

# 「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」

## 事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------

## —目次—

### 概要

#### プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性.....	- 1
1.1 NEDOが関与することの意義.....	- 1
1.1.1 社会的な背景.....	- 1
1.1.2 低 GWP 冷媒機器開発の必要性.....	- 4
1.1.3 分野別の対応状況.....	- 6
1.1.4 技術的な課題とNEDOの関与する意義.....	- 10
1.2 実施の効果(費用対効果).....	- 12
1.2.1 産業界への効果.....	- 12
1.2.2 費用対効果.....	- 12
1.2.3 制度への適用性.....	- 12
2. 事業の背景・目的・位置づけ.....	- 13
2.1 事業の背景.....	- 13
2.1.1 オゾン層保護対策の動向.....	- 13
2.1.2 温暖化対策の動向.....	- 14
2.2 事業の目的と位置付け.....	- 14
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標.....	- 1
1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発.....	- 3
1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発.....	- 4
1.3 冷媒の性能、安全性評価.....	- 4
2. 事業の計画内容.....	- 8
2.1 研究開発の内容.....	- 8
2.1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発.....	- 8
2.1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発.....	- 14
2.1.3 冷媒の性能、安全性評価.....	- 15
2.2 研究開発の実施体制.....	- 25
2.3 研究の運営管理.....	- 26
2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性.....	- 26
3. 情勢変化への対応.....	- 27
4. 評価に関する事項.....	- 28
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果.....	- 1
1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発.....	- 1
1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発.....	- 3
1.3 冷媒の性能、安全性評価.....	- 3
2. 研究開発項目毎の成果.....	- 5
2.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発.....	- 7
2.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発.....	- 22
2.3 冷媒の性能、安全性評価.....	- 26
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. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	- 2
1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発.....	- 2
1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発.....	- 4

2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて.....	- 5
2.1 冷媒の性能、安全性評価.....	- 5
3. 波及効果.....	- 10
3.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発.....	- 11
3.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発.....	- 12
3.3 冷媒の性能、安全性評価.....	- 12

#### 論文特許リスト

(添付資料)

- ・京都議定書目標達成計画(抜粋)
- ・プロジェクト基本計画
- ・技術戦略マップ
- ・事前評価関連資料

概要

最終更新日 平成 25 年 6 月 20 日

施策名	「京都議定書目標達成計画」、「フロン回収・破壊法 第 50 条」、「平成 25 年度科学技術重要施策アクションプラン」						
プロジェクト名	高効率ノンフロン型空調機器技術の開発	プロジェクト番号	P11008				
担当推進部/担当者	環境部/阿部正道、高野正好（平成 25 年 6 月現在） 環境部/阿部正道、畠山文香、宮坂一弘（平成 24 年 4 月～平成 25 年 3 月） 環境部/阿部正道、畠山文香、和仁秀幸（平成 23 年 4 月～平成 24 年 3 月）						
0. 事業の概要	<p>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。</p> <p>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）</p>						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>我が国は京都議定書目標達成計画において、代替フロン等 3 ガス（HFC、PFC、SF6）については追加対策を行うことにより、第 1 約束期間中（2008 年～2012 年）に大幅な排出抑制に努めなければならない、温室効果がより小さい代替物質の開発・普及と設備等の導入を推進することが強く要請されている。また、京都議定書第 1 約束期間終了後（2013 年以降）においても、更なる長期的・継続的な排出削減対策の実施が求められている。これまで「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業（H17～H22）では、冷却のみを行う業務用冷凍冷蔵や機器規模が小さい家庭用エアコン分野を対象として冷媒転換の技術開発を行い、従来機比 10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。一方、代替フロン等 3 ガスの 2020 年 BAU（Business As Usual）推計排出量において冷凍空調分野の約 30%を占めることになる業務用空調機器分野は、家庭用エアコンに比べ規模（冷媒量、配管長）が格段に大きいため特に技術的ハードルが高く、これまで開発は行われてこなかった。しかし近年、世界的な微燃性冷媒に対する安全評価の考え方の変化や、高圧・超臨界状態での CO2 冷媒を用いる新たな圧縮機技術の登場等を背景として、業務用空調分野での冷媒転換の可能性が近年急速に高まってきたところである。このため、残された業務用空調分野での技術開発を一気に進め、省エネ化、低温室効果冷媒への転換を促進する。さらに、現在進行中の微燃性冷媒に係わる国際規格策定の議論を我が国がリードすることで、海外市場における競争基盤を獲得する。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい分野である業務用空調機器に関して低温室効果ガスを用いて省エネ化・高効率化を実現する。新冷媒開発、圧縮機、熱交換器等の要素機器の開発、システム開発等の研究開発により、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。</p> <p>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」： 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。</p> <p>研究開発項目②「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。</p> <p>研究開発項目③「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。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	
	低温室効果冷媒適用技術の開発	→					
	冷媒の性能・安全性評価	→					
開発予算（会計・勘定別）	成果とりまとめ	→					
	会計・勘定	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	総額
	一般会計	-	-	-	-	-	-

に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)  契約種類: ○をつける (委託(○)助成(○)共同研究(負担率( )	特別会計 (需給)	480	480	280	-	-	-
	開発促進財源	-	60	-	-	-	-
	総予算額	480	540	280	-	-	(2300)
	(委託)	151	170	90	-	-	-
	(助成) : 助成率 2/3	329	370	190	-	-	-
	(共同研究) : 負担率△/□	-	-	-	-	-	-
開発体制	経産省担当原課	製造産業局化学物質管理課オゾン層保護等推進室					
	プロジェクトリーダー	プロジェクトリーダー: 飛原英治 (東京大学大学院 新領域創成科学研究科教授) サブプロジェクトリーダー: 藤本悟 (日本冷凍空調工業会 微燃性冷媒安全検討WG 主査)					
	委託先 (* 委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	<p>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 (助成先)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サンデン株式会社</li> <li>・ダイキン工業株式会社</li> <li>・パナソニック株式会社</li> <li>・三菱重工業株式会社</li> <li>・三菱電機株式会社</li> </ul> <p>②高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発 (助成先)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・旭硝子株式会社</li> </ul> <p>③冷媒の性能、安全性評価 (委託先)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・学校法人東京理科大学 諏訪東京理科大学</li> <li>・国立大学法人九州大学</li> <li>・国立大学法人東京大学</li> </ul>					
情勢変化への対応	現時点では、大きな情勢変化は発生していないが、国内外の規制動向及び研究開発動向を注視しつつ、研究開発を実施していく。						
中間評価結果への対応	-						
評価に関する事項	事前評価	平成 22 年度実施 担当部 環境部					
	中間評価	平成 25 年度 中間評価実施					
	事後評価	平成 28 年度 事後評価実施予定					
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>研究開発項目①～③について、平成 23 年度から採択の下記 9 テーマ ((a)～(i)) について、委託事業及び助成事業 (助成率 2/3) の 2 つの事業フェーズ毎に研究開発を実施した。また、NEDO は、適宜、PL の開催する委託先/助成先毎の進捗検討会議に参加し、研究開発成果及び進捗状況等を確認・指導を実施した。各研究開発テーマの内容及び成果は以下のとおり。</p> <p><b>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」</b></p> <p>(a) 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【サンデン株式会社】 環境負荷が少ない CO2 を冷媒として、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 CO2 空調サイクルを実現することを目的として、下記の研究項目を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・圧縮機一体型膨張機を搭載した、高効率空調用多段サイクルの開発、制御性評価</li> </ul>						

- ・高効率 CO2 空調サイクルの実現に必要な、「圧縮機一体型膨張機」の開発
- ・CO2 用室外・室内熱交換器の開発

目 標	研究開発成果
テーマ:CO <sub>2</sub> 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 CO2 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。
[1]高効率の業務用 CO <sub>2</sub> 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。

(b) 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】

多段冷却圧縮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低減して高効率化を行い、従来の HFC 冷媒と同等レベルの性能を達成する CO2 冷媒を用いた高効率ビル用マルチ空調機の開発を目的として、下記の研究項目を実施した。

- ・圧縮機の開発
- ・空気熱交換器の開発
- ・流路切換弁の開発
- ・内部熱交換器の開発
- ・システム構成要素の試作または調達
- ・システム性能評価

目 標	研究開発成果
テーマ: 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。
[1] 圧縮機の開発	
システム目標性能を満足する仕様の確立	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。
[2] 空気熱交換器の開発	
システム目標性能を満足する基本仕様の確立	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。
[3] 流路切換弁の開発	
システム目標性能を満足する基本仕様の確立	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。
[4] 内部熱交換器の開発	

システム目標性能を満足する基本仕様の確立	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、見込み通りの結果を得た。H25年度は実装形態試作評価を行う予定である。
[5] システム構成要素の試作または調達	
システム目標性能を満足する冷媒回路に必要な機能部品や膨張機を選定、試作または調達	システム構成に必要な膨張弁や逆止弁などの機能部品を選定および調達して、システム評価試験機を試作した。膨張機の試作はH25年度に実施予定。
[6] システム性能評価	
システム目標性能を満足する冷媒回路の基本構成の確立と、膨張機を除いた全ての要素技術をシステムに組み込んだシステム性能評価および課題抽出	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、膨張機を除く全ての新要素部品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、目標性能を実証する予定である。

(c) 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【パナソニック株式会社】  
 自然冷媒の CO2 冷媒、低温室効果冷媒である HFO 系冷媒などとの混合系冷媒による高効率業務用空調システムを開発すべく、従来のフロンを採用した業務用空調機器に対して 10%以上の省エネ性の実現を目的として、下記の研究項目を実施した。

- ・新冷媒の選定と新冷媒対応の基本冷凍サイクルの考案。また、新冷凍サイクル対応のサイクルシミュレータの開発及び混合冷媒性能特性マップ作成による候補冷媒組成の選定。
- ・原理評価試験機の製作と新冷凍サイクル（内部熱交換サイクル）の性能検証。
- ・新冷媒対応内部熱交換器の検討。
- ・新冷媒の材料安定性評価および燃焼性評価。
- ・新冷媒対応のサイクル制御技術の開発。

目 標	研究開発成果
テーマ:CO2/HFO 系混合冷媒の高効率業務用空調機器技術の開発	
GWP150 程度 (A2L レベル) の CO2/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 CO2/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、CO2/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。

(d) 低 GWP 冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】  
 R1234ze (E) がヒートポンプの高温領域 (~90°C) に対して適用可能かを検証することを目的に下記を実施。

- ・ヒートポンプ (三菱重工業製 : 型式 ETW-L) に適用されている材料の R1234ze (E) との適合性を洗い出し、適合材料への変更実施。
- ・R1234ze (E) 自体の高温領域における安定性を確認。
- ・ヒートポンプへのドロップイン連続試験を実施し冷媒安定性を確認。
- ・ヒートポンプへのドロップイン試験による性能確認。

目 標	研究開発成果
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った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。一方部分負荷特性は 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。

- (e) 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】  
 低 GWP 冷媒を用いた場合の性能低下抑制を目的として、下記の研究項目を実施した。
- ・パラレルフロー型扁平管熱交換器の特性把握
  - ・高性能冷媒分配器の開発
  - ・パッケージエアコンでの性能評価と分析

目 標	研究開発成果
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 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
[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)	ドロッ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。

**研究開発項目②「高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発」**

- (f) 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】  
 業務用空調機器用高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発を目的とし、下記の研究項目を実施した。
- ・新冷媒の設計研究
  - ・新冷媒の特性評価研究
  - ・新冷媒の実用化研究
  - ・委託研究(環境影響評価)



目 標	研究開発成果
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)	候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。

**研究開発計画③「冷媒の性能、安全性評価」**

(g) 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 諏訪東京理科大学】

微燃性冷媒が定置用空調機器に搭載された場合のリスク管理のために、微燃性冷媒が有するフィジカルハザードを明確化し、リスクアセスメント及びリスクマネジメントに資するデータの蓄積を目的とした研究開発を、下記の項目について行った。

- ・微燃性冷媒の基礎的フィジカルハザード明確化のための、燃焼爆発影響評価。
- ・微燃性冷媒が空調機器に搭載された場合の事故シナリオを想定したフィジカルハザード評価。
- ・サービス・据え付け等の作業時において、微燃性冷媒が漏洩した場合を想定したフィジカルハザード評価。

目 標	研究開発成果
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と内容が評価され、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、室内への火災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)	

<p>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。</p>	<p>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。</p>
<p>[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)</p>	
<p>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。</p>	<p>平成 25 年度より新規実施予定</p>
<p>(h) 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】</p> <p>本開発研究では、①HF0 系冷媒候補物質の中で熱物性およびサイクル性能がほとんど明らかにされていない 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を明らかにするとともに、②R1234ze(Z)を含む HF0 系冷媒、HFC 系冷媒、自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低 GWP 混合冷媒の中から業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒を探求・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い、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ことを目的として、下記の研究項目を実施した。</p> <p>[1]R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・R1234ze(Z)の化学的性質の調査(担当:九州大学)</li> <li>・R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定(担当:いわき明星大学および九州産業大学)</li> <li>・R1234ze(Z)の輸送的性質の測定(担当:佐賀大学)</li> <li>・R1234ze(Z)の伝熱特性の測定(担当:九州大学)</li> <li>・R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価(担当:九州大学および佐賀大学)</li> </ul> <p>[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</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・低 GWP 混合冷媒の探求・選定(担当:九州大学およびいわき明星大学)</li> <li>・低 GWP 混合冷媒の熱力学的性質の測定(担当:いわき明星大学および九州産業大学)</li> <li>・低 GWP 混合冷媒の輸送的性質の測定(担当:佐賀大学)</li> <li>・低 GWP 混合冷媒の伝熱特性の測定(担当:九州大学および佐賀大学)</li> <li>・低 GWP 混合冷媒候補のサイクルの基本特性の評価(担当:九州大学および佐賀大学)</li> </ul>	
<p>目 標</p>	<p>研究開発成果</p>
<p>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(九州大学、再委託先:いわき明星大学、佐賀大学、九州産業大学)</p>	
<p>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。</p>	<p>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&lt;300 および GWP&lt;200 の R1234ze(E)/R32/CO2 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/CO2 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。</p>
<p>[1]R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究</p>	
<p>(a) R1234ze(Z)の化学的性質の調査</p>	<p>樹脂、ゴムおよび金属への適合性、燃焼性および毒性に関する評価試験を実施し、化学的性質を明らかにした</p>
<p>(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定</p>	<p>臨界定数を実験的に明らかにするとともに、PvT 性質を 310K~440K の温度範囲で測定し、飽和蒸気圧相関式および Helmholtz 型状態方程式を作成し、簡便に状態量が計算できる REFPROP の Fluid データを作成した。</p>
<p>(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定</p>	<p>10℃~70℃の温度範囲で飽和液の熱伝導率を測定した。また、10℃~60℃の温度範囲で飽和液の粘度を測定した。</p>
<p>(d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定</p>	<p>らせん溝付き管内での凝縮および蒸発熱伝達・圧力損失特性の測定を行い、熱交換器の設計に必要なデータを得た。今後、取得した結果のデータベース化を行う</p>

(e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価	サイクル性能の熱力学的解析を行い、高温熱源温度変化 50°C→75°C、低温熱源温度変化 45°C→39°Cの高温条件で、R1234ze(Z)および R1234ze(E)のドロップイン試験を実施し、本条件では R1234ze(E)が適していること、R1234ze(Z)は本条件より高温の条件で適していることを示した。
[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	REFPROP Ver9.0 に基づき、R1234ze(E)/R32/CO2 からなる 3 成分混合冷媒の熱力学的サイクル性能解析を行い、GWP、温度すべり(露点と沸点の温度差)、COP および体積能力を総合的に考慮して、次世代冷媒として有望な GWP<300 および GWP<200 となる 3 成分混合冷媒の組成比を選定した。
(b) 低 GWP 混合冷媒の熱力学的性質の測定	GWP=300 の R1234ze(E)/R32/CO2 系 3 成分混合冷媒の P-vT 性質を 310K~385K の温度範囲で測定するとともに、本混合冷媒の臨界定数を決定した。この 3 成分系の混合モデルを検討するため、データ収集をした。
(c) 低 GWP 混合冷媒の輸送的性質の測定	10°C~70°Cの温度範囲で R1234ze(E)/R32(50/50mass%)および R1234ze(Z) /R32(50/50mass%)の 2 成分混合冷媒の飽和液の熱伝導率を測定した(混合冷媒の飽和液の粘度に関しては、今後、測定する)。
(d) 低 GWP 混合冷媒の伝熱特性の測定	らせん溝付き管内および扁平多孔管内での R1234ze(E)/R32 系 2 成分混合冷媒の凝縮および蒸発熱伝達・圧力損失特性を測定し、それらの特性に及ぼす冷媒組成比の影響を明らかにした。また、らせん溝付管内 R1234ze(E)/R32/CO2 系 3 成分混合冷媒の伝熱データ測定に着手した。さらに、管外伝熱試験装置およびプレート熱交換試験装置の製作に着手した。取得した結果のデータベース化を行う。
(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 系 2 成分混合冷媒の暖房および冷房モードの追加試験を行い、R1234ze(E)/R32 系 2 成分混合冷媒を R410A の代替冷媒として用いることができることを明らかにした。R1234ze(E)/R32/CO2 系 3 成分混合冷媒の相平衡データの測定が完了し、ドロップイン試験を実施した。
(i) エアコン用低 GWP 冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】 微燃性冷媒の安全性の評価及び安全な利用技術の開発に資することを目的として、下記の研究項目を実施した。 ・エアコンの性能評価法の確立 ・室内への冷媒リーク時の安全性評価 ・ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価 ・ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発	
目 標	研究開発成果
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
[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を対象とした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	

<p>①R-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・湿度条件下で不燃から可燃に変化しないか確認する  ③R-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</p> <p>③3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。  ③R-1234yfおよびR-22の熱分解生成物の測定を開始した。</p>	<p>[D]ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発</p> <p>①2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</p> <p>①2種類の2L冷媒について、最小着火エネルギーを測定中、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。</p>	<p>投稿論文 「査読付き」38件、「その他」59件</p> <p>特許 「出願済」37件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願4件）</p> <p>その他の外部発表（プレス発表等） 1件</p>									
<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>京都議定書目標達成計画の目標を達成するためには、民生・産業分野でエネルギー消費の比較的大きく、かつ今後HFCの排出量が急速に増加する見込みの冷凍空調分野での対策が重要である。地球温暖化は、国全体、地球全体の喫緊の課題であること、また、これらの製品等を製造している企業にとっては対策コストが高く、投資が進まないことを考慮すると、国が主導的に技術開発を行うことが必要である。産業用、民生用機器の中で冷凍・空調機器のエネルギーは比較的大きい比重を占めている。これらの機器は食品の流通、我々の居住空間の改善に必要で、国民生活には今や無くてはならない存在である。しかしながら現在のところ、他の代用可能な機器は存在しない。フロンは性能、安全性、経済性とも大変優れた物質であり、これに代わるノンフロン（低GWP冷媒）の機器開発は国の支援を得て各企業の持つ技術を結集して当たる必要がある。</p> <p>また、技術戦略マップにおいても、H23年度より開始された本プロジェクトが冷凍空調機器分野での対策の根幹となっていることが示されている。</p> <p>本プロジェクト成果は、事業者・研究者の技術力向上については国内業界レベル、および国際競争力の向上に大きく貢献する事が期待される。また、新たな産業の構築や研究開発のシーズの開拓が考えられる。</p> <p>対象技術毎の実用化・事業化の見通しを下表に示す。</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>研究開発項目</th> <th>対象技術等</th> <th>実用化・事業化見通し</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">① 機器開発</td> <td>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</td> <td rowspan="2">・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事業化フェーズへ移行可能。</td> </tr> <tr> <td>ビル用マルチエアコン (大型) ・中～大規模ビルの冷暖房用</td> </tr> <tr> <td>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</td> <td>・低GWP冷媒専用機器設計の実施とともに、冷媒の法的分類・取扱が確立することにより実用化可能。</td> </tr> </tbody> </table>	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	・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	・低GWP冷媒専用機器設計の実施とともに、冷媒の法的分類・取扱が確立することにより実用化可能。
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	・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	・低GWP冷媒専用機器設計の実施とともに、冷媒の法的分類・取扱が確立することにより実用化可能。									

	② 冷媒開発	低 GWP 冷媒開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術面の課題は明確化され、解決の見込み。</li> <li>・ 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事業化フェーズへ移行可能。</li> </ul>
	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"> <li>・ 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た 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。</li> </ul>
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 23 年 3 月作成	
	変更履歴	なし	

プロジェクト用語集

Ames試験	細菌を用いて突然変異性を検出する試験。カリフォルニア大学バークレー校のAmes教授らにより開発されたため、この名がある。
APF	Annual Performance Factor(通年エネルギー消費効率):1年を通して、ある一定条件のもとにエアコンを使用した時の消費電力1kWhあたりの冷房・暖房能力を表したものの。
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers(アメリカ暖房冷凍空調学会):暖房、換気、空調、冷凍など(空気調和、HVAC&R)に関わるあらゆる個人や団体のための国際的学会。冷媒の安全性に係る規格(毒性、燃焼性など)も作成している。ASHRAE34は冷媒に関する規格。
CFC(CFCs)	CFC(クロロフルオロカーボン):フロン的一种。冷媒、発泡剤、洗浄剤等として使用される。オゾン層破壊物質であり、モントリオール議定書の規制対象物質。また、強力な温室効果ガスでもある。先進国では1995年末に生産・消費が全廃されており、開発途上国でも2009年末に生産・消費が全廃された。
COP	Coefficient Of Performance(成績係数(動作係数)):冷暖房器具のエネルギー消費効率をチェックするための係数のこと。消費電力1kWに対しての機器の冷却能力、暖房(加熱)能力を示す。
COP3(4,・・・)	Conference of the Parties(締約国会議):気候変動枠組条約に基づき、温室効果ガスの排出量を削減するために開催されている会議。1997年12月に京都で開催されたものがCOP3(第3回)であり、COP3で採択された京都議定書では、地球温暖化問題に対して21世紀以降、人類が中長期的にどのように取り組んでいくのかという道筋の第一歩が定められ、この仕組みを京都メカニズムと呼んでいる。
Fガス	欧州におけるフルオロカーボン類の略称。2007年7月に発効したFガス規制では、カーエアコンにおいて2011年以降の新車にGWP150以下の冷媒を使用することが義務づけられている。
GHG	Green House Gas:温室効果ガスのこと。
GWP	Global Warming Potential(地球温暖化係数):二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素などの各種の温室効果ガス毎に定められる、温室効果の程度を示す値。二酸化炭素のGWPを1とする。別表参照。
HCFC(HCFCs)	HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン):フロン的一种。オゾン層破壊物質であり、モントリオール議定書の規制対象物質。オゾン層破壊係数はCFCよりも小さい。また、強力な温室効果ガスでもある。先進国では2020年までに、また開発途上国でも2030年までに、生産・消費が全廃される予定。
HFC(HFCs)	HFC(ハイドロフルオロカーボン):CFCやHCFCの代替物質として使用が増えている。オゾン層破壊効果はないものの強力な温室効果ガスであり、京都議定書において排出削減の対象となっている。
HFO(-1234yf,-1234ze)	HFO(ハイドロ・フルオロ・オレフィン):フロン的一种。水とフッ素または二フッ化酸素が反応して生成する極めて不安定な化合物で、すぐにフッ化水素と酸素に分解する。オゾン層を破壊せず、GWPも4(zeは6)と極めて低い。
IEC	International Electrotechnical Commission(国際電気標準会議):電気工学、電子工学、および関連した技術を扱う国際的な標準化団体。その標準の一部は国際標準化機構(ISO)と共同で開発されている。IEC60335-2-40はエアコンに関する基準。
ISO	International Organization for Standardization(国際標準化機構):電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための民間の非政府組織。ISO5149は冷凍空調機器に関する基準。
LCCP	Life Cycle Climate Performance(製品寿命気候負荷):生産から使用、廃棄段階におけるトータルの冷媒漏洩とエネルギー消費(燃費)の影響を加味した環境影響評価手法。
MAC	Mobile Air Conditioning:自動車エアコンの略称。
MIE	Minumum Ignition Energy(最小着火エネルギー):可燃性ガス・空気混合気中でガス濃度とエネルギーを変化させて電気火花を飛ばした時、それらの混合気が着火する最小のエネルギーのこと。
ODP	Ozon Depletion Potential(オゾン破壊係数):オゾン層を破壊する力を定数値化した値。R11(CFC)を1.0として、同一質量の他の物質が放出されたときのオゾンへの影響(破壊すると考えられる能力)を相対値で示すもの。別表参照。
PAC	Packaged Air Conditioner(パッケージエアコン):空調管理に必要な機能がひととおり組み込まれているエアコン。中規模施設に多く利用されている。
R~(ex.R410A)	フロンに付けられている物質番号(冷媒番号)。別表参照。
RAC	Room Air Conditioner:家庭用室内エアコンの略称。
REFPROP	冷媒物性データベースの標準版として現在流通しているソフトウェア。
TEAP	Technology and Economic Assessment Panel:モントリオール議定書の技術・経済評価パネル。
UL	Underwriters Laboratories Inc.(アメリカ保険業者安全試験所):材料・装置・部品・道具類などから製品に至るまでの、機能や安全性に関する標準化を目的とした製品安全規格を策定し、同時に評価方法を設定、実際の評価試験を実施する非営利機関。任意の認証制度ながらアメリカ向けに輸出される原料や製品を製造販売する国や企業もULの認可を必要とし、現在ではその認証は世界中で使用されるものとなっている。UL 2182は冷媒に関する規格。
オートクレーブ	内部を高圧力にすることが可能な耐圧性の装置や容器を用いて行う処理のこと。本PJでは材料の適合性試験等に用いられる。
オゾン層	地球の大気中でオゾンの濃度が高い部分のこと。オゾンは、地上から約10~50kmほどの成層圏に多く存在し、特に地上20~25kmの高さで最も密度が高くなる。太陽からの有害な紫外線の多くを吸収し、地上の生態系を保護する役割を果たしている。
家電リサイクル法	家電の減量とリサイクルの促進を目指し、1998年6月に制定、2001年4月完全施行された法律。正式名称は「特定家庭用機器再商品化法」。エアコン、テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機の家電4品目について販売業者が引き取り、製造業者がリサイクルすることが義務づけられている。製造業者はエアコンと冷蔵庫に含まれるフロンの回収義務も負う。

プロジェクト用語集

京都議定書	1997年に京都で開催されたCOP3において採択された議定書。2005年2月に発効した。二酸化炭素(CO2)など6種類の温室効果ガスを先進国全体で削減することを義務づけるとともに、排出量取引などの京都メカニズムや森林吸収源の算定などを盛り込んでいる。
京都議定書目標達成計画	地球温暖化対策の推進に関する法律(地球温暖化対策推進法)に基づき、京都議定書発効の際、温室効果ガス6%削減約束を確実に達成するために必要な措置を定めるものとして作成された計画のこと。
高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、輸入、移動、消費、廃棄等を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスに関する自主的な活動を促進し、公共の安全を確保することを目的とする法律。本法律の一般高圧ガス保安規則によれば、HFO-1234yfは可燃性ガスに分類される。
自動車リサイクル法	クルマのリサイクルについてクルマの所有者、関連事業者、自動車メーカー・輸入業者の役割を定めた法律。事業者は、フロン類を基準に従って適正に回収して自動車メーカー・輸入業者に引き渡し、自動車メーカー・輸入業者は、フロン類を引き取り、リサイクル等を行うことを義務づけられている。
自然冷媒	人工的に化学合成されたものではなく、もともと自然界に存在し生成から消滅までの循環サイクルがすでに確立されている物質を冷媒として使用する場合、このような冷媒を自然冷媒と呼ぶ。アンモニア、プロパン、ブタンなどの炭化水素、炭酸ガス、空気、水、等がある。別表参照。
消炎距離	混合気中を火炎が伝播するとき、火炎が固体壁へ近づくと、壁に熱を奪われて、ある距離以下にまでは近づけず、そこで消炎が起こる。壁近傍の、この火炎伝播が阻害される領域の厚みのこと。通常、平板を向かい合わせにした配置での間隔で議論する。
ショーケース	スーパーマーケット、コンビニエンスストア等において冷凍・冷蔵が必要な商品の陳列に使用する冷凍冷蔵ショーケースのこと。「冷凍機別置型」と「冷凍機内蔵型」がある。
ターボ冷凍機(遠心冷凍機)	遠心式圧縮機を利用した冷凍機で、回転する羽根車で冷媒を外周部へ吹き出すことで圧縮を行う蒸気圧縮式冷凍機の種類。冷凍能力は100トン～10000トンと範囲が広く、オフィスビル、地域冷暖房、病院等に適用されている。
代替フロン	特定フロンの代替として産業利用されている合成化合物のこと。HCFC類やHFC類等が該当し、オゾン層破壊効果はないが温室効果はある。
代替フロン等3ガス	代替フロンのうち、温室効果が高く、広く使用されているHFC、PFC、SF <sub>6</sub> のこと。
直膨型空調機	利用する場所で冷媒を膨張させ熱を奪う「直接膨張方式」を用いた空調機のこと。
低GWP冷媒(低温室効果冷媒)	GWPが小さく、温室効果の少ない冷媒。HFOや自然冷媒(CO <sub>2</sub> 、アンモニア、炭化水素、水)など。
特定フロン	特にオゾン層破壊効果が大い、CFC(クロロフルオロカーボン)等5種類のフロンおよび3種類のハロンのこと。
ドロップイン試験	冷凍空調機器において、システムには何の変更も加えずに冷媒だけを入れ替えて、性能等の変化を確認する試験。
燃焼限界	空気と可燃性ガスの混合気において、燃焼できる混合気に含まれる可燃性ガスの濃度の限界のこと。可燃性ガスの濃度の薄い方の燃焼限界を下限界、濃い方の燃焼限界を上限界という。
ノンフロン冷媒	オゾン層破壊の恐れが無く温室効果の低い冷媒の総称として使用。
爆轟(ばくごう)	気体の急速な熱膨張の速度が音速を超え衝撃波を伴いながら燃焼する現象。破壊力が非常に大きいので、安全上の観点からは起こしてはならない現象である。
微燃性冷媒	燃焼性の弱い冷媒のこと。我が国の高圧ガス保安法や冷凍保安規則には不燃と可燃の分類しがなく、燃焼性の弱い冷媒の取り扱いについての考慮が少ない。ASHRAE34規格では2L(燃焼熱量<19MJ/kg、燃焼速度<10cm/s)に位置付けられており、アンモニア、R32、R1234yf、R1234ze(E)等が含まれる。
フロン	炭化水素の水素を塩素やフッ素で置換した化合物(CFC、HCFC、HFC)の総称で、このうち水素を含まないものをクロロフルオロカーボン(Chlorofluorocarbons; CFCs)と呼んでいる。化学的に安定で反応性が低く、ほとんど毒性を有しない。また揮発性や親油性などの特性を持っており、冷蔵庫などの冷媒、半導体などの精密な部品の洗浄剤、ウレタンフォームなどの発泡剤、スプレーの噴射剤などとして幅広く使用されてきた。
フロン回収に関する法律	平成19年10月に改正された「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律(フロン回収・破壊法)」といった、フロン類の適正な回収・破壊によるフロン類の大気中への放出を抑制するための法律。フロン類を大気中にみだりに放出することの禁止、機器の廃棄の際のフロン類の回収・破壊を義務づけ、機器廃棄時の行程管理制度(フロン類の引渡し等を書面で捕捉する制度)の導入、機器整備時の回収義務の明確化等の措置が講じられている。
ポスト京都	京都議定書の第1約束期間(2008年から2012年まで)の後に来る、2013年以降の地球温暖化ガス削減を目指す枠組み。同議定書については、アメリカの不参加や、中国・インドなどに削減義務がないこと、途上国と先進国間の立場と意見の相違、各国の取り組みの温度差などさまざまな課題がある。第2約束期間(2013～2020)については、我が国は不参加となった。
マルチ空調機	一つの室外機で複数の室内機を使用し空調を行うもの。中小規模の建築物で一般に使用されている。室内機の個別起動・停止が可能で、増設が容易。マルチ、ビルマル(ビル用マルチ空調機)と省略されることが多い。
モントリオール議定書	正式名称は「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」。1987年に採択、1989年発効。日本は1988年9月30日に加入。事務局はナイロビのUNEPに置かれている。ウィーン条約に基づき、オゾン層を破壊するおそれのある物質を特定し、該当する物質の生産、消費及び貿易を規制することをねらいとしている。具体的には、成層圏オゾン層破壊の原因とされるフロン等の環境中の排出抑制のための削減スケジュールなどの規制措置を定めている。議定書の発効により、特定フロン、ハロン、四塩化炭素などが1996年以降全廃となり、その他の代替フロン、HCFCなども順次、全廃となった。
冷媒番号	ISO817(国際標準化機構)で定められた、冷媒の種類を表すRで始まる番号。冷媒番号はRの次に3ないし4桁の数字と英添え字で表される。別表参照。
レトロフィット	代替フロンを冷媒とする従来の冷凍空調機器に、低GWP冷媒を適用させること。

代表的な冷媒

●フルオロカーボン類\*1

種類	冷媒番号	略称	化学式(組成)	地球温暖化係数 GWP*2	オゾン破壊係数 ODP	安全性 分類*3
CFC	R12	CFC12	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	10900	1	A1
HCFC	R22	HCFC22	$\text{CHClF}_2$	1810	0.055	A1
HFC	R32	HFC32	$\text{CH}_2\text{F}_2$	675	0	A2L
	R125	HFC125	$\text{CHF}_2\text{CF}_3$	3500	0	A1
	R134a	HFC134a	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	1430	0	A1
	R404A	—	(HFC125/143a/134a)	3920	0	A1
	R407C	—	(HFC32/125/134a)	1770	0	A1
	R410A	—	(HFC32/125)	2090	0	A1
	R1234yf	HFO1234yf	$\text{CH}_2=\text{CFCF}_3$	4	0	A2L
	R1234ze(E)	HFO1234ze(E)	$\text{CHF}=\text{CHF}\text{CF}_3$	6	0	A2L

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

\*2:IPCC4次評価報告(2007)100年値

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

●自然冷媒

種類	冷媒番号	化学式
プロパン	R290	$\text{C}_3\text{H}_8$
プロピレン	R1270	$\text{C}_3\text{H}_6$
ブタン	R600	$\text{C}_4\text{H}_{10}$
イソブタン	R600a	$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$
二酸化炭素	R744	$\text{CO}_2$
アンモニア	R717	$\text{NH}_3$
水	R718	$\text{H}_2\text{O}$



## I. 事業の位置付け・必要性について

### 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1. NEDOが関与することの意義

##### 1.1.1. 社会的な背景

フッ素を含有する化合物は、その優れた特性から、冷媒、産業洗浄剤、発泡剤、半導体・液晶製造、電力機器絶縁、消火剤など、幅広い産業分野で利用されている。このうち、オゾン層の破壊や地球温暖化へ大きな影響をもつ一部のフロンは、代替の技術により置き換わりつつある。(表 1.1.1-1)

オゾン層の破壊を起こすもの(CFC、HCFC等)は、先進国においては2020年までに実質全廃の見通しである。特にHCFCに関しては、第19回モントリオール議定書締約国会合(MOP19)にて途上国における全廃時期の10年前倒し(2040年→2030年)が決議された。

温暖化防止に関しては、1988年、UNEPが世界気象機関(WMO)と「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」を設立し、地球温暖化に関する自然科学的及び社会科学的取組を開始した。その後、1992年には「気候変動枠組条約」が締結され、その具体的な温室効果ガスの排出抑制対策として、1997年に「京都議定書」が採択され2005年に発効した。(図 1.1.1-1)

また、「京都議定書」第1約束期間における温室効果ガスの6%削減約束の達成に必要な措置を定めた「京都議定書目標達成計画」を2005年に閣議決定(その後2008年に改定)し、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>OとともにHFC、PFC、SF<sub>6</sub>(代替フロン等3ガス)も排出目標が設定された。

京都議定書の排出規制対象温室効果ガスのうち、フロン対策分野では、HFC、PFC、SF<sub>6</sub>(代替フロン等3ガス)が対象である。我が国では、2002年の地球温暖化対策推進大綱改訂で、第1約束期間(2008～2012年)における排出量目標を基準年(1995年)排出量比プラス2%以下、その後、2005年の京都議定書目標達成計画にてプラス0.1%以内と定めた。2008年3月の目標達成計画追加対策では基準年排出量比マイナス1.6%に引き下げている。(表 1.1.1-2 および図 1.1.1-2)

また、我が国では2006年施行の改正大気汚染防止法により、浮遊粒子状物質や光化学オキシダントに係る大気汚染の原因としてVOCの排出規制が開始され、炭化水素系の化学物質に対しても規制が強化された。

一方、使用済みとなった機器からのフロン類の回収・破壊等については、「フロン回収・破壊法」、「家電リサイクル法」、「自動車リサイクル法」等の施行により対策が行われている。さらにフロン類の回収率向上を図るため、2006年度にはフロン回収・破壊法の改正が行われ、2007年に施行された。また、この法律においては、我が国におけるフロン対策に関する研究開発の推進を謳っている\*。

※：「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」(フロン回収・破壊法)  
抜粋：

(研究開発の推進等)

第五十条 国は、フロン類の回収及び破壊に関する技術の研究開発、フロン類に代替する物質であってオゾン層の破壊をもたらさず、かつ、地球温暖化に深刻な影響をもたらさないものの研究開発その他フロン類に係る環境の保全上の支障の防止に関する研究開発の推進並びにその成果の普及のために必要な措置を講ずるものとする。

表 1. 1. 1-1 特定フロン及び代替フロン等 3 ガス

	特定フロン		代替フロン等3ガス		
種類	CFC クロロフルオロカーボン	HCFC ハイドロクロロフルオロカーボン	HFC (代替フロン) ハイドロフルオロカーボン	PFC パーフルオロカーボン	SF6 六フッ化硫黄
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CO <sub>2</sub> 、メタン、N <sub>2</sub> O)		
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) <sup>※1</sup>	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) <sup>※2</sup>	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・・・CO<sub>2</sub>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

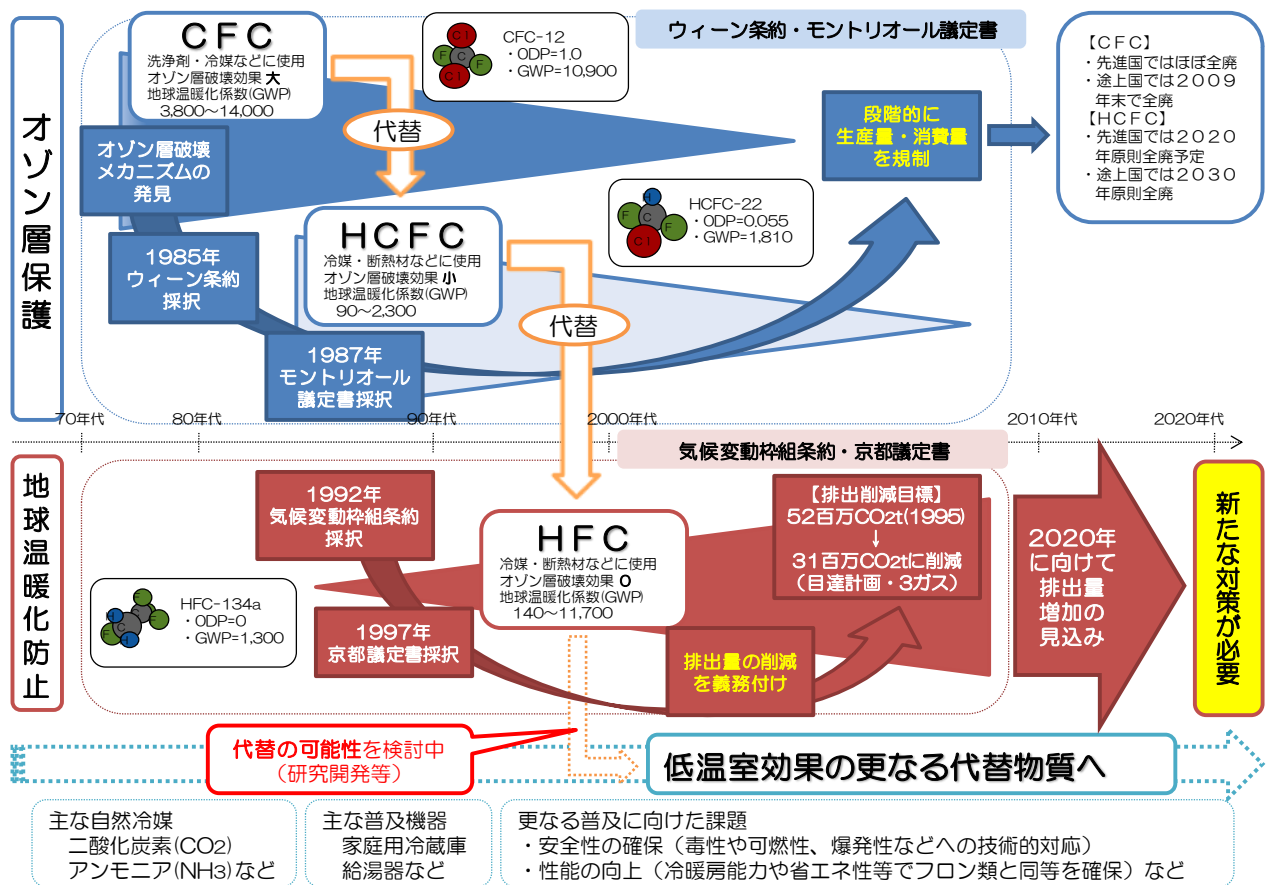


図 1. 1. 1-1 フロン類を巡る規制と対策の流れ

表 1.1.1-2 我が国の「京都議定書」による温室効果ガス削減目標

	計画年度	基準年 百万 t-CO2	2010年 百万 t-CO2	増減比
エネルギー起源 CO2	2008	1059	1089	+2.3%
	2005	1048	1056	+0.6%
	1998	1048	1024	▲2.0%
非エネルギー起源 CO2、CH4、N2O	2008	151	132	▲1.5%
	2005	139	124	▲1.2%
	1998	139	133	▲0.5%
代替フロン等3ガス HFC、PFC、SF6	2008	※ 51	31	▲1.6%
	2005	50	52	0.1%
	1998	50	73	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	1261	1186	▲6.0%
	2005	1237	1163	▲6.0%

※：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

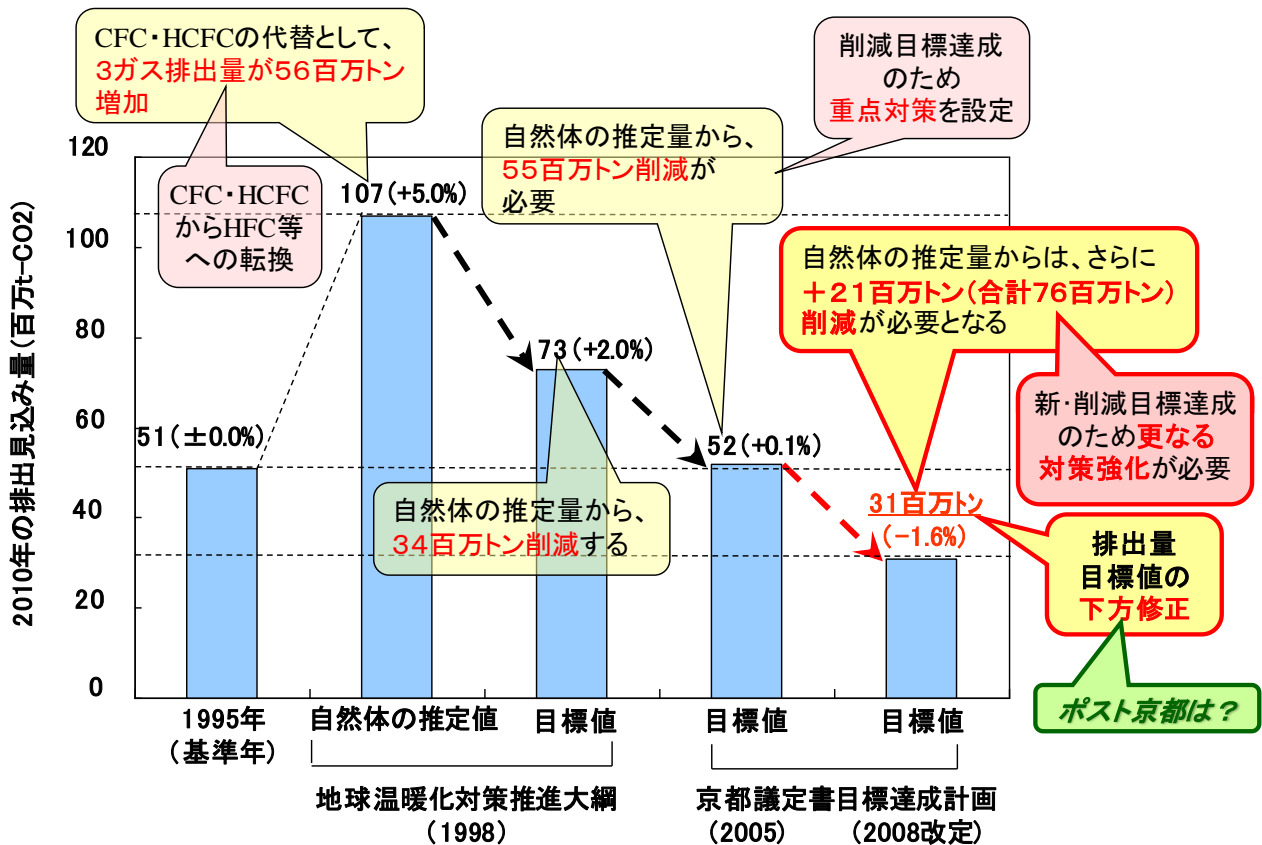


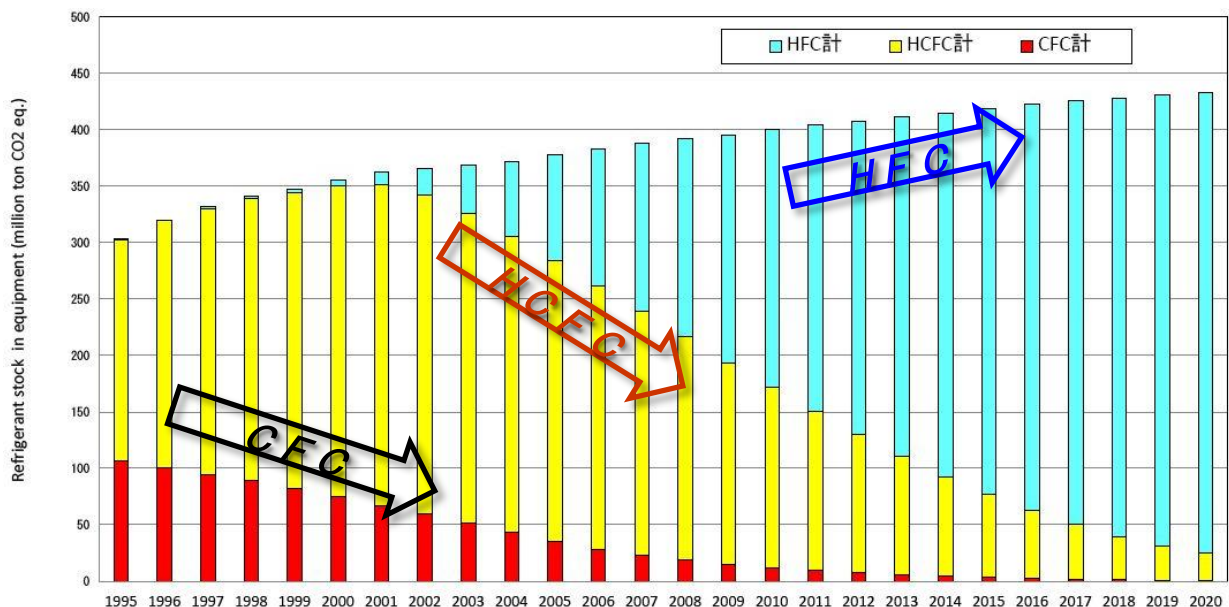
図 1.1.1-2 代替フロン等3ガス2010年排出削減目標値の変遷

### 1.1.2. 低 GWP 冷媒機器開発の必要性

今後エアコンや冷蔵・冷凍ショーケース等の冷凍空調分野でオゾン層破壊フロン（CFC、HCFC）から代替フロン（HFC）への冷媒転換が進行する（図 1.1.2-1）。これに伴い、代替フロン等 3 ガスの排出量は現在の約 24 百万 t-CO<sub>2</sub> から 2020 年推計では約 56 百万 t-CO<sub>2</sub> に急増する見込みであり、この大半は冷凍空調分野（2008 年：約 13 百万 t-CO<sub>2</sub>→2020 年：約 40 百万 t-CO<sub>2</sub>）が要因である（図 1.1.2-2）。この根本的対策としては、低温室効果冷媒への転換を推進し、排出源となる市中の代替フロン冷媒自体を減らすことが極めて有効である。空調機器は一旦市場に出荷されれば十数年にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすため、一刻も早く代替技術を開発し、市場投入を図ることが不可欠である。

上述の通り代替フロン等 3 ガスのうち HFC 等代替フロンの使用量は増加に転じる傾向を示し、特に冷凍空調機器に係る事項において顕著である。このことは冷凍機冷媒の場合、使用中・廃棄時の漏れを完全にゼロにすることが極めて困難であることに起因するものであり、それゆえこの分野での対策が急務であるとして、漏洩時における地球温暖化影響が極めて少ない低 GWP 冷媒の機器の開発が社会的に求められている。

一方、近年、世界的な微燃性冷媒に対する安全評価の考え方の変化や、高圧・超臨界状態での CO<sub>2</sub> 冷媒を用いる新たな冷媒圧縮機技術の登場等を背景として、空調分野での冷媒転換の可能性が近年急速に高まってきたところである。例えば欧州では、F ガス規制により、発泡剤、エアゾール、消火剤など用途ごとに排出抑制や使用禁止措置などが決まっている。中でも、カーエアコンについては、2011 年からの新型車への GWP 150 以上の冷媒の使用禁止を定めており、新規物質開発への影響は世界的な広がりを見せている。特に温暖化係数 10 以下の新規なフッ素化合物の開発が注目されているが、これは全く新たなカテゴリーに属する物質であり、大気寿命が 10 日前後と短いこれらの化合物の VOC としての挙動、大気中での分解挙動、総合的な環境影響・毒性問題への取組が重要な課題となってきている。



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

図 1.1.2-1 我が国における業務用冷凍空調機器と家庭用エアコン冷媒の市中ストック推移の BAU 推計 (CO<sub>2</sub> 換算)

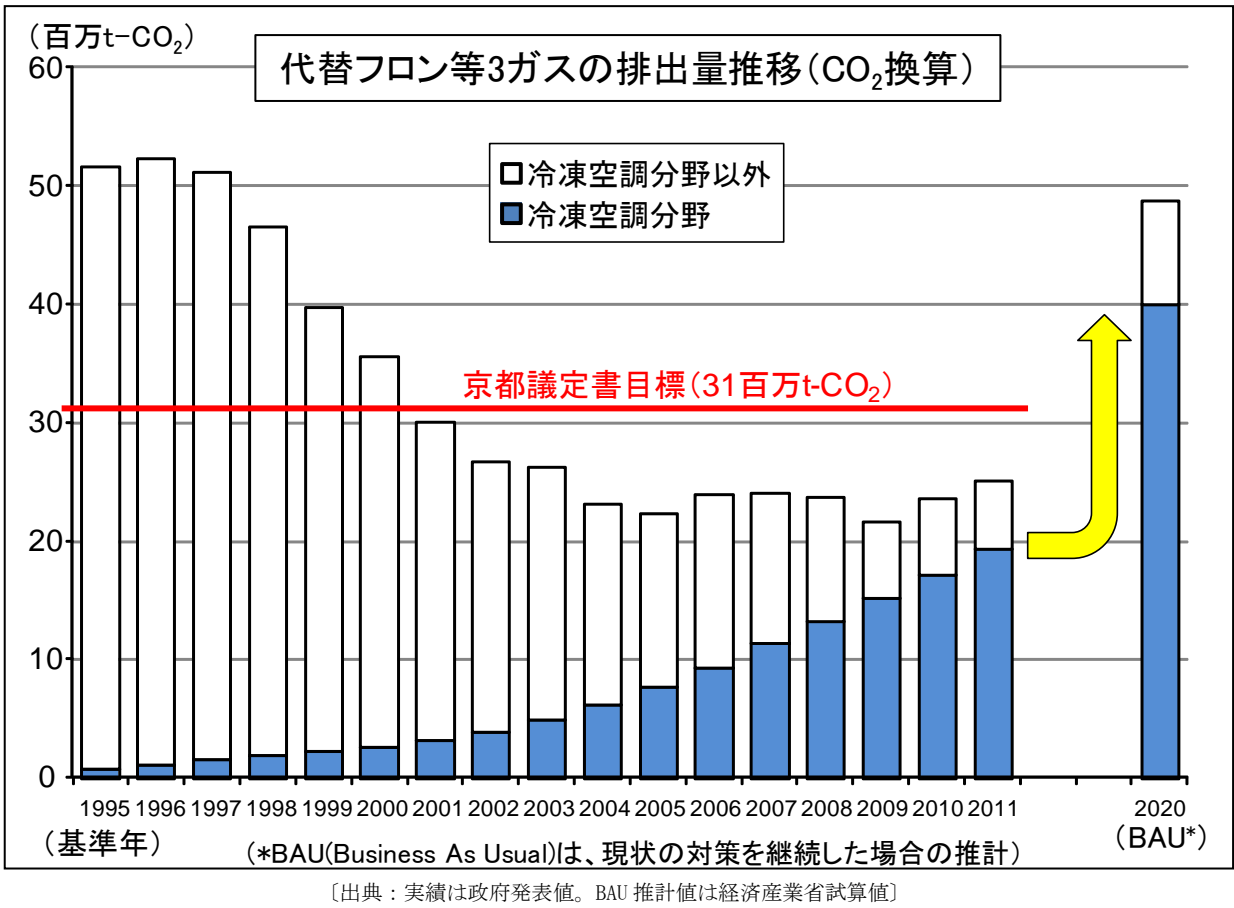


図 1. 1. 2-2 代替フロン等 3 ガスの排出量の推移 (CO<sub>2</sub>換算)

### 1.1.3 分野別の対応状況

以下、各研究開発テーマ別でのフロン類の転換の状況について簡単に述べる。

#### 1.1.3.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

##### 1.1.3.1.1 CO<sub>2</sub>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】

現在、業務用空調分野で主に使われている R410A は、GWP が 2,090 と温室効果が大きく、早期の撤廃が必要である。また、R32 などの冷媒も使用されてきているが、GWP は 675 であり、将来永続的に使用するには課題が残る。さらに低 GWP 冷媒である R1234yf など開発されているが、長期的に見た場合での環境や人体への影響は完全に把握されていないため、元々地球上に存在する自然冷媒を使用したシステムが見直されてきている。

環境への影響が少ない自然系冷媒（アンモニアや CO<sub>2</sub> や HC）は、「効率」「毒性」「可燃性」「高圧」などの課題がある。CO<sub>2</sub> の場合「毒性」「可燃性」はないものの、HFC 冷媒に比べて効率が低く、圧力が高いという特性がある。冷媒としての CO<sub>2</sub> は、効率低下の改善や高圧対応を実施することが出来れば、自然環境にやさしく、地球温暖化の防止に有効な冷媒である。

また、CO<sub>2</sub> 冷媒はエコキュートを始めとして、自動販売機等、量産化された商品も既に市場展開されており、認知度の向上と共に高圧力に対応する機器類も増え、コストダウンも進むことが見込まれる。

CO<sub>2</sub> 冷媒の課題である、効率を大きく向上させる主要機器及び冷凍サイクルを開発し、将来も永続的に使用できるノンフロン型空調システムを構築する。

##### 1.1.3.1.2 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】

現在、空調機に冷媒として使用されている R410A 冷媒は、温暖化係数（GWP）が高いことから、京都議定書において、排出削減の対象ガスとなっている。そのため、温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい分野である業務用空調機器に関して低温室効果ガスを用いた高効率空調機の研究開発は非常に重要なテーマとなっている。世界的に温暖化ガス削減が議論されている中、業務用空調分野でも低 GWP 冷媒化の技術開発が必要と考える。

##### 1.1.3.1.3 CO<sub>2</sub>-HF0 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】

地球環境保全の観点から、フロン等の温室効果ガスの排出量削減、及び省エネによる CO<sub>2</sub> 排出量削減は緊急の課題である。特に業務用空調機器からの CO<sub>2</sub> 排出量（温室効果ガスの排出を含む）は冷凍空調分野に占める割合が高く早急な対策が求められている。具体的な対策方法としては、機器使用時の冷媒漏洩抑制や機器廃棄時の冷媒回収促進、及び低温室効果冷媒への転換が主として挙げられる。これらのうち、使用時漏洩抑制と廃棄時回収促進に関する取組みは既に進められているが、漏洩率の低減や回収率の向上には一定の限界があるのも実情であるため、併せて低温室効果冷媒への転換が重要となっている。一方で、業務用空調機器分野における低温室効果冷媒への転換に関しては技術開発のハードルが高く、代替候補となっている HF0 系冷媒、CO<sub>2</sub> 冷媒等においても経済性、性能、安全面での課題が多く、開発が進んでいないのが現状である。これらの課題を解決するべく、新たな低温室効果冷媒を用いた高効率な空調システム技術を確立し、市場に投入する必要がある。

##### 1.1.3.1.4 低 GWP 冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】

オゾン層保護等に始まる特定フロン類の規制により、産業界ではオゾン層を破壊する恐れのある CFC 冷媒、HCFC 冷媒はオゾン層破壊係数(ODP)が 0 である HFC 冷媒への転換に取り組み、ターボ冷凍機を含む冷凍空調業界においても同様に HFC 冷媒への転換を行った。しかしながら、HFC 冷

媒は地球温暖化係数(GWP)が高く、LCCP(Life Cycle Climate Potential)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きている。

このような背景を受け、各産業分野で低 GWP への切り替え研究が進んでおり、冷凍空調業界においても欧州での F ガス規制をはじめとして、低 GWP 冷媒への転換に向けた動きが始まっている。ターボ冷凍機やボイラ等従来の加熱熱源機にかわり需要を伸ばしてきている電気式温熱用ヒートポンプについては、冷媒の入手が困難なこともあり低 GWP 冷媒の検討はなされていなかったが、同様に低 GWP 冷媒への転換が必要である。

#### 1.1.3.1.5 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】

現在、マルチ型を除くパッケージエアコンが国内で年間約 51 万台販売されている。パッケージエアコンの冷媒として使用されている R410A (HFC)は、地球温暖化係数 (GWP) が高いことから、京都議定書の排出削減対象であり、GWP の低い冷媒への転換が急務となっている。現在は家電リサイクル法などにより冷媒を回収し、排出量の削減に取り組んでいるが、冷媒の漏洩率の公表値が上方修正されるなど、冷媒漏洩防止を目的とした冷媒封入量の低減が必要である。特に、冷媒量の多いパッケージエアコンでは冷媒封入量の削減が重要となる。

一方、自動車エアコンの分野では、欧州の F ガス規制により本年から上市される新型自動車用途で GWP 150 以上の冷媒使用が禁止されるため、R-1234yf を中心とした低 GWP 冷媒の適用検討が定置式空調機の分野に比べて進んでいる。また、従来から熱交換器には多穴の扁平管を採用しており、定置式空調機の分野に比べ熱交換器の細管化も進んでいる。これらの検討結果を定置式空調機に応用し、定置式空調機における低 GWP 化を加速することが重要である。但し、従来の自動車エアコンは冷房専用機であり、熱交換器の表面で空気が凝縮する濡面、空気が凍結する着霜面、融解時の排水性に関しては研究が遅れていた。近年の電気自動車やハイブリッドカーの普及拡大に対応し、暖房運転でのヒートポンプ適用が検討され始め、これらの評価も進行中である。

ルームエアコンを対象とした R-1234yf のドロップイン評価では、R-1234yf の場合、現行冷媒である R410A に比べ、熱交換器や接続配管の圧力損失増加に伴う性能低下が主な技術課題となっている。また、R-1234yf は微燃性冷媒であり、不燃範囲を確保できる封入冷媒量の低減やリスクアセスメントの評価も課題である。

以上より、R-1234yf に代表される低 GWP 冷媒では、熱交換器性能を決定する冷媒側及び空気側熱伝達率の向上、冷媒圧力損失の低減、冷媒封入量低減による温暖化抑制と不燃化を実現する必要がある。管径を細く、管長を短く、冷媒分岐数を多くする熱交換器の構成が理想的と考えられる。

そこで、本研究開発では、従来円管での細管化限界を越える代表直径 1～2 mm のパラレルフロー型扁平管熱交換器単体の特性評価とパッケージエアコン搭載時の特性評価を実施する。パラレルフロー型熱交換器では冷媒の分岐数が従来に比べて多く、冷媒分配も大きな技術課題となるため、高性能冷媒分配器の開発も合わせて実施する。

#### 1.1.3.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

##### 1.1.3.2.1 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】

地球環境保護の観点より、オゾン層を破壊する CFC および HCFC 類の段階的削減および全廃が進められている。一方、塩素原子を構造に含まない HFC 類は、オゾン層を破壊しないことからオゾン層破壊物質の代替媒体として冷媒用途を中心に転換が進められている。しかし、HFC 類は大気寿命が長く、温室効果が大きいことから、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されており、対策が急がれている。

特に業務用空調機器は、1 台あたりの冷媒充填量が多いとともに、長期にわたり設備が使用されることから、高効率かつ低温室効果の冷媒の開発が急がれている。

### 1.1.3.3 冷媒の性能、安全性評価

#### 1.1.3.3.1 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 諏訪東京理科大学】

1980年代後半から90年代初頭にかけて、オゾン層保護の観点から、モントリオール議定書によってCFC冷媒やHCFC冷媒の使用が規制され、HFC冷媒への転換が進んだ。ところが、当時のHFC冷媒の主流が、オゾン層破壊係数(Ozone Depleting Potential, ODP)がゼロである反面、地球温暖化係数(Global Warming Potential, GWP)が高いものであったため、使用中の漏洩や冷媒未回収の廃棄機器からの大気漏洩により、HFC冷媒によって地球温暖化が加速される懸念が生じた。そこで、ODPがゼロでかつ、GWPが低い冷媒の開発が急がれ、現在、候補冷媒としてR32(ジフルオロメタン,  $\text{CH}_2\text{F}_2$ )やR1234yf(2,3,3,3-テトラフルオロプロペン,  $\text{CH}_2=\text{CFCF}_3$ )などが挙げられている。これらの冷媒は現行冷媒に比べて、GWPが圧倒的に低いため、地球温暖化防止に資する冷媒といえるが、反面、反応性を有するため、R290(プロパン)などほどではないものの、燃焼性を有する。既に米国では、燃焼性が比較的低いとされる冷媒をA2Lクラス冷媒と位置付け、取扱基準の策定などに活用する動きがある。これに対しわが国の高圧ガス保安法や冷凍保安規則では、燃焼性については可燃または不活性の2区分しかなく、燃焼性の大小が考慮されていない。そのため、低GWP冷媒を実用化するためには、燃焼性及び燃焼後生成ガスの毒性等に関する基礎的データを集積して、これをベースにしたリスクマネジメントにより規制緩和を達成することが必要である。微燃性冷媒の基礎的な燃焼性状として、燃焼範囲、最小着火エネルギー、燃焼速度、消炎距離などについては、データが蓄積されつつあるが、実際に起こりうる事故を想定した、微燃性冷媒のフィジカルハザード評価(例えば、火炎伝播特性、圧力上昇特性、燃焼後生成ガスの発生特性など)はほとんどない。このような、想定事故シナリオに立脚したフィジカルハザード評価を行うことは、微燃性冷媒の実用化に大きく資するのみならず、我が国の冷凍空調産業が世界において主導的な地位を維持することにも資する。

#### 1.1.3.3.2 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】

冷凍空調分野においては、ヒートポンプ・冷凍システムの作動媒体としてCFC系冷媒やHCFC系冷媒が長年使用されてきた。しかし、1974年にローランド教授らによるCFC冷媒による成層圏オゾン層破壊に関する論文が発表されてからオゾン層破壊防止への動きが国際的に高まり、1987年のモントリオール議定書締結以降、CFC系冷媒が全廃され、同時にHCFC系冷媒の規制が進められ、オゾン層に影響しないHFC系冷媒への転換が進められてきた。一方、1997年の気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3:京都会議)においてはCFC系およびHCFC系冷媒の代替物質として開発されたHFC系冷媒も地球温暖化防止の観点から規制対象となった。

以上のオゾン層保護及び地球温暖化防止に関する国際的規制の動きを受けて、1990年代中頃から、地球温暖化への影響が少ない自然界に存在する物質(例えば、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、水、 $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ などの自然冷媒)を作動媒体として用いたヒートポンプ・冷凍システムの開発が最重要課題となり、今日、 $\text{CO}_2$ を作動媒体としたヒートポンプ給湯機、 $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ を作動媒体とした家庭用冷蔵庫、 $\text{CO}_2$ あるいは $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ を作動媒体とした自動販売機など、一部の分野で自然冷媒を用いたヒートポンプ・冷凍機の実用化がなされた。

自動車用空調機に関しては、ヨーロッパにおいて2011年からGWP(Global Warming Potential)が150以下の冷媒を用いることが定められ、現在使用されているR134aはGWP=1430と温暖化への影響が大きいため、2011年から段階的に削減され、2017年に全面使用禁止となる予定である。このため、自然冷媒 $\text{CO}_2$ を作動媒体とした自動車用空調機の開発が、一時期、盛んに行われていたが、その開発は、性能、漏洩などの課題のために中断されて、現時点では、GWPが極めて低いオレフィン系新規代替冷媒R1234yf( $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$ : 2,3,3,3-Tetrafluoropropene)を用いた自動車用空調機の開発が急ピッチで進められている。また、家庭用・業務用空調機に関しては、一部、 $\text{CO}_2$ や炭化水素を用いたシステムの開発が進められているものの、現在使用されているHFC系混合冷媒のR410A、R407Cなどに取って替わるほどの性能、安全性、あるいは経済性が確保できていないようである。



以上のような社会的背景のもと、本研究者のグループは、Mg 合金製造プロセスのカバーガスとして開発された R1234ze(E) ( $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CFH}$ : Trans-1, 3, 3, 3-Tetra- fluoropropene) は低 GWP で、ODP=0 (ODP: Ozone Depletion Potential) であり、冷媒として使用できる可能性があることに着目し、平成 19 年頃から R1234ze(E) をヒートポンプ用作動媒体として導入することの可能性についての研究を開始し、ついで、H21 年度～H22 年度は (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構の受託研究「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発／実用的な性能評価、安全基準の構築／エアコン用低 GWP 混合冷媒の物性と LCCP 評価」の一部として、世界に先駆けて「HF01234ze 混合冷媒の熱物性とサイクル性能の研究」を実施し R1234ze(E) および R1234ze(E) を含む混合冷媒を空調機器の作動媒体として導入する場合に必要な熱力学的・輸送的性質に関する情報、伝熱特性およびサイクル性能評価について一定の成果を得た。

本研究開発プロジェクトでは、HF0 系冷媒候補物質の中で熱物性およびサイクル性能がほとんど明らかにされていない R1234ze(Z) にまず注目し、その安全性を含む化学的性質、熱力学的・輸質、伝熱特性およびサイクル基本特性を世界に先駆けて明らかにする。ついで、R1234ze(Z) を含む HF0 系冷媒、HFC 系冷媒、自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低 GWP 混合冷媒の中から業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒を探求・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。

以上の開発研究は、新規の低 GWP 冷媒 R1234ze(Z) の基本特性を提供して冷媒の選択肢の拡張およびヒートポンプ技術の応用範囲の拡大に貢献するとともに、低 GWP 混合冷媒を実用冷媒として今後導入する為の基盤技術を構築するものであり、産業界が低 GWP 冷媒を用いた空調・冷凍システムの研究開発を行う上で極めて有益である。

#### 1. 1. 3. 3. 3 エアコン用低 GWP 冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

ノンフロン型空調機器用冷媒の性能評価と安全性評価をするために、国立大学法人東京大学はエアコンの性能評価法の確立、室内への冷媒リーク時の安全性評価に関する研究を行い、再委託先の独立大学法人産業技術総合研究所はノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価、ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発に関する研究を行う。これにより、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。

#### 1.1.4 技術的な課題と NEDO の関与する意義

研究開発の取組は、フロン等の破壊・回収技術の開発と、フロンの代替物質の開発として物質の探求とその合成および精製技術の開発、さらに、フロン類を全く使用しないノンフロン化技術の開発に分類され、NEDO のプロジェクトとして体系的に実施してきた（表 1.1.4-1）。

「HFC-23 破壊技術の開発」（1998～2001 年度）では、冷媒やフッ素樹脂原料として使用される HCFC-22 の製造時に副生する HFC-23 を破壊する技術開発を行った。また、「冷媒フロンのケミカルリサイクル技術の開発」（2000 年度）において、回収 HCFC-22 を高純度化してフッ素樹脂原料としてリサイクルする技術の開発を行った。HFC-23 の破壊に関しては、多くの CDM プロジェクトにより海外への技術移転が実施されており、世界規模での温室効果ガスの削減に効果をあげている。

代替物質の開発については、「新規冷媒等研究開発」（1994～2001 年度）と「SF<sub>6</sub> 等に代替するガスを利用した電子デバイス製造クリーニングシステムの研究開発」（1998～2002 年度）において、それぞれ冷媒、洗浄剤、発泡剤と、半導体の CVD クリーニングガスを対象として環境負荷の小さい新規フロン代替物質の開発を行った。そこで有望と思われた物質については、「省エネルギーフロン代替物質合成技術開発」（2002～2006 年度）で省エネルギー性確立の観点から工業的合成技術の開発を行った。

また、ノンフロン化技術では、「SF<sub>6</sub> フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発」（2004～2006 年度）および「革新的ノンフロン系断熱材技術開発」（2007～2011 年度）により、マグネシウムダイカスト用カバーガス、断熱発泡剤等の分野における低 GWP フッ素系ガスを含むノンフロン化技術開発に取り組んでいる。

冷凍空調分野においては、「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業（2005～2010）により、冷却のみを行う業務用冷凍冷蔵や機器規模が小さい家庭用エアコン分野を対象として冷媒転換の技術開発を行い、従来機比 10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。

しかしながら、中・大型の業務用空調機器は、規模（冷媒量・配管長）が大きいこと、冷・暖房両方を行う必要があること等から特に冷媒代替の技術的ハードルが高く、現時点で低温室効果冷媒を用いつつ、省エネ性、コスト、安全性等を満たすシステムは存在していない。

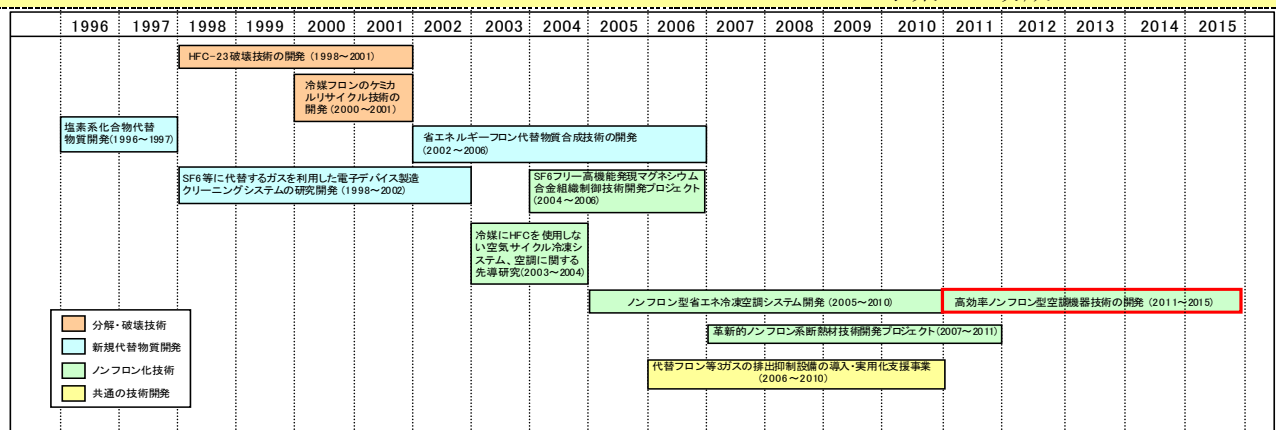
空調機器は一旦市場に投入されれば、その後十数年以上にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすことを考えれば一刻も早く開発し市場に投入させることが不可欠である。

以上を踏まえ、「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」（2011～2015）においては、業務用冷凍空調機器を対象として、従来フロン機以上の効率性（省エネ性）と冷媒のノンフロン化を両立する技術の開発を実施する。これにより、市中の空調用冷媒ストックの約半分を占める業務用冷凍空調機器についてノンフロン化を進める。

こうした開発はいずれも基礎（実験室レベル）からの取り組みが必要であり技術的不確実性は高い。また 1 社単独の技術では解決が難しく、大学や研究機関等と複数企業による知見の結集が不可欠なため、国のプロジェクトとして実施する必要性は高い。加えて、低温室効果冷媒への転換（ノンフロン化）はコストアップ要因となる一方、メーカー・ユーザーともに直接の経済的利益がなく事業者が開発インセンティブが働きにくく、国の支援が不可欠である。さらに、冷媒の安全性評価や基準化手法の策定は、産業界全体の基盤となる技術であり、特定企業に偏りのない実施が必要であることから、国が主体となって実施することが必要である。

表 1.1.4-1 NEDO におけるフロン対策技術の変遷

P J タイトル	実施期間・予算	予算(年度)	研究概要
HFC-23 破壊技術の開発	H10-H13 総額 1.2 億円	H10 年度 約 1.0 億円	HCFC-22 製造時に複製する HFC-23 を高温燃焼破壊し無害化、CaF <sub>2</sub> として回収
冷媒フロンのケミカルリサイクル技術の開発 (3R 技術実用化補助金)	H12 総額 2.2 億円	H12 約 2.2 億円	使用済みエアコンから回収した冷媒フロンを樹脂原料としてリサイクル
塩素系化合物代替物質開発	H8~H9 総額 3 億円	H9 年度 約 2.9 億円	半導体・液晶製造用や産業用洗浄剤への適用
SF <sub>6</sub> 等に代わるガスを利用した電子デバイス製造クリーニングプロセスの研究 (半導体 CVD 洗浄プロジェクト)	H10~H14 総額 2.5 億円	H14 年度 約 4 億円	COF <sub>2</sub> を用いた CVD チャンバークリーニングシステムの有効性を実証
省エネルギーフロン代替物質合成技術開発	H14~H18 総額 1.0 億円	H15 年度 約 2.2 億円	HFE 類, CF <sub>3</sub> I, COF <sub>2</sub> などの低 GWP 値・新規化合物の工業的合成技術開発
SF <sub>6</sub> フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発プロジェクト	H16~H18 総額 2.9 億円	H18 年度 約 1.1 億円	高強度な Mg 合金ビレットを SF <sub>6</sub> を使用せずに連続鋳造
冷媒に HFC を使用しない空気サイクル冷凍システム、空調に関する先導研究	H15~H16 総額 0.3 億円	H16 年度 約 0.2 億円	業務用冷凍倉庫向け空気冷媒冷凍機の排熱をデシカント除湿機の再生に利用
ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発	H17~H22 総額 4.2 億円	H22 年度 約 7.7 億円	ノンフロン冷媒利用の安全かつ省エネな冷凍空調機器の基礎研究、並びに実用化開発
革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト	H19~H23 総額 1.5 億円	H19 年度 約 2.8 億円	現行フロン系断熱材同等以上のノンフロン断熱材製造技術開発
<b>高効率ノンフロン型空調機器技術の開発</b>	<b>H23~H27 総額 2.3 億円</b>	<b>H25 年度 約 2.8 億円</b>	<b>低温室効果冷媒を用い、かつ高効率を両立する業務用空調機器を実現する。</b>
代替フロン等 3 ガスの排出抑制設備の導入・実用化支援事業	H18~H22 総額 6.7 億円	H22 年度 約 9 億円	温室効果ガス排出量削減に資する先進的かつ波及性の高い事業への助成



## 1.2. 実施の効果（費用対効果）

### 1.2.1. 産業界への効果

空調機器については、R410A 代替候補に有力なものがない中、選択肢を増やす検討が必要と考える。こういった中、R1234yf、R1234ze(E)、R32 といった R410A より GWP が低いものについて代替候補となりえないかといったことが TEAP 等において、国際的に話題となっている。ここに挙げられた物質に関しては、微燃性（ASHRAE（米国冷凍空調学会）による燃焼等級 2L の分類）ということもあり、これらの物性・安全性評価については今後の課題となる。日本冷凍空調工業会では、微燃焼性冷媒の検討を実施することについて、機関決定を行った。

### 1.2.2. 費用対効果

図 1.1.4-1 に京都議定書における温室効果ガス排出削減目標達成に係る NEDO におけるフロン対策技術の変遷を示す。

本プロジェクトは 5 年間で予算総額は約 23 億円（予定）である。

現在（3 年目）まで平均年 4 億円程度を投入しており、これは機器開発、冷媒開発、及び性能・安全性評価という各分野において実施している。プロジェクトリーダー（PL）による適時指導及び各年度末の技術委員会による第三者評価を実施するなどして、プロジェクト終了後に低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する基盤技術が製品化（低 GWP 冷媒適用業務用空調機器及び新規低 GWP 冷媒の上市化）されることを目指している。

### 1.2.3. 制度への適用性

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

本プロジェクトは世界的な環境保護の高まりの中で経済産業省 特別会計のもと「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」として、国立大学法人東京大学、国立大学法人九州大学、及び学校法人東京理科大学への委託（NEDO 費用負担 100%）、このほか民間企業 6 社への助成（NEDO 費用負担 2/3）により、平成 23 年度から 27 年度の 5 年間の事業実施期間として開始した。

本研究開発の最終目標は「低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する基盤技術を確立」することにある。

要素機器技術やシステムコンポーネントの開発により省エネルギーで安全な工業製品を産業界へ供給し、長期的観点から CO2 排出量の削減をはかる事が肝要である。

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

### 2.1. 事業の背景

繰り返しとなるが、事業背景となるオゾン層保護対策と地球温暖化対策の動向を再度整理して示す。

#### 2.1.1. オゾン層保護対策の動向

我が国は、1988年に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」（オゾン層保護法）を制定・施行し、ウィーン条約及びモントリオール議定書に加入した。同法により、既にCFCは1996年に全廃、HCFCは基準量の15%以下に消費量を削減しており、2020年までに全廃することとしている。また、同法に基づき、オゾン層の破壊の状況や大気中のオゾン層破壊物質の濃度変化の状況を監視し、「オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」として毎年とりまとめ、公表している。

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

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

このフロン類回収を一層徹底するために、行程管理制度の創設、整備時回収の適正化、建物解体時の確認義務等を主な内容とする改正フロン回収・破壊法が、2007年10月から施行された。また、家庭用エアコン・冷蔵庫については家電リサイクル法、カーエアコンについては自動車リサイクル法により、フロン類の回収が行われている。

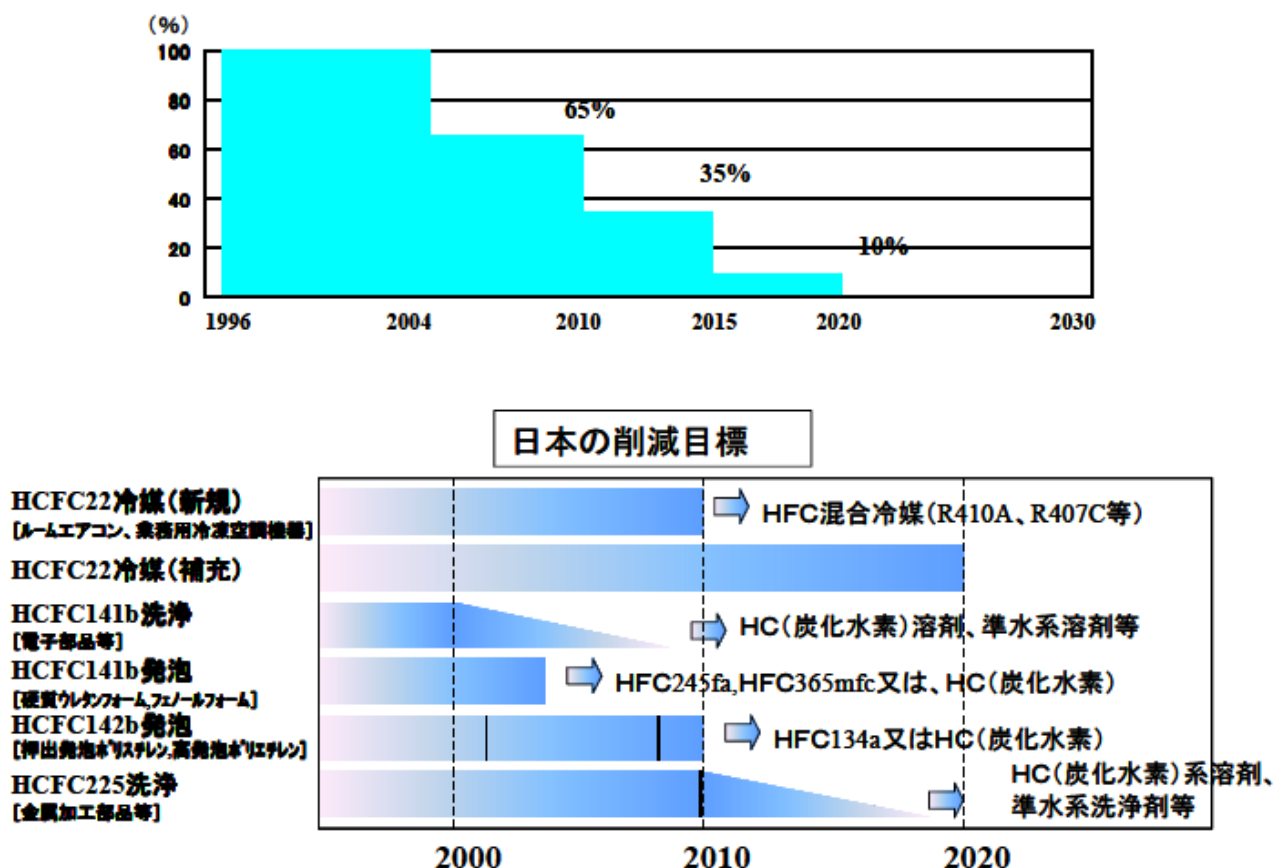


図 2.1.1-1 モントリオール議定書で定められたHFC/HC削減スケジュール

## 2.1.2. 温暖化対策の動向

フロン類は、二酸化炭素の数百倍から一万倍超の強い温室効果を持ち、例えば、家庭用エアコンには数千 kg、スーパーなどに設置されている冷蔵ショーケースには数万 kg もの CO<sub>2</sub> に相当するフロン類が、冷媒として充填されている。地球温暖化防止の観点からも、機器の廃棄時や整備時に冷媒フロン類を回収・破壊することが必要です。また、冷媒フロン類は、機器の廃棄時だけでなく使用中にも漏れなどによって相当程度排出されることが判明している。

地球温暖化防止のための京都議定書では、HFC、PFC（パーフルオロカーボン）、SF<sub>6</sub>（六フッ化硫黄）が対象（代替フロン等 3 ガスと呼ばれる）になっている。CFC 及び HCFC はモントリオール議定書の規制により排出がいずれ少なくなりますが、HFC は、これらの代替物質として使われ始めたものであり、今後、排出量の増大が予想されているので、その排出抑制等を推進することがますます重要です。このため、代替フロン等 3 ガスについては、政府の京都議定書目標達成計画(2008 年 3 月全部改定)において排出削減の対策が位置づけられている。

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

## 2.2. 事業の目的と位置づけ

京都議定書の批准により、我が国においても地球温暖化対策の観点から温室効果ガスの排出量削減が必要とされており、温暖化等に配慮した環境技術開発が不可欠な状況にある。これを受け、代替フロン物質を削減する技術開発を総合的・効率的かつ加速的に推進し、その導入・普及を促進することにより、環境・エネルギー・経済のバランスのとれた持続可能な社会の構築を図ることを目的とする環境安心イノベーションプログラムの一環として、本研究開発では産業競争力を持ち、かつ長期的に見ても世界トップクラスの温暖化防止技術の開発を推進する。

クロロフルオロカーボン（フロン）等のオゾン層破壊物質は、オゾン層保護の観点からモントリオール議定書により、生産の段階的な廃止が義務付けられたため、代替フロンが開発され多用される状況にある。

代替フロンは、その優れた特性から、冷媒（冷凍・冷蔵庫、空調機器、自動車エアコン等）として利用されて来たが大気中に長期間に亘って安定に存在し、かつ極めて大きな温室効果を発揮する化合物であることから、京都議定書において排出削減対象ガスとなっている。

したがって、国際的な地球温暖化対策加速における日本の国際貢献の重要性から、革新的な新技術について国家レベルでの基礎研究育成・技術的困難の克服・新システムの確認・評価や、実現性が高く早期市場投入が可能な技術の確立ならびに旧来システムの改良に対する技術面・評価面での支援を急ぐ必要がある。

本研究開発では、オゾン層の破壊やその他の環境影響が少なく温室効果も小さい冷媒物質を用い、かつエネルギー効率がが高く市場的に有効な業務用空調システム技術の開発を行い、省エネルギー性やライフサイクル等の観点から総合的な環境負荷の低減を目指す。

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

本研究開発では、温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい分野である業務用空調機器に関して、低温室効果ガスを用いて省エネ化・高効率化を実現する技術開発を行い、新冷媒開発、圧縮機、熱交換器等の要素機器の開発、システム開発等の研究開発により、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している。

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

研究開発項目①「低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発」

【中間目標（平成25年度）】

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。

【最終目標】

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。その後、早期に製品化を目指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。

研究開発項目②「高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発」

【中間目標（平成25年度）】

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。

【最終目標】

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。その後、早期に製品化を目指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。

研究開発項目③「冷媒の性能、安全性評価」

【中間目標（平成25年度）】

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。

【最終目標】

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。

上述の目標の達成を図るため、研究開発テーマ毎に目標等を定め事業を遂行した。

研究開発テーマの一覧を表1-1に示す。

以下、各テーマにおける目標を述べる。

表 1-1 「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」 研究開発テーマ

研究開発項目	テーマ	委託先/助成先	委託/助成	契約期間	対象技術等	対象冷媒	備考	
①機器開発	CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・適用冷媒が同じCO<sub>2</sub>である2テーマの違いは、開発対象機器の規模</li> </ul>	
	CO <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> +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エアコンの研究開発	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 <sub>2</sub>		
②冷媒開発	低GWP冷媒の高温域での適用調査研究	三菱重工株式会社	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))	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規媒体を合成・評価</li> </ul>	
	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		
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)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・R1234ze(Z),</li> <li>・R1234ze(E)+R32+CO<sub>2</sub>の三元系混合冷媒等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存媒体およびその混合媒体から冷媒探求、評価</li> </ul>	
	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		<ul style="list-style-type: none"> <li>・R1234yf,</li> <li>・R1234ze(E),</li> <li>・R32等</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際に燃焼する場合に重点を置いて評価</li> </ul>
	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		<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼に至る条件に重点を置いて評価</li> </ul>		



## 1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

### 1.1.1 CO<sub>2</sub>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】

本研究開発の目的は、温暖化影響のインパクトが大きい業務用空調機器において、環境負荷が少ない CO<sub>2</sub> を冷媒として、従来のフロンを使用したシステム以上の効率となる空調サイクルを開発することにより、温室効果ガスの排出を抑制し、地球温暖化防止を推進することである。具体的には以下の2つを開発の目標と設定する。

〔目標 1〕 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<sub>2</sub> 空調サイクルの開発

〔目標 2〕 高効率 CO<sub>2</sub> 空調サイクルの実現に必要な、高効率の「圧縮機一体型膨張機」及び関連機器の開発

尚、開発当初は対応圧縮機の入手性の制限や、APF レベルが最も高い 1.5 馬力相当のシステムを対象として開発を進める。将来的には市場規模の多い 5 馬力相当のシステム等にスケールアップして展開していく。

### 1.1.2 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】

CO<sub>2</sub> 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、空調用に CO<sub>2</sub> 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）が著しく劣るという課題がある。そのため、空調用途に CO<sub>2</sub> 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。そこで、本研究開発では CO<sub>2</sub> 冷媒を用いた高効率ビル用マルチ空調機を開発することを目的とし、目標値は CO<sub>2</sub> 冷媒空調機の普及を目指して以下のように設定した。

〔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を確立する

〔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 を超える性能を達成する

<目標設定の理由>

自然冷媒（低 GWP）化により、温暖化への直接影響は削減されるが、CO<sub>2</sub> 冷媒空調機の普及のためには間接影響（電力消費量）も現行冷媒空調機と同等でなければ難しい状況である。そこで、冷凍/冷蔵分野で実用化されている多段圧縮機、エコマイザーサイクル、中間冷却を採用したサイクルに加え、膨張時の損失を低減する膨張機技術によって達成可能と見積もった。

### 1.1.3 CO<sub>2</sub>-HF0 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】

自然冷媒の CO<sub>2</sub> 冷媒、低温室効果冷媒である HF0 系冷媒などの混合系冷媒による業務用空調システムにおける高効率化サイクル技術の開発を目的とし、新冷媒で高効率を実現する熱交換器の開発、圧縮機、材料などの要素部品の開発を行い、新冷媒に適した空調システムの高効率化技術の研究開発を実施する。これらの成果により、従来のフロンを採用した業務用空調機器に対して、10%以上の省エネを目標として、CO<sub>2</sub> 排出量の削減が可能な新業務用空調機器技術を開発する。新空調システムに使用する新温室効果冷媒の GWP の目標値は、不燃性冷媒の場合では 300~500 程度、微燃性（A2L レベル）の場合では 150 程度とし、新空調システムの効率を従来システムよりも 10%以上向上するものとする。製品のベースは、5 馬力クラスの店舗・事務所用（~100m<sup>2</sup>）に適用するパッケージエアコンとした。

### 1.1.4 低 GWP 冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】

Mg 製造時のカバーガスとして開発された R1234ze(E)は、GWP が 6 と現在ターボ冷凍機や温熱ヒートポンプに使用している R134a の 1/200 以下であり、また、物性が R134a に近いこともあり、代替低 GWP 冷媒の候補である。この冷媒が適用可能であれば LCCP の大幅な削減が見込まれるため、本研究においては前年度空調用途（～40℃）のターボ冷凍機に R1234ze(E)が適用可能である事を検証した事に引き続き、ヒートポンプの高温領域（～90℃）に対して、空調用途と同様に低 GWP 冷媒が適用可能かを検証することを目的に研究を実施した。

### 1.1.5 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】

本研究ではR-1234yf、R-1234ze及びパラレルフロー型扁平管熱交換器をパッケージエアコンに適用した場合の性能を評価し、従来機（R410A機）以上の性能(APF<sup>\*</sup>)を確保することを目標とする。目標値は、下記2段階に分けて設定した。

①中間目標（3年目終了時点の達成目標）

- ・目標：R-1234yf または R-1234ze を用いる 3HP パッケージエアコンで R410A 機に対し APF 95%。

②最終目標（5年目終了時点の達成目標）

- ・目標：R-1234yf または R-1234ze を用いる 3HP パッケージエアコンで R410A 機に対し APF105%。

※ APF（通年エネルギー消費効率）

## 1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

### 1.2.1 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】

先行プロジェクトである「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業において実施された家庭用エアコン向けに開発を進められた研究成果を踏まえ、高効率空調機器開発の観点から本事業においては業務用空調機器の現行冷媒である R410A および R134a と同等以上の冷媒性能（COP と冷凍能力）を設定した。

温暖化影響に関しては、現行冷媒である R410A の地球温暖化係数 2,090、および R134a の地球温暖化係数 1,430、R410A の代替候補として検討されている R32 の地球温暖化係数 675 の影響度を考慮に入れ、R32 の約 1/2 である地球温暖化係数値 300 を目標として設定した。

自然冷媒として検討されているプロパン（強燃性）やアンモニア（微燃性、高毒性）に対する優位性を確保するため、低毒性および不燃性～微燃性の目標設定を行うことにより、冷媒充てん量の大きい民生用途向け機器の冷媒としての使用を可能とする。

これら目標値を達成する高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発を行う。

（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。

## 1.3 冷媒の性能、安全性評価

### 1.3.1 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 諏訪東京理科大学】

R32 や R1234yf などの微燃性冷媒が定置用空調機器に搭載された際のリスク管理のためには、微燃性冷媒の燃焼性や爆発性、燃焼生成物特性などのフィジカルハザードを明確化する必要がある。本研究開発では、微燃性冷媒の燃焼性・爆発性を実験的及び数値的に評価するとともに、実際の居住空間において発生しうる事故シナリオのハザード評価を目的とする。本研究開発で得られた成果は、微燃性冷媒を空調機器に適用する際のガイドラインの策定等に資するものと期待される。

### 1.3.2 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】

本開発研究の目標は、①新規の低 GWP 冷媒候補物質 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を明らかにすること、および②R1234ze (Z) を含む HFO 系冷媒、HFC 系冷媒、自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低 GWP 混合冷媒の中から業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒を探求・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ことにあり、九州大学と再委託先であるいわき明星大学、九州産業大学および佐賀大学と共同で実施する。以下、各研究開発項目の担当組織と目標を示す。

#### ①R1234ze (Z) の基本物性およびサイクル性能に関する研究

R1234ze (Z) の化学的性質、熱力学的性質の測定、輸送的性質の測定、伝熱特性の測定およびサイクルの基本特性の評価を行う。

##### (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基礎的な特性を明らかにする。

##### (b) R1234ze (Z) の熱力学的性質の測定 (担当：いわき明星大学および九州産業大学)

いわき明星大学は R1234ze (Z) の臨界定数、温度-圧力-比体積の関係、飽和蒸気圧および飽和密度を測定し、それらの物性情報を取得する。九州産業大学は上記の測定データおよび収集した熱物性値情報に基づき、R1234ze (Z) の状態方程式を作成する。

##### (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測定と R1234ze (Z) の液相における粘度測定を行い、それらの物性情報を取得する。ついで、測定した熱伝導率および粘度に関するデータに基づき、それらを計算するための相関式を提供する。

##### (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・流動特性の測定を行い、熱交換器の設計に有用なデータベースの構築を行う。

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

九州大学は、R1234ze (Z) のサイクル特性をドロップイン試験により評価し、本冷媒候補物質の適用温度領域を明らかにする。佐賀大学は、サイクル予測計算を行い、本ドロップイン試験の結果を検証する。

#### 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 (Z) を含む HFO 系冷媒、HFC 系冷媒、自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低 GWP 混合冷媒の中から業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒を選定し、その混合冷媒の熱物性の測定、伝熱特性の測定およびサイクル性能の評価を行う。

##### (a) 低GWP混合冷媒の探求・選定 (担当：九州大学およびいわき明星大学)

九州大学といわき明星大学と共同で、HFO系冷媒、HFC系冷媒、自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低GWP混合冷媒の熱力学的サイクル性能解析を行い、業務用空調機器用冷媒として適した低GWP混合冷媒候補の選定を行う。

##### (b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定 (担当：いわき明星大学および九州産業大学)

いわき明星大学は、選定した低GWP混合冷媒候補の臨界軌跡、温度-圧力-比体積-組成の関係、気液平衡性質および臨界軌跡を測定し、物性データを取得する。九州産業大学は、上記の測定データと収集した熱物性情報に基づき、混合冷媒の状態方程式の作成を行う。

##### (c) 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定 (担当：佐賀大学)

選定した低GWP混合冷媒候補の液相および気相における熱伝導率測定と液相における粘度測定を行い、物性データを取得する。ついで、それらの測定データより、低GWP混合冷媒候補の熱伝導率および粘度の相関式を提供する。

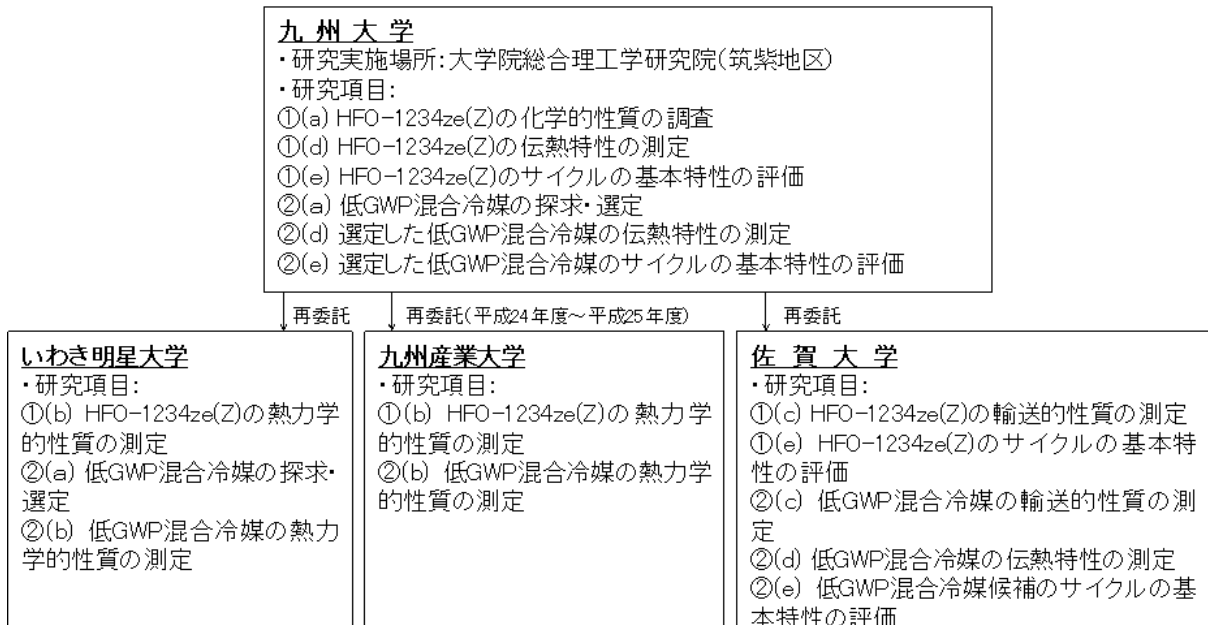
(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定（担当：九州大学および佐賀大学）

九州大学と佐賀大学とで分担して、選定した低GWP混合冷媒候補の凝縮および蒸発伝熱特性の測定を行い、熱交換器の設計に有用なデータベースの構築を行うが、九州大学は、低GWP混合冷媒候補の円管内、扁平管内および円管外の伝熱特性の測定を担当し、佐賀大学は低GWP混合冷媒候補のプレート熱交換器内伝熱特性の測定を担当する。

(e) 低GWP混合冷媒候補のサイクルの基本特性の評価（担当：九州大学および佐賀大学）

九州大学は、ドロップイン試験により GWP を抑制した R1234ze(E)/R32/R744 系混合冷媒のサイクル性能評価を明らかにする。佐賀大学はドロップイン試験結果と比較するためのサイクル性能予測計算を行う。九州大学はドロップイン試験とサイクル性能計算の結果を総合して、R1234ze(E)/R32/R744<sub>2</sub>系混合冷媒の業務用空調機への適用可能性を明らかにする。

以上の研究開発を行うための研究実施体制を以下に示す。



### 1.3.3 エアコン用低 GWP 冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

(A) エアコンの性能評価法の確立（担当：東京大学）

(A-1) エアコンの使用実態の把握

使用実態の把握を終え、得られた結果を JIS の改訂に利用する。

(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

本研究プロジェクトで取得するエアコンのデータ、既存研究データ、メーカー等に協力してもらい収集する実運転データを集積し、業務用エアコンの部分負荷特性を評価する方法を提案する。

(A-3) 低 GWP 冷媒の熱交換器性能，サイクル性能の評価

R-1234yf や R32 およびこれらを用いた混合冷媒の熱交換性能を明らかにし、平滑管内の蒸発器性能、凝縮器性能を示す実験式を提案する。

(B) 室内への冷媒リーク時の安全性評価（担当：東京大学）

(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

冷媒濃度の時間的推移を計算し、可燃範囲に入る条件を明らかにすることで、着火可能性評価へ

とつなげる。

**(B-2)熱分解，燃焼後の HF 濃度解析**

熱分解、燃焼により発生する HF の濃度を測定する装置を完成させ、R-1234yf および R-1234ze の HF 発生濃度を求め、従来冷媒（HFC）との比較データを提供する。

**(B-3)リスク評価**

日本冷凍空調学会内に微燃性冷媒研究会を設置し、微燃性冷媒のリスク評価のための基礎データを収集し、それらを用いたリスク評価を実施し、第三者評価を行う。

**(C) ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価（担当：産業技術総合研究所）**

R-1234yf、R-1234ze(E)、R-32、R-717 等の 2L 冷媒単体について、我が国の使用環境を考慮した高温・高湿度条件下における燃焼限界、燃焼速度の測定を行い、可燃濃度範囲、最大燃焼速度を明らかにする。また、可燃濃度範囲に関しては、R-410A や R-134a 等の不燃性冷媒についても同様の測定を行って、条件により不燃から可燃に変化しないか確認する。R-1234yf、R-32 の燃焼生成物を明らかにすると共に、再現性・一般性を考慮した熱分解生成物の測定を開始する。

**(D) ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発（担当：産業技術総合研究所）**

放電時間可変の直流放電及び交流放電を用いた最小着火エネルギー測定装置を立ち上げ、R-1234yf、R-32、R-717 等の 2L 冷媒単体について、乾燥空気中の最小火花着火エネルギーを明らかにすると共に、消炎距離の測定を行い最小火花着火エネルギーとの相関を検討することで、最小火花着火エネルギーの測定値の信頼性を検証する。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### 2.1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

##### 2.1.1.1 CO<sub>2</sub>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】

本研究開発の目標として次の2項目を挙げた。

〔目標 1〕 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<sub>2</sub>空調サイクルの開発

〔目標 2〕 高効率 CO<sub>2</sub>空調サイクルの実現に必要な、高効率な空調用「圧縮機一体型膨張機」及び関連機器の開発

日程を下表に示す

表 2.1.1.1-1 研究開発計画と経過

計画 ←→  
実績 ←- - ->

年度 研究 開発項目	H23 年度	H24 年度	H25 年度
高効率の業務用CO <sub>2</sub> 空調 サイクルの開発	従来フロン機の運転特性調査 ←→ ←- - ->		
	新インジェクションサイクルの詳細検討及 びシミュレーションによる COP 試算 ←→ ←- - ->		
	予備試験機 作製・評価	←→ ←- - ->	
		サイクル制御性確立 ←→ ←- - ->	
	多段サイクル用圧縮機の 作製・評価	←→ ←- - ->	
		膨張機を搭載した新インジェク ションサイクルのシステム作成	←→
		Proto0 システム機評価に よる効果の確認	←→
空調用の高効率圧縮機一 体型膨張機及び関連機器 の開発	空調サイクル向けの膨張機的设计 ←→ ←- - ->		
	Proto0 号機試作・評価 ←→ ←- - ->		
体積効率向上策の抽出と改善 (シミュレーション)	←→ ←- - ->		
膨張機 Proto1 及び 2 号機試作評価		←→ ←- - ->	
	Proto1 耐久評価	←→	↔
	熱交換器設計 試作・評価	←→ ←- - ->	
	圧縮機一体型膨張機 Proto3 号機(密閉型)の試作・評価		←→
		膨張機量産仕様の決定	←→

### 2.1.1.2 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】

空調用に CO<sub>2</sub> 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、CO<sub>2</sub> 冷媒では、超臨界サイクルとなるため 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）、放熱時に冷却損失が大きく増加する。また差圧が HFC 冷媒比で約3倍となり、膨張損失が増加して、空調用途では従来冷媒に比べて冷房定格 COP が 60%程度まで低下するという大きな課題がある。

本研究開発では、その課題を解決するために、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。

そこで、コンパクトな高効率化サイクルを実現するための要素機器（圧縮機や熱交換器など）の技術開発およびそれらを組み込んだシステムの性能評価に取り組む。図 2.1.1.2-1 に CO<sub>2</sub> 冷媒を用いた高効率ビル用マルチ空調機のイメージを示す。また、研究開発計画は表 2.1.1.2-1 に示す通りである。

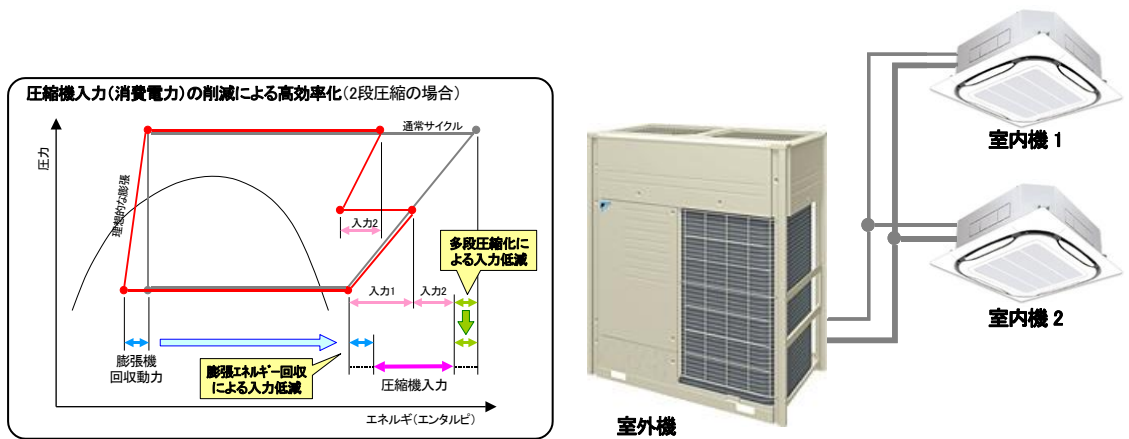


図 2.1.1.2-1 CO<sub>2</sub> 冷媒を用いた高効率ビル用マルチ空調機イメージ

表 2.1.1.2-2 研究開発計画

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		目標性能達成の見通しを得る	目標性能達成
	要素基礎評価	一次性能評価	二次性能評価
		機能部品の試作または調達	膨張機試作



### 2.1.1.3 CO<sub>2</sub>-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】

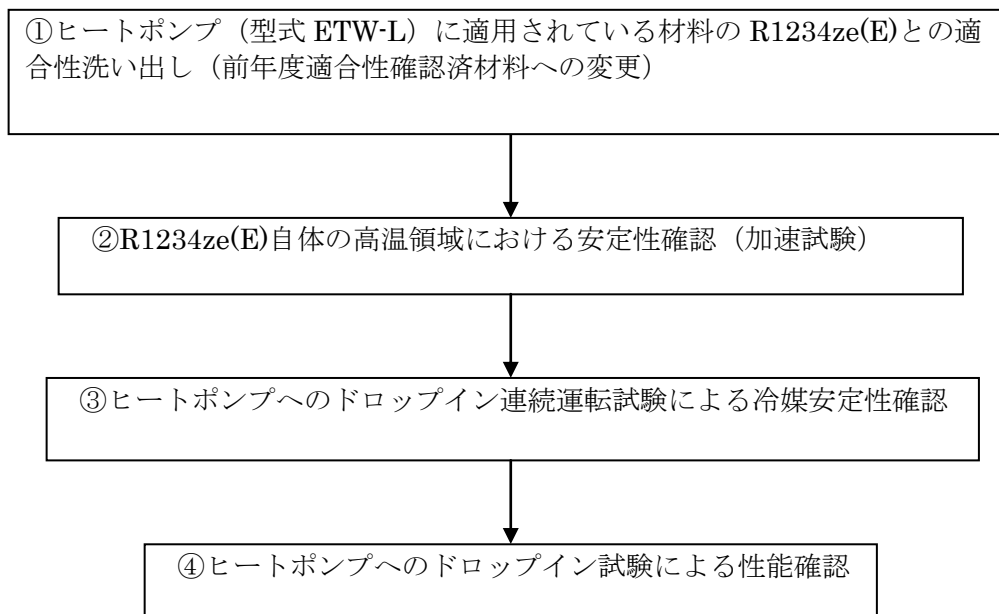
低温室効果冷媒を用いた業務用空調機器技術を開発するために、以下の研究開発を実施する。

