

— 高効率ノンフロン型空調機器技術の開発 —

中間評価分科会説明資料

議題5 プロジェクトの概要説明 (公開)

平成25年6月20日

NEDO環境部

1 / 37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

N I. 事業の位置付け・必要性について

D II. 研究開発マネジメントについて

O III. 研究開発成果について

P L IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び
び取り組みについて

2 / 37

I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

III. 研究開発成果について

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

3 / 37

事業原簿 I - 1 ~ 3

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

I. 事業の位置付け・必要性について

(1) 背景 ~ 特定フロンと代替フロン等3ガスについて ~

● 冷凍空調機器の冷媒等に使用されてきたオゾン層破壊物質(CFC、HCFC: 京都議定書対象外)は、モントリオール議定書による生産、輸入規制の対象。このため、近年代替フロン(HFC: 京都議定書対象)への転換が進行。

種類	特定フロン		代替フロン等3ガス		
	CFC クロロフルオロカーボン	HCFC ハイドロクロロフルオロカーボン	HFC (代替フロン) ハイドロフルオロカーボン	PFC パーフルオロカーボン	SF6 六フッ化硫黄
国際規制	モントリオール議定書対象物質 ＜生産、輸入規制＞ (京都議定書対象外)		京都議定書対象物質 (他の京都議定書対象はCO2、メタン、N2O)		
オゾン層破壊効果	大きい	比較的小さい	まったくオゾン層を破壊しない		
温室効果(GWP) ^{※1}	極めて大きい (約10,000)	大きい (数百～約2,000)	大きい (数百～約4,000) ^{※2}	極めて大きい (約6,000～9000)	極めて大きい (23,900)
主な用途	(96年以降全廃済)	・冷凍空調機器の冷媒 ・洗浄剤、溶剤等 (2020年全廃予定)	・冷凍空調機器の冷媒 ・断熱材の発泡剤	・半導体、液晶製造 ・洗浄剤、溶剤	・電気絶縁機器 ・半導体、液晶製造 ・マグネシウム casting

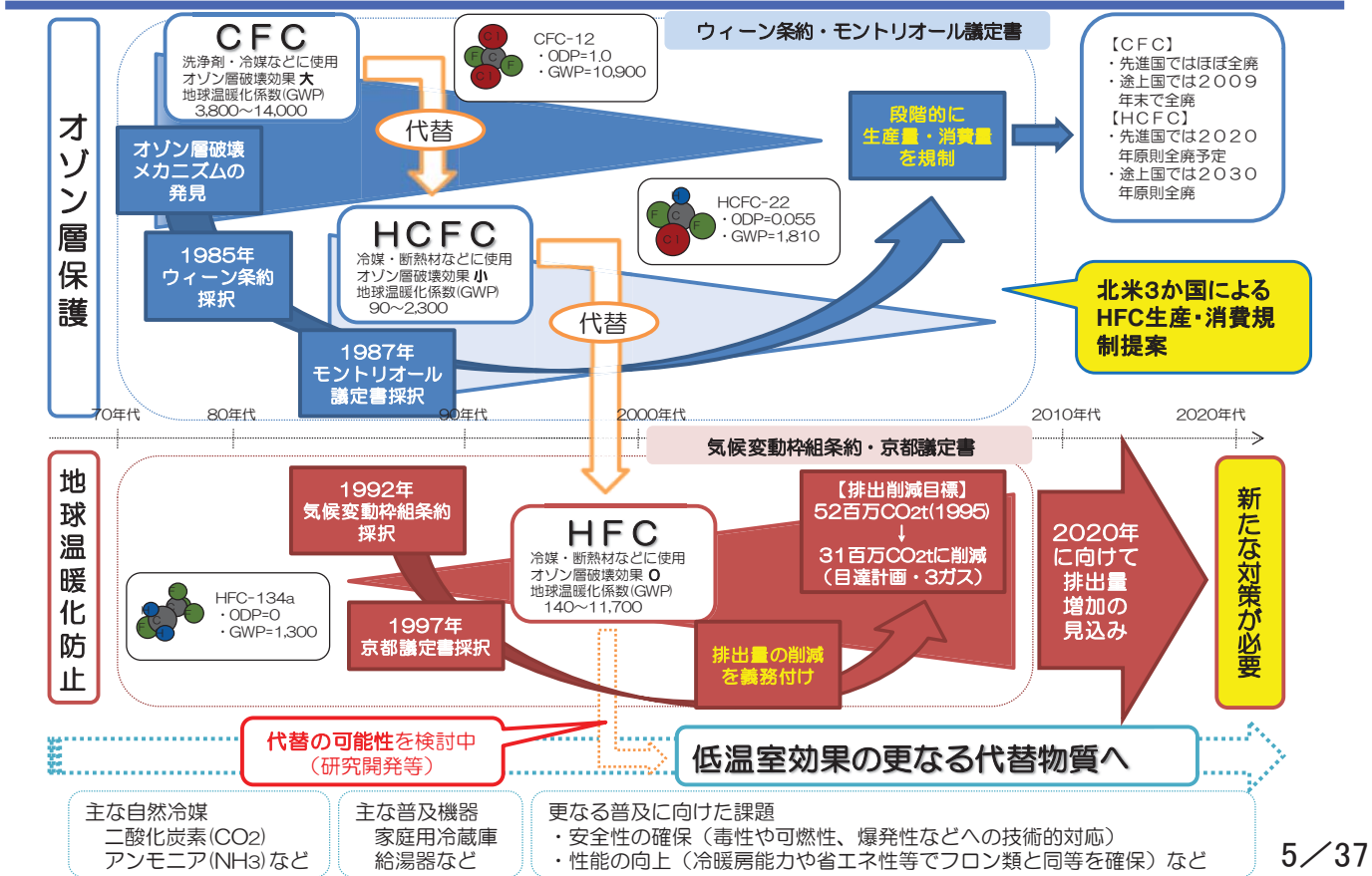
※1 GWP: 地球温暖化係数...CO₂の何倍の温室効果を有するかを表す値

※2 主な冷媒種としての値

4 / 37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 I. 事業の位置付け・必要性について

(1) 背景 ~フロン類を巡る規制と対策の流れ~



「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 I. 事業の位置付け・必要性について

(1) 背景 ~我が国の「京都議定書」による温室効果ガス削減目標~

● 京都議定書目標達成計画における削減目標(▲6%)のうち、代替フロン等3ガス分野で ▲1.6%を担っており、本分野における排出削減が我が国の目標達成に大きく貢献。

「京都議定書」目標達成計画(1990年比で6%削減)の内訳

	計画年度	基準年 百万 t-CO ₂	2010年 百万 t-CO ₂	増減比
エネルギー起源 CO ₂	2008	1 0 5 9	1 0 8 9	+2.3%
	2005	1 0 4 8	1 0 5 6	+0.6%
	1998	1 0 4 8	1 0 2 4	▲2.0%
非エネルギー起源 CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O	2008	1 5 1	1 3 2	▲1.5%
	2005	1 3 9	1 2 4	▲1.2%
	1998	1 3 9	1 3 3	▲0.5%
代替フロン等3ガス HFC、PFC、SF ₆	2008	※ 5 1	3 1	▲1.6%
	2005	5 0	5 2	0.1%
	1998	5 0	7 3	2.0%
森林吸収・CDM等	2008	---	(▲68)	吸収源 : ▲3.8%
	2005	---	(▲68)	CDM等 : ▲1.6%
温室効果ガス排出量 合計	2008	1 2 6 1	1 1 8 6	▲6.0%
	2005	1 2 3 7	1 1 6 3	▲6.0%

2008: 目達計画(改定)
2005: 目達計画
1998: 推進大綱

※: 代替フロン等3ガス分野は1995年を基準年としたCO₂換算排出量比

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 I. 事業の位置付け・必要性について

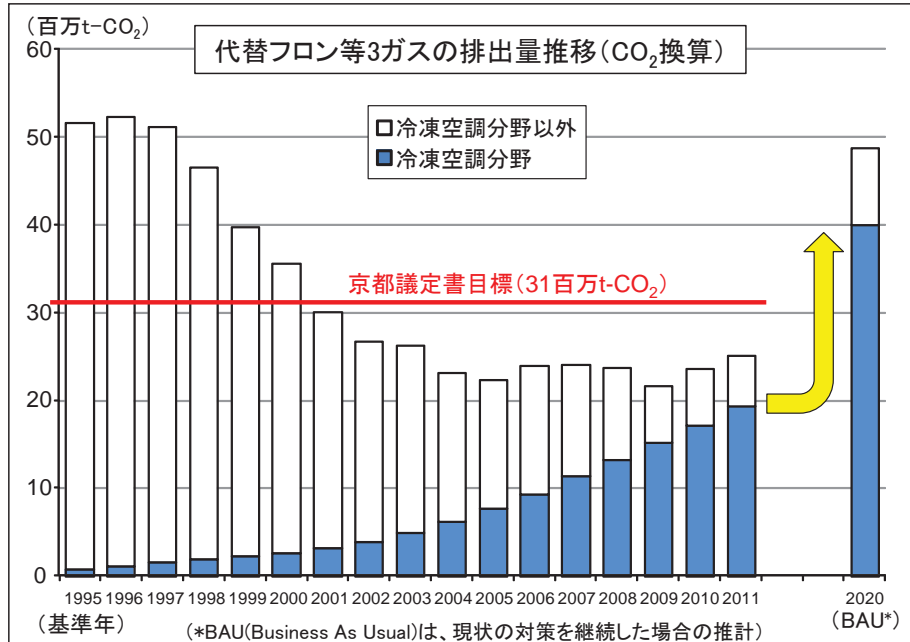


公開

(1) 背景 ~ 冷凍空調分野における代替フロン等3ガス排出量推移 ~

● 冷凍空調分野からの代替フロン等3ガスの排出量は、オゾン層破壊物質から代替フロン(HFC)へ転換により、今後大幅な増加が見込まれる。

⇒ 代替フロン等3ガスの排出を抑制するためには、冷凍空調分野からの排出抑制が重要。



〔出典：実績は政府発表値。BAU推計値は経済産業省試算値〕

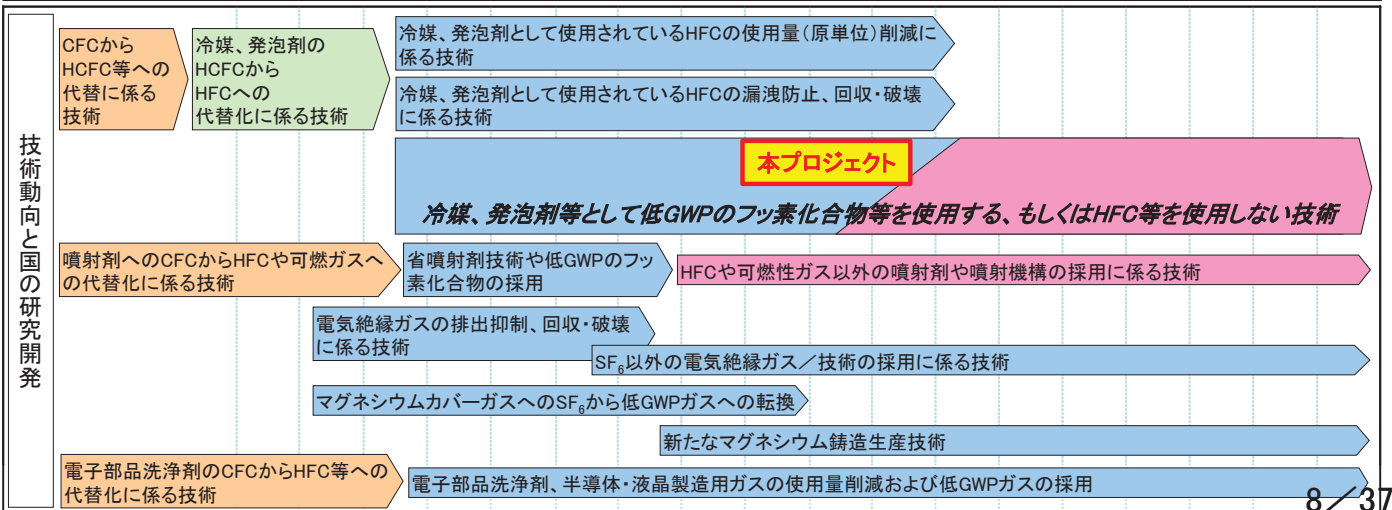
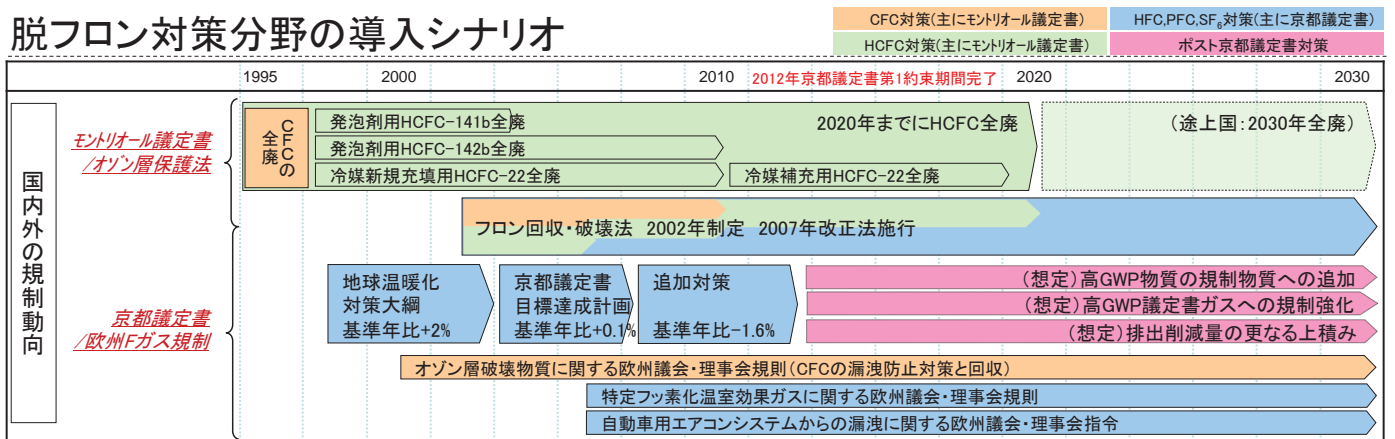
「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 I. 事業の位置付け・必要性について

(2) NEDOが関与する意義 ~ 脱フロン対策分野の導入シナリオ ~

公開



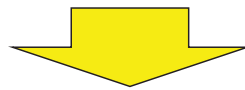
脱フロン対策分野の導入シナリオ



「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 I. 事業の位置付け・必要性について

(2) NEDOが関与する意義

- 地球温暖化対策は国内外において緊要であり、温室効果ガスであるHFC冷媒排出削減は急務
- 京都議定書がHFCの使用禁止を要求していないため、低温室効果冷媒による業務用空調システムを民間企業が単独で取り組むのにはリスクが大きい
- 低温室効果冷媒の安全性評価、物性評価等については、多くの企業、大学、研究機関の知見の結集によるオープンイノベーションが不可欠であり、一企業では実施不可能なレベル
- 我が国産業の競争力強化のためにも、世界に先駆けたノンフロン冷媒技術の開発が必要

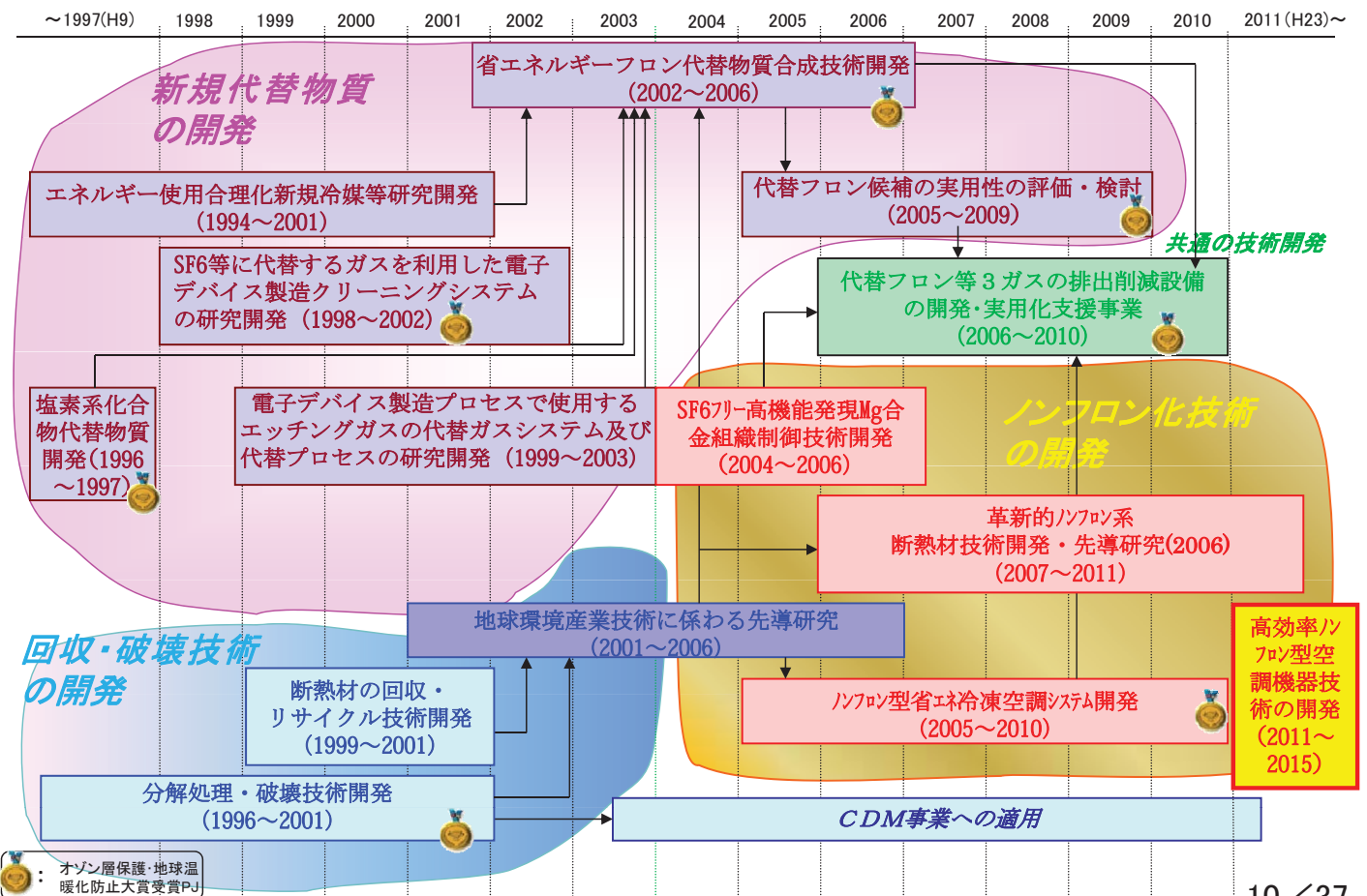


NEDOの事業としての妥当性は極めて高い

NEDOのミッション
「エネルギー・地球環境問題の解決」
「産業技術の国際競争力の強化」

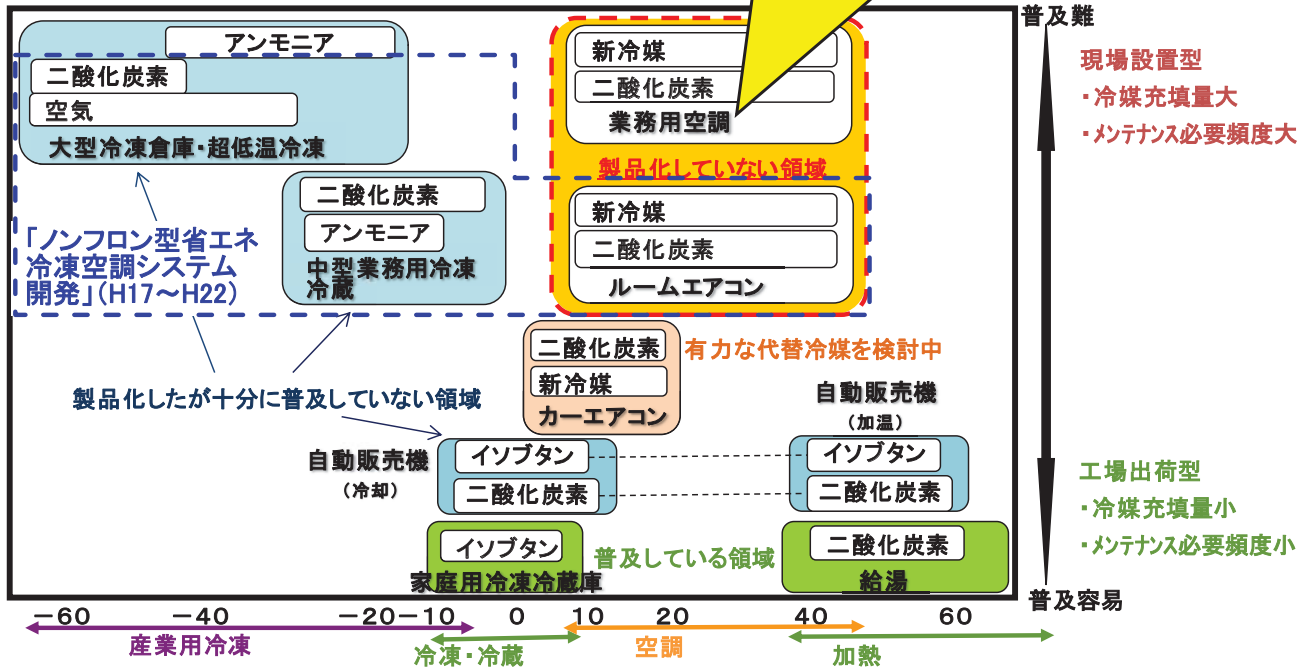
「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 I. 事業の位置付け・必要性について

(3) 事業の位置づけ ～フロン対策分野におけるNEDOプロジェクトの経緯～



●中間的温度帯(空調)では、代替フロンと同程度の熱力学特性、不燃性を持つ冷媒が見つかっておらず、システム面で省エネ性、安全性の両面から技術的ハードルが高い。中でも業務用空調については、規模(冷媒量・配管長等)が大きいこと等から特に技術的ハードルが高い。

プロジェクトターゲット



[出典:産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会第3回冷媒対策ワーキンググループ資料(2010/6)に基づきNEDO作成] 11/37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」
I. 事業の位置付け・必要性について
(4)実施の効果

＜プロジェクト予算総額＞ 23億円(予定)
(NEDO負担額)

＜冷凍空調分野のCO₂排出削減ポテンシャル＞
2020年 冷媒排出量推計※1 約4000万t-CO₂

内訳	家庭用空調	約900万t-CO ₂
プロジェクトターゲット	業務用空調	約1200万t-CO ₂ ※2
	業務用冷凍冷蔵	約1600万t-CO ₂
	他(カーエアコン等)	約200万t-CO ₂

※1:産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会第1回冷媒対策WG資料(2010/6)「2020年の機種別・排出形態別排出量BAU推計」より

※2:1990年総排出量約12億t-CO₂の約1%に相当

I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

III. 研究開発成果について

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」
II. 研究開発マネジメントについて
 (1) 事業概要

概要 現行の代替フロン冷媒に比べ大幅に温室効果を下げた低温室効果冷媒を用い、かつ高効率を両立する業務用空調機器(ビル用PAC等)を実現するため、機器システム、冷媒の両面から以下の技術開発を行う。

- ①低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器(圧縮機、熱交換器等)の開発
- ②高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発
- ③冷媒の性能、安全性評価(可燃性、毒性等)

期間 平成23年度 ~ 平成27年度 (5年間)

予算

総額	23億円 (予定)	研究開発項目毎配分		
		①機器 開発	②冷媒 開発	③性能・安全性 評価
		43%	15%	42%
平成23年度	4.8億円	44%	16%	40%
平成24年度	5.4億円	41%	13%	46%
平成25年度	2.8億円	43%	20%	37%
平成26年度	- 億円	-	-	-
平成27年度	- 億円	-	-	-

研究開発項目③において大きな成果が見込めたため、NEDO内加速財源を投入(H24年度)

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて



公開

(2) 研究開発項目および目標

● 基本計画目標

研究開発項目	中間目標(平成25年度末)	最終目標(平成27年度末)	根拠
プロジェクト全体	低温室効果冷媒適用時の空調機器の効率低下を抑制する要素技術について実用化の見通しを得る。	低温室効果冷媒を用いつつ 現状市販フロン品と同等以上の性能 を実現する基盤技術の確立を目標とする。	開発した製品が市場に受け入れられるためには、従来機と同等以上のエネルギー効率が必要
①低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発【機器開発】	低温室効果冷媒適用時の空調機器の効率低下を抑制する要素技術について実用化の見通しを得る。	低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン機と同等以上の性能を実現する基盤技術の確立を目標とする。	同上
②高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【冷媒開発】	空調機器適用時の機器効率低下が抑制された低温室効果冷媒の実用化の見通しを得る。	現状市販フロン品と同等以上の性能で温室効果の低い冷媒を実現する基盤技術の確立を目標とする。	同上
③冷媒の性能、安全性評価【性能・安全性評価】	公共的な見地から国際的標準化を注視しつつ、冷媒の性能、安全性評価のための項目・指針の見通しを得る。	公共的な見地から国際的標準化を注視しつつ、冷媒の性能、安全性評価を実施する。	新規冷媒に対する性能評価指針および安全基準が未整備

15/37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて



公開

(3) 研究開発計画 ～プロジェクト参画テーマ～

● 公募により 9テーマを採択

研究開発項目	テーマ	委託先/助成先	委託/助成	契約期間	対象技術等	対象冷媒	備考
①機器開発	CO ₂ を冷媒とした業務用空調機器向け高効率冷凍サイクルの開発	サンデン株式会社	助成(2/3)	2011-2013	パッケージエアコン(PAC)(中型) ・小規模店舗、事務所等の冷暖房用	CO ₂	・開発対象機器が同じPACである3テーマの違いは、適用冷媒の種類 ・適用冷媒が同じCO ₂ である2テーマの違いは、開発対象機器の規模
	CO ₂ -HFO系混合冷媒を用いた高効率業務用空調機器技術の開発	パナソニック株式会社	助成(2/3)	2011-2013		HFO系混合冷媒(HFO系+CO ₂ +R32混合等)	
	扁平管熱交換器を適用した業務用空調機の研究	三菱電機株式会社	助成(2/3)	2011-2013		低GWP冷媒(R1234yf等)	
	高効率ノンフロン型ビル用マルチ空調機の研究開発	ダイキン工業株式会社	助成(2/3)	2011-2013	ビル用マルチエアコン(大型) ・中～大規模ビルの冷暖房用	CO ₂	
	低GWP冷媒の高温域での適用調査研究	三菱重工工業株式会社	助成(2/3)	2011	ターボ式機器(超大型) ・ビル、工場全体のセントラル冷暖房、地域冷暖房等に使用	低GWP冷媒(R1234ze(E))	
②冷媒開発	高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発	旭硝子株式会社	助成(2/3)	2011-2013	低GWP冷媒開発	新規低GWP冷媒	・新規媒体を合成・評価
③性能・安全性評価	業務用空調機器に適した低GWP冷媒の探求とその安全性、物性および性能評価	九州大学	委託	2011-2013	低GWP冷媒評価(性能・安全性※) ※特に微燃性冷媒(A2L冷媒)の安全性評価	・R1234ze(Z), ・R1234ze(E)+R32+CO ₂ の三元系混合冷媒等	・既存媒体およびその混合媒体から冷媒探求、評価
	微燃性冷媒の燃焼・爆発性評価と空調機器使用時のリスクアセスメント	諏訪東京理科大学	委託	2011-2013		・R1234yf, ・R1234ze(E), ・R32等	・実際に燃焼する場合に重点を置いて評価
	エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価	東京大学	委託	2011-2013		・燃焼に至る条件に重点を置いて評価	

16/37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 Ⅱ. 研究開発マネジメントについて



公開

(3) 研究開発計画 ~各テーマの目標~

● 基本計画中間目標に基づく各テーマの目標(H25年度末)

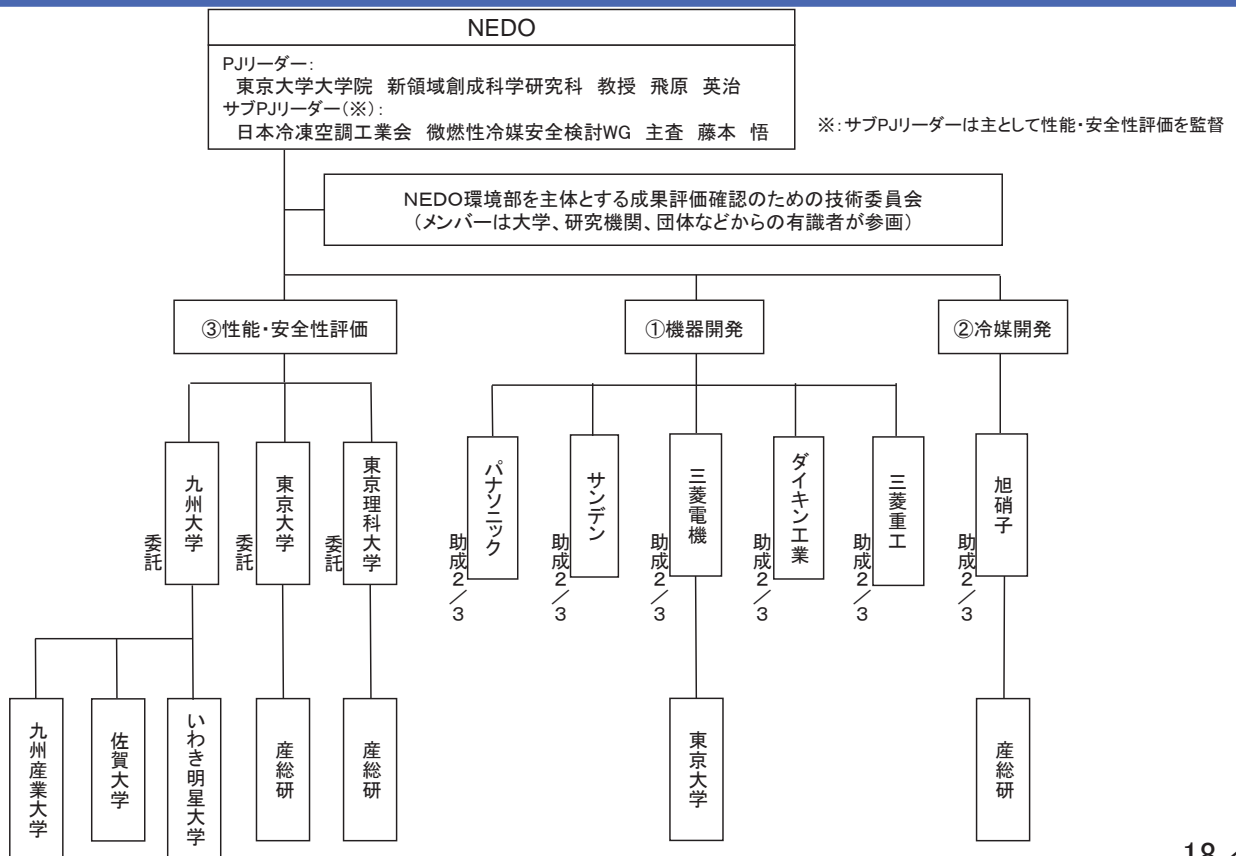
研究開発項目	対象技術等	テーマ	目標(H25年度末)	
①機器開発	パッケージエアコン (中型) ・小規模店舗、事務所等の冷暖房用	CO ₂ を冷媒とした業務用空調機器向け高効率冷凍サイクルの開発	現行のフロン機のトップランナーの 冷暖房平均COP5.15以上 を実現する、高効率の業務用CO ₂ 空調サイクルの開発	
		CO ₂ -HFO系混合冷媒を用いた高効率業務用空調機器技術の開発	GWP150程度(A2Lレベル)のCO ₂ /HFO混合冷媒を選定し、 従来冷媒(R410A)空調システムに比べ、COP10%以上 向上する	
		扁平管熱交換器を適用した業務用空調機の研究	低GWP冷媒を用いる3HP PACで R410A機に対しLAPF比 95%	
	ビル用マルチエアコン (大型) ・中~大規模ビルの冷暖房用	高効率ノンフロン型ビル用マルチ空調機の研究開発	冷房定格COPを現行R410A機同等レベル 、2015年省エネ法基準値である APF 5.2 (5HP) を超える性能を達成するために必要な要素部品の基本仕様を確立する	
③性能・安全性評価	ターボ式機器 (超大型) ・ビル、工場全体のセントラル冷暖房、地域冷暖房等に使用	低GWP冷媒の高温域での適用調査研究	代替低GWP冷媒の候補である R1234ze(E) がヒートポンプの高温領域(~90℃)に対して、空調用途と同様に 適用可能かを検証 する。	
		低GWP冷媒開発	高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発	空調機器適用時の機器効率低下が抑制された 低温室効果冷媒の実用化 の見通しを得る。
		業務用空調機器に適した低GWP冷媒の探求とその安全性、物性および性能評価	R1234ze(Z)の化学的性質・熱力学的・輸送的性質、伝熱特性およびサイクル基本特性を明らかにする。ついで、業務用空調機器の冷媒として適した低GWP混合冷媒を探求・選定し、選定した混合冷媒の熱力学的・輸送的性質の測定、伝熱特性の測定およびサイクル性能の評価を行う。以上より、低GWP混合冷媒を実用冷媒として使用する為の基盤技術を構築する。	
③性能・安全性評価	低GWP冷媒評価 (性能・安全性)	微燃性冷媒の燃焼・爆発性評価と空調機器使用時のリスクアセスメント	本研究開発では、A2L冷媒が使用された空調機のフィジカルハザードを評価し、A2L冷媒の空調機器適用に係るガイドライン作成への寄与を目標とする。	
		エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価	公共的な見地から国際的標準化を注視しつつ、冷媒の性能、安全性評価のための項目・指針の見通しを得る。	

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 Ⅱ. 研究開発マネジメントについて



公開

(4) 研究開発実施体制



「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(5) 運営管理

公開

● 研究開発計画・予算の最適化

- (1) 月例報告(委託先/助成先より研究進捗報告書(月報)を提出)
- (2) プロジェクトリーダー、NEDO職員による委託先/助成先のヒアリング
 - ・現地調査による研究開発能力・設備等の調査 (事業者参画初年度実施)
 - ・委託先/助成先の進捗報告(2回/年) (中間期ヒアリング、技術委員会前報告を実施)
 - ・以上に基づく、プロジェクトリーダーによる個別指導 (随時実施)
- ↓
- (3) (1)(2)による研究進捗の整理
 - ・NEDOでの絞り込み案の策定(計画修正・予算配分) → 適時研究開発計画の変更、加速など事業の推進
- ↓
- (4) 技術委員会によるコメント聴取 (各年度末に実施)
 - ・評価基準に基づく評価
- ↓
- (5) 絞り込み
 - ・次年度研究開発計画、予算の決定

