

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

- I. 事業の位置付け・必要性について
- II. 研究開発マネジメントについて
- III. 研究開発成果について**
- IV. 実用化、事業化の見通しについて

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

Ⅲ. 研究開発成果について

(1) 各テーマの目標達成度(事業者による自己評価)

公開

研究開発項目	対象技術等	テーマ	目標	成果	自己評価
①住宅分野	・住宅用換気空調	住宅用コンパクト再生方式省エネ型換気空調システムの開発	新鮮外気を室内運転条件付近まで、夏は冷却減湿し、冬は加熱加湿したのち、送風するノンフロン型換気空調装置を開発する	目標吸着剤再生効率を達成するシステムを開発	◎
		住宅用ノンフロン型省エネ調湿システムの開発	理論的に空気透過を発生しない構成で、かつ、多湿時の潜熱交換効率の高いノンフロン型の全熱交換器を開発する	目標潜熱交換効率を達成するシステムを開発	◎
	・低GWP冷媒ルームエアコン	低GWP冷媒を使用した省エネ空調機の研究	低GWP候補冷媒の定置式直膨型空調機への適用可能性の評価を行う	従来冷媒と同等性能が期待できる候補冷媒(複数)を選定。各々の製品化への課題を明確化	◎
		低GWP冷媒を適用した省エネ空調機の研究	地球温暖化への直接的な影響が少ないフッ素系低GWP冷媒を適用した定置式空調機の実用化可能性を追求するとともに、企業化における課題を抽出する	従来冷媒と同等性能が確保できる仕様を得た。冷媒の信頼性に係る課題を抽出	◎
		低GWP冷媒ルームエアコンの研究	ルームエアコンに、低GWP冷媒またはそれを主成分とする混合冷媒または冷媒メーカー提案の低GWP混合冷媒の適用を検討し、製品寿命気候負荷(LCCP)低減に貢献することをねらいとする候補冷媒の選定を行う	従来冷媒と同等性能の機器仕様確立。候補冷媒の絞り込み実施	◎
②業務分野	・CO2冷媒ショーケース	過冷却回路によるCO2冷凍システムの高効率化技術の開発	現行のHFC機種に比べて年間消費電力量を削減する自然冷媒冷凍システムの実用化	年間消費電力量削減目標を達成するシステムを開発	◎
	・低GWP冷媒ターボ冷凍機	低GWP冷媒のドロップイン試験	低GWP冷媒のターボ冷凍機用への適用可否を確認する	適用可能であることを確認	○
④性能・安全評価	・低GWP冷媒評価(性能・安全性) ・LCCP評価手法	『ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発』の実用的な運転モード及び評価方法ならびに安全基準の構築	次世代冷媒の導入に関し、LCCP、燃焼特性、有害性、大気経路暴露・リスク、および室内漏洩時暴露・リスクを考慮した安全性評価をリスクトレードオフの観点から実施する	リスクトレードオフ評価の枠組みを設定し、次世代冷媒候補物質を絞り込んだ上でLCCP評価を実施	◎
		エアコン用低GWP混合冷媒の物性とLCCP評価	新冷媒候補の選択に対して有用な情報を提供して適切な冷媒選択を容易にし、その実用化研究開発を加速させるために、候補冷媒の基礎的な物性情報、サイクル性能情報、ライフサイクルにおける等価二酸化炭素排出量等の評価を実施する	新冷媒候補およびその混合冷媒の物性測定、性能評価、およびLCCP評価を実施	◎

◎:大いに達成、○:達成、△:一部未達、×:未達

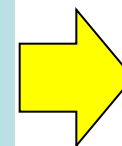
「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

Ⅲ. 研究開発成果について

(2) 各研究開発項目の目標達成度

本プロジェクトの目的:

家庭用・業務用及び運輸用エアコン及びショーケース等への適用を目的として、高効率でかつ、安全性についても配慮した、ノンフロン型省エネ冷凍・空調システムの開発及びその性能評価手法とこれに係る安全性基準の構築を行う。



達成

研究開発項目	目標	自己評価
①【住宅分野】住宅分野向けノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発	安全・安心・快適な環境を提供する機器あるいはシステム、かつ実用運転モードで現状市販製品・システム比+0%以上の省エネ性向上	◎
②【業務分野】業務分野向けノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発	安全・安心・快適な環境を提供する機器あるいはシステム、かつ実用運転モードで現状市販製品・システム比+0%以上の省エネ性向上	◎
④【性能・安全評価】実用的な性能評価、安全基準の構築	実用的運転モードおよび評価手法ならびに安全基準の構築	◎




◎: 大いに達成、○: 達成、△: 一部未達、×: 未達

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

Ⅲ. 研究開発成果について

(2) 成果の意義

公開

研究開発項目	対象技術等	成果の意義	対応・方針
① 住宅分野	・住宅用換気空調	<ul style="list-style-type: none"> ・冷媒未使用の換気空調システム ・法改正に対応した新築住宅への適用が見込める ・他の全熱交換換気空調に比べて調湿・制御方法で優位 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業化フェーズへ移行 ・適用範囲拡大検討
	・低GWP冷媒ルームエアコン	<ul style="list-style-type: none"> ・世界に先駆けて、ルームエアコンへの低GWP冷媒適用に関する幅広くかつ確度の高い知見を得られた 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業化フェーズへ移行 ・業務用空調への適用検討 
② 業務分野	・CO2冷媒ショーケース	<ul style="list-style-type: none"> ・現行HFC機種に比べて10%省エネ達成(インバータマルチ機種比) 	<ul style="list-style-type: none"> ・上市化完了
	・低GWP冷媒ターボ冷凍機	<ul style="list-style-type: none"> ・現行冷媒と比較してCO2排出量30%削減(LCCP評価) ・低GWP冷媒のレトロフィットの可能性を得た 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業化フェーズへ移行 ・ターボ冷凍機以外への適用検討 
④ 性能・安全評価	<ul style="list-style-type: none"> ・低GWP冷媒評価(性能・安全性) ・LCCP評価手法 	<ul style="list-style-type: none"> ・低GWP冷媒の課題(リスク)の明確化 ・現行評価手法の課題の明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ・リスクアセスメントの推進 ・内外の規格・法規整備の提言(高圧ガス保安法、ISO等) 

Ⅲ. 研究開発成果について

(3) 知的財産権の状況

研究開発項目 区分	特許出願(H20年度以降)			計
	①住宅分野	②業務分野	④性能・安全評価	
国内	20	6	0	26
外国	0	0	0	0
PCT※出願	4	0	0	4
計	24	6	0	30

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

●研究開発項目④に関しては技術開発ではない他、公共性の強いテーマであるため知財等が発生しない

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

Ⅲ. 研究開発成果について

(4) 成果普及について

公開

研究開発項目 区分	成果の発表(H20年度以降)			計
	①住宅分野	②業務分野	④性能・安全評価	
論文 (査読付き)	3	1	55	59
論文 (その他)	18	6	65	89
その他外部発表 (プレス発表等)	0	9	0	9
計	20	16	120	157

- 助成(実用化開発)のみの研究開発項目②においては実用化に応じた外部発表が多く実施されている
- 委託(基盤研究)を含む研究開発項目①および④においては、論文投稿、講演発表等が多く実施されている

Ⅲ. 研究開発成果について

(4) 成果普及について

国際会議を主催し本プロジェクト成果を世界に発信

次世代冷凍空調技術国際会議2010

テーマ:「地球温暖化防止への挑戦」

開催日:2010年2月17日(水)～ 19日(金)

会場:東京国際交流会館(東京・台場)

主催:独立行政法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

後援:経済産業省(METI)

協賛:社団法人日本冷凍空調工業会(JRAIA)
社団法人日本冷凍空調学会(JSRAE)
財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター(HPTCJ)
International Institute of Refrigeration(IIR)

目的:

次世代冷媒、次世代冷凍空調システムに関する国内外の研究者、技術者が集まり、各種冷媒の現状技術、市場動向、技術展望などについて活発な議論を行う

構成:

- ・NEDOセッション:本プロジェクト等の研究成果発表(27件)
- ・一般講演(19件)及びポスター発表(20件)
- ・世界の著名な研究者による基調講演(3件)及び招待講演(6件)

- I. 事業の位置付け・必要性について
- II. 研究開発マネジメントについて
- III. 研究開発成果について
- IV. 実用化、事業化の見通しについて**

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

IV. 実用化・事業化の見通しについて

(1) 成果の実用化の可能性

研究開発項目	対象技術等	実用化・事業化見通し
① 住宅分野	・住宅用換気空調	・目標性能を達成するシステムは完成。コスト低減が今後の課題。イニシャルコストのリスクを低減するために大型機への展開も視野に入れる。
	・低GWP冷媒 ルームエアコン	・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)の解決により事業化可能。
② 業務分野	・CO2冷媒 ショーケース	・平成23年度中に実店舗に導入予定。 ・量産効果による価格ダウン、コストダウン設計が課題。
	・低GWP冷媒 ターボ冷凍機	・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。
④ 性能・安全評価	・低GWP冷媒評価 (性能・安全性) ・LCCP評価手法	※研究開発項目は規範整備による上述の研究開発に係る事業化を促進することを最終目的とするため、成果物の公開・提言にとどまる。ただし、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。

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

IV. 実用化・事業化の見通しについて

(2) 波及効果

研究開発項目	対象技術等	技術的波及効果	対象技術分野の国内市場規模※1	対象技術分野の冷媒排出量推計※2	社会的波及効果
①住宅分野	・住宅用換気空調	・商業ビル等の大型建物用のシステムへの展開	・約30億円	—※3	・温室効果ガス排出削減による地球環境への貢献 ・世界に先駆けた次世代冷媒技術の開発による我が国産業の競争力強化 ↓ NEDOのミッションに合致： 「エネルギー・地球環境問題の解決」 「産業技術の国際競争力の強化」
	・低GWP冷媒ルームエアコン	・業務用空調(パッケージエアコン、ビルマルチエアコン等)および冷凍分野への展開	・約5000億円	・約900万t-CO2	
②業務分野	・CO2冷媒ショーケース	・ノンフロンかつ省エネ技術の研究開発促進	・約400億円	・約1200万t-CO2	「産業技術の国際競争力の強化」
	・低GWP冷媒ターボ冷凍機	・他機器(チラー、ヒートポンプ等)への展開	・約6000台※2,※4	・約100万t-CO2	
④性能・安全評価	・低GWP冷媒評価(性能・安全性) ・LCCP評価手法	・低GWP冷媒基礎データの普及による実用化研究開発の促進 ・リスクアセスメントの推進	—	—	・内外の規格・法規整備の提言(高圧ガス保安法、ISO等)

※1: 助成金交付申請書・企業化計画に基づく値

※2: 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

※3: 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

※4: ターボ冷凍機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

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

公開

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化・事業化の見通しについて

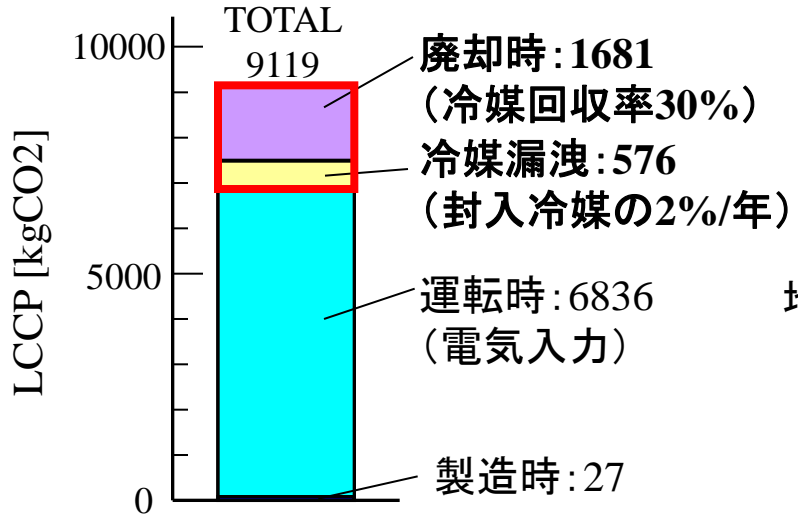
住宅分野における実施例の紹介

「低GWP冷媒を適用した 省エネ空調機の研究」

三菱電機

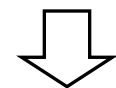
I. 事業の位置付け・必要性

4kW ルームエアコンのLCCP(三菱電機 09年製品)



冷媒直接影響分:2257 (LCCPの1/4に相当)

冷媒の直接影響大!!



地球温暖化への影響の小さい冷媒(低GWP冷媒)が必要

冷媒	GWP	備考
R410A	2088	現状の空調機用冷媒
CO2	1	ルームエアコンでは効率悪い (運転時LCCP 1.5倍程度)
プロパン	6	強燃性・安全面より困難?
R32	675	微燃性
HFO-1234yf	4	微燃性、次世代カーエアコン用候補冷媒

低GWPのHFO-1234yf冷媒が次世代ルームエアコンの候補となる可能性あり。

研究開始時(2008年)HFO-1234yf冷媒は、カーエアコン用途のみの供給であり、空調機用としては入手困難かつ高価。

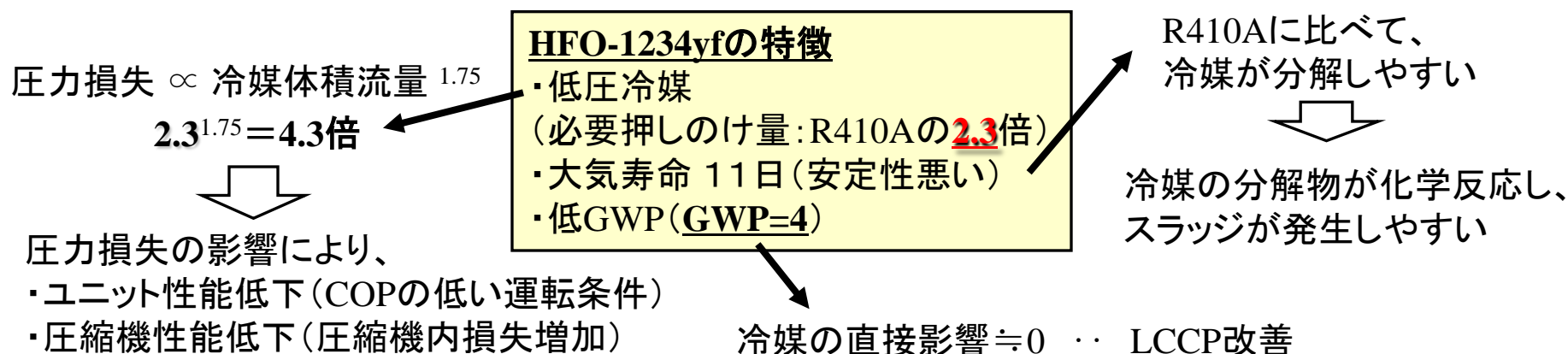
NEDOの助成研究にて低GWP冷媒を入手し、空調機への適用可能性について検討

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

研究開発の目的：

- ・空調機器のLCCP(製品寿命気候負荷)最小化をめざし、地球温暖化への直接的な影響が少ないフッ素系低GWP冷媒を適用した定置式空調機の実用化可能性を追求するとともに、企業化における課題を抽出する。

技術的注目点(HFO-1234yf冷媒単体)：



性能： 圧力損失による性能低下への影響はどの程度であるか？

圧縮機及びユニット適正化による到達性能は？

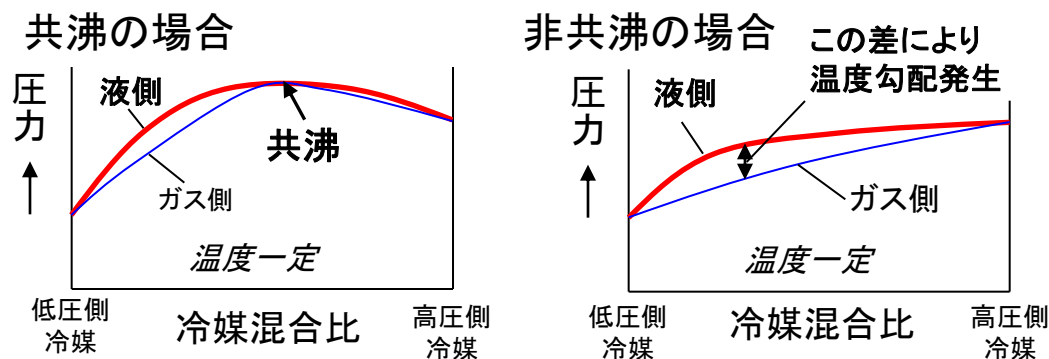
LCCP： 低GWP冷媒化によるLCCP改善効果は？

信頼性： 冷媒の安定性が悪いことによる実機耐久性への影響は？

実機耐久性の改善方法はあるか？

技術的注目点(HFO-1234yf+R32混合冷媒)：

二種類の冷媒を混合したときの特性



HFO-1234yf(低圧) + R32(高圧)により..

- ・動作圧力上昇 ⇒ 圧力損失低減
- ・共沸性は不明 ⇒ 研究の中で検証
 - … 共沸／非共沸により、
 - ユニット性能は大幅に異なる。
- ・HFO-1234yfによる不安定性を緩和できる可能性あり。

性能：混合冷媒の共沸性、及びその性能への影響は？**LCCP：GWPとAPF改善の最良点が存在するか？****信頼性：混合冷媒化による安定性改善効果は？**

技術的注目点より、研究実施内容として、下記の4項目を設定した。

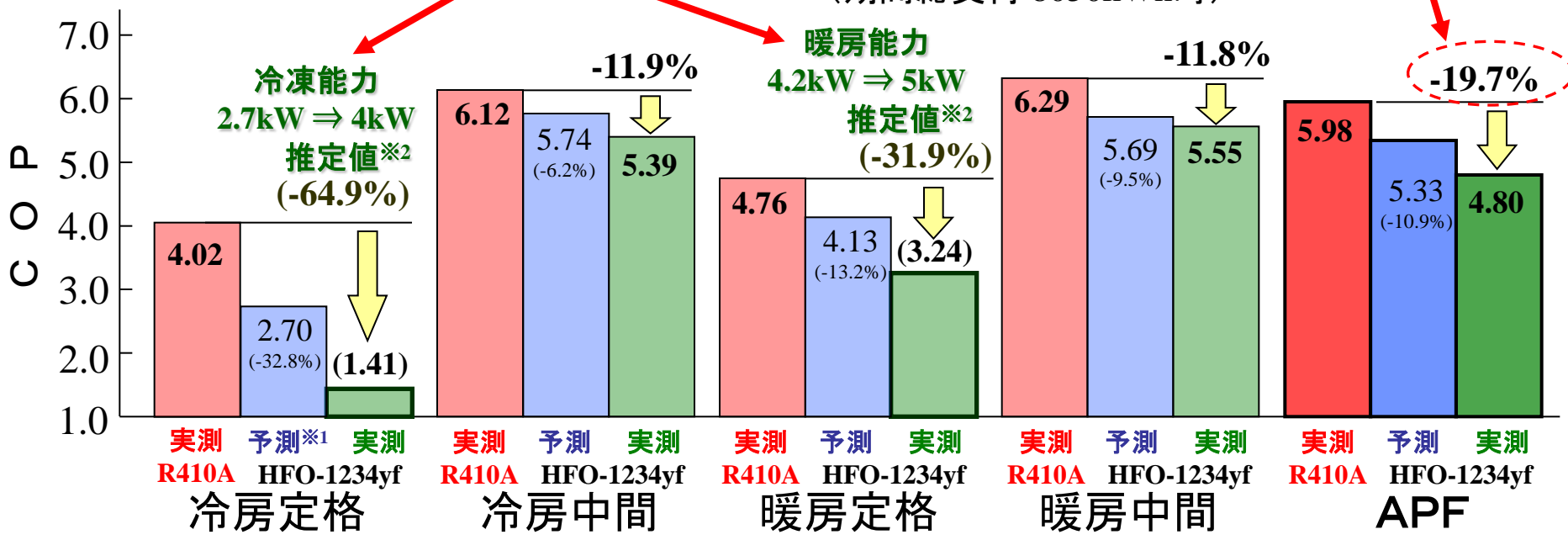
研究実施内容：

- [1] 低GWP冷媒の物性情報より、空調機の性能とLCCP予測
- [2] 圧縮機冷凍機油と候補冷媒の相互作用の評価
- [3] 圧縮機性能詳細試験により、圧縮機適性化の課題と冷媒性能を明確化
- [4] 家庭用ルームエアコンの冷媒変更試験(ドロップイン試験)と性能分析

主な検討結果： 低GWP冷媒単体のドロップイン性能

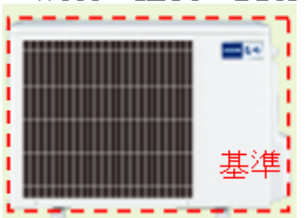
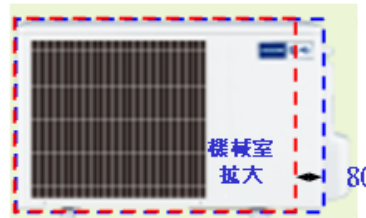
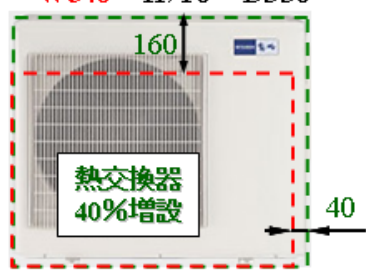





課題1:
 ・冷房定格、暖房定格の能力が確保できない

課題2:
 ・APFは、R410Aに比べ約20%低下する。
 ・LCCPは、R410Aに比べ約6%改善
 (期間総負荷 8050kWh時)



※1 HFO-1234yf のCOP予測値は、R134a冷媒での計算値に一律0.95倍した値を使用。
 ※2 冷房定格条件、暖房定格条件では、規定能力で運転すると蒸発器が着霜するため、低能力運転実測値(冷房定格:2.7kW、暖房定格:4.2kW)からの推定値を使用。

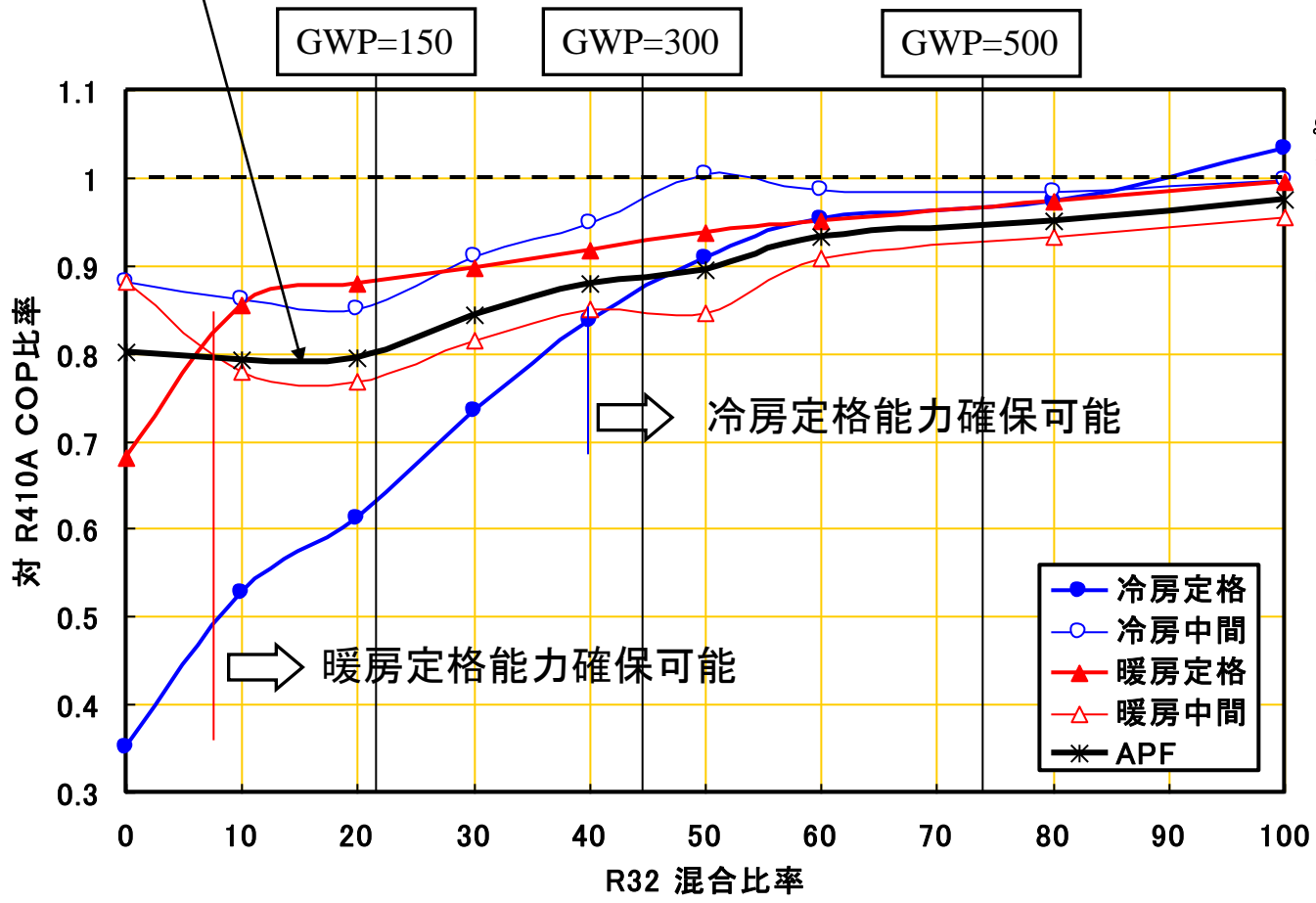
主な検討結果： 低GWP冷媒単体での到達可能な性能とユニット仕様

		現行	低圧損仕様	R410A同等性能
室外		W800 × H550 × D285 	W880 × H550 × D285 	W840 × H710 × D330 
	熱交換器パス数	2-4パス	6パス	←
	ガス管径	φ9.52	φ12	φ15.88
	容 積	100% (基準)	110%	154% 
室内		W798 × D295 × H295 	W890 × D295 × H295 	W890 × D295 × H295 
	熱交換器パス数	2-4パス	6パス	←
	延長ガス管径	φ9.52	φ12.7	φ15.88
	容 積	100%	112%	112% 
APF 対R410A	圧縮機改善なし	80%	91%	95%
	圧縮機適正化	84%	95%	100%

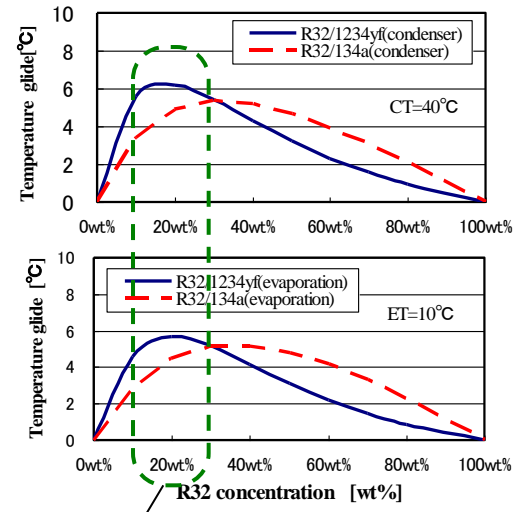
低GWP冷媒用にルームエアコンの適正化を検討した結果、熱交換器パスの適正化、圧縮機の適正化に加え、室外機154%の大型化、接続配管径の大幅な拡大により、R410A冷媒と同等のAPFが確保可能である。