- [1] 低温室効果冷媒の選定と新冷媒対応の基本冷凍サイクルの考案
  - ①CO<sub>2</sub>冷媒、HFO 系冷媒、HFC、HC などの冷媒の中から候補冷媒を選定する。
  - ②大きな温度勾配に対応する冷凍サイクルを考案する。
  - ③混合系冷媒の特性解析ソフトを開発し、冷凍サイクルシミュレーションを行う。
- [2] 新冷媒の性能評価
  - ①新冷媒を評価する原理評価試験機（水冷チラー試験装置）を製作し、冷凍能力、COP などを測定する。
  - ②実機（5 馬力クラスのパッケージエアコン）へのドロップイン性能評価を実施する。
- [3] 新冷媒対応内部熱交換器の開発
  - ①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を開発する。
  - ②内部熱交換器内の伝熱特性をモデル化し、新冷凍サイクルに必要なとなる熱交換器の諸元を決定する。
- [4] 新冷媒の材料安定性評価および燃焼性評価
  - ①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り、材料安定性評価（熱的・化学的安定性、コンタミ安定性）を実施する。
  - ②新冷媒の燃焼性評価方法を検討し評価する。
  - ③候補新冷媒について、空調機でドロップイン試験を行い、各要素部品の問題点の抽出を行う。
- [5] 新冷媒対応のサイクル制御技術の開発
  - ①温度勾配を有する新冷媒を用いても、高効率な空調運転を安定的に機能させるシステム安定化制御技術を開発する。
  - ②各種負荷に対応した最適サイクル制御技術を開発する。

	2 3 年度（実績）	2 4 年度（実績）	2 5 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 <sub>2</sub> -HFO 系冷媒の選定	数種の新冷媒を選定		
1-2 新冷媒対応の冷凍サイクル検討	新冷凍サイクル決定		
1-3 冷凍サイクルシミュレーション	冷媒解析ソフトの作成		
[2] 新冷媒の性能評価			
2-1 評価用原理評価試験機的设计、製作	設計・製作	性能確認	
2-2 原理評価試験機での新冷媒性能評価		新冷媒の性能評価	
2-3 実機ドロップイン性能評価			試作・改良・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	業者選定と試作熱交決定		
3-2 内部熱交換器の開発		内部熱交換器の伝熱特性計算・評価	試作・改良・評価
[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	熱的・化学的安定性評価		
4-2 コンタミ安定性評価		コンタミ安定性評価	材料決定
4-3 実機ドロップインによる簡易耐久試験	問題点の抽出		
4-4 燃焼性評価方法の検討と評価		冷媒燃焼性評価	
[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			試作・改良・評価
5-2 APF を考慮した最適制御方法の開発			試作・改良・評価

#### 2.1.1.4 低GWP冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】

ヒートポンプの高温領域（最大 90℃）への R1234ze(E)適用性を検証するために、以下内容を実施した。



### 2.1.1.5 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】

本研究では低温室効果冷媒を用いた場合でも従来機（R410A機）以上の性能が確保できるよう、従来円管での細管化限界を越える代表直径1mm以下のパラレルフロー型扁平管熱交換器を採用し、性能向上と冷媒量削減の両立を狙う。具体的には、単体性能とパッケージエアコンに適用した場合のユニット性能を評価し、実用化課題を抽出する。また、パラレルフロー型熱交換器では冷媒の分岐数が従来に比べ多くなるため、低温室効果冷媒の採用で生じる圧力損失特性を大幅に低減できるが、一方で冷媒分配が大きな技術課題となる。具体的な技術課題に対応した検討内容を列挙すると下記となる。

- [1]パラレルフロー型扁平管熱交換器の特性把握
- [2]高性能冷媒分配器の開発
- [3]パッケージエアコンでの性能評価と分析

上記課題に対応した実施計画を下記に示す。現時点では、概ね計画通りの進捗である。

研究開発項目	H23 年度				H24 年度				H25 年度				H26 年度				H27 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	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
<b>I. 研究開発</b>																				
<b>[1]パラレルフロー型扁平管熱交換器の特性把握</b>																				
(a) 管外伝熱性能	室外用								☆中間評価後 事業継続判断											
・管外性能測定									室内用											
・無次元整理式作成 と仕様適正化									冷媒評価											
・管外状態観察と測定 (熱通過、排水、着霜)									冷媒評価											
(b) 管内伝熱性能									蒸発											
・低温室効果冷媒の伝熱測定 (蒸発)									凝縮											
・低温室効果冷媒の伝熱測定 (凝縮)									凝縮											
・矩形流路の影響及び 整理式作成																				
・扁平管伝熱予測シミュ レータ作成																				
(c) 熱交換器シミュレータ 作成																				
<b>[2]高性能冷媒分配器の開発</b>																				
(a) ヘッダー分配器 の二相分配特性把握	姿勢の影響評価				一次試作評価				一次試作評価				二次試作評価				二次試作評価			
(b) 気液分離器の適用検討																				
<b>[3]パッケージエアコン での性能評価</b>																				
(a) 扁平管熱交換器の室外 機搭載構造検討																				
(b) 室外機搭載試験																				
・ドロップイン試験																				
・扁平管搭載試験																				
(c) 扁平管熱交換器の室内 ユニット搭載構造検討																				
(d) シミュレーションによ る実機搭載効果定量化																				
(e) 室内外ユニット改善総 合評価																				

※色塗り項目 1 - [1] - (a) の一部、1 - [1] - (b)、1 - [1] - (c) は、共同研究先（東京大学）での実施項目である。

必要条件 A：室外熱交換器性能（AK 値）+50%、圧力損失±0%（対当社現行熱交換器比）

必要条件 B：高性能冷媒分配器の開発完了（均等分配、完全液分配の実現）

必要条件 C：室内熱交換器性能（AK 値）+50%、圧力損失±0%（対当社現行熱交換器比）

必要条件 A が満たされない場合の計画変更：1 - [3] - (b) の終了年延期 例. H25 年度→H26 年度

必要条件 B が満たされない場合の計画変更：1 - [3] - (b) の終了年延期 例. H25 年度→H26 年度

必要条件 C が満たされない場合の計画変更：1 - [3] - (e) の終了年延期 例. H27 年度→H28 年度

## 2.1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

### 2.1.2.1 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】

業務用空調機器用高効率かつ低温室効果の新冷媒を開発する。

具体的には、新冷媒の分子設計・合成試作を行うと共に、得られた新冷媒の基本特性評価（沸点、蒸気圧等）、環境影響評価（GWP 値）、安全性（毒性）および熱力学特性評価を行う。

これらの研究成果を踏まえ、新冷媒の選定を行う。

選定された新冷媒の冷凍機油および各種空調機器構成材料との適合性を評価すると共に、冷凍サイクル特性を評価することにより、業務用空調機器用高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発を行う。

なお、環境影響評価については、産業技術総合研究所へ研究委託を行う。具体的には新冷媒と OH ラジカルとの反応速度および赤外吸収スペクトルの測定結果に基づき GWP を算出する。また、新冷媒と OH ラジカルとの分解生成物を明らかにすると共に大気中における分解経路を明らかにする。

	H23 年度	H24 年度	H25 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			

図 2.1.2.1-1 新冷媒の開発スケジュール

### 2.1.3 冷媒の性能、安全性評価

#### 2.1.3.1 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 諏訪東京理科大学】

本研究開発は、以下の5つの研究開発項目により構成した。

- ① 微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価（産業技術総合研究所安全科学研究部門へ再委託）

作業不良や経年劣化等による配管破損箇所等から、室内に漏洩した微燃性冷媒が、漏洩空間内の着火源により着火した場合の燃焼影響・爆発影響を検討、検証するために、以下の項目を実施する。

  - (a) 事故シナリオの検討に基づくハザード評価  
事故シナリオを模擬する漏洩箇所、漏洩量、着火時期等の条件に対して、必要に応じ実規模の燃焼爆発実験またはシミュレーションを行う。
  - (b) 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、密閉爆発容器内で微燃性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。
- ② 微燃性冷媒の過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価（産業技術総合研究所安全科学研究部門へ再委託）

空調機器の配管内に空気が混入するなど、限られた空間で予混合気を形成した場合、ないしは空間に微燃性冷媒が漏洩した場合を想定し、長時間熱源に接するなど過剰なエネルギーが加わった場合の燃焼爆発特性を明らかにするために、以下の項目を実施する。

  - (a) 事故シナリオの検討に基づく予混合・漏洩条件評価  
微燃性冷媒を使用する空調機器での、事故シナリオ洗い出し作業（別途実施）と連携し、配管内で形成される予混合気や、配管からの漏洩条件を検討する。
  - (b) 過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価  
(a)で検討される条件において、長時間熱源に接するなど極端にエネルギーが加えられた場合の着火実験（着火源として最悪を想定）を実施し、安全性を評価する。
- ③ 暖房機器と同時使用時の安全性評価（東京理科大学担当）

居住空間において、空調機器から微燃性冷媒が漏洩した場合に、暖房機器が着火源となつて着火するか否かを把握するとともに、熱分解生成物発生濃度を把握する。そのために以下の項目を実施する。

  - (a) 試験室および試験装置製作  
6畳程度の床面積を持ち、機密性が高く爆風圧に耐えうる試験室を建設する。試験室内に、微燃性冷媒搭載予定の空調機器及び着火源となる暖房機器を配置する。測定項目は、冷媒濃度、燃焼生成物濃度、温度等とし、これらを精度良く計測できる測定系を構成する。
  - (b) 着火特性・燃焼生成物評価試験  
エアコン吹き出し口から試験室内へ冷媒を所定量漏洩させ、室内で同時使用されている暖房機器による冷媒の着火の有無を観察するとともに、冷媒濃度分布、試験室内温度、着火源温度、燃焼生成物濃度等を計測する。試験条件として空調機器運転の有無、暖房機器の種類、冷媒漏洩量を変化させる。冷媒種類については、R32、R1234yf、R1234ze(E)など及び、従来市場において広範囲に用いられてきたR410Aなどを対象とする。
- ④ サービス・据え付け時の安全性評価（東京理科大学担当）

空調機において、可燃性冷媒を使用する基準を定めた国際規格である IEC60355-2-40 においては、サービス・据え付け時の取扱基準が定められ、プロパンなどの強燃性冷媒と微燃性冷媒が全く同じ取扱基準となっている。中には、微燃性冷媒にとっては過剰に厳しい取扱い制約事項も散見されることから、今後、微燃性冷媒に適した取扱基準が議論される予定である。こうした国際規格の議論を先導することを視野に、本研究開発項目では、サービスや据え付けの作業空間に冷媒が漏洩し、そこにバーナー等一般にサービス・据え付け時に存在しうる着火源を想定して、着火条件および消炎挙動も含めた火炎伝播挙動を実験的に把握する。

  - (a) 実験装置の製作  
冷媒を漏洩・滞留させるために、その内面が視認できる試験空間を製作する。さらい、

実際にサービス・据え付け時に存在しうる着火源を調査・選定し、これを試験空間で移動させて着火させることのできる着火装置を製作する。さらにサービス・据え付け時の配管系統からの冷媒漏洩とこれに伴う着火危険性を評価するための試験装置を設計・製作する。

(b) 着火特性把握試験

試験空間内に冷媒を漏洩・滞留させて、着火前の冷媒濃度分布を計測する。着火源を移動させて着火の有無を確認するとともに、火炎挙動、着火地点の冷媒濃度、温度等を計測する。試験条件として、着火源、冷媒漏洩量、冷媒種類等を数種類設定する。さらに、サービス・据え付け時の配管系統からの冷媒漏洩特性と着火特性、着火時の周囲へ及ぼす熱的危険性等を実験的に評価する。

⑤ 多室型空調機の急速漏洩を想定した安全性評価試験（東京理科大学担当）

複数の室内機を同一の冷媒系統で連結した多室型空調機システムは、我が国の空調機メーカーが世界に先駆けて開発してきたものであり、設計施工の簡便性、個別分散空調が可能なゆえの柔軟性、直膨式ゆえの省エネルギー性を備えており、国内のみならず、世界市場で多く用いられている。このシステムは、室内外機ユニット数が1対1の空調システムに比較して、室内機が複数であり、冷媒配管長も長くなることから、1つの冷媒系統が備える冷媒充填量が多くなっている。従って冷媒が漏洩した場合の温暖化影響が大きいこともあり、微燃性冷媒採用による低GWP化が特に望まれている。1対1空調システムに比較して漏洩時の冷媒量が多くなるので、室内の可燃域の大きさが拡大したり、可燃性混合気の存在時間が長くなる可能性がある。そのため、1対1システムとは異なった安全性評価を行う必要がある。

(a) 試験装置の製作

多室型空調機からの冷媒漏洩を模擬できる、冷媒漏洩配管系統および試験空間を製作する。これに対応して、冷媒濃度および燃焼生成物濃度等の計測装置を構成する。

(b) 冷媒漏洩試験

多室型空調機からの冷媒漏洩を模擬して、所定量の冷媒を試験空間に漏洩させて、漏洩速度および冷媒濃度分布を計測する。単室型空調機での試験の結果との比較により、多室型空調機を用いた場合の濃度分布特性を明らかにする。

(c) 着火特性評価試験

上記(b)で行った冷媒漏洩条件において、着火源を設定しこれを適宜移動させる等により、着火時の濃度条件、温度条件、燃焼生成物の濃度等を明確にする。単室型空調機での結果との比較により、多室型空調機を用いた場合のフィジカルハザードを明確化する。試験条件として冷媒量や着火源、冷媒種類を数段階設定し、多室型空調機に搭載される微燃性冷媒の漏洩に伴う着火危険性を評価するためのデータを蓄積する。

図 2.1.3.1-1, 2 に本研究開発の実施計画線図を示す。

事業項目	平成 23 年度				平成 24 年度				平成 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
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・漏洩条件評価					→							
(b) 過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価							→					

図 2.1.3.1-1 研究開発実施計画線図（産総研安全科学研究部門担当分）

事業項目	平成 23 年度				平成 24 年度				平成 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
③暖房機器と同時使用時の安全性評価												
(a) 試験室及び試験装置の製作		→										
(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												
(c) 試験装置の製作					→							
(d) 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										→	→	
まとめ												→

図 2.1.3.1-2 研究開発実施計画線図（東京理科大学担当分）



### 2.1.3.2 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】

#### ①R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究

R1234ze(Z)の化学的性質（毒性および燃焼性）の調査，熱力学的性質（臨界定数，温度-圧力-比体積の関係，飽和蒸気圧および飽和密度）の測定，輸送的性質（熱伝導率，粘度）の測定，管内伝熱特性の測定およびサイクルの基本特性の評価を行う。

##### (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国内外研究情報の調査を行うとともに，安全性に関する基礎的な試験（毒性試験および燃焼試験）を外注によって実施する。

##### (b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定（担当：いわき明星大学および九州産業大学）

いわき明星大学はR1234ze(Z)の臨界定数，温度-圧力-比体積の関係，飽和蒸気圧および飽和密度を混合冷媒用に開発した現有の臨界軌跡測定装置およびPvTx測定装置を用いて測定する。一方，九州産業大学は上記の測定データおよび収集した熱物性値情報に基づき，R1234ze(Z)の状態方程式を作成する。

##### (c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定（担当：佐賀大学）

現有の熱伝導率測定装置を改造して，R1234ze(Z)の液相および気相における熱伝導率を測定する。また，現有の粘度測定装置を改造して，R1234ze(Z)の液相における粘度を測定する。ついで，測定した熱伝導率および粘度に関するデータに基づき，それらを計算するための相関式を提供する。

##### (d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定（担当：九州大学）

R1234ze(Z)の熱力学的性質が明らかにされた後に，現有の冷媒管内伝熱特性試験装置を改造して，R1234ze(Z)の管内凝縮および蒸発熱伝達・流動特性の測定を行い，熱交換器の設計に有用なデータベースの構築を行う。

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

R1234ze(Z)の熱力学的性質が明らかにされた後に，R1234ze(Z)のサイクル特性の評価を九州大学と佐賀大学とで以下のように分担して行う。

九州大学は冷媒としてR1234ze(Z)を用いる場合の適用温度範囲を定めるためのドロップイン試験を現有の水熱源ヒートポンプサイクル試験装置を改造して行う。また，それらの試験結果と佐賀大学のサイクル性能予測計算結果との比較を行う。一方，佐賀大学は，ドロップイン試験結果と比較するためのサイクル性能の予測計算を担当する。

#### 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(Z)を含むHFO系冷媒，HFC系冷媒，自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低GWP混合冷媒の中から業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒候補を選定し，その混合冷媒の熱物性の測定，管内（円管および扁平管内）および管外伝熱特性の測定およびサイクル性能の評価を行う。

##### (a) 低GWP混合冷媒の探求・選定（担当：九州大学およびいわき明星大学）

低GWP混合冷媒の探求・選定を，九州大学およびいわき明星大学とで以下のように分担して行う。

いわき明星大学はHFO系冷媒，HFC系冷媒，自然冷媒などを組み合わせることによって得られる数種類の低GWP混合冷媒に関する簡易状態方程式の作成を試みる。九州大学は，それらの状態方程式を用いて熱力学的サイクル性能解析を行い，業務用空調機器用冷媒として適した低GWP混合冷媒候補の選定を試みる。

##### (b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定（担当：いわき明星大学および九州産業大学）

いわき明星大学は，選定した低GWP混合冷媒候補の臨界軌跡，温度-圧力-比体積-組成の関係，気液平衡性質および臨界軌跡を，現有の臨界軌跡測定装置およびPvTx測定装置を用いて測定する。また，九州産業大学は，上記の測定データと収集した熱物性情報に基づき，混合冷媒の状態方程式の作成を試みる。

##### (c) 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定（担当：佐賀大学）

改造した熱伝導率測定装置を用いて，選定した低GWP混合冷媒候補の液相および気相における熱伝導率を測定する。また，改造した粘度測定装置を用いて液相における粘度を測定する。

ついで、それらの測定データより、低GWP混合冷媒候補の熱伝導率および粘度の相関式を提供する。

(d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定（担当：九州大学および佐賀大学）

選定した低GWP混合冷媒候補の凝縮および蒸発伝熱特性の測定を行い、熱交換器の設計に有用なデータベースの構築を、九州大学と佐賀大学とで以下のように分担して行う。

九州大学は現有の管内伝熱試験装置を用いて、低GWP混合冷媒の円管内および扁平管内伝熱特性の測定を行う。また、九州大学は管外伝熱試験装置を製作して、単管上の伝熱特性の測定を行う。一方、佐賀大学はプレート熱交換試験装置を製作して、低GWP混合冷媒候補のプレート熱交換器内伝熱特性の測定を担当する。

(e) 低GWP混合冷媒候補のサイクルの基本特性の評価（担当：九州大学および佐賀大学）

まず、GWPを抑制した R1234ze(E)/R32/R744 系混合冷媒のサイクル性能評価を九州大学と佐賀大学とで以下のように分担して行う。

九州大学は現有の水熱源ヒートポンプサイクル試験装置を改造して、R1234ze(E)/R32/R744 系混合冷媒のドロップイン試験を行う。一方、佐賀大学はドロップイン試験結果と比較するためのサイクル性能予測計算を行う。そして、九州大学はドロップイン試験とサイクル性能計算の結果を総合して、R1234ze(E)/R32/R744系混合冷媒の業務用空調機への適用可能性を明らかにする。

ついで、上記研究項目②(a)において選定した低 GWP 混合冷媒候補について、九州大学は水熱源ヒートポンプ試験装置を用いたドロップイン試験を行い、佐賀大学はサイクル性能解析を行う。そして、九州大学はドロップイン試験とサイクル性能計算の結果を総合して、選定した低 GWP 混合冷媒候補の業務用空調機への適用可能性を検討する。

以下に H23 年度から H25 年度までの研究開発スケジュールを示す。

[H23 年度～H25 年度の研究開発スケジュール]

事業項目	H23年度	H24年度	H25年度
<b>①R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究</b>			
(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 高温高圧域の圧縮液粘度測定・相関式作成	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 円管内伝熱試験	
(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)	モデルの検討	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
<b>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</b>			
(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	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) ・プレート熱伝(佐賀大学)	装置改造 管内伝熱試験	装置改造 管外伝熱試験 装置設計・製作 プレート熱伝試験	装置改造 管内伝熱試験 管外伝熱試験 プレート熱伝試験
(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)	装置改造 モデルの検討	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
	プログラム作成 基本サイクル計算	熱交換・圧力損失を考慮した計算	

### 2.1.3.3 エアコン用低 GWP 冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

#### (A) エアコンの性能評価法の確立（担当：東京大学）

##### (A-1) エアコンの使用実態の把握

APF 評価法の改善に貢献するために、以下の項目を実施する。

- ・ エアコンに関する日本工業規格（JIS）では APF を算定するにあたって、エアコンの使用時間を想定している。適切な APF 評価を行うために使用実態（外気温度条件、使用時間等）の調査を行う。
- ・ エアコン形態に対応する使用実態を調査するために、ユーザーやオーナーに対するアンケート調査、電力計を設置した設備についてはそのデータに基づく使用時間調査を実施する。
- ・ 冷房および暖房の使用実態を一日の運転時間だけではなく、一日の中の使用時間のパターンを統計的に整理し、外気温の発生時間データとの関係を整理する。
- ・ 平成 23 年度から開始し、24、25 年度に実施する。

##### (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

JIS に基づく APF 値と実態との乖離を埋めるために以下の項目を実施する。

- ・ パッケージエアコン、ビル用マルチエアコン、二次冷媒を用いるエアコンを対象として、部分負荷特性および快適性を確保するための試験条件の設定法について比較、評価する。
- ・ JIS で考慮が不十分な部分負荷特性を明らかにするために、コンプレッサカーブ法（CC 法）と呼ばれる性能評価法の確立を目指す。従来の冷暖房能力の測定法は、エアコンから吹き出される空気の熱量を測定するものであるが、それでは実際に設置された機器の能力を測定できない。CC 法はエアコンの運転状況を計測することによって冷暖房能力を測定するもので、実機でも計測できる利点がある。CC 法の欠点として、断続運転時の性能測定が困難な点が指摘されているので、その問題を解決する方法を検討する。
- ・ 平成 23 年度に CC 法測定準備を行い、24 年度からカロリメータ室を用いて研究を行う。
- ・ 上記研究成果を用いて、JIS 試験から推定する部分負荷特性と、実測される部分負荷特性を比較し、評価法の改善を目指す。

##### (A-3) 低 GWP 冷媒の熱交換器性能、サイクル性能の評価

R-1234yf や R32 といった低 GWP 冷媒、およびこれらを用いた混合冷媒と、従来冷媒の性能を比較するために以下の項目を実施する。

- ・ 熱交換器性能、サイクル性能を、実験とシミュレーションを用いて比較、評価する。
- ・ 蒸発器での性能を明らかにするために、R1234yf と R32 を対象として、純冷媒、混合冷媒（R-1234yf のみ）、潤滑油を含む場合の性能試験を行い、伝熱予測モデルを提案する。
- ・ 凝縮器での性能を明らかにするために、R1234yf と R32 を対象として、純冷媒、混合冷媒（R-1234yf のみ）、潤滑油を含む場合の性能試験を行い、伝熱予測モデルを提案する。
- ・ 平成 23 年度は既存の装置で計測を行うが、平成 24 年度に潤滑油を含む冷媒の凝縮器性能を試験するための装置を設置する。平成 25 年度には潤滑油を含む冷媒の蒸発器性能を試験するための装置を設置する。
- ・ サイクル性能に関しては、上記の伝熱性能予測モデルを用いて、性能解析を行い、従来の HFC 冷媒と同等の性能を有するシステムを提案する。

#### (B) 室内への冷媒リーク時の安全性評価（担当：東京大学）

##### (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

微燃性冷媒が可燃性範囲に入る条件を明らかにするために以下の項目を実施する。

- ・ 冷媒の漏洩シナリオを検討し、漏洩箇所、漏洩スピード、冷媒状態や室内状況を設定、分布濃度のシミュレーション解析を行う。
- ・ 平成 23 年度から 24 年度にかけて、単一室内への冷媒の漏洩を解析する。広く利用されている熱流体解析ソフトを用いて、室内の気流分布、冷媒の濃度分布を 3 次元で解析し、冷媒の可燃範囲にある条件を求める。
- ・ 平成 24 年度に冷媒漏洩シミュレーションの妥当性を実験的に証明するために、測定棟を建設する。冷媒放出後の冷媒濃度の時間的広がりについて測定し、可燃濃度体積の時間的推移を推定し、

冷媒漏洩シミュレーションと比較する。

- ・平成 25 年度にはビル用マルチエアコンを想定し、広い空間への漏洩、複数の室内への漏洩を解析する。

### (B-2)熱分解、燃焼後の HF 濃度解析

毒性があり、人的被害の原因になりうるフッ化水素 (HF) の安全評価を行うために以下の項目を実施する。

- ・R-1234yf や R-1234ze が熱分解または燃焼した際に生じるフッ化水素の濃度を従来冷媒 (R410A など) と比較する。
- ・平成 23 年度は R-1234yf や R-1234ze が高温壁に接したときに熱分解で発生するフッ化水素の量を測定する装置を設計する。フッ化水素は猛毒であるので、大学の安全基準に適合する除外装置を付属するドラフトを設置し、その中に試験装置を置いて試験する。フッ化水素濃度を HFC 冷媒と比較して、リスク評価の基礎データとする。
- ・平成 24 年度には熱分解試験装置を設置し、気流や熱源温度などを変化させて、フッ化水素の発生濃度を明らかにする。また、燃焼試験装置を設置し、冷媒を燃焼させる場合、火炎に接触させる場合の試験を行い、フッ化水素の発生濃度を明らかにする。
- ・平成 25 年度には、着火の可能性を検討するために、着火源モデルを検討し、着火可能性検討試験装置を製作し、試験する。

### (B-3)リスク評価

本 NEDO プロジェクト (他の委託事業も含む) で実施する低 GWP 冷媒 (微燃性) の安全性に関する研究成果や既存の研究結果を踏まえて、産業界と協力してリスク評価を実施する。

- ・平成 23 年度にリスク評価を実施する体制を作り、検討を開始する。
- ・平成 24 年度からリスク評価を実施する。平成 25 年度に微燃性冷媒の安全性に関する国際シンポジウムを開催し、世界的な合意形成を目指す。
- ・ポンプダウン運転時のディーゼル爆発の発生条件を検討し、リスク評価を行う。

## (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担当)

### (C-1)冷媒の実用上の燃焼限界評価方法の開発と評価

R-1234yf、R-1234ze(E)、R-32、R-717 (アンモニア) 等の 2L 冷媒単体や混合系冷媒、及び既存の R-410A、R-134a 等の冷媒について、日本での実用を考慮した温度、圧力及び湿度条件における燃焼限界を調べると共に、可燃性から不燃性まで連続的・統一的に評価する方法を開発する。R-1234yf 等の 2L 冷媒単体やその混合系冷媒、及び既存の冷媒について、燃焼、あるいは熱分解に伴う生成物を分析し、HF や COF<sub>2</sub> 等の生成量を明らかにする。

平成 23 年度は、R-1234yf、R-1234ze(E)、R-32、R-717 等の 2L 冷媒単体について、様々な温度、湿度条件で燃焼限界を調べる。R-1234yf、R-32 の燃焼生成物を明らかにすると共に、再現性・一般性を考慮した熱分解生成物測定法の検討と実験装置の試作を行い、予備的な実験を開始する。

平成 24、25 年度は、R-1234yf 等の混合系冷媒について、様々な温度、圧力及び湿度条件における燃焼限界を調べると共に、既存の R-410A、R-134a 等の不燃性冷媒についても同様の測定を行い、条件により不燃から可燃に変化しないか確認する。R-1234yf、R-32 の熱分解生成物の測定を行い、温度と生成物の関係を明らかにする。あわせて従来安全に使用されてきた R-22 等の不燃性冷媒の熱分解生成物の測定を行い、定量的に比較することにより、新冷媒の使用によって生成物由来のリスクが増大するかどうか明らかにする。

### (C-2)2L 冷媒の燃焼速度に及ぼす温度・湿度影響の評価

R-1234yf、R-32、R-717 等の 2L 冷媒単体及び混合系 2L 冷媒について、日本での実用を考慮した濃度、温度、及び湿度条件における燃焼速度の変化を実験的に調べる。比較のため、既存の冷媒 R-410A、R-134a 等の燃焼速度についても研究(C-1)で可燃であることが明らかになった場合には、温度及び湿度依存性を調べる。標準的な測定方法で評価が困難な場合には、他の方法の検討も行き最適な評価方法を明らかにする。

平成 23 年度は、R-1234yf、R-32、R-717 等の 2L 冷媒単体について、様々な濃度、温度、湿度条件で燃焼速度を調べる。

平成 25 年度は、R-1234ze(E)、及び種々の混合系 2L 冷媒について燃焼速度の濃度、温度、湿度依存性を明らかにする、研究(C-1)で可燃であることが明らかになった場合には、それらについて燃焼速度の温度及び湿度依存性を調べる。燃焼性が低すぎて浮力等の影響を受けることにより通常の条件で評価が不可能な場合には、微小重力下での測定を行い、信頼性の高い燃焼速度を求める。

#### (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担当）

##### (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

R-1234yf、R-32、R-717 等の 2L 冷媒単体及び混合系 2L 冷媒について、冷凍空調機器の電磁開閉器や静電気等の火花放電による着火を想定し、放電時間可変の直流放電、交流放電を用いて、放電時間・電極形状等と着火エネルギーの相関を調べ、これらの関係を明らかにする。

平成 23 年度は、R-1234yf、R-32、R-717 等の 2L 冷媒単体について、直流放電及び交流放電着火装置を用いて MIE を調べる。

平成 24 年度は、一般的な電磁開閉器で発生する火花のうち保守的な条件（電極間隔 2mm 程度、放電時間 3ms 程度）において、直流火花放電を用いて、R-1234yf 等の 2L 冷媒単体について、電極形状と着火エネルギーの関係を調べる。

平成 25 年度は、R-1234yf の 2L 冷媒単体について、電極形状と着火エネルギーの関係を調べる。

##### (D-2)2L 冷媒の実用条件の最小火花着火エネルギー（MIE）の評価

研究(C)において燃焼性の温度及び湿度の影響が顕著に現れた冷媒を中心に、最小着火エネルギーの温度及び湿度影響について調べる。様々な周辺環境条件による MIE を調べ、実用上生じうる火花放電による着火可能性の判定に資する。また、状況に応じて冷媒／空気混合気を満たした大型密閉容器内に、電磁開閉器など業務用空調機器において着火源となりうるパーツを配置し、パーツからの火花放電による着火試験を行い、基礎データとの相関を明らかにする。

本項目は、平成 24 年度から開始する。平成 24 年度は、冷媒／空気混合気を満たした大型密閉容器内に、電磁開閉器など業務用空調機器において着火源となりうるパーツを配置し、パーツからの火花放電による着火試験を行い、(D-1)及び(D-3)の基礎データとの相関を明らかにする。平成 25 年度は項目(C-1)、(C-2)で燃焼性の温度及び湿度の影響が顕著に現れた冷媒を中心に、最小着火エネルギーの温度及び湿度影響の測定を行い、実用条件における最小火花着火エネルギーを評価する。

##### (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

研究(D-1)及び(D-2)の結果を基に、科学的根拠に基づきかつ実用上の危険度評価に資する、2L 冷媒の評価に最適な最小着火エネルギー評価方法を開発する。また、消炎距離について測定を行い、最小着火エネルギーと消炎距離、燃焼速度等の他の燃焼性指標との相関を調べることにより、燃焼性パラメータから最小着火エネルギーを予測する方法の検討を行う。

平成 23 年度は、既存の装置を用いて消炎距離測定法の検討を行うと共に、着火用の電源装置を増強して大きな消炎距離が想定される微燃性冷媒に適した消炎距離測定法の検討を開始する。

平成 24、25 年度は、R-1234yf 等について装置条件、測定条件と消炎距離の関係を調べると共に、最小火花着火エネルギーと消炎距離の相関関係を検討する。また、平成 24 年度は、2L 冷媒の消炎隙間に相当する量を評価する方法を検討し、この値と消炎距離及び燃焼速度との関係、及び(D-2)の実機の着火試験との相関を明らかにし、2L 冷媒の実用化に向けた国際標準の整備に資する。燃焼性が低すぎて浮力等の影響を受けることにより通常の条件で評価が不可能な場合には、微小重力下での測定を行い、信頼性の高い消炎距離、消炎隙間を求める。

なお、今後有力な 2L 冷媒が開発された場合は、それについても随時燃焼限界、燃焼速度、着火エネルギーに関する測定、及び燃焼あるいは熱分解生成物を明らかにする。

実施計画  
 東京大学担当分

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												

産業技術総合研究所担当分

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
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												

## 2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は地球環境に影響の小さい低温温室効果冷媒を使用した業務用空調機器・システム及び冷媒の研究開発、さらに低温温室効果冷媒に関する性能、安全性評価の構築を目指すものである。

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

下図に示すように、本プロジェクトは新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の指名したプロジェクトリーダー及びサブプロジェクトリーダーの助言・指導、また別途有識者による成果評価確認のための技術委員会による進捗評価を得て、参加9事業者毎に事業を推進した。

委託先は、国立大学法人東京大学、国立大学法人九州大学、学校法人東京理科大学諏訪東京理科大学である。

助成先は、サンデン株式会社、ダイキン工業株式会社、パナソニック株式会社（旧三洋電機株式会社）、三菱重工業株式会社、三菱電機株式会社、旭硝子株式会社である。

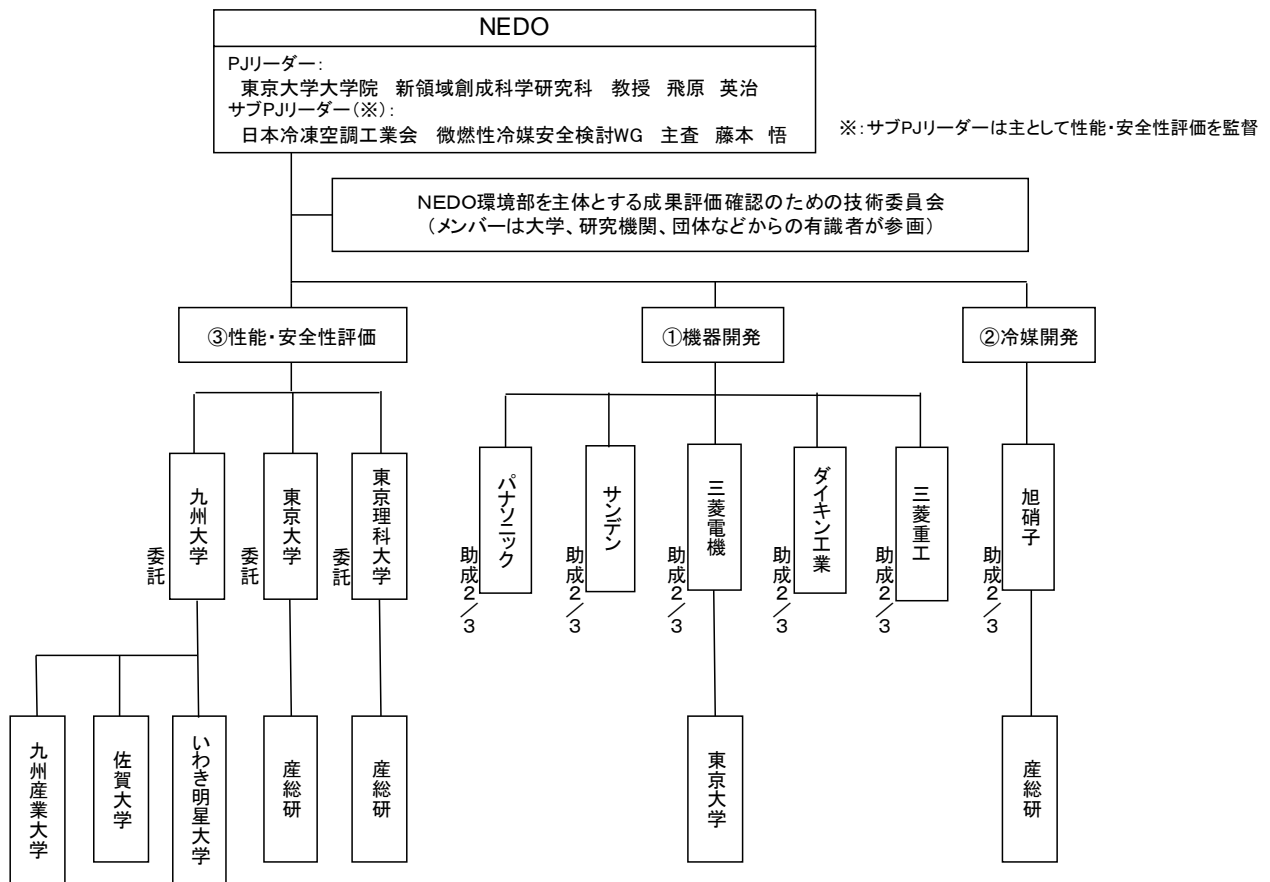


図 2.2.1 プロジェクトの実施体制全体図

## 2.3 研究の運営管理

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

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

運営管理の流れを以下に示す。

- (1) 月例報告（委託先／助成先より研究進捗報告書（月報）を提出）
- (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（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
  - ・ 評価基準に基づく評価（各年度末に実施）
- ↓
- (5) 絞り込み
  - ・ 次年度研究開発計画、予算の決定

## 2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

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

2) 技術委員会等において各事業者は実用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。

3) 標準化戦略・標準化活動（JIS、IEC等）

4) 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、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。

5) 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、各事業者の企業戦略（積極的な出願、ノウハウ秘匿のための出願抑制等）に沿った知的財産管理を推奨している。

・ 研究開発計画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。）



### 3. 情勢変化への対応

国内外の規制動向を注視しつつ、研究開発を実施。

#### 3.1 高圧ガス保安法

高圧ガス保安法 冷凍保安規則の規制体系の概要を図 3.1-1 に示す。

低温温室効果冷媒（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）により普及が困難となる。

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である。

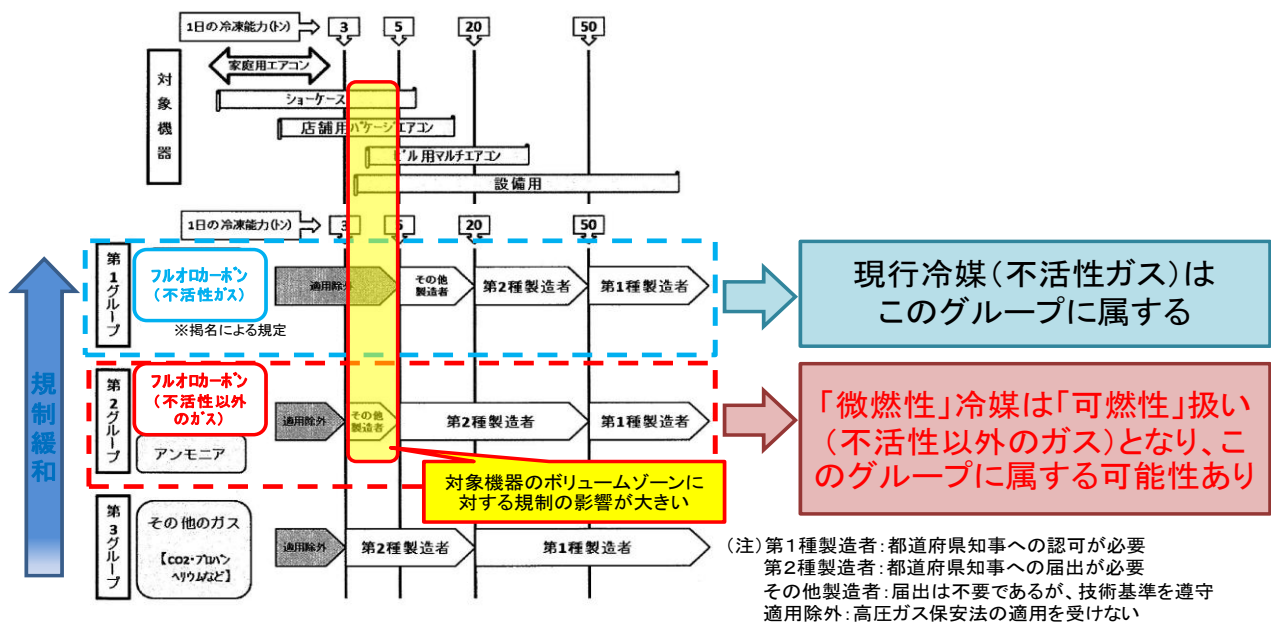


図 3.1-1 高圧ガス保安法 冷凍保安規則の規制体系の概要

#### 3.2 EU 指令

欧州では、F ガス規制により、発泡剤、エアゾール、消火剤など用途ごとに排出抑制や使用禁止措置などが決まっている。

カーエアコンについては、2011 年からの新型車への GWP150 以上の冷媒の使用禁止を定めていたが、代替冷媒の供給不足により、2013 年 1 月 1 日からの実施となった。

固定式冷凍空調機器については、冷媒充填量に応じて、検査義務や記録保管義務がある。現時点では本規制による定量的な効果は明らかになっておらず、効果の検証、制度の見直しが進められており、2012 年 11 月に規制の強化案が欧州委員会より提案された。

表 3.2-1 欧州 F ガス規制概要

固定式機器の検査 (Fガス規則 2007 年7月発効: 冷凍空調部分抜粋)

Fガス充填量	検査頻度	備考
3kg以上	1回／年以上	6kg未満で密閉システムとラベル表示される機器は対象外
30kg以上	1回／6か月以上 (漏洩検知システム付きであれば、 1回／年以上)	
300kg以上	1回／3か月以上 (漏洩検知システム付き であれば、 1回／6か月以上)	漏洩検知システムの設置が必要。漏洩検知システムは、 少なくとも年1回検査
<b>その他</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 漏洩修理後、1か月以内に修理の有効性を検査・確認。</li> <li>■ 3kg以上の機器を有する場合、オペレーターは以下の記録を保管             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 充填量、ガスの種類 (サービス時、保守時、最終処分時の追加量、回収量も含む)</li> <li>・ 作業を行った会社、作業者の身分証明、その他関連情報</li> <li>・ 検査日時、結果、検査対象機器の識別情報</li> </ul> </li> </ul> (記録は、要求があれば当局及び欧州委員会へ提示する場合有り)		

冷媒の種類 (カーエアコン指令 2006 年 7 月発効)

規制時期	規制の概要
2011年1月1日以降	新たに出荷される新型車には、GWPが150を超える冷媒を用いたエアコンを装着できない
2017年1月1日以降	全ての新車には、GWPが150を超える冷媒を用いたエアコンを装着できない

2008 年には新規低 GWP 冷媒である R-1234yf (ODP:0、GWP:4、大気寿命 11 日) が冷媒メーカーにより開発され、カーエアコン用次世代冷媒として日米の自動車業界で採用の検討が開始された。

先行プロジェクトである「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」(H17～H22) においては、NEDO が上記冷媒開発メーカーとコンタクトを取り、新規開発冷媒のサンプル提供についての了承を得ることに成功し、新規低 GWP 冷媒の定置式冷凍空調機への適用研究を世界に先駆けて実施している。

#### 4. 評価に関する事項

NEDO は、国の定める技術評価に係わる指針及び NEDO が定める技術評価実施要領に基づき、技術的及び実用化の観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成 25 年度に、事後評価を平成 28 年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

##### 1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

###### 1.1.1 CO<sub>2</sub>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】

環境負荷が少ない CO<sub>2</sub> を冷媒として、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<sub>2</sub> 空調サイクルを実現することを目的として、下記の研究項目を実施した。

- 圧縮機一体型膨張機を搭載した、高効率空調用多段サイクルの開発、制御性評価
- 高効率 CO<sub>2</sub> 空調サイクルの実現に必要な、「圧縮機一体型膨張機」の開発
- CO<sub>2</sub>用室外・室内熱交換器の開発

###### 1.1.2 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】

多段冷却圧縮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低減して高効率化を行い、従来の HFC 冷媒と同等レベルの性能を達成する CO<sub>2</sub> 冷媒を用いた高効率ビル用マルチ空調機の開発を目的として、下記の研究項目を実施した。

###### <圧縮機の開発>

- (1) 損失分析評価（損失評価機の設計製作，詳細測定試験，課題抽出，課題解決策の試作評価）
- (2) 一次試作評価（仕様検討，設計・製作，性能試験）
- (3) 二次試作評価（仕様検討，設計・製作，性能試験）
- (4) 信頼性評価（信頼性評価機の設計・製作，信頼性評価試験）

###### <空気熱交換器の開発>

- (1) 要求仕様評価（従来形式による熱交換器の試作，システム評価試験による要求仕様検討）
- (2) フィン金型試作およびフィン性能確認
- (3) 機能試作評価（基本仕様検討，モデル熱交換器の試作，性能評価）
- (4) 一次構造試作評価（仕様検討，設計・製作，性能評価はシステム評価試験にて実施）
- (5) 二次構造試作評価（仕様検討，設計・製作，性能評価はシステム評価試験にて実施）

###### <流路切換弁の開発>

- (1) 機能試作評価（基本仕様検討，モデル弁の設計，性能評価）
- (2) 一次構造試作評価（仕様検討，設計，性能評価はシステム評価試験にて実施）
- (3) 二次構造試作評価（仕様検討，設計，性能評価はシステム評価試験にて実施）

###### <内部熱交換器の開発>

- (1) 機能試作評価（基本仕様検討，モデル熱交換器の設計，性能評価）
- (2) 一次構造試作評価（仕様検討，設計，性能評価はシステム評価試験にて実施）
- (3) 二次構造試作評価（仕様検討，設計，性能評価はシステム評価試験にて実施）

###### <システム構成要素の試作または調達>

- (1) 膨張機の試作
- (2) その他機能部品の調達または試作

###### <システム性能評価>

- (1) 要素評価（各要素の基礎評価のためのシステム試験）
- (2) 一次性能評価（膨張機を除く全ての要素を組み込んだシステムの性能評価）

(3) 二次性能評価（全ての要素を組み込んだシステムの性能評価）

注）※印はH25年度実施予定

### 1.1.3 CO<sub>2</sub>-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】

自然冷媒のCO<sub>2</sub>冷媒、低温室効果冷媒であるHFO系冷媒などとの混合系冷媒による高効率業務用空調システムを開発すべく、従来のフロンを採用した業務用空調機器に対して10%以上の省エネ性の実現を目的として、下記の研究項目を実施した。

- [1]新冷媒の選定と新冷媒対応の基本冷凍サイクルの考案。また、新冷凍サイクル対応のサイクルシミュレータの開発及び混合冷媒性能特性マップ作成による候補冷媒組成の選定。
- [2]原理評価試験機の製作と新冷凍サイクル（内部熱交換サイクル）の性能検証。
- [3]新冷媒対応内部熱交換器の検討。
- [4]新冷媒の材料安定性評価および燃焼性評価。
- [5]新冷媒対応のサイクル制御技術の開発。

### 1.1.4 低GWP冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】

R1234ze(E)がヒートポンプの高温領域（～90℃）に対して適用可能かを検証することを目的に下記を実施。

- ・ヒートポンプ(三菱重工業製：型式 ETW-L)に適用されている材料のR1234ze(E)との適合性を洗い出し、適合材料への変更実施。
  - ・R1234ze(E)自体の高温領域における安定性を確認。
  - ・ヒートポンプへのドロップイン連続試験を実施し冷媒安定性を確認。
  - ・ヒートポンプへのドロップイン試験による性能確認。
- これらを検証、評価実施し高温領域(～90 )への適用が可能である事を確認できた。

### 1.1.5 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】

低GWP冷媒を用いた場合の性能低下抑制を目的として、下記の研究項目を実施した。

#### [1]パラレルフロー型扁平管熱交換器の特性把握

##### (a)管外伝熱性能

- ・管外性能測定（乾面、濡面、排水性、着霜性）
- ・管外状態観察と測定（熱通過、排水、着霜）

##### (b)管内伝熱性能

- ・低温室効果冷媒の伝熱性能測定（蒸発）
- ・矩形流路の影響及び整理式作成（穴数影響含む）

#### [2]高性能冷媒分配器の開発

##### (a)ヘッダー分配器の二相分配特性把握

- ・均一分配構造評価

##### (b)気液分離器の適用検討

- ・液分離特性把握

#### [3]パッケージエアコンでの性能評価と分析

##### (a)扁平管熱交換器の室外ユニット搭載形態検討

##### (b)室外ユニット搭載試験

- ・ドロップイン試験

## 1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

### 1.2.1 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】

業務用空調機器用高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発を目的とし、下記の研究項目を実施した。

- ・新冷媒の設計研究
- ・新冷媒の特性評価研究
- ・新冷媒の実用化研究
- ・委託研究（環境影響評価）

## 1.3 冷媒の性能、安全性評価

### 1.3.1 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 諏訪東京理科大学】

微燃性冷媒が定置用空調機器に搭載された場合のリスク管理のために、微燃性冷媒が有するフィジカルハザードを明確化し、リスクアセスメント及びリスクマネジメントに資するデータの蓄積を目的とした研究開発を、下記の項目について行った。

微燃性冷媒の基礎的フィジカルハザード明確化のための、燃焼爆発影響評価。

微燃性冷媒が空調機器に搭載された場合の事故シナリオを想定したフィジカルハザード評価。

サービス・据え付け等の作業時において、微燃性冷媒が漏洩した場合を想定したフィジカルハザード評価。

### 1.3.2 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】

本開発研究では、①HFO 系冷媒候補物質の中で熱物性およびサイクル性能がほとんど明らかにされていない 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を明らかにするとともに、②R1234ze(Z)を含む HFO 系冷媒、HFC 系冷媒、自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低 GWP 混合冷媒の中から業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒を探求・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い、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ことを目的として、下記の研究項目を実施した。

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）
- (b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定（担当：いわき明星大学および九州産業大学）
- (c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定（担当：佐賀大学）
- (d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定（担当：九州大学）
- (e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価（担当：九州大学および佐賀大学）

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：九州大学およびいわき明星大学）
- (b) 低GWP混合冷媒の熱力学的性質の測定（担当：いわき明星大学および九州産業大学）
- (c) 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定（担当：佐賀大学）
- (d) 低GWP混合冷媒の伝熱特性の測定（担当：九州大学および佐賀大学）
- (e) 低GWP混合冷媒候補のサイクルの基本特性の評価（担当：九州大学および佐賀大学）

以上の研究開発によって、以下の成果が得られた。

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 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。

以上の成果は、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、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。また、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。さらに、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。

### 1.3.3 エアコン用低 GWP 冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

微燃性冷媒の安全性の評価及び安全な利用技術の開発に資することを目的として、下記の研究項目を実施した。

- A. エアコンの性能評価法の確立
- B. 室内への冷媒リーク時の安全性評価
- C. ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価
- D. ノンフロン型冷媒の着火エネルギー評価法の開発

## 2. 研究開発項目毎の成果

研究開発は順調に進捗し、研究開発テーマ毎の目標に対する達成度は、表 2-1 に示す通り、ほとんどのテーマが「計画通り（目標達成又は達成見込）」となっている。代替フロンに比較して低 GWP 冷媒の適用が難しい状況下において、十分な成果を得ていると考えられる。

論文などの成果は、表 2-2 の通りである。助成事業である研究開発項目①及び②においては、研究開発途上ということもあり、知的財産の観点からも、現時点での成果の外部発表は少ない。一方、委託事業であり、公共的な知的基盤整備を目標としている研究開発項目③においては、論文投稿、講演発表等が多く実施されている。

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

表 2-1 目標に対する達成度

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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> /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 <sub>2</sub> /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、現行空調機へのトッイン評価にて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トッイン性能、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	○
	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。	○
	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。	○
②冷媒開発	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。	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。	○

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)	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。	○
		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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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。	○
		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・指針の見直しを得る。	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】

表Ⅲ.2.2 論文等の成果

研究開発項目 区分	成果の発表			計
	①機器開発	②冷媒開発	③性能・安全性評価	
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

表 .2-3 本事業の特許状況

研究開発項目 区分	特許出願			計
	①機器開発	②冷媒開発	③性能・安全性評価	
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)

以下、研究開発テーマ毎に研究開発成果の詳細を述べる。



## 2.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

### 2.1.1 CO<sub>2</sub>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)

#### <研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度(H25年度末見込み)
テーマ:CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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。	△
[1]高効率の業務用 CO <sub>2</sub> 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】

各研究項目における現在までの成果を下表に示す。

表 2.1.1-1 研究開発項目と達成成果

目 標	研究開発成果(H24年度現在)	達成度 (H25年度末見込み)
<b>[1] 高効率の業務用CO<sub>2</sub>空調サイクルの開発</b>		
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。目標達成のためには他社PATの回避が課題である。 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。試算上 COP 目標達成率 94%	
<b>[2] 空調用の圧縮機一体型膨張機の開発</b>		
膨張機 動力回収利用効率 目標値以上	膨張機 動力回収利用効率 達成度 62% (体積効率 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。	
<b>[3] 関連機器の開発</b>		
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。	

また、次項で各開発項目の成果を記載する。

#### 2.1.1.1 高効率の業務用 CO<sub>2</sub> 空調サイクルの開発

平成 23 年度は他社空調機の調査、高効率を実現できるサイクルの構成の再検討及び効率の試算を行った。平成 24 年度はその結果に基づき、予備サイクル評価機を試作し、制御性の検討と、効果の推定を行った。

高効率サイクルの構成としては、圧縮機一体型膨張機搭載の気液分離式 2 段サイクルにより、目標効率を実現することが可能であると試算した。しかし膨張機の容量制御が必要であり、他社特許の回避が課題である。

予備サイクルの評価としては、圧縮機一体型膨張機は搭載せず、回収動力をモータ駆動型の圧縮機で代用し、熱交換器は水冷式とした構成で、圧力の制御、冷媒の挙動、冷媒量変動影響等の課題確認を行った。

結果として、効率の向上と上記課題に関しては大きな問題は無いことを確認している。ただし、温度条件によっては、挙動が不安定となる領域があることが確認できたため、今後制御パラメータを調整して安定運転できる方策を確立していく。

#### 2.1.1.2 空調用の圧縮機一体型膨張機の開発

CO<sub>2</sub> 冷媒では、現行フロン冷媒と比較すると膨張時の損失が多い。そのため、膨張時の損失を動力として回収し、圧縮機の動力として利用することにより、システムの効率を上げることが可能である。

本研究では、低段側圧縮として利用する、高効率でコンパクトな圧縮機一体型膨張機を開発することを目的としている。

これまでの検討結果より、課題は体積効率と機械効率の改善である。

機械効率に関しては、表面処理や回転数の適正化により目標効率に近づいている。また、体積効率の悪化は、スクロール間の隙間発生が原因である。

隙間量のシミュレーションより、最低限許容される隙間量の検討を行い、スラスト方向(軸方向)の隙間量は許容値の範囲であることが確認できている。但し、ラジアル方向(壁方向)隙間は、いまだ多いと推測されている。

個別の改善を検討しながら、種々の試作を行い改善を進めているが、現在のところ目標効率には見達である。

しかしながら、これまでの検討より、特に壁方向隙間の改善により体積効率は目標値を達成できることが解って来たため、対応策を盛り込み、膨張機総合での目標効率を達成する見込みである。

#### 2.1.1.3 関連機器の開発

他社の室内空調機器のモデルをベースとし、室内熱交換器を CO<sub>2</sub> 冷媒化した場合でも、同等の性能が出せるか CFD+1 次元シミュレーションを用いて性能予測(熱交換性能、配管圧力損失)を行い、室内熱交換器の製作に役立てることを目的に解析を行った。その結果、冷媒 R410A を用いた他社製の熱交換性能に対して同等以上の結果が得られることが予測できた。

同様に室外機側熱交換器の解析も行い、形状を決定している。

今後はこの結果を元に試作を行い、単品性能測定から実施し、実装評価を行っていく。

#### 2.1.1.4 論文・特許

論文等対外発表は無い。

本研究開発期間中における出願特許を、表 2.1.1.4-1 に示す。

表 2.1.1.4-1 本研究開発期間における特許出願状況

番号	出願者	出願番号	出願日	名 称
1	サンデン株式会社	特願 2012-101474	平成 24 年 4 月 26 日	スクロール膨張機
2	サンデン株式会社	特願 2012-266321	平成 24 年 12 月 5 日	スクロール型流体機械
3	サンデン株式会社	特願 2012-273926	平成 24 年 12 月 14 日	スクロール型流体機械
4	サンデン株式会社	特願 2013-013538	平成 25 年 1 月 28 日	圧縮機一体型膨張機

## 2.1.2 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)

### <研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度(H25年度末見込み)
テーマ： 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。	○
[1] 圧縮機の開発		
システム目標性能を満足する仕様の確立	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。	○
[2] 空気熱交換器の開発		
システム目標性能を満足する基本仕様の確立	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。	○
[3] 流路切換弁の開発		
システム目標性能を満足する基本仕様の確立	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。	○
[4] 内部熱交換器の開発		
システム目標性能を満足する基本仕様の確立	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、見込み通りの結果を得た。H25 年度は実装形態試作評価を行う予定である。	○
[5] システム構成要素の試作または調達		
システム目標性能を満足する冷媒回路に必要な機能部品や膨張機を選定、試作または調達	システム構成に必要な膨張弁や逆止弁などの機能部品を選定および調達して、システム評価試験機を試作した。膨張機の試作は H25 年度に実施予定。	○
[6] システム性能評価		
システム目標性能を満足する冷媒回路の基本構成の確立と、膨張機を除いた全ての要素技術をシステムに組み込んだシステム性能評価および課題抽出	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、膨張機を除く全ての新要素部品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、目標性能を実証する予定である。	○

【◎：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】

新開発の要素機器の単体評価を行った上で、膨張機を除いたそれら全ての要素機器を搭載したシステムの性能評価を実施した（膨張機の基本技術は既に開発済みであり、H25年度に試作評価を予定）。

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、冷房定格 COP, APF と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年度末には各要素技術の基本仕様を確立できる見込みである。

各要素の成果については以下の通りである。

#### <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。

#### <システム構成要素の試作または調達>

冷媒回路を構成する上で必要となる電動膨張弁や逆止弁等の機能部品の仕様を選定し、調達を実施した。なお、膨張機については、過去テーマにて開発した技術を活用して、計画通りにH25年度に試作を行う予定である。

#### <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予定である。

### 2.1.3 CO<sub>2</sub>-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)

#### <研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度(H25年 度末見込み)
テーマ:CO <sub>2</sub> /HFO 系混合冷媒の高効率業務用空調機器技術の開発		
GWP150 程度(A2L レベル)の CO <sub>2</sub> /HFO 系混合冷媒を選定し、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 <sub>2</sub> /R32/HFO 系混合冷媒を選定、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パイン評価にて 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 <sub>2</sub> /HFO 系混合冷媒について、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、およびオートクレーブ試験による材料安定性評価、および燃焼性評価	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器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器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。	○

【◎：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] 低温室効果冷媒の選定と新冷媒対応の基本冷凍サイクルの考案
- ・数多くある冷媒の中から最適な特性が得られる組合せとして、CO<sub>2</sub>、R32、HFOの3成分系混合冷媒を選択した。
  - ・CO<sub>2</sub>-HFO系混合冷媒の大きな温度勾配に対応するために内部熱交換サイクルを考案した。
  - ・各種構成冷媒のREFPROPの熱物性データを用い、CO<sub>2</sub>、R32、HFOの3成分系混合冷媒において、冷媒組成と内部熱交換サイクルの性能試算が可能なサイクルシミュレータを開発した。これにより、3種混合冷媒における冷媒組成と性能特性（COP、内部熱交換器利用率、吐出温度、凝縮器&蒸発器での温度勾配、GWPなど）マップの作成が可能となった。
  - ・上記シミュレーションを用い、最適冷媒組成を探索した。圧縮機吸込での体積能力をR410Aと同等とした場合、従来R410Aより高いCOPが期待できる候補冷媒としてCO<sub>2</sub>/R32/HFOの3成分系混合冷媒（GWP<150）を抽出した。
- [2] 新冷媒の性能評価
- ・内部熱交換サイクルが評価可能な原理評価試験機を作製した。
  - ・原理評価試験機を使い、混合冷媒の内部熱交換サイクル性能評価を実施。サイクルシミュレーション結果との良い一致が見られ、温度勾配対策としての内部熱交換サイクルの有効性を確認した。
  - ・シミュレーションで抽出した最適冷媒組成の内部熱交換サイクル性能評価を実施し、冷房定格でCOP99%（R410A比）を達成した。
  - ・実機ドロップインによる性能評価を準備中であり、これまでの原理評価試験機の結果を考慮し、冷媒組成およびサイクルを最適化することでCOP110%（R410A比）を達成する見込みである。
- [3] 新冷媒対応内部熱交換器の開発
- ・内部熱交換器内における冷媒伝熱特性のモデル化により、検討内部熱交換サイクルに採用する内部熱交換器の設計シミュレーションツールを開発した。
  - ・シミュレーションツールを用いて、新冷媒のサイクル性能と内部熱交換器サイズとの相関を整理した。
- [4] 新冷媒の材料安定性評価および燃焼性評価
- ・冷凍機油とHFO単体の熱・化学安定性評価を完了し、HFO単体との適合性は問題ないと判断した。
  - ・冷凍機油/HFO混合環境下におけるコンタミ（Air、水分）評価を完了。添加剤の一部に減耗が見られそれに伴うオイル劣化が生じているものがあるため、コンタミ（酸素・水分）の適正な管理が重要と判断した。
  - ・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し、その有効性を確認した。
- [5] 新冷媒対応のサイクル制御技術の開発
- ・原理評価試験機により、低GWPのCO<sub>2</sub>/HFO混合冷媒を用いた内部熱交換サイクルの有効性を確認した。
  - ・システム制御については、循環組成把握方法の改善等により、システム安定制御技術、および高効率運転制御技術を開発できる見込みである。

## 2.1.4 低 GWP 冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】（助成）

### <研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度
テーマ: 低 GWP 冷媒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った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。一方部分負荷特性は 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。	○

※：「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」(H17～H22)における「低 GWP 冷媒のドロップイン試験【三菱重工業(株)】(H22)」

【◎：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) 材料の適合性確認

- ・ヒートポンプ（三菱重工業製：型式 ETW-L）への R1234ze(E)適用は一部シール材質を変更する事で適用可能。
- ・R1234ze(E)自体の高温領域での安定性確認（加速試験）により冷媒寿命の予測を実施した結果、ETW-L の耐用年数 15 年間（約 12 万時間）の期間においては問題ない。
- ・実機による温水出力 90℃相当での 180 時間迄の運転確認により冷媒の性状変化、分解等はなかった。

(2) 性能確認

- ・実機にドロップインし性能確認試験を実施した。加熱出力は R134a 比で約 91%~98%、加熱 COP は約 83~96%となった。ただし、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。

以上の結果より、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た。ただしその性能は R134a 比で低下するため圧縮機の効率改善、大風量化等が今後の課題となる。

<論文、外部発表等の件数>（詳細内容は添付リストを参照）

区分 年度	論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	査読付き	その他	
H23FY	0	0	0
H24FY	0	3	0
H25FY	0	0	0

## 2.1.5 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)

### <研究開発成果概要>

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 APF 95%	①ドロッパイン性能、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/ $\Delta P$ 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 $\sigma=1\%$ 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)	ドロッパ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。	○

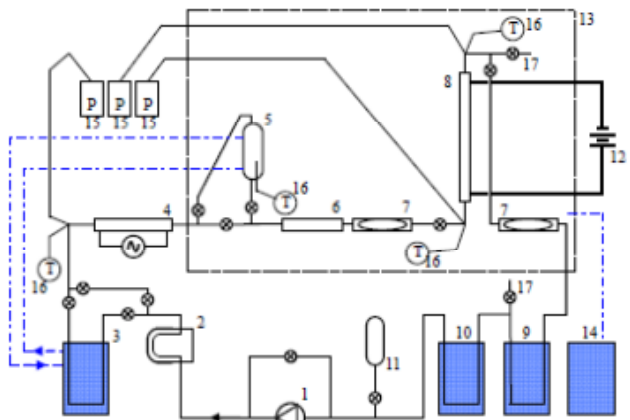
【◎：計画以上、○：計画通り（目標達成又は達成見込）、△：ほぼ計画通り（一部計画遅れ）、×：計画未達】

2.1.5.1 管内熱伝達特性

全長（707mm）の扁平管 2 種類（5 穴管／16 穴管）対象に、扁平管内の質量速度と熱流束を変化させ、熱伝達率と圧力損失への影響を調べた。実験条件を以下に示す。冷媒は R410A と R-1234yf を比較し、蒸発温度は 15℃、乾き度は 0～0.2 とした。

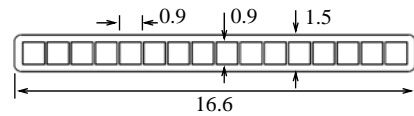
表 2.1.5-1 実験条件

熱流束 [kW/m <sup>2</sup> ]	質量速度 [kg/m <sup>2</sup> s]							
	15		30		60		120	
	R410A	R-1234yf	R410A	R-1234yf	R410A	R-1234yf	R410A	R-1234yf
2								
3								
4								
6								
8								
12								
16								

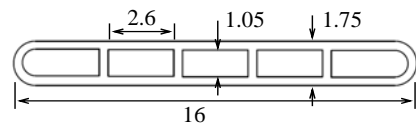


- 1. Gear pump 2. Coriolis flowmeter 3. Constant temperature bath 4. Preheater 5. Receiver 6. Static mixer 7. Sight glass 8. Test tube 9. Condenser 10. Subcooler 11. Storage tank 12. DC power supply 13. Constant temperature air duct 14. Air temperature controller 15. Pressure transducer 16. Thermocouple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

図2.1.5-1 伝熱実験装置  
(直接通電加熱)



扁平管(a) 水力直径0.9mm×16.6mm幅×1.5mm高



扁平管(b) 水力直径1.54mm×16mm幅×1.75mm高

図2.1.5-2 扁平管断面図

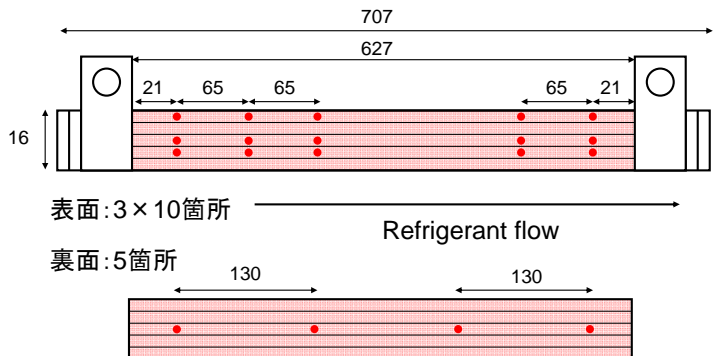


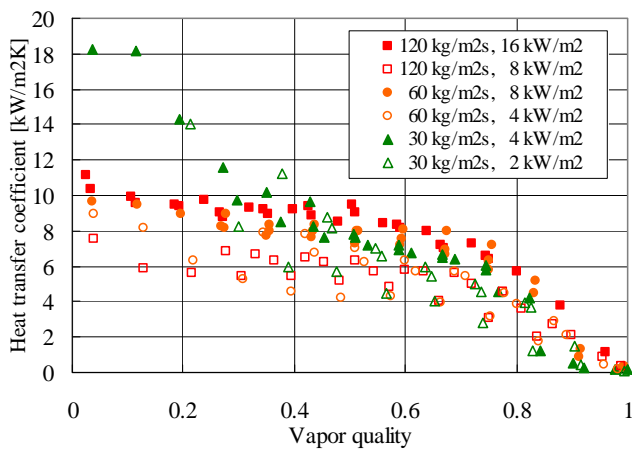
図2.1.5-3 熱電対貼付位置

<R410A>

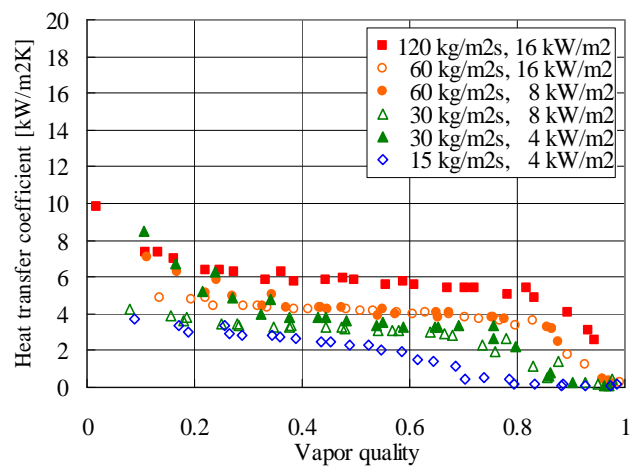
- ・ 16 穴管では、流量小で熱伝達率大、5 穴管では流量大で熱伝達率大の傾向を示す。
- ・ 16 穴管では、熱流束の影響受けるが、5 穴管では影響が小さくなる。

<R-1234yf>

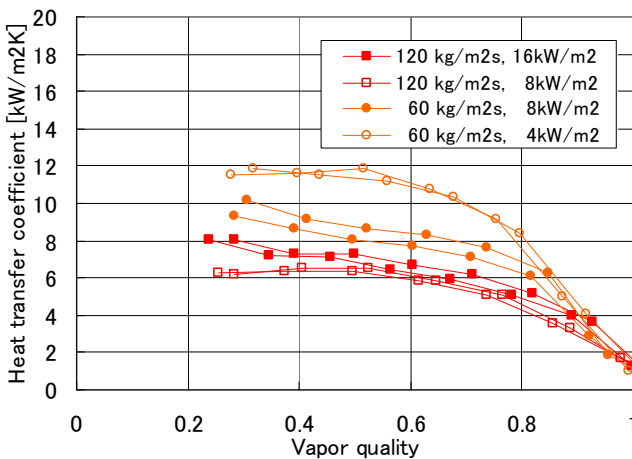
- ・ 16 穴管および 5 穴管で熱流束が小さくなるほど熱伝達率大となる。
- ・ 16 穴管では、流量小で熱伝達率大、5 穴管では流量依存性が小。
- ・ 上記の結果には従来の蒸発熱伝達整理式の傾向と逆傾向を示すデータも一部含まれる。管内の液膜挙動が従来円管と異なることが原因と推定し、冷媒の流動沸騰状態を可視化した。可視化結果の一部を 図 2.1.5-5 に示す。



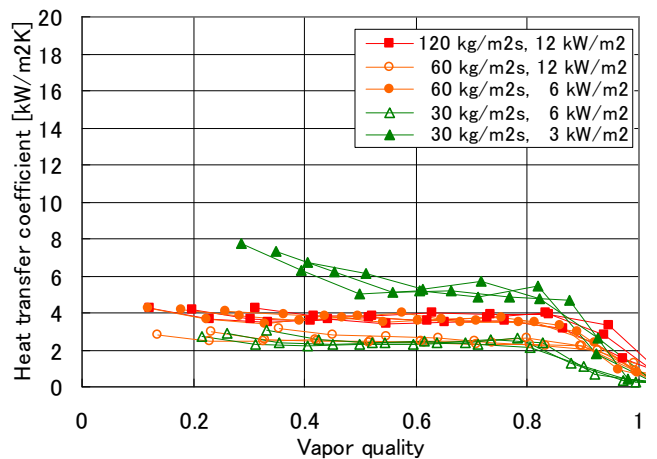
(a) 16穴扁平管  
(R410A)



(b) 5穴扁平管  
(R410A)



(a) 16穴扁平管  
(R-1234yf)



(b) 5穴扁平管  
(R-1234yf)

図 2.1.5-4 乾き度に対する熱伝達率 (R410A/R-1234yf)

120 kg/m<sup>2</sup>s, 8 kW/m<sup>2</sup>  
X=0.27

60 kg/m<sup>2</sup>s, 8 kW/m<sup>2</sup>  
X=0.40

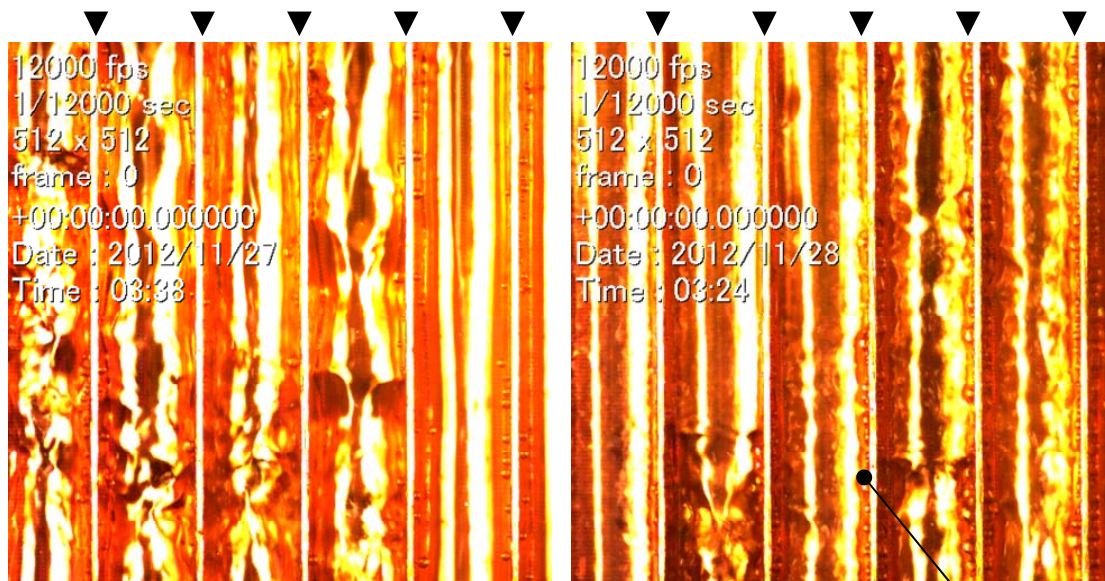


図 2.1.5-5 扁平管内の沸騰流動可視化結果

低流量で液膜速度低下し、  
沸騰気泡発生（伝熱向上）

図 2.1.5-5 に示す冷媒の可視化結果から、低流量では液膜速度が低下して沸騰が発生し、熱伝達率が向上すること、高流量では液膜が破断して熱伝達率が低下すること（ドライアウト挙動）、高熱流束では激しく沸騰が生じて管壁面に液膜が供給されず熱伝達が低下すること、などの液膜挙動が観察された。今後、これらの沸騰気泡の挙動からメカニズムを推定し、熱伝達整理式を作成する。

#### 2.1.5.2 パッケージエアコンでの性能評価と分析

3HP のパッケージエアコンを用いて、R-1234yf を用いた性能評価を実施した。ユニット試験装置を図 2.1.5-6 に示す。性能測定は、APF 算出に必要な冷房定格/中間、暖房定格/中間の 4 条件で実施した。冷媒量は、冷房中間での凝縮器出口 SC が 5 となる 2700g で固定した。評価項目は、①ドロップイン、②低圧配管圧損低減、③気液分離器導入の効果を評価した。ここで、低圧圧損低減は、ガス延長配管径拡大（15.88 19.05mm）、ホールバルブ径拡大（9.52 15.88mm）、吸入配管径拡大（15.88 19.05mm）を同時に実施したものである。

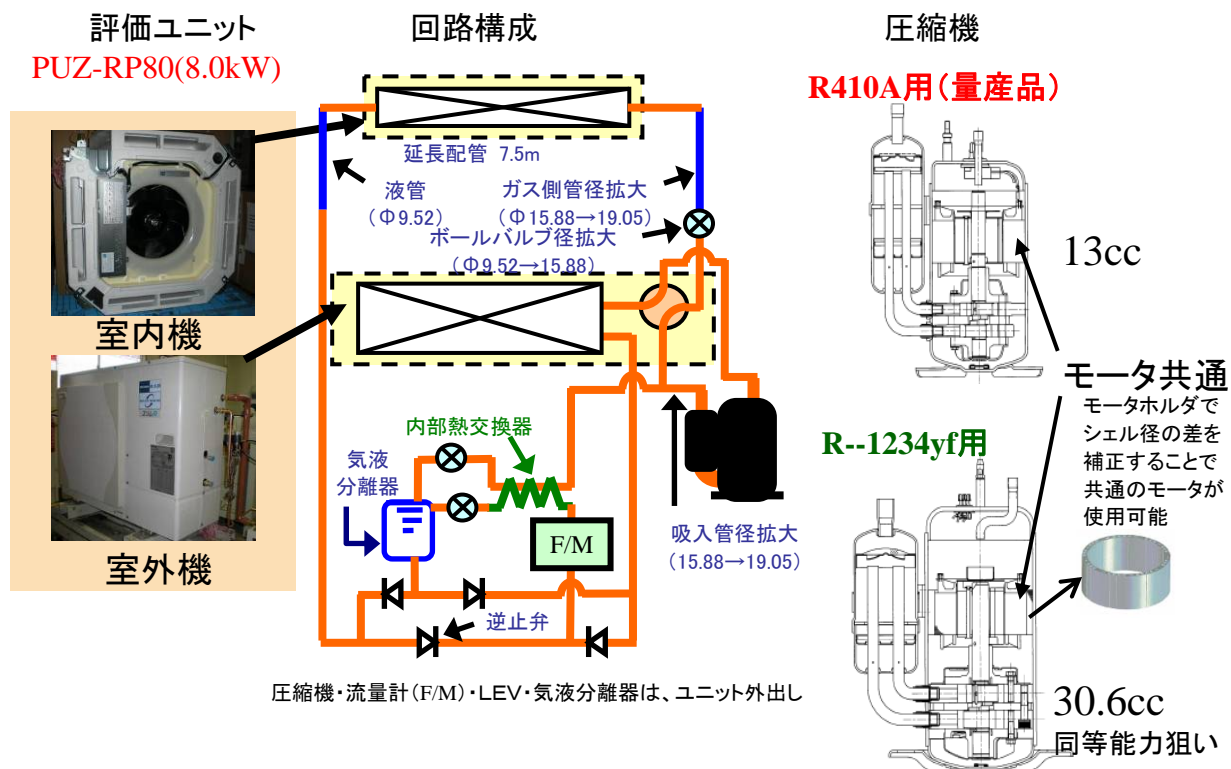
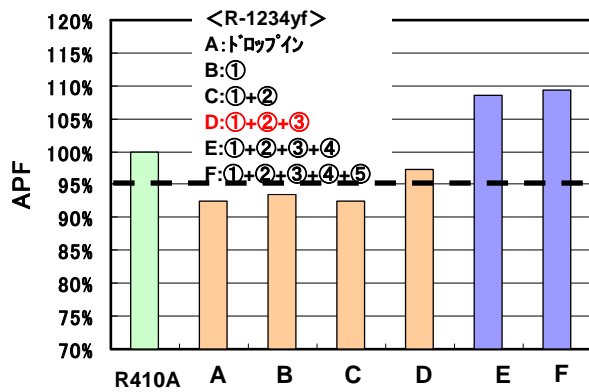


図2.1.5-6 ユニット試験装置

図 2.1.5-7 より、ドロップイン時の性能低下は予測 92%に対し、77%と大きく低下する。これは、吸入圧力低下に伴う吸入密度低下により所定の冷媒流量が得られない点、及び圧縮比の増大により圧縮機効率が低下した影響と推定される。これらに伴う APF 低下を低圧圧損低減で APF+3%、気液分離器の導入で APF+4%に回復させ（実測済）、更に圧縮機性能改善で APF+6%、扁平管導入で APF+5%をカバーすることで当初目標値（R410A に対し APF95%）を達成予定である。

3年目となる 2013 年度に選定した扁平管熱交換器、及び改善圧縮機を搭載したユニットの性能を評価し、目標達成する予定である。

## 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

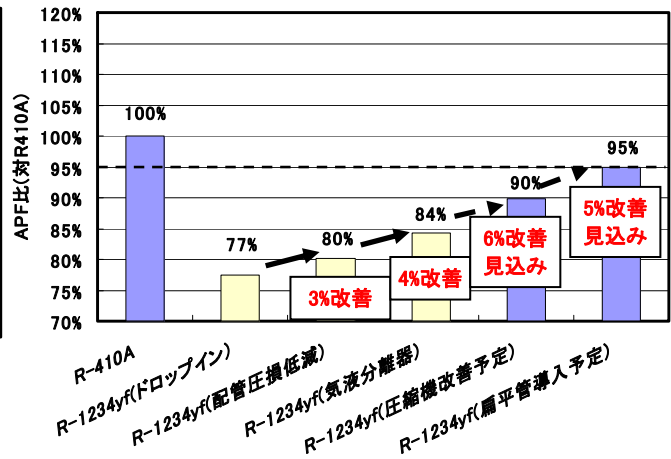


図 2.1.5-7 事前予測と実験結果との比較

## 2.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

### 2.2.1 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)

#### <研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度(H25年 度末見込み)
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)	候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】



業務用空調機器用高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発を行い、研究開発項目ごとに下記の成果を得た。

・新冷媒の設計研究

研究開発の候補媒体として、以下のA～Fの6媒体を選定した。評価を実施した。

(1) 候補媒体 A

候補媒体 A について弊社が保有する基幹原料を出発物質とした合成ルートを提案した。

弊社基幹原料 反応工程→ 候補媒体 A 精製蒸留工程

候補媒体 A の合成は触媒を用いた反応であり触媒の選定、触媒活性化方法、反応温度などの最適化を中心に生産性の高い条件を見出すことができた。諸物性測定、毒性評価、機械評価に必要なサンプル供給体制を整えるべく数 kg/day の反応装置の作成を完了した。

(2) 候補媒体 B

候補媒体 B の合成方法として2つの合成ルートを考案した。どちらの合成方法も弊社が保有する基幹原料を出発物質とした2ステップの反応である。

①合成方法 1

反応工程 1 → 中間原料 1 蒸留工程 → 反応工程 2 → 候補媒体 B 精製蒸留工程

②合成方法 2

反応工程 1 → 中間原料 2 蒸留工程 → 反応工程 2 → 候補媒体 B 精製蒸留工程

合成方法 1 については反応工程 1 に必要な触媒反応装置の構築を行い中間原料 1 の合成を実施した。反応装置は特殊な装置であり、また、腐食性ガスや毒性ガスが発生することから安全性に配慮した装置構築と共に効率よく中間原料 1 を得る条件を模索しながら試験を行った。生産性を考慮した条件にて試験試作と反応粗液の蒸留を行い 20 kg の中間原料 1 を得た。中間原料 1 を原料とした反応工程 2 は公知の反応ではあるが、予察試験の結果、候補媒体 B の生産性が合成方法 2 に比べ劣ることが判明したことや、特殊な反応装置が必要となることから、合成方法 1 による合成は中間原料 1 の精製蒸留までとし合成方法 2 の検討を優先することとした。

合成方法 2 の反応工程 1 は弊社製造工程であり、中間原料 2 は容易に入手することができるため蒸留工程を経て反応工程 2 を実施した。反応工程 2 は触媒を用いた反応であり触媒の選定、触媒活性化方法、反応温度などの最適化を中心に生産性のある条件を見出すと共に、試験試作を実施した。その結果、候補媒体 B 含む粗液を数キログラム採取した。高压ガス蒸留塔にて当該粗液を精製蒸留し、6.1kg 採取した。

(3) 候補媒体 C

候補媒体 C については、精製試料 1kg を確保した。

(4) 候補媒体 D

候補媒体 D については、精製試料 5kg を確保した。

(5) 候補媒体 E

候補媒体 E については、候補媒体 B の合成原料を確保する事を考慮し、精製試料 900kg を確保した。

(6) 候補媒体 F

候補媒体 F については、精製試料数百 kg を確保した。

・新冷媒の特性評価研究

(1) 候補媒体 A

(a) 基礎特性評価

候補媒体 A の臨界点近傍における気液共存曲線を密度 360kg/m<sup>3</sup>～660kg/m<sup>3</sup> の範囲にわたり測定を実施し、計 12 点の飽和密度データを取得した。臨界蛋白光による着色現象が得られたデータより臨界温度と臨界密度を決定した。

臨界密度における温度と圧力の関係より臨界圧力を決定した。

候補媒体 A の潤滑油、金属材料共存状態の安定性の確認を目的に、R410A 用冷凍機油 (POE 油) を用い、試験温度 150℃および 175℃、試験期間 14 日間の条件での静的熱安定性試験を実施した。

(b) 安全性評価

ASTM E681 に準拠した燃焼範囲測定装置を用い、常温並びに 60℃における燃焼範囲の測定を実施した。

(2) 候補媒体 B

(a) 安全性評価

ASTM E681 に準拠した燃焼範囲測定装置を用い、候補媒体 B の 60℃、湿度 50%条件における燃焼範囲の測定を実施した。

候補媒体 B の毒性評価試験としては、変異原性試験、蓄積性および分解性の評価を実施した。

蓄積性の指標として n-オクタノール/水分配係数 (logPow) を測定した結果、「高蓄積性ではない」と判断される結果であった。

分解度試験については予備試験が終了し、「難分解」であることを確認した。引き続き分解度本試験を行う予定である。

(3) 候補媒体 C

(a) 安全性評価

ASTM E681 に準拠した燃焼範囲測定装置を用い、候補媒体 C の 60℃、湿度 50%条件における燃焼範囲の測定を実施した。

候補媒体 C の毒性評価試験としては、変異原性試験と蓄積性の評価を実施した。

蓄積性の指標として n-オクタノール/水分配係数 (logPow) を測定した結果、「高蓄積性ではない」と判断される結果であった。

(4) 候補媒体 D

(a) 基礎特性評価

候補媒体 D の臨界点近傍における気液共存曲線を密度 255kg/m<sup>3</sup>~620kg/m<sup>3</sup> の範囲にわたり測定を実施し、計 15 点の飽和密度データを取得した。臨界蛋白光による着色現象より臨界温度と臨界密度を決定した。

(b) 安全性評価

ASTM E681 に準拠した燃焼範囲測定装置を用い、候補媒体 D の 60℃、湿度 50%条件における燃焼範囲の測定を実施した。

候補媒体 D の毒性評価試験としては、変異原性試験、蓄積性および分解沿試験の評価を実施した。

蓄積性の指標として n-オクタノール/水分配係数 (logPow) を測定した結果、「高蓄積性ではない」と判断される結果であった。

分解度試験については予備試験が終了し、「難分解」であることを確認した。引き続き、分解度本試験を行う予定である。

(5) 候補媒体 E

(a) 安全性評価

ASTM E681 に準拠した燃焼範囲測定装置を用い、候補媒体 E の 60℃、湿度 50%条件における燃焼範囲の測定を実施した。

候補媒体 E の毒性評価試験としては、変異原性試験、蓄積性および分解性の評価を実施した。

蓄積性の指標として n-オクタノール/水分配係数 (logPow) を測定した結果、「高蓄積性ではない」と判断される結果であった。

分解度試験については予備試験が終了し、「難分解」であることを確認した。引き続き本試験を行う予定である。

(6) 候補媒体 F

(a) 基礎特性評価

候補媒体 F の臨界点近傍における気液共存曲線に沿った密度データの取得を行った。臨界蛋白光による着色現象より臨界温度と臨界密度を決定した。

飽和蒸気圧、飽和液体密度、飽和液体粘度及び飽和液体比熱の測定を実施した。

(b)安全性評価

ASTM E681 に準拠した燃焼範囲測定装置を用い、候補媒体 F の 60°C、湿度 50% 条件における燃焼範囲の測定を実施した。

候補媒体 F の毒性評価試験としては、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、蓄積性について実施した。

・新冷媒の実用化研究

平成 25 年試験を開始する予定である。

・委託研究（環境影響評価）

候補媒体候補媒体 F について、測定試料の分取精製を行うとともに、OH ラジカルとの反応速度および赤外吸収スペクトルの測定を実施し、得られた結果に基づき、大気寿命並びに地球温暖化係数、オゾン枯渇係数の算出を行い、目標値を満足する事を確認した。

新たに候補媒体 A および候補媒体 D の評価に着手した。

## 2.3 冷媒の性能、安全性評価

### 2.3.1 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 諏訪東京理科大学】(委託)

#### <研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度 (H25年度 未見込み)
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	—

【◎：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】

本研究開発では、2.1.3.1 項で示した 5 つのサブテーマのうち、①, ②, ③, ④について、現在までに研究開発を進めている。以下、それぞれの研究開発項目ごとに、得られた成果を述べる。

#### 微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価

本研究開発項目は、再委託先である (独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門が担当した。

##### (a) 概要

微燃性冷媒の利用に関して、ASHRAE はこれまでの冷媒の安全区分のクラス 2(Class 2 - Lower Flammability Classification) に区分 2L を追加した[1]。R32 や R1234yf は低毒性で燃焼速度が 10cm/s 以下の微燃性をもつとして A2L に分類される。A2L 冷媒はこのように低い燃焼速度を持つため燃焼時には浮力の影響が火炎面の浮き上がりとして顕著に現れる。これらの新規代替冷媒の安全利用の観点から、本研究では浮力の影響を考慮して基本的な燃焼特性を観測するため、大容量の球形燃焼容器を準備し、R32 と R1234yf の火炎伝播挙動を高速度カメラで観測し、映像解析により火炎伝播速度を評価した。燃焼時の圧力プロファイルから球形火炎伝播を仮定した SV 法[2]による燃焼速度を評価した。燃焼時の最高到達圧力であるピーク過圧、燃焼時の圧力上昇の最高速度から評価される爆発強度指数  $K_G$ [3,4] を評価した。燃料と酸素の混合比として、化学量論比となる混合気に対する燃料/酸素混合比率として定義される当量比 $\phi$ を R32 では $\phi$ 0.8-1.2、R1234yf では $\phi$ 1.2-1.4 の範囲で変化させ、電気放電による着火試験を行った。

##### (b) 実験装置

直径 1m、容積 0.524m<sup>3</sup> の球形容器を備えた実験装置を図 2.3.1-1 に示す。ひずみ式圧力変換器を容器上部に設置してあり、計測した燃焼中の圧力変化プロファイルはデータロガーで記録した。燃焼挙動は容器に備え付けた PMMA 製の観測用フランジポートを介して高速度カメラにより観測した。R32 の燃焼挙動は化学当量比 $\phi$ 1.0 を中心に $\phi$ 0.8 から $\phi$ 1.2 の範囲で調査し、R1234yf の燃焼挙動は滝沢[2]が SV 法[5,6]を用いて燃焼速度と混合比について報告している参考値 $\phi$ 1.325(混合比 10vol%) を中心に $\phi$ 1.2 から $\phi$ 1.4 の範囲で調査した。燃料ガスは一定の分圧まで容器内に導入され、その後空気を全圧が大気圧(101.325kPa)になるまで導入した。R-1234yf の導入過程ではダイヤフラムポンプ(図 2.3.1-1 中の DP)を用いて循環ループを形成してガスの攪拌を行った。電気放電用の電極は直径 1mm のタングステン線 2 本を 7mm のギャップを設けて対向設置した。高電圧を電極に供給して電気放電を起こして混合ガスを着火した。放電電圧と放電電流はオシロスコープで観測し、放電エネルギーを評価している。火炎面の膨張挙動は高速度カメラで観測した後、映像解析により水平方向への火炎速度と鉛直方向への火炎速度を評価した。

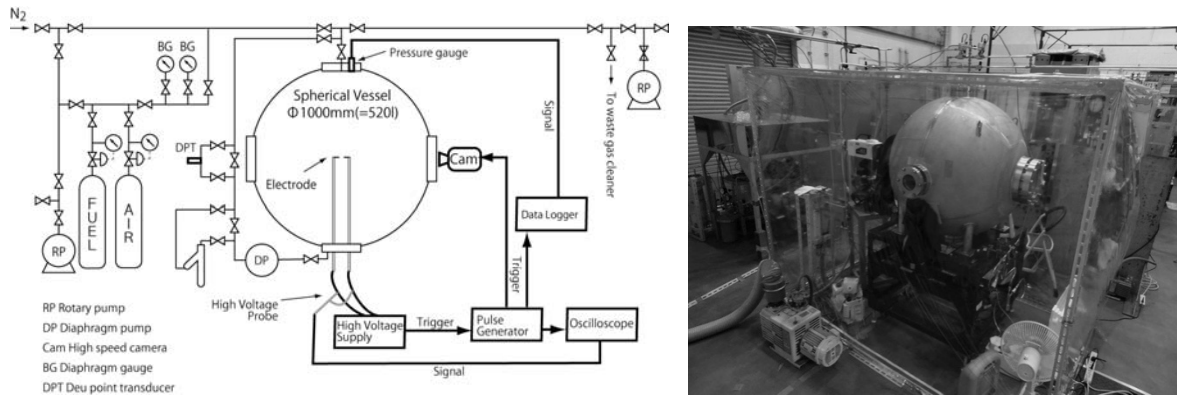


図 2.3.1-1 燃焼爆発影響評価実験 実験装置概略図

(c) 結果および考察

1) 火炎速度と燃焼速度の評価

燃焼速度  $S_u$  は火炎速度  $S_f$  から以下のように評価される、

$$S_u = \left( \frac{\rho_b}{\rho_u} \right) \cdot S_f$$

$\rho$  は密度 ( $\text{m}^{-3}$ )、 $\rho$  の添字  $u, b$  はそれぞれ未燃ガスと既燃ガスを示しており、 $\rho_u$  は既知の初期状態の密度で、未知となる  $\rho_u$  については化学平衡計算 [8] により評価した。 $S_f$  は火炎速度 ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) である。水平方向の火炎面最大幅から見積もられる火炎半径  $r_f$  (cm) [7] の広がりから水平方向の  $S_f$  を評価するとともに、鉛直方向への  $S_f$  も火炎面上端の位置変化から評価した。水平方向の  $S_f$  は浮力の影響を最小限にするが、鉛直方向の  $S_f$  は浮力の影響を最大限に受けたものとなる。

燃焼速度  $S_u$  は火炎面が球状に膨張することを仮定した場合は SV 法 [5,6] により以下のように評価される。

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

$R$  は容器内径 (m)、 $x$  は既燃ガスの質量分率、 $P_0$  は容器内の初期圧 (Pa)、 $P$  は燃焼中の容器内圧力 (Pa)、そして  $\gamma_u$  は比熱比である。各圧力における  $x$  と  $\gamma_u$  は化学平衡計算 [8] により算出した。

図 2.3.1-2 に R32 の当量比  $\phi 0.9$  および  $\phi 1.2$  における火炎面伝播挙動を高速度カメラで撮影した例を示す。火炎面は燃焼による膨張とともに浮力によりゆっくりと上昇していき、また未燃ガスと既燃ガスの境界となる火炎面形状は浮力と粘性の影響により球形から歪められていく。その膨張挙動は  $\phi 0.9$  と  $\phi 1.2$  でほとんど同じだが、時間的な変化が異なっている。図 2.3.1-3 には R1234yf の当量比  $\phi 1.325$  における燃焼挙動の高速度ビデオカメラ映像を示す。R32 に見られたような明確でなめらかな燃焼面は観測されておらず、火炎面は対称性を失い乱雑に上昇していく。現在の試験状況においては R1234yf の着火特性は不安定で、放電エネルギーや、電極の直径、電極構造そのものが影響していると考えられる。

圧力変換器で計測した R32  $\phi 0.8$  から  $\phi 1.2$  までの圧力プロファイルを図 2.3.1-4 に示す。圧力上昇過程は単調だがわずかに段階が見られる。火炎面が容器内天井面に到達することによるはね返りによるものと考えられる。映像解析の結果から鉛直方向の火炎面の天井到達時間を予測することができるが、 $\phi 0.9$  でおよそ 0.5 秒、 $\phi 1.0-1.2$  でおよそ 0.46-0.47 秒後である。容器内圧力が最高値に達するのは火炎面の容器内天井への到達時間よりずっと後になる。

R1234yf の  $\phi 1.2$  から  $\phi 1.35$  までの圧力プロファイルを図 2.3.1-5 に示す。 $\phi 1.4$  については本試験条件では明らかな圧力上昇が見られなかった。当量比の変化に対してプロファイルの変化は単調な傾向を示しておらず、映像にみられるように R1234yf の不安定な着火特性が影響していると思われるため、今後検討が必要である。全体的な圧力上昇挙動は R32 に比べ非常にゆっくりとしたものであり、ピーク圧に到達するまでに 6 秒以上経過している。 $\phi 1.35$  での圧力プロファイル

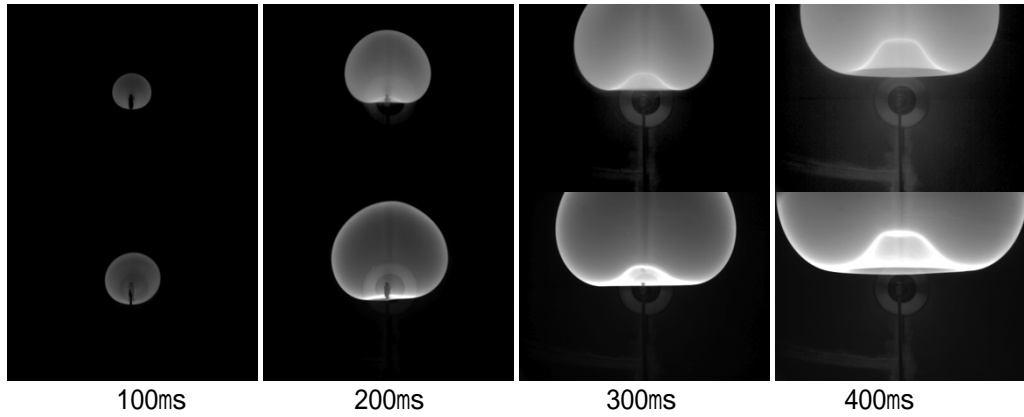


図 2.3.1-2 燃焼面伝播挙動(R32、上：φ0.9，下：φ1.2)

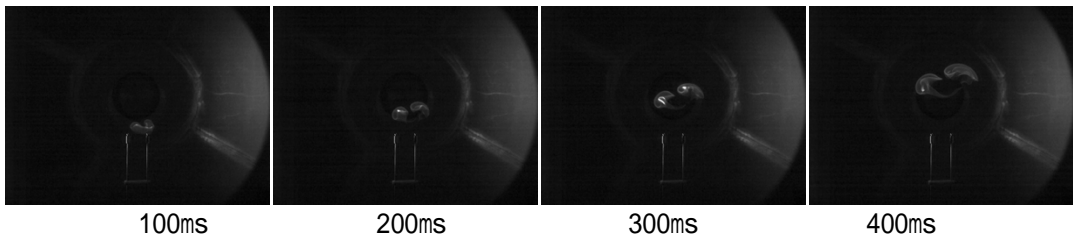


図 2.3.1-3 燃焼面伝播挙動(R1234yf、φ1.35)

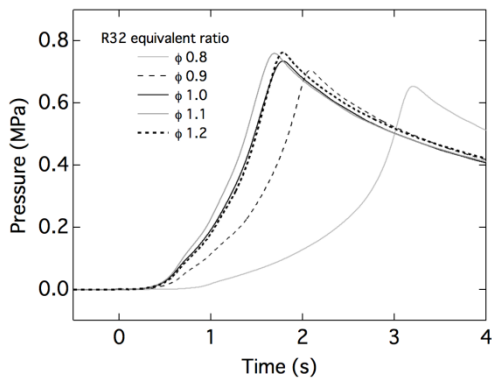


図 2.3.1-4 圧力プロファイル  
(R32、φ0.8-1.2)

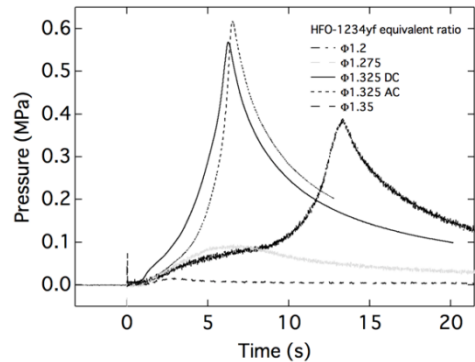


図 2.3.1-5 圧力プロファイル  
(R1234yf、φ1.2-1.35)

変化は小さく、またφ1.4ではもはや圧力変化は観測されず、容器内のほとんどのガスは未燃のまま残ったと考えられる。

火炎面が観測された R32 に関して水平方向の最大火炎幅と鉛直方向の火炎面上端位置を映像解析し、時間変化からそれぞれの方向の火炎速度を評価したものを図 2.3.1-6 に示す。鉛直方向の火炎速度は、燃焼の進行とともに既燃側の体積の増加と膨張により浮力の影響が効果をあたえ、水平方向の火炎速度に対して 1.2 倍から 2 倍早くなる。R1234yf に関しては現段階の成果では火炎幅と火炎面上端の映像解析は適用できなかった。

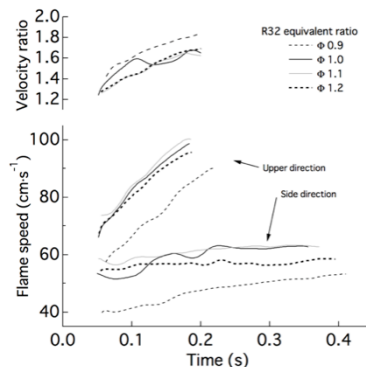


図 2.3.1-6 鉛直方向と水平方向への火炎伝播速度および火炎速度比(R32、φ0.9-1.2)

図 2.3.1-7 に示すように、R32 について燃焼速度  $S_u$  を水平方向の火炎伝播速度  $S_f$  [7] から評価した。SV 法を用いて火炎面が球状に膨張することを想定した場合の燃焼速度も計測により得られた圧力プロファイルと数値計算から評価し図 2.3.1-7 に示した。先に示した通り火炎は球状に膨張して伝播しないが、 $S_{u0}$  を評価することで浮力による影響の度合いを調査した。解析では初期段階での火炎面の歪みが球形から大きく逸脱しない範囲圧力プロファイルに注目し、参考値 [9] と比較した。火炎伝播速度および SV 法をもとにした燃焼速度は当量比に関して類似の依存性を示すが、SV 法により評価した値は若干低く評価された。図 2.3.1-3 および図 2.3.1-5 に示したように、R1234yf に関しては現在のところ火炎面の伝播挙動が複雑で SV 法の適用が困難なため、 $\phi 1.325$  に関してのみ燃焼速度  $S_{u0}$  を図 2.3.1-8 に評価している。浮力の影響を排除するため、微小重力下で観測し評価された燃焼速度  $S_{u0-\nu}$  [10] を参考として示した。

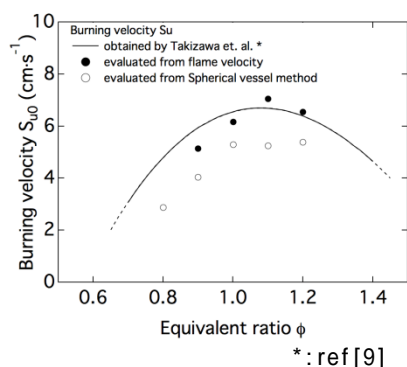


図 2.3.1-7 燃焼速度(R32)

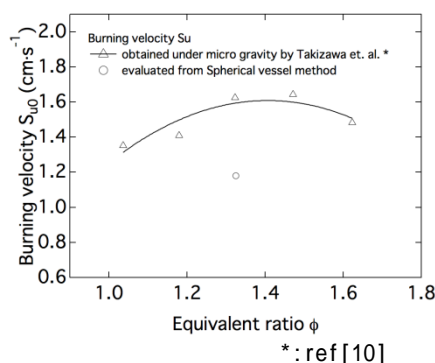


図 2.3.1-8 燃焼速度(R1234yf)

## 2) 水分の存在による影響評価

いくつかの A2L/2L 冷媒の燃焼限界への温度と湿度の影響が既に報告されており [11]、特に夏期には高温多湿となる日本においては非常に重要な課題となる。混合ガスの湿度を制御するため、MICHELL 社製の SF72 露点計を用いて容器内の露点温度を評価できるようにし、図 2.3.1-9 に示す攪拌用のループ経路の途中に設置した。水分は図 2.3.1-10 に示すようにバブラーにより添加し、混合ガスの湿度は露点温度と気体温度から評価した。今後計測を継続し、湿度を考慮した上での浮力影響を評価していく。

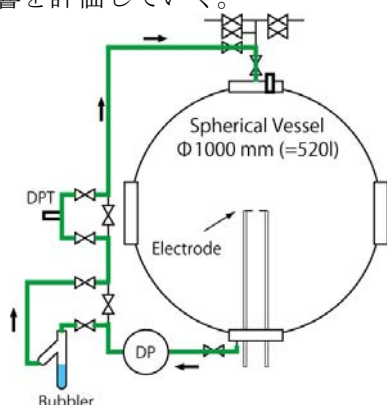


図 2.3.1-9 攪拌ループ

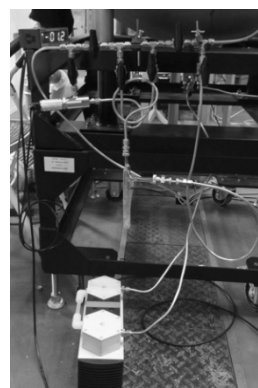


図 2.3.1-10 攪拌ループへのバブラー設置

## 3) 爆発強度指数 $K_G$ 値の評価

爆発強度指数  $K_G$  は圧力プロファイルを解析することで評価される。 $K_G$  値は爆発の激しさを示す指標となっており、内部で爆発するおそれのある容器や配管等において、爆発によって生じる異常な圧力から機器や配管の損害を防ぐために備え付けられる爆発放散口 (ベント) の放散口面積の設計によく用いられている。 $K_G$  は以下のように記述される [3, 4]、

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



$P$  は圧力(100kPa)、 $t$  は時間(s)、 $V_{vessel}$  は燃焼容器容積( $m^3$ )である。 $K_G$  値が大きくなると爆発の激しさが増すことになり、例えば爆発放散口の設計ではより大きな面積が必要になる。本研究で現在のところ評価されている  $K_G$  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表 2.3.1-1 に示した。また後で示す表 2.3.1-2 には他の燃焼性を持つガスについての  $K_G$  値を示した。R32 や R1234yf に関しては、 $K_G$  値に関する限りは低い値となっており、例えばアンモニアの値[4]と同等かそれ以下となっている。

表 2.3.1-1 R32 および R1234yf の燃焼特性評価結果

Refrigerant	Equivalent Ratio $\phi$	$P_{max}$ (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 <sup>a</sup>
	0.9	7	9.2	41.4	39.8–53.3	5.13	4.03	5.93 <sup>a</sup>
	1	7.4	8.1	52.4	51.6–63.1	6.15	5.29	6.55 <sup>a</sup>
	1.1	7.6	8.7	58.6	56.4–63.3	6.76	5.24	6.69 <sup>a</sup>
	1.2	7.6	8.9	56.0	54.4–58.6	6.5	5.38	6.39 <sup>a</sup>
R1234yf	1.2	3.9	1.5	—	—	—	—	—
	1.275	1	0.6	—	—	—	—	—
	1.325	6.2	5.6	—	—	—	1.18	1.625 <sup>b</sup>
	1.35	0.2	0.2	—	—	—	—	—

<sup>a</sup> From Ref. [9]:.

<sup>b</sup> From Ref. [10]: Obtained data under micro-gravity ( $S_{u0-ug}$ ).