19/37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(5) 運営管理

公開

技術委員会 委員

委員長

稲葉 英男(就実大学 学長)

委員 50音順

亀山 秀雄(国立大学法人東京農工大学大学院 技術経営研究科 教授)

齋川 路之(財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 副研究参事)

松尾 一也(松尾技術士事務所 所長)

20/37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(6) 実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

- 運営管理に従った、計画・予算の絞り込みにより、実用化・事業化の可能性の高い技術開発に資源を集中。
- 技術委員会等において各事業者は実用化・事業化の見通しについて発表、それに対してプロジェクトリーダー、技術委員(外部有識者)が意見を述べるとともに助言を行い、各テーマの研究開発内容にフィードバックさせる。
- 研究開発項目①、②(助成事業)は原則として競争的雰囲気を実施する。したがって、結果報告等は各事業者個別に呼び込み方式で実施する。
- 研究開発項目③(委託事業)は公共性が高いことから、産業界を加えた研究会(後述)を通じて成果を共有する。

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(6) 実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

- 知的財産に関して
 - ・ 研究開発項目①、②(助成事業)については、各事業者毎の企業戦略(積極的な出願、ノウハウ秘匿のための出願抑制等)に沿った知的財産管理を推奨している。(出願件数については後述)
 - ・ 研究開発計画③(委託事業)については、主として公共的な知的基盤の整備を目的とするため、原則として成果は積極的に公表する方針としている。(ただし、知的財産取得を妨げるものではない。)

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(6) 実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

● 標準化戦略・標準化活動 (JIS、IEC等)

- ・ JIS (ルームエアコン) 改訂へのデータ提供
- ・ UL2182規格 (冷媒) 改定検討委員会への提案
- ・ IEC 61D WG9委員会にてIEC 60335-2-40規格 (エアコン) への提案
- ・ 物性データ集刊行 (JSRAE Thermodynamic Tables, Vol. 4, - JARef HFO-1234ze(E), 日本冷凍空調学会 (2011))

低GWP冷媒実用化促進
に資する改訂等に寄与

● 微燃性冷媒リスク評価研究会 (日本冷凍空調学会に設置)

- ・ プロジェクトリーダー及びサブプロジェクトリーダーが主体となり発足。
- ・ 研究開発項目③で実施する低GWP冷媒 (微燃性冷媒) の安全性に関する研究成果を踏まえて、法規制緩和のために産業界が実施するリスク評価に協力。
- ・ 研究成果を産業界へ積極的に発信すると共に、産業界のニーズを本プロジェクト研究内容にフィードバック。
→ 本研究会を通じた、性能・安全性評価テーマと機器開発テーマとの連携

23 / 37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(7) 情勢変化への対応

国内外の規制動向と連携しつつ、研究開発を実施していく。

● 国内の規制動向

- ・ 高圧ガス保安法 → 微燃性冷媒実用化に資する法整備への寄与 (後述)
- ・ 改正フロン回収・破壊法 ⇒ 「フロン使用合理化・適正管理法」
… 製品の低GWP化促進を謳うもの
→ 低GWP冷媒適用技術開発の促進

● 国外の規制動向

- ・ 欧州 Fガス規制の強化案
 - ・ モントリオール議定書への北米3カ国提案
- … HFCのフェーズ
ダウンを図るもの
- 輸出、海外技術移転等を視野に入れた技術開発

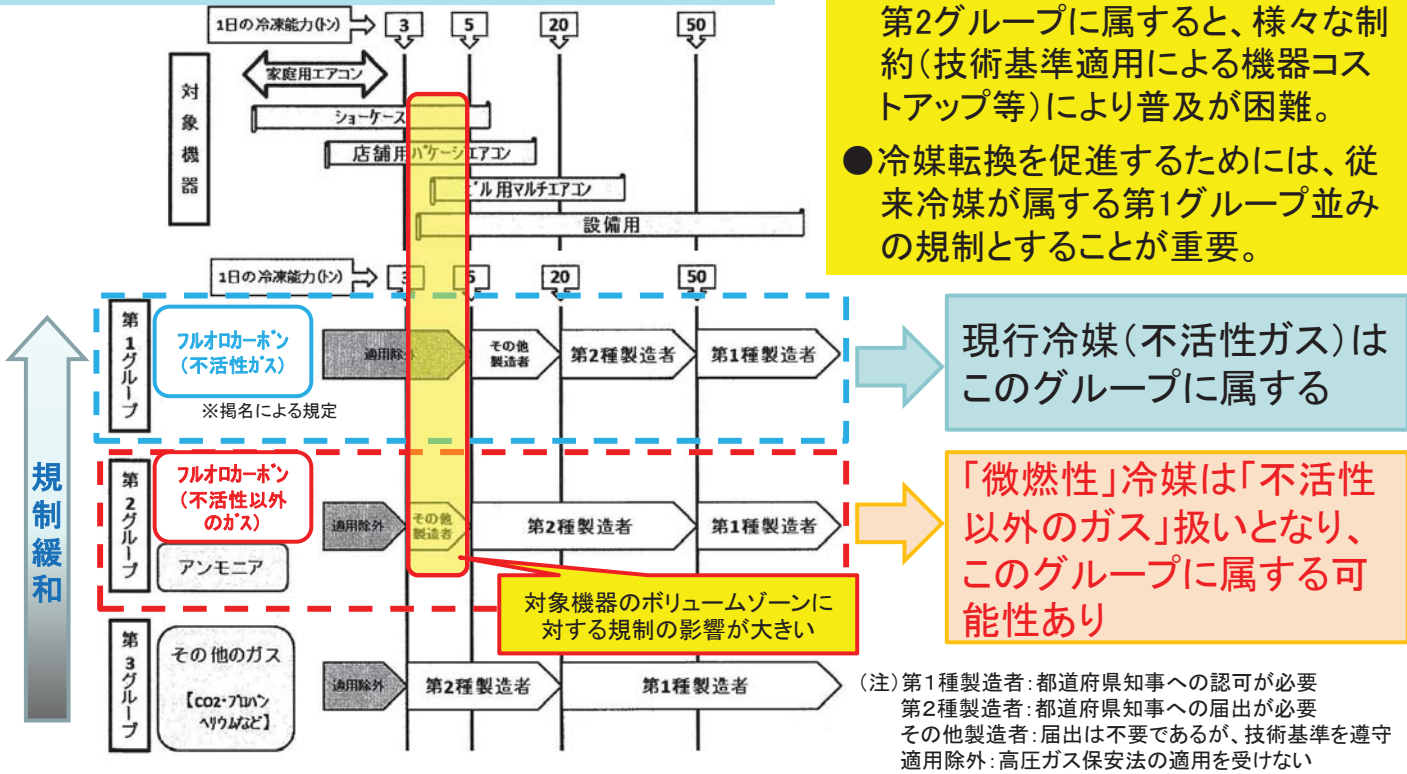
24 / 37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(7) 情勢変化への対応 ~ 高圧ガス保安法 ~

高圧ガス保安法冷凍保安規則の規制体系の概要

- 低温室効果冷媒（微燃性冷媒）が第2グループに属すると、様々な制約（技術基準適用による機器コストアップ等）により普及が困難。
- 冷媒転換を促進するためには、従来冷媒が属する第1グループ並みの規制とすることが重要。



[出典: 産構審地球温暖化防止対策小委員会・中環審フロン類等対策小委員会第3回合同会議参考資料(2012/8)に基づきNEDO作成]

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

III. 研究開発成果について

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 Ⅲ. 研究開発成果について



公開

(1) 各テーマの目標達成度(事業者による自己評価)

研究開発項目	対象技術等	テーマ	目標	成果	自己評価	
①機器開発	パッケージエアコン (中型) ・小規模店舗、事務所等の冷暖房用	CO ₂ を冷媒とした業務用空調機器向け高効率冷凍サイクルの開発	現行のフロン機のトッランナーの冷暖房平均COP5.15以上を実現する、高効率の業務用CO ₂ 空調サイクルの開発	現状、システムの試作評価は未確認であるが、膨張機の効率改善により、冷暖房平均COP4.86となる業務用空調サイクルの評価が完了予定である。平均COP5.15以上となるサイクルの構成検討は完了している。 目標達成のためには他社PATの回避が課題である。	△	
		CO ₂ -HFO系混合冷媒を用いた高効率業務用空調機器技術の開発	GWP150程度(A2Lレベル)のCO ₂ /HFO混合冷媒を選定し、従来冷媒(R410A)空調システムに比べ、COP10%以上向上する	GWP<150のCO ₂ /R32/HFO混合冷媒を選定、原理評価試験機にて評価完了。冷房定格でCOP99%(R410A比)を得た。冷媒組成及び冷凍サイクル改善後、現行空調機へのドロップイン評価にてCOP110%(R410A比)を達成見込みである。	○	
		扁平管熱交換器を適用した業務用空調機の研究	低GWP冷媒を用いる3HP PACでR410A機に対しAPF 95%	①ドロップイン性能、②配管圧損低減効果、③気液分離器導入効果、④扁平管導入効果を実機ユニットを用いて評価し、R410A機に対しAPF95%を確認する見込み。	○	
	ビル用マルチエアコン (大型) ・中～大規模ビルの冷暖房用	高効率ノンフロン型ビル用マルチ空調機の研究開発	冷房定格COPを現行R410A機同等レベル、2015年省エネ法基準値であるAPF 5.2(5HP)を超える性能を達成するために必要な要素部品の基本仕様を確立する	膨張機を除いた開発中の全ての要素技術を搭載したシステムの性能評価を実施した。抽出された課題に対して解決策を立案し、それらによる改善見込みと膨張機搭載による効果予測を反映してシステム性能を試算し、冷房定格COP、APFともに目標値を達成できる試算結果を得ることができた。そのため、H25年度末には要素技術の基本仕様を確立できる見込みである。	○	
②冷媒開発	低GWP冷媒開発	ターボ式機器 (超大型) ・ビル、工場全体のセントラル冷暖房、地域冷暖房等に使用	低GWP冷媒の高温域での適用調査研究	代替低GWP冷媒の候補であるR1234ze(E)がヒートポンプの高温領域(~90℃)に対して、空調用途と同様に適用可能かを検証する。	温熱用途として温水出口温度90℃迄の範囲においてはR1234ze(E)は適用可能である事が確認でき目標が達成できた。ただしその性能はR134a比で低下するため実用化・事業化のためには性能の改善が課題となる。	○
		高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発	空調機器適用時の機器効率低下が抑制された低温室効果冷媒の実用化の見通しを得る。	候補媒体について測定を実施。燃焼性及び毒性(Ames試験・蓄積性)についてデータを取得。有望候補媒体の絞り込みを行い、実用化できる低温室効果冷媒の見通しを得た。	○	

◎:計画以上、○:計画通り(目標達成又は達成見込)、△:ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×:計画未達

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 Ⅲ. 研究開発成果について



公開

(1) 各テーマの目標達成度(事業者による自己評価)

研究開発項目	対象技術等	テーマ	目標	成果	自己評価
③性能・安全性評価	低GWP冷媒評価 (性能・安全性)	業務用空調機器に適した低GWP冷媒の探求とその安全性、物性および性能評価	R1234ze(Z)の化学的性質、熱力学的・輸送的性質、伝熱特性およびサイクル基本特性を明らかにする。ついで、業務用空調機器の冷媒として適した低GWP混合冷媒を探索・選定し、選定した混合冷媒の熱力学的・輸送的性質の測定、伝熱特性の測定およびサイクル性能の評価を行う。以上より、低GWP混合冷媒を実用冷媒として使用する為の基盤技術を構築する。	R1234ze(Z)の化学的性質、熱力学的・輸送的性質、伝熱特性およびサイクル基本特性を明らかにした。また、次世代冷媒として有望なGWP<300 および GWP<200のR1234ze(E)/R32/CO ₂ 系3成分混合冷媒の組成比を選定するとともに、それらのPvT性質、臨界定数を明らかにした。さらに、R1234ze(E)/R32系およびR1234ze(E)/R32/CO ₂ 系2成分混合冷媒の伝熱特性およびサイクル性能を明らかにした。	○
		微燃性冷媒の燃焼・爆発性評価と空調機器使用時のリスクアセスメント	本研究開発では、A2L冷媒が使用された空調機のフィジカルハザードを評価し、A2L冷媒の空調機器適用に係るガイドライン作成への寄与を目標とする。	A2L冷媒の燃焼性に関する基礎データの取得はおおむね順調に進んでいる。実際に想定される事故シナリオに基づいたフィジカルハザード評価として、暖房機器やライター使用時の危険性評価を行い、その成果を学術論文として公表した。	○
		エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価	公共的な見地から国際的標準化を注視しつつ、冷媒の性能、安全性評価のための項目・指針の見通しを得る。	多くのテーマを分担している。それぞれのテーマについて、着実に成果を上げている。その結果として、微燃性冷媒リスク評価研究会に大いに貢献している	○

◎:計画以上、○:計画通り(目標達成又は達成見込)、△:ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×:計画未達

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅲ. 研究開発成果について

(2) 各研究開発項目の目標達成度

●プロジェクト中間目標:

低温室効果冷媒適用時の空調機器の効率低下を抑制する要素技術について実用化の見通しを得る。



研究開発項目	中間目標(平成25年度末)	自己評価
①【機器開発】低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発	低温室効果冷媒適用時の空調機器の効率低下を抑制する要素技術について実用化の見通しを得る。	○
②【冷媒開発】高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発	空調機器適用時の機器効率低下が抑制された低温室効果冷媒の実用化の見通しを得る。	○
③【性能・安全評価】冷媒の性能、安全性評価	公共的な見地から国際的標準化を注視しつつ、冷媒の性能、安全性評価のための項目・指針の見通しを得る。	○

◎:計画以上、○:計画通り(目標達成又は達成見込)、△:ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×:計画未達

29/37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

Ⅲ. 研究開発成果について

(3) 成果の意義

研究開発項目	対象技術等	成果の意義	対応・方針
① 機器開発	パッケージエアコン (中型) ・小規模店舗、事務所等の冷暖房用	・低GWP冷媒適用要素機器(圧縮機、熱交換器等)の開発 ・業務用空調機器へのCO ₂ 及び低GWP冷媒適用に関する幅広くかつ確度の高い知見の取得	・実用化研究フェーズへ移行 ⇒本プロジェクトで実施
	ビル用マルチエアコン (大型) ・中～大規模ビルの冷暖房用		
	ターボ式機器 (超大型) ・ビル、工場全体のセントラル冷暖房、地域冷暖房等に使用	・現行冷媒と比較してCO ₂ 排出量削減(LCCP評価) ・事業化への課題抽出 ・低GWP冷媒のレトロフィットの可能性を得た	・事業化フェーズへ移行 ・適用範囲拡大検討
② 冷媒開発	低GWP冷媒開発	・性能・安全面で従来冷媒と代替する可能性のある新規低GWP媒体の開発	・実用化研究フェーズへ移行 ⇒本プロジェクトで実施
③ 性能・安全性評価	低GWP冷媒評価 (性能・安全性)	・リスク評価(産業界で実施)の推進に寄与 ・内外の規格・法規整備への提言のための知見の取得と発信	・リスク評価への更なる寄与 ・内外の規格・法規整備への提言(高圧ガス保安法、ISO等) ⇒本プロジェクトで実施

30/37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」
Ⅲ. 研究開発成果について

(4) 知的財産権の状況

研究開発項目 区分	特許出願			計
	①機器開発 (5テーマ)	②冷媒開発 (1テーマ)	③性能・安全性評価 (3テーマ)	
国内	27	6	0	33
外国	0	0	0	0
PCT※出願	3	1	0	4
計	30	7	0	37

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

- 製品開発を目的とする研究開発項目①、②(助成事業)においては、各事業者毎の企業戦略に沿った特許出願を実施。
- 事業開始3年目で登録には至っていない。

31 / 37

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」
Ⅲ. 研究開発成果について

(5) 成果普及について

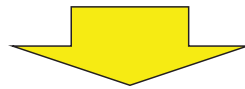
研究開発項目 区分	成果の発表			計
	①機器開発 (5テーマ)	②冷媒開発 (1テーマ)	③性能・安全性評価 (3テーマ)	
論文 (査読付き)	0	0	38	38
論文 (その他)	3	0	56	59
その他外部発表 (プレス発表等)	0	0	1	1
計	3	0	95	98

- 公共的な知的基盤整備を目的とする研究開発項目③(委託事業)においては、論文投稿、講演発表等を多く実施。
- 製品開発を目的とする研究開発項目①、②(助成事業)においては、現時点で開発途上であるために公での発表は少ない。

32 / 37

国際会議等における本プロジェクト成果の発信実績

- 神戸シンポジウム(「環境と新冷媒 国際シンポジウム2012」(日本冷凍空調工業会主催))(2012/11/8-9)
 - ・「微燃性冷媒の安全性分析」セッションを設置、研究会の成果を可能な限り公開。(本プロジェクト関連発表:6件)
- 微燃性冷媒リスク評価研究会(日本冷凍空調学会)
 - ・年度毎にプログレスレポートを作成(和文、英文)し、平成24年度版は日本冷凍空調学会ホームページにて公開。



国内外へ本プロジェクト成果を積極的に発信

中間目標達成により、低温室効果冷媒適用時の空調機器の効率低下を抑制する要素技術について実用化の見通しを得られる。



最終目標: 低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する基盤技術の確立

達成可能

研究開発項目	最終目標(平成27年度末)	達成見通し
①【機器開発】低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発	低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン機と同等以上の性能を実現する基盤技術の確立を目標とする。	○
②【冷媒開発】高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発	現状市販フロン品と同等以上の性能で温室効果の低い冷媒を実現する基盤技術の確立を目標とする。	○
③【性能・安全評価】冷媒の性能、安全性評価	公共的な見地から国際的標準化を注視しつつ、冷媒の性能、安全性評価を実施する。	○

I. 事業の位置付け・必要性について
 II. 研究開発マネジメントについて
 III. 研究開発成果について
IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

35 / 37

事業原簿IV-1~9

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

(1) 成果の実用化・事業化の見通し

研究開発項目	対象技術等	実用化・事業化見通し
① 機器開発	パッケージエアコン (中型) ・小規模店舗、事務所等の冷暖房用	<ul style="list-style-type: none"> ・中間目標達成(～H25)後、実用化研究(H26～H27)により、技術面の課題は明確化され、解決の見込み。 ・技術面以外の課題(国内外の冷媒規制(GWP規制等)状況および低GWP冷媒の安全性(燃焼性等)リスク評価)の解決により、本プロジェクト終了後(H28～)、事業化フェーズへ移行可能。
	ビル用マルチエアコン (大型) ・中～大規模ビルの冷暖房用	
	ターボ式機器 (超大型) ・ビル、工場全体のセントラル冷暖房、地域冷暖房等に使用	<ul style="list-style-type: none"> ・製品化研究(H24～)の実施とともに、冷媒の法的分類・取扱が確立することにより事業化フェーズへ移行可能。
② 冷媒開発	低GWP冷媒開発	<ul style="list-style-type: none"> ・中間目標達成(～H25)後、実用化研究(H26～H27)により、技術面の課題は明確化され、解決の見込み。 ・技術面以外の課題(国内外の冷媒規制(GWP規制等)状況および低GWP冷媒の安全性(燃焼性等)リスク評価)の解決により、本プロジェクト終了後(H28～)、事業化フェーズへ移行可能。
③ 性能・安全性評価	低GWP冷媒評価 (性能・安全性)	<ul style="list-style-type: none"> ・講演・論文投稿等を通じた成果の周知や、冷凍空調業界団体等を通じてのPR、および規格・法整備等に係る働きかけを内外に広く展開していくことにより、低GWP冷媒適用の環境整備に寄与する。

36 / 37

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

(3) 波及効果

公開

研究開発項目	対象技術等	技術的波及効果	対象技術分野の国内市場規模※1	対象技術分野の冷媒排出量推計※3	社会的波及効果
①機器開発	パッケージエアコン (中型) ・小規模店舗、事務所等の冷暖房用	・高効率化技術(圧縮機、熱交換器等)の他分野への展開	・約1千億円	・約7百万t-CO ₂	・温室効果ガス排出削減による地球環境への貢献 ・世界に先駆けた低GWP冷媒技術の開発による我が国産業の競争力強化 ↓ NEDOのミッションに合致: 「エネルギー・地球環境問題の解決」 「産業技術の国際競争力の強化」
	ビル用マルチエアコン (大型) ・中～大規模ビルの冷暖房用		・約1千億円	・約5百万t-CO ₂	
	ターボ式機器 (超大型) ・ビル、工場全体のセントラル冷暖房、地域冷暖房等に使用	・他機器(チラー等、現行R134a使用機器)への展開	・約8千台※2	・約1百万t-CO ₂	
②冷媒開発	低GWP冷媒開発	・他用途(広範囲の冷凍空調機器、ヒートポンプ、噴射剤、発泡剤等)への展開	・約1万t(業務用空調機器分野)	・約13百万t-CO ₂ ※4	
③性能・安全性評価	低GWP冷媒評価(性能・安全性)	・低GWP冷媒基礎データの普及による実用化研究開発の促進 ・リスクアセスメントの推進	—	—	・内外の規格・法規整備への貢献(高圧ガス保安法、JIS、ISO等)

※1: 助成金交付申請書・企業化計画に基づく推算値

※2: 超大型機器については、既設機へのレトロフィットが重要技術と考え、市中稼働台数(経済産業省推計)を記載した

※3: 2020年BAU推計値(経済産業省推計)

※4: 業務用空調機器分野全体が対象となる技術と考え、機器開発項目の合計値とした

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し
及び取り組みについて

機器開発における実施例の紹介

助成先: サンデン(株)、ダイキン工業(株)、パナソニック(株)、
三菱重工業(株)、三菱電機(株)

①-1/46

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」Ⅲ. 研究開発成果について、Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

事業原簿 Ⅲ-7~9

研究開発項目①: 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

助成

公開

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」事業
中間評価委員会 報告資料

■ 助成事業の名称

CO₂を冷媒とした業務用空調機器向け
高効率冷凍サイクルの開発

群馬県伊勢崎市寿町 20番地
サンデン株式会社

①-2/46

CO₂を冷媒とした業務用空調機器向け高効率冷凍サイクルの開発 中間評価委員会

目次

1. スケジュールと進捗

1.1 全体スケジュール

2. 研究内容と成果

2.1 目標と成果

2.2 研究開発成果

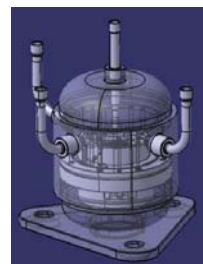
- ・空調サイクル
- ・膨張機効率向上検討

2.3 残課題と対応

3. 事業化計画



室外ユニット



圧縮機一体型膨張機

1.1 全体スケジュール・実績

計画 →
実績 →

テーマ	H23年度				H24年度				H25年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
高効率のCO₂空調サイクルの開発 冷暖房 平均COP5.15		従来のフロン機の 運転特性調査			予備確認試験機 作製・評価				多段サイクル システム作製			
		高効率サイクル検討 シミュレーションCOP試算			サイクル制御性 確立				システム評価			
空調サイクル向け 高効率圧縮機一体 型膨張機の開発 膨張機効率 目標値以上		膨張機設計 試作0	効率 改善	試作1	耐久評価				試作3 作製・評価			
					試作2 作製・評価				試作4 作製・評価			
関連機器の研究・ 開発 室外熱交換器 耐圧性・効率向上					多段サイクル用 圧縮機試作・評価				改善検討			
					室内熱交換器設計・評価				改善検討			

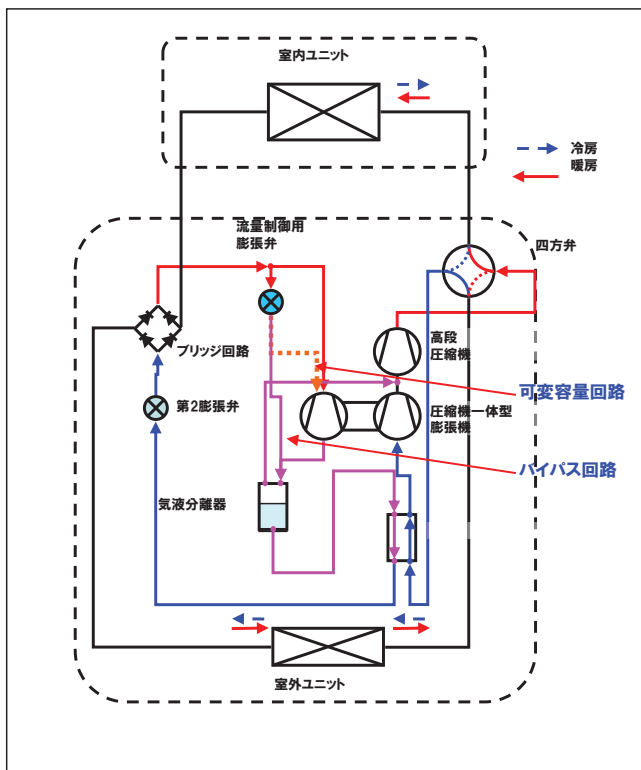
2.1 目標と経過

目標	研究開発成果(現時点)	達成度(H25年度末見込み)
テーマ:CO ₂ を冷媒とした業務用空調機器向け高効率冷凍サイクルの開発		
現行のフロン機のトップランナーの冷暖房平均COP5.15以上を実現する、高効率の業務用CO ₂ 空調サイクルの開発	現状、システムの試作評価は未確認であるが、膨張機の効率改善により、冷暖房平均COP4.86となる業務用空調サイクルの評価が完了予定である。 平均COP5.15以上となるサイクルの構成検討は完了した。 目標達成のためには他社PATの回避が課題である。	△
[1] 高効率の業務用CO ₂ 空調サイクルの開発		
サイクル立案 冷暖房平均COP5.15以上	平均COP5.15以上となるサイクルの構成・試算は完了した。 予備試験機により、制御性の把握と、効率向上の見込みが確認できた。 冷暖房平均COP4.86となる業務用空調サイクルの試作・評価までは完了予定である。	△
[2] 空調用の圧縮機一体型膨張機の開発		
膨張機 動力回収利用率 目標値以上	現状値:膨張機 動力回収利用率 達成度 62% 体積効率(膨張機側) 達成度78% 機械効率 達成度89% 体積効率等の改善により、目標達成見込みである。	○
[3] 関連機器の開発		
熱交換器 破壊耐圧:42MPa 熱交換能力:従来比10%以上向上	CFD解析により、熱交換器に対する風の偏りを試算し、熱交換器の設計仕様を決定した。 試作及び評価により確認し、目標達成見込みである。	○

【◎:計画以上、○:計画通り(目標達成又は達成見込)、△:ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×:計画未達】

①-5/46

2.2 研究内容 空調サイクル検討 サイクル構成とCOP試算



【空調サイクル】

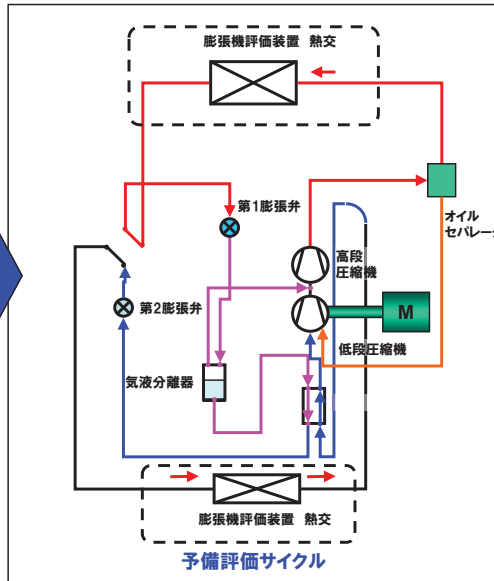
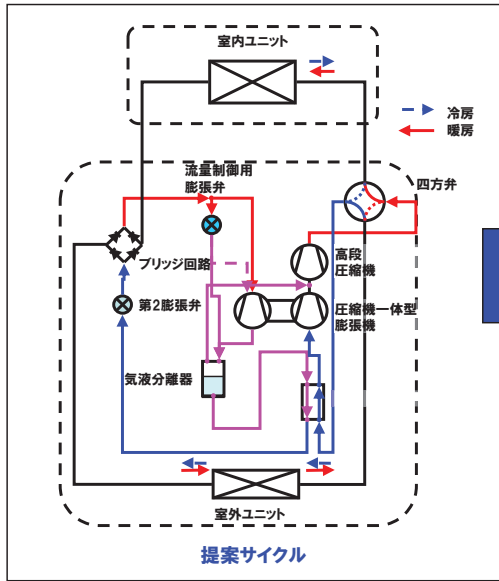
- 空調用の圧縮機一体型膨張機を搭載した、気液分離式多段サイクル
- 圧縮機一体型膨張機の流量制御はバイパス式

バイパス制御方式にすると、試算上冷暖房平均COPが94.3%となるが、特許回避が可能であることから、バイパス制御方式を主とする。可変式の技術成立性は検証する。

		COP	平均COP	対フロン機効率	備考
現行フロン機	冷房	4.83	5.15	-	圧縮機効率80%
	暖房	5.47			
バイパス	冷房	4.24	4.86	94.3%	高段圧縮機効率向上率込み
	暖房	5.47			
容量制御	冷房	4.98	5.20	101.4%	高段圧縮機効率向上率込み
	暖房	5.47			

①-6/46

2.2 研究内容 空調サイクル 予備評価機作製・評価

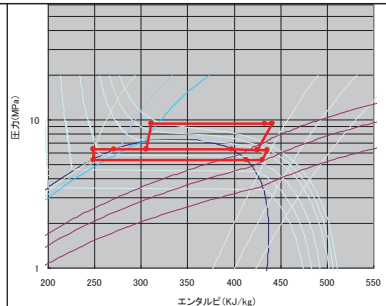


確認項目

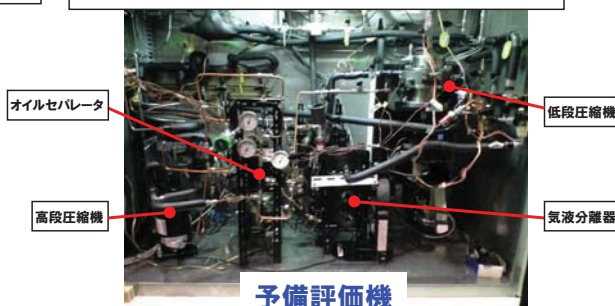
- 膨張機回収動力と中間圧力のバランス制御 (低段圧縮力と第2膨張弁絞り量)
- 高圧の制御 (第1膨張弁)
- 気液分離器性能
- 能力向上率

擬似項目

- 熱交換器→水冷/二次冷媒式
- 膨張機回収動力→低段圧縮動力を外部モータで制御



提案サイクルph線図



予備評価機



高段圧縮機 (低圧縮比対応)

2.2 研究内容 空調サイクル 予備評価機 評価結果

➤ 膨張機回収動力と中間圧力のバランス制御

(低段圧縮力と第2膨張弁絞り量)

⇒ 中間圧力は低段圧縮能力 (膨張機回収動力) と冷媒流量のバランス点で決まる。(実機確認)

⇒ 第2膨張弁では蒸発器の過熱度を制御出来る。(実機確認)

➤ 高圧の制御

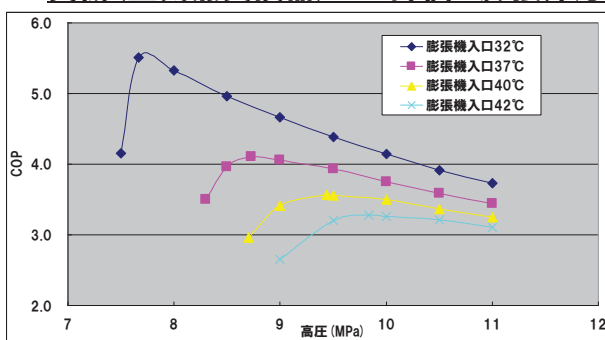
⇒ 各膨張機入口温度において最高COPとなる最適な高圧が存在することが判明。(シミュレーション)

⇒ 第1膨張弁で制御可能であることを確認。(実機確認)

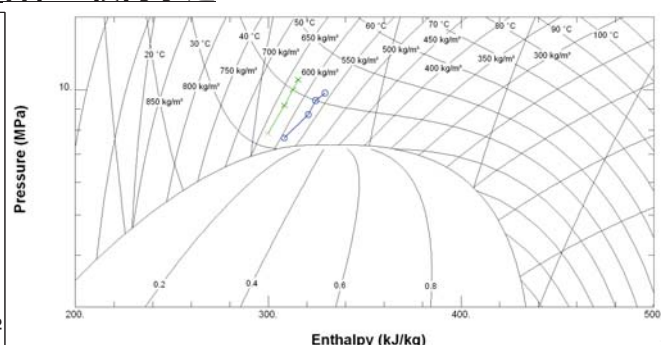
但し、膨張機入口温度が32℃近傍 (冷房、外気温低下時) では、最高COPとなる最適な高圧にした場合、

- ・温度勾配が緩やかなことから、サイクルが不安定になる。
- ・高圧が変化した場合、急激にCOPの変化となる。

⇒ 実機 (空気熱交換器) での評価と膨張弁応答性を検討予定



高圧とCOPの関係



ph線図における膨張機入口温度と最高COP

2.2 研究内容 空調サイクル 予備評価機 評価結果

➤ 気液分離器性能

⇒ 気液分離器の性能は、おおむね問題ないことを確認。(実機確認)

但し、オイルが溜まるなど、挙動が不安定になる時がある

⇒ 回路へのオイル流入防止策等が必要

⇒ 冷媒封入量を変化させた場合の性能への影響度合い確認

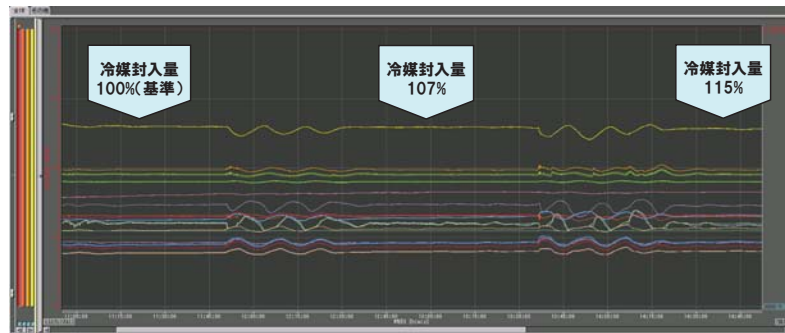
◎ 冷媒封入量を増やしても安定的に制御することが可能(実機確認)

◎ 基準封入冷媒量から足した封入冷媒量は気液分離器に溜まる(実機確認)