主な検討結果：低GWP冷媒＋R32混合冷媒使用時のドロップイン性能

GWP<150では温度勾配の影響により、HFO-1234yf単体よりもAPF悪化



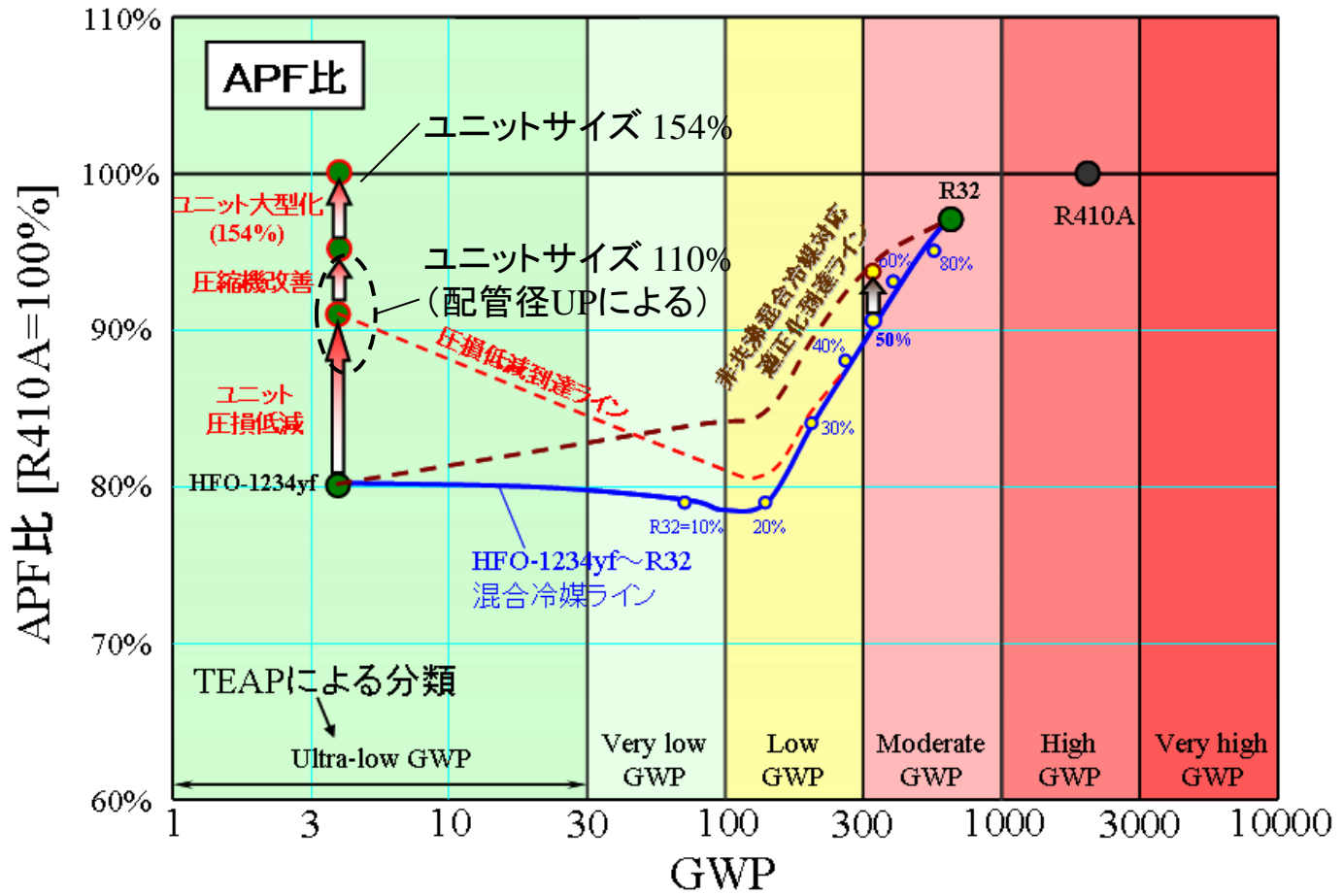
非共沸による温度勾配



HFO-1234yf / R32 混合冷媒の温度勾配は R32混合比20%付近で最大となる。

冷房定格能力を確保するためには、GWP ≥ 300程度が必要となる。APFは、R32混合比が大きいほど、R410Aの実力に近づく。

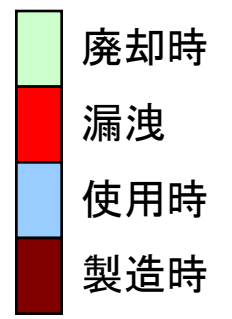
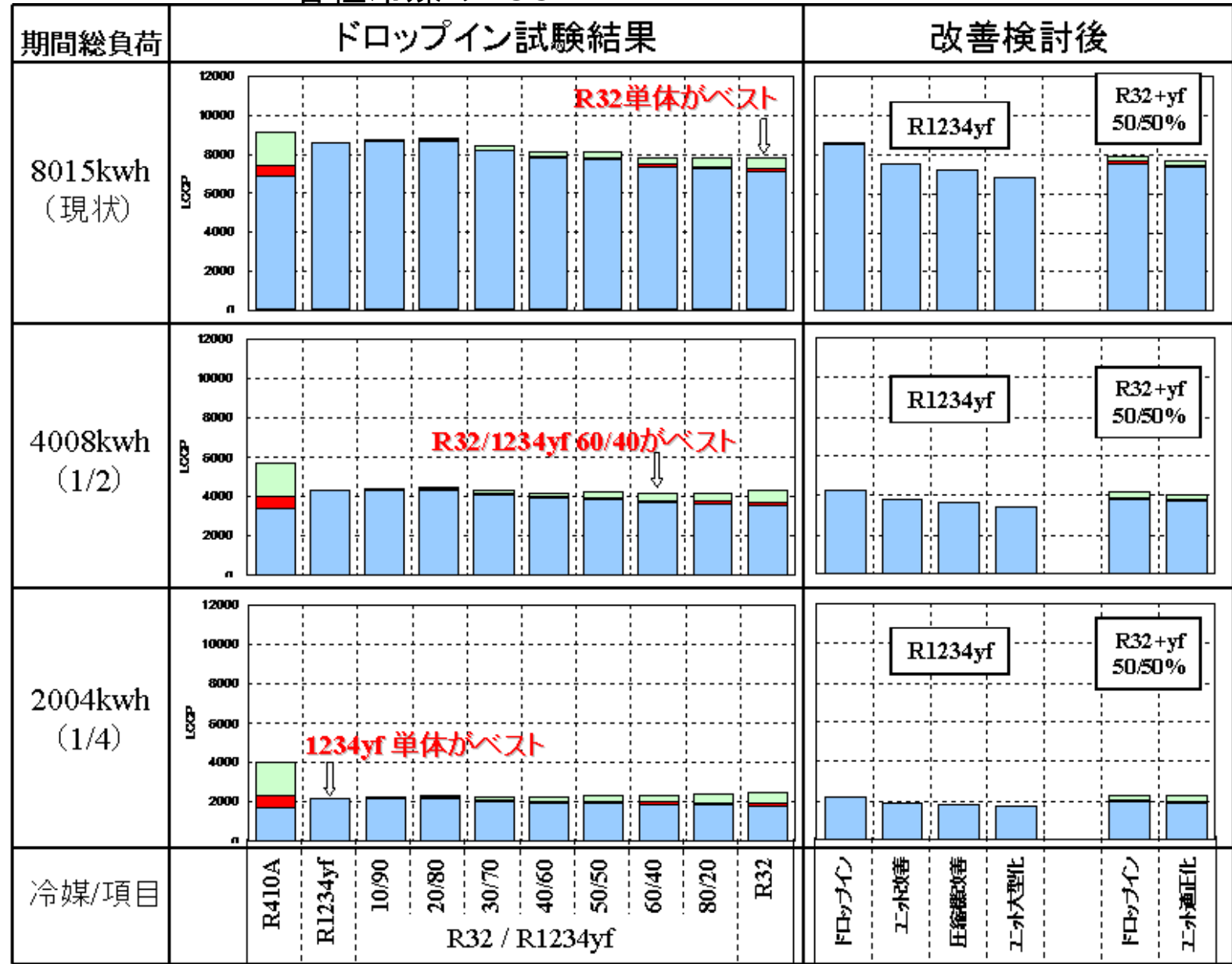
主な検討結果：各種冷媒のR410Aに対するAPF比（ルームエアコン 4kW）



R410A冷媒と同等APF達成の可能性のあるゾーンとして、下記が考えられる。

- ① **HFO-1234yf冷媒単体**にて、圧力損失低減、ユニットサイズ大型化を含む適正化を実施。
- ② **R32混合比50%以上(GWP>300)**にて、非共沸冷媒対応適正化+運転制御適正化、ユニットサイズ大型化等を実施。

主な検討結果：各種冷媒のLCCP



テーマ: ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発

住宅分野向けノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発

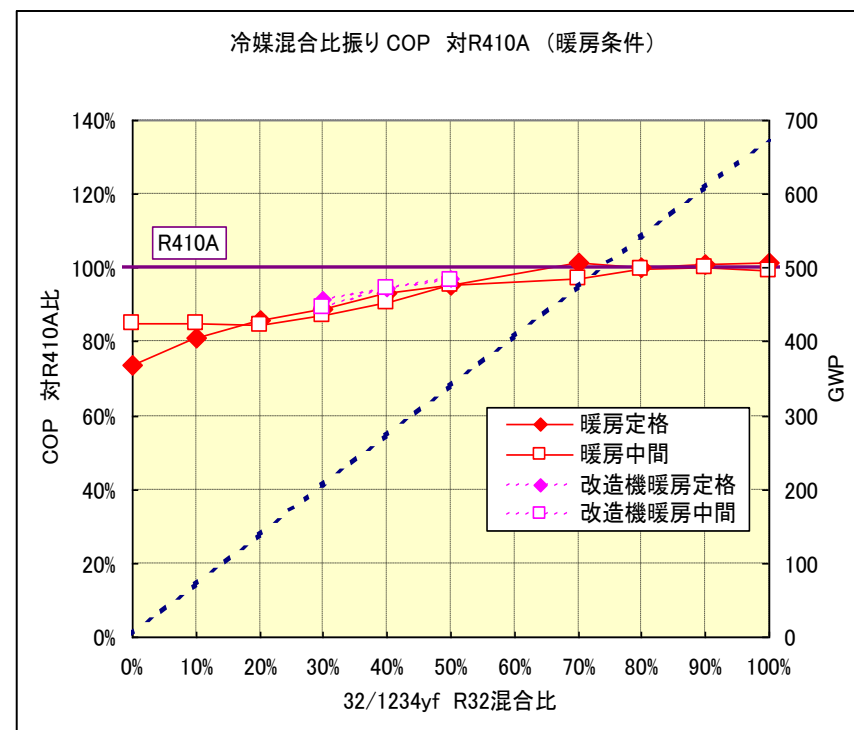
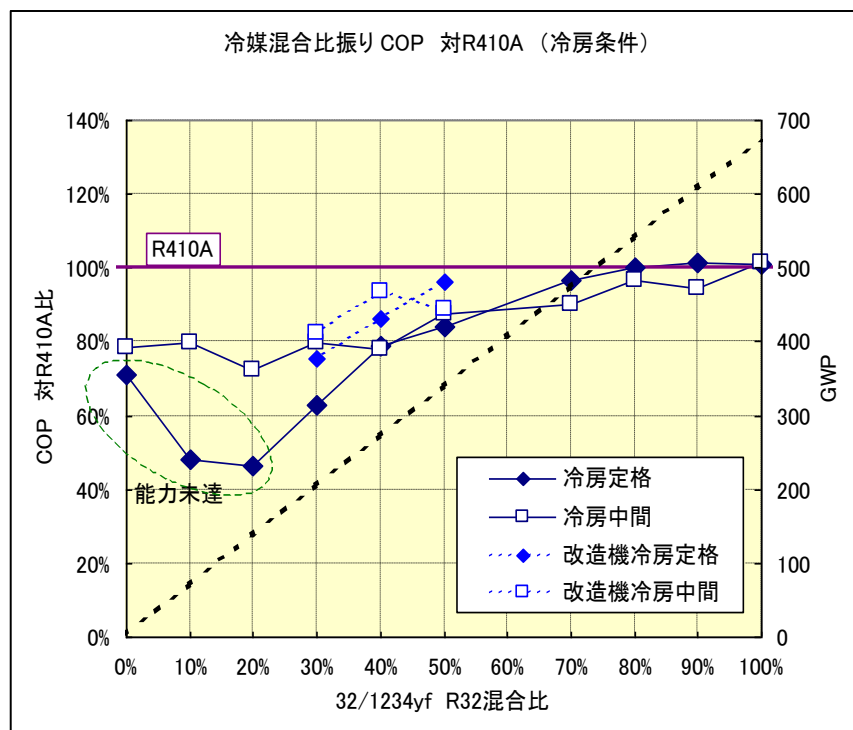
『 低GWP冷媒を使用した省エネ空調機の研究 』

ダイキン工業株式会社

研究開発成果：冷媒性能評価①

R410A製品での HFO-1234yf と R32 の混合冷媒ドロップイン試験を実施

- ・ 混合比20%以下では冷房定格能力を満足できない
- ・ R410A同等COPを得るには80%以上の混合比(GWP540)が必要
- ・ 混合比50%以下では連絡配管の大径化など対策による機器大型化(室外機容積30%アップ)で効率同等とできる可能性がある



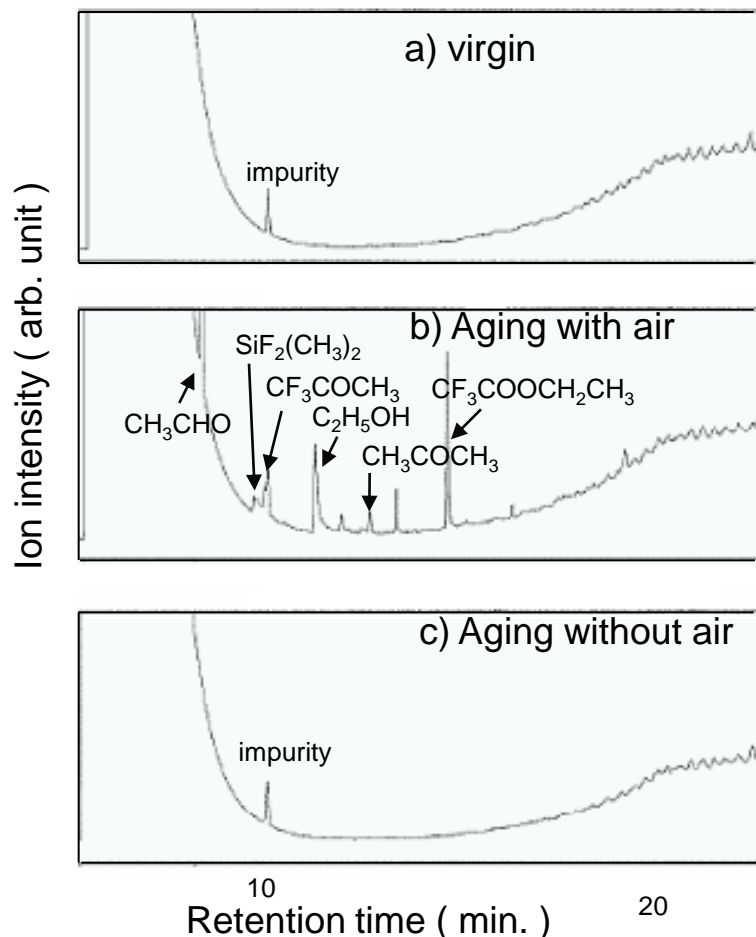
パナソニック株式会社 報告資料

H20年度～H22年度（3年間）

【1】低GWP冷媒の安定性の評価と冷凍サイクル材料適合性に関する研究

1. HFO-1234yf安定性評価: 空気混入有/無

GC-MS クロマトグラム



分解生成物

Sample	空気有	空気無
Products	Relative intensity (area ppm)	
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	7.12	-
HFO-1234yf	(base peak)	
CH_3OH	4.29	-
CH_3CHO	43.99	4.05
HCOOCH_3	2.20	-
$\text{SiF}_2(\text{CH}_3)_2$	8.32	-
CF_3COCH_3	15.57	3.43
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	8.31	-
$\text{CF}_3\text{COOCH}_3$	4.01	-
$\text{SiF}(\text{CH}_3)_3$	4.32	-
CH_3COCH_3	2.55	-
$\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3$	0.80	-
$\text{CF}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$	4.32	-
$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$	0.32	0.10
$\text{CF}_3\text{COOCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	-	0.17

* $\text{SiF}_2(\text{CH}_3)_2$ and $\text{SiF}(\text{CH}_3)_3$: reaction products of HF and GC column

175°C 336h HFO-1234yf:22.5g, Air:67.5ml in 150cc Autoclave

HFO-1234yfは空気混入により色々な酸化物に分解するため、対策必要

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

公開

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化・事業化の見通しについて

業務分野における実施例の紹介

Ⅲ. 研究開発成果について、Ⅳ. 実用化・事業化について
研究開発項目②： 業務分野

「過冷却回路によるCO₂冷凍システムの高効率化技術の開発」

助成先：三洋電機株式会社

助成期間：平成20年度～平成21年度

I. 事業の位置づけ・必要性について

(1) 社会経済的背景〈冷媒漏洩対策〉

- ・別置形ショーケースに充填されるフロン系冷媒の市場ストックは増加する。
- ・別置形ショーケースから漏洩する冷媒の使用時排出係数は16%と高い。
- ・HFC404A (GWP=3,920)の冷媒漏えいの対策が求められている。

(2) 研究開発上の背景〈二酸化炭素冷媒用機器の技術蓄積〉

- ・二酸化炭素冷媒のヒートポンプ給湯機が普及。
- ・二酸化炭素冷媒用コンプレッサを搭載した小型業務用冷蔵機器が商品化。

(3) テーマの必要性

- ・スーパーショーケース冷凍機用に、大容量CO₂圧縮機の新規開発が必要
- ・冷凍機一台に複数のショーケースが接続されるマルチシステムの冷媒制御技術が必要
- ・各店舗ごとに異なる冷媒配管レイアウトに応じた、冷媒充填量の最適化が必要

(4) 関連する国内外の研究開発等の動向と当該事業の位置づけ

- ・国内では、別置形ショーケース冷凍機用の大容量CO₂圧縮機を商品化した事例は無い。
- ・欧州では冷凍冷蔵設備では自然冷媒化が進んでいるが、直膨式は主流ではない。

抜粋

公開

I. 事業の位置づけ・必要性について

(5) 開発した技術

- ◆ 毒性・燃焼性が無く安全性が高い二酸化炭素冷媒を作動媒体とした冷凍機、ショーケース
- ◆ 国内で普及している直膨式別置形冷凍冷蔵ショーケース/冷凍機の製品化
- ◆ CO2冷凍機に二段圧縮式コンプレッサとエコマイザ(スプリット回路)を搭載
- ◆ 別系統の小型CO2ヒートポンプを組み込み過冷却排熱を給湯水として活用

(6) 事業の新規性、先進性、汎用性

【新規性】

スーパーマーケット向け別置形CO2冷凍機
 二酸化炭素の単一冷媒で作動するシステム
 国内で初めて量産化

【汎用性】

従来施工方式と同一形態となる直膨方式採用

【先進性】

過冷却ヒートポンプ給湯システムにより、
 冷凍機の運転効率を向上させるとともに、
 冷却廃熱を給湯水として有効に活用することができる。



抜粋

公開

Ⅲ. 研究開発成果について

(c) 別置形冷凍/冷蔵システムの信頼性評価_{CO₂}冷凍機

【CO₂冷凍機(20HP)開発技術の特長】

- ①大容量(7.5kW)密閉型二段圧縮式コンプレッサを2台搭載
- ②中間冷却器による圧縮機効率改善
- ③エコマイザ(スプリット回路)搭載による冷凍サイクル効率改善
- ④冷媒調整タンクによる冷媒量制御で、常に最適な運転状態を維持



CO₂冷凍機(20HP)

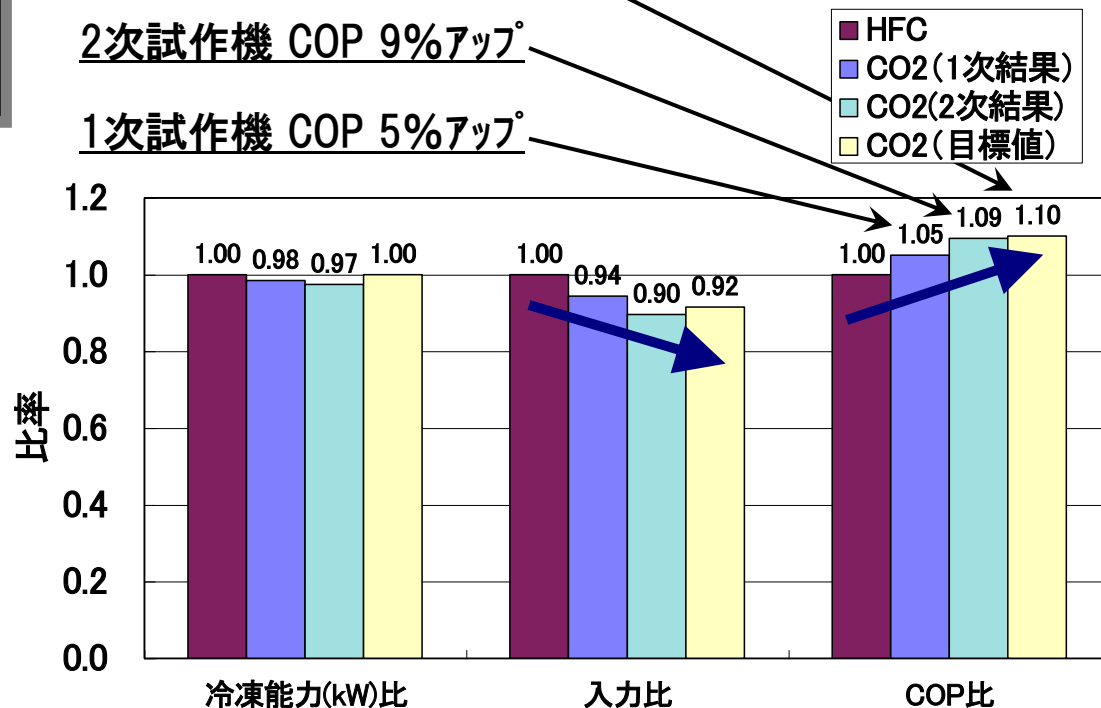
【試験条件】

周囲温度32℃、蒸発温度-40℃

FT試験機 COP 10%アップ

2次試作機 COP 9%アップ

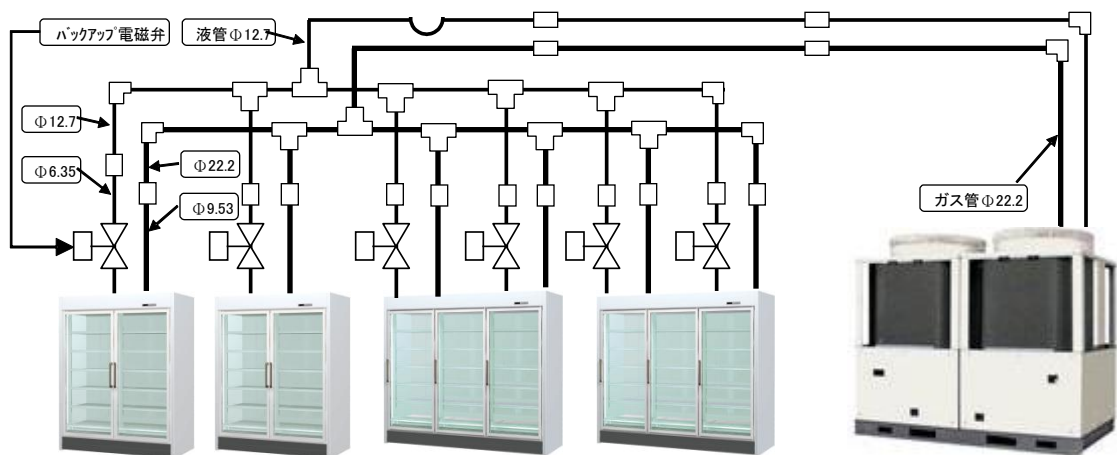
1次試作機 COP 5%アップ



現行R404A機種(インバーマルチ)比で10%の性能改善

Ⅲ. 研究開発成果について

(d)過冷却用冷凍サイクルをもつ冷凍システムのフィールド実証



CO2冷凍ショーケース系統図



遠隔監視システム
データ計測/運転監視



CO₂冷凍ショーケースフィールド試験の状況

◆CO₂リーチイン冷凍ショーケースのフィールド試験

【設置場所】東京都大田区西六郷

【稼働開始】

H21/7/24

運転調整、試運転開始

H21/8/3

商品陳列開始

H21/8/10

開店

↓

H23/9/ 8

順調に稼働中

平成22年度「課題設定型産業技術開発費助成金」
ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発プロジェクト
業務分野向けノンフロン型省エネ冷凍空調システムの開発

低GWP冷媒のドロップイン試験

事後評価委員会説明資料

2011年10月11日

三菱重工業株式会社 冷熱事業本部

[産業界での対応状況]

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

[事業の目標]

- ・ Mg 鋳造のカバーガスとして開発された HFO-1234ze(E) は GWP が 6 と現行冷媒に対し、1/200 であり、物性も HFC-134a に近い。
- ・ HFO-1234ze(E) をターボ冷凍機への低 GWP 代替冷媒の候補として、適用可否を検証する。

冷媒諸仕様比較

	HFC-134a	HFO-1234ze(E)
化学式	CH_2FCF_3	$\text{CFH}=\text{CHCF}_3$
沸点(大気圧)	-26.1℃	-19℃
飽和液密度(@25℃)	1207kg/m ³	1163kg/m ³
飽和ガス密度(@25℃)	32.4kg/m ³	26.3kg/m ³
オゾン層破壊係数(ODP)	0	0
地球温暖化係数(GWP)*1	1430	(6)*2
大気中推定寿命	13.8年	0.055年
許容濃度	1000ppm	(1000ppm)*2
燃焼性	不燃	(不燃)*3
毒性(ASHREA 34)	A (低毒性)	(A(低毒性)) *2
使用実績	高圧冷媒	カバーガス 殺虫剤

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

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

ターボ冷凍機へのHFO-1234ze(E)適用性を検証するため、
以下内容を実施。

①冷媒と潤滑油
の適合性検証



②適合が確認された潤滑油と冷媒
環境下での使用材料適合性検証



③ターボ冷凍機実機へのドロップイン
試験による運転検証

①冷媒と潤滑油の適合性検証

- ・ 現行HFC-134a用ターボ冷凍機に潤滑油として使用しているPOE油との適合性試験(オートクレーブ試験)を実施。

■試験条件

- (1) 試験方法 : オートクレーブ試験
(JIS K2211に準拠。200cc容器使用)
- (2) 冷媒 : HFO-1234ze(E)、HFC-134a(比較用参考)
- (3) 評価油 : POE油(摺動特性向上のための添加物有/無)
- (4) 冷媒/油比 : 30g/30g
- (5) 試験温度 : 175°C
- (6) 試験時間 : 168h、336h
- (7) 初期水分量 : 10ppm以下、1000ppm
- (8) 混入空気量 : なし、90cc
- (9) 判定条件 : 酸価上昇のないこと (酸価0.2 mgKOH/g 以下)
濁りのないこと (色 (ASTEM) L5.0 以下 (175°C 336 h))

①冷媒と潤滑油の適合性検証

潤滑油	摺動特性向上添加剤有(現行油)								摺動特性向上添加剤無					
	HFO-1234ze(E)				HFC-134a				HFO-1234ze(E)				HFC-134a	
初期水分量 (ppm)	<10	1000	<10	1000	<10	1000	1000	<10	<10	1000	<10	1000	1000	1000
空気封入量 (cc)	0	0	90	90	0	0	90	0	0	0	90	90	0	90
試験時間 (h)	168				336	168		336	168				168	
酸価 (mgKOH/g)	0.01	0.02	1.34	4.42	0.00	0.01	1.02	0.00	0.02	0.02	0.10	0.43	0.01	0.14
色(ASTEM)	L0.5	L0.5	L5.5	L7.0	L1.5	L0.5	L5.0	L0.5	L0.5	L0.5	L2.5	L2.5	L0.5	L3.5
判定	○	○	×	×	○	○	×	○	○	○	×	×	○	○

- ・ 空気、水分の未混入が管理されている条件で、冷媒、POE油とも劣化はなく、適合性を確認した。

②使用材料の適合性検証

- ・ HFO-1234ze(E)とPOE油環境下での材料適合をオートクレーブ試験にて実施。

■試験条件

- (1) 試験方法：オートクレーブ試験
- (2) 冷媒HFO-1234ze(E)/POE油(添加剤有)=10g/30g
- (3) 試験温度：150°C
- (4) 試験時間:168h
- (5) 油中水分量:10ppm以下
- (6) 空気混入：なし
- (7) 判定条件：質量低減なし
酸価 0.2(mgKOH/g)以下