#### 4) A2L/2L 冷媒の燃焼シミュレーションの検討

新規冷媒を際に設置される空調機器等に安全に適用していくにあたり、数値シミュレーションを利用した安全性評価と対策技術開発は、機器設置条件や漏えい箇所、漏洩規模など、広範囲にわたる評価項目に対応していくのに非常に有効な評価手段となる。そのためには A2L/2L 冷媒と空気の予混合気の燃焼モデルの開発が必要であり、開発した燃焼モデルを流体解析コードへの組み込むことで、様々な条件下での燃焼挙動を解析し、火炎伝播距離や爆風圧の評価が可能となる。燃焼モデルの検証には本研究での燃焼爆発実験を用いる。基本的な燃焼モデルの概念[12]は反応の進行度を示す変数  $c$  の輸送方程式を解くことである。本プロジェクトにおいて時間の関数として得られる燃焼速度  $S_u$  を用い、輸送方程式で用いられる平均の反応速度は以下のようにソースターム  $S$  を用いて以下のように記述される、

$$\rho S = \rho_u S_u \nabla c$$

$\rho$  は密度、 $\rho_u$  は未燃ガスの密度である。実規模の現象においては、浮力や粘性など様々な不安定性を要因とする実験からの逸脱が懸念される。今後のモデル開発を通してこれらの要因に対応していく。

#### 過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価

本研究開発項目は、再委託先である (独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門が担当した。

##### (a) 概要

空調機器の配管内に空気が混入するなど限られた空間で予混合気を形成した場合、ないしは空間に A2L/2L 冷媒が漏えいした場合を想定し、長時間熱源に接するなど過剰なエネルギーが加わった場合の燃焼爆発特性を明らかにするために、以下の項目を実施する。

(a) 事故シナリオの検討に基づく予混合・漏えい条件評価：A2L/2L 冷媒を使用する空調機器での、事故シナリオ洗い出し作業 (別途実施) と連携し、配管内で形成される予混合気や、配管からの漏えい条件を検討する。

(b) 過剰なエネルギーによる燃焼爆発評価：(a) で検討される条件において、長時間熱源に接す

るなど極端にエネルギーが加えられた場合の着火実験（着火源として最悪を想定）を実施し、安全性を評価する。

本年度は特に(b)において、極端にエネルギーが加えられる場合を想定して自然着火温度の実験的評価の検討や、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評価した。

#### (b) 比較評価と自然発火実験計画

自然着火温度は燃焼性物質が標準大気において外部からの放電や火炎などによるエネルギー供給なしに着火する最低温度である。A2L/2L 冷媒の自然着火特性を評価するため、ASTM E 659 試験法[14]に従った試験を計画している。本試験は本来引火性液体や、可燃性固体に関する試験法だが、本試験法を可燃性ガスにも適用し、さらに本研究では水分の存在や、触媒として想定される金属の存在による影響を評価する予定である。図 2.3.1-11 に示す試験装置は最高 1000℃までの運転を想定して設計しており、次年度に導入・運用する予定となっている。A2L/2L 冷媒と、他の代表的な可燃性ガスとの比較を行う計画である。

A2L/2L 冷媒の実用化と安全利用のため、爆轟を含む爆発の潜在的リスクを評価しておくことは重要である。しかし、現段階では A2L/2L 冷媒に関して報告はほとんど見られないため、間接的ではあるが、他の可燃性ガスについて最小着火エネルギー(MIE)や爆轟範囲、 $K_G$  値などを調査して比較できるようにしておくのは有効と考えられる。いくつかのガスについて、密閉条件での空気との混合ガスの到達圧力  $P_{max}$ 、 $K_G$ 、燃焼範囲、爆轟範囲をまとめて整理した。これらのガスと A2L/2L 冷媒との比較検討を行い、新規冷媒の爆発危険性についてさらに調査を進めていく。

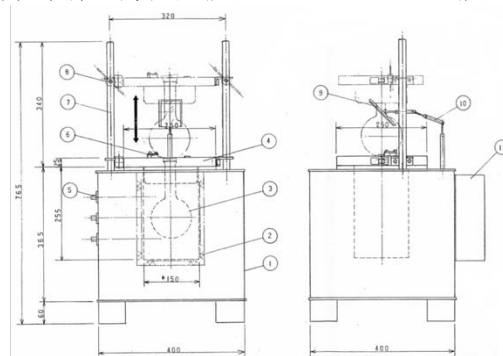


図 2.3.1-11 ASTM E 659 自然発火試験装置

#### (c) 結果および考察

A2L/2L 冷媒の爆発危険性を評価するため、浮力の影響や水分の影響、数値シミュレーションのための燃焼モデル、自然着火温度に関して検討を行った。大容量の球形燃焼容器を用いた予混合着火試験により火炎伝播速度や燃焼速度、 $K_G$  値、到達圧力  $P_{max}$  などを評価した結果をもとに他の可燃性ガスの燃焼速度や爆轟範囲の比較を行った。

##### 暖房機器と同時使用時の安全性評価

本研究開発項目は、東京理科大学が担当した。

#### (a) 概要

ここでは、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こととした。評価項目として、室内の漏洩冷媒の着火及び火炎伝播特性、燃焼生成物 (HF) 発生特性に着目した。さらに 1) サブシナリオ A: 暖房機器を使用している室内に、空調機器から A2L 冷媒が漏洩した場合、2) サブシナリオ B: A2L 冷媒が漏洩・滞留した室内で、暖房機器を動作させた場合、の 2 つのサブシナリオを設定し、それぞれについてフィジカルハザード評価を行った。

#### (b) 実験装置及び方法

実験装置の概略を図 2.3.1-12 に示す。実験室は一辺 2800 mm の立方体形状で、4 畳半の居住空間の容積に相当する。市販の 6 畳用空調機を、天井下 700mm、側面壁から 1400 mm の位置に吹き出し口の中心が来るように設置した。空調機のフロントパネルに直径 6.35 mm の穴を 1 つ開け、ここに銅チューブを挿入して、空調機の送風口を通して冷媒を漏洩させた。なお本実験では室外機は設置せず、空調機器が作り出す室内循環流が燃焼特性及び燃焼生成物発生特性に及ぼす影響

についてのみ検討した。

A2L 冷媒として R1234yf 及び R32 を、現行冷媒として R410A を対象とした。冷媒量は、現行の家庭用空調機器の搭載量[15]を考慮して、800 g とした。漏洩速度は 10 g/min 及び 60 g/min の 2 パターンとした。

冷媒濃度および燃焼生成物（フッ化水素：HF）濃度は、赤外分光光度計（日本分光㈱FT-IR4200）2 台を使用して計測した。サブシナリオ A では、図 2.3.1-12 中の④の地点（暖房機器熱源直前）でのみ計測した。サブシナリオ B では、暖房機器を動作させる前に①～⑥の地点で冷媒濃度を計測し、暖房機器動作後は、④の地点で冷媒濃度と HF 濃度を計測した。

サブシナリオ A では、使用暖房機器は反射式石油ストーブ（出力 2.4 kW, 13m<sup>2</sup>）と石油ファンヒーター（出力 3.2 kW, 16m<sup>2</sup>）である。サブシナリオ B では、セラミックヒーター（ヤルカーセラミック㈱FPS1）の熱源表面に銅シートを貼り付けた熱源を使用した。このヒーターの出力は AC130 V の印加電圧で 1 kW であり、この時の表面温度はおよそ 700 °C であった。

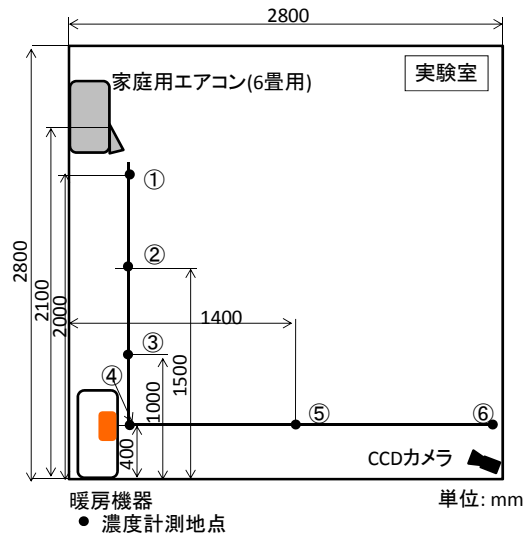


図 2.3.1-12 暖房機器と同時使用時の安全性評価実験 実験装置概略図

(c) 結果及び考察

1) サブシナリオ A

全ての実験ケースで、室内に漏洩・滞留した A2L 冷媒への火炎伝播は認められず、室内の様子は、変化がなかった。図 2.3.1-13 は、一例として石油ファンヒーターを使用した場合の、冷媒濃

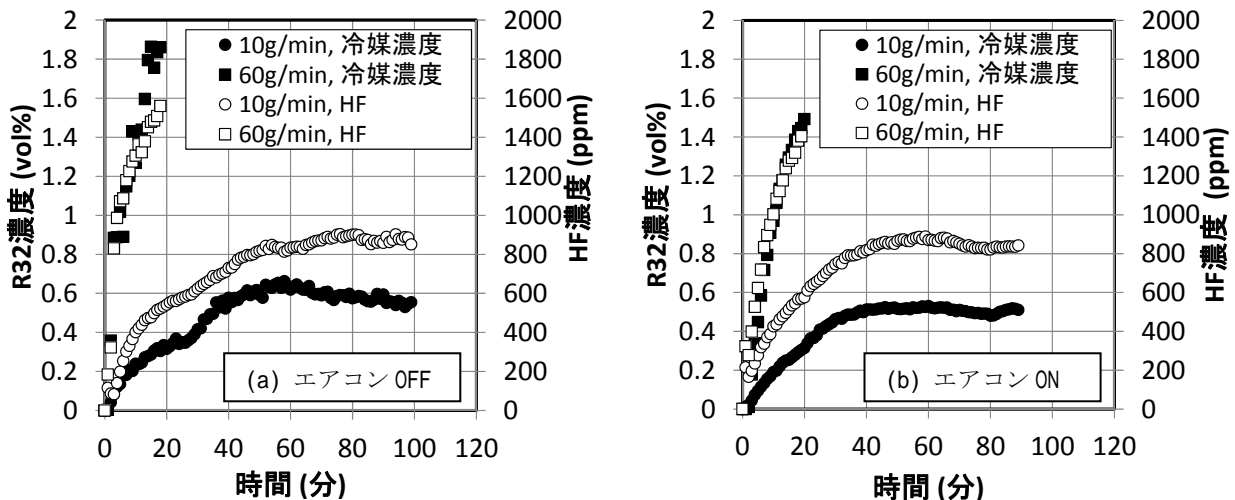


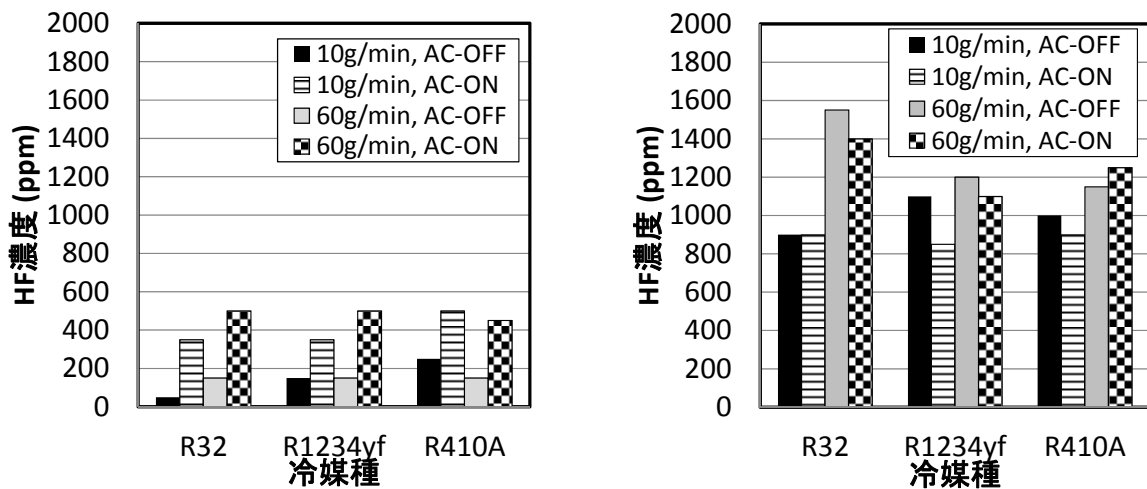
図 2.3.1-13 暖房機器と同時使用時における冷媒濃度および HF 濃度の経時変化  
冷媒：R32，暖房機器：石油ストーブ

度および HF 濃度の経時変化を示したものである。対象冷媒は R32 である。HF 濃度と冷媒濃度の経時変化は非常によく似た曲線を描いており、冷媒の燃焼あるいは熱分解によって HF が発生し

たことがわかる。冷媒濃度は高くても 2 vol%で、R32 の燃焼下限界に遠く及ばない。ファンヒーターの場合は、ヒーター内の裸火部分に吸い込まれた冷媒は燃焼すると考えられるが、4 畳半室内に滞留した R32 に対しては、燃焼下限界以下の濃度であるため、火炎伝播が起きなかったものと推測される。これは R1234yf についても同様である。

図 2.3.1-14 は各冷媒における HF 濃度を示したものである。校正ガスの精度から、本実験系では HF 濃度は 50 ppm 以上で濃度値が保障されるが、測定した HF 濃度は 50~1500 ppm の範囲にあり、日本産業衛生学会が定める許容濃度 (3 ppm) [16]を大幅に超える HF の発生が認められた。これは、A2L 冷媒のみならず、現行冷媒である R410A の場合も同様であった。

暖房機器の影響についてみると、石油ファンヒーターを使用した場合の方が反射式ストーブの場合よりも HF 発生濃度が高い。これは、石油ファンヒーターの場合は、ヒーター機内に吸い込まれた冷媒が裸火によって燃焼しているのに対して、ストーブでは熱源に接触して熱分解しているのみである可能性が高いこと、ファンヒーターの方が自身の作り出す気流により、単位時間当たりに熱源に接触する冷媒量が多いと推定されることによる。空調機運転の有無が及ぼす影響につ



(a) 反射式石油ストーブ

(b) 石油ファンヒーター

図 2.3.1-14 冷媒種ごとの発生 HF 量の比較

いてみると、反射式ストーブの場合は、空調機運転時の方が高い HF 濃度を示したが、ファンヒーターの場合は必ずしもそうではなかった。空調機運転により室内循環流が生じるが、これによりストーブの場合は、単位時間あたりに熱源に接触する冷媒量が単調に増加するのに対して、ファンヒーターの場合はそれ自身が作り出す気流との相互作用によって、必ずしも単位時間あたりに熱源と接触する冷媒量が増加するわけではなかったためと考えられる。冷媒種ごとの HF 発生能力を比較すると、理論上は R410A > R32 > R1234yf となる。本実験の結果から見ると、R32 > R1234yf となる傾向は同様であったが、R32 > R410A となる傾向が見られた。しかし全体的に見れば、現行冷媒並み程度の HF 発生能力とみられる。

## 2) サブシナリオ B

ヒーター作動後、室内冷媒に火炎が伝播する様子は確認されなかった。室内の冷媒濃度が燃焼下限界に遠く及ばないためと考えられる。HF 濃度はほとんど検知されなかった (50 ppm 未満)。

## (d) まとめ

- (1) 家庭用空調機器に搭載される冷媒全量が 4 畳半室内に漏洩した場合でも、暖房機器との同時使用による火炎伝播は認められなかった。
- (2) 漏洩した冷媒が高温熱源に接触すると、許容濃度をはるかに超える HF が発生する。HF の発生能力は、現行冷媒並み程度である。
- (3) 反射式石油ストーブを使用した場合、空調機器運転時により高い HF 濃度を示す。しかし石油ファンヒーターの場合は、必ずしもそうではない。
- (4) 石油ファンヒーターを使用した場合の方が、反射式ストーブの場合よりも高い HF 濃度を示した。

## サービス・据え付け時の安全性評価

本研究開発項目は、東京理科大学が担当した。

### (a) 概要

ここでは、サービス・据え付け等メンテナンス時の安全性評価として、以下の 3 つのシナリオを設定し、そのフィジカルハザード評価を行った。

- 1) サブシナリオ A: サービス・メンテナンス等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
- 2) サブシナリオ B: 配管等に生じたピンホールや、配管が破断した場合などに、これらから A2L 冷媒が噴出漏洩した場合。これは、定置用空調機器のみならず、例えばカーエアコンと回収機をつなぐホースでの事故など、広く類似のケースが考えられる事故シナリオである。
- 3) サブシナリオ 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。このシナリオでは、模型メンテナンス機器内の冷媒の着火挙動に着目した。

### (b) 研究開発成果 (サブシナリオ A)

#### 1) 概要

このシナリオでは、サービス・メンテナンス時に冷媒が漏洩・滞留した雰囲気下で、市販の電子ライターを使用した場合の着火危険性を評価した。なお、たばこの熱による着火危険性は、メタン雰囲気下でたばこの熱では着火が認められなかったとの報告[17]に基づき、ここでは対象としない。

#### 2) 対象とした冷媒組成

ライターの燃料を n-ブタンと仮定する。ライター着火口極近傍で n-ブタン/A2L 冷媒/空気の混合気が形成されており、n-ブタン/A2L 冷媒の混合気が単一の燃料ガスとして取り扱えるものと仮定する。一般的に Burgess-Wheeler の法則に基づく燃焼下限界と燃焼熱の積 LHC の値がほぼ同じガス同士の混合ガスの燃焼範囲は、Le Chatelier 式で予測できることが知られている[18]。A2L 冷媒と n-ブタンとでは、LHC の値がある程度異なるので、正確な燃焼範囲は Le Chatelier の式そのままでは予測できないが、ここでは実験の大まかな組成を決定するために、Le Chatelier の式にて n-ブタン/A2L 冷媒/空気混合気の燃焼範囲を算出した。その結果、A2L 冷媒が燃焼下限界以下の濃度で n-ブタンと混合されたとき、混合気は燃焼範囲に入る結果となった。

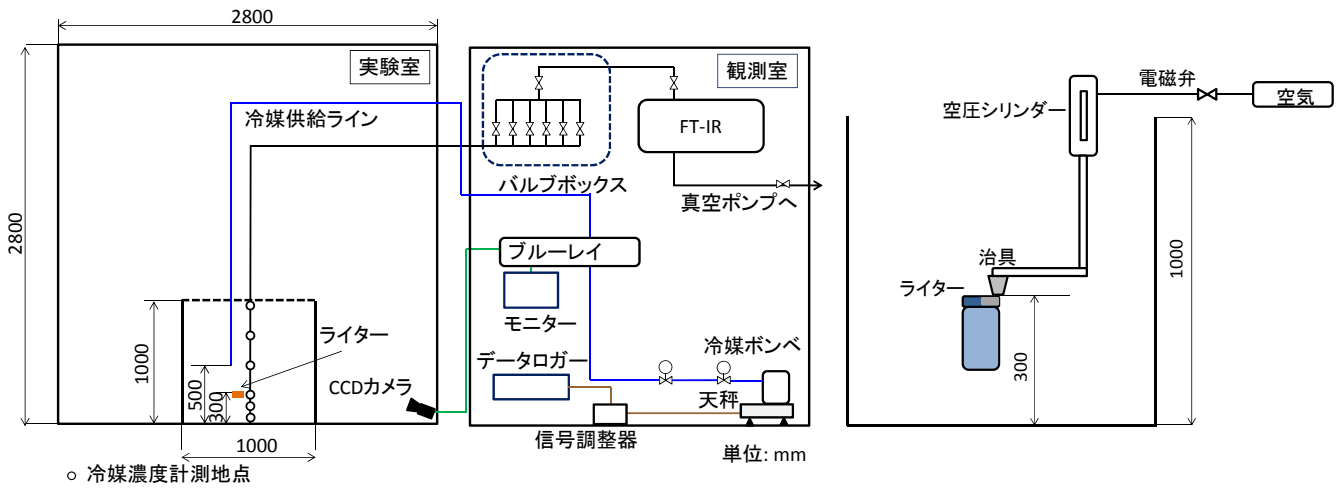
このとき、n-ブタン/A2L 冷媒混合気を単一燃料と考えて当量比を求め、これと同じ当量比における n-ブタンの着火エネルギーを図[19]により求めると、約 0.25-2.40 mJ の範囲にある。ライターの圧電素子のエネルギーは数 mJ と言われているので[20]、燃焼下限界程度以下の濃度で A2L 冷媒が n-ブタンと混合した状況下でライターを動作させると、着火する可能性があることになる。実際には、A2L 冷媒の着火エネルギーが少なくとも数十 mJ 程度以上であるから、n-ブタン/A2L 冷媒混合気の着火エネルギーも n-ブタンのそれより少なくとも 1 桁大きいと考えられるので、着火の可能性は極めて低いと考えられるが、最悪ケースを想定して、実験対象ケースに含めた。

#### 3) 実験

図 2.3.1-15 に実験装置の概略を示す。ライター押付装置は一辺 1000 mm の立方体アクリルプール内の、底面から高さ 300 mm の位置に設置した。ライター押付装置は空圧シリンダー (CKD 製 SSD-X) と治具により構成した。空圧シリンダーへの空気供給圧力は 0.15 MPa とし、電磁弁で制御した。電子ライターは、市販のものをを用いた。

対象とした冷媒は R1234yf, R1234ze(E) 及び R32 である。冷媒はプール底面から高さ 500 mm の位置から、鉛直下向きに漏洩させた。漏洩速度は 10 g/min である。ライター押付動作に先立ち、プール底面から高さ 0, 100, 300, 500, 750, 1000 mm の 6 地点の冷媒濃度を、FT-IR にて計測した。

ライター押付動作は、10 秒を 1 サイクルとして、5 回ないし 9 回行った。ライター近傍の様子は、デジタルビデオカメラ (Xacti, 30 fps) にて撮影した。



(a) 実験装置配置図 (b) ライター押付部詳細  
 図 2.3.1-15 ライターによる着火危険性評価実験 実験装置概略図

4) 結果及び考察

図 2.3.1-16 は冷媒の鉛直濃度分布を示したものである。高さ 0.3 m の直線は、ライターが設置された高さを示す。冷媒供給地点である高さ 500 mm よりも下部では、高さによらずほぼ一定の分布を示した。いずれの冷媒種においても、本実験で漏洩させた冷媒の濃度は、高さ 300 mm (ライター設置位置) において当量比 0.76 ~ 2.18 の範囲にあり、ライターのスパークで着火する可能性のある濃度範囲となっている。

図 2.3.1-17 はライター押付動作時の、ライター着火口極近傍の様子を撮影したものである。A2L 冷媒が燃焼下限界濃度で混合された場合は、ライター着火口で一瞬白く見えるように着火が認められたものの、すぐに消炎し、周囲の A2L 冷媒への火炎伝播は認められなかった。この理由は、n-ブタン/A2L 冷媒混合気の着火エネルギーが、n-ブタンのそれよりも少なくとも 1 桁大きいことと、A2L 冷媒の燃焼速度が小さいことが大きな要因である。燃焼下限界の半分の濃度で混合した場合は、ライターの火炎自体は保炎するが、周囲への火炎伝播は認められなかった。これは、周囲の冷媒が燃焼下限界以下の濃度のためである。

5) まとめ

A2L 冷媒が漏洩・滞留した雰囲気下で、市販の電子ライターを使用しても、滞留した冷媒への火炎伝播は認められなかった。この原因は、n-ブタン/A2L 冷媒混合気の着火エネルギーがライターのエネルギーより十分大きいと推測されることと、燃焼速度が小さいことによる。

(c) 研究開発成果 (サブシナリオ B)

1) 概要

ここでは、配管等に生じたピンホールや破断口から A2L 冷媒が噴出漏洩した場合を対象と

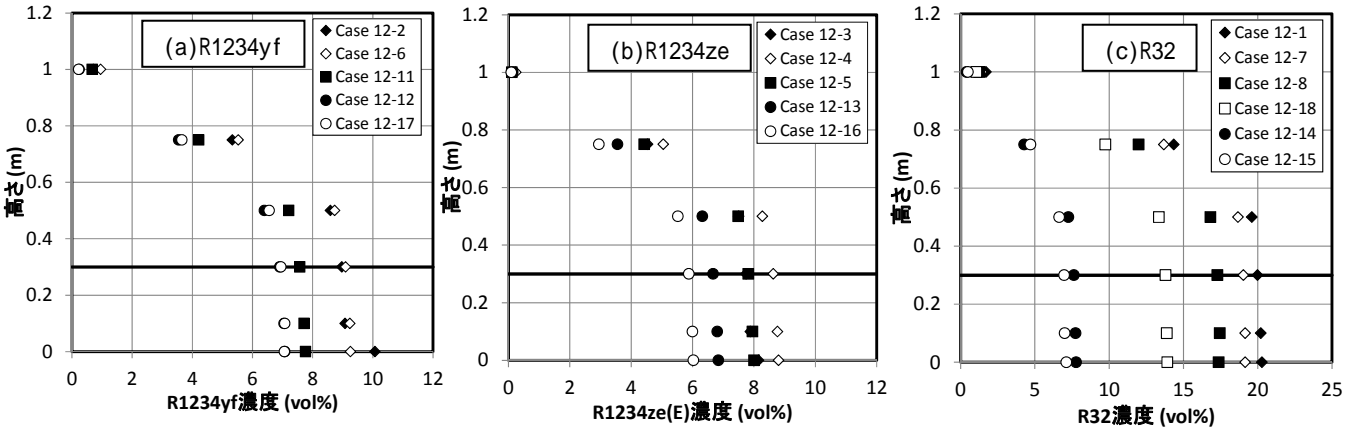


図 2.3.1-16 冷媒濃度の鉛直分布

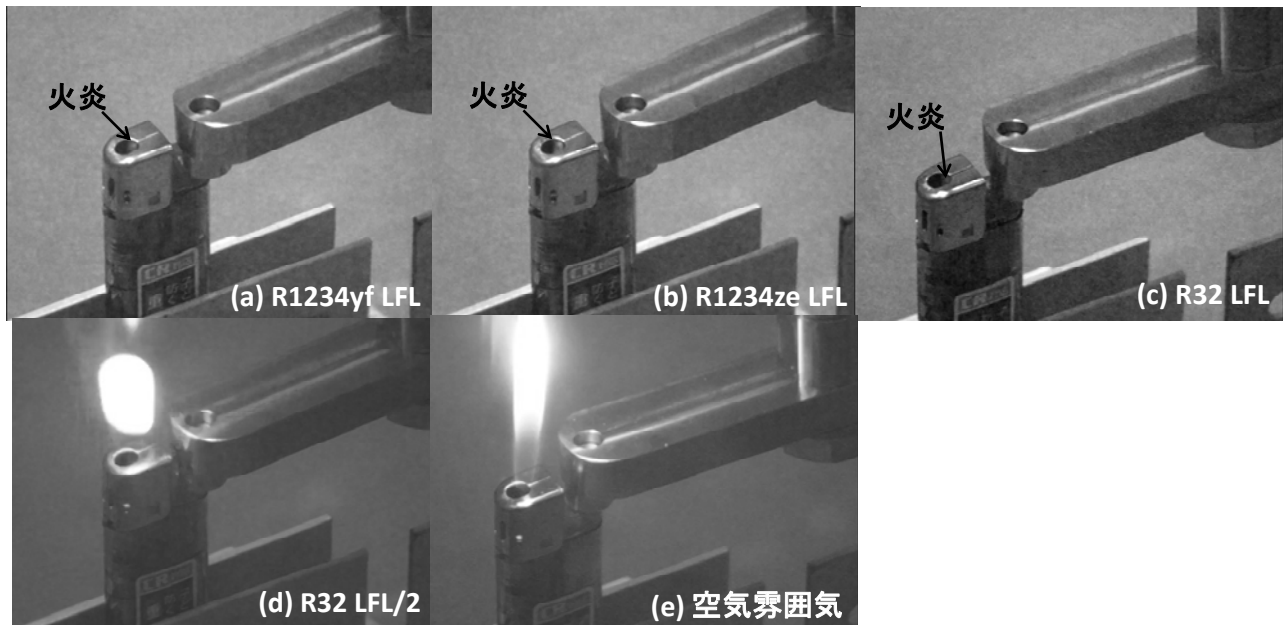


図 2.3.1-17 ライター押付実験時のライター着火口近傍の様子

する。これは定置用空調機器のサービス・メンテナンス時のみでなく、カーエアコンと回収機の接続ホースでの噴出漏洩など、広く類似の事故に応用可能である。

## 2) 実験

1/4 インチサイズのキャップ継手 (Swagelok SS-400-C) の中心に円形の穴を 1 つ開けたものを、ピンホールとして使用した。ピンホール径は 0.2, 1.0, 3.0, 4.0 mm 及びスリット形状 (1.0 mm x 4.0 mm) とした。スリット形状の場合は、縦長と横長の 2 パターンの実験を行った。

冷媒の漏洩圧力は、自圧 (蒸気圧) の場合と、0.5 MPa 程度に減圧した場合との 2 パターンを行った。漏洩圧力は、漏洩口径が大きいほど、漏洩中に時間とともに大きく低下した。最大噴出速度は約 700 g/min であった。供試冷媒は R1234yf, R1234ze(E) 及び R32 の 3 種類である。

ピンホールから漏洩した冷媒噴流の濃度は、超音波式冷媒濃度計 (第一熱研株製 US-II-T-S) 5 台を用いて測定した。測定範囲は下流方向に 500 mm, 鉛直方向に ±50 mm である。

着火源として、単発放電、持続放電及び裸火を用いた。単発放電は、高電圧発生装置 (ジェネシス製 MEL1140B) を用いた。持続放電は、ネオントランス (小寺電子製 CR-N16) を用いた。裸火は 1/4 インチ銅管から発生させ、その長さは約 3 cm である。

## 3) 結果及び考察

噴出圧力を蒸気圧とし、ピンホール径 4 mm で R1234yf を漏洩させた場合 (漏洩速度 約 470 g/min) であっても、図 2.3.1-18 に示すように燃焼範囲はピンホールから下流側約 10 cm までの領域にしか形成されなかった。ピンホール径 4 mm は配管の破断を想定しているが、これより小さなピンホール径では、当然燃焼範囲はこれより小さくなった。すなわち、配管の破断を想定した場合でさえ、燃焼範囲はピンホール極近傍にしか形成されないということである。この傾向は他の冷媒種の場合も認められた。

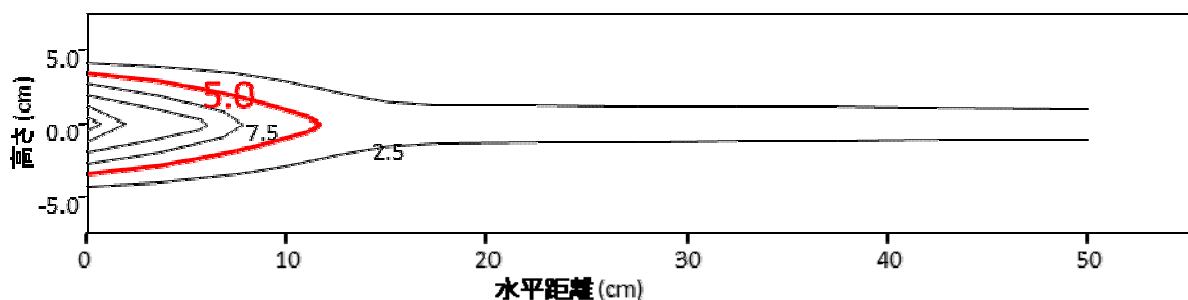


図 2.3.1-18 ピンホール漏洩時の下流側の冷媒濃度分布  
冷媒種 : R1234yf, 漏洩速度 : 470 g/min, ピンホール径 : 4 mm

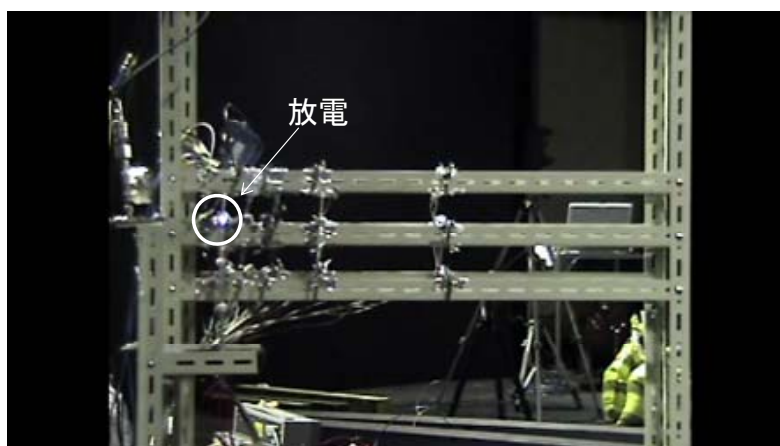


図 2.3.1-19 持続放電による冷媒噴流への着火実験の様子

着火実験では、まず単発放電を着火源とした場合、いずれの漏洩条件でも着火及び冷媒噴流全体への火炎伝播は認められなかった。持続放電の場合は、図 2.3.1-19 に示すように放電電極付近で青白い火炎が認められるが、冷媒噴流全体への火炎伝播は認められず、放電を止めると、青白色の火炎も消炎した。燃焼速度に比べて冷媒噴流の速度が十分大きいと推測される。裸火の場合は、冷媒噴流によって裸火が吹き飛ばされ、冷媒への着火はなく、火炎伝播も認められなかった。

#### 4) まとめ

ピンホール及び破断口から冷媒が噴出漏洩した場合、燃焼範囲は漏洩口極近傍にのみ形成された。また、本実験の条件では、火炎が冷媒噴流全体に伝播してジェット火炎を形成することはなかった。

### (d) 研究開発成果 (サブシナリオ C)

#### 1) 概要

このシナリオでは、サービス・メンテナンス機器の内部で A2L 冷媒が漏洩し、機器内部の電気リレーなどの放電により着火する可能性があるか否かを調べた。例えば、回収機内部で A2L 冷媒が漏洩し、内部の電気スパークで着火するか否かなどに相当する。

#### 2) 実験

模型メンテナンス機器として、一辺 1000 mm のアクリル製のプール (一面のみビニールシート) を作成した。模型メンテナンス機器筐体に冷媒が滞留しないような措置 (例えばスリット) を講じることにより、着火の可能性を低減できるか否かを検討するため、プールの向かいあう 2 面にスリットを設け、この幅を実験条件として変化させた (1, 5, 10, 20 mm)。漏洩速度は 380 g/min として 1 分間漏洩させた。供試冷媒は R1234yf, R1234ze(E), R32 である。

着火実験では、着火源として連発スパーク (16 J, 6 Hz) を使用した。着火源はプール底面から高さ 500 mm の位置に設置した。着火実験は R1234yf のみで実施した。

着火実験に先立ち、冷媒濃度を超音波冷媒濃度計 (第一熱研㈱製 US-II-T-S) にて、高さ 0, 10, 25, 50, 75 cm の 5 地点で計測した。

#### 3) 結果及び考察

図 2.3.1-20 に示すように、スリット幅 0 mm (全閉) の場合は、模型内の冷媒濃度は時間経過に対してほとんど変化せず、模型内に滞留したままであった。これに対して、スリット幅を広げると当然冷媒の滞留時間は短くなり、スリット幅 20 mm では、着火源付近での冷媒濃度は約 3 分で燃焼下限界以下の濃度となった。

着火実験では、スリット幅 20 mm の場合、図 2.3.1-21 に示すように着火源付近の冷媒濃度が燃焼範囲内にあっても、着火は認められなかった。スリットの効果によって模型内に流れが生じ、これによりスパークのエネルギーが分散したことが、不着火要因の 1 つと考えられる。

#### 4) まとめ

一辺 1000 mm の模型メンテナンス機器に対して、スリット幅を 20 mm とすれば、冷媒の滞留時間はスリットなしに比較して 1/10 程度になり、着火は認められなかった。



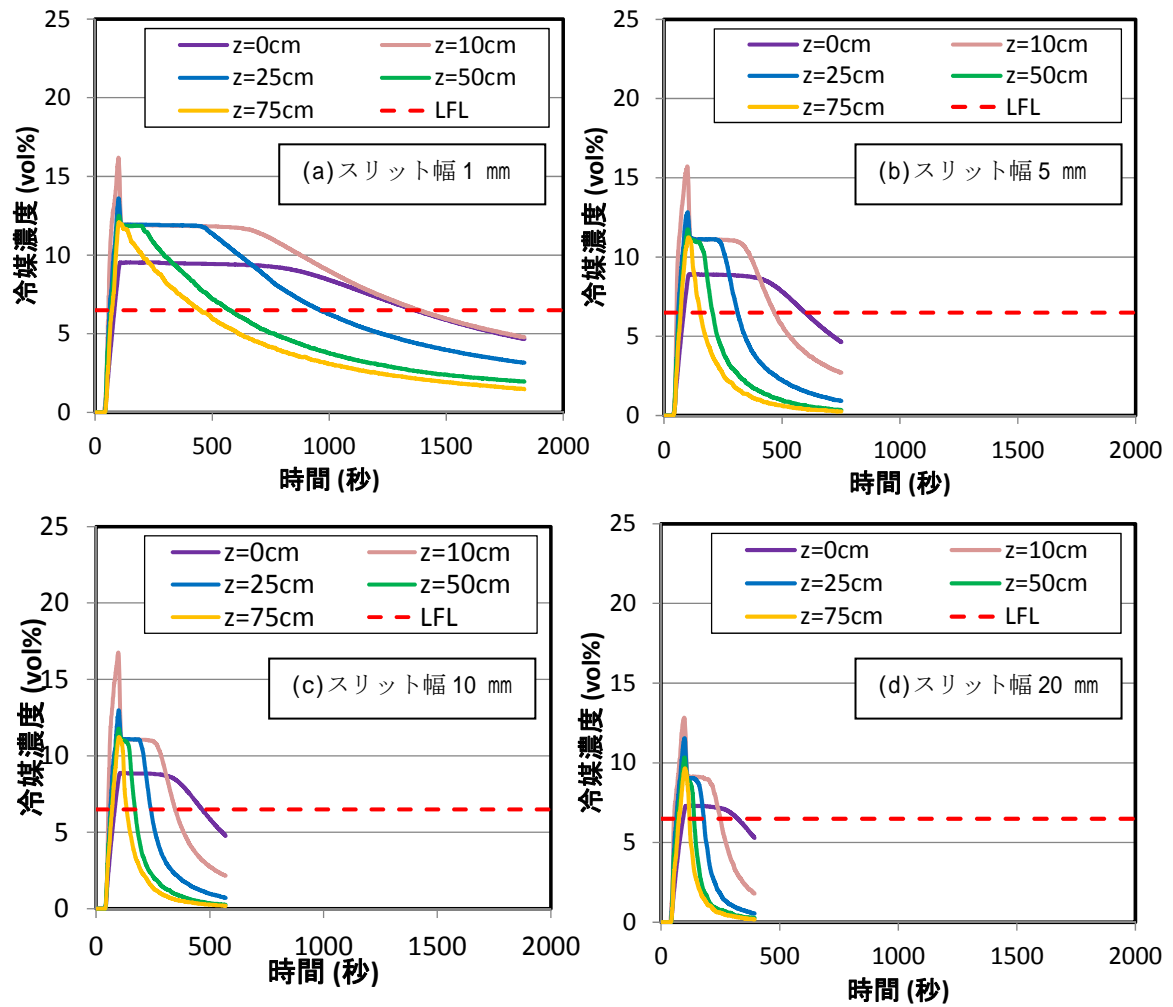


図 2.3.1-20 模型メンテナンス機器内の冷媒濃度の経時変化

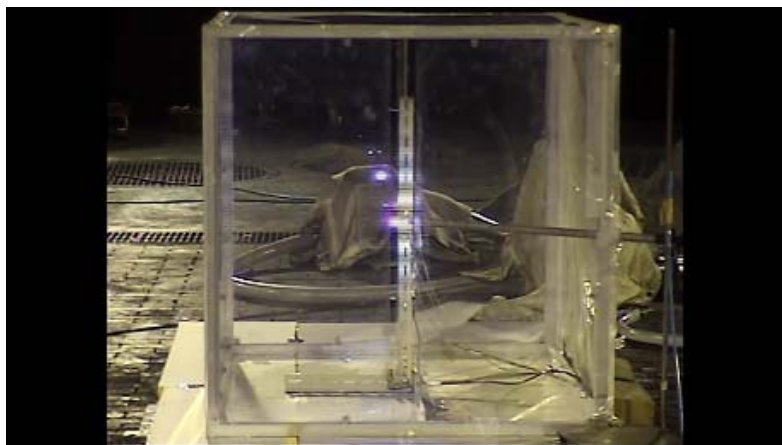


図 2.3.1-21 模型メンテナンス機器内でスパーク (16 J, 6 Hz) を発生させた際の様子

参考文献：

- [1] ASHRAE: Designation and Safety Classification of Refrigerants, ANSI/ASHRAE Standard 34-2007 Addendum ak, 2010.

- [2] K. Takizawa et al.: “Flammability Assessment of CH<sub>2</sub>=CFCF<sub>3</sub>:Comparison with fluoroalkenes and fluoroalkanes”, Journal of Hazardous Materials, 172 1329–1338, 2009.
- [3] ISO 6184-2: Explosion Protection Systems- Part 2: Determination of Explosion Indices of Combustible Gases in Air, 1985.
- [4] NFPA: NFPA 68, “Guide for venting of deflagrations 2007 Edition”, NFPA, 2007.
- [5] M. Metghalchi, and J. C. Keck: Combustion and Flame, 38 143-154, 1980.
- [6] Hill, P. G., and Hung, J.: “Laminar Burning Velocities of Stoichiometric Mixtures of Methane with Propane and Ethane Additives”, Combustion Science and Technology, 60: 7-30, 1988.
- [7] Pfahl, U. J., Ross, M. C., and Shepherd, J. E.: “Flammability Limits, Ignition Energy, and Flame Speeds in H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>O-O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> Mixtures”, Combustion and Flame, 123: 140-158, 2000.
- [8] Gordon, S., and McBride, B. J.: “Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications”, I. Analysis, NASA RP-1311, 1994.
- [9] Takizawa, K., Takahashi, A., Tokuhashi, K. Kondo, S., and Sekiya, A.: “Burning Velocity Measurement of Fluorinated Compounds by the Spherical-Vessel Method”, Combustion and Flame, 141: 298–307, 2005.
- [10] Takizawa, K., Tokuhashi, K., Kondo, S., Mamiya, M., and Nagai, H.: “Flammability Assessment of CH<sub>2</sub>=CFCF<sub>3</sub>(R1234yf) and its Mixtures with CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (R32)”, 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, 2010.
- [11] S. Kondo, K. Takizawa and K. Tokuhashi: “Effects of temperature and humidity on the flammability limits of several 2L refrigerants”, J. Fluorine Chem., 144 130-136, 2012.
- [12] V. Zimont, “Gas premixed combustion at high turbulence. Turbulent flame closure combustion model”, Experimental Thermal and Fluid Science, 21 179-186, 2000.
- [13] Sam Mannan, ed.: Lee’s Loss Prevention in the Process industries, 3rd ed., Elsevier, 2-17 12, 2005.
- [14] American Society for Testing and Materials: Standard Test Method for Autoignition Temperature of Liquid Chemicals, ASTM E 659-78, 2005.
- [15] (独)製品評価技術基盤機構 (NITE): “平成 21 年度 PRTR 届出外排出量の推計方法の詳細: 19. オゾン層破壊物質の排出量, 7 章 家庭用エアコンからのオゾン層破壊物質の環境中への排出”, <http://www.prtr.nite.go.jp/prtr/pdf/estimation21/syosai/19ozon.pdf> (2013 年 3 月 12 日閲覧)
- [16] 日本産業衛生学会: 産業衛生学雑誌, Vol.53, pp.177-203, 2011.
- [17] Holleyhead, R.: “Ignition of Flammable Gases and Liquids by Cigarettes: a Review”, Science and Justice, Vol.36, No.4, pp.257-266, 1996.
- [18] 安全工学会編: 実践 安全工学シリーズ 1 物質安全の基礎, 化学日報工業社, pp.60-63, 2012.
- [19] 安全工学協会編: 新安全工学便覧, コロナ社, p.151, 1999.
- [20] 松井英憲: “最小発火エネルギー”, TIIS ニュース, No.247, p.6, 2012.

<論文、外部発表等の件数> (詳細内容は添付リストを参照)

区分 年度	論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	査読付き	その他	
H23FY	0	0	0
H24FY	3	4	0
H25FY	0	0	0

2.3.2 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】（委託）

<研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度 (H25 年度 末見込み)
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。	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/CO2 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/CO2 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。	○
[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	樹脂、ゴムおよび金属への適合性、燃焼性および毒性に関する評価試験を実施し、化学的性質を明らかにした	○
(b) R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定	臨界定数を実験的に明らかにするとともに、PvT性質を 310K~440K の温度範囲で測定し、飽和蒸気圧相関式および Helmholtz 型状態方程式を作成し、簡便に状態量が計算できる REFPROP の Fluid データを作成した。	○
(c) R1234ze(Z)の輸送的性質の測定	10°C~70°Cの温度範囲で飽和液の熱伝導率を測定した。また、10°C~60°Cの温度範囲で飽和液の粘度を測定した。	○
(d) R1234ze(Z)の伝熱特性の測定	らせん溝付き管内での凝縮および蒸発熱伝達・圧力損失特性の測定を行い、熱交換器の設計に必要なデータを得た。今後、取得した結果のデータベース化を行う	○
(e) R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価	サイクル性能の熱力学的解析を行い、高温熱源温度変化 50°C→75°C、低温熱源温度変化 45°C→39°Cの高温条件で、R1234ze(Z)および R1234ze(E)のドロップイン試験を実施し、本条件では R1234ze(E)が適していること、R1234ze(Z)は本条件より高温の条件で適していることを示した。	○
[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	REFPROP Ver9.0 に基づき、R1234ze(E)/R32/CO2 からなる 3 成分混合冷媒の熱力学的サイクル性能解析を行い、GWP、温度すべり（露点と沸点の温度差）、COP および体積能力を総合的に考慮して、次世代冷媒として有望な GWP<300 および GWP<200 となる 3 成分混合冷媒の組成比を選定した。	○
(b) 低 GWP 混合冷媒の熱力学的性質の測定	GWP=300 の R1234ze(E)/R32/CO2 系 3 成分混合冷媒の PvT 性質を 310K~385K の温度範囲で測定するとともに、本混合冷媒の臨界定数を決定した。この 3 成分系の混合モデルを検討するため、データ収集をした。	○
(c) 低 GWP 混合冷媒の輸送的性質の測定	10°C~70°Cの温度範囲で R1234ze(E)/R32(50/50mass%)および R1234ze(Z)/R32(50/50mass%)の 2 成分混合冷媒の飽和液の熱伝導率を測定した（混合冷媒の飽和液の粘度に関しては、今後、測定する）。	○
(d) 低 GWP 混合冷媒の伝熱特性の測定	らせん溝付き管内および扁平多孔管内での R1234ze(E)/R32 系 2 成分混合冷媒の凝縮および蒸発熱伝達・圧力損失特性を測定し、それらの特性に及ぼす冷媒組成比の影響を明らかにした。また、らせん溝付管内 R1234ze(E)/R32/CO2 系 3 成分混合冷媒の伝熱データ測定に着手した。さらに、管外伝熱試験装置およびプレート熱交換試験装置の製作に着手した。取得した結果のデータベース化を行う。	○
(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 系 2 成分混合冷媒の暖房および冷房モードの追加試験を行い、R1234ze(E)/R32 系 2 成分混合冷媒を R410A の代替冷媒として用いることができることを明らかにした。R1234ze(E)/R32/CO2 系 3 成分混合冷媒の相平衡データの測定が完了し、ドロップイン試験を実施した。	○

【◎：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】

### 2.3.2.1 R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究

#### 2.3.2.1.1 R1234ze(Z)の化学的性質の調査

##### <材料適合試験>

R1234ze(Z)の樹脂、ゴム及び金属への影響を評価するための試験を実施した。

##### (a)樹脂への影響評価

ポリ塩化ビニル（硬質）、ポリ塩化ビニル（軟質）、ポリエチレン（高圧）、ポリエチレン（低圧）、ポリプロピレン、ポリスチレン、アクリル樹脂およびノリル樹脂を試験対象樹脂として選定した。試験では、外径 34 mm、内径 27.2 mm、長さ 110 mm の SUS316 製耐圧管に封入された R1234ze(Z)（封入量：52g）の液中に試験対象樹脂を 50℃で 5 日間浸漬する。そして、耐圧管から試験対象樹脂を取り出して、その重量変化率および体積変化率を算出して影響を評価する。

図 2.3.2.1.1-1 に R1234ze(Z)の樹脂への影響評価の結果を示す。ポリ塩化ビニル（硬質）は取出し直後の重量変化率が小さく、恒量時においても重量変化が小さいことから、冷媒の影響が比較的小さいと考えられる。一方、他 7 種類については、重量変化があり、例えばポリ塩化ビニル（軟質）は、取出し直後は重量増加が認められ、恒量時には、重量減少していた。なお、ポリ塩化ビニル（軟質）は硬化して透明から白色へ変化し、アクリル樹脂はテストピースの原形はとどめないまで溶解した。

##### (b)ゴムへの影響評価

NBR, HNBR, EPDM, クロロプレン, 塩素化ポリエチレン, シリコンゴムおよびフッ素ゴムを試験対象のゴムとした。樹脂の場合と同様に、R1234ze(Z)の液中に試験対象ゴムを 50℃で 5 日間浸漬した後に、耐圧管から試験対象ゴムを取り出して、その重量変化率および体積変化率を算出して影響を評価する。

図 2.3.2.1.1-2 に R1234ze(Z)のゴムへの影響評価の結果を示す。クロロプレンの重量変化が比較的小さかった。NBR, HNBR, シリコンゴムは、取出し直後では重量増加が認められ、恒量時には重量減少していた。フッ素ゴムは、取出し直後の重量増加が大きく、恒量時には、元の重量付近まで戻った。なお、HNBR, シリコンゴムおよびフッ素ゴムは試験直後の膨潤が大きく、また NBR は表面に白い粉が認められた。

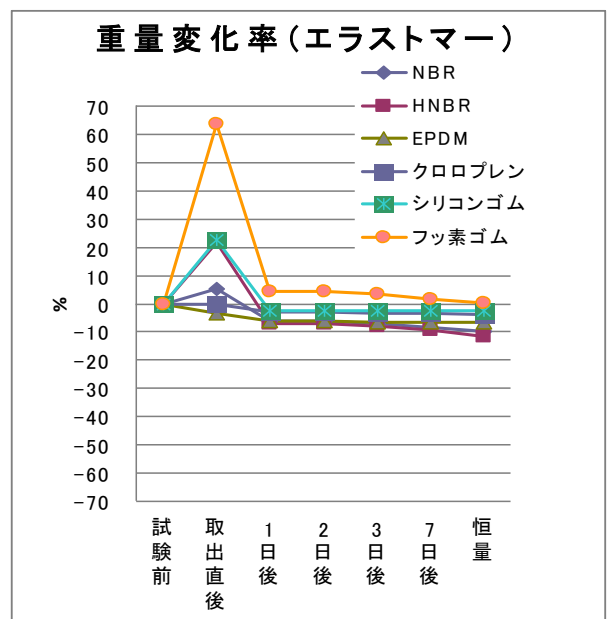
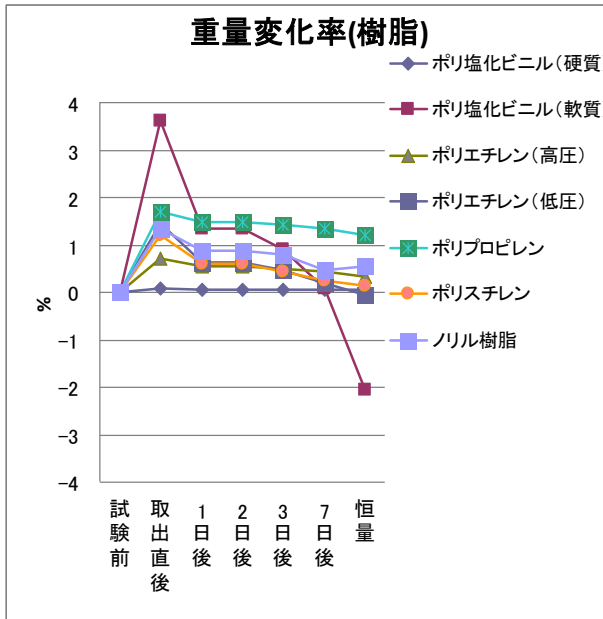


図 2.3.2.1.1-1 R1234ze(Z) の樹脂への影響 図 2.3.2.1.1-2 R1234ze(Z) のゴムへの影響

(c) 金属への影響評価

シールドチューブ試験 (175 °C, 14 日間) により R1234ze(Z) の金属共存下における安定性および金属腐食性の試験を実施する。対象金属は一般的な金属である鉄、銅、アルミニウムとし、空気 (混入量: 100 torr), 水 (混入量: 1 wt%) または潤滑油の存在, 非存在下での各種金属の腐食速度を算出するとともに, R1234ze(Z) の分解による酸発生量をイオンクロマトグラフィにより測定し, 熱安定性を確認する。

表 2.3.2.1.1-1 に空気あるいは水の存在下, あるいは非存在下での, R1234ze(Z) の蒸気中での鉄、銅およびアルミの腐食試験の結果を示す。ここに、鉄の場合については比較対照として実施した R245fa 蒸気中の鉄の腐食試験結果も併記している。各金属に関して著しい腐食は認められなかったが、鉄およびアルミは水共存下で若干腐食速度が早い傾向が認められた。

表 2.3.2.1.1-1 R1234ze(Z) の金属への影響

	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

<燃焼性試験>

R1234ze(Z) の燃焼安全性を評価するために、室温条件下で不燃性か可燃性かを確認し、可燃性が認められた場合、燃焼範囲 (上・下限界) 測定, 最小着火エネルギーの測定および引火点の測定を実施した。測定方法を以下に示す。

(a) 燃焼範囲の測定

内容積 1000 cc の球形ガス爆発試験装置（多摩精器工業㈱製）に R1234ze(Z) および空気を供給し、装置内部において所定濃度の混合ガスを調製する（混合ガス初期圧力=大気圧，混合ガス初期温度=25℃）。金属線溶断法（ニクロム線の長さ 15 mm，直径 0.5 mm）を用いて，混合ガスの爆発有無を判定する。爆発した場合は，その時の到達圧力および圧力上昇速度を爆発波形解析装置から読み取る。同一濃度で 3 回中 1 回も爆発しない濃度を上限界濃度および下限界濃度とする。なお，爆発有無の判定基準を下記に示す。

爆発：0.1 × 10<sup>5</sup> Pa 上昇圧力

不爆：上昇圧力 < 0.1 × 10<sup>5</sup> Pa

#### (b) 最小着火エネルギーの測定

内容積 270 cc のシリンダー型爆発試験装置（多摩精器工業㈱製）に R1234ze(Z) および空気を供給し，装置内部において所定濃度の混合ガスを調製する（混合ガス初期圧力=大気圧，混合ガス初期温度=25℃）。エネルギー発生装置（㈱指月電機製作所製：DC=0~15kV，コンデンサ最大容量=0.1575 μF，着火エネルギー=1 mJ~800 mJ）によって所定のエネルギーに調整した電気火花（電極間距離=1.5 mm）を用いて，混合ガスへ着火し，爆発有無を判定する。任意の混合ガス濃度において，爆発する最小のエネルギーを最小着火エネルギーとする。なお，爆発有無の判定基準を下記に示す。

爆発：圧力が 0.1 × 10<sup>5</sup> Pa 以上上昇かつ

温度が 5℃ 以上上昇

不爆：圧力，温度が共に変化しない

#### (c) 引火点の測定

タグ密閉式引火点測定装置（JIS K2265 に準拠）により，R1234ze(Z) の引火点の測定を行う。

表 2.3.2.1.1-2 に R1234ze(Z) の燃焼性試験の結果を示す。参考までに，表 2.3.2.1.1-2 には R1234ze(E)，R1234yf，R32，R134a および R245fa の公表されている結果も示している。R1234ze(Z) は，今回実施のガス爆発上下限界濃度測定において，7.5~16.4 vol% の混合気で爆発範囲を有することが確認された。最小着火エネルギーの測定では，爆発範囲の混合ガス(8.0, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0 vol%)に 800 mJ のエネルギーを印加しても各混合濃度で不爆という結果であった（800 mJ は，本試験を実施した装置で発生可能な最大エネルギー）。また，引火点はなかった。

表 2.3.2.1.1-2 R1234ze(Z) の燃焼性試験の結果

冷媒	沸点 [℃]	燃焼範囲 [vol%]	MIE <sup>4</sup> [mJ]	引火点 [℃]	燃焼速度 [cm/s]	区分 <sup>7</sup>
R1234ze(Z)	9	7.5~16.4 <sup>1</sup>	n.d. <sup>5</sup>	none	n.d.	?
R1234ze(E)	-19	5.3~17.2 <sup>1</sup> 5.6~14.4 <sup>2</sup> (7.0~9.5) <sup>3</sup>	61000	N/A	0 <sup>6</sup>	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℃)

4 MIE：最小着火エネルギー

5 R1234ze(Z)は測定装置の上限値(800 mJ)で不燃

6 R1234ze(E)は燃焼速度測定条件下で不燃

7 ASHRAE Standard34による燃焼性区分，1：不燃性，2L：低微燃性(L=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)

<毒性試験>

R1234ze(Z)の予備的毒性を評価するために、細菌性復帰突然変異試験および急性吸入毒性試験を実施した。試験方法を以下に示す。

(a)細菌性復帰突然変異試験

細菌（ネズミチフス菌および大腸菌）を用いて、被験物質 R1234ze(Z)の変異原性を評価する。その方法の概要は以下のとおりである。遺伝子操作により必須アミノ酸の合成能力を有しない細菌を、37 °C×48 時間の条件で培養する。被験物質の添加によって突然変異が起こらない場合、細菌はアミノ酸合成ができないため、グルコース寒天培地上で増殖せず、コロニー形成は観測されない。一方、被験物質が突然変異を誘発する場合、細菌自身がアミノ酸合成が可能となり、グルコース寒天培地上で増殖し、コロニーを形成する。被験物質に暴露しながら培養した細菌のコロニー形成数をカウントし、被験物質の変異原性を評価する。なお、本方法は経済協力開発機構（OECD）ガイドライン 471 に準拠したものである。

(b)急性吸入毒性試験

ラットを用いて、被験物質 R1234ze(Z)の急性毒性を評価する。その方法の概要は以下のとおりである。ラットに被験物質の空気希釈ガスを 4 時間吸入させる。吸入直後から 14 日間経過するまで、ラットに発現する症状、体重、病理学的変化を指標として、急性毒性を解明する。被験物質の濃度は 500 ppm(v/v)から開始し、急性毒性が認められない場合は段階的に濃度を上げ、最高濃度 20000 ppm (v/v)まで同様の試験を行う。なお、本方法は経済協力開発機構（OECD）ガイドライン 436 に準拠したものである。

表 2.3.2.1.1-3 に R1234ze(Z)の毒性試験の結果を示す。参考までに、表 2.3.2.1.1-3 には R1234ze(E)、R1234yf、R32、R134a および R245fa の公表されている結果も示している。表に結論を示しているが、本毒性試験により被験物質 R1234ze(Z)は、細菌（ネズミチフス菌および大腸菌）に対する変異原性を有しないこと（陰性）が確認された。また、R1234ze(Z)の LC50 (4h) は > 21695 ppm であることが確認された。

表 2.3.2.1.1-3 R1234ze(Z)の毒性試験の結果

冷媒 <sup>※1</sup>	変異原性 <sup>※2</sup>	LC <sub>50</sub> (4h) <sup>※3</sup> [ppm]
<b>R1234ze(Z)</b>	<b>陰性</b>	<b>&gt;21,695<sup>※5</sup></b>
R1234ze(E)	陰性	>207,000
R1234yf	陰性 <sup>※4</sup>	>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

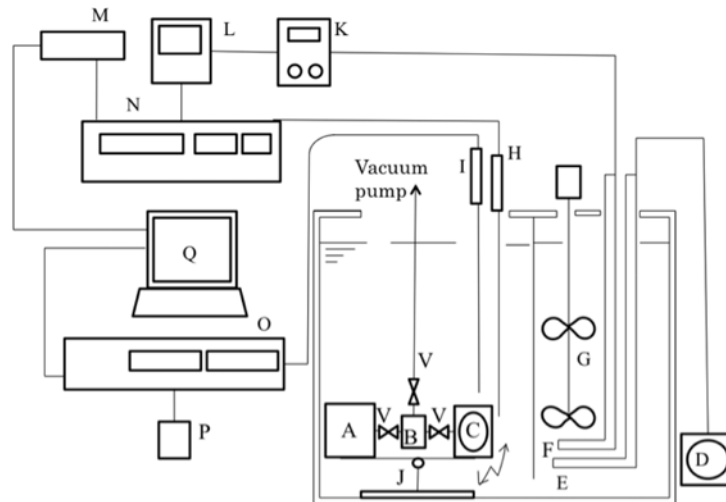
※5 今回の急性吸入試験(OECD436)で実施した最高濃度=20000 ppm

### 2.3.2.1.2 R1234ze(Z)の熱力学的性質の測定

#### 2.3.2.1.2-1 測定

##### 2.3.2.1.2-1.1 臨界域における飽和液体および飽和蒸気密度の測定

本実験では、臨界域近傍の飽和液体密度および飽和蒸気密度を、メニスカス（気液界面）の消滅を肉眼で直接観察して決定する方法で行った。実験装置概要図を図 2.3.2.1.2-1.1-1 に示す。



- (A) 試料供給容器；(B) 膨張容器；(C) 窓付き圧力容器；(D) 電圧変換器；(E) 1.5 kW ヒーター；  
(F) 300W ヒーター；(G) 攪拌機；(H, I) 25 標準白金抵抗測温体；(J) 揺動装置；  
(K) PID コントローラ；(L) サイリスタ；(M) デジタルマルチメータ；  
(N, O) 交流測温ブリッジ；(P) 25 標準抵抗；(Q) コンピュータ；(V) 高圧弁。

図 2.3.2.1.2-1.1-1 メニスカスの消滅の観察による飽和密度測定および臨界定数決定装置

測定装置主要部は、純物質および混合物試料を初期充填するための SUS 314 製円筒形の試料供給容器 (A)、同じく SUS 314 製円筒形の圧力容器で、密度設定を変更するときに試料を膨張して密度を変化させることができるように付加された膨張容器 (B)、そして試料のメニスカスの消滅の挙動が、外部から観察できるようにパイレックスガラス製の覗き窓を設けた圧力容器 (C) から構成される。3つの圧力容器は、配管部および高圧弁の接続部までを含む内容積が、純水を用いて既に測定されており、その値はそれぞれ  $77.575 \pm 0.016 \text{ cm}^3$ 、 $8.949 \pm 0.003 \text{ cm}^3$ 、 $11.638 \pm 0.008 \text{ cm}^3$  である。3つの圧力容器は配管と高圧弁で接続され、揺動装置 (J) に設置された状態で、シリコンオイルを熱伝熱媒体に用いた液体恒温槽内に設置される。液体恒温槽内のシリコンオイルは、高温での温度制御に用いる 1.5 kW ヒーター (E) と、放熱量の補充を目的とした 300 W ヒーターで加熱され、この 300W ヒーターには PID 制御機構 (K) が導入されているので、ミリケルビン (mK) のオーダーでの温度制御が可能である。温度は 25 標準白金抵抗測温体を用いて測定し、ITS-90 に準拠して算出した。温度測定誤差は  $\pm 10 \text{ mK}$  以内と考えている。密度の値に関しては、3つの圧力容器のそれぞれの内容積の値と、膨張容器の組み合わせの方法により、計算から求めることができる。密度設定は膨張によって変化させているので、膨張回数が増すほど、密度測定精度が悪くなるのは否めない。それでも、最大 0.2 % 以上の不確かさが生じないように、膨張回数で制限を加えている。本研究で使用した試料は、セントラル硝子株式会社の物性計測用に調整された高純度試料であり、その純度は 99.93 % であった。測定をする上で、特に試料純度向上を目的とした蒸留操作等は加えていない。

本実験においては、R1234ze(Z)の臨界点近傍におけるメニスカスの消滅の様子を観察し、メニスカスの消滅位置と、臨界タンパク光による着色の様子から、飽和液体密度か、飽和蒸気密度かを識別して、合計 10 点の飽和密度の実測値を得ることができた。その結果を表 2.3.2.1.2-1.1-1 にまとめた。なお、この表の中には後述する  $P-T$  測定結果から、等容線の折れ曲がり点を解析して得られた飽和密度の情報もあわせて記載している。そして、これらの結果を温度と密度の関係を表す  $T-\rho$  線頭上に示したものが図 2.3.2.1.2-1.1-2 である。



R1234ze(Z) は臨界温度が 423 K 付近と、比較的高温の物質であり、メニスカスの消滅を観察した測定の実績がなかった。さらには、ほかの研究者も臨界点のみならず飽和密度の実測値も存在していなかった。そのため、Brown らが報告していた推算値で、あらゆる計算が行なわれていたのが実状である。本研究により、初めて実験により R1234ze(Z) の熱力学性質が解明されたことになる。

表 2.3.2.1.2-1.1-1 R1234ze(Z) に関する臨界点近傍における飽和密度の実測値

$T(K)$	$\rho (kg \cdot m^{-3})$	系の状態	実験方法
416.083	223.7	飽和蒸気	メニスカスの消滅観察
419.312	266.1	飽和蒸気	メニスカスの消滅観察
419.660	283.1	飽和蒸気	メニスカスの消滅観察
422.752	358.1*	飽和蒸気	メニスカスの消滅観察
423.247	395.7*	飽和蒸気	メニスカスの消滅観察
423.268	470.6*	臨界点のごく近傍	メニスカスの消滅観察
423.245	500.7*	飽和液体	メニスカスの消滅観察
420.849	633.6	飽和液体	メニスカスの消滅観察
419.395	658.0	飽和液体	メニスカスの消滅観察
403.137	833.2	飽和液体	メニスカスの消滅観察
356.3	45	飽和蒸気	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)
390.4	106	飽和蒸気	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)
400.9	140	飽和蒸気	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)
416.8	240	飽和蒸気	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)
418.6	670	飽和液体	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)
412.0	752	飽和液体	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)
390.4	901	飽和液体	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)
368.3	1002	飽和液体	$P\rho T$ 測定 (等容線の挙動から解析)

(\*) 星印のデータでは臨界タンパク光が観察された。

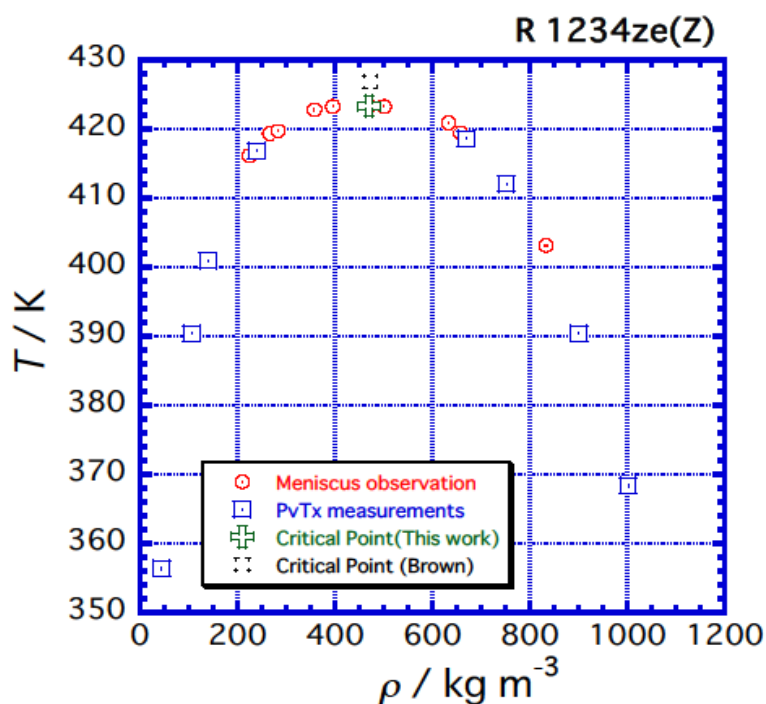


図 2.3.2.1.2-1.1-2 R1234ze(Z) に関する臨界点近傍における飽和密度の実測値

本実験では、臨界密度を含む臨界点に近い領域での飽和蒸気密度から飽和液体密度の測定を行っており、これらの実測値について、以下の基準で実験的に臨界点を決定している。

<臨界点をメニスカスの消滅から決めるときの基準>

- (1) 室温状態において、メニスカスの位置が容器中央部にある。
- (2) 温度を上昇させていっても、メニスカスの位置が変化しない。
- (3) メニスカスの消滅と生成の位置が同じである。
- (4) メニスカス消滅の直前に、臨界タンパク光が強く確認される
- (5) 臨界タンパク光による着色の度合いが、液相と気相でほとんど変わらない。

メニスカス観察記録を慎重に議論し、R1234ze(Z) の臨界定数を以下のように決定した。この物質について、臨界定数を実験的に決定した報告は過去になく、本研究で世界に初めてR1234ze(Z) の臨界定数を解明したことになる。なお、臨界圧力に関しては、後述の  $P-T$  測定による飽和蒸気圧測定結果から求めている。

$$T_c = 423.27 \pm 0.03 \text{ K}, \quad (2.3.2.1.2-1.1-1)$$

$$\rho_c = 470 \pm 5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \quad (2.3.2.1.2-1.1-2)$$

$$V_c = 242.6 \pm 2.9 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}. \quad (2.3.2.1.2-1.1-3)$$

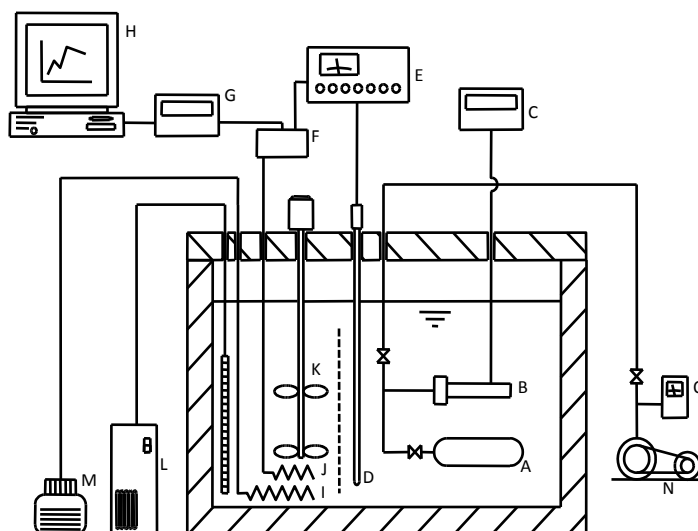
$$P_c = 3533 \pm 10 \text{ kPa}. \quad (2.3.2.1.2-1.1-4)$$

### 2.3.2.1.2-1.2 飽和蒸気圧および $P-T$ (圧力-密度-温度) 性質の測定

R1234ze(Z) の飽和蒸気圧および  $P-T$  (圧力-密度-温度) 性質は、等容法に基づいた装置で測定した。実験装置概要図を図 2.3.2.1.2-1.2-1 に示す。

配管系を含めた内容積の値を事前に正確に測定した試料圧力容器(A)に、質量を測定した対象物質を充填する。充填質量の値と容器の内容容積から流体の密度が算出でき、その時の温度と、その温度に対応する圧力をそれぞれ精密に計測することで  $P-T$  性質を測定する。圧力は水晶発振式圧力計(B)で、温度は 25 標準白金抵抗測温体(D)と測温ブリッジ(E)で測定した。密度に関しては、容器内容積と、温度と圧力の変化に対応させた充填質量から、温度・圧力による影響も考慮して算出した。本研究における測定精度は、温度測定に関しては、温度センサの確度や恒温槽内の熱媒体の温度分布のばらつきなどを考慮し、 $\pm 10 \text{ mK}$  以内と見積もった。圧力測定に関しては、測定時のばらつきだけでなく、圧力センサの振動数を圧力に変換する相関式の信頼性も考慮して、 $\pm 2 \text{ kPa}$  以内と見積もった。充填質量と内容積から算出する密度に関しては、最大でも  $\pm 0.15 \%$  以内と見積もっている。

本研究で使用した試料は、セントラル硝子株式会社の物性計測用に調整された高純度試料であり、その純度は 99.93 % であった。



- (A) 試料圧力容器, (B) 圧力センサ, (C) 圧力計, (D) 標準白金抵抗測温体,  
 (E) 測温ブリッジ, (F) PIDコントローラ, (G) デジタルマルチメータ, (H) コンピュータ,  
 (I) 主ヒーター, (J) サブヒーター, (K) 攪拌機, (L) 冷却器, (M) 電圧変換器,  
 (N) 真空ポンプ, (O) 真空計

図 2.3.2.1.2-1.2-1 等容法による  $P-T$  (圧力-密度-温度) 性質測定装置

本実験において, 飽和蒸気圧と  $P-T$  性質の実測値が得られた. 飽和蒸気圧に関しては, 温度 310 K から 420 K の範囲で, 表 2.3.2.1.2-1.2-1 に示す 19 点の実測値を得た. 温度測定の不確かさは  $\pm 0.01$  K, 圧力測定に不確かさは  $\pm 2$  kPa である. 得られた実測値および前項で決定した臨界温度  $T_c=423.27$  K の値を用いて, 飽和蒸気圧相関式を温度の関数として作成した.

$$\ln P = \ln P_c + (T_c / T)(A\tau + B\tau^{1.5} + C\tau^{2.5} + D\tau^5) \quad (2.3.2.1.2-1.2-1)$$

ここで, 式(2.3.2.1.2-1.2-1)の係数は,  $A=-7.6208$ ,  $B=1.5925$ ,  $C=-2.3198$ ,  $D=2.0196$  であり, この式(2.3.2.1.2-1.2-1)のフィッティングパラメータとして, 臨界圧力が  $P_c = 3533$  kPa として決定された. 本相関式は, 標準偏差 0.06 %, 平均偏差 0.05 % で本実測値を再現できている. その偏差の挙動を図 2.3.2.1.2-1.2-2 および図 2.3.2.1.2-1.2-3 に示した.

表 2.3.2.1.2-1.2-1 R1234ze(Z) の飽和蒸気圧実測値

$T$ (K)	$P_s$ (kPa)	$T$ (K)	$P_s$ (kPa)	$T$ (K)	$P_s$ (kPa)	$T$ (K)	$P_s$ (kPa)
310.00	263	345.00	702	375.00	1404	405.00	2540
320.00	357	350.00	795	380.00	1558	410.00	2785
330.00	474	355.00	897	385.00	1728	415.00	3048
335.00	542	360.00	1008	390.00	1907	420.00	3333
340.00	619	370.00	1260	400.00	2313		

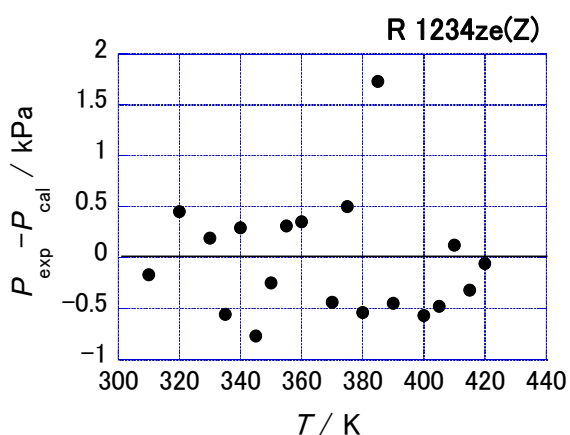


図 2.3.2.1.2-1.2-2 作成した飽和蒸気圧相関式と本実測値との絶対偏差

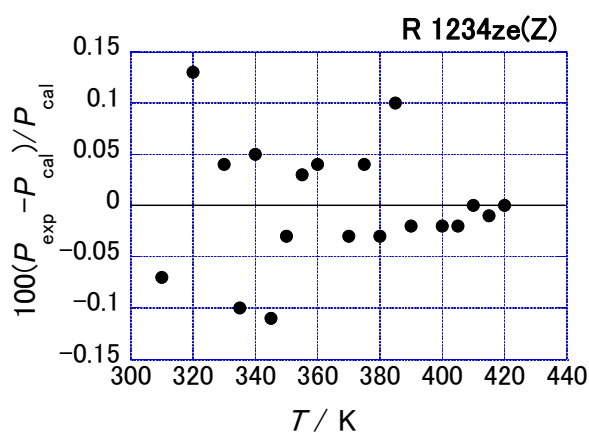


図 2.3.2.1.2-1.2-3 作成した飽和蒸気圧相関式と本実測値との相対偏差

$P-T$  性質に関しては, 温度範囲 310 K から 440 K, 密度範囲  $45 \text{ kg/m}^3$  から  $1002 \text{ kg/m}^3$ , 圧力範囲 6 MPa 以下で合計 236 点の実測値を得ることができた. 実測値の分布を図 2.3.2.1.2-1.2-4 にまとめた. 詳細のデータに関しては, 量が多いので, 後日刊行論文としてまとめる予定

である。実際にシステム設計や性能評価を行うためには、本実測値に基づいて状態式を作成し、プログラムパッケージ化する必要があるが、それに関しては次項で説明する。

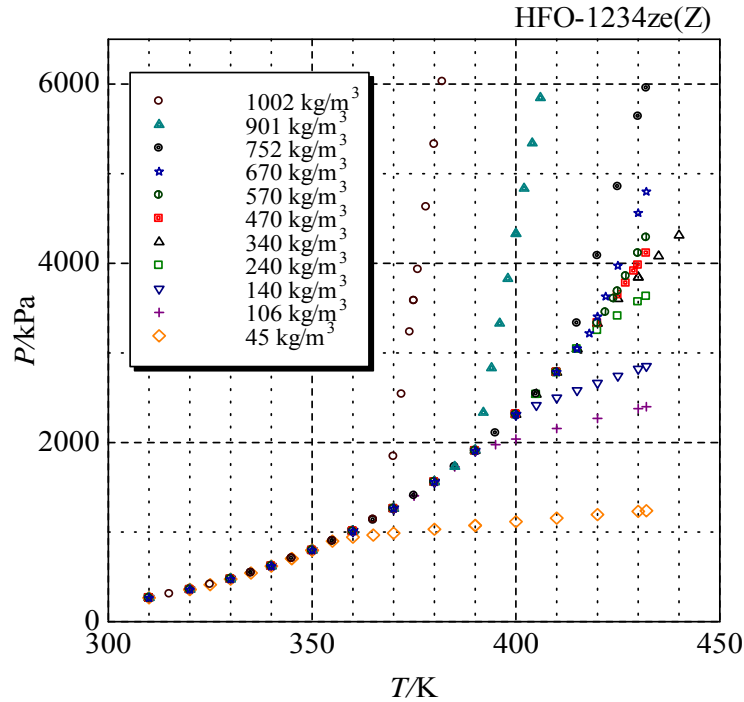


図 2.3.2.1.2-1.2-4 R1234ze(Z) の  $P$  -  $T$  性質実測値の分布

### 2.3.2.1.2-2 状態方程式

平成 23 年度に測定した飽和蒸気圧、飽和密度および PvT 性質の値に基づき、Helmholtz 型状態方程式を開発した。作成にあたっては、他の研究機関から公表されている飽和蒸気圧、気相密度、液相密度および気相音速の実測値も収集し、本研究における測定値と整合している値も使用した。本研究で開発した状態方程式は次式で表される。

$$\frac{a(T, \rho)}{RT} = \alpha(\tau, \delta) = \alpha^0(\tau, \delta) + \alpha^r(\tau, \delta) \quad (2.3.2.1.2-2-1)$$

ここで、 $a$  はモル Helmholtz エネルギーであり、 $\frac{a}{RT}$  は無次元 Helmholtz エネルギーである。また、 $R$  は一般気体定数であり、その値は  $8.314472 \text{ J}/(\text{mol K})$  [2.3.2.1.2-2-1] である。独立変数の  $\tau$  および  $\delta$  は無次元温度および無次元密度であり、次式で計算される。

$$\tau = T_{\text{red}} / T \quad (2.3.2.1.2-2-2)$$

$$\delta = \rho / \rho_{\text{red}} \quad (2.3.2.1.2-2-3)$$

ここで、 $T_{\text{red}}$  および  $\rho_{\text{red}}$  は温度および密度に対する無次元化パラメーターであり、 $T_{\text{red}}$  には本研究で決定した臨界温度  $423.27 \text{ K}$  を用いる。また、 $\rho_{\text{red}}$  は状態方程式の最適化において  $470.615 \text{ kg}/\text{m}^3$  と決定した。

式(2.3.2.1.2-2-1)の  $\alpha^0$  および  $\alpha^r$  はそれぞれ  $\alpha^0$  の理想気体部分および残留部分である。 $\alpha^0$  は理想気体の定圧比熱の式から次式より計算する。

$$\alpha^0(\tau, \delta) = \frac{h_0^\circ \tau}{RT_c} - \frac{s_0^\circ}{R} - 1 + \ln \frac{\delta \tau_0}{\delta_0 \tau} - \frac{\tau}{R} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{c_p^\circ}{\tau^2} d\tau + \frac{1}{R} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{c_p^\circ}{\tau} d\tau \quad (2.3.2.1.2-2-4)$$

理想気体の定圧比熱式として、本研究では Joback 法 [2.3.2.1.2-2-2] により求めた次式を用いた。

$$\frac{c_p^\circ}{R} = N_0^\circ + N_1^\circ T_r + N_2^\circ T_r^2 + N_3^\circ T_r^3 \quad (2.3.2.1.2-2-5)$$

ここで、 $T_r = T / T_c$ 、 $N_0^\circ = -1.6994$ 、 $N_1^\circ = 24.527$ 、 $N_2^\circ = -9.9249$ 、 $N_3^\circ = 1.5158$  である。

一方、残留部分は、入力値として与えた実測値を測定不確かさの範囲内で再現できるように非

線形最小自乗法で最適化を行い，以下の関数形を得た．

$$\alpha^r(\tau, \delta) = \sum_{i=1}^5 N_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} + \sum_{i=6}^{17} N_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\delta^{e_i}) \quad (2.3.2.1.2-2-6)$$

係数および指数は表 2.3.2.1.2-2-1 に示す．

Helmholtz 型状態方程式は，微分演算のみで全ての熱力学的状態量を導くことができる．例えば，圧力  $p$ ，比エンタルピー  $h$  および定積比熱  $c_v$  は式(2.3.2.1.2-2-1)から以下のように計算される．

$$\begin{aligned} p &= \rho RT \left[ 1 + \delta \left( \frac{\partial \alpha^r}{\partial \delta} \right)_{\tau} \right] \\ \frac{h}{RT} &= \tau \left[ \left( \frac{\partial \alpha^0}{\partial \tau} \right)_{\delta} + \left( \frac{\partial \alpha^r}{\partial \tau} \right)_{\delta} \right] + \delta \left( \frac{\partial \alpha^r}{\partial \delta} \right)_{\tau} + 1 \\ \frac{c_v}{R} &= -\tau^2 \left[ \left( \frac{\partial^2 \alpha^0}{\partial \tau^2} \right)_{\delta} + \left( \frac{\partial^2 \alpha^r}{\partial \tau^2} \right)_{\delta} \right] \end{aligned} \quad (2.3.2.1.2-2-7)$$

なお，飽和状態は Maxwell の条件を用いて反復計算により求める．

表 2.3.2.1.2-2-1 式(2.3.2.1.2-2-6)の係数および指数

$i$	$N_i$	$t_i$	$d_i$	$e_i$
1	$0.77652368 \times 10^{+01}$	0.685	1	-
2	$-0.87025756 \times 10^{+01}$	0.8494	1	-
3	$-0.28352251 \times 10^{+00}$	1.87	1	-
4	$0.14534501 \times 10^{+00}$	2	2	-
5	$0.92092105 \times 10^{-02}$	0.142	5	-
6	$-0.24997382 \times 10^{+00}$	4.2	1	1
7	$0.96674360 \times 10^{-01}$	0.08	3	1
8	$0.24685924 \times 10^{-01}$	0	5	1
9	$-0.13255083 \times 10^{-01}$	1.1	7	1
10	$-0.64231330 \times 10^{-01}$	5.5	1	2
11	$0.36638206 \times 10^{+00}$	6.6	2	2
12	$-0.25548847 \times 10^{+00}$	8.4	2	2
13	$-0.95592361 \times 10^{-01}$	7.2	3	2
14	$0.86271444 \times 10^{-01}$	7.6	4	2
15	$0.15997412 \times 10^{-01}$	8.5	2	3
16	$-0.13127234 \times 10^{-01}$	23	3	3
17	$0.42293990 \times 10^{-02}$	18	5	3

#### <実測値の再現性検証と補外域での挙動>

本研究で開発した状態方程式を用いて計算した飽和蒸気圧，密度および気相音速と実測値との比較を図 2.3.2.1.2-2-1，2.3.2.1.2-2-2 および図 2.3.2.1.2-2-3 に示す．いずれも入力値として与えた実測値は測定不確かさの範囲内で再現されており，状態方程式が良好な再現性を持っていることが確認できる．状態方程式の有効範囲（入力値として与えた実測値が存在する範囲）は，温度が 273 K から 430 K の範囲であり，圧力の上限は 6 MPa である．この範囲における実測値の平均的な再現性は，飽和蒸気圧に対して 0.15%以内，気相密度に対して 0.4%以内，液相密度に対して 0.2%以内，気相音速に対して 0.05%以内と見積もった．

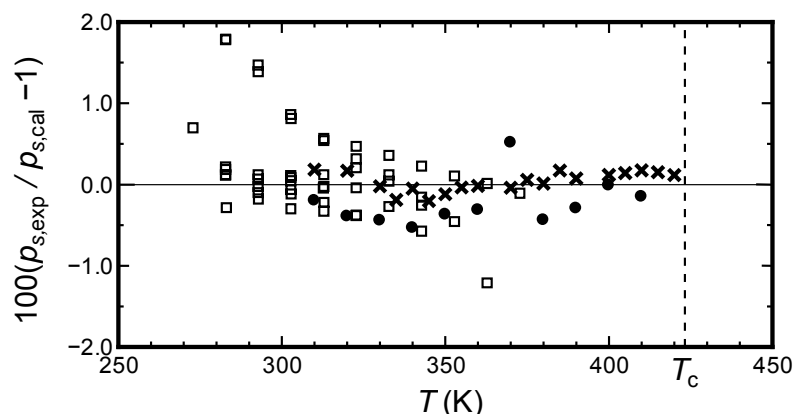


図 2.3.2.1.2-2-1 状態方程式からの計算値に対する飽和蒸気圧実測値の偏差：  
 (×) 本研究, (□) Kayukawa et al. [2.3.2.1.2-2-3]

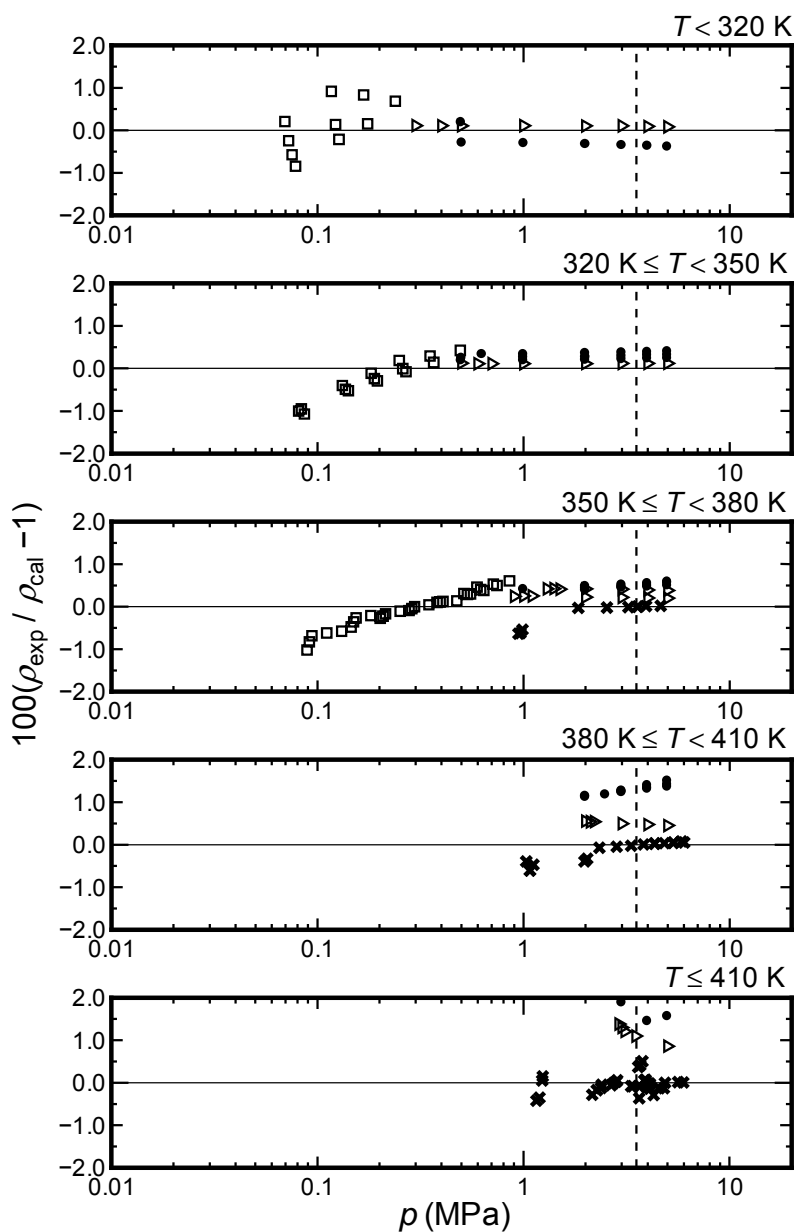


図 2.3.2.1.2-2-2 状態方程式からの計算値に対する密度の実測値の偏差：  
 (×) 本研究, (□) Kayukawa et al. [2.3.2.1.2-2-3], (▷) Tanaka [2.3.2.1.2-2-4]

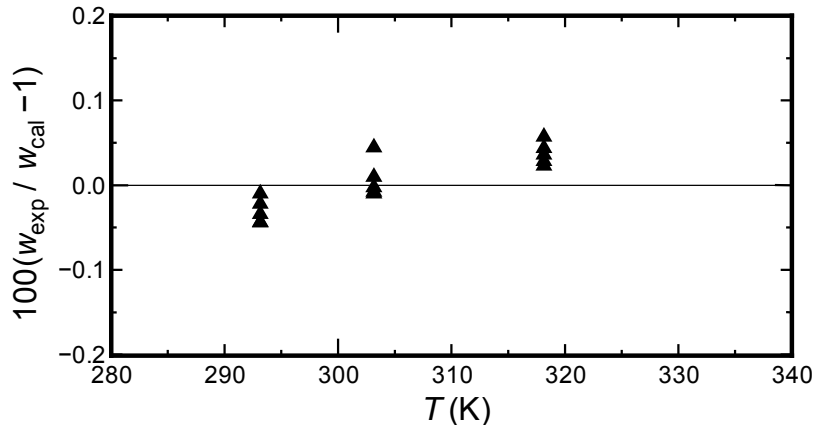


図 2.3.2.1.2-2-3 状態方程式からの計算値に対する気相音速の実測値の偏差：  
 ( ) Kayukawa et al. [2.3.2.1.2-2-3]

また、状態方程式が入力値の範囲外でも熱力学的に正しい挙動を示しているかを確認するため、定積比熱、定圧比熱および音速と温度との関係をプロットした結果を図 2.3.2.1.2-2-4 に示す。これらの図には不自然な勾配や極大値・極小値が現れておらず、広い温度・圧力範囲に渡って状態方程式の熱力学的健全性が保たれていることが確認できる。

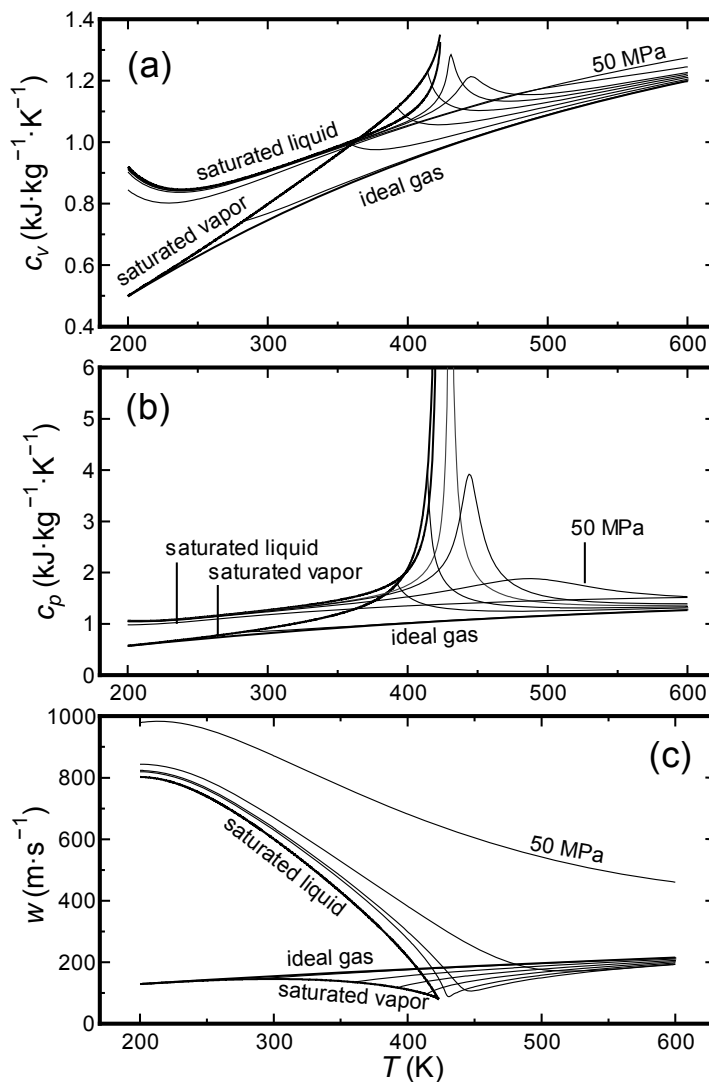


図 2.3.2.1.2-2-4 状態方程式から計算した温度と定積比熱(a)、定圧比熱(b)および音速(c)との関係

<参考文献>

- [2.3.2.1.2-2-1] Mohr, P.J., Taylor, B.N., Newell, D.B., 2006, CODATA recommended values of the fundamental physical constants, Rev. Mod. Phys., vol. 80, no. 2, 633-730.
- [2.3.2.1.2-2-2] Joback, K.G., Reid, R.C., 1987, Estimation of pure-component properties from group-contributions, Chem. Eng. Commun., vo. 57, no. 1-6, 233.
- [2.3.2.1.2-2-3] Kayukawa, Y., Tanaka, K., Kano, Y., Fujita, Y., Akasaka, R., Higashi, Y., 2012, Experimental Evaluation of the fundamental properties for low-GWP refrigerant R1234ze(Z), Proc. Int. Symp. New Refrigerants and Environmental Technology 2012, Kobe, Japan.
- [2.3.2.1.2-2-4] Tanaka, K., 2013, private communication.

### 2.3.2.1.3 R1234ze(Z)の輸送的性質の測定 (担当: 佐賀大学)

#### 2.3.2.1.3-1 熱伝導率の測定

<測定装置および測定方法>

本実験では、非定常細線法<sup>[2.3.2.1.3-1-1,2]</sup>に基づいた測定を行った。この方法は、試験液体中に鉛直に張った金属細線をステップ関数状に通電加熱し、細線の発熱量とその温度変化から試験液体の熱伝導率を測定するものである。無限に長い半径  $a$  の細線が均質な流対中に設置され、ステップ関数状に加熱された場合、流体の対流が発生しないとすれば、その温度変化は次式で表される。

$$\Delta T = T - T_0 = \frac{q}{4\pi\lambda} \left[ \ln\left(\frac{4\kappa t}{a^2}\right) - \gamma + \frac{a^2}{2\kappa} - \frac{\beta-1}{\beta} \cdot \frac{a^2}{2\kappa} \left\{ \ln\left(\frac{4\kappa t}{a^2}\right) - \gamma \right\} + \dots \right] \quad (2.3.2.1.3-1-1)$$

ここで、 $T$  は細線の温度変化、 $q$  は単位長さあたりの発熱量、 $\lambda$  は流体の熱伝導率、 $\beta$  は熱拡散率、 $t$  は時間、 $a$  は細線の半径、 $\gamma (=0.5772157\dots)$  は Euler 定数、 $\beta (= (c_p)_m / (c_p)_h)$  は流体と細線の熱容量比である。物性値が一定で  $a^2/(4\kappa t)$  が小さく、一様加熱であると仮定すれば、

$$\Delta T = -\frac{q}{4\pi\lambda} \left\{ \ln\left(\frac{4\kappa t}{a^2}\right) - \gamma \right\} \quad (2.3.2.1.3-1-2)$$

となり、 $\ln(t)$  で微分すると次式が得られる。

$$\lambda = \frac{q/4\pi}{d\Delta T/d\ln t} \quad (2.3.2.1.3-1-3)$$

この式が熱伝導率を求める基礎式であり、単位長さあたりの加熱量  $q$  および細線の温度応答、 $d\Delta T/d\ln(t)$ 、を測定することで、熱伝導率を求めることができる。

図 2.3.2.1.3-1-1 に熱伝導率測定装置の概要を示す。装置は、試験液体を封入する圧力容器、恒温槽、試験液体中に設置した白金細線、白金細線に電流を流す直流安定化電源、白金細線の温度応答を測定するブリッジ回路で校正されている。本装置では上述の仮定を満足させるために直径  $15\ \mu\text{m}$  の白金細線を用い、接続部の影響を打ち消すために長短 2 本の白金細線を取り付けた。



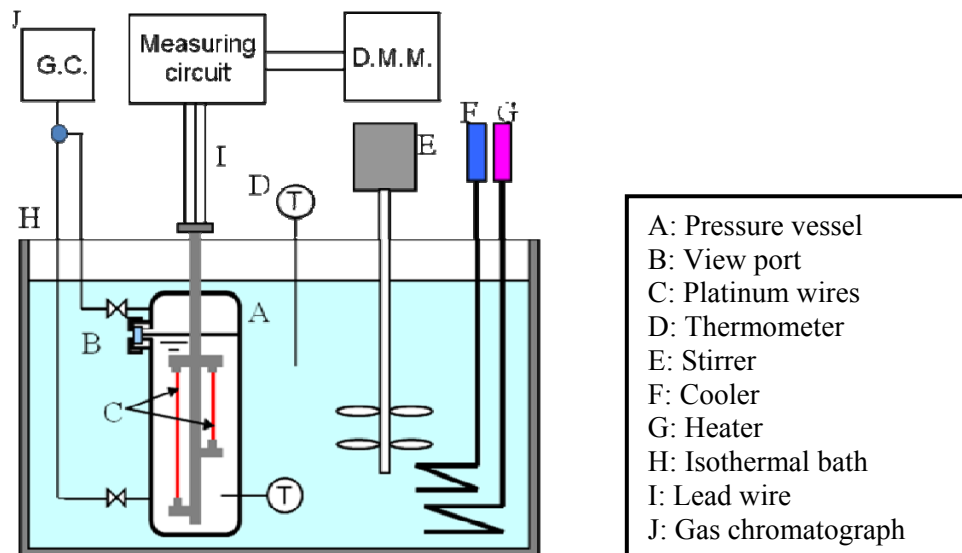
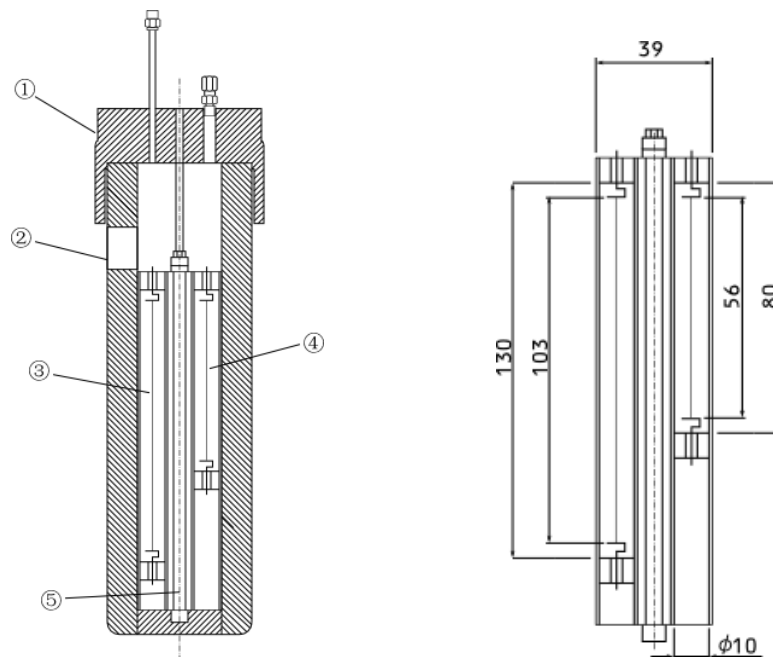


図 2.3.2.1.3-1-1 熱伝導率測定装置

圧力容器内および圧力容器内に設置する測定セルの詳細を図 2.3.2.1.3-1-2 に示す。圧力容器は SUS304 製で耐圧は 10 MPa である。また、液面を確認するためにサイトグラスが取り付けられている。測定セルは、容器内の温度を均一に保つために銅で作製した。白金細線は、白金性のフック型支持具にスポット溶接で接続した。



(a) 圧力容器および測定セルの設置

(b) 測定セル

図 2.3.2.1.3-1-2 圧力容器および測定セル

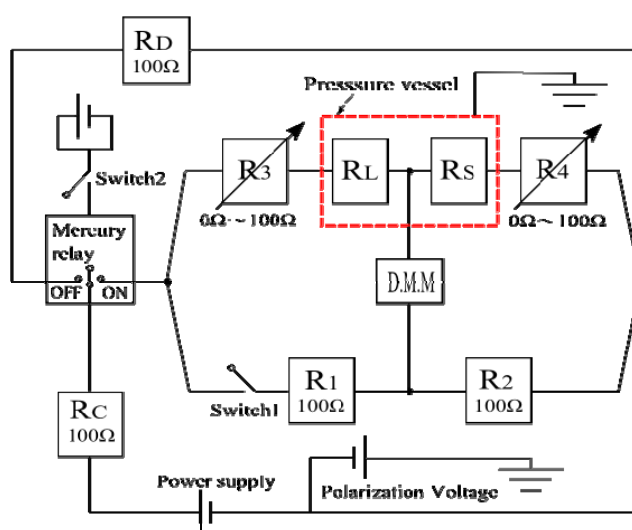
図 2.3.2.1.3-1-3 に電圧測定回路を示す。圧力容器内には長短 2 本 (図中の  $R_L$ ,  $R_S$ ) が取り付けられており、100 の固定抵抗 (横河電機(株)製: 2792A06, 図中の  $R_1$ ,  $R_2$ ) および 0-100 の可変抵抗 (アルファ・エレクトロニクス(株)製: ADR-6104M, 図中の  $R_3$ ,  $R_4$ ) を用いてホイートストンブリッジ回路を構成している。赤色の破線で囲まれた部分は圧力容器内に、その他の部分は容器外に設置されている。

測定に際して、直流安定化電源の電流を安定させるため、白金細線に電流を流す前に抵抗  $R_0$

(横河電機(株)製 2.3.2.1-792A06) に電流を流しておき、測定開始時にブリッジ回路への切り替えを行う。抵抗  $R_D$  からブリッジ回路への切り替え部にはチャタリングを防止するために水銀リレー（沖田製作所製 MTP-102N）を使用した。

抵抗  $R_3$  および抵抗  $R_4$  は、ブリッジ回路のバランスをとるための可変抵抗器であり、測定前にブリッジ回路内のバランスをとり、デジタルマルチメーター（図中の D.M.M.）で測定される出力電圧（非平衡電位差）が 0 V になるように調整した。ブリッジ回路に電流を流すと白金細線の温度上昇によって長短それぞれの白金細線の抵抗が増加する。それによりブリッジ回路の平衡がくずれて非平衡電位差が生じる。この非平衡電位差の時間変化をデジタルマルチメーターで測定し、電位差の時間変化から熱伝導率を算出する。

非定常細線法での測定において、供試液体が極性物質の場合、イオンによる影響で電気伝導性が表れて測定に影響すること、またその影響を除去するために測定セルに分極電圧をかけることの影響が報告されている<sup>[2.3.2.1.3-1-3]</sup>。本測定においても R1234ze(Z) が極性を持っているので、図 2.3.2.1.3-1-3 中の Polarization Voltage と記載した位置で供給電源に分極電圧を印加した。



(b) 測定回路

図 2.3.2.1.3-1-3 熱伝導率測定装置

白金細線の抵抗は以下のように求めた。白金細線の抵抗  $R$  と温度  $T$  の関係は次式により表せるものとし、検定により定数  $a$ ,  $b$ ,  $c$  を求める。

$$R = a + b * (T - 273.15) + c * (T - 273.15)^2 \quad (2.3.2.1.3-1-4)$$

検定では、圧力容器を恒温槽に入れて、10 から 80 まで 10 毎に定常状態に保ったのちに長短それぞれの細線の抵抗を測定した。また、配線の接続部等の抵抗を考慮して検定には長い細線の抵抗値から短い細線の抵抗値を引いたものを基準として表 2.3.2.1-7-1 に示すように係数を算出した。

表 2.3.2.1.3-1-1 白金線検定結果

	$a$	$b$	$c$
long			-
—	36.65867	0.140881	0.0000212
short			-
long	70.58683	0.271267	0.0000407
short	33.92816	0.130387	-
			0.0000196

白金細線の単位長さあたりの発熱量  $q$  が時間に対して一定であるとすれば、ジュールの法則より

$$q = \frac{R_{l+s} I^2}{l_{l+s}} = \frac{R_{l+s}}{l_{l+s}} \left( \frac{V_b}{(R_3 + R_l) + (R_4 + R_s)} \right)^2 \approx \frac{R_{l+s,0}}{l_{l+s}} \left( \frac{V_b}{(R_3 + R_{l,0}) + (R_4 + R_{s,0})} \right)^2 \quad (2.3.2.1.3-1-5)$$

ここで  $R_l$ ,  $R_s$  はそれぞれ測定中の細線の抵抗値,  $R_{l,0}$  および  $R_{s,0}$  は測定開始前の細線の抵抗値であり,  $R_3$  および  $R_4$  は可変抵抗の抵抗値,  $V_b$  は測定回路への印加電圧,  $l_{l+s}$  は 2 本の細線の長さの合計値である. ここでブリッジの非平衡電位差  $E$  は次式で表される.

$$E = V_b \left( \frac{R_3 + R_l}{(R_3 + R_l) + (R_4 + R_s)} - \frac{R_l}{R_l + R_2} \right) \quad (2.3.2.1.3-1-6)$$

$R_3$  および  $R_4$  は測定回路内の固定抵抗である. 式(2.3.2.1-7-6)を温度で微分すると

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dT} &= V_b \frac{d}{dT} \left( \frac{R_3 + R_l}{(R_3 + R_l) + (R_4 + R_s)} \right) \\ &= \frac{V_b}{(R_3 + R_l) + (R_4 + R_s)} \left( \frac{dR_l}{dT} - \left( \frac{dR_l}{dT} + \frac{dR_s}{dT} \right) \frac{R_3 + R_l}{(R_3 + R_l) + (R_4 + R_s)} \right) \end{aligned} \quad (2.3.2.1.3-1-7)$$

となる. また,

$$\frac{dE}{d \ln t} = \frac{dE}{dT} \frac{dT}{d \ln t} \quad (2.3.2.1.3-1-8)$$

の関係を用いて, 式(2.3.2.1-7-3)を書き換えると次のようになる.

$$\lambda = \frac{q}{4\pi} \cdot \frac{dE}{dT} \bigg/ \frac{dE}{d \ln t} \quad (2.3.2.1.3-1-9)$$

ここで, 式(2.3.2.1-7-9)に式(2.3.2.1-7-5)および式(2.3.2.1-7-7)を代入すると, 測定結果から熱伝導率を計算する式が次のように求まる.