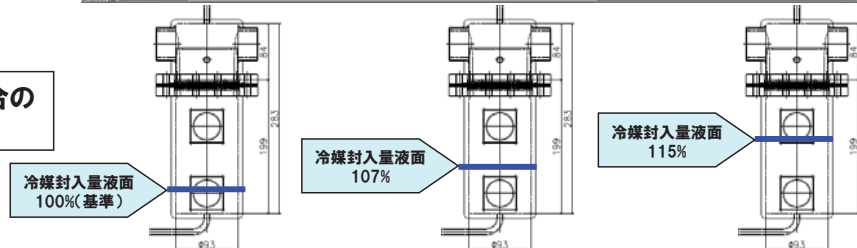


気液分離器

冷媒封入量を変化させた場合の各部データ



冷媒封入量を変化させた場合の気液分離器内の液面高さ



①-9/46

2.2 研究内容 空調サイクル 予備評価機 評価結果

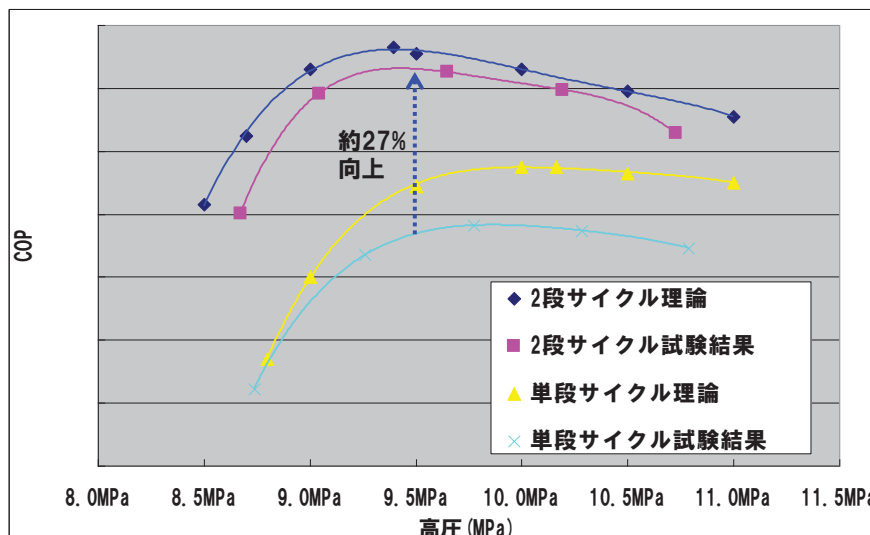
➤ 能力向上率

⇒ 理論通り最適な高圧が存在(実機確認)

◎ 最適な高圧より若干高圧が低くなるとCOPの低下が著しいことも確認

⇒ 2段サイクルの性能優位性を確認(実機確認)

◎ 2段サイクルと単段サイクルのCOP向上率 約27%向上



高圧とCOPの関係 (2段サイクルと単段サイクル)

制御性の検証と予備試験機による能力向上の可能性が確認できた

①-10/46

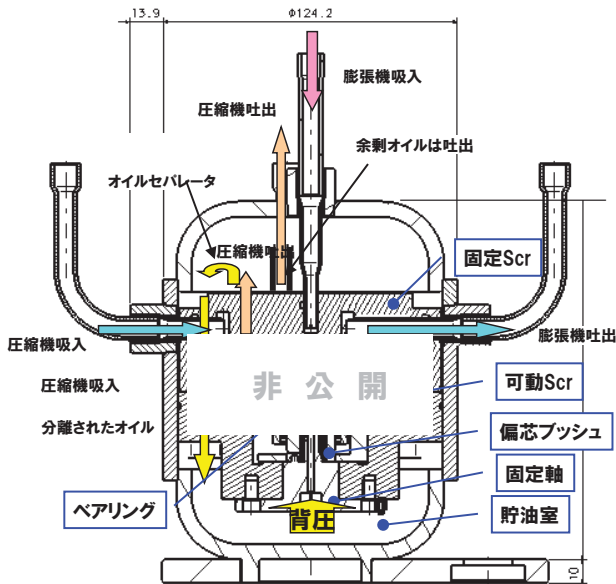
2.2 研究内容 圧縮機一体型膨張機の開発

▶プロト機開発 評価

当初設計機に対し、効率は向上してきている

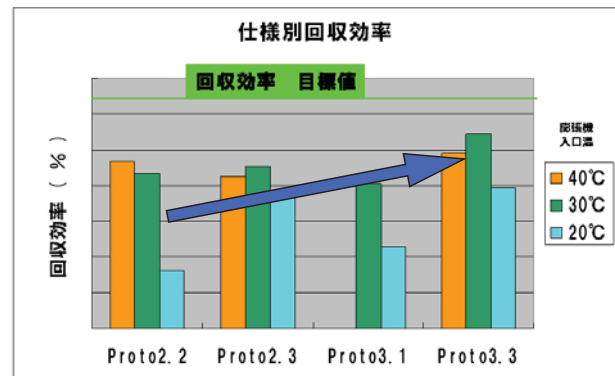
目標値は未達 ⇒ **体積効率の向上により目標実現は可能である**

対応方法 スクロール間隙間の低減（芯位置、旋回運動）



Proto3.3 密閉モデル

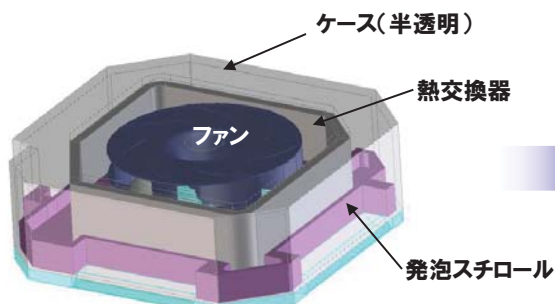
Proto2.2	Proto2.3	Proto3.1	Proto3.3
非 公 開			
ベース仕様	膨張比低減 吸入口圧損改善	旋回半径縮小・渦巻変更 高速回転仕様	旋回半径縮小・渦巻変更 蓋高さup(取込容積up)



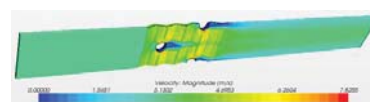
①-11/46

2.2 研究内容 天カセ空調性能予測（CFD+1次元シミュレーション）

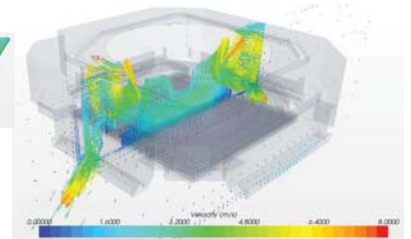
他社製天カセモデル、配管径φ8、R410A→配管径CO₂向けに変更し、性能を予測



T社製天カセ空調ベースモデル



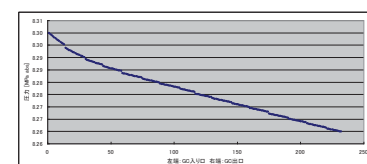
フィン単体解析
→伝熱、圧損



天カセ解析→熱交風速分布

熱流体解析の実施

	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
冷媒圧力 MPa×k	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30
冷媒温度 °C	47.1	44.2	41.9	39.0	34.7
比エントロピー kJ/kg	465.1	465.0	465.3	465.0	465.0
Δs 1/kg	24.5	22.5	22.5	18.7	17.1
熱交換量 kW	2668.8	2654.1	2660.0	2178.4	2388.4
圧力損失 MPa	39.8	27.9	26.8	25.5	25.0
ΔT 1/K	1.55	1.37	1.31	1.43	1.48
配管流速 m/s	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572
F W/m ² ×K	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
μPa	1.289	1.289	1.289	1.289	1.289
ΔP 1/Pa	0.454	0.440	0.426	0.413	0.401



熱交換量、配管圧損予測

**天カセ空調用熱交のパス割、概略形状が決定
性能は他社フロン機同等以上と予測**

	熱交換量 [kW]	
	T社カタログ値 (冷媒:R410A)	解析予測値 (冷媒:CO ₂)
冷房	3.6	4.2
暖房	4.4	4.6

	配管圧力損失 [MPa]	
	T社製予測値 (冷媒:R410A)	解析予測値 (冷媒:CO ₂)
冷房	0.1~0.2	0.1~0.2
暖房	-	0.04

①-12/46

2.3 研究内容 残課題と対応方法

空調サイクル

【課題】

- サイクルの制御性と高効率化実現
- 性能の適正評価

【解決手段】

- 試作機による制御性・適正冷媒量把握
- サイクロメータ導入による評価



膨張機

【課題】

- 効率向上（体積効率）
- スクロール押付力性適正化・背圧制御

【解決手段】

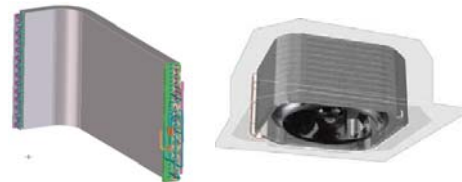
- 旋回拳動確認、芯ずれ・隙間低減（
- CFDと実機評価による形状決定



関連機器（高効率熱交換器開発）

【課題】

- 着霜対応、空気-冷媒の熱交換効率向上
- ガスクーラ/蒸発器兼用設計（耐圧・腐食）



【解決手段】

- CFDの活用による、パス割り・フィンピッチ・カウンターフロー検討
- エコキュート、CO₂自販機技術の活用

①-13/46

事業期間終了後5年までの開発計画

実施事項	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	予想障害	対応策
製品設計	→		◆判断			高効率化、コストの作り込み	細部に渡る仕様検討
設備投資		→				投資時期の延期	現有機器の活用
生産		→				生産能力不足	生産体制再構築
販売		→				販売価格のコスト高	発売延期
収益発生			→			コストダウン不足による収益圧迫	製販からの収支検討
LCCP算出 CO ₂ 削減量 (CO ₂ -t)			11,000	12,000	20,000		

対象市場：

- ・コンビニエンスストア
- ・ドラッグストア
- ・小規模店舗

①-14/46

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

テーマ名 :

『CO₂-HFO系混合冷媒を用いた 高効率業務用空調機器技術の開発』

助成

実施事業者 : パナソニック株式会社

事業期間 : 平成23年度~平成25年度

①-15/46

I. 事業の位置付け・必要性について

空調分野における冷媒事情と課題

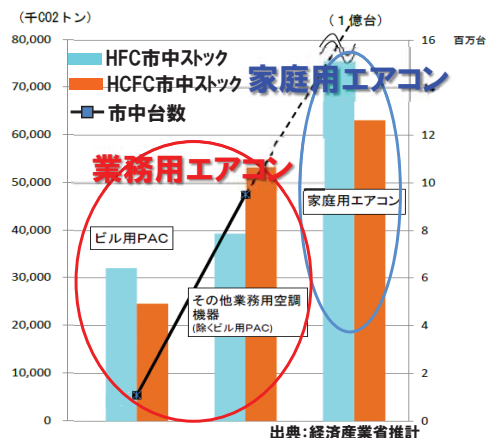
■業務用空調の低GWP冷媒への転換急務

- ・HFC・HCFC冷媒の市中ストック量は多いが、低GWP冷媒転換は未着手

⇔ 家庭用空調はR32商品化が一部で開始 (2012~)

■代替候補冷媒の課題

- ・HFO系、CO₂等が検討されているが、経済性、性能、安全面のハードル高い



項目	単位	R32	CO ₂	HFO※	R290	R134a	R410A
GWP(100年値)	—	675	1	<10	4	1430	2090
凝縮圧力	MPa	2.8	10.0	0.9~1.2	1.5	1.2	2.7
潜熱Δh(R410A比)	—	153	54	73~85	176	94	100
体積能力(R410A比)	—	110	172	34~42	59	46	100
COP(R410A比)	—	103	45	105~109	107	109	100
毒性・燃焼性(ASHRAE区分)	—	A2L(微燃)	A1(不燃)	A2L(微燃)	A3(強燃)	A1(不燃)	A1(不燃)

※HFOの特性・・・R1234yf及びR1234ze (E) の特性

出典: 冷凍2011年9月号第86巻第1007号を元に算出

低GWP化と性能を両立する冷媒の選定と空調システムを確立する

①-16/46

II. 研究開発マネジメントについて

開発目標

■直接影響(=冷媒漏えい等)と、間接影響(エネルギー消費)の両面で温室効果ガスの低減を図るために下記を開発目標とする

①直接影響低減：GWP150以下

※GWP150・・・欧州規制(MAC指令、F-gas規制改正案等)における1つの閾値として用いられている値を参考として設定
=市場に与えるインパクトが比較的大きいと考えられる値

②間接影響低減：システム効率を10%向上(従来システム比)

※開発対象・・・事務所・店舗(～100m²)向けパッケージエアコン(5馬力クラス)

項目	R32	本検討の新冷媒
GWP/COP	675 / 100%程度	<150 / 110%以上
技術面での課題	R410Aからの大きな変更はなく技術的課題は少ない	非共沸混合冷媒を使いこなすための技術的課題が多い
規制面での課題	微燃性を有するため実運用においては規制緩和が必要	同左 (混合組成次第では不燃化の可能性)
一般的な位置づけ	暫定的・つなぎ	あるべき姿に近い(理想的)

①-17/46

研究開発スケジュール

	23年度(実績)	24年度(実績)	25年度(予定)
[1] 新冷媒の選定と新冷媒対応の基本冷凍サイクルの検討 1-1 CO ₂ -HFO系冷媒の選定 1-2 新冷媒対応の基本冷凍サイクル検討 1-3 冷凍サイクルシミュレーション [2] 新冷媒の性能評価 2-1 評価用原理評価試験機の設計、製作 2-2 原理評価試験機での新冷媒性能評価 2-3 実機ドロップイン性能評価 [3] 新冷媒対応内部熱交換器の開発 3-1 内部熱交換器の選定(種類) 3-2 内部熱交換器の開発(仕様・最適化) [4] 新冷媒の材料安定性評価及び燃焼性評価 4-1 熱的・化学的安定性評価 4-2 コンタミ安定性評価 4-3 実機ドロップインによる簡易耐久試験 4-4 燃焼性評価方法の検討と評価 [5] 新冷媒対応のサイクル制御技術の開発 5-1 システム安定化制御技術の開発 5-2 APFを考慮した最適制御方法の開発	数種の新冷媒を選定 新冷凍サイクル決定 冷媒解析ソフトの作成 設計・製作 性能確認	新冷媒の性能評価	試作・改良・評価
	業者選定と試作熱交決定	内部熱交換器の伝熱特性計算 評価	試作・改良・評価
	熱的・化学的安定性評価	コンタミ安定性評価 材料決定	
	問題点の抽出	新冷媒の燃焼性評価	
			試作・改良・評価
			試作・改良・評価

①-18/46

Ⅲ. 研究開発成果について

テーマ名: CO₂/HFO系混合冷媒の高効率業務用空調機器技術の開発

研究項目	目標	研究開発成果	達成度※ (H25末見込)
テーマ全体 目標	GWP150程度(A2Lレベル)のCO ₂ /R32/HFO混合冷媒を選定し、従来冷媒(R410A)空調システムに比べ、COP10%以上向上する	GWP<150のCO ₂ /R32/HFO混合冷媒を選定、原理評価試験機にて評価完了。冷房定格でCOP99%(R410A比)を得た。冷媒組成及び冷凍サイクル改善後、現行空調機へのドロップイン評価にてCOP110%(R410A比)を達成見込みである。	○
[1] 原理評価試験機による評価	サイクルシミュレーションにより選定したCO ₂ /R32/HFO系混合冷媒の原理評価試験機による性能評価	原理評価試験機を使い、サイクルシミュレーションとの一致、及び温度勾配対策としての内部熱交換器サイクルの有効性を確認。候補冷媒で冷房定格COP99%(R410A比)を得た。	○
[2] 新冷媒の材料安定性評価、および燃焼性評価	新冷媒と各種冷凍機油について、シールドチューブ試験とオートクレーブ試験による材料安定性評価と新冷媒の燃焼性評価	各冷凍機油と新冷媒(HFO単体)の熱・化学安定性評価、コンタミ評価完了。燃焼性については、簡易かつ実用的な燃焼試験方法と独自の指標による燃焼性判定方法を考案。	○
[3] 新冷媒熱交換器の開発	温度勾配対策として採用する内部熱交換サイクルで使用する内部熱交換器開発	内部熱交換器設計シミュレーションツールを作成。性能とサイズとの相関を整理し、内部熱交換器サイズの小型化と高COPを両立するサイクルを見出した。	○
[4] 新冷媒サイクル開発と、制御技術の開発	温度勾配を有しても、高効率に空調運転が機能するサイクル開発、かつその安定化制御、および高効率制御技術の開発	原理評価試験機により、非共沸混合冷媒を用いた内部熱交換サイクルの有効性を確認。循環組成把握方法の改善等によりシステム安定制御、および高効率制御技術を開発できる見込みである。	○

※達成度基準【◎:計画以上、○:計画通り(目標達成又は達成見込)、△:ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×:計画未達】

新冷媒の選定と新冷媒に対応する基本冷凍サイクルの検討

候補冷媒の選定

■冷媒毎の特性(メリット・デメリット)を補完し合う冷媒を選択

項目	単位	R32	CO ₂	HFO※	R290	R134a	R410A	補完関係
GWP(100年値)	-	675	1	<10	4	1430	2090	→ R32:GWP高 ⇒CO ₂ とHFOで補完
凝縮圧力	MPa	2.8	10.0	0.9~1.2	1.5	1.2	2.7	→ CO ₂ :圧力高 ⇒HFOが補完
潜熱Δh(R410A比)	-	153	54	73~85	176	94	100	→ HFO:潜熱小 ⇒CO ₂ とHFO:潜熱小
体積能力(R410A比)	-	110	172	34~42	59	46	100	→ R32が補完
COP(R410A比)	-	103	45	105~109	107	109	100	→ HFO:体積能力小 ⇒CO ₂ (及びR32)が補完
毒性・燃焼性(ASHRAE区分)	-	A2L(微燃)	A1(不燃)	A2L(微燃)	A3(強燃)	A1(不燃)	A1(不燃)	

※HFOの特性・・・R1234yf及びR1234ze(E)の特性

選択

CO₂, R32, HFOの3成分混合系

候補混合冷媒のシステム上の課題(冷凍サイクルの検討)

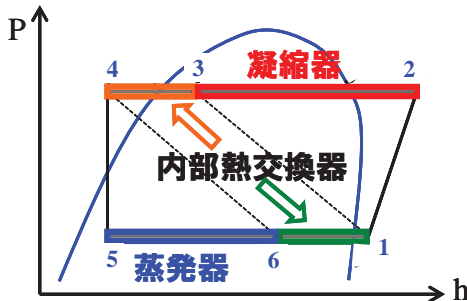
■候補の混合冷媒は温度勾配が大きく、一般的には高いCOPを得にくい。

システム内に**内部熱交換器**を利用することで高COPの冷凍サイクルが得られる

新冷媒用サイクルシミュレータの開発と 混合冷媒性能特性マップ作成による最適冷媒組成の選定

取組内容

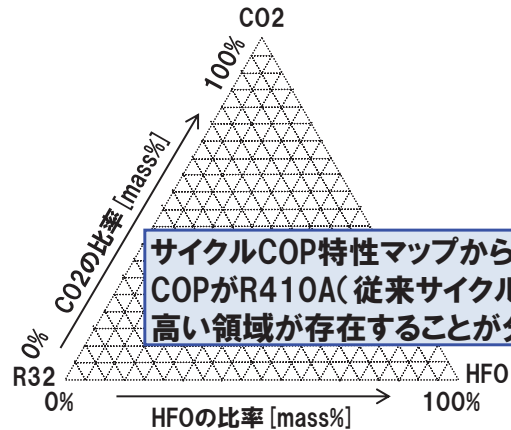
■内部熱交換サイクルCOP算出ソフト作成
 <計算サイクル条件例※冷房定格条件>



- ・冷媒物性: RefpropVer.9.0(混合係数は独自データ)
- ・圧縮機(R410Aサイズ同等狙い):
吸込冷媒の体積能力をR410A同等とした

取組結果(最適組成の選定)

■CO₂/R32/HFOの3成分系について
 各混合比率のサイクルCOPを算出し、
 マッピングした。



最適組成候補

選定

**GWP < 150 で、CO₂/R32/HFO 3成分系混合冷媒の
 最適組成を選定した ⇒原理評価試験機での性能検証**

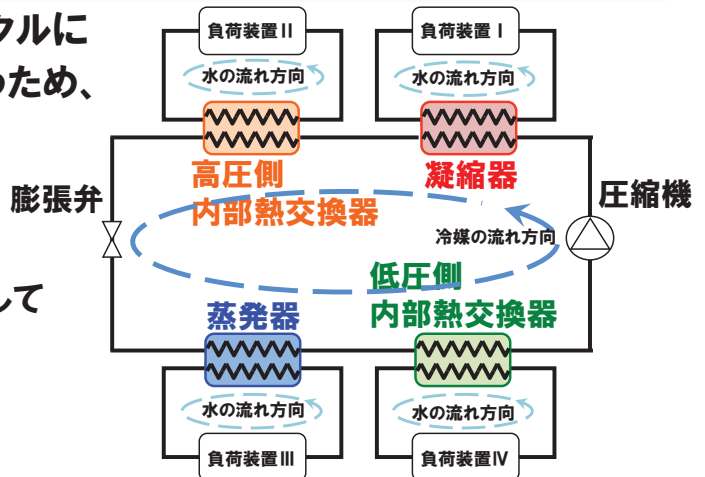
①-21/46

原理評価試験機を用いた内部熱交換器サイクルの効果検証

■選定した候補冷媒を内部熱交換サイクルに
 用いた場合のサイクル性能評価を行うため、
 原理評価試験機を作成した。

<特徴>

- ・4つの冷媒-水熱交換器を利用
- ・冷媒-水熱交換器の交換熱量を調整して
 冷凍サイクルを制御



内部熱交換サイクルの効果検証

- 解析と実験とが良く一致し、内部熱交換器がCOP向上に有効であることを確認した。
- CO₂/R32/HFO 3成分系混合冷媒(GWP < 150)の性能評価を実施し、COPはR410A比99%を達成した。
 ※サイクルシミュレーションでは102%(R410A比)の見込み

①-22/46

内部熱交換器の開発(最適化)

- 内部熱交換サイクルにおいて要素部品となる内部熱交換器の小型化が必須。
⇒内部熱交換器仕様(小型化)を検討するために簡易解析ツールを作成し、
各内部熱交換サイクルにおける内部熱交換器の必要サイズを算出した。

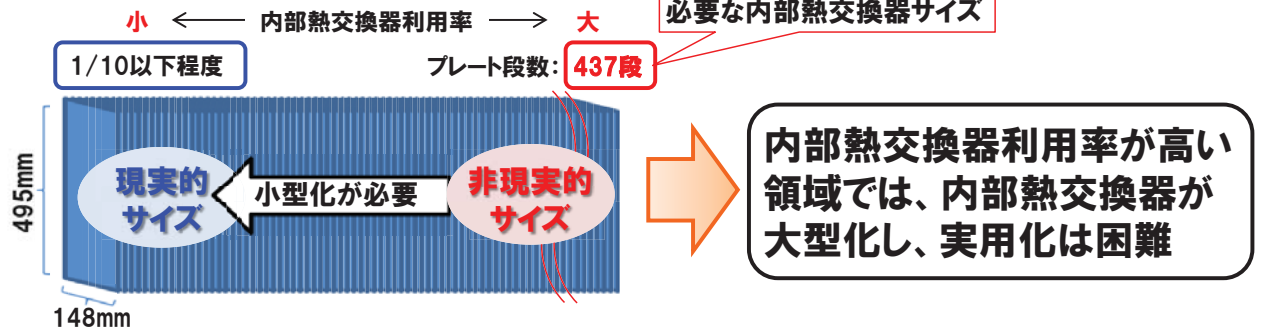
<解析ツール>

- ・プレート式内部熱交換器の伝熱特性をモデル化

<計算例>

- ・CO₂/R32/HFO 3成分系混合冷媒

※内部熱交換器内冷媒温度差 ΔT=1℃の場合



内部熱交換器利用率が高い領域では、内部熱交換器が大型化し、実用化は困難

本結果を考慮し、現実的な内部熱交換器サイズが見込めるサイクルを見出しており、実機ドロップインで性能検証を行う予定
⇒ R410A比 COP110%達成見込み

①-23/46

熱的・化学的安定性、コンタミ安定性評価、及び燃焼性評価

①HFO単体と冷凍機油との熱的・化学的安定性評価

■試験条件: シールドチューブ試験 ⇒175℃×32日

⇒ オイル劣化は見られない

②冷凍機油との混合環境下における熱的・化学的安定性に及ぼす酸素・水分の影響評価

■試験条件: オートクレーブ試験 ⇒175℃×32日、コンタミ(Air, 水分)を追加

⇒ 添加剤の一部が減耗し、それに伴うオイル劣化が生じているものがある。
コンタミ(酸素・水分)の適正な管理が重要

③微燃性冷媒の燃焼性評価方法の検討

■燃焼性評価の課題: 評価機関が限られており、データ取りに期間・コストがかかる。

■実験方法: 簡易かつ実用的な燃焼性評価方法を提案。

⇒ 独自の評価指標に基づく可燃/不燃の判定結果は、公表されている燃焼性データとの良い一致が確認できた。
これにより、燃焼性評価を迅速かつ高精度に評価できる実用的な手法を確立した。
⇒新冷媒の不燃/可燃判定に関するスクリーニングの位置づけとして有効

①-24/46

Ⅳ. 実用化・事業化の見通し及び取り組みについて

事業化のスケジュール

年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
量産設計	→		→		
設備投資		→			
フィールド試験		→			
量産			→		
販売			→		
収益発生					→

事業化に際して予想される課題

- ① サービス方法の構築(冷媒充填方法、漏えい時の再充填方法)
- ② 冷凍サイクルの複雑化
- ③ 内部熱交換器追加によるコスト増

⇒課題解決に向けた取組みを実施し、事業化を推進する

①-25/46

平成23年度～平成25年度 NEDO助成事業

扁平管熱交換器を適用した 業務用空調機の研究

平成25年 6月 20日 三菱電機(株)

①-26/46

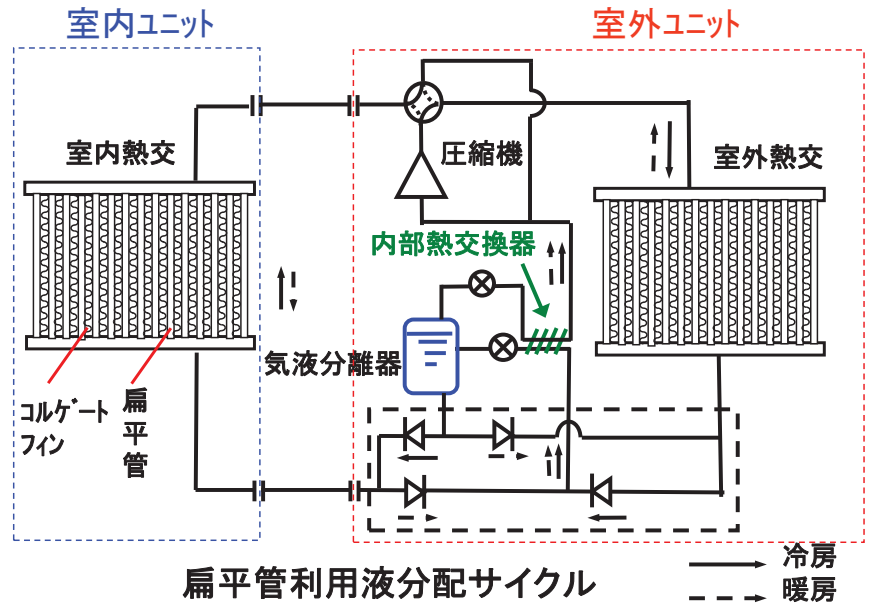
開発コンセプト

【背景】

- ①R-1234系台頭
- ②冷媒量削減

【特徴】

- ①R-1234yf単一
- ②平行フロー熱交換器
- ③液分配
- ④液戻り抑制



【目的】

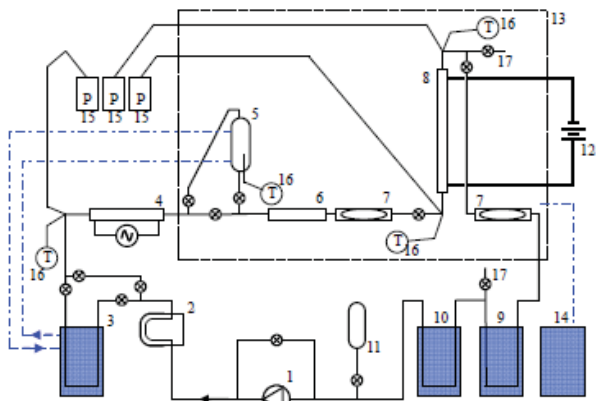
平行フロー扁平管による低GWP冷媒対応空調機の高性能化

- (1)熱交換器性能向上
- (2)分配性能確保
- (3)実機搭載評価

①-27/46

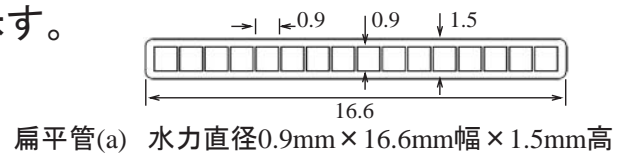
[1] 扁平管熱交の特性把握（蒸発熱伝達特性） [1/3]

・装置図、管断面図、熱電対貼付方法を示す。

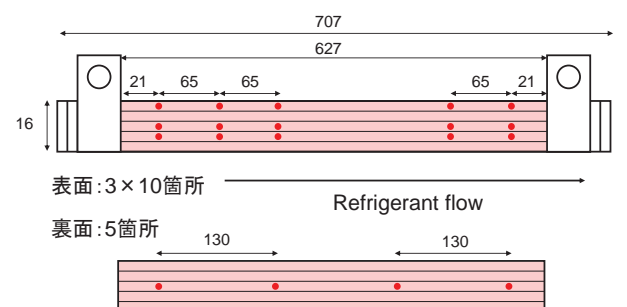
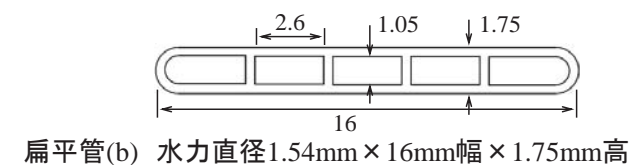


1. Gear pump
2. Coriolis flowmeter
3. Constant temperature bath
4. Preheater
5. Receiver
6. Static mixer
7. Sight glass
8. Test tube
9. Condenser
10. Subcooler
11. Storage tank
12. DC power supply
13. Constant temperature air duct
14. Air temperature controller
15. Pressure transducer
16. Thermocouple
17. Charge port

実験装置図(直接通電加熱方式)



扁平管断面図



熱電対貼付位置

①-28/46

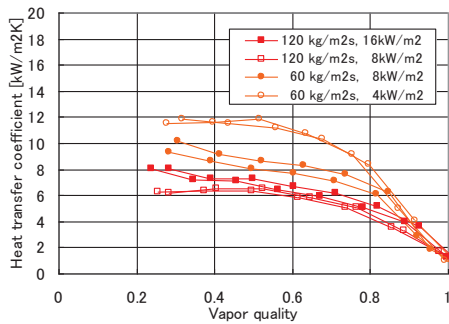
[1] 扁平管熱交の特性把握（蒸発熱伝達特性） [2/3]

＜試験条件(R-1234yf)＞

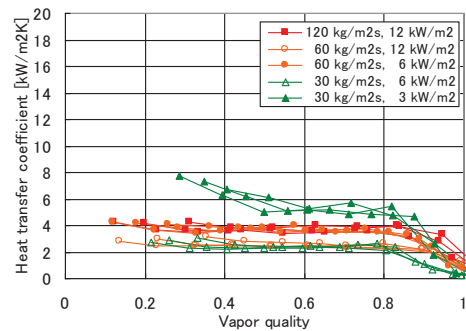
- ・R-1234yf
- ・蒸発(飽和)温度 15°C
- ・入口乾き度 0.1~0.3

結果 熱流束と流量の影響(R-1234yf)

Heat flux [kW/m ²]	Mass flux[kg/m ² s]		
	30	60	120
3	○		
4		○	
6	○	○	
8		○	
12		○	○
16			○



扁平管(a) 16穴管



扁平管(b) 5穴管

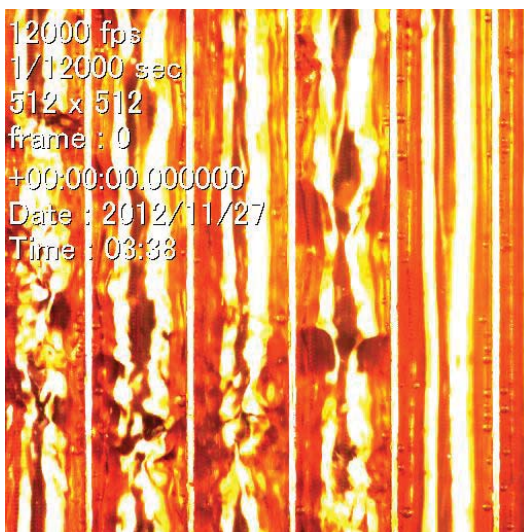
- ・16穴管および5穴管で熱流束小で熱伝達率大。
- ・16穴管では、流量小で熱伝達率大、5穴管では流量依存性が小。
- ・管内の液膜挙動が従来円管と異なると推定。冷媒の流動沸騰状態を可視化。

①-29/46

[1] 扁平管熱交の特性把握（蒸発熱伝達特性） [3/3]

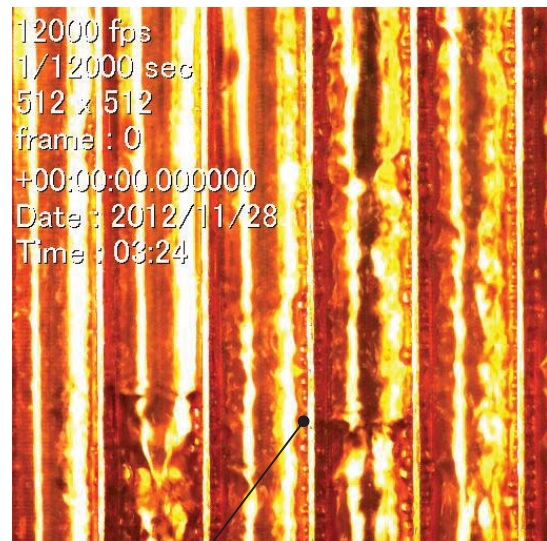
120 kg/m²s, 8 kW/m²

X=0.27



60 kg/m²s, 8 kW/m²

X=0.40



低流量での高伝熱

- 液膜薄化、沸騰発生により、熱伝達率向上
- 液膜厚み、沸騰気泡の挙動からメカニズム推定

①-30/46

実機性能評価 [1/2]

