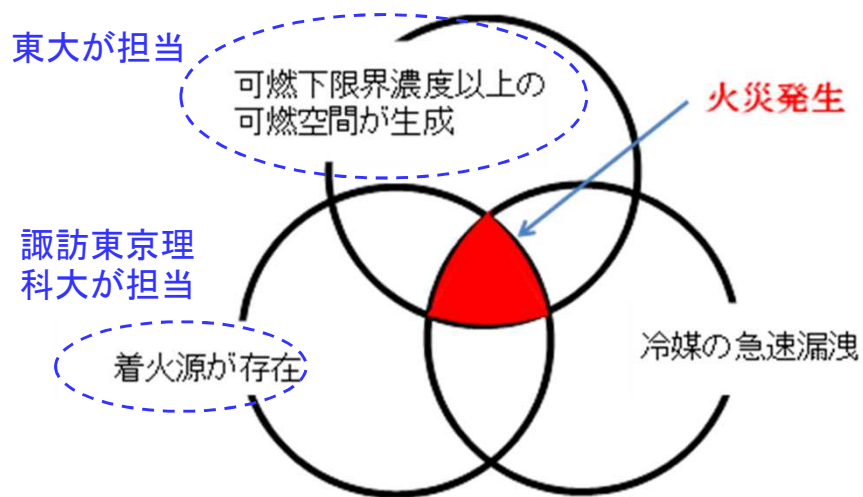
社会実装(実用化・規格化等)の目標の設定及び根拠

【強燃性冷媒のリスク評価の目標】

3機関連携による強燃性冷媒(R290)の燃烧事故に関するリスク評価研究

実用化・規格化のために対象とする国際規格、国内規格

- ルームエアコン: IEC 60335-2-40、冷凍冷蔵機器: IEC 60335-2-89
- 冷媒の安定性(自己分解反応): ISO 817
- ルームエアコンの性能評価法: JIS C 9612



R290が室内に漏洩したときの火災事故が発生する要因

発生 頻度	5	(件/台・年) 10 ⁻⁴ 超	頻発する	C	B3	A1	A2	A3
	4	10 ⁻⁴ 以下 ~10 ⁻⁵	しばしば発生する	C	B2	B3	A1	A2
	3	10 ⁻⁵ 以下 ~10 ⁻⁶	時々発生する	C	B1	B2	B3	A1
	2	10 ⁻⁶ 以下 ~10 ⁻⁷	起りそうにない	C	C	B1	B2	B3
	1	10 ⁻⁷ 以下 ~10 ⁻⁸	まず起りえない	C	C	C	B1	B2
	0	10 ⁻⁸ 以下	考えられない	C	C	C	C	C
				無傷	軽微	中程度	重大	致命的
				なし	軽傷	通院加療	重傷 入院治療	死亡
				なし	製品発煙	製品発火 製品焼損	火災 (周辺焼損)	火災 (建物延焼)
				0	I	II	III	IV

産総研が担当

危害の程度

R290が室内に漏洩したときの火災リスクマップ

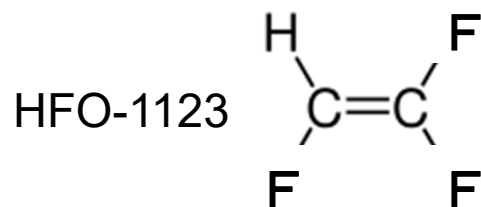
社会実装(実用化・規格化等)の目標の設定及び根拠

国産冷媒の開発のための安全性評価手法の研究

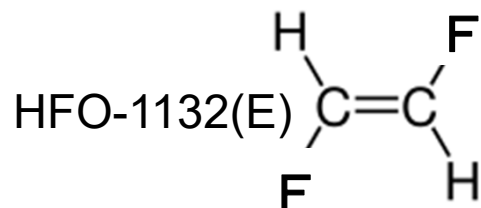
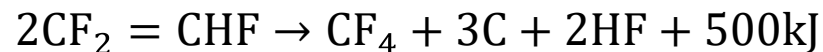
- 新規開発されたルームエアコン用冷媒HFO-1123、HFO-1132(E)は有望な国産冷媒
- 高温、高圧条件で放電が起これば、自己分解反応(不均化反応)を起こし、事故を引き起こす⇒自己分解反応を抑制する手法の開発が必須

新規冷媒を用いたルームエアコンの性能評価法の研究

- JISで採用されている性能評価法が国際的に批判されている。
- 使用実態に近い性能評価法を提案する必要がある。



HFO-1123の自己分解反応



テーマ毎の目標と根拠

最終目標(2023年3月)	根拠
<p>① 可燃性冷媒の燃焼に係る安全性とリスク評価の研究(東京大学)</p> <p>1) 可燃性冷媒漏洩時の可燃域生成規模の評価 2) 可燃性冷媒が室内で着火したときの危害度の評価 3) ポンプダウン時のディーゼル爆発の抑制手法の評価</p>	<p>根拠</p> <p>1) 強燃性冷媒の用途として想定される、ルームエアコンや業務用冷凍冷蔵機器から漏洩が生じたときの可燃域の生成の可能性を定量的に評価する必要がある。 2) 強燃性冷媒が室内に漏洩して燃焼するときの危害度が燃焼空間の大きさにより影響を受けるか、実験容器のサイズでの結果が適用できるかの検討を要する。 3) 強燃性冷媒をルームエアコンに充填すると、移設や回収に必要なポンプダウンの作業時にディーゼル爆発が起こりやすくなるのではないかという懸念がある。</p>
<p>② 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)</p> <p>1) 着火源を分類し、分類カテゴリごとに着火源モデルを構築する 2) 次世代冷媒のフィジカルリスク評価のための着火源評価手法を完成させ、国際会議・論文等で発信する</p>	<p>根拠</p> <p>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ことを目指した。このためには実際の事故シナリオに基づく幅広い着火源の着火性評価手法の確立が必要であることから、まずはこれらの着火源を着火類型ごとに分類することとした(左記目標の1))。これをもとに、主として実験によりデータを蓄積することで、評価手法の説得力を担保することとした。得られた成果は査読付きの国際論文や国際会議で発表することにより、アウトプット目標の達成を目指した(左記目標の2))。</p>
<p>③ 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)</p> <p>1)評価実験の漏洩条件をモデル化。2)実在の機器類の点火能評価。3) 4)小流量/急速漏洩の危害度評価を行う。</p>	<p>根拠</p> <p>1)実使用条件に近い、実際に事故として起こり得る漏洩条件で適切に危害度評価を行う。2)漏洩着火事故リスク評価に必要な頻度評価の一部として、実在の機器類が着火源となり得るかを評価する。3) 4)実際に起こり得る事故の危害度を評価し、リスク評価と共に、安全対策の有効性を確認して、より安全な普及に資する。</p>

テーマ毎の目標と根拠

最終目標(2023年3月)	根拠
<p>④ HFO冷媒の自己分解反応の安全性とリスク評価の研究(東京大学)</p> <p>1) HFO冷媒の自己分解反応の安全評価 2) 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 3) 計算化学的手法を用いたHFO冷媒の自己分解反応及び抑制機構の理論的解明</p>	<p>1) HFO1123などは次世代国産冷媒として期待されているが、自己分解性をもっている。抑制技術を確立することが安全性と実用化にとって必須である。 2) 急激な自己分解反応は、圧縮機の故障により内部の圧力と温度が上昇した際に、圧縮機内部の電気系がショートすることで発生する。リスク評価には、圧縮機内でのショートがもたらすエネルギー量と発生確率を知る必要がある。 3) 自己分解反応の抑制手法として他の冷媒との混合が必要であるが、抑制メカニズムの解明による効果的な組成の探索のため、計算化学の手法が有効である。</p>
<p>⑤ 空調機の新性能評価法の開発(東京大学)</p> <p>1) 空気エンタルピー式試験室で負荷試験法を実現する 2) 静的負荷試験法の精度を確認する 3) 動的負荷試験法の問題点を抽出する</p>	<p>1) エアコン機器メーカーなどに広く普及しているエアコンの性能試験室は空気エンタルピー式であり、負荷試験をするのに適していない。試験室の運用ソフトを改良することによって、負荷試験が実施できることを示すことは重要である。 2) 静的負荷試験の精度を試験室の大きさが異なる2機関の試験室を使って検証する。このことによって、負荷試験法の汎用性を確認することができる。 3) ドイツのBAMなどが提案している動的負荷試験法の課題を抽出することは重要である。</p>