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{q}{4\pi} \cdot \frac{dE}{dT} \bigg/ \frac{dE}{d \ln t} \\ &= \frac{R_{l+s,0}}{4\pi l_{l+s}} \left( \frac{V_b}{R_3 + R_{l,0} + R_4 + R_{s,0}} \right)^2 \frac{V_b}{R_3 + R_l + R_4 + R_s} \left( \frac{dR_l}{dT} - \left( \frac{dR_l}{dT} + \frac{dR_s}{dT} \right) \frac{R_3 + R_l}{R_3 + R_l + R_4 + R_s} \right) \bigg/ \frac{dE}{d \ln t} \end{aligned} \quad (2.3.2.1.3-1-10)$$

<測定結果>

図 2.3.2.1.3-1-4 に R1234ze(Z)の熱伝導率および関連する純冷媒 R32, R1234ze(E), R1234yf の熱伝導率について本装置での測定結果を示す. いずれも飽和液の条件での測定結果である. なお, 純冷媒 R32, R1234ze(E), R1234yf については, 過去の研究により測定結果が報告<sup>[2.3.2.1.3-1-4,5]</sup>され, それに基づいて物性値計算ソフト REFPROP ver.9.0<sup>[2.3.2.1.3-1-6]</sup>の式も決定されているので, REFPROP ver.9.0 による計算結果も直線, 破線, および一点鎖線で示した. 表 2.3.2.1.3-1-2 には R1234ze(Z)の熱伝導率の測定値を示す.

いずれの冷媒においても温度の上昇とともに熱伝導率が低下しており, R1234ze(Z)の熱伝導率は, 本実験の温度範囲 10~70°C (283~343 K) で 94~74 mW/(m·K) の値をとる. この値は R32 と比較して約 26%低い値であるが, 他のオレフィン系冷媒 R1234ze(E), R1234yf より高い.

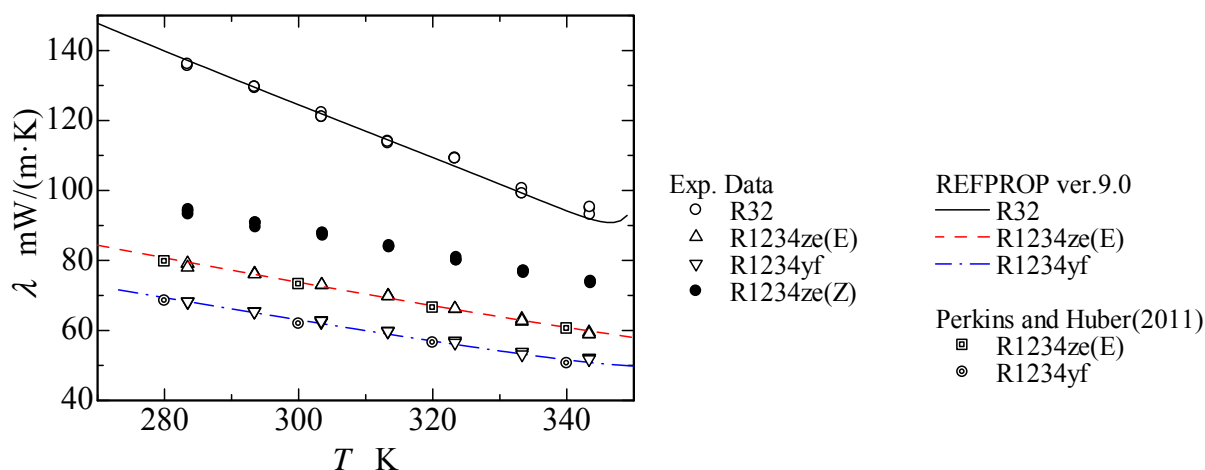


図 2.3.2.1.3-1-4 R1234ze(Z)の熱伝導率および関連する純冷媒の熱伝導率の測定結果

表 2.3.2.1.3-1-2 R1234ze(Z)の熱伝導率の測定値

$T$ [K]	[mW/(m·K)]	$T$ [K]	[mW/(m·K)]
283.15	94.05	323.15	80.87
283.15	93.18	323.15	80.12
283.15	94.57	323.15	80.10
293.15	89.49	333.15	77.03
293.15	90.81	333.15	76.49
293.15	90.71	333.15	76.95
303.15	87.72	343.15	73.53
303.15	87.14	343.15	74.05
303.15	87.88	343.15	73.91
313.15	83.79		
313.15	84.27		
313.15	83.89		

<参考文献>

- [2.3.2.1.3-1-1]Carslaw, H.S., Jaeger, J.C., 1959, Conduction of heat in solids 2nd ed., 345 (Oxford Univ. Press, London).
- [2.3.2.1.3-1-2]Wakeham, W.A., Nagashima, A., Sengers, J.V., 1991, Measurement of the transport properties of fluids, Blackwell Scientific Publications.
- [2.3.2.1.3-1-3]Perkins, R.A., Laesecke, A., Nieto de Castro, C.A., 1992, Polarized transient hot wire thermal conductivity measurements, Fluid Phase Equilibria, vol.80, 2752.3.2.1-86.
- [2.3.2.1.3-1-4]宮良明男, 福田遼太, 椿耕太郎, 2011, R1234ze(E)+R32 および R1234yf+R32 混合冷媒の飽和液の熱伝導率測定, 日本冷凍空調学会論文集, vol. 28, no. 4, 435-443.
- [2.3.2.1.3-1-5]Perkins, R.A., Huber, M.L., 2011, Measurement and correlation of the thermal conductivity of 2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) and trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234ze(E)), J. Chem. Eng. Data, vol. 56, no. 12, 4868-4874.

[2.3.2.1.3-1-6] Lemmon, E.W., Huber, M.L., McLinden, M.O., 2010, NIST reference fluid thermodynamic and transport properties - REFPROP. NIST Standard Reference Database 23-Version 9.0.

### 2.3.2.1.3-2 粘度の測定

<測定装置および測定方法>

本実験では、毛細管法を用いて粘度の測定を行った。この方法では、毛細管内に試験流体を層流状態で流してハーゲン・ポアズイユの法則に基づいて粘度を求める。ハーゲン・ポアズイユの法則を用いると粘度  $\eta$  は次式で与えられる。

$$\eta = \frac{R^2}{8u_B} \left( -\frac{dP}{dx} \right) = \frac{R^4}{8Q} \left( -\frac{dP}{dx} \right) \quad (2.3.2.1.3-2-1)$$

ここで、 $R$ は毛細管の半径、 $Q$ は毛細管内を流れる流体の体積流量、 $dP/dx$ は圧力勾配、 $\pi$ は円周率である。なお、実際の測定においては毛細管の出入口で発生する損失があるので、一般にはそれらを考慮して粘度が求められる。管長  $L$  の毛細管を用いて入口および出口の圧力  $P_1$  および  $P_2$  を測定した場合、毛細管の出入口における運動エネルギー補正および管端補正を加えた次式 [2.3.2.1.3-2-1] で粘度を計算する

$$\eta = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8(L+nR)Q} - \frac{m\rho Q}{8\pi(L+nR)} \quad (2.3.2.1.3-2-2)$$

ここで、 $\rho$ は流体の密度、 $m$ は運動エネルギー補正係数、 $n$ は管端補正係数、 $\pi$ は円周率である。 $m$ および $n$ の値は実験により定める必要があるが、本実験では長短2本の毛細管を用いることで出入口の損失を消去して粘度を求めた。

図 2.3.2.1.3-2-1 に粘度測定装置の概要を示す。装置は、2本の毛細管、毛細管を設置する測定容器、圧力容器、流量計、2台の恒温槽で構成されている。測定容器は恒温槽に設置されており、目的の温度を安定に保つことができる。圧力容器には気液二相状態で試験流体が封入されており、試験容器より高温にすることで圧力を高め、一定の圧力で試験容器に流体を供給できる。

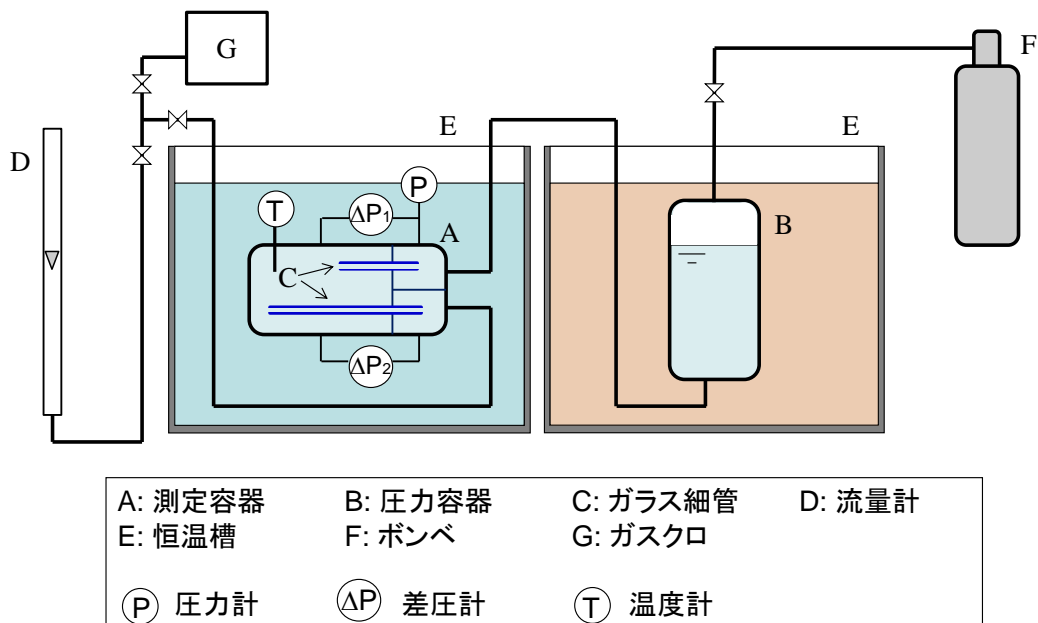


図 2.3.2.1.3-2-1 粘度測定装置

長短2本の毛細管の長さおよび圧力降下をそれぞれ、 $L_{long}$ ,  $L_{short}$ ,  $\Delta P_{short}$ ,  $\Delta P_{short}$  とすると、圧力降下は図 2.3.2.1.3-2-2 のように表され、長さの差と圧力降下の差から求まる圧力勾配が毛細管内の圧力損失と等しくなる。

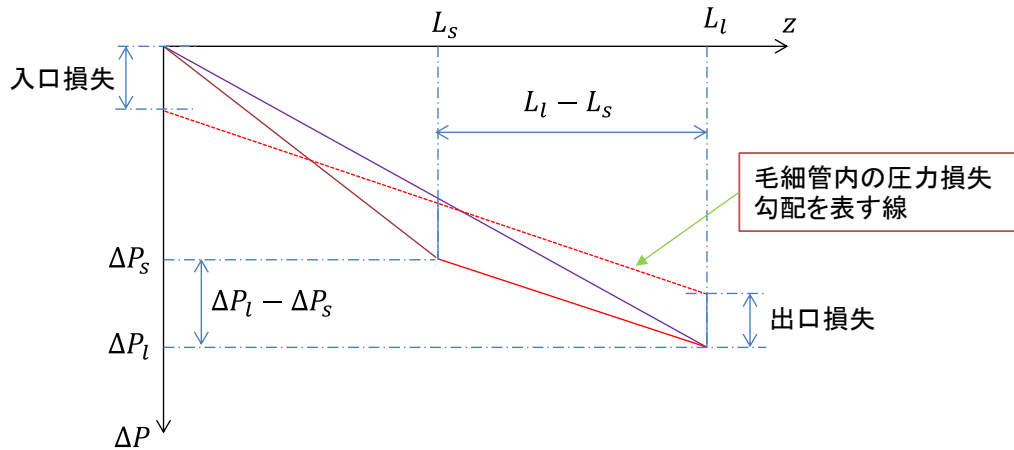


図 2.3.2.1.3-2-2 毛細管内の圧力降下

したがって、図 2.3.2.1.3-2-2 に示した関係から、粘度を次式で求めることができる。

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8Q} \left( \frac{\Delta P_l - \Delta P_s}{L_l - L_s} \right) \quad (2.3.2.1.3-2-3)$$

<測定結果>

図 2.3.2.1.3-2-3 に R1234ze(Z) の粘度および関連する純冷媒 R32, R1234ze(E) の粘度について本装置での測定結果を示す。測定範囲は、10~60 °C (283~333 K) であり、いずれもそれぞれの冷媒の 70 °C の飽和圧力の条件での測定結果である。図中には REFPROP ver. 9.0 による R32 の粘度の計算結果も示している。この計算値は粘度の実測値<sup>[2.3.2.1.3-2-2,3,4,5]</sup>に基づいて計算されているものであり、本測定値が REFPROP ver. 9.0 の計算値と一致することは、本測定法の信頼性を示している。

いずれの冷媒も温度の上昇とともに粘度が低下しており、R1234ze(Z) の粘度は、本実験の温度範囲 10~60 °C (283~363 K) で 353~201 μPa·s の値をとる。この値は R32 より約 150%, R1234ze(E) より約 50%高い値である。

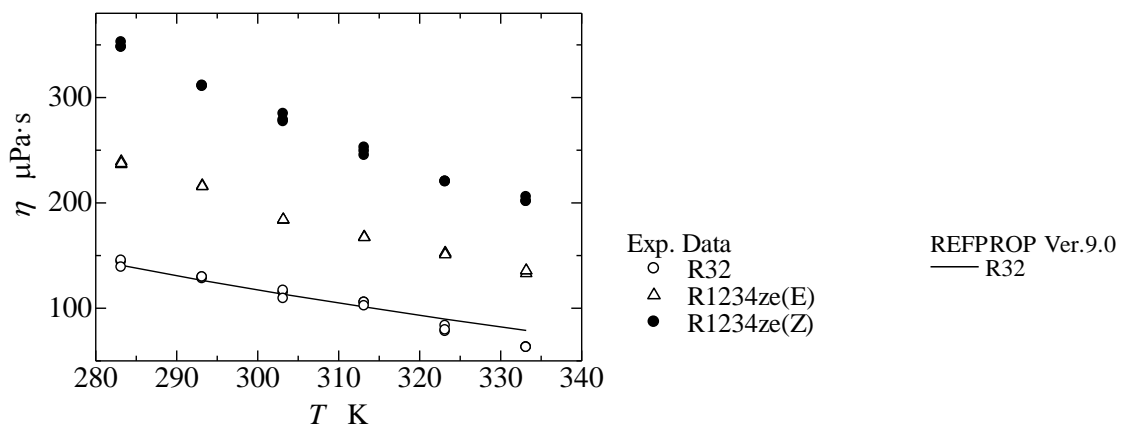


図 2.3.2.1.3-2-3 R1234ze(Z) の粘度および関連する純冷媒の粘度の測定結果

<参考文献>

[2.3.2.1.3-2-1] 日本熱物性学会, 1990, 熱物性ハンドブック, 養賢堂.

[2.3.2.1.3-2-2] Laesecke, A., Luddecke, T.O.D., Hafer, R.F. Morris, D.J., 1999, Viscosity measurements of ammonia, R32, and R134a. Vapor buoyancy and

- radial acceleration in capillary viscometers, *Int. J. Thermophys.* vol. 20, no. 2, 401-434.
- [2.3.2.1.3-2-3] Bivens, D.B., Yokozeki, A., Geller, V.Z., Paulaitis, M.E., 1993, Transport properties and heat transfer of alternatives for R502 and R22, ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, August 19-20, Gaithersburg, MD, 73-84.
- [2.3.2.1.3-2-4] Takahashi, M., Shibasaki-Kitakawa, N., Yokoyama, C., Takahashi, S., 1995, Gas viscosity of difluoromethane from 298.15 K to 423.15 K and up to 10 MPa, *J. Chem. Eng. Data*, vol. 40, 900-902.
- [2.3.2.1.3-2-5] Oliveira, C. M. B. P., Wakeham, W. A., 1993, The viscosity of R32 and R125 at saturation, *Int. J. Thermophys.*, vol. 14, 1131-43.

### 2.3.2.1.4 R1234ze(Z)の伝熱特性の測定

〈実験装置および方法〉

図 2.3.2.1.4-1 は、実験に使用した圧縮式強制循環ループの系統図である。この冷媒循環ループの主構成要素は、回転数可変の圧縮機 (1)、オイルセパレータ (2)、プレクーラ (3)、凝縮テストセクション (4)、アフタークーラ (5)、液溜め (6)、コリオリ質量流量計 (7)、手動により開度調整可能な電磁膨張弁 (8)、電気ヒータ (9)、蒸発テストセクション (10)、アフターヒータ (11) である。5 つの恒温槽 (12) はそれぞれ、プレクーラ、凝縮テストセクション、アフタークーラ、蒸発テストセクションおよびアフターヒータへ温調された水を供給する。この冷媒強制循環ループ内随所に設けられた混合室内では、冷媒混合温度と圧力を測定しており、過熱域あるいは過冷却域では比エンタルピが計算される。二相域の比エンタルピは、過熱域あるいは過冷却域の比エンタルピから水側の熱バランスで求めたエンタルピ変化を加減して求められる。冷媒循環量と圧力は主に、圧縮機回転数、バイパス流路の開度、および凝縮器内の循環水温度で調整される。テストセクション入口の乾き度は、主に電気ヒータによって調整される。

図 2.3.2.1.4-2 は、テストセクション内に設けられたサブセクションを模式的に表している。全長約 2.2 m のテストセクションは計 4 つのサブセクションに分割されるが、図 2.3.2.1.4-2 は、そのうちの上流側 2 つのサブセクションを図示している。試験溝付管 (1) は、有効伝熱区間 414 mm の 4 つの二重管式水熱交換器 (2) (ここではサブセクションと呼ぶ) によって囲まれており、このサブセクション中央では、試験溝付管外壁の上下左右に熱電対 (3) が埋め込まれている。また、試験溝付管には 554 mm ごとに圧力孔が設けられており、テストセクション入口から各区間の圧力損失が差圧計 (4) で計測される。

図 2.3.2.1.4-3 は試験溝付管 MF2 の断面写真である。表 1 にこれらの寸法諸元を示す。試験管 MF2 はねじれ角約 20 度、フィン高さ約 0.255 mm の銅製内面ら旋溝付管であり、フィン数は 48 である。ここに、表中の等価直径  $d_{eq}$ 、面積拡大率  $\eta_A$  とは、等価の自由流れ体積を持つ平滑管直径、および等価の平滑管内面積に対するら旋溝付管内実伝熱面積の比で、試験管 MF2 場合、それぞれ 5.34mm および 2.24 である。

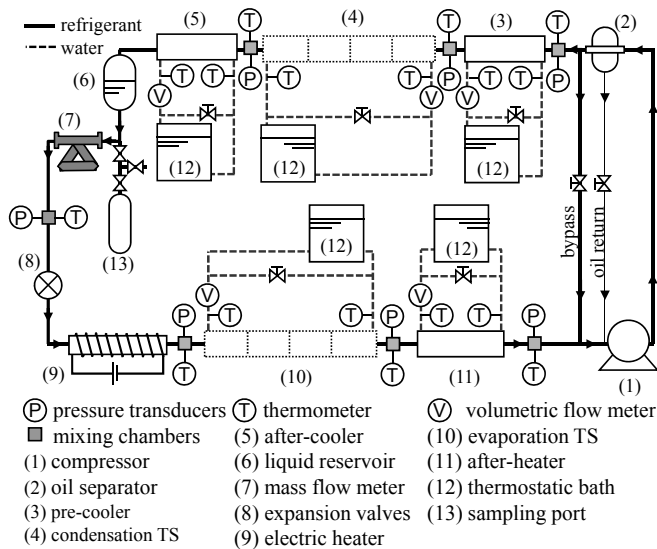


図 2.3.2.1.4-1 実験装置系統図

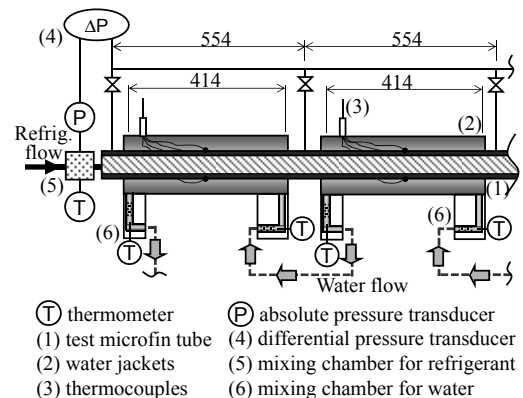


図 2.3.2.1.4-2 実験装置系統図 (蒸発)

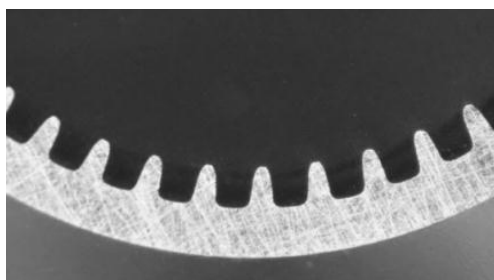


図 2.3.2.1.4-3 試験溝付管断面拡大写真

表 2.3.2.1.4-1 試験溝付管 (MF2) の寸法諸元

Dimensions		MF2
outer diameter	OD	6.04
fin root inner diameter	$d_{max}$	5.45
equivalent inner diameter	$d_{eq}$	5.34
fin height	$h_{fin}$	0.255
spiral angle	$\beta$	20.1
number of fins	$N_{fin}$	48
surface enlargement	$\eta_A$	2.24



冷媒質量速度  $Gr$  は、試験溝付管の自由流れ断面積 ( $d_{eq}^2/4$ ) で定義される。また、サブセクション内の平均熱流束  $q$  [ $W\ m^{-2}$ ] は、実伝熱面積を基準とし次式で定義される。

$$q = Q_{H2O} / (\pi d_{eq} \eta_A \Delta Z) \quad (2.3.2.1.4-1)$$

ここに、 $Q_{H2O}$ 、 $Z$  はそれぞれ、水側熱バランスから求めたサブセクション内熱交換量、および有効伝熱区間 414 mm である。熱伝達率 [ $W\ m^{-2}K^{-1}$ ] は次式で定義される。

$$\alpha = q / (T_{wi} - T_r) \quad (2.3.2.1.4-2)$$

ここに、 $T_{wi}$ 、 $T_r$  はそれぞれ、管内壁温度および冷媒温度である。この管内壁温度  $T_{wi}$  は、測定した管外壁温度より管壁内熱伝導を考慮するフーリエの法則から求められる。各サブセクション入口出口において、冷媒圧力および比エンタルピから平衡状態を仮定して求められる冷媒温度が計算される。ここでは、これらの算術平均値を各サブセクション代表冷媒温度  $T_r$  とし、式 (2.3.2.1.4-2) に代入する。なお、冷媒の物性は Refprop Ver. 9.0 によって計算した。その際、R1234ze(Z) の物性計算に必要なライブラリデータ (Fluid file と呼ばれる) は、本プロジェクトで開発されたものを使用した。一方、圧力損失勾配 ( $PI/Z$ ) は、サブセクション出入口の圧力差を圧力ポート間の距離で除することにより求まる。

〈結果および考察: R1234ze(Z) の凝縮熱伝達率および圧力損失〉

図 2.3.2.1.4-4 に、R1234ze (Z) 凝縮熱伝達率と乾き度の関係を示す。縦軸は実伝熱面積基準の凝縮熱伝達率を、横軸は乾き度を示しており、図中、流体の進行方向は左向きとなる。シンボルは測定結果であり、エラーバーは横方向にサブセクション内での乾き度の変化を、縦方向に 95% 包括度の不確かさ [2.3.2.1.4-1] を示す。また、実線で Cavallini らの式 [2.3.2.1.4-2] による予測結果を示す。

図 2.3.2.1.4-4 (a) は、圧力 0.52~0.58 MPa、凝縮温度 60.6~65.3 °C、熱流束 10  $kW\ m^{-2}$  の条件において質量流速を 150 から 400  $kg\ m^{-2}s^{-1}$  まで変化させた時の結果である。R1234ze (Z) 凝縮熱伝達率は乾き度の低下とともに低下し、約 9 から 0.5  $kW\ m^{-2}K^{-1}$  の範囲で分布する。このことは、蒸気速度の低下と液膜厚さの増加で説明ができる。凝縮が進行するとともに冷媒の速度が低下し、また液膜の厚さが増すことで熱抵抗が増加することが既に他の冷媒で確認されており、本実験結果はその傾向とよく一致しているといえる。したがって、実線で示した Cavallini らの式による予測結果ともよく一致している。本実験で確かめた質量流速の範囲において、凝縮熱伝達率の変化幅は約 2  $kW\ m^{-2}K^{-1}$  以内であった。その変化幅は Cavallini らの式による予測結果とよく一致しているが、乾き度 0.6 以上の範囲では、質量流速の増加とともに実験による熱伝達率が低下することに対し、予測結果は上昇する、という点で相反する。

図 2.3.2.1.4-4 (b) は、質量流速 200  $kg\ m^{-2}s^{-1}$ 、熱流束 10  $kW\ m^{-2}$  の条件において、凝縮温度 (圧力) を、35.8~39.5 (0.25~0.29 MPa)、53.1~54.9 (0.42~0.45 MPa)、60.6~65.3 (0.25~0.29 MPa) の 3 段階に変化させた結果である。凝縮温度が約 38 °C では乾き度 1.0 付近の熱伝達率が 13  $kW\ m^{-2}K^{-1}$  であるのに対し、約 63 °C では 9  $kW\ m^{-2}K^{-1}$  のであった。このように、凝縮温度の上昇とともに熱伝達率は低下する。これは、凝縮温度の上昇に伴い、冷媒蒸気密度が増加することによって蒸気速度が低下する事、蒸発潜熱が幾分か低下し単位質量当たりの凝縮量に対する潜熱放出量が若干低下する事、また液熱伝導率が低下し液膜の熱抵抗が増加する事で説明ができる。さらに、実験結果の傾向は予測結果ともよく一致しているが、乾き度 0.6 以上の範囲では幾分か乖離がみられる。この乖離は、エラーバーに示されるように、測定の不確かさの増加が原因である可能性が高い。

図 2.3.2.1.4-4 (c) は、凝縮温度約 65 °C、熱流束 10  $kW\ m^{-2}$ 、質量流速 200  $kg\ m^{-2}s^{-1}$  の条件のもと、R1234ze(Z) とその同位体 R1234ze(E) の凝縮熱伝達率を比較した結果である。同じ凝縮温度のもとでは、R1234ze(Z) の凝縮熱伝達率の方が R1234ze(E) よりも高い。この原因を説明するため、表 2 に両冷媒の基本物性を比較する。R1234ze(Z) の蒸気密度は R1234ze(E) の約 36% と小さく、これは R1234ze(Z) の蒸気速度が最大で 2.6 倍程度高く、強制対流による熱伝達が大きく寄与することを示唆する。また、液熱伝導率と蒸発潜熱はそれぞれ、R1234ze(Z) の方が R1234ze(E) よりも、24% および 37% 高い。このことは、液膜の熱抵抗が小さく、潜熱放出が大きくなることを意味し、凝縮熱伝達率が高くなる原因を理由づける。さらに、これら物性の影響を反映した予測結果と本実験結果の傾向はよく一致している。

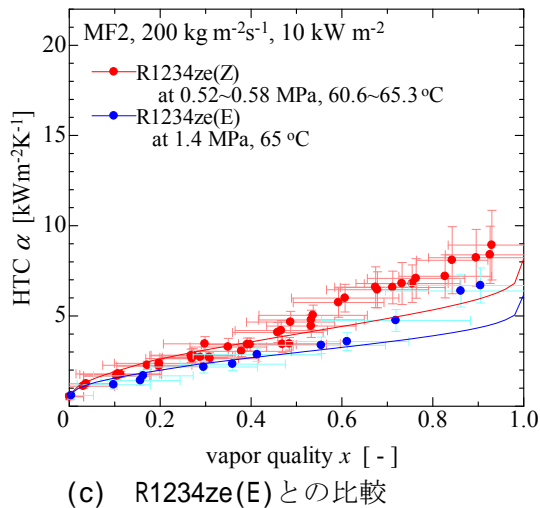
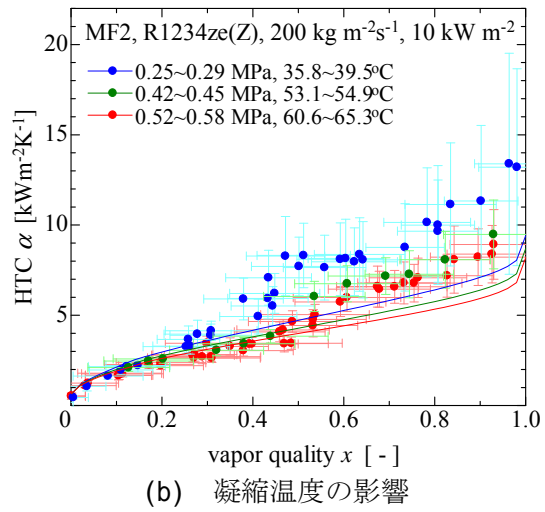
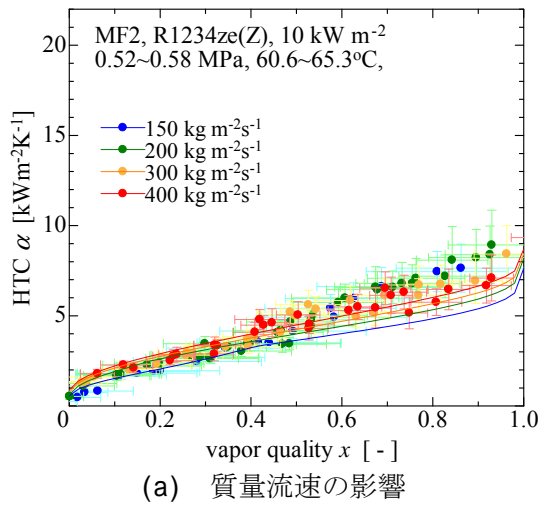


表 2.3.2.1.4-2 基本物性の比較 (65 °C)

		ze(Z)	ze(E)
vapor density	kg m <sup>-3</sup>	29	80
liquid density	kg m <sup>-3</sup>	1107	1010
liquid thermal-conductivity	mW m <sup>-1</sup>	76	61
heat of vaporization	kJ kg <sup>-1</sup>	178	130
vapor isobaric specific heat	kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1.111	1.28
liquid isobaric specific heat	kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1.41	1.61
liquid viscosity	μ Pa s	191	122

図 2.3.2.1.4-4 凝縮熱伝達率と乾き度の相関

図 2.3.2.1.4-5 に、R1234ze (Z) の圧力損失と乾き度の関係を示す。シンボルは測定結果であり、実線は Goto らの式 [2.3.2.1.4-3] による予測結果である。

図 2.3.2.1.4-5 (a) は、質量流速を 150 から 400 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> まで変化させた時の R1234ze (Z) の圧力損失である。質量流速の増加とともに圧力損失は著しく増加し、質量流速 400 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> のとき圧力損失は最大で約 26 kPa m<sup>-1</sup> となる。また、実験結果は、実線で示す Goto らの式による予測結果よりもかなり高く、最大で 2 倍程度の差異がある。図 2.3.2.1.4-5 (b) は、凝縮温度 (圧力) を、35.8~39.5 (0.25~0.29 MPa)、53.1~54.9 (0.42~0.45 MPa)、60.6~65.3 (0.25~0.29 MPa) の 3 段階に変化させた時の R1234ze (Z) の圧力損失である。凝縮温度の低下とともに、圧力損失は低下する。これは、蒸気密度の増加によって蒸気速度が低下すること、また液粘度が低下することで説明ができる。予測結果も実験結果と同様の変化を示すが、その絶対値を比較すると、実験結果の方が 2 倍程度高い。図 2.3.2.1.4-5 (c) は、凝縮温度約 65 °C の条件のもと、R1234ze(Z) とその同位体 R1234ze(E) の圧力損失を比較した結果である。同じ凝縮温度のもとでは、R1234ze(Z) の圧力損失の方が R1234ze(E) に比して約 3 倍高い。表 2 に示した基本物性はその原因を示唆している。R1234ze(Z) の蒸気密度は R1234ze(E) の約 36% と小さいため、R1234ze(Z) の蒸気速度が最大で 2.6 倍程度高くなり得る。さらに R1234ze(Z) の液粘度は R1234ze(E) に比して 57% 高い。このことから、R1234ze(Z) の運動量散逸、摩擦損失が多くなるということが説明できる。Goto らの式もやはり R1234ze(Z) の圧力損失を高く予測するが、その絶対値はかなり異なる。R1234ze(E) ではその差異は約 15% 程度であるが、一方 R1234ze(Z) では、最大

で約 2.7 倍異なる。

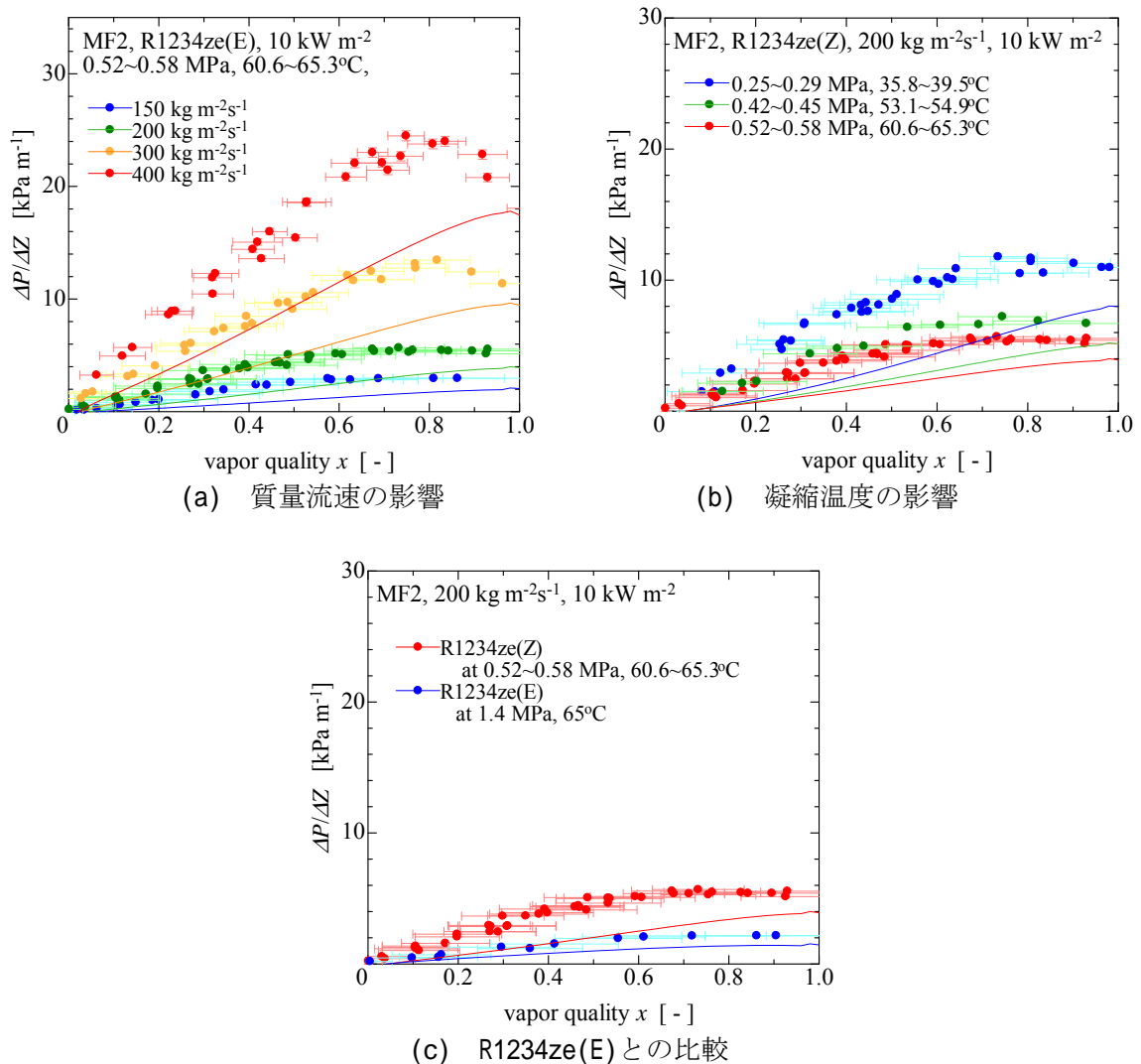


図 2.3.2.1.4-5 凝縮圧力勾配と乾き度の相関

〈結果および考察:R1234ze(Z)の蒸発熱伝達率および圧力損失〉

図 2.3.2.1.4-6 に、R1234ze (Z) 蒸発熱伝達率と乾き度の関係を示す。凝縮の場合とは異なり、図中、流体の進行方向は右向きとなる。シンボルは測定結果であり、実線は Thome らの式 [2.3.2.1.4-4]による予測結果を示す。

図 2.3.2.1.4-6(a) は、圧力 0.2 MPa、蒸発温度 30 °C、熱流束 10 kW m<sup>-2</sup>の条件において質量流速を 100 から 200 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>まで変化させた時の結果である。R1234ze (Z) 蒸発熱伝達率は、乾き度 0.7 程度でドライアウトとみられる急激な伝熱劣化が開始するまで、乾き度の増加とともに上昇し、約 2 から 15 kW m<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>の範囲で分布する。このことはおもに、蒸気速度の増加とともに対流伝熱による寄与が大きくなることに起因する、という事が他の冷媒を用いた研究で明らかにされており、本実験結果はその傾向とよく一致しているといえる。したがって、実線で示した Thome らの式による予測結果ともよく一致している。しかしながら、質量流速 150 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>以上の条件では、乾き度 0.3 からドライアウト開始までの範囲で、実験結果は予測結果よりも幾分高い。

図 2.3.2.1.4-6(b) は、蒸発温度 30 °C、熱流束 10 kW m<sup>-2</sup>、質量流速 200 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>の条件のもと、R1234ze(Z)と、R1234ze(E)および R32 の蒸発熱伝達率を比較した結果である。同じ蒸発温度のもとでは、R1234ze(E)の蒸発熱伝達率が最も低く、乾き度 0.4 以下では R32 の熱伝達率が、乾き度 0.4 以上では R1234ze(Z)の熱伝達率が最も高い。蒸発温度 30 °Cという条件では、R32 の換

算温度は 38% とかなり高くなるため、表面張力の減少等により、低乾き度領域で核沸騰伝熱による寄与率が大きくなることが確認されおり、本実験結果もまた、その理論に沿うものである。予測結果と実験結果を比較すると、R1234ze(E) および R32 の熱伝達率では両者は満足に一致しているが、R1234ze(Z) の実験結果はやはり予測結果よりも幾分高い。

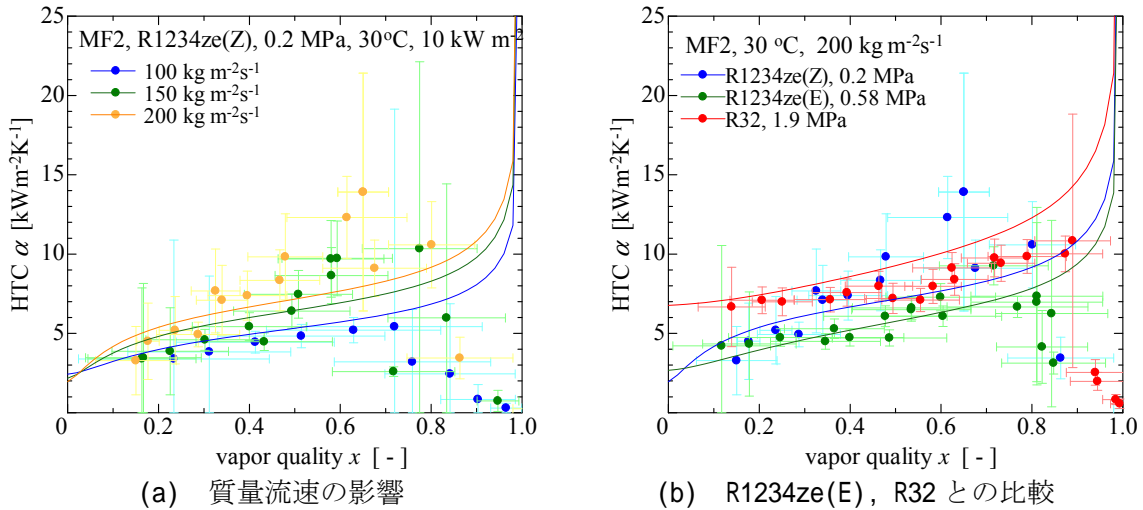


図 2.3.2.1.4-6 蒸発熱伝達率と乾き度の相関

図 2.3.2.1.4-7 に、R1234ze (Z) の圧力損失と乾き度の関係を示す。シンボルは測定結果であり、実線は Kubota らの式 [2.3.2.1.4-5] による予測結果である。図 2.3.2.1.4-7 (a) は、質量流速を 100 から 200  $\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$  まで変化させた時の R1234ze (Z) の圧力損失である。質量流速の増加とともに圧力損失は著しく増加し、質量流速 200  $\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$  のとき圧力損失は最大で約 20  $\text{kPa m}^{-1}$  となる。また、実験結果は、実線で示す Kubota らの式による予測結果よりも、乾き度 0.8 付近で幾分高い。図 2.3.2.1.4-7 (b) は、蒸発温度約 30 °C の条件のもと、R1234ze(Z) と、R1234ze(E) および R32 の圧力損失を比較した結果である。同じ蒸発温度のもとでは、R1234ze(Z) の圧力損失の方が R1234ze(E) に比して約 3 倍、R32 に対して約 4 倍高い。この原因としては、R1234ze(Z) の蒸気密度が小さいことによって、蒸気速度が高くなること、液粘度が高いことなどが挙げられる。Kobota らの式もやはり R1234ze(Z) の圧力損失を高く予測しており、その増加割合もおおむね一致する。

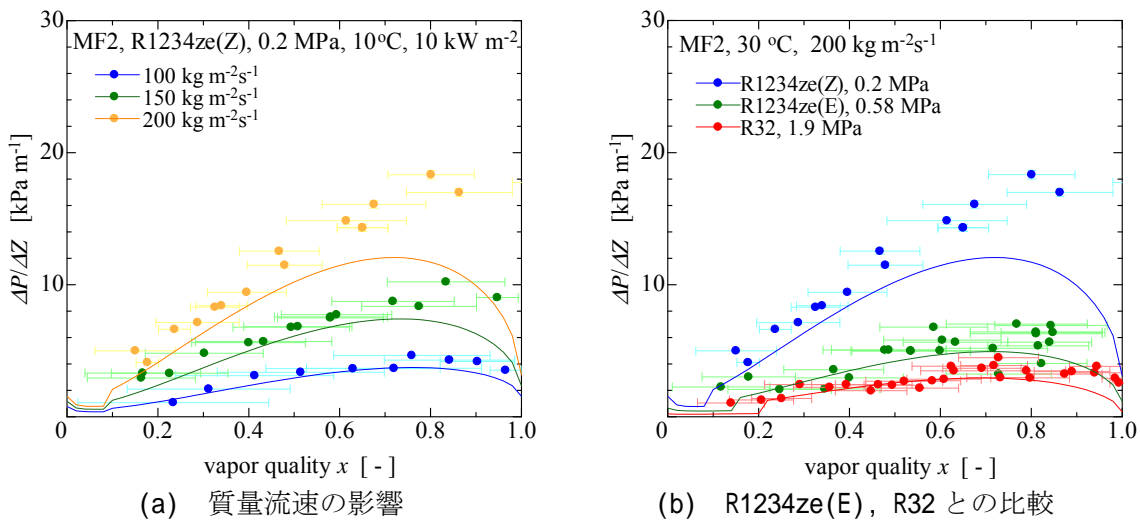


図 2.3.2.1.4-7 蒸発熱伝達率と乾き度の相関

<参考文献>

- [2.3.2.1.4-1] Moffat, R.J., 1988, Describing uncertainties in experimental results. Exp. Therm. Fluid Sci., vol. 1, 3-17.
- [2.3.2.1.4-2] Cavallini, A., Del Col, D., 2009, Condensation of pure and near-azeotropic refrigerants in microfin tube: A new computational procedure, Int. J. Refrig., vol. 32, 162-174.
- [2.3.2.1.4-3] Goto, M., Inoue, N., Ishiwatari, N., 2007, Answer to comments by M.M. Awad on “Condensation and evaporation heat transfer of R410A inside internally grooved horizontal tubes”, Int. J. Refrig., vol. 30, 1467.
- [2.3.2.1.4-4] Thome, J.R., Kattan, N., Favrat, D., 1997. Evaporation in microfin tubes: a generalized prediction model, Proc. Convective Flow and Pool Boiling Conf., Kloster Irsee, Germany, Paper VII-4.
- [2.3.2.1.4-5] Kubota, A., Uchida, M., Shikazono, N., 2001. Predicting equations for evaporation pressure drop inside horizontal smooth and grooved tubes. Trans. JSRAE, vol. 18, no. 4, 393-401(in Japanese).

### 2.3.2.1.5 R1234ze(Z)のサイクルの基本特性の評価

〈熱力学的解析；解析方法および条件〉

表 2.3.2.1.5-1 に、現在最も広く使用されている冷媒 R410A と試験冷媒 R1234ze(E)および R1234ze(Z) の物性を示す。R410A および R1234ze(E) の物性は REFPROP ver.9<sup>[2.3.2.1.5-1]</sup>で、R1234ze(Z)の物性は、本プロジェクトで測定された結果を元に作成された Fluid File とよばれるライブラリデータを組み込んだもので計算した。表 2.3.2.1.5-12 に解析条件を示す。解析は、凝縮温度と蒸発温度差を固定したまま凝縮温度を上昇させて行った。凝縮器内過冷度および圧縮機入口過熱度は、後述のドロップイン試験と同程度とした。

表 2.3.2.1.5-1 基本物性の比較

Refrigerant	R410A	R1234ze(E)	R1234ze(Z)
Critical temperature [°C]	71.4	109.4	153.7
Boiling temperature [°C]	-51.7	-19.0	9.8
Saturation pressure*[MPa]	1.88	0.58	0.21
Latent heat of vaporization* [kJ/kg]	178.3	162.9	204.2
Vapor density* [kg/m <sup>3</sup> ]	76.5	30.6	10.3
GWP	2090	6	6

\*Bulk temperature = 30 C

表 2.3.2.1.5-2 解析条件

(Condensation. temp.) – (Evaporation temp.)	[K]	35
Degree of subcool	[K]	10
Degree of superheat	[K]	3
Range of Cond. Temp.	[C]	> 30

〈熱力学的解析；解析結果および考察〉

図 2.3.2.1.5-1 は、R1234ze(E)、R1234ze(Z)および R410A の凝縮温度の変化させた場合の、COP および体積能力に関する解析結果を示す。図より、いずれの冷媒にも COP が最大となる凝縮温度が存在することが分かる。R410A、R1234ze(E)、および R1234ze(Z)の、COP が最大となる凝縮温度は、それぞれ約 40、80 および 110 °Cであり、その場合の体積能力はそれぞれ、7、5 および 5 MJ/m<sup>3</sup>である。また図より、体積能力は凝縮温度が高いほど大きくなり、臨界温度までほぼ単調に増加する。

凝縮温度 110 °C以上の範囲では、R1234ze(Z)を除く冷媒は臨界点を超え、臨界温度よりも約 30 °C程低い温度に達したあたりから COP が著しく低下してゆく。一方 R1234ze(Z)の場合、凝縮温度 110 から 120 °Cの範囲で約 9.5 と非常に高い最大値をとる。またその時の体積能力は 5

MJ/m<sup>3</sup> と、比較的高い。凝縮温度約 90 °C に固定した場合、R1234ze(Z) の COP は R1234ze(E) に比して高いが、体積能力は低い。体積能力が著しく低い場合、冷媒循環量や圧縮比、あるいは圧力損失増大に伴い理論値よりも COP が低下しやすい。このため、熱力学的解析で得られた理論 COP のみで冷媒の適性を判断することは危険であるといえる。そこで、これらを実験的に検証したので、以下にその内容を述べる。

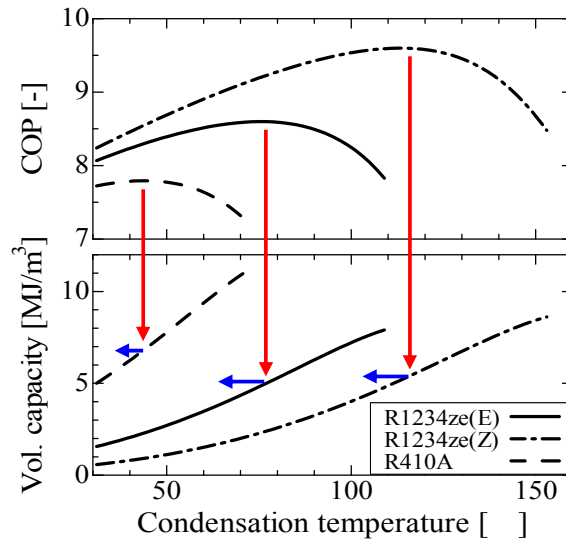


図 2.3.2.1.5-1 熱力学的解析結果，凝縮温度に対する COP と体積能力の変化

〈ドロップイン試験；試験方法および条件〉

図 2.3.2.1.5-2 に実験装置の概要を示す。本実験装置は蒸気圧縮式ヒートポンプサイクルであり、凝縮器および蒸発器は対向流型二重管式熱交換器を用いており、水と熱交換を行う。装置内を流れる冷媒は主要要素機器である圧縮機、凝縮器、膨張弁および蒸発器出入口において、絶対圧力計および K 型シース熱電対により、圧力および温度を測定し、膨張弁手前においてコリオリ式流量計により、冷媒質量流量を測定している。また熱源である水に対しても、凝縮器および蒸発器出入口において、K 型シース熱電対により温度を測定し、歯車式体積流量計により体積流量を測定している。

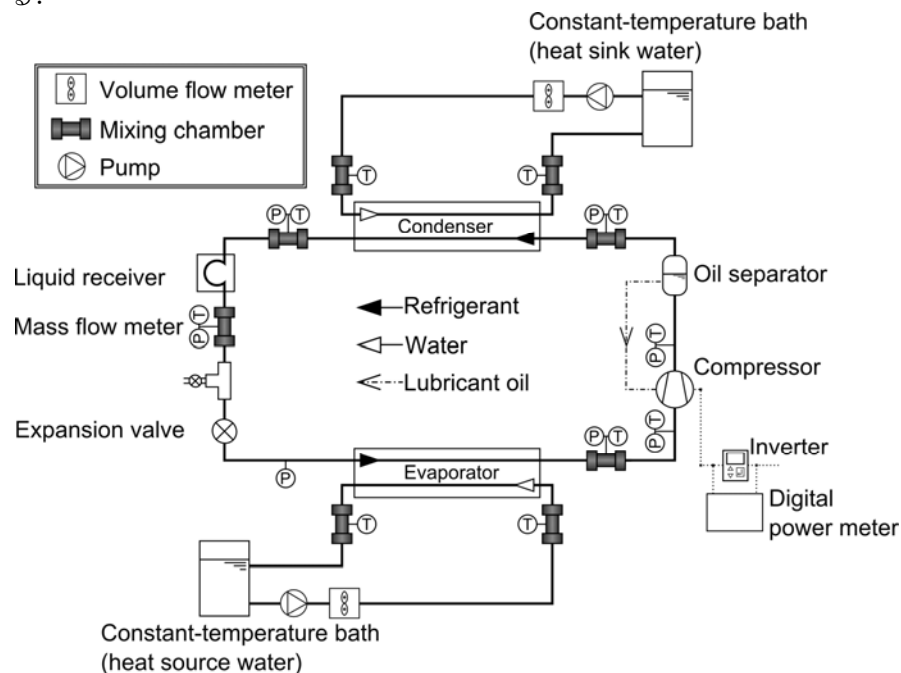


図 2.3.2.1.5-2 ドロップイン試験の実験装置

表 2.3.2.1.5-3 に実験条件を示す。実験では、凝縮器および蒸発器出入口の熱源水温度を表に示す値を一定に保つこととし、熱交換量を変化させて行う。本実験は高温用ヒートポンプを想定しているため、熱源水の温度は空気調和器の運転温度よりも高く、実験装置の許容できる最高温度である 50 から 75 °C に設定した。

表 2.3.2.1.5-3 ドロップイン試験の試験条件

Water temp. (inlet → outlet)	Cond. Eva.	[°C]	50 → 75 45 → 39
Degree of superheat		[K]	4
Heat transfer rate		[kW]	1.2 ~ 2.4

性能評価には次式により算出した COP を用いる。

$$COP = Q/P_{inv} \quad (2.3.2.1.5-1)$$

ここに、 $Q$  [W] は凝縮器における熱交換量、 $P_{inv}$  [W] はインバータへの投入電力である。また、凝縮器における熱交換量は水熱源側熱バランスより算出した。

〈ドロップイン試験；試験結果および考察〉

図 2.3.2.1.5-3 に実験により得られた熱交換量に対する COP の変化を示す。図中の丸印および四角印はそれぞれ R1234ze(E) および R1234ze(Z)、加えて R1234ze(E)/R32 の実験結果である。熱交換量  $Q$  が増加するに従い、R1234ze(Z) の COP は R1234ze(E) に比して大きく減少する。これは熱交換量の増加とともに、冷媒循環量が増し、圧縮比および圧力損失が増加することが主な要因である。この傾向は、R1234ze(E) にも共通するが、体積能力のより小さい R1234ze(Z) でより顕著である。また、同熱交換量において、R1234ze(Z) の COP が R1234ze(E) に比して低くなっている事と合わせて考えると、本実験条件のように作動温度が 75 °C 程度では、R1234ze(Z) の冷凍能力は不足しているといえる。しかし、解析結果において、R1234ze(E) で約 70 °C、R1234ze(Z) で約 105 °C の時に体積能力が同程度となることを考えると、作動温度 100 °C 以上では R1234ze(Z) の方が優位性を示す可能性が高い。R1234(E) と R1234ze(E)/R32(95/5mass%) とを比較すると、熱交換量が同じ条件において、R1234ze(E)/R32(95/5mass%) の COP の方が若干高い。これは、R32 の添加によって体積能力が増加したことや、非共沸混合冷媒に特有の温度すべりによって、熱交換器内の水温と冷媒温度との差を縮小させることができ、不可逆損失を低減できたためであると考えられる。

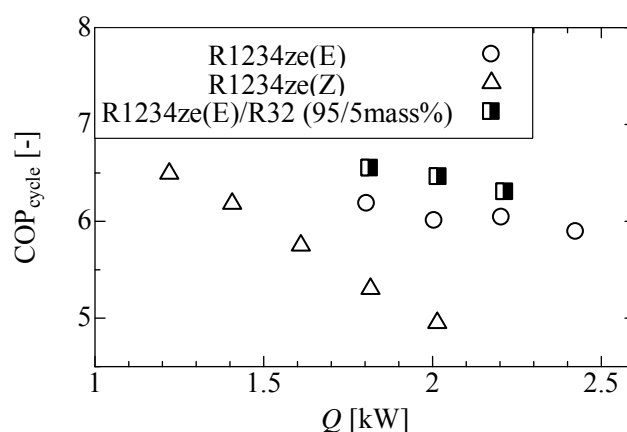


図 2.3.2.1.5-3 ドロップイン試験の結果、熱交換量と COP の関係

〈参考文献〉

[2.3.2.1.5-1] Lemmon, E.W., Huber, M.L., McLinden, M.O., 2007, NIST Standard Reference Database 23: REFPROP Ver. 9.0.

## 2.3.2.2 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

### 2.3.2.2.1 低 GWP 混合冷媒の探求・選定

水熱源ヒートポンプを用いて 2 成分混合冷媒 R1234ze(E)/R32 のドロップイン試験を実施し、組成比が 50/50 mass% 近傍の 2 成分混合冷媒 R1234ze(E)/R32 は R410A の代替冷媒として使用可能であることを確認した。しかしながら、この混合冷媒は R1234ze(E) の質量分率が 50% 以下となると、GWP 値が 340 以上となる。そこで、R1234ze(E)/R32 系 2 成分混合冷媒にさらに第 3 成分として GWP 値が 1 である R744 (CO<sub>2</sub>) を添加し、体積能力を増加させた冷媒について熱力学的性能解析を行い、GWP が 300 以下となる組成比を選定した。

R1234ze(E)/R32/R744 の 3 成分混合冷媒について、表 2.3.2.2.1-1 に示す計算条件のもとにヒートポンプサイクルの熱力学的性能解析を行った。図 2.3.2.2.1-1 に解析結果を示す。図 2.3.2.2.1-1 (a) は温度すべり（露点温度と沸点温度の差）の等高線に関する解析結果である。温度すべり R744/R1234ze(E) (40/60 mass%) 付近で最大値 35 °C を取る。図 2.3.2.2.1-1 (b) は、R410A の COP を 1 とした場合の、COP 比の等高線である。COP 比は R744 (CO<sub>2</sub>) の質量分率が増加するとともに低下する。これは、R744 (CO<sub>2</sub>) の臨界温度が 30 °C と非常に低いことが影響している。COP 比を 1 以上にとどめるためには、R744 (CO<sub>2</sub>) の質量分率を 10% 以下に抑える必要がある。図 2.3.2.2.1-1 (c) は、R410A の体積能力を 1 とした場合の、体積能力比の等高線である。体積能力比は R744 (CO<sub>2</sub>) の質量分率が増加するとともに増加、また R1234ze(E) の質量分率の増加とともに低下する。これは R744 (CO<sub>2</sub>) の添加によって圧力が上昇し蒸気密度を高くできること、また R1234ze(E) の増加により蒸発潜熱と蒸気密度が減少してしまうことが原因として挙げられる。

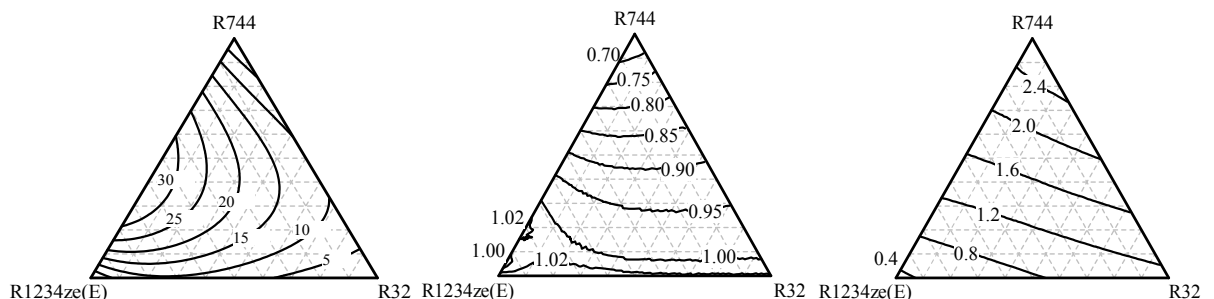
以上の解析結果をもとに、表 2.3.2.2.1-2 に示す組成比の選定条件に基づいて、GWP 値が 300 弱となる混合冷媒 A (R1234ze(E)/R32/R744 : 53/43/4 mass%) および GWP 値が 200 弱となる混合冷媒 B (R1234ze(E)/R32/R744 : 62/29/9 mass%) を選定した。図 2.3.2.2.1-2 に選定結果を示す。図中には、GWP、蒸発器内の冷媒温度すべり（相変化に伴う温度変化）、R410A に対する COP 比および R410A に対する体積能力比を示している。図中の赤印および青印がそれぞれ混合冷媒 A および B である。

表 2.3.2.2.1-1 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

表 2.3.2.2.1-2 選定条件

Condition	A	B
GWP	< 300	< 200
Temperature glide	< 10K	< 15K
Volumetric capacity ratio	> 0.8	
COP ratio	> 1.0	



(a) 温度すべり

(b) COP 比 (対 R410A)

(c) 体積能力比 (対 R410A)

図 2.3.2.2.1-1 R1234ze(E)/R32/R744 系混合冷媒の熱力学的解析結果



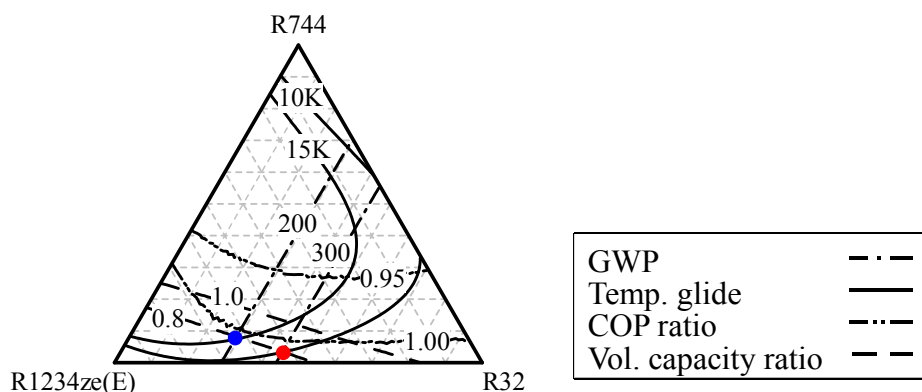


図 2.3.2.2.1-2 選定された R1234ze(E)/R32/R744 系混合冷媒  
 (赤丸印---混合冷媒 A : (R1234ze(E)/R32/R744 : 53/43/4 mass%), 青丸印---混合冷媒 B :  
 (R1234ze(E)/R32/R744 : 62/29/9 mass%))

### 2.3.2.2.2 低 GWP 混合冷媒の熱力学的性質の測定

#### 2.3.2.2.2-1 測定

〈臨界域における飽和液体および飽和蒸気密度の測定〉

本実験では、2.3.2.1.2 項で実験を行った装置を用いて、低 GWP 混合冷媒に関しても、臨界域近傍の飽和液体密度および飽和蒸気密度を、メニスカス（気液界面）の消滅を肉眼で直接観察して決定する方法で行った。今回は R1234ze(E) と R32 の混合冷媒に、第 3 の冷媒として R744 (CO<sub>2</sub>) を混ぜ合わせた 3 成分系混合冷媒の測定を行った。成分組成に関しては、九州大学において、GWP 値を推算し、GWP が約 200 くらいの成分比率と、約 300 付近の成分比率を計算から想定して準備することにした。ただし、GWP 約 300 の組成の実験において、本実験で行なった組成は、若干ずれが生じていることを断っておく。

GWP が約 200 → 62 mass% R1234ze(E) + 29 mass% R32 + 9 mass% R744

GWP が約 300 → 53 mass% R1234ze(E) + 43 mass% R32 + 4 mass% R744

実験装置概要図は図 2.3.2.1.2-1.1-1 に示したものと同一であり、測定試料が純物質の R1234ze(Z) から混合冷媒に変わっただけであるので実験手順もほとんど変わらない。ただ 1 点異なるのは、混合冷媒を作製する手順である。混合冷媒試料の作成は、研究室で行なっている。純物質の場合は、試料供給容器にメーカー特注の高純度試料を試料ボンベから直接充填するが、混合冷媒に関しては、事前に複数の前供給容器（2 成分系の測定では 2 個、3 成分系の測定では 3 個用いる）に、それぞれの成分物質を、純物質と同様の手順で調整する。そして、前供給容器に充填された成分試料は、液体窒素を用いて凝集され、希望する組成の試料が準備されることになる。

本実験では、若干検討した組成との間にズレは生じているが、3 成分系混合冷媒 54 mass% R1234ze(E) + 43 mass% R32 + 3 mass% R744 の臨界点近傍における飽和密度（気液共存曲線）に関して、4 回に分けて充填した実験を行い、そのうち 2 回は臨界密度を決定するためだけに試料調整を行った。実験結果を Fig. 2.3.2.2.2-1.1 に示した。この図には、本 3 成分系混合系だけでなく、2 成分系の R1234ze(E) + R32 の測定結果も比較のため記載してある。測定は温度 345.949 K から 363.145 K、密度が 240.6 kg/m<sup>3</sup> から 807.5 kg/m<sup>3</sup> の範囲で計 13 点の実測値を得た。13 点の実測値のなかで、密度 425.5 kg/m<sup>3</sup> から 482.5 kg/m<sup>3</sup> の 3 点では臨界タンパク光による着色が確認され、メニスカスの消滅位置を解析し、456.2 kg/m<sup>3</sup> より低い密度は飽和蒸気密度、482.5 kg/m<sup>3</sup> より高い密度は飽和液体密度であることも確認できた。

本実験結果に基づき、メニスカスの消滅位置および臨界タンパク光の着色の様子から、従来行なってきた純物質および 2 成分系混合物と同様の判断基準で、3 成分系混合冷媒 54 mass% R1234ze(E) + 43 mass% R32 + 3 mass% R744 の臨界温度と臨界密度を以下のように決定した。な

お、臨界圧力に関しては、 $P_{Tx}$  性質の測定結果がまだ確定していないので、決定できていない。

$$T_c = 361.83 \pm 0.03 \text{ K} \quad (2.3.2.2.2-1-1)$$

$$\rho_c = 466 \pm 5 \text{ kg/m}^3 \quad (2.3.2.2.2-1-2)$$

図 2.3.2.2.2-1-1 を見てわかるように、本組成の 3 成分系混合冷媒は、50 mass% R1234ze(E) + 50 mass% R32 混合物とほぼ同じ気液共存曲線を描いている。R1234ze(E)は GWP が小さいという利点を持っており、また R32 も蒸発潜熱は大きく、サイクル性能の向上が期待できる。しかし両物質とも微燃性であるという弱点があり、今回 R744 (CO<sub>2</sub>) を適量混ぜて、燃焼性を低減させる工夫ができることが物性的には判明し、より組成の検討を絞り込んでいくことで、本混合系を利用する上での最適組成を提案できるのではないかと期待している。

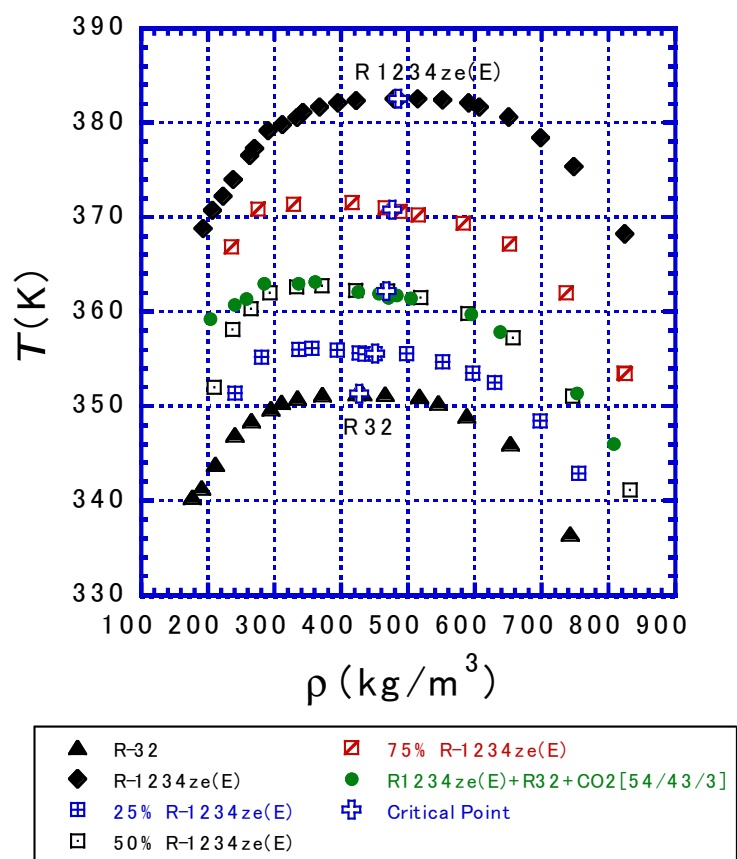


図2.3.2.2.2-1-1 3 成分系混合冷媒 54 mass% R1234ze(E) + 43 mass% R32 + 3 mass% R744 に関する臨界点近傍における飽和密度の実測値

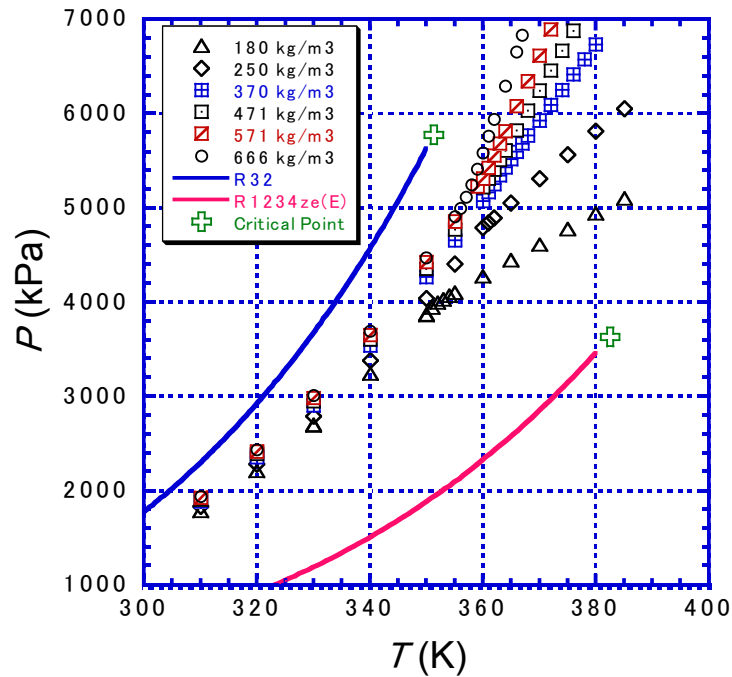


図2.3.2.2.2-1.1-2 3成分系混合冷媒 54 mass% R1234ze(E) + 43 mass% R32 + 3 mass% R744 に関する $P-T$  性質実測値の分布

3成分系混合冷媒 54 mass% R1234ze(E) + 43 mass% R32 + 3 mass% R744 に関する $P-T$  性質に関しては、6種類の密度で等容線に沿った測定を行い、温度範囲 310 K から 385 K、圧力範囲 1784 kPa から 6894 kPa の間で計 102 点の実測値を得た。図 2.3.2.2.2-1.1-2 には、 $P-T$  線図上に本実測値の分布を示している。純物質の飽和蒸気圧曲線に当たる混合系の気液2相域のデータが、密度の違いで少しずつずれていることがわかった。3成分系混合冷媒 62 mass% R1234ze(E) + 29 mass% R32 + 9 mass% R744 に関しては、現在実験が進行中であり、平成 25 年度前半にはデータの取りまとめが完了する予定で進行している。

### 2.3.2.2.2-2 状態方程式

多流体モデル (multi-fluid model) に基づいたR32/R1234ze(E)/R744 の3成分混合冷媒に対する熱力学モデルの開発を行う。多流体モデルでは、混合系のHelmholtzエネルギーを次式のように表現する。

$$\alpha = \alpha^{idmix} + \alpha^E \quad (2.3.2.2.2-2-1)$$

ここで、 $\alpha^{idmix}$ は理想混合による寄与分であり、 $\alpha^E$ は混合による超過Helmholtzエネルギーである。 $\alpha^{idmix}$ は純物質の状態方程式を用いて次式のように計算される。

$$\alpha^{idmix} = \sum_{i=1}^n x_i [\alpha_i^0(T, \nu) + \alpha_i^r(\tau, \delta) + \ln x_i] \quad (2.3.2.2.2-2-2)$$

ここで、 $\alpha$  および  $\nu$  は混合系に対する無次元温度および無次元密度である。現在、 $\alpha$  および  $\nu$  を求めるための無次元化関数 (一般に組成の関数となる) の関数形や、超過Helmholtzエネルギーの計算方法に対する検討を行っている。

### 2.3.2.2.3 低GWP混合冷媒の輸送的性質の測定 (担当: 佐賀大学)

#### 2.3.2.2.3-1 熱伝導率の測定

<測定結果>

図 2.3.2.2.3-1-1 に R1234ze(E)と R32 の熱伝導率およびそれらの混合冷媒について、温度に対する熱伝導率の変化を示す。混合冷媒の混合比は、51.5 mass% R1234ze(E)+48.5 mass% R32 で

ある。混合冷媒の熱伝導率は、それぞれの純冷媒の熱伝導率の間にあり、純冷媒と同様に温度の上昇に伴い熱伝導率が低下する。

図 2.3.2.2.3-1-2 に各温度条件において、熱伝導率の組成比に対する変化を示す。混合冷媒の熱伝導率が各純冷媒の値を結んだ直線より若干低い値を示すことが分かる。図中には、混合液の熱伝導率に対して提案されている以下の相関式による計算値も示してある。

Filippov らの式<sup>[2.3.2.2.3-1-1]</sup>

$$\lambda_m = w_1\lambda_1 + w_2\lambda_2 - cw_1w_2(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (2.3.2.2.3-1-1)$$

Jamison らの式<sup>[2.3.2.2.3-1-2]</sup>

$$\lambda_m = \omega_1\lambda_1 + \omega_2\lambda_2 - \alpha(\lambda_2 - \lambda_1)[1 - \omega_2^{1/2}]\omega_2 \quad (2.3.2.2.3-1-2)$$

ここで、 $\omega$  は質量分率であり、添え字  $m$  は混合冷媒、1, 2 は成分を表す。なおいずれの式においても  $\lambda_2 \geq \lambda_1$  である。Filippov らの式では  $c = 0.72$  が推奨されているが、測定値に合わせて調整することは可能である。Jamieson らの式では  $\alpha$  は調整パラメータで実験値がない場合は 1.0 を与える。図 2.3.2.1-7-6 に示した線は、 $c = 0.72$ ,  $\alpha = 1.0$  とした場合の推算結果である。測定値は R32 の増加とともに下に凸の曲線を描きながら増加しており、相関式と同様の傾向を示している。測定値と相関式の値の比較をすると低温域での差が大きく、測定値が相関式より高い値をとる。

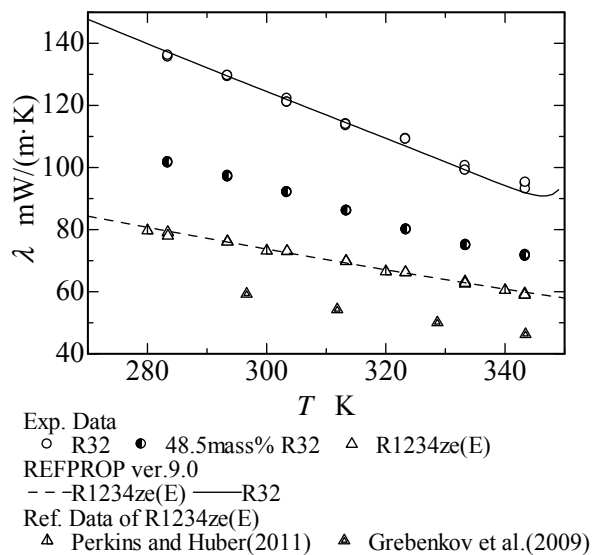


表 2.3.2.2.3-1-1 混合冷媒 R1234ze(E)+R32 の熱伝導率の温度に対する変化

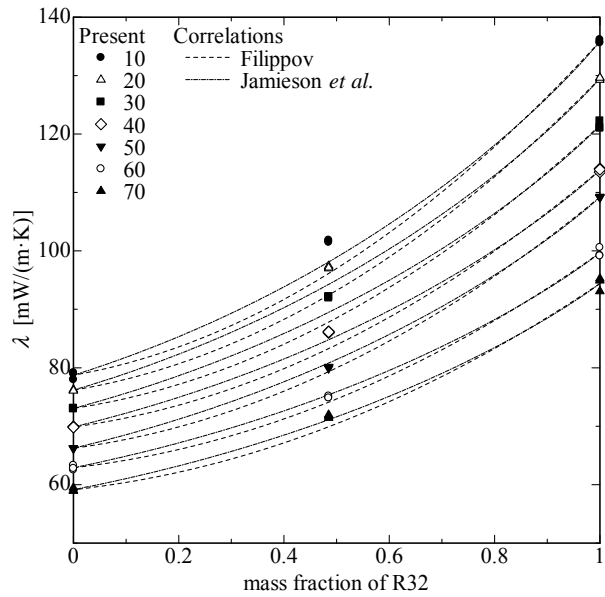


表 2.3.2.2.3-1-1 混合冷媒 R1234ze(E)+R32 の熱伝導率の組成比に対する変化

図 2.3.2.2.3-1-3 に混合冷媒の熱伝導率の測定値  $\lambda_{exp}$  と各純冷媒の熱伝導率を線形補間した値  $\lambda_{linear}$  との差を示したものである。グラフには Jamieson らの式および Filippov らの式の実験パラメータ  $c$  および  $\alpha$  に推奨値を与えた場合の計算結果を細い破線および細い実線で示し、実験値に合わせてパラメータを調整した場合の計算値を太い破線および太い実線で示す。R1234ze(E)+R32 については、 $c = 0.49$ 、 $\alpha = 0.83$  とすることで実験値とよく一致する。これらの値は限られた測定データを用いて決定されたものであり、実験式は温度や組成比の影響などを十分に表現できるものではないが、熱交換器の設計やサイクルシミュレーションなどにおいて実用上十分な精度で使用できるものと考えられる。なお、図上では実験値が大きくばらついて見えるが、実験パラメータを修正した相関式に対するデータのばらつきは概ね  $\pm 5\%$ 以内である。

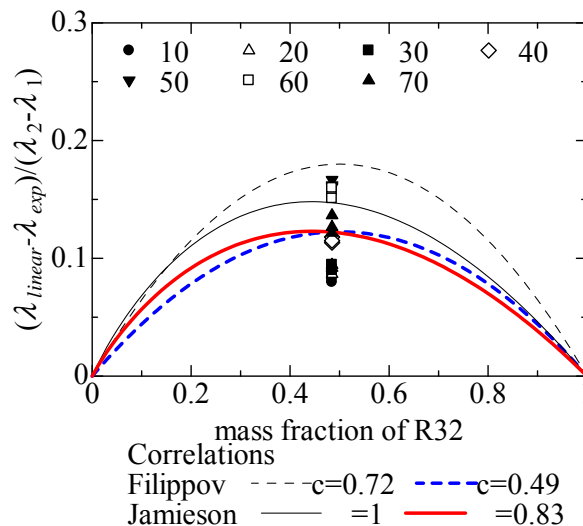


図 2.3.2.2.3-1-3 熱伝導率の測定値  $\lambda_{exp}$  と線形補間値  $\lambda_{linear}$  との差異

<参考文献>

- [2.3.2.2.3-1-1]Filippov, L.P, 1955, Vest Mosk Univ., Ser. Fiz. Mat. Estestv Nauk, (3)10(2), 37-40 (1955); Chem. Abstr., vol. 49, 11366.  
 [2.3.2.2.3-1-2]Jamieson, D.T., Irving, J.B., Tudhope, J.S., 1975, Liquid thermal conductivity, A data survey to 1973, H. M. Stationary Office, Edinburgh.

### 2.3.2.2.4 低 GWP 混合冷媒の伝熱特性の測定

#### 2.3.2.2.4-1 ら旋溝付管

〈実験装置および方法〉

図 2.3.2.2.4-1-1 は、非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E) での実験に使用した圧縮式強制循環ループの系統図で、前述の 2.3.2.1.4 項で述べた R1234ze(Z) の伝熱実験で用いた装置と同じである。テストセクションも同じものを使用した。ただし、ここに述べる混合冷媒の試験では、液溜め直後に設置したサンプリングポートを用い、混合冷媒の循環組成を測定している。サンプリングポートから約 1 cc の循環過冷却液を瞬時に採取し、これを試料採取用ポンプ内で完全膨張させた後、ガスクロマトグラフでその成分を分析する。本実験では、この結果を冷媒循環組成とする。またその際には、ポンプ内に圧縮機潤滑油の在留がないことを確認している。

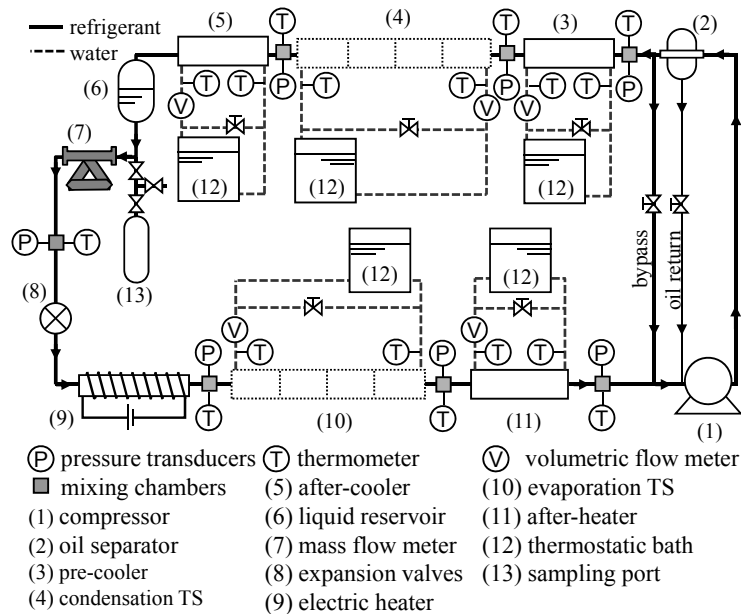
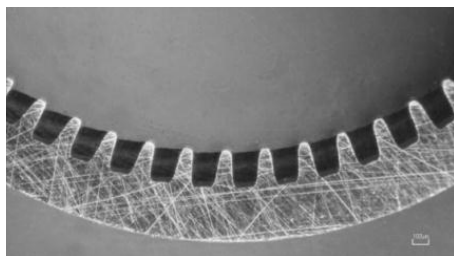
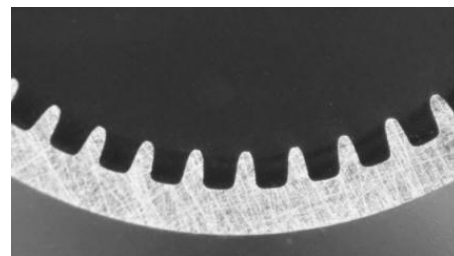


図 2.3.2.2.4-1-1 実験装置系統図

図 2.3.2.2.4-1-2(a) および (b) は、試験溝付管 MF1 および MF2 の断面写真である。表 2.3.2.2.4-1-1 にこれらの寸法諸元を示す。いずれも、ねじれ角約 20 度、フィン高さ約 0.255 mm の銅製内面ら旋溝付管であるが、試験管 MF1 のフィン数は 58 と、試験管 MF2 よりも 10 多い。ここに、表中の等価直径  $d_{eq}$  および面積拡大率  $A$  とは、等価の自由流れ体積を持つ平滑管直径、また等価の平滑管内面積に対するら旋溝付管内実伝熱面積の比である。フィン数の違いにより、MF1 の面積拡大率は 2.55 と、MF2 の 2.24 に比して約 14% 高い。



(a) MF1



(b) MF2

図 2.3.2.2.4-1-2 試験溝付管断面写真

表2.3.2.2.4-1-1 試験伝熱の管寸法諸元比較 (MF1およびMF2)

Dimensions		MF1	MF2
outer diameter	OD	6.05	6.04
fin root inner diameter	$d_{max}$	5.37	5.45
equivalent inner diameter	$d_{eq}$	5.21	5.34
fin height	$h_{fin}$	0.256	0.255
spiral angle	$\beta$	18.8	20.1
number of fins	$N_{fin}$	58	48
surface enlargement	$\eta_A$	2.55	2.24

R1234ze(Z)での実験と同様、冷媒質量速度  $Gr$  は、試験溝付管の自由流れ断面積( $d_{eq}^2\pi/4$ )で定義される。また、サブセクション内の平均熱流束  $q$  [ $W\ m^{-2}$ ]および熱伝達率 [ $W\ m^{-2}K^{-1}$ ] は、実伝熱面積を基準とし次式で定義される。

$$q = Q_{H2O} / (\pi d_{eq} \eta_A \Delta Z), \quad \alpha = q / (T_{wi} - T_r) \quad (2.3.2.2.4-1-1)$$

ここに、 $Q_{H2O}$ 、 $Z$  はそれぞれ、サブセクション内熱交換量および有効伝熱区間 414 mm である。 $T_{wi}$ 、 $T_r$  はそれぞれ、管内壁温度および冷媒温度である。混合冷媒の試験では、各サブセクション入口出口において、冷媒圧力、比エンタルピ、およびサンプリングで求められた循環組成から平衡状態を仮定して求められる冷媒温度が計算される。冷媒の物性は Refprop Ver. 9.0 によって計算し、その際に混合冷媒 R32/R1234ze(E)の物性計算に必要となる Lemon-Jacobsen 混合モデルの混合パラメータは、Koyama ら<sup>[2.3.2.2.4-1-1]</sup>の実測値をもとに Akasaka<sup>[2.3.2.2.4-1-2]</sup>によって最適化された値を使用している

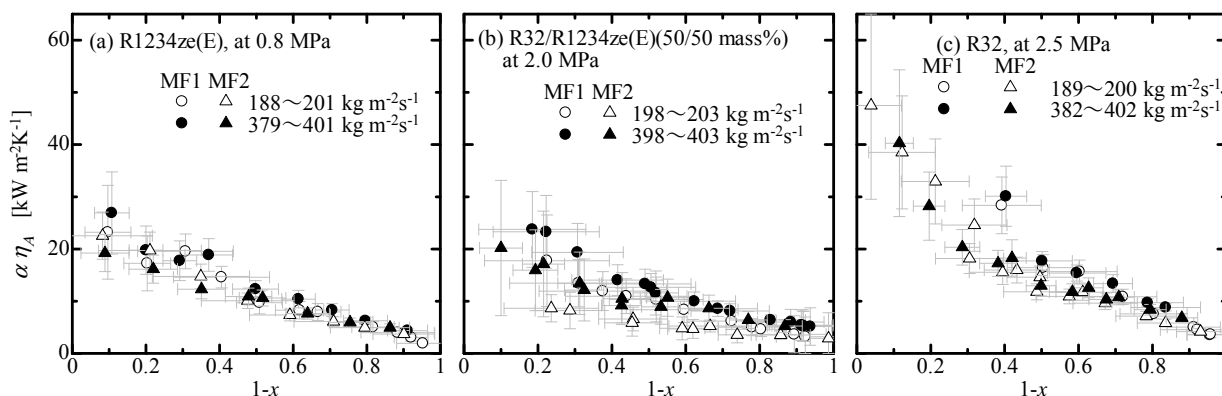
〈結果および考察：R32/R1234ze(E)の凝縮熱伝達率および圧力損失〉

図 2.3.2.2.4-1-3 は、らせん溝付管内の凝縮過程における等価の熱伝達率( $\alpha_A$ )と湿り度(1-x)の関係を示す。ここでは、面積拡大率の異なる試験伝熱管 MF1 と MF2 とを比較するため、面積拡大率を乗じた熱伝達率( $\alpha_A$ )を縦軸にとる。図 2.3.2.2.4-1-3(a), (b)および(c)は、それぞれ、R1234ze(E), R32/R1234ze(E) (50/50 mass%)および R32 の質量速度別におけるらせん溝付管 MF1(○および●)と MF2(△および▲)内の熱伝達率を示す。ただし、非共沸混合冷媒の平均飽和温度は温度すべりがあるため 40~45 °C 程度の幅を持つ。図中の実験値には、横方向にクオリティの変化幅、縦方向に 95%包括度の不確を示すエラーバーが付加されている。

いずれの冷媒も、湿り度の増加とともに熱伝達率は低下する。これは、湿り度の増加とともに管内の凝縮液が増加し、凝縮液膜が厚くなることにより液膜の熱抵抗が増加し、一方で管内の蒸気速度の低下により強制対流伝熱の寄与が減少するためである。

次に、質量速度の影響について検討する。一般的に凝縮熱伝達率は質量速度が大きいほど増加すると考えられるが、単一冷媒 R1234ze(E)および R32 は、質量速度 200 および 400  $kg\ m^{-2}s^{-1}$ における熱伝達率の優位差は確認できなかった。これは、試験伝熱管のフィンが比較的高いため、とくに蒸気密度が低く主流の蒸気速度が速い R1234ze(E)では、フィン間溝部の凝縮液膜に作用する蒸気せん断力があまり増加しなかったためだと考えられる。蒸気密度が高く蒸気速度の遅い R32 では、フィン間溝部の凝縮液膜に作用する蒸気せん断力がそもそも小さいため、主流の蒸気速度が増加しても、フィン間溝部の液膜に作用する蒸気せん断力があまり変化しなかったものと考えられる。以上の理由で、質量速度の熱伝達率に及ぼす影響が小さく観察されたと考えられる。森ら<sup>[2.3.2.2.4-1-3]</sup>は、HCFC22 および疑似共沸混合冷媒 R410A を用いたらせん溝付管内凝縮熱伝達実験によって、50 から 200  $kg\ m^{-2}s^{-1}$ までは質量速度の増加とともに熱伝達率が上昇するが、それ以上の質量速度では横ばいになることを確認しており、本実験で得られた傾向もこれと一致している。一方、図 2.3.2.2.4-1-2(b)に示されるように、非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E) (50/50 mass%)では、質量速度の増加とともに熱伝達率は増加している。これは、質量速度の増加により、管内濃度分布が緩和し、非共沸混合冷媒に特有の物質伝達抵抗が小さくなったためであると考えられる。

ついで、単一冷媒 R1234ze(E)と R32 とを比較すると、R32 の熱伝達率は、R1234ze(E)に比して高い。これは、主に R32 の液熱伝導率が大きいこと、凝縮潜熱が大きいことが原因であると考えられる。



(a) R1234ze(E) (b) R32/R1234ze(E) (50/50 mass%) (c) R32  
 図 2.3.2.2.4-1-3 R32/R1234ze(E)の凝縮熱伝達率と湿り度の相関

図 2.3.2.2.4-1-4 (a) は、湿り度 0.3 および 0.8，質量速度  $200 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$  における，冷媒組成と熱伝達率の関係を示す．シンボルはらせん溝付管の実験結果を示す．太線と破線は非共沸混合特性を考慮し補正した Dobson-Chato の式<sup>[2.3.2.2.4-1-4]</sup>による平滑管の予測結果を示す．

単一冷媒と混合冷媒を比較すると，混合冷媒 R32/R1234ze(E)の熱伝達率は，全循環組成域にわたり単一冷媒に比して低いことが確認できる．これは，露点沸点温度差によるものであり，下流の飽和温度が上流に比べ低いために，バルク蒸気を気液界面温度まで冷却する顕熱変化が追加的に必要となるため，熱伝達率が低下する．

また，図より，混合冷媒の熱伝達率は，R32 の質量分率が増加するとともにいったん減少し，R32 の質量分率 0.45 付近で最小値を取り，その後増加する．図 2.3.2.2.4-1-4 (b) は，その原因である物質伝達抵抗を説明する R32/R1234ze(E)の相平衡状態を示す図である．図中，黒の実線で温度すべり，すなわち露点沸点温度差 ( $T_{\text{dew}} - T_{\text{bub}}$ ) を，青線と赤の破線で湿り度 0.8 および 0.3 での気液間モル分率の差 ( $\bar{Y}_{\text{R32}} - \bar{X}_{\text{R32}}$ ) を示す．非共沸混合冷媒の場合，上流側で比較的高い飽和温度で凝縮するが，下流では低い飽和温度で凝縮する．そのため，下流では追加的に顕熱を除去しなければならず，温度すべりの大きさはこの追加的顕熱除去量を表す指標となる．また気液間でモル分率が大きいという事は，蒸気相と液相内でそれぞれ大きな濃度分布を持つという事を指し示している．例えば，高沸点成分である R1234ze(Z)が先行して凝縮し，蒸気相に R32 が取り残されるが，これはときに気液界面付近で起こる．したがって蒸気相中心よりも気液界面付近での R32 濃度が高いために，相互拡散によって R32 はさらに蒸気相中心へ，R1234ze(Z)はさらに気液界面付近へ拡散してゆき，凝縮（物質移動）を妨げることとなる．さらに，この温度すべりと気液間モル分率差の両方が大きいことは，管半径方向に濃度差が生じ，それによって局所の飽和温度が変化するために管壁の実質的な過冷却度，すなわち有効温度差が減少することを表す．以上を踏まえると，湿り度が 0.8 の場合，R32 の循環組成が 0.3 から 0.4 の時に最も物質抵抗が大きくなると考えられる．加えて，R32 質量分率の増加にともない蒸気密度が増すため蒸気速度が低下し，強制対流伝熱の寄与率が低下することが重なり合い，上述した R32 組成比より少し高い 0.45 付近で熱伝達率が最小値をとるものと考えられる．

平滑管の予測値とらせん溝付管の実験値を比較すると，らせん溝付管の伝熱面積拡大や旋回流の効果により，熱伝達率は平滑管よりも約 2 倍～5 倍高いことが確認でき，伝熱促進効果が認められた．



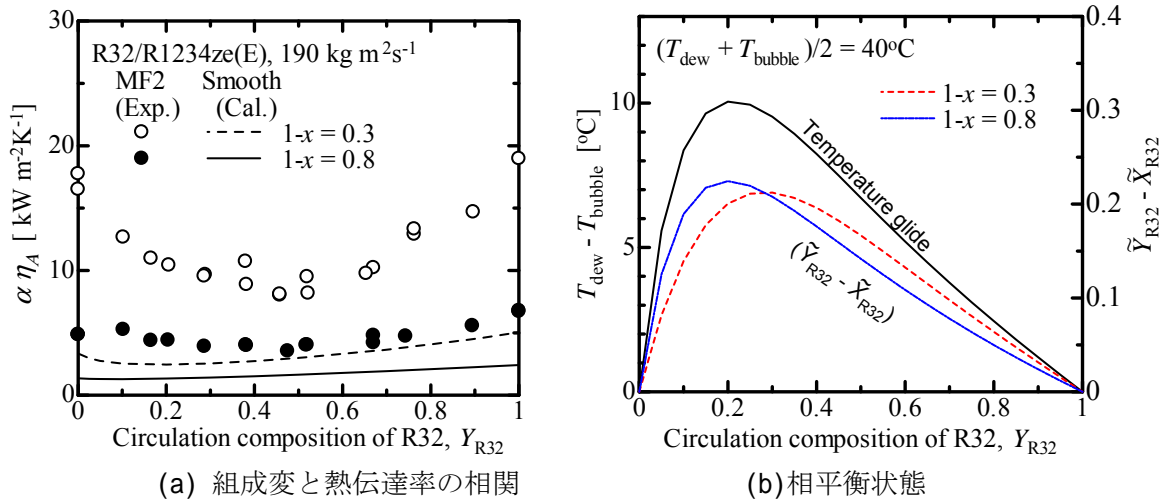


図 2.3.2.2.4-1-4 循環組成の R32/R1234ze(E)凝縮熱伝達率に及ぼす影響

図 2.3.2.2.4-1-5 は、試験伝熱管内 (○および●) と MF2 (△および▲) 内における凝縮過程の圧力損失勾配と湿り度 (1-x) の関係を示す。いずれの冷媒においても質量速度が増加するほど圧力損失勾配は増加する。また、低湿り度域において大きな値を示している。これは、管内流速が速く、気液界面および壁面せん断力が増加するためであると考えられる。冷媒の違いによる圧力損失勾配の差異について検討する。MF1 における質量速度  $400 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$  で湿り度 0.2 の圧力損失勾配について比較すると、R1234ze(E)の圧力損失勾配は、R32 に比して 2 倍程度高いことが確認できる。これは、主に蒸気密度と液粘度の差によるものであり、R1234ze(E)の蒸気密度および液粘度は、それぞれ R32 の約 0.56 倍および約 1.74 倍であるためである。また、伝熱管の比較を行うと、らせん溝付管 MF2 の圧力損失は、MF1 に比して若干低いことが確認できる。これはフィン数に差異がある 2 種のらせん溝付管において、フィン数の少ない MF2 の方が、フィンによる流動抵抗が若干減少したためであると考えられる。

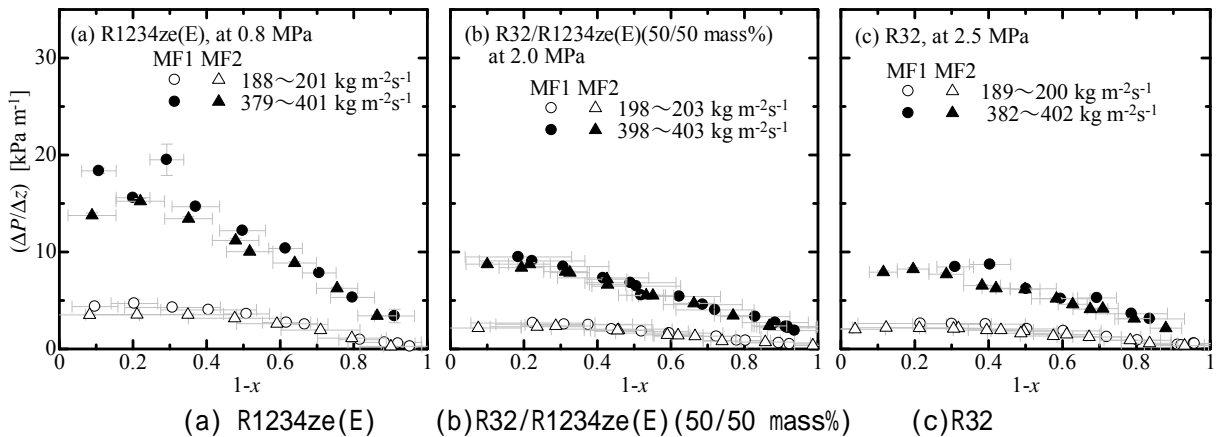


図 2.3.2.2.4-1-5 R32/R1234ze(E)の凝縮圧力損失勾配と湿り度の相関

図 2.3.2.2.4-1-6 は、湿り度 0.3 および 0.8 における、冷媒組成と圧力損失勾配の関係を示す。シンボルは溝付管実験結果を示す。太線と破線は、原口の式<sup>[2.3.2.2.4-1-5]</sup>による平滑管の予測結果を示す。図より、混合冷媒の圧力損失は、R32 の質量分率の増加に伴い減少している。これは、主に蒸気密度と液粘度の差によるものであり、R32 の質量分率が増加すると、蒸気密度は増加し、液粘度は減少するためであると考えられる。また、平滑管の予測値とらせん溝付管の実験値を比較すると、らせん溝付管のフィンによる流動抵抗により、らせん溝付管の圧力損失勾配は、平滑管よりも約 1.7~4 倍高いことが確認できる。

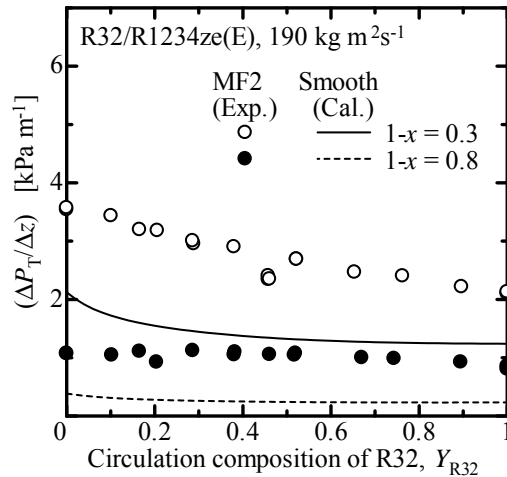


図 2.3.2.2.4-1-6 循環組成の R32/R1234ze(E)凝縮圧力損失勾配に及ぼす影響

〈結果および考察: R32/R1234ze(E)の蒸発熱伝達率および圧力損失〉

図 2.3.2.2.4-1-7(a), (b), および(c)はそれぞれ, R1234ze(E), R32/R1234ze(E) (50/50 mass%), および R32 のら旋溝付管内熱伝達率に関する実験結果である. 実験条件は, 冷媒代表温度 (露点/沸点の平均値)  $T_r$  が 10 °C, 実伝熱面積基準の平均熱流束  $q$  が 10 kW m<sup>-2</sup> であり, 冷媒質量速度  $Gr$  は 190 から 201 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (○●印), および 381 から 401 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (△▲印) である. また, 伝熱面積の異なる試験伝熱管 MF1 と MF2 との結果を比較するため, 図 3 中では, 面積拡大率の効果を加味した等価の熱伝達率 ( $\alpha_A$ ) を比較している.

図 2.3.2.2.4-1-7(a)および(c)に示される通り, 単一冷媒 R1234ze(E)および R32 の熱伝達率は, 乾き度の上昇と共に増加する. R32 の熱伝達率は R1234ze(E)に比して約 1.3 から 1.7 倍程高く, この傾向は低い乾き度でより明瞭である. 乾き度 0.4 以下では, 溝付管の違いによる等価熱伝達率の優劣はほとんど見られないが, 乾き度 0.4 以上では, 溝付管 MF1 の等価熱伝達率は MF2 に比して幾分高い. 特に質量速度 190 から 201 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>で, 乾き度 0.8 以上の範囲では, MF2 の結果にはドライアウトと呼ばれる急激な熱伝達率低下が見受けられるが, MF1 の結果にはそのような傾向は顕著でない. これは, MF1 の溝開口幅が MF2 よりも小さいために, 表面張力等が作用して溝内に液冷媒が保持されやすく, 蒸気流による液膜破断を抑制しやすいことから, 有効沸騰伝熱面を維持できるためであると考えられる.

図 2.3.2.2.4-1-7(b)と, 図 2.3.2.2.4-1-7(a)および(c)とを比較すると, 非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E) (50/50 mass%)の等価熱伝達率は, 単一冷媒 R1234ze(E)あるいは R32 の等価熱伝達率に比して著しく低いことがわかる. これは, しばしば非共沸混合冷媒の沸騰熱伝達に見られる伝熱劣化の特徴と一致する. これまでの知見では, この非共沸性による伝熱劣化の原因を大分すると, 非共沸性に伴う半径方向の局所沸点温度の上昇, 濃度勾配に起因する相互拡散によって引き起される物質伝達抵抗, 加えて冷媒流れ方向の温度すべりによる熱抵抗, であると言われている. 以上の事が複合して起こるため, R32/R1234ze(E)の等価熱伝達率は, 単一冷媒の場合の様に乾き度の増加によって増加することなく, 低い値にとどまったままほぼ一定であると考えられる. また, 溝付管形状の違いによる等価熱伝達率の優劣は, 全乾き域にわたって不明瞭である.

図 2.3.2.2.4-1-8(a), (b), および(c)にそれぞれ, R1234ze(E), R32/R1234ze(E) (50/50 mass%), および R32 の実験結果と予測式との比較を示す. 単一冷媒 R1234ze(E)と R32 に対しては, 森ら<sup>[2.3.2.2.4-1-6]</sup> や Thome ら<sup>[2.3.2.2.4-1-7]</sup> によって他の冷媒に対して提案されている式による予測結果と本実験結果とを, 質量速度 200 kg m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, 飽和温度 10 °C, および熱流束 10 kW m<sup>-2</sup>の条件下で比較している. 同様に, 非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E) (50/50 mass%) に対しては, Cavallini ら<sup>[2.3.2.2.4-1-8]</sup>の式 および Baba ら<sup>[2.3.2.2.4-1-9]</sup>の式による予測結果と本実験結果とを比較している.