(1) 試験装置及び条件

①試験ユニット

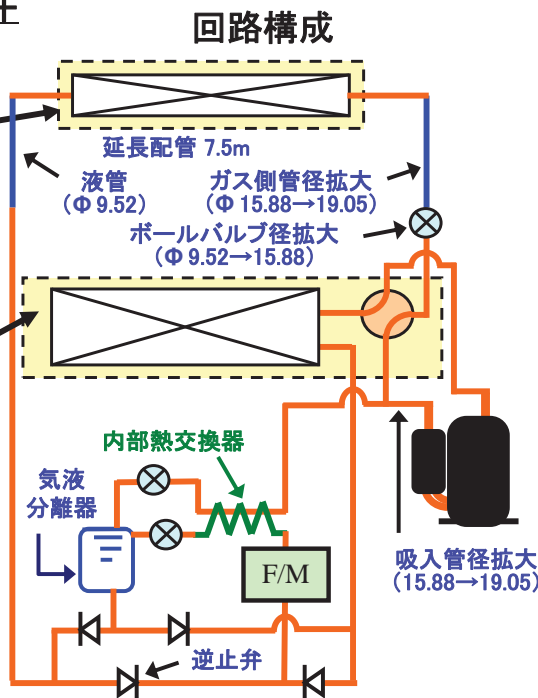
・PUZ-RP80(8.0kW)



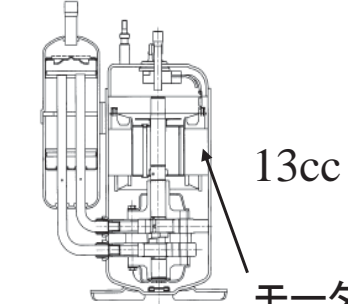
室内機



室外機

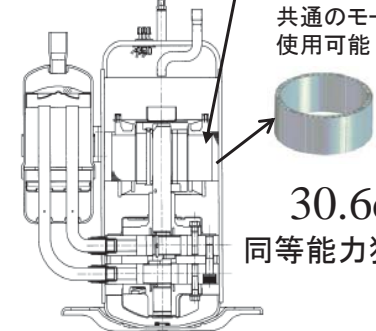


圧縮機
R-410A用(量産品)



13cc

R-1234yf用



30.6cc
同等能力狙い

モータ共通
モータホルダで
シェル径の差を
補正することで
共通のモータが
使用可能

①-31/46

②試験条件

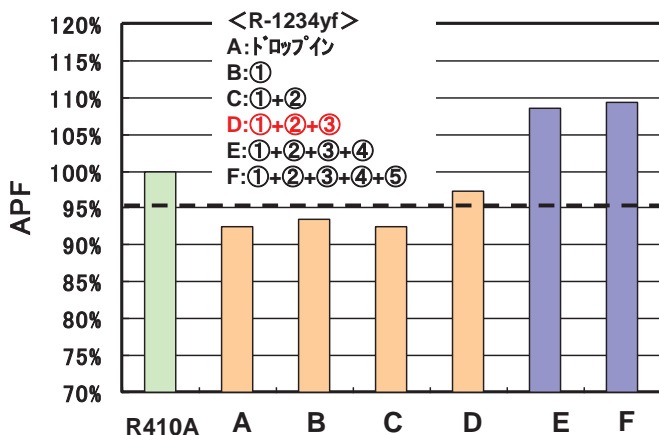
APF 測定条件

- ・冷房定格/中間、暖房定格/中間
- ・冷媒量 2700g(冷房中間SC=5°C)

圧縮機・流量計(F/M)・LEV・
気液分離器は、ユニット外出し

実機性能評価 [2/2]

各アイテムの導入効果予測



①ガス管径1サイズ拡大

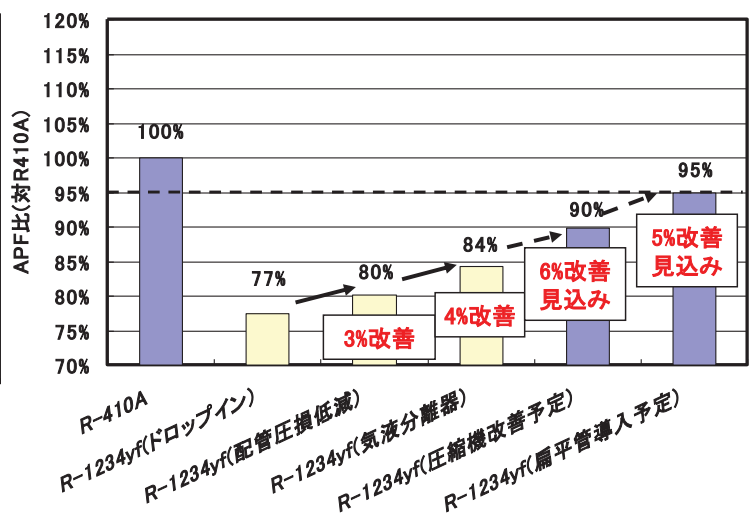
②室内外熱交換器の冷媒分岐倍増

③室外熱交換器性能AK値1.5倍

④室内熱交換器性能AK値1.5倍

⑤室内外の冷媒圧力損失1/10倍

実験結果



<結論>

・ドロップイン時の性能低下(92%⇒77%)を気液分離器、圧縮機、扁平管でカバーする。

達成度一覧表

目 標	研究開発成果	達成度 (H25年末見込み)
テーマ：扁平管熱交換器を適用した業務用空調機の研究 低GWP冷媒を用いる3HP PACでR410A機に対しAPF95%	①トロープイン性能、②配管圧損低減効果、③気液分離器導入効果、④扁平管導入効果を実機ユニットを用いて評価し、R410A機に対しAPF95%を確認する	○
[1]扁平管熱交換器の特性把握 室外熱交性能(AK値)+50%(対当社現行熱交比、同一通風抵抗条件)	熱交換器仕様(フィンピッチ、列ピッチ)を最適化し、AK/ΔP値150%(対円管、目標150%)を達成した。	○
[2]高性能冷媒分配器の開発 冷媒の均一分配(標準偏差σ=1%以下)	従来丸ヘッダーでは片側に偏った流れとなるが、開発した新型ヘッダーでは冷媒流量に関わらず、均等分配が実現でき、目標を達成した。	○
[3]パッケージエアコンでの性能評価と分析 扁平管熱交換器搭載により、APF95%(対R410A機)	トロープイン時の性能を実測(77%、対R410A)。低圧圧損低減、気液分離器導入で性能回復させ、更に圧縮機性能改善、扁平管熱交換器導入により当初目標値(対R410A比APF95%)を達成見込みである。	○

◎：計画以上、○：計画通り(目標達成又は達成見込)、△：ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×：計画未達

①-33/46

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」プロジェクト中間評価に係る 評価委員会用説明資料

『高効率ノンフロン型ビル用マルチ空調機の研究開発』

1. 事業の位置付け・必要性
2. 研究開発マネジメント
3. 研究開発成果
4. 実用化・事業化の見通し
5. まとめ

ダイキン工業株式会社

平成 25年 6月 20日(木)

①-34/46

1. 事業の位置付け・必要性

<背景>

CO₂冷媒は可燃性がなく、給湯用途では従来冷媒と効率が同等レベルのため、ヒートポンプ式給湯機「エコキュート」等の冷媒として使用されている。しかしながら、空調用にCO₂冷媒を採用した場合、従来冷媒に比べてCOP(特に冷房運転時)が著しく劣るため、空調用途にCO₂冷媒を採用するためには、COPを大幅に改善するための技術開発が必要である。

<課題>

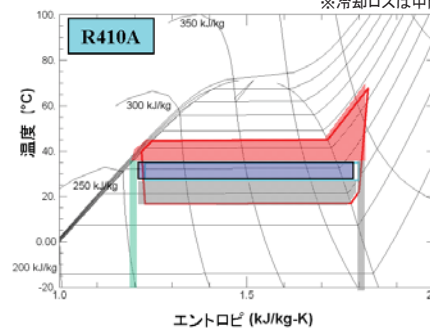
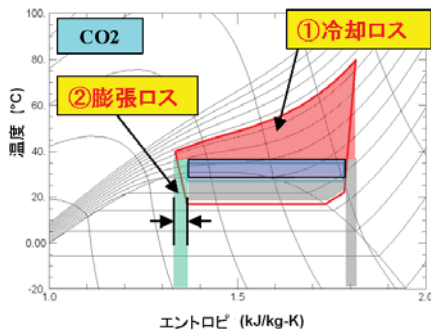
空調用にCO₂冷媒を採用した場合、従来のHFC冷媒と比べてサイクルの特性が大きく異なり、CO₂冷媒では以下の2つの損失が増加する。その結果、空調用途では従来冷媒より冷房定格COPが60%程度まで低下するという大きな課題があり、それを解決して大幅に効率を改善するための技術開発が必要である。

- ① CO₂冷媒では超臨界サイクルとなる。そのため従来のHFC冷媒のような一定温度での相変化がないため(凝縮温度が無い)、放熱時に大きな冷却損失が生じる。
- ② CO₂冷媒では差圧がHFC冷媒比で約3倍となり、大きな膨張損失が生じる。

冷却損失と膨張損失
(冷房時の圧縮仕事に対する比率)

	CO ₂	R410A
①冷却損失	20%	5%
②膨張損失	25%	10%

※圧縮仕事は圧縮機効率70%で算出
※冷却ロスは中間冷却により削減可能な最大値



2. 研究開発マネジメント

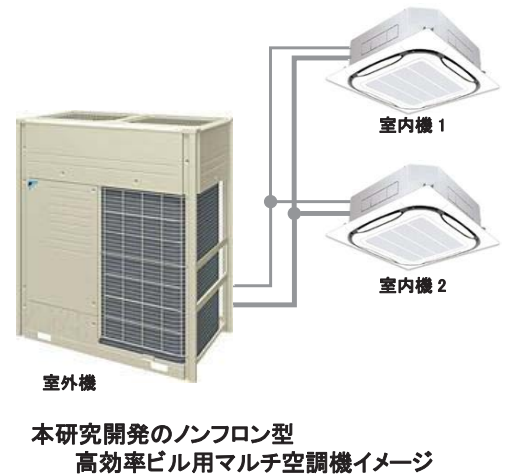
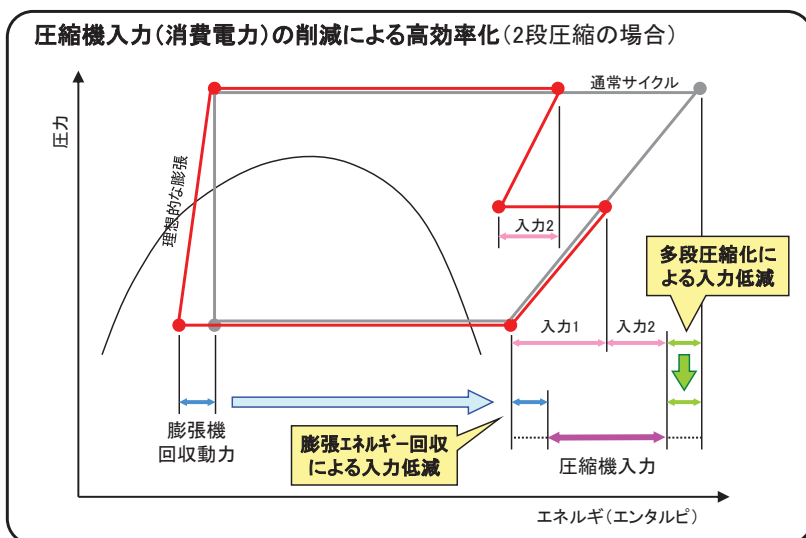
■ 開発目標値

[中間目標] 最終目標を達成するために必要な要素部品の基本仕様確立を目指す

[最終目標] 冷房定格COPを現行R410A機同等レベル、2015年省エネ法基準値であるAPF 5.2(5HP)を超える性能を達成する

<狙い>

多段冷却圧縮(圧縮途中の冷媒を断続的に外気で冷却し、再度圧縮することを繰り返すこと)で、圧縮中の冷媒温度の上昇を抑制して圧縮動力を大幅に低減し、また膨張機技術を採用して膨張損失を回収することで高効率化を図る。



■ 実施計画

- 平成23年度** 従来型の要素技術にてシステムを試作し、冷媒回路の基礎評価を実施した。多段圧縮化による効果を確認し、各要素技術の試作仕様を確定した。
- 平成24年度** 膨張機を除いた開発中の全ての要素技術を搭載したシステムの性能評価を実施した。抽出された課題に対して解決策を立案し、各要素技術の二次試作仕様とシステムの基本冷媒回路仕様を確定した。
- 平成25年度** 開発中の要素技術の改良試作、膨張機の試作およびそれらを搭載したシステム性能評価を実施し、目標性能を実証する予定である(膨張機の基本技術は既に開発済み)。

開発項目	平成23年度	平成24年度	平成25年度
圧縮機の開発	基礎評価	一次試作評価 → 二次試作評価	信頼性評価
空気熱交換器の開発	基本構造、仕様検討	機能試作評価 → 一次試作評価	二次試作評価
流路切換弁の開発	機能試作評価	一次試作評価	二次試作評価
内部熱交換器の開発	機能試作評価	一次試作評価	二次試作評価
システム性能評価	要素基礎評価	一次性能評価 機能部品の試作または調達	二次性能評価 膨張機試作
		目標性能達成の見通しを得る	目標性能達成

①-37/46

3. 研究開発成果

これまでの抽出課題に対する改善見込み、膨張機の搭載による効果予測を反映してシステム性能を試算した結果、システム目標性能を達成できる試算結果を得ることができた。そのため、H25年度末には各要素技術の基本仕様を確立できる見込みである。

開発項目	成果	達成度 ※1 (H25年度末見込み)
圧縮機の開発	損失分析評価を実施して、性能面における課題を抽出し、二次試作評価にて目標性能を達成することができた。H25年度では、二次試作機をシステムへの搭載評価を実施するとともに、信頼性評価を実施する予定である。	○
空気熱交換器の開発	基礎評価試験を実施して、本開発機に求められる性能を明らかにし、試作仕様を確定した。また、モデル熱交換器による単体評価および実機サイズの一次試作機を製作してシステム搭載評価を実施し、抽出された課題に対する解決策を立案した。H25年度に二次試作機を製作して改良効果を確認する予定である。	○
流路切換弁の開発	基礎評価試験を実施して、本開発機に求められる性能を明らかにし、試作仕様を確定した。また、一次試作機を製作してシステム搭載評価を実施し、抽出された課題に対する解決策を立案した。H25年度に二次試作機を製作して改良効果を確認する予定である。	○
内部熱交換器の開発	基礎評価試験を実施して、本開発機に求められる性能を明らかにし、試作仕様を確定した。また、一次試作機を製作してシステム搭載評価を実施し、抽出された課題に対する解決策を立案した。H25年度に二次試作機を製作して改良効果を確認する予定である。	○
システム性能評価	主に従来型の要素技術にて構成された試験機を製作し、基礎試験を実施して多段圧縮サイクルの有効性を確認し、基本回路構成を確定した。また、膨張機を除く開発中の全ての要素技術をシステムに搭載してシステム性能および各要素単体性能の評価試験を実施して課題を抽出した。H25年度は開発中の要素技術の改良仕様と膨張機を搭載したシステム性能評価を実施し、各要素の改善効果の検証を行う。	○

※1 達成度基準：◎…計画以上、○…計画通り(目標達成又は達成見込)、△…ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×…計画未達

①-38/46

4. 実用化・事業化に向けての見通しおよび取り組みについて

■ 実用化・事業化に向けての見通しおよび取り組みについて

- ・概ね計画通り研究開発を遂行できている。H23年度とH24年度の取り組みで、基本要素機器の一次試作評価を完了し、抽出した課題に対する解決策を立案できた。
- ・それらの解決策による性能改善予測と膨張機搭載による効果予測を反映してシステム性能を試算した結果、システム目標性能を達成できる試算結果を得ることができた。
- ・H25年度は、各要素技術の改良試作およびそれらを搭載したシステム性能評価を実施し、目標性能を実証する予定である。

■ 波及効果

- ・ノンフロン冷媒を用いた高効率な空調機は極めて環境性に優れた商品である。世界的に地球温暖化への危機意識が高まる中、本研究により現行のHFC冷媒機同等性能の高効率なノンフロン型業務用空調機が開発されることで、国内にとどまらず、グローバル規模で広く普及することが期待される。
- ・本研究により高効率なノンフロン型業務用空調機を開発され商品化できれば、業務用分野における空調機の使用から廃棄までの期間におけるCO2排出量を削減でき、地球環境への負荷を抑制することができる。
- ・現在開発中の高効率化技術は空調分野だけでなく、冷蔵/冷凍分野等のその他分野にも展開が可能と考えている。

①-39/46

高効率ノンフロン型空調機器技術の開発プロジェクト

低GWP冷媒の高温域での適用調査研究

2013年6月20日

三菱重工業株式会社 冷熱事業本部
冷熱システム事業部 大型冷凍機技術部

①-40/46

[事業の位置付け・必要性について]

- オゾン層保護等に始まる特定フロン類の規制により、オゾン層を破壊する恐れのあるCFC冷媒、HCFC冷媒はODPが0であるHFC冷媒への転換を行っている。
- しかしながら、HFC冷媒は地球温暖化係数(GWP)が高いため、LCCPから見た温室効果による環境負荷への影響が問題視されている。
- 冷凍空調業界でも欧州のFガス規制をはじめとして、低GWP冷媒への転換研究が開始され、ターボ冷凍機(～40℃)、ヒートポンプ(～90℃)においても同様の対応が必要である。

①-41/46

[事業の目標]

- ・ Mg鑄造のカバーガスとして開発されたR1234ze(E)はGWPが6と現行冷媒に対し、1/200であり、物性もR134aに近い。
- ・ R1234ze(E)をターボ冷凍機への低GWP代替冷媒の候補として、適用可否をH22年度検証した事に引き続き、H23年度ヒートポンプの高温領域への適用可否を検証する。

冷媒諸仕様比較

	R134a	R1234ze(E)
化学式	CH ₂ FCF ₃	CFH=CHCF ₃
沸点(大気圧)	-26.1℃	-19℃
飽和液密度(@25℃)	1207kg/m ³	1163kg/m ³
飽和ガス密度(@25℃)	32.4kg/m ³	26.3kg/m ³
オゾン層破壊係数(ODP)	0	0
地球温暖化係数(GWP)*1	1430	(6)*2
大気中推定寿命	13.8年	0.055年
許容濃度	1000ppm	(1000ppm)*2
燃焼性	不燃	(不燃)*3
毒性(ASHREA 34)	A (低毒性)	(A(低毒性))*2
使用実績	高压冷媒	カバーガス 殺虫剤

*1：既存冷媒の値はIPCC4次レポートによる、*2：Honeywell報告による。

*3：GHSの定義(20℃大気圧条件における燃焼範囲有無)においては
不燃となる

①-42/46

ヒートポンプ（～90℃）へのR1234ze(E)適用性を 検証するため、以下内容を実施。

①ヒートポンプ（型式ETW-L）に適用されている材料のR1234ze(E)との
適合性洗い出し（前年度適合性確認済材料への変更）



② R1234ze(E)自体の高温領域における安定性確認（加速試験）



③ヒートポンプへのドロップイン連続運転試験による冷媒安定性確認



④ヒートポンプへのドロップイン試験による性能確認

①-43/46

実施スケジュール

	平成23年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
研究計画		→		
材料の適合確認		→	→	
特性の机上検討		→		
ドロップイン試験			→	→
評価・まとめ				→

①-44/46

研究開発成果概要

目 標(※1)	研究開発成果	評価
テーマ：低GWP冷媒の高温領域での適用調査研究 代替低GWP冷媒の候補であるR1234ze(E)がヒートポンプの高温領域(～90℃)に対して、空調用途と同様に適用可能かを検証する。	温熱用途として温水出口温度90℃迄の範囲においてはR1234ze(E)は適用可能である事が確認でき目標が達成できた。ただしその性能はR134a比で低下するため実用化・事業化のためには性能の改善が課題となる。	○
[1]材料の適合性確認 ヒートポンプ(今回適用機種型式:ETW-L)に適用されている材料(主にシール材)のR1234ze(E)との適合性が問題ないか確認。問題あれば適合材に変更。	一部シール材に不適合があがが適合材に変更する事ですべて適合材とした。それ以外は他PJ※において確認を実施したターボ冷凍機での確認済み適合材料であった。	○
[2]R1234ze(E)自体の高温領域での安定性確認(加速試験) 15年間(約12万時間)のETW-L運転が問題ない事の確認(オートクレーブ試験温度と試験時間をパラメータに加速試験を実施し実機運用温度での冷媒寿命を評価)	加速試験結果よりR1234ze(E)の許容純度を評価基準とし、15年以上の使用は問題ない事を確認した。	○
[3]実機ドロップイン連続運転試験による冷媒安定性確認 実機ドロップイン連続運転において冷媒安定性に問題ない事の確認	実機にて180時間迄運転後の冷媒のガスクロマトグラフによる冷媒組成分析結果より、特に分解生成物等は観察されず冷媒の安定性は確保されている事を確認した。	○
[4]性能確認試験 実機にR1234ze(E)をドロップインし性能確認試験を実施し主要ポイントでの性能を確認する。	加熱出力はR134a比で約91%～98%、加熱COPは約83～96%となった。一部分負荷特性はR1234ze(E)がCOPで上回る領域があり、またその部分負荷領域も広い結果が確認できた。	○

◎：計画以上 ○：計画通り(目標達成又は達成見込) △：ほぼ計画通り(一部計画遅れ) ×：計画未達

①-45/46

[実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについてについて]

本研究にてR1234ze(E)のヒートポンプの高温領域(～90℃)への適用が確認できたので、研究結果を踏まえた専用の圧縮機、熱交換器の設計、冷媒の法的な分類、取扱いの確定により、**本冷媒を適用したヒートポンプの実用化は可能**である。

[波及効果]

本冷媒を適用したヒートポンプはR134aに対し、当社試算条件で評価すると**CO₂排出量を約6%削減**できる。また、ターボ冷凍機、ヒートポンプのみならずチラー等の現在R134aを冷媒として使用している熱源機器への適用も可能と思われる。

①-46/46

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し
及び取り組みについて

冷媒開発における実施例の紹介

助成先：旭硝子（株）

②-1/10

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」Ⅲ. 研究開発成果について、Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

事業原簿 Ⅲ-22～25

研究開発項目②：高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

助成

公開

テーマ名：高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

助成先：旭硝子株式会社

委託先：産業技術総合研究所

②-2/10

事業の位置付け・必要性

- 地球環境保護
 - オゾン層を破壊するCFCおよびHCFC類の代替としてHFCへ移行
 - HFC類は大気寿命が長く、温室効果が大きい
 - ⇒京都議定書において、排出を抑制する対象ガスとして指定
- 業務用空調機器
 - 1台あたりの冷媒充填量が多い
 - 設備寿命が長い
- 高効率かつ低温室効果の冷媒の開発が急務

②-3/10

事業の目的と位置付け

- 目標性能
 - 地球温暖化性能(100年間)GWPが300以下
 - 不燃性～微燃性(ASHRAE安全性区分:1～2)
 - 低毒性(LC50>40,000ppm)
 - 現行冷媒であるR410A又はR134aのCOP及び冷凍能力と同等以上
- 中間目標
 - 目標性能を満足する低温室効果を有する新冷媒実用化の見通しを得る
- 最終目標
 - 目標性能を満足する市販フロン品と同等以上の性能で温室効果の低い冷媒を開発する
- 早期に製品化を見出し普及させることにより、代替フロン等温暖化ガスの排出削減を通じた低炭素化社会の実現に貢献する。

②-4/10

事業の計画(スケジュール)

	平成23年度	平成24年度	平成25年度
新冷媒の設計研究 分子設計 合成研究			
新冷媒の特性評価研究 基礎特性評価 安全性評価 熱力学特性評価			
新冷媒の実用化研究 材料適合性評価 冷媒の実用化研究			
委託研究(環境影響評価) OHラジカルとの反応速度 赤外線吸収スペクトル GWP評価 大気中の分解機構			

②-5/10

事業実施体制

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

PJ:東京大学大学院 飛原 英治 教授

旭硝子株式会社

千葉研究所 機能商品開発室(基本特性・熱力学特性・材料適合性・冷凍サイクル特性)

横浜研究所 基盤技術開発室(分子設計・合成研究)

環境・安全統括グループ(安全性評価)

独立行政法人 産業技術総合研究所

環境化学技術部門 化学材料評価基盤グループ(環境影響評価)

②-6/10

研究開発成果

－ 研究開発の候補媒体としてA～Fの媒体を選定

候補媒体	設計研究	基本特性評価	安全性評価	環境影響評価
A	合成条件検討	臨界定数・燃焼性		
B	精製品6kg	燃焼性	Ames試験・蓄積性	
C	精製品1kg	燃焼性	Ames試験・蓄積性	
D	精製品5kg 蒸留精製中 (数百kg)	臨界温度・臨界密度・ 燃焼性	Ames試験・蓄積性・生分解性	
E	精製品900kg	燃焼性	Ames試験・蓄積性	
F	精製品確保 (数百kg)	臨界温度・臨界密度 飽和液体物性・燃焼性	急性毒性、28日反復毒性、 Ames試験、生態毒性試験、 生分解性試験、蓄積性	大気寿命 GWP

②-7/10

適用先(波及効果)

- ・ 当該分野への波及効果
 - － 各種空調機器・冷凍冷蔵機器

- ・ 関連分野への波及効果
 - － 廃熱回収発電
 - － 噴射剤
 - － 発泡剤
 - － 二次冷媒

②-8/10

達成度一覧表

目標	研究開発成果	自己評価
テーマ：高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発		
目標性能を満足する低温室効果を有する新冷媒実用化の見通しを得る	候補媒体について測定を実施。燃焼性及び毒性(Ames試験・蓄積性)についてデータを取得。有望候補媒体の絞り込みを行い、実用化できる低温室効果冷媒の見通しを得た。	○
[1]地球温暖化		
地球温暖化性能(100年間)GWPが300以下	候補媒体1媒体について測定を終了し、目標値を満足した。他の候補媒体について測定を開始し、年度内にデータ取得見込みである。	○
[2]燃焼性		
不燃性～微燃性(ASHRAE安全区分:1～2)	補媒体について測定を実施し、目標(安全区分1～2)を満足した。	○
[3]毒性		
低毒性(LC50>40,000ppm)	候補媒体1媒体について測定を終了し、目標値を満足した。他の候補媒体4媒体についてAmes試験及び蓄積性を確認した。絞り込みを実施した媒体については年度内終了の見込みである。	○
[4]冷媒性能		
COP及び冷凍能力がR410A又はR134a(R123・R245fa)と同等以上	有力候補媒体を中心に熱物性の測定を実施した。絞り込みを行った有望候補媒体について実機を用いた基礎ドロップイン試験を年度内終了見込みである。	○

【◎：計画以上、○：計画通り(目標達成又は達成見込)、△：ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×：計画未達】

②-9/10

事業化スケジュール

	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
新冷媒の設計研究 合成研究							
新冷媒の特性評価研究 基礎特性評価 安全性評価 熱力学特性評価							
新冷媒の実用化研究 材料適合性評価 冷媒の実用化研究							
委託研究 環境影響評価 燃焼性評価							
事業化 量産化試験		ベンチ試験	パイロット試験				
商業設備設計 プラント建設 冷媒販売				投資判断▼		事業化▼	

②-10/10

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し
及び取り組みについて

性能・安全性評価における実施例の紹介

委託先: 諏訪東京理科大学、九州大学、東京大学

③-1/70

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 Ⅲ. 研究開発成果について、Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて
事業原簿 Ⅲ-41~96 研究開発項目③: 冷媒の性能、安全性評価

委託

公開

業務用空調機器に適した低GWP冷媒の探求と その安全性、物性および性能評価

国立大学法人 九州大学 大学院総合理工学研究院

再委託先: 学校法人明星学苑 いわき明星大学

再委託先: 国立大学法人 佐賀大学

再委託先: 学校法人中村産業学園 九州産業大学 (H24年度追加)

[研究開発目標]

現行HFC系代替冷媒に比べて地球温暖化係数(GWP)が大幅に低い新規代替冷媒を用いる高効率の業務用空調システム(ビル用PAC等)を開発することは国際的な急務である。そこで、それらのシステム開発の基盤技術を構築するために本開発研究では、以下の目標を設定した。

① R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究

- 低GWP冷媒R1234ze(Z)の安全性を含む化学的性質、熱力学的・輸送的性質、伝熱特性およびサイクル基本特性の解明
 - ・安全性を含む化学的性質:
 - 材料的適合性試験、変異原性試験、急性吸入毒性試験、燃焼性試験
 - ・熱力学的・輸送的性質:
 - 臨界定数、PvT性質、熱伝導率、粘度の測定
 - ・伝熱特性:
 - 管内凝縮及び管内沸騰における熱伝達及び伝熱特性の評価とデータベース化
 - ・サイクル特性: → ドロップイン試験(高温用ヒートポンプへの適用性評価)

③-3/70

② 低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究

- 低GWP混合冷媒R1234ze(E)/R32/R744(CO₂)のサイクル性能評価
 - ・ドロップイン試験(業務用空調機への適用性評価)
 - ※平成21～22年度のNEDOプロジェクトからの発展的な研究
 - R1234ze(E)/R32混合冷媒の更なる低GWP化及び高圧化
- 業務用空調機器に適した低GWP混合冷媒の探求・選定
 - ・サイクル性能解析により最適混合冷媒を選定
 - ・選定混合冷媒の熱力学的・輸送的性質の測定
 - ・選定混合冷媒の伝熱特性の測定
 - 管内(溝付管、プレート熱交)、管外(単管)の伝熱特性の測定
 - ・選定混合冷媒のサイクル特性評価
 - ドロップイン試験及びサイクル性能解析

最終目標

- ・業務用空調機器に適した低GWP混合冷媒の提案
- ・低GWP混合冷媒を用いた空調機器の共通技術基盤の構築
 - 新規冷媒R1234ze(Z)の熱物性、伝熱特性及びサイクル性能の技術情報の提供
 - 低GWP混合冷媒の熱物性及び伝熱特性に関するデータベースの提供
 - 低GWP混合冷媒の熱物性、伝熱特性、サイクル性能の予測方法の提供

③-4/70

[研究開発内容]

① R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究

(a) R1234ze(Z)の化学的性質の調査 (担当:九州大学)

- ・R1234ze(Z)の化学的安定性、毒性および燃焼性に関する調査
- ・安全性に関する必要な試験の実施(外注)

(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定 (担当:いわき明星大学・九州産業大学)

- ・R1234ze(Z)の臨界定数、温度-圧力-密度の関係、飽和状態量の測定と状態方程式の作成
(いわき明星大:物性測定、九産大:状態方程式作成)

(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定 (担当:佐賀大学)

- ・R1234ze(Z)の液相および気相における熱伝導率、並びに液相での粘度を測定
- ・それらの相関式の提供

(d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定 (担当:九州大学)

- ・R1234ze(Z)の管内凝縮および蒸発熱伝達・流動特性の測定
- ・熱交換器の設計に有用なデータベースの構築

(e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価 (担当:九州大学・佐賀大学)

- ・R1234ze(Z)の適用温度範囲を定めるためのドロップイン試験
- ・サイクル性能の予測計算
(九州大:ドロップイン試験、佐賀大:サイクル性能解析)

③-5/70

② 低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究

(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定 (担当:九州大学・いわき明星大学)

- ・HFO系、HFC系自然系冷媒を組み合わせた低GWP混合冷媒の熱力学的サイクル性能解析
- ・業務用空調機器の冷媒として適した低GWP混合冷媒の選定
(九州大:熱力学的サイクル解析、いわき明星大:混合冷媒簡易状態式作成)

(b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定 (担当:いわき明星大学・九州産業大学)

- ・臨界軌跡、温度-圧力-密度-濃度の関係、気液平衡性質の測定と状態方程式の作成
(いわき明星大:物性測定、九産大:状態方程式作成)

(c) 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定 (担当:佐賀大学)

- ・液相および気相における熱伝導率、並びに液相における粘度の測定と相関式の提供

(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定 (担当:九州大学・佐賀大学)

- ・凝縮および蒸発伝熱特性の測定と熱交換器の設計に有用なデータベースの構築
(九州大:管内・管外伝熱特性、佐賀大:プレート熱交換器の伝熱特性)

(e) 低GWP混合冷媒のサイクルの基本特性の評価 (担当:九州大学・佐賀大学)

- ・R1234ze(E)/R32/R744系混合冷媒のドロップイン試験およびサイクル性能解析
- ・(a)において選定した低GWP混合冷媒に関するドロップイン試験とサイクル性能解析
(九州大:ドロップイン試験、佐賀大:サイクル性能解析)

③-6/70

[H23-25年度 研究開発体制]

本研究開発の総括

九州大学

- ・研究実施場所: 大学院総合理工学研究院(筑紫地区)
- ・研究項目:
 - ①(a) R1234ze(Z)の化学的性質の調査
 - ①(d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定
 - ①(e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価
 - ②(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定
 - ②(d) 選定した低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定
 - ②(e) 選定した低GWP混合冷媒のサイクルの基本特性の評価

再委託

再委託
(平成24年度～平成25年度)

再委託

いわき明星大学

- ・研究項目:
 - ①(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定
 - ②(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定
 - ②(b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定

九州産業大学

- ・研究項目:
 - ①(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定
 - ②(b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定

佐賀大学

- ・研究項目:
 - ①(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定
 - ①(e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価
 - ②(c) 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定
 - ②(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定
 - ②(e) 低GWP混合冷媒候補のサイクルの基本特性の評価

③-7/70

事業項目	H23年度	H24年度	H25年度
①R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究			
(a) R1234ze(Z)の化学的性質の調査 (九州大学)	化学的性質および材料適合性試験	毒性および燃焼性試験	
(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定 ・測定(いわき明星大学) ・状態式の作成(九州産業大学)	飽和蒸気圧、飽和密度、および臨界定数の測定		状態式の作成
(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定 (佐賀大学)・熱伝導率 ・粘度	文献調査 飽和液熱伝導率測定 装置設計・製作 粘度測定10～50℃	装置改造 高温域飽和液熱伝導率測定 装置改造 高温高圧域の圧縮	装置改造 高温高圧域の圧縮液測定 液粘度測定・相関式作成
(d) HFO-1234ze(Z)の伝熱特性の測定 (九州大学)		装置改造 管内伝熱試験	
(e) R1234ze(Z)サイクル基本特性の評価 ・トロッピン試験(九州大学) ・サイクル計算(佐賀大学)		装置改造 サイクル試験 プログラム 基本特性計算確認	サイクル試験 試験と対応させたサイクル計算
②低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究			
(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定 ・探求・選定(いわき明星大学) ・混合冷媒サイクル熱力学解析(九州大学)	混合冷媒の簡易状態方程式作成 混合冷媒サイクル熱力学解析	低GWP混合冷媒の探求・選定	
(b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定 ・測定(いわき明星大学) ・状態式の作成(九州産業大学)		混合冷媒 PVTx性質、気液平衡、臨界軌跡の測定	混合冷媒の状態式の作成
(c) 低GWP冷媒の輸送的性質の測定 (佐賀大学)・熱伝導率 ・粘度			熱伝導率測定・相関式作成 液粘度測定・相関式作成
(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定 ・管内・円管内及び扁平管内(九州大学) ・管外(九州大学) ・プレート熱交(佐賀大学)	装置改造 管内伝熱試験	装置設計・製作	装置改造 管内伝熱試験 管外伝熱試験 プレート熱交伝熱試験
(e) 低GWP混合冷媒候補サイクル基本特性評価 ・トロッピン試験(九州大学) ・サイクル計算(佐賀大学)	装置改造 モデルの検討 プログラム作成 基本サイクル計算	相平衡測定・サイクル試験	サイクル試験 試験と対応させたサイクル計算