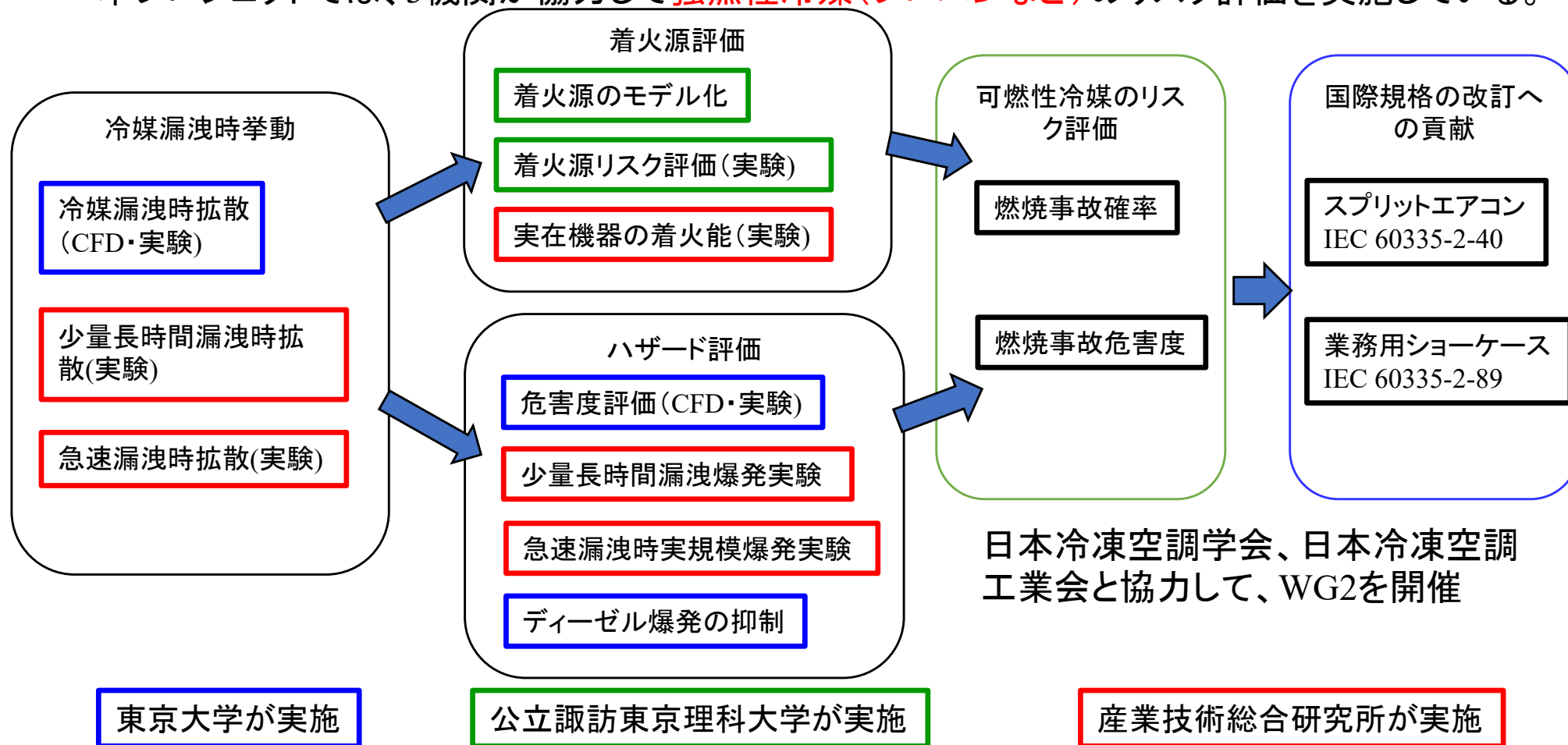
社会的影響等を踏まえたアウトプット指標・目標値の見直し

- 2022年10月: 研究加速のため、項目④のラボ実験の成果を実機で検証する研究を追加した。
- 2021年1月: NEDOプロ全体の加速のため、項目⑤の研究開発を追加した。

目標達成に必要な要素技術

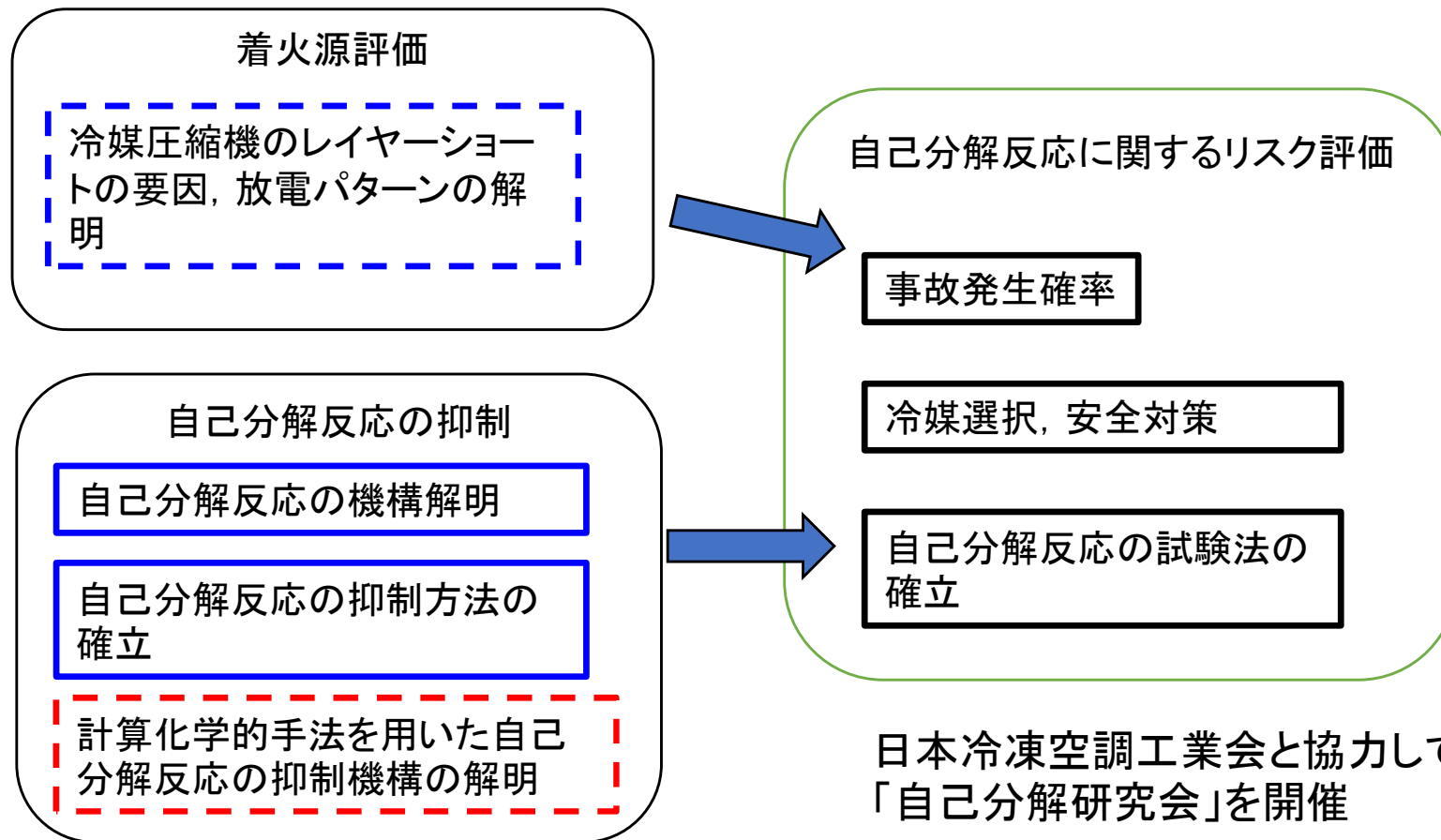
冷媒燃焼時のリスク評価の概要

- 前プロジェクトで**微燃性冷媒**のリスク評価を実施し、国際規格、国内法規、業界規格の改訂に貢献した。
- 本プロジェクトでは、3機関が協力して**強燃性冷媒(プロパンなど)**のリスク評価を実施している。



目標達成に必要な要素技術

HFO冷媒の自己分解反応のリスク評価の概要



日本冷凍空調工業会と協力して
「自己分解研究会」を開催

東京大学が実施

再委託先: 静岡大学が実施

再委託先: 広島大学が実施

テーマ毎の目標達成状況

最終目標(2023年3月)	成果	達成度	達成の根拠と課題
① 可燃性冷媒の燃焼に係る安全性とリスク評価の研究(東京大学)			
<ul style="list-style-type: none"> ・可燃性冷媒漏洩時の可燃域生成規模の評価 ・可燃性冷媒が室内で着火したときの危害度の評価 ・ポンプダウン時のディーゼル爆発の抑制手法の評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・RAC等でのR290の新IEC規格の安全規制が適正であると検証した。 ・空間や乱流燃焼遷移がKG値に影響を与えることを明らかにした。 ・R290はディーゼル爆発を起こしにくいことを明らかにした。 	○ 2023年 3月に 達成	<ul style="list-style-type: none"> ・日本冷凍空調工業会のWGと協力をしながら、リスク評価を実施し、IEC規格等の改訂に協力した。 ・R290はディーゼル爆発を起こしにくいことを明らかにし、このことはIEC規格に反映された。
② 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)			
<ul style="list-style-type: none"> ・着火源を分類し、分類カテゴリーごとに着火源モデルを構築する ・次世代冷媒のフィジカルリスク評価のための着火源評価手法を完成させ、国際会議・論文・成果報告書等で発信する 	<ul style="list-style-type: none"> ・日冷工のリスク評価と連携して、着火源の分類を完了 ・リレー接点、スイッチ押下、コンセント抜き差し、静電気などの電気系着火源、熱面・たばこなどの熱系着火源、レーザー着火源の着火性を評価し国際論文で発表 	○ 2023年 3月に 達成	<ul style="list-style-type: none"> ・分類したそれぞれの着火類型における着火性評価を行い、調査委員会報告書にまとめて公表した。 ・査読付き論文8報、学会発表26件などにより成果発信できた。 ・研究成果が日冷工規格に反映された。
③ 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)			
<ul style="list-style-type: none"> ・評価実験の漏洩条件をモデル化。 ・実在の機器類の点火能評価。 ・小流量/急速漏洩の危害度評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・過去の漏洩事故事例等から漏洩条件を決定。 ・電気機器12種、石油ヒータ1種の点火能を評価。 ・R290、R32、R1234yfについて、実規模の漏洩着火事故実験で危害度を評価 	○ 2023年 3月に 達成	<ul style="list-style-type: none"> ・日冷工のWGと協力をしながら、リスク評価を実施し、IEC規格等の改訂。 ・現在単体で用いられている微燃性HFC冷媒の室内漏洩事故では着火が起こりにくいことが示された。

テーマ毎の目標達成状況

最終目標(2023年3月)	成果	達成度	達成の根拠と課題
④ HFO冷媒の自己分解反応の安全性とリスク評価の研究(東京大学)			
<ul style="list-style-type: none"> ・HFO冷媒の自己分解反応の安全評価 ・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 ・計算化学的手法を用いたHFO冷媒の自己分解反応及び抑制機構の理論的解明 	<ul style="list-style-type: none"> ・各種の混合組成で自己分解反応の評価を行い、多数の混合組成による抑制効果を示した ・実機試験においても同様の抑制効果が得られることを示した ・圧縮機内のレイヤーショート時の発生エネルギーなどを評価し、放電パターンから危険なショートが発生する部位を明らかにした ・HFO1123の自己分解反応を抑制にはプロパンが有効であると提案した 	○ 2023年3月に達成	<ul style="list-style-type: none"> ・自己分解研究会を組織し、本事業で得られた知見を関係者に提供すると共に、リスク評価を開始することができた。 ・次世代国産冷媒として期待されているHFO1123混合冷媒の自己分解反応を抑制する手法が明らかになった。 ・
⑤ 空調機の新性能評価法の開発(東京大学)			
<ul style="list-style-type: none"> ①空気エンタルピー式試験室で負荷試験法を実現する ②静的負荷試験法の精度を確認する ③動的負荷試験法の問題点を抽出する 	<ul style="list-style-type: none"> ①東大の空気エンタルピー式環境試験室で負荷試験を実施するために、模擬居室を想定したソフトウェアを開発した。 ②日本空調冷凍研究所と東大の試験室で同型のアコンの静的負荷試験を実施し、両者の精度が高いことを確認した。 ③動的負荷試験の精度は問題があることを明らかにした。 	○ 2023年3月に達成	<ul style="list-style-type: none"> ・ルームエアコンのJISの改訂や国際規格の改訂に情報提供できると思われる。