②使用材料の適合性検証

ターボ冷凍機に使用の29材料の内、27材料は適合。適合性のなかった2材料(CRのOリング、ノンアズベストシートガスケットも適合材料HNBRに交換可能。

評価材料	部品名称	Oリング	ガスケット	Oリング
	部品材質	CR	ノンアズベストシート	HNBR
	封入個数	1個	1/8個	1個
試験油		POE油(摺動特性向上添加剤有)		
試験冷媒		HFO-1234ze(E)		
試験後油 分析結果	酸化(mgKOH/g)	0.98	1.36	0.00
	色(ASTEM)	L3.0	L5.0	L0.5
	夾雑物量(mg/100g油)	46.9	13.1	0.9
	夾雑物分析結果	P>Zn>>Fe	P>S>Al>Zn>Fe	不検出
	油中フッ素付分量(ppm)	4	4	検出限界以下
材料質量変化	試験前質量(g)	1.8240	1.9672	0.0989
	試験後質量(g)	1.9611	2.0950	0.1030
	質量変化率(%)	107.5	106.5	104.1

③ドロップイン試験による運転検証

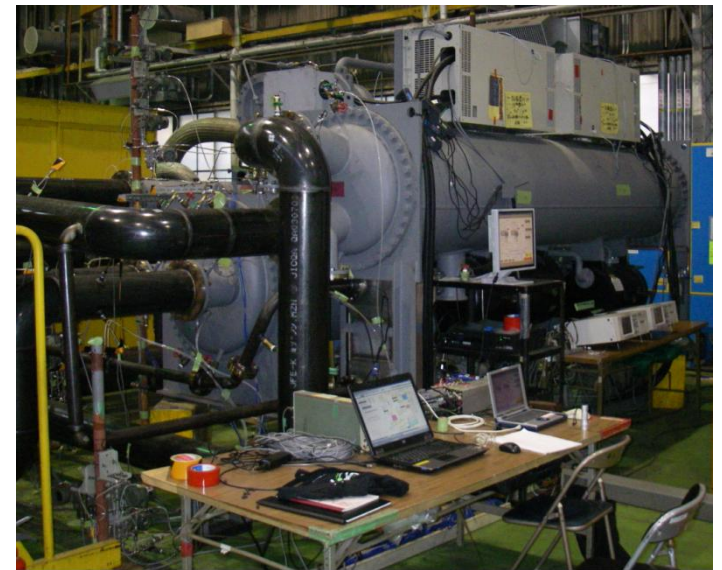
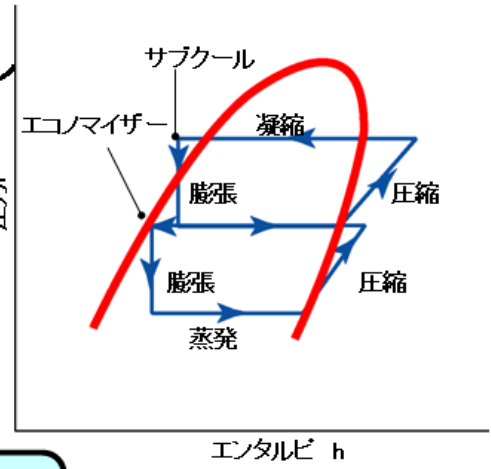
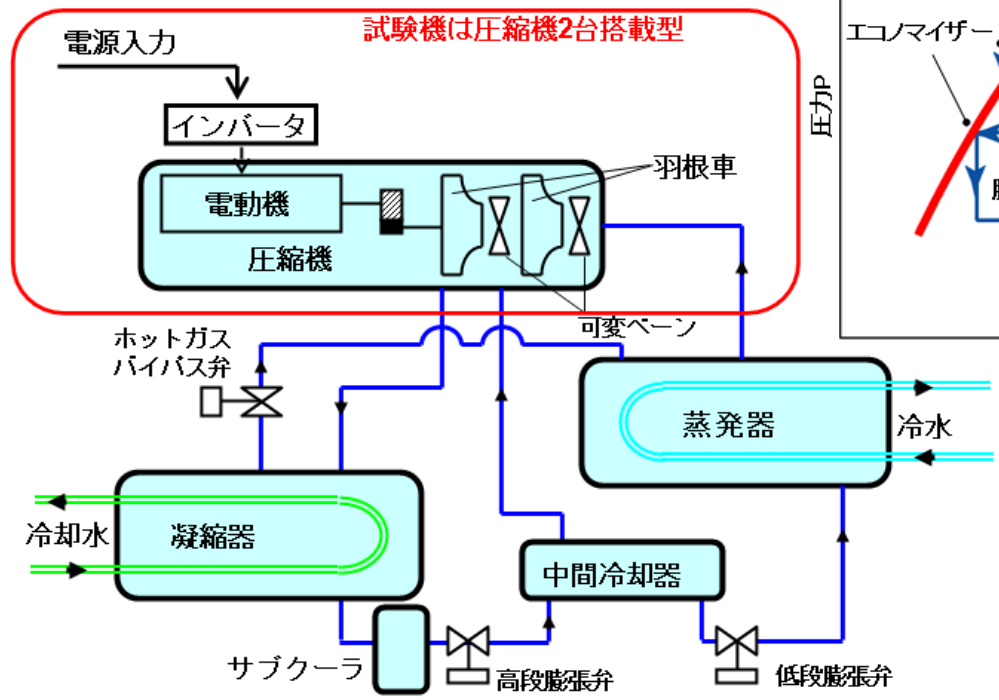
HFC-134a用ターボ冷凍機にHFO-1234ze(E)をドロップインして運転検証を実施。

諸元	仕様	備考
冷凍能力	1,406kW(400USRt)	HFC-134aの場合 (冷水12/7℃、冷却水32/37℃)
冷凍サイクル	2段圧縮2段膨張サブクールサイクル	
起動	インバータ	
主電源	3φ×400V級	
制御	マイコン操作盤	
制御機構	1段入口IGV、2段入口IGV、圧縮機回転数、高段膨張弁、低段膨張弁、ホットガスバイパス弁	
設計圧力	高圧部1.01MPa、低圧部0.87MPa	

③ ドロップイン試験による運転検証

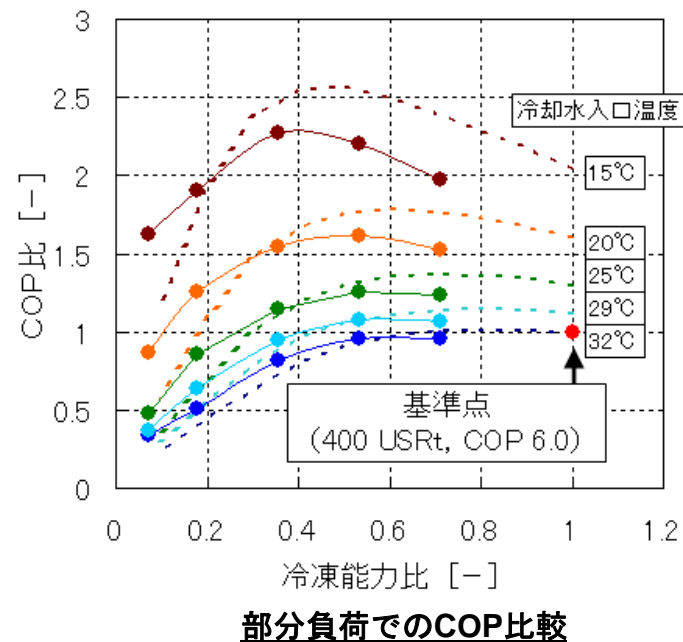
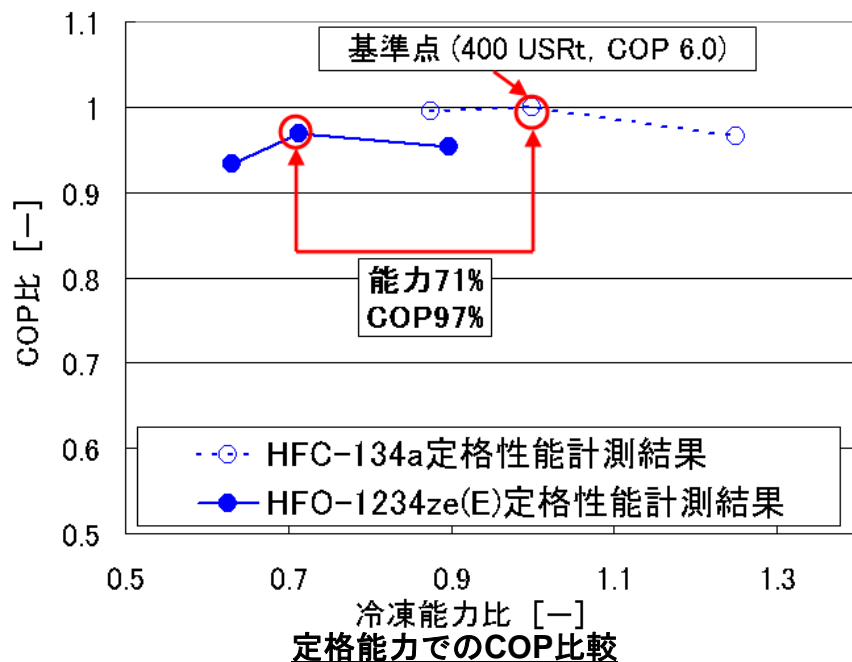
■ 冷凍サイクル

二段圧縮二段膨張サブクールサイクル



③ ドロップイン試験による運転検証

同じ冷媒体積流量での冷凍能力は約71%。その際のCOPは97%(HFC-134a対比)。部分負荷においてはHFC-134aを上回る範囲があり、実運転において性能は同等となる。



潤滑油・材料の適合性、性能よりHFO-1234ze(E)はターボ冷凍機に適用できることを確認した

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」

公開

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化・事業化の見通しについて

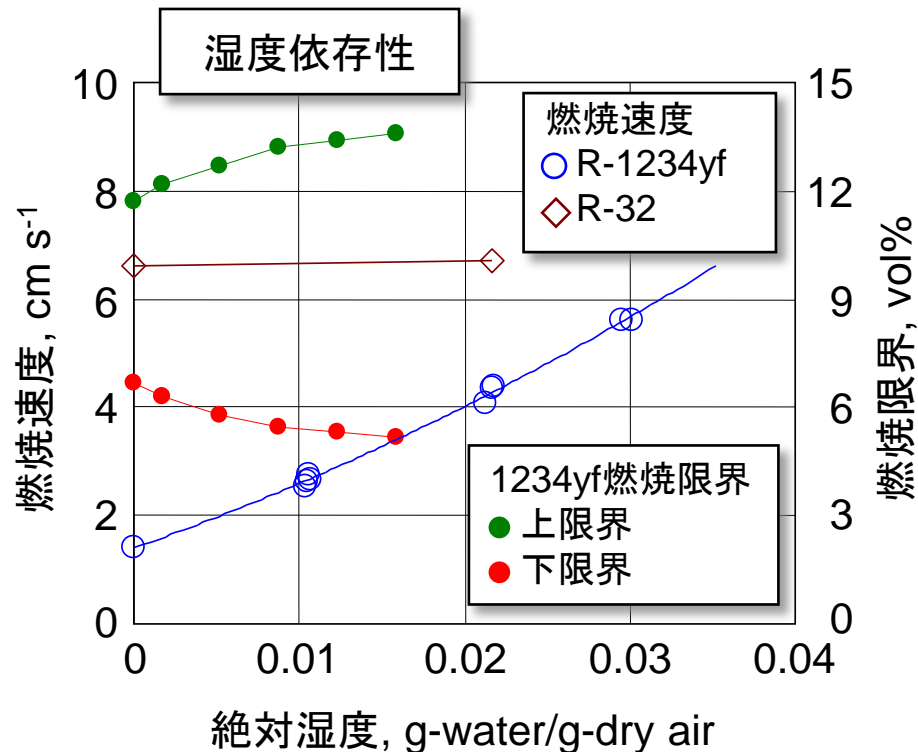
性能・安全評価における実施例の紹介

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／『ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発』の実用的な運転モード及び評価手法ならびに安全基準の構築

プロジェクトの概要(公開)

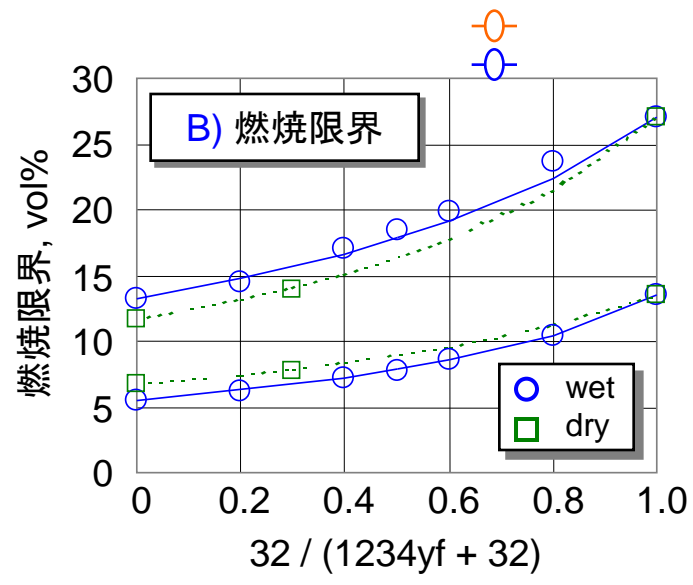
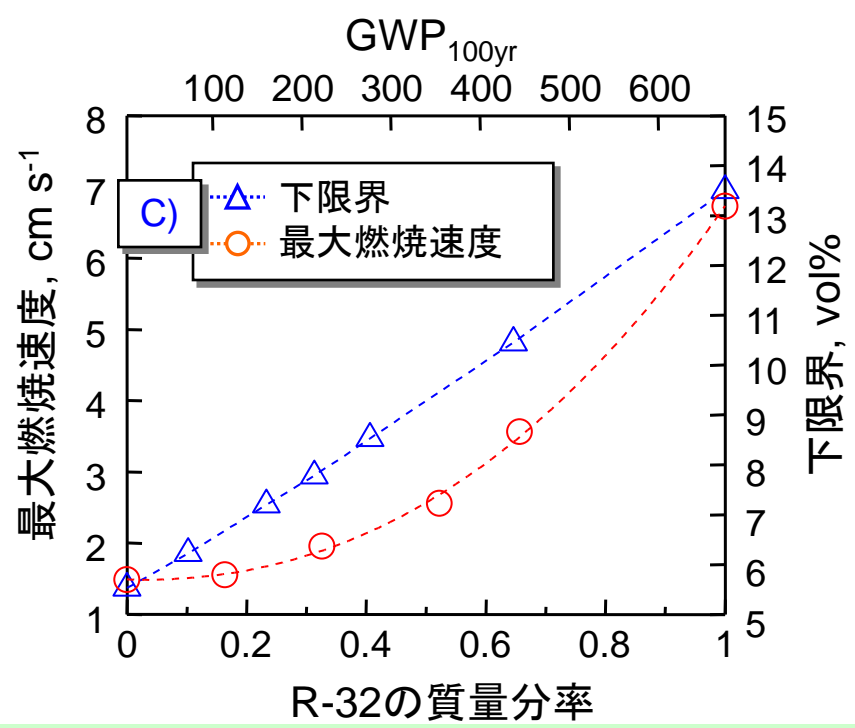
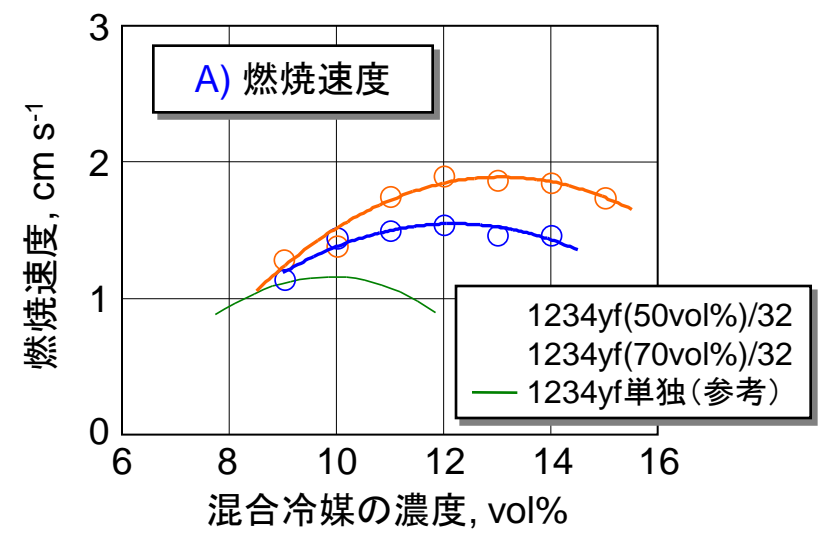
独立行政法人産業技術総合研究所
安全科学研究部門
環境化学技術研究部門

【燃焼特性評価】燃焼限界、燃焼速度に対する湿度の影響



- HFC-1234yfは湿度の増加と共に燃焼限界は広がり、燃焼速度は大きくなる
- R-32の燃焼限界・燃焼速度は湿度の影響を受けない

【燃焼特性評価】燃焼速度、燃焼限界に対する混合比の影響



A) HFC-1234yf(50%)/R-32、HFC-1234yf(70%)/R-32の最大燃焼速度は、 1.9 cm s^{-1} 、 1.6 cm s^{-1}

B) HFC-1234yf/R-32混合系の燃焼限界はルシャトリエ式で予測可能

C) R-32の質量分率が0.5程度以下の組成では、燃焼速度を大きく増大させずに燃焼限界を高くすることが可能

エアコン用低GWP混合冷媒の物性と LCCP評価

国立大学法人東京大学

抜粋

公開

研究体制

東京大学

・研究項目：HFO1234yf混合冷媒の熱物性とLCCP評価

(a1) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

(b) HFO1234yf混合冷媒を用いたルームエアコンの性能シミュレーション

(c1) HFO1234yf混合冷媒のドロップイン試験

(d1) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価

再委託

産業技術総合研究所

・研究項目：

HFO1234yf混合冷媒の熱物性
とLCCP評価

(a2) HFO1234yf混合冷媒の熱
物性の測定

建築研究所

・研究項目：

HFO1234yf混合冷媒の熱物性と
LCCP評価

(c2) HFO1234yf混合冷媒のド
ロップイン試験

ミサワホーム総合研究所

・研究項目：

HFO1234yf混合冷媒の熱物性とLCCP
評価

(d2) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価

日本冷凍空調学会

・研究項目：

HFO1234yf混合冷媒の熱物性とLCCP
評価

(d3) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価

研究開発成果概要

(a) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

- ① HFO1234yf/HFC32混合冷媒, HFO1234yf/HFC125混合冷媒, HFO1234yf/ HFC134a混合冷媒の気液平衡関係を測定して状態方程式を導出し, 粘性係数の実験式を作成した。
- ② HFO1234yf純冷媒, HFO1234yf/HFC32混合冷媒の蒸発器の伝熱性能を明らかにした。

(b) HFO1234yf混合冷媒を用いたルームエアコンの性能シミュレーション

- ① HFO1234yf/HFC32混合冷媒, HFO1234yf/HFC125混合冷媒のヒートポンプ性能をシミュレーションするプログラムを開発した。
- ② LCCP評価を行い、GWPと省エネ性が相反することを示した。

(c) HFO1234yf混合冷媒のドロップイン試験

建築研究所で実住宅におけるエアコン性能評価手法の確立のために、モデル住宅にて夏季および冬季の評価試験を実施し、性能評価法を提案した。

(d) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価

- ① ミサワホーム総合研究所と東大とが共同で関東、信越地区にルームエアコンを設置し、使用実態を明らかにするために計測を行っている。
- ② 日本冷凍空調学会ではHFC冷媒の流通体制、管理体制の改善, ボンベ類のICタグ管理システムの構築・運営のために、ICタグ技術の調査, ICタグの構造設計, ICタグソフトの開発, ICタグの試作, 管理ソフトの開発を行った。

(a1) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

(1) 研究目的

混合冷媒を用いたヒートポンプサイクルの性能解析に必須な飽和気液平衡関係、気体および液体の粘度を測定。

(2) 研究内容

1. 混合冷媒の気液平衡性質

HFO1234yfと三種類のHFC冷媒（HFO1234yf + R32, R125, R134a）との混合冷媒の気液平衡特性測定を行った。

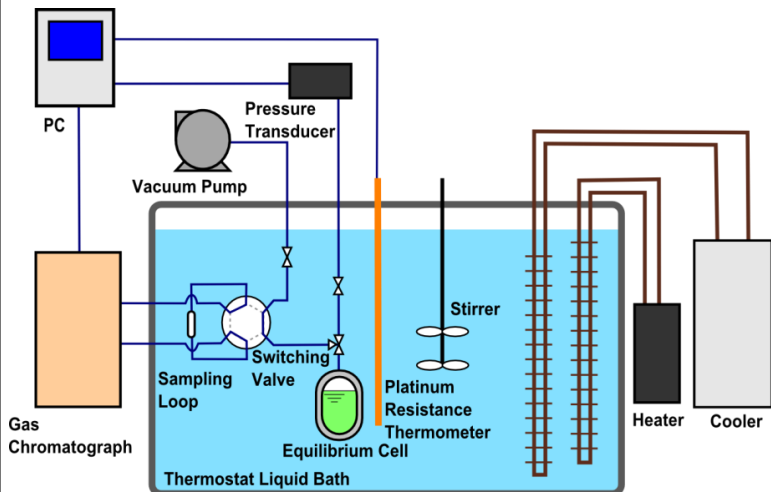
2. 混合冷媒の状態方程式

Peng-Robinson型状態方程式及びHelmholtz型状態方程式を作成。

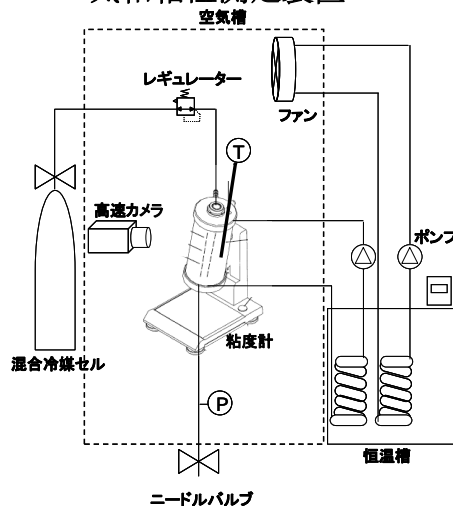
3. 混合冷媒の気相、液相粘性

気相、液相粘度の測定と予測式を作成

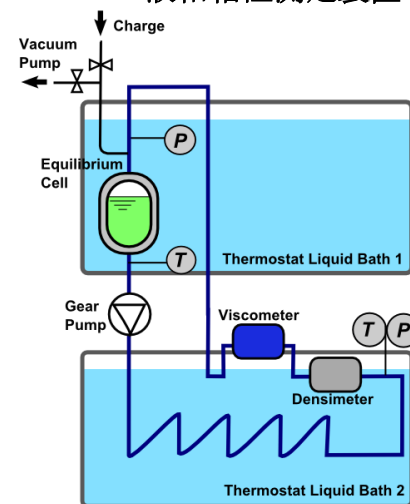
混合冷媒の気液平衡測定装置



気相粘性測定装置



液相粘性測定装置



(a1) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

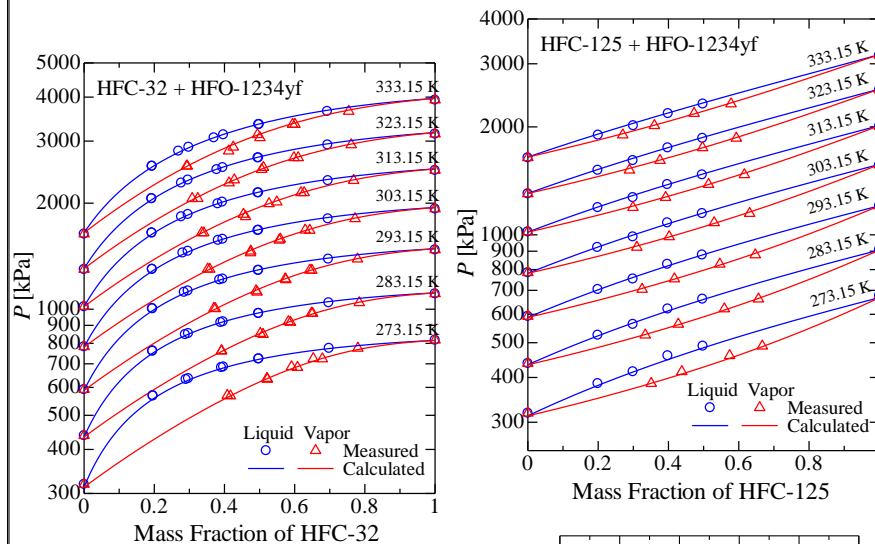
(3) 研究成果：気液平衡

1. 各種混合冷媒において50点近くの気液平衡データを計測した。
2. 混合冷媒を用いた熱交換器内の温度グライドは、HFO1234yf+R32混合冷媒は凝縮器と蒸発器でそれぞれ6.3 Kと5.5 Kで一番大きい。HFO1234yf+R125の温度グライドは最大2.8 Kと2.4 Kである。
3. REFPROPの推算値は飽和圧力を過大に計算する。PR式、Helmholtz式のいずれも混合パラメータを最適化することで精度向上できた。

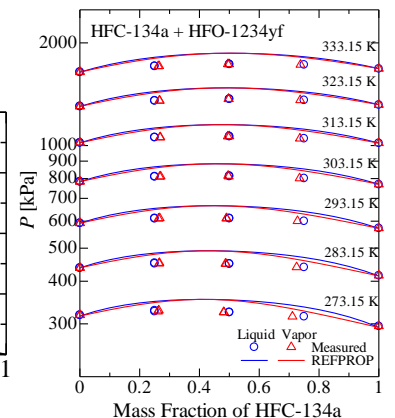
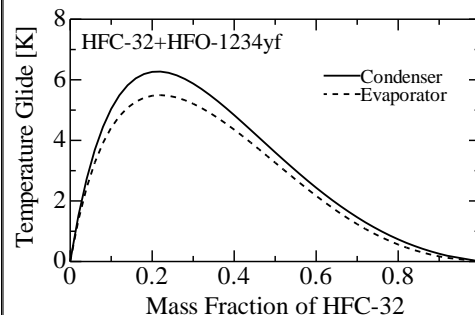
飽和圧力の実測値と計算値の平均偏差 [%]

EoS	PR		Helmholtz	
	This Work (k_{12})	$k_{12} = 0$	This Work (ζ_{12})	Default (REFPROP) (ζ_{12})
R32 / HFO	0.6 (0.037)	5.4	0.9 (-35.8)	2.9 (-43.0)
R125 / HFO	0.6 (0.004)	0.7	0.4 (-1.5)	10.0 (-18.2)
R134a / HFO	0.5 (0.020)	2.5	0.2 (-10.3)	3.7 (-25.0)

HFO1234yf系混合冷媒の気液平衡



熱交換器中の温度グライド



抜粋

公開

(3) 研究成果：粘度

1. HFO1234yf/R32, HFO1234yf/R125 二種混合冷媒の気相、液相粘度測定し、混合冷媒の粘性予測式を作成した。
2. 提案した混合ガス粘性計算式は実験結果とのずれが±0.6%以内である。
3. HFO1234yf の液粘度および液密度はR32より大きく、R125と同等
4. 液体粘性はP-R型の式、密度はHelmholtz 型の式を用いるREFPROP より予測精度向上を実現した。

混合冷媒の液相粘度、密度の予測精度

EoS		Helmholtz		PR
Mixing Parameter		This Work	Default (REFPROP)	This Work
Liquid-Viscosity	R32 / HFO	7.1	8.3	
	R125 / HFO	2.4	5.4	
Liquid-Density	R32 / HFO	0.7	0.9	9.7
	R125 / HFO	0.5	1.4	2.2