③-8/70

[H23-25年度 研究開発成果概要]

(1) 成果の要旨

- 低GWP冷媒R1234ze(Z)の化学的性質(材料適合性/毒性/燃焼性)の基本特性を世界に先駆けて解明し、冷媒として使用可能であることを確認した。
- 低GWP冷媒R1234ze(Z)の基本物性(熱力学的・輸送的性質及び伝熱特性)を世界に先駆けて明らかにし、その公表に努めた。また、高温用ヒートポンプ冷媒としてR1234ze(Z)及びR1234ze(E)が適していることを見出した。
- 低GWP混合冷媒R1234ze(E)/R32の基本物性の予測の精度を向上させるとともに組成比の伝熱特性に及ぼす影響を測定し、熱交換器設計に必要な情報を提供した。
- R410Aの代替として有望な低GWP混合冷媒R1234ze(E)/R32/R744の組成比を2つ選定し、その基本物性を明らかにするとともにサイクル実験により次世代冷媒として使用できることを実証した。

(2) 成果の意義

- R1234ze(Z)の基本物性とサイクル特性を解明したことは、冷媒選択肢が少ない現状の中で極めて有益である。また、高温用ヒートポンプ冷媒の低GWP化の可能性に道を拓くものである。
- 低GWP混合冷媒R1234ze(E)/R32及びR1234ze(E)/R32/R744がR410Aの代替として使用可能であることを示したことは、業務用を含む各種空調機器の低GWP化を促進する上で有用である。
- 取得した基本物性はデータベースとして基盤技術を構築するものであり、今後の低GWP冷媒を用いた空調機器を民間企業等が設計する上で極めて有用である。

(3) 知的財産権の取得および成果の標準化への取り組み

- 測定した化学的性質は、材料や安全性の標準化および規格化のために必須である。
- 測定した熱力学的・輸送的性質はNIST-REFPROPに参照されつつあり、国際的基盤データとなる。
- 測定した各種伝熱特性データは、日本冷凍空調学会伝熱データベースとして整備する予定である。

③-9/70

(4) 成果の普及

学術論文、国際会議、国内講演会等での成果の公表に努めている(下表はH25年4月現在)。

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H23FY	0件	0件	0件	14件	8件	1件
H24FY	0件	0件	0件	16件	12件	0件

(5) 実用化の見通し(公共的な知的基盤整備)

- 低GWP冷媒R1234ze(Z)は材料適合性、毒性、燃焼性の面で実用化に何ら支障がないことを明らかにし、新規の低GWP冷媒の可能性を示した。
- 熱力学的解析及びドロップイン試験により、R1234ze(Z)及びR1234ze(E)がヒートポンプサイクルの性能を最も高める運転条件(温度条件)を提示したが、これは民間企業等がそれら冷媒を用いた空調機器開発の基盤を提供するものである。
- 本研究開発で得られた熱力学的・輸送的性質や伝熱特性は、空調機器開発の基盤を提供するものである。
- 本研究開発の成果は、低GWP冷媒の選択肢拡大の基盤技術を提供するものである。

(6) 波及効果

- R1234ze(Z)やR1234ze(E)、またそれらを含む低GWP混合冷媒を使用することの可能性が認知されることにより、企業での空調機器の低GWP化を促進するものと考えている。
- 国内企業が世界へ先駆けこれら低GWP冷媒を使用する空調機器を製品化すれば、国内企業の技術水準を高め、経済的効果への波及が期待できるとともに、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ものと考えている。
- 取得した化学的性質、熱力学的・輸送的性質及び伝熱特性データなどは、国内外を問わず各種データベースとして公共的な知的基盤を構築する。

③-10/70

[H23-25年度 研究開発成果まとめ (H25年度末見込み)]

目 標	成 果	達成度
テーマ: 業務用空調機器に適した低GWP冷媒の探求とその安全性、物性および性能評価		
R1234ze(Z)の化学的性質、熱力学的・輸送的性質、伝熱特性およびサイクル基本特性を解明する。ついで、業務用空調機器に適した低GWP混合冷媒を探求・選定し、その熱力学的・輸送的性質の測定、伝熱特性およびサイクル性能の評価を行う。以上より、低GWP混合冷媒を実用化する為の基盤技術を構築する。	R1234ze(Z)の化学的性質、熱力学的・輸送的性質、伝熱特性およびサイクル基本特性を世界で初めて明らかにした。また、次世代冷媒として有望なR1234ze(E)/R32/R744系3成分混合冷媒の組成を選定し、それらのPvT性質、臨界定数、輸送的性質を測定した。さらに、R1234ze(E)/R32系2成分混合冷媒及びR1234ze(E)/R32/R744系3成分混合冷媒の伝熱特性およびサイクル性能を明らかにした。	○
① R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究		
(a) R1234ze(Z)の化学的性質の調査	R1234ze(Z)の材料適合性、燃焼性及び毒性の基本特性を解明。	○
(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定	PvT性質の測定及び臨界定数の決定、並びにHelmholz型状態方程式を作成。	○
(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定	飽和液熱伝導率および飽和液粘度の測定。	○
(d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定	らせん溝付き管内凝縮・蒸発流の熱伝達率・圧力損失の測定。	○
(e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価	R1234ze(E)およびR1234ze(Z)のドロップイン試験を実施。	○
② 低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究		
(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定	R1234ze(E)/R32/R744系3成分混合冷媒の熱力学的解析を行い、次世代冷媒として有望な組成を二つ選定。	○
(b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定	選定した2種類のR1234ze(E)/R32/R744系3成分混合冷媒のPvT性質測定および臨界定数の決定、並びにHelmholz型状態方程式の作成。	○
(c) 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定	R1234ze(Z)/R32及びR1234ze(E)/R32/R744系混合冷媒の液熱伝導率の測定。	○
(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定	らせん溝付き管内、扁平多孔管内、プレートフィン熱交換器内及びフィン付き管外のR1234ze(Z)/R32及びR1234ze(E)/R32/R744系混合冷媒の凝縮・蒸発流の熱伝達・流動特性の測定及びそれらのデータベース化。	○
(e) 低GWP混合冷媒候補のサイクルの基本特性の評価	R1234ze(E)/R32及びR1234ze(E)/R32/R744系混合冷媒がR410Aの代替冷媒として導入できることを実証。	○

【◎:計画以上、○:計画通り(目標達成又は達成見込)、△:ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×:計画未達】

③-11/70

[H26-27年度 研究開発計画]

H26年度及びH27年度は、低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究に重点的に取り組み、その深化と展開を行いたい。

① R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究

- ・R1234ze(Z)及びR1234ze(E)を高温用ヒートポンプに適用するための熱交換器設計データの取得を目的として、プレート熱交換器内の伝熱特性及び管外伝熱特性の評価実験に重点的に取り組むことを追加する。
- ・R1234ze(Z)の燃焼性評価試験を追加する。

② 低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究

- ・R1234ze(E)/R32/R744からなる三成分混合冷媒の組成比の範囲をもう少し低GWP側にシフトさせて、熱力学的性質及び輸送的性質を測定し、それらの推算方法を明らかにする。
- ・R1234ze(E)/R32/R744以外の三成分混合冷媒(HFO系冷媒, HFC系冷媒及び自然冷媒の中から選定される2成分及び3成分混合冷媒)の探求と、それらの熱力学的・輸送的性質の基本特性を明らかにする。
- ・以上の冷媒の管内およびプレート熱交換器内の伝熱特性を明らかにし、その予測方法を構築する(なお、管外伝熱特性試験はR1234ze(Z)のみを対象とし、プレート熱交換器内伝熱特性試験はR1234ze(Z)も対象とする)。
- ・以上の冷媒のサイクル性能評価をドロップイン試験で検証するとともに多成分冷媒サイクルの性能予測法を確立する。
- ・低GWP混合冷媒の燃焼性評価試験を追加する。

③-12/70

事業項目	H26年度	H27年度
①R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究		
(a) R1234ze(Z)の化学的性質の調査 (九州大学)		
(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定 ・測定(いわき明星大学) ・状態式の作成(九州産業大学)		
(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定 (佐賀大学)・熱伝導率 ・粘度		
(d) HFO-1234ze(Z)の伝熱特性の測定 ・管外(九州大学)	管外伝熱試験	
・プレート熱交(佐賀大学)	プレート熱交伝熱試験	
(e) R1234ze(Z)サイクル基本特性の評価 ・ドロップイン試験(九州大学) ・サイクル計算(佐賀大学)		
(f) R1234ze(Z)の燃焼性評価試験 (国内研究機関と調整中)	燃焼性評価試験	
②低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究		
(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定 ・探求・選定(いわき明星大学) ・混合冷媒サイクル熱力学解析(九州大学)	低GWP混合冷媒の探求・選定 混合冷媒サイクル熱力学解析	
(b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定 ・測定(いわき明星大学) ・状態式の作成(九州産業大学)	混合冷媒 PVT性質、気液平衡、臨界軌跡の測定 混合冷媒の状態式の作成	
(c) 低GWP冷媒の輸送的性質の測定 (佐賀大学)・熱伝導率 ・粘度	熱伝導率測定・相関式作成 液粘度測定・相関式作成	
(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定 ・管内(九州大学) ・プレート熱交(佐賀大学)	管内伝熱試験 プレート熱交伝熱試験	
(e) 低GWP混合冷媒候補サイクル基本特性評価 ・ドロップイン試験(九州大学) ・サイクル計算(佐賀大学)	相平衡測定 → サイクル試験 試験と対応させたサイクル計算	相平衡測定 → サイクル試験
(f) 低GWP混合冷媒の燃焼性評価試験 (国内研究機関と調整中)	燃焼性評価試験	
年度予算額(うち再委託費):円	未定	未定

追加研究開発項目
追加研究開発項目

追加研究開発項目

追加研究開発項目

[研究開発成果の紹介]

① R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究

(a) R1234ze(Z)の化学的性質の調査 (担当:九州大学)

・材料適合性評価試験

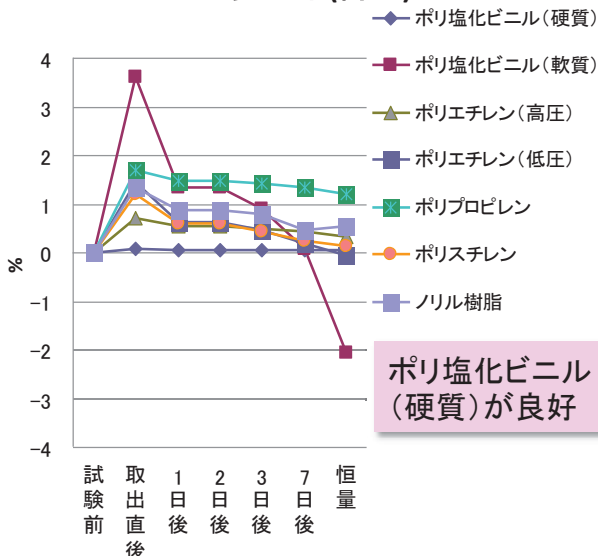
1)樹脂, エラストマーに対する試験

SUS316管内 R1234ze(Z) 40mL中へ、50 °Cで5日間浸漬。

試験結果

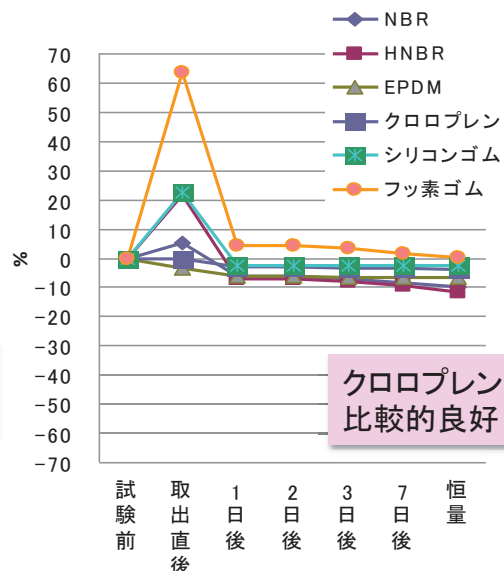
材料適合性/毒性/燃焼性の基本特性を世界に先駆けて解明

重量変化率(樹脂)



ポリ塩化ビニル(硬質)が良好

重量変化率(エラストマー)



クロロプレンが比較的良好

2)腐食試験

SUS316管内 R1234ze(Z) 17 mL中へ、テストピース(3 x 15 x 30 mm)を
 175 °Cで14日間浸漬。(水分 1 wt%添加、空気 13 kPa)

$$\text{腐食速度}[\text{mm/y}] = \frac{\text{重量減少}[\text{g}] \times 365[\text{day/y}] \times 10[\text{mm/cm}]}{\text{表面積}[\text{cm}^2] \times \text{密度}[\text{g/cm}^3] \times \text{試験日数}[\text{day}]}$$

試験結果	金属	番号	水	空気	腐食速度 (mm/y)	外観	
						光沢	変色
1234ze(Z)	鉄	1	○		0.0102	×	少し錆
	鉄	2		○	0.0001	△	やや茶色
	鉄	3			0.0005	○	変化なし
	銅	4	○		0.0003	○	錆
	銅	5		○	0.0016	×	茶色
	銅	6			0.0005	○	変化なし
	アルミ	7	○		0.0092	×	変化なし
	アルミ	8		○	0.0019	○	変化なし
	アルミ	9			0.0033	○	変化なし
	無	10					
245fa	鉄	11	○		0.0045	×	錆
	鉄	12		○	0.0007	△	茶色
	鉄	13			0.0008	○	やや暗い色

腐食速度は十分遅く、鉄・銅・アルミ は R1234ze(Z)に対し耐食材料

③-15/70

・微生物を用いる変異原性試験および急性吸入毒性試験

1)微生物を用いる変異原性試験

ネズミチフス菌 (TA100、TA1535、TA98、TA1537) および大腸菌 (WP2uurA)を用いて、被験物質の突然変異誘発能の有無を検索

2)急性吸入毒性試験

急性毒性を引き起こす化学物質を分類するための国連 (UN) の化学品の分類および表示に関する世界調和システム (GHS) の (9) に従って、被験物質を分類する。

試験結果	冷媒※ ¹	変異原性※ ²	LC ₅₀ (4h) ※ ³ [ppm]
	R1234ze(Z)	陰性	>21,695 ※ ⁵
	R1234ze(E)	陰性	>207,000
	R1234yf	陰性※ ⁴	>400,000
	R32	陰性	>520,000
	R134a	陰性	>500,000
	R245fa	陰性	>200,000

※¹ R1234ze(Z)以外の毒性試験データは、日本フルオロカーボン協会MSDSより引用

※² 細菌復帰突然変異試験結果 (ネズミチフス菌、大腸菌)

※³ 急性吸入試験結果 (ラット、吸引時間=4時間)

※⁴ 培養された細菌性細胞で遺伝子の損傷を引き起こしたが、培養哺乳類細胞では遺伝子の損傷は起こさなかった

※⁵ 今回の急性吸入試験 (OECD436) で実施した最高濃度 = 20000ppm

③-16/70

・**燃焼性試験**

1) **燃焼範囲(上・下限界)測定試験**

- ・ 着火源: ニクロム線溶断 (AC100V, 15mm(L) x 0.5mm(D), 抵抗6.32Ω / m)
- ・ 球形ガス爆発試験装置 (容積 1L) ・測定温度 25°C ・測定初圧 大気圧 ・濃度きざみ0.1%

2) **最小着火エネルギーの測定**

- ・ エネルギー発生装置 最大15 kVDC, 最大コンデンサ容量 0.1575μ F, 電極間距離 1.5mm
- ・ シリンダー型爆発試験装置 (容積 270cm³) ・測定温度 25°C ・測定初圧 大気圧

3) **引火点の測定**

- ・ タグ密閉式引火点測定装置 (JIS K2265) ・環境温度24°C ・相対湿度 29% ・環境圧力101.6kPa

試験結果

冷媒	沸点 [°C]	燃焼範囲 [vol%]	最小着火エネルギー [mJ]	引火点 [°C]	燃焼速度 [cm/s]	区分※7
R1234ze(Z)	9	7.5~16.4※1	n.d. ※5	none	n.d.	?
R1234ze(E)	-19	5.3~17.2※1 5.6~14.4※2 (7.0~9.5)※3	61000	N/A	0 ※6	2L
R1234yf	-29.4	6.2~12.3	5000	N/A	1.5	2L
R32	-51.7	14.4~29.3	30	N/A	6.7	2L
R134a	-26.1	None	N/A	N/A	N/A	1
R245fa	15.3	None	N/A	none	N/A	1

※1 高圧ガス保安法に準拠した測定値(同一の装置、方法による)

※2 高圧ガス保安法に準拠した測定値(※1とは装置が異なる)

※3 ASHRAE法の測定値(測定温度=54°C)

※4 R1234ze(Z)は測定装置の上限値(800mJ)で不燃

※5 R1234ze(E)は燃焼速度測定条件下で不燃

※6 ASHRAE Standard34による燃焼性区分、

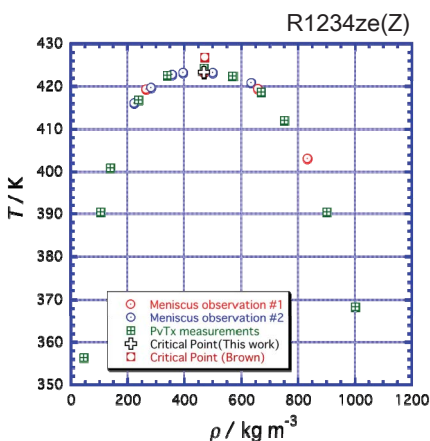
1: 不燃性、2L: 低微燃性(燃焼速度≤10cm/s) 2: 低燃焼性、3: 燃焼性

燃焼範囲、最小着火エネルギー、燃焼速度の引用文献:

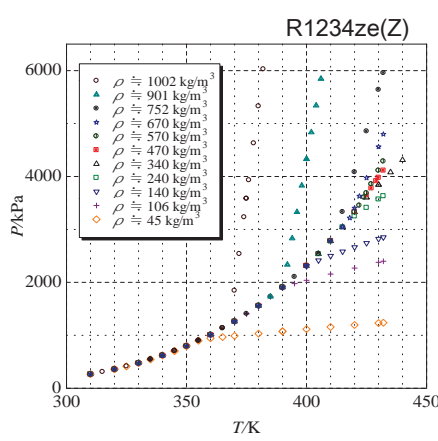
AHRI Project 8004 Final Report

③-17/70

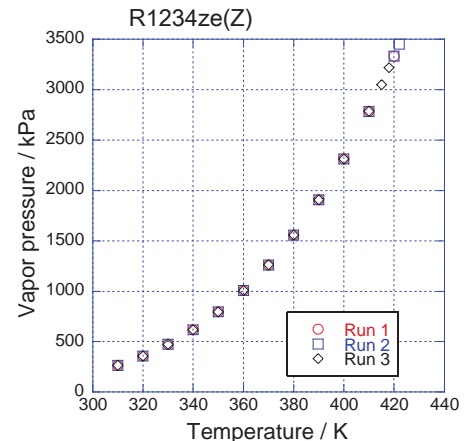
(b) **R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定** (担当: いわき明星大学・九州産業大学)



気液共存曲線(飽和密度)



PvT性質実測値分布



飽和蒸気圧実測値分布

・**R1234ze(Z)の臨界定数**

$$T_c = 423.27 \text{ K}, \quad P_c = 3533 \text{ kPa}, \quad \rho_c = 470 \text{ kg/m}^3$$

・**R1234ze(Z)の飽和蒸気圧相関式**

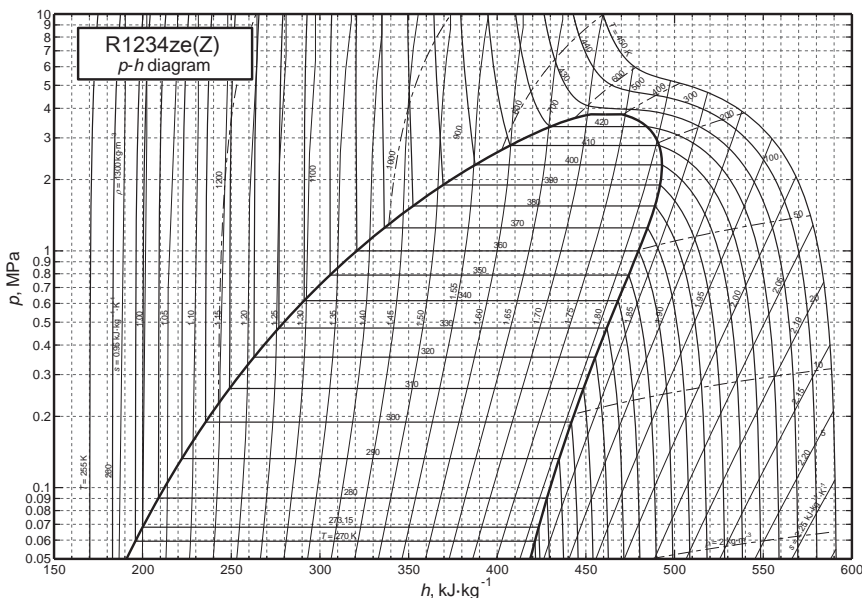
$$\ln\left(\frac{P_s}{P_c}\right) = \frac{T_c}{T} \left(N_1 \tau + N_2 \tau^{1.5} + N_3 \tau^{2.5} + N_4 \tau^5 \right), \quad \tau = 1 - \frac{T}{T_c}$$

$$T_c = 423.27 \text{ K}, \quad P_c = 3533 \text{ kPa}, \quad N_1 = -7.6208, \quad N_2 = 1.5925, \quad N_3 = -2.3198, \quad N_4 = 2.0196$$

③-18/70

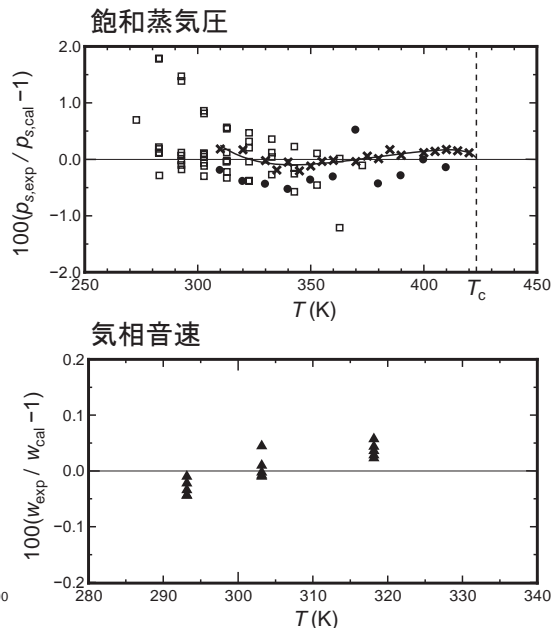
・R1234ze(Z)のHelmholz型状態方程式を開発

$$\frac{a(T, \rho)}{R} = \alpha(\tau, \rho) = \alpha^o(\tau, \rho) + \alpha^r(\tau, \rho)$$



・実測値の再現性を確認

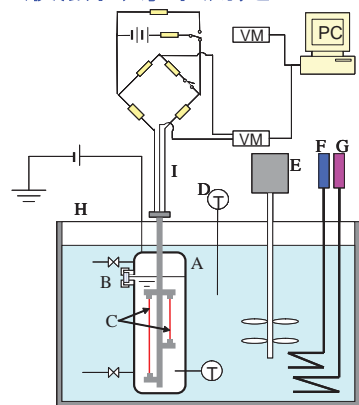
(飽和蒸気圧、気相音速、密度)



熱力学的性質を世界に先駆けて測定するとともに状態方程式を作成し、それらを国内外に公表・データベース化

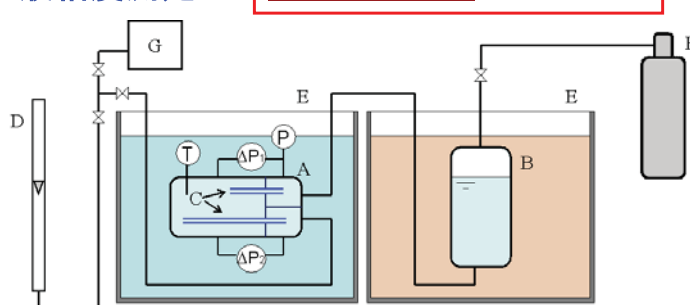
(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定 (担当: 佐賀大学)

・液熱伝導率測定



細線式熱伝導率測定装置

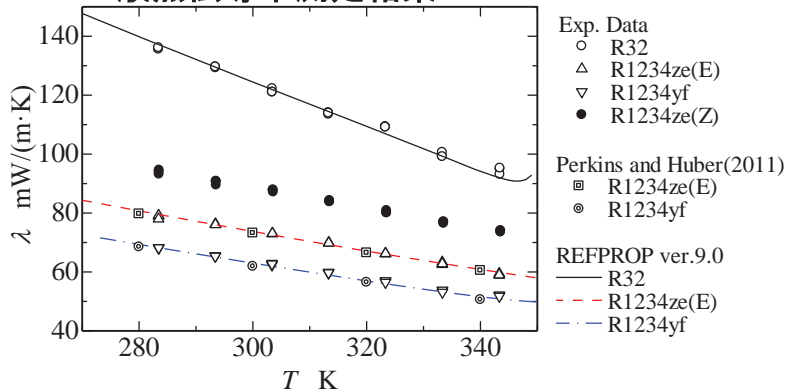
・液粘度測定



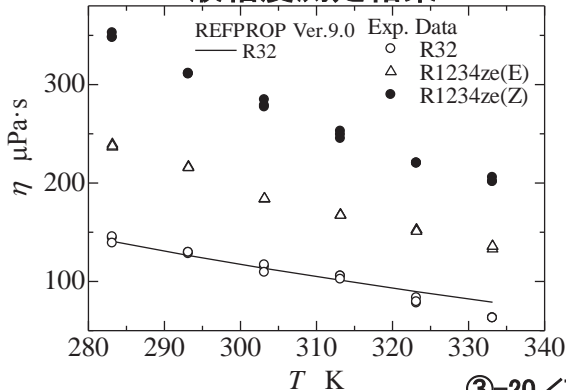
毛細管式粘度測定装置

輸送的性質の測定、公表・データベース化

液熱伝導率測定結果



液粘度測定結果



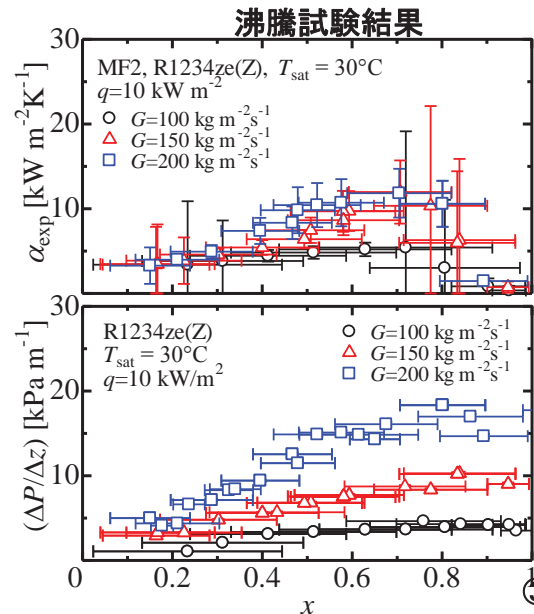
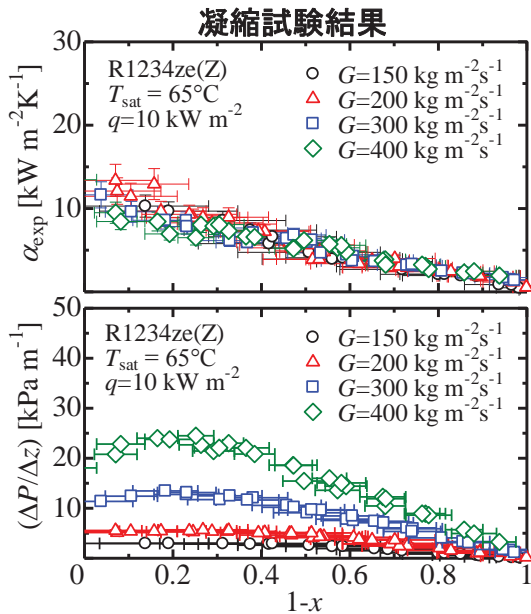
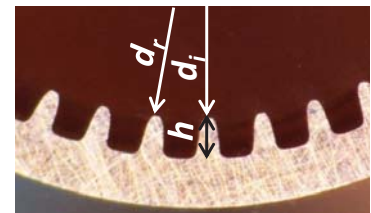
(d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定 (担当:九州大学・佐賀大学)

・R1234ze(Z)の凝縮および蒸発伝熱特性の測定と熱交換器の設計に有用なデータベースの構築

伝熱特性の測定、公表・データベース化

らせん溝付管の仕様

外径 [mm]	最大内径 [mm]	平均内径 [mm]	フィン高さ [mm]	ねじれ角 [deg.]	フィン数	面積拡大率
d_o	d_r	d_i	h	β	N	η
6.08	5.49	5.34	0.255	20.1	48	2.24



③-21/70

(e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価 (担当:九州大学・佐賀大学)

・R1234ze(E)およびR1234ze(Z)の熱力学的解析およびドロップイン試験

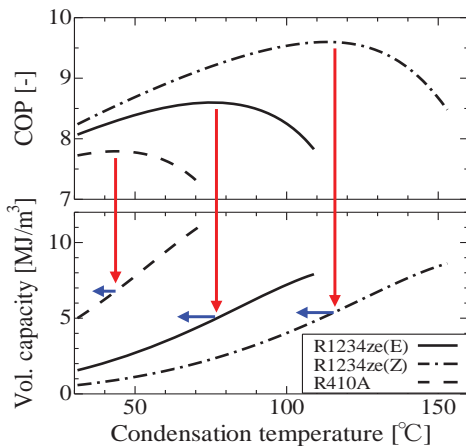
解析条件

Cond.Temp.-Eva.Temp.	[K]	35
Degree of subcool	[K]	10
Degree of superheat	[K]	3
Range of Cond.Temp.	[°C]	> 30

実験条件

Water temp.	Cond.	[°C]	50→75
Water temp.	Eva.	[°C]	45→39
Degree of superheat	[K]	3	
Heat transfer rate	[kW]	1.2~2.4	

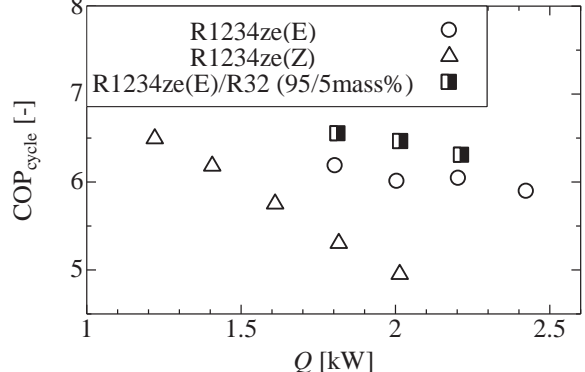
解析結果



各冷媒ともにCOPが最大とする最適温度条件が存在

実験結果

冷媒の特性把握のために圧縮機効率を除いたCOPで評価



高温用ヒートポンプ冷媒の低GWP化の可能性に道を拓く

③-22/70

② 低GWP混合冷媒の探求とその基本物性およびサイクル性能に関する研究

(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定 (担当:九州大学・いわき明星大学)

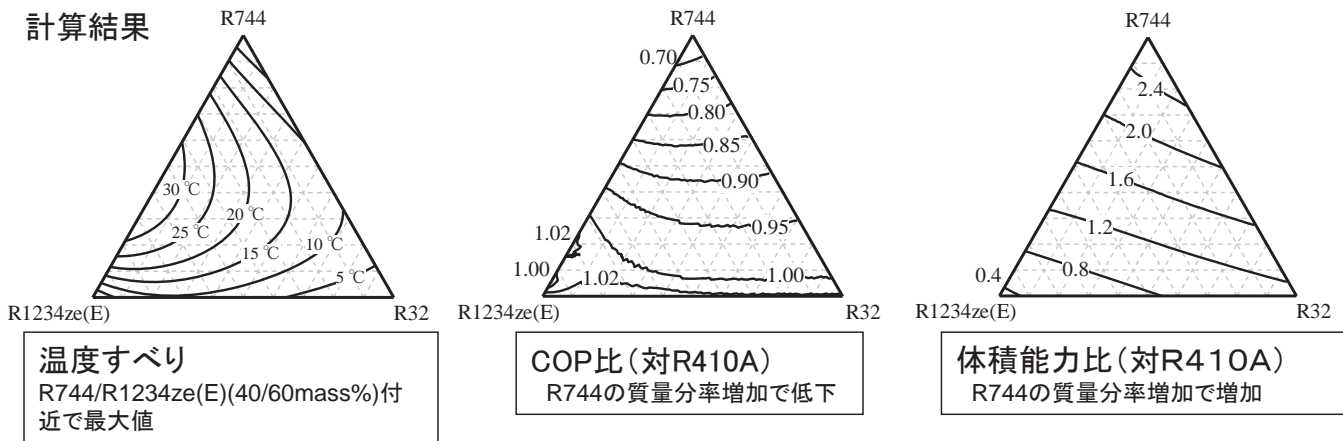
- ・HFO系、HFC系、自然系冷媒を組み合わせた低GWP混合冷媒の熱力学的サイクル性能解析(業務用空調機器の冷媒として適した低GWP混合冷媒の選定)

R1234ze(E)/R32/R744 (CO₂) 系三成分混合冷媒の組成の検討

計算条件

Condensation Temperature [K]	303.15
Degree of Subcool [K]	0
Evaporation Temperature [K]	270.15
Degree of Superheat [K]	3
Efficiency of Compressor [-]	0.85