- **東京大学の実施内容および成果と意義**
- **公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義**
- **産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義**

東京大学の実施内容および成果と意義

可燃性冷媒漏洩時のリスクの研究

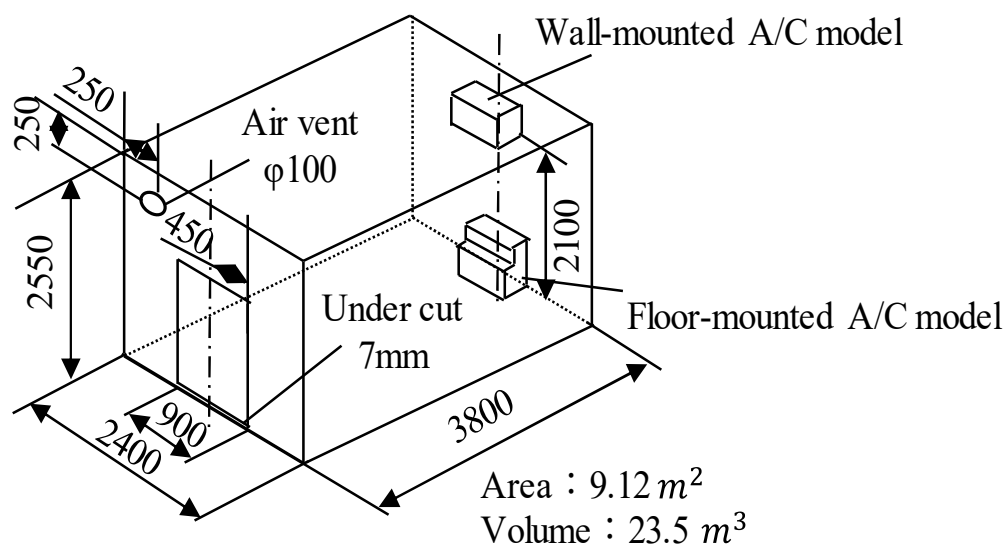
研究目的

次世代冷媒として期待されているR290の室内漏洩時のリスク評価

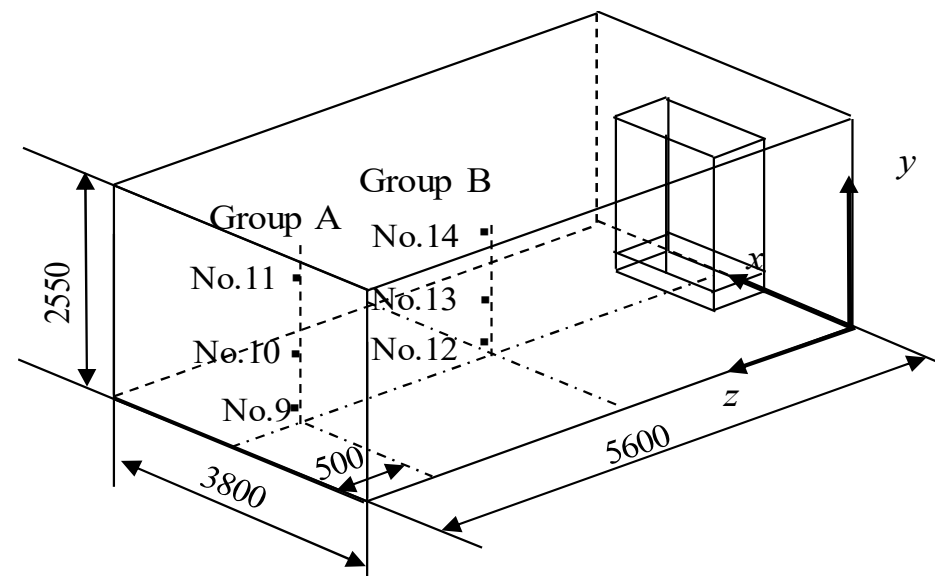
- 家庭用エアコン(IEC 60335-2-40)
- 業務用ショーケース (IEC 60335-2-89)

研究手法

- 実験装置を製作し、実験結果を使って、シミュレーションモデルの妥当性を担保
- シミュレーションを使って、**国際規格の室内機ファンの効果を検証**



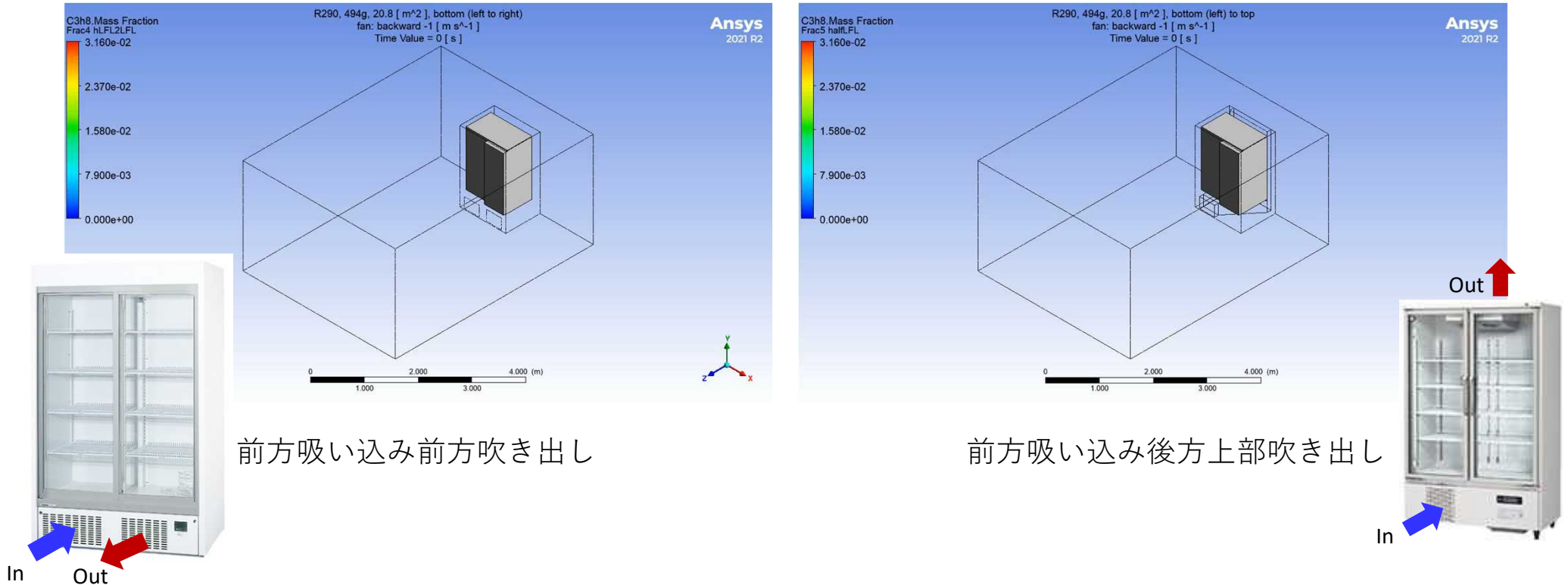
ルームエアコン室内機からの漏洩



業務用ショーケースからの漏洩

東京大学の実施内容および成果と意義

リーチインショーケースからの漏洩解析例と成果のまとめ



前方吸い込み前方吹き出し

前方吸い込み後方上部吹き出し

成果のまとめ

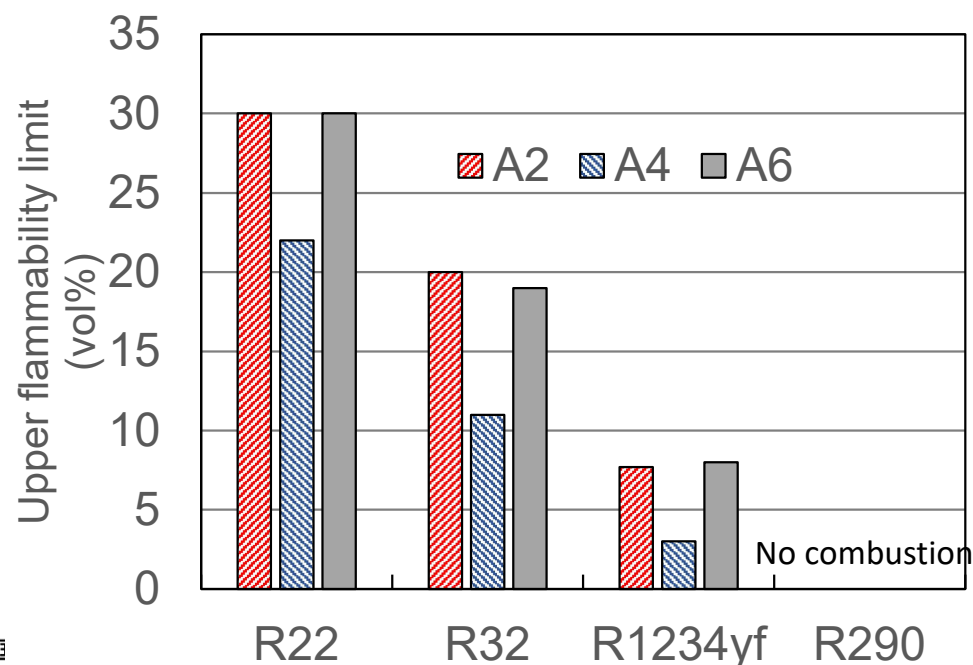
1. 家庭用エアコン(IEC 60335-2-40)について、壁掛け式室内機、床置き式室内機ともに、漏洩後の室内機の攪拌風量について、規格の最小風量以上の風速があれば、漏洩終了直後に可燃域を消滅させることができることを確認できた。
2. 業務用ショーケース (IEC 60335-2-89)について、冷媒最大充填量を改訂案(旧規格の2倍)にしても、可燃域消滅までの時間はあまり変わらず、危険が増えるとは限らないことが確認できた。なお、凝縮器を上部に設置するタイプは危険なので、推奨できない。

東京大学の実施内容および成果と意義

エアコンポンプダウン時のディーゼル爆発の抑制

目的: スプリットエアコンのポンプダウン時のディーゼル爆発の発生の抑制を目的として、POE潤滑油へ添加剤を添加したとき、添加剤の種類の影響を調べる。冷媒の種類に対する抑制効果の違いを明らかにするために、冷媒としてR22、R32、R1234yf、R290を用いて実験する。