(a1) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

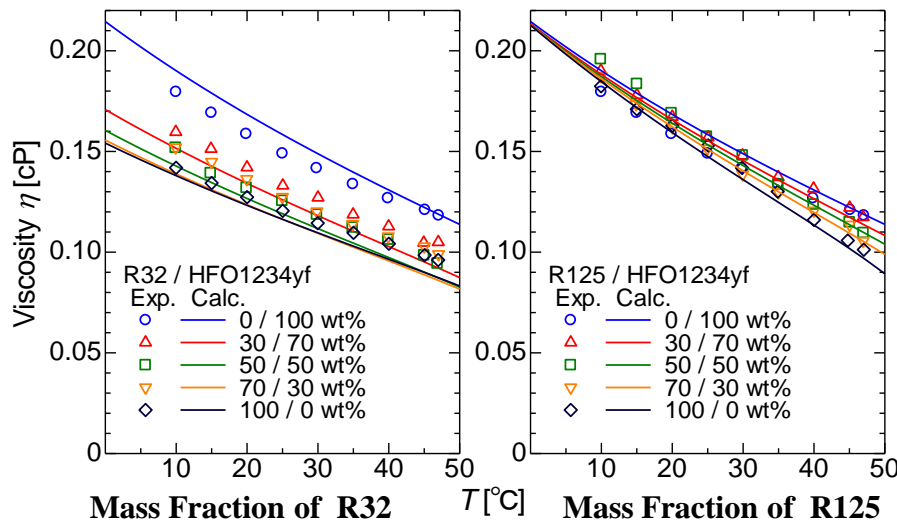
混合冷媒の気相粘度予測式

$$\eta_m = \frac{y_1 \eta_1}{y_1 + y_2 \phi_{12}} + \frac{y_2 \eta_2}{y_2 + y_1 \phi_{21}}$$

$$\left(\phi_{12} = \frac{[1 + (\eta_1/\eta_2)^2 (M_2/M_1)^4]^{1/2}}{[8 + (M_1/M_2)]^{1/2}}, \phi_{21} = \phi_{12} \frac{\eta_2 M_1}{\eta_1 M_2} \right)$$

	HFO+R32	HFO+R125
Φ_{12}	1.5160	1.0392
Φ_{21}	0.6302	0.9632

混合冷媒の液相粘度測定



(a1) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

(1) 蒸発伝熱性能の解明

HFO1234yf純冷媒及びHFO1234yf+R32混合冷媒の伝熱測定の実験測定。サイクル性能評価に必要な伝熱性能の把握。

(2) 研究内容

1. HFO1234yf純冷媒の流動沸騰伝熱特性

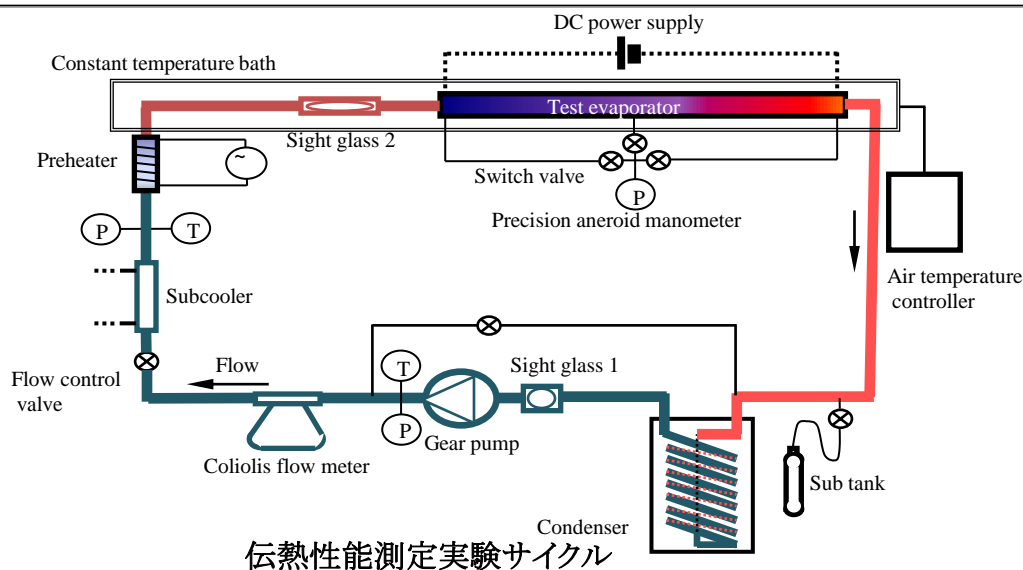
内径2mm、4mmの伝熱管内の流動沸騰伝熱特性を実験測定。

2. HFO1234yf+R32混合冷媒の流動沸騰伝熱特性

内径2mm、4mmの伝熱管内の流動沸騰伝熱特性を実験測定。

3. 伝熱相関式の整理

混合冷媒の組成、管径及び熱流束、質量流束が伝熱性能への影響を明らかにする。



実験条件

$T = 15^{\circ}\text{C}$

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

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

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

HFO1234yf純冷媒:

HFO1234yf+R32混合冷媒 (50/50wt%:
80/20wt%)

(a1) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

(3) 研究成果：純冷媒の蒸発伝熱特性

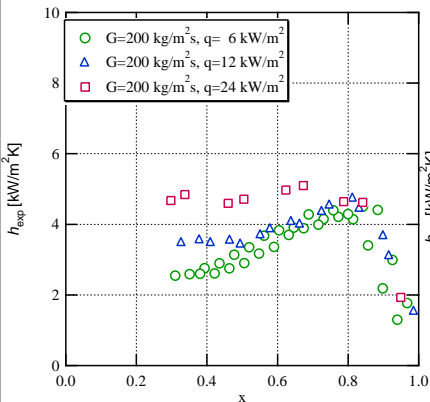
1. ドライアウトクオリティは2mm管は0.8、4mmは0.9である
2. 低クオリティ領域 (<0.6-0.7) に核沸騰支配の傾向が見られる
3. 低質量流束条件には、クオリティによらずほぼ伝熱性能が一定。質量流束が大きくなるほど、クオリティの影響が大きくなる
4. HFO-1234yfとR-134aの熱伝達率はほぼ同程度である
5. HFO-1234yf用伝熱相関式を作成し、2mm管と4mm管の実験結果を±20%の誤差範囲で予測可能

伝熱性能予測相関式

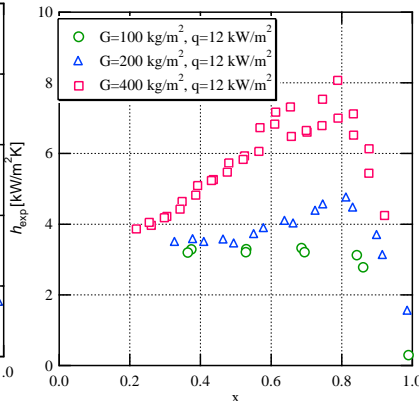
$$h_{TP} = Fh_l + Sh_{pool}, F = 1 + (1/X_{tt})^{1.05} / (1 + We_g^{-0.4}), S = 1 / [1 + 0.4(Re_{TP} \times 10^{-4})^{1.4}], Re_{TP} = Re_l F^{1.25}$$

$$h_{pool} = 207 \frac{\lambda_l}{d_b} \left(\frac{qd_b}{\lambda_l T_l} \right)^{0.745} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.581} Pr_l^{0.533}, h_l = 0.023 \frac{\lambda_l}{D} \left(\frac{G(1-x)D}{\mu_l} \right)^{0.8} \left(\frac{c_{pl}\mu_l}{\lambda_l} \right)^{0.4}, d_b = 0.51 \left[\frac{2\sigma}{g(\rho_l - \rho_g)} \right]^{0.5}$$

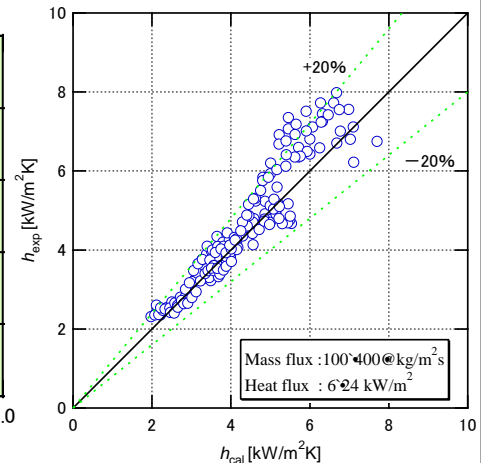
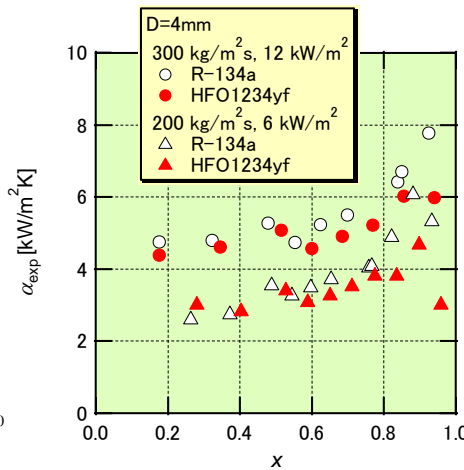
HFO1234yfの蒸発伝熱性能



d = 2mm



d = 4mm



伝熱相関式の予測精度

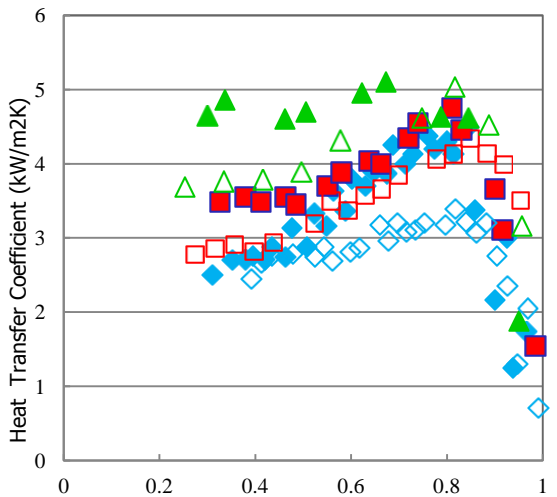


抜粋 公開

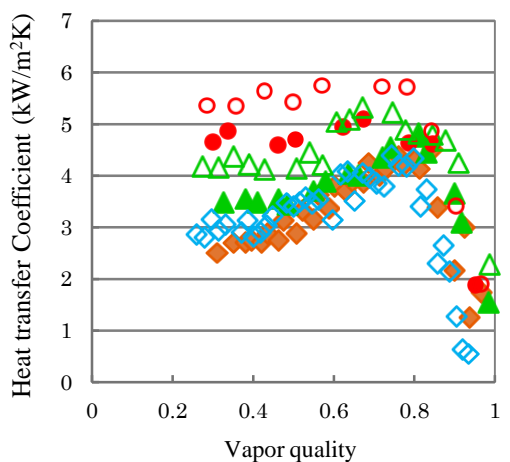
(a1) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

(3) 研究成果：混合冷媒の蒸発伝熱特性

1. HFO1234yf純冷媒と比べ、R32の割合が20%の時混合冷媒の伝熱性能が純冷媒より劣化する；R32の割合が50%の時混合冷媒の熱伝達率が純冷媒より高くなる。
2. HFO-1234yf純冷媒の伝熱式を拡張し、HFO1234yf, R32, HFO1234yf +R32を適用できる伝熱相関式を作成した。2mm管と4mm管の実験結果を±20%の誤差範囲で予測可能である。



- ◆ HFO, G=200kg/m2s, q=6kW/m2
- HFO, G=200kg/m2s, q=12kW/m2
- ▲ HFO, G=200kg/m2s, q=24kW/m2
- ◇ G=200kg/m2s, q=6kW/m2, HFO:R32=0.778:0.222
- G=220kg/m2s, q=12kW/M2, HFO:R32=0.806:0.194
- △ G=218kg/m2s, q=23kW/m2, HFO:R32=0.808:0.192



- ◆ HFO, G=200kg/m2s, q=6kW/m2
- ▲ HFO, G=200kg/m2s, q=12kW/m2
- HFO, G=200kg/m2s, q=24kW/m2
- ◇ G=200kg/m2s, q=6kW/m2, HFO:R32=0.478:0.522
- △ G=200kg/m2s, q=12kW/m2, HFO:R32=0.48:0.52
- G=200kg/m2s, q=24kW/m2, HFO:R32=0.486:0.514

混合冷媒の伝熱性能； HFO1234yf： 80% (左) 50% (右)

混合冷媒伝熱相関式の提案

$$\alpha = F_{mix} F \alpha_i + S_{mix} S \alpha_b$$

$$\text{Dittus-Boelter form } \alpha_i = 0.023 \frac{\lambda_f}{D} \left[\frac{G(1-x)D}{\mu_f} \right]^{0.8} \text{Pr}^{0.4}$$

$$\text{Cooper form } \alpha_n = 55 \text{Pr}^{0.12} (-\log \text{Pr})^{-0.55} M^{-0.5} q^{0.67}$$

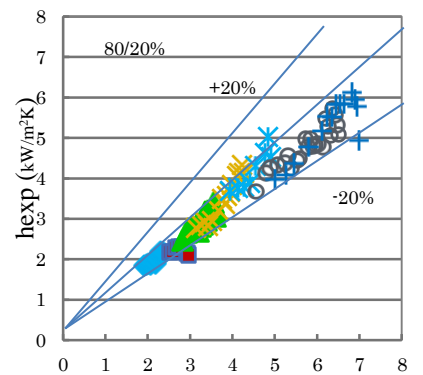
$$\text{Factor Correlation } F = 1.0 + 1.8 \cdot \left(0.3 + \frac{1}{X_n} \right)^{0.88} / (1 + \text{Wev}^{-0.4})$$

$$S = \frac{1}{0.5 + 0.5 \frac{(\text{Re}_m \times 10^{-3})^{0.3}}{(\text{Bo} \times 10^7)^{0.23}}}$$

Palen and Small Correlation

$$F_{mix} = \exp(-0.027 \Delta T_b)$$

$$S_{mix} = \frac{\Delta T_m}{\Delta T_{id}} \left[1 - (y-x) \left(\frac{dT}{dx} \right) \left(\frac{C_p}{\Delta h} \right) \left(\frac{a_c}{D} \right)^{0.5} \right]^{-1}$$



- ◆ hcal (kW/m²K)
- ◆ G=100kg/m2s, q=6kW/m2
- G=100kg/m2s, q=12kW/m2
- ▲ G=200kg/m2s, q=6kW/m2
- × G=200kg/m2s, q=12kW/m2
- × G=200kg/m2s, q=24kW/m2
- G=400kg/m2s, q=12kW/m2
- + G=400kg/m2s, q=24kW/m2

(a2) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

再委託：産業技術総合研究所

- 最新の実測値を用いて関数形を再構築
- 17項から成るヘルムホルツ式を開発

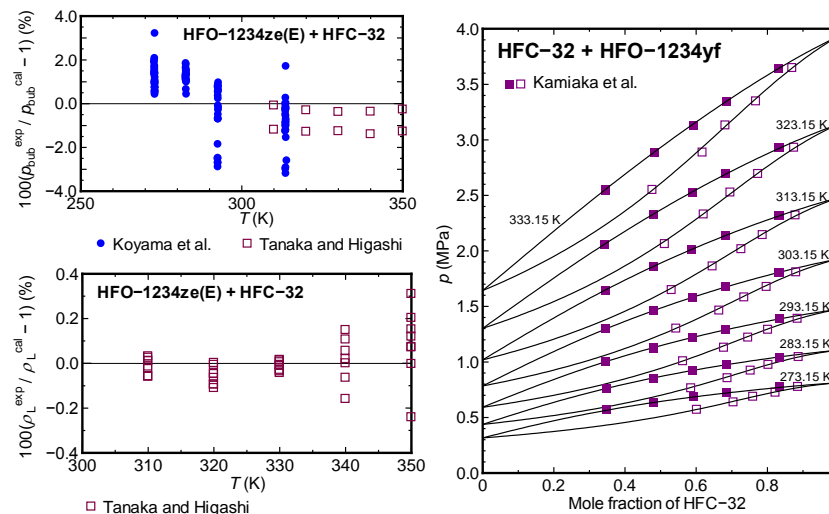
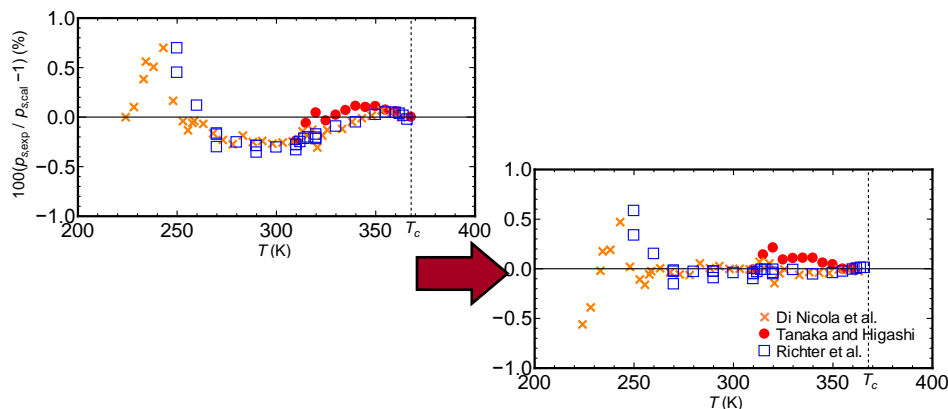
- Kunz-WagnerモデルをHFO-1234yf + HFC-32系, HFO-1234ze(E) + HFC-32系に適用
- 気液平衡, PVT および比熱等の実測値を用いてモデルを最適化

実測値との平均偏差(%)の改善

	HFO-1234yf			HFO-1234ze(E)		
	Akasaka et al. (2010) (Helmholtz)		New EOS (Helmholtz)	Akasaka (2010) (ECS)		New EOS (Helmholtz)
飽和蒸気圧	0.2	→	0.1	0.2	→	0.1
液密度	0.2	→	0.1	0.5	→	0.1
液定圧比熱	2	→	2	5	→	2
ガス音速	0.1	→	0.02	0.1	→	0.01

実測値との平均偏差(%)

	HFO-1234yf + HFC-32	HFO-1234ze(E) + HFC-32
沸点圧力	0.2	1
液密度	0.1	0.1
液定圧比熱	-	4



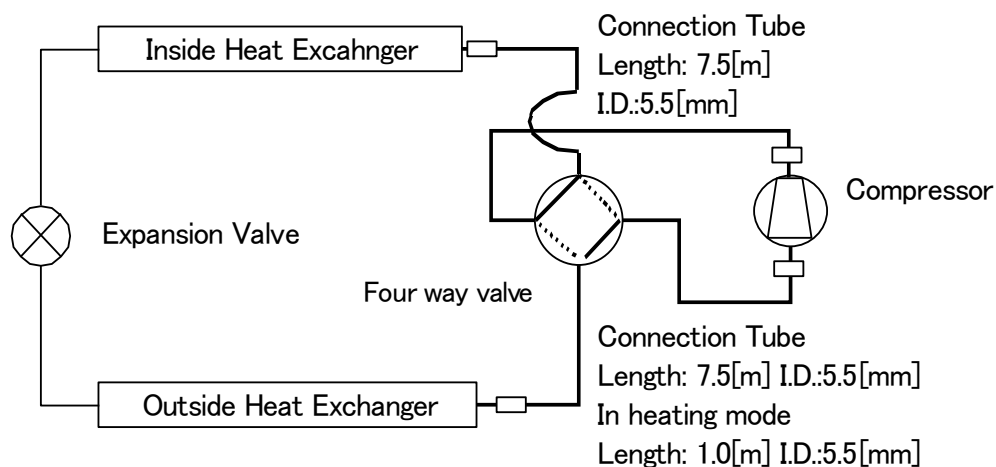
(b) HFO1234yf混合冷媒を用いたルームエアコンの性能サイクルシミュレーション

(1) 研究目的

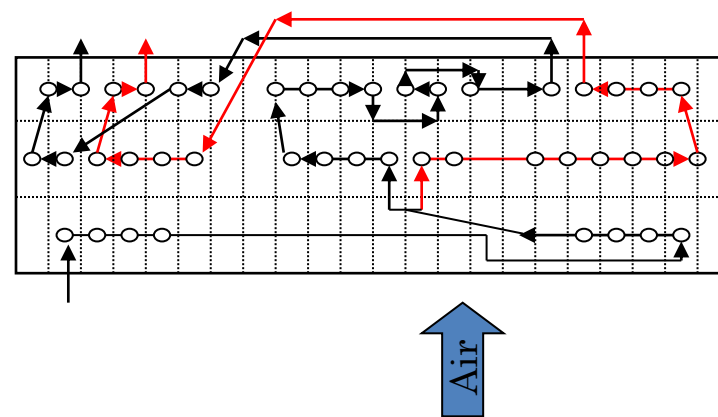
作成した熱物性データベースを用いて、ルームエアコンに混合冷媒を適用した場合の性能をシミュレーションにより求める。低GWP混合冷媒を用いたルームエアコンの性能を俯瞰する。

(2) 研究内容

- 混合冷媒の平衡物性(飽和関係, エンタルピー, エントロピーなど)、非平衡物性(粘度, 熱伝導率, 熱伝達率など)の整理、サブルーチン化
- 実熱交換器に基づく熱交換器性能計算モデル及びサイクルシミュレーションモデルを作成
- 各対象冷媒のサイクル性能解析、比較
- HFO1234yf, R32, R410A, HFO1234yf+R32混合冷媒のサイクル性能解析。



計算対象サイクルの概略図

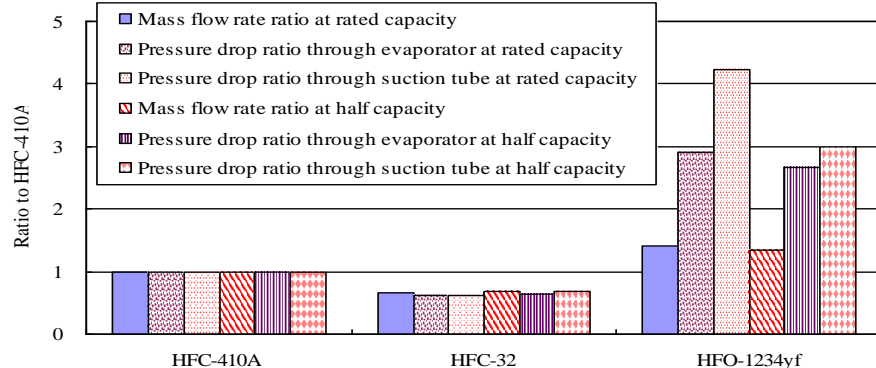


熱交換器モデル

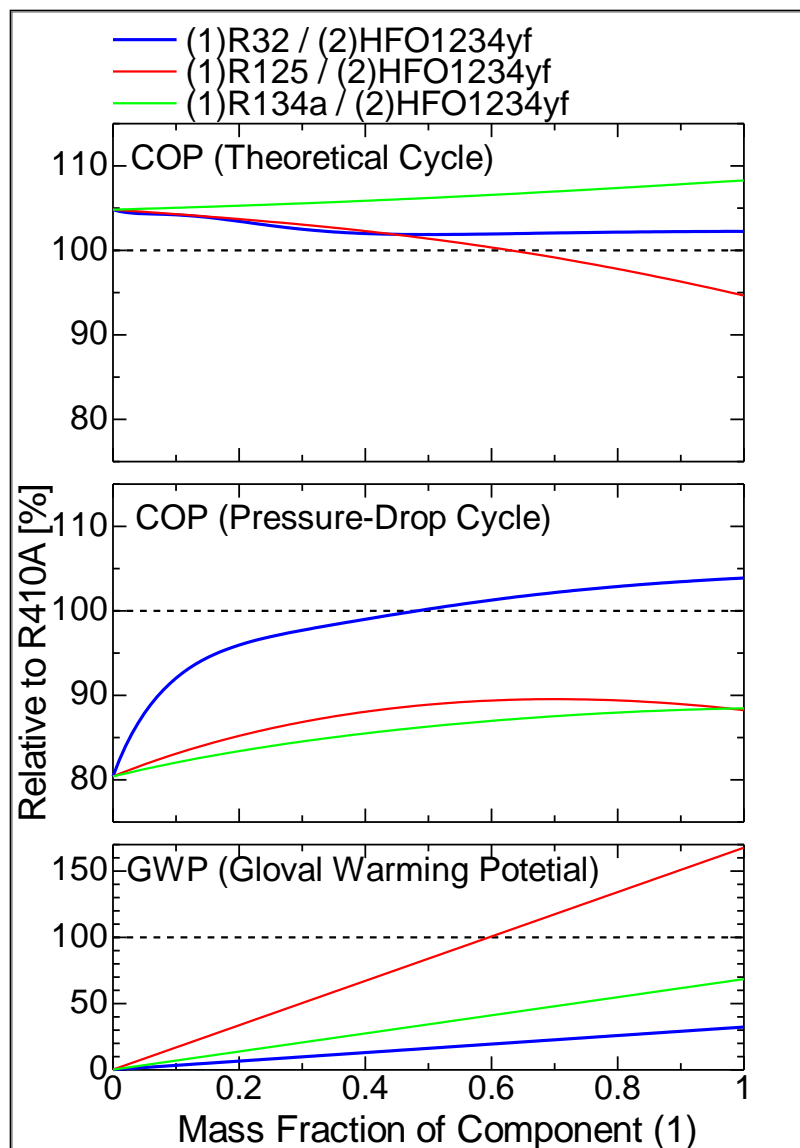
(b) HFO1234yf混合冷媒を用いたルームエアコンの性能サイクルシミュレーション

(3) 研究成果

- 4kWルームエアコンの実機の熱交換器に基づき熱交換器モデルを作成、実測値と一致した結果を得られた
- ヘルムホルツ型状態式を用いたサイクルシミュレータを開発した。HFO1234yf純冷媒の理論COPはR410Aを超えるが、圧力損失を考慮するとR410Aの80%まで低下する
- R32を50 wt%混合した場合、R410Aと同程度のCOPが得られた。ただし、可燃性の心配がある
- R125を22 wt%, R134aを36 wt%以上混合すればHFO1234yfを不燃化できるが、COPの改善効果は低い
- HFC類を混合すれば、GWPが大きくなる。COPの向上とGWPの増加とのトレードオフになる



冷房期間における冷媒循環量と圧力損失の比較



抜粋

公開

(c2) HFO1234yf混合冷媒のドロップイン試験 再委託: 建築研究所

ルームエアコン(RAC)の実働性能を把握し、空調負荷からエネルギー消費量を推定するロジックを確立する。加えて、RACの使われ方も含めた計算を実施し、標準的な住宅における年間のRACエネルギー消費量を試算・把握する。

1 実働運転状況下でのRAC性能把握

建研戸建住宅実験棟、日冷工試験室、建研試験室で実験

- ・起動時の特性や断続運転時の挙動
- ・処理熱量、消費電力

2 エネルギー消費量の推定式の作成

建物の空調負荷からRACのエネルギー消費量を計算するモデルを作成

3 エアコンの使用行動モデルの作成

- ・エアコン稼働・停止操作時の温度条件
 - ・在室者の属性、状況
- エアコン使用スケジュールの設定

4 地域別・住宅性能別エネルギー消費量の予測計算

様々な住宅についてRACの年間エネルギー消費量を試算

抜粋

公開

(c2) HFO1234yf混合冷媒のドロップイン試験 再委託: 建築研究所

試験室試験によるエアコンの性能評価



日冷工厚木試験場の試験室で2010年1月に試験を実施

[目的]