計算結果



③-23/70

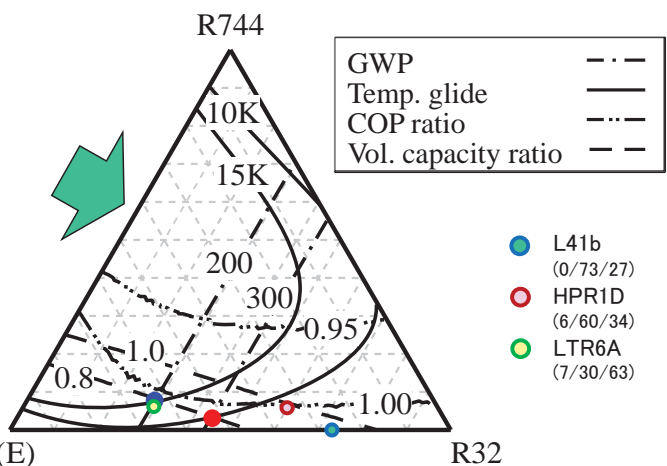
・熱力学的解析の結果に基づき以下の二つの組成比を決定。

組成選定条件

	A	B
GWP	< 300	< 200
Temperature glide	< 10K	< 15K
Volumetric capacity ratio	> 0.8	
COP ratio	> 1.00	

組成検討結果

	A(●)	B(●)
R744/R32/R1234ze(E)	4/43/53	9/29/62
GWP	293.47	199.56
Temperature glide	10.57	16.04
COP ratio	1.010	1.003
Volumetric capacity ratio	0.805	0.818

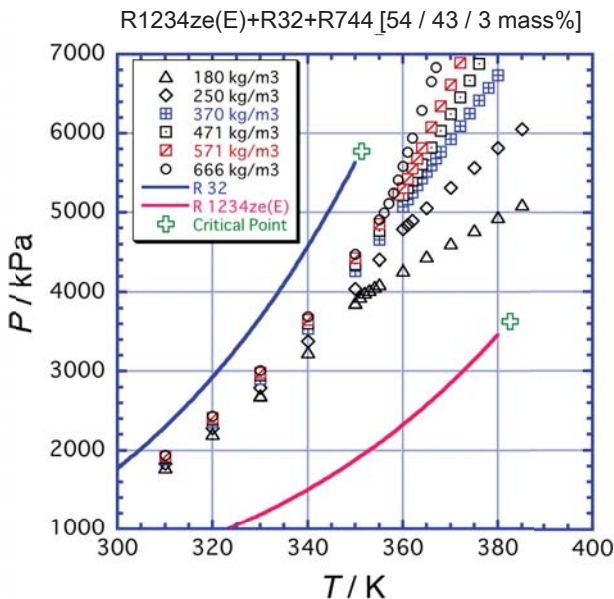
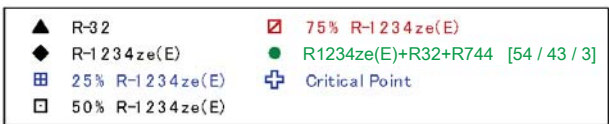
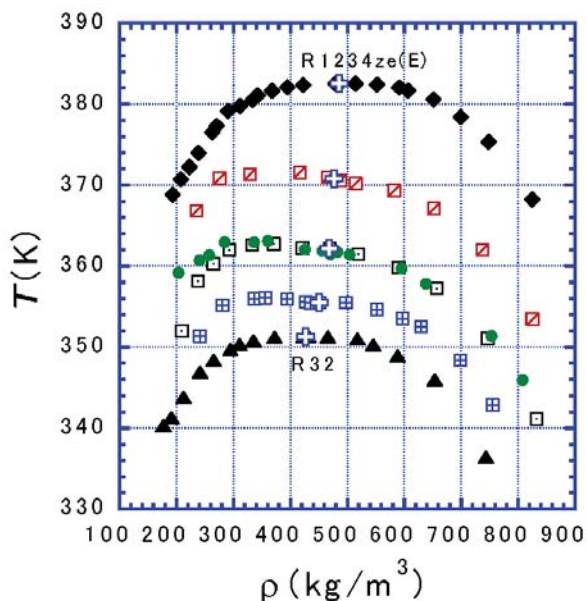


※温度すべりの条件次第では、更なる低GWP化の可能性有り。

R410Aの代替として有望な低GWP混合冷媒R1234ze(E)/R32/R744の組成比を2つ選定

③-24/70

(b) 低GWP混合冷媒の熱力学性質の測定 (担当:いわき明星大学)



・R 1234ze(E) + R 32 + R744 [54/43/3 mass%]
の臨界定数

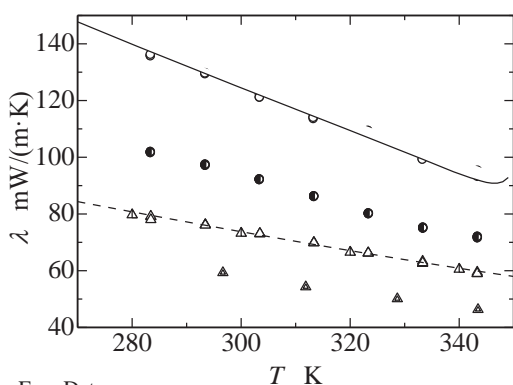
$T_c=361.83$ K, $\rho_c=466$ kg/m³, $P_c = 5394 \pm 5$ kPa

低GWP混合冷媒の熱力学の性質を世界に先駆けて測定し、
それらを国内外に公表・データベース化

③-25/70

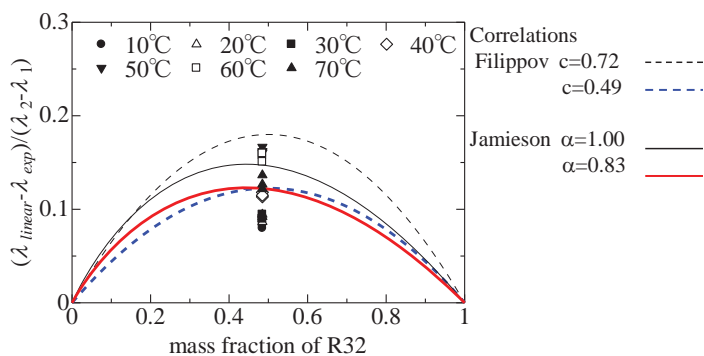
(c) 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定 (担当:佐賀大学)

・混合冷媒R1234ze(E)/R32の熱伝導率



Exp. Data
○ R32 ● 48.5mass% R32 △ R1234ze(E)
REFPROP ver.9.0
- - - R1234ze(E) — R32
Ref. Data of R1234ze(E)
△ Perkins and Huber(2011) ▲ Grebenkov et al.(2009)

・混合冷媒R1234ze(E)/R32に対する
熱伝導率の簡易相関式の
実験パラメータの決定



Filippovらの相関式

$$\lambda_m = w_1 \lambda_1 + w_2 \lambda_2 - c w_1 w_2 (\lambda_2 - \lambda_1)$$

Jamiesonらの相関式

$$\lambda_m = w_1 \lambda_1 + w_2 \lambda_2 - \alpha w_1 (1 - w_1^{1/2}) (\lambda_2 - \lambda_1)$$

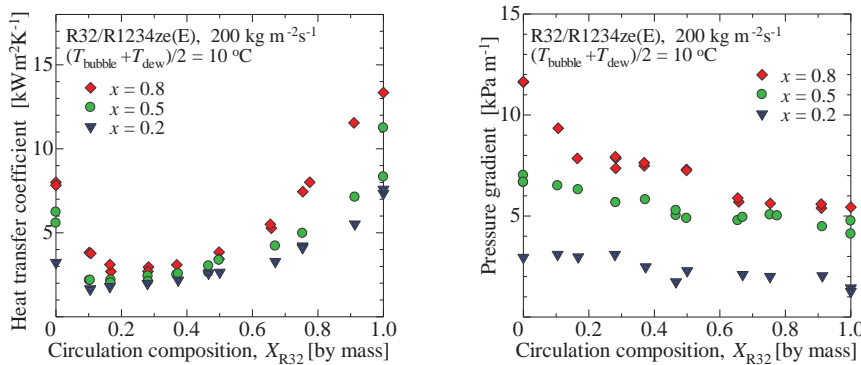
低GWP混合冷媒の液熱伝導率の測定、公表・データベース化
(液粘度はH25年度に測定を実施中)

③-26/70

(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定 (担当: 九州大学・佐賀大学)
 ・凝縮および蒸発伝熱特性の測定と熱交換器の設計に有用なデータベースの構築

1) らせん溝付管内での混合冷媒の伝熱実験(沸騰および凝縮)

* 混合冷媒R32/R1234ze(E) の沸騰(組成比の影響)



2成分混合冷媒の
 伝熱特性の測定、
 公表・データベース化

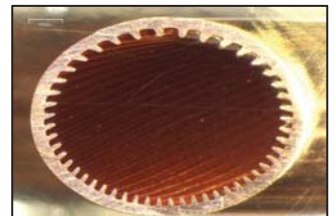
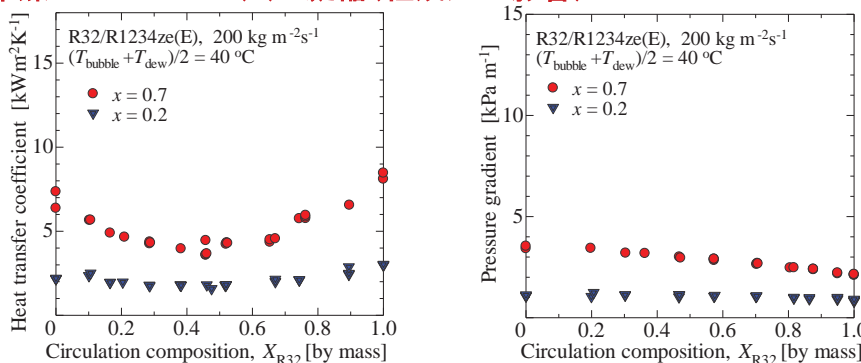


図 伝熱管斜め断面写真

外径 6.08 mm
 平均内径 5.34 mm
 フィン高さ 0.255 mm
 フィン数 48
 ねじれ角 20°
 面積拡大率 2.24

* 混合冷媒R32/R1234ze(E) 凝縮(組成比の影響)

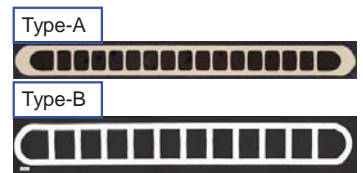
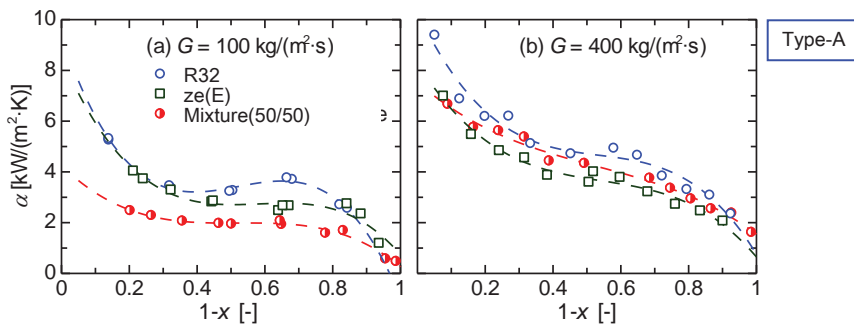


2) 扁平多孔管内での混合冷媒の伝熱実験(沸騰および凝縮)

- ・混合冷媒R1234ze(E)/R32の凝縮および沸騰実験を実施
- ・純冷媒R1234ze(E)、R32、R134a、R410Aの沸騰蒸発実験を実施

2成分混合冷媒の
 伝熱特性の測定、
 公表・データベース化

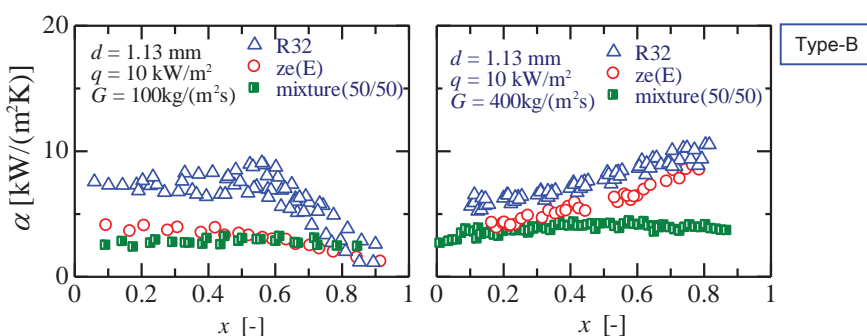
* 混合冷媒R32/R1234ze(E)の凝縮伝達特性 ($d = 0.85 \text{ mm}$, $T_s = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)



試験扁平多孔管の断面写真

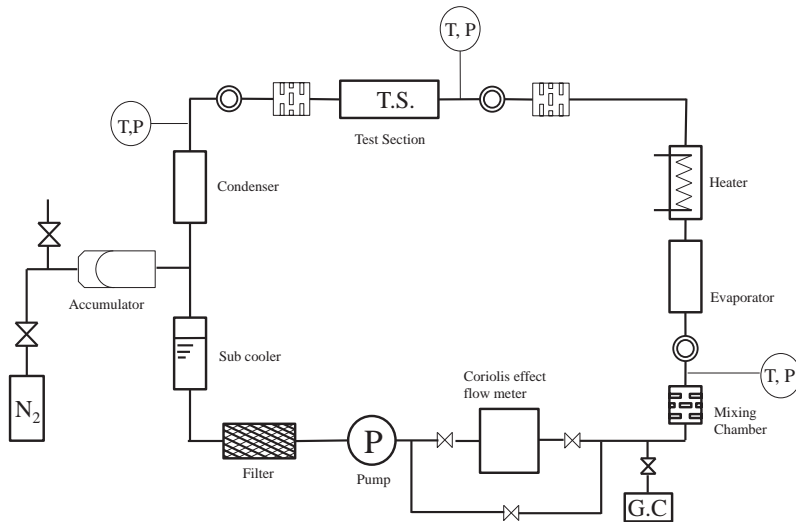
Tube type	Type-A	Type-B
水力直径 [mm]	0.85	1.13
流路数 [-]	17	12
流路断面積 [mm²]	11.13	16.09
総濡れぶち長さ [mm]	52.26	57.04
平均肉厚 [mm]	1.5	2.0
管幅 [mm]	16.3	16.0
有効伝熱区間長[mm]	600	600

* 混合冷媒R32/R1234ze(E)の沸騰熱伝達特性 ($d = 1.13 \text{ mm}$, $T_s = 15 \text{ }^\circ\text{C}$)



3) プレート熱交換器実験装置の設計・製作 (H25年度実験開始)

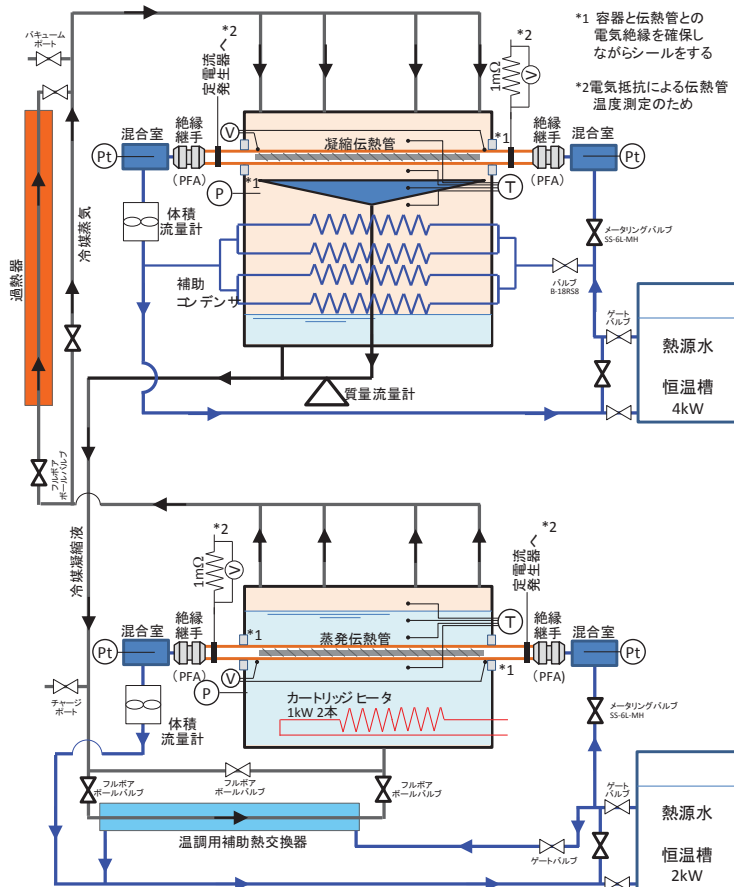
- (1) 実験装置の概要を検討 恒温槽の購入
- (2) 供試プレート of 検討 空気-水二相流の可視化
- (3) 必要な機器の選定・購入



プレート熱交換器の伝熱特性の実験装置

供試プレート熱交換器

4) 管外伝熱試験装置の設計・製作 (H25年度実験開始)



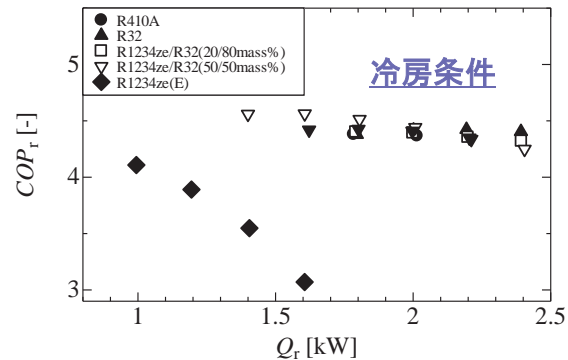
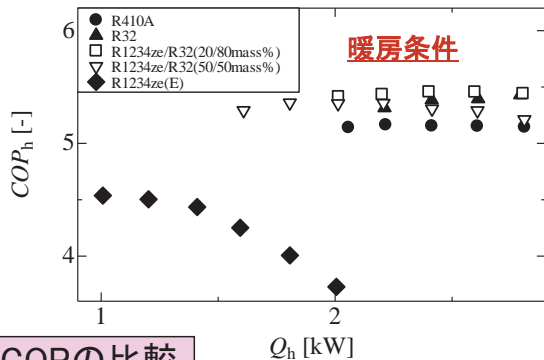
(e)低GWP混合冷媒のサイクルの基本特性の評価(担当:九州大学・佐賀大学)

・R1234ze(E)/R32/R744 系混合冷媒のドロップイン試験

1) R1234ze(E)+R32のドロップイン試験 (追試-冷房および暖房モード)

実験条件		冷房モード	暖房モード
能力 [kW]		1.0~2.0	1.4~2.8
凝縮器熱源 (高温熱源)	入口温度 [°C]	30	20
	出口温度 [°C]	45	45
	流量 [l/h]	~133	~100
蒸発器熱源 (低温熱源)	入口温度 [°C]	20	15
	出口温度 [°C]	10	9
	流量 [l/h]	~154	~300

低GWP混合冷媒R1234ze(E)/R32及びR1234ze(E)/R32/R744がR410Aの代替として使用可能であることを実証



最大COPの比較

暖房条件:

R1234ze(E)/R32(20/80mass%) > R32 > R1234ze(E)/R32(50/50mass%) > R410A > R1234ze(E)

冷房条件:

R1234ze(E)/R32(50/50mass%) > R32 > R1234ze(E)/R32(80/20mass%) > R410A > R1234ze(E)

2) R1234ze(E)/R32/R744 混合冷媒のドロップイン試験

・実験を開始するにあたり露点測定を実施し、REFPROPの妥当性を検証(2回実施)

GWP≒300の試験冷媒: R1234ze(E)/R32/R744 (53/43/4 mass%)

GWP≒200の試験冷媒: R1234ze(E)/R32/R744 (62/29/9 mass%)

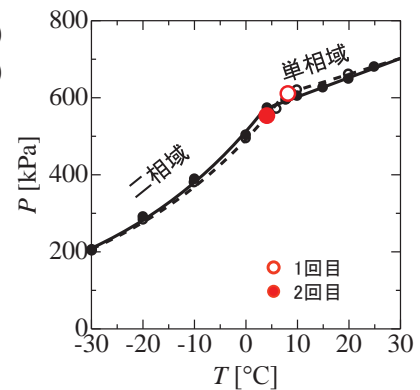
調査組成※において露点測定を実施し、測定した露点とREFPROPから算出した温度を比較

※ 1回目: R1234ze(E)/R32/R744(57/41/2 mass%)
2回目: R1234ze(E)/R32/R744(53/44/3 mass%)

結果(測定した露点と REFPROPから算出した温度との差異)

一回目: -0.57 K 二回目: -0.78 K

→REFPROPを用いて実験を行っても問題ない事を確認

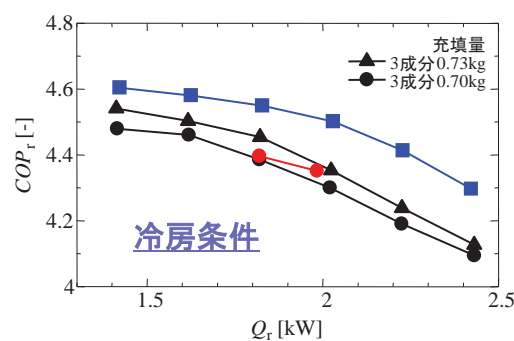
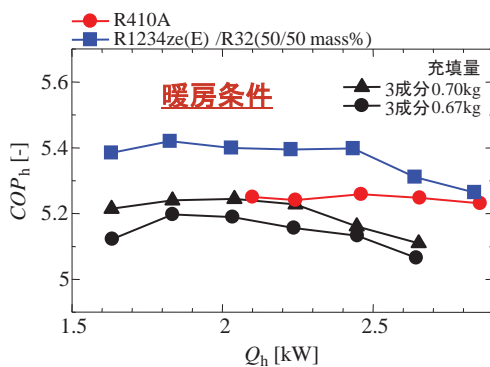


・R1234ze(E)/R32/R744混合冷媒のドロップイン試験

GWP≒300の試験冷媒: R1234ze(E)/R32/R744 (53/43/4 mass%) ※※を用いて、充填量を変えながら測定中。

※※充填組成: 55/42/3 循環組成: 51/46/3

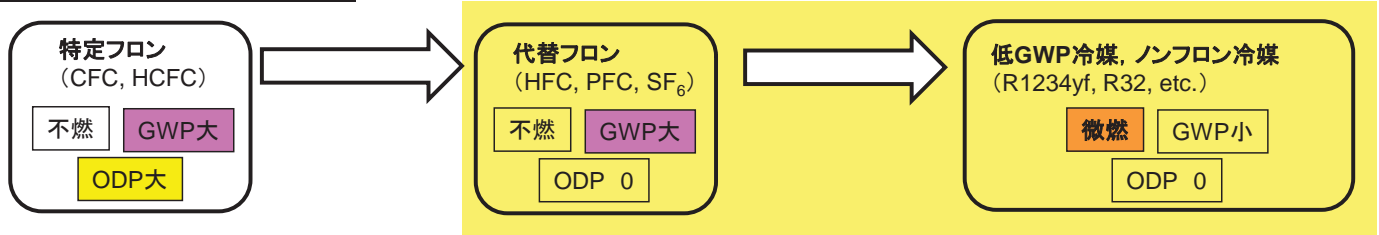
R410A, R1234ze(E)/R32(50/50mass%)は最適充填量の結果



以上

「微燃性冷媒の燃焼・爆発性評価と空調機器使用時のリスクアセスメント」
 学校法人東京理科大学(再委託:(独)産業技術総合研究所安全科学研究部門)

I. 事業の位置づけ、必要性について



低GWP冷媒の導入のためには、燃焼性、毒性等の基礎的データを収集し、これをベースにしたリスクアセスメントが必要
 特に実際に想定される事故シナリオに基づいたハザード評価によりリスクアセスメントを推進させることが重要

II. 研究開発マネジメントについて

本研究の目的: 微燃性冷媒の燃焼性・爆発性を実験的及び数値的に評価
 実際の居住空間やサービス・据え付け空間などで発生しうる事故シナリオのハザード評価

燃焼・爆発性評価 (産総研 安全科学研究部門)

直径1m容器を用いた冷媒の燃焼基礎特性の評価と、過剰なエネルギーを受けた場合の挙動について実験および数値シミュレーションにより検討する。

- 微燃性冷媒の燃焼・爆発性評価
- 微燃性冷媒の過剰なエネルギーに基づく燃焼性評価

事故シナリオに基づく安全性評価 (諏訪東京理科大学)

1m³プール内で濃度勾配を有する条件での冷媒の燃焼特性を基礎性状として把握するとともに、各種事故シナリオに基づいた検証的な実験・理論予測により、A2L冷媒実用化にあたってのフィジカルハザード評価を行う。

- 暖房機器と同時使用時の安全性評価
- サービス・据え付け時の安全性評価
- 多室型空調機の急速漏洩を想定した安全性評価

研究開発計画と進捗

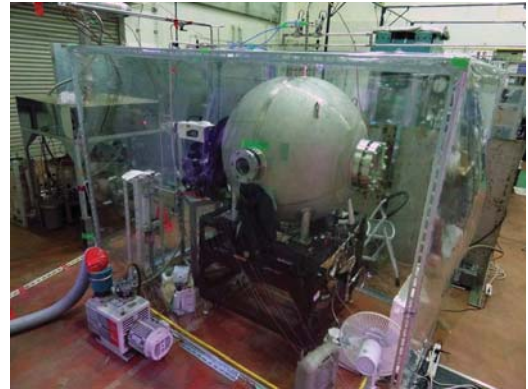
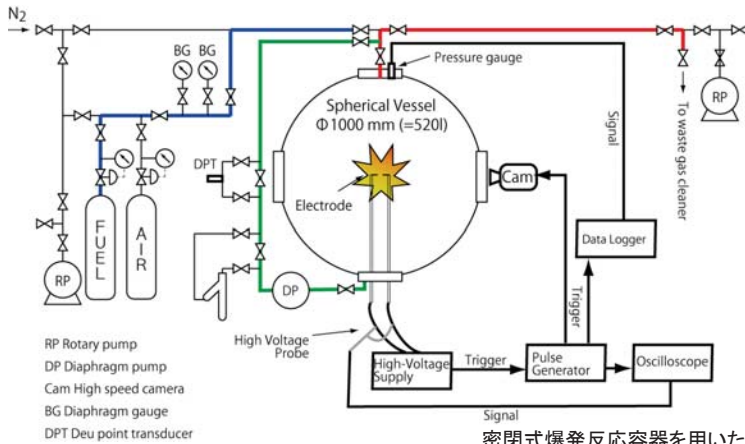
→ : 当初計画 → : 実際の進捗

事業項目	平成23年度				平成24年度				平成25年度			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
① 微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価	(a) 事故シナリオの検討に基づくハザード評価											
	(b) 爆発影響評価											
② 微燃性冷媒の過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価	(a) 事故シナリオの検討に基づく予混合・漏えい条件評価											
	(b) 過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価											
③ 暖房機器と同時使用時の安全性評価	(a) 試験室および試験装置の製作											
	(b) 着火特性・燃焼生成物評価試験											
④ サービス・据え付け時の安全性評価	(a) 試験装置の製作											
	(b) 着火特性把握試験											
⑤ 多室型空調機の急速漏洩を想定した安全性評価試験	(a) 試験装置の製作											
	(b) 冷媒漏洩試験											
	(c) 着火特性評価試験											

Ⅲ. 研究開発成果について

①微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価

可燃性の予混合気が広範囲に漏洩した後に、着火した場合の爆発影響を検証するため、密閉爆発容器内でA2L/2L冷媒の予混合気を爆発させ、圧力上昇の計測及び火炎伝播の観測等を行う。



密閉式爆発反応容器を用いた燃焼試験装置

特に遅い燃焼速度からくる浮力による燃焼挙動への影響について調査するため、密閉式燃焼反応容器(内径1000mm、容積520L)を用いた予混合燃焼試験装置による燃焼試験を実施した。

R32、R1234yfの燃焼挙動を調査した。

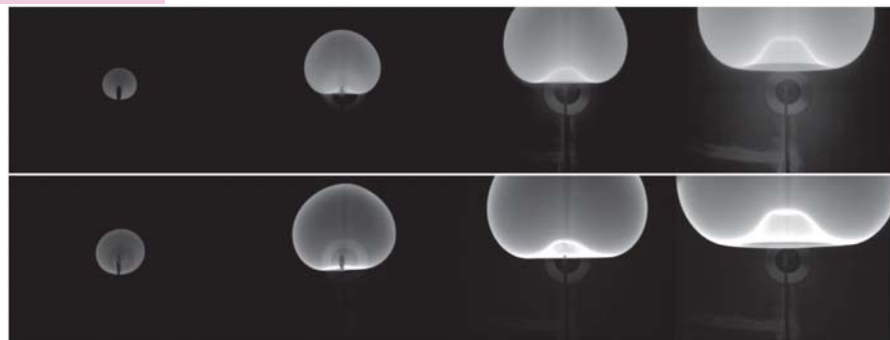
- ・ 高速度ビデオ撮影による燃焼挙動の解析
- ・ 圧力センサーによる圧力上昇挙動の観測
- ・ 水分の存在による燃焼特性への影響



安全な試験のためのHF除害装置

Ⅲ. 研究開発成果について

①微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価



100ms 200ms 300ms 400ms
燃焼面伝播挙動(R32、上:φ0.9、下:φ1.2)



100ms 200ms 300ms 400ms
燃焼面伝播挙動(R1234yf、φ1.35)

特に遅い燃焼速度からくる浮力による燃焼挙動への影響について調査するため、密閉式燃焼反応容器(内径1000mm、容積520L)を用いた予混合燃焼試験装置による燃焼試験を実施した。

R32、R1234yfの燃焼挙動の調査

- ・ 高速度ビデオ撮影による燃焼挙動の解析
- ・ 圧力センサーによる圧力上昇挙動の観測
- ・ 水分の存在による燃焼特性への影響

III. 研究開発成果について

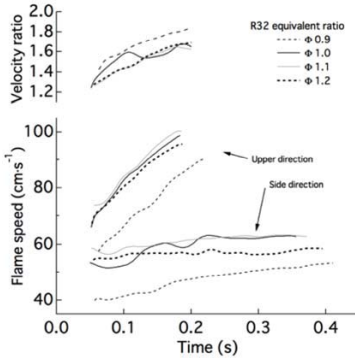
①微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価

可燃性の予混合気が広範囲に漏洩した後に、着火した場合の爆発影響を検証するため、密閉爆発容器内でA2L/2L冷媒の予混合気を爆発させ、圧力上昇の計測及び火炎伝播の観測等を行う。

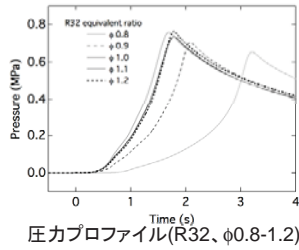
火炎速度と燃焼速度の評価

映像解析をもとに火炎伝播速度を評価した。燃焼速度 S_u は火炎伝播速度からの評価の他、火炎面が球状に膨張することを仮定した場合としてSV法をもとに評価した。

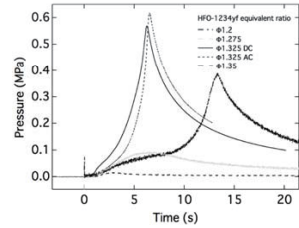
$$S_u = \frac{R}{3} \left[1 - (1-x) \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \right]^{-2/3} \cdot \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \frac{dx}{dt}$$



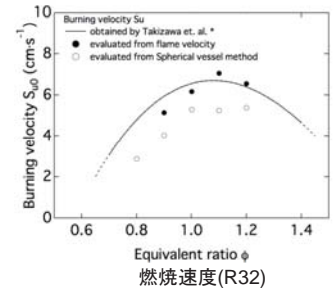
鉛直方向と水平方向への火炎伝播速度および火炎速度比(R32, φ0.9-1.2)



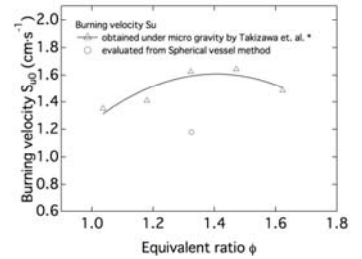
圧力プロファイル(R32, φ0.8-1.2)



圧力プロファイル (R1234yf, φ1.2-1.35)



燃焼速度(R32)



燃焼速度(R1234yf)

・火炎面が球状に広がるを前提としたSpherical Vessel(SV) 法により燃焼速度を評価した。
 ・別途火炎伝播速度から評価される燃焼速度と比較した。
 ・特にR-1234yfについては浮力による影響と、複雑な火炎面の形成によりSV法では燃焼速度を正しく評価するのは困難と思われる。

③-37/70

III. 研究開発成果について

①微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価

可燃性の予混合気が広範囲に漏洩した後に、着火した場合の爆発影響を検証するため、密閉爆発容器内でA2L/2L冷媒の予混合気を爆発させ、圧力上昇の計測及び火炎伝播の観測等を行う。

爆発強度指数 K_G 値の評価

実験による圧力計測の結果から、爆発の激しさを示す指標として爆発強度指数 K_G 値を評価した。

$$K_G = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max} \cdot V_{\text{vessel}}^{\frac{1}{3}}$$

P : 圧力(100kPa)
 t : 時間(s)
 V_{vessel} : 燃焼容器容積(m³)

R32およびR1234の燃焼特性評価結果

Refrigerant	Equivalent Ratio φ	P_{\max} (100 kPa)	K_G (100 kPa · m s ⁻¹)	Flame speed S_f		Burning velocity S_u		
				$S_{f,t=0.1s}$ (cm s ⁻¹)	S_f (cm s ⁻¹)	S_u (cm s ⁻¹)	S_{u0} (cm s ⁻¹)	S'_{u0} (cm s ⁻¹)
R32	0.8	6.5	9.4	-	-	-	2.87	4.80 ^a
	0.9	7	9.2	41.4	39.8-53.3	5.13	4.03	5.93 ^a
	1	7.4	8.1	52.4	51.6-63.1	6.15	5.29	6.55 ^a
	1.1	7.6	8.7	58.6	56.4-63.3	6.76	5.24	6.69 ^a
	1.2	7.6	8.9	56.0	54.4-58.6	6.5	5.38	6.39 ^a
R1234yf	1.2	3.9	1.5	-	-	-	-	-
	1.275	1	0.6	-	-	-	-	-
	1.325	6.2	5.6	-	-	-	1.18	1.625 ^b
	1.35	0.2	0.2	-	-	-	-	-

^a From Ref. K. Takizawa, Combustion and Flame, 141: 298-307(2005)

^b From Ref. K. Takizawa, 2010 Int. Symp. on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo (2010).