添加剤	燃焼、圧力に対する影響	メカニズム
A2: エポキシ系安定化剤	圧力上昇の抑制	フッ化水素の捕捉による圧力上昇の抑制
A4: アミン系酸化防止剤	燃焼の抑制	ラジカルの捕捉による酸素遮断効果
A6: エポキシ系安定化剤	圧力上昇の抑制	フッ化水素の捕捉による圧力上昇の抑制



成果のまとめ

燃焼抑制効果は添加剤と冷媒の組み合わせで異なる。2021年度の成果として添加剤A2は1wt%で多くの冷媒に対し最も大きく抑制効果を示したが、2022年度の成果として**添加剤A4はA2の燃焼範囲を大幅に縮小した**。特にR290、R1234yfにおいて燃焼範囲を著しく縮小した。

東京大学の実施内容および成果と意義

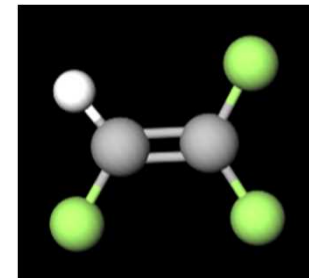
HFO冷媒の自己分解反応の安全評価

目的: **HFO-1123** (AGCが開発) の実用化のために、実用上の最悪条件でも自己分解反応を抑制する混合冷媒を探索する。

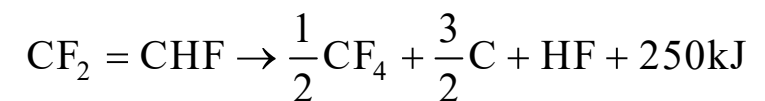
成果

- 最高初期圧力4.2MPaまで使用可能なように圧力容器を改修して、狭い流路や小空間体積による反応抑制効果を検討。
- 最高初期圧力6.5MPaまで使用可能な圧力容器を製作。実用上の最悪条件での実験が可能になった。
- R290(プロパン)の添加は、大きな反応抑制効果があることが判明した。
- 2022年1月に実規模実証試験を実施し、実験室の小規模装置の結果と実際の圧縮機を使った試験結果が一致することを確認した。
- 混合冷媒の燃焼性の評価を実施した。
- A2LになるGWP ≤ 150の混合冷媒の抑制性能の評価を実施した。
- 不均化反応に対する放電エネルギーの影響の評価を実施した。
- 不均化反応に関するリスク評価の推進。
- 2022年11月に2回目の実規模実証試験を実施した。

化学式 HFO-1123: C_2HF_3



自己分解反応(不均化反応)



実用上の最悪条件

1. 温度: 150°C
2. 圧力: 6MPa
3. 放電エネルギー: 20J

東京大学の実施内容および成果と意義

国際規格化に向けた自己分解反応試験法の検討

ISO817で自己分解反応特性を考慮するための試験法の検討

- 影響するパラメータ
 - 圧力
 - 温度
 - 投入エネルギー量
 - 放電方式
 - 電気エネルギーの性質(AC/DC、電圧、電源の種類など)
- 提案されている試験法
 - 東大方式(電極接触式)
 - AGC方式(電極接触式)
 - ダイキン方式(電極非接触式)

成果

- HFO1123とR1132(E)について、試験方式の比較を行った。試験法により結果に大きな違いはないことが推測されたが、国際規格化するには、試験の再現性や精度など、もっと検討が必要があるとの結論が得られた。

東京大学の実施内容および成果と意義

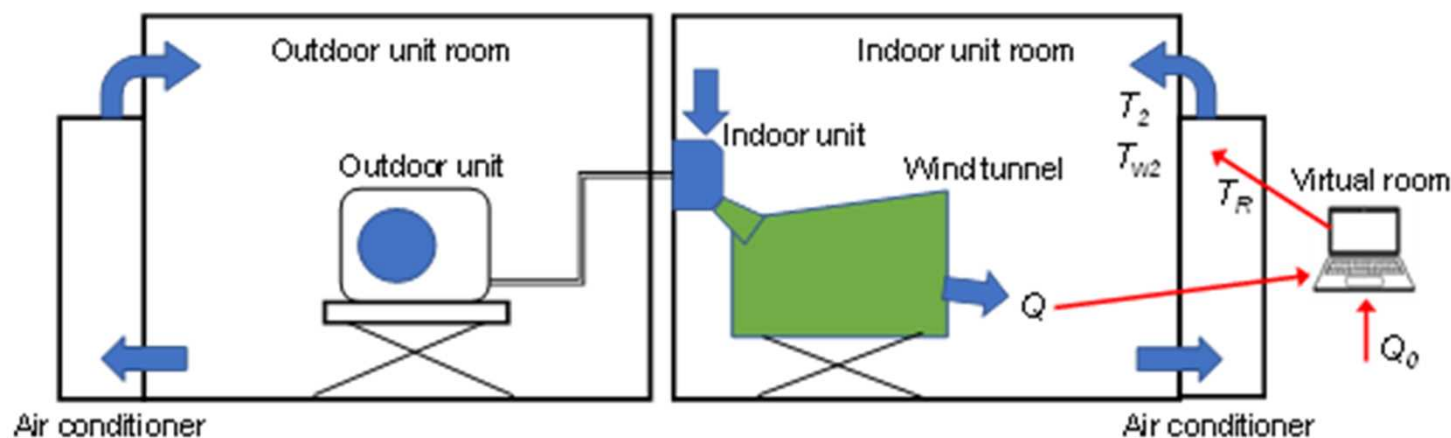
空調機の新性能評価法の開発

目的：次世代冷媒を用いたルームエアコンの性能を適切に評価する方法を開発する。

実施内容：東京大学の環境試験室で空気エンタルピー式運転を行い，ルームエアコンの性能試験を負荷試験法にて行う。

研究項目

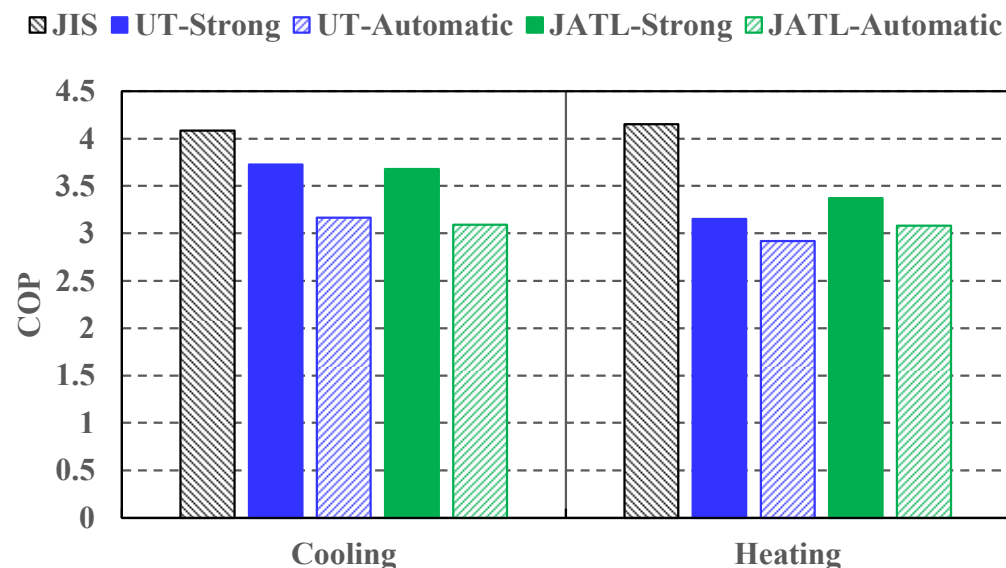
- 1) 空気エンタルピー式環境試験室で，負荷試験（室内温度を一定に保ったうえで、外気温度と負荷率を設定した試験）を実施する手法の確立
- 2) 静的な負荷試験を行い，断続運転をする条件での測定精度、不確かさの検討。着霜・除霜運転をする条件での測定精度の検討
- 3) 動的な負荷試験を行い，その実現可能性を検討する



東京大学の実施内容および成果と意義

空調機の新性能評価法の開発のまとめ

1. 東大では、既存の空気エンタルピー式試験室を改良し、負荷試験ができるように変更し、運転ソフトを開発した。仮想部屋にエアコンが設置されていることを想定し、負荷を固定できるようにした。定格冷房能力2.8kWのエアコンの負荷試験を行い、仮想部屋の熱容量の与え方について検討した。
2. 従来の圧縮機回転数固定の試験と負荷試験の結果を比較すると、差があった。
3. 東大の負荷試験結果を日空研で実施された熱バランス式試験結果を比較すると、COPには大きな差異がないことが明らかになった。



定格暖房負荷における東大と日空研の試験結果 (COP) の比較

- 東京大学の実施内容および成果と意義
- **公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義**
- 産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

■ 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義

III. 研究開発成果

(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

- NEDO調査委員会WG2に出席，進捗報告及び意見交換を実施
⇒ 着火源を抽出，電気系・高温熱源系・レーザーに大分類

(2) 各種着火源による次世代冷媒のリスク評価

① 電気系着火源の着火性評価

- 1) リレー接点でのアーク放電による着火性
- 2) スイッチのON/OFFによる着火性評価
- 3) 人的操作(コンセント抜き差し)による着火性評価
- 4) 静電気による着火危険性評価