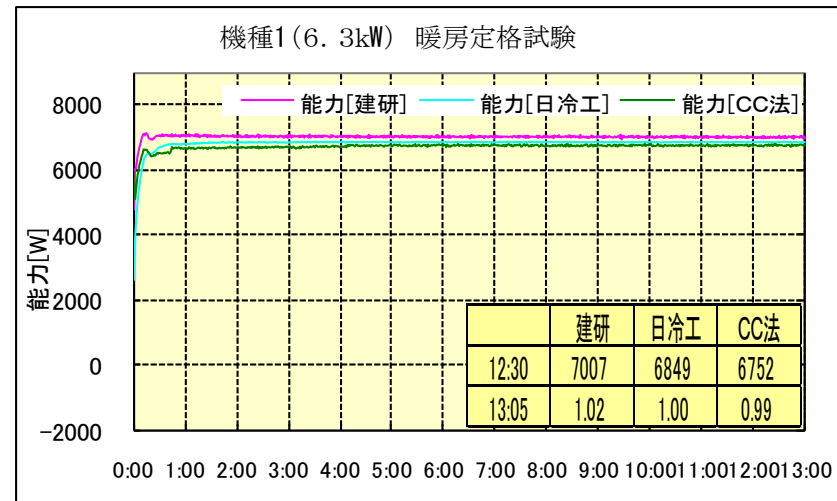
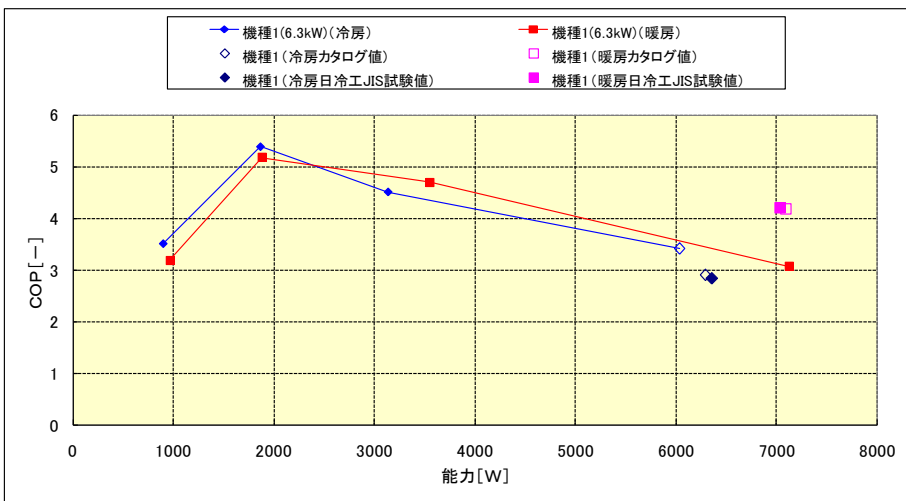
- ・ 負荷試験による部分負荷特性の把握
- ・ 風量と回転数の関係
- ・ 空気エンタルピー法(AE法)とコンプレッサカーブ法(CC法)の比較

○負荷試験

JISモードではなく、与えられた負荷を通常通り処理させる「負荷試験」を実施。特に暖房時にはカタログ値ほどの性能が出ていないことが確認された。

○AE法とCC法の比較

試験室での測定結果とAE法・CC法での測定結果は、ほぼ等しい。ただし、立ち上がり時などの非安定状態では差が生じた。



(c2) HFO1234yf混合冷媒のドロップイン試験 再委託：建築研究所

建築研究所戸建住宅実験棟におけるRAC実働性能評価実験



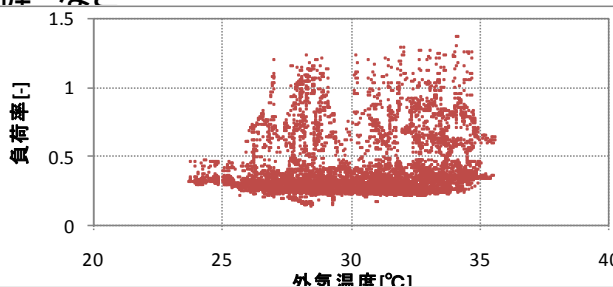
戸建住宅実験棟内の各室にエアコンを設置し、エアコンの実際の使用状況を再現して、その際の負荷率等を調査した。

[目的]

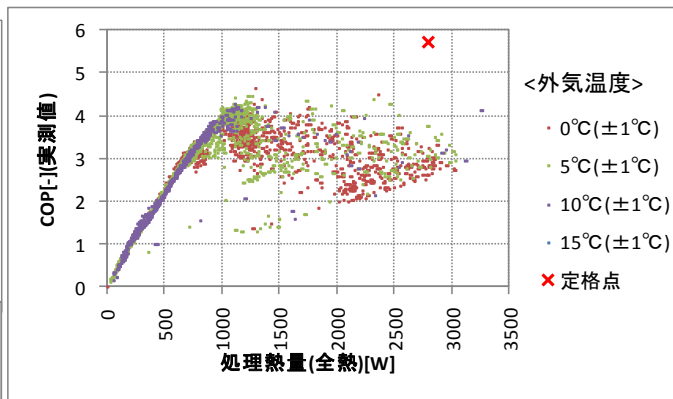
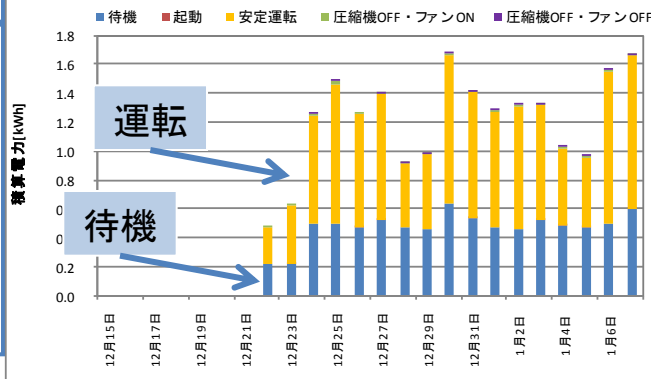
- 部分負荷の発生状況の把握
- RAC各運転状態でのエネルギー消費量・COPの把握
- 運転状態の分析・除霜運転の把握 など

○外気温度と部分負荷率→
 どの機種の結果を見ても、
 外気温度と負荷率は比例せず、ほとんどの時間で低部分負荷率での運転となっている。

○運転状況の分析→
 待機・起動・安定運転など運転状態を分類して分析。
 一部の機種では暖房時の待機電力が大きいものが見られた。



③各運転状態での日積算電力消費量



↑ ○処理熱量とCOP
 各機器の効率を実働条件下で把握。6.3kW機は定格点に近いCOPがでるが、2.2・2.5kW機では定格効率ではなかった。

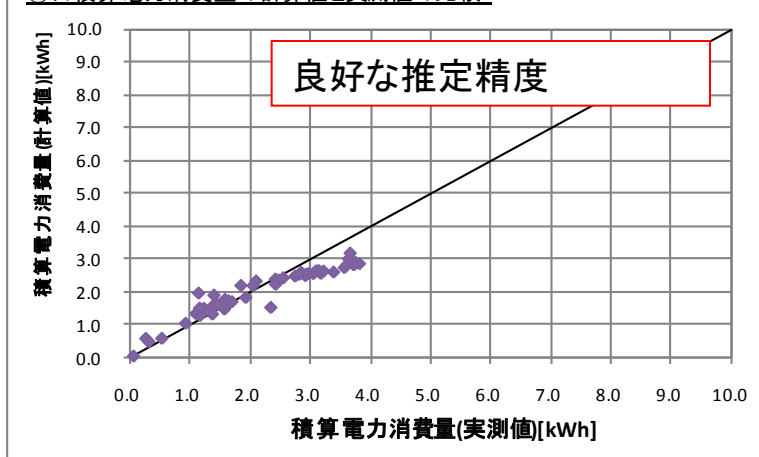
(c2) HFO1234yf混合冷媒のドロップイン試験

再委託：建築研究所

RACエネルギー消費量推定式の作成・修正

- 熊本県立大学細井昭憲准教授(建研受託研究の検討委員会メンバー)を中心に開発された計算法をベースに改良を加え、より精度の高い計算ロジックを作成。
- 部分負荷率とCOPの関係を表す曲線の形状を固定し、各エアコンの最大能力・入力に応じて補正することで、様々な機種に対応する。

⑦日積算電力消費量の計算値と実測値の比較B



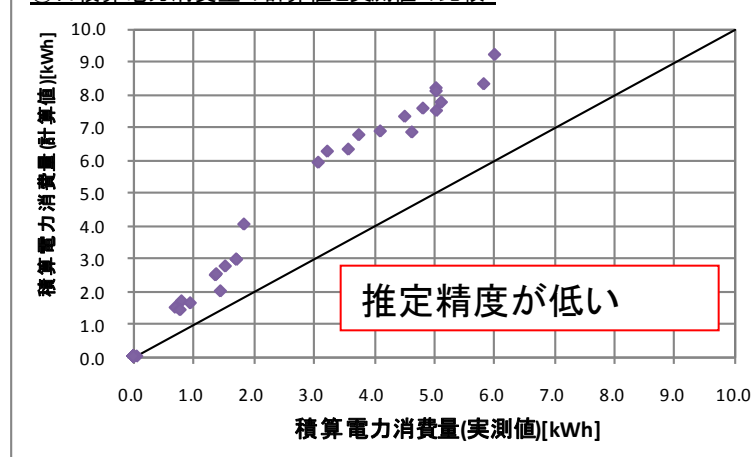
機種3(2.5kW機)での推計精度

2.2kW,2.5kW機のエネルギー消費量推計では十分な精度

6.3kW機では誤差が大きい

→圧縮機と補機のバランスが変わることによる影響と考え、作成式を修正中

⑦日積算電力消費量の計算値と実測値の比較B



機種1(6.3kW機)での推計精度

抜粋

公開

ルームエアコンの使用実態調査

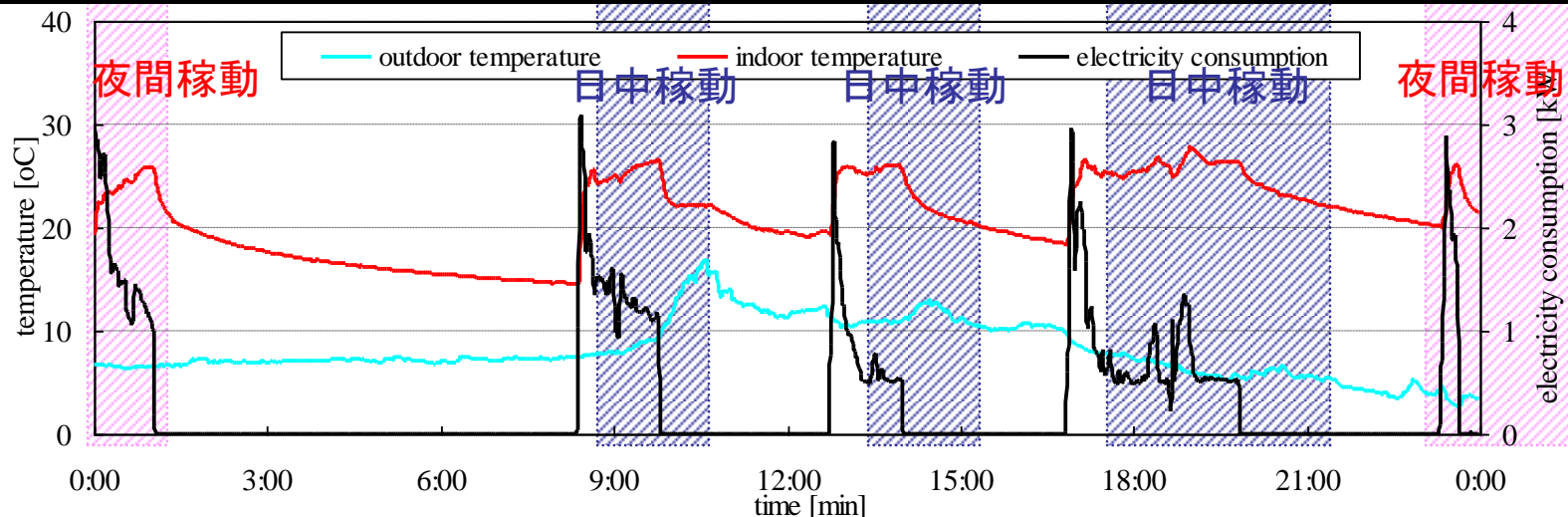
- ・集合住宅25軒の一般モニター家庭を調査対象とする
- ・全モニター家庭で、内外環境の温・湿度と電力量を計測し、発生時間帯、および温度帯を整理する。

信越地区の某モニター邸での設置状況

(d1) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価



ある休日の外気・室内各温度と電力消費



平日・休日ともに夜間に稼動する(凡そ3~4時間程度)

日中の稼動は休日のみ(4時間程度)

(d2) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価 再委託：ミサワホーム総合研究所

ルームエアコンの使用実態調査

●モニター協力者(ミサワホーム入居者対象：計75件、大学近隣住宅：25件)

地域	件数	エアコンメーカー (機種)	住宅種類
信越地区 (新潟県)	25件 (詳細計測10件)	三菱電機製 (ズバ暖霧ヶ峰)	戸建て
東関東地区 (千葉県・茨城県)	25件 (詳細計測9件)	ダイキン製 (GRシリーズ)	戸建て
西関東地区 (群馬県・埼玉県)	25件 (詳細計測7件)	Panasonic製 (Gシリーズ)	戸建て
千葉・柏地区	25件	三菱電機製	集合

(d2) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価 再委託:ミサワホーム総合研究所

●データ回収状況

※各物件ごと工事完了日より、随時データ計測開始

※データ回収は月1回、データ計測については、1年間を予定

- ・信越地区(25件) :1回目:2010年11月末
- ・東関東地区(25件):1回目:2010年12月末
- ・西関東地区(25件):1回目:2011年1月末
- ・柏地区(25件):1回目:2011年1月末

●回収データ集計方法

※以下の内容について物件ごとにデータ処理を行ない、集計データを作成

- 1) 10秒間隔の計測生データのCSVファイル出力
- 2) 計測生データを1分平均値の処理
- 3) 計測内容ごとに閾値を設定し、異常値については別途CSVファイルを出力
- 4) 1分平均値から、月単位・日単位で平均値・平均値 $\pm\sigma$ ・最大値・最小値をデータ出力
- 5) 4)の値と1分平均値を項目ごとにグラフ化

●計測終了時期

2012年3月まで継続測定を行い、1年間の使用実態調査を完了させる予定

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」
 Ⅲ. 研究開発成果について、Ⅳ. 実用化・事業化について
 研究開発項目③：性能・安全評価

委託



抜粋

公開

【超小型金属対応ICタグ】
 ICタグインレットを耐熱性、耐薬品性、
 耐候性に優れたPPS樹脂でモールド。



【HF帯ハンディ型リーダライタ



(d3) HFO1234yf混合冷媒のLCCP評価
 再委託：日本冷凍空調学会

【室外機・冷凍機】

機番、冷媒種類、充填量、製造年月、型式



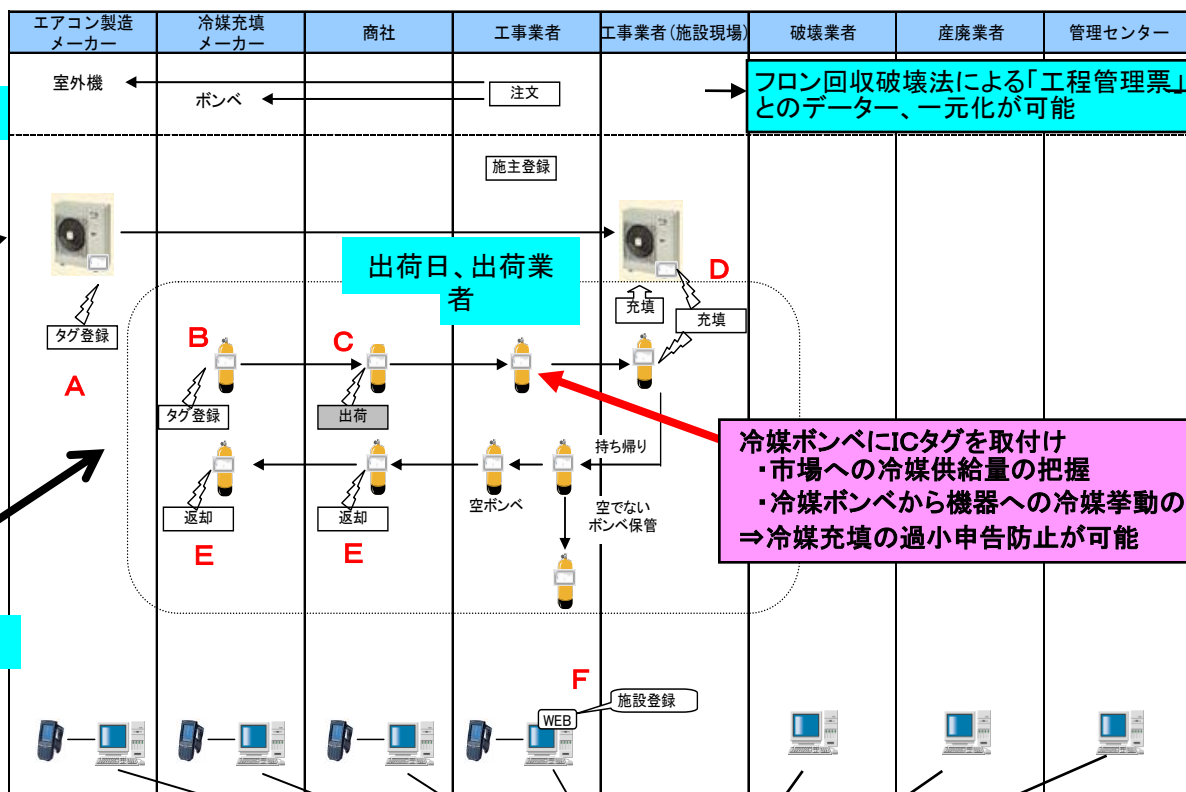
P160形(6馬力)

【冷媒ボンベ】

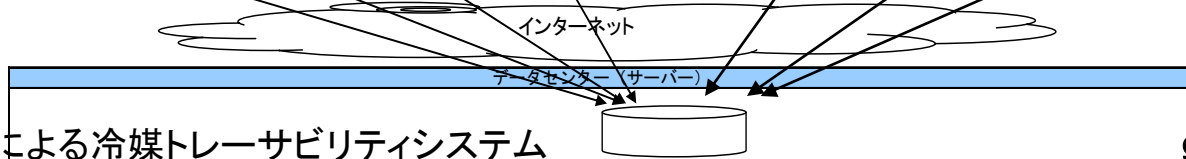
機番、冷媒種類、充填量、製造年月、型式



再充填不可ボンベは
 今回対象外とする



冷媒ボンベにICタグを取付け
 ・市場への冷媒供給量の把握
 ・冷媒ボンベから機器への冷媒挙動の把握
 ⇒冷媒充填の過小申告防止が可能



ICタグ活用による冷媒トレーサビリティシステム

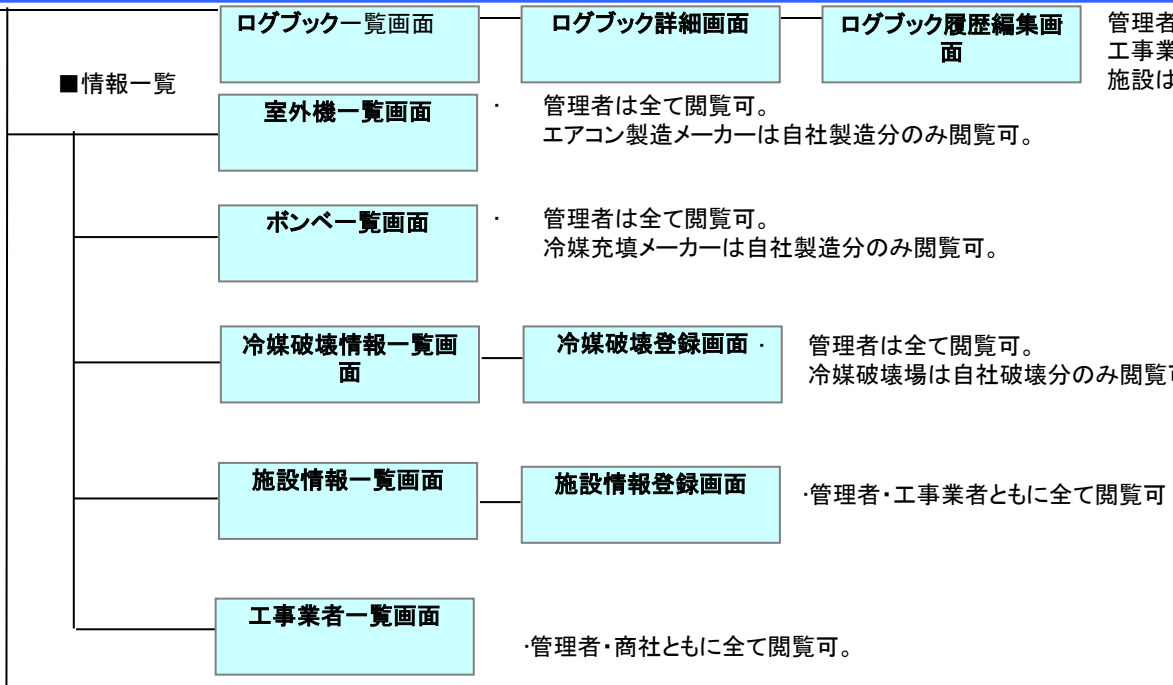
「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」
 Ⅲ. 研究開発成果について、Ⅳ. 実用化・事業化について
 研究開発項目③：性能・安全評価



抜粋

公開
 ■ログブック

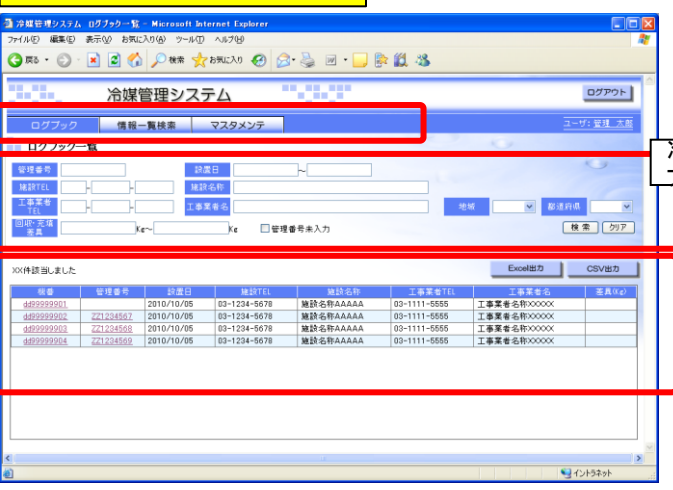
ログイン



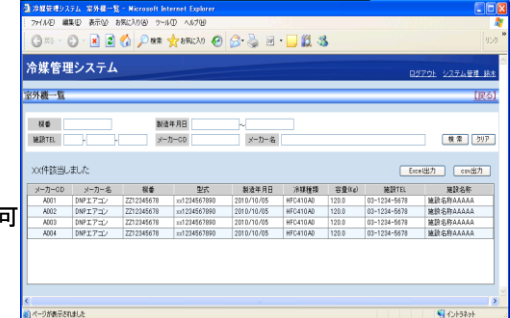
■マスタメンテ(管理者のみ入力・閲覧可能)

- エアコン製造メーカーマスタメンテ画面
- 冷媒充填メーカーマスタメンテ画面
- 商社マスタメンテ画面
- 工事業者マスタメンテ画面
- 破壊業者マスタメンテ画面
- 管理者マスタメンテ画面

【マスターメンテナンス画面】



【室外機一覧画面】



【ポンペー一覧画面】



冷媒漏えい防止ガイドライン GL14でのログブック

機	機	機	機	機	機	機	機
0809999901	221234567	2010/10/05	03-1234-5678	2010/10/05	MFC41A0	500	03-1234-5678
0809999902	221234567	2010/10/05	03-1234-5678	2010/10/05	MFC41A0	500	03-1234-5678
0809999903	221234567	2010/10/05	03-1234-5678	2010/10/05	MFC41A0	500	03-1234-5678
0809999904	221234567	2010/10/05	03-1234-5678	2010/10/05	MFC41A0	500	03-1234-5678

Webによる
 冷媒管理シ
 ステム開発

「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」
 Ⅲ. 研究開発成果について、Ⅳ. 実用化・事業化について
 研究開発項目③：性能・安全評価

委託



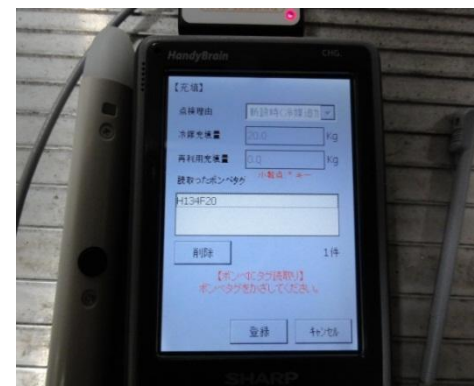
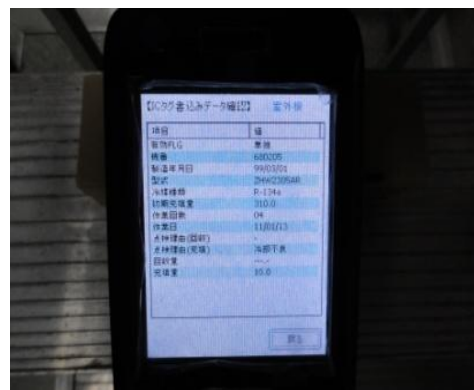
抜粋

公開

① 某大学 1月13日
 機種:大型水冷スクルーチラー ZHW2305AR
 能力:230USRT R134a 310kg



機器外観 ICタグは操作盤裏面に貼付
 ICタグボンベ読取り



② 某社 1月12日
 機種:空冷HPチラー UWYD3550B5Y
 能力:120馬力 R134a 140kg



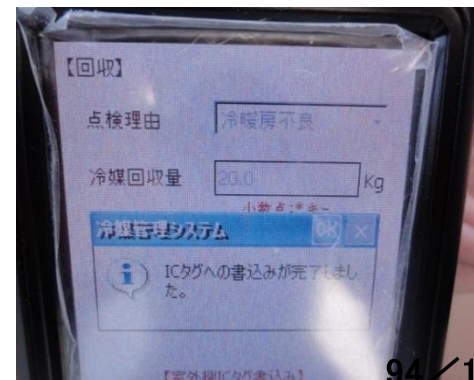
機器外観 ICタグ機器書込み ICタグボンベ読取り



③ 某社 1月20日
 機種:ビル用マルチ RXYJ784KA
 能力:28馬力 R22 29.5kg



機器外観 ICタグは外板裏面に貼付 ICタグ機器書込み



②HFO1234ze混合冷媒の熱物性とサイクル性能の研究

[H21-22年度研究開発体制] 東京大学・九州大学共同提案(九州大学担当部分)

九州大学

・研究項目：

(a)HFO1234ze混合冷媒の熱物性の測定

(a1)HFO1234ze混合冷媒の熱物性・伝熱特性の測定

(b)HFO1234ze混合冷媒を用いたルームエアコンの性能シミュレーション

(b1)熱力学的性能解析・空気熱源ルームエアコン性能解析

(c)HFO1234ze混合冷媒のドロップイン試験

↓ 再委託

↓ 再委託

いわき明星大学

・研究項目：

(a)HFO1234ze混合冷媒の熱物性の測定

(a2)HFO1234ze混合冷媒の熱物性の測定

(d)HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定(補足)

(d1)HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

佐賀大学

・研究項目：

(a)HFO1234ze混合冷媒の熱物性の測定

(a3)HFO1234ze混合冷媒の熱物性の測定

(b)HFO1234ze混合冷媒を用いたルームエアコンの性能シミュレーション

(b2)熱交換器特性を考慮した性能解析

(d)HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定(補足)

(d2)HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

[H21-22年度研究開発成果概要]

(1) 成果の要旨

- ・純冷媒HFO-1234ze(E)及びHFO-1234ze(E)/HFC-32系混合冷媒の基本物性(熱力学的・輸送的性質, 伝熱特性)を明らかにした.
- ・純冷媒HFO-1234ze(E)が大型冷凍機の冷媒として現在使用されているR134aの代替冷媒として十分に使用できることを指摘した.
- ・HFO-1234ze(E)/HFC-32系混合冷媒はルームエアコン用冷媒として現在使用されているR410Aの代替冷媒として十分使用可能であることを実証した.

(2) 成果の意義

- ・世界に先駆けて, 純冷媒HFO-1234ze(E)及びHFO-1234ze(E)/HFC-32系混合冷媒の基本物性を測定し, 低GWP冷媒を用いた空調機器設計上の不可欠な基盤データを提供した.
- ・HFO-1234ze(E)/HFC-32系共沸混合冷媒がR410Aの代替冷媒として十分使用できることを実証した.