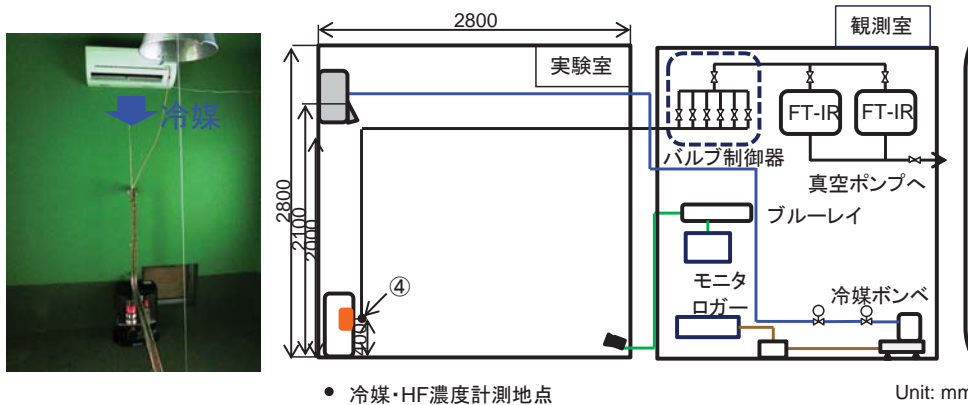
・ K_G 値について、到達圧力 P_{\max} や、火炎伝播速度 S_f 、燃焼速度 S_u と併せて参考値とともに整理した。
 ・R32やR1234yfに関して、 K_G 値に注目する限りにおいては低い値となっており、例えばアンモニアと同等かそれ以下となっている。

③-38/70

Ⅲ. 研究開発成果について

③暖房機器と同時使用時の安全性評価

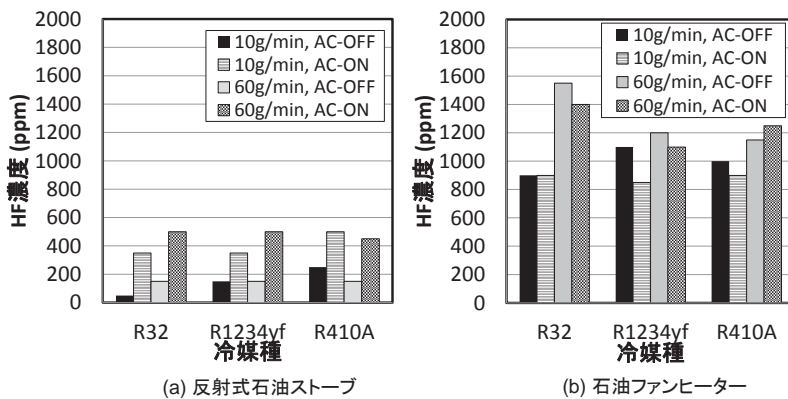
A2L冷媒を搭載した空調機器と、石油ファンヒーターや反射式ストーブなどの暖房機器を、一般的な居住空間で同時使用した場合のフィジカルハザードを評価する。



着火源:
 反射式石油ストーブ(出力2.4 kW)
 石油ファンヒーター(出力3.2 kW)
 セラミックヒーター(出力1.0 kW)
 漏洩量: 800 g
 漏洩速度: 10 g/min, 60 g/min
 冷媒種: R1234yf, R32, R410A
 計測項目:
 暖房直近傍の冷媒濃度, HF濃度,
 冷媒濃度の鉛直・水平分布を計測

● 冷媒・HF濃度計測地点

Unit: mm

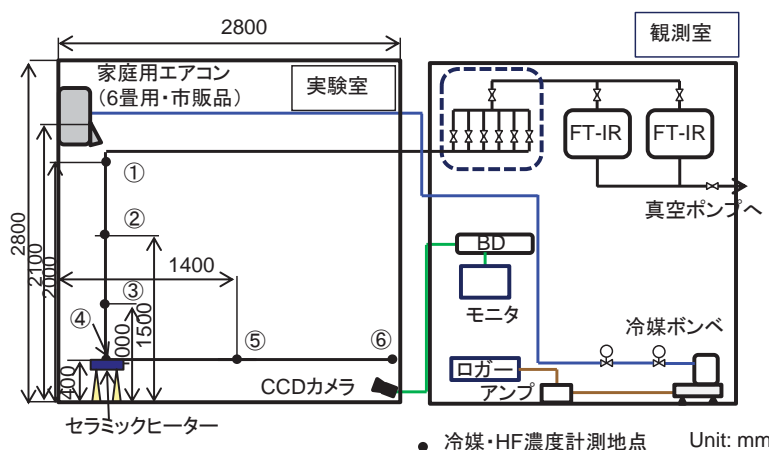


①暖房機器使用中にA2L冷媒が漏洩した場合
 > R1234yf, R32及びR410Aのいずれも、漏洩して、熱源となる石油ストーブや石油ファンヒーターなどの暖房機器の熱源に触れると、許容濃度3 ppmを超えるHFを発生した。
 > 冷媒の漏洩速度が大きく、石油ファンヒーター使用時にHF発生濃度が高くなった。また、特に反射式ストーブ使用時には、エアコン運転に伴ってHF濃度が高くなった。

Ⅲ. 研究開発成果について

③暖房機器と同時使用時の安全性評価

A2L冷媒を搭載した空調機器と、石油ファンヒーターや反射式ストーブなどの暖房機器を、一般的な居住空間で同時使用した場合のフィジカルハザードを評価する。



②A2L冷媒が漏洩・滞留した空間内で暖房機器を作動させた場合
 > 一般の家庭用空調機器に搭載される程度の冷媒量が全量漏洩し滞留した、4畳半相当の容積を持つ室内で、暖房機器を作動させても、着火には至らず、検出限界を超えるHFの発生も認められなかった。

● 冷媒・HF濃度計測地点

Unit: mm

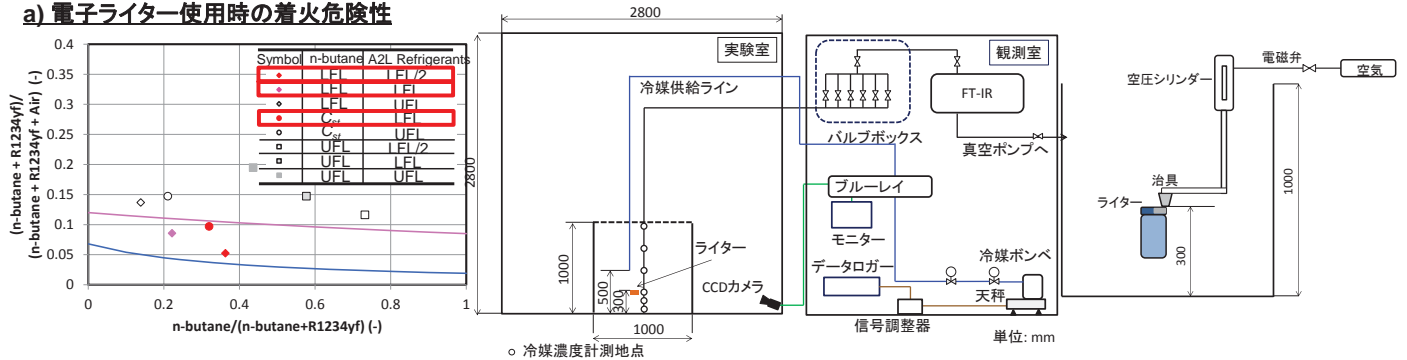
Heating System	Experimental Conditions								Results		
	Refrigerant	AC Operation	Temp. (°C)	Humidity (%R.H.)	Leak Amount (g)	Leak Rate (set value, g/min)	Leak time (sec)	Actual Leak Rate (g/min)	Ignition	Maximum Refrigerant Concentration (vol%)	Maximum HF Concentration (ppm)
Ceramic Heater covered with Copper Sheet	R32	OFF	3.2	45.6	800	10	6120	7.8	—	1.04	Under DL*
	R32	ON	-2.2	49.9			5005	9.6	—	1.12	Under DL*
	R410A	ON	6.3	28.8			4447	10.8	—	0.72	Under DL*
	R410A	OFF	7.2	27			4121	11.6	—	1.26	Under DL*

Ⅲ. 研究開発成果について

④サービス・据え付け時の安全性評価

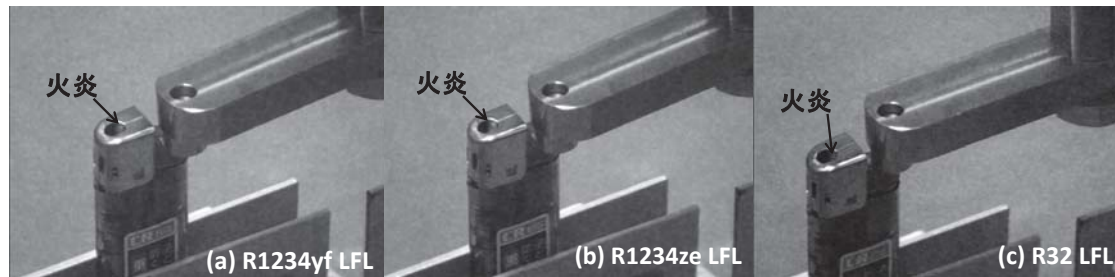
- a) サービス・メンテナンス時の作業空間において、A2L冷媒が漏洩した雰囲気下で、作業者が喫煙のために市販の電子ライターを使用した場合
- b) 配管等に生じたピンホールや破断口から冷媒が噴出漏洩した場合
- c) 例えば冷媒回収機のようなサービス・メンテナンス機器内で、冷媒が漏洩した場合

a) 電子ライター使用時の着火危険性



Le Chatelierの式により燃焼範囲を予測
 > A2L冷媒がLFL以下の濃度で混合されると着火の危険性

1m³のプール内に冷媒を滞留させ、ライターを遠隔操作
 対象冷媒: R1234yf, R1234ze(E), R32



A2L冷媒への火炎伝播は認められなかった。

Ⅲ. 研究開発成果について

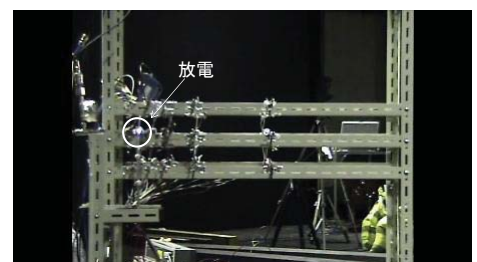
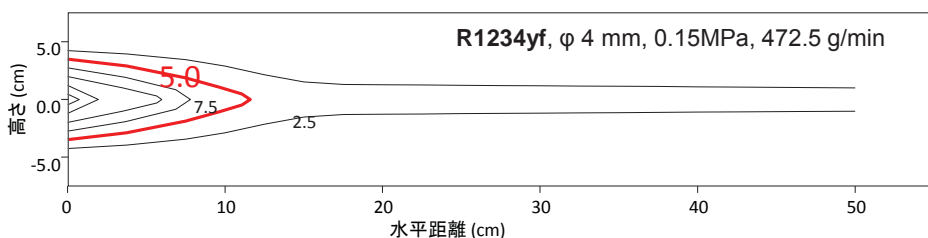
④サービス・据え付け時の安全性評価

b) ピンホール漏洩時の着火危険性



冷媒濃度計測装置

着火源:
 単発スパーク (DC15 kV), 持続スパーク (AC100V, ネオトランス), 裸火
 ピンホール径: 0.2, 1.0, 2.0, 4.0mmφ
 及び1.0mm × 4.00 mm, 4.0 mm × 1.0mm
 漏洩速度: 5 - 850 g/min
 冷媒種: R1234yf, R32, R1234ze(E)
 計測項目:
 着火前冷媒濃度 (100 mm × 500 mm),
 温度, 爆風圧, HF濃度



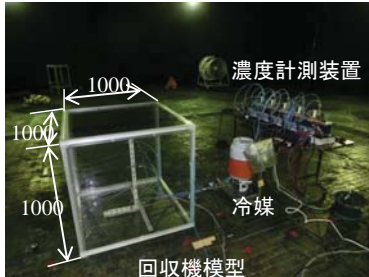
配管破断・自圧漏洩の場合でも、燃焼範囲は漏洩口近傍にしか形成されない。
 着火源があっても、ジェット火炎の形成は起こらなかった(燃焼速度が漏洩速度に比べて十分小さいため)

Ⅲ. 研究開発成果について

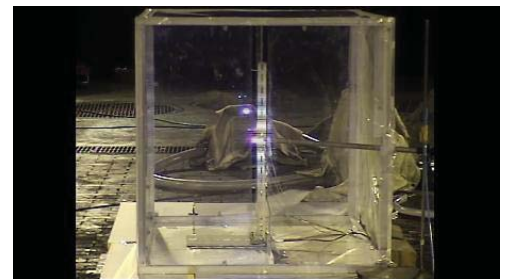
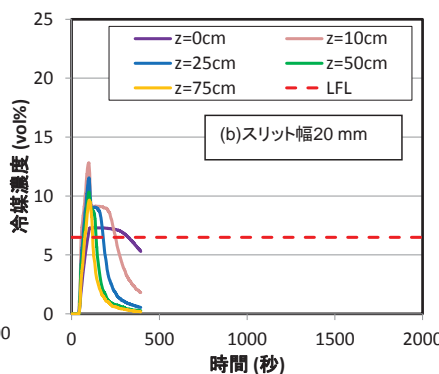
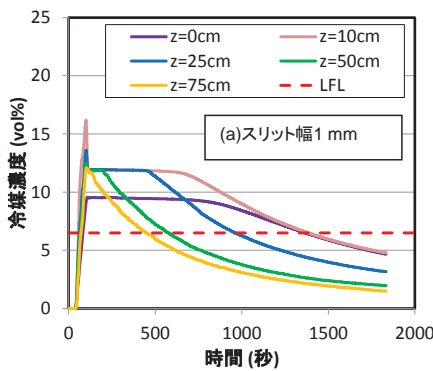
④サービス・据え付け時の安全性評価

b) ピンホール漏洩時の着火危険性

- スリットを設けた模擬回収機内に冷媒を漏洩させ、回収機内の冷媒濃度変化を測定した。(漏洩時の危険範囲の把握)
- スリットがある場合とない場合とで、着火源を連発スパークとした着火実験を行い、着火の有無を見た。(着火源による着火可能性の把握)



濃度計測点: 床から0, 10, 25, 50, 75 cm
着火源: スパーク(エネルギー16J, 6Hz)
冷媒種: R1234yfのみ
スリット幅: 0 (全閉), 1, 5, 10, 20 mm × 2か所(対面)



機器に適切な換気ができる機構を設置すれば、可燃性混合気存在確率を低下させることができる。着火は起こらなかった。③-43/70

Ⅳ. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

① 実用化の見通し

A2L冷媒を空調機器に搭載するためには、現行の法規制緩和が必要
(可燃性ガスに分類されるものを、微燃性のくくりで取り扱いたい)

- A2L冷媒のライフサイクルにわたるリスクアセスメントが必要
- 本研究で得た各事故シナリオごとのデータは危害度の定量評価の基礎データとなる。

② 実用化に向けての取り組み

a) 微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価

基本的燃焼特性を評価したうえで、水分の存在による燃焼特性への影響をさらに調査していく。また、現実的な状況下での安全性評価を可能にするために、実用規模での数値シミュレーションによる燃焼爆発影響評価のための燃焼モデルの検討を進め、サービス・据え付け時の安全性評価への連携を図っていく。

b) 微燃性冷媒の過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価

新規冷媒、および幾つかの他の可燃性ガスの自然発火温度の評価を行い、また水分や触媒的な働きをする金属片の存在による影響を調査していく。また、爆轟を含む爆発の潜在的可能性を検討するため、各種媒体の爆発範囲などについて調査を進めていく。

c) サービス・据え付け時の安全性評価

微燃性リスク評価研究会での議論を踏まえて、リスクアセスメント対象となる事故シナリオをさらに詳細に調べ、これに対応したフィジカルハザード評価を継続する。

d) 多室型空調機の急速漏洩時の安全性評価

多室型空調機では、1対1のシステムに比較して冷媒量が増加する。この場合のフィジカルハザードを評価するために、冷媒漏洩特性及び着火特性、燃焼生成物発生特性に及ぼすスケール効果を実験的に調べる。

② 実用化に向けての取り組み(H26年度以降)

a) 微燃性冷媒の爆轟条件評価

微燃性冷媒の封入置換作業等における作業不良により、配管内に空気が混入し微燃性冷媒と混合して着火した場合の爆轟転移する条件を実験的に明らかにする。

b) 微燃性冷媒の化学反応モデル構築

微燃性冷媒の燃焼・爆発現象について、シミュレーションによる危険性評価技術を高度化し、現象の予測に基づくリスク評価手法の確立に資するために、微燃性冷媒燃焼の化学反応モデルを構築する。

c) 水蒸気あるいは多湿状態下での冷媒ガス燃焼特性評価

本来空調は、温度だけでなく湿度も制御することが求められるが、実規模スケールで湿度の影響を考慮した冷媒ガスの燃焼実験は、現在まで実施されていない。そこで湿度を厳密に制御できる空間における実験にて、冷媒ガス燃焼特性に及ぼす湿度の影響を評価する。

d) 外部火災(外部加熱)にさらされた実機器の安全性評価

機器自身に不具合がなくても、近隣での火災や自動車の衝突、放火などにより外部加熱にさらされる可能性があり、これにより冷媒ガスへの延焼や、冷媒ガス的高温熱分解によるフッ化水素発生等の危険性が懸念されるため、その危険性を評価する。

e) 移動型空調機器の安全性評価

自動車等の移動型空調機器を対象とした実験により火災リスクを評価する。

③ 波及効果

<社会的側面>

- > 想定事故シナリオの危害度を定量評価する基礎データとして貴重
- > リスクアセスメントの進展に応じて規制緩和の達成, A2L冷媒の空調機器搭載実用化に資する

<学術的側面>

- > 小規模あるいは中規模の密閉容器を用いたデータが多かったが、比較的実台に近い規模の燃焼性データを蓄積した。これは新規性が高い。
- > よって、微燃性冷媒の燃焼性状の学術的解明への貢献度は国際的にみても大きい。

③-45/70

目標達成度一覧表

【◎:計画以上、○:計画通り(目標達成又は達成見込)、△:ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×:計画未達】

目 標	研究開発成果	達成度(H25年度末見込み)
テーマ: 微燃性冷媒の燃焼・爆発性評価と空調機器使用時のリスクアセスメント 本研究開発では、A2L冷媒が使用された空調機のフィジカルハザードを評価し、A2L冷媒の空調機器適用に係るガイドライン作成への寄与を目標とする。	A2L冷媒の燃焼性に関する基礎データの取得はおおむね順調に進んでいる。実際に想定される事故シナリオに基づいたフィジカルハザード評価として、暖房機器やライター使用時の危険性評価を行い、その成果を学術論文として公表した。	○
[1] 微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価(担当:産業技術総合研究所) 事故シナリオの検討に基づくハザード評価及び爆発影響評価。	爆発影響評価として予混合燃焼実験による爆発影響評価を行い、燃焼速度や、到達圧力、爆発威力係数KG値などについて評価した。その成果は国際シンポジウムにて招待講演を行い、さらに火災と爆発に関する海外国際学会では研究の重要性和内容が評価され、Best Presentation Paper Awardを受賞した。	○
[2] 微燃性冷媒の過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価(担当:産業技術総合研究所) 事故シナリオの検討に基づく予混合・漏洩条件評価及び過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価。	自然着火温度の実験的評価を検討しているが実験装置稼働の関係から次年度に本格的に実施予定である。他の可燃性ガスが持つ燃焼特性との比較により燃焼爆発危険性について調査しているが、KG値については他媒体と比較ができるデータを蓄積した。	○
[3] 暖房機器と同時使用時の安全性評価(担当:東京理科大学) 居住空間でA2L冷媒が空調機から漏洩した場合に、暖房機器による着火の有無及び燃焼生成物濃度を明らかにする。	A2L冷媒が滞留した居住空間で暖房機器を同時使用させても、室内への火炎伝播は起こらなかった。HF濃度は現行冷媒と同等程度であった(論文公表済み)。	○
[4] サービス・据え付け時の安全性評価(担当:東京理科大学) サービス・据え付け作業空間に冷媒が漏洩し、そこに着火源があった場合の火炎伝播挙動を実験的に把握する。	漏洩冷媒中で電子ライターを使用しても火炎伝播は起きなかった。また、ピンホールから漏洩している冷媒に、着火源が触れても火炎が伝播しないことが明らかになった。現在、ピンホール漏洩時及びメンテナンス機器内漏洩時の危険性評価成果の公表準備を進めている。	○
[5] 多室型空調機の急速漏洩を想定した安全性評価試験(担当:東京理科大学) 多室型空調機に搭載されるA2L冷媒の漏えいに伴う着火危険性等の安全性を、実験的に評価する。	平成25年度より新規実施予定	—

③-46/70

エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価

1. 事業の位置づけ・必要性
2. 研究開発マネジメント
3. 研究開発成果
4. 実用化の見通し
5. まとめ

東京大学

産業技術総合研究所(環境化学技術研究部門)

③-47/70

1. 事業の位置づけ・必要性

<研究概要>

ノンフロン型(低GWP冷媒を含む)空調機器用冷媒の性能評価と安全性評価をするために、以下の基礎的研究を実施する

国立大学法人東京大学

1. エアコンの性能評価法の確立
2. 室内への冷媒リーク時の安全性評価に関する研究

独立大学法人産業技術総合研究所

3. ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価
4. ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発

<期待される効果>

1. 空調機(ルームエアコン, パッケージエアコン)のJIS改訂に際して、有効な科学的な情報を提供する。
2. 微燃性を有する冷媒の安全性を評価し、適切な使用法を検討するためのリスク評価の実施に対して、有効な科学的な情報を提供する。

③-48/70

2. 研究開発マネジメント

研究開発項目

(A) エアコンの性能評価法の確立(東大)

- (A-1) エアコンの使用実態の把握
- (A-2) エアコン, ビル用マルチエアコンの部分負荷特性と快適性評価の検討
- (A-3) 低GWP冷媒の熱交換器性能, サイクル性能の評価

(B) 室内への冷媒リーク時の安全性評価(東大)

- (B-1) 微燃性冷媒が室内へ漏洩したときの濃度分布の解析
- (B-2) 熱分解, 燃焼後のHF濃度解析
- (B-3) リスク評価

(C) ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価(産業技術総合研究所)

- (C-1) 冷媒の実用上の燃焼限界評価方法の開発と評価
- (C-2) 2L冷媒の燃焼速度に及ぼす温度・湿度影響の評価

(D) ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発(産業技術総合研究所)

- (D-1) 2L冷媒の最小火花着火エネルギー(MIE)の評価法の開発
- (D-2) 2L冷媒の実用条件の最小火花着火エネルギーの評価
- (D-3) 2L冷媒の最小着火エネルギー及び消炎距離評価方法の開発

③-49/70

実施計画

研究開発項目	23年度				24年度				25年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
A エアコンの性能評価法の確立 (A-1) エアコンの使用実態の把握 (A-2) エアコン, ビル用マルチエアコンの部分負荷特性と快適性評価の検討 (A-3) 低GWP冷媒の熱交換器性能, サイクル性能の評価												
B 室内への冷媒リーク時の安全性評価 (B-1) 微燃性冷媒が室内へ漏洩したときの濃度分布の解析 (B-2) 熱分解, 燃焼後のHF濃度解析 (B-3) リスク評価												
C ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価 (C-1) 冷媒の実用上の燃焼限界評価方法の開発と評価 (C-2) 2L冷媒の燃焼速度に及ぼす温度・湿度影響の評価												
D ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発 (D-1) 2L冷媒の最小火花着火エネルギー(MIE)の評価法の開発 (D-2) 2L冷媒の実用条件の最小火花着火エネルギーの評価 (D-3) 2L冷媒の最小着火エネルギー及び消炎距離評価方法の開発												

③-50/70

3. 研究開発成果 A-1 ルームエアコンの使用実態調査

対象モニター家庭: 合計100家庭

※うち33家庭ではCC法による機器性能評価ができるようなデータも収集(本報では省略)。

戸建住宅:

- ・ 信越地区(新潟県)25家庭
- ・ 西関東地区(群馬県・埼玉県)25家庭
- ・ 東関東地区(千葉県・茨城県) 25家庭

集合住宅:

- ・ 千葉県柏市近郊25家庭



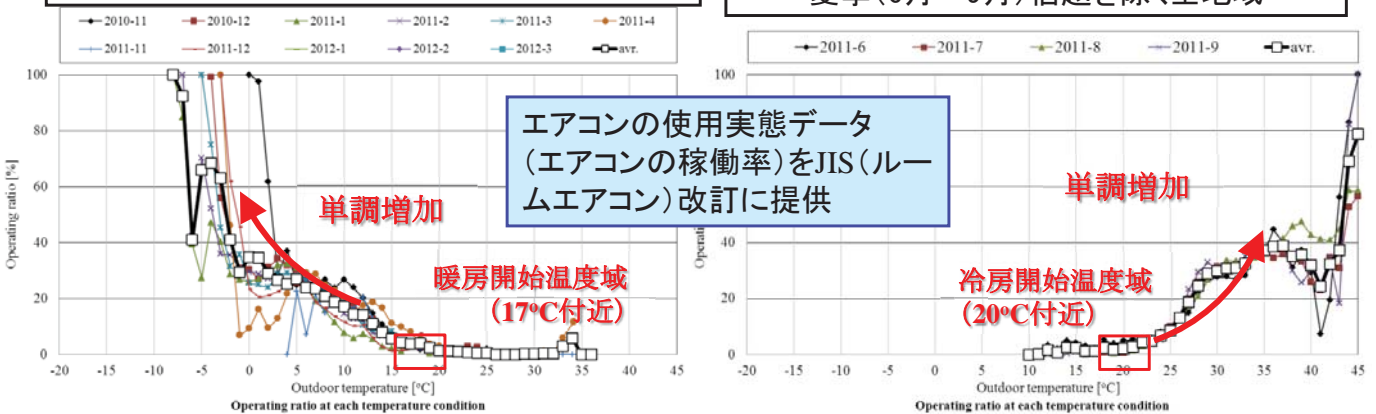
リビングルームのエアコン使用実態を調査。

エアコンおよび計測ボックスの設置状況(新潟県の某モニター邸にて)



冬季(11月~翌4月)の信越を除く全地域

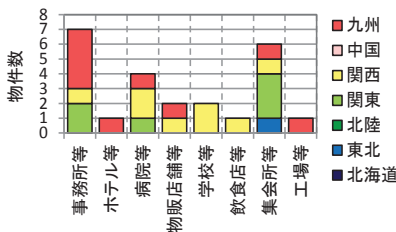
夏季(6月~9月)信越を除く全地域



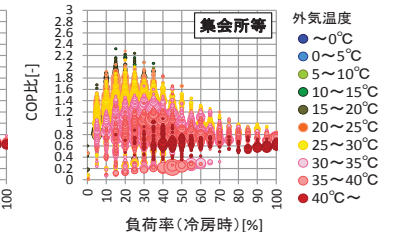
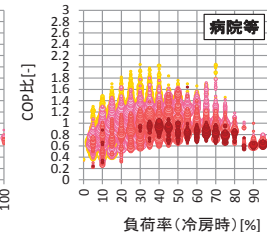
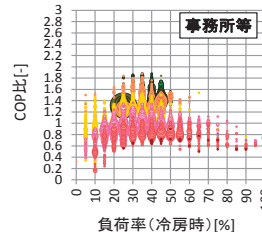
③-51/70

(A-2)ビル用マルチエアコンの部分負荷特性の検討

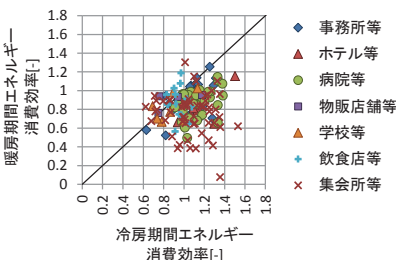
個別分散空調システムの使用実態を明らかにすることを目的とする。実稼働データは1時間間隔のデータとなっており、コンプレッサカーブ法(CC法)を用いて能力を算出している。対象物件は、室内機+室外機データが収集できている物件は24件、室内機のみ収集できている物件は52件である



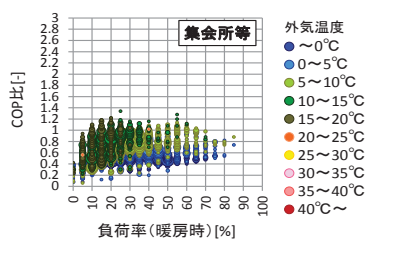
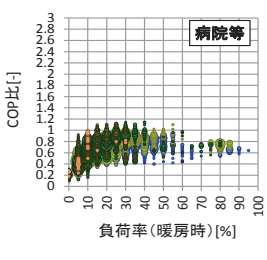
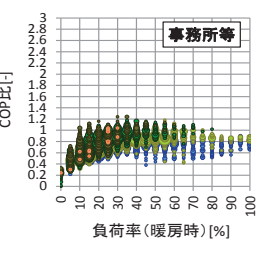
分析対象物件数 (室内機+室外機収集物件)



負荷率とCOP比の発生頻度(冷房時)



建物用途別冷暖房の期間エネルギー消費効率



負荷率とCOP比の発生頻度(暖房時)

③-52/70

A-3: R1234yf純冷媒・混合冷媒の沸騰・凝縮伝熱特性

研究目的

R1234yf純冷媒及びR1234yf+R32混合冷媒の伝熱特性の実験測定。サイクル性能評価に必要な伝熱性能の把握。

研究内容

- R1234yf純冷媒の流動沸騰、管内凝縮伝熱特性
- R1234yf冷媒の管内流動沸騰に対する潤滑油の影響
- R1234yf+R32混合冷媒の流動沸騰、管内凝縮伝熱特性

実験条件

$T = 15^{\circ}\text{C}$ (沸騰)、 50°C (凝縮)

$d = 2\text{ mm}, 4\text{ mm}$

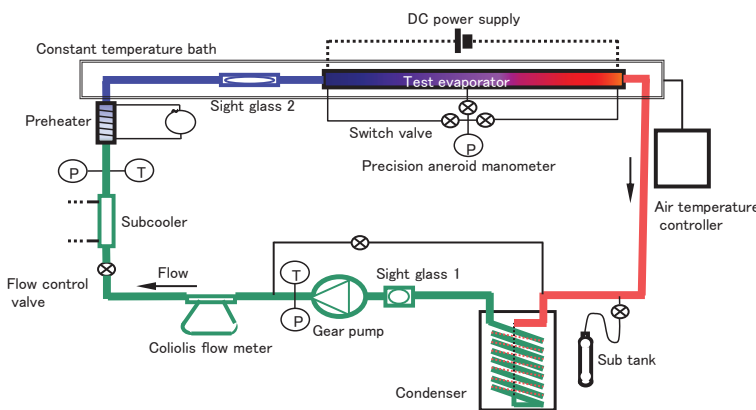
$G = 100 \sim 400\text{ kg/m}^2\text{s}$

$Q = 6 \sim 24\text{ kW/m}^2$

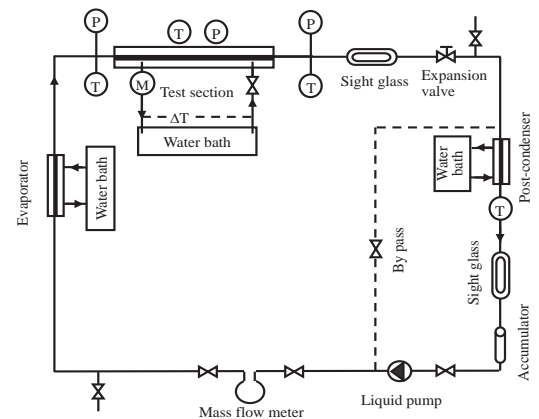
R1234yf純冷媒:

R1234yf+R32混合冷媒 (50/50wt%:
80/20wt%)

オイル: PAG (VG46), 0~4.5%



流動沸騰伝熱実験サイクル(通電加熱)

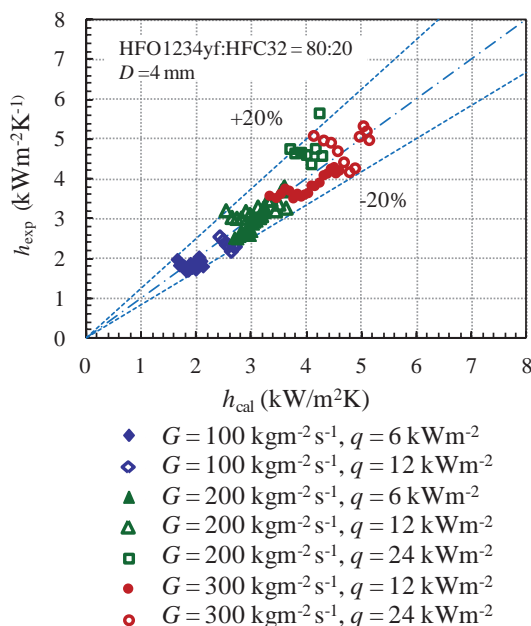


管内凝縮伝熱実験サイクル(水冷)

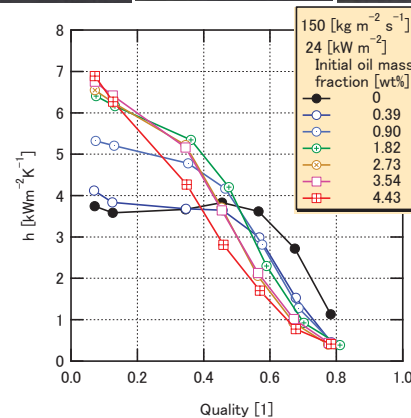
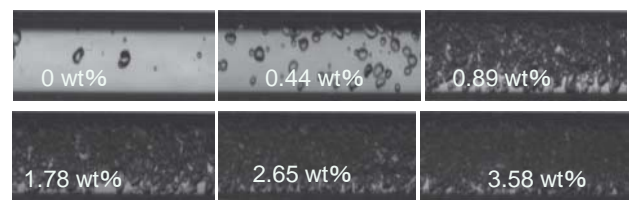
③-53/70

A-3: R1234yf純冷媒・混合冷媒の沸騰・凝縮伝熱特性(結果)

成果: 純冷媒, 混合冷媒の沸騰熱伝達率を測定し, 相関式を導出した。



流動様式の変化: (蒸発管入口観察, $d = 4\text{ mm}, x = 0.02$)
 相溶性潤滑油の混入により気泡が発生し, オイル濃度が $0.44 \sim 0.89\text{ wt\%}$ で大量の気泡増加がある。高熱流束では伝熱の向上がある。