② 高温熱面・熱線による着火性評価

③ レーザーによる着火性評価

■ 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義

(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

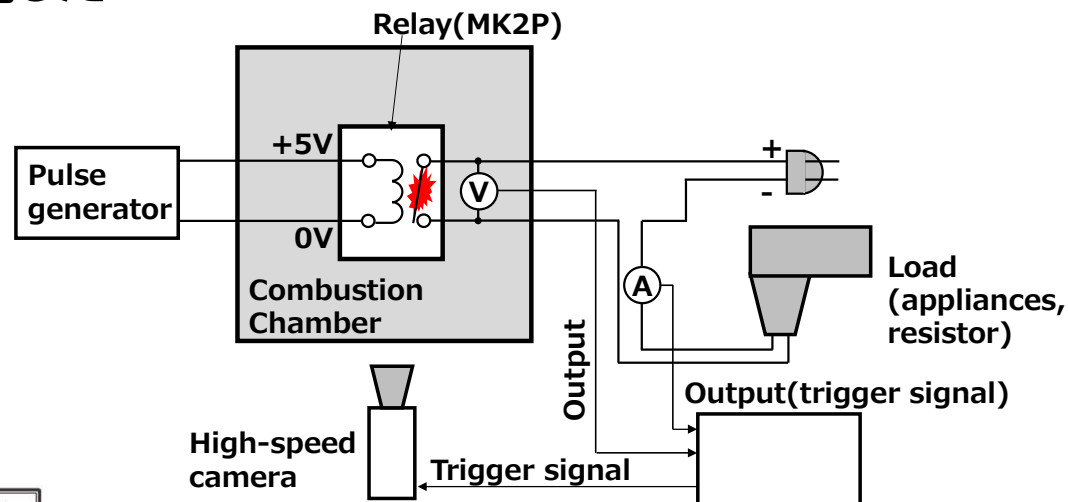
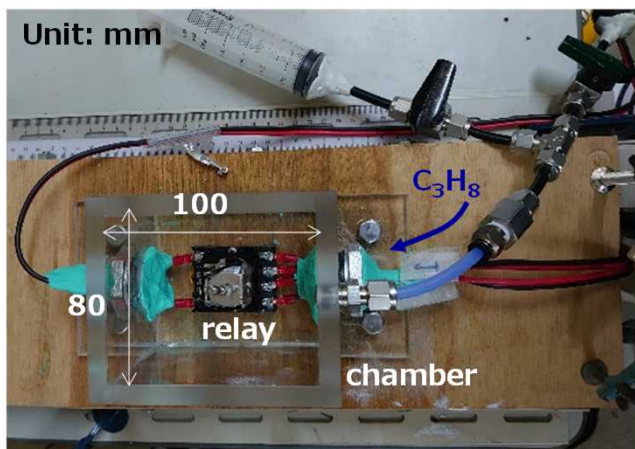
大分類	中分類	小分類
電気系着火源	有接点リレー	冷蔵庫、洗濯機、ドライヤー、炊飯器、電子レンジ、除湿機、掃除機、電気カーペット、オーブンレンジ、扇風機、テレビ、プリンター、エアコン、AV 機器、電話、ファックス
	サーモスタット	冷蔵庫、電気ストーブ、オーブントースター、電気ポット、電気こたつ、アイロン、ドライヤー
	人的操作	プラグ抜き差し、照明スイッチ
	ブラシモータ	掃除機、ドライヤー、電気カミソリ
	帯電	プリンター、静電気放電
高温熱源系着火源		電気ヒーター、ホットプレート、たばこ
裸火		たばこ及びライター、ろうそく
レーザー		プリンター、コピー機など

■ 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義

(2) - ① 電気系着火源の着火性評価

1) リレー接点でのアーク放電による着火性

リレー開閉時に接点間で生じるアーク放電による着火性について一般的知見を得るために、モデル実験を実施した



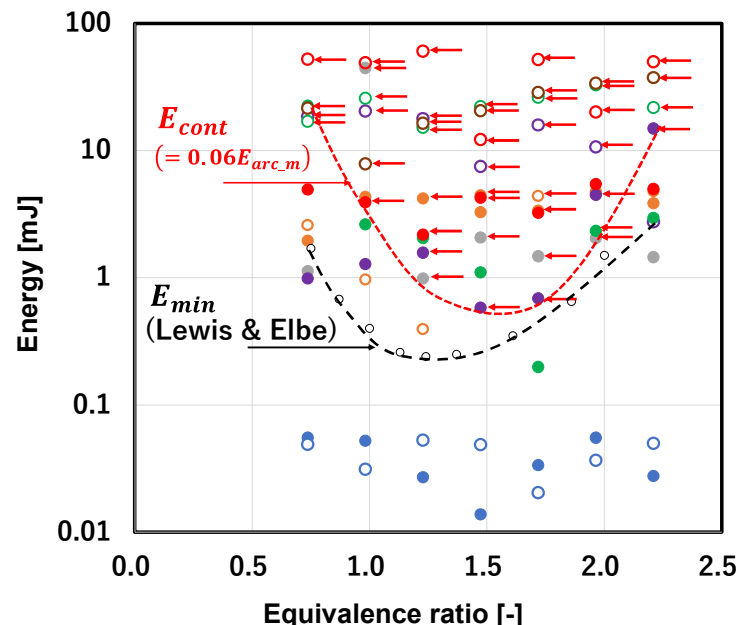
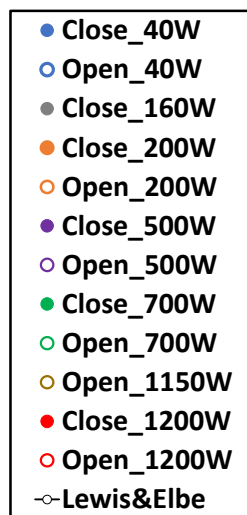
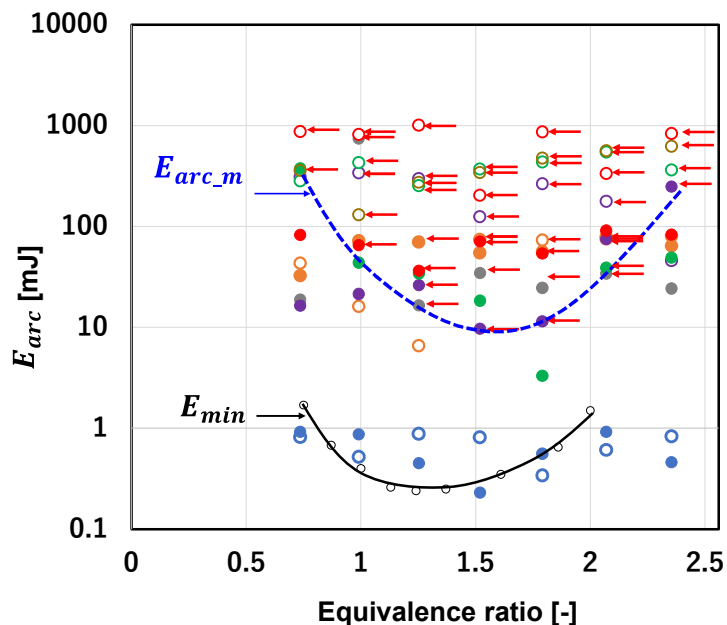
接点開閉回数: 最大で60回 × 3シリーズ
 供試リレー: OMRON MK-2P

負荷	外観	消費電力	実験対象プロパン濃度
ドライヤー (Panasonic, EH101P)		1200W	3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 vol%
掃除機 (Panasonic, MC-PJ20G-N)		1150W	3.0, 4.0, 5.0 vol%
電動ドライバー (RYOBI, CDD-1021)		160W	3.0, 4.0, 5.0 vol%
扇風機 (YAMAZEN, FY-J301)		40W	3.0, 4.0, 5.0 vol%
可変抵抗器 (三菱電機, RZ-200-3B)		200W	3.0, 4.0, 5.0 vol%
		500W	3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 vol%
		700W	3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 vol%

■ 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義

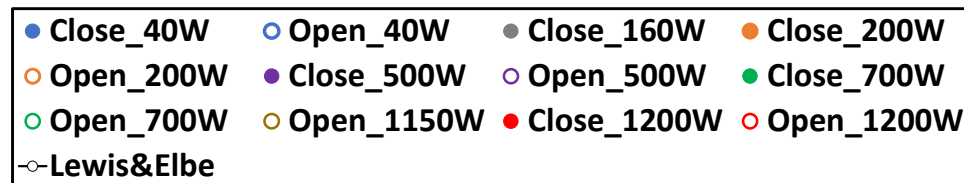
(2) - ① 電気系着火源の着火性評価

1) リレー接点でのアーク放電による着火性: 着火エネルギー



接点間のアーク放電エネルギーと当量比の関係

- ✓ アーク放電エネルギーのうち着火に寄与するエネルギーは大きくても6%程度である。

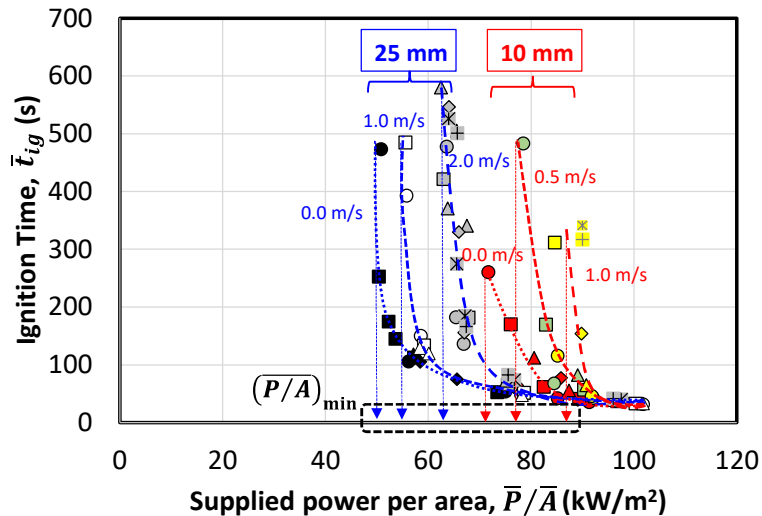


接点間のアーク放電エネルギーの6%と当量比の関係

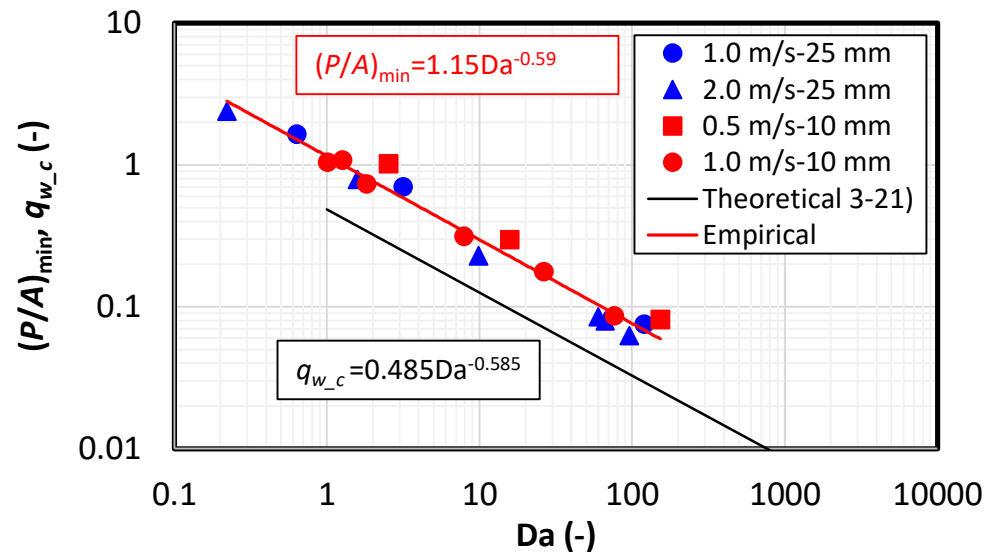
■ 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義