(3) 知的財産権の取得及び成果の標準化への取組

- ・取得された熱力学的・輸送的性質はNISTのREFPROPの参照データとして活用.
- ・取得された伝熱特性は熱交換器設計に必要な基礎データとして有益.
- ・日本冷凍空調学会の「JARef vol.4」出版及び「伝熱データベース」化

[研究開発成果の紹介]

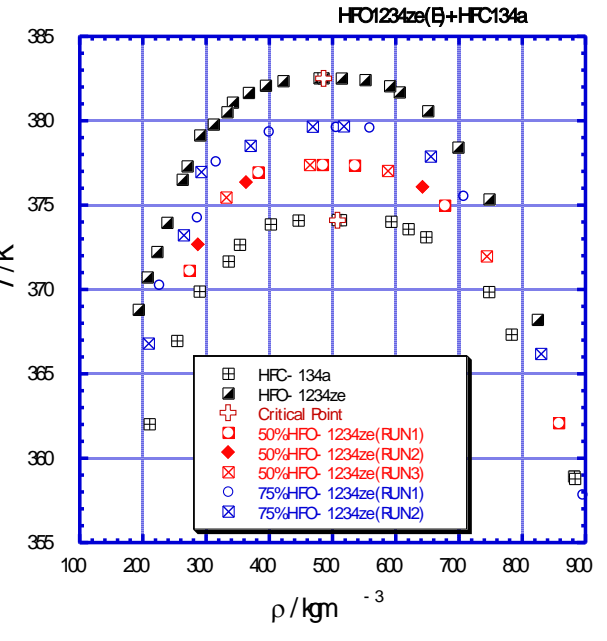
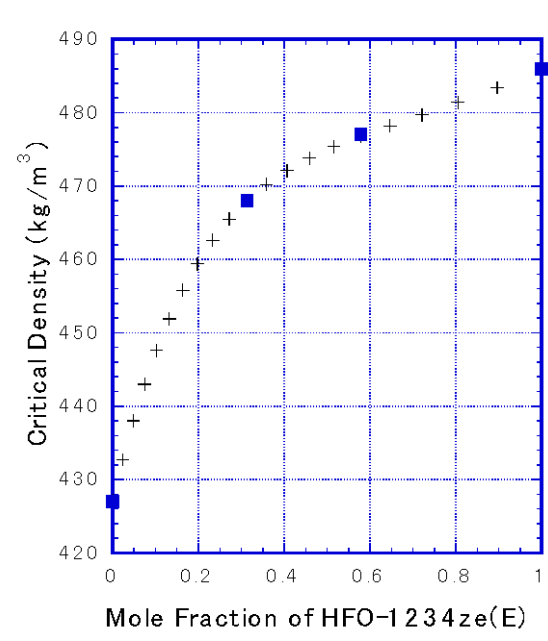
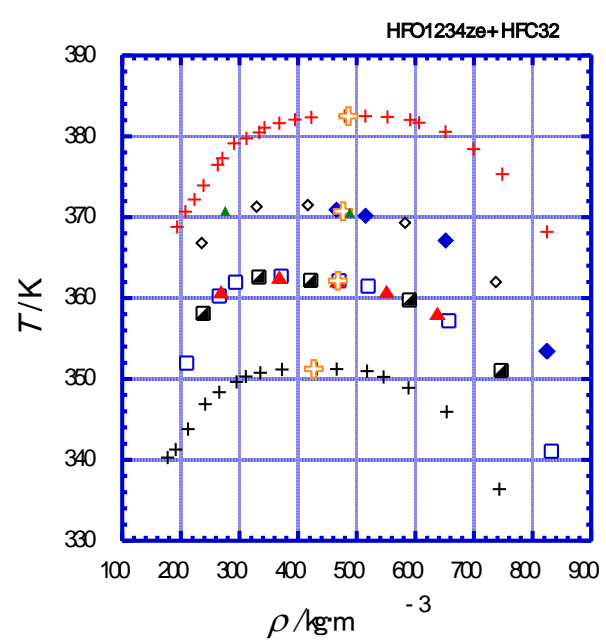
(a) HFO1234ze混合冷媒の熱物性の測定

(a2) 飽和密度と臨界軌跡の測定 (目視法による)

HFO-1234ze(E) + HFC-32, HFO-1234ze(E) + HFC-134a

(a2) PvTx性質の測定 (等容法による)

HFO-1234ze(E) + HFC-32

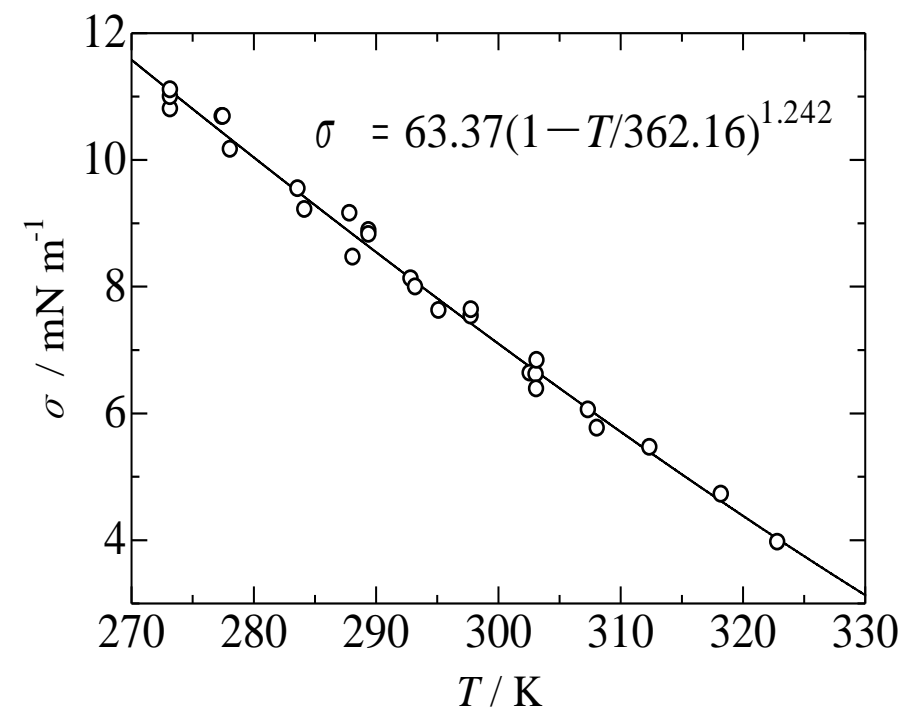


- + HFC-32
- + HFO-1234ze(E)
- 50% HFO-1234ze(E) Run 1
- 50% HFO-1234ze(E) Run 2
- ▲ from PvTx
- ◆ 75% HFO-1234ze(E) Run 1
- ◇ 75% HFO-1234ze(E) Run 2
- ⊕ Critical Point
- ▲ 75% HFO-1234ze(E) Run 3

(a2) 表面張力の測定

(示差毛管上昇法による)

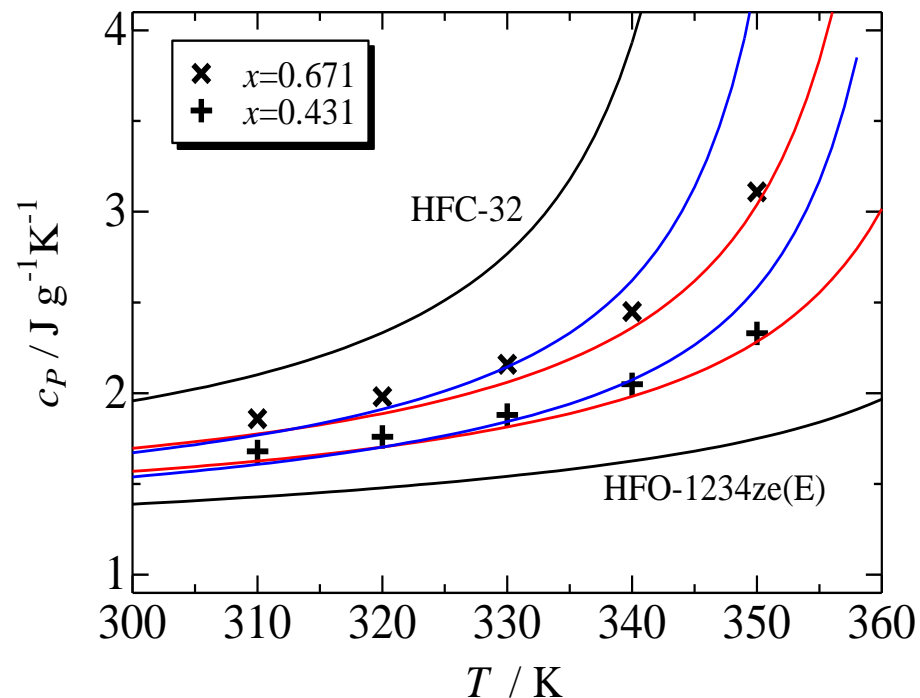
50%HFO-1234ze(E)+50%HFC-32の組成比
で表面張力測定(組成比:mass%)



(a2) 定圧比熱とPVT_x性質測定

(金属ベローズ型カロリメータによる)

既設装置を混合冷媒測定用に改良して、
50%HFO-1234ze(E)+50%HFC-32の組成比で定
圧比熱とPVT_x性質を測定

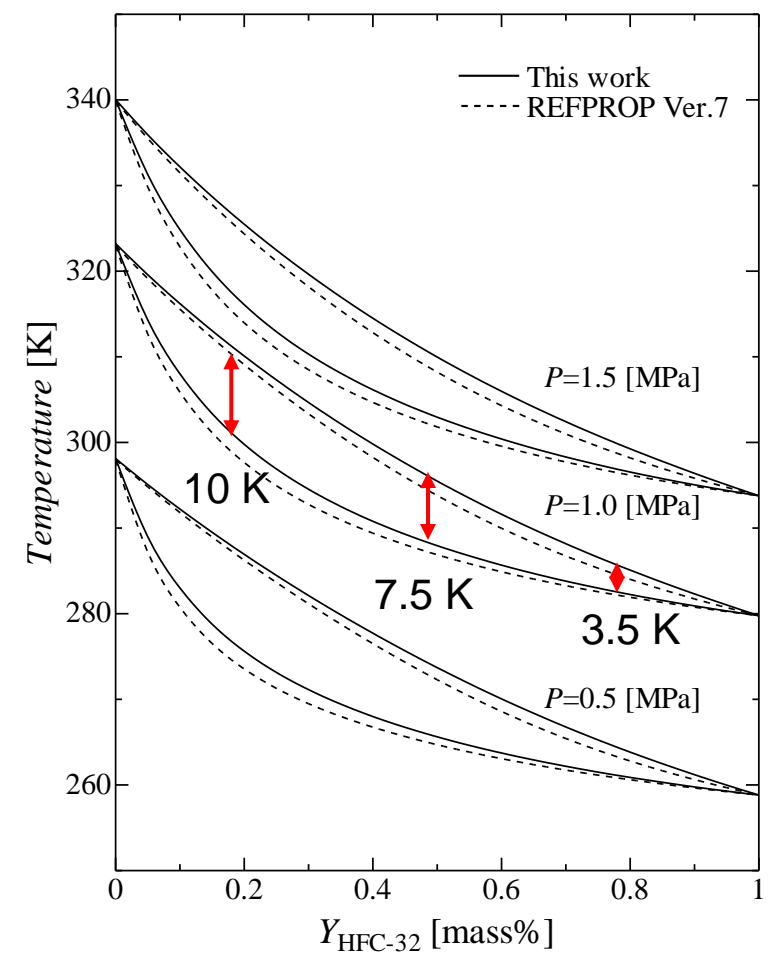
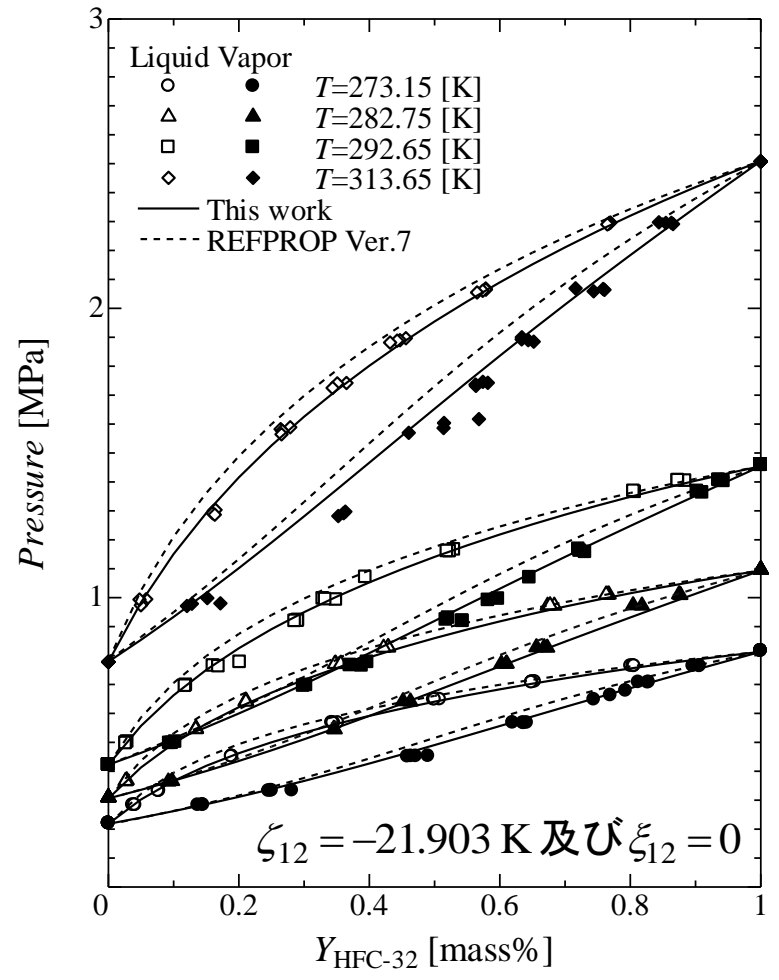


青線: REFPROPによる計算結果

赤線: 後述する本研究による計算結果

(a1) 気液相平衡の測定

HFO-1234ze(E) + HFC-32混合冷媒について、等温条件 (T=0, 10, 20, 40 °C)での相平衡の測定し、状態方程式の混合パラメータ最適化



(a2) 混合冷媒の状態方程式の混合パラメータの決定

(NIST Refpropにおける混合パラメータの最適化)

本研究で実測したデータを利用して、パラメータの最適化することにより、混合系でもREFPROPを使って、高精度での熱物性計算ができるようになった。

純物質状態式

HFC-32 Tillner-Roth and Yokozeki (1997)

HFO-1234ze(E) McLinden et al. (2010)

混合モデル

KW4 model (Kunz and Wagner model)

決定した混合パラメータ

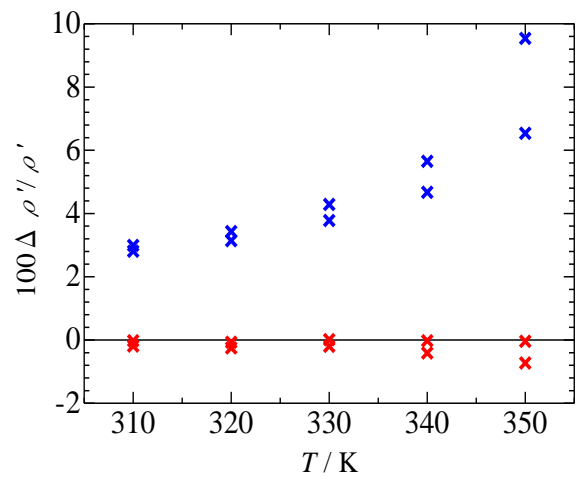
$$\beta_T = 0.99725$$

$$\beta_V = 1.0000$$

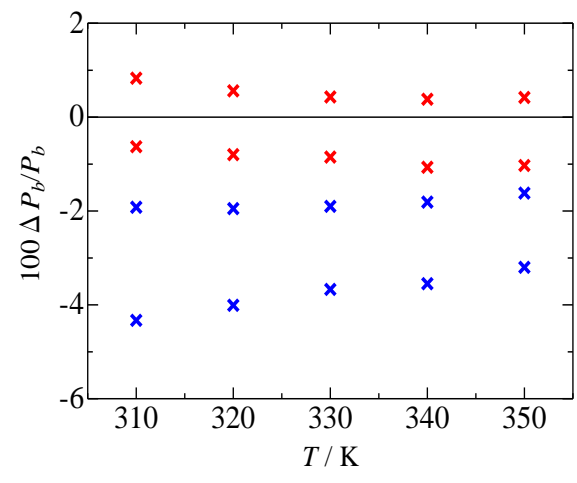
$$\gamma_T = 0.96064$$

$$\gamma_V = 1.0229$$

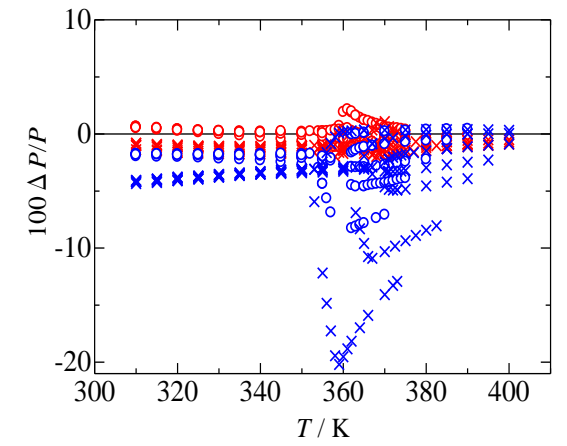
$$F_{ij} = -0.99950$$



飽和密度偏差



沸点圧力偏差



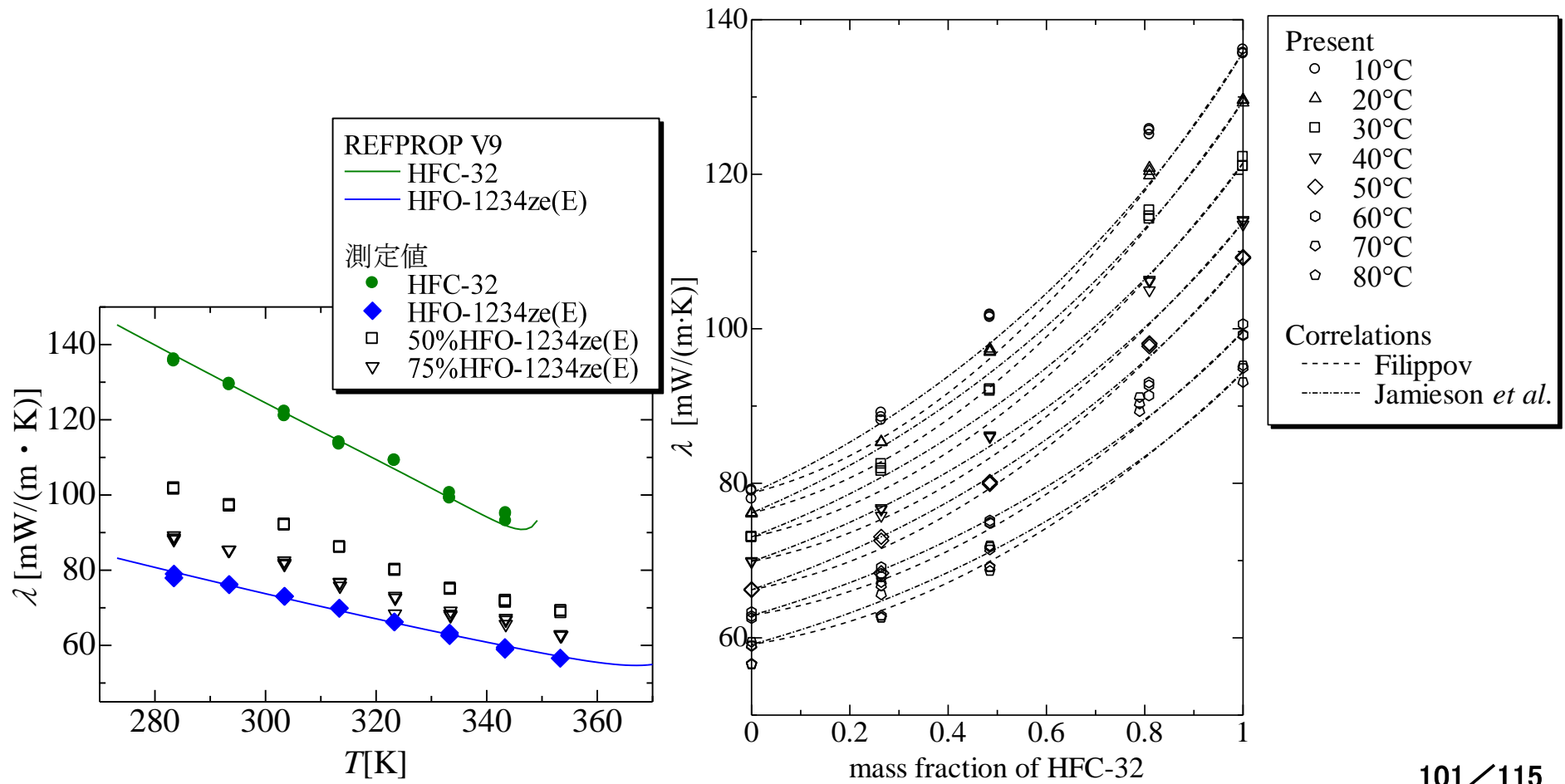
○ 50wt% HFO1234ze(E)+50wt% HFC32
 × 75wt% HFO1234ze(E)+25wt% HFC32

PvTx 圧力偏差

青線：REFPROPによる計算結果、赤線：本パラメータによる計算結果

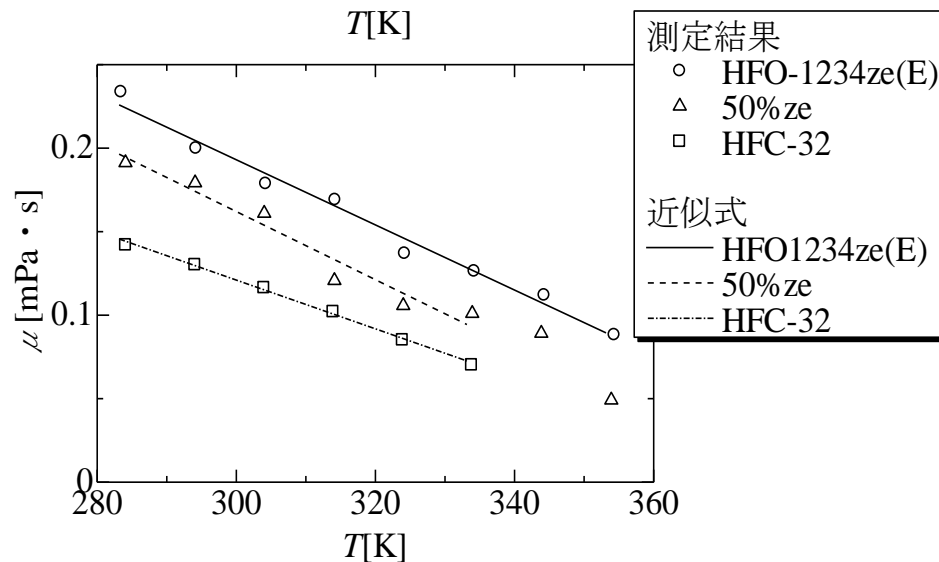
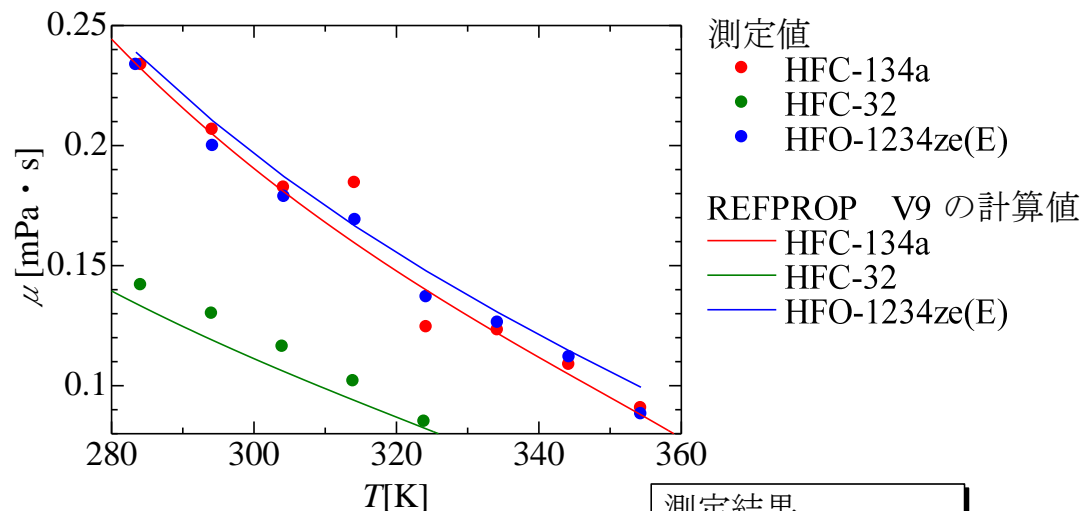
(a3) 飽和液の熱伝導率測定 (二線式非定常細線法による)

- ・0, 50, 75, 100%HFO-1234ze(E) のHFO-1234ze(E) + HFC-32 混合冷媒の飽和液の熱伝導率測定 (温度条件: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80°C)
- ・組成比に対する熱伝導率の変化は緩やかに下に凸の曲線で、従来の予測式 (Filippov の式, Jamiesonらの式) と比較的良好一致



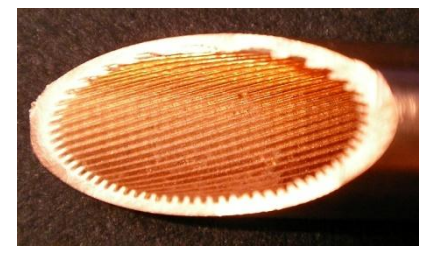
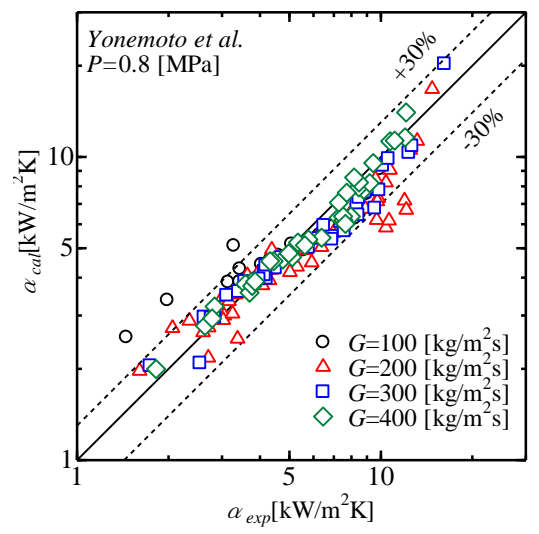
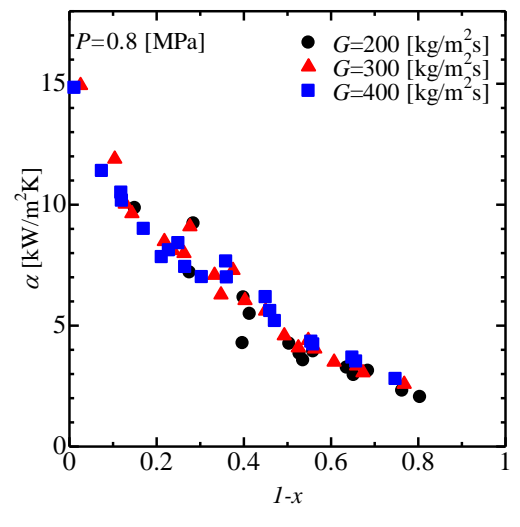
(a3) 圧縮液の粘度測定（往復ピストン方式による）

- ・低粘度域の測定を行うために、HFC-134aを参照流体として粘度計を校正し、HFC-32、HFO-1234ze(E)の粘度を測定
- ・混合冷媒HFO-1234ze + HFC-32の粘度を測定