図 2.3.2.2.4-1-8(a)および(c)に示される通り, 単一冷媒 R1234ze(E)および R32 に対し, 予測結果と実験結果は満足に一致する. R32 の熱伝達率が R1234ze(E)に比して高いという傾向, また溝付管 MF1 の熱伝達率が若干 MF2 よりも高いという傾向も, 予測結果と実験結果とで一致している. ただし, R1234ze(E)において, 試験管 MF2 の結果に見られるドライアウトと思われる領域では, 両者の値は大きく異なるが, このような領域は予測式の補外域であるため, 予測精度向上のため

には別途ドライアウトを予測する式，例えば吉田らの式<sup>[2.3.2.2.4-1-10]</sup>等の導入を必要とする。

図 2.3.2.2.4-1-8(b)に示される通り，R32/R1234ze(E) (50/50 mass%)に対し，他の非共沸混合冷媒に対して提案された Cavallini らの式による予測結果は，実験結果に比して約 1.5 から 2 倍ほど高い。この式が提案された当時，ら旋溝付管内の非共沸混合冷媒に関する研究報告は未だ十分とは言えず，提案されている予測式もごく限られている。特に R32 の様に比較的高圧で作動する冷媒を含むデータが少なかったように見受けられる。一方，Baba らの式は R32/R1234ze(E) に対して提案されているため，実験結果とは良い一致を示している。しかし，様々な組成成分の混合冷媒に対して検証はされておらず，この式が包括的予測モデルとは言えないことに留意しなければならない。

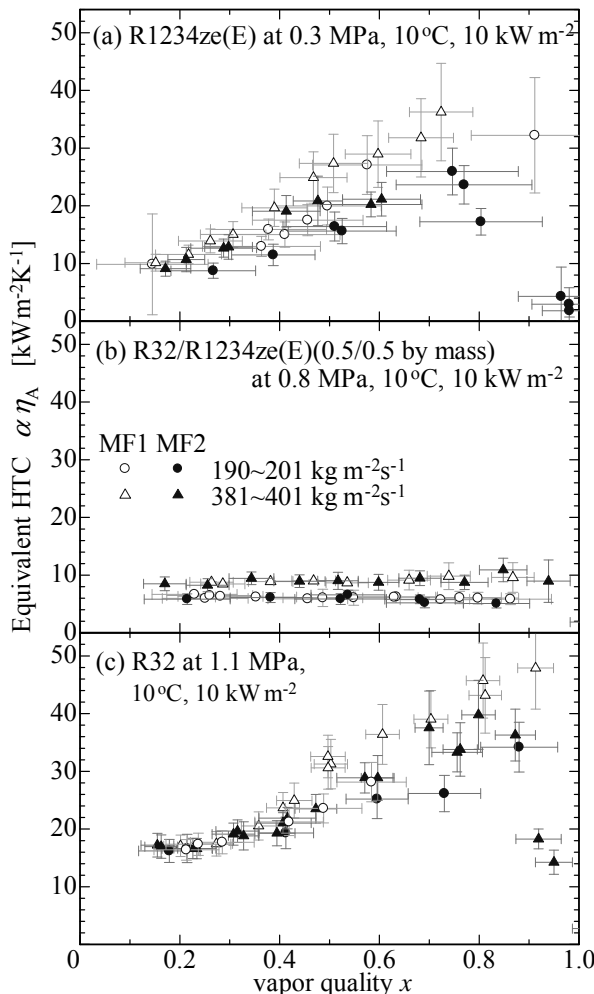


図 2.3.2.2.4-1-7 R32/R1234ze(E)の蒸発熱伝達率と湿り度の相関

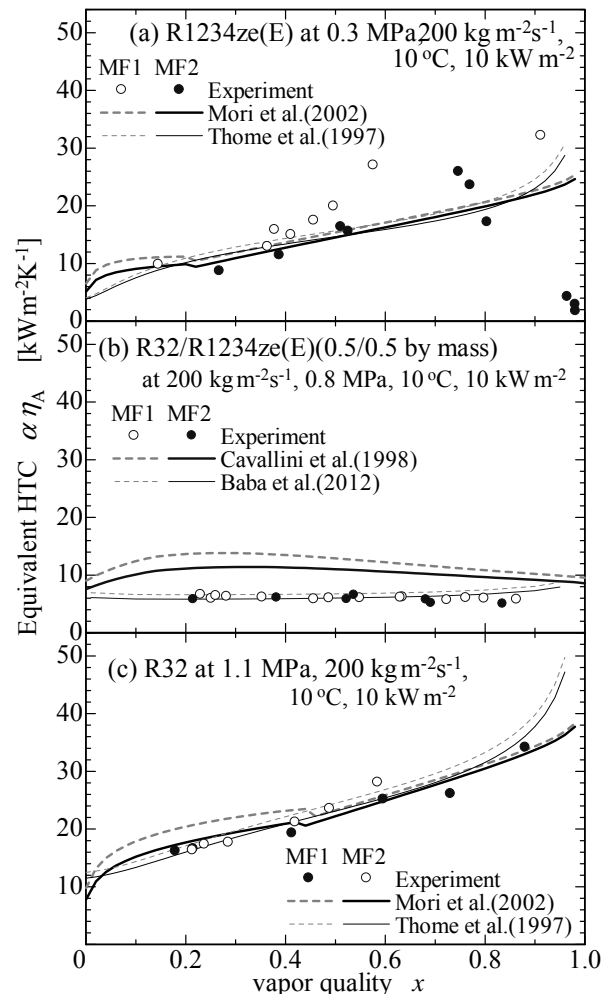


図 2.3.2.2.4-1-8 蒸発熱伝達率に関する予測式と実験結果との比較

図 2.3.2.2.4-1-9 は，R32/R1234ze(E)の相平衡図である。縦軸と横軸は，温度と R32 モル濃度を示しており，例として，循環組成の質量分率が 50/50 mass%，モル分率では 69/31 mole%で，圧力が 0.8 MPa の場合をプロットしている。図中，細い実線は露点と沸点の変化であり，そのうち太線で上書きされている線分は，前述の条件の下，蒸発開始から終了までの飽和液と飽和蒸気の状態変化を示している。この様に，気相と液相は各々独立して R32 濃度を低下させながら，温度を上昇させて蒸発する。乾き度 0 から 1 の温度上昇，すなわち温度すべりは，図中太いグレーの線で示されており，この条件では約 8 K である。この相平衡図からは，以下に列挙される非共沸性の熱伝達劣化に及ぼす因子を把握することができる。温度すべりが大きい事は，上流で低い温度で蒸発した蒸気を下流でその地点の飽和温度まで加熱するための，追加的な加熱量をより多く必要とする事を示唆する。また，気液間のモル濃度差が大きいほど，気液界面や気泡核周りで大きな濃度勾配を有し，相互拡散による物質伝達抵抗が大きい事を示唆する。さらに両者が重な

ることは、気液界面や伝熱面上の過熱液層内で低沸点成分が濃縮し、局所的な飽和温度上昇に伴い、蒸発量と、沸騰に必要な有効過熱度を減少させることを示唆する。核沸騰面では気泡成長が抑制されることが観察されている。以上を踏まえ、以下に循環組成が変化による影響を考察する。

図 2.3.2.2.4-1-10(a)および(b)はそれぞれ、R32/R1234ze(E)の循環組成の変化に対する、温度すべりと気液間のモル濃度差、および試験伝熱管 MF2 の等価熱伝達率の変化を示す。モル濃度差と等価熱伝達率は、代表として乾き度 0.2, 0.5, および 0.8 での値(実験値から内挿された値)を図示している。図 2.3.2.2.4-1-10(b)中の太線および細線はそれぞれ、Baba らの式によるら旋溝付管内熱伝達率の予測結果、および Takamatsu ら<sup>[2.3.2.2.4-1-110]</sup>の式による等価の平滑管内熱伝達率の予測結果である。図 2.3.2.2.4-1-10(a)に示す通り、温度すべりは循環組成(R32 質量分率)約 0.2 で最大値 12 K をとる。一方、気液間モル濃度差は、乾き度 0.2 では循環組成約 0.18 で、乾き度 0.5 では約 0.25 で、乾き度 0.8 では約 0.35 で最大値をとる。図 2.3.2.2.4-1-10(b)に示す通り、等価熱伝達率は循環組成約 0.2 で最小値をとる。詳細には、乾き度 0.2 では循環組成約 0.15 で、乾き度 0.5 では約 0.2 で、乾き度 0.8 では約 0.35 で最小値をとる。これらの値は、気液間モル濃度差が最大値を取る時の循環組成比とかなり近い。この事は、温度すべりと気液間モル濃度差が、密接に伝熱劣化と関連していることを裏付ける。

また、図 2.3.2.2.4-1-10(b)中にシンボルと太線で比較されるように、実験結果と Baba らの予測結果は満足に一致している。この式は、単一冷媒に対して提案された桃木らの式を基本に、温度すべりの影響を Stephan<sup>[2.3.2.2.4-1-12]</sup>の方法で、有効過熱度低下と物質拡散による核沸騰抑制の影響を Thome<sup>[2.3.2.2.4-1-13]</sup>の方法で修正しているが、気液界面での物質伝達抵抗を加味していない。非共沸混合冷媒の凝縮流に関する研究では、相互拡散と局所的飽和温度変化によって、気液界面の物質移動流速がしばしば 20%以上低減されることが解析的に確認されている<sup>[2.3.2.2.4-1-14]</sup>。しかし蒸発流では、管壁近くでの気泡成長過程における物質伝達抵抗が考慮しているものの、凝縮流と同じメカニズムにより発生すべき気液界面での物質伝達抵抗を加味したモデルは、筆者の知るところまで存在しない。

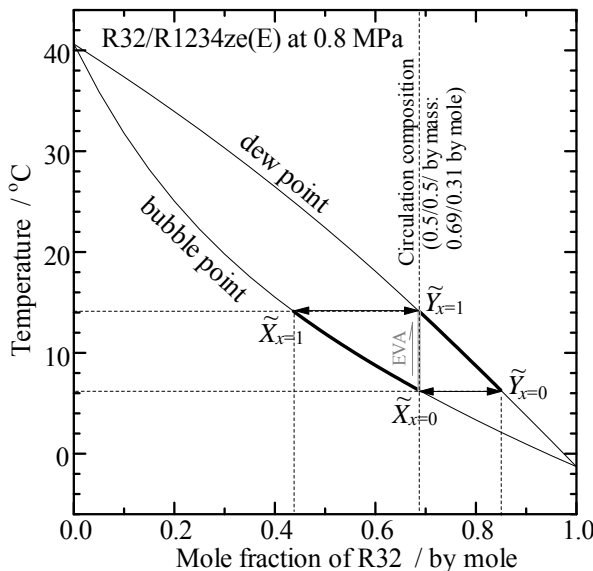


図 2.3.2.2.4-1-9 R32/R1234ze(Z)相平衡図

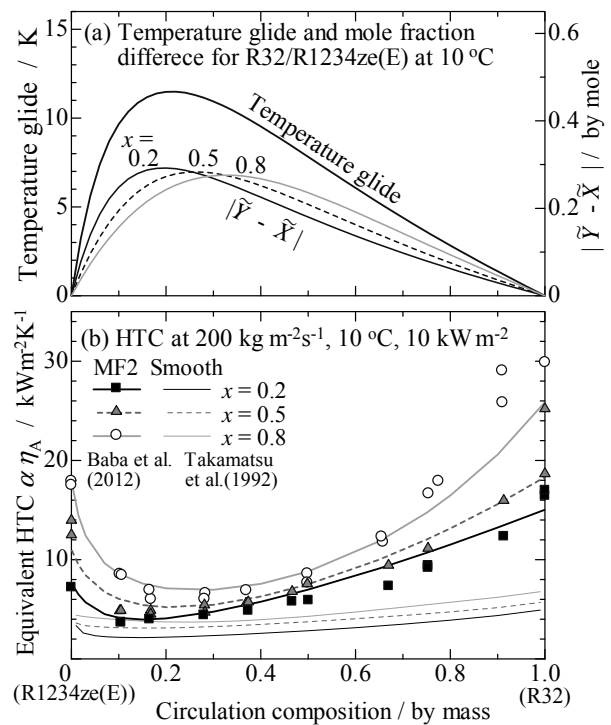


図 2.3.2.2.4-1-10 循環組成の R32/R1234ze(E)凝縮熱伝達率に及ぼす影響

以上へ述べた様に、非共沸混合冷媒の伝熱劣化は著しく、その熱伝達率低下割合は、ら旋溝付管による伝熱促進効果の割合に匹敵するほどである。そこで、非共沸混合冷媒へ対してら旋溝が伝熱促進に有効であるか否かを検証する。図 2.3.2.2.4-1-10 (b)のシンボルと細線とで比較さ

れる通り、ら旋溝付管の等価熱伝達率は、平滑管の予測値よりも常に高い。最も両者の値が近づくのは、循環組成約 0.15 で乾き度 0.2 の条件である。この条件下であっても、ら旋溝付管の等価熱伝達率は、比率にすると 2 倍以上平滑管の熱伝達率よりも高く予測される。したがって、非共沸混合冷媒へ対しても、ら旋溝による伝熱促進は有効であるといえる。

図 2.3.2.2.4-1-11 は質量流速を 143 から 380  $\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$  まで変化させた時の試験伝熱管 MF2 内の蒸発過程における圧力損失勾配と乾き度の関係を示す。シンボルは測定結果を、実線は他の単一冷媒と共沸混合冷媒に対して提案された Kubota らの式<sup>[2.3.2.2.4-1-15]</sup>による予測結果である。この式は他の冷媒に対しても乾き度 0.8 以上で圧力損失を低く見積もる傾向があり、本実験結果と同様の差異を示した。これを除けば、この予測結果と本実験結果は良い一致を示す。

図 2.3.2.2.4-1-12 は乾き度 0.2, 0.5 および 0.8 における、循環組成のおよぼす圧力損失勾配への影響を示す。循環組成の R32 質量分率が増加するにつれ、圧力損失勾配は低下してゆく。この主たる原因としては、R32 蒸気速度が低いこと、液粘度が低いことなどが挙げられる。また、圧力損失勾配は R32 質量分率の増加とともに、極値をもつことなく単調に減少してゆく。その傾向は Kubota らの式による予測結果とよく一致している。したがって圧力損失勾配に対しては、熱伝達率に見られた顕著な物質伝達抵抗の影響はなく、単一冷媒や共沸冷媒と同様に予測が可能であるといえる。

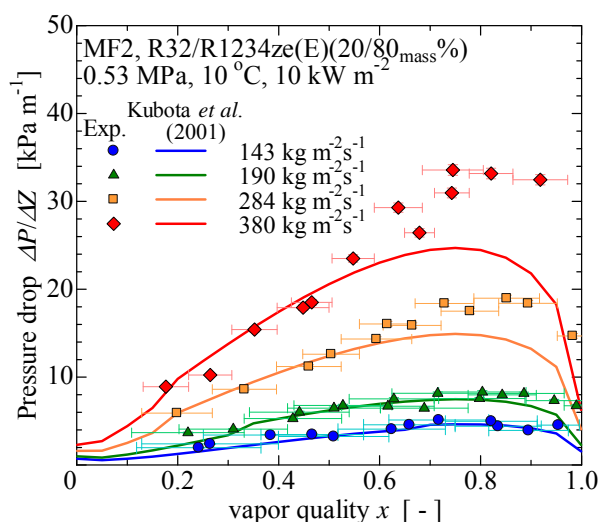


図 2.3.2.2.4-1-11 R32/R1234ze(Z)の蒸発過程圧力損失勾配

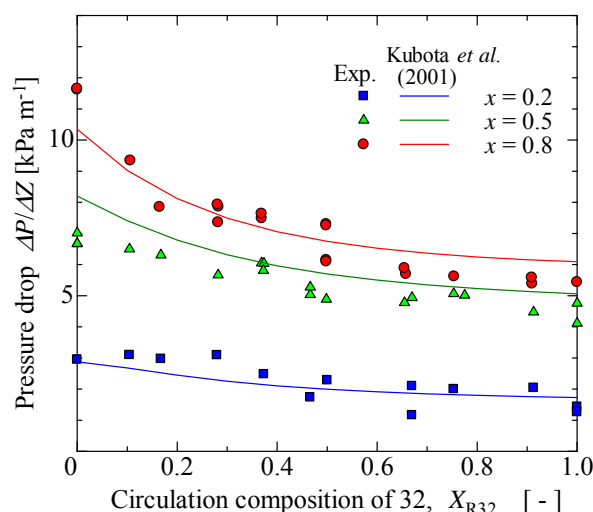


図 2.3.2.2.4-1-12 循環組成の R32/R1234ze(E) 圧力損失勾配に及ぼす影響

〈参考文献〉

- [2.3.2.2.4-1-1] 小山繁, 松尾叔美, 福田翔, 赤坂亮, 2010, R1234ze(E)/R32 系二成分混合冷媒の気液相平衡特性の測定, 2010 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, 195-196.
- [2.3.2.2.4-1-2] Akasaka, R., 2010, Thermodynamic property model for the mixtures of difluoromethane (R32) + isobutane and difluoromethane + trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234ze(E)), Proc. Int. Refrig. A/C conf. Purdue, Paper no. 2439, 1-6.
- [2.3.2.2.4-1-3] 森英夫, 吉田駿, 大石克巳, 寺坂賢一, 1999, HCFC-22 代替混合冷媒の水平管内凝縮熱伝達, 第 33 回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, 14, 53-56.
- [2.3.2.2.4-1-4] Smit, F., Thome, J.R., Meyer, J., 2002, Heat transfer coefficients during condensation of the zeotropic refrigerant mixture HCFC-22/HCFC-142b, J. Heat Transfer., vol. 124, 1137-1146.
- [2.3.2.2.4-1-5] 原口英剛, 小山繁, 藤井哲, 1994, 冷媒 HCFC22, HFC134a, HCFC123 の水平平滑管内凝縮: 第 2 報, 局所熱伝達係数に関する実験式の提案, 日本機械学会論文集 (B 編), vol. 60, 245-252.
- [2.3.2.2.4-1-6] Mori, H., Yoshida, S., Koyama, S., Miyara, A., Momoki, S., 2002, Proc.

14th JSRAE Annual Conference, 97-100.

- [2.3.2.2.4-1-7]Thome, J.R., Kattan, N., Favrat, D., 1997, Proc. convective flow and pool boiling conference, Paper VII - 4.
- [2.3.2.2.4-1-8]Cavallini, A., DelCol, D., Longo, C.A., Rosset, L., 1998, Refrigerant vaporization inside enhanced tubes, Proc. Eurotherm seminar, 222-231.
- [2.3.2.2.4-1-9] Baba, D., Kondou, C., Koyama, S., 2012, Heat transfer and pressure drop of flow boiling zeotropic mixture R1234ze(E)/R32 in horizontal microfin tubes, Proc. the 3rd Int. Forum on Heat Transf., Nagasaki, Japan, Paper no. IFHT2012-154, 1-8.
- [2.3.2.2.4-1-10]Yoshida, S., Mori, H., Kakimoto, K., Ooishi, K., 2000, Dryout quality for refrigerants flowing in horizontal evaporator tubes, Trans. JSRAE, vol. 17, no. 4, 99-108.
- [2.3.2.2.4-1-11]Takamatsu, H., Momoki, S., Fujii, T., 1992, A correlation for forced convective boiling heat transfer of nonazeotropic refrigerant mixtures of HCFC22/CFC114 in a horizontal smooth tube, JSME Trans. (B), vol. 58, no. 551, 2198-2205.
- [2.3.2.2.4-1-12]Stephan, K., 1992, Heat transfer in condensation and boiling, Springer-Verlag, Berlin, 286-291.
- [2.3.2.2.4-1-13]Thome, J.R., 1983, Prediction of binary mixture boiling heat transfer coefficients using only phase equilibrium data, Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 26, no. 7, 965-974.
- [2.3.2.2.4-1-14]Koyama, S., Yu, J., Ishibashi, A., Heat and mass transfer of binary refrigerant mixtures condensation in a horizontal microfin tube, Proc. 5th ASME/JSME Thermal Eng. Joint Conf., AJTE99-6358.
- [2.3.2.2.4-1-15]Kubota, A., Uchida, M., Shikazono, N., 2001. Predicting equations for evaporation pressure drop inside horizontal smooth and grooved tubes. Trans. JSRAE, 18 (4), 393-401(in Japanese).

#### 2.3.2.2.4-2 扁平多孔管

実験装置および方法)

図 2.3.2.2.4-2-1 に実験装置の系統図を示す。本実験ループはポンプによる強制循環ループであり、また、同一実験装置にて凝縮・沸騰実験が可能である。ポンプより送出された液単相の冷媒はコリオリ式質量流量計を経て、電気ヒータ、水熱交換器および加熱器にて熱交換され、テストセクションへ流入する。冷媒はテストセクションにて冷却ジャケットあるいはヒーターを介して凝縮（沸騰）する。その後、冷媒は冷却器、過冷器および液溜めを経て、再びポンプへ戻る。また混合冷媒の循環組成を測定する場合には、サンプリングポートを流量計直前に設置した。ここで採取されたサンプルをガスクロマトグラフで分析し、その結果を循環組成として取り扱う。

図 2.3.2.2.4-2 に本実験で使用した 2 種類の扁平多孔管 Type-A および Type-B の伝熱管の断面写真を、表 2.3.2.2.4-2-1 にその寸法諸元を示す。Type-A は 17 個の矩形流路を、Type-B は 12 個の矩形流路を有しており、各流路の平均相当直径はそれぞれ 0.85 および 1.13 mm である。

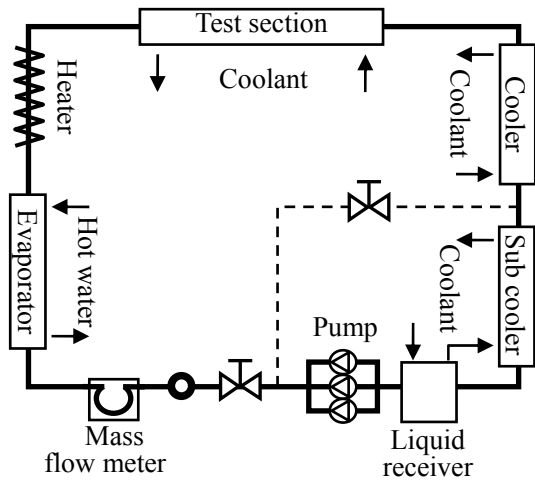


図 2.3.2.2.4-1 実験装置

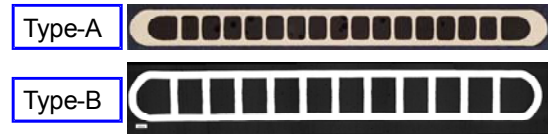


図 2.3.2.2.4-2-2 試験伝熱管

表 2.3.2.2.4-2-1 試験伝熱管寸法諸元

Type	A	B
Flow area [mm <sup>2</sup> ]	11.13	16.09
Wetted perimeter [mm]	55.3	57.04
Hydraulic diameter [mm]	0.852	1.128
Tube thickness [mm]	1.5	2.0
Tube wide [mm]	16.3	16.0
Effective heating length [mm]	600	600
Number of holes [-]	17	12

図 2.3.2.2.4-2-3 にテストセクションの概略図を示す。凝縮試験では、図 2.3.2.2.4-2-3 (a) に示すように、伝熱管は上下 4 組の真鍮製の冷却ジャケットに挟まれており、冷却ジャケットには冷媒と逆方向に冷却液が流れる。伝熱管と冷却ジャケットの間には、長さ 75 mm、幅 15 mm の熱流束センサを上下に 16 枚挿入し、伝熱管上下面を通過する熱流束を測定した。伝熱管外壁面温度は、伝熱管外表面に上下 16 対埋め込んだ素線径 0.1 mm の K 型熱電対により測定し、また、冷媒温度はテストセクション出入口に設置した冷媒混合室にて K 型シース熱電対を用いて測定した。冷媒圧力はテストセクション出入口に設けた混合室および圧力測定ポートにて、絶対圧計および差圧計を用いて測定した。蒸発試験の場合、図 2.3.2.2.4-2-3 (b) に示すように、扁平多孔管は上下から面状ヒータによって加熱される。扁平多孔管と面状ヒータの間には熱流束を均一化するための銅製の均熱板が、また、面状ヒータと断熱材の間には周囲へのヒートロス測定するための熱流束センサが挿入されている。

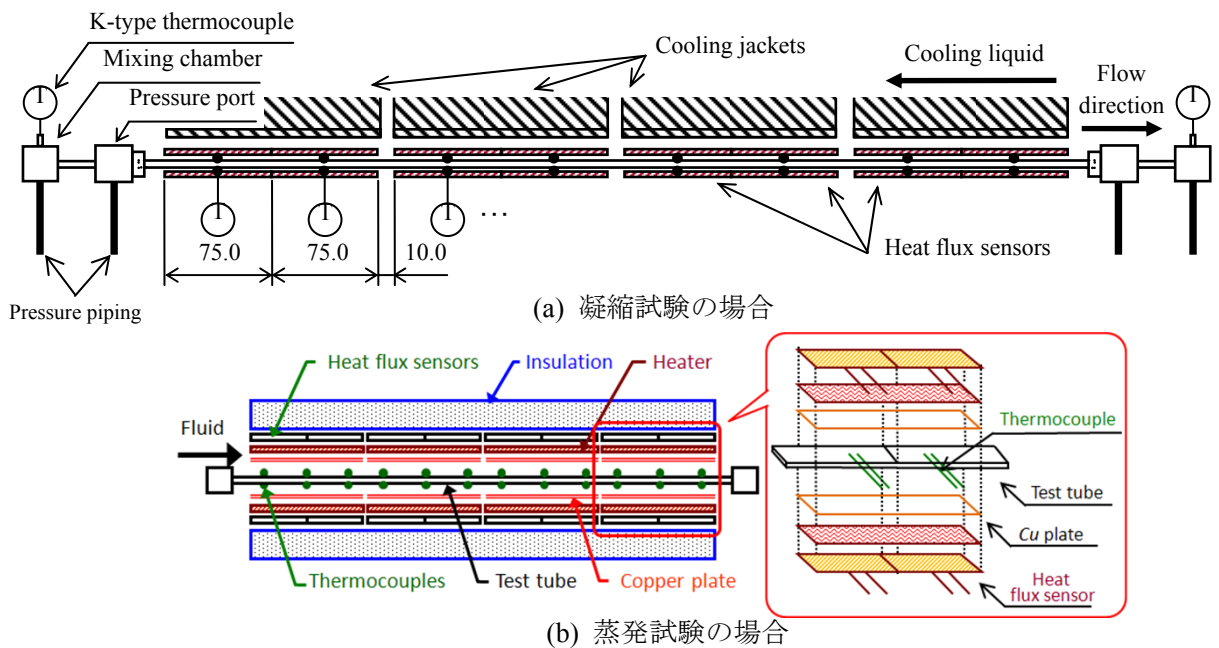


図 2.3.2.2.4-2-3 テストセクション概要

本実験ではテストセクションへ流入する冷媒のクオリティを変えて実験を行い、広範なクオリティ域での実験を行った。予冷却器あるいは電気予熱器前に設けた冷媒混合室において、過熱蒸

気あるいは過冷液の温度および圧力の測定値から冷媒比エンタルピを算出し、予冷却器あるいは予熱器内の熱収支からテストセクション入口の冷媒クオリティを算出した。

断熱気液二相流の摩擦圧力損失  $\Delta P_f$  は、次式から算出した。

$$\Delta P_f = \Delta P_{mes} - \Delta P_e \quad (2.3.2.2.4-2-1)$$

ここに、 $\Delta P_{mes}$  は試験伝熱管の出入口で測定した差圧、 $\Delta P_e$  は伝熱管と接続ポート間での流路形状の変化に伴う損失である。また、沸騰過程における摩擦圧力損失  $\Delta P_f$  は、加速損失  $\Delta P_a$  を考慮して次式より算出した。

$$\Delta P_f = \Delta P_{mes} - \Delta P_e - \Delta P_a \quad (2.3.2.2.4-2-2)$$

上式中の加速損失  $\Delta P_a$  に関しては均質流モデルより算出した。その際、テストセクション内での冷媒の比エンタルピおよび圧力の分布は、テストセクション熱収支および運動量収支から求めた。管軸方向局所の熱伝達率  $\alpha$  は、次式で定義した。

$$\alpha = q / (T_w - T_R) \quad (2.3.2.2.4-2-3)$$

ここに、 $q$  は伝熱管内壁面基準の熱流束、 $T_w$  は管内壁面温度、 $T_R$  は冷媒飽和温度である。管内壁面温度  $T_w$  は、管内壁面周方向の温度分布は十分に小さいと仮定し、測定した管外壁面温度  $T_{wo}$  から一次元熱伝導式より算出した。

〈実験結果；R32/R1234ze(Z)の凝縮熱伝達および圧力損失〉

図 2.3.2.2.4-2-4(a)および(b)に、試験伝熱管 Type-A 内の、露点温度 60 °C、質量速度 100 および 300 kg/(m<sup>2</sup>·s)での R1234ze(E)/R32(50/50 mass%)混合冷媒の熱伝達率を、クオリティに対して示す。図中には、混合冷媒の構成物質である R1234ze(E)および R32 純冷媒の実験結果もあわせて示す。図より、質量速度 100 kg/(m<sup>2</sup>·s)の条件では、R1234ze(E)/R32 混合冷媒の熱伝達率は、クオリティ  $x = 0.2 \sim 0.7$  の広い範囲でほぼ一定値を示すことがわかる。これは、R1234ze(E)および R32 純冷媒と同様、微細矩形流路特有の熱伝達特性であり、表面張力の作用によって管断面隅部へ液膜が引き付けられ、辺部に伝熱に優れる薄液膜部が広い乾き度範囲で形成されるためである(2)。また、熱伝達率は質量速度 300 kg/(m<sup>2</sup>·s)の方が 100 kg/(m<sup>2</sup>·s)の場合に比して高い値を示す。これは、管内流速の増加により蒸気せん断力が増加し、伝熱が促進されたためと考えられる。また、図より、質量速度 100 kg/(m<sup>2</sup>·s)での混合冷媒の熱伝達率は、構成冷媒である他の純冷媒に比べて低いものの、質量速度 300 kg/(m<sup>2</sup>·s)では混合冷媒は R1234ze(E)および R32 純冷媒のほぼ中間の熱伝達率をとることがわかる。これは、低質量速度では物質伝達抵抗に起因して管断面気相部に濃度分布が形成され、この濃度分布に対応した温度分布が管断面に形成されることで、伝熱に有効な温度差が減少し、伝熱性能が低下したためと考えられる。この物質伝達抵抗に起因する伝熱性能の低下は、管内流速の増加に伴う対流拡散の促進によって減少するため、質量速度 300 kg/(m<sup>2</sup>·s)では混合冷媒の熱伝達率は純冷媒の値に近づいたものと考えられる。

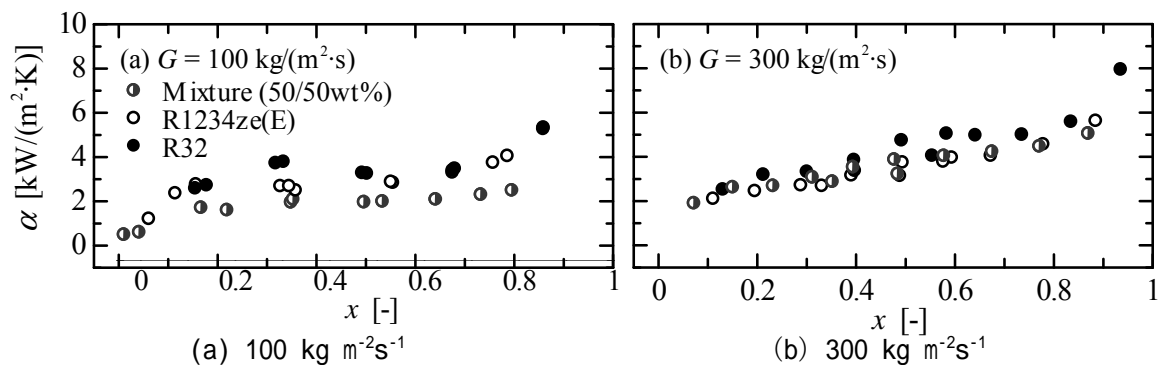


図2.3.2.2.4-2-4 R1234ze(E)/R32混合冷媒の凝縮熱伝達率と乾き度の関係 (Type-A, 露点温度60 °C)



図 2.3.2.2.4-2-5(a), (b)および(c)に, R1234ze(E)/R32 混合冷媒の熱伝達率を, R1234ze(E)の質量分率 20, 50 および 80 mass%の場合について示す. 図中には, 質量速度 100 および 300  $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ での実験結果をそれぞれ示すとともに, 地下-小山の式による予測値もあわせて示す. 地下-小山の式は純冷媒に対して提案された式であり, R1234ze(E)および R32 の熱伝達率を 以内の精度で予測できることを確認している. したがって, 混合冷媒の冷媒物性を適正に予測できていると仮定すれば, 混合冷媒の実験結果と純冷媒の式とを比較することで, 混合冷媒特有の物質伝達抵抗に起因する伝熱性能の低下の程度をみることができる.

図より, いずれの組成比に関しても, 質量速度 300  $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ では, R1234ze(E)/R32 混合冷媒の熱伝達率は物質伝達抵抗を考慮していない予測値と定性的かつ定量的に良く一致していることがわかる. これは, 先ほども述べたように, 質量速度 300  $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 以上では物質伝達抵抗に起因する伝熱性能の低下は十分に小さいことを表している.

一方, 質量速度 100  $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ の場合には, 組成比 50/50 および 80/20 mass%での熱伝達率は予測値よりも低い値を示すものの, 組成比 20/80 mass%の場合には実験値と予測値は定量的に一致している. このことから, すべり温度が大きいほど混合冷媒の伝熱性能は低下しやすく (すべり温度は組成比 20/80, 50/50 および 80/20 mass%の場合にそれぞれ 1.9, 6.2 および 9.8 K), また, すべり温度が 2 K 程度なら質量速度 100  $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ においても伝熱性能の低下は小さいと考えられる. なお, 混合冷媒の熱伝達率は, R1234ze(E)の質量分率の増加に伴い低下しているが, これは R1234ze(E)に比べて伝熱に優れる R32 の割合が減少するとともに, すべり温度が増加するためと考えられる.

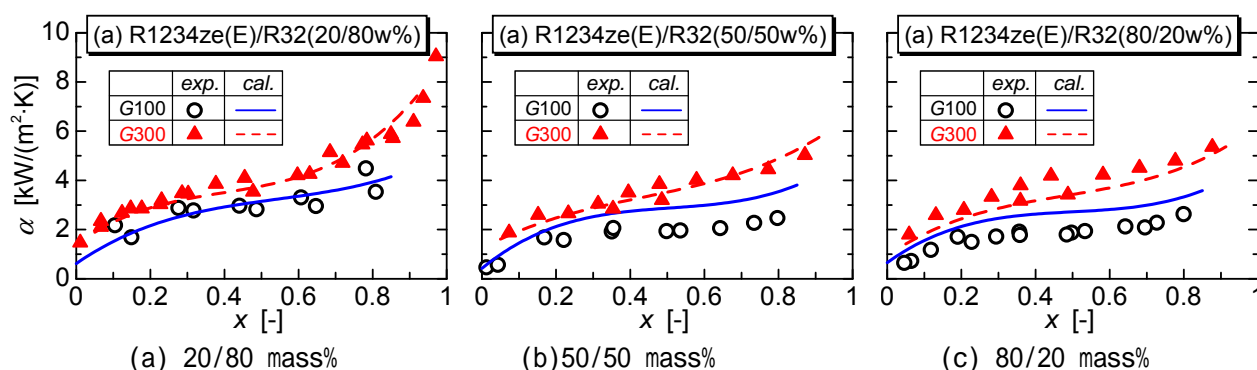


図2.3.2.2.4-2-5 R1234ze(E)/R32混合冷媒の組成比が及ぼす凝縮熱伝達率への影響 (Type-A, 露点温度60 °C)

図2.3.2.2.4-2-6は凝縮過程における圧力損失勾配の測定結果と予測結果との比較を示す. 図 2.3.2.2.4-2-6 (a), (b)および(c)はそれぞれ, 測定結果と Mishima-Hibiki [2.3.2.2.4-2-1], Zhan-Webb [2.3.2.2.4-2-2], および Jige-Koyama の式 [2.3.2.2.4-2-3] との比較結果である. これらの式は他の単一冷媒あるいは共沸冷媒に対して提案されたものではあるが, 本実験で得られた非共沸混合冷媒の圧力損失も精度よく予測している. 特に組成比によって予測結果が大きく逸脱することはないことから, 非共沸混合冷媒に対しても単一冷媒あるいは共沸冷媒に対して提案された式で満足に予測できるといえる.

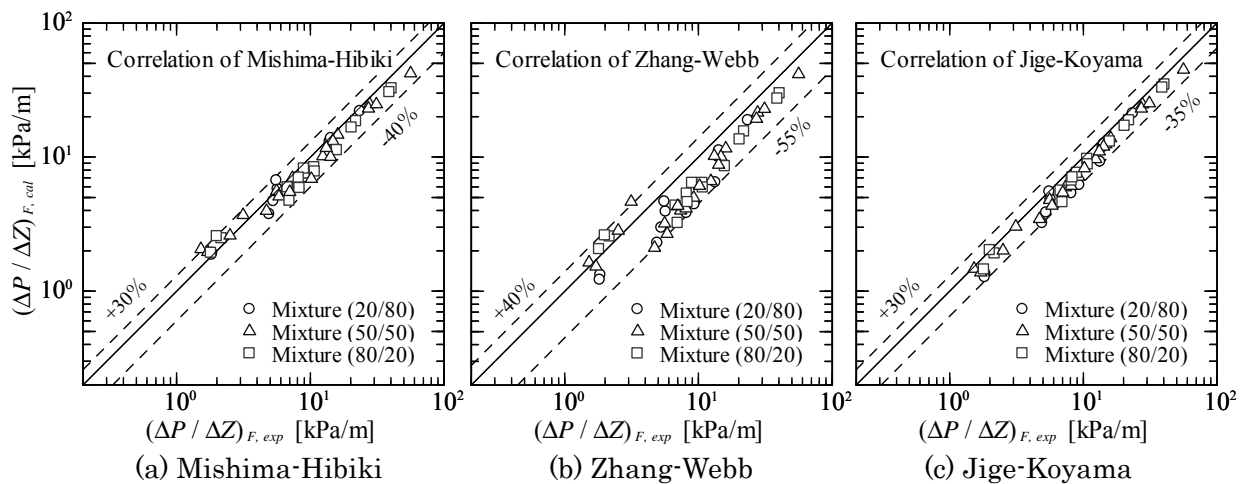


図2.3.2.2.4-2-6 R1234ze(E)/R32凝縮圧力損失勾配の測定結果と予測結果との比較

〈実験結果；R32/R1234ze(Z)の蒸発熱伝達および圧力損失〉

図 2.3.2.2.4-2-7(a)および(b)に、R32 の扁平多孔管 Type-A および Type-B での熱伝達率を、クオリティに対して示す。Type-A に着目すると、 $x > 0.5$  の高クオリティ域では質量速度およびクオリティの増加に伴い熱伝達率は増加しており、強制対流蒸発の影響がみられる。一方、 $x < 0.5$  の低クオリティ域では、質量速度  $400 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  に比べて  $200 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  の方が良好な熱伝達率を示す。この領域では、流動様式はスラグ流となり、蒸気プラグ周りには薄液膜が形成される。微細矩形流路の場合、この蒸気プラグ周りの薄液膜が表面張力により管断面隅部へ引付けられ、辺部には伝熱に優れた薄液膜が形成されるため、低質量速度の低クオリティ域において良好な熱伝達率を示したと考えられる。この表面張力により形成された管周方向に不均一な液膜分布は、質量速度の増加に伴う蒸気せん断力の増加により均一化されるため、質量速度の増加に伴い熱伝達率は低下したと考えられる。

図 2.3.2.2.4-2-7(a)および(b)において相当直径の違いについて着目すると、いずれの質量速度およびクオリティ域においても Type-A の熱伝達率は Type-B に比して高い値を示しており、細径化による伝熱促進効果がみられる。この細径化による伝熱促進効果は、強制対流蒸発の影響の大きい高質量速度、高クオリティ域と比べて、薄液膜蒸発の影響が大きい低質量速度、低クオリティ域で大きい。これは、細径化に伴う液膜厚さの減少に加え、熱伝達に及ぼす表面張力の影響が増加することで伝熱が促進されるためと考えられる。

図 2.3.2.2.4-2-8(a)および(b)に、扁平多孔管 Type-B での R1234ze(E)および R32 の熱伝達特性を示す。図より、いずれの質量速度条件およびクオリティ域においても、R1234ze(E)に比して R32 の方が高い熱伝達率を示すことがわかる。これは、R32 の液熱伝導率が R1234ze(E)の約 1.7 倍と極めて大きいためと考えられる。また、冷媒による熱伝達率の差異は、管内流速の小さい低質量速度および低クオリティ域で大きいことから、強制対流蒸発の支配的な領域よりも薄液膜蒸発が支配的な領域で冷媒物性による差異が大きいことがわかる。

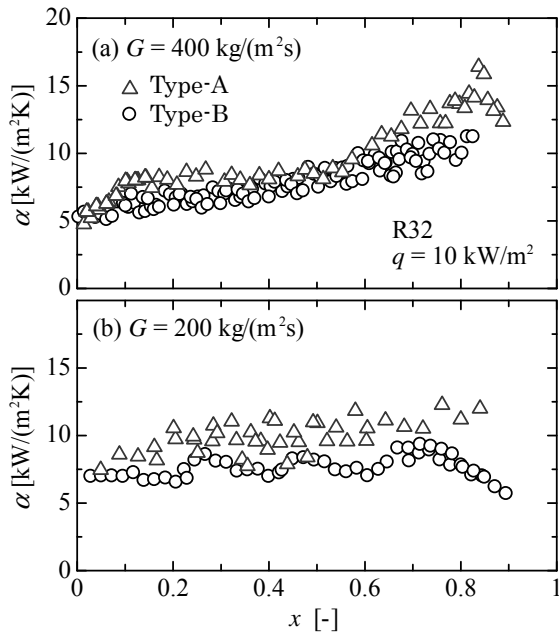


図 2.3.2.2.4-2-7 R32 蒸発熱伝達率 (質  
量流速 400 および 200 kg/(m<sup>2</sup>s), 飽  
和温度 15°C, Type-A および Type-B)

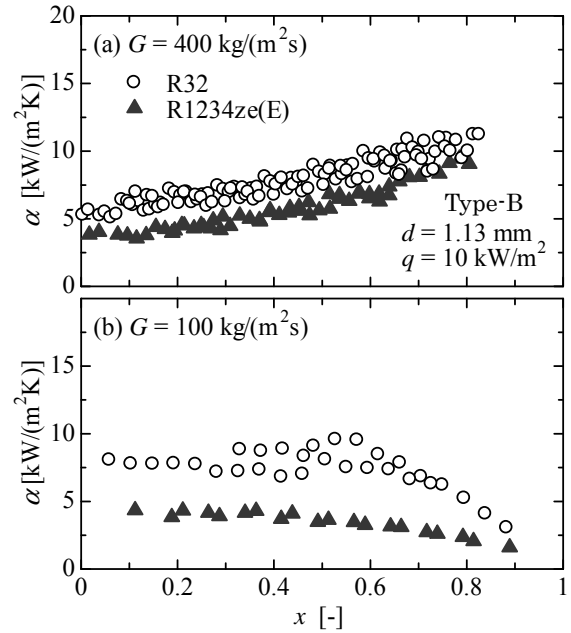


図 2.3.2.2.4-2-8 R1234ze(E)と R32 の  
蒸発熱伝達率比較 (Type-B, 飽和温度  
15 °C)

図 2.3.2.2.4-2-9 は R1234zeE)/R32 (50/50 mass%) の蒸発熱伝達率を単一冷媒 R1234zeE)および R32 の蒸発熱伝達率と比較した結果である. 図 2.3.2.2.4-2-9(a)および(b)はそれぞれ, 質量流速 100 および 400 kg/(m<sup>2</sup>s)の結果である. 質量流速 100 kg/(m<sup>2</sup>s)では, R1234zeE)/R32 (50/50 mass%) の蒸発熱伝達率は, 乾き度 0.4 以下で若干下回るもののほぼ R1234zeE)と同等である. 質量流速 400 kg/(m<sup>2</sup>s)では, 全領域にわたって R1234zeE)よりも低い値を示すが, 特に乾き度 0.4 以上での強制対流熱伝達が寄与するはずの領域でその差異は広がる.

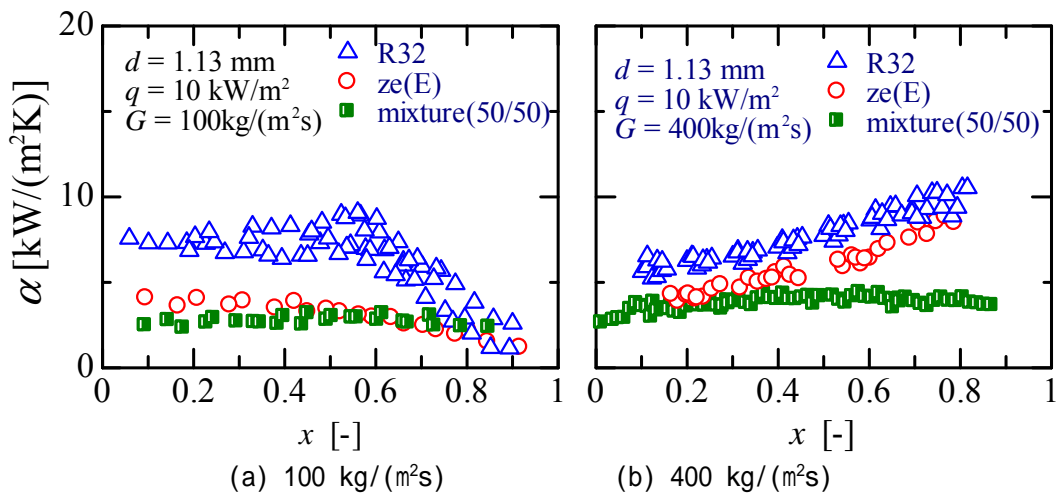


図 2.3.2.2.4-2-9 R1234zeE)/R32 (50/50 mass%) の蒸発熱伝達率  
(Type-B, 露点沸点平均温度 15 )

図 2.3.2.2.4-2-10 は R1234zeE)/R32 (50/50 mass%) 蒸発過程の圧力損失を単一冷媒 R1234zeE)および R32 の圧力損失と比較した結果である. 図 2.3.2.2.4-2-10(a)および(b)はそれぞれ, 質量流速 100 および 400 kg/(m<sup>2</sup>s)の結果である. いずれの質量流速の場合にも R1234zeE)/R32 (50/50 mass%) 圧力損失は R1234zeE)と R32 の圧力損失の中間の値を示し, 熱伝達率に見られたような非共沸混合物質特有の現象はなく, 純粋に蒸気密度や液粘度等の物性変化

の影響のみを受けているようである。

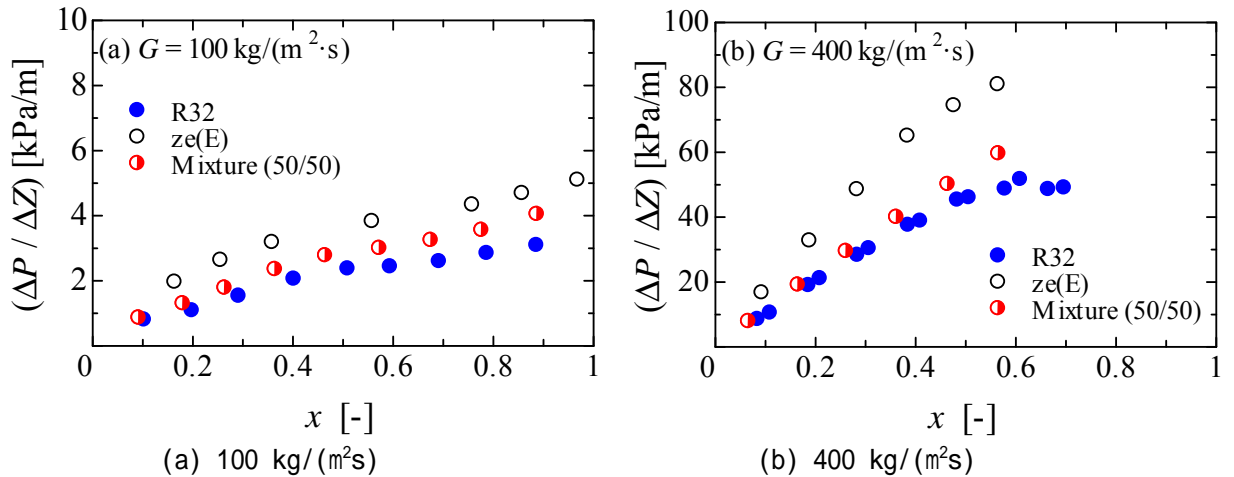


図 2.3.2.2.4-10 R1234ze(E)/R32 (50/50 mass%) 蒸発過程の圧力損失 (Type-B, 露点沸点平均温度 15 )

〈参考文献〉

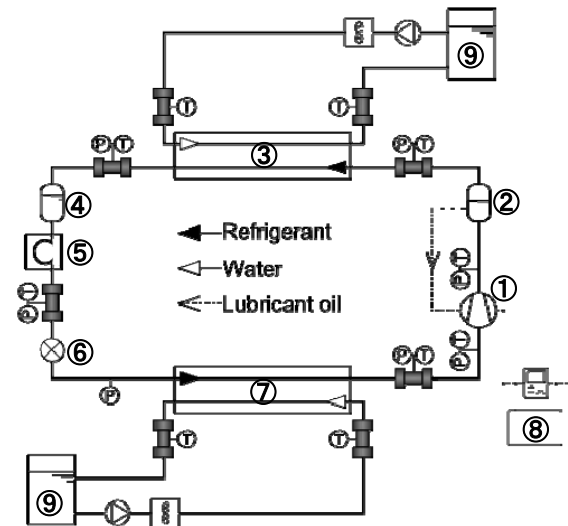
- [2.3.2.2.4-2-1]Mishima, K., Hibiki, T., 1995, Effect of inner diameter on some characteristics of air-water two-phase flows in capillary tubes, Trans. JSME (B), vol. 61, no. 589, 3197-3204.
- [2.3.2.2.4-2-2]Zhang, M., Webb, R.L., 2001, Correlation of two-phase friction for refrigerants in small-diameter tubes, Exp. Therm. Fluid Sci., vol. 25, 131-139.
- [2.3.2.2.4-2-3]Jige, D., Koyama, S., 2011, Study on condensation of pure refrigerants in horizontal rectangular mini-channels -proposal of pressure drop and heat transfer correlations-, Proc. 2011 JSRAE Annual Conference, A331.

### 2.3.2.2.5 低 GWP 混合冷媒候補のサイクルの基本特性の評価

〈実験方法および条件〉

図 2.3.2.2.5-1 に実験装置の概略を示す。本実験装置は熱源流体に水を用いた蒸気圧縮式ヒートポンプサイクルである。冷媒側の主要要素機器は圧縮機①、オイルセパレータ②、凝縮器③、液溜め④、膨張弁⑥および蒸発器⑦である。凝縮器出入口、膨張弁入口および蒸発器出口には冷媒の圧力および温度を測定するための混合室を、圧縮機出入口には冷媒の圧力および温度を測定するためのチーズを、蒸発器入口に冷媒圧力を測定するための圧力ポートを設けている。冷媒の温度測定には K 型熱電対、冷媒の圧力測定には絶対圧力計を使用する。膨張弁手前に冷媒質量流量を測定するための質量流量計⑤を設けている。蒸発器手前には混合冷媒の循環組成をガスクロマトグラフで測定するためのサンプリングポートを設けている。熱源水側の主要要素機器は恒温槽⑨およびポンプ⑩である。熱交換器前後には熱源水温度を測定するための混合室を設け、K 型熱電対によりその温度を測定し、熱交換器入口には熱源水の体積流量を測定するための体積流量計⑪を設けている。また、インバータおよび圧縮機投入電力を測定するためにデジタルパワーメータ⑧を設けている。

凝縮器および蒸発器は対向流式二重熱交換器であり、表 2.3.2.2.5-1 にその仕様を示す。なお、実験に用いた冷媒は R410A, R32, R1234ze(E)/R32(20/80 mass%), R1234ze(E)/R32 (50/50 mass%) の 4 種類である。



Compressor, Oil separator, Condenser  
 Liquid receiver, Mass flow meter  
 Expansion valve, Evaporator,  
 Digital power meter, Constant-temperature  
 bath, Pump, Volume flow meter

図 2.3.2.2.5-1 実験装置概要

表 2.3.2.2.5-1 熱交換器寸法諸元

	Outside diameter [mm]	Inside diameter [mm]	Length [mm]	Type of tube
<b>Condenser</b>				
Outer tube	15.88	13.88	7200	Smooth
Inner tube	9.53	7.53	7200	Micro-fin
<b>Evaporator</b>				
Outer tube	15.88	13.88	7200	Smooth
Inner tube	9.53	7.53	7200	Micro-fin

表 2.3.2.2.5-2 実験条件

	Heating mode	Cooling mode
Heat source temp. [ ]	15→9	20→10
Heat sink temp. [ ]	20→45	30→45
Degree of superheat [K]	3	
Heat transfer rate [kW]	1.6~2.8	1.4~2.4

表 2.3.2.2.5-2 に実験条件を示す。実験は、熱源水の温度条件として暖房(Heating mode)と冷房(Cooling mode)の 2 条件で行った。また、実験条件における熱交換量は全ての冷媒における範囲を示しており、各冷媒によって実験範囲は異なる。これは、各冷媒によって物性が異なるために生じる加熱および冷却能力の差異によるものである。実験では、所定の実験条件になるように圧縮機回転数、熱源水流量および膨張弁開度を調節して、サイクルが定常になったことを確認後、データの集録を行った。なお、COP が最大となる最適充填量を求めるために、充填量を少量ずつ増加させて実験を行った。

本実験では冷媒物性の推算精度の影響を避けるために、測定した熱源水の温度および流量より以下の式を用いて熱交換器内の熱交換量を算出した。

$$Q_h = m_{w,CON} \times C_{p,w,CON} \times (T_{w,CON,out} - T_{w,CON,in}) \quad (2.3.2.2.5-1)$$

$$Q_r = m_{w,EVA} \times C_{p,w,EVA} \times (T_{w,EVA,in} - T_{w,EVA,out}) \quad (2.3.2.2.5-2)$$

ここに、 $Q_h$  は凝縮器内交換熱量、 $Q_r$  は蒸発器内交換熱量、 $m_w$  は熱源水質量流量、 $C_{p,w}$  は熱源水定圧比熱、 $T_w$  は熱源水温度であり、添字 CON および EVA はそれぞれ凝縮器および蒸発器を示し、添字 in および out はそれぞれ熱交換機の入口および出口を示す。算出した熱交換量と測定したインバータ投入電力より、以下の式を用いてサイクル性能を表す暖房  $COP (=COP_h)$  および冷房  $COP (=COP_r)$  を算出した。

$$COP_h = Q_h / E_{inv} \quad (2.3.2.2.5-3)$$

$$COP_r = Q_r / E_{inv} \quad (2.3.2.2.5-4)$$

ここに、 $E_{inv}$  はインバータ投入電力である。また、圧縮機効率の特性を把握するために、以下の式を用いて圧縮機効率を算出する。

$$\eta_{comp} = m_r \times (h_{comp,out} - h_{comp,in}) / E_{inv} \quad (2.3.2.2.5-5)$$

ここに、 $m_r$  は冷媒質量流量、 $h_{comp,out}$  は圧縮機出口冷媒比エンタルピー、 $h_{comp,in}$  は圧縮機入口冷媒比エンタルピー、 $E_{inv}$  はインバータ投入電力である。なお、エンタルピーは圧縮機出入り口の冷媒圧力および混合温度より算出する。次に、暖房 CO に関して圧縮機効率の影響を考察するため以下のような COP を定義した。まず式 (2.3.2.2.5-3) の  $COP_h$  を圧縮機効率で除した P-h 線図上における成績係数  $COP_{h,cycle}$  は以下の式で算出する。

$$COP_{h,cycle} = COP_{h,system} / \eta_{comp} = Q_h / \{m_r \times (h_{comp,out} - h_{comp,in})\} \quad (2.3.2.2.5-6)$$

さらに、圧力損失によるエネルギー損失を除外した成績係数  $COP_{h,cycle,p}$  を以下の式を用いて算出する。

$$COP_{h,cycle,p} = Q_h / \{m_r \times (h_{comp,out} - h_{comp,in}) - E_p\} \quad (2.3.2.2.5-7)$$

ここに、 $E_p$  は圧力損失によるエネルギー損失である

#### <実験結果および考察>

図 2.3.2.2.5-2 に実験結果を示す。シンボル別に R410A, R32, R1234ze(E)/R32 (20/80mass%) および R1234ze(E)/R32(50/50mass%), R1234ze(E) の COP と能力 Q の相関を示す。この時の冷媒充填量は COP が最大となるよう調整された最適充填量である。暖房条件では R32, R1234ze(E)/R32(20/80mass%) および R1234ze(E)/R32(50/50mass%) の COP は R410A よりも明らかに高い。冷房条件では R1234ze(E)を除く他の冷媒の COP はほぼ拮抗しているが、比較的低い能力  $Q_h$  では R1234ze(E)/R32(50/50mass%) の COP が最も高い。したがって、現行最もよく空気調和器に使用されている R410A の代替として、GWP の低い R32, R1234ze(E)/R32(20/80mass%) および R1234ze(E)/R32(50/50mass%) が有力な候補となり得ることが確認できた。また図より、各冷媒に最大 COP をとる Q が存在し、特に暖房条件で明確である。暖房条件の場合、最大 COP を取る能力  $Q_h$  は、R32, R1234ze(E)/R32(20/80 mass%), R1234ze(E)/R32(50/50 mass%), R1234ze(E) の順に低下しており、この順位は、体積能力の大きさの順位と一致している。

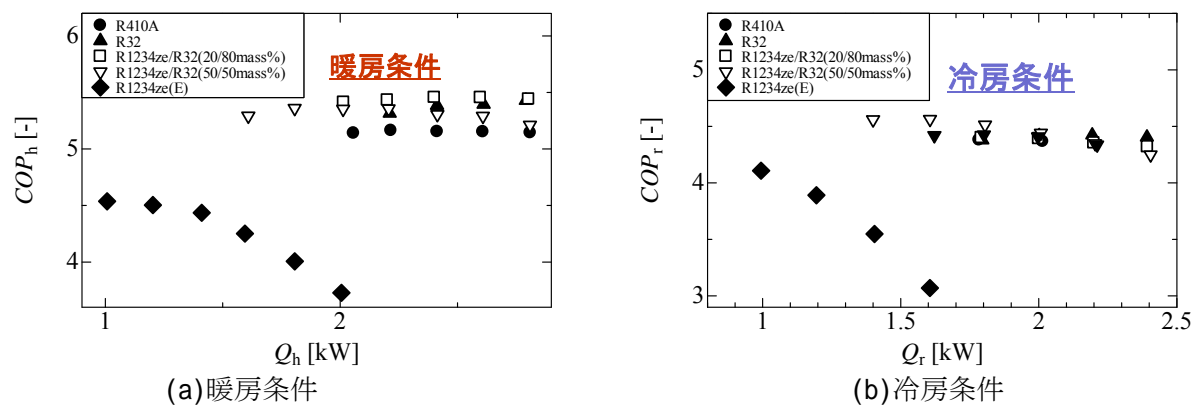


図 2.3.2.2.5-2 各冷媒の COP と能力 Q の相関

図 2.3.2.2.5-3 (a) および (b) にそれぞれ暖房能力 2.2 kW および冷房能力 2.0 kW 時の冷媒および熱源水の熱交換器内温度分布を示す。上のグラフは凝縮器内の温度分布、下のグラフは蒸発器内の温度分布を示す。暖房能力 2.2 kW の場合、熱交換器内のピンチ温度は凝縮開始（熱平衡クオリティ 1.0）および蒸発器入口にあらわれる。このピンチ温度が律速となり、熱源水と冷媒の温度差が決定され、さらには熱交換器内の不可逆損失が決定される。R1234ze(E)/R32(20/80 mass%) および R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) は非共沸混合冷媒特有の温度すべり（二相域の温度勾配）により、熱源水と冷媒の温度差を縮小し、熱交換器内不可逆損失を低減していることが分かる。またこのことは、他の非共沸混合冷媒 HCFC22/CFC11, CFC12/CFC114, HCFC22/CFC114 など確認されている温度すべりの不可逆損失低減に対する事実在即している [2.3.2.2.5-1] [2.3.2.2.5-2]。特に蒸発器内では、蒸発器入口のピンチ温度の出現を回避でき、蒸発器出口付近での熱源水と冷媒の温度差を他の冷媒よりもかなり縮小できていることが確認できる。したがって、R1234ze(E)/R32(20/80 mass%) の R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) の熱交換器内不可逆損失は他の冷媒に比して小さく、これは図 2.3.2.2.5-2(a) に示されるように、R1234ze(E)/R32(20/80 mass%) と R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) の COP が比較的高い理由を示している。冷房能力 2.0 kW の場合、凝縮器内において非共沸混合冷媒 R1234ze(E)/R32(20/80 mass%) と R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) のピンチ温度差は他の冷媒より明らかに数度大きく、特に凝縮器入口出口での熱源水との温度差を縮小している。蒸発器では、非共沸混合冷媒 R1234ze(E)/R32(20/80 mass%) と R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) は蒸発器入口のピンチ温度差を他の冷媒よりも大きく確保でき、温度すべりを利用することで蒸発器出口の温度差を縮小しており特に R1234ze(E)/R32(50/50

mass%)において顕著である。

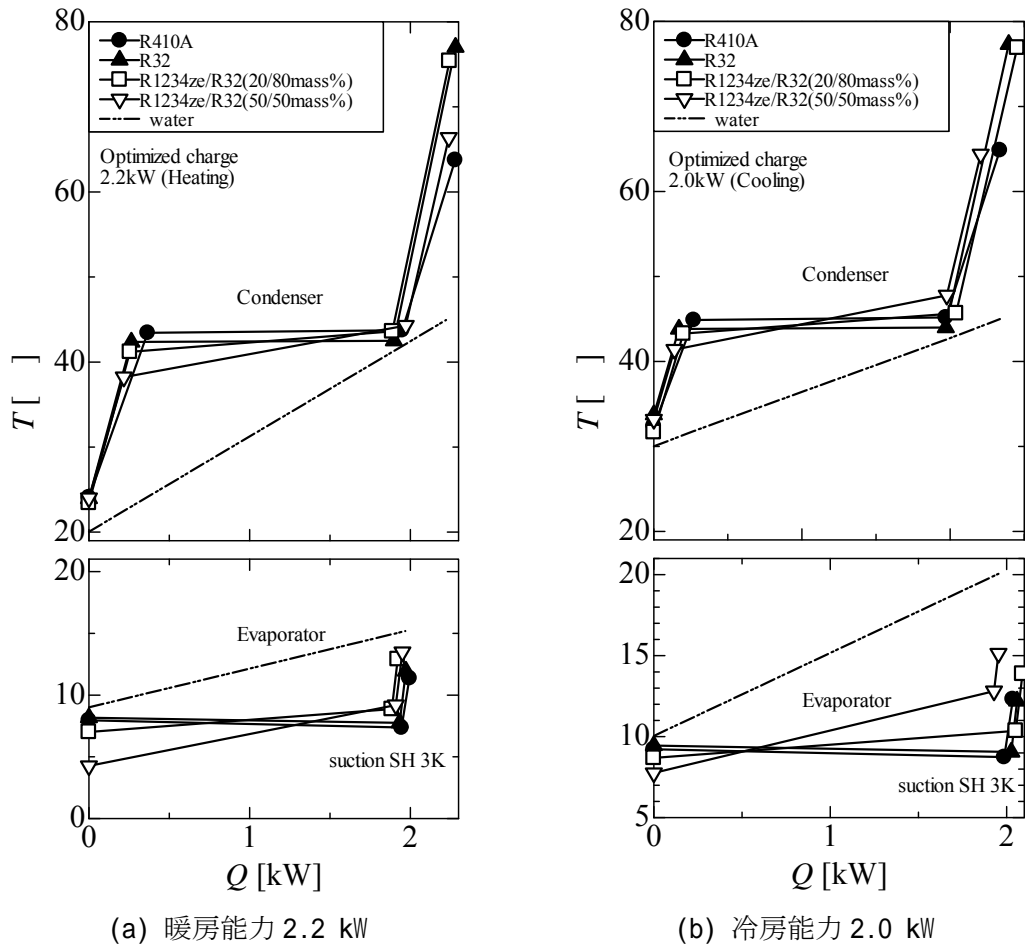


図 2.3.2.2.5-3 冷媒および熱源水の熱交換器内温度分布

図 2.3.2.2.5-4 に、圧縮機特性把握のため、圧縮機効率  $\eta_{comp}$  と  $q_h$  の関係を示す。図に示される通り、 $q_h$  が高くなるほど  $\eta_{comp}$  は向上する。また、冷媒による圧縮機総合効率の顕著な差異は確認できない。圧縮機効率の変化は、熱交換量の増減に伴うインバータ効率の変化に最も大きく依存していた。

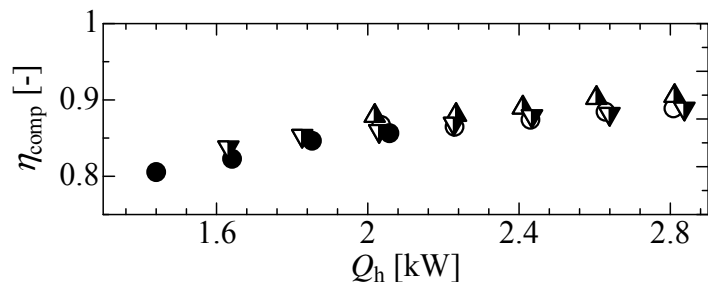


図 2.3.2.2.5-4 圧縮機効率  $\eta_{comp}$  と暖房能力  $q_h$  の相関

図 2.3.2.2.5-5 に、圧縮機の影響を除外したサイクル特性把握のため、 $COP_{h,cycle}$  と  $q_h$  の関係を示す。 $COP_{h,system}$  とは異なり、いずれの冷媒においても、 $q_h$  の増加に伴い  $COP_{h,cycle}$  は単調に低下する。これは、 $q_h$  の増加により、熱交換器内で冷媒と熱源水の温度差拡大によって、エクセルギ損失が増大するためである。加えて、冷媒流量増加による圧力損失の増大も、 $COP_{h,cycle}$  低下の要因の一つとなる。この圧力損失による  $COP_{h,cycle}$  低下は、作動圧が低く蒸気密度の小さい冷媒ほど大きな影響を受ける傾向にある。したがって、配管径、配管長等による影響が大きいといえる。そ

ここで、圧力損失によるエネルギー損失を除外したサイクル性能の比較を行った。

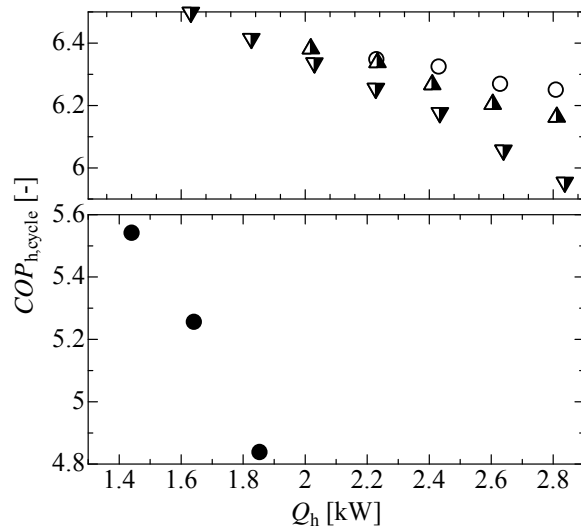


図 2.3.2.2.5-5 圧縮機効率を除外した COP  $COP_{h,cycle}$  と暖房能力  $Q_h$  の相関

図 2.3.2.2.5-6 に、圧力損失の影響を除外したサイクル特性把握のため、 $COP_{h,cycle,P}$  と  $Q_h$  の関係を示す。図 2.3.2.2.5-5 の結果と比較すると、R1234ze(E) および R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) の COP が高くなっている。これは、この 2 つの冷媒の作動圧が他の冷媒に比して低く、圧力損失が大きいためである。したがって、装置の最適化によるサイクル性能の改善率は、R1234ze(E) および R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) において高くなると見込まれる。R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) と R32 の結果を比較すると、同熱交換量において、図 2.3.2.2.5-5 では R32 の値の方が高いが、図 2.3.2.2.5-6 では、R1234ze(E)/R32(50/50 mass%) の方が若干高い傾向にある。非共沸混合冷媒同士の比較を行うと 50/50 mass% が 20/80 mass% より高い値を示す。これは、温度すべりがより大きい 50/50 mass% の方が本実験条件に適していたためである。このように非共沸混合冷媒は作動条件に合わせた組成の選択により、純冷媒以上の高い性能を発揮する可能性を有する。

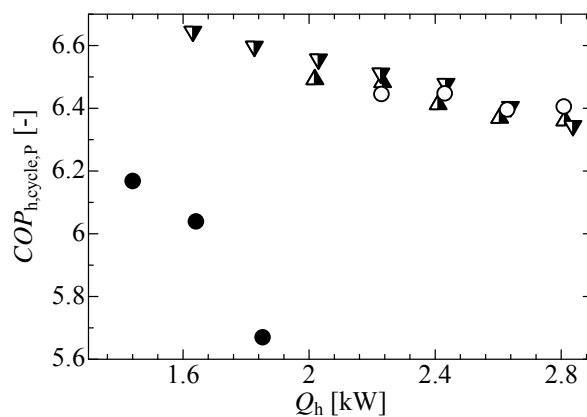


図 2.3.2.2.5-6 圧縮機効率および圧力損失の影響を除外した COP  $COP_{h,cycle,P}$  と暖房能力  $Q_h$  の相関

<参考文献>

- [2.3.2.2.5-1] Kruse, H., The advantages non-azeotropic refrigerant mixtures for heat pump application, Int. J. Refrig., Vol.4, No. 3, 119-125
- [2.3.2.2.5-2] McLinden, M.O., Radermacher, R., 1987, Methods for comparing the performance of pure and mixed refrigerants in the vapour compression cycle, Int. J. Refrig. Vol.10, No.6, 318-325.



<論文、外部発表等の件数> (詳細内容は添付リストを参照)

区分 年度	論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	査読付き	その他	
H23FY	14	8	1
H24FY	16	12	0
H25FY	0	0	0

### 2.3.3 エアコン用低 GWP 冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】(委託)

#### <研究開発成果概要>

目 標	研究開発成果	達成度(H25年 度末見込み)
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	○
[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を対象とした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		
①R-1234yf 等 3 種類の 2L 冷媒について、温度 60°C、絶対湿度 0.0679(g-水蒸気/g-乾燥空気、相対湿度換算で 60°C、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 ③R-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	①3 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。 ③R-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		
①2 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	①2 種類の 2L 冷媒について、最小着火エネルギーを測定中、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】

## (A) エアコンの性能評価法の確立（東京大学担当）

### (A-1) エアコンの使用実態の把握

家庭用ルームエアコン（RAC）の通年エネルギー消費効率（APF）を、より実態に沿った値で算定する方法を確立する事を主目的に、RAC 使用実態調査を行なった。本調査では、信越地区（新潟県）、西関東地区（群馬県・埼玉県）、東関東地区（千葉県・茨城県）の戸建住宅に住むモニター家庭を各地区で 25 軒ずつ選定し、さらに主に千葉県の集合住宅に住むモニター家庭 25 軒を加えた計 100 物件で、主にリビングルームに計測機器を設置したエアコンを据え付け、消費電力、室内温湿度、外気温湿度を計測する事で、使用実態を調査した。

調査に際しては、室外機の付近に計測ボックスを据え付け、中にデータロガーと電力計を設置した。前述の計測項目を、10 秒に 1 回計測して、計測ボックス内にあるデータロガーに挿入してある USB メモリに記録した。計測開始は信越地区で 2010 年 10 月、西関東地区と東関東地区で翌 11 月、集合住宅では 2011 年 1 月より開始し、全区分で 1 年以上計測する事とした。

### (ア) 運転率の導入

RAC の使用実態を把握するには、運転時間を極力簡便かつ説得力のある形で表現する必要がある。ここでは調査で得られた運転時間について詳細な整理を行ない、幾らかの考察を行なった。

図 2.3.3.A.1 に冬季（11 月～4 月）と夏季（6 月～9 月）における外気温度別運転率（以下 TOR）を、図 2.3.3.A.2 に冬季と夏季における時間帯別運転率（以下 HOR）を示す。ここで TOR を、外気温度発生時間に対する外気温度毎の総運転時間の比で定義し、HOR を、各時間帯の 1 ヶ月間の総時間（例えば 1 ヶ月が 30 日間の月であれば 0 時台は 30 時間）に対する時間帯毎の総運転時間の比と定義している。

TOR について見てみると、冬季 11 月・4 月と夏季 6 月を除く全ての月で、どの地域でも殆ど同じ傾向となる事が確認された。その平均曲線は、冬季の場合 17 付近から、夏季では 20 付近から上昇し始めている。これは JIS C9612 における冷暖房開始温度（暖房 16℃、冷房 23℃）にかなり近い値となっている。またその上昇傾向は、地区や月によって若干のばらつきがあるものの、外気温度の変化に対してほぼ単調に増加している事が分かる。尚、氷点下温度域や 35℃ 以上の酷暑温度域においては、TOR が非常に高くなっているが、これはそもそもそのような外気温度は発生時間が極端に少なく、APF への寄与率は極めて小さい。

次に HOR について見てみると、冬季の信越地区では若干日中の運転率が高くなっているものの、それ以外では、冬季 11 月・4 月と夏季 6 月を除いた全ての月で、どの地域でも、似たような傾向が表れている。冬季のパターンの特徴として、朝と夜で 2 回ピークが出現している。これらの時間帯は朝食・夕食の時間帯であり、リビングルーム在室率が高いためであると考えられる。冬季の場合、朝から夜まで寒いために暖房を必要とする一方、日中については在宅率が低いため、全物件平均では日中の運転時間は低くなっている。また夏季のエアコン使用パターンとして、朝にはピークが出ない一方、午前中から 20～21 時をピークになだらかに上昇する傾向がある。これは起床・朝食時となる朝 7～8 時は涼しくエアコンを必要としない事と、気温が上がる日中は在宅率が低い一方で、主婦や高齢者など在宅者がいる家庭はある程度の運転がされる事に起因していると考えられる。

TOR は時間帯の観点を持ち合わせていないため、HOR を考慮しなければライフパターンを無視したものになる可能性もあるが、前述の通り、地区平均 HOR と月平均 HOR に差異がほとんど無い事から、地区平均や月平均で TOR を論じる際には、時間帯の観点を除外できると考えられる。また地区平均 TOR や月平均 TOR は差異が小さく、単調変化性もある。よって、JIS で規定される各外気温度発生時間に簡単な TOR 関数を乗じる事で、RAC 使用時間を表現できると考えられる。しかし、ここまではあくまで地区平均や月平均での考察であるため、物件毎のライフスタイルの差異についても検討する必要がある。

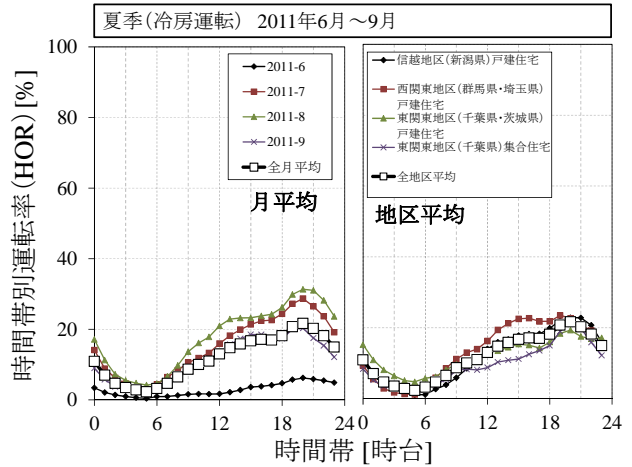
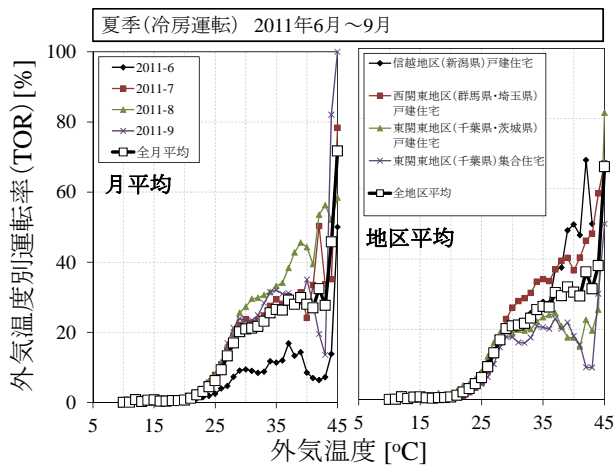
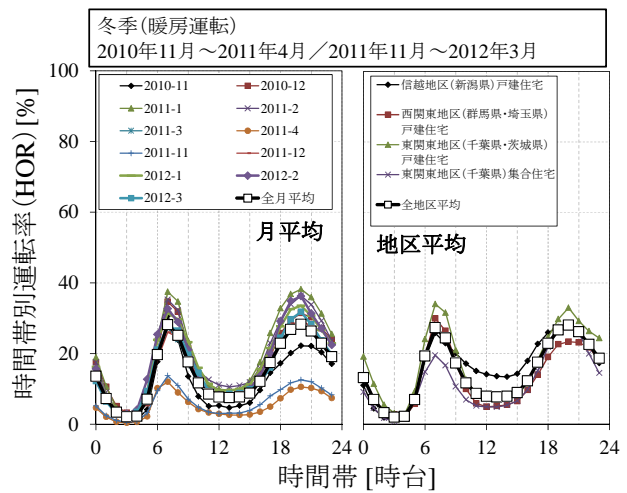
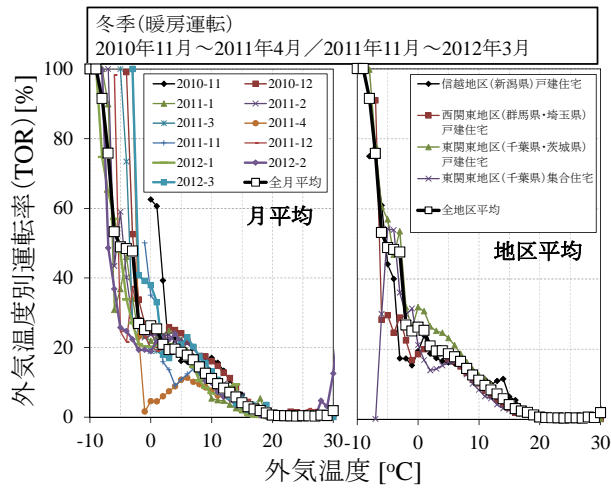


図 2.3.3.A.1 外気温度別運転率(TOR)  
(左：月平均，右：区分平均)  
(上：冬季，下：夏季)

図 2.3.3.A.2 時間帯別運転率(HOR)  
(左：月平均，右：区分平均)  
(上：冬季，下：夏季)

(イ) 運転率のクラスター分析

以上の結果より、地域と月の違いによる運転率への影響が小さい事は分かったが、100軒の個別の運転率には様々なパターンが見られる一方で、前章の平均値では物件毎のライフパターンの違いが分からない。そこで、全物件のHORをクラスター分析によって幾つかの代表的なライフパターンに絞り込み、その上でどこまで運転率をシンプルに表現できるか検証を行なった。

ここでは冬季(2010年11月～翌4月)、夏季(2011年6月～9月)ともに、全物件のHORから5つの代表的な時間帯別運転パターンを抽出した。クラスター分析は、冬季・夏季ともに対象各物件のHORをそれぞれ24次元のベクトルとし、非類似度を平方ユークリッド距離と定義し、Ward法によって行った。

図2.3.3.A.3に、クラスター分析によって得られたクラスター毎の平均値を、図2.3.3.A.4に、それらクラスター毎の平均値を各時刻における外気温度の関係より外気温度毎の系列へ変換して得たTORを示す。また左図は生成された5つのクラスターの平均値と全軒平均のHORで、右図は全軒平均における、各クラスターの影響度を示したものである。これらを見ると、使用頻度の極端に大きなクラスターや小さなクラスターが得られてはいるものの、これらについては、軒数の観点からも全台総運転時間の観点からも、大きな影響があるとは言えず、全体への影響力があるのは中間層のクラスター群であると考えられる。これらクラスター群は、運転率の大小こそあれ、時間帯別傾向、つまりライフパターンは概ね等しい。これと前章の結果とを併せると、ライフパターンは地域や月による違いが小さく、クラスターによる違いも影響が小さいので、運転率を外気温度のみの関数で表現する事は可能であると考えられる。またTORを見ると、JIS C9612における冷暖房開始温度とほぼ等しい点から立ち上がっており、これはクラスターに依らずほぼ一致している。さらに単調増加性についても、全台総合使用時間に影響力のある中間層クラスター群の運転率平均値は、全体の平均運転率に近い事が

分かった。よって、TOR を季節毎に簡単な関数で表現する事ができると考えられる。

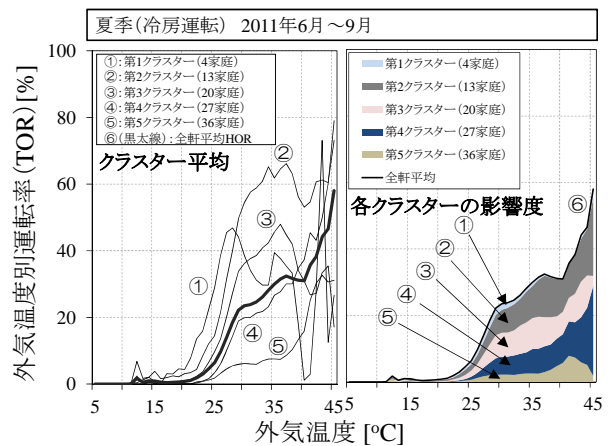
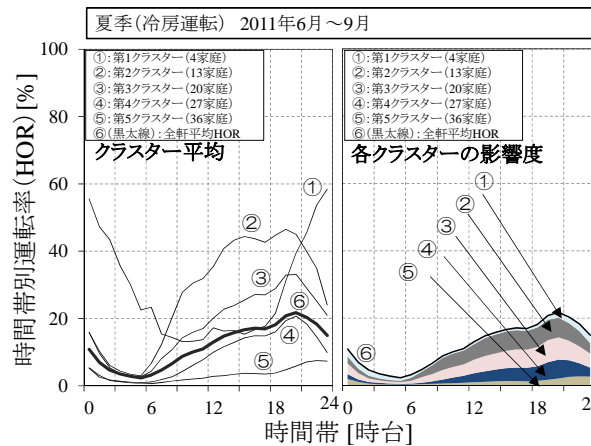
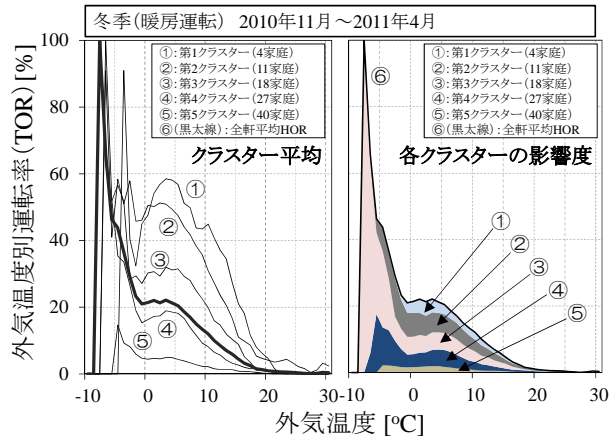
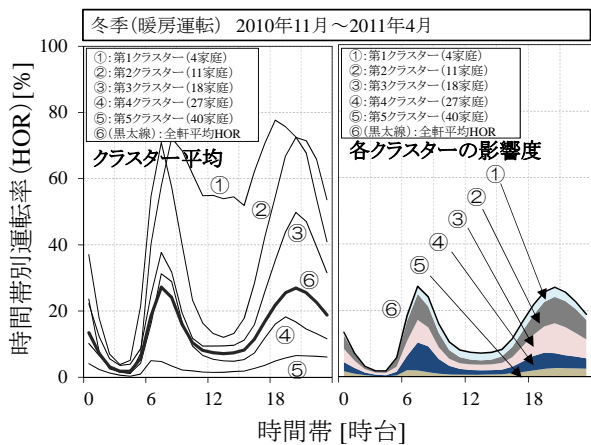


図 2.3.3.A.3 時間帯別運転率(HOR)の各クラスター

(左：クラスター毎，右：平均値線の内訳)  
(上：冬季，下：夏季)

図 2.3.3.A.4 外気温度別運転率(TOR)の各クラスター

(左：クラスター毎，右：平均値線の内訳)  
(上：冬季，下：夏季)

(ウ) TOR 関数の定義と RAC 運転時間の推算値

ここでは、TOR 関数を全軒平均に沿って与えた場合と、運転時間で階層を設けて与えた場合の 2 つのケースにおいて、RAC 運転時間をどの程度の精度で推算できるかを検討した。

まず、全軒平均に沿った TOR 関数を定義した場合について考える。図 2.3.3.A.4 の全軒平均 TOR を直線で近似すると、以下の式を得る。

$$\text{冬季： } f(T) = -\frac{5}{3}(T-17) \quad \text{夏季： } f(T) = 2(T-20)$$

これらを用いて RAC 運転時間を推算した結果を表 2.3.3.A.1 に示す。これより、RAC 運転時間の推算結果と実測 RAC 運転時間の差が、大幅に改善されているのが分かる。この差は、冬季で 5.0% 程度、夏季で 0.1% 程度であり、非常に高い精度で推算できている。よって総合的な観点においては、この方法は非常に有効であると考えられる。

次に、運転時間に階層を設けて TOR 関数を与える場合について考える。ここでは気象条件が比較的異なると思われる信越地区の 25 家庭を除いた関東の 75 家庭のデータを使用し、日積算運転時間の最低値を 1 時間刻みに引き上げてデータ整理を行った。また、運転時間が増加するにつれ、TOR は上に凸の曲線を描くようになるため、今回の TOR 関数は表 2.3.3.A.2 に示すように、2 本の直線で定義した。

これらの TOR 関数から算出した運転時間と、実測運転時間を比較した結果を表 2.3.3.A.3 に示す。これより、TOR 関数を 2 本の折れ線で定義する事で、幅広い条件のデータを 1 割以内の高精度で表現する事が可能とわかる。

表 2.3.3.A.1 JIS 規定の外気温度発生時間と実測ならびに推算発生時間の比較

	外気温度発生時間			
	JIS規定	実測結果 (a)	推算結果 (b)	(a)と(b)のずれ
冬季 (暖房運転)	2889時間	515時間	542時間	5.0%
夏季 (冷房運転)	1430時間	335時間	338時間	0.1%

表 2.3.3.A.2 RAC 運転時間の階層毎に定義した TOR 関数

1日当りのRAC運転時間	外気温度別運転率TOR: Y			
	冬季		夏季	
	-5 T 5	5 T 20	22 T 30	30 T 40
4時間以上 (14軒)	$Y=1.188T+39.3$	$Y=-3.01T+60.3$	$Y=5.67T-124.7$	$Y=0.97T+16.0$
3時間以上 (25軒)	$Y=0.536T+34.1$	$Y=-2.45T+49.1$	$Y=5.03T-110.8$	$Y=1.44T-3.0$
2時間以上 (35軒)	$Y=0.242T+32.6$	$Y=-2.25T+45.1$	$Y=4.57T-100.5$	$Y=1.37T-4.6$
1時間以上 (51軒)	$Y=0.183T+27.4$	$Y=-1.89T+37.8$	$Y=3.74T-82.3$	$Y=1.36T-10.9$
全軒	$Y=0.060T+21.5$	$Y=-1.41T+28.3$	$Y=2.86T-62.9$	$Y=1.16T-11.9$

表 2.3.3.A.3 表 2.3.3.A.2 で定義した TOR 関数を用いて推算した運転時間と実測結果との比較

1日当りのRAC運転時間	外気温度別運転率TOR: Y					
	冬季			夏季		
	実測結果 (a)	推算結果 (b)	(a)と(b)のずれ	実測結果 (a)	推算結果 (b)	(a)と(b)のずれ
4時間以上 (14軒)	1117時間	1145時間	3.0%	696時間	671時間	-4.0%
3時間以上 (25軒)	900時間	942時間	5.0%	615時間	600時間	-2.0%
2時間以上 (35軒)	776時間	832時間	7.0%	548時間	545時間	0.0%
1時間以上 (51軒)	614時間	661時間	8.0%	437時間	444時間	2.0%
全軒	445時間	487時間	9.0%	334時間	339時間	1.0%

本調査を行なった結果、以下の知見を得た。

- 1) 2 種類の運転率 (TOR, HOR) を定義し、その傾向を調べた結果、RAC の平均的な使用パターンを定量的に得る事ができ、それにより地区や月の違いによる運転率の差異は小さい事がわかった。
- 2) TOR は外気温度変化に対し概ね単調に変化する事より、季節毎に簡単な TOR 関数を与える事で、各外気温度の発生時間から、平均的な RAC 運転時間を導出できる。
- 3) 実測外気温データと TOR (外気温度別運転率) 関数から算出される運転時間は、何れの場合も 1 割以内の精度で実運転時間を再現できる。また TOR 関数は、各外気温に対する運転時間の再現精度も高い為、期間性能や APF を算出時の使用にも十分な信頼性がある。

#### (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

近年、システムの高性能化と多様な建物使用特性への柔軟な対応性から、個別分散型空調システムの採用事例が増えている。本研究では広く普及している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、室内機出入口の冷媒温度・圧力を測定しエンタルピー差と冷媒流量から空調機能力を算出する方法) を用いて能力を算出している。なお、本研究に使用したデータは、平成 21、22 年度国土交通省建築基準整備促進事業、調査項目 22 「業務用建築物のためのエネルギー消費量評価手法に関する基礎的調査」において収集されたものであり、2011 年に発生した東日本大震災以前の運用実績データである。

#### (ア) 対象物件

対象物件の中には室外機データが収集できていない物件もあり、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。室外機+室内機データを収集できている24物件の内訳を図2.3.3.A.5に示す。事務所、病院、集会所は比較的物件数が多い。地域別にみると関東、関西、九州の物件が多く、寒冷地の物件はほとんどない。

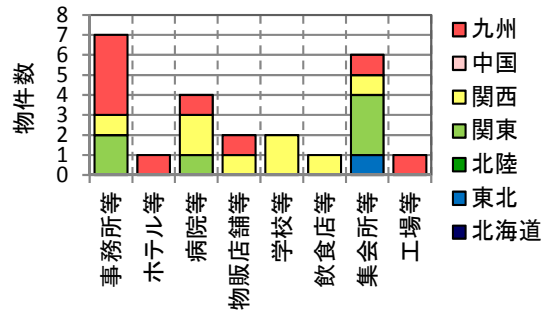


図 2.3.3.A.5 分析対象物件数  
(室内機+室外機収集物件)

(イ) 室外機データ分析結果  
年間運転時間

図2.3.3.A.6に室外機の年間冷暖房運転時間を示す。建物用途によって若干傾向が異なるが、おおむね冷房の運転時間の方が長い傾向にある。事務所等は暖房運転時間の方が長い傾向にあるが、建物に関する情報がないため推測になるが建物規模が小さいと考えられる。集会所等や飲食店等では年間冷房を行っている建物も確認できる。病院等は比較的冷房と暖房の運転時間が長い傾向にある。

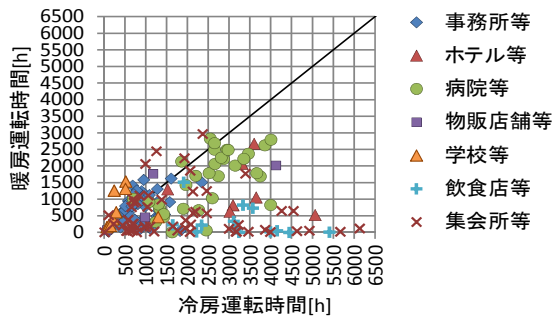


図 2.3.3.A.6 年間冷暖房運転時間 (N=179)

年積算能力

図2.3.3.A.7に室外機の年積算能力を示す。傾向は年間運転時間と似通っており、病院等や集会所等は年積算冷房能力が大きくなっている。事務所等は年積算暖房能力の方が大きくなる傾向にあり、集会所等、病院等とは異なる傾向にある。建物の熱負荷特性に依存する部分であり、建築特性や室内の運用特性などが不明なためこれ以上の分析は困難である。

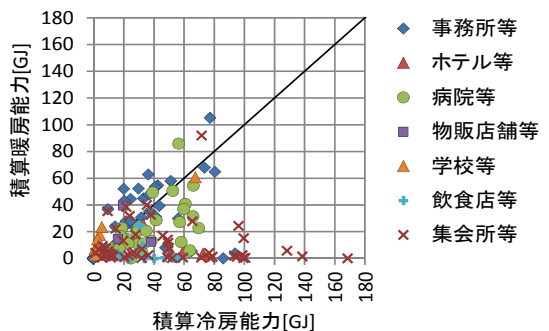
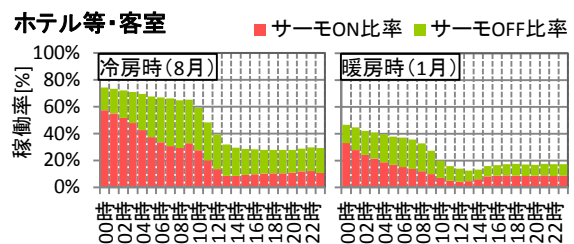
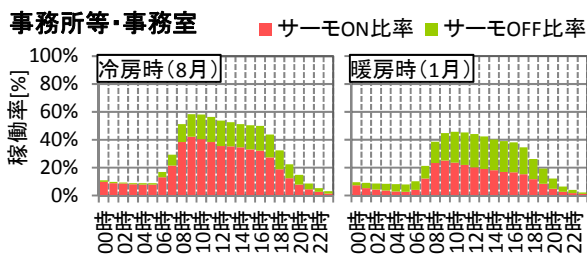


図 2.3.3.A.7 年間冷暖房積算能力 (N=179)

(ウ) 室内機データ分析結果  
運転パターン

図2.3.3.A.8に特徴的な室用途別の8月冷房時および1月暖房時の室内機稼働率を示す。稼働率は一カ月間の当該時刻にサーモ ON、サーモ OFF していた日数の比率を室用途ごとに平均した値である。図中のサーモ ON 比率は当該時刻にサーモ ON 状態である時間の比率、サーモ OFF 比率は当該時刻にサーモ OFF 状態である時間の比率と定義した。事務所等・事務室は典型的な8~18時空調、ホテル等・客室は0時から10時、病院等・病室の冷房は24時間、集会所等・パチンコは7時~翌2時といった運転パターンになっている。病院等・病室と集会所等・パチンコの暖房では、サーモ ON の時間は非常に短い。



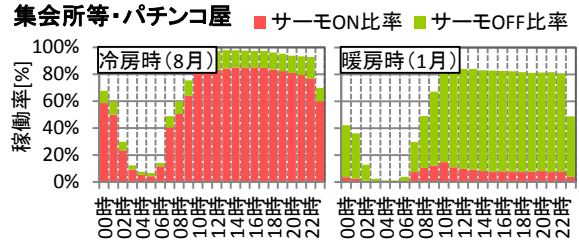
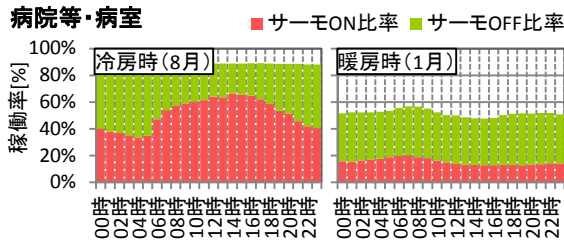
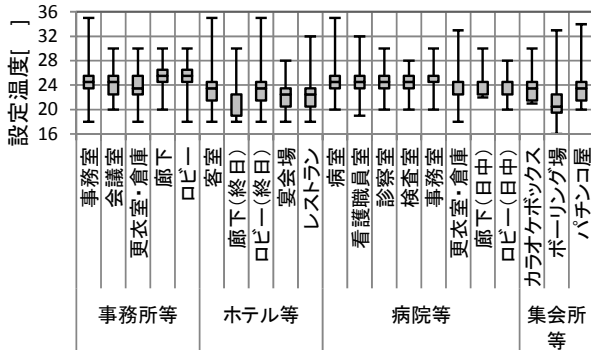


図 2.3.3.A.8 室用途別室内機の稼働率

室内機設定温度

図 2.3.3.A.9 に室用途ごとの室内機の設定温度を示す。実稼働データの分析対象期間が東日本大震災以前であることも影響して冷房、暖房ともに 24℃前後で使用されている実態が確認できる。冷房に着目すると、ホテル等や集会所等・ボーリング場では設定温度が他の室用途に比べて低くしている傾向が確認できる。暖房については、ホテル等・ロビーや病院等・廊下、ロビーの設定温度が高い傾向が確認できる。

冷房時



暖房時

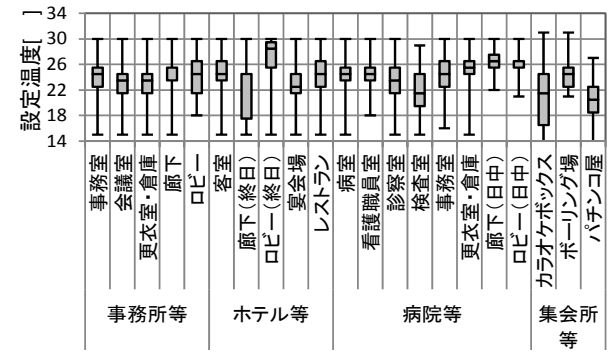


図 2.3.3.A.9 室内機設定温度

箱髭は上から最高、75%、中央値、25%、最低をあらわす。

(エ)効率特性

期間エネルギー消費効率

図 2.3.3.A.10 に建物用途別冷暖房期間エネルギー消費効率を示す。どの建物用途においても冷房時に比べて暖房時のエネルギー消費効率が低くなる傾向にある。冷房時は JIS 条件である 35℃よりも COP が向上する低外気の運転頻度が高くなるのに対して、暖房時は JIS 条件である 7℃の頻度が高いため、暖房より冷房の方が効率が良くなる傾向になっている。

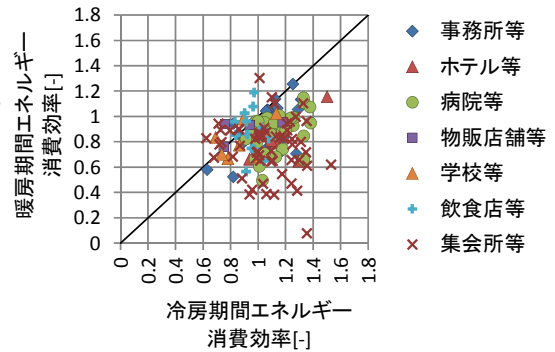


図 2.3.3.A.10 建物用途別冷暖房の期間エネルギー消費効率

負荷率と COP 比

図 2.3.3.A.11、図 2.3.3.A.12 に冷房時、暖房時の負荷率と COP 比の関係を外気温度別に示す。建物用途によらず、COP 比は負荷率 30~40%時にピークが発生している。集会所等の冷房時において外気温度が低く、低負荷となる領域で非常に高い COP 比となる部分の確認できるが、この領域は室外機ファンがインバータ制御もしくは停止する領域であるため、室外機のファン動力の分だけ COP 比が向上したものである。

期間エネルギー消費効率は年間積算能力と年間積算 1 次消費電力の比。



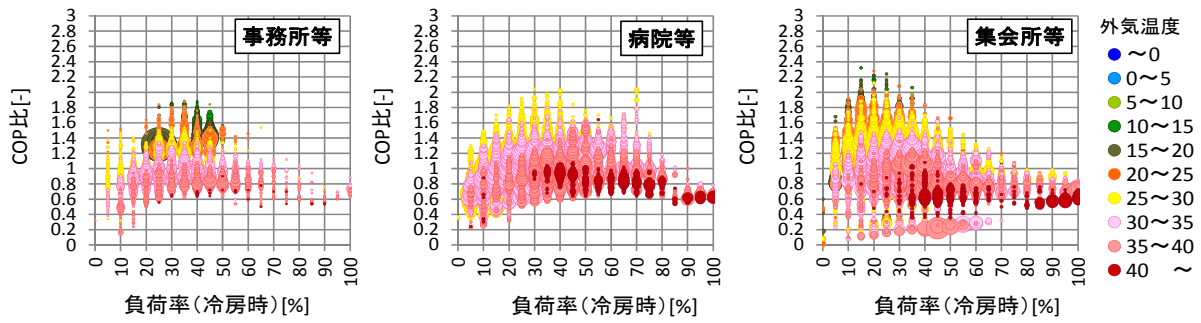


図 2.3.3.A.11 負荷率と COP 比の発生頻度(冷房時)

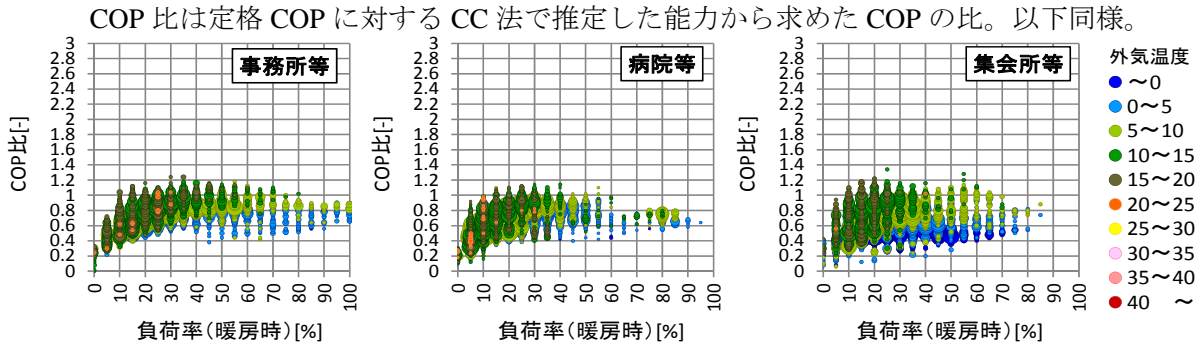


図 2.3.3.A.12 負荷率と COP 比の発生頻度(暖房時)

### 室内機稼働率と COP 比

図 2.3.3.A.13、図 2.3.3.A.14 に室内機稼働率と COP 比の関係を示す。凡例は負荷率である。冷房時、暖房時ともに同じ負荷率帯であれば室内機稼働率が高いほど COP 比が高くなる傾向が確認できる。これは低負荷であっても末端の室内機まで冷媒を搬送するためにある程度の圧力状態を保つ必要があり、結果的にロスになっているためである。高効率運転を行うためには、同じような負荷特性の室内機を接続する、運転スケジュールについてが同じ室内機を接続する等の配慮をしなければならない。

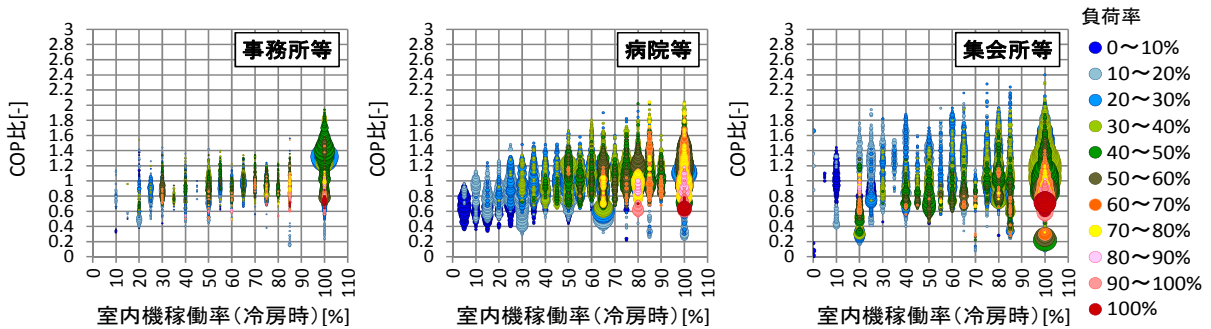


図 2.3.3.A.13 室内機稼働率と COP 比の発生頻度(冷房時)

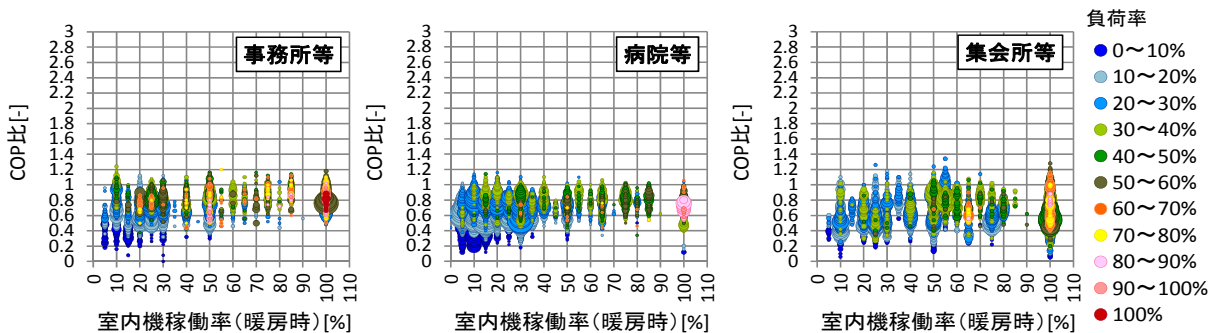


図 2.3.3.A.14 室内機稼働率と COP 比の発生頻度(暖房時)

(オ) 室外機運転データからの効率特性の抽出

ここでは、図に示す連続運転特性、断続運転特性の2つの効率特性に着目して運転データを整理した。暖房時のデフロスト運転については寒冷地のデータが少ないため、検討に至っていない。また室内機稼働率が効率の変化に影響していることが確認できたが、建築的な要因など今回用いたデータからは把握できない点が多いため、今後の課題とする。

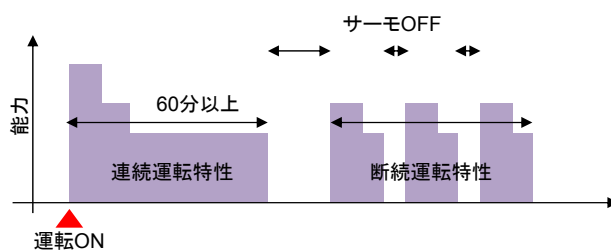


図 2.3.3.A.15 連続運転特性、断続運転特性の概念

連続運転特性

連続運転特性では機器が安定して稼働している状態の性能を評価する。60 分間連続でサーモ ON 運転しているデータのみを抽出し、外気温度帯および負荷率帯別に発生頻度、平均 COP 比を整理した。図 2.3.3.A.16 に冷房時の連続運転特性の例を示す。上図が発生頻度、下図が平均 COP 比であり、平均 COP 比が高い領域の発生頻度が高くなれば期間平均 COP 比が高くなる。効率の良い例では外気温度が 25~35℃、負荷率が 40~50%の状態の発生時間が多く、かつ同条件での平均 COP 比も比較的高い。効率の悪い例では逆の傾向である。これは設置環境が異なることなどが原因と考えられる。発生頻度と平均 COP 比が一致する設計をするためには、平均 COP 比を設計段階で推定する必要があり、更なる分析が必要である。

効率の良い例												効率の悪い例													
発生時間[h]													発生時間[h]												
外気温度	負荷率											外気温度	負荷率												
	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	%		0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	%		
~0℃																									
0~5℃																									
5~10℃																									
10~15℃																									
15~20℃																									
20~25℃																									
25~30℃																									
30~35℃																									
35~40℃																									
40℃~																									
平均COP比[-]													平均COP比[-]												
外気温度	負荷率											外気温度	負荷率												
	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	%		0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	%		
~0℃																									
0~5℃																									
5~10℃																									
10~15℃																									
15~20℃																									
20~25℃																									
25~30℃																									
30~35℃																									
35~40℃																									
40℃~																									

図 2.3.3.A.16 連続運転特性の例(冷房時)

断続運転特性

ここでは 1 時間のうちサーモ ON 運転をしている時間の比率を断続運転の頻度であると仮定し、外気温度別に断続運転の発生状況や平均 COP 比を整理した。ただし記録間隔の途中でリモコン ON した場合も含まれる点に注意が必要である。図 2.3.3.A.17 に示すように効率の良い例、悪い例ともに運転時間比率が高くなると平均 COP 比が高くなる傾向にあり、過大設計の回避や室内機のゾーンニングに配慮し、運転時間比率が高くなるような設計が重要であると考えられる。

効率の良い例											効率の悪い例													
発生時間[h]											発生時間[h]													
外気温度	運転時間比率										外気温度	運転時間比率												
	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%		0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%			
~0℃											~0℃													
0~5℃											0~5℃													
5~10℃				2				2		1	5~10℃													
10~15℃											10~15℃													
15~20℃	4	3	2	4	2	1		2		1	15~20℃	6	3											
20~25℃	21	28	52	55	84	91	61	46	21	10	30	20~25℃	105	91	75	66	67	49	16	9	9	7	28	
25~30℃	9	24	36	71	103	207	267	310	273	256	1437	25~30℃	202	303	231	235	311	182	77	58	43	44	146	
30~35℃	1	1	2	3	7	9	22	46	63	76	1243	30~35℃	61	136	148	151	195	171	92	95	65	61	294	
35~40℃										1	231	35~40℃	4	4	2	6	8	15	15	18	25	29	106	
40℃~											1	40℃~				1				2	1	2	9	
平均COP比[-]											平均COP比[-]													
外気温度	運転時間比率										外気温度	運転時間比率												
	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%		0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%			
~0℃											~0℃													
0~5℃											0~5℃													
5~10℃				1.04				0.98		1.59	5~10℃													
10~15℃								3.21		2.81	2.07	10~15℃												
15~20℃	1.03	1.07	0.62	0.89	0.10	0.47		0.79				15~20℃	0.46	0.55										
20~25℃	0.98	1.27	1.04	0.72	1.12	1.06	1.05	0.93	1.15	1.25	1.44	20~25℃	0.61	0.47	0.55	0.58	0.54	0.54	0.78	0.90	1.01	1.02	0.98	
25~30℃	2.27	1.13	1.06	0.73	0.92	1.02	1.10	1.19	1.30	1.44	1.44	25~30℃	0.51	0.48	0.45	0.49	0.49	0.57	0.77	0.81	0.81	0.89	0.92	
30~35℃	1.11	0.06	0.89	0.36	0.88	0.90	1.08	1.07	1.21	1.31	1.28	30~35℃	0.52	0.42	0.43	0.52	0.49	0.60	0.72	0.71	0.80	0.81	0.84	
35~40℃											1.05	1.05	35~40℃	0.53	0.53	0.98	0.64	0.61	0.70	0.75	0.73	0.74	0.76	0.78
40℃~												0.79	40℃~			0.60				0.73	0.79	0.71	0.73	

図 2.3.3.A.17 断続運転特性の例(冷房時)

運転時間比率とは、実稼働データの記録間隔である 1 時間のうち、サーモ ON 運転している時間の比率である。

### まとめ

複数物件の個別分散型空調システムの実稼働データを元にデータ閲覧システムを構築し、建物用途別及び室用途別に使用実態、効率特性をとりまとめた。事務所等は暖房運転時間が長い傾向にある、冷暖房設定温度は 24℃前後で使用されているなどの特徴が見られたが、東日本大震災以降は使用実態が異なっている可能性がある。今後新たなデータを追加し、震災後の使用実態についても明らかにしたい。また、高効率な運転を実現するためには機器開発も重要であるが、機器の効率特性を知った上での設計法も重要であり効率的な設計法の確立が望まれる。

### (A-3)低 GWP 冷媒の熱交換器性能、サイクル性能の評価

#### (A-3-1) 低GWP混合冷媒 R1234yf/R32 の管内流動沸騰熱伝達

低GWP冷媒 HFO1234yf はカーエアコン用代替冷媒として開発されたが、定置用エアコン用冷媒とすると主にその潜熱と蒸気密度が小さいことで現状のR410a のシステムより大幅に性能が低下する。本研究は、低GWP冷媒 R1234yf とR32など高圧、高性能冷媒との混合冷媒を提案し、その沸騰、凝縮伝熱性能の実験測定と理論解析を行った。

#### (ア)実験装置

図 2.3.3.A.18 には流動沸騰測定用サイクルを示す。潤滑油の影響を避けるため、所定の濃度の冷媒を液体状態で充填した後、ポンプを用いて冷媒を循環し、テストセクションで伝熱性能(熱伝達率、圧力損失)の測定を行った。また、テストセクションの手前にサイトガラスを設けて流動様式の観察を行い、テストセクションの後にガスクロを用いて冷媒の成分分析を行った。

図 2.3.3.A.19 にはテストセクションの詳細を示す。伝熱管に直流電流を流して等熱流束条件で伝熱管を加熱し、伝熱管の外表面に等間隔で配置した熱電対を用いて壁面温度を測定することで、熱伝達率を算出する。また、熱電対と伝熱管の間に厚み 10 ミクロンのシリコンテープを挟み、熱電対への直流電流の影響を防ぐ。伝熱管の内径は 2 mm と 4 mm 二種類で、飽和温度 15℃でのテストを行った。実験条件を表 2.3.3.A.4 に示す。