(2) - ② 熱系着火源の着火性評価

1) モデル実験による臨界着火条件の究明



● 0.0 m/s-φ0.51-25mm	■ 0.0 m/s-φ1.31-25mm
▲ 0.0 m/s-φ2.36-25mm	◆ 0.0 m/s-φ2.50-25mm
● 0.0 m/s-φ0.51-10mm	■ 0.0 m/s-φ0.99-10mm
▲ 0.0 m/s-φ1.52-10mm	◆ 0.0 m/s-φ1.85-10mm
● 0.5 m/s-φ0.51-10mm	■ 0.5 m/s-φ0.99-10mm
▲ 0.5 m/s-φ1.52-10mm	◆ 0.5 m/s-φ0.99-10mm
□ 1.0 m/s-φ1.31-25mm	△ 1.0 m/s-φ2.36-25mm
● 1.0 m/s-φ0.51-10mm	■ 1.0 m/s-φ0.74-10mm
▲ 1.0 m/s-φ0.99-10mm	◆ 1.0 m/s-φ1.52-10mm
● 1.0 m/s-φ1.79-10mm	■ 1.0 m/s-φ1.93-10mm
○ 2.0 m/s-φ0.51-25mm	□ 2.0 m/s-φ0.89-25mm
△ 2.0 m/s-φ0.99-25mm	◇ 2.0 m/s-φ1.31-25mm
✳ 2.0 m/s-φ1.52-25mm	⊠ 2.0 m/s-φ2.50-25mm



- ✓ 流速が大きくなると着火臨界となる熱流束が大きくなる
- ✓ 熱面寸法が小さくなると着火臨界となる熱流束が大きくなる
- ✓ 着火臨界となる熱流束はダムケラー数に依存する

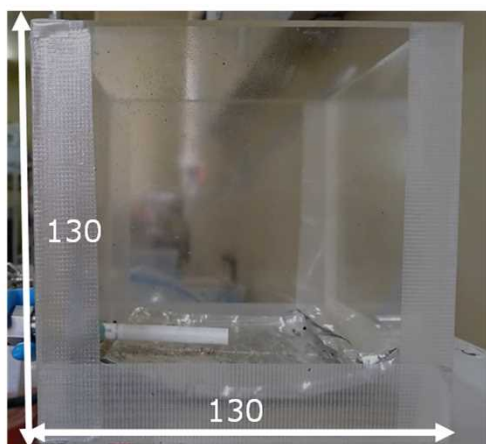
$$q_{w_c} = \frac{\bar{q}_{w_c}}{\bar{\rho} \bar{c} \bar{s} \Delta \bar{T}} \cong 1.15 \left(\frac{\bar{\rho} \bar{c} \bar{s}^2}{\bar{a} \bar{\lambda}} \right)^{-0.5}$$

■ 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義

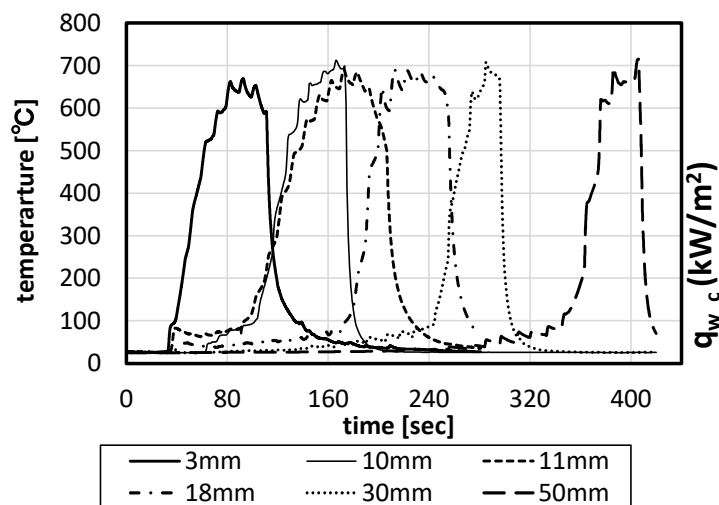
(2) ー ② 熱系着火源の着火性評価

2) 着火性評価のケーススタディ: たばこによる着火性

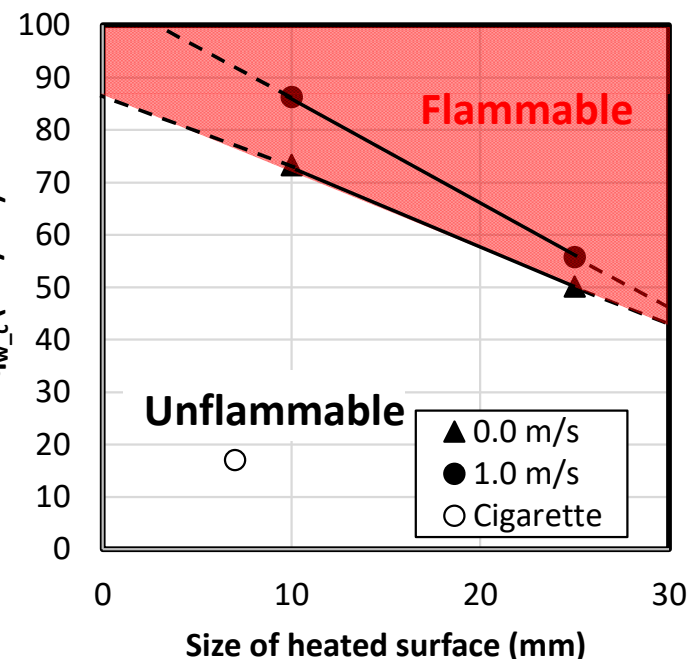
R290/空気予混合気が満たされた容器内にたばこを挿入し、着火に至るか否かを調べた。



着火実験の様子



たばこの表面温度



着火臨界熱流束と熱面寸法で描いた着火ダイアグラム

たばこによる着火は一度も認められなかった。臨界着火条件となる熱流束が生じないためとみられる。

■ 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義

成果のまとめ

- ✓ 日冷工のリスクアセスメントと連携して、家庭用空調機器及び業務用冷凍冷蔵機器にR290を冷媒として搭載した場合の漏洩事故を想定し、着火源になりうる機器や現象を抽出してカテゴリー別に分類した。
- ✓ 分類結果に基づき、電気系着火源、熱系着火源、レーザー着火源について着火性を実験、数値シミュレーション、理論解析により詳細に検討し、それぞれ着火が生じる臨界条件を定量的に示した。
- ✓ 本研究で得られた成果は日冷工のリスクアセスメントに反映され、業務用冷凍冷蔵機器のリスク評価において着火確率の算出に寄与し、国際規格の規定では安全上不十分と思われる内容を追加で規定した日本規格(JIS C 9335-2-89)に反映された。ルームエアコンのリスク評価においても着火確率の算出に寄与し、日冷工規格に反映される予定である。

波及効果

- ✓ 冷媒メーカー、潤滑油メーカー、空調機器メーカーより冷媒の燃焼性、安全性に関する問い合わせを多く受け、技術指導を行っている。

- 東京大学の実施内容および成果と意義
- 公立諏訪東京理科大学の実施内容および成果と意義
- **産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義**

産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

「③ 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)」

- 1) 冷凍空調機器からの冷媒漏洩事故事例の検討と漏洩条件のモデル化
- 2) 可燃濃度域内に存在する実在の機器類の点火能評価
- 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
- 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

成果

- 過去の漏洩事故事例等から実規模実験の漏洩条件を決定した。
- 電気機器12種、石油ヒータ1種について実験的に点火能を評価した。
- エアコンでは、R290、R32、R1234yf について、ショーケースではR290について、実規模の漏洩着火事故評価実験を行い、直接の危害が致命的でないことが示された。

意義(副次的成果や波及効果等)

- それぞれの電気機器類が着火源となり得るかのみでなく、どの部品が着火源となり得るかが示されたことで、機器類の設計や設置の指針となる。
- 危害度評価の結果は、室内機本体の設計や室内に置かれる機器に指針を与えるとともに、攪拌を前提とした緩和の程度が適切であることを示し、可燃性冷媒の安全な普及に重要である。

産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

③ 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

1) 冷凍空調機器からの冷媒漏洩事故事例の検討と漏洩条件のモデル化

- 過去の冷媒漏洩事故事例から、評価実験に用いる漏洩条件(漏洩ヶ所、漏洩口形状、漏洩速度)を決定
- IECのリスク評価で用いられている最大許容充填量と攪拌を前提に緩和が検討されている充填量を採用

漏洩ヶ所

- ・ 熱交換器接続部
(実際の配管を利用)
- ・ 熱交換器中央
- ・ 下部配管取回し空間

漏洩口形状

- ・ 配管の全破断

漏洩速度

- ・ 4分全量放出を基本
に、3~20分全量放出

室内機漏洩の相当穴径と冷媒漏えい速度

日本冷凍空調工業会 微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンの リスク評価報告書(2017)