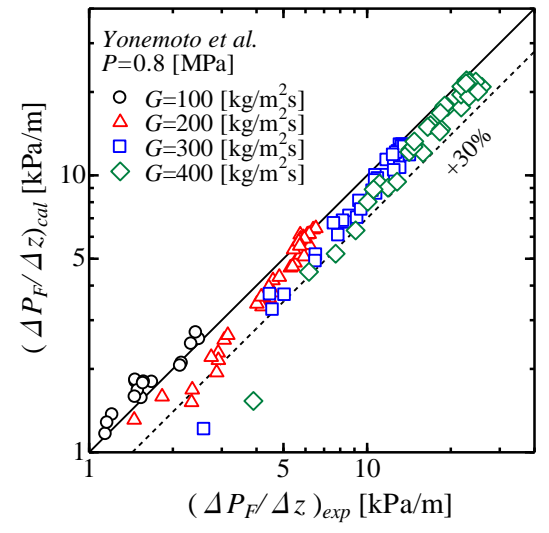
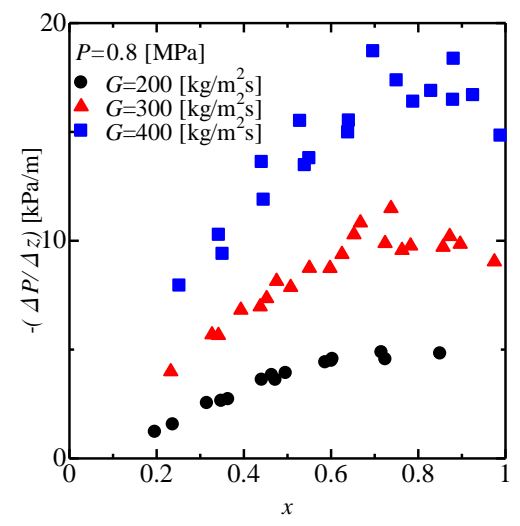


(a1) 水平溝付管内での混合冷媒の凝縮・沸騰特性の測定

☆ 熱伝達・圧力損失特性 (HFO1234zeの凝縮の場合)



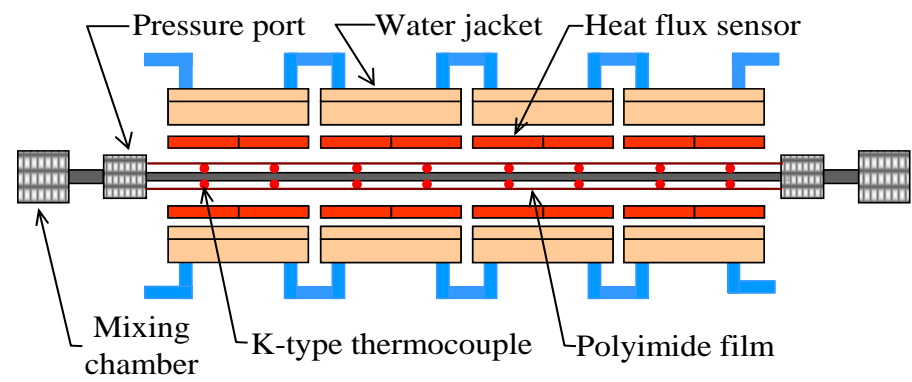
外径: 6.05 mm
 条数: 58
 底肉厚: 0.34 mm
 リード角: 18.8 °
 面積拡大率: 2.55



管内蒸発に関しても熱伝達・圧力損失特性を測定し、従来の相関式と比較

混合冷媒についても熱伝達・圧力損失特性を測定

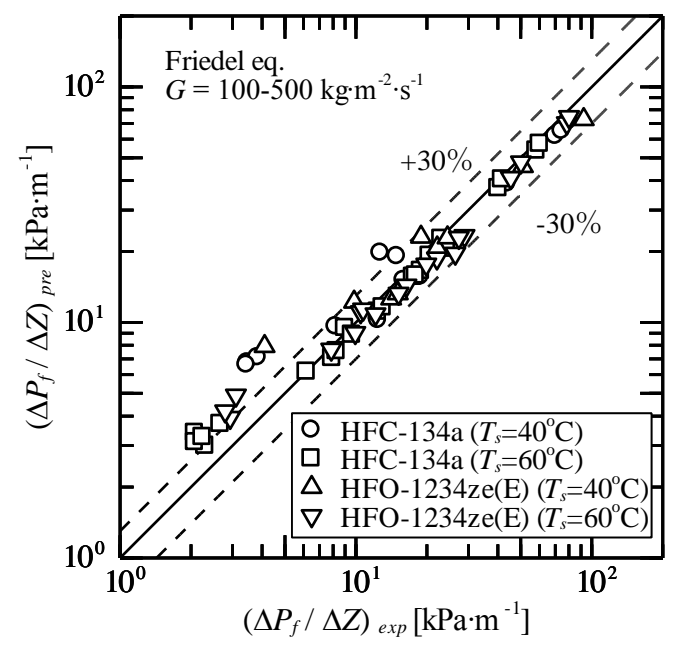
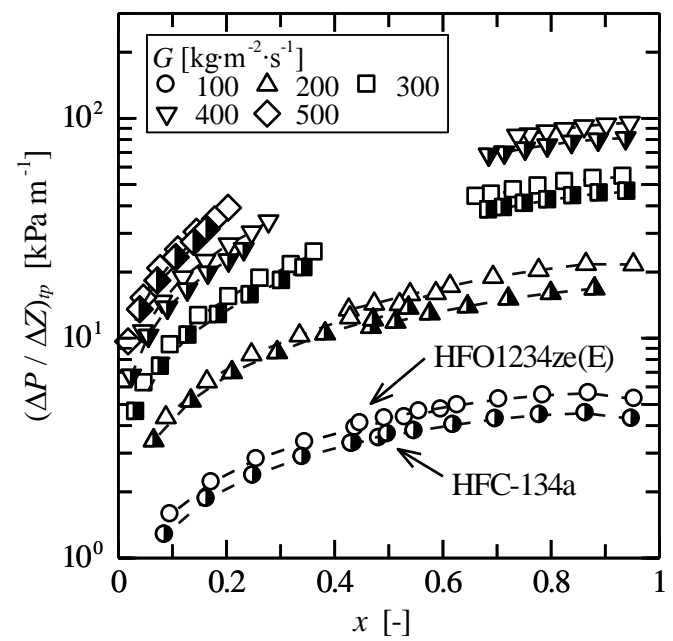
(a1) 扁平微細管内での凝縮・沸騰特性の測定



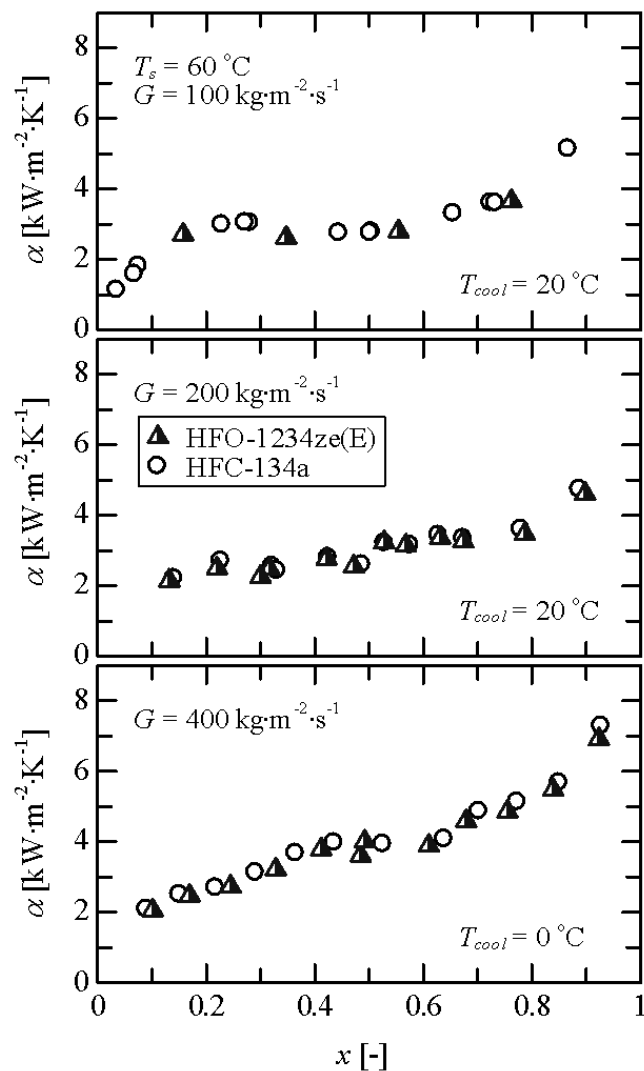
Tube length	[mm]	676
Wetted perimeter	[mm]	52.26
Cross-section area	[mm ²]	11.13
Hydraulic diameter	[mm]	0.85

★摩擦圧力損失特性 (凝縮の場合)

- ・HFO-1234ze(E)の圧力損失は、HFC-134aの**1.2~1.5倍**程度
- ・Friedelの式やMishima-Hibikiの式で予測可能



★熱伝達特性(凝縮の場合)



- ・高乾き度, 高流量で熱伝達は大→強制対流の影響
- ・低質量速度で熱伝達率一定の区間
→微細矩形流路特有の表面張力の影響
- ・HFO-1234ze(E)とHFC-134aの熱伝達率は同程度

$$Nu = \sqrt{Nu_F^2 + Nu_s^2}$$

強制対流凝縮項:

$$Nu_F = 0.049(\Phi_V / X_{tt}) Re_L^{0.7}$$

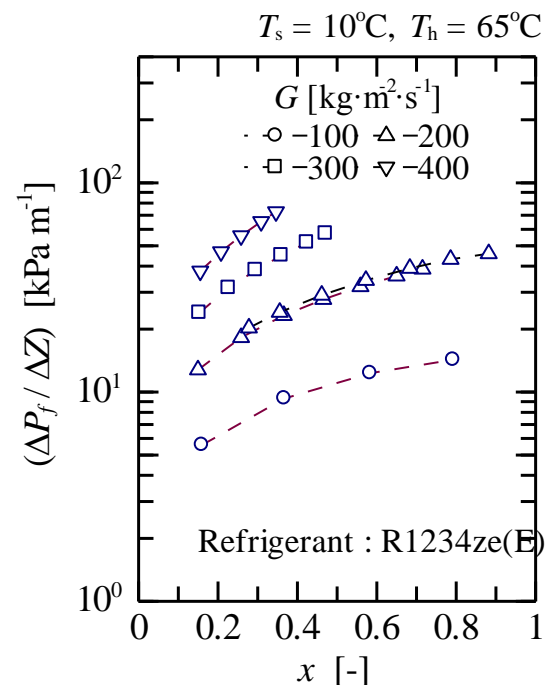
表面張力凝縮項:

$$Nu_s = 0.22 Bo^{0.7} X_{tt}^{-0.2} \left[\frac{\rho_L \Delta h \sigma d}{\mu_L \lambda_L \Delta T} \right]^{0.25}$$

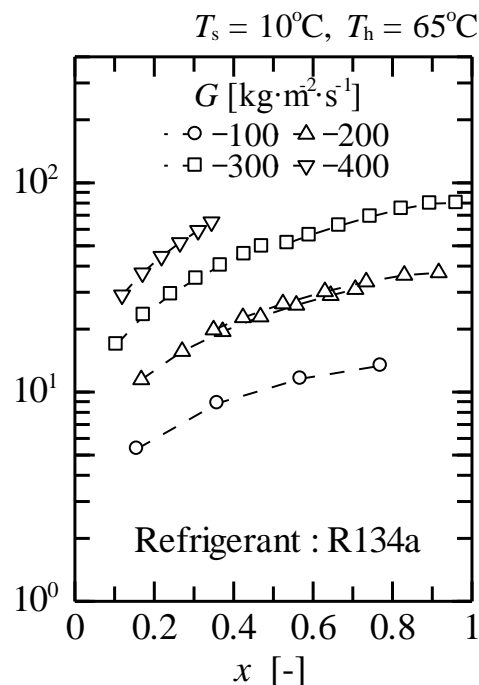
CO₂に対する相関式でHFO-1234ze(E)とHFC-134aの熱伝達率を-30~+30%で予測可能.

☆摩擦圧力損失特性(沸騰の場合)

- ・ HFC-134a, HFO-1234ze(E)及び HFC-32の圧力損失を測定
- ・ HFO-1234ze(E) > HFC-134a >> HFC-32



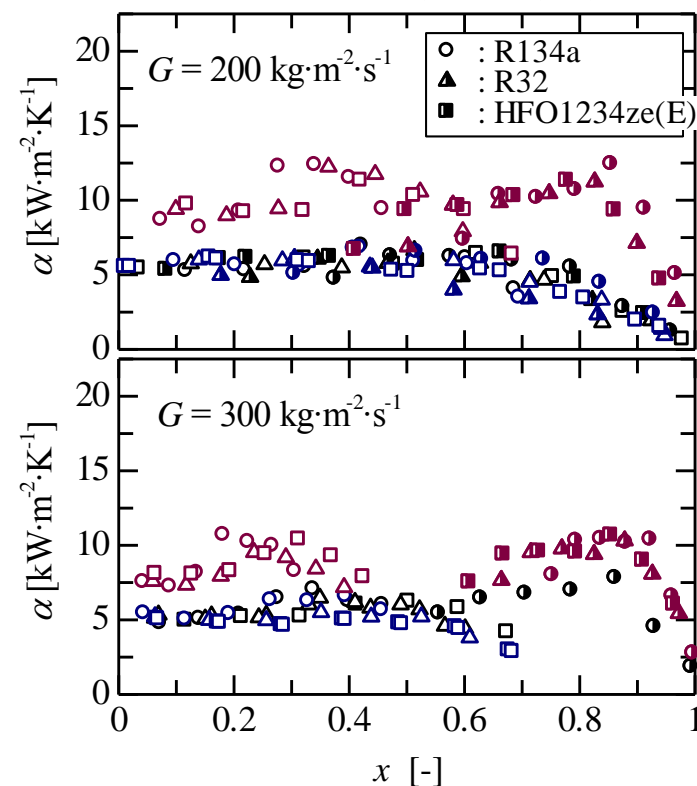
(a) R134a



(b) R1234ze(E)

☆熱伝達特性(沸騰の場合)

- ・ HFC-134a, HFO-1234ze(E)及び HFC-32の熱伝達率を測定
- ・ HFC-32 > HFO-1234ze(E) ~ HFC-134a

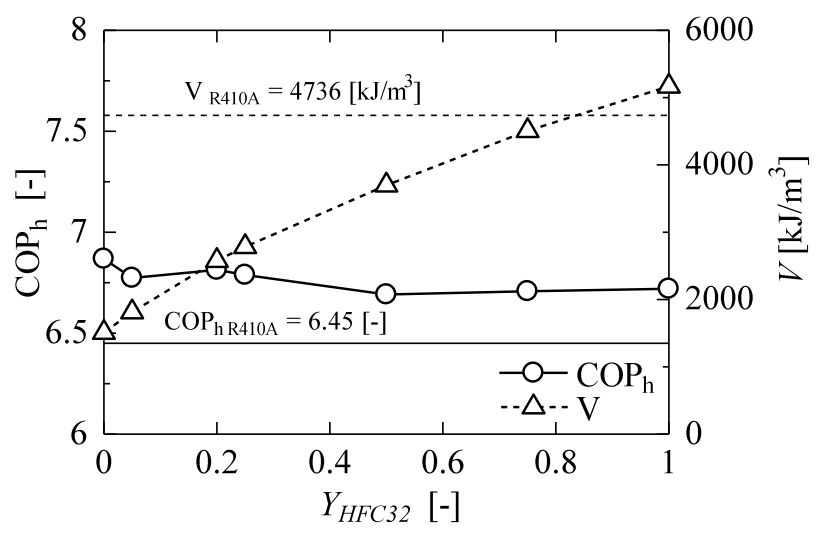
 $T_s = 10^\circ\text{C}, T_h = 65, 80, 90^\circ\text{C}$


※ 測定精度の改善が必要

(b) HFC1234ze混合冷媒を用いたルームエアコンの性能予測計算

(b1) 熱力学的性能解析

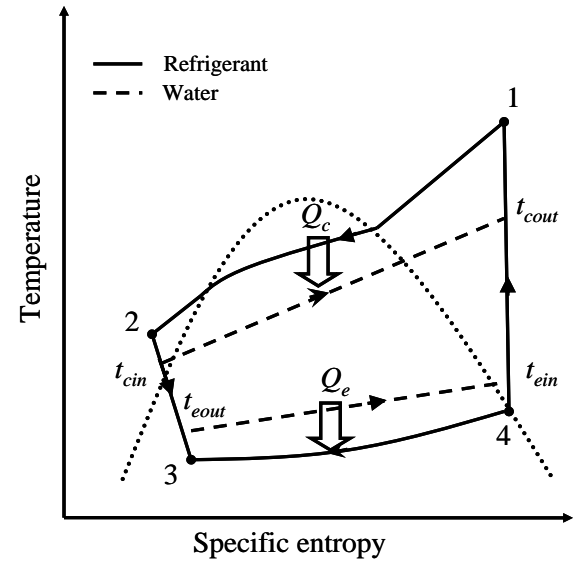
$T_{cond}=30^{\circ}C, dT_{sub}=0K$
 $T_{evap}=-3^{\circ}C, dT_{sup}=3K$



	R410A	HFO1234ze(E)+HFC32				
		0 m% HFC32	20 m% HFC32	50 m% HFC32	75 m% HFC32	100 m% HFC32
蒸発圧力 (MPa)	0.725	0.193	0.341	0.521	0.644	0.738
凝縮圧力 (MPa)	1.886	0.583	0.994	1.428	1.78	1.928
冷凍能力 (kJ/kg)	174.12	144.65	172.35	201.81	230.24	262.98
体積能力 (kJ/m³)	4735.98	1509.28	2577.67	3698.37	4506.95	5167.56
圧縮仕事 (kJ/kg)	31.98	24.65	29.65	35.46	40.34	45.98
圧縮機効率	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
COP _h	6.45	6.87	6.81	6.69	6.71	6.72
COP比(対R410A)	1.00	1.07	1.06	1.04	1.04	1.04
冷凍能力 (USRt/(m³/s))	1346.60	429.14	732.92	1051.57	1281.48	1469.31
冷凍能力比(対R410A)	1.00	0.32	0.54	0.78	0.95	1.09
GWP	1730	6	135	328	489	650

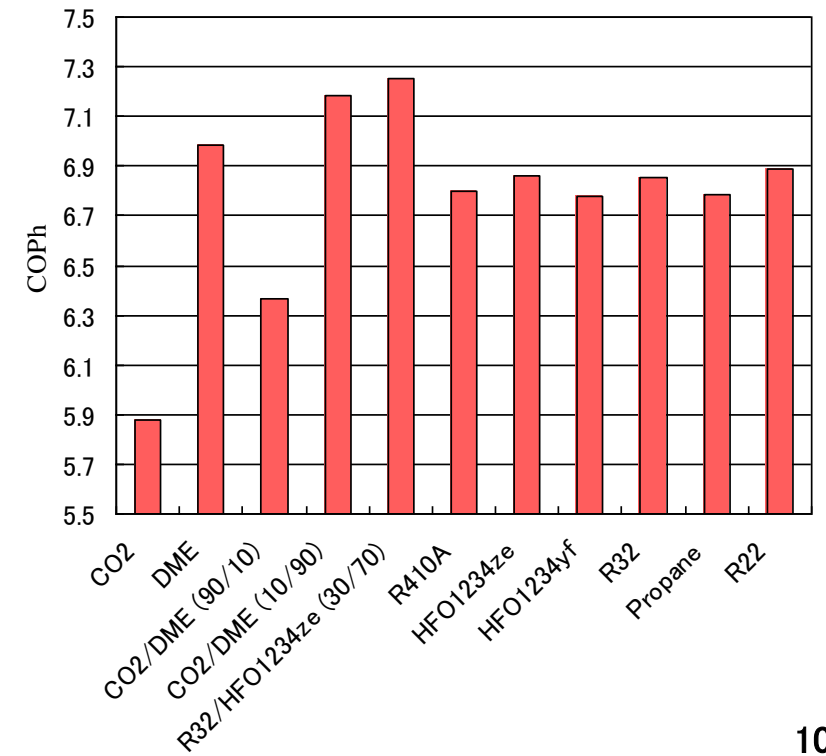
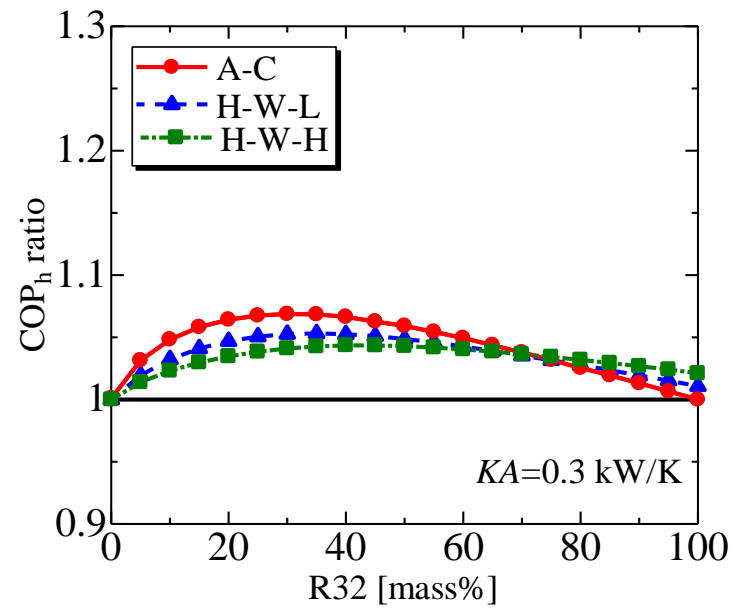
- ・HFO単体では、R410Aに比して、COPは107%であるが、冷凍能力は32%程度。
- ・HFOにR32を添加しても、COPはR410Aに比して若干高い値を維持する。
- ・HFOにR32を添加すると、冷凍能力はR410Aに近づく。ただし、GWPは増加。

(b2) 熱交換器特性を考慮したサイクル性能予測法



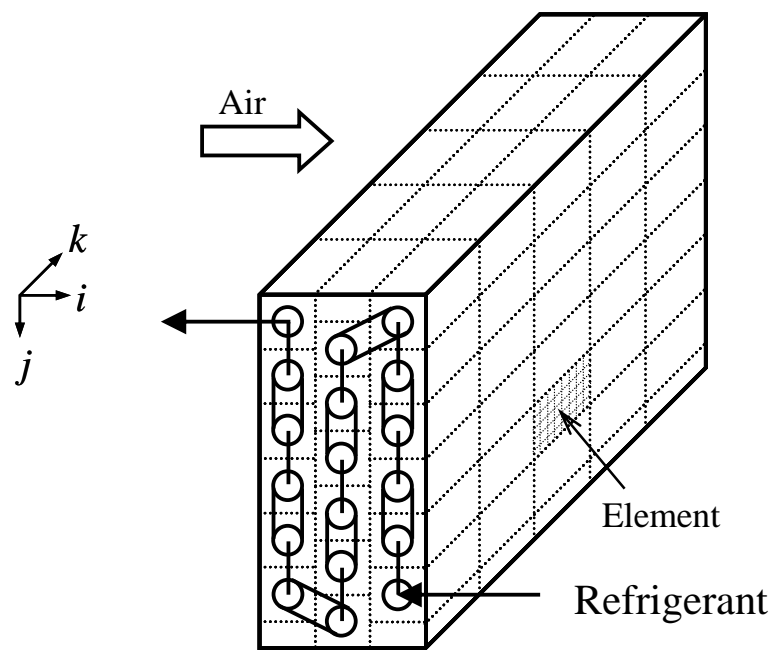
ヒートポンプ運転条件

Operating mode	A-C	H-W-L	H-W-H
Q_c [kW]	3.0	3.0	3.0
KA [kW/K]	0.3	0.3	0.3
t_{cin} [°C]	20	20	20
t_{cout} [°C]	45	65	90
t_{ein} [°C]	20	20	20
t_{eout} [°C]	5	5	5