提案した伝熱相関式の予測結果と実験結果の比較

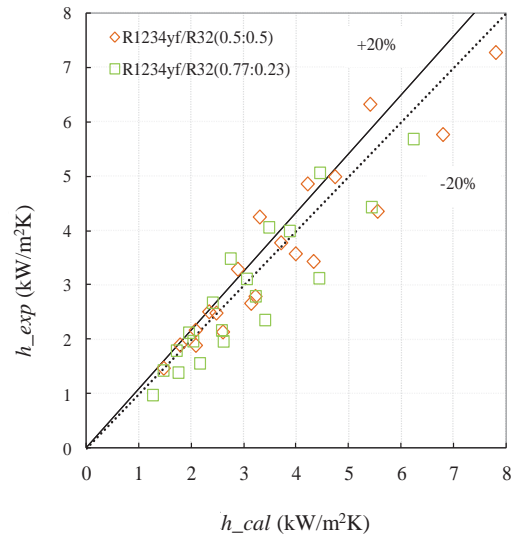
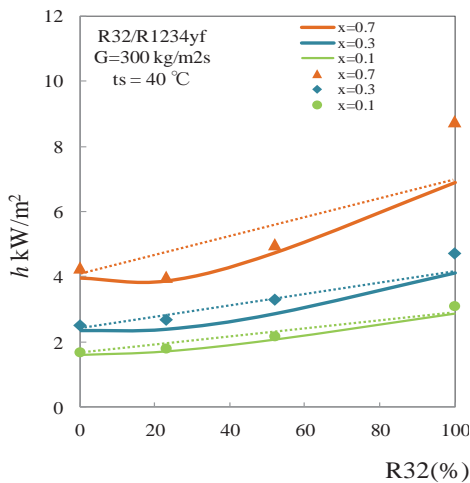
潤滑油が熱伝達に与える影響

③-54/70

A-3: R1234yf純冷媒・混合冷媒の沸騰・凝縮伝熱特性(結果)

成果: 純冷媒, 混合冷媒の凝縮熱伝達率を測定し, 相関式を導出した。

混合冷媒の凝縮伝熱における伝熱劣化の例: ID2mm

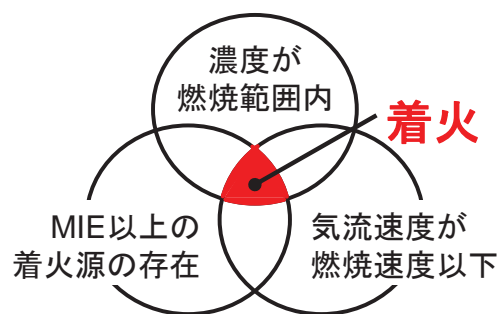


凝縮熱伝達率の予測結果と実験測定結果の比較

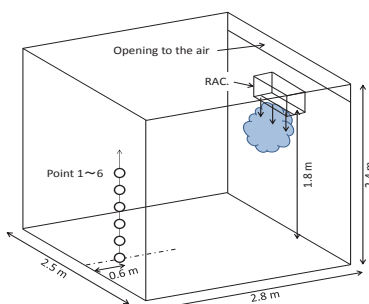
B-1 微燃性冷媒が室内へ漏洩する時の濃度分布

大空間における冷媒漏えい時の『可燃濃度』かつ『気流速度が燃焼速度以下』の体積と存在位置, 存在時間をシミュレーションにより解析

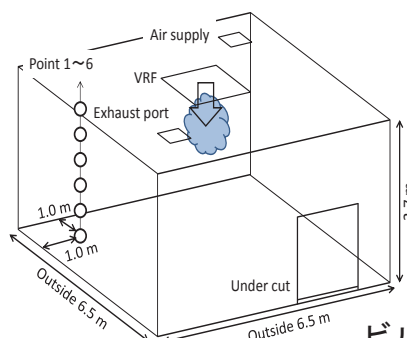
Refrigerant	GWP	LFL 燃焼下限 [vol%]	UFL 燃焼上限 [vol%]	BV 燃焼速度 [cm/s]	MIE 最小着火エネルギー [mJ]
R32	675	13.3	29.3	6.7	30
R1234yf	4	6.2	12.3	1.5	< 500
R290	< 3	2.1	9.5	46	0.246



- 対象冷媒
 - R32, R1234yf, R290 (Propane)
- 対象機器
 - 家庭用ルームエアコン (RAC.)
 - ビル用マルチエアコン (VRF)



ルームエアコン



ビル用マルチ

B-1 微燃性冷媒が室内へ漏洩する時の濃度分布(ルームエアコン結果)

1. 冷媒が壁掛け室内機から漏洩するとき、可燃領域の時空積は極めて小さい
2. 冷媒が床置き室内機から漏洩するとき、可燃領域は無視できない

No.	流出箇所	冷媒	冷媒量 [g]	冷媒流量 [g/min.]	可燃領域存続時間[min.]	$\Sigma(V_{FL} \cdot t)$ [m ³ ・min.]	$\Sigma(V_{BVFL} \cdot t)$ [m ³ ・min.]
1	壁掛け室内機	R32	1000	250	4.01	1.18×10^{-2}	0
3				125	8.01	9.79×10^{-3}	0
5				1000	1.03	3.73×10^{-2}	0
2		R1234yf	1400	350	4.01	1.23×10^{-2}	0
4				175	8.01	1.07×10^{-2}	0
6				1400	1.03	4.34×10^{-2}	0
7	R290	500	125	1473	7689	7688	
8		200	50	4.73	0.258	0.161	
9	床置き室内機	R32	1000	250	111	136.83	136.81
10		R1234yf	1400	350	309	507.82	507.50

$\Sigma(V_{FL} \cdot t)$: 可燃領域の時空積

$\Sigma(V_{BVFL} \cdot t)$: 気流速度が燃焼速度以下の可燃領域の時空積

③-57/70

B-1 微燃性冷媒が室内へ漏洩する時の濃度分布(ビル用マルチ結果)

1. 冷媒が天井カセットから漏洩するとき、可燃領域の時空積は極めて小さい
2. 冷媒が床置き室内機から漏洩するとき、可燃領域は無視できない

No.	冷媒	冷媒量 [kg]	冷媒流量 [kg/h]	換気量 [m ³ /h]	換気口	可燃領域存続時間[min.]	$\Sigma(V_{FL} \cdot t)$ [m ³ ・min.]	$\Sigma(V_{BVFL} \cdot t)$ [m ³ ・min.]	
1	R32	26.3	10	0	閉	157.8	1.622	0.021	
3						157.8	0.831	0.011	
5						157.8	0.702	0.014	
7				開	0→169	157.8	0.725	0.011	
9					10→0	8.3	3.15×10^{-2}	0	
2	R1234yf	29.4	10	0	閉	176.4	2.152	0	
4						開	176.4	0.661	0
6							176.4	0.583	0
8				開	0→169	176.4	0.592	0	
10					10→0	10.2	2.14×10^{-2}	0	

$\Sigma(V_{FL} \cdot t)$: 可燃領域の時空積

$\Sigma(V_{BVFL} \cdot t)$: 気流速度が燃焼速度以下の可燃領域の時空積

③-58/70

(B-2) 熱分解, 燃焼後のHF濃度解析

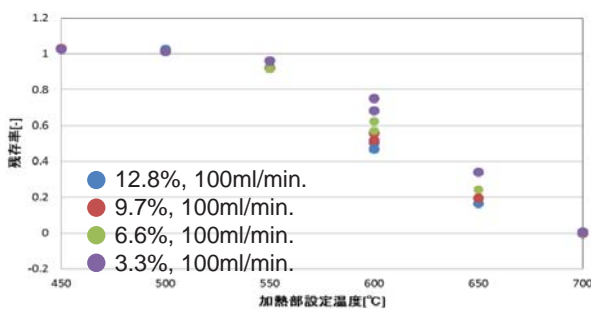
- 既存研究によると
 - R32 (CH₂F₂)
 - CH₂F₂ + O₂ → CO₂ + 2HF
 - R1234yf (CF₃CF=CH₂) / R1234ze (E) (CF₃CH=CHF(trans))
 - 水がない場合
 - CF₃CF=CH₂ + 5/2O₂ → 2CO₂ + COF₂ + 2HF
 - 水がある場合
 - CF₃CF=CH₂ + 5/2O₂ + x(H₂O) → (2+x)CO₂ + (1-x)COF₂ + 2(1+x)HF
- 低温温室効果冷媒等の熱分解について
 - 温度・濃度・湿度の影響
 - 反応速度
 - 生成物の種類・量(特にHF)を明らかにする
- 加熱部寸法・材質
 - 加熱部長さ: 550mm
 - 加熱管: ムライト(AlO₂+SiO₂)
 - ガス分析: FT-I

水素に対してフッ素原子の多い化合物では、空気中の水分を得て、COF₂が分解する

③-59/70

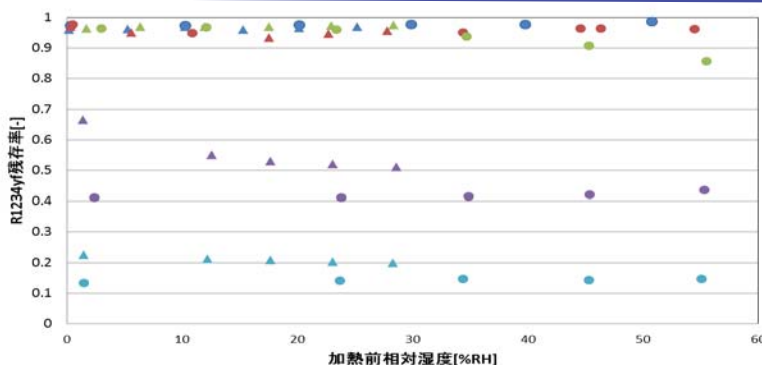
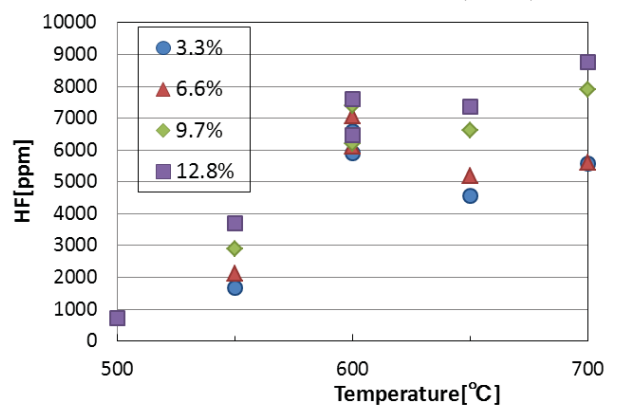
(B-2) 熱分解, 燃焼後のHF濃度解析(結果)

R32: 温度と残存率(乾燥)



500~550°Cの間で分解が始まる
可燃範囲(13.3vol.%~)未満では、高濃度ほど分解が速い

R32: 温度とHF生成量(乾燥)



R1234yf: 湿度と残存率(加湿)

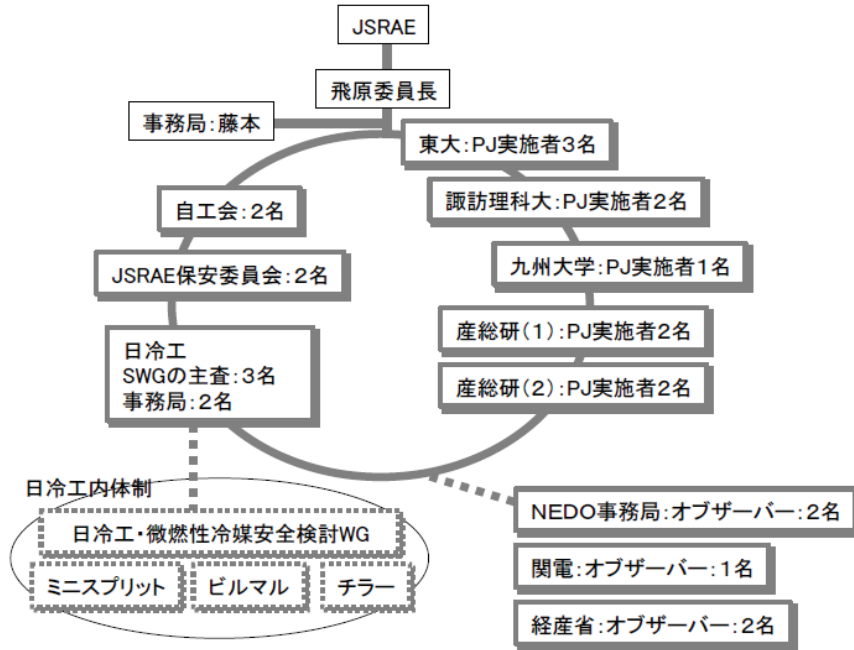
- 400°C, 100ml/min.
- ▲ 400°C, 200ml/min.
- 500°C, 100ml/min.
- ▲ 500°C, 200ml/min.
- 550°C, 100ml/min.
- ▲ 550°C, 200ml/min.
- 600°C, 100ml/min.
- ▲ 600°C, 200ml/min.
- 650°C, 100ml/min.
- ▲ 650°C, 200ml/min.

湿度の影響が見られない?

③-60/70

(B-3) リスク評価

日本冷凍空調学会に微燃性冷媒のリスク評価研究会を発足



③-61/70

(B-3) リスク評価

微燃性冷媒リスク評価研究会の工程

- 2012年11月8、9日: 日本冷凍空調工業会主催神戸シンポジウムでセミナーを開催した。
- 2013年3月末: プログレスレポート(和文, 英文)をとりまとめ, 一般に公表した。

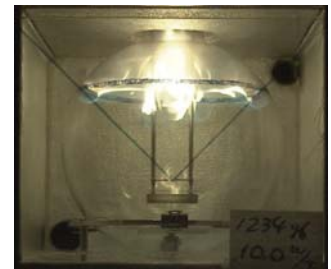
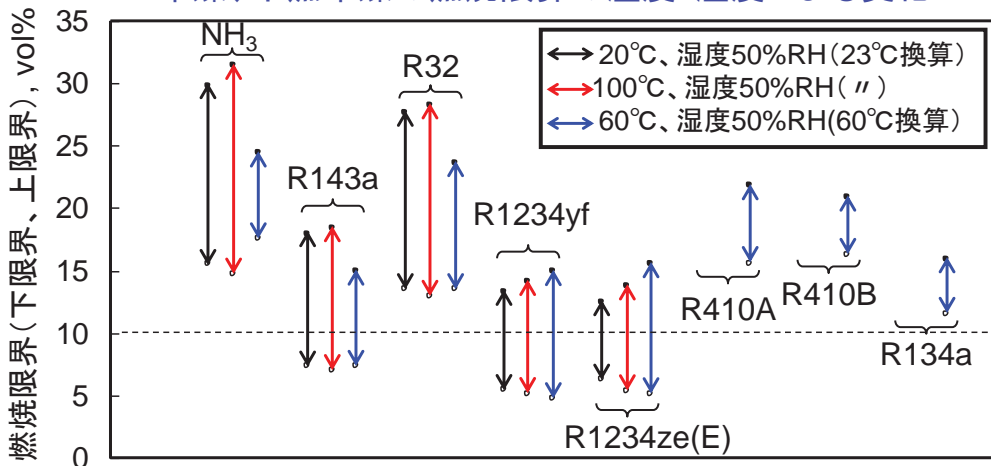
	2011年度	2012年度	2013年度	2014年
マイルストーン	◇ プログレスレポート	◇ 11月 神戸シンポ	◇ プログレスレポート	◇ 法整備目標
・日冷工のリスク評価		→ ミニスプリットリスク評価	→ ビルマル・チラーリスク評価	
・東京大学	→ ミニスプリット, ビルマル漏洩解析・熱分解		→ チラー漏洩解析・熱分解	
・産総研(環境化学部門)		→ 温湿度の燃焼限界・燃焼速度への影響把握、MIE評価		
・東京理科大学	→ 暖房同時使用・サービス時等の安全性評価		→ マルチ漏洩時の安全性評価	
・産総研(安全科学部門)		→ 燃焼爆発影響・爆轟条件威力評価		
世界の動き	ASHARE15, UL規格改正	→ 7月 → 4月の予定	→ 12月 → 6月頃の見通し	→ 10月の開始
			○ アジア地区で R32使用の可能性大	○ 自工会 R1234yf 使用目標

③-62/70

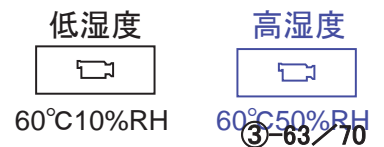
成果[C-1]: 冷媒の実用上の燃焼限界評価方法の開発と評価(産総研)

- (1) 不燃性冷媒R-410A、R-410B、R-134a、R-125について、温度60℃、湿度50%RH(60℃換算)で燃焼性を調べた。その結果、R-125以外は可燃性に変化することを見出し、不燃から可燃へ変化する限界条件を決定した。
 - (2) これら4種について、湿度は23℃換算で50%RHにしておき、温度100℃において可燃性にならないか確認したが、いずれも不燃性のままであることが分かった。
- (1) 2L冷媒5種について温度60℃、湿度50%RH(60℃換算)で燃焼性を調べたところ、R-1234yf及びR-1234zeは実験室条件下よりも燃焼範囲が広がるが、他は逆に燃焼範囲が狭くなる傾向が見られた。
 - (2) 湿度を23℃換算で50%とし、温度を100℃まで上げて測定したところ、いずれも常温におけるよりも燃焼範囲が広がったが、R-1234yf及びR-1234zeではこの条件よりも高湿における方が燃焼範囲の広がりが顕著であることが分かった。

2L冷媒、不燃冷媒の燃焼限界の温度・湿度による変化



R-134a火炎の湿度依存



成果[C-2]: 2L冷媒の燃焼速度に及ぼす温度・湿度影響の評価(産総研)

- (1) R-32及び1243zf(CH₂=CHCF₃)について、温度60℃、湿度50%RH(60℃換算)で燃焼速度を測定し、湿度依存性が現れるか調べた。その結果、両者とも、乾燥空气中に比べ燃焼速度が減少することが分かった。(⇨R-1234類は、湿度によって燃焼速度が大幅に増加する)(図1)
- (2) 燃焼速度と、酸素濃度比を変えることで火炎温度を変化させたアレニウス式を検討した結果、R-32及び1243zfの反応は水蒸気の影響を受けないのに対し、R-1234類は、水蒸気の影響で反応速度が増加していることが分かった(図2)

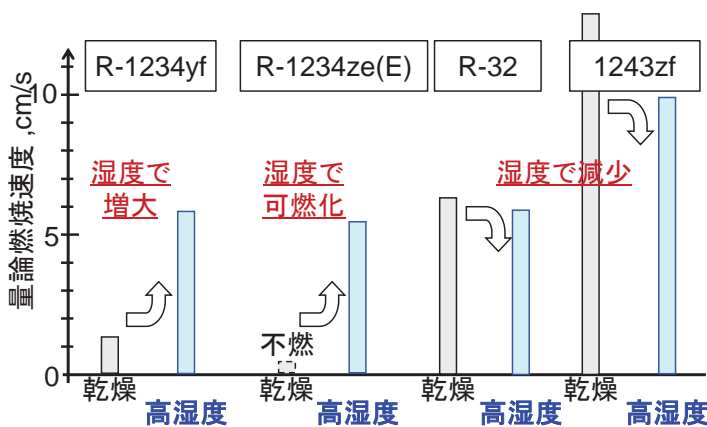


図1 燃焼速度の湿度影響

R-1234yf火炎の湿度影響(真夏を想定)

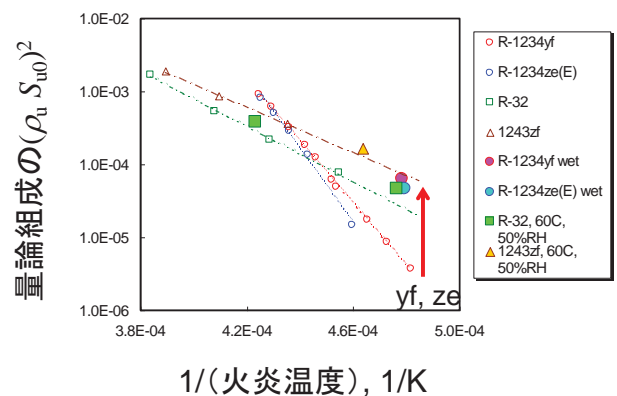
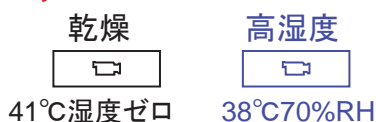


図2 アレニウス式への湿度の影響

- ✓高湿度R-32、R-1243zf: 乾燥空気のアレニウス式と一致
→湿度は燃焼反応に寄与しない
- ✓高湿度R-1234類: 乾燥空気のアレニウス式から上ブレ
→湿度で燃焼反応が加速される

熱分解生成物の評価について(産総研)

所定の温度に保った流通式反応管(インコネル製、外径1/2インチφ、長さ44cm)に冷媒/空気混合ガスを流し、反応後のガスをFTIRとガスクロで分析して消費率とHF等の生成率を調べた

(1) R-1234yf(下図)・・・

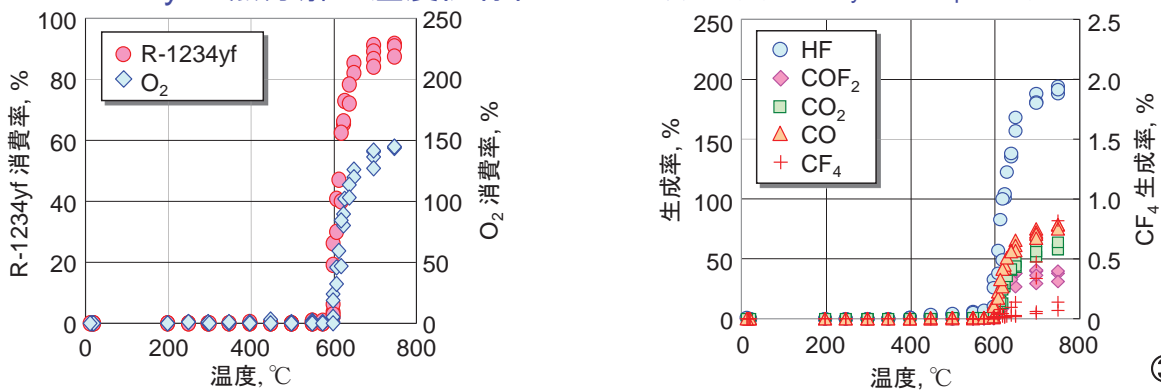
- ✓ 主要な生成物は、HF、COF₂、CO₂、COであった
- ✓ R-1234yfと酸素の消費、HF等の生成は600℃付近で急激に大きくなった
- ✓ 700℃で約90%消費され、1モルのR-1234yfから約2モルのHFと約0.4モルのCOF₂が生成した

(2) R-1234ze(E)・・・未使用の反応管を使用した場合、R-1234ze(E)の消費は約550℃から、酸素とHF等の生成は約600℃から認められ、これらは600℃付近で急激に大きくなった

(3) R-22・・・クリーニングで熱分解生成物を除去した反応管を用いた場合、R-22と酸素の消費、HF等の生成は約450℃から認められ、これらは温度の上昇と共に徐々に大きくなった

(4) 付着物・・・R-1234yfは反応管内に付着した熱分解生成物の影響を受けないが、R-1234ze(E)とR-22は、生成物が付着した反応管を用いた場合、消費が開始する温度は150~200℃低下した

R-1234yfの熱分解の温度依存性(インコネル製反応管、R-1234yf=7.8%(φ=1.0)、100cm³/min)



③-65/70

成果[D-1,2]: 2L冷媒の最小火花着火エネルギー(MIE)の評価法の開発(産総研)

- ✓ 電極間距離は消炎距離未満だが電極径を最小化することにより、熱損失の小さい最小着火エネルギーを測定した(図2、暫定値)*
- ✓ 得られた消炎距離と燃焼速度の値を理論式に適用し、MIEを推算した(図2)
- ✓ 実際の電磁開閉器を用いた実機試験では、R-32およびR-1234yfは、**AC220V、60A、4J程度の接点間火花でも殆ど着火しなかった**

図1 太さ0.1mm電極によるMIE測定

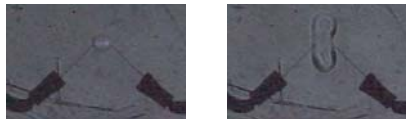
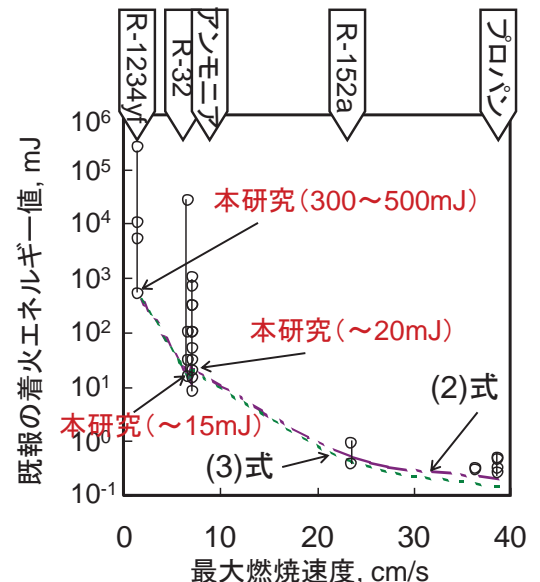


図2 MIEの測定および推算



本研究(次頁)で得られた経験式:

$$d_q = 50.34 / (\rho_0 S_u^{0.878}) \quad (1)$$

理論式:

$$E_{\min} = (1/6)\pi d_q^3 \rho_b \cdot \int_{T_u}^{T_b} C_p dT \quad (2)$$

$$E_{\min} = \pi d_q^2 \frac{\lambda_{av}(T_b - T_u)}{S_u} \quad (3)$$

*本結果を基に、UL2182規格(冷媒)改定検討委員会(2011.10.18)にて、現時点ではMIEの測定値のバラツキが大きいため、燃焼性指標として用いるべきでないと提案、合意された。

③-66/70

成果[D-3]: 2L冷媒の最小着火エネルギー及び消炎距離評価方法の開発(産総研)

- ✓ 消炎距離について、10種類の化合物について、電極付き平板の配置(水平・垂直・微小重力)および直流・交流放電での測定を行い、値を求めた
- ✓ 消炎距離と燃焼速度($S_{u,max}$)との相関を明らかにし(図1)、MIEを推算した(前頁)
- ✓ 消炎直径を測定し、着火源の覆いの許容隙間の形状について一般化した(図2)*

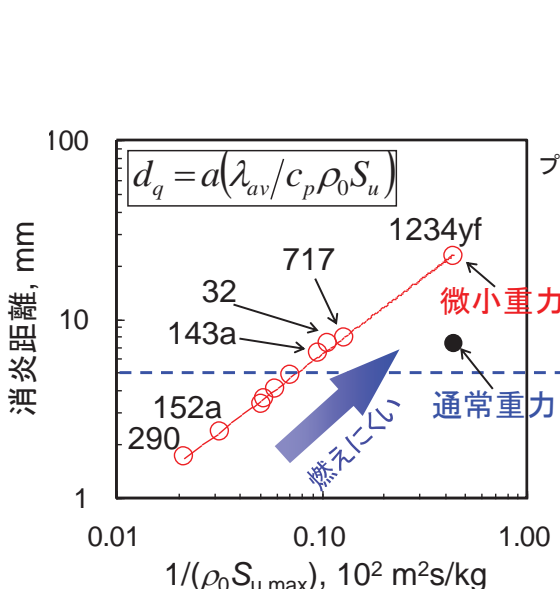


図1 消炎距離と燃焼速度の関係

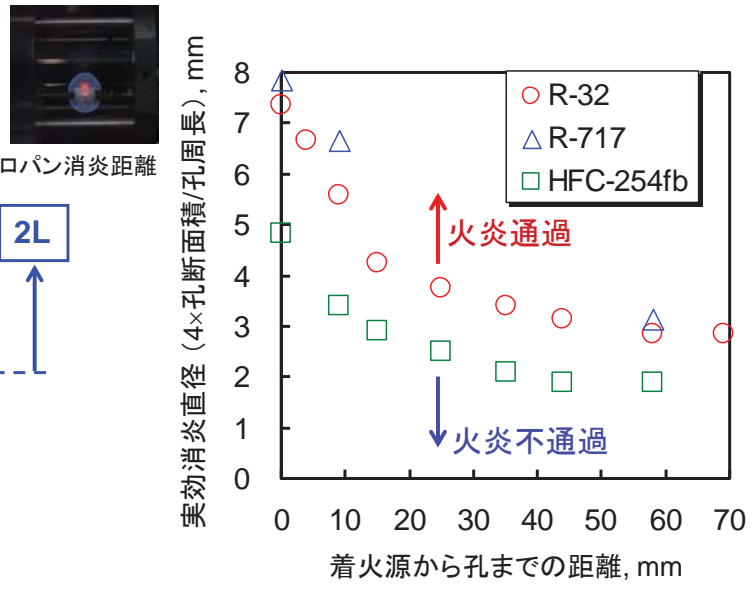


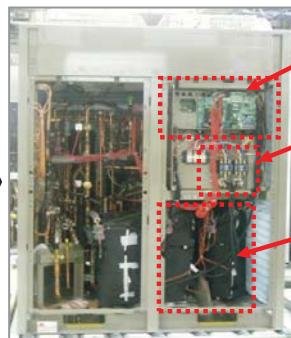
図2 2L冷媒の実効消炎直径

*本結果を踏まえて、IEC 61D WG9委員会(2013.02.14)にて、IEC 60335-2-40規格(エアコン)における2L冷媒を使用した機器の電磁開閉器の隙間サイズ要求の提案が我が国からなされた。

成果[D-3]: 2L冷媒のMIEの評価法の開発、実機試験(産総研)

室外機に電磁開閉器が有る製品例(ビル用マルチエアコン)

電磁開閉器を用いたMIE実機試験(60A、220V負荷)



インバータ

電磁開閉器

圧縮機



画像提供: ダイキン工業株式会社

➤ R-32およびR-1234yfは、AC220V、60A、4Jの接点間火花でも殆ど着火しなかった

消炎直径の実機試験

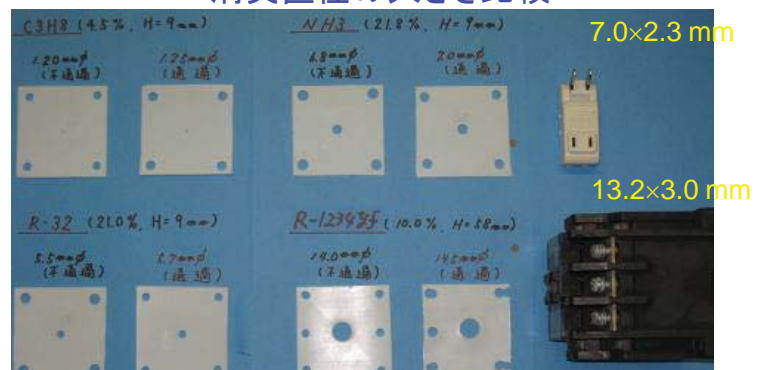
R-32、3.5 mm < a < 4 mm で通過



a=3.5mmで不通過の様子



消炎直径の大きさ比較



➤ プロパン火炎はコンセント穴も通過するが、2L冷媒火炎は開閉器穴も通過できない

4. 実用化の見通し

＜今後の展開＞

- 冷凍空調機器に使用されている冷媒の低GWP化を推進するには、微燃性冷媒を安全に使用する技術と社会システムの構築が不可欠である。そのためには、微燃性冷媒のもつ危険性の把握とその対策、規制の在り方の検討が重要である。本プロジェクトで推進している微燃性冷媒の燃焼に関わる物性の把握は、冷凍空調工業会などの産業界で実施しているリスク評価に対して基盤的な情報を提供しているので、その研究の重要性は今後も重要となってくる。
- これまで、冷凍空調工業会では、3つのワーキンググループ(スプリットエアコン、ビル用マルチエアコン、チラー)で微燃性冷媒のリスク評価が行ってきた。それらの検討はまだ始まったばかりで、結論である取扱いガイドラインはまだまとまっていない。今後は、それらワーキンググループの検討が進むにつれて、必要な基盤情報も増えてくると想像されるので、それに着実に対応してゆく予定である。また、規制庁に対しても適切な情報提供を行いたいと考えている。
- 微燃性冷媒の使用はわが国固有の問題ではなく、冷媒選択の必要性は国際的に共通の問題であるので、微燃性冷媒のリスク評価情報は国際的に要望されている情報である。今後は、本プロジェクトの成果を国際的に発信してゆくことにより、世界の冷凍空調分野の低GWP化に貢献するとともに、わが国産業の主導的地位を維持してゆくことに貢献したいと考えている。

③-69/70

5. まとめ

目 標	研究開発成果(現時点)	達成度 見込み
テーマ: エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価		
公共的な見地から国際的標準化を注視しつつ、冷媒の性能、安全性評価のための項目・指針の見通しを得る。	多くのテーマを分担している。それぞれのテーマについて、着実に成果を上げ、微燃性冷媒のリスク評価に大いに貢献している	○
[A]エアコンの性能評価法の確立		
(A-1) エアコンの使用実態の把握 (A-2) エアコン、ビル用マルチエアコンの部分負荷特性と快適性評価の検討 (A-3) 低GWP冷媒の熱交換器性能、サイクル性能の評価	(A-1)は平成23年度に終了 (A-2)は平成24年度から開始し、運転データの解析を実施中 (A-3)は蒸発熱伝達については終了、凝縮熱伝達の実験をほぼ終了。伝熱予測式を提案した。	○
[B]室内への冷媒リーク時の安全性評価		
(B-1) 微燃性冷媒が室内へ漏洩したときの濃度分布の解析 (B-2) 熱分解、燃焼後のHF濃度解析 (B-3) リスク評価	(B-1) ルームエアコンとビル用マルチについてのシミュレーションは終了。 (B-2) 熱分解について、セラミックス管内の分解特性を解明 (B-3) ディーゼル爆発の研究を着手した。リスク評価研究会は着実に進展。	○
[C]ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価		
① R-1234yf等3種類の2L冷媒について、温度60℃、絶対湿度0.0679(g-水蒸気/g-乾燥空気、相対湿度換算で60℃、50%に相当)の範囲内で、可燃濃度範囲、最大燃焼速度の温度・湿度依存性を明らかにする ② 不燃性冷媒について、上記の温度・湿度条件で不燃から可燃に変化しないか確認する ③ R-1234yf等2種類の2L冷媒について、燃焼生成物を明らかにし、熱分解生成物の測定を開始する	① 3種類の2L冷媒について、可燃濃度範囲の温度・湿度依存性を明らかにし、国際誌に投稿、掲載された。 ② 既存の不燃性冷媒3種についても特定の温度・湿度条件下で予備的な燃焼性試験を行い、この3種のいずれもが可燃性に変化することを確認した。 ③ R-1234yfおよびR-22の熱分解生成物の測定を開始した。	○
[D]ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発		
① 2種類の2L冷媒(R-1234yf、アンモニア)について、乾燥空気中での最小着火エネルギーを明らかにする ② 消炎距離、消炎直径の測定を開始し、上記2種類の2L冷媒について最小着火エネルギー測定値の信頼性を検証する	① 2種類の2L冷媒について、最小着火エネルギーを測定、暫定値を得た。 ② 消炎距離、消炎直径の測定法を考案、測定を開始し、上記2種類の2L冷媒について最小着火エネルギーを見積もり、①の測定値とおおむね一致することを確認した。	○

【◎: 計画以上、○: 計画通り(目標達成又は達成見込)、△: ほぼ計画通り(一部計画遅れ)、×: 計画未達】

③-70/70