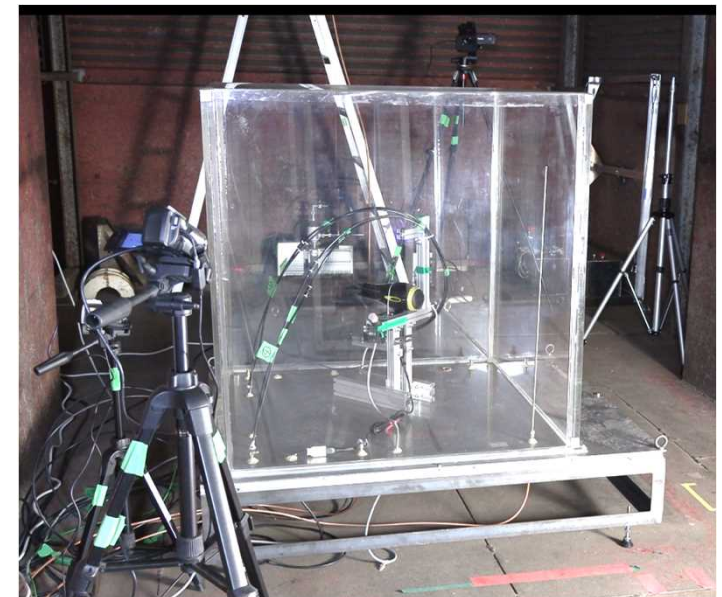
製品	室内/外	漏れ箇所	漏れ箇所形態	相当径 / mm	液漏洩度(63°C液)		ガス漏洩度(10°Cガス)	
					/ kg h-1	/ g min-1	/ kg h-1	/ g min-1
家庭用	内	熱交換器伝熱管	全面腐食	0.17400	4.03	67.16667	0.356	5.93333
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	全面腐食	0.13000	2.24	37.33333	0.197	3.28333
設備用	内	熱交換器伝熱管	全面腐食	0.08490	0.958	15.96667	0.0844	1.40667
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	蜂の巣状腐食	0.06310	0.529	8.81667	0.0466	0.77667
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	腐食	0.06110	0.496	8.26667	0.0437	0.72833
ビル用マルチ	内	液側フレア	ろう付け不良	0.04880	0.316	5.26667	0.0279	0.46500
設備用	内	熱交換器伝熱管	全面腐食	0.04260	0.241	4.01667	0.0212	0.35333
ビル用マルチ	内	電子膨張弁	不明	0.03590	0.171	2.85000	0.0151	0.25167
ビル用マルチ	内	電子膨張弁	不明	0.03130	0.130	2.16667	0.0115	0.19167
ビル用マルチ	内	電子膨張弁	不明	0.01990	0.0529	0.88167	0.00466	0.07767
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	不明	0.01900	0.0480	0.80000	0.00423	0.07050
ビル用マルチ	内	電子膨張弁	不明	0.01550	0.0319	0.53167	0.00282	0.04700
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	応力腐食割れ	0.01400	0.0260	0.43333	0.00230	0.03833
ビル用マルチ	内	電子膨張弁	不明	0.01250	0.0206	0.34333	0.00182	0.03033
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	不明	0.00773	0.00793	0.13217	0.000699	0.01165
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	全面腐食	0.00757	0.00761	0.12683	0.000671	0.01118
設備用	内	熱交換器伝熱管	不明	0.00631	0.00529	0.08817	0.000466	0.00777
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	応力腐食割れ	0.00626	0.00521	0.08683	0.000459	0.00765
ビル用マルチ	内	熱交換器伝熱管	応力腐食割れ	0.00626	0.00521	0.08683	0.000459	0.00765
ビル用マルチ	内	フレア部	不明	0.00625	0.00520	0.08667	0.000458	0.00763
ビル用マルチ	内	電子膨張弁	不明	0.00595	0.00470	0.07833	0.000414	0.00690
家庭用	内	熱交換器伝熱管	不明	0.00437	0.00253	0.04217	0.000223	0.00372

産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

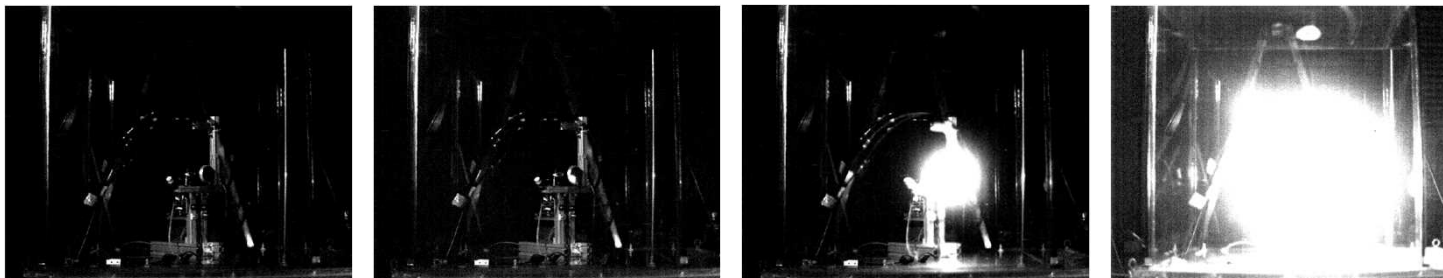
③ 実使用条件を考慮した自然冷媒使用冷凍空調機器の燃焼に係る実規模フィジカルハザード評価

2) 可燃濃度域内に存在する実在の機器類の点火能評価

- 100cm × 100cm × 100cmの亚克力容器内に対象機器を設置して、最小着火エネルギーの小さい4.2 vol%程度のプロパン(R290)を充てんし、機器類の電源等を遠隔で繰り返し操作し、着火の有無を観測した
- 家庭の居室に存在する機器類は、公立諏訪東京理科大のスクリーニングにより決定した
- 対象機器類の中から、典型的な機種を選定し、2個体程度に対して、遠隔操作をそれぞれ100回程度繰り返した



産総研爆発ピットに設置した
亚克力容器とドライヤー



赤外高速カメラで観測された火炎伝播の様子

産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

③ 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

2) 可燃濃度域内に存在する実在の機器類の点火能評価

- 電気機器類12種と石油ファンヒーターについて評価を行った。
- プロパン(R290)への着火が確認されたのは、電気接点がプロパンガスに触れやすい位置にある場合の開動作と石油ファンヒーターであった。ブラシモーターによる着火は確認されなかった。

点火能評価の結果

機器	異常数/個体数	詳細	最大消費電力 等	メーカー	機種名
レーザープリンター	0/2	各250枚カラー両面印刷で異常なし	990 W	ブラザー工業	HL-L9310CDW
ヘアドライヤー	3/3	本体スイッチオフ操作時に着火 外部電源の開閉繰り返し100回不着火	1500 W	オーム電機	HB-HDK351
電気掃除機	1/2	7秒オン5秒オフの繰り返し7回目で発煙	1000 W	日立GLS	CV-VBK71
電動ドリル	0/1	負荷有無、強弱、各100回で異常なし	18V, 6.0Ah	マキタ	DF458D
ホットプレート	1/1	最高温とオフの繰り返し20回程度で着火	1200 W	イデア	BOE021
石油ファンヒーター	2/2	点火後にプロパン吹込みで着火	3.3 kW	コロナ	FH-VD3320Y
扇風機	3/3	押しボタンスイッチの切操作で着火 ロータリスイッチ開閉繰り返し100回不着火 外部電源の開閉繰り返し100回不着火	27 W	小泉	KLF-3015
除湿機 (コンプレッサー式)	0/2	急速乾燥モードオンオフ繰り返し100回不着火	160 W	コロナ	CD-P6321
除湿機 (デシカント式)	0/2	急速乾燥モードオンオフ繰り返し100回不着火	670 W	日立GLS	HJS-D771
空気清浄機 (ファン式)	0/2	急速モードオンオフ繰り返し100回不着火	42 W	アイリスオーヤマ	PMAC-100
カラーインクジェット複合機	0/2	本体主電源オンオフ繰り返し100回不着火 両面カラー印刷2個体計200枚不着火	12 W	エプソン	EW-452A
電気ポット	2/2	マグネット式電源プラグ抜き差し数回で着火	700 W	象印マホービン	CD-WY22-HA
電気カーペット	0/2	本体主電源オンオフ繰り返し100回不着火	72 W	IRIS	568726 ホットマット600×600

産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

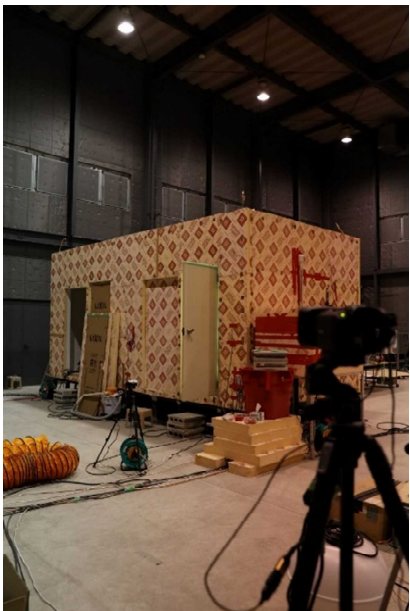
③ 実使用条件を考慮した自然冷媒使用冷凍空調機器の燃焼に係る実規模フィジカルハザード評価

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

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

拡散挙動計測: 実規模の模擬室内に実機(ルームエアコン室内機、リーチインショーケース)を設置し、実機本体から冷媒(室内機では、R290、R32、R1234yf。ショーケースではR290)を漏洩させ、室内の濃度分布時間履歴を計測した。

フィジカルハザード評価: 拡散挙動計測の結果、可燃濃度域が形成され着火燃焼事故が起こりうる条件下でスパーク点火を行い、事故の危害度を評価した。



ショーケース拡散挙動用
模擬室(R290)



エアコン・ショーケース
フィジカルハザード用模擬室(R290)



エアコンR32・R1234yf用模擬室

エアコン拡散挙動用模擬室(R290)

産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

③ 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

エアコン室内機の拡散挙動計測(R290)

- 内寸2.7 m×5.4 m×高さ2.4 mの木製模擬室内にルームエアコン室内機の実機を設置し、1)で決定した模擬漏洩ヶ所からR290を放出し、プロパン濃度センサーにより濃度分布の時間履歴を観測した。

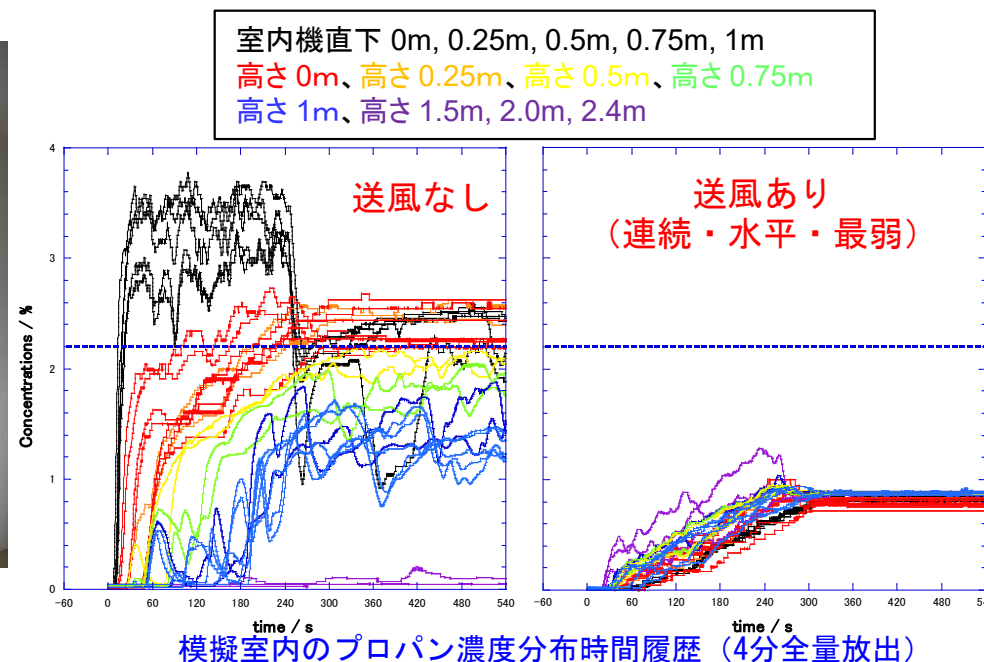


- 室内気の攪拌を前提に緩和が検討されている最大許容充填量で、室内気の攪拌を行わなかった場合は放出終了後にも1時間以上、床面付近に可燃濃度域が形成され続けた。
- 室内気の送風ファンを運転した状態で放出した場合は、可燃濃度域は観測されず、放出中に送風ファンの運転を開始した場合には、数十秒程度で可燃濃度域が消失した。