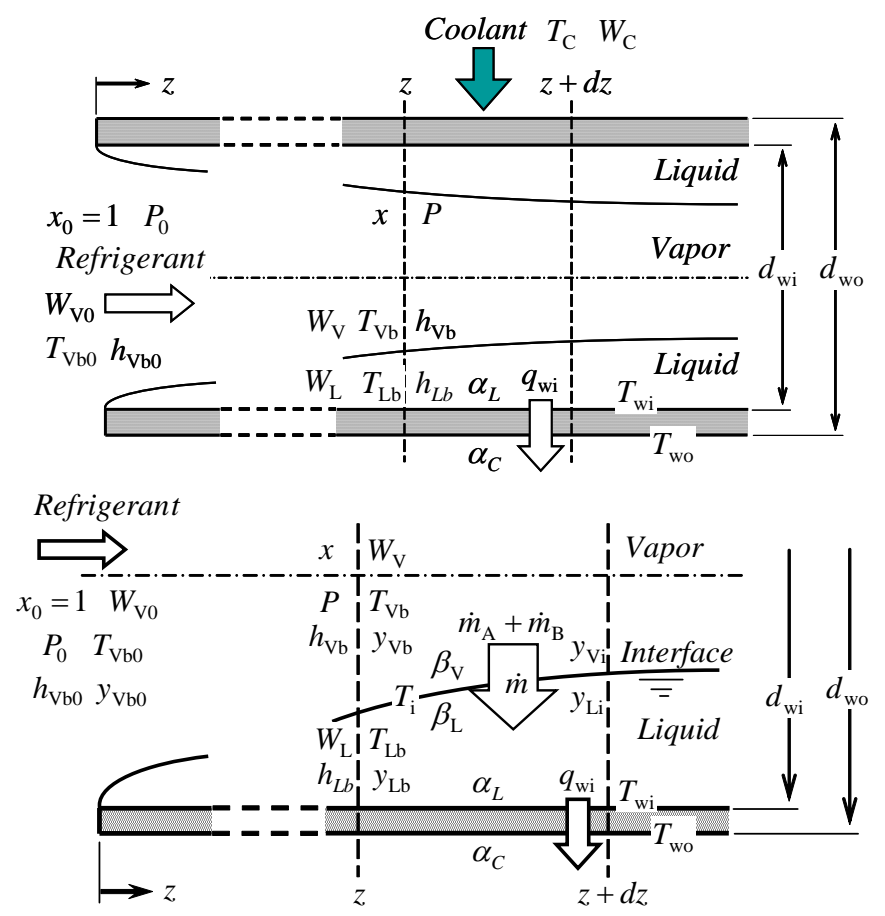


(b1) 空気熱源ヒートポンプサイクル性能予測法

☆ シミュレーションアルゴリズムの構築

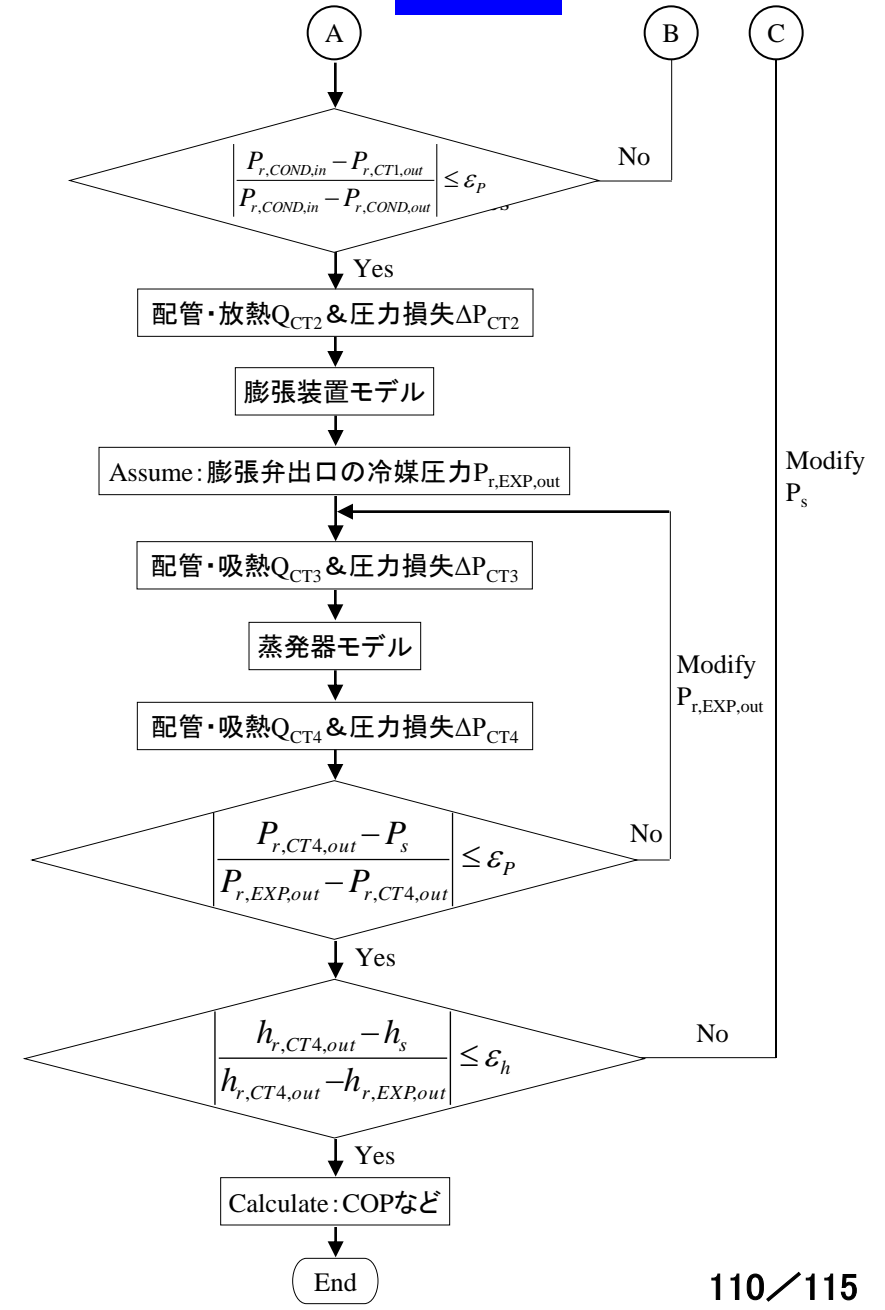
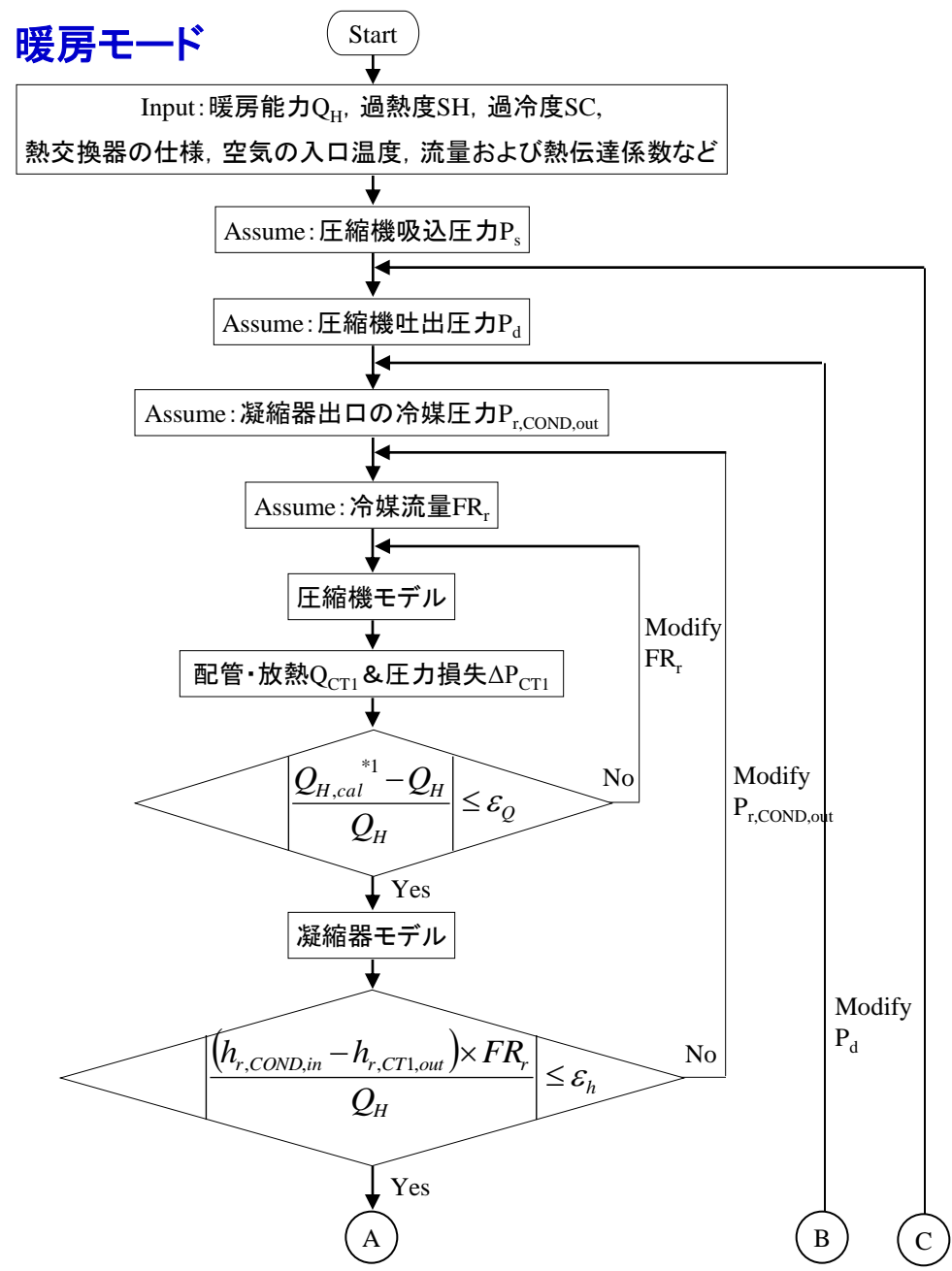


向い直交流型フィン&チューブ式凝縮器



凝縮器熱交換特性予測モデル

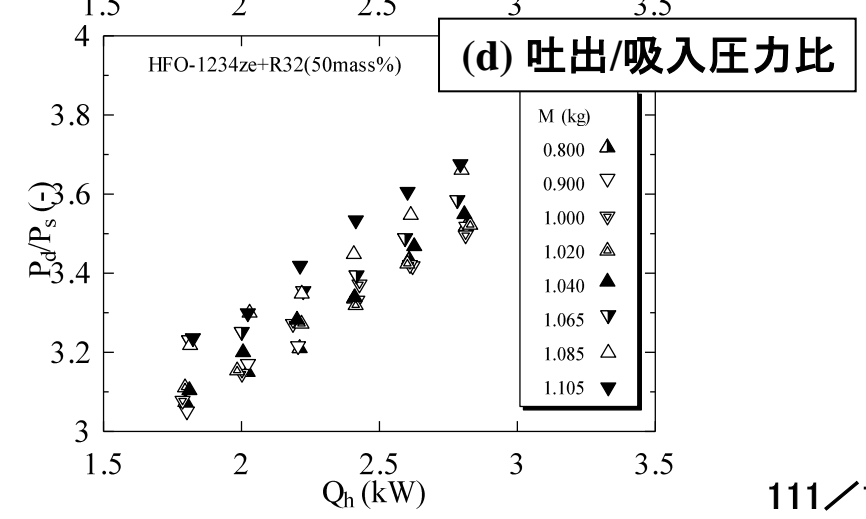
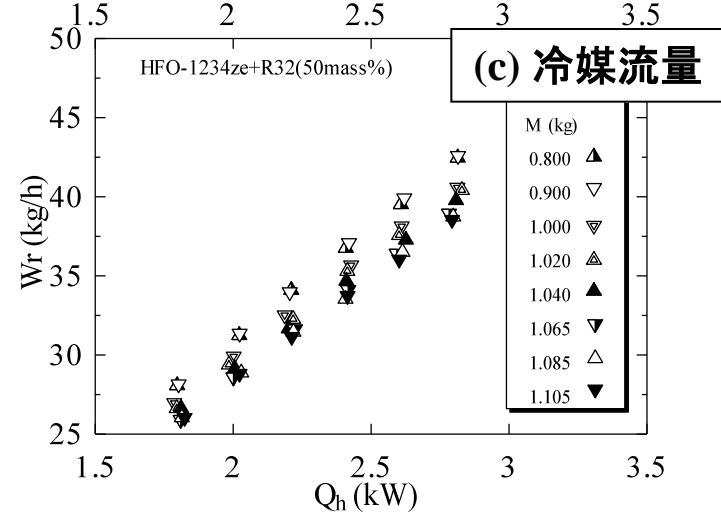
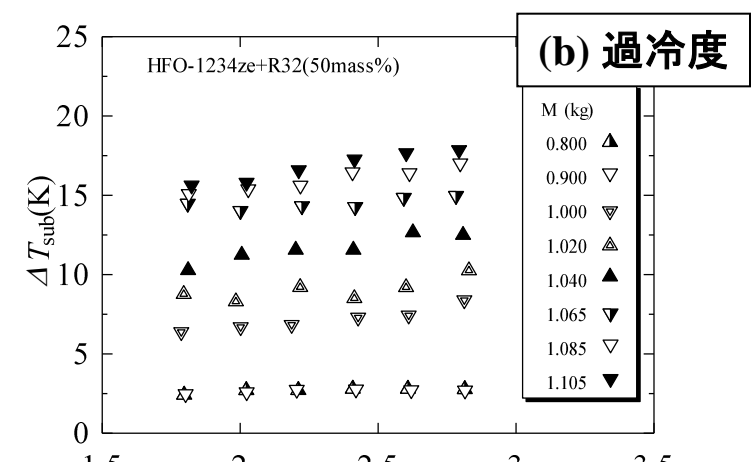
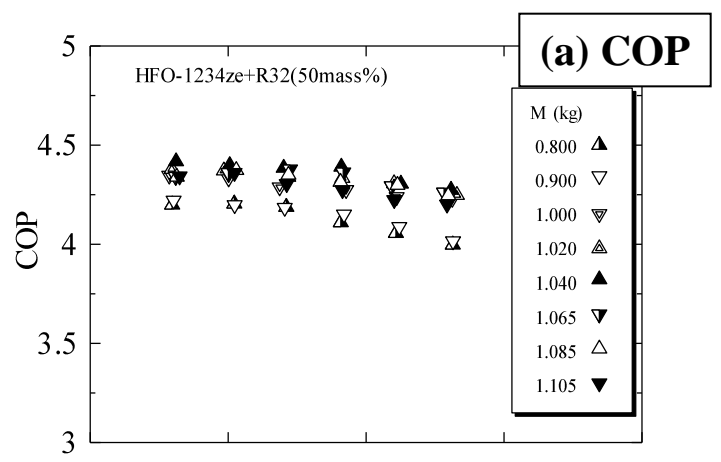
暖房モード



(c) HFC1234ze混合冷媒のドロップイン試験

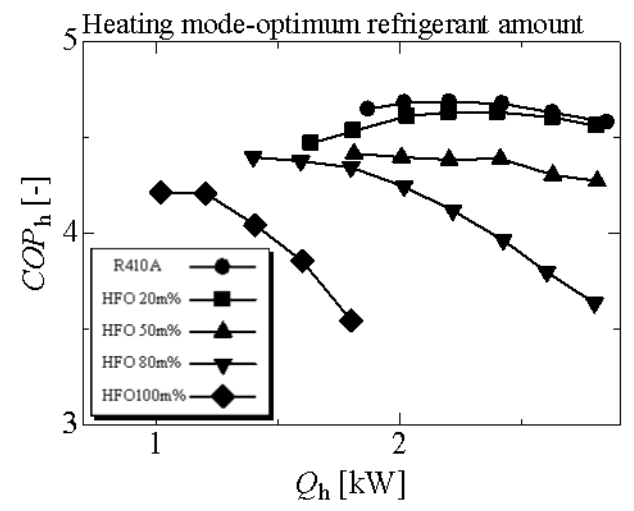
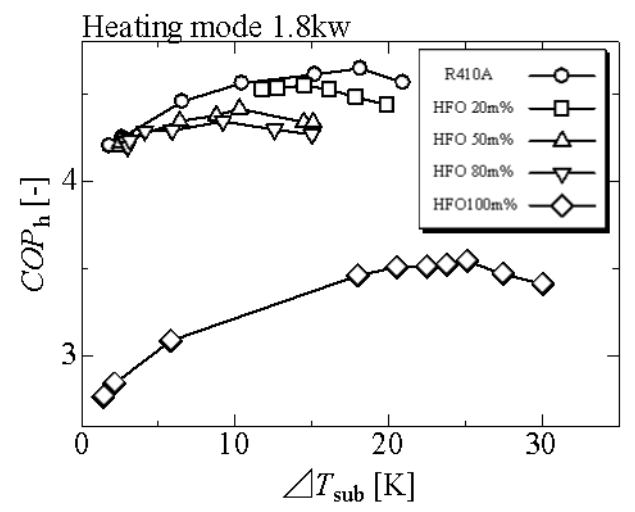
・R410A及びHFO-1234ze(E)/HFC-32混合冷媒(組成比:100, 80, 50, 20%)の暖房及び冷房試験及びデータ解析を実施

★ 50m%HFO-1234ze/50m%HFC-32のドロップイン試験結果(暖房条件)



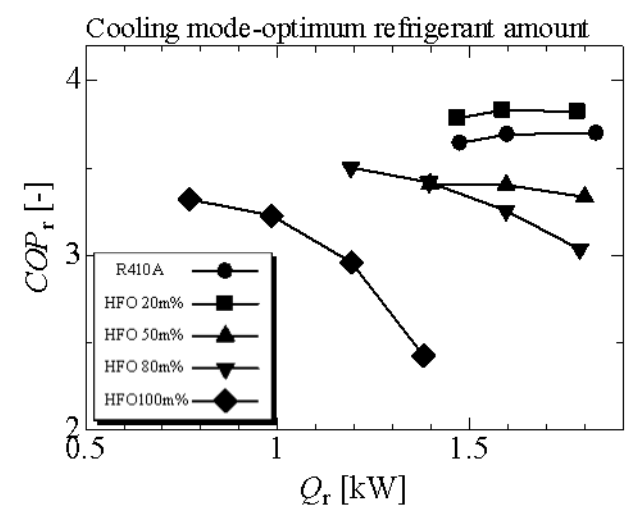
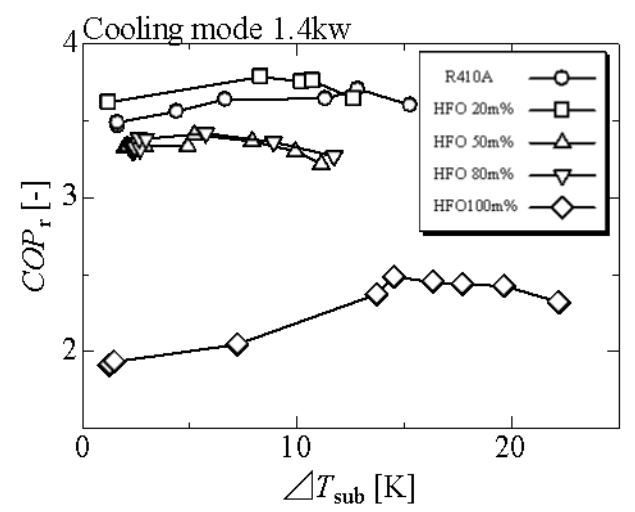
☆ ドロップイン試験による性能比較 (暖房条件)

・R410AのCOP比:HFO100%は-24%, HFO80%は-6.5%, HFO50%は-5%, HFO20%は-0.75%



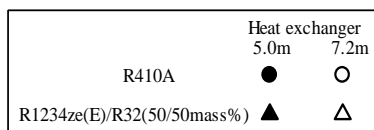
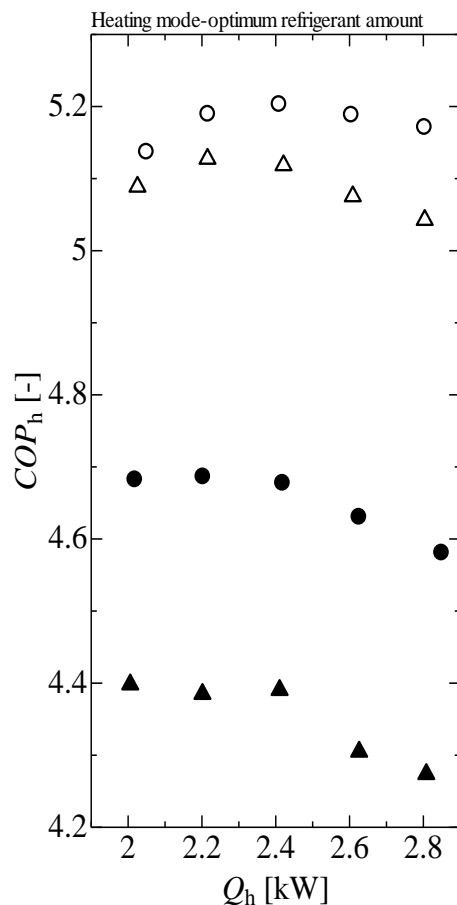
☆ ドロップイン試験による性能比較 (冷房条件)

・R410AのCOP比:HFO100%は-33%, HFO80%は-8%, HFO50%は-8%, HFO20%は+2%

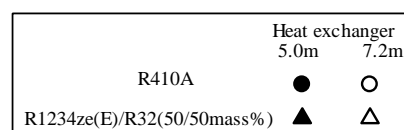
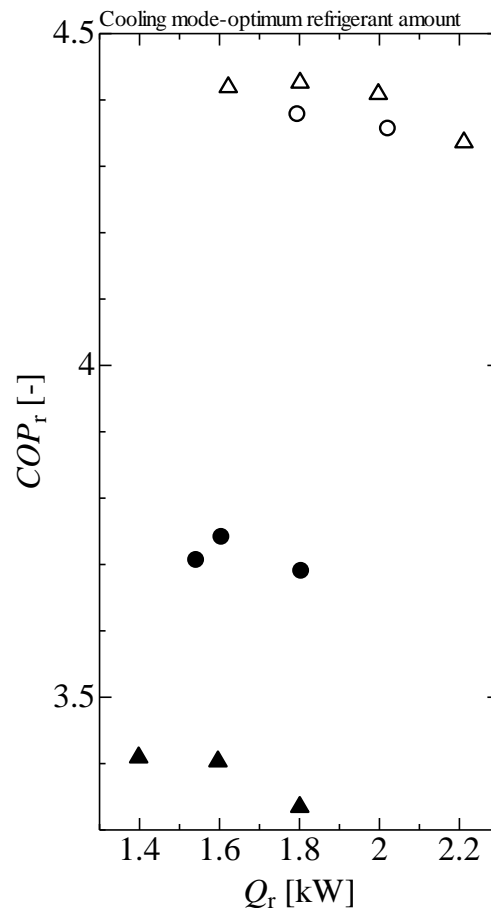


★ 熱交換器サイズがサイクル性能に及ぼす影響

暖房条件

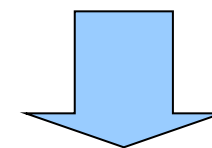


冷房条件



熱交換器伝熱管長を1.4倍とした場合

- ・HFO1234ze混合冷媒の方がR410Aに比して性能改善率が高い
- ・HFO1234ze混合冷媒の性能はR410Aとほぼ同等の性能

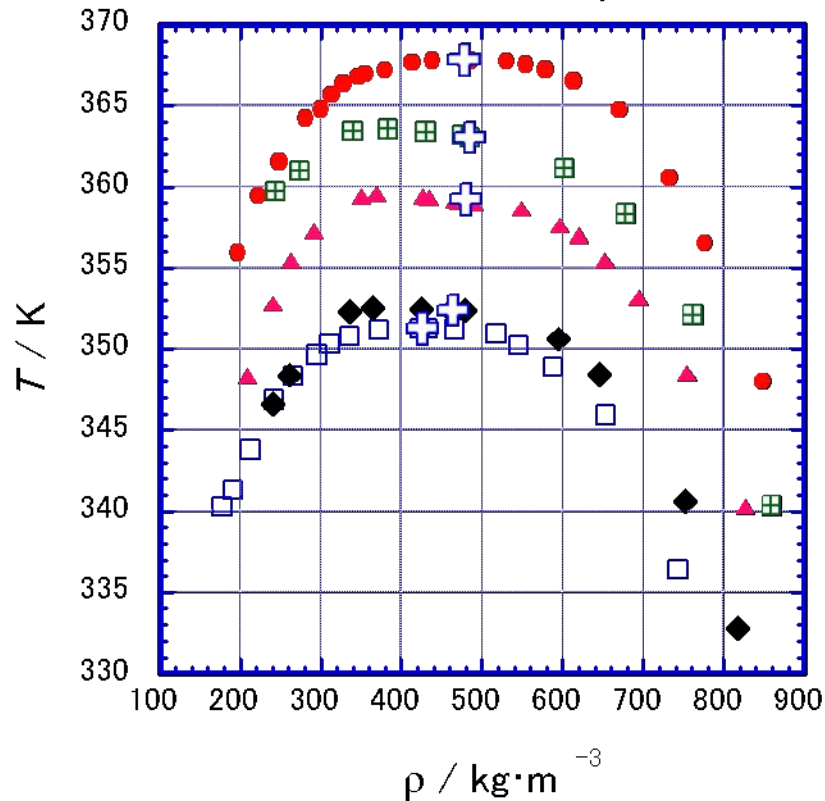


HFO-1234ze(E)/HFC-32系混合冷媒はルームエアコン用冷媒として現在使用されているR410Aの代替冷媒として十分使用可能であることを実証.

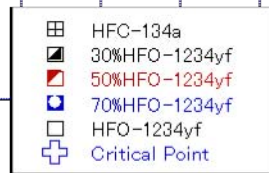
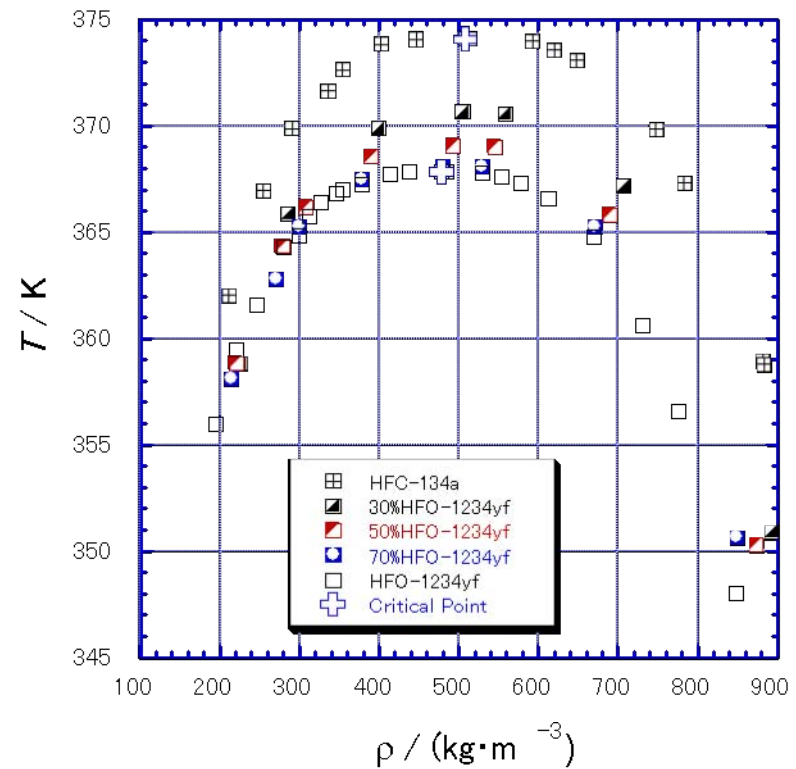
(d) HFO1234yf混合冷媒の熱物性の測定

(d1) 飽和密度と臨界軌跡の測定

・HFO-1234yf + HFC-32
HFO-1234yf + HFC-32

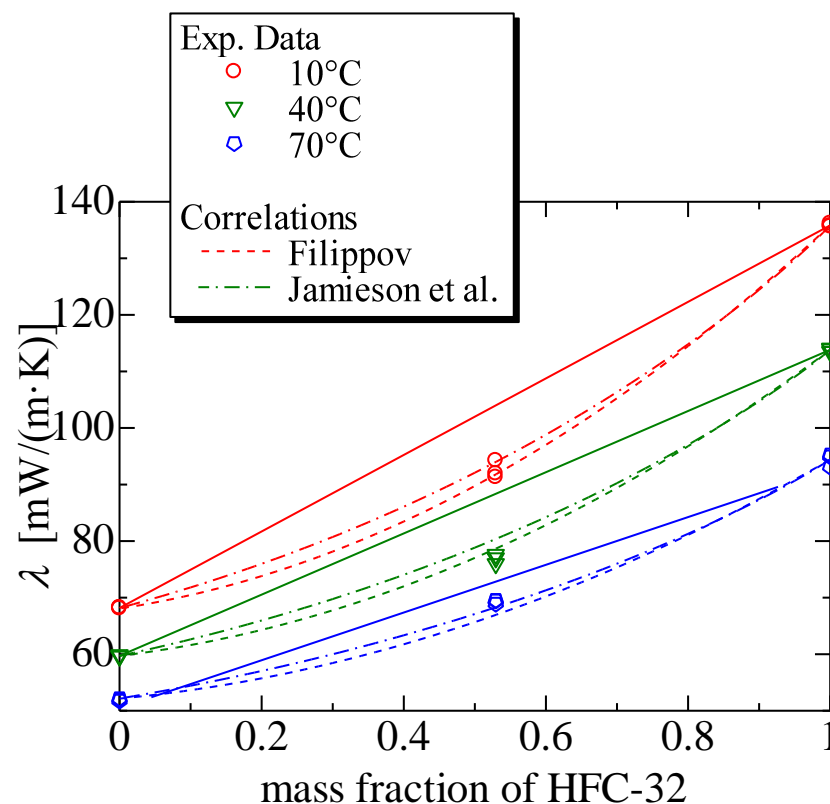
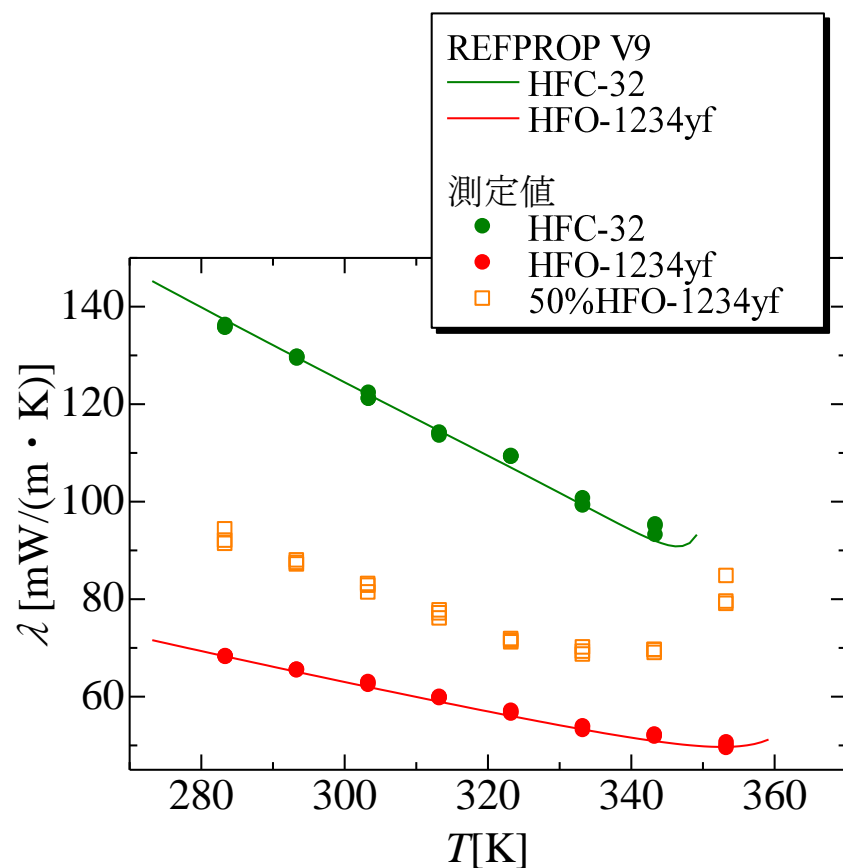


・HFO-1234yf+ HFC-134a
HFO1234yf+HFC134a



(d2) 飽和液の熱伝導率測定

- 0, 50, 100%HFO-1234yf のHFO-1234yf + HFC-32 混合冷媒の飽和液熱伝導率測定(温度条件: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80°C)
- 従来の予測式(Filippovの式, Jamiesonらの式)と比較的よく一致



[以上]