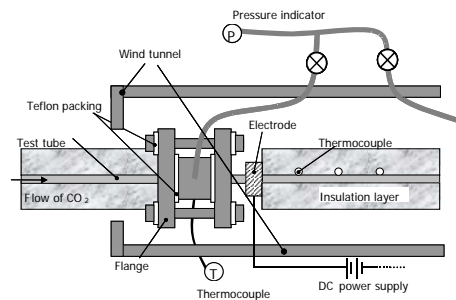
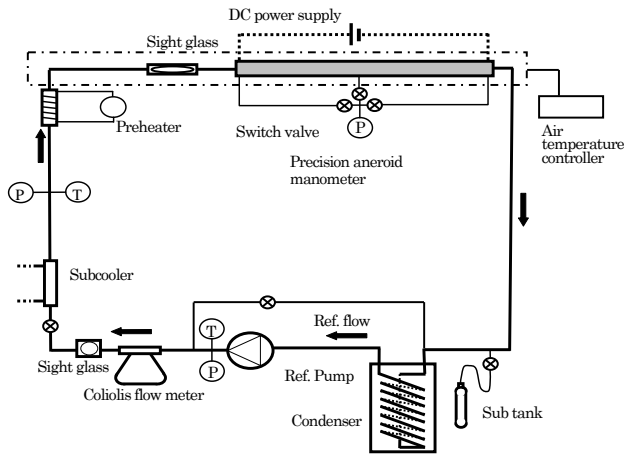


図 2.3.3.A.18 流動沸騰測定実験サイクル

図 2.3.3.A.19 テストセクション

表 2.3.3.A.4 実験条件

Refrigerant	R1234yf, R32, R1234yf + R32
R1234yf:R32 wt%	100:0; 0:100; 80:20; 50:50
Tube diameter (mm)	2, 4
Saturation temperature	15°C
Quality	0.2-1.0
Heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	6, 12, 24
Mass flux (kg/m <sup>2</sup> s)	100, 200, 400

(イ) 混合冷媒の伝熱特性

非共沸混合冷媒が相変化するとき、その各組成の沸点の違いにより、液相、気相側の組成比の変化が起こり、結果的に蒸発（あるいは凝縮）温度が変化する。その蒸発（凝縮）時での温度変化は温度グライドという、図 2.3.3.A.20 には実施機関にて計測し作成した物性ソフトにより算出した温度 15°C における 2 種類の混合冷媒 R134a + R32 と R1234yf + R32 の温度グライドの比較を示す、R1234yf + R32 の温度グライドは R32 濃度が 22% の時最大値の 7.7°C になり、R134a + R32 の場合 R32 濃度が 32% の時最大値の 6.1°C になることが分かった。

混合冷媒が沸騰するとき、沸点の低い冷媒が先に相変化するため、気液界面の液体側には沸点の高い冷媒の濃度が高くなる。その冷媒の濃度勾配の形成による伝熱性能が低下する。一般的に、温度グライドが高いほど伝熱性能の低下率が高くなる。図 2.3.3.A.21 には混合冷媒沸騰時気泡周囲の濃度境界層の概略図を示す。

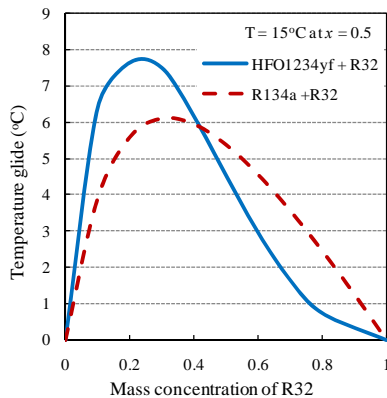


図 2.3.3.A.20 混合冷媒 R134a + R32 と R1234yf + R32 の温度グライドの比較

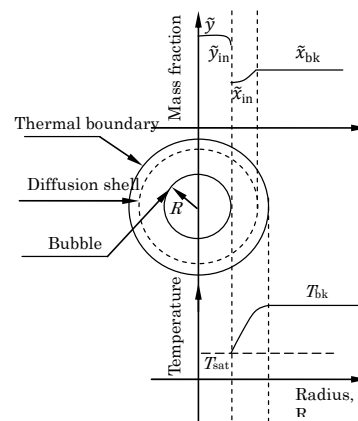


図 2.3.3.A.21 混合冷媒沸騰するときの気泡回りの濃度境界層の概略図

また、流動沸騰の流動、加熱状態による、支配的な伝熱メカニズムは異なることが知られている。たとえば、 $Bo$ (ボーリング数)が大きいと小さい場合はそれぞれ核沸騰支配と強制対流伝熱支配になり、また、中間的な  $Bo$  の場合核沸騰と強制対流伝熱の両方を考慮する必要がある。混合冷媒の流動沸騰を考慮するとき、その支配的な伝熱メカニズムの違いにより、濃度境界層の様子も異なる、その概略図を図 2.3.3.A.22 に示す。

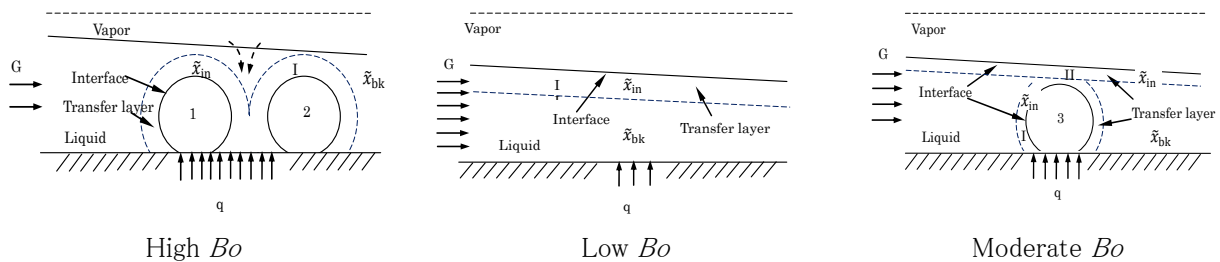


図 2.3.3.A.22 ボイリング数  $Bo$  による混合冷媒の濃度境界層の変化

(ウ) 実験結果

流動様式の可視化観察

図 2.3.3.A.23 には内径 4 mm のサイトグラスを用いた観察した流動パターンが蒸気クオリティ、質量流束による変化を示す、また、4mm 管、2 mm 管を用いた観察結果を wojtan ら(2005)の流動様式線図にプロットした結果を図 2.3.3.A.24 に示す。wojtan ら(2005)の流動様式線図には 4 mm の場合、質量流束が大きい ( $200\text{kg/m}^2\text{s}$  と  $300\text{kg/m}^2\text{s}$ ) の時の流動パターンが間欠流と管状流、 $100\text{kg/m}^2\text{s}$  の時はスラッグ流と層状流になる。本研究の可視化観察結果では定性的に流動様式線図に示した流動パターンに一致しているが、質量流束の大きいときの間欠流から管状流への変換時のクオリティは流動様式線図に示している 0.42 より小さくなり、その変換クオリティは流量が大きいほど小さくなり、質量流束が  $300\text{kg/m}^2\text{s}$  の時は 0.2、 $200\text{kg/m}^2\text{s}$  の時は 0.3 にそれぞれなる。また、質量流束が  $100\text{kg/m}^2\text{s}$  の時流動様式線図通りクオリティが 0.4 程度で流動パターンが変化するが、クオリティが大きい時の流動パターンは流動様式線図に示している層状流ではなく、管状流を観察された。2 mm 管の場合も同様な観察結果が得られた。

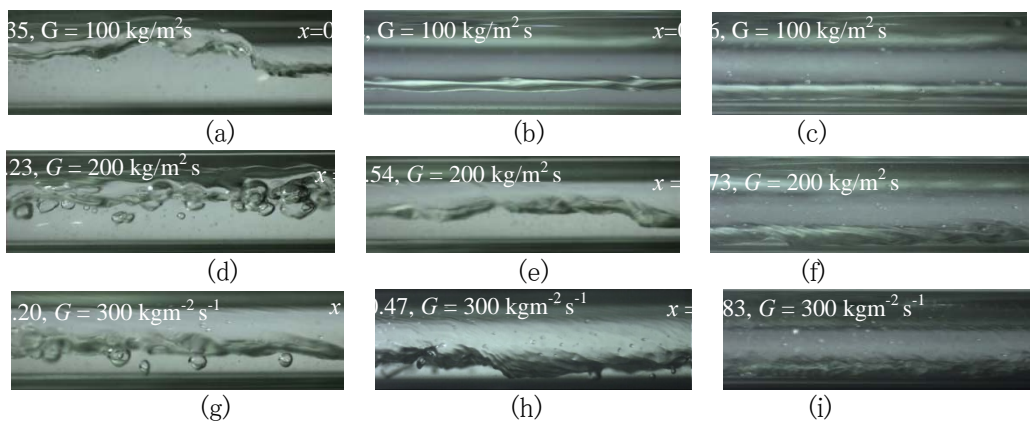


図 2.3.3.A.23 流動パターンの可視化観察 ( $d = 4\text{ mm}$ ,  $G = 100, 200$  and  $300\text{ kg/m}^2\text{s}$ )

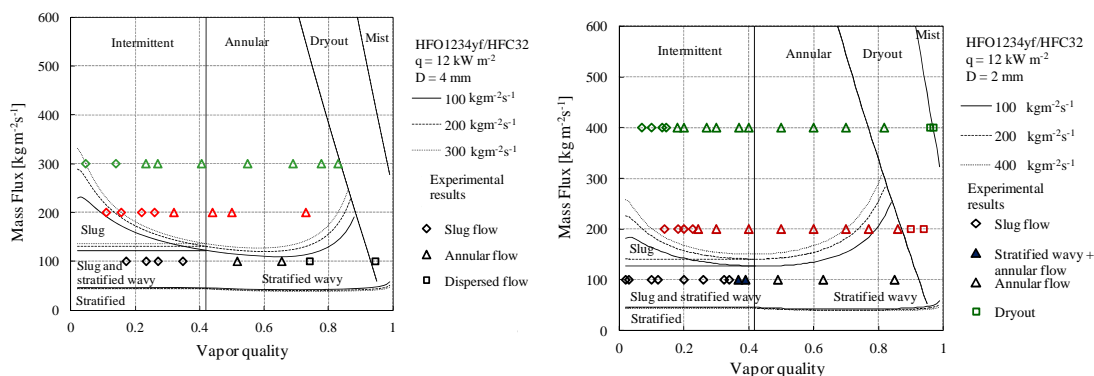


図 2.3.3.A.24 流動様式線図上の比較

### 伝熱性能の実験測定結果

前述のテストセクションを用いて、伝熱管内径、組成比、質量流束、熱流束およびクオリティによる R1234yf/R32 混合冷媒熱伝達率の変化を測定し、その結果を純冷媒 R1234yf の伝熱性能との比較を図 2.3.3.A.25-2.3.3.A.26 に示す。

図 2.3.3.A.25 には R32 の濃度が 20% の時の混合冷媒と純冷媒 R1234yf の伝熱性能の比較を示す。R32 の濃度が 20% の時混合冷媒の温度グライドが最大になるため、純冷媒 R1234yf と比べ、すべての条件において混合冷媒の熱伝達率は純冷媒より低下することがわかる。また、ボーリング数  $Bo$  の違いによって支配的な伝熱メカニズムの違いがみられる。図 2.3.3.A.22 に対応して、 $Bo$  が大きい時は核沸騰支配、小さい時は強制対流伝熱支配、また  $Bo$  が中間的な値をとるとき両方の影響がみられる。さらに、純冷媒との熱伝達率の差を見ると、 $Bo$  が大きい時はクオリティの小さい領域において混合冷媒の伝熱性能が低下する。小クオリティ領域には加熱気泡回りに形成する濃度境界層による伝熱性能が低下し、クオリティが大きくなると流が乱れて、濃度境界層が薄くなることで伝熱性能の回復が見られた。その一方、 $Bo$  が小さい時はクオリティの増加に従って混合冷媒と純冷媒との伝熱性能の差が大きくなる、それは相変化に伴い気液界面付近の濃度境界層が厚くなることで混合冷媒の伝熱性能の低下に繋がった。 $Bo$  が中間的な値になるとき、クオリティが小さい時は核沸騰、クオリティが大きい時は強制対流伝熱がそれぞれ抑制されるため、全クオリティ領域において混合冷媒の伝熱性能が 10%~20% 程度低下する。

図 2.3.3.A.26 には R32 の濃度が 50% の時の混合冷媒と純冷媒 HFO1234yf の伝熱性能の比較を示す。R32 濃度の増加によって混合冷媒の伝熱性能が純冷媒 R1234yf と同程度あるいは最大 10% 程度大きくなる結果が得られた。

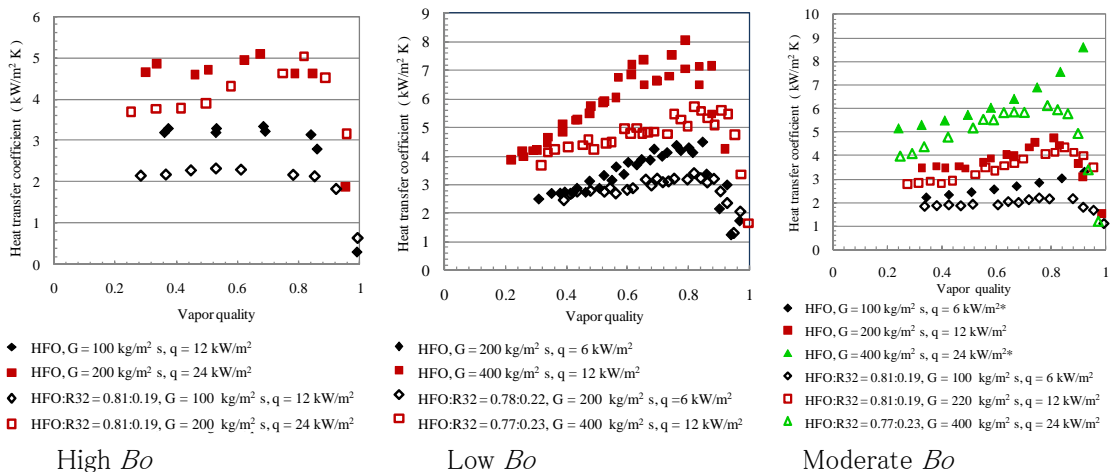


図 2.3.3.A.25 混合冷媒 (R32 の濃度が 20%) と冷媒の熱伝達率の比較

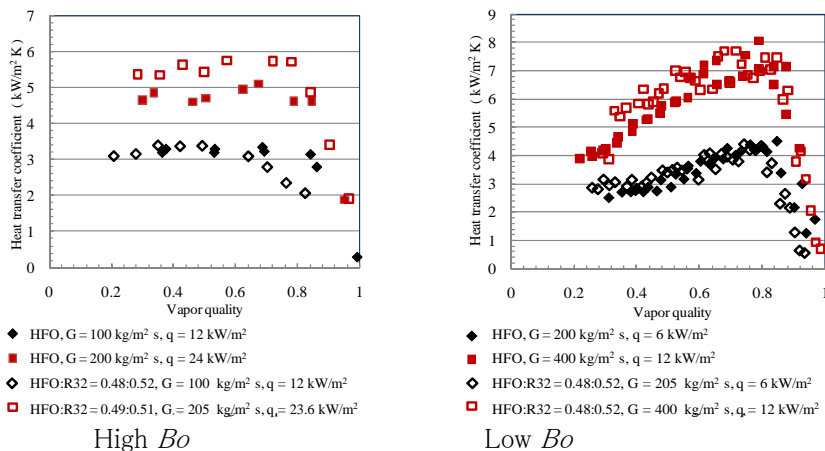


図 2.3.3.A.26 混合冷媒 (R32 の濃度が 50%) と純冷媒の熱伝達率の比較

### 伝熱性能相関式の提案

混合冷媒の伝熱予測式は、従来の純冷媒の伝熱性能予測式に基づいて、濃度境界層の形成による核沸

騰抑制係数  $S_{mix}$  および強制対流伝熱抑制係数  $F_{mix}$  を導入して作成した。詳細は省略する。提案した相間式  
 の予測結果と実験結果の比較を図 2.3.3.A.27 に示す。2 mm管と 4 mm管に対して、大よそ誤差±20%以内に  
 実験結果を再現することができた。

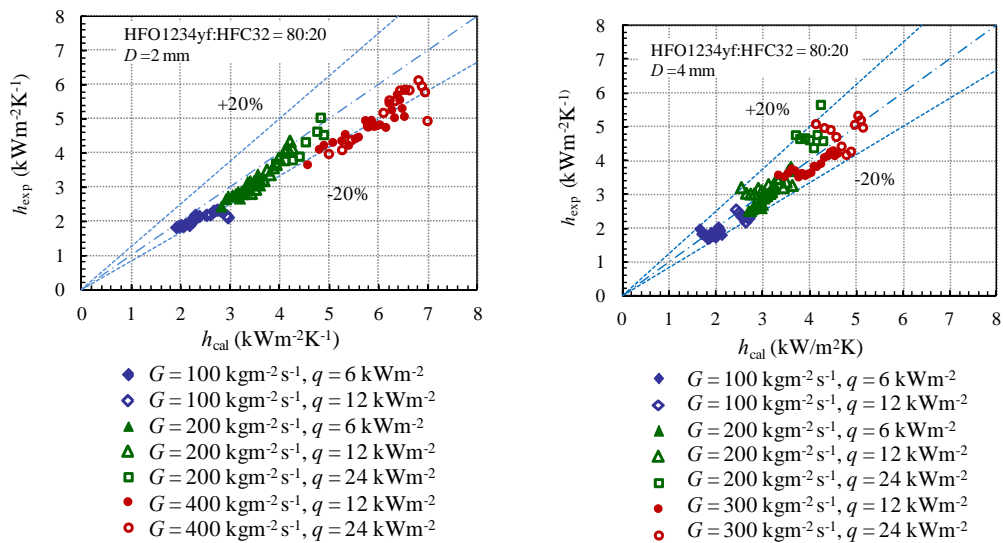


図 2.3.3.A.27 提案した伝熱相間式の予測結果と実験結果の比較

### (A-3-2) 低GWP混合冷媒 R1234yf/R32 の管内凝縮熱伝達

#### (ア) 実験装置

管内凝縮の実験測定のサイクルを図 2.3.3.A.28 に示す。テストセクション、冷媒循環用ポンプ、流量計、加熱器、凝縮器、サイトガラスなどにかかる。所定の組成比に混合した混合冷媒を液体状態で充填し、テストセクションの循環組成はテストセクションの入口、出口で測定した温度、圧力を用いて混合冷媒の物性から求める。サイクル内の飽和温度および圧力は冷媒のチャージ量と膨張弁の開度を用いて制御する。

テストセクションの概略図を図 2.3.3.A.29 に示す。伝熱管の内径が 2 mm で、外側に冷却水を流して冷却冷媒を凝縮させる。また、等熱流束条件を作るため、テストセクションを長さ 0.23 m の 5 つのサブセクションに分ける。各サブテストセクション内の冷媒側と冷却水側の温度差が等しくなるように、各サブセクションの冷却水入口温度、流量を独立に制御する。伝熱管の外表面に等間隔で 3 本の熱電対を半田付けることで伝熱管の外表面温度を計測し、冷却水の温度変化から計算した熱流束より各サブセクション内の平均的な熱伝達率を求めた。

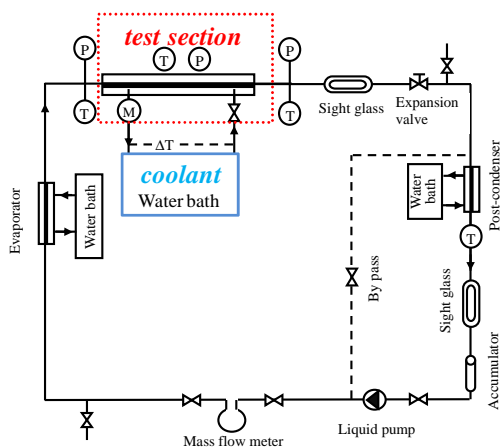


図 2.3.3.A.28 実験測定サイクル

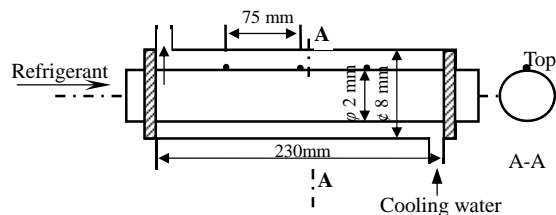


図 2.3.3.A.29 テストセクション

#### (イ) 混合冷媒凝縮伝熱モデル

混合冷媒凝縮するときの気液界面付近の温度、濃度分布を図 2.3.3.A.30 に示す。図 2.3.3.A.31 にはそ

これを相図に示したイメージ図である。混合冷媒の凝縮過程を分析するとき、以下の仮定を置く：

(1) 気液界面は気液平衡状態になる。バルク蒸気は飽和状態になり、液体は過冷却状態になる。(2) 壁面から気液界面までの凝縮伝熱性能は液膜の熱物性を考慮して純冷媒の伝熱相間式を用いて算出する。(3) 流動パターンは管状流で、液膜の厚みは周方向に一様である。(4) 混合冷媒の摩擦圧力損失は純冷媒の凝縮摩擦係数を用いて算出する。

以上の仮定のもとで、混合冷媒の凝縮熱伝達率は式(2.3.3.A.1)で算出することができる。式中の  $h_0$  は液膜の熱物性を考慮して純冷媒の伝熱相間式で算出した壁面から気液界面までの凝縮伝熱性能。ただし、気液界面の温度  $T_i$  と断面内のエンタルピーで算出した平均的な温度( $T_b$ ) が非共沸混合冷媒の場合は一致しないため、修正係数(凝縮伝熱低下係数)  $\frac{T_i - T_w}{T_b - T_w}$  を導入して混合冷媒の凝縮熱伝達率を求める。また、 $h_0$  は

$$h = \frac{T_i - T_w}{T_b - T_w} h_0 \quad (2.3.3.A.1)$$

純冷媒の凝縮熱伝達の相間式を用いる。4 mm管の場合は原口ら(1994)が提案した式が本研究の実験結果と良く一致するためそれを推奨し、2 mm管の場合、付録で提案した表面張力を考慮した相間式を用いることにした。

修正係数を決めるために、界面の温度を定める必要がある。それを気液界面付近の蒸気側および液体側での熱伝達、物質移動の式を用いて下記通りに計算する。ただし、蒸気および液体側の物質移動係数を小山ら(1998)の提案式を用いる。

$$m_A = -\frac{G}{\pi d} \frac{d(xy_{vb})}{dz} = -\frac{G}{\pi d} \frac{dx}{dz} y_{vi} - k_v (y_{vi} - y_{vb}) \quad (2.3.3.A.2)$$

$$m_A = \frac{G}{\pi d} \frac{d((1-x)y_{lb})}{dz} = -\frac{G}{\pi d} \frac{dx}{dz} y_{li} + k_l (y_{li} - y_{lb}) \quad (2.3.3.A.3)$$

$$k_v = \frac{\rho_v D_v}{d} Sh_v = \frac{\rho_v D_v}{d} 0.023 \sqrt{\alpha \Phi_v^2} Re_v^{0.8} Sc_v^{0.3} \quad (2.3.3.A.4)$$

$$k_l = \frac{\rho_L D_L}{\delta_L} Sh_L = \frac{\rho_L D_L}{d} 0.023 \sqrt{\alpha \Phi_L^2} Re_L^{0.8} Sc_L^{0.3} \quad (2.3.3.A.5)$$

また、液膜内の平均温度は壁面温度と界面の温度の平均値を用いる

$$T_{Lb} = T_w + \frac{2}{3} (T_i - T_w) \quad (2.3.3.A.6)$$

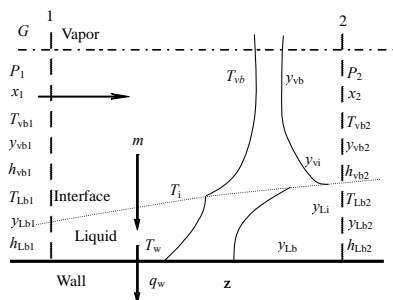


図 2.3.3.A.30 混合冷媒凝縮の温度、濃度分布

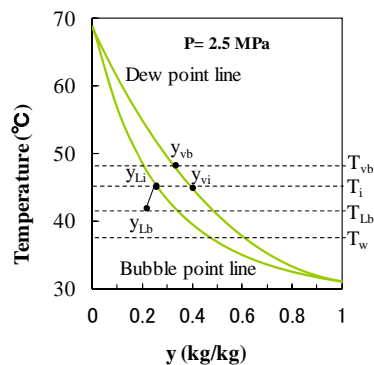


図 2.3.3.A.31 相図に示す凝縮過程

#### (ウ) 実験結果と比較

図 2.3.3.A.32 には組成比 0.77:0.23 と 0.52:0.48 の混合冷媒 R1234yf/R32 の管内凝縮熱伝達率の測定結果の例を示す。伝熱管の内径が 2 mm、凝縮温度は 40°C (クオリティが 0.5 の時)、質量流束が 100 ~ 400 kg/m<sup>2</sup>s の時の熱伝達を比較している。一般的に、凝縮熱伝達率はクオリティの減少に従って下がり、質量流束の増加と共に大きくなる。また、R32 の濃度が 50% 前後の場合は、R32 濃度が 20% の時の熱伝達率より高い値を示す。それは、R32 の濃度が高いほど、液体冷媒の熱伝導率が大きくなることと、R32 濃度が 50% の時の温度グライドが R32 濃度 20% の時と比べ小さいことが起因すると考えられる。



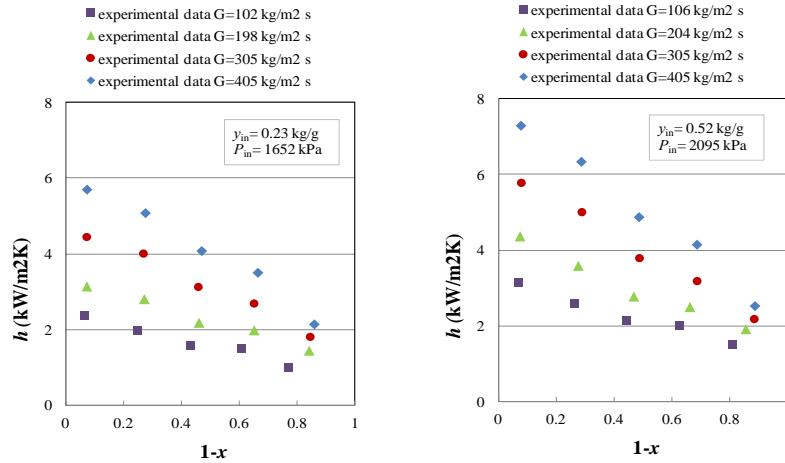


図 2.3.3.A.32 R1234yf/R32 (組成比 0.77:0.23 と 0.52:0.48)の管内凝縮熱伝達率

図 2.3.3.A.33 には混合冷媒と純冷媒との管内凝縮伝熱性能の比較を示す。R32 純冷媒の凝縮伝熱性能が一番高い、次いでは R32 濃度 50%の R1234yf/R32 混合冷媒。R32 濃度 20%の R1234yf/R32 混合冷媒の熱伝達率は、R32 濃度 50%の場合より低く、R1234yf 純冷媒の伝熱性能よりも劣ることが分かった。特に質量流速が小さい場合と、凝縮開始領域にはその傾向がより顕著になる。図 2.3.3.A.34 には凝縮に従い、気液界面における R32 濃度分布の変化を示す。凝縮が開始する領域での蒸気側と液体側における界面濃度のバルク濃度の差が一番大きいことがわかる。界面濃度とバルク濃度の差は物質移動の抵抗に比例するので、凝縮管入口付近における熱伝達率の低下率が大きく、混合冷媒の伝熱性能が純冷媒のそれによる低下率が大きい結果となる。

図 2.3.3.A.35 には式(2.3.3.A.1)で計算した凝縮熱伝達率と実験測定結果の比較を示す。組成比の異なる2種類の混合冷媒に対して、R32の濃度が50%と20%の場合での予測値と実験結果との平均誤差はそれぞれ12.1%と17.7%であった。

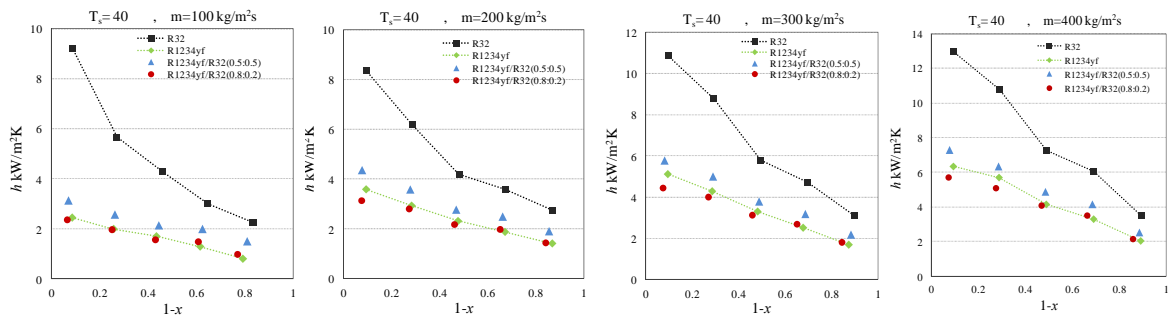


図 2.3.3.A.33 混合冷媒と純冷媒との管内凝縮伝熱性能の比較

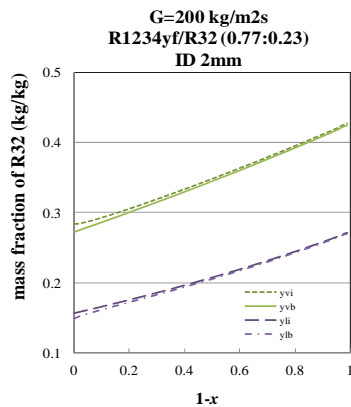


図 2.3.3.A.34 気液界面における R32 濃度分布の変化

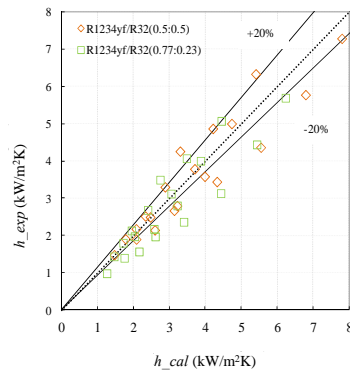


図 2.3.3.A.35 凝縮熱伝達率の予測結果と実験測定結果の比較

図 2.3.3.A.36 には R32 の組成比、蒸気クオリティおよび質量流束による混合冷媒の凝縮熱伝達率の比較を示す。蒸気クオリティが 0.1, 0.3 の条件と比べ、クオリティが 0.7 の時の混合冷媒の伝熱性能の低下が大きい。特に R32 濃度が 20% 前後での混合冷媒の伝熱性能低下が一番顕著であることが分かった。また、混合冷媒の伝熱性能の低下が質量流束の減少と共に大きくなっている。

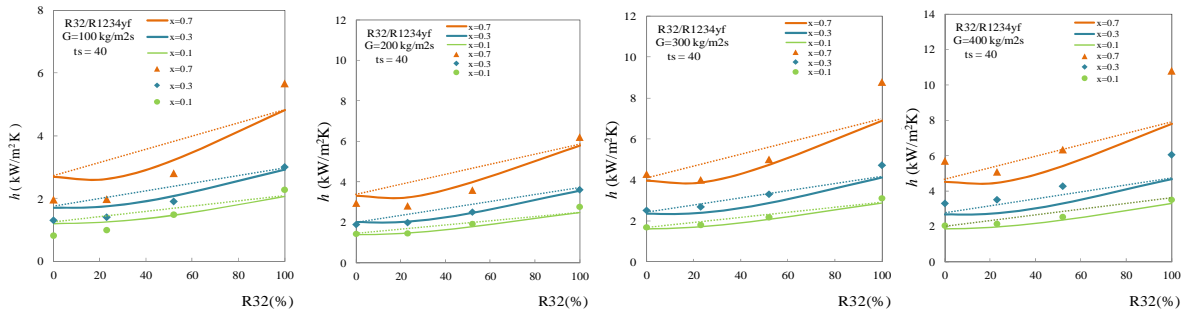


図 2.3.3.A.36 R32 の組成比による混合冷媒の凝縮熱伝達率の比較

図 2.3.3.A.37 には物質移動抵抗に起因する伝熱低下係数  $(T_i - T_w)/(T_b - T_w)$  のクオリティ、質量流束による変化を示す。伝熱低下係数は蒸気クオリティの低下に従って大きくなる。特に入口付近では、伝熱低下係数が一番大きくなり、入口における混合冷媒の伝熱性能低下が一番大きい結果となっている。出口において伝熱低下係数は1となり、混合冷媒の伝熱性能は同じ熱物性を有する純冷媒と同じ伝熱性能となる。また、質量流束の増加と共に伝熱低下係数が大きくなる。

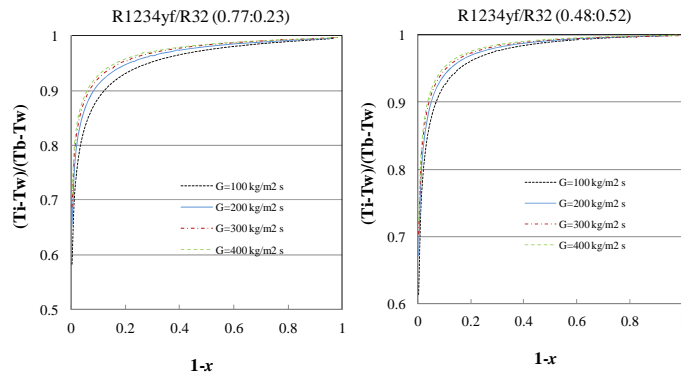


図 2.3.3.A.37 伝熱低下係数  $(T_i - T_w)/(T_b - T_w)$

### まとめ

低 GWP 混合冷媒 R1234yf/R32 の管内凝縮伝熱の特性を把握するため、熱伝達率の実験測定と理論解析を行った。得られた知見を下記に纏める：

- (1) 混合冷媒のR32濃度が 50%の時の熱伝達率は 20%の時より大きくなる。それは R32 冷媒の高熱伝導率と R32 が 20%含まれるときの大きい温度グライドによるものである。
- (2) 混合冷媒と純冷媒との伝熱性能の比較から、R32 純冷媒の伝熱性能が一番高く、次いでは R1234yf/R32 混合冷媒 (R32 濃度が 50%)。純冷媒 R1234yf の熱伝達率は R1234yf/R32 混合冷媒 (R32 濃度が 20%) より高くなる、特に低質量流束と高クオリティ条件ではその差が顕著になる。
- (3) 提案した混合冷媒の伝熱性能予測式は実験結果をよく再現できる。

(B) 室内への冷媒リーク時の安全性評価（東京大学担当）

(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

冷媒が空間内に漏えいすると、空気より重ければ床面に滞留する傾向がある。この時、Fig. 3.1.1 に示すように濃度が燃焼範囲内にあり、かつ気流が燃焼速度以下で、さらに最小着火エネルギー以上の着火源が存在すると、着火し火災に発展する危険が生じる。ゆえに、これらの冷媒を空調機に使用するには、適切な安全基準を作成する必要がある。

安全基準の作成の際、冷媒の拡散現象を理解することは重要となるが、大空間における冷媒漏えい試験は困難である。そのため、数値解析によるアプローチは有効な手段となる。そこで、居室等、大空間に冷媒が漏えいした時の拡散現象を計算し、可燃領域体積、気流速度分布を数値解析により解析した。また、家庭用ルームエアコンに関しては、実験による検証も行った。

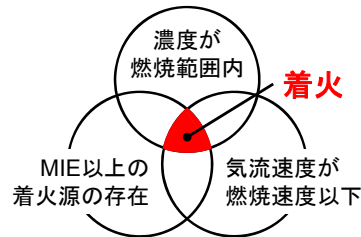


図 2.3.3.B.1 Mechanism of ignition

(ア) 計算方法と計算モデル

冷媒拡散現象の数値シミュレーションには、汎用熱流体解析コード STAR-CD を用いた。差分法には有限体積法が用いられている。計算方法は非定常流れとし、密度の計算には理想気体の状態方程式を用いた。計算アルゴリズムには PISO 法等を用いた。対流項の離散化には UD と MARS、乱流モデルには標準  $k-\epsilon$  モデルを使用した。境界条件として冷媒の流入条件は一定流量の流入条件、流出条件は大気圧相当の圧力境界等を用い、壁境界には壁法則を用いた。家庭用ルームエアコン（以下、RAC.）の計算条件は表 2.3.3.B.1 に、ビル用マルチエアコン（以下、VRF）の計算条件は表 2.3.3.B.2 にまとめた。

表 2.3.3.B.1 Leakage scenarios for RAC.

No.	Position of leakage	Refrigerant	Amount [g]	Flow rate [g/min]
1	Wall-mounted indoor unit	R32	1000	250
2	ditto	R1234yf	1400	350
3	ditto	R32	1000	125
4	ditto	R1234yf	1400	175
5	ditto	R32	1000	1000
6	ditto	R1234yf	1400	1400
7	ditto	R290	500	125
8	ditto	R290	200	50
9	Floor-mounted indoor unit	R32	1000	250
10	ditto	R1234yf	1400	350
11	Outdoor unit	R32	1000	250
12	ditto	R1234yf	1400	350

壁掛け室内機からの漏えい

壁掛け室内機からの漏えいは、2.8m×2.5m× 2.4m の小部屋をモデル化した。床面から 1.8m の高さに大きさ 0.6m×0.24m×0.3m の室内機が設置され、0.6m×0.06m の吹き出し口より冷媒が漏えいする。格子数は約 20 万で、漏えい口直下と床面付近に要素を集中させている。図 2.3.3.B.2 に壁掛け室内機からの漏えいの計算モデルを示す。

表 2.3.3.B.2 Leakage scenarios for VRF

No.	Refrigerant	Amount [kg]	Flow rate [kg/h]	Ventilation [m <sup>3</sup> /h]	Air vent
1	R32	26.3	10	0	none
2	R1234yf	29.4	10	0	none
3	R32	26.3	10	0	exist
4	R1234yf	29.4	10	0	exist
5	R32	26.3	10	169	exist
6	R1234yf	29.4	10	169	exist
7	R32	26.3	10	0→169	exist
8	R1234yf	29.4	10	0→169	exist
9	R32	26.3	10→0	0	exist
10	R1234yf	29.4	10→0	0	exist

床置き室内機からの漏えい

床置き室内機からの漏えいは、壁掛け室内機からの漏えいと同じ広さの小部屋をモデル化し、大きさ 0.7m×0.21m×0.6m の床置き室内機が設置され、0.46m×0.045m の吹き出し口より冷媒が漏えいする。格子数は約 24 万で、漏えい口と床面付近に要素を集中させている。図 2.3.3.B.3 に床置き室内機からの漏えいの計算モデルを示す。

室外機からの漏えい

室外機からの漏えいは、5.0m×1.2m×1.1m のベランダをモデル化した。ベランダには大きさ 0.77m×0.29m×0.68m の室外機が設置され、φ400 の室外機ファンより冷媒が漏えいする。また、ベランダ周りには 0.5m/s の風がある。格子数は約 35 万である。図 2.3.3.B.4 に計算モデルを示す。今回は、ベランダの排水口や隣家との仕切り板の隙間は考慮していない。

ビル用マルチエアコンからの漏えい

VRF の設置位置はオフィスルームを想定し、その寸法は床面積が外寸 6.5m×6.5m で高さ 2.7m である。部屋の天井面には VRF が 1 台設置されており、吹き出し口の大きさは 450mm×64.5mm、吸い込み口の大きさは φ370 であり、吹き出し口と吸い込み口から冷媒が真下に漏えいする。また、天井面には寸法が 200mm×200mm の給気口と排気口があり、さらに、壁面にはドアが設置されており、その下部には寸法 1500mm×10mm の隙間が存在する。格子数は約 15 万であり、吹き出し口、吸い込み口、給排気口、ドア下隙間付近には要素を集中させている。図 2.3.3.B.5 に VRF の計算モデルを示す。

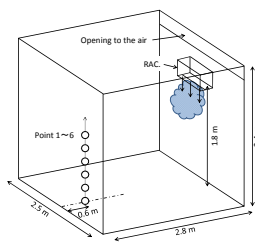


図 2.3.3.B.2 Wall-mounted indoor unit

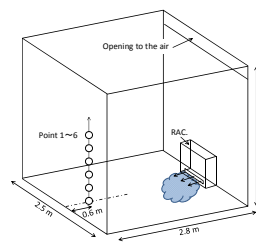


図 2.3.3.B.3 Floor-mounted indoor unit

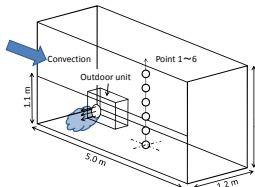


図 2.3.3.B.4 Outdoor unit

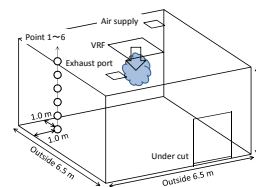


図 2.3.3.B.5 VRF

(イ) シミュレーション結果および考察

壁掛け室内機、床置き室内機、室外機の計算結果を表 2.3.3.B.3 に、VRF の計算結果を表 2.3.3.B.4 にまとめた。Σ(V・t)は可燃領域の体積と存在時間の積であり、この大きさがリスクにかかわってくる。以下、これを可燃時空積と呼ぶ。なお、V<sub>FL</sub> は可燃領域のみを考慮した体積、V<sub>BVFL</sub> は可燃領域内で気流速度が燃焼速

度以下の範囲を考慮した体積を表す。

表 2.3.3.B.3 Results of calculation for RAC.

No.	Presence time [min]	$\Sigma(V_{FL} \cdot t)$ [m <sup>3</sup> ·min]	$\Sigma(V_{BVFL} \cdot t)$ [m <sup>3</sup> ·min]
1	4.01	$1.18 \times 10^{-2}$	0
2	4.01	$1.23 \times 10^{-2}$	0
3	8.01	$9.79 \times 10^{-3}$	0
4	8.01	$1.07 \times 10^{-2}$	0
5	1.03	$3.73 \times 10^{-2}$	0
6	1.05	$4.34 \times 10^{-2}$	0
7	1473	7689	7688
8	4.73	0.258	0.161
9	111	136.83	136.81
10	309	507.82	507.50
11	45	43.01	42.50
12	93	62.54	61.53

表 2.3.3.B.4 Results of calculation for VRF

No.	Presence time [min]	$\Sigma(V_{FL} \cdot t)$ [m <sup>3</sup> ·min]	$\Sigma(V_{BVFL} \cdot t)$ [m <sup>3</sup> ·min]
1	157.85	1.622	0.021
2	176.47	2.152	0
3	157.82	0.831	0.011
4	176.42	0.661	0
5	157.82	0.702	0.014
6	176.41	0.583	0
7	157.82	0.725	0.011
8	176.41	0.592	0
9	8.36	$3.14 \times 10^{-2}$	0
10	10.25	$2.14 \times 10^{-2}$	0

#### 壁掛け室内機からの漏えい

表 2.3.3.B.3 からわかるように、家庭用ルームエアコンの壁掛け室内機から微燃性冷媒が漏えいしても、可燃時空積は非常に小さいことがわかる。また、No.1～No.6 に関して、可燃領域内の気流速度を考慮した可燃時空積においては、どれも 0 という結果となった。これは空間内の可燃領域内の気流は燃焼速度以上の速さとなっているため、着火源があっても、冷媒の漏えいによって生まれる対流によって着火が起こらないことを示唆している。ゆえに、室内機内に着火源がない限り、燃焼には至らないと考えられる。

室内機内で燃焼が発生しても火炎が伝播しないような構造にすることで危険を最小限に抑えることができる。火炎は、ある一定以上の隙間がないと伝播しない消炎距離、ある一定以上の隙間がないと通過しない消炎直径というものがある<sup>3.1.1)</sup>。室内機の構造をこの消炎距離、消炎直径よりも小さくすることができれば、燃焼が発生しても危険を最小限に抑えることができると考えられる。

No.7 に関してはプロパンの最大許容充てん量を超えた量の計算ではあるが、可燃時空積のオーダーが他に比べ、105 ほど大きいことから、非常に危険であることがわかる。

No.8 に関しては、プロパンの最少着火エネルギーは 0.246 mJ と、他の R32 や R1234yf の最少着火エネルギーよりも小さく、消炎距離も非常に狭いため、容易に火炎が伝播してしまう。そのため可燃時空積が No.1 から No.6 の 10 倍ほどであっても、他に比べて危険であることには変わりはない。

#### 床置き室内機からの漏えい

床置き室内機は漏えい口が低い位置にあるため、可燃領域は床面に広がり、No.9 は 100 分以上、No.10 に至っては存在時間が 300 分以上と壁掛け室内機に比べ非常に長くなっている。

存在時間が長く、床面全体が可燃領域となることから、可燃時空積が大きくなり、壁掛け室内機に比べリス

クが高くなる。また表 2.3.3.B.3 から、どちらの可燃時空積もほぼ同等の結果となっていることがわかる。これは、可燃領域内のほとんどは、気流が燃焼速度以下となっており、着火源が存在すると、可燃領域ほぼ全域に着火の危険性があることを表している。さらに、LFL は R32 より R1234yf の方が低いために、存在時間が長くなっている。ゆえにリスクは R32 より R1234yf の方が高いという結果になった。

以上のことから、床置き室内機からの漏えいは壁掛け室内機からの漏えいよりリスクが高いことから、使用する場合、換気を行う等、制限を設ける必要があると考えられる。

#### 室外機からの漏えい

表 2.3.3.B.3 から室外機も床置き室内機同様、漏えい口が低いために床面全体に可燃領域が広がり、長い時間可燃領域が存在した。本来、集合住宅のベランダには隣室との仕切りの下部には、数センチ程度の隙間が存在する。また、排水溝も存在するため、実際には漏えいした冷媒は隣室のベランダや排水溝に流れ込み、可燃領域は小さくなると考えられる。

#### ビル用マルチエアコンからの漏えい

表 2.3.3.B.4 を見ると、空気の供給源となる給排気口の存在が存在時間や可燃時空積に大きな影響を与えることがわかる。さらに、VRF は冷媒量が多いために漏えい時間がどちらの冷媒も 2 時間 30 分以上と非常に長い。その影響もあり、可燃領域の体積が小さくても可燃時空積  $\Sigma(VFL \cdot t)$  が家庭用ルームエアコンの壁掛け室内機に比べ、大きくなっている。しかし、気流速度を考慮した可燃時空積  $\Sigma(VBVFL \cdot t)$  は大幅に低下している。R1234yf の場合は、燃焼速度が小さいため、着火の可能性は極めて低いが、R32 は冷媒漏えい検知センサーを設置するだけでなく、警報や換気等、安全対策が必要になると考えられる。

#### (ウ) まとめ

本研究では、空間内に微燃性冷媒が漏えいした場合のシミュレーションと実験により、以下の知見を得た。

- ① 壁掛け室内機からの漏えいでは、可燃領域は漏えい口直下のみ存在し、室内機内に着火源がない限り、燃焼には至らない。
- ② 床置き室内機からの漏えいでは、吹き出し口が低い位置にあるため、可燃領域は床面全体に広がり、使用時には換気を行う等、制限を設ける必要がある。
- ③ 室外機からの漏えいに関しては、室外機ファンが低い位置にあるために、可燃領域は床面全体に広がり、ベランダの構造を鉄格子等にして隙間を多く設ける必要がある。
- ④ 床置き室内機と室外機からの漏えいでは、LFL は R32 より R1234yf の方が低いために、R1234yf の方がリスクが高い。
- ⑤ ビル用マルチエアコンからの漏えいでは、気流速度の条件を考慮すると、可燃領域の体積、存在時間は極めて小さくなる。
- ⑥ 実験から、R32 において壁掛け室内機からの漏えいでは、床面での濃度が LFL に到達しないことが確認できた。

#### (B-2) 低温室効果冷媒の熱分解生成物分析

微燃性冷媒の利用に際してリスクを検討するためには、これらの冷媒の分解の容易性や反応生成物についての知見が必要であるが、HF の反応性の高さにより生成物の定量が困難であるうえ、また R1234yf などのように F 原子数より H 原子数の方が多き物質の場合、湿度の変化により可燃領域を含む反応性および反応生成物の組成が異なるという報告もある。そこで、本研究では、冷媒の熱分解について、主な有毒生成物である HF 等を定量するとともに、その他の生成物の分析を行うことを目的とする。

#### (ア) 実験装置

漏洩した冷媒の分解による HF の生成原因としては、加熱による熱分解および燃焼の両方が考えられるが、熱分解のみを対象とする実験装置を作成した。実験装置は、図 2.3.3.B.6 に示すようにガス混合部・加熱部・測定部・除害部からなる。ガス混合部は、マスフローコントローラを用い、指定の濃度・流量で冷媒と空気等を混合する。また、乾燥空気を加湿し一定湿度の空気を得るため、加湿装置と湿度センサーを取り付けている。加熱部は、長さ 550mm の円管電気炉とその中通されたムライト( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )管(内径 11mm)からなり、ムライト管内に試料ガスを通して加熱し、分解を行う。また、熱電対により管外壁温及び管内温度を 3 点ずつ測定した。管内の熱電対は、熱電対自体の腐食防止のため、加熱管と同材質の保護管(外径 6mm)内に収納さ

れていて、試料ガスは加熱管と保護管の間の、隙間 2.5mm, 断面積約 2.67cm<sup>2</sup> の環状流路を通過する. 測定部には、測定可能な濃度範囲を広げるため、異なる光路長の 2 種類(10cm および 12m)の FT-IR ガスセルを設置し、選択して利用可能にしている. 除害部は、装置を通過した試料ガスを除害装置付きのドラフトチャンバー内に放出するだけでなく、ドラフト内に設置した吸接管内を通した上で放出することで、より実験の安全を図るためのものである.

#### (イ)実験対象物質

冷媒 R32, R1234yf と空気の混合物を対象とした. 別途, 比較対象として R134a 等の従来冷媒の実験を予定している.

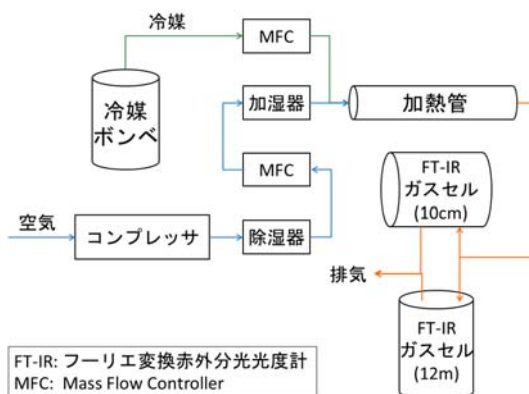


図 2.3.3.B.6 schematic diagram of experimental apparatus

#### 計測機器

生成物を含むガス濃度の測定機器として、日本分光製 FT/IR-4200 および、Harrick 社製ガスセル(光路長 10cm)を用いた. FT-IR を選択した理由は、試料ガスの入っているガスセルの外側に光源や検出器があるため、HF の腐食性による測定器への影響を抑えられるためである.

#### 計測方法

FT-IR による R32 と R1234yf の定量で用いる波数は、H<sub>2</sub>O や CO<sub>2</sub> 等の強いピークと重ならないことおよび、直線性、および可燃範囲以下の濃度での測定において適度な強さであることを考慮し、表 2.3.3.B.5 のように選択した.

HF については、分子間の水素結合の影響が濃度や温度によって変化するため、これまで定量に適するとされている 3877cm<sup>-1</sup>を選択し、HF 濃度が 118, 301, 770ppm の HF+N<sub>2</sub> 標準ガスを用いて検量線を作成した.

表 2.3.3.B.5 Wavenumbers used for quantification

Material	Wavenumber[cm <sup>-1</sup> ]	Corresponding bond
R32	2947	-CH <sub>2</sub> -
R1234yf	1356	C=C
HF	3877	HF

#### 実験条件

実験条件として以下のパラメータを設定した.

1. 加熱面温度: 450~700° C
2. 冷媒濃度: LFL 以下の数点
3. 冷媒と空気を合わせた流量: 100~200ml/min
4. 湿度: 0~60%RH

#### (ウ) 実験結果

##### 冷媒の分解

まず、加湿していない場合の加熱後の冷媒の残存率を、R32,R1234yf のそれぞれについて、冷媒濃度

(vol.%)をパラメータとして図 2.3.3.B.7, 図 2.3.3.B.8 に示す. 記載の流量は空気と合わせた合計である. 2 種の冷媒ともに, 加熱部の温度が 500° C 以下ではほとんど分解されておらず, 550~600° C 以上で残存率が低下している.

次に, 加湿をした場合の R1234yf の残存率と湿度の関係を図 2.3.3.B.9, 図 2.3.3.B.10 に示す. R1234yf は湿度によって反応性が異なるとの報告もあるが, この結果からは反応性の差が見られない.

### 分解生成物

図 2.3.3.B.11 に, 図 2.3.3.B.7 で示した R32 の測定における HF 生成量を示す. 温度・濃度の上昇によって HF 生成量は増加しているが, R32 濃度にほぼ比例すると予想されるのに対しその差が小さく, また量そのものも予想の  $1/10 \sim 1/30$  となっている.

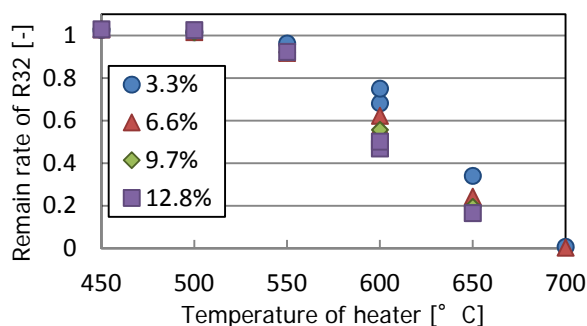


図 2.3.3.B.7 Remain rate of R32 and heater temperature (dry, total 100ml/min. with air)

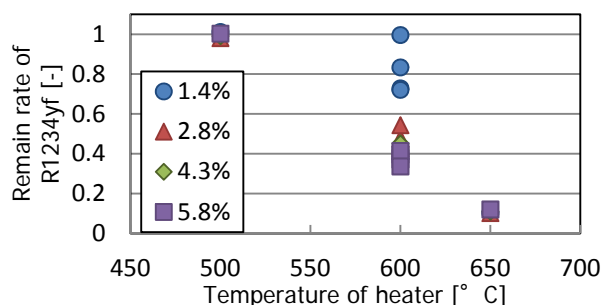


図 2.3.3.B.8 Remain rate of R1234yf and heater temperature (dry, total 100ml/min. with air)

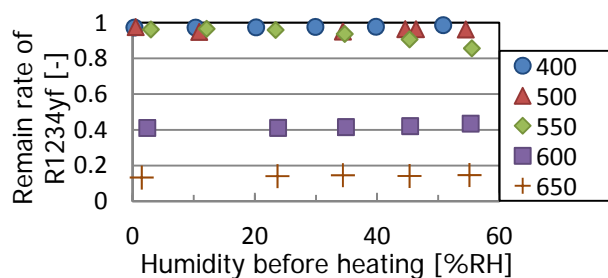


図 2.3.3.B.9 Remain rate of R1234yf and humidity (total 100ml/min, 2.8vol. % in air)



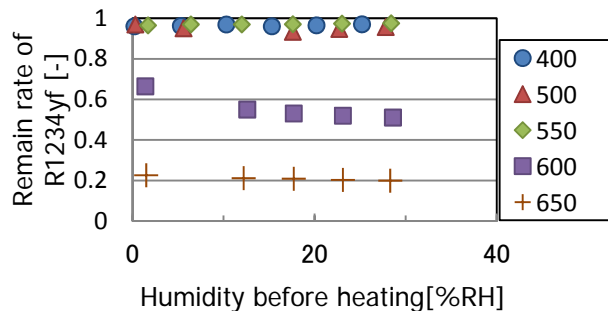


図 2.3.3.B.10 Remain rate of R1234yf and humidity (total 200ml/min, 2.8vol. % in air)

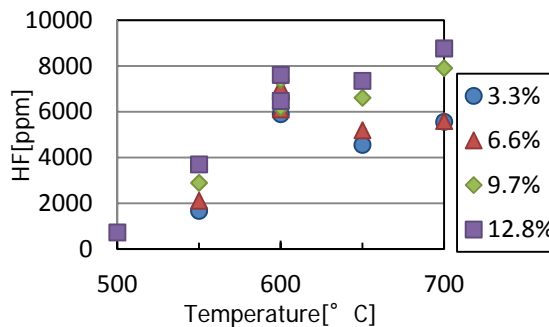


図 2.3.3.B.11 Hydrogen fluoride and heater temperature (R32, dry, total 100ml/min. with air)

R1234yf の測定においては、温度・湿度に関わらず HF の検出量が小さく検出できなかった。これについては、HF の生成がなかったのではなく、R1234yf あるいはその分解生成物が、加熱管壁面において HF を何らかの形で吸着していると推測されるが、機構については明らかではない。

(エ)まとめ

ムライト管を用いた R32 と R1234yf の実験での、熱分解速度が大きくなり始める温度は R32 については 500～550° C, R1234yf については 500～600° C であった。しかし、湿度の影響については、壁面の影響を強く受けていることから検出されなかった。今後、壁面材質が分解反応に与える影響を検討する必要がある。

### (B-3-1) 微燃性冷媒, 潤滑油, 空気の混合ガスの圧縮による自己着火燃焼

微燃性冷媒を用いた冷凍機器の冷媒のポンプダウン(冷媒回収)の際に想定される事象として, 微燃性冷媒, 潤滑油, 空気の混合ガスの断熱圧縮による温度上昇が潤滑油, 冷媒の自己着火燃焼を引き起こし圧力上昇による機器への損傷が考えられる. 関連した事故に, エアコンの室外機の破壊事故が報告されている. 本報告は, 微燃性冷媒 (R32, R1234yf), 潤滑油, 空気の混合ガスを模型エンジン内で圧縮実験を行い, 自己着火燃焼の有無, 条件について調べたので報告する.

#### (ア) 実験装置と実験方法

図 2.3.3.B.12 に実験装置の概略を示した. 装置は主に, 冷媒ガス供給系, 空気供給系, 潤滑油供給系にモーター駆動によるコンプレッサー(模型エンジン)から構成している.

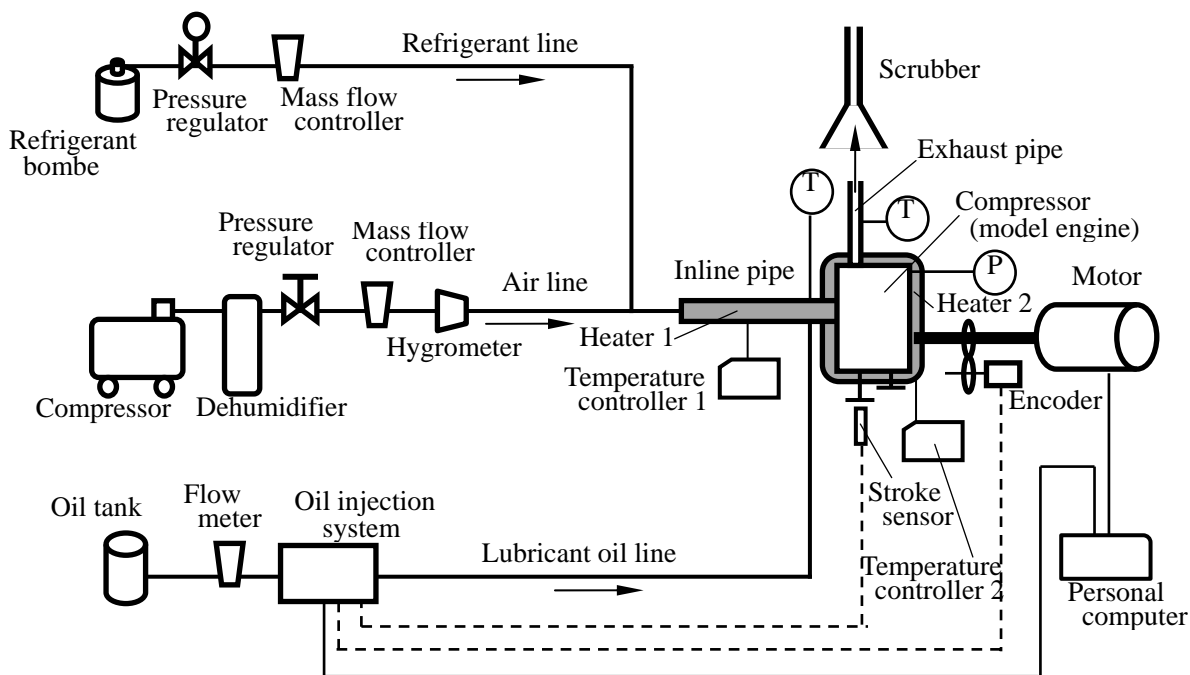


図 2.3.3.B.12 Experimental apparatus

#### コンプレッサー

コンプレッサーに模型エンジン(4 サイクル R155-4C, 行程容積 25.42cc, 圧縮比 6.7:塩谷製)を用い, エンジンのクランクシャフトに直結したモーター(サーボモーター HF-JP703(B):三菱電機製)により駆動した. 回転数はパーソナルコンピューターにより制御した.

#### 空気供給系

空気はコンプレッサー(オイルレスエアコンプレッサ 39L/ACP-160SL:EARTH MAN 製)で 0.7MPa に圧縮し, 除湿機(エアードライヤー GK3103D:CKD 製)を通り減圧弁で 0.4MPa に減圧した. その後, 空気はマスフローコントローラ(Model8500:コフロク製)で流量を制御し湿度計(温湿度トランスミッター EE33-MFTE3022HA03D05:テクネ計測製)を通り吸気口に入る.

#### 潤滑油供給系

潤滑油はオイルタンクから流量計(微小流量計 MODEL213-311/295:東洋コントロールズ製)を通り燃料噴射システム(コモンレール電子制御燃料噴射システム, FC デザイン製)により, 圧力 150~180MPa から潤滑油を噴霧状に供給した. 潤滑油はエンジン吸気口の上流, 約 6cm の位置から吸気口方向に噴射した. 噴射は, エンコーダーと行程センサーから噴射のタイミングを決定した.

#### 冷媒ガス供給系

冷媒はボンベからガス状態で減圧弁に入り 0.3MPa に減圧し, マスフローコントローラ(FCST1500FC:フジ

キン製)で流量制御し空気と混合後に吸気口に入る。

表 2.3.3.B.6 Refrigerant and lubricant oil

Item	Test substance
Refrigerant	R1234yf, R32
Lubricant oil	PAG(VG46)

混合気のコンプレッサーの吸気口の入口温度は、吸気管(内径 10mm のステンレス管)の外周に巻いたヒーター1 で加熱し温度コントローラー1 で制御した。コンプレッサー(模型エンジン)周囲はヒーター2 で加熱し温度コントローラー2 により、混合気の吸気口の入口温度と同じ温度になるよう制御した。

使用した冷媒と潤滑油は表 2.3.3.B.6 に示した。潤滑油の流量は、エンジンの回転数と行程容積で決まる空気流量から理論空燃比を基準に決定した。潤滑油の CHO 成分の分析結果(SVC 東京による分析)を表 2.3.3.B.7 に示した。PAG (VG46)の理論空燃比は 9.5 となった。実験パラメータは、回転数、混合気体の吸気口の入口温度、オイル流量、冷媒流量とした。

実験 1 は空気と潤滑油の混合気体における自己着火燃焼を調べる場合で、実験条件は表 2.3.3.B.8 に示す範囲で行った。主に潤滑油流量は理論空燃比となるように設定した。回転数 500rpm の場合、理論空燃比相当の油量を 100 とすると、油量を 60~120 に変化させて油量の薄い、濃い、の影響を調べた。

実験 2 は実験 1 を踏まえ、空気と冷媒 R1234yf と潤滑油の混合気体の場合で、実験条件は表 2.3.3.B.9 に示した。総流量は空気流量と冷媒流量の和にとり油量は無視した。表 2.3.3.B.9 の冷媒の流量は全流量の 2~9 割の範囲にあたる。

実験 3 は空気と冷媒 R32 と潤滑油の混合気体の場合で、実験条件は表 2.3.3.B.10 に示した。冷媒 R32 の流量は全流量の 3~9 割にあたる。なお、実験 2,3 の潤滑油の流量は理論空燃比になるように設定した。

実験は、所定の流量、吸気口における混合気体の所定の温度、回転数、油噴射の下で行いデータを収録した。

表 2.3.3.B.7 CHO component analysis of oil

PAG(VG46)	mass%
C	61.7
H	10.5
O	26.2

表 2.3.3.B.8 Conditions of experiment 1

Air-oil mixing gas	
Rotational speed [rpm]	500~1500
Air flow rate [l/min]	6.3~18.8
Inlet air temperature [°C]	25~300
Oil flow rate [l/min]	$(5.1\sim 25.7)\times 10^{-4}$

表 2.3.3.B.9 Conditions of experiment 2

Air-R1234yf-oil mixing gas	
Rotational speed [rpm]	500~1000
Total flow rate [l/min]	6.3~12.5
Inlet mixture gas temperature [°C]	260
R1234yf flow rate [l/min]	2.5~12.5

表 2.3.3.B.10 Conditions of experiment 3

Air-R32-oil mixing gas	
Rotational speed [rpm]	500~1250
Total flow rate [l/min]	6.3~15.6
Inlet mixture gas temperature [°C]	260
R32 flow rate [l/min]	5~14.1

#### (イ) 実験結果

本実験では、実験 1 で主に吸気口における混合気の入口温度を変化させて実験を行い、潤滑油の自己着火が発生する入口温度条件を調べた。実験 2, 3 では実験 1 で得られた自己着火の起こる入口温度条件下において、それぞれ冷媒 R1234yf, R32 の混合気体の実験を行い、実験 1 との比較で着火の有無を検討した。なお、自己着火の判断はシリンダー内の圧力、排気ガスの温度(排気口に設置した熱電対)、排ガス分析(燃焼排ガス分析計 testo340:テストー製)と排ガスの目視観察により判断した。

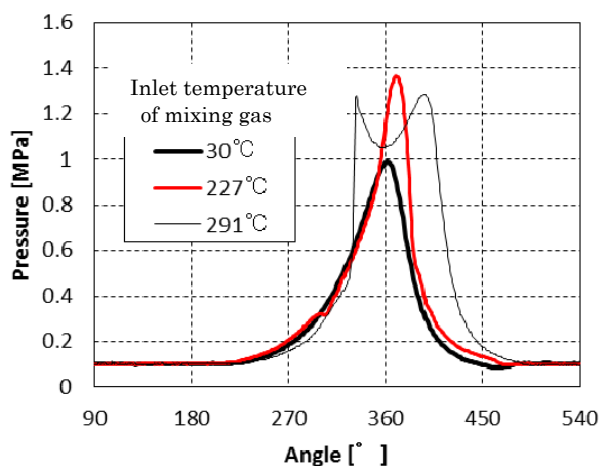


図 2.3.3.B.13 Pressure changes for 500ppm

#### 実験 1 の結果

図 2.3.3.B.13 に吸気口における混合気体の温度を変えたときのシリンダー内の代表的な圧力変化を示した。実験条件は回転数 500rpm、潤滑油は理論空燃比となる流量である。図の横軸は回転角度を示し、ピストンの最高の位置(上死点)を基準に示した。入口温度 30°C の時は 220° あたりから圧力の上昇があり 360° で最高圧力 1MPa に達した後減圧する。圧力変化は滑らかな上昇と下降である。470° あたりで排気弁が開き始め、圧力は大気圧となる。このような圧力変化の時にはエンジンの回転音は静かであり、排気口の排気ガスの温度は入口温度とほぼ同じでガスは透明であった。入口温度 227°C 位に上昇すると、エンジンの回転音はガツンガツンという異音を発するようになり、圧力波形にも変化(300° あたり)が現れる。最高圧力は 1.35MPa に上昇する。このような場合、排気ガスの温度が入口温度よりやや上昇し、ガスの色はやや白みをおびる傾向がある。入口温度が 291°C に上昇すると、回転音の異音、330° 過ぎに圧力の急上昇で圧力は 1.3MPa まで上昇し、その後 1.05MPa まで下がり再び上昇し減圧する。このような場合は、排気ガス温度は入口温度より 20~50deg 上昇し、排気ガスの色は白くなる。これらの変化は再現性がある。排気ガスの分析結果は、吸気口の混合ガス温度が 150°C の場合の O<sub>2</sub>, CO, NO 濃度は、それぞれ 21%, 500ppm, 3ppm に対して、250°C の場合は、12%, 2200ppm, 300ppm であった。150°C から 250°C になると、O<sub>2</sub> 濃度が低下し、CO, NO 濃度は共に増加していることが分かる。これらから 250°C では燃焼が起こっていると推察できる。

回転音、圧力変化、排気ガス温度、排気ガスの色、排気ガス分析などから入口温度が 200~230°C 以上で自己着火が起こったと判断した。

潤滑油の噴射時間を調節することにより、吸気口の混合ガス温度 280, 300°C で潤滑油の濃さの影響を調べた。理論空燃比にあたる油量を 100%として、油が濃い 120%の圧力変化は Fig. 3.1.18 中の 291°C の変化と相似で、圧力の第 1 のピークと第 2 ピークが広がる(約 90° の幅)。油が薄くなるとピーク幅が小さくなり 70%では圧力のピークは一つになる。最大圧力は 0.8~1.5MPa の範囲であった。

回転数を 500~1500rpm に変化させてその影響を調べた。実験条件は理論空燃比相当の潤滑油流量、吸気口の混合ガスの温度は約 290°C とした。その結果、圧力波形は図 2.3.3.B.13 の 291°C の波形に類似し、回転数が高くなると圧力の第 1 のピーク値は 1.4~1.7MPa に上昇し、第 2 ピーク値は 1.4~2.4MPa でそれぞれ増加する。回転数に対する圧力の第 2 ピーク値の増加は大きい。回転数の増加で圧力の急上昇から急降下までの時間が長くなった。

潤滑油の噴射のタイミング(図 2.3.3.B.13 の横軸上の 90~225° の範囲)の影響を調べた。圧力変化には有意の差は現れなかった。

### 実験 2 の結果

実験 1 の結果を踏まえ、自己着火が発生すると考えられる吸気口の混合ガス(R1234yf+空気+潤滑油噴霧)の温度を 260℃に設定し、表 2.3.3.B.9 の条件で実験を行いその結果を示す。

図 2.3.3.B.14 に R1234yf が混入した場合と混入しない場合の結果を示した。冷媒混入のとき、冷媒と空気の体積流量は同じにし、潤滑油量は理論空燃比となるよう設定した。図のように冷媒 R1234yf が混入した場合は、圧力波形は自己着火のない波形に近く、最高圧力は約 0.7MPa で低い。圧力波形、最高圧力、回転音、排気ガス、排気ガス温度などから判断し、自己着火は起こっていないと考えられる。回転数(500~1000rpm)、全流量に対する冷媒流量の体積割合(17~90%)を変えて実験を行った。実験範囲内において冷媒 R1234yf の混入では自己着火は起こらなかった。

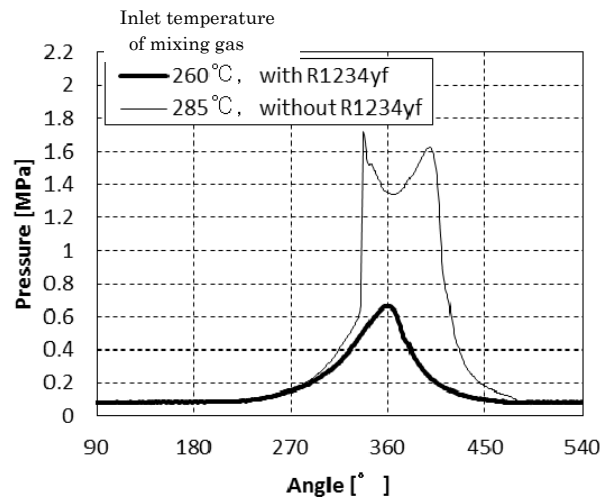


図 2.3.3.B.14 Pressure changes of mixing gas with refrigerant R1234yf

### 実験 3 の結果

図 2.3.3.B.15 に冷媒 R32 の混入する場合としない場合の圧力変化を示した。実験条件は回転数 1250rpm、全流量に対する冷媒の流量割合は 4 割である。図中の圧力波形で冷媒なしの場合、圧力のピークが 2 つ現れ第 2 ピークが 450° あたりで 2.3MPa まで上昇している。図 2.3.3.B.15 の冷媒なしの圧力波形と比較し、第 2 ピークは角度、圧力の値において異なる。詳細な検討を要すると考えている。図中の冷媒 R32 を混入した圧力波形は、最高圧力が 0.8MPa を示すが自己着火を示すような変化は見られない。しかし、回転数の増加で最高圧力の増加がみられること、自己着火が起こるとみられる場合の白煙も観察された。

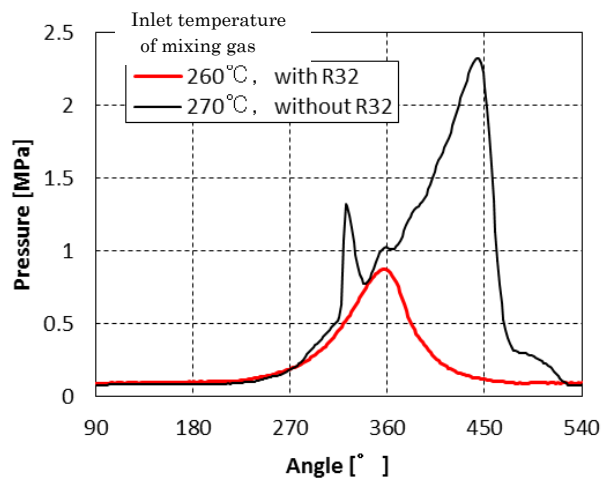


図 2.3.3.B.15 Pressure change of mixing gas with refrigerant R32

### (ウ)まとめ

潤滑油に冷媒 R1234yf 用の PAG(VG46)を用い、空気-潤滑油の混合ガスをガス温度を変えて圧縮し、自己着火の有無、自己着火の条件を調べた。さらにその結果を踏まえ、冷媒 R1234yf の混合ガス、R32 の混合ガスの圧縮実験を行った。R1234yf 混合ガスの場合は、自己着火が起こったと判断することはできなかった。R32 混合ガスの場合も自己着火が起こったと判断することはできなかったが、圧力の上昇、自己着火燃焼に見られる白煙が見られるなど、実験条件の範囲を広げさらなる実験検討が必要である。今後は、冷媒 R32 用の潤滑油(エーテル油)で行い、自己着火燃焼の有無を調べる予定である。

### (B-3-2)微燃性冷媒のリスク評価研究会活動

平成 23 年度に微燃性冷媒のリスク評価の適正さを第三者の立場から検討することを目的として、日本冷凍空調学会の中に微燃性冷媒のリスク評価を検討する研究会が設置された。日本冷凍空調工業会や日本自動車工業会が具体的なリスク評価を行っている。「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」のプロジェクトリーダーを務めている本学の飛原が主査を、副プロジェクトリーダーの藤本悟氏(ダイキン工業)が幹事を引き受け、委員各位の協力を得ながら、精力的に研究調査を進めている。平成 24 年度も定期的に研究会を開催し、英文と和文のプログレスレポートを作成し、その成果を世界に発信することに努めた。

### (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担当)

#### (C-1) 冷媒の実用上の燃焼限界評価方法の開発と評価

##### (C-1-1) 主な 2L 冷媒化合物の燃焼限界の温度・湿度依存性

冷媒は種々の条件で使用するため、燃焼限界の温度依存性は重要である。マルチフッ素化合物であれば湿度の影響を受けるものもある。ここでは、主な 2L 冷媒化合物について、燃焼限界の温度・湿度依存性の測定を行った。

燃焼限界の測定は ASHRAE 法に則って行った。内容 12L のガラス製球形容器は温度制御された空気槽中に設置されている。容器のフランジは緩いバネで押さえる方式である。また、空気の湿潤調整は、12L 容器中に計算量の純水を直接注入し蒸発させた。

#### (ア) 温度依存性について

一般の可燃性ガスの燃焼限界の温度依存性については、基本的に White 則に基づいて予測することができる。2L 冷媒のように弱燃性のガスについても同様のことが期待できるものか確かめる必要がある。ここでは、2L 冷媒のうちアンモニア、R32、R143a、R1234yf、及び R1234ze(E)について測定を行った。このうち R1234yf については乾燥空気中と湿潤空気中のそれぞれで測定を行った。また、R1234ze(E)については、湿潤空気中でのみ測定を行った。ここでの湿潤空気は 23°C 換算で 50%の湿度である。測定結果を表 2.3.3.C.1 に示す。

表 2.3.3.C.1 代表的な微燃性冷媒の燃焼限界の温度依存性

冷媒	温度係数	予測値	温度係数	予測値
アンモニア	-0.0086	-0.0095	0.0208	0.0189
R32	-0.0070	-0.0064	0.0091	0.0133
R143a	-0.0051	-0.0038	0.0080	0.0093
R1234yf (dry)	-0.0133	-0.0029	0.0102	0.0052
R1234yf (wet)	-0.0045	-0.0028	0.0098	0.0071
R1234ze(E) (wet)	-0.0104	-0.0029	0.0174	0.0061

ここで、予測値は、White 則に基づいて下限界及び上限界についてそれぞれ得られた次の二式で計算した値である。

$$L = L_{25} \left\{ 1 - \frac{100C_{p,L}}{L_{25} \cdot Q} (t-25) \right\} \quad (2.3.3.C.1)$$

及び、

$$U = U_{25} \left\{ 1 + \frac{100C_{p,L}}{L_{25} \cdot Q} (t-25) \right\} \quad (2.3.3.C.2)$$

この結果を見ると、アンモニアの燃焼限界の温度依存性は予測とよく合っている。また、R32 については上限界のずれがやや大きく、逆に R143a については下限界のずれがやや大きい、いずれもまずまずの一致といえよう。それに対して、特に乾燥空気中における R1234yf と湿潤空気中における R1234ze(E) とは、温度依存性が予測値と比べてかなり大きくなっている。この二つの化合物は燃焼力が一段と弱いため、それが温度依存性を大きくしているのであろう。

#### (イ) 湿度依存性について

フッ素原子は水素原子と結合して HF を形成しようとする傾向が強いため、分子中のフッ素原子数が水素原子数よりも多い化合物では、燃焼の際に空気中に水分があれば水素原子を引き抜くため、乾燥空気中での燃焼に比べて燃焼反応が加速されて燃焼範囲が拡大する可能性がある。従って、空気の湿度により燃焼範囲がどのように変化するか調べておく必要がある。図 2.3.3.C.1 は、R1234yf 及び R1234ze(E) についての測定結果である。

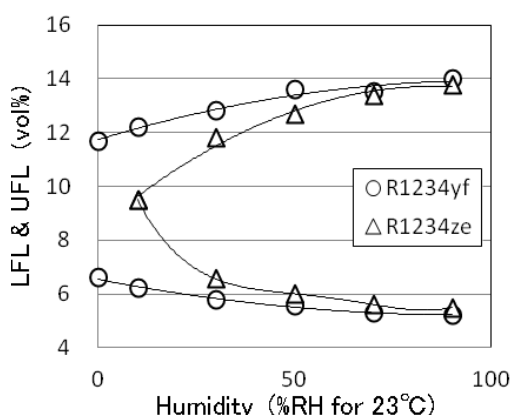


図 2.3.3.C.1 R1234yf と R1234ze(E) の燃焼限界に及ぼす湿度の効果

燃焼限界の測定温度は 35°C であるが、空気の湿度は 23°C 換算の相対湿度で表わされている。上限界は湿度と共に上昇し、下限界は低下することが分かる。全般的に、湿度の小さいところでは変化が顕著であるが湿度の増加と共に変化は次第に緩やかになる。R1234ze(E) は湿度が 10%RH 以下では不燃性である。なお、分子中に十分水素のあるアンモニアと R32 の燃焼限界はいずれも湿度の影響をほとんど受けないことが確認された。

#### (ウ) 不燃性冷媒の高湿度条件下における可燃化

前項に述べたように、マルチフッ素化合物の燃焼性は、空気中の湿度の影響を受けることが多い。これは余剰のフッ素原子が新たな水素原子を求めて水蒸気と反応するためである。従って、マルチフッ素化合物であれば、通常温度湿度条件では不燃性であっても、ある程度の高湿で湿度を高くしてやれば可燃性になる可能性がある。ここでは、R410A、R410B、R134a の各不燃性冷媒について、温度 60°C で湿度 50%RH の条件下で測定したところ、いずれも可燃性になることが判明した。その際の燃焼限界は表 2.3.3.C.2 のようであった。

表 2.3.3.C.2 不燃性冷媒の、温度 60 °C、相対湿度 50%RH における燃焼限界

冷媒	下限界		上限界	
	vol%	±	vol%	±
R134a	11.5	0.3	15.9	0.4
R410A	15.6	0.2	21.8	0.4
R410B	16.3	0.3	20.9	0.4

#### (エ) アンモニアとマルチフッ素化合物の二元混合系の燃焼限界

前項、前々項に述べたように、マルチフッ素化合物の燃焼性は、空気中の湿度の影響を受けること

が多い。これは余剰のフッ素原子が新たな水素原子を求めて水分と反応するためである。それでは水分の代わりにアンモニア等であればどうか。もし反応するようであれば、その混合系の燃焼限界はル・シャトリエ式の予測と大きくずれてくる可能性がある。ここでは R1234yf、R1234ze(E)、R134a、R125 の 4 種類の化合物を取上げ、それぞれとアンモニアとの混合系について測定を行った。測定はすべて ASHRAE 法に則って行った。温度は 35 である。

まずは、アンモニアと R1234yf の場合の燃焼限界の測定結果を図 2.3.3.C.2 に示す。○が実測値である。点線はル・シャトリエ式による予測値であるが、全般的に実測値と大きく異なっていることが分かる。アンモニアに R1234yf を添加し始める初期はほぼ予測値に沿って変化するが、逆に R1234yf にアンモニアを添加した場合はいきなり予測値からずれてくる。乖離の大きさは上限界で特に顕著である。

それでは、こうしてル・シャトリエ式から大きく乖離する測定値をどのような数式に載せて説明したらよいであろうか。数式に載せることは予測技術確立への第一歩になる。基本はル・シャトリエ式の修正ということになるが、今回のように添加とともにいきなり大きく乖離して行く場合には、添加濃度ゼロから急勾配で上昇するような補正項が必要である。そのような変化をする関数として、原点に縦に接する楕円関数が考えられる。結局、次のような修正式を導入することにした。

$$1/L = (c_{am}/L_{am}) \left( 1 + p_1 c_{yf} + p_2 \sqrt{c_{yf} - c_{yf}^2} \right) + (c_{yf}/L_{yf}) \left( 1 + p_3 c_{am} + p_4 \sqrt{c_{am} - c_{am}^2} \right) \quad (2.3.3.C.3)$$

ここで、L、L<sub>am</sub>、L<sub>yf</sub> はそれぞれ混合系、アンモニア、R1234yf の燃焼限界、c<sub>am</sub>、c<sub>yf</sub> はアンモニア及び R1234yf の混合分率で c<sub>am</sub>+c<sub>yf</sub> = 1 である。また、p<sub>1</sub>、p<sub>2</sub>、p<sub>3</sub>、p<sub>4</sub> は測定値にフィットするためのパラメータである。図 2.3.3.C.2 の実線はこの式を実測値にフィットするようにパラメータ値を決めることにより得られた計算値である。計算値は実測値をよく再現していることが分かる。

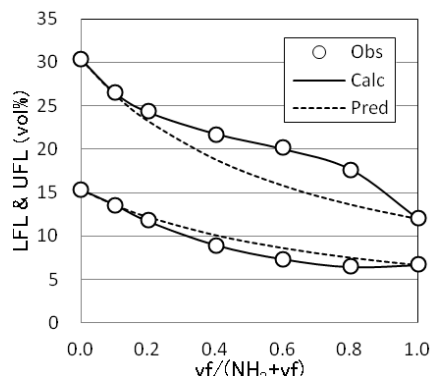


図 2.3.3.C.2 NH<sub>3</sub>-R1234yf 系における燃焼限界

次に、図 2.3.3.C.3 に R1234ze(E) とアンモニア混合系の燃焼限界の実測値を○印で示した。R1234ze(E) は不燃性であるが、アンモニアが 4%以上混合されると可燃性となる。アンモニアが 20%以上では、燃焼限界は R1234yf の場合と殆ど同じになる。しかしこの場合は、アンモニアがゼロであれば不燃性であるから、可燃性と不燃性の混合ということであり、(2.3.3.C.3)式をそのまま使用することはできない。しかし、(2.3.3.C.3)式はこのような変化をする実測値の説明に適合しているように考えられたので、その基本形はそのまま維持し、横軸を引きのばしてこの系に应用することにした。結局、この系に用いるために次のような式を考案した。

$$1/L = (x_{am}/L_{am}) \left( 1 + q_1 x_{ze} + q_2 \sqrt{x_{ze} - x_{ze}^2} \right) + (x_{ze}/L_{FIP}) \left( 1 + q_3 x_{am} + q_4 \sqrt{x_{am} - x_{am}^2} \right) \quad (2.3.3.C.4)$$

ここで、L、L<sub>am</sub> はそれぞれ混合系及びアンモニアの燃焼限界、L<sub>FIP</sub> はこの系の FIP における燃焼限界の収束値である。また、FIP における R1234ze(E) の混合分率を c<sub>FIP</sub> とし、f = 1/c<sub>FIP</sub> とすると、x<sub>ze</sub> = c<sub>ze</sub>f、x<sub>am</sub> = 1-x<sub>ze</sub> である。また、q<sub>1</sub>、q<sub>2</sub>、q<sub>3</sub>、q<sub>4</sub> は測定値にフィットするためのパラメータである。図 2.3.3.C.3 の実線は、この式を最小二乗法で実測値にフィットするこ



とにより得られた計算値である。計算値は実測値をよく再現している。

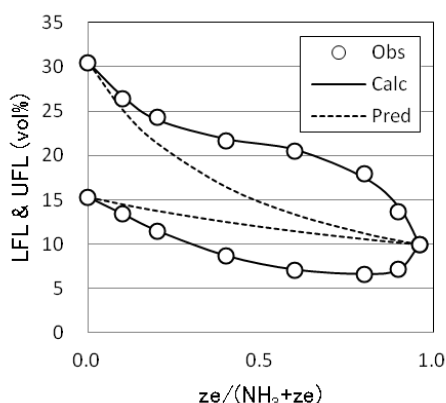


図 2.3.3.C.3 NH<sub>3</sub>-R1234ze(E)系における燃焼限界

一方、R134a 及び R125 の二者も、それぞれ単独では不燃性である。また、アンモニアを添加して行き可燃性になった初期の燃焼限界の変化が大きいことでも R1234ze(E)の場合と同様である。従って、実測値の解析には(2.3.3.C.4)式を用いるのが適当である。解析の結果、実測値は(2.3.3.C.4)式により良く説明できることが分かった。

#### (オ) 限界メタン濃度について

CFC 代替は、性能と安全性のバランスを得るために混合物として開発されることが少なくない。これには可燃性・不燃性両成分を含むことが多い。そうした物質の燃焼性を正しく評価するためには、不燃性の程度を定量的に評価することが必要になるが、これまでそうした方法は確立されていない。そこで、暫定的な試みになるが、ここでは不燃性を評価する指標として限界メタン濃度 LMC というものを考えてみた。

LMC とは、特定の不燃性化合物にメタンを加えていった時に初めて可燃領域が現れるその限界のメタン濃度である。逆に、メタンに少しずつ不燃性成分を加えていけば、燃焼限界測定における FIP を求める操作になる。従って、LMC を求める操作は FIP を求める操作と同等である。

そこで、LMC の考え方の有効性を調べるために、実際にいくつかの不燃性化合物について LMC の値を求めてみた。測定を行った化合物は、R134a、R1234yf、CF<sub>2</sub>=CFCF<sub>3</sub>、HCFC-22、CFC-12、CFC-11、ジクロロメタン、クロロホルム、四塩化炭素である。その他に、既に FIP の測定データがあるものとして、窒素、二酸化炭素、R125 がある。

ところで、混合物の場合であれば濃度が違えば LMC の値も異なってくる。従って、個別の化合物の値から混合物についての値が予測できることが望ましい。この場合、可燃性成分・不燃性成分の境界を挟んで濃度に対して線形に変化するような指標があれば、単純な平均によって混合物の燃焼性を予測することができるであろう。

そこで、メタン-窒素系を代表例として取り上げ予備的に検討した結果、次式で定義される F<sub>x</sub> ナンバーであれば、この条件を比較的良好に満足することが見出された。

$$F_x = \left( \frac{U-L}{L} \right)^2 = \left[ \frac{F(2-F)}{(1-F)^2} \right]^2 \quad (2.3.3.C.5)$$

図 2.3.3.C.4 は、メタン-窒素系において、希釈度が変化した時に F ナンバー (黒丸) と F<sub>x</sub> ナンバー (白丸) がどのように変化するか示したものである。ただし、便宜上 F<sub>x</sub> ナンバーの値は、窒素添加率がゼロつまりメタン 100%の時に F ナンバーの値 (0.44) に重なるように規格化してある。F ナンバーに比べて F<sub>x</sub> ナンバーはかなり直線性がよいことが分かる。今後、これを種々の系に応用した場合にどの程度の予測精度が得られるか広範な検討を行ってゆく必要がある。

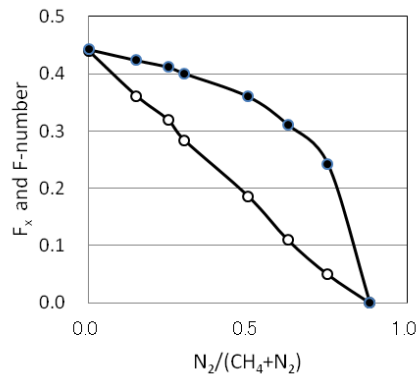


図 2.3.3.C.4  $CH_4-N_2$  系における  $F_x$  ナンバー

(C-1-2) 熱分解生成物の評価

流通式反応管を用いて R-1234yf 等の冷媒の熱分解について検討した。実験装置の概略を図 2.3.3.C.5 に示す。冷媒と空気流量の計測と制御は校正したマスフローコントローラで行い、冷媒/空気混合気は連続的に反応管(インコネル製、外径 1/2 インチφ、内径 10.2mmφ、長さ 44cm)に供給した。反応管は所定の温度に保った電気炉内に設置し、反応管内の温度は外径 1mmφ のシース熱電対(Type K)で測定した。冷媒の熱分解で生成した HF 等で熱電対が腐食されるのを防ぐため、反応管の中心軸上に熱電対保護用の鞘管(インコネル製、外径 1/8 インチφ、内径 1.4mmφ、長さ 62cm)を貫通させ、鞘管の中に熱電対を挿入して温度の測定を行った。反応後の未反応の冷媒濃度と HF 等の分解生成物の濃度は FT-IR(セル長 10cm、ZnSe 窓板)で測定した。未反応の酸素濃度はガスクロ(TCD 検出器、Ar キャリアー、3mmφ×3m 長の SUS カラムに Molecular Sieve 13X-S を充填、カラム温度 30°C)で測定した。反応管直後の位置で反応ガスに窒素を添加し、IR の吸収強度が適当になるように調節した。IR セルを通過したガスの一部は、ソーダライム管を通してガスクロに導入して酸素濃度の測定を行った。また、残りの反応ガスはソーダライム筒で処理した後、系外に放出した。測定は室温から開始し、段階的に温度を上げて、温度が定常状態になった後に FT-IR とガスクロで濃度の測定を行った。

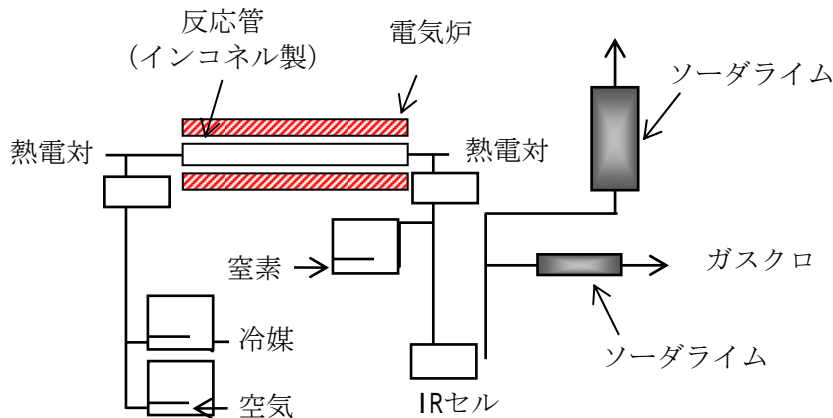


図 2.3.3.C.5 実験装置の概略

図 2.3.3.C.6 に R-1234yf ( $CH_2=CF_2CF_3$ )の実験結果を示す。図で酸素の消費率と HF 等の生成率は供給した R-1234yf の 1 モルに対して消費された酸素のモル数と HF 等の生成モル数である。図は 3 回の繰り返し実験の結果を纏めて示してあるが、各々の実験のバラツキは小さく、再現性の良い結果が得られている。R-1234yf と酸素の消費は約 600°C までは殆ど認められないが、600°C 付近で R-1234yf と酸素の消費は急激に大きくなった。熱分解による主な生成物は、HF、 $COF_2$ 、 $CO_2$ 、及び CO であるが、これらの生成も 600°C 付近から急激に大きくなるのが分かった。R-1234yf の消費率等は、洗浄によって反応管内に付着している熱分解生成物を除去したクリーンな反応管を用いた場合と以前に熱分解実験に使用し熱分解生成物が付着した状態の反応管をそのまま用いた場合で違いは認められなかった。図に示したように、700°C では供給した R-1234yf は約 90%消費され、供給した 1 モルの R-1234yf

に対して HF が約 2 モル、COF<sub>2</sub> が約 0.4 モル生成することが分かった。

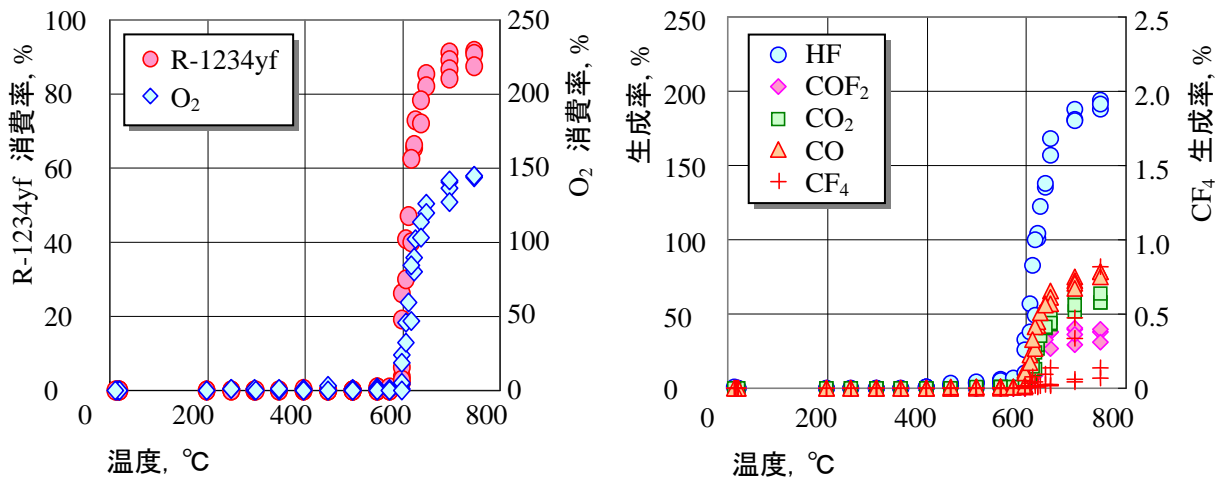


図 2.3.3.C.6 R-1234yf の熱分解実験結果  
R-1234yf=7.8vol% (  $\eta$  =1)、R-1234yf/空気流量=100cm<sup>3</sup>/min

図 2.3.3.C.7 に R-22 (CHF<sub>2</sub>Cl) の熱分解実験の結果を示す。以前に実験に使用し反応管内に熱分解生成物が付着した状態の反応管を用いた場合 (図の○印) は、R-22 の消費は約 350°C以上の温度で認められたが、酸素の消費と HF 等の生成は約 450°Cまで認められなかった。一方、洗浄によって生成物を除去した反応管を用いた場合は、R-22 と酸素の消費、及び HF 等の生成は約 450°C以上の温度で認められた。約 450~650°Cの温度では、温度の上昇に伴い R-22 と酸素の消費、及び HF 等の生成は徐々に増加したが、温度の上昇に伴う消費率と生成率の増加の割合は R-1234yf 及び後述の R-1234ze(E) に比べて小さいことが分かった。なお、一旦 600°C以上の温度まで昇温した後、直ちに室温から再測定した場合は、図に●印で示すように R-22 の消費率は○印で示した付着物がある状態の反応管を用いた場合よりも明らかに大きな値となった。図に○と●印で示した、反応管に熱分解生成物が付着している場合の R-22 の消費率に違いが生じるのは、R-22 の分解が付着物の状態に大きく依存していることを示唆している可能性が考えられる。

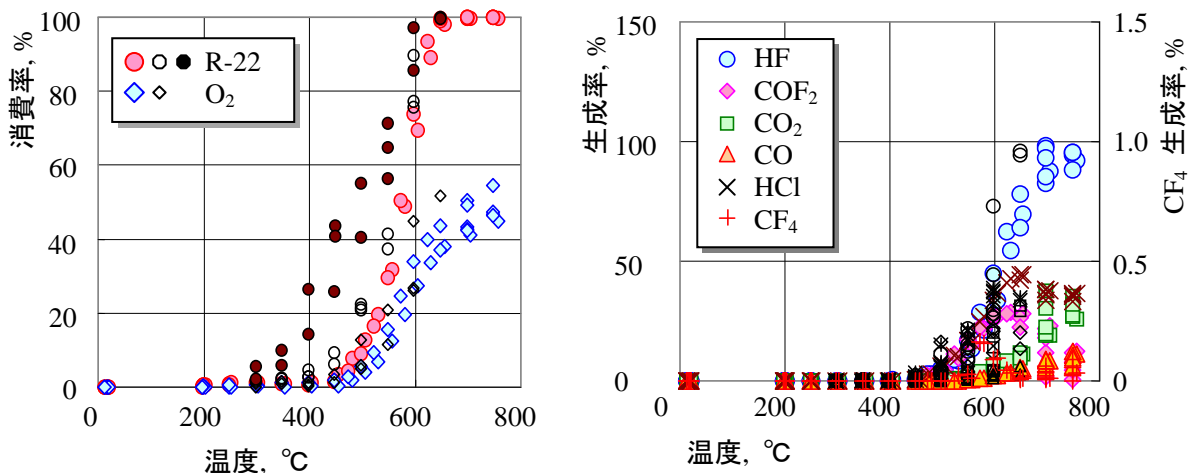


図 2.3.3.C.7 R-22 の熱分解実験結果  
R-22=21.9vol% (  $\eta$  =1)、R-1234ze(E)/空気流量=100cm<sup>3</sup>/min。  
○、◇、□、△、\*、●は熱分解生成物が付着した状態の反応管を用いた場合の結果

図 2.3.3.C.8 に R-1234ze(E) ((E)-CHF=CHCF<sub>3</sub>) の熱分解実験の結果を示す。未使用の反応管を用いた場合は、R-1234ze(E) の消費は約 550°C以上の温度で認められ、酸素の消費と HF 等の生成は約 600°C以上の温度で認められた。一方、以前に熱分解実験に使用し分解生成物が付着した状態の反応

管を用いた場合は、約 350°C から R-1234ze(E) の消費が認められたが、酸素の消費と HF 等の生成は約 550°C まで認められなかった。図 2.3.3.C.8 に示した付着物ありの場合の実験結果は 3 回の繰り返し実験の結果を示しており、各々の実験における反応管内に付着した分解生成物の量は異なると思われるにも係わらず、350~550°C の温度における R-1234ze(E) の消費率の再現性は良好であった。次に、R-1234yf や R-22 の熱分解に使用した反応管を洗浄し R-1234ze(E) の実験に用いたところ、前述の R-22 の場合よりも入念に洗浄したにも係わらず、R-1234ze(E) の消費が開始する温度や R-1234ze(E) の消費率に違いは認められなかった。一方、図 2.3.3.C.8 に示した実験に使用した反応管を洗浄した場合は、約 350°C から 550°C における R-1234ze(E) の消費率が図の○印よりも低下する傾向が認められ、R-1234ze(E) の場合は微量の熱分解生成物に影響されることが分かった。なお、未使用の反応管を用いた場合、約 550~600°C の温度で R-1234ze(E) は消費されるものの、酸素の消費と HF 等の生成は認められなかったことから、この温度範囲では R-1234ze(E) の消費は反応管内に付着した微量の熱分解生成物に影響されている可能性も考えられる。何れにしても、R-1234ze(E) の場合は R-22 に比べて微量の熱分解生成物に影響されるが、反応管内に一定量以上の熱分解生成物が付着している場合は、R-1234ze(E) の熱分解が開始する温度は約 200°C 低下し、R-1234ze(E) の消費率は付着物の量、あるいは状態には影響されないことが分かった。

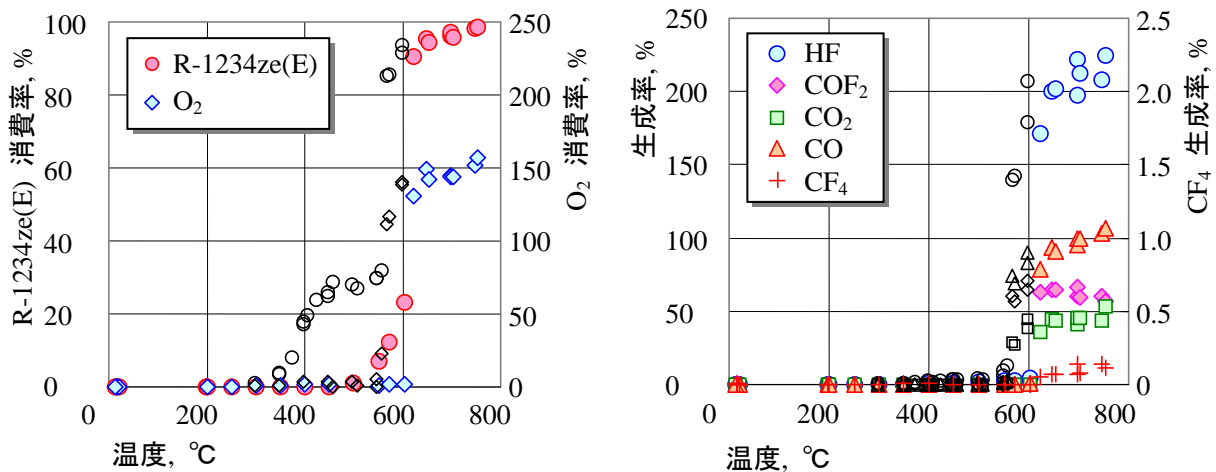


図 2.3.3.C.8 R-1234ze(E) の熱分解実験結果

R-1234ze(E)=7.8vol% (φ=1)、R-1234ze(E)/空気流量=100cm<sup>3</sup>/min.