9畳の木製模擬室

模擬室内に設置された
室内機とプロパン濃度センサー



産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

③ 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

エアコン室内機の実規模フィジカルハザード評価(R290)

○ 内寸2.7 m×5.4 m×高さ2.4 mの鋼製模擬室内にルームエアコン室内機の実機を設置し、拡散挙動計測で可燃濃度域の形成が確認された条件で、R290を放出し、電気スパークで点火した。



○ 現在の最大許容充填量を放出した場合、放出終了後の模擬室中央床上2cmでのスパークで着火は確認されなかったが、放出中の室内機下方でのスパークでは着火し室内機が全焼した。ガラス窓は破損せず、室内圧の上昇も2.3 kPa程度と致命的ではなかった。

○ 緩和が検討されている充填量を放出した場合、室内機のファンが運転されていれば着火は確認されなかった。室内機のファン非運転では、放出終了後の模擬室中央床上2cmでのスパークで着火しガラス窓が破損した。室内圧の上昇は5.6 kPa程度と致命的ではなかった。放射熱も6.1 kW m⁻²程度と致命的ではなかった。



鉾山堆積場跡地に設置した鋼製模擬室



放出中の着火によって焼失した室内機
(現在の最大許容充填量)



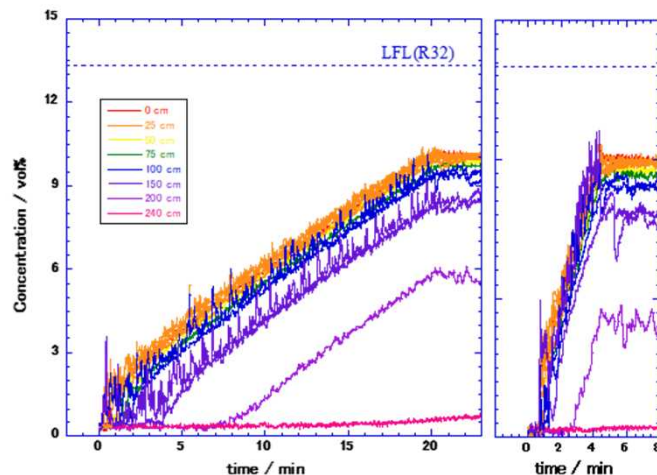
放出終了後の着火によって破損したガラス窓
(緩和が検討されている最大許容充填量)

産業技術総合研究所の実施内容および成果と意義

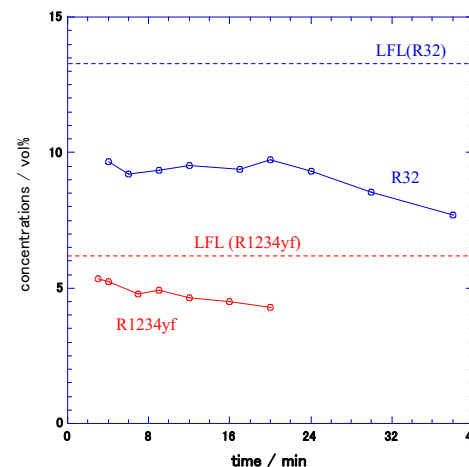
③ 実使用条件を考慮した自然冷媒使用冷凍空調機器の燃焼に係る実規模フィジカルハザード評価

エアコン室内機の拡散挙動計測と実規模フィジカルハザード評価(R32、R1234yf)

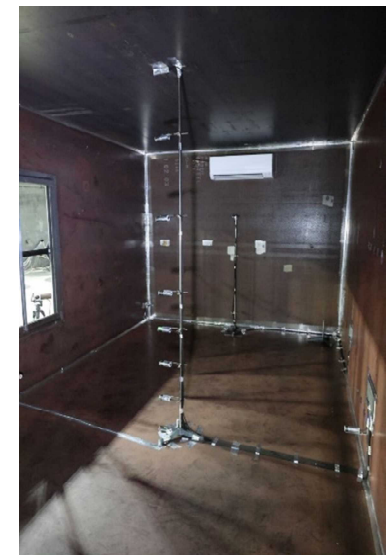
- 内寸2.7 m×5.4 m×高さ2.4 mの鋼製模擬室内にルームエアコン室内機の実機を設置し、室内気の攪拌を前提に緩和が検討されている充填量を放出し、垂直濃度分布の時間履歴を計測した。
- R32では4分～38分、R1234yfでは3分～20分の間で放出時間を変化させたが、いずれの放出時間でも床面付近に可燃濃度域は形成されなかった。
- R32の4分全量放出中の放出開始後3分30秒、20分全量放出中の放出開始後19分30秒に、室内機直下20cmで電気スパークによる点火を試みたが、火炎伝播は観測されなかった。
- 潤滑油添加でのR1234yfの4分放出、R32の20分放出とも、放出終了後2分での模擬室中央床上cmでのスパークで着火は確認されなかった。



R32の垂直濃度分布の時間履歴
(緩和が検討されている充填量、4分全量放出)



放出後床面濃度の放出時間依存性
(緩和が検討されている充填量、4分全量放出)



鋼製模擬室に設置した
室内機と濃度センサー

社会実装(実用化・規格化等)達成に向けた戦略・具体的取組

戦略・具体的取組

①～③ 可燃性冷媒の燃焼に係る安全性とフィジカルリスク評価の研究

- 1) 強燃性冷媒の燃焼事故についてのリスク評価を日本冷凍空調工業会(以下、日冷工と言う。)と共同で実施。リスク評価に必要な情報を提供する。
- 2) 安全性に関する国際規格IEC 60335-2-40、IEC 60335-2-89の改訂案の評価を実施し、日冷工内にある国内委員会に妥当性についての情報提供を行う。
- 3) 国際規格IEC 60335-2-40、IEC 60335-2-89の次期改訂案の提案のために、着火源特性について、国内委員会に情報提供を行う。

④ HFO冷媒の自己分解反応の安全性とリスク評価の研究

- 1) HFO冷媒の自己分解反応の安全性を評価するために、東京大学内に関連NEDO事業者、日冷工が参加する「HFO冷媒の自己分解反応研究会」を組織し、情報交換を行った。
- 2) 自己分解反応の特性を正しく評価するために、冷媒の分類に関する国際規格ISO817に安定性の評価を追加することを目指して、自己分解反応の試験法について関連企業と協力して検討した。

⑤ 空調機の新性能評価法の開発

- 1) エアコンの試験法について、圧縮機回転数を固定しない方法の研究開発を行っている早稲田大学と情報交換を行いながら、使用実態に近い性能試験法の研究を行った。
- 2) 建物の熱負荷を与えて、エアコンの性能を試験する「負荷試験法」について、簡易な空気エンタルピー式試験室でも実施できることを示す。
- 3) 東大と日本空調冷凍研究所の試験室でエアコンの負荷試験を実施し、試験室の規模が異なる試験室の測定精度を検証する。

社会実装(実用化・規格化等)目標の達成見込み

達成見込み	課題
<ul style="list-style-type: none"> 次世代冷媒として国際的に注目されている強燃性冷媒R290について、漏洩時に火災が発生する要因を検討し、安全性評価を行った。 強燃性冷媒の安全性を規定するルームエアコン:IEC 60335-2-40、冷凍冷蔵機器:IEC 60335-2-89の改訂案について、その安全性評価を実施し、その結果を国内委員会に提供した。 強燃性冷媒の漏洩時に着火源になり得る機器を明らかにし、その一般的な特性を解明した。IEC規格の次期改訂に向けて、その情報を国内委員会に提供した。 燃焼性を有する冷媒が漏洩して火災になる時の危害度の特性を明らかにした。その結果を日冷工の委員会に提供した。 	<ul style="list-style-type: none"> R290などの強燃性冷媒を用いることは安全面からは好ましいこととは言えないが、国際的な動向を踏まえ、安全に使用するために必要な最大充填量、室内機ファン風量の規程が必要である。 燃焼冷媒の着火源になり得るものは多様に存在し、それぞれに着火源モデルを構築する必要がある。着火する条件についての一般的な特性を明らかにする必要がある。 強燃性冷媒が燃焼する時の危害度はこれまで最悪と規定されてきたが、検証はされていない。実規模試験で、危害度を求めることが期待される。
<ul style="list-style-type: none"> HFO系の次世代冷媒について、自己分解反応の発生条件を実験的に明らかにし、自己分解反応を抑制する方法を提案した。 冷媒の安定性評価ISO817に導入することを目指して、国内委員会に情報提供した。 	<ul style="list-style-type: none"> 冷媒安定性をISO817に導入するためには、試験法について一層の検討が必要である。
<ul style="list-style-type: none"> ルームエアコンの使用実態に即した性能を評価するために、負荷試験法を検討し、日冷工の担当委員会に情報提供を行った。 	<ul style="list-style-type: none"> 広く普及している空気エンタルピー式環境試験室で負荷試験を適切に実施できること、その精度について、一層の検証が必要である。

特許・論文リスト(特許出願及び論文発表等)

分類	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度 (予定含む)	合計
特許出願							
(うち外国出願)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
論文		1	4	1	4	5	15
研究発表・講演	1	9	6	16	14	4	50
受賞実績		2					2
新聞・雑誌等への 掲載					3	1	4
展示会への出展							
TVその他					1		1
合計	1	12	10	17	22	10	72