○、◇、□、△は熱分解生成物が付着した状態の反応管を用いた場合の結果。

#### (C-2) 2L 冷媒の燃焼速度に及ぼす温度・湿度影響の評価

これまで、R-1234yf や R-1234ze(E) が、湿度の増加に伴い、燃焼速度が大きく増加することを明らかにしてきた。そこで今回は、2L 冷媒 R-32 と、R-1234 類と非常に類似の分子構造を持つ R-1243zf (CH<sub>2</sub>=CHCF<sub>3</sub>) について、燃焼速度の湿度依存性を調べ、冷媒の燃焼性の湿度影響に関する知見を得ることを目的とした。

燃焼速度の測定は、24.3L のアクリル窓付き SUS 製大型円筒容器を使用した。この容器には、容器全体がほぼ完全に覆われるヒータージャケットを備えており、温度 150°C まで制御可能である。湿度調節は、容器中に計算量の純水を直接注入し蒸発させることで調節した。実験は、温度 60°C、相対湿度 50%RH (絶対湿度 0.06 g-water/g-dry air) で行い、燃焼に伴う圧力上昇から、球形容器法の解析法を用いて 25°C 換算の燃焼速度を求めた。その結果、R-32 について量論組成では、乾燥空気において (量論濃度 17.3 vol%) 燃焼速度が 6.3 cm/s であったのに対し、高湿度条件では (量論濃度 16.0 vol%) 燃焼速度が 5.9 cm/s に僅かに減少した。R-1243zf についても、乾燥空気において (量論組成 6.5 vol%) 燃焼速度が 12.9 cm/s であったのに対し、高湿度条件では (量論濃度 6.0 vol%) 燃焼速度が 9.9 cm/s にわずかに減少した。これは、量論組成の冷媒-空気混合気が、水蒸気の体積分希釈されたことにより発熱量が減少するため、この物理的希釈効果のため燃焼速度が低下したと考えられる。この結果は、R-1234 類の湿度による燃焼速度の増加とは対照的である。これらの結果を、R-1234yf および R-1234ze(E) とまとめて図示したものを図 2.3.3.C.9 に示す。

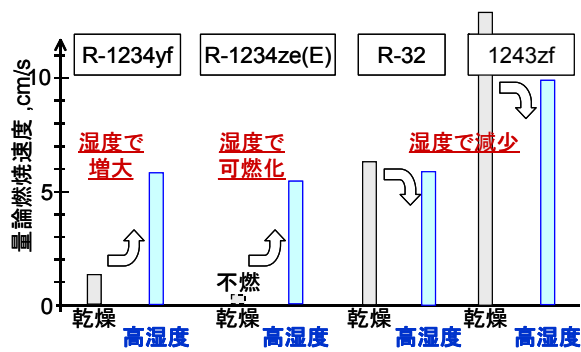


図 2.3.3.C.9 冷媒の燃焼速度の湿度影響

また、同じ湿度条件で、酸素濃度比を 30%に高めた空気を使用して、R-32 の燃焼速度を測定した。酸素濃度比を高めることは、窒素濃度比を低下させ、物理的希釈効果を低下させることと同じことであり、燃焼反応を変えずに火炎温度を上昇させることと対応している。これらの結果を、横軸を断熱火炎温度の逆数、縦軸を燃焼速度の関数  $(\rho_u S_{u0})^2$  としてアレニウスプロットしたものを図 2.3.3.C.10 に示す。比較のため、乾燥空気中のアレニウスプロットを併せて示す。図から、高湿度条件の R-32 の燃焼速度は乾燥空気のアレニウス関数とほぼ同じ直線上にプロットされ、R-32 は水蒸気の有無によって燃焼反応が変化しないことが分かった。1243zf についても、高湿度の燃焼速度の値が乾燥空気のアレニウス関数とほぼ一致しており、燃焼反応が水蒸気の影響を受けないことが分かった。この結果は、高湿度条件の R-1234yf や R-1234ze(E) の燃焼速度が、乾燥空気のアレニウス関数から全く外れて増加しているのとは対照的である。この結果、分子内の F 原子の数が H 原子の数を超えない化合物は、不飽和結合の有無に依らず、燃焼反応が水蒸気の影響を受けないため、燃焼速度は水蒸気によって、物理的希釈効果以外の影響を受けないことが示唆された。

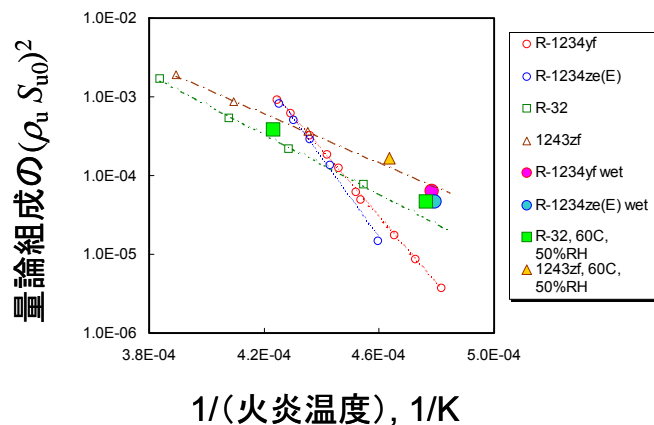


図 2.3.3.C.10 アレニウス式への湿度の影響

(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担当)

(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

最小着火エネルギーを評価するための着火法として、主放電エネルギーを電極両端に印加した状態で、別に 500ns 以下の短時間の高電圧トリガ放電を発生させて電極間の絶縁破壊を起こすことによって主放電を誘起する、パルス重畳法を用いた。電極間を消炎距離未満にした場合、電極金属による冷却の効果により着火エネルギーは大きくなる。一方、電極間隔を広げると、小さな電圧では絶縁破壊を起こせず火花放電が発生しなくなるため、小さなエネルギーを評価できなくなる。そこで、0.1

の極細タングステン電極を使用し、電極間距離を消炎距離未満にして試験を行った。すなわちこの結果には、僅かながら電極による冷却の影響が含まれている。測定結果を表 2.3.3.D.1 に示す。電極の直径を 50A 程度用の大型電磁開閉器の接点と同サイズの 6mm に太くした場合（電極間隔 3mm）、R-32 の MIE は 15mJ 程度から 100mJ を超えるまで増加し、電極による火炎の冷却効果が大きく作用することが分かった。R-1234yf の MIE については、着火/不着火の境界値として明確に決定することは困難で、確率論的に議論する必要がある。

表 2.3.3.D.1 MIE と消炎直径（基礎データと実機試験）

化合物名	R-152a/134a (50/50vol%)	HFC-254fb	NH <sub>3</sub>	R-32	R-1234yf	
最大燃焼速度, cm/s	11.7	9.5	7.2	6.7	1.5	
実機試験	(D-2)着火エネルギー（蓋無）, mJ、着火/試験回数	< 210、1/50	< 260	< 2500、2/150	着火確認できず、0/50	
	(D-2)消炎隙間サイズ（蓋有） <sup>1)</sup> 、（実効直径）, mm	< 13.2×2.3 (d <sub>eff</sub> <3.9)	<13.2×2.3 (d <sub>eff</sub> <3.9)	サイズに依らず不通過だが、蓋無しでも着火確率が極めて低いため定量不可能	蓋無しでも着火しないため、隙間サイズ試験は実施せず	
基礎データ	(D-1)MIE, mJ		< 20	< 15	< 300	
	(D-3)消炎直径 <sup>2)</sup> , mm		3.4	6.65	5.6	
	(D-3)消炎距離, mm	4.08	4.83	7.85	7.35	19.5（通常重力） 22.5（微小重力）
	(D-3)MIE 推算値, mJ			19.5	15	572

1)実機の電極～隙間間距離は、7～9mm。2)消炎直径の電極～丸孔間距離は、R-1234yf は 58mm、それ以外は 9mm。

#### (D-2) 2L 冷媒の実用条件の最小火花着火エネルギー（MIE）の評価

23.4L の大型円筒容器内に、電磁開閉器（220V、60A 用、蓋は外す）を配置して電気負荷をかけ、開閉器切断時に発生する火花放電による着火試験を行った。放電エネルギーは 2-4J 程度、接点間距離約 2mm、放電持続時間は 2ms 以下であった。結果を表 2.3.3.D.2 に示す。R-32 や R-1234yf の着火が起こる確率は極めて低く、必ずしも最大の放電エネルギーで着火が起こるわけではないことが分かった。このように、電流を電磁開閉器の最大容量まで増やしても、着火確率が極めて低いため、エネルギー条件を変化させて実機における最小着火エネルギーを決定することは非常に困難であった。また、蓋を取り付けた（蓋と本体との間の隙間サイズ：幅 13.2mm×奥行 3.0mm）場合、R-32 では火炎の通過は確認されず、隙間の奥行を 4.0mm に広げた場合も同様だった。R-152a/134a 及び HFC-254fb では、奥行 2.3mm の隙間を、着火した火炎が通過する様子を確認した。

この実機試験に加え、次項で報告する消炎直径については、同じ電磁開閉器をそのまま使用し、接点電極の両端を直流高電圧電源に接続して、接点間距離は約 5mm、放電エネルギーは 0.3-1.0J 程度、放電時間 3ms の火花を発生させて試験を行った。放電エネルギーは実機試験の 1/2 以下と小さいが、全ての試験で着火が起こった。実機との着火確率の差異の原因は、主に接点間距離の違いによるものと考えられる。隙間の奥行  $d$  を変化させて試験したところ、R-32、HFC-254fb、及び R-152a/R-134a (50/50 vol%) で、それぞれ  $3.5\text{mm} < d < 4.0\text{mm}$ 、 $1.55\text{mm} < d < 1.85\text{mm}$ 、及び  $1.75\text{mm} < d < 1.85\text{mm}$  が火炎の通過/不通過の境界であることが分かった。この電磁開閉器の隙間の長方形孔のサイズを、実効直径  $d_{\text{eff}}$  ( $4 \times \text{孔断面積} / \text{孔周長}$ ) を導入して丸孔直径に換算すると、R-32 は  $5.5\text{mm} < d_{\text{eff}} < 6.1\text{mm}$ 、HFC-254fb は  $2.77\text{mm} < d_{\text{eff}} < 3.25\text{mm}$  と換算され、実際の丸孔の消炎直径の基礎データと一致した。すなわち、消炎に必要な隙間サイズは、隙間の短辺や断面積に依存するのではないことが分かり、実効直径を導入することにより、消炎に必要な隙間の形状を一般化することができ、実機が微燃性冷媒の火種となるかどうかを予測可能になった。

#### (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

MIE は、燃焼速度や消炎距離と理論的に結び付けられる。また、消炎距離は比較的高い精度で測定することができる期待される。そこで、信頼性の高い消炎距離の測定を行い、次に燃焼速度と消炎距離の実測値から MIE を見積もることとした。

#### (D-3-1) 消炎距離の測定

消炎距離の測定は、表 2.3.3.D.2 に示した、燃焼性の異なる 10 種類の物質を対象とした。その内訳は、飽和 HFC (R-32、HFC-143、R-143a、R-152a、HFC-254fb)、不飽和 HFC (R-1234yf、1243zf)、非フッ素系 (R-290、R-717)、可燃/不燃混合冷媒 (R-152a/134a (50/50 vol%)) である。これらは現在 ISO817 に登録されている可燃性冷媒の全てのタイプを網羅したものである。

消炎距離の測定装置は、基本的な構造は ASTM E582-07 (最小着火エネルギーと消炎距離の標準的測定法) と同様である。まず、本測定法を微燃性冷媒に適用する上で平行平板のサイズが十分に大きいことを確認するため、消炎距離の平板サイズ依存性を測定した。図 2.3.3.D.1 に、プロパンと R-32 の結果を示す。プロパンについては、平板直径 25mm 程度の大きさがあれば、消炎距離の値は十分に一定値に収束する。一方、R-32 については、直径 25mm の平板では収束値を得るには不十分であることが分かった。そこで以下の議論では、全て直径 50mm の平行平板を用いた結果を示す (※R-1234yf については、板の直径は 50mm でも不十分である可能性があり、今後より大きな容器を使用して、大きな平板を使用して測定を行う予定である)。

表 2.3.3.D.2 10 種類の可燃性物質の消炎距離

Name	Formula	$S_{u0, max}$ , cm/s	$\rho_0$ , kg/m <sup>3</sup>	$d_q^a$ , mm
R-290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	38.7	1.21	1.705
R-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	23.6	1.32	2.33
1243zf	CH <sub>2</sub> =CHCF <sub>3</sub>	14.1	1.40	3.33
HFC-143	CH <sub>2</sub> FCHF <sub>2</sub>	13.1	1.45	3.58
R-152a/134a (50/50 vol%)	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> /CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	11.7	1.45	4.08
HFC-254fb	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> F	9.5	1.49	4.83
R-717	NH <sub>3</sub>	7.2	1.08	7.85
R-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	7.1	1.46	6.51
R-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	6.7	1.38	7.35
R-1234yf	CH <sub>2</sub> =CFCF <sub>3</sub>	1.5	1.53	22.5 <sup>b)</sup>

a) 直流 (DC) 電源を使用し、平行平板を水平方向に配置して測定した値

b) 微小重力実験の値

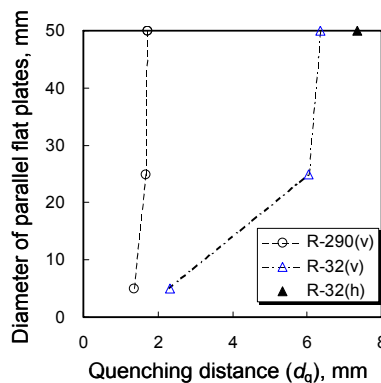


図 2.3.3.D.1 平行平板の直径と得られた消炎距離との関係

微燃性化合物の消炎距離は、火炎伝播速度が小さいほど浮力による鉛直上向きの力の影響を受ける。ASTM 法のように、平行平板を垂直に配置すると、浮力の影響で火炎核が平板上方から抜け出してしまい、消炎距離を過小評価することになる。そこで、図 2.3.3.D.2 のように、直径 50mm の平行平板が水平になるように容器を 90 度回転して縦型に配置し、火炎核が浮力によって平板間から最も抜け出しづらくした。R-1234yf については浮力の影響を非常に強く受け、火炎が変形するため、産総研北海

道センターにある 10m 落下施設を用いて微小重力下での測定も行い、浮力の影響の無い理想的な消炎距離を求めた。

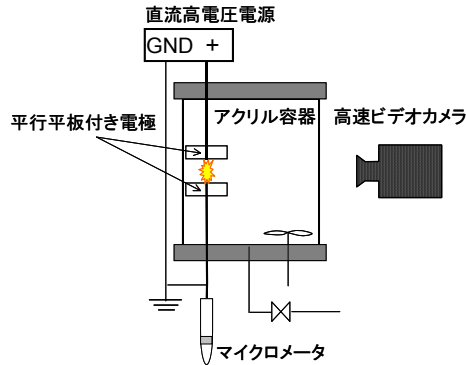


図 2.3.3.D.2 消炎距離測定装置  
図は、平行平板を水平方向に配置したもの

消炎距離  $d$  は、着火しなかった最大平板間距離と着火した最小平板間距離の平均値とした。まず、試料濃度を幅広く変化させ、得られた各濃度における  $d$  の値を、3 次関数でフィッティングすることにより  $d$  の最小値とそれを与える濃度を求めた。次に、その濃度において更に着火試験を行い、10 回の試行で 1 度も着火しなかった最大平板間距離と、1 度でも着火した最小平板間距離の平均値を最終的な消炎距離  $d_q$  とした。

図 2.3.3.D.3 に、全 10 物質について、測定した消炎距離の値を示す。グラフ中の横軸は、各物質の最大燃焼速度  $S_{u0,max}$  を取っている。凡例の (h)、(v) はそれぞれ電極平板を水平方向、垂直方向に配置したことを表し、DC、AC はそれぞれ火花放電に直流、交流電源を使用したことを表している。図からわかるように、R-1234yf 以外の物質については、消炎距離の値は測定方法にあまり依存しないことが分かる。R-1234yf については、測定法に大きく依存している。以下では、R-1234yf については微小重力実験で得られた値を、それ以外の物質については水平方向に配置した電極平板で直流火花を使用した結果を、消炎距離として使用する。全体的な傾向として、燃焼速度が大きくなるに従って消炎距離が小さくなることが分かった。

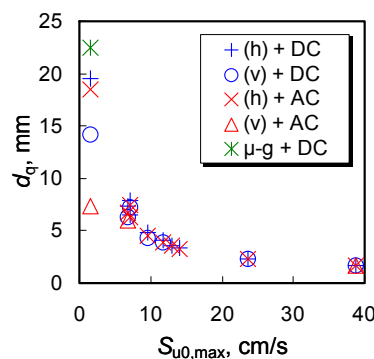


図 2.3.3.D.3 消炎距離と最大燃焼速度 ( $S_{u0,max}$ ) の関係  
横軸の  $S_{u0,max}$  は、その燃焼速度を有する物質を表す。

ここで、消炎距離は、熱理論的に考えると、

$$d_q = a(\lambda_{av}/c_p \rho_0 S_u) \quad (2.3.3.D.1)$$

と表せる。そこで、 $d_q$  を  $1/(\rho_0 S_u)$  でプロットすると図 2.3.3.D.3 が得られる。グラフ中の数字は冷媒名 “R- ” を表す。 $d_q$  を与えるときの火炎温度の情報がないこと、 $a$  は比例定数であることから、 $d_q$



を既知の値である  $1/(\rho_0 S_u)$  でフィッティングすると、

$$d_q = 47.61(\rho_0 S_{u,\max})^{-0.871} \quad (2.3.3.D.2)$$

が得られた。 $\rho_0 S_u$  は、単位体積あたりの運動量の次元を有しているので、消炎距離は運動量の逆数に正相関すると見ることもできる。

また、最大燃焼速度が 9.5 cm/s の HFC-254fb の消炎距離が 4.8 mm であることから、消炎距離が約 5mm 以上の冷媒は、燃焼速度 10 cm/s 以下であると予想でき、ISO817 案の微燃性等級に区分できることが分かった。

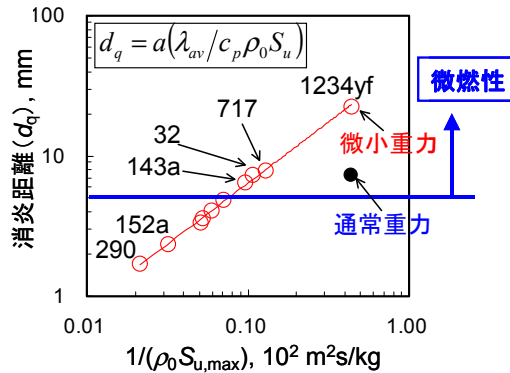


図 2.3.3.D.3 消炎距離と  $1/(\rho_0 S_{u0, \max})$  との関係

#### (D-3-2) 最小着火エネルギーの推算

前項の実験で得た消炎距離と燃焼速度の値と、理論式を用いて、MIE を推算した。

可燃性ガスの MIE に関しては、2 種類の理論式が知られている。一つは次式で与えられる。

$$E_{\min} = (1/6)\pi d^3 \rho_b \cdot \int_{T_u}^{T_b} C_p dT \quad (2.3.3.D.3)$$

ここで、 $\rho_b$  は既燃ガスの密度である。また、もう一つは次式のようなものである。

$$E_{\min} = \pi d^2 \frac{\lambda(T_b - T_u)}{S_u} \quad (2.3.3.D.4)$$

前者は、直径が消炎距離に等しく既燃ガス温度  $T_b$  を有する未燃ガス球が保持する感応エンタルピーが室温での値と比べてどれだけ増大しているかを表す。また後者は、消炎距離を直径とする温度  $T_b$  の火炎球の表面から、ガスが反応帯を通過する時間内に熱伝導により失われる熱量を表している。つまり、いずれの場合も、最小火炎球の直径として平行平板の消炎距離、温度には既燃ガス温度  $T_b$  を仮定している。最小火炎球の直径については、(D-1) 項の最小着火エネルギー測定における火炎伝播速度  $dr_f/dt$  が、ほぼ消炎距離において極小値を取ることが分かり、上 2 式で消炎距離の値を用いることは妥当であると分かった。

一方、火炎温度に関する情報は無いため、温度に依存するパラメータ  $T_b$ 、 $\rho_b$ 、 $C_p$ 、 $\lambda$  を決定することはできない。そこでまず、 $T_b$  として一般的な断熱火炎温度 2200 K を用いて計算を試みた。結果を表 2.3.3.D.3 の第 3 列目に示す。得られた計算値は表 2.3.3.D.3 の第 5 列目に示す既報の実験値より大きく、プロパンでは 3 倍程度大きな値になった。

次に、これら温度依存のパラメータは、温度という 1 変数に依存すると考えれば、温度以外の 1 変数を仮定することでこれらの値が決まる。そこで、(D-1) 項で実測した R-32 の MIE の値 15mJ を正しいとして、これを通るように温度依存の変数を設定し、 $S_u$  と  $d$  の値は実測値を使用した。結果を図 2.3.3.D.4 及び表 2.3.3.D.3 の第 4 列目に示す。(2.3.3.D.3)式、(2.3.3.D.4)式のいずれを用いても表 2.3.3.D.3 で一覧にした物質の MIE の既報値のうち最も低い値とほぼ等しくなることが分かった。

表 2.3.3.D.3 最小着火エネルギーの推算値

Name	$S_{u0,max}$ , cm/s	calc. $E_{min}$ , mJ <sup>a)</sup>	calib. $E_{min}$ , mJ <sup>b)</sup>	exp. $E_{min}$ , mJ
R-290	38.7	0.79	0.20	0.246 <sup>c)</sup>
R-152a	23.6	2.0	0.51	
R-717	7.2	82	21	
R-143a	7.1	48	12	
R-32	6.7	59	(15)	15 <sup>d)</sup>
R-1234yf	1.5	2000	520	<500 <sup>d)</sup>

a) (2.3.3.8)式によって計算した値。b) R-32 の  $E_{min}$  を 15mJ として較正したもの。c) Lewis and Von Elbe (1987)。d) 本研究。

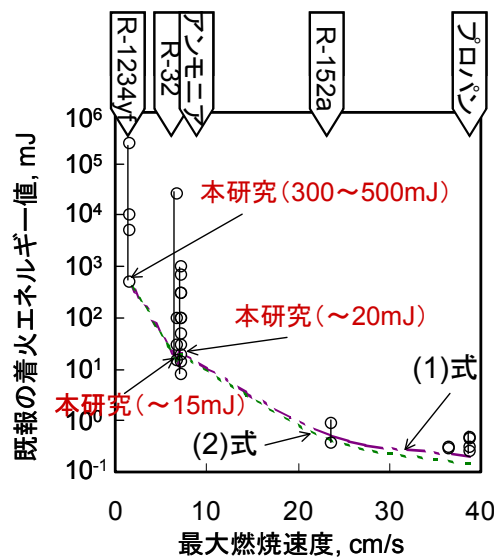


図 2.3.3.D.4 最小着火エネルギーの推算値と既往の実験値との比較  
 図中の(1)式は、(2.3.3.D.3)式を、(2)式は、(2.3.3.D.4)式を表す。

ここで注目すべきことは、(2.3.3.D.2)式において、消炎距離は燃焼速度の $-0.87$ 次に比例することから、(2.3.3.D.3)式あるいは(2.3.3.D.4)式の MIE は、燃焼速度の $-2.6$ 次あるいは $-2.7$ 次に比例するということである。従来の冷媒の安全性に関する国際委員会等での MIE の試算では、燃焼速度の $-3$ 次に比例するとして推算されてきたが、今回の消炎距離の測定によって、実際には MIE は燃焼速度に対し、より緩やかな依存性を示すことが分かった。

また、MIE と消炎距離の関係においては、(2.3.3.D.4)式を用いた場合、MIE は消炎距離の $3$ 次にはならず、わずかながらより緩やかな依存性を示す。一方、Lewis and Von Elbe (1987) P.355 では、燃焼性が低くなるにつれて、この $3$ 次の依存性が $2$ 次に近づくほど大幅に変化することを記述している。彼らの結果と本研究の結果を比較したものを図 2.3.3.D.5 に示す。Lewis と von Elbe の実験結果が正しいとすると、微燃性物質の MIE は、例えば消炎距離 10 mm において MIE=7 mJ となっており、本研究の推算値よりも大幅に低いことになる。彼らが浮力の影響をどのように考慮したのか等、実験条件の詳細も含めて調べてみる必要がある。

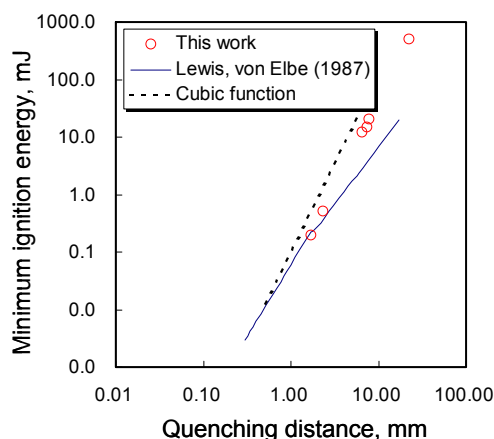


図 2.3.3.D.5 MIE 及び消炎距離について、本研究と Lewis and von Elbe (1987) との比較

図 2.3.3.D.5 に示した既報の MIE 値について、実験値が大きく上ぶれる原因として、電極間距離を消炎距離以下にセットして着火を行っているため、平行平板の冷却効果に打ち勝つために大きなエネルギーを投入していることが考えられる。たとえば Smith ら(J. Testing and Eval., 31, 178-182 (2003))は、R-290、R-152a、R-143a、及び R-32 について、消炎距離=1.7、3.2、4.3、及び 5.2 mm、及び MIE=0.30、0.89、18421、及び 26300 mJ と報告している。本研究では、表 2.3.3.D.2 に示したように、これらの冷媒の消炎距離はそれぞれ 1.7、2.3、6.5、及び 7.4 mm であった。つまり、Smith らは、R-143a と R-32 については消炎距離よりも 2 mm も内側に平板付き電極をセットして着火させたことになる。彼らの用いた平行平板の直径は 25 mm と、ASTM E582 の規定する平板サイズより小型である。例えば、図 2.3.3.D.1 の R-32 の消炎距離を見た場合、直径 25 mm の平板を使用した際に用いた放電エネルギーは約 500 mJ である。彼らの用いた放電エネルギーは 26 J であるから、その強大なエネルギーによって本研究の消炎距離未満であっても着火させることが可能であったと推測できる。一方、彼らが本研究の消炎距離以上の距離で MIE を測定した R-290 と R-152a については、MIE の実験値は他の研究の実験値や本研究の推算値とおよそ同じ結果となっている。

多くの実験や実機による着火エネルギー試験においても、微燃性冷媒の消炎距離は非常に大きいため、消炎距離より小さい電極間距離で放電が起きている場合がある。特に電気部品については、スイッチが切れる際に放電が起こるため、放電の主要な部分は電極間距離が小さいときに発生する。この場合、Smith らの実験と同様に、消炎効果に打ち勝つため非常に大きいエネルギーが投入されないと着火しない可能性がある。

### (D-3-3) 消炎直径の測定

消炎距離は、火花放電によって形成された火炎核が持続可能な伝播火炎になるために必要な火炎サイズを表している。これに対し、すでに持続伝播している火炎を消炎させることができる最大の隙間の大きさを、本研究では消炎直径と呼ぶ。

消炎直径測定装置を図 2.3.3.D.6 に示す。測定法は、応用が効くようにできるだけ単純化している。着火源（放電電極）から高さ  $h$  だけ上方に、厚さ 1 mm の PTFE 板を置く。PTFE 板中心には、所定の大きさの孔を開けている。容器内に調整した冷媒/空気混合気に着火し、火炎が孔を 1 度でも通過した場合を「Go」、10 回試験して 1 度も通過しない場合を「No go」と判定した。

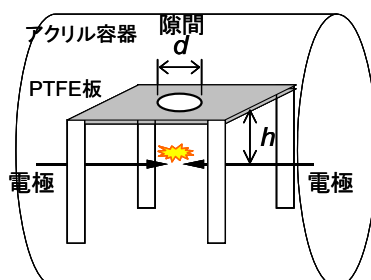


図 2.3.3.D.6 消炎直径測定装置

R-32、アンモニア、HFC-254fb について、消炎直径  $d^*$  を図 2.3.3.D.7 に示す。図の記号よりも小さい孔径であれば火炎は通過しない。 $h$  が大きくなるにつれて  $d^*$  は減少していき、徐々に一定値に漸近していく。この傾向は安定火炎の形成度合いと関連していると考えられる。

化合物ごとの消炎直径の大小関係は、消炎距離と同じ傾向となった。この図から、微燃性冷媒の火炎は  $h = 60 \text{ mm}$  でも（つまり火炎球直径が最低  $60 \text{ mm}$  に成長している場合でも）、直径  $1.9 \text{ mm}$  以下の孔を通過しない、また R-32 やアンモニア火炎であれば、 $3 \text{ mm}$  程度以下の孔を通過しないことがわかった。一方、プロパンでは、 $h = 9 \text{ mm}$  において（つまり火炎球直径が最大  $18 \text{ mm}$  程度と小さくても） $d = 1.25 \text{ mm}$  の孔を通過することを確認した。

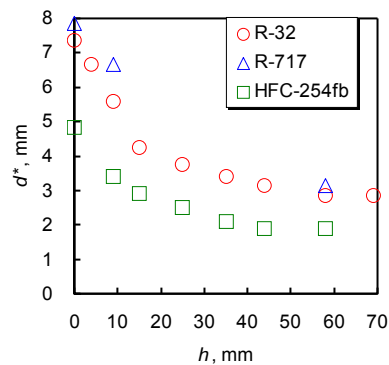


図 2.3.3.D.7 R-32、R-717、及び HFC-254fb の各  $h$  における  $d^*$

ここで、消炎直径について熱理論的に考察した。図 2.3.3.D.8 のようにパラメータを設定する。このとき、孔内での熱生成速度  $H_{gen}$  は、

$$H_{gen} = A \cdot \delta \cdot C_P (T_b - T_0) w_{av} \quad (2.3.3.D.5)$$

ここで、 $w_{av}$  は平均反応速度 ( $\sim S_0^2$ ) である。

一方、孔壁による熱損失速度  $H_{loss}$  は、

$$H_{loss} = P \cdot \delta \cdot \alpha (T_b - T_0) \quad (2.3.3.D.6)$$

ここで、 $\alpha$  は熱伝達率である。(2.3.3.D.6)式が(2.3.3.D.5)式を超えなければ、火炎は通過する。よって、

$$d_{eff} \equiv 4 A/P = 4\alpha / (C_P \cdot w_{av}) \quad (2.3.3.D.7)$$

が得られる。(2.3.3.D.7)式は、孔の形状に依らず成立し、孔の形状を一般化するもので、ここでは実効直径と呼ぶ。

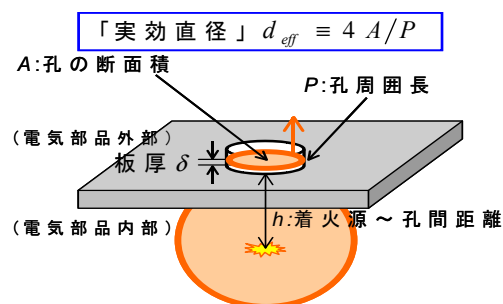


図 2.3.3.D.8 平板孔を通過する火炎の概念図

消炎直径を、長方形の孔を使って測定を行った。図 2.3.3.D.8 に R-32 について、円孔の結果と併せて示す。アスペクト比 3 及び 5 の長方形孔の場合、いずれの  $h$  の場合でも、(2.3.3.D.7)式の実効直径を導入することで円孔と同じ結果を与えることが明らかになった。この実効直径は、(D-2)項で説明したように、実際の電磁開閉器を使った試験においても同様に成り立つことを確認した。

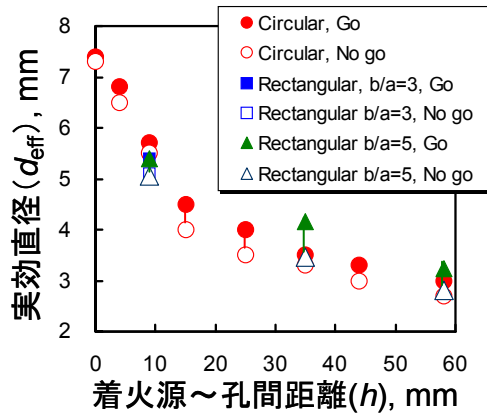


図 2.3.3.D.8 R-32 の実効消炎直径 ( $d_{eff}$ )  
円形孔と長方形孔の測定結果。

したがって、微燃性冷媒を使用した環境で電気部品からの火花が着火源になるかどうかは、その部品の孔の寸法と  $h$  を計測し、(2.3.3.D.7)式の実効直径 ( $4A/P$ ) を計算し、図 2.3.3.D.6 のグラフ中にプロットしてみることで予測できることが明らかになった。

<論文、外部発表等の件数> (詳細内容は添付リストを参照)

区分 年度	論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	査読付き	その他	
H23FY	1	10	0
H24FY	3	19	0
H25FY	1	3	0

#### 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

京都議定書目標達成計画の目標を達成するためには、民生・産業分野でエネルギー消費の比較的大きく、かつ今後 HFC の排出量が急速に増加する見込みの冷凍空調分野での対策が重要である。地球温暖化は、国全体、地球全体の喫緊の課題であること、また、これらの製品等を製造している企業にとっては対策コストが高く、投資が進まないことを考慮すると、国が主導的に技術開発を行うことが必要である。産業用、民生用機器の中で冷凍・空調機器のエネルギーは比較的大きい比重を占めている。これらの機器は食品の流通、我々の居住空間の改善に必要で、国民生活には今や無くてはならない存在である。しかしながら現在のところ、他の代用可能な機器は存在しない。フロンは性能、安全性、経済性とも大変優れた物質であり、これに代わるノンフロン（低 GWP 冷媒）の機器開発は国の支援を得て各企業の持つ技術を結集して当たる必要がある。

また、技術戦略マップにおいても、H23 年度より開始された本プロジェクトが冷凍空調機器分野での対策の根幹となっていることが示されている。

本プロジェクト成果は、事業者・研究者の技術力向上ひいては国内業界レベル、および国際競争力の向上に大きく貢献する事が期待される。また、新たなる産業の構築や研究開発のシーズの開拓が考えられる。

対象技術毎の実用化・事業化の見通しを下表に示す。

研究開発項目	対象技術等	実用化・事業化見通し
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"> <li>・技術面の課題は明確化され、解決の見込み。</li> <li>・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）の解決により事業化フェーズへ移行可能。</li> </ul>
	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"> <li>・低 GWP 冷媒専用機器設計の実施とともに、冷媒安全性評価が確立することにより実用化、市場投入可能。</li> </ul>
冷媒開発	低 GWP 冷媒開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術面の課題は明確化され、解決の見込み。</li> <li>・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）の解決により事業化フェーズへ移行可能。</li> </ul>
性能・安全性評価	低 GWP 冷媒評価（性能・安全性）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>

以下に研究開発テーマ毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて示す。

## 1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化・事業化」の考え方：

現状市販フロン製品と同等以上の性能を実現する基盤技術を確立し、その技術に基づく製品の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献することを言う。

### 1.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

#### 1.1.1 CO<sub>2</sub>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】

コンビニエンスストアやスーパーマーケット各社では、空調を含めた店全体のノンフロン化の要望が高まっていることから、CO<sub>2</sub>の冷凍機を導入を決定した企業もある。

本開発を行うことで、国内コンビニエンスストア 42,000 店舗において、フロン系冷媒を使用した空調機から、冷蔵・冷凍ショーケースだけでなく、トータルでコンビニエンスストアのノンフロン化が推進でき、地球温暖化防止に貢献できる。

まずは当社の冷凍・冷蔵ショーケースで取引を行っているコンビニエンスストア・ドラッグストアなどへ、販売網を活用して販売を行う。

#### 1.1.2 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】

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、各新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。

#### 1.1.3 CO<sub>2</sub>-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】

##### (1) 製品・サービス等の概要

業務用空調機器分野の代替冷媒として、CO<sub>2</sub>やHFO冷媒からなる低温室効果の混合冷媒が開発されつつある。本研究開発は、この新冷媒で高効率空調システムを実現する業務用空調機を開発するものであり、用途は店舗・事務所向けの業務用空調機器（シングルパッケージエアコン）である。

##### (2) 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					→

##### (3) 市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

近年の業務用空調機（パッケージエアコン）の国内出荷台数は70～80万台を推移しており、このうち、店舗用パッケージエアコンは60万台強である。本開発品は、低温室効果冷媒を採用しており環境性に優れるため、地球環境保護の観点から買替え需要の増加による市場規模の拡大が期待される。

#### (4) 価格競争力

検討の混合冷媒では温度勾配が大きくなり、新たな熱交換器の追加が必要となるために、現状の R410A 冷媒を採用した機器に比べてコストが上がることも考えられるが、低 GWP 冷媒の採用、高効率な空調システムの開発による消費電力量の低減により、他社の新冷媒採用機器との価格競争力を十分有すると考える。

#### (5) 今後の展開・見通しについて

- ・これまでの開発成果を基に、原理評価試験での更なる高効率混合冷媒組成比の検討を進めるとともに、空調機実機を改良した評価機を用いたドロップイン性能評価を実施し、目標とする省エネ性能達成のための熱交換器開発、およびシステム制御技術の開発を行う。
- ・商品化に際しては、高性能化に向けた要素技術開発、システム制御技術開発とともに以下の障害が生じることが予想される。これらの課題解決に向けた取組みを実施し、事業化を推進する。
  - a) サービス対応技術（冷媒充填方法、漏えい時の再充填方法）
  - b) 冷凍サイクル複雑化
  - c) 内部熱交換器追加によるコスト増

### 1.1.4 低 GWP 冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】

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。

### 1.1.5 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】

（成果の実用化の可能性）

成果の実用化に際しては、冷媒の技術課題、扁平管熱交換器の実用化時の技術課題、の2つの技術課題が考えられ、それぞれについて以下に示す。

#### (1) 低 GWP 冷媒 (R-1234yf R-1234ze) の技術課題

・GWP は非常に低いが、同時に動作圧力が低い冷媒であり、圧力損失増加による冷凍サイクルの性能低下、圧縮比増加に伴う圧縮機効率低下が課題となる。R410A に対して総 LCCP を低減する効果はあるが、実用化に際しては APF が優位でもランニングコストの増加やピーク電力必要量の増加があり、環境と経済性の両者の妥協点の判断が必要となる。他に、冷媒安定性に伴う技術課題として、スラッジ詰まりに対するユニット寿命が R410A の約半分またはそれ以下になる点が挙げられ、新たな摩耗防止剤の開発が必須である。更に、微燃性冷媒を安全に扱うことができるシステム（法整備、インフラ整備等）が必須となる。製品の安全だけでなく、冷媒を直接扱う、製造ライン、据付、サービス、リサイクル等の安全確保が必要となる。機器の不法改造や投棄等も安全上重大な問題となる。このシステムを構築するには、メーカーだけではなく、政府や関連する団体の一体となった動きが必要となる。

#### (2) 扁平管熱交換器の技術課題

本研究で APF95%（対 R410A）が達成できれば大きな進歩となるが、実用化には更なる性能改善（例えば、APF105%）が必要であり、室内機を扁平管とする必要となる。この実現には、限られたスペース内に冷媒分配器を含めた冷媒配管を収納する実装技術の課題が大きく、更なるハードルが存在する。

（今後の展開）

- ・本研究の結果、実用化の条件として、環境と経済性の妥協点の判断とそれに伴う規制の導入が必要との見解を示した。冷媒については、今後、空調用に適した新たな低 GWP 冷媒が提案される可能性も否定はできないため、もし、新たな冷媒の提案があればそれらを優先して検討を実施していく。



環境と経済性の妥協点にて規制導入されるのであれば、その規制条件の中で最良の解が得られるようにユニット及び圧縮機の適正化開発を実施していく。

- ・低 GWP 冷媒を使用する上での技術課題である、安定性の改善については、今後も継続して検討を実施していく予定である。
- ・低 GWP 冷媒の事業化は、機器メーカーによる製品技術検討と並行して、冷媒の供給、微燃冷媒取り扱い時の安全性確保のためのシステム構築、サービス・リサイクル関連機器の整備も必要であるため、それらの動きも見ながら、事業化できる準備を進めていきたい。

## 1.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

### 1.2.1 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】

業務用空調機器用冷媒としては、カーエアコン用代替冷媒として実用化が進められている R1234yf を含む混合冷媒の検討が進められているが、圧力損失が大きく、十分な冷媒性能が得られていない。現在市場では R410A 混合冷媒の構成成分である R32 の適用が進められているが地球温暖化係数が 675 と大きいと共に燃焼性を有している。また、自然冷媒として検討が進められているプロパンは強燃性であり、冷媒充てん量の大きい業務用空調機器では安全性の点より、特に民生用途における適用は極めて困難である。また、アンモニアでは燃焼性と共に毒性や異臭の点で、二酸化炭素や空気では圧力や能力の点で実用化へのハードルは極めて高いといえる。

一方、本事業にて開発を行う当該製品は、開発目標に設定している地球温暖化係数 300 以下、不燃性～微燃性、ならびに現行冷媒と同等の冷媒性能を有することにより、優位性を確保することができる。

実機を用いた性能評価、長期信頼性評価を実施の上、事業化を予定している。

	H26 年	H27 年	H28 年	H29 年	H30 年	H31 年	H32 年
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）							
（パイロット）							
商業設備設計							
プラント設計							
冷媒販売							

図 1.2.1-1 事業化スケジュール

## 2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化」の考え方：

冷媒の性能、安全性評価に係る公共的な知的基盤が整備され、社会的利用に供されることを言う。

### 2.1 冷媒の性能、安全性評価

#### 2.1.1 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 諏訪東京理科大学】

A2L 冷媒を空調機器に搭載するためには、現行の法規制の緩和が必要であり、そのためには、A2L 冷媒のライフサイクルにわたるリスクマネジメントが必要である。本研究で得られた成果は、想定事故シナリオの危害度を定量評価する基礎のデータになり、リスクアセスメントを促進すると期待される。これにより、規制緩和を推進し、A2L 冷媒の空調機器搭載実用化に資すると期待される。そのために、今後（特に平成 25 年度）、以下の事項について重点的な研究開発を進めていく予定である。

##### (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

微燃性冷媒リスク評価研究会での議論を踏まえながら、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について

1 台の室外機に複数の室内機が接続された多室型空調機では、1 対 1 のシステムに比較して冷媒量が増加するため、漏洩量も必然的に多くなる。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。また、必要であれば実大実験の実施も視野に入れる。

平成 26 年度以降は、以下の点について研究開発が必要と考えられる。

##### (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。産業技術総合研究所では、水素、メタンガス等の可燃性ガスの爆燃・爆轟の転移と安全性について、小規模室内実験と大規模野外実験から実験的に評価している。また、微燃性冷媒に燃焼から爆燃・爆轟への転移は、着火源としては最悪条件を想定した火薬類による着火実験を実施することで安全性を評価する。

##### (b) 微燃性冷媒の化学反応モデル構築

種々の冷媒ガスについて、燃焼速度や着火性といった燃焼特性に関するデータは蓄積されつつあるが、現状では実験に基づく現象論的な理解にとどまっている。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

空調設備は、室内機と室外機に分かれ冷媒管と制御線（電源線と信号線）によって接続されている。特に室外機においては、それ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、冷媒ガスの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。そこで、外部加熱を想定した実験により、その危険性を評価する。

(e) 移動型空調機器の安全性評価

自動車も衝突事故などによって火災を生じる場合がある。エンジンルームにまで火災域が及べば、燃料系からの燃料漏洩や樹脂系可燃物の燃焼によって、冷媒ガス管が焼損し、冷媒ガスの漏洩と燃焼が懸念される。特にラジエーター系の焼損がほぼ同時に起これば、水蒸気が豊富にある中での冷媒ガスの燃焼が生じる懸念がある。そこで、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。(c)の水蒸気や(d)の外部火災の実験結果との融合により、冷媒燃焼特性に及ぼす熱量及び水蒸気の効果を定量的に把握できるという点で、学術的な価値も高いと期待される。

## 2.1.2 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】

まず、低 GWP 冷媒 R1234ze(Z)の材料適合性、燃焼性、毒性に関する特性試験を実施し、実用化に支障がないことを明らかにした。ここで測定された化学的性質のデータは、国内外における材料や安全性の標準化および規格化のために必須であり、実用化へ向け前進するための重要な情報となった。また、低 GWP 冷媒 R1234ze(Z)の詳細な熱力学的、輸送的性質が世界で初めて実測された。その結果、R1234ze(Z)が低圧冷媒として既に実用化されている R245fa とよく似た熱力学的性質を示し、R245fa の代替冷媒として産業用高温ヒートポンプ等への適用に対し十分な可能性を持っていることが分かった。さらに熱力学的解析およびドロップイン試験により、R1234ze(Z)および R1234 (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（環境温度条件）を見出した。これにより、これら冷媒の適用機種や応用製品開発の具体化が可能となることが期待される。ここで測定された得られた熱力学的・輸送的性質及び伝熱特性のデータや開発された状態方程式などはデータベースとして整備される予定であり、それにより実用化へ向けたシミュレーション解析、詳細設計、性能試験等を行うことが可能となり、産業界における低 GWP 冷媒を用いた空調機器の実用化の動きを加速することが期待できる。

次に、R1234ze(E)/R32 や R1234ze(E)/R32/R744 の低 GWP 混合冷媒の空調機器への導入可能性についても検討した。これら低 GWP 混合冷媒の熱力学的、輸送的性質を明らかにし、またこれらを高精度に予測できるプログラム開発に努めた。このプログラムにより、混合冷媒の組成比に対する物性値の変化を容易に、且つ精度良く求めることができる。また、混合冷媒の組成比がおよぼす伝熱特性やサイクル特性の詳細なデータを提供することができた。これらは、熱交換器などの最適設計に重要である。混合冷媒はその取扱いの難しさから敬遠されがちで、一部の空調機器メーカーでは、すでに R32 に特化した製品化が行われたが、ヨーロッパをはじめとする温室効果ガス排出規制の行方によっては、近い将来さらなる GWP の低減が必要となる。今後ここで提供されたデータをもとに最適な組成比の検討が進み、企業間でオーソライズされれば、冷媒供給やメンテナンス提携等の問題が解決されやすく、R32 よりも GWP の低い混合冷媒の採用具体化が可能である。なお、低 GWP 混合冷媒に関して得られた熱力学的・輸送的性質及び伝熱特性のデータや開発された状態方程式などはデータベースとして整備される予定であり、産業界における低 GWP 冷媒を用いた空調機器の開発のための基盤技術として役立つものと期待される。

以上の成果は、低 GWP 冷媒の選択肢拡大の為の基盤技術を提供するものである。

今後は、新たな実測値が公表されるごとに状態方程式の再現性を検証する。より高温・高圧域の実測値が入手できれば、状態方程式を修正することも視野に入れている。また、R32/R1234ze(E)、R32/R744およびR1234ze(E)/R744の各2成分混合冷媒に対するモデル構築が完了した後、これらのモデルを用いてR32/R1234ze(E)/R744の3成分混合冷媒に対する計算を行い、実測値と比較して多流体モデルの再現性を確認する。

解析的アプローチにより新規冷媒 R1234ze(Z)を使用したサイクルが最も効率よく機能する温度範囲

が 100℃以上と非常に高いことが分かり、また、その熱物性が既存冷媒 R245fa と非常に近いことを示すことができた。これにより、この冷媒は一般的な空調器よりも、産業用ヒートポンプとして、ボイラの代替あるいはその補助機器に適用できる期待が高まった。今後は適用先を具体的に把握し、その実用化、詳細設計に必要な伝熱特性等のデータ収集を強化する。

今後、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。

#### 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。

#### 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。

[H26年度～H27年度の研究開発スケジュール（予定）]

事業項目	H26年度	H27年度	
<b>①R1234ze(Z)の基本物性およびサイクル性能に関する研究</b>			
(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		追加研究開発項目
・プレート熱交(佐賀大学)	プレート熱交伝熱試験		追加研究開発項目
(e) R1234ze(Z)サイクル基本特性の評価 ・トロップイン試験(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		追加研究開発項目
<b>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</b>			
(a) 低GWP混合冷媒の探求・選定 ・探求・選定(いわき明星大学)	低GWP混合冷媒の探求・選定		
・混合冷媒サイクル熱力学解析(九州大学)	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)	混合冷媒 PVTx性質, 気液平衡, 臨界軌跡の測定		
・状態式の作成(九州産業大学)	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)	管内伝熱試験		
・プレート熱交(佐賀大学)	プレート熱交伝熱試験		
(e) 低GWP混合冷媒候補サイクル基本特性評価 ・トロップイン試験(九州大学)	相平衡測定 → サイクル試験	相平衡測定, サイクル試験	
・サイクル計算(佐賀大学)	試験と対応させたサイクル計算		
(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		追加研究開発項目
年度予算額(うち再委託費):円	未定	未定	

### 2.1.3 エアコン用低 GWP 冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

(成果の実用化の可能性)

本研究開発は業務用冷凍空調機器に適する冷媒の性能および安全性評価に必要な基礎的なデータの提供を目的としているので、直接的な実用化の計画はない。本プロジェクトで低GWP冷媒や微燃性冷媒を用いるエアコンを開発している事業者には有用な情報を提供することができるので、それら事業者の実用化を加速する意味での貢献は大いに期待できると思われる。

(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. 波及効果

本開発が成功し実用化されれば、国の環境行政に大きく寄与するものである。また我が国の国際的な環境に対する責務を果たすのに大きく貢献できる事になる。

また、世界に先駆けた次世代冷媒技術の開発は我が国産業の競争力強化にもつながる。

対象技術毎の波及効果について下表に示す。

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 <sup>1</sup>	対象技術分野の冷媒排出量推計 <sup>2</sup>	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 1000 億円	・約 700 万 t-CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温室効果ガス排出削減による地球環境への貢献</li> <li>・世界に先駆けた次世代冷媒技術の開発による我が国産業の競争力強化</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> 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 1000 億円	・約 500 万 t-CO <sub>2</sub>	
	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 8000 台 <sup>2, 3</sup>	・約 100 万 t-CO <sub>2</sub>	
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 1300 万 t-CO <sub>2</sub> <sup>4</sup>	
性能・安全性評価	低 GWP 冷媒評価(性能・安全性)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・リスクアセスメントの推進</li> </ul>	—	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内外の規格・法規整備の提言(高圧ガス保安法、ISO 等)</li> </ul>

1：助成金交付申請書・企業化計画に基づく値

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(推計)を記載した

3：2020 年 BAU 推計。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 5 回冷媒対策 WG 参考資料より

4：業務用空調機器分野全体が対象となる技術と考え、機器開発の合計値とした

以下に研究開発テーマ毎の波及効果について示す。

### 3.1 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

#### 3.1.1 CO<sub>2</sub>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】

本システムが製品化でき、市場展開された時の地球温暖化防止効果の試算として LCCP 評価を行う。(1 台あたりで算出。使用期間 10 年、冷媒封入量同等、使用時の漏れ フロン機 2%、CO<sub>2</sub>機 10%、廃棄時漏れ フロン機 70%、CO<sub>2</sub>機 100%(排出))

表 3.1.1-1 LCCP 比較表(1 台当たり)

	間接影響	直接影響		LCCP合計 CO <sub>2</sub> -kg	R410A比	削減量 (CO <sub>2</sub> -kg)
	使用時	使用時漏洩	廃棄時漏洩			
R410A	49,445	3,344	11,704	64,493	—	—
CO <sub>2</sub>	48,762	8	8	48,778	-24.4%	15,715

本技術が確立され、市場展開されることにより、CO<sub>2</sub> 冷媒の有効性が市場において受け入れられるようになると、多くの企業が参入するようになり、関連機器の開発も促進されてコストダウンが進むことが期待される。

更には、現在フロン系冷媒を採用している他の分野においても、本技術は有効であることより、開発の成果はとてども広範囲に展開され、地球温暖化防止に貢献することが期待できる。

#### 3.1.2 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】

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 CO<sub>2</sub> 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。また、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。

#### 3.1.3 CO<sub>2</sub>-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】

実用化した場合、消費電力を 10%削減できるとともに、使用時・廃棄時における温室効果ガス排出量の削減が期待できる。現在普及している R410A 冷媒の業務用パッケージエアコン（店舗用パッケージエアコン）がすべて新冷媒（GWP150）の機器に転換された場合に期待される CO<sub>2</sub> 削減量は、354 万トン[ton-CO<sub>2</sub>/年]と試算される。これにより、わが国の温室効果ガス削減に貢献すると考えられる。

#### 3.1.4 低 GWP 冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】

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 CO<sub>2</sub> 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。

#### 3.1.5 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】

・本研究は、今後の熱交換器の方向性を実現する重要な研究であり、各種研究機関やメーカーにおいても扁平管熱交換器の空調機への適用が検討され、一部では製品化も進んでいる。また、冷媒メーカーにおいては、低 GWP 冷媒をベースとした次世代冷媒が提案されてきている。



・カーエアコンにおいては、2011年からの欧州のGWP規制(<150)により、R-1234yf冷媒を使用する方向である。また、低GWP冷媒は、冷凍機器等にも適用の可能性があり、本研究により低GWP冷媒を用いたルームエアコンの特性が明らかになってきたことにより、関連分野においても研究開発が今後進むと考えられる。

## 3.2 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

### 3.2.1 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】

本事業にて開発を行う当該製品は、開発目標に設定している地球温暖化係数300以下、不燃性～微燃性、ならびに現行冷媒と同等の冷媒性能を有することにより、地球温暖化に対する環境負荷の大幅な低減効果を有している。

本事業により開発された新冷媒は、業務用空調機器用途のみならず、家庭用空調機、冷凍・冷蔵機器、遠心式冷凍機等広範囲の冷凍空調機器への適用が可能と考えている。また、高沸点を有する新冷媒は、給湯や蒸気発生を目的と高温ヒートポンプや廃熱回収発電用作用媒体、噴射剤、発泡剤等の当該分野以外の用途への展開も期待される。

## 3.3 冷媒の性能、安全性評価

### 3.3.1 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 諏訪東京理科大学】

先述のように本研究で得られた成果は、想定事故シナリオの危害度を定量評価する基礎のデータになり、リスクアセスメントを促進すると期待される。これにより、規制緩和を推進し、A2L冷媒の空調機器搭載実用化に資すると期待される。

学術的な側面については、A2L冷媒の燃焼性状はこれまで小規模ないし中規模の密閉容器を用いた基礎的なデータがほとんどであったが、これをよりスケールアップし、かつ、実際の事故シナリオに基づいた燃焼挙動や燃焼生成物濃度等のデータを蓄積したことで、新規性が高い。これは、本プロジェクトのみならず国際的な波及効果も非常に大きいと期待される。

### 3.3.2 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】

R1234ze(Z)や低GWP混合冷媒の化学的性質、熱力学的・輸送的性質の測定値や相関式及び伝熱特性の測定値は貴重な物性情報となり、国内外の種々のデータベースや物性計算ソフトウェアで使用される予定であり、公共的な知的基盤を構築するものである。また、ここで得られた成果により、R1234ze(Z)やR1234(E)、あるいは、それらを含む低GWP混合冷媒が既存冷媒の代替冷媒として使用できることが認知されれば、企業での低GWP冷媒を用いた空調機器の開発・実用化が促進されるものと考えられる。さらに、国内企業が世界へ先駆けてこれら低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と考えられる。

### 3.3.3 エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

オゾン層保護の観点からCFC冷媒やHCFC冷媒の使用が規制され、HFC冷媒への転換が進んだが、GWP値の高いHFC機が普及するにつれ、使用時の冷媒漏洩や廃棄機器から回収されない冷媒の大气漏洩が多いことが問題になり、その抜本的な解決のためには、GWP値の低い冷媒への転換が急務であることが認識されてきた。2008年の空調機器の国内生産量はルームエアコンが775万台、業務用パッカー

ジエアコンが 744 万台、カーエアコンが 475 万台で、これらが空調機械の主要な用途である。カーエアコンは R1234yf 単体、あるいは二酸化炭素への転換の見通しが見えてきたが、ルームエアコンやパッケージエアコン用冷媒の低 GWP 化の研究は、端緒についたばかりである。

わが国の冷凍空調産業の発展のためには、ルームエアコンやパッケージエアコン用冷媒の新規開発が急務である。候補として考えられている R1234yf 混合冷媒や R1234ze 混合冷媒を業務用冷凍空調機器に適用した時の性能の評価法が確立されておらず、従来冷媒との性能比較に関する情報がなく、研究開発を阻害している。また、これら低 GWP 冷媒は微燃性を有しており、実用化のためには燃焼性に関する基礎データの集積と安全性の評価を行うことが不可欠である。本研究開発では、基礎的な物性情報、サイクル性能情報、LCCP 情報、燃焼性情報、リスク情報を提供することにより、適切な冷媒選択を容易にし、その実用化を加速するものである。こうした結果、わが国の冷凍空調産業が世界における主導的な地位を維持することに貢献することが期待される。

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
1	和島一喜	三菱重工業(株)	ターボヒートポンプへの低GWP冷媒R1234ze(E)の適用検証	日本冷凍空調学会主催セミナー(九州)「冷媒の最新動向と低GWP冷媒導入技術」	無	2013/2/8	④
2	和島一喜	三菱重工業	低GWP冷媒HFO-1234ze(E)のターボヒートポンプへの適用研究	環境と新冷媒 国際シンポジウム2012	無	2012/11/9	④
3	松倉紀行	三菱重工業	R1234zeの90℃温水供給ターボヒートポンプへの適用研究	日本冷凍空調学会2012年年次大会	無	2012/9/12	④
4	佐分利禎, 松亮, 椎名拓海, 高橋明文, 和田有司	(独)産業技術総合研究所	Experimental Flammability Analysis of A2L Refrigerant Gases 【Best Presentation Paper Award受賞】	FIRE & EXPLOSION HAZARDS Proceedings of the Seventh International Seminar (pp.330-339)	有	2013/05	⑦
5	今村友彦, 宮下達也, 上矢恭子, 須川修身	諏訪東京理科大学他	A2L冷媒滞留雰囲気下における市販電子ライターでの着火危険性評価	安全工学, Vol.52, No.2 (印刷中)	有	2013/04	⑦
6	今村友彦, 宮下達也, 上矢恭子, 森本崇徳, 須川修身	諏訪東京理科大学他	微燃性冷媒搭載空調機器と化石燃料系暖房機器の同時使用時におけるフィジカルハザード評価	日本冷凍空調学会論文集, Vol.29, No.4, pp.401-411	有	2012/12	⑦
7	今村友彦, 宮下達也, 上矢恭子, 須川修身	諏訪東京理科大学他	模擬生活空間内での微燃性冷媒の着火特性と火炎伝播挙動	第45回安全工学研究発表会講演予稿集, pp.81-84	無	2012/11	⑦
8	今村友彦, 須川修身, 宮下達也, 上矢恭子, 森本崇徳	諏訪東京理科大学他	Evaluation of Fire Hazards of A2L Class Refrigerants	Proc. of International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2012, pp.65-68	無	2012/11	⑦
9	佐分利禎, 松木亮, 椎名拓海, 高橋明文, 和田有司	(独)産業技術総合研究所	Combustion Characteristics of Flammable Refrigerant Gases	Proc. of International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2012, pp.69-72	無	2012/11	⑦
10	今村友彦, 上矢恭子, 森本崇徳, 宮下達也, 須川修身	諏訪東京理科大学他	空調機器搭載用微燃性冷媒のフィジカルハザード評価	安全工学シンポジウム2012講演予稿集, pp.322-325	無	2012/7	⑦
11	今村友彦, 森本崇徳, 山崎裕太, 上矢恭子, 須川修身	諏訪東京理科大学他	Ignition and Flame Propagation Behaviors of the Jet A2L Refrigerant from a Pinhole	投稿準備中	有	2013/12	⑦
12	今村友彦, 森本崇徳, 山崎裕太, 上矢恭子, 須川修身	諏訪東京理科大学他	Ignition and Flame Propagation Behaviors of the A2L Refrigerant in a Model Device for Service and Maintenance	投稿準備中	有	2013/12	⑦
13	佐分利禎, 松木亮, 椎名拓海, 高橋明文, 和田有司	(独)産業技術総合研究所	Numerical combustion model for A2L/2L refrigerants	投稿準備中	有	2013/12	⑦
14	佐分利禎, 松木亮, 椎名拓海, 高橋明文, 和田有司	(独)産業技術総合研究所	Autoignition temperature of A2L/2L refrigerants in the presence of moisture and catalytic metal	投稿準備中	有	2013/12	⑦
15	Shigeru KOYAMA, Nobuo TAKATA, Sho FUKUDA	九州大学	An experimental study on heat pump cycle using zeotropic binary refrigerant of HFO-1234ze(E) and HFC-32	Proc. 10thIEA Heat Pump Conference. ID 6.5	有	2011/06	⑧

## 論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
16	Dausuke JIGE, Shigeru KOYAMA, Masatoshi MINO	九州大学	An experimental study on condensation of pure refrigerants in horizontal rectangular mini-channels	Proc. 23rd IIR Int. Congr. Refrig., ID236, 1-8.	有	2011/08	⑧
17	Shigeru KOYAMA, Daisuke BABA, Hitoshi NAKAHATA	九州大学	Experimental study on heat transfer and pressure drop characteristics of pure refrigerant R1234ze(E) condensing in a horizontal micro-fin tube	Proc. 23rd IIR Int. Congr. Refrig., ID306, 1-8.	有	2011/08	⑧
18	Yoji ONAKA, Akio MIYARA, Koutaro TSUBAKI	佐賀大学、九州大学	Cycle evaluation of refrigerant mixture of CO <sub>2</sub> /DME and HFC-32/HFO-1234ze(E)	Proc. 23rd IIR Int. Congr. Refrig., ID310, 1-8.	有	2011/08	⑧
19	Katsuyuki TANAKA, Yukihiro HIGASHI, Ryo AKASAKA	いわき明星大学、九州産業大学	Thermodynamic property modeling of HFO-1234ze(E)+HFC-32 mixtures for evaluating cycle performance	Proc. 23rd IIR Int. Congr. Refrig., ID458, 1-6.	有	2011/08	⑧
20	Akio MIYARA, Koutari TSUBAKI, Nobuki SATO, Ryota FUKUDA	佐賀大学	Thermal conductivity of saturated liquid of HFO-1234ze(E) and HFO-1234ze(E)+HFC-32 mixture	Proc. 23rd IIR Int. Congr. Refrig., ID900, 1-8.	有	2011/08	⑧
21	馬場大輔, 中川貴詞, 小山繁	九州大学	低GWP冷媒の溝付管内沸騰蒸発に関する実験的研究	日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, 529-532.	無	2011/09	⑧
22	馬場大輔, 中畑仁志, 小山繁	九州大学	新規代替冷媒R1234ze(E)の溝付管内凝縮に関する実験的研究	日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, 545-548.	無	2011/09	⑧
23	地下大輔, 小山繁	九州大学	純冷媒の微細矩形流路内凝縮に関する研究-圧力損失および熱伝達関係式の提案-	日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, 521-524.	無	2011/09	⑧
24	福田翔, 小林拓斗, 高田信夫, 小山繁	九州大学	R1234ze(E)/R32混合冷媒のヒートポンプサイクル性能評価	日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, 255-228	無	2011/09	⑧
25	地下大輔, 小山繁	九州大学	R1234ze(E)の扁平多孔管内凝縮に関する実験	日本冷凍空調学会論文集 28(3), 225-232.	有	2011/09	⑧
26	Daisuke BABA, Hitoshi NAKAHATA, Takafumi NAKAGAWA, Shigeru KOYAMA	九州大学	Condensation heat transfer and pressure drop of a pure refrigerant R32 flowing in a micro-fin tube	Proc. 13th Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Engineering, ETP-1, 1-2.	無	2011/11	⑧
27	Sho FUKUDA, Shigeru KOYAMA	九州大学	Drop-in experiments on heat pump cycle using low-GWP refrigerants	Proc. 13th Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Engineering, ETP-3, 1-2.	無	2011/11	⑧
28	Daisuke JIGE, Shigeru KOYAMA	九州大学	Condensation heat transfer of a R1234ze(E)/R32 mixture in a multi-port tube	Proc. 13th Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Engineering, ETP-4, 1-2.	無	2011/11	⑧
29	馬場大輔, 小山繁	九州大学	低GWP冷媒R1234ze(E)の溝付管内熱伝達に関する実験的研究	日本冷凍空調学会論文集 28(4), 139-150.	有	2011/12	⑧

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
30	福田翔, 小山繁	九州大学	R1234ze(E)/R32混合冷媒を用いたヒートポンプサイクルの性能評価	日本冷凍空調学会論文集 28(4),173-184	有	2011/12	⑧
31	田中勝之, 東之弘	いわき明星大学	HFO-1234ze(E) + HFC-32系混合冷媒の熱力学モデリングとサイクル性能評価	日本熱物性シンポジウム講演論文集, 138-140.	無	2011/12	⑧
32	田中勝之, 赤坂亮, 東之弘	いわき明星大学、九州産業大学	HFO-1234ze(E) + HFC-32混合冷媒の密度および定圧比熱の測定	日本冷凍空調学会論文集 28(4),109-116.	有	2011/12	⑧
33	宮良明男, 福田遼太, 椿耕太郎	佐賀大学	R1234ze(E)+R32およびR1234yf+R32混合冷媒の飽和液の熱伝導率測定	日本冷凍空調学会論文集 28(4),435-443.	有	2011/12	⑧
34	Sho FUKUDA, Shigeru KOYAMA	九州大学	An experimental study on heat pump cycle using low-GWP refrigerants	Proc. The Eighth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, GST01-006,1-4.	有	2012/03	⑧
35	Daisuke JIGE, Shigeru KOYAMA	九州大学	An experimental study on condensation characteristics of low GWP refrigerants in a horizontal microfin tube	Proc. The Eighth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, GST01-009,1-4.	有	2012/03	⑧
36	Daisuke BABA, Hitoshi NAKAHATA, Takafumi NAKAGAWA, Shigeru KOYAMA	九州大学	Experimental study on condensation characteristics of low GWP refrigerants in a horizontal micro-fin tube	Proc. The Eighth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, GST01-010,1-4.	有	2012/03	⑧
37	地下大輔, 小山繁	九州大学	純冷媒の微細矩形流路内水平流の凝縮熱伝達特性	第46回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	無	2012/04	⑧
38	地下大輔, 小山繁	九州大学	R1234ze(E)/R32 混合冷媒の扁平多孔管内凝縮熱伝達	第49回日本伝熱シンポジウム講演論文集	無	2012/05	⑧
39	Daisuke BABA, Takafumi NAKAGAWA, Shigeru KOYAMA	九州大学	Flow boiling heat transfer and pressure drop of R1234ze(E) and R32 in horizontal micro-fin tube	Proc. Int. Refrig. and Air Conditioning Conf. at Purdue, no.2224, 1-8.	有	2012/07	⑧
40	Sho FUKUDA, Nobuo TAKATA, Shigeru KOYAMA	九州大学	The circulation composition characteristic of the zeotropic mixture R1234ze(E)/R32 in a heat pump cycle	Proc. Int. Refrig. and Air Conditioning Conf. at Purdue, no.2229, 1-8.	有	2012/07	⑧
41	Daisuke BABA, Hitoshi NAKAHATA, Chieko KONDOU, Shigeru KOYAMA	九州大学	Experimental study on condensation of a zeotropic mixture R1234ze(E)/R32 in a horizontal micro-fin tube	Proc. The 6th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning (ACRA), ID 3125, 1-8	有	2012/08	⑧
42	Sho FUKUDA, Chieko KONDOU, Shigeru KOYAMA	九州大学	Evaluating availability of zeotropic mixture R1234ze(E)/R32 in a heat pump cycle	Proc. The 6th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning (ACRA) ID 3083, 1-8	有	2012/08	⑧
43	Daisuke JIGE, Shigeru KOYAMA	九州大学	Condensation of refrigerant mixtures HFO1234ze(E)/HFC32 in a multi-port tube	Proc. The 6th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning (ACRA), ID 3074, 1-8.	有	2012/08	⑧
44	三島文也, 馬場大輔, 劉錦帆, 近藤智恵子, 小山繁	九州大学	R32およびR1234ze(E)の水平ら旋溝付管内沸騰熱伝達に関する実験的研究	2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, A214,1-4	無	2012/09	⑧

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマ No.※
45	東之弘, 萩谷俊	いわき明星大学	新規低 GWP冷媒 R-1234ze(Z) の飽和蒸気圧および PvT性質の測定	2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集,D223, 1-2.	無	2012/09	⑧
46	地下大輔, 川島弘之, 小山繁	九州大学	R1234ze(E)の水平扁平多孔管内沸騰流に関する実験的研究	2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, A222, 1-4.	無	2012/09	⑧
47	Daisuke BABA, Chieko KONDOU, Shigeru KOYAMA	九州大学	Heat transfer and pressure drop of flow boiling zeotropic mixture R1234ze(E)/R32 in horizontal microfin tubes	Proc. the 3rd Int. Forum on Heat Transf., IFHT-154	有	2012/11	⑧
48	Shotaro YAMAMOTO, Sho FUKUDA, Shigeru KOYAMA	九州大学	Performance of heat pump cycle using zeotropic mixtures of R1234ze(E) and R32	Proc. the 3rd Int. Forum on Heat Transf., IFHT-161	有	2012/11	⑧
49	Daisuke JIGE, Hiroyuki KAWASHIMA, Chieko KONDOU, Shigeru KOYAMA	九州大学	Experimental study on flow boiling of R1234ze(E) and R32 in horizontal rectangular mini channels	Proc. the 3rd Int. Forum on Heat Transf., IFHT-163	有	2012/11	⑧
50	東之弘, 宮良明男, 小山繁	いわき明星大学、佐賀大学、九州大学	3成分系 R 1234ze(E) + R 32 + CO <sub>2</sub> 混合冷媒の熱力学性質の測定	日本機械学会熱工学コンファレンス2012講演論文集, 1-2.	無	2012/11	⑧
51	福田翔, 山本章太郎, 近藤智恵子, 高田信夫, 小山繁	九州大学	HFO系冷媒を用いた高温用ヒートポンプサイクルの性能評価	日本機械学会熱工学コンファレンス2012講演論文集, 5-6	無	2012/11	⑧
52	地下大輔, 川島弘之, 小山繁	九州大学	水平扁平多孔管内におけるR1234ze(E)およびR32の沸騰熱伝達に関する実験的研究	日本機械学会熱工学コンファレンス2012講演論文集, 17-18	無	2012/11	⑧
53	近藤智恵子, 馬場大輔, 小山繁, 三島文也, 劉錦帆, 高橋宏行	九州大学他	R32 および R1234ze(E)のら旋溝付管内沸騰流に関する実験的研究	日本銅学会講演論文集,129-130	無	2012/11	⑧
54	馬場大輔, 近藤智恵子, 小山繁, 三島文也, 劉錦帆, 高橋宏行	九州大学他	R32 および R1234ze(E)のら旋溝付管内凝縮流に関する実験的研究	日本銅学会講演論文集,131-132	無	2012/11	⑧
55	Shigeru KOYAMA, Sho FUKUDA, Kanako OSAFUNE, Ryo AKASAKA	九州大学、九州産業大学他	Development of low GWP refrigerants suitable for heat pump systems	Proc. The Int. Symp. New Refrigerants and Environmental Technology 2012,135-140.	有	2012/11	⑧

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
56	Ryo AKASAKA, Yuya KANO, Yohei KAYUKAWA, Katsuyuki TANAKA, Hiroyuki MIYAMOTO, Yoshitaka FUJITA, Yukihiro HIGASHI	九州産業大学、(独)産業技術総合研究所、いわき明星大学他	A thermodynamic equation of state for low-GWP refrigerant HFO-1234ze(Z) and its application to heat pump cycle analysis	Proc. The Int. Symp. New Refrigerants and Environmental Technology 2012,193-197	有	2012/11	⑧
57	Yohei KAYUKAWA, Katsuyuki TANAKA, Hiroyuki MIYAMOTO, Yuya KANO, Yoshitaka FUJITA, Ryo AKASAKA, Yukihiro HIGASHI	(独)産業技術総合研究所、九州産業大学、いわき明星大学他	Experimental evaluation of the fundamental properties for low-GWP refrigerant HFO-1234ze(Z)	Proc. The Int. Symp. New Refrigerants and Environmental Technology 2012,231.	有	2012/11	⑧
58	Yukihiro HIGASHI	いわき明星大学	Thermodynamic properties of low GWP refrigerant mixtures	Proc. The Int. Symp. New Refrigerants and Environmental Technology 2012,221-222.	有	2012/11	⑧
59	Takuya KURIYAMA, Ryota FUKUDA, Akio MIYARA	佐賀大学	Thermal conductivity measurement of saturated liquid of HFOs and HFO+HFC mixtures	Proc. The Int. Symp. New Refrigerants and Environmental Technology 2012,219-220.	有	2012/11	⑧
60	地下大輔, 小山繁	九州大学	純冷媒の水平微細流路内凝縮－摩擦圧力損失整理式の提案－	日本冷凍空調学会論文集29(4) 413-420	有	2012/12	⑧
61	地下大輔, 小山繁	九州大学	HFCおよびHFO系冷媒の水平微細流路内凝縮－矩形流路内熱伝達の予測モデル－	日本冷凍空調学会論文集29(4) 421-432	有	2012/12	⑧
62	Jinfan LIU, Daisuke BABA, Fumiya MISHIMA, Chieko KONDOU, Shigeru KOYAMA	九州大学	Condensation heat transfer of low GWP refrigerant R32/R1234ze(E) in horizontal micro-fin tubes	Proc. 13th Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Engineering,225-226	無	2013/02	⑧
63	Katsuyuki TANAKA, Yukihiro HIGASHI	いわき明星大学他	Surface tension of trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene and trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene + difluoromethane mixture	Journal of Chemical Engineering in Japan,doi: 10.1252/jcej.13we021	有	2013/03	⑧
64	地下大輔, 小山繁	九州大学	R1234ze(E)のミニチャンネル内流動沸騰	第47回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, 123-126.	無	2013/04	⑧
65	福田翔, 山本章太郎, 近藤智恵子, 高田信夫, 小山繁	九州大学	R1234ze(E)/R32混合冷媒のヒートポンプサイクルの性能評価－圧縮機特性の影響－	(日本伝熱シンポジウム)	発表準備中	2013/05	⑧

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
66	Chieko KONDOU, Daisuke BABA, Fumiya MISHIMA, JinFan LIU, Shigeru KOYAMA	九州大学	Flow boiling of low GWP zeotropic mixture R32/R1234ze(E) in horizontal microfin tubes	(Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, TP-031, 1-8)	発表準備中	2013/06	⑧
67	Sho FUKUDA, Chieko KONDOU, Nobuo TAKATA, Shigeru KOYAMA	九州大学	The performance evaluation of high temperature heat pump cycle using Low GWP refrigerants	(Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, TP-033, 1-7)	発表準備中	2013/06	⑧
68	Yukihiro HIGASHI, Shugo HAYASAKA, Shun OGIYA	いわき明星大学	Measurements of PVT properties, vapor pressures and critical parameters for low GWP refrigerant R-1234ze(Z)	(Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants)	発表準備中	2013/06	⑧
69	Ryo AKASAKA, Yukihiro HIGASHI, Shigeru KOYAMA	九州産業大学、いわき明星大学、九州大学	A fundamental equation of state for low-GWP refrigerant HFO1234ze(Z)	(Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, TP-052, 1-7)	発表準備中	2013/06	⑧
70	Takuya KURIYAMA, Ryota FUKUDA, Akio MIYARA	佐賀大学	Thermal conductivities of HFO and HFO+HFC mixtures in saturated liquid condition	(Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, TP-033, 1-7)	発表準備中	2013/06	⑧
71	Daisuke JIGE, Shigeru KOYAMA	九州大学	Perdiction method condensation characteristic of pure refrigerants in rectangular mini-channels	(Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, TP-046, 1-8)	発表準備中	2013/06	⑧
72	近藤智恵子, 馬場大輔, 小山繁, 三島文也	九州大学	R32およびR1234ze(E)のらせん溝付管内沸騰流に関する実験的研究	(銅と銅合金 Vol.52)	印刷中	2013/08	⑧
73	馬場大輔, 近藤智恵子, 三島文也, 小山繁, 高橋宏行	九州大学他	非共沸混合冷媒R32/R1234ze(E)のらせん溝付管内凝縮流に関する実験的研究	(銅と銅合金 Vol.52)	印刷中	2013/08	⑧
74	Chieko KONDOU, Daisuke BABA, Fumiya MISHIMA, Shigeru KOYAMA	九州大学	Flow boiling of non-azeotropic mixture R32/R1234ze(E) in horizontal microfin tubes	(Int. J. Refrig.)	査読中	2013/12	⑧
75	汪琳琳, 党超鋌, 飛原英治	東京大学	低GWP冷媒HFO1234yfの水平管内凝縮に関する実験研究	2011年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集	無	2011/09	⑨
76	Minxia Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Flow boiling heat transfer of refrigerants mixture HFO1234yf and R32 in a smooth horizontal tube	23rd IIR congress of refrigeration	無	2011/08	⑨



論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
77	Minxia Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Experimental investigation of flow boiling heat transfer of HFO1234yf and R32 refrigerant mixture in a smooth horizontal tube	10th IEA Heat Pump Conference 2011	無	2011/05	⑨
78	汪琳琳, 党超鋌, 飛原英治	東京大学	水平伝熱管内のHFO1234yfとR32混合冷媒の流動沸騰伝熱特性	2011年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集	無	2011/09	⑨
79	Minxia Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Study of flow boiling heat transfer characteristics of low GWP refrigerants in smooth horizontal tube	第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集	無	2011/06	⑨
80	Shizuo Saitoh, Chaobin Dang, Yoshitaka Nakamura, Eiji Hihara	東京大学	Boiling heat transfer of HFO-1234yf flowing in a smooth small-diameter horizontal tube	International Journal of Refrigeration, Vol.34, 1846-1853	有	2011	⑨
81	齋藤静雄, 党超鋌, 飛原英治	東京大学	低GWP冷媒R-1234yfの水平細管内沸騰熱伝達における潤滑油の影響	2011年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集	無	2011/09	⑨
82	近藤重雄, 滝澤賢二, 高橋明文, 徳橋和明	(独)産業技術総合研究所	最小発火エネルギー理論式に関する再検討	第44回安全工学研究発表会	無	2011/12	⑨
83	滝澤賢二, 徳橋和明, 近藤重雄, 間宮幹人, 永井秀明	(独)産業技術総合研究所	R-1234yf及びR-1234ze(E)の燃焼性評価	第49回燃焼シンポジウム	無	2011/12	⑨
84	滝澤賢二	(独)産業技術総合研究所	微燃性化合物の燃焼性評価技術の開発	平成23年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ5 21世紀の化学反応とプロセス-オープンイノベーションの新たな展開-	無	2012/02	⑨
85	滝澤賢二, 徳橋和明, 近藤重雄, 間宮幹人, 永井秀明	(独)産業技術総合研究所	低GWP冷媒R-1234yf及びR-1234ze(E)の燃焼性評価	平成23年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ5 21世紀の化学反応とプロセス-オープンイノベーションの新たな展開-	無	2012/02	⑨
86	Linlin Wang, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Experimental study on condensation heat transfer of low GWP refrigerant HFO1234yf in a horizontal tube	Int. J. Refrigeration, 35: 1418-1429, 2012	有	2012	⑨
87	Minxia Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Flow boiling heat transfer of HFO1234yf and R32 refrigerant mixtures in a smooth horizontal tube: Part I. Experimental investigation	Int. J. Heat and Mass Transfer, 55: 3437-3446, 2012	有	2012	⑨
88	飛原英治	東京大学	低GWP冷媒の性能と安全性	第46回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	無	2012/04	⑨
89	李敏霞, 党超鋌, 飛原英治	東京大学	水平蒸発管内における低GWP混合冷媒HFO1234yf/R32の伝熱特性	第49回日本伝熱シンポジウム講演論文集	無	2012/05	⑨
90	汪琳琳, 党超鋌, 飛原英治	東京大学	水平平滑管内における非共沸混合冷媒R1234yf/R32凝縮熱伝達に関する研究	第49回日本伝熱シンポジウム講演論文集	無	2012/05	⑨
91	Linlin Wang, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Experimental and Theoretical Study on Condensation Heat Transfer of Nonazeotropic Refrigerant Mixture R1234yf/R32 inside a Horizontal Smooth Tube	The 14th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue ,2472, 2012	無	2012/07	⑨
92	Tatsuhito Hattori, Makoto Ito, Eiji Hihara	東京大学	Evaluation of refrigerant leakage	International Symposium on New Refrigerants and environmental Technology 2012	無	2012/11	⑨
93	Eiji Hihara	東京大学	Research project on risk assessment of mildly flammable refrigerants in JSRAE	International Symposium on New Refrigerants and environmental Technology 2012	無	2012/11	⑨

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
94	Minxia Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Study of flow boiling heat transfer of R32 in smooth horizontal tubes with various inner diameters	The 6th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning	無	2012/8	⑨
95	Minxia Li, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Prediction of flow boiling heat transfer coefficient of binary mixture (HFO1234yf +R32) in a horizontal smooth tube	The Third International Forum on Heat Transfer	無	2012/11	⑨
96	Shizuo Saitoh, Chaobin Dang, Eiji Hihara	東京大学	Effect of lubricating oil on flow boiling heat transfer of low GWP refrigerant HFO-1234yf in a horizontal small-diameter tube	The Third International Forum on Heat Transfer	無	2012/11	⑨
97	近藤重雄, 滝澤賢二, 徳橋和明	(独)産業技術総合研究所	主な2L冷媒化合物の燃焼限界の温度・湿度依存性について	安全工学シンポジウム2012	無	2012/07	⑨
98	Kenji Takizawa, Kazuaki Tokuhashi, Shigeo Kondo	(独)産業技術総合研究所	FLAMMABILITY PROPERTIES OF 2L REFRIGERANTS	Int. Symp. New Refrigerants Env. Tech. 2012	無	2012/11	⑨
99	滝澤賢二, 水門潤治, 徳橋和明, 近藤重雄, 田村正則	(独)産業技術総合研究所	温暖化効果の小さい冷媒の燃焼性評価	第10回環境研究シンポジウム	無	2012/11	⑨
100	Shigeo Kondo, Kenji Takizawa, Kazuaki Tokuhashi	(独)産業技術総合研究所	Effects of temperature and humidity on the flammability limits of several 2L refrigerants	J. Fluor. Chem. 144, 130-136 (2012)	有	2012/12	⑨
101	近藤重雄, 滝澤賢二, 徳橋和明	(独)産業技術総合研究所	アンモニアとマルチフッ素化合物の二元混合系の燃焼限界	第45回安全工学研究発表会	無	2012/11	⑨
102	滝澤賢二, 徳橋和明, 近藤重雄, 間宮幹人, 永井秀明	(独)産業技術総合研究所	微燃性化合物の消炎距離	第50回燃焼シンポジウム	無	2012/12	⑨
103	滝澤賢二	(独)産業技術総合研究所	(解説)微燃性冷媒 その燃焼性を理解する	日本冷凍空調工業会機関誌「冷凍と空調」621, 12-17 (2013)	無	2013/02	⑨
104	滝澤賢二, 徳橋和明, 近藤重雄, 間宮幹人, 永井秀明	(独)産業技術総合研究所	低GWP 冷媒の燃焼性評価	平成23年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ5	無	2013/02	⑨
105	滝澤賢二	(独)産業技術総合研究所	温暖化効果の小さい微燃性冷媒	日本冷凍空調学会, 技術セミナー(西日本地区)冷媒の最新動向と低GWP 冷媒導入技術	無	2013/02	⑨
106	滝澤賢二	(独)産業技術総合研究所	微燃性冷媒の安全性について	ヒートポンプ蓄熱センター, 最新技術動向セミナー冷凍空調機器の冷媒規制と次世代冷媒の安全性	無	2013/03	⑨
107	飛原英治	東京大学	国内外における冷凍空調用冷媒の規制と新冷媒の開発動向	第47回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	無	2013/04	⑨
108	服部達仁, 飛原英治	東京大学	微燃性冷媒の漏洩シミュレーションに関する研究	第47回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	無	2013/04	⑨
109	伊藤誠, 飛原英治	東京大学	低温室効果冷媒の熱分解生成物分析	第47回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	無	2013/04	⑨

## 論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月	テーマNo.※
110	Shigeo Kondo, Kenji Takizawa, Kazuaki Tokuhashi	(独)産業技術総合研究所	Effects of temperature and humidity on the flammability limits of several 2L refrigerants	J. Fluor. Chem. 144, 130-136 (2012)	有	2012/12	⑨
111	Shigeo Kondo, Kenji Takizawa, Kazuaki Tokuhashi	(独)産業技術総合研究所	Flammability limits of binary mixtures of ammonia with HFO-1234yf, HFO-1234ze, HFC-134a, and HFC-125	J. Fluor. Chem. 149, 18-23 (2013)	有	2013/05	⑨
112	Kenji Takizawa, Kazuaki Tokuhashi, Shigeo Kondo	(独)産業技術総合研究所	Quenching distance measurement of highly to mildly flammable compounds		発表準備中	(予定)	⑨

※テーマNo.:テーマ名【事業者】

- ①: CO<sub>2</sub>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】
- ②: 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】
- ③: CO<sub>2</sub>-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】
- ④: 低GWP冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】
- ⑤: 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】
- ⑥: 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】
- ⑦: 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 諏訪東京理科大学】
- ⑧: 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】
- ⑨: エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

## 特許リスト(公開版)

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者	テーマ No.※
1	サンデン(株)	特願2012-101474	国内	2012/4/26	出願	スクロール膨張機	高井和彦	①
2	サンデン(株)	特願2012-266321	国内	2012/12/5	出願	スクロール型流体機械	高井和彦他	①
3	サンデン(株)	特願2012-273926	国内	2012/12/14	出願	スクロール型流体機械	高井和彦他	①
4	サンデン(株)	特願2013-013538	国内	2013/1/28	出願	圧縮機一体型膨張機	高井和彦	①

特許の詳細内容に関しては一部非公開(件数としてはカウント)

※テーマNo.:テーマ名【事業者】

- ①: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【サンデン株式会社】
- ②: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】
- ③: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【パナソニック株式会社】
- ④:低GWP冷媒の高温領域での適用調査研究【三菱重工業株式会社】
- ⑤: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】
- ⑥:高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発【旭硝子株式会社】
- ⑦: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 諏訪東京理科大学】
- ⑧: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】
- ⑨:エアコン用低GWP冷媒の性能および安全性評価【国立大学法人東京大学】

【抜粋版】

# 京都議定書目標達成計画

(平成17年4月28日 策定)

(平成18年7月11日 一部改定)

平成20年3月28日 全部改定

# 目 次

<b>はじめに</b> .....	1
<b>第1章 地球温暖化対策の推進に関する基本的方向</b> .....	6
第1節 我が国の地球温暖化対策の目指す方向 .....	6
第2節 地球温暖化対策の基本的考え方 .....	7
<b>第2章 温室効果ガスの排出抑制・吸収の量に関する目標</b> .....	10
第1節 我が国の温室効果ガスの排出状況 .....	10
第2節 温室効果ガス別その他の区分ごとの目標 .....	11
第3節 個々の対策に係る目標 .....	19
<b>第3章 目標達成のための対策と施策</b> .....	20
第1節 国、地方公共団体、事業者及び国民の基本的役割 .....	20
第2節 地球温暖化対策及び施策 .....	23
1. 温室効果ガスの排出削減、吸収等に関する対策・施策 .....	23
(1) 温室効果ガスの排出削減対策・施策 .....	23
① エネルギー起源二酸化炭素 .....	23
ア. 低炭素型の都市・地域構造や社会経済システム の形成 .....	26
イ. 部門別（産業・民生・運輸等）の対策・施策 .....	29
A. 産業部門（製造事業者等）の取組 .....	29
B. 業務その他部門の取組 .....	35
C. 家庭部門の取組 .....	41
D. 運輸部門の取組 .....	43
E. エネルギー転換部門の取組 .....	48
② 非エネルギー起源二酸化炭素 .....	52
③ メタン・一酸化二窒素 .....	53
④ 代替フロン等3ガス .....	55
(2) 温室効果ガス吸収源対策・施策 .....	57

2. 横断的施策	59
(1) ポリシーミックスの活用	59
(1-1) 経済的手法	59
(1-2) 国内排出量取引制度	59
(1-3) 環境税	60
(2) 深夜化するライフスタイル・ワークスタイルの見直し	60
(3) サマータイムの導入	60
(4) 温室効果ガス排出量の算定・報告・公表制度	60
(5) 事業活動における環境への配慮の促進	60
(6) 国民運動の展開	61
3. 基盤的施策	64
(1) 気候変動枠組条約及び京都議定書に基づく温室効果ガス 排出量・吸収量の算定のための国内制度の整備	64
(2) 地球温暖化対策技術開発の推進	64
(3) 気候変動に係る研究の推進、観測・監視体制の強化	66
(4) 地球温暖化対策の国際的連携の確保、国際協力の推進	66
第3節 特に地方公共団体に期待される事項	69
第4節 特に排出量の多い事業者 <sup>ちやく</sup> に期待される事項	71
第5節 京都メカニズムに関する対策・施策	72
<b>第4章 地球温暖化対策を持続的に推進するために</b>	78
第1節 京都議定書目標達成計画の進捗管理	78
第2節 国民の努力と技術開発の評価方法	82
第3節 推進体制の整備	83
<b>おわりに</b>	84
別表1 エネルギー起源二酸化炭素に関する対策・施策の一覧	
別表2 非エネルギー起源二酸化炭素に関する対策・施策の一覧	
別表3 メタン・一酸化二窒素に関する対策・施策の一覧	
別表4 <u>代替フロン等3ガスに関する対策・施策の一覧</u>	
別表5 温室効果ガス吸収源対策・施策の一覧	
別表6 横断的施策	

## はじめに

地球温暖化問題は、人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題の一つである。地球温暖化問題は、資源やエネルギーを効率良く利用する努力を行いながら、大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会経済活動や生活様式を見直すことを迫るものであり、その意味で1997年の京都議定書の採択は転換点となるものである。

その京都議定書が2005年2月に発効した。同議定書では、我が国について温室効果ガスの6%削減が法的拘束力のある約束として定められている。

政府は、従来、地球温暖化防止行動計画（1990年）、地球温暖化対策に関する基本方針（1999年）、地球温暖化対策推進大綱（1998年、2002年）を定めるなど、地球温暖化対策を推進してきた。

2002年の地球温暖化対策推進大綱は、2004年にその評価・見直しをすることとしていた。また、地球温暖化対策の推進に関する法律（平成10年法律第117号。以下「地球温暖化対策推進法」という。）は、京都議定書発効の際に京都議定書目標達成計画を定めることとしている。

これを受けて、地球温暖化対策推進法に基づき、京都議定書の6%削減約束を確実に達成するために必要な措置を定めるものとして、また、2004年に行った地球温暖化対策推進大綱の評価・見直しの成果として、2005年4月、同大綱、地球温暖化防止行動計画、地球温暖化対策に関する基本方針を引き継ぐ「京都議定書目標達成計画」（本計画）を策定した。

地球温暖化対策推進法は、平成19年において、京都議定書目標達成計画に定められた目標及び施策について検討を加え、その結果に基づき、必要があると認めるときは、速やかに変更しなければならない（第9条）としている。今般（2008年3月）、これを受けて本計画の全体を改定するものである。

### ○地球温暖化に関する科学的知見

地球温暖化問題は、人間活動に伴って発生する温室効果ガスが大気中の温室効果ガス濃度を増加させることにより、地球全体の地表及び大気の温度を追加的に上昇させ、自然の生態系及び人類に深刻な影響を及ぼすものである。その予想される影響の大きさや深刻さから見て、人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題の一つである。

「気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）」第4次評価報告書（2007年）は、2005年までの100年間に世界の平均気温が0.74[0.56～0.92]°C上昇したこと、平均海面水位が20世紀中に17[12～22]cm上昇したことなどを明らかにし、これらの事実や、雪氷の広範囲にわたる融解等から、地球が温暖化していることには疑う余地が無いとした。その原因は、人為起源の温室効果ガス濃度の増加だとほぼ断定されている。

現状の世界の排出量は自然界の吸収量の2倍を超えており、このままで行くと、世界の温室効果ガス排出量は今後数十年に渡って引き続き増加するものと考えられ、同報告は、将来予測について、1980～1999年に比べ、21世紀末（2090年～2099年）の気温上昇



は、環境の保全と経済の発展が地球規模で両立する社会においては約1.8[1.1~2.9]℃、化石エネルギーを重視しつつ高い経済成長を実現する社会においては約4.0[2.4~6.4]℃と予測している。また、予想される影響として、洪水や暴風雨による被害の増加、数億人が水不足の深刻化に直面すること、種の絶滅リスクの増加、感染症や栄養失調などによる社会的負担の増加等があるとしている。

現在既に、地球温暖化によって水資源や自然生態系などでは悪影響が顕在化しており、今後の気温上昇に従って、より深刻な影響が様々な分野や地域で生じることが予測されている。

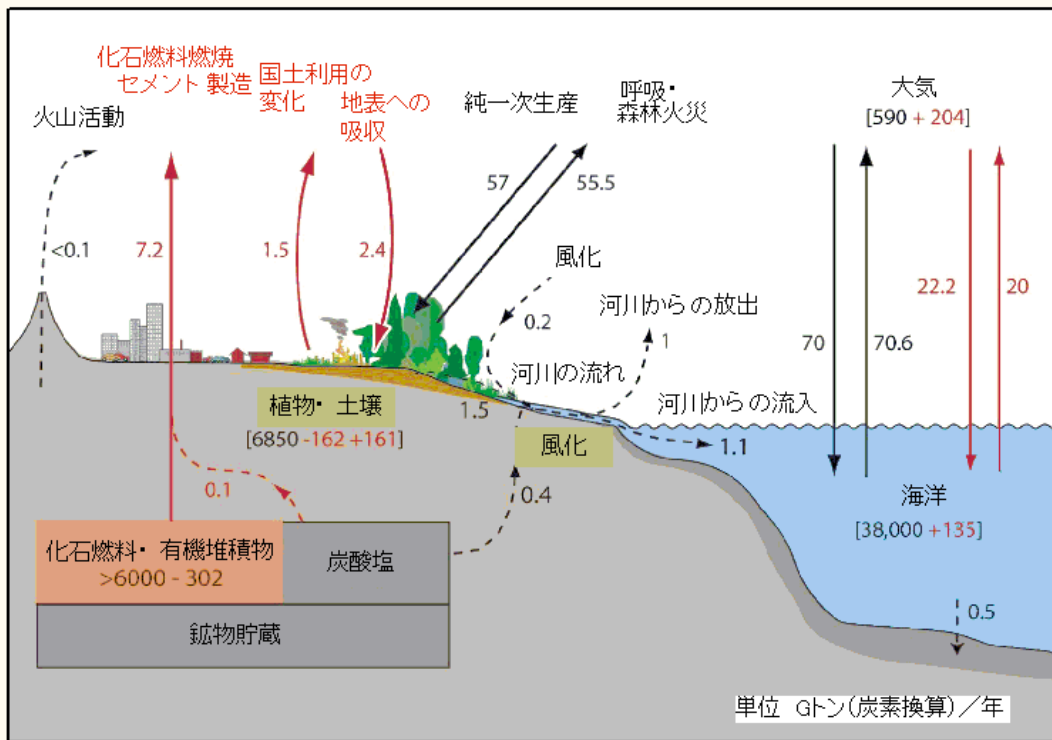
多くの影響は、排出削減により回避、遅延、低減することができ、今後20~30年間の削減努力と投資が必要である。削減対策の遅れは、より低い安定化濃度の達成に大きな影響を与え、より厳しい気候変化の影響のリスクを増大させるとしている。

我が国においては、1898~2007年までの平均気温が100年当たり1.10℃上昇した。近年、一部の高山植物の生息域の減少、昆虫や動物の生息域の変化、桜の開花日やカエデの紅葉日の変化など、生態系の分布に変化が現れており、また、大雨の発生頻度の増加、農作物の生育不良、感染症のリスク地域の拡大なども指摘されている<sup>1</sup>。

気候変動に関する国際連合枠組条約（以下「気候変動枠組条約」という。）の究極的な目的である「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととしない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」を達成するためには、このような水準を確保しつつ、排出される温室効果ガスの量と吸収される温室効果ガスの量とが均衡し、地球の大気中の温室効果ガスのストックとしての量が変化しない状態にする必要がある。現状の世界の排出量は、自然界の吸収量の2倍を超えており、大気中の濃度は高まる一方であることを考えれば、まず、世界全体の排出量を現状に比して2050年までに半減することが目標となると2007年5月に我が国が発表した「美しい星50（クールアース50）」においては提案している。

<sup>1</sup> 参考文献：気象庁(2005)「異常気象レポート2005」、環境省(2001)「地球温暖化の日本への影響2001」

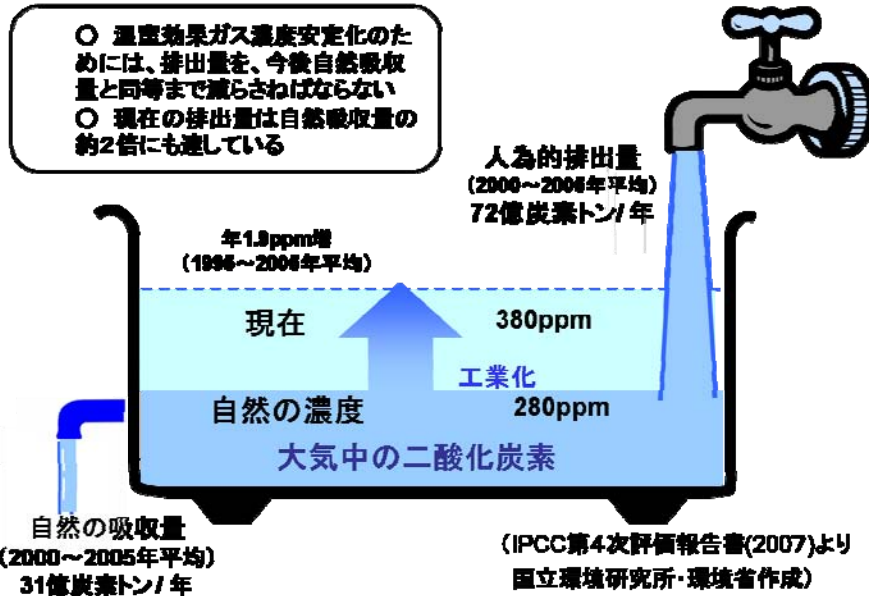
図1 炭素循環



注 黒は、非人為的な蓄積・流れ。赤は、人為による蓄積・流れ。

(出典) Global Carbon Project "The Global Carbon Cycle" (2006)

図2 二酸化炭素濃度の安定化のイメージ (模式図)



18世紀後半工業化以前は、280ppmあたりで自然循環がバランスしていた。

注) 濃度安定化のイメージをわかりやすく示すため、図1に示されているような陸域・海洋の蓄積量や炭素交換は省略されている。

## ○京都議定書発効までの流れ

### 1. 気候変動枠組条約の採択と発効

地球温暖化問題に対処するため、気候変動枠組条約が1992年5月に採択され、1994年に発効した。我が国は1992年6月の国際連合環境開発会議において署名、1993年5月に受諾した。

気候変動枠組条約は、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」を究極的な目的とし、そのような水準は、生態系が気候変動に自然に適応し、食料の生産が脅かされず、かつ、経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内に達成されるべきであるとしている。

気候変動枠組条約では、開発途上国における一人当たりの排出量は先進国と比較して依然として少ないこと、過去及び現在における世界全体の温室効果ガスの排出量の最大の部分を占めるのは先進国から排出されたものであること、各国における地球温暖化対策をめぐる状況や対応能力には差異があることなどから、「共通だが差異ある責任」の原則に基づき、①途上国を含む全ての締約国、②附属書Ⅰ国（OECD諸国、市場経済移行国等）、③附属書Ⅱ国（OECD諸国等）という3つのグループに分けて異なるレベルの対策を講ずることが合意された。

### 2. 京都議定書の採択

気候変動枠組条約の究極的な目的を達成するための長期的・継続的な排出削減の第一歩として、先進国の温室効果ガスの削減を法的拘束力を持つものとして約束する京都議定書が、1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）において採択された。

京都議定書では、排出の抑制及び削減に関する数量化された約束の対象となる温室効果ガスを二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン（CH<sub>4</sub>）、一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）、ハイドロフルオロカーボン（HFC）、パーフルオロカーボン（PFC）、六ふっ化硫黄（SF<sub>6</sub>）としている。

これら温室効果ガスの排出量を2008年から2012年までの第1約束期間において先進国全体で1990年レベルと比べて少なくとも5%削減することを目的として、各国ごとに法的拘束力のある数量化された約束が定められ、我が国については6%削減が定められた。

また、京都議定書では、約束達成に際しては、吸収源についてもカウントできることとされ、さらに、国別の約束達成に係る柔軟措置として京都メカニズムが規定された。

### 3. 京都議定書の発効

京都議定書は、①55カ国以上の国が締結すること、②締結した条約附属書Ⅰ国の1990年の二酸化炭素の排出量を合計した量が、全附属書Ⅰ国の二酸化炭素の総排出量の55%以上を占めること、という2つの条件を満たしてから90日後に発効することを規定している。

COP3の議長国である我が国は、京都議定書の早期発効を目指して、発効要件上、鍵を握ることとなったロシアや不参加の方針を打ち出した米国を含めた京都議定書の未締約国に対して締結の働きかけを継続してきた。

2004年11月、ロシアが京都議定書を締結したことにより、京都議定書は上記発効要件を満たし、2005年2月16日、発効した。

## ○京都議定書目標達成計画策定までの我が国の取組

我が国は、1990年10月に地球温暖化防止行動計画を地球環境保全に関する関係閣僚会議において策定し、二酸化炭素の排出量を2000年以降1990年レベルで安定化することなどを目標にして、各種の対策を講じた。

その後、1997年12月の京都議定書の採択を受けて、1998年6月に、地球温暖化対策推進本部において、2010年に向けて緊急に推進すべき地球温暖化対策を取りまとめた地球温暖化対策推進大綱を決定した。

また、地球温暖化対策推進法の制定、地球温暖化対策に関する基本方針の閣議決定などを通じて、我が国における地球温暖化対策推進の基礎的な枠組みを構築するとともに、エネルギーの使用の合理化に関する法律（昭和54年法律第49号。以下「省エネルギー法」という。）の改正等の各種の国内対策を実施した。

2001年11月、京都議定書の運用の細則を規定したマラケシュ合意が採択されたことを受けて、各国の京都議定書締結が促進される環境が整った。

2002年3月、京都議定書の締結に向けて、我が国は地球温暖化対策推進大綱の改定を行った。また、京都議定書発効の際に京都議定書目標達成計画を定めること等を内容とする地球温暖化対策推進法の改正が行われた。こうした国内体制の整備を受けて、我が国は2002年6月に京都議定書を締結した。

その後、2005年2月に京都議定書が発効したことを受け、2005年4月28日に京都議定書目標達成計画を策定した。

# 第1章 地球温暖化対策の推進に関する基本的方向

## 第1節 我が国の地球温暖化対策の目指す方向

我が国は、京都議定書の6%削減約束を確実に達成する。加えて、更なる長期的・継続的かつ大幅な排出削減を目指す。

21世紀が「環境の世紀」とされ、地球温暖化問題への対処が人類共通の重要課題となる中、我が国は、他国のモデルとなる世界に冠たる環境先進国家として、地球温暖化問題において世界をリードする役割を果たしていく。

### 1. 京都議定書の6%削減約束の確実な達成

我が国は、温室効果ガスの総排出量を2008年から2012年の第1約束期間に基準年から6%削減することを内容とする京都議定書の約束達成のため、必要な取組を推進する。

京都議定書の約束期間において、対策が遅れば遅れるほど、6%削減約束の達成のために短期間で大幅な削減を達成するための措置を講じなければならなくなることから、現段階で導入可能な対策・施策を直ちに実施することにより、確実な削減を図る。

### 2. 地球規模での温室効果ガスの更なる長期的・継続的な排出削減

京都議定書に定められた先進国の削減約束の達成は、温室効果ガスの大気中濃度の安定化という気候変動枠組条約の究極的な目的の達成のための一里塚である。さらに、2007年5月に我が国が発表した「美しい星50」においては、「世界全体の排出量を現状から2050年までに半減」という長期目標を世界共通目標として提案している。この目標の達成に積極的に貢献するために、まずは京都議定書の6%削減約束の達成を図り、更なる長期的・継続的かつ大幅な排出削減へと導く。

このような観点から、6%削減約束の達成のための対策・施策を「美しい星50」に基づく2013年以降の中期戦略、2050年までの長期戦略につながる全体の取組の中に位置付け、京都議定書の約束達成の取組とこれら中長期的取組との整合性を確保しつつ、革新的な技術開発と併せて温室効果ガスの排出削減が組み込まれた低炭素社会の構築を目指す。

また、地球温暖化は、その原因と影響が地球規模にわたることから、世界全体の排出削減につながるよう地球温暖化対策の国際的連携の確保を進める。

## 第2節 地球温暖化対策の基本的考え方

温室効果ガスの排出は経済活動と国民生活に密接に関連していることから、「環境と経済の両立」という基本的考え方に立って、地球温暖化対策を大胆に実行する。

世界をリードする環境立国を目指し、革新的技術の開発とそれを中核とする低炭素社会づくりを推進するとともに、国、地方公共団体、事業者、国民の参加と連携を図り、そのための透明性の確保、情報の共有を図る。

多様な政策手段を活用して対策の推進を図るとともに、対策の定量的な評価・見直し等進捗管理を強化することにより、6%削減約束の達成を確実なものとする。また、地球温暖化対策の国際的連携を確保する。

### 1. 環境と経済の両立

京都議定書の6%削減約束の達成への取組が我が国の経済活性化、雇用創出などにもつながるよう、技術革新や創意工夫を活かし、環境と経済の両立に資するような仕組みの整備・構築を図る。

具体的には、環境負荷の少ない健全な経済の発展や質の高い国民生活の実現を図りながら温室効果ガスの排出を削減すべく、省エネ機器の開発・普及、エネルギー利用効率の改善、技術開発の一層の加速化、ライフスタイル・ワークスタイルの変革に加え、広範な社会経済システムの転換を伴う地球温暖化対策を大胆に実行する。

### 2. 革新的技術の開発とそれを中核とする低炭素社会づくり

京都議定書の約束を達成するとともに、更に「低炭素社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。

環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、既に効果を上げている対策や既存技術の普及を加速することと併せて、省エネルギー、再生可能エネルギー、原子力等の環境・エネルギー技術に磨きをかけ、創造的な技術革新を図り、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図るとともに、ライフスタイル、都市や交通の在り方など社会の仕組みを根本から変えていくことで、世界をリードする環境立国を目指す。

### 3. 全ての主体の参加・連携の促進とそのための透明性の確保、情報の共有

地球温暖化問題は、経済社会活動、地域社会、国民生活全般に深く関わることから、国、地方公共団体、事業者、国民といった全ての主体が参加・連携して取り組むことが必要である。

このため、地球温暖化対策の進捗状況に関する情報を積極的に提供・共有す

ることを通じて各主体の対策・施策への積極的な参加や各主体間の連携の強化を促進する。

また、深刻さを増す地球温暖化問題に関する知見や、6%削減約束の達成のために格段の努力を必要とする具体的な行動、及び一人一人が何をすべきかについての情報を、なるべく目に見える形で伝わるよう、積極的に提供・共有し、広報普及活動を行い、家庭や企業における意識の改革と行動の喚起につなげる。

#### 4. 多様な政策手段の活用

分野ごとの実情をきめ細かく踏まえて、削減余地を最大限発現し、あらゆる政策手段を総動員して、効果的かつ効率的な温室効果ガスの抑制等を図るため、各主体間の費用負担の公平性に配慮しつつ、自主的手法、規制的手法、経済的手法、情報的手法など多様な政策手段を、その特徴を活かしながら、有効に活用する。

また、幅広い排出抑制効果を確保するため、コスト制約を克服する技術開発・対策導入を誘導するような経済的手法を活用したインセンティブ付与型施策を重視する。

#### 5. 評価・見直しプロセス（PDCA）の重視

本計画の実効性を常に把握し確実にするため、本計画策定後、毎年、各対策について政府が講じた施策の進捗状況等について、対策評価指標等を用いつつ厳格に点検し、必要に応じ、機動的に本計画を改定し対策・施策の追加・強化を図る。

さらに、第1約束期間の中間年度である2010年度以降速やかに、目標達成のために実効性のある追加的対策・施策を講ずることができるよう、2009年度には、第1約束期間全体（5年間）における我が国の温室効果ガス排出量見通しを示し、本計画に定める対策・施策の進捗状況・排出状況等を総合的に評価する。

こうしたことから、本計画においては、温室効果ガスやその他の区分ごとの目標、個々の対策とその対策評価指標、温室効果ガス排出削減見込量、対策における主体ごとの役割及び取組、国・地方公共団体の施策を明らかにするものとする。（第4章第1節で詳述。）

#### 6. 地球温暖化対策の国際的連携の確保

地球温暖化は、その原因と影響が地球規模にわたることから、地球温暖化対策の実効性を確保するためには全ての主要排出国が実効性のある形で温室効果ガスの削減に努めることが必須であり、各国の努力のみならず、国際的協調の下での更なる取組が不可欠である。このため、我が国としては、京都議定書第1約束期間終了後の2013年以降、全ての主要排出国が参加する実効ある次期枠組みが構築されるよう、「美しい星50」に基づき、引き続き最大限の努力を

傾けていく。

また、二酸化炭素の排出は、今後の世界的な人口増加と経済発展に伴い急激に増加することが予想されることから、我が国は、優れた技術力と環境保全の蓄積された経験を背景に、国際協力を通じて世界の取組の先導的役割を果たしていく。地球温暖化問題への対応と化石エネルギー資源制約からの脱却という点に着目すれば、化石エネルギー消費等に伴う温室効果ガスの排出を大幅に削減し、世界全体の排出量を自然界の吸収量と同等のレベルとしていくことにより、気候に悪影響を及ぼさない水準で大気中温室効果ガス濃度を安定化させると同時に、生活の豊かさを実感できる「低炭素社会（Low Carbon Society）」に向けた取組が必要である。



## 第2章 温室効果ガスの排出抑制・吸収の量に関する目標

### 第1節 我が国の温室効果ガスの排出状況

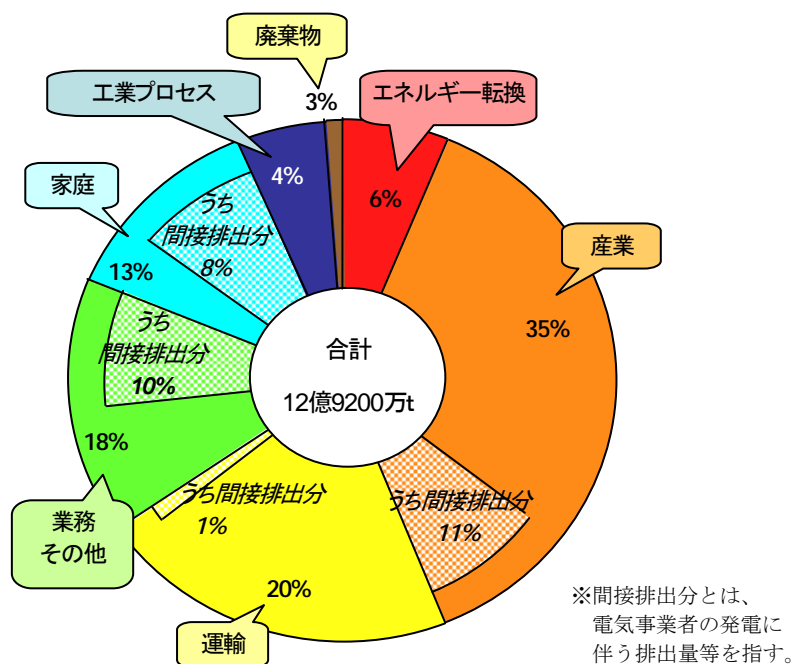
我が国の温室効果ガス全体の基準年排出量（以下「基準年総排出量」という。）は12億6,100万t-CO<sub>2</sub>であり、6%削減約束を達成するためには、第1約束期間における年平均総排出量を年間11億8,600万t-CO<sub>2</sub>に削減することが必要である。

一方、2005年度の我が国の温室効果ガスの総排出量は13億5,900万t-CO<sub>2</sub>、基準年比で7.7%の増加となっており、削減約束との差は13.7%と広がっている。

これは、メタン、一酸化二窒素、代替フロン等3ガスについては削減が進んでいるものの、我が国の温室効果ガスの排出量の9割程度を占めるエネルギー起源二酸化炭素の排出量が大幅に増大した（2005年度で基準年総排出量比11.3%増加）ことが主な原因である。エネルギー起源二酸化炭素の排出量が増えた背景としては、2002年後半の原子力発電の停止以降の設備利用率の低迷といった特殊な要因や、中国の景気拡大、産業構造の転換、オフィスビル等の床面積の増大、パソコンや家電等の保有台数の増加等を背景としたオフィスや家庭におけるエネルギー消費量の増大等を背景に、二酸化炭素排出量の約4割を占める産業部門からの排出量はほぼ横ばい傾向、約2割を占める運輸部門からの排出量は1990年度比で約2割増大しているが、近年低下傾向にある一方、約2割を占める業務その他部門、約1割を占める家庭部門からの排出量は大幅に増大したことが挙げられる。

2005年度の二酸化炭素の排出量の部門別内訳を図3に示す。

図3 我が国の部門別の二酸化炭素排出量（2005年度）



## 第2節 温室効果ガス別その他の区分ごとの目標

温室効果ガスの排出抑制・吸収の量に関する目標を以下のように設定する。

### 1. 温室効果ガス

京都議定書では、排出の抑制及び削減に関する数量化された約束の対象となる温室効果ガスを二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン（CH<sub>4</sub>）、一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）、ハイドロフルオロカーボン（HFC）、パーフルオロカーボン（PFC）、六ふっ化硫黄（SF<sub>6</sub>）としている。本計画においては、温室効果ガス別に以下のとおり第1約束期間における排出抑制に関する目標を設定する。

なお、以下の温室効果ガス別の目標は、基本的には、合理性・透明性をもって見通した活動量と、エネルギー利用率や代替フロン排出原単位等の原単位の改善効果を踏まえて、本計画の実施により排出抑制が図られる水準として定めたものである。

\* 温室効果ガスの排出量は、活動量一単位当たりのエネルギー消費量や温室効果ガス排出量である「原単位」と、企業の生産量や家庭の世帯数等の「活動量」に要因分解される。

（例）原単位： 自動車の燃費性能、家庭における一世帯当たりのエネルギー消費量、工場における一生産単位当たりのエネルギー消費量、ガソリン、石炭、電力等のエネルギー種類ごとの単位エネルギー消費当たりの二酸化炭素排出量、一生産単位当たりのHFC排出量等

活動量： 鉱工業生産指数、世帯数、床面積、輸送量等

表2 京都議定書の対象ガスの地球温暖化係数<sup>2</sup>及び主な発生源

	地球温暖化係数	主な発生源
エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	1	燃料の燃焼により発生。灯油やガス等の直接消費はもとより、化石燃料により得られた電気等を含む場合には、それらの消費も間接的な排出につながる。
非エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	1	工業過程における石灰石の消費や、廃棄物の焼却処理等において発生。
メタン (CH <sub>4</sub> )	21	水田や廃棄物最終処分場における有機物の嫌気性発酵等において発生。
一酸化二窒素 (N <sub>2</sub> O)	310	一部の化学製品原料製造の過程、農用地の土壌や家畜排せつ物の管理等において発生。
ハイドロフルオロカーボン類 (HFC)	1,300 (HFC-134a)	冷凍機器・空調機器の冷媒、断熱材等の発泡剤等に使用。
パーフルオロカーボン類 (PFC)	6,500 (PFC-14)	半導体の製造工程等において使用。
六ふっ化硫黄 (SF <sub>6</sub> )	23,900	マグネシウム溶解時におけるカバーガス、半導体等の製造工程や電気絶縁ガス等に使用。

<sup>2</sup> 各温室効果ガスの地球温暖化をもたらす効果の程度を、二酸化炭素の当該効果に対する比で表したものを。

**(5) 代替フロン等3ガス**

代替フロン等3ガス（HFC、PFC、SF<sub>6</sub>）については、基準年（1995年）の水準から基準年総排出量比で▲1.6%の水準（約3,100万t-CO<sub>2</sub>）にすることを目標とする。

なお、これら代替フロン等3ガスについては業種によりガス間の互換性のある使用形態があり、対策・施策は3ガス全体にわたり実施される場合があることから、技術・市場状況等に応じて社会的コストを最小にしつつ最大の効果が得られるよう対策・施策を組み合わせることが適切である。このため、ガス別に示した数値は、現時点における技術・市場状況等を前提とした上で、代替フロン等3ガス全体での「▲1.6%」という目標をより着実に達成するための内訳としての目安として示されたものであり、今後、状況の変化に応じ変動が生じ得ることに留意する必要がある。

表4 代替フロン等3ガスの排出量及び目標とガス別の目安

	基準年 (1995年)	2005年		代替フロン等3ガスの 目標及びガス別の目安	
	百万 t-CO <sub>2</sub>	百万 t-CO <sub>2</sub>	基準年 総排出量比	百万 t-CO <sub>2</sub>	基準年 総排出量比
代替フロン等3ガス	51	18	-2.6%	31	-1.6%
HFC	20	7	(-1.0%)	22	(+0.1%)
PFC	14	6	(-0.6%)	5	(-0.7%)
SF <sub>6</sub>	17	4	(-1.0%)	4	(-1.0%)

図9 代替フロン等3ガスの排出量及び目標とガス別の目安

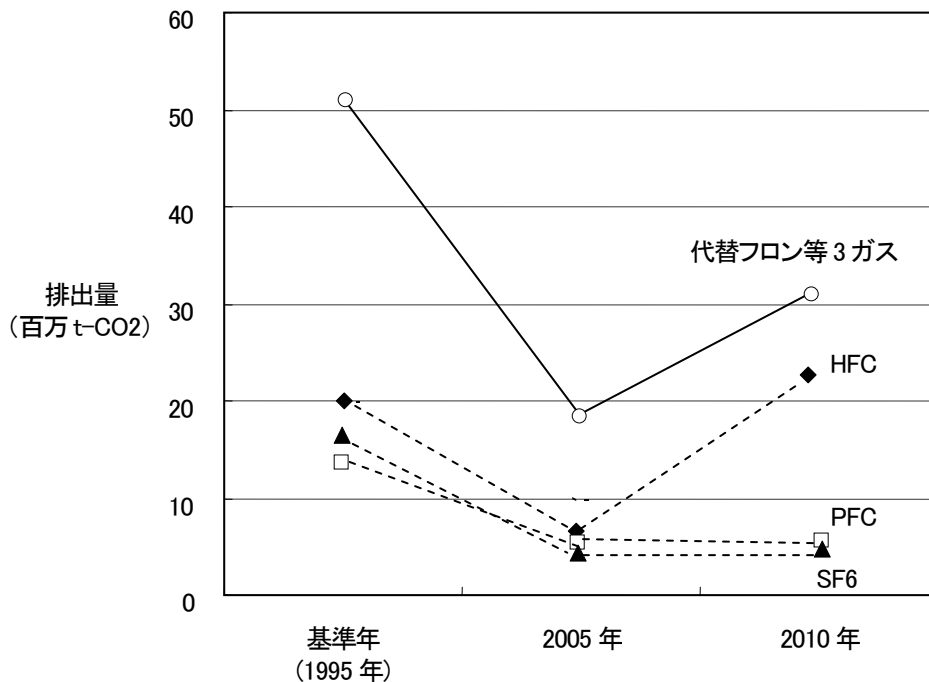


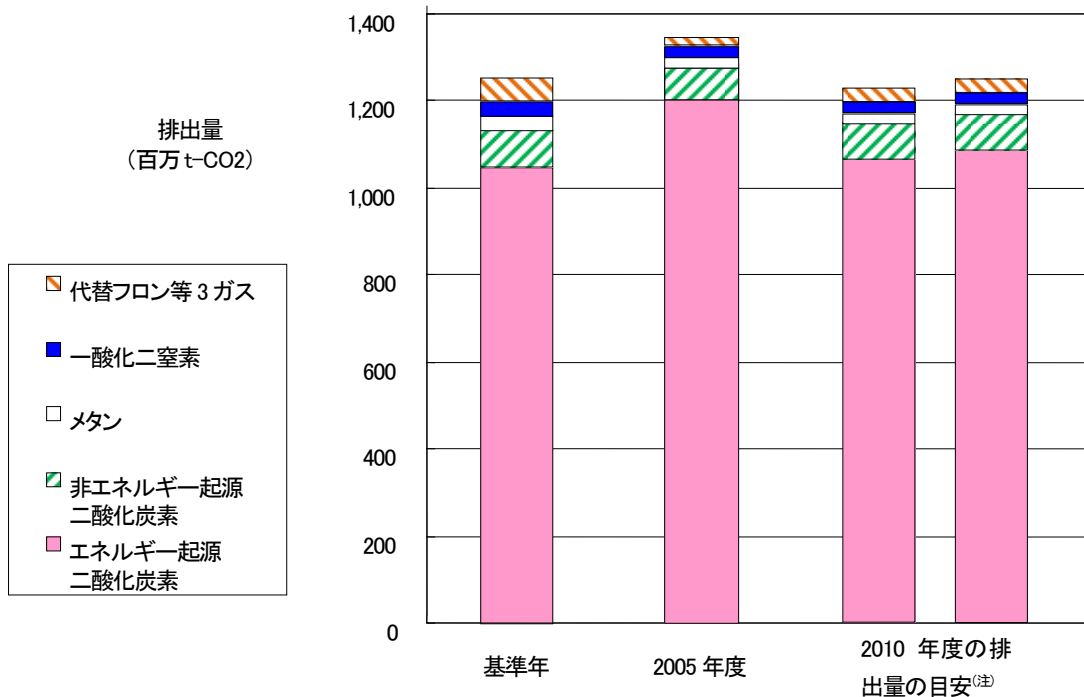
表 5 2010年度の温室効果ガス排出量の目安

	基準年	2005 年度		2010年度の排出量の目安 <sup>(注)</sup>	
	百万 t-CO <sub>2</sub>	百万 t-CO <sub>2</sub>	<u>基準年 総排出量比</u>	百万 t-CO <sub>2</sub>	<u>基準年 総排出量比</u>
エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	1,059	1,201	<u>+11.3%</u>	1,076~1,089	<u>+1.3%~+2.3%</u>
産業部門	482	452	-2.3%	424~428	-4.6%~-4.3%
業務その他部門	164	239	+5.9%	208~210	+3.4%~+3.6%
家庭部門	127	174	+3.7%	138~141	+0.9%~+1.1%
運輸部門	217	257	+3.1%	240~243	+1.8%~+2.0%
エネルギー転換部門	68	79	+0.9%	66	-0.1%
非エネルギー起源 CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O	151	140	<u>-0.9%</u>	132	<u>-1.5%</u>
非エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	85	91	+0.4%	85	-0.0%
CH <sub>4</sub>	33	24	-0.7%	23	-0.9%
N <sub>2</sub> O	33	25	-0.6%	25	-0.6%
代替フロン等3ガス	51	18	<u>-2.6%</u>	31	<u>-1.6%</u>
HFC	20	7	-1.0%	22	+0.1%
PFC	14	6	-0.6%	5	-0.7%
SF <sub>6</sub>	17	4	-1.0%	4	-1.0%
温室効果ガス排出量	1,261	1,359	<u>+7.7%</u>	1,239~1,252	<u>-1.8%~-0.8%</u>

※上記の表は四捨五入の都合上、各欄の合計は一致しない場合がある。

(注) 排出量の目安としては、対策が想定される最大の効果を上げた場合と、想定される最小の場合を設けている。当然ながら対策効果が最大となる場合を目指すものであるが、最小の場合でも京都議定書の目標を達成できるよう目安を設けている。

図10 温室効果ガスのガス別の排出量の目安



(注) 排出量の目安としては、対策が想定される最大の効果を上げた場合と、想定される最小の場合を設けている。当然ながら対策効果が最大となる場合を目指すものであるが、最小の場合でも京都議定書の目標を達成できるよう目安を設けている。

## 2. 温室効果ガス吸収源

京都議定書第3条3及び4の対象森林全体で、我が国の森林経営による吸収量として気候変動枠組条約第7回締約国会議(COP7)で決定された1,300万t-C(4,767万t-CO<sub>2</sub>、基準年総排出量比約3.8%)程度の吸収量の確保を目標とする。

## 3. 京都メカニズム

京都議定書の第1約束期間における削減約束に相当する排出量と同期間における実際の温室効果ガスの排出量(温室効果ガス吸収量控除後の排出量とする。)との差分については、京都メカニズムを活用することを目標とする。

なお、温室効果ガス及び温室効果ガス吸収源の目標のうち、第1約束期間において、目標の達成が十分に見込まれる場合については、こうした見込みに甘んじることなく、引き続き着実に対策を推進するものとする。

※ 本計画策定時点の各種対策の効果を踏まえた各ガスの排出量見通しを踏まえれば、差分は基準年総排出量比1.6%となるが、各種対策・施策の効果、経済動向等により、変動があり得る。

### 第3節 個々の対策に係る目標

京都議定書の6%削減約束の達成に向けた具体的裏付けのある対策の全体像を示すため、本計画においては、第2節で述べた温室効果ガス別その他の区分ごとの目標及びエネルギー起源二酸化炭素の部門別の排出量の目安を達成するための個々の対策について、我が国全体における対策評価指標、排出削減見込量、対策を推進するための国の施策、地方公共団体が実施することが期待される施策例を規定することとし、各分野・区分ごとに表形式で示す（別表1～6を参照）。

対策評価指標は、温室効果ガス別の目標及びエネルギー起源二酸化炭素の部門別の排出量の目安を達成するための個々の対策に係る目標として定める。

なお、対策による温室効果ガス排出削減見込量（二酸化炭素換算）については、当該対策による効果以外の要因も合わせて算出されるものであり、本計画策定時点での積算の前提を明らかにすることにより、事後的な検証を可能とするものである。

## 「第3章 目標達成のための対策と施策 / 第2節 地球温暖化対策及び施策

### / 1 . 温室効果ガスの排出削減、吸収等に関する対策・施策

#### / ( 1 ) 温室効果ガスの排出削減対策・施策」より抜粋

#### ④ 代替フロン等3ガス（HFC、PFC、SF<sub>6</sub>）

代替フロン等3ガスは、温室効果ガス排出量全体に占める割合は約1.3%（2005年度二酸化炭素換算）である。モントリオール議定書に基づき生産・消費の削減が進められているオゾン層破壊物質（CFC、HCFCは京都議定書の対象外だが、強力な温室効果を持つガスでもある。）からの代替が進むことによりHFCの排出量が増加することが予想されること等いくつかの排出量の増加要因もあることから、その増加を抑制する。

#### ○産業界の計画的な取組の推進

1998年2月の「産業界によるHFC等の排出抑制対策に係る指針」（通商産業省告示）を受けて、現在までに8分野22団体による行動計画を策定済みである。今後とも引き続き、産業構造審議会において、産業界の行動計画の進捗状況の評価・検証を行うとともに、行動計画の透明性・信頼性の向上及び目標達成の確実性の向上を図る。

また、排出抑制に資する設備導入補助など事業者の排出抑制取組を支援する措置を講ずるとともに、行動計画の未策定業種に対し、策定・公表を促す。

#### ○代替物質等の開発等及び代替製品の利用の促進

代替フロン等3ガスの新規代替物質、代替技術・製品及び回収・破壊技術の利用促進を図る。

~~このため、新規代替物質、代替技術の研究開発を行う。また、安全性、経済性、エネルギー効率等を勘案しつつ、代替物質を使用した技術・製品や、代替フロン等3ガスを使用している製品のうち地球温暖化への影響がより小さいものに関する情報提供及び普及啓発を行う。~~

特に、建築物・住宅の省エネ性能の向上対策等に伴い、断熱材の発泡剤として使用されるHFCの大気中への排出量の増加が見込まれ、これを抑制するため発泡・断熱材のノンフロン化を一層促進する施策を講ずる。あわせて、京都議定書の対象外のCFC等を含む廃棄断熱材の適正処理のための情報提供も行う。

また、マグネシウム溶解時に排出されるSF<sub>6</sub>や、HFCを使用したエアゾール製品の使用に伴い排出するHFCの増加が見込まれることから、これらの分野における代替物質・代替技術の開発を促進し、その普及啓発を行う。

さらに、液体PFC等の適正処理対策、安全で高効率な自然冷媒冷凍装置等のノンフロン技術の開発や普及等を一層促進する。

#### ○冷媒として機器に充填されたHFCの法律に基づく回収等

特定家庭用機器再商品化法（平成10年法律第97号。家電リサイクル法）、

特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律（平成13年法律第64号。フロン回収・破壊法）及び使用済自動車の再資源化等に関する法律（平成14年法律第87号。自動車リサイクル法）等の法律を引き続き適切に運用することにより、冷媒分野でのHFCの回収・破壊の徹底を図る。

また、これらの機器のうち、特に業務用冷凍空調機器からのフロン回収については、2007年10月から施行された改正フロン回収・破壊法の普及啓発を行い、回収量の増加を図る。さらに、現場設置型機器やカーエアコン使用時の冷媒漏洩対策に向けて実態把握等を進め、必要に応じ管理体制を強化する。



### 3. 基盤的施策

#### (1) 気候変動枠組条約及び京都議定書に基づく温室効果ガス排出量・吸収量の算定のための国内制度の整備

京都議定書は、第1約束期間の1年前までに温室効果ガスの排出量及び吸収量算定のための国内制度を整備することを義務としていることから、我が国においても京都議定書第1回締約国会合（COP/MOP1）で決定された「国内制度ガイドライン」に則して、排出量・吸収量算定のための国内制度を整備してきた。

今後は、2008年から第1約束期間が開始すること等を踏まえ、環境省を中心とした関係各府省庁等が協力して、温室効果ガス排出量・吸収量に関する統計の集計・算定・公表をできる限り早期に実施できる体制を整える。

また、温室効果ガス排出量の算定に関して、排出係数や活動量の算定方法・過程をより精緻化すべく引き続き検討を行う。

さらに、環境省を中心とした関係各省が協力して、定められた期限までの温室効果ガスの排出・吸収目録の迅速な提出、データの品質管理、目録の検討・承認プロセス、京都議定書に基づき派遣される専門家検討チームの審査への対応等に関する体制を整える。

また、排出量の算定に当たっては、部門別の排出実態をより正確に把握するとともに、各主体による対策の実施状況の評価手法を精査するため、活動量として用いる統計の整備や、エネルギー消費原単位や二酸化炭素排出原単位の算定、温室効果ガスの計測方法などに係る調査・研究を進めるとともに、それらの成果に基づく規格化（JISの整備）を推進し、温室効果ガス排出量・吸収量の算定の更なる精緻化を図る。

一方、吸収源による吸収（排出の場合もある）量の測定・監視・報告に当たっては、気候変動枠組条約第10回締約国会議（COP10）で決定した「土地利用、土地利用変化及び林業に関するグッド・プラクティス・ガイダンス」に則し、透明かつ科学的検証可能性の高い手法を確立するとともに、IPCCの2006年国家GHGインベントリガイドラインの適用を視野に入れ、継続的な測定・監視・報告に必要な活動量及び土地利用変化に係る情報の整備や、森林等における温室効果ガスの吸収・排出メカニズムに関する調査・研究を推進する。

#### (2) 地球温暖化対策技術開発の推進

技術開発は、その普及を通じて、環境と経済の両立を図りつつ、将来にわたり大きな温室効果ガス削減効果が期待できる取組である。第3期科学技術基本計画（2006年3月28日閣議決定）やその柱である科学技術の戦略的重点化に向けて、今後の投資の選択と集中及び研究開発課題ごとの目標を明記した分野別推進戦略に係る各府省が連携し、産学官で協力しながら総合的に推進する。また、中長期的な観点から、長期戦略指針「イノベーション25」（2006年6月1日閣議決定）に基づき、異分野技術の融合やシステム改革などを推進する。地球温暖化対策を更に進めるため、例えば太陽光発電などの

新エネルギー利用設備の低コスト化技術の開発などを、関係省庁が連携して推進する。

### ○実用化・事業化の推進

技術開発によって更なる効率化や低コスト化、小型化等を実現することにより、新エネルギーや高効率機器の導入・普及等の二酸化炭素排出削減対策を促進する可能性があるが、技術開発の成果を第1約束期間内における温室効果ガスの削減につなげるためには、いかに排出削減に有効な技術を短期間に実用化、事業化に結びつけるかが重要な要素となる。

このため、産学官の連携により、

- ・ 研究開発の成果を事業に結びつけるロードマップの明確化・共有化
- ・ 実用化を促進する技術の開発・実証
- ・ 事業化に向けた先駆的な取組への支援

を強力に推進する。その際には、開発成果を市場に普及するための施策等との連動を図る。

### ○分野横断的取組の推進

ハイブリッド自動車を支える電池技術に見られるように、ある分野の要素技術の他の分野への転用や業種を超えた共同作業によって革新的で有望な地球温暖化対策技術が実用化されている。このような成功事例を一つでも多く生み出していくためにも、分野横断的な産学官の連携による取組を強力に推進する。

### ○中長期的視点からの技術開発の推進

地球温暖化対策技術については、「美しい星50」の中で提案されている「世界全体の排出量を現状から2050年までに半減」という長期目標を踏まえ、技術開発の成果が現れるまでの期間が長くても、持続的な効果が期待できる場合には、早い段階から中長期的な視野に立って、十分な支援を行う必要がある。

例えば、地球温暖化対策に係る技術の中には、技術的課題を克服しているが、実用化に向けてその製造等に係るコストの低減が大きな課題となっているものがあり、それらの一層の普及を促進し更なる温室効果ガス排出量削減を図るため、大幅なコスト低減を実現しかつ効率的にエネルギー転換を行う新エネルギー・未利用エネルギーの活用に係る技術、飛躍的な省エネルギー技術、化石燃料の使用により排出される二酸化炭素を回収し大気中への二酸化炭素の排出を低減させる二酸化炭素回収・貯留技術等を早い段階から支援していく。

また、「美しい星50」の中で「革新的技術の開発」の必要性を掲げており、経済成長と温室効果ガスの排出削減の双方の同時達成を目指し、国際的な連携の下で長期的な観点から技術開発を推進する

例えば、発電過程で二酸化炭素を排出しない原子力は、安全の確保を大前提として、我が国においては現段階で基幹電源となり得る唯一のクリー

んなエネルギー源であり、ウラン資源の利用率を飛躍的に高め、放射性廃棄物の発生を抑える「高速増殖炉（FBR）サイクル技術」、安全性、経済性、信頼性等を大幅に向上させた次世代軽水炉技術、少ない資源で莫大なエネルギーを生み出す「核融合技術」等の開発・実用化を積極的に推進していく。

また、超高効率省エネルギー技術、低コストで高効率な革新的太陽光発電技術や燃料電池・水素利用技術、石炭火力発電の高効率化と二酸化炭素回収・貯留技術、グリーンITに関するプロジェクト等を支援していく。

また、都市・地域構造の変革や経済社会システムの変革を促し、中長期的な地球温暖化対策の基盤を形成するための技術、各種対策を部門横断的に下支えする技術についても、重点的に推進していく。

加えて、我が国が強みを有する分野の人材を継続的に育成する観点も含め、大学の自主的な取組を尊重しつつ、大学における地球温暖化対策に資する基礎研究を推進する。

このほか、代替フロン等3ガスの代替物質開発等の排出抑制技術、農林水産分野での温室効果ガス排出抑制技術、農地が温室効果ガスを吸収するメカニズムに関する調査研究等の様々な分野での対策技術についても、きめ細かく推進していく。

### （3）気候変動に係る研究の推進、観測・監視体制の強化

地球温暖化に係る研究については、総合科学技術会議における地球温暖化研究イニシアティブなどを踏まえ、気候変動メカニズムの解明や地球温暖化の現状把握と予測及びそのために必要な技術開発の推進、地球温暖化が環境、社会・経済に与える影響の評価、温室効果ガスの削減及び地球温暖化への適応策等の研究を、国際協力を図りつつ、戦略的・集中的に推進する。

地球温暖化に係る観測・監視については、第3回地球観測サミット（2005年2月、ブリュッセル）において承認された地球観測に関する「10年実施計画」及び総合科学技術会議の「地球観測の推進戦略」（2004年12月27日決定・意見具申）等を踏まえ、温室効果ガス、気候変動及びその影響等を把握するための総合的な観測・監視体制を強化する。

特に、我が国においては、アジア・オセアニア域を中心とする大気・陸域・海洋の温室効果ガス等の観測や世界各国の観測データの収集・交換・解析、陸域・海洋の炭素循環と生態系の観測、雪氷圏・沿岸域等の気候変動に脆弱な地域での温暖化影響の観測、観測データと社会経済データの統合等を行う。

### （4）地球温暖化対策の国際的連携の確保、国際協力の推進

我が国のみならず、世界全体が一致協力して、長期にわたって温室効果ガスの排出削減に取り組むことが地球温暖化対策には不可欠である。京都議定書は、その重要な第一歩であり、世界全体で着実に実施していく必要がある。

そのため、我が国としては、京都議定書の未締約国に対して引き続き締結

を働きかけていく。同時に、我が国の有する優れた技術力と環境保全の蓄積された経験を活用して、排出削減と経済成長を両立させ、気候の安定化に貢献しようとする開発途上国に対して、新たな資金メカニズム（クールアース・パートナーシップ）により、温室効果ガスの排出削減や、違法伐採対策を含む森林減少・劣化対策などの森林保全、海面上昇や干ばつなどの温暖化の影響を受けやすい地域の対策、省エネルギー・新エネルギーの推進、クリーンなエネルギーの利用促進などの支援を行っていく。気候変動で深刻な被害を受ける途上国に対して、特に最貧国に配慮しつつ、支援の手を差し伸べる。これらにより、世界の取組の先導的役割を果たしていく。

また、現状の世界の排出量は、自然界の吸収量の2倍を超えており、大気中の濃度は高まる一方であるところ、気候変動枠組条約の究極的な目的を達成するためには、京都議定書の約束を締約国が確実に達成していくことはもちろんだが、長期的には世界全体の排出量を自然界の吸収量と同等のレベルに抑え込む必要がある。このため、我が国は、「美しい星50」に基づき、世界全体の排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を、全世界に共通する目標とすることとして掲げている。

さらに、「2050年半減」という世界の目標の実現に向けて、2013年以降の温暖化対策の枠組みを、現行の京都議定書よりも大きく前進するものにしなければならない。そのため、「美しい星50」では、京都議定書の第1約束期間が終了する2013年以降について、具体的枠組みを設計するための「3原則」を掲げており、これらを踏まえた衡平で実効ある次期枠組みを成立させることが重要である。

#### <2013年以降の国際枠組み構築に向けた「3原則」>

- ①主要排出国が全て参加し、京都議定書を超え、世界全体での排出削減につながる
- ②各国の事情に配慮した柔軟かつ多様性のある枠組みとすること
- ③省エネ等の技術を活かし、環境保全と経済発展とを両立すること

次期枠組みについては、昨年末にバリで開催された気候変動枠組条約第13回締約国会議（COP13）において「バリ行動計画」が採択されたことを受け、国連気候変動枠組条約及び京都議定書の下での交渉が加速化しており、我が国は次期枠組みの検討に関し、関係国間対話を促進すべく本年のG8議長国として、リーダーシップを発揮していく。

2008年1月、我が国は「クールアース推進構想」として、以下の3点を提案した。

#### ① ポスト京都フレームワーク

全ての主要排出国が参加する仕組みづくりや公平な目標設定に取り組む中で、我が国として、主要排出国とともに、今後の温室効果ガスの排出削減について、国別総量目標を掲げて取り組む。

## ②国際環境協力

エネルギーの最も効率的な使用を目指す取組として、世界全体で2020年までに30%のエネルギー効率を改善することを世界共通の目標とすることを目指す。また、100億ドル規模の新たな資金メカニズム（クールアース・パートナーシップ）を構築し、途上国の温暖化対策を支援する。

## ③イノベーション

我が国として、2050年までに温室効果ガスの排出量を半減するため不可欠な革新的技術の開発を加速するとともに、日本を低炭素社会に転換するための検討に着手し、地球規模でのそうした社会づくりに向けた先導役を果たしていく。

特に、国別総量目標の策定に当たっては、削減負担の公平さを確保することが重要である。そのためには、科学的かつ透明性の高い尺度として、エネルギー効率などをセクター別に割り出し、今後活用される技術を基礎として削減可能量を積み上げることが考えられる。我が国自身の国別総量目標の検討については、国内で必要な作業を加速していく必要がある。

なお、開発途上国の問題解決能力の向上に資する国際共同研究を推進するとともに、島嶼国や後発開発途上国のように地球温暖化に対する対応能力が低く脆弱な国々に対しては、適切な適応対策等への支援を引き続き行う。また、途上国の経済成長と環境保全を両立させるため、公害対策・廃棄物対策等と温室効果ガス排出削減の双方に資するコベネフィット・アプローチによる協力を推進する。

## 第4章 地球温暖化対策を持続的に推進するために

### 第1節 京都議定書目標達成計画の進捗管理

#### 1. 基本的考え方

本計画の実効性を確保し、京都議定書の6%削減約束を確実に達成していくためには、温室効果ガス別その他の区分ごとの目標の達成状況、個別の対策・施策の進捗状況について、各種データの整備・収集を図りつつ、厳格に点検し、機動的に計画を改定し、対策・施策の追加・強化を行うことが不可欠である。

また、個別の対策・施策が効果を上げるためには、政府の施策だけでなく、その対策に関わる各主体が積極的な取組を行うことが不可欠であり、そうした取組を促していく観点から、本計画に掲げた対策ごとに関連する各主体の取組の状況について事後評価していくことが必要である。

さらに、本計画では、削減約束の遵守を確実にする観点から、約束期間の5年間全体を通して削減約束の達成の進捗管理を行うことが重要となる。5年間の約束期間において、対策が遅れば遅れるほど、6%達成約束の達成のために短期間で大幅な削減を達成するための措置を講じなければならないことに留意が必要である。

#### 2. 進捗管理方法

第1約束期間が開始されたことを踏まえ、地球温暖化対策推進本部は、個々の対策について政府が講じた施策の進捗状況等の点検を毎年厳格に行う。正確な点検のためには最新の状況を把握することが必要であることから、各府省庁は、対策評価指標、排出削減量、関連指標等（以下「対策評価指標等」という。）の点検を行うために必要な実績値の算出等の早期化に努める。

具体的には、毎年6月頃に、地球温暖化対策推進本部において、全ての対策評価指標等について、点検の前々年度の実績値（可能なものについては前年度の実績値を含む。）を明らかにするとともに、進捗状況の点検を行う年度以降の2012年度までの温室効果ガスの対策評価指標等の見通し（データ入手が可能な限り各年度の見通し）等を示し、あわせて対策評価指標等の見通しを裏付ける前年度に実施した施策の実施状況、当該年度に実施予定の施策内容等を明示する。また、これらにより、個々の対策・施策項目について評価を行い、進捗が遅れている項目を確認し、それらの項目について充実強化等の検討を進めることとする。さらに、部門<sup>41</sup>別に排出量の動向を確認し、排出量が増加傾向にある部門を中心に、既に本計画に位置付けられている対策・施策の強化に留まらず、新規の対策・施策を含めて検討する旨を確認する。

次に、年内を目途に、地球温暖化対策推進本部又は地球温暖化対策推進本

<sup>41</sup> 関連統計の整備を進め、部門内のより細分化した分野についても排出量がフォローアップできる場合、よりきめ細かな評価を行うこととする。

部幹事会において、次年度以降に強化・追加が必要な対策・施策等を検討する。その際には、可能な限り全ての対策評価指標等について、点検の前年度の実績値（可能なものについては当該年度上半期等の実績値を含む。）を明らかにするとともに、6月頃の点検を受けて行った検討の結果を踏まえ、次年度以降に実施予定の予算案・税制改正案、法案等を含む対策・施策について検討を進める。

こうした毎年の進捗状況点検の結果に加え、毎年4月を目途に公表される前々年度の温室効果ガス排出量（確報値）、毎年10月を目途に公表される前年度の温室効果ガス排出量（速報値）等を踏まえ、必要に応じ、毎年度、本計画を見直し、閣議決定するものとする。

なお、進捗状況点検の際には、個々の対策の対策評価指標と、当該対策の効果である排出削減量との関係について、必要に応じて精査を行う。

また、各対策の排出削減見込量の根拠や進捗状況点検の結果については、インターネット等を通じて公開し、国民が対策の内容や進捗状況について適切に情報を得られるようにする。

さらに、第1約束期間の中間年度である2010年度以降速やかに、目標達成のために実効性のある追加的対策・施策を実施できるよう、2009年度には、第1約束期間全体（5年間）における我が国の温室効果ガス排出量見通しを示し、本計画に定める対策・施策の進捗状況・排出状況等を総合的に評価し、必要な措置を講ずるものとする。

毎年の進捗状況の点検及び2009年度の総合的な評価・見直しに際しては、「地球温暖化問題への国内対策に関する関係審議会合同会議」において委員の意見を聴取する。

計画の総合的な評価・見直しに当たっては、パブリックコメントの実施はもとより、評価・見直しの過程に国民の参画が実質的に確保されるような場を設けることとする。

なお、社会経済システムの変革につながる対策・施策等、現時点で対策評価指標等の評価方法が必ずしも十分に確立していない分野については、適切な評価方法を早期に確立する。

### 3. 定量的評価・見直し方法の概略

#### (1) 温室効果ガス別その他の区分ごとの目標に関する評価方法

##### ① 温室効果ガス排出量の目標に関する評価方法

温室効果ガスの排出量は、原則、世帯数や床面積などの「活動量」と、「活動量当たりの温室効果ガス排出量」の積として要因分解される。

本計画の評価においては、排出量・吸収量見通しを、活動量と活動量当たりの温室効果ガス排出量の要因に分解して評価することとする。

この評価結果に基づき、京都議定書の6%削減約束を確実に達成するため、必要に応じて、温室効果ガス別その他の区分ごとの目標、個々の対策、当該対策についての対策評価指標、排出削減見込量、各主体の役割及び対策を推進するための施策等を見直すものとする。

## ア. エネルギー起源二酸化炭素の排出量見通し

エネルギー起源二酸化炭素の排出量見通しは、

- i) 鉱工業生産指数、世帯数、床面積、輸送量等の「活動量」
- ii) 自動車の燃費性能等の「単位活動量当たりのエネルギー消費量」
- iii) ガソリン、石炭、電力等の「エネルギー種類ごとの単位エネルギー消費当たりの二酸化炭素排出量」

という3つの要因に分解される。排出量見通しの評価に当たっては、こうした点を踏まえ、本計画策定時から2009年度の評価・見直し時点に至る我が国の経済情勢の推移やその影響、対策効果の積算の前提として用いた各種指標の実績値の推移、需要側・供給側における各対策の進捗状況や効果等を勘案し、総合的に行うものとする。

## イ. 代替フロン等3ガスの排出量見通し

代替フロン等3ガスは、オゾン層破壊物質の転換先であり、また、多種多様な産業・家庭・業務その他・運輸分野で幅広く使用されているところ、その排出量見通しの評価については、活動量の推計に加え、オゾン層保護対策の進捗状況、産業界の自主行動計画に基づく排出量実績や動向、代替物質や代替技術の開発状況、用途別の原単位や回収率等の改善効果を踏まえて行うものとする。

## ウ. 非エネルギー起源二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の排出量見通し

工業過程部門については、排出区分ごとに、製品製造量、原料消費量等の想定に基づいて排出量を推計する。廃棄物部門については、関連施策を踏まえて、廃棄物の種類ごとの将来の埋立量、焼却量等を推計し、これに排出係数を乗じて算定する。

以上のほか、燃料の消費量、家畜飼養頭数、水田面積等を踏まえて、非エネルギー起源二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素に分けて、将来の排出量を推計し、排出量見通しを評価する。

## ② 吸収源の活用の評価方法

京都議定書において算定の対象となる第1約束期間における吸収量について、評価を行う年までの適切に整備された育成林や保安林など保護・保全措置が講じられた天然生林ごとの森林面積、各種森林施業の面積、公共公益施設等における高木植栽面積等から、吸収量に関する最新の科学的知見を基に推計し、評価する。



### ③ 京都メカニズムの推進・活用に関する評価方法

京都メカニズムの推進・活用については、我が国の京都メカニズムの活用に向けた基盤の整備の状況、CDM・J I・G I Sプロジェクトの推進の状況、我が国のクレジット取得に関する取組の状況等により評価を行う。

### (2) 温室効果ガスの排出削減、吸収等に関する対策の評価方法

本計画において講ずることとしている温室効果ガスの排出の抑制等に関する各種対策については、対策ごとに評価の対象とする指標を定めることとし、本評価時には、当該指標に基づいて評価することを徹底していくこととする。

また、個別の対策が効果を上げるためには、政府の施策だけでなく、その対策に関わる各主体が積極的な取組を行うことが不可欠であり、そうした取組を促していく観点から、本計画に掲げた対策ごとに関連する主体の取組の状況について可能な限り定量的に把握する。

対策による温室効果ガス排出削減量見込量(二酸化炭素換算)については、本計画策定時点での積算の前提を明らかにすることにより、事後的な検証を可能としておく。

対策ごとの評価指標等については、別表1～6のとおり。

## おわりに

### （地球温暖化問題とは）

地球温暖化問題は、人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題である。

地球温暖化の進行を防ぐため、温室効果ガスの濃度を安定化させるという気候変動枠組条約の究極的な目的を達成するには、世界全体の排出量を自然界の吸収量と同等のレベルに抑え込む必要がある。このため、我が国は、「美しい星50」に基づき、世界全体の排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を、全世界に共通する目標とすることを掲げている。現状の世界の排出量は、自然界の吸収量の2倍を超えており、大気中の濃度は高まる一方である。しかしながら、温室効果ガス、とりわけ二酸化炭素は、経済社会活動や国民生活の日々の営みから発生するいわば副産物であり、その削減は容易でない。

また、我が国一国の取組では足りず、地球規模で温室効果ガスの総量を削減していく必要がある。

### （地球温暖化問題に取り組む我が国の立場）

こうした課題を踏まえれば、我が国は自ら、持続可能な発展を可能とする技術革新、社会システム変革、一人一人の環境意識の向上に取り組むとともに、環境先進国として、国際的な連携に基づく地球温暖化防止に向けた取組を主導していく必要がある。

国民生活と産業活動の基盤を海外の天然資源に依存する資源小国でありエネルギー・環境問題を克服するための技術を培ってきた我が国こそ、また、「もったいない」という言葉に代表される自然と調和した生活文化と歴史を有する我が国こそ、世界に対して天然資源を効率的に利用する魅力的な社会像を示し、また、開発途上国に対して我が国の経験・知恵を活かした国際協力を展開することを通じて、人類の安全・安心に向けて誰よりも努力し、成果を示し、世界に寄与すべきである。

### （本計画で目指したこと）

こうした観点から、本計画においては、京都議定書の約束達成という当面の目標を確実に達成する視点と、長期的、継続的な排出削減に向けて第1約束期間以降を見据えた視点とを同時に持ち、生活の豊かさの実感と、温室効果ガス排出削減が同時に達成できる低炭素社会の実現につながる各種の対策・施策を盛り込むことに努めた。

また、国ごとの様々な社会条件や歴史・環境の違いなどを乗り越えて一致協力し、持続可能な世界の構築に向けた取組を前進させていくため、長期的な視点に立った革新的技術の開発と低炭素社会づくりの地球規模での普及を進めるとともに、世界の全ての地域において、意識の変革、社会システムの変革、技術の開発・普及・投資が行われるよう取り組むこととした。

(今を生きる我が世代の責務)

気候変動の影響は、既に世界各地で顕在化しつつあると考えられており、ここ数十年の人類の行動が、地球の将来を左右する。地球温暖化問題の解決が成功するか否かは、まさに、今を生きる我々の決断と行動にゆだねられている。

重要なことは、我々自身が、過去の歴史を知り、現状を的確に把握し、将来を展望することである。現実を知り、将来を見通すことによって、地球環境を守る価値を見だし、社会の有様を変革し、一人一人の日々の行動を変えていくことができる。

(国民へのメッセージ)

持続可能な社会の実現は決して容易ではないが、健全で恵み豊かな環境を将来世代へと継承していくためには、国内外の幅広い関係者の参加と協働の下、環境保全を願う気持ちを一つに束ねて、一人一人の取組の輪を広げ、力強く後押ししていくことが求められる。我が国は、良き伝統と世界最先端の技術を存分に発揮し、日本全体で渾身の努力を重ねることで、全人類の文明に対し、大きな貢献をしていくこととしたい。

【抜粋】

別表4 代替フロン等3ガスに関する対策・施策の一覧

※個々の対策効果の排出削減見込みを試算するに際し、対策評価指標以外の想定した要因とその計画策定時における見込み

具体的な対策	対策評価指標 (2008～2012年度見込み)	各主体ごとの対策	国の施策	地方公共団体が実施することが期待される施策例	対策効果			
					排出削減見込量	排出削減見込量の積算時に見込んだ前提※		
○産業界の計画的な取組の促進 ○代替物質の開発等及び代替製品の利用の促進								
産業界の計画的な取組の促進	自主行動計画において各業界団体が掲げた目標・見通しの達成	自主行動計画策定団体(8業種22団体): 自主行動計画の遵守	・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における評価・検証の実施  ・代替フロン等3ガス排出抑制に資する設備導入への補助等	・事業者の取組の支援	(万t-CO <sub>2</sub> )			
					2008	約6,410		
エアゾール等のノンフロン化	エアゾール製品のHFC出荷量(t)							
	2008						1,857	
	2009						1,900	
	2010						1,948	
	2011						1,998	
	2012						2,050	
	MDI用途のHFC使用見込量(t)							
	2008							142
	2009							160
	2010							180
2011		180						
2012		180						
			2009	約6,400				

具体的な対策	対策評価指標 (2008～2012年度見込み)	各主体ごとの対策	国の施策	地方公共団体が実施することが期待される施策例	対策効果		
					排出削減見込量	排出削減見込量の積算時に見込んだ前提※	
代替物質の開発等及び代替製品の利用の促進	発泡・断熱材のノンフロン化	ウレタンフォームのHFC-134a使用見込量(t)	代替フロン等3ガス製造事業者: 代替物質等の開発  代替フロン等3ガス使用製品製造事業者: 代替製品の開発、販売、消費者への情報提供  代替フロン等3ガス使用製品等使用事業者、消費者: 代替製品の選択	・代替物質等の技術開発等支援  ・グリーン購入法に基づく率先導入の推進  ・代替製品に係る普及啓発 ＜発泡・断熱材の場合＞ ・日本工業規格におけるノンフロン断熱材規格の追加(平成18年度) ・公共建築工事標準仕様書等におけるノンフロン断熱材使用の規定化(平成18年度) ・エコ住宅普及促進事業や住宅の省エネ改修促進税制によるノンフロン断熱材の使用促進	・代替製品の調達促進  ・代替製品に係る普及啓発  ・グリーン購入法に基づく率先導入の推進	2010 約6,440	補助による追加回収処理分(破壊炉の導入によるPFC及びSF6の破壊)として約120万t-CO2の削減(2008～2012年平均)を見込む
		2008 239					
		2009 229					
		2010 220					
		2011 220					
		2012 220					
		押出発泡ポリスチレンのHFC使用見込量(t)					
		2008 0					
		2009 0					
		2010 0					
		2011 0					
		2012 0					
		高発泡ポリエチレンのHFC使用見込量(t)					
		2008 104					
	2009 97						
	2010 90						
	2011 90						
	2012 90						
	フェノールフォームのHFC使用見込量(t)						
	2008 0						
2009 0							
2010 0							
2011 0							
2012 0							
SF6フリーマグネシウム合金技術の開発・普及	SF6ガス使用見込量(t)	マグネシウム合金製造事業者: SF6を用いないマグネシウム合金技術の開発・普及	・SF6を保護ガスとして用いないマグネシウム合金技術の開発に対する支援		2012 約6,380		
	2008 39						
	2009 40						
	2010 9						
	2011 9						
2012 9							
液体PFC等の代替化と適正処理	2008	液体PFC使用機器所有者:代替製品の利用、液体PFC等使用機器廃棄時の適正処理	・液体PFC等の使用・排出実態の調査、適正に破壊するための処理技術の確立支援	・事業者の取組の支援	2012 3	・適正に廃棄される液体PFC等の量 ＜約3.7トン(2010年)＞  ・液体PFC等の地球温暖化係数 ＜7,400(PFC-51-14)＞	
	2009 0						
	2010 3						
	2011 3						
	2012 3						

具体的な対策	対策評価指標 (2008～2012年度見込み)	各主体ごとの対策	国の施策	地方公共団体が実施することが期待される施策例	対策効果	
					排出削減見込量	排出削減見込量の積算時に見込んだ前提※
○冷媒として機器に充填されたHFCの法律に基づく回収等						
冷媒として機器に充填されたHFCの法律に基づく回収等	<b>【自動車廃棄時のカーエアコンからのHFC回収見込量】</b> 2010年度において117万t-CO2  <b>【業務用冷凍空調機器の冷媒の回収率】</b> 2010年度において60%  <b>【家電製品からのHFCの回収見込量】</b> 2010年度において8.7万t-CO2	国民： フロン類の確実な回収及び破壊への協力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・法律の適切な実施・運用</li> <li>・普及啓発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・法律の適切な実施・運用</li> <li>・普及啓発</li> </ul>	(万t-CO2)	
	2008				2008	約363
	2009				2009	約444
	2010				2010	約526
	2011				2011	約604
	2012				2012	約681

(環境安心イノベーションプログラム)  
「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」基本計画

環境部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ①政策的な重要性

特定フロン(CFC、HCFC)等のオゾン層破壊物質は、オゾン層保護の観点からモントリオール議定書により、生産の段階的な廃止が義務付けられている。一方、特定フロンの代替として開発され、オゾン破壊の恐れがない代替フロン等3ガス(HFC、PFC、SF6)は、その優れた特性から、冷媒(冷凍・冷蔵庫、空調機器、自動車エアコン等)、発泡剤、洗浄剤、絶縁材等として利用されており、オゾン層破壊物質からの転換が進むにしたがって、その使用量・排出量の増加が見込まれている。しかしながら、これら代替フロン等3ガスは、大気中に長期間に亘って安定に存在しかつ極めて強力な温室効果を発揮する化合物であることから、京都議定書において排出削減対象ガスに指定されている。

以上を踏まえ、業務用空調機器を対象として、低温室効果冷媒を用いつつ従来フロン機以上の効率性(省エネ性)を実現する技術の開発を「環境安心イノベーションプログラム」の一環として実施する。これにより、市中の空調用冷媒ストックの約半分を占める業務用空調機器について低温室効果冷媒への転換を進める。

## ②我が国の状況

我が国は京都議定書目標達成計画において、代替フロン等3ガスについては追加対策を行うことにより、第1約束期間中(2008年～2012年)に大幅な排出抑制に努めなければならない。温室効果がより小さい代替物質の開発・普及と設備等の導入を推進することが強く要請されている。また、京都議定書第1約束期間終了後(2013年以降)においても、更なる長期的・継続的な排出削減対策の実施が求められている。

冷凍空調分野では、使用する温度帯及び機器規模(冷媒量、配管長)により必要な冷媒特性が異なる。これまで「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業(H17～H22)では、冷却のみを行う業務用冷凍冷蔵や機器規模が小さい家庭用エアコン分野等を対象として冷媒転換の技術開発を行い、従来機比10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。一方、代替フロン等3ガスの2020年BAU(Business As Usual)推計排出量において冷凍空調分野の約30%を占めることになる業務用空調機器分野は、家庭用エアコンに比べ規模が格段に大きく冷媒転換に要する技術は全く異なる。このため特に技術的ハードルが高く、これまで開発は行われてこなかった。

## ③世界の取り組み状況

しかし近年、世界的な微燃性冷媒に対する安全評価の考え方の変化や、高圧・超臨界状態でのCO<sub>2</sub>冷媒を用いる新たな圧縮機技術の登場等を背景として、業務用空調分野での冷媒転換の可能性が近年急速に高まってきたところである。例えば欧州では、Fガス規制により、発泡剤、エアゾール、消火剤など用途ごとに排出抑制や使用禁止措置などが決まっている。中でも、カーエアコンについては、2011年からの新型車への

GWP（地球温暖化係数）が150以上の冷媒の使用禁止を定めており、新規物質開発への影響は世界的な広がりを見せている。特にGWPが10以下の新規なフッ素化合物の開発が注目されているが、これは全く新たなカテゴリーに属する物質であり、大気寿命が10日前後と短いこれらの化合物のVOC（揮発性有機化合物）としての挙動、大気中での分解挙動、総合的な環境影響・毒性問題への取組が重要な課題となってきた。

#### ④本事業のねらい

このため、残された業務用空調分野での技術開発を一気に進め、省エネ化、低温室効果冷媒への転換を促進する。さらに、現在進行中の微燃性冷媒に係わる国際規格策定の議論を我が国がリードすることで、1千万台を超える海外市場における競争基盤を獲得する。また、市場導入に際し、価格は従来フロン品と同程度を目標にすることが望まれる。

### (2) 研究開発の目標

#### ①アウトプット目標

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業（H17～H22）では、従来機比10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。一方、業務用空調機器分野については、技術的ハードルが高く、現時点で低温室効果冷媒を用いつつ、効率性、コスト、安全性等を満たすシステムは存在していない。

#### 【最終目標】

温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい分野である業務用空調機器に関して低温室効果冷媒を用いて省エネ化・高効率化を実現する。新冷媒開発、圧縮機、熱交換器等の要素機器の開発、システム開発等の研究開発により、平成27年度までに低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する基盤技術の確立を目標とする。

#### 【中間目標（平成25年度）】

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。

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

#### ②アウトカム目標達成に向けての取り組み

低温室効果冷媒及びこれを適用するシステムの性能・安全性評価を通じ、規格の策定を行うとともに、国際規格への提案を目指す。

#### ③アウトカム目標

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が製品化されることにより、省エネ性向上及び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し、代替フロン排出削減効果として、2030年で数百万t-CO<sub>2</sub>、2050年で1千万t-CO<sub>2</sub>以上の効果を見込む。

さらに、低温室効果冷媒及びこれを適用するシステムの性能・安全性評価を通じて規格の策定を行うとともに、微燃性冷媒に係る国際規格策定の議論を我が国がリード



することで、海外市場における競争基盤を獲得する。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために以下の研究開発項目について、別紙研究開発計画に基づき研究開発を行う。

- 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

①～③の各項目については下記の研究フェーズ毎に、テーマの公募を実施する。

#### 【委託事業】

研究開発項目①～③に係る基礎研究フェーズ：

共通基盤的技術の開発（機器及び冷媒の共通基盤的な設計・評価手法の確立等）及び安全性評価や基準化手法の開発等、産業界全体にとって高い基盤性を有する研究であり、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業を対象とする。これらは、委託事業として実施する。

#### 【助成事業（助成率：2／3）】

研究開発項目①、 に係る実用化研究フェーズ：

既に民間企業等が主要な技術やノウハウ等を所有している技術について、ユーザーサイドのニーズをくみ取ることにより開発終了後の事業化計画を明確にして、実用化研究を行う。本開発終了後、2～3年以内に製品化を想定できるものを対象とする。これらは、助成事業（助成率：2／3）として実施する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、大学等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

本研究開発において、NEDOが主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発である事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発である事業は助成（助成率：2／3）により実施する。

NEDOが選定する研究開発実施者の有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが委嘱した研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の下で、それぞれの研究テーマの達成目標を実現すべく研究開発を実施する方式を採用する。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目

的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

具体的には、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受け、必要に応じて、NEDOに設置する委員会及び技術検討会等を開催し、外部有識者の意見を参考として、選択と集中により優秀な技術を短期間に育成するマネジメントを行う（例えば、成果が得られた時点で、実用化研究など次ステップへの転出を奨励する。反面、期間内に成果が見込めないと判断された事業は開発途中であっても中止するなど。）加えて、研究期間中にも新規技術に関する動向調査を実施し、有望と認められる内容については、新規開発に着手するフレキシビリティを保持した研究開発マネジメントに心掛ける。

### 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成23年度から平成27年度までの5年間とする。

### 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成25年度、事後評価を平成28年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

### 5. その他重要事項

#### (1) 開発成果の取り扱い

共通基盤技術の形成に資する成果の普及

NEDO及び委託研究実施者は、得られた研究開発成果については、国民の利益を損なわない範囲で国内外を問わず普及に努めるものとし、内容を広く一般にも公開し国際的な基準（標準）形成に資することとする。

知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準案の提案等を積極的に行うと共に、内容を広く一般にも公開し国際的な基準（標準）形成に資することとする。

#### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発及び共同研究の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

#### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

#### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号二及び第3号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成23年3月10日、制定。

## (別紙) 研究開発計画

### 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」

#### 1. 研究開発の必要性

代替フロン等3ガスの排出量は、産業分野での官民一体での対策により、基準年(1995年)の約51百万t-CO<sub>2</sub>から2008年で約24百万t-CO<sub>2</sub>まで減少しているものの、今後エアコンや冷蔵・冷凍ショーケース等の冷凍空調分野でオゾン層破壊フロン(CFC,HCFC)から代替フロン(HFC)への冷媒転換が進行することにより、2020年には再び約56百万t-CO<sub>2</sub>へと急増する見込みであり、この大半は冷凍空調分野(2008年:約13百万t-CO<sub>2</sub> 2020年:約40百万t-CO<sub>2</sub>)である。この分野を中心とした対策強化が喫緊の課題である。

冷凍空調分野での最も根源的かつ効果の高い対策は低温室効果冷媒への転換である。しかしながら、中・大型の業務用空調機器は、規模(冷媒量・配管長)が大きいこと、冷・暖房両方を行う必要があること等から特に冷媒代替の技術的ハードルが高く、現時点で低温室効果冷媒を用いつつ、省エネ性、コスト、安全性等を満たすシステムは存在していない。空調機器は一旦市場に投入されれば、その後十数年以上にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすことを考えれば一刻も早く開発し市場に投入させることが不可欠である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

(1) 低温室効果冷媒を用いつつ高効率を達成する業務用空調機器及び関連システム等の開発

機器開発において、主要な要素部品(熱交換器、圧縮機等)の材料、形状、特性等に係る仕様検討、設計を実施するとともに、試作、性能評価を実施する。また、冷凍サイクル全体での性能を評価する。さらに、関連システム等の開発と併せて、システムの最適化・複合化等を行い、実機レベルの検証・改善により高性能を実現する。併せて、主要な要素部品の共通基盤的な設計・評価手法の技術開発等を行う。

#### 3. 達成目標

##### 【中間目標(平成25年度)】

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。

##### 【最終目標】

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。その後、早期に製品化を目指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。

### 研究開発項目②「高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発」

#### 1. 研究開発の必要性

代替フロン等3ガスの排出量は、産業分野での官民一体での対策により、基準年(1995年)の約51百万t-CO<sub>2</sub>から2008年で約24百万t-CO<sub>2</sub>まで減少しているものの、今後エアコンや冷蔵・冷凍ショーケース等の冷凍空調分野でオゾン層破壊フロン(CFC,HCFC)から

代替フロン（HFC）への冷媒転換が進行することにより、2020年には再び約56百万t-CO<sub>2</sub>へと急増する見込みであり、この大半は冷凍空調分野（2008年：約13百万t-CO<sub>2</sub> 2020年：約40百万t-CO<sub>2</sub>）である。この分野を中心とした対策強化が喫緊の課題である。

冷凍空調分野での最も根源的かつ効果の高い対策は低温室効果冷媒への転換である。しかしながら、中・大型の業務用空調機器は、規模（冷媒量・配管長）が大きいこと、冷・暖房両方を行う必要があること等から特に冷媒代替の技術的ハードルが高く、現時点で低温室効果冷媒を用いつつ、省エネ性、コスト、安全性等を満たすシステムは存在していない。空調機器は一旦市場に投入されれば、その後十数年以上にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすことを考えれば一刻も早く開発し市場に投入させることが不可欠である。

## 2. 研究開発の具体的内容

### （1）高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

新冷媒開発において、新冷媒の分子設計、合成試作を行うとともに、基本物性の評価試験（沸点、蒸気圧、GWP、物質安定性、安全性、熱力学特性等）を行う。また、新冷媒の冷媒性能評価を実施するとともに、新冷媒候補と配管材料、冷凍機油等との材料適合性試験を実施する。併せて、冷媒の共通基盤的な設計・評価手法の技術開発等を行う。

## 3. 達成目標

### 【中間目標（平成25年度）】

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。

### 【最終目標】

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。その後、早期に製品化を目指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。

## 研究開発項目③「冷媒の性能、安全性評価」

### 1. 研究開発の必要性

昨今の地球温暖化防止への具体的貢献が求められる情勢のもと、GWPの高い冷媒から低い冷媒への転換が模索されている。しかし、GWPの低い冷媒は概ね可燃性を有しているため、可燃性冷媒を受け入れていかないことには、冷凍空調機器の分野での低炭素社会構築は難しく、可燃性冷媒のリスク評価が重要な鍵を握ることとなる。

そこで、可燃性冷媒に着火した場合の燃焼特性の評価を正しく行い、可燃性冷媒の持つポテンシャルリスク（着火・燃焼特性等）と、実使用時の着火リスクの双方を、正しく理解すること等が重要となる。

また得られた成果は業界等に反映させると共にプロジェクト内での共通基準とする事から、公益法人、業界団体、ワーキンググループ等を活用し横通しで、機器・冷媒開発と併行・協調しつつ開発を進展させる必要がある。また、指針のみならず規格化をも視野に入れ、公的国際的機関とも連携を図る。

## 2. 研究開発の具体的内容

### （1）冷媒の安全性（リスク）評価

低温室効果冷媒に関するリスク評価に係る項目（着火・燃焼特性、着火時挙動評価、使用機器燃焼試験、使用機器廃棄方法指針、フィジカルハザード評価、毒性評価等）について、室内実験や数値計算の技術を駆使した評価研究を実施する。

現行安全基準（高圧ガス・危険物管理）を鑑み、冷媒漏洩（機器の使用時及び廃棄時）等を原因とする危険性を排除できる実用的な安全基準を検証する。既存、開発中の冷媒からバックデータを得て、必要な場合は現行安全基準の見直しを提言するなどして、空調分野での安全基準を構築する。

## （２）冷媒の性能評価

低温室効果冷媒について、研究開発項目②からの新冷媒の提案を視野に入れつつ、使用条件等に応じた性能評価を行う。

## 3. 達成目標

### 【中間目標（平成25年度）】

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。

### 【最終目標】

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。

## 脱フロン対策分野

フッ素を含有する化合物は、冷媒、産業洗浄剤、発泡剤、半導体・液晶製造、電力機器絶縁、消火剤など幅広い産業分野で利用されるが、モントリオール議定書(1987年)において、フルオロカーボン(フロン)の一部がオゾン層破壊物質として規制対象に指定された。その代替物質としてHFC、PFCの導入が進んだが、これらは温室効果ガスとして京都議定書(1997年)の規制対象となった。

2001年からの第2次科学技術基本計画において、環境分野は「重点推進の4分野」の一つと位置づけられた。中でも地球温暖化問題は、影響の大きさや深刻さから見て、人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題の一つである。その後、2004年に制定された「地球温暖化防止新技術プログラム」基本計画では、代替フロン等3ガス(HFC、PFC、SF<sub>6</sub>)の削減技術の開発推進およびその導入・普及の促進を通じて、京都議定書第1約束期間での排出目標の達成が盛り込まれている。本プログラムによって、温室効果の小さい代替物質の開発、およびノンフロン化技術の開発が実施された。その成果は、フロン類の生産・使用現場での漏洩防止技術や、使用済フロン類の回収・破壊技術等の従来の取組に加えて、現在、導入が進められている。

「脱フロン対策分野」は、これらの取組を取りまとめたものであり、京都議定書の第1約束期間の後も、更なる温室効果ガス排出削減の強化が図られることを念頭に置き、今後20年程度を見据えたマップとした。

## 脱フロン対策分野の技術戦略マップ

### I. 導入シナリオ

#### (1) 脱フロン対策分野の目標と将来実現する社会像

フッ素を含有する化合物は、その優れた特性から、冷媒、産業洗浄剤、発泡剤、半導体・液晶製造、電力機器絶縁、消火剤など、幅広い産業分野で利用されている。このうち、オゾン層の破壊や地球温暖化へ大きな影響をもつ一部のフロン類は、代替の物質や技術に置き換わりつつある。

オゾン層の破壊を起こすもの（CFC、HCFC等）は、先進国においては2020年までに実質全廃の見通しである。特にHCFCに関しては、第19回モントリオール議定書締約国会合（MOP19）において途上国の10年前倒し全廃（2040年→2030年）が決議された。これに伴い凍結基準年も2015年から2009～2010年に前倒しとなり、特にHCFCの冷媒用途の代替品への転換に向けた技術開発が急務となってきた。一方、地球温暖化対策については、当面の課題は京都議定書の第1約束期間での温室効果ガスの排出削減である。1994年の気候変動に関する国際連合枠組条約では、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」を将来の最終的な目的と定めている。それには現在の温室効果ガスの排出を大幅に削減する必要がある。

京都議定書の排出規制対象温室効果ガスのうち、脱フロン対策分野は、HFC、PFC、SF<sub>6</sub>（代替フロン等3ガス）が対象である。我が国では、2002年の地球温暖化対策推進大綱改訂で、第1約束期間（2008～2012年）における排出量目標を基準年（1995年）排出量比プラス2%以下、その後、2005年の京都議定書目標達成計画にてプラス0.1%以内と定めた。2008年3月の目標達成計画追加対策では基準年排出量比マイナス1.6%に引き下げている。

また、京都議定書第1約束期間が終了した後の次の枠組について、2009年に開催された気候変動枠組条約第15回締結国会議（COP15）などで具体的な議論が本格的に開始されたところである。なお、第21回モントリオール議定書締約国会合（MOP21）でも議論に上った。今後、温室効果ガスに対する更なる追加削減が想定されることから、なお一層の取組が必要と見られる。

#### (2) 研究開発の取組

研究開発の取組は、フロン等の破壊・回収技術の開発と、フロンの代替物質の開発として物質の探求とその合成および精製技術の開発、さらに、フロン類を全く使用しないノンフロン化技術の開発に分類され、NEDOのプロジェクトとして体系的に実施されている。以下にその代表的な事例を示す。

「HFC-23破壊技術の開発」（1998～2001年度）では、冷媒やフッ素樹脂原料として使用されるHCFC-22の製造時に副生するHFC-23を破壊する技術開発を行った。また、「冷



媒フロンのケミカルリサイクル技術の開発」(2000年度)において、回収 HCFC-22 を高純度化してフッ素樹脂原料としてリサイクルする技術の開発を行った。HFC-23 の破壊に関しては、多くの CDM プロジェクトにより海外への技術移転が実施されており、世界規模での温室効果ガスの削減に効果をあげている。

代替物質の開発については、「新規冷媒等研究開発」(1994~2001年度)と「SF<sub>6</sub>等に代替するガスを利用した電子デバイス製造クリーニングシステムの研究開発」(1998~2002年度)において、それぞれ冷媒、洗浄剤、発泡剤と、半導体の CVD クリーニングガスを対象として環境負荷の小さい新規フロン代替物質の開発を行った。そこで有望と思われた物質については、「省エネルギーフロン代替物質合成技術開発」(2002~2006年度)で省エネルギー性確立の観点から工業的合成技術の開発を行った。

また、ノンフロン化技術では、「SF<sub>6</sub>フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発」(2004~2006年度)、「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」(2005~2010年度)および「革新的ノンフロン系断熱材技術開発」(2007~2011年度)により、マグネシウムダイカスト用カバーガス、冷媒、断熱発泡剤等の分野における低 GWP フッ素系ガスを含むノンフロン化技術開発に取り組んでいる。

なお、いわゆる自然物質の安全性や省エネ性能の限界が判明してきている一方で、オゾン層を破壊せず、GWP の低いフッ素化合物の開発が進められており、ノンフロンというよりは低 GWP の観点からの対象物質の拡大が、各分野における早期の実用化のためには必要になっている。

### (3) 関連施策の取組

大気放出された CFC や消火剤のハロン等がオゾン層を破壊するのを防ぐため、国連環境計画 (UNEP) は 1987 年「モントリオール議定書」を採択し、CFC5 種、消火剤ハロン 4 種が規制されることとなり、1990 年の改正からは更にメチルクロロホルム、四塩化炭素も追加された。その後 1992 年には、先進国における CFC の 1995 年末全廃、及び代替化合物 HCFC の 2020 年原則全廃が採択された。

温暖化防止に関しては、1988 年、UNEP が世界気象機関 (WMO) と「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」を設立し、地球温暖化に関する自然科学的及び社会的取組を開始した。その後、1992 年には「気候変動枠組条約」が締結され、その具体的な温室効果ガスの排出抑制対策として、1997 年に「京都議定書」が採択され 2005 年に発効した。また、第 1 約束期間における温室効果ガスの 6%削減約束の達成に必要な措置を定めた「京都議定書目標達成計画」を 2005 年に閣議決定(その後 2008 年に改定)し、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O とともに HFC、PFC、SF<sub>6</sub> (代替フロン等 3 ガス) も排出目標が設定された。

また、我が国では 2006 年施行の改正大気汚染防止法により、浮遊粒子状物質や光化学オキシダントに係る大気汚染の原因として VOC の排出規制が開始され、炭化水素系の化学物質に対しても規制が強化された。

一方、使用済みとなった機器からのフロン類の回収・破壊等については、「フロン回収・破壊法」、「家電リサイクル法」、「自動車リサイクル法」等の施行により対策が行われている。さらにフロン類の回収率向上を図るため、2006年度にはフロン回収・破壊法の改正が行われ、2007年に施行された。

このような取組とあわせて、「代替フロン等3ガスの排出削減設備の開発・実用化支援事業」が実施されている。

#### 〔導入補助・支援〕

- ・ 「地域地球温暖化防止支援事業」(2005～2009年度)および「代替フロン等排出削減施設等導入促進事業」(2010年度～)で、代替フロン等3ガスの排出抑制に資する企業等の先導的な取組に対して、事業終了後の研究成果普及による削減見込量等に応じた研究助成を実施している。

#### 〔サンプル提供・実用化促進〕

- ・ 「省エネルギーフロン代替物質合成技術開発」(2002～2006年度)で開発された新規ガスについて、実用化を目指した適用研究に対してサンプル提供を実施している。また、既に一部実用化・市販化されたものもある。

#### 〔規制・制度改革〕

- ・ 1997年の京都議定書の採択を受け、我が国の地球温暖化対策の第一歩として、国、地方公共団体、事業者、国民が一体となって地球温暖化対策に取り組むため、1998年に「地球温暖化対策の推進に関する法律」を制定した。2006年4月の同法一部改正では、2005年の京都議定書の発効及び我が国の温室効果ガスの排出の現状にかんがみ、地球温暖化対策の一層の推進を図るため、地球温暖化対策推進本部の所掌事務の追加、一定規模以上の温室効果ガスを排出する事業者に対して、排出量の報告等を義務づけた。2005年の京都議定書目標達成計画においては、京都議定書の6%削減約束を確実に達成するとともに、更なる長期的・継続的な排出削減を目指すこととされた。その後、2008年には温室効果ガスの種類別排出抑制効果と削減見通し等から、目標達成計画の内訳であるガス別目標値が見直されている。
- ・ また、2007年6月にフロン回収・破壊法が改正され、整備時のフロン類回収義務化、管理票制度等の導入等の規制が大幅に強化された。

#### 〔国際連携・協力〕

- ・ 「地球環境国際連携推進事業」(2003～2007年)により、地球温暖化問題の解決に貢献する技術の開発を国際レベルで効率的かつ経済的に進めるためにIPCC国際会議等を開催し、各国におけるエネルギー消費効率化に関する取組について情報交換、温暖化防止等に関する我が国の戦略的取組の検討及び各国方法収集調査等を実施した。
- ・ また、「地球環境国際研究推進事業」(2002～2011年)により、地球温暖化問題の解決に向け、諸外国と共同で革新的な温暖化防止技術の研究開発を実施。また、CTI(気候変動技術イニシアティブ)等の国際的な枠組を活用し、諸外国との研究協力を進める

ことにより、世界的な温暖化問題への取組を実施している。

〔他省庁との連携〕

- ・ 「京都議定書目標達成計画」の評価・見直しのため、産業構造審議会環境部会地球環境小委員会と中央環境審議会は、合同会合を開催している。

#### （４）海外での取組

特定フロンおよび代替フロン等 3 ガスに係る規制としては、モントリオール議定書、欧州 F ガス規制、REACH 規制、米国 CAA、欧州 EPER、米国知る権利法などがある。

欧州 EPER や米国の知る権利法は、PRTR 制度を司る根拠であるが、これは環境中への移動量を管理する措置である。

欧州では、F ガス規制により、発泡剤、エアゾール、消火剤など用途ごとに排出抑制や使用禁止措置などが決まっている。また、マグネシウムダイキャスト製法で年間 850kg 以下の SF<sub>6</sub> を使用しているものを除き、2008 年からはその使用が禁止される。加えて、カーエアコンについては、2011 年からの新型車への GWP150 以上の冷媒の使用禁止を定めており、新規物質開発への影響は世界的な広がりを見せている。特に温暖化係数が 10 以下の新規なフッ素化合物の開発が注目されているが、これは全く新たなカテゴリーに属する物質であり、大気寿命が 10 日前後と短いこれらの化合物の VOC としての挙動、大気中での分解挙動、総合的な環境影響・毒性問題への取組が重要な課題となってきた。また、REACH 規制の施行により、化学物質に対しても規制が強化されている。

米国は、オゾン層保護に関しては CAA に基づいた SNAP プログラムを推進している。しかしながら、京都議定書には批准しておらず、地球温暖化防止については、半導体、自動車、アルミニウム、マグネシウム、ガス製造や電力などの事業者または業界が、それぞれ自主的に EPA に削減計画を提出し、その目標達成に取り組んでいる。

#### （５）民間での取組

HFC 等製造、発泡・断熱材、エアゾール等、冷凍空調機器、洗浄剤・溶剤、半導体等製造、電気絶縁ガス使用機器、金属製品の合計 8 分野 22 団体において、自主行動計画が策定、実施されており、排出削減に大きな成果をあげている。

#### （６）改訂のポイント

- 技術戦略マップ 2009 からの変更なし。

## Ⅱ. 技術マップ

### （１）技術マップ

導入シナリオを踏まえ、「分野」、「用途」、「技術分類」、「詳細技術」、「技術開発が対象とする排出量の大きさ」毎に脱フロン技術を俯瞰した技術マップとしている。あわせて、各分野の詳細技術毎に排出量の大きさと推計の考え方を示した。

### （２）重要技術の考え方

主に技術開発が対象とする「排出量の大きさ」、「社会的ニーズに応える技術」、「市場インパクト」により重要技術を選定し、技術マップ中に明示した。

社会的ニーズに応える技術とは、温室効果ガスの削減を達成する上で、地球温暖化効果がCO<sub>2</sub>の数百倍～数万倍と大きいフロン類の排出を抑える技術であり、極めて重要である。

- ・ フロン類の使用現場での漏洩防止技術
- ・ 使用済フロン類の回収・破壊技術
- ・ 温室効果の小さい代替物質の合成技術
- ・ ノンフロン化技術
- ・ その他政策的な要請に基づき必要とされる技術

市場インパクトとは、新市場の創出や拡大につながる技術であり、技術開発による、温室効果の小さい代替物質合成、ノンフロン化技術、また、使用済フロンの回収・破壊技術が該当する。

選定された重要技術のうち、主なものについては以下のとおり。

#### ①冷凍冷蔵・空調用途

非オゾン層破壊、低温室効果等への対応を踏まえ、安全性に優れ、地球温暖化影響の低い（CO<sub>2</sub>排出量の少ない、効率の良い）冷凍空調システムの技術の開発が望まれている。

#### ②断熱材用発泡剤用途

今後、非オゾン層破壊、低温室効果、VOC規制、REACH規制等への対応を踏まえた、新たな物質や発泡プロセス技術の開発が望まれている。当該開発の際には、断熱材の現状の断熱性能を維持しつつ、製造時の省エネ、省資源等トータル的な省エネルギー性を確保する必要がある。

### (3) 改訂のポイント

- 脱フロン対策分野の「重要技術」として、以下の6分野から22の詳細技術を選定した。
  - ・ 冷凍空調機器に係る事項
  - ・ 発泡・断熱材に係る事項
  - ・ 電気絶縁ガス使用機器に係る事項
  - ・ エアゾール等に係る事項
  - ・ 半導体等製造に係る事項
  - ・ 金属製品に係る事項
- 「技術開発が対象とする排出量の大きさ」のうち「冷凍空調機器に関する事項」は、2030年の当該技術が対象とする温室効果ガスの年間排出予測量を示す。「金属製品に係る事項」は、2007年のマグネシウム鋳造時の代替フロン等3ガス実排出量を示す。従って当該技術の実用化に伴う排出量削減効果は、技術開発が対象とする排出

量の一部にとどまる。

### **Ⅲ. 技術ロードマップ**

#### **(1) 技術ロードマップ**

技術マップで整理した技術について、より具体的な検討課題を記載した。

なお、技術ロードマップに従って技術開発が進展し実用化された場合のイメージとして、生活空間を切り出した図【参考資料1：脱フロン技術の製品化イメージ図】を添付している。

#### **(2) 改訂のポイント**

- 技術戦略マップ 2009 からの変更なし。

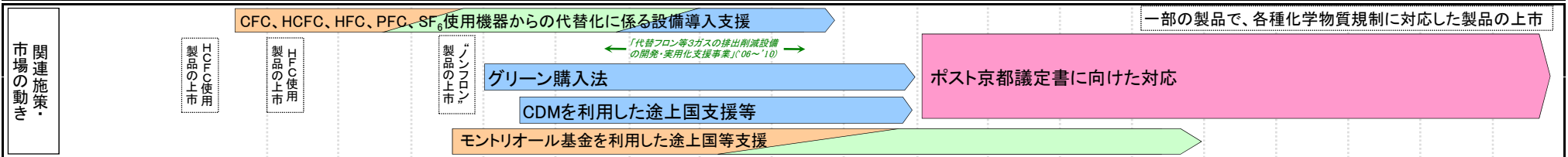
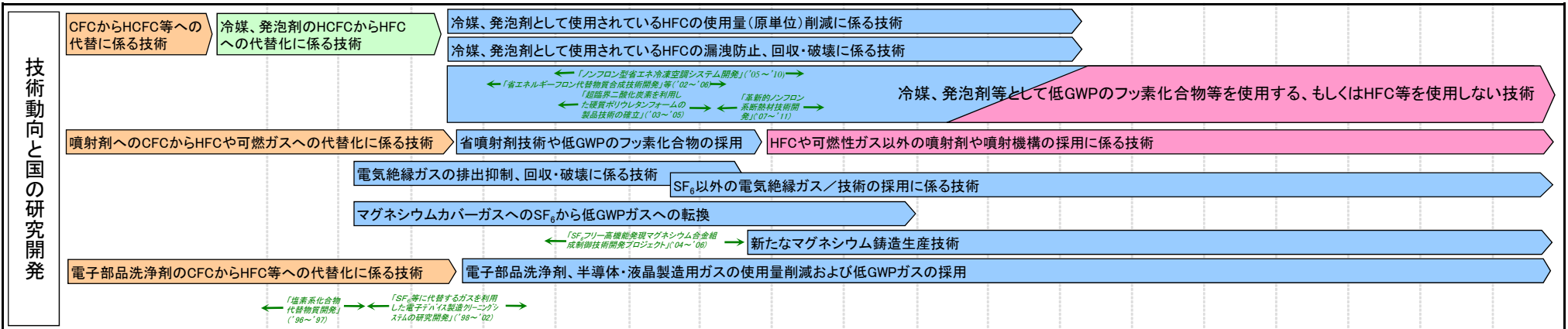
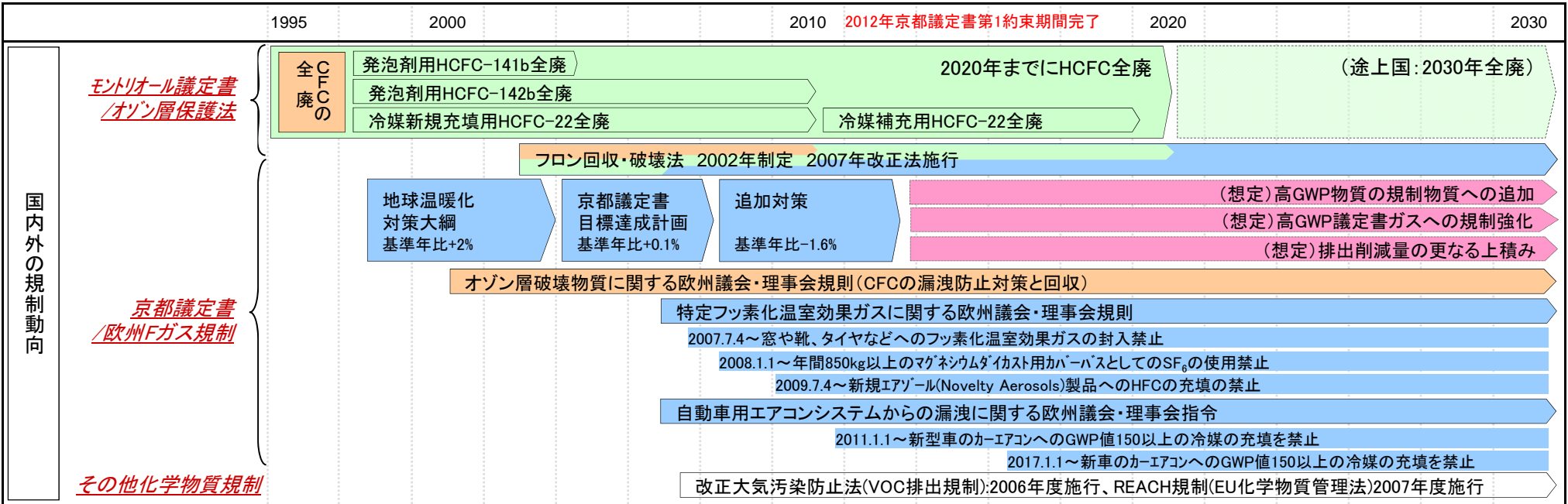
# 脱フロン対策分野の導入シナリオ

CFC対策(主にモントリオール議定書)

HFC、PFC、SF<sub>6</sub>対策(主に京都議定書)

HCFC対策(主にモントリオール議定書)

ポスト京都議定書対策



その他: フッ素の物質循環(3R、化学物質と関連あり)、標準化の推進

脱フロン対策分野の技術マップ(1/3)

(注)   は重要技術

分野	用途	技術分類	技術番号	詳細技術	技術開発が対象とする排出量の大きさ	推計の考え方	
冷凍空調機器に係る事項	冷凍冷蔵・空調機器	業務用冷凍空調機器及び家庭用空調機器に自然系冷媒を使用した製品の開発	101	二次冷却回路を用いたコンビニ向け冷凍・冷蔵・空調システム開発	4,891千GWPt/年	2030年の内蔵形ショーケースと業務用冷凍冷蔵庫、店舗用パッケージエアコンからのHFC-134a及びR-404A、R-410Aの年間排出予測量	
			102	住宅用マルチ空調機に係る技術開発	11,313千GWPt/年	2030年の家庭用エアコンからのR-410Aの年間排出予測量	
			103	二次冷却回路を用いたビル用マルチ空調機開発	7,930千GWPt/年	冷暖房同時運転ビル用マルチ空調機の開発	2030年のビル用パッケージエアコンからのR-410Aの年間排出予測量
			104	冷暖房同時運転ビル用マルチ空調機の開発			
			105	混合冷媒を用いた食品工場やスーパーマーケット向け冷凍・冷蔵・空調システム開発	2,588千GWPt/年	チリングユニットの開発	2030年の設備用パッケージエアコンからのR-410Aの年間排出予測量
			106	チリングユニットの開発			
			107	二次冷却回路を用いたプレハブ冷凍庫用冷凍システム開発	421千GWPt/年	2030年の冷凍冷蔵用チリングユニットからのR-407Cの年間排出予測量	
			108	二次冷却回路を用いた業務用空調・給湯システム開発	286千GWPt/年	2030年の空調用チリングユニットからのR-407Cの年間排出予測量	
			109	冷凍ショーケース向けシステム開発	19,087千GWPt/年	2030年の別置形ショーケースからのR-404Aの年間排出予測量	
		冷媒以外の技術を使用した製品の開発	110	デシカント(調湿剤)を用いた換気・調湿システム開発	—	新たな考え方に基づく技術であり、既存のシステムの代替ではなく、追加的に普及が見込まれる技術と考え、排出量推計の対象外とした	
			111	磁性体に磁界変化を与えることで温度変化を得る物質の開発及びシステム開発	—	技術が対象とする製品が未だ定まっておらず、基礎的な研究であることから、排出量推計の対象外とした	
		運輸機器に自然系冷媒や低GWP冷媒等の技術を使用した製品の開発	112	エンジン廃熱を活用するノンフロン型カーエアコンシステム開発	—	排出量削減に係る取り組みや技術を補完する技術(間接的技術)であり、排出量推計の対象外とした	
			113	低GWP冷媒を使用したカーエアコンの研究	—		
		業務用冷凍空調機器及び家庭用空調機器に低GWP冷媒を使用した製品の開発	114	低GWP冷媒を使用した省エネ空調機の研究	—	技術が対象とする製品が未だ定まっておらず、基礎的な研究であることから、排出量推計の対象外とした	
			115	低GWP冷媒を使用したルームエアコンの研究	—		
			116	HFE-143mを冷媒として活用した技術の開発	—		
			117	HFE-245mcを冷媒として活用した技術の開発	—		
			118	HFO-1234yfを冷媒として活用した技術の開発	—		

注) 当該技術の実用化に伴う削減効果は、技術開発の対象とする排出量の一部にとどまる。

脱フロン対策分野の技術マップ(2/3)

(注)   は重要技術

分野	用途	技術分類	技術番号	詳細技術	技術開発が対象とする排出量の大きさ	推計の考え方	
冷凍空調機器に係る事項(つづき)	冷凍冷蔵・空調機器(つづき)	新たな考えに基づく冷凍冷蔵・空調システムの検討	119	燃料電池で発電される電力と燃料電池の廃熱を吸収式冷凍機やヒートポンプで利用する技術の開発	—	排出量削減に係る取り組みや技術を補完する技術(間接的技術)であり、排出量推計の対象外とした	
			120	分散型電源や各種ビル設備用動力源などの廃熱を活用した新たな複合熱利用システムの検討	—		
		高GWP冷媒の回収を促す製品や社会システムの検討	121	回収した冷媒フロン類から蛍石レベルまで戻さずにフッ素樹脂を生産する技術の開発	—		技術番号122を促進する間接的な技術であり、排出量は以下に含まれる(但し、あくまで間接的な技術であることから、排出量推計の対象外とした)
			122	短時間で全量回収可能な冷媒回収装置の開発	19,346千GWpt/年		2030年の使用済み業務用冷凍空調機器に含まれるHFCの量
発泡・断熱材に係る事項	断熱材	硬質ウレタンフォーム工場発泡品によるフロン系発泡剤と同等の断熱性能を確保した製品の開発	201	次世代断熱発泡剤の開発	255千GWpt/年	2007年のHFC発泡剤(HFC-134a、HFC-245fa、HFC-365mfc)の使用量が継続されると考え、これに対して初年度10%、その後、20年かけて残り90%排出するとした場合の平均年間排出量	
			202	非フロン系発泡剤を使用した断熱材の熱伝導率経時低下の抑制に係る研究			
			203	非フロン系発泡剤使用に係る断熱性能向上技術開発			
	新規な断熱材の開発	硬質ウレタンフォーム現場発泡品によるフロン系発泡剤と同等の断熱性能を確保した製品の開発	204	ナノコンポジット断熱材とその連続製造プロセスの開発	—		排出量削減に係る取り組みや技術を補完する技術で、さらに基礎的な研究であることから、排出量推計の対象外とした
			205	ナノセルラー発泡体、架橋反応・シリケート化発泡体、ナノゲルを用いた発泡体の開発			
			206	ナノゲルを用いた断熱材製造技術の開発			
			207	断熱性向上シートの開発			
電気絶縁ガス使用機器に係る事項	電気絶縁ガス	代替ガスの検討	301	N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 等とSF <sub>6</sub> の混合に係る検討、及び新規代替ガスの探索	—	毎年削減が進む分野であり、基準とする排出量の設定が難しいことから、排出量推計の対象外とした。 なお、参考として、2007年の電気絶縁ガス使用機器からの排出量は、約900千GWpt/年となる	
エアゾール等に係る事項	エアゾール	新規な噴射剤の開発	401	新規な噴射剤の開発	453千GWpt/年	2007年のHFC噴射剤(HFC-134a、HFC-152a)の使用量が継続すると考えた場合の年間排出量。 埃除去用エアゾール製品と急冷用エアゾール製品は8:2の割合とした	
			402	ATMや券売機、自動改札機における埃・紙粉非蓄積技術			
			403	携帯可能で小型の圧縮空気発生技術の開発			
			404	埃・紙粉非蓄積技術の開発			
		新たな急冷装置・製品の開発	405	環境試験装置としての急冷技術の開発	113千GWpt/年		
			406	被急冷体への吹きつけ型急冷方法の開発			

注) 当該技術の実用化に伴う削減効果は、技術開発の対象とする排出量の一部にとどまる。



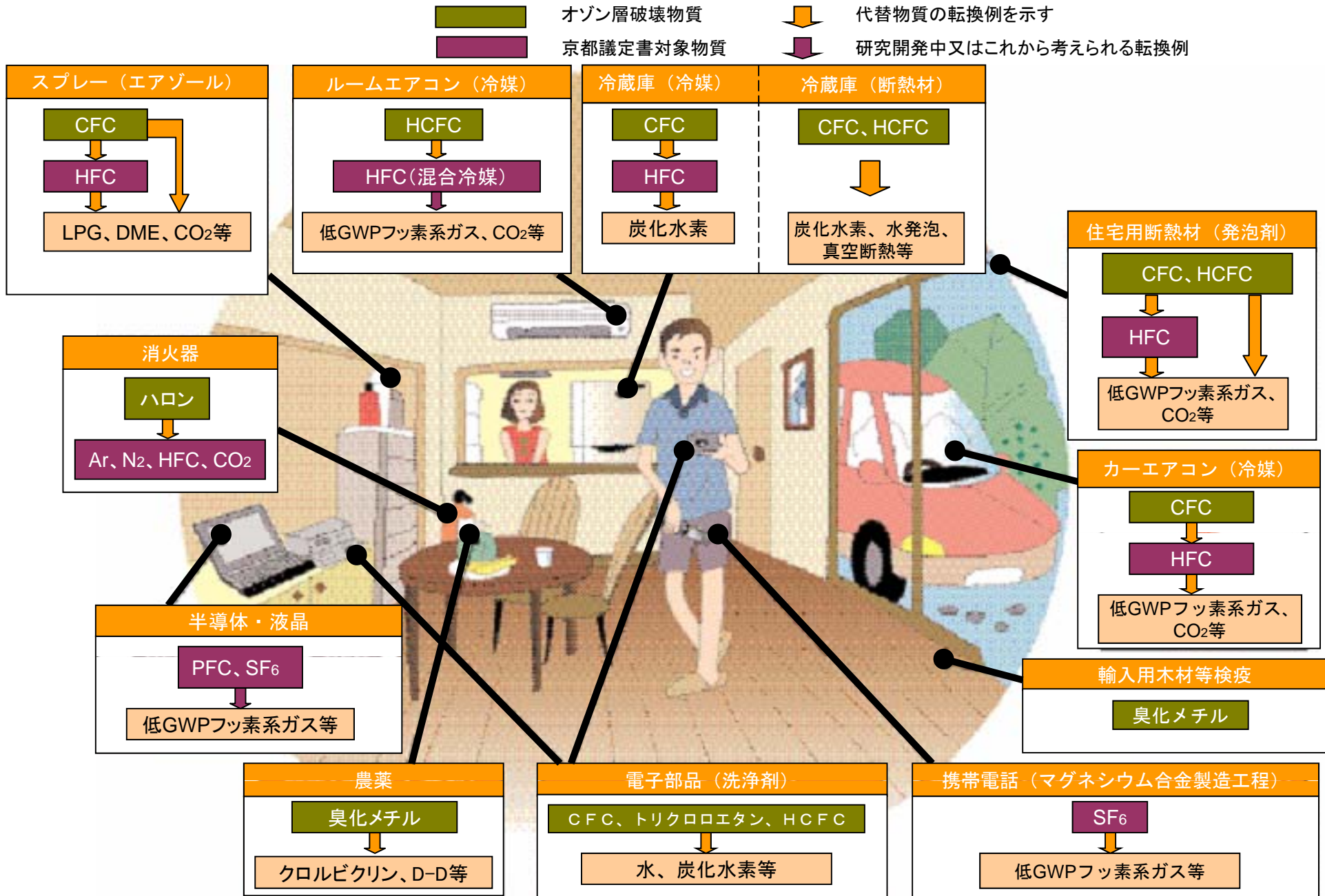
脱フロン対策分野の技術マップ(3/3)

(注)  は重要技術

分野	用途	技術分類	技術番号	詳細技術	技術開発が対象とする排出量の大きさ	推計の考え方
半導体等製造に係る事項	半導体・液晶製造	使用量の削減/除害装置の導入	501	使用量の削減/除害装置の導入	5,102千GWPt/年	2007年の半導体・液晶製造時の代替フロン等3ガスの実排出量
		代替ガスの導入	502	低GWPガスの導入検討		
金属製品に係る事項	マグネシウム	カバーガスとしてのSF <sub>6</sub> の使用量を削減する技術	601	溶解炉からの放出抑制に関する技術	—	これまで進められてきた取り組みであり、追加的な削減の余地は少ないものとした
				ボンベから溶解炉までの配管からの漏洩防止に関する技術		
				ガス流量精密計量装置の開発		
		代替カバーガスの検討	602	HFC-134a使用技術の採用と検証	903千GWPt/年	2007年のマグネシウム製造時の代替フロン等3ガスの実排出量
			603	FK使用技術の採用と検証		
代替カバーガスの検討	604	HFO-1234ze使用技術の採用と検証				
	605	SF <sub>6</sub> フリー高機能発現Mg合金組織制御技術開発				

注) 当該技術の実用化に伴う削減効果は、技術開発の対象とする排出量の一部にとどまる。

# 脱フロン技術の製品化イメージ図



# 事前評価書

	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">作成日</td> <td style="padding: 2px;">平成 23 年 2 月 8 日</td> </tr> </table>	作成日	平成 23 年 2 月 8 日
作成日	平成 23 年 2 月 8 日		
1. 事業名称 (コード番号)	高効率ノンフロン型空調機器技術の開発		
2. 推進部署名	環境部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：</p> <p>業務用空調機器を対象として、従来フロン機以上の効率性（省エネ性）と冷媒のノンフロン化を両立する技術を開発する。これにより、市中の空調用冷媒ストックの約半分を占める業務用機器についてノンフロン化を進める。</p> <p>冷凍空調分野では、使用する温度帯及び機器規模（冷媒量、配管長）により必要な冷媒特性が異なる。これまで「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業（H17～H22）では、冷却のみを行う業務用冷凍冷蔵や機器規模が小さい家庭用エアコン分野を対象として冷媒転換の技術開発を行い、従来機比 10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。一方、業務用空調機器分野は、家庭用エアコンに比べ規模が格段に大きく冷媒転換に要する技術は全く異なる。このため特に技術的ハードルが高く、これまでノンフロン化は行われてこなかった。</p> <p>しかし近年、世界的な微燃性冷媒に対する安全評価の考え方の変化や、高圧・超臨界状態での CO2 冷媒を用いる新たな圧縮機技術の登場等を背景として、業務用空調分野での冷媒転換の可能性が急速に高まってきたところである。このため、残された業務用空調分野での技術開発を一気に進め、省エネ化、ノンフロン化を促進する。さらに、現在進行中の微燃性冷媒に係わる国際規格策定の議論を我が国がリードすることで、海外市場における競争基盤を獲得する。</p> <p>従来フロン機以上の省エネ性とノンフロンを両立する業務用空調機器技術を実現するため、機器システム、冷媒の両面から革新的技術の開発を行う。具体的な開発項目は以下のとおり。</p> <p style="padding-left: 20px;">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</p> <p style="padding-left: 20px;">高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発</p> <p style="padding-left: 20px;">冷媒の性能、安全性評価（可燃性、毒性等）</p> <p>また、新冷媒及びこれを適用するシステムの性能・安全性評価を通じ、規格の策定を行うとともに、国際規格への提案を目指す。</p> <p>以上の研究開発により、現状市販フロン機と同等以上の省エネ性能とノンフロンを両立する技術の達成を目標とする。</p> <p>その後、早期に製品化を目指し普及させることにより、省エネ性向上及び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。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費（国費分） 23 億円（委託、補助(2/3)）（予定）</p> <p>(3) 事業期間：平成 23 年度～27 年度（5 年間）</p>		

#### 4. 評価の検討状況

##### (1) 事業の位置付け・必要性

###### NEDOの事業としての妥当性

特定フロン（CFC、HCFC）等のオゾン層破壊物質は、オゾン層保護の観点からモントリオール議定書により、生産の段階的な廃止が義務付けられている。一方、特定フロンの代替として開発され、オゾン破壊の恐れがない代替フロン等 3 ガス（HFC、PFC、SF6）は、その優れた特性から、冷媒（冷凍・冷蔵庫、空調機器、自動車エアコン等）、発泡剤、洗浄剤、絶縁材等として利用されており、今後、オゾン層破壊物質からの転換が本格化するにしたがって、その使用量・排出量の増加が見込まれている。しかしながら、これら 3 ガスは、大気中に長期間に亘って安定に存在しかつ極めて強力な温室効果を発揮する化合物であることから、京都議定書において排出削減対象ガスに指定されている。

我が国は京都議定書目標達成計画において、代替フロン等 3 ガスについては追加対策を行うことにより、第 1 約束期間中（2008 年～2012 年）に大幅な排出抑制に努めなければならない、温室効果がより小さい代替物質の開発・普及と設備等の導入を推進することが強く要請されている。また、京都議定書第 1 約束期間終了後（2013 年以降）においても、更なる長期的・継続的な排出削減対策の実施が求められている。

冷凍空調分野では、使用する温度帯及び機器規模（冷媒量、配管長）により必要な冷媒特性が異なる。これまで「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業（H17～H22）では、冷却のみを行う業務用冷凍冷蔵や機器規模が小さい家庭用エアコン分野を対象として冷媒転換の技術開発を行い、従来機比 10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。

しかしながら、中・大型の業務用空調機器は、規模（冷媒量・配管長）が大きいこと、冷・暖房両方を行う必要があること等から特に冷媒代替の技術的ハードルが高く、現時点で低温室効果冷媒を用いつつ、省エネ性、コスト、安全性等を満たすシステムは存在していない。

空調機器は一旦市場に投入されれば、その後十数年以上にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼすことを考えれば一刻も早く開発し市場に投入させることが不可欠である。

以上を踏まえ、代替フロン物質を削減する技術開発を総合的・効率的かつ加速的に推進し、その導入・普及を促進することにより、環境・エネルギー・経済のバランスのとれた持続可能な社会の構築を図ることを目的とする「環境安心イノベーションプログラム」の一環として、業務用冷凍空調機器を対象として、従来フロン機以上の効率性（省エネ性）と冷媒のノンフロン化を両立する技術の開発を実施する。これにより、市中の空調用冷媒ストックの約半分を占める業務用冷凍空調機器についてノンフロン化を進める。

こうした開発はいずれも基礎（実験室レベル）からの取り組みが必要であり技術的不確実性は高い。また 1 社単独の技術では解決が難しく、大学や研究機関等と複数企業による知見の結集が不可欠なため、国のプロジェクトとして実施する必要性は高い。加えて、低温室効果冷媒への転換（ノンフロン化）はコストアップ要因となる一方、メーカー・ユーザーともに直接の経済的利益がなく事業者が開発インセンティブが働きにくく、国の支援が不可欠である。さらに、冷媒の安全性評価や基準化手法の策定は、産業界全体の基盤となる技術であり、特定企業に偏りのない実施が必要であることから、国が主体となって実施することが必要である。

#### 事業目的の妥当性

代替フロン等3ガスの排出量は、産業分野での官民一体での対策により、基準年（1995年）約51百万CO<sub>2</sub>-tから現在約24百万CO<sub>2</sub>-tまで減少しているものの、今後エアコンや冷蔵・冷凍ショーケース等の冷凍空調分野でオゾン層破壊フロン（CFC,HCFC）から代替フロン（HFC）への冷媒転換が進行することにより、2020年には再び約56百万CO<sub>2</sub>-tへと急増する見込みであり、この大半は冷凍空調分野（現在：約13百万CO<sub>2</sub>-t→2020年：約40百万CO<sub>2</sub>-t）である。

さらに、その内の約12百万CO<sub>2</sub>-tを業務用空調機器分野が占めており、これは2020年BAU推計の3ガス総排出量の約21%、冷凍空調分野の排出量の約30%を占めることになる。この分野を中心とした対策強化が喫緊の課題であり、最も根元的かつ効果の高い対策は低温室効果（ノンフロン）冷媒への転換である。

近年、世界的な微燃性冷媒に対する安全評価の考え方の変化や、高圧・超臨界状態でのCO<sub>2</sub>冷媒を用いる新たな圧縮機技術の登場等を背景として、業務用空調分野での冷媒転換の可能性が近年急速に高まってきたところである。例えば欧州では、Fガス規制により、発泡剤、エアゾール、消火剤など用途ごとに排出抑制や使用禁止措置などが決まっている。中でも、カーエアコンについては、2011年からの新型車へのGWP150以上の冷媒の使用禁止を定めており、新規物質開発への影響は世界的な広がりを見せている。特に温暖化係数が10以下の新規なフッ素化合物の開発が注目されているが、これは全く新たなカテゴリーに属する物質であり、大気寿命が10日前後と短いこれらの化合物のVOCとしての挙動、大気中での分解挙動、総合的な環境影響・毒性問題への取組が重要な課題となってきた。

このため、残された業務用空調機器分野での技術開発を一気に進め、省エネ化、ノンフロン化を促進する。さらに、現在進行中の微燃性冷媒に係わる国際規格策定の議論を我が国がリードすることで、海外市場における競争基盤を獲得する。

(2) 研究開発目標の妥当性

【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。

【最終目標】

温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい分野である業務用空調機器に関して、低温室効果ガスを用いて省エネ化・高効率化を実現する。新冷媒開発、圧縮機、熱交換器等の要素機器の開発、システム開発等の研究開発により、現状市販フロン品と同等以上の省エネ性能とノンフロンを両立する技術の達成を目標とする。

現在カーエアコン用の代替冷媒として提案されている HFO-1234yf やその混合冷媒等のフッ素系低温室効果冷媒は、フロン冷媒に比べ密度が低く管路圧力損失が極めて大きいことから、現行技術・仕様を単純に適用すると冷房・暖房性能が大幅に低下（2～3割以上）する。CO<sub>2</sub>冷媒は冷凍・冷蔵の場合と異なり室内・室外機とも超臨界温度に近い領域での運転となること等から、冷房・暖房性能はフッ素系低温室効果冷媒以上に低下する。このため、いずれの冷媒でも実用化には性能向上のための革新技术開発が不可欠である。

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」事業（H17～H22）では、従来市販品・システム比+0%以上の省エネ性向上を目標として、冷却のみを行う業務用冷凍冷蔵や機器規模が小さい家庭用エアコン分野を対象として冷媒転換の技術開発を行い、従来機比 10%省エネのノンフロンショーケースを実用化する等の成果を挙げてきた。

一方、業務用空調機器分野については、規模（冷媒量・配管長）が大きいこと、冷・暖房両方を行う必要があること等から特に冷媒代替の技術的ハードルが高く、現時点で低温室効果冷媒を用いつつ、効率性、コスト、安全性等を満たすシステムは存在していない。

以上のことから、業務用空調機器分野において現状市販フロン品と同等以上の省エネ性能とノンフロンを両立する技術の達成のためには革新的技術の開発が不可欠であり、プロジェクト内で妥当な改善目標を精査する予定であるが、前記最終目標は努力目標として妥当である。

また、ユーザーの購入インセンティブ確保のためには省エネ性は極めて重要な要素であり、事業化普及には現状市販フロン品と同等以上の省エネ性能は不可欠である。

新冷媒及びこれを適用するシステムの性能・安全性評価を通じ、規格の策定を行うとともに、国際規格への提案を目指す。

その後、早期に製品化を目指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。

### (3) 研究開発マネジメント

#### 研究開発計画の妥当性

現状市販フロン機と同等以上の性能とノンフロンを両立する業務用空調機器技術を実現するためには、機器システム、冷媒の両面から革新的技術の開発を行う必要がある。

最終目標を達成するために以下の研究開発項目について研究開発を行う。

#### ①低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

機器開発において、主要な要素部品（熱交換器、圧縮機等）の材料、形状、特性等に係る仕様検討、設計を実施するとともに、試作、性能評価を実施する。また、冷凍サイクル全体での性能を評価する試験ユニット等を試作して、サイクル全体での評価試験を実施する。システムの最適化・複合化等を行い、実機レベルの検証・改善により高性能を実現する。

#### ②高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

新冷媒開発において、新冷媒の分子設計、合成試作を行うとともに、基本物性の評価試験（沸点、蒸気圧、GWP値、物質安定性、安全性、熱力学特性等）を行う。また、新冷媒の機器ドロップイン試験による冷媒性能評価を実施するとともに、新冷媒候補と配管材料、冷凍機油等との材料適合性試験を実施する。

#### ③冷媒の性能、安全性評価

微燃性冷媒に関するフィジカルリスク評価に係る項目（着火・燃焼特性、着火時挙動評価、使用機器燃焼試験、使用機器廃棄方法指針、フィジカルハザード評価等）について、室内実験や数値計算の技術を駆使した評価研究を実施する。

現行安全基準（高圧ガス・危険物管理）を鑑み、冷媒漏洩（機器の使用時および廃棄時）等を原因とする危険性を排除できる実用的な安全基準を検証する。既存、開発中の冷媒からバックデータを得て、必要な場合は現行安全基準の見直しを提言するなどして、空調分野での安全基準を構築する。

低温室効果冷媒について、研究開発項目②からの新冷媒の提案を視野に入れつつ、使用条件等に応じた性能評価を行う。

#### 研究開発実施者の事業体制の妥当性

本研究開発は、上記開発項目別に公募を行い、各項目 1 件以上の研究開発実施者を選定し実施する。

本研究開発において、NEDOが主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発である事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発である事業は助成（助成率 2 / 3）により実施する。

NEDOが選定する研究開発実施者の有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが委嘱する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の下で、それぞれの研究開発項目の達成目標を実現すべく研究開発を実施する方式を採用する。

具体的には、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受け、必要に応じて、NEDOに設置する委員会及び技術検討会等を開催し、外部有識者の意見を参考として、選択と集中により優秀な技術を短期間に育成するマネジメントを行う（例えば、成果が得られた時点で、実用化研究など次ステップへの転出を奨励する。反面、期間内に成果が見込めないと判断された事業は開発途中であっても中止するなど。）

加えて、研究期間中にも新規技術に関する調査を実施し、有望と認められる内容については、新規開発の追加公募を実施するなどフレキシビリティを保持した研究開発マネジメントに心掛ける。

#### 知財・標準化戦略の妥当性

本研究開発で得られた成果は業界等に反映させると共にプロジェクト内での共通基準とする事から、公益法人、業界団体、ワーキンググループ等を活用し横通しで、機器・冷媒開発と併行・協調しつつ開発を進展させる必要がある。また、指針のみならず規格化をも視野に入れ、公的国際的機関とも連携を図る。

#### (4) 研究開発成果

##### 成果の意義

- ・本研究開発により、現状市販フロン機と同等以上の省エネ性能とノンフロンを両立する業務用空調機器技術が製品化されることにより、省エネ性向上及び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。

- ・本研究開発による代替フロン排出削減効果として、2030年で数百万 t-CO<sub>2</sub>、2050年で1千万 t-CO<sub>2</sub>以上の効果を見込む。

- ・新冷媒及びこれを適用するシステムの性能・安全性評価を通じて規格の策定を行うとともに、微燃性冷媒に係る国際規格策定の議論を我が国がリードすることで、海外市場における競争基盤を獲得する。

##### 知的財産権の取得及び標準化の取組

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準案の提案等を積極的に行う。特に、「冷媒の性能、安全性評価」においては、内容を広く一般にも公開し国際的な基準（標準）形成に資することとする。

##### 論文発表・成果の普及

NEDO及び委託研究実施者は、得られた研究開発成果については、国民の利益を損なわない範囲で国内外を問わず普及に努めるものとする。



(5) 実用化・事業化の見通し

成果の実用化可能性

本研究開発により、現状市販フロン機と同等以上の省エネ性能とノンフロンを両立する業務用空調機器技術が開発されたならば、この成果に基づく実証テストを実施することにより、技術的には本事業終了後直ちに実用化が可能なレベルを目指すこととなる。

波及効果

本研究開発の結果、低温室効果冷媒に関する評価が整い、その適用技術が確立されることにより、環境面からの市場ニーズおよびユーザーニーズが高いことから、空調機器メーカーによる実用化開発が進展し、事業化への展開が促進されることが期待できる。

また、我が国企業による海外市場（特にポテンシャルの高いアジア市場）獲得のための、我が国の優れた技術の海外展開、普及の推進に貢献することが期待できる。

事業化までのシナリオ

早期の市場導入を目指し基盤技術開発と並行して実用化開発を実施する。これにより、本研究開発終了の翌年度（平成28年度）の市場導入も十分可能であると考える。

また、市場導入に際し、本商品はフロン機代替品として購入されるため、価格は従来フロン機と同程度を目標にすることが求められる。

(6) その他特記事項

開発期間は最長 5 年とするが、短期間による実用化技術確立が可能と思われる場合はその限りではなく、個別提案毎に最適な開発計画にて実施する。

本事前評価については、外部有識者で構成される委員会審議により「ハードルは高いが是非実施すべき事業である」との見解を頂いている。

5. 総合評価

本事業のターゲットとしている業務用空調機器は、使用冷媒量が多く、市中ストックも膨大である。また、空調機器は使用年数が長く、対策実施から効果発現までの期間が長いため、低GWP冷媒への転換は急務であり、本事業実施の緊急性は高い。

低温室効果冷媒を用いた業務用空調機器の開発は技術的に難しく、また、冷媒等に係わる国際的規制等の動向を見極めることは民間企業単体では困難であり、開発リスクが高い。更に、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、一企業で実施可能なレベルではないため、国が主導して実施することが必要である。

## 「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成 23 年 3 月 2 日  
NEDO  
環境部

NEDO POST 3 において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

### 1. パブリックコメント募集期間

平成 23 年 2 月 16 日～平成 23 年 3 月 1 日

### 2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞

計 1 件

### 3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
全体について		
<p>[意見 1] (1 件)</p> <p>環境に優しく高効率な空調機器の開発は、わが国が有するヒートポンプ技術の応用として国内だけでなく全世界に向けて発信すべく取り組む重要な技術であることは言うまでもない。ここで、基本計画等の内容をみると、従来の気体圧縮膨張方式を基軸とした技術開発を志向していると思われる感がある。新たな冷媒を模索することはもちろん必要だが、むしろ、国家プロジェクトとしては従来の技術の延長線でない革新的な技術の発掘・育成にこそ目を向けるべきである。</p> <p>是非とも種々のアイデアも含めた幅広い手法、構造、システムによる技術開発を推し進められることを期待する。圧縮機ありきのプロジェクトとするべきではない。まだ、すぐに実用化というわけにはいかない技術でも、可能性を有する技術は種々あると思われる。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>基本計画においては、現時点では低温室効果冷媒の利用技術を対象としておりますが、その他の技術についても検討を閉ざしていることはなく、本研究開発期間中にも新規技術に関する動向調査等を実施し、有望と認められる内容については、新規開発に着手することも視野に入れております。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p>

以上