次世代低ＧＷＰ冷媒の実用化に向けた高効率冷凍空調技術の開発

第６分冊

補助事業：低 GWP 冷媒の対応機器の開発

＜2023～2025 年度進捗報告＞

2026 年 7 月

（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

目次

1. グリーン冷媒を使用したコンデンシングユニットの開発
（日立グローバルライフソリューションズ）. 1

1.1 背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係. 1
1.2 研究開発項目 1
1.3 実施体制 2
1.4 実施概要と目標（中間・最終）と根拠. 3
1.5 成果と意義 5
1.6 具体的技術内容 5

1. グリーン冷媒を使用したコンデンシングユニットの開発
（日立グローバルライフソリューションズ）

キガリ改正を受けて，先進国は 2036 年までに HFC 消費量を GWP 換算値で段階的に 85%削減することが求められている．コンデンシングユニットでは高 GWP の HFC 冷媒を使用しており，低 GWP 冷媒への転換が進められている．しかし，市場に出荷された機器は長期間使用されるため，使用時に漏洩する冷媒が長期にわたり大気に排出され地球環境に影響するため, GWP10 未満のグリーン冷媒への転換および市場投入が効果的である. そこで本研究開発では, グリーン冷媒を使用したコンデンシングユニットを開発し，グリーン冷媒対応機器の普及に貢献する．

1.1 背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

1.1.1 背景

研究開発対象のコンデンシングユニットは，冷凍冷蔵ショーケースやユニットクーラーとの組合せでコンビニエンスストア，スーパーマーケット，冷凍冷蔵倉庫等で広く使用されている．コンデンシングユニットの低 GWP 代替冷媒として CO2 冷媒が既に実用化されているものの，性能において従来フロン冷媒に劣ると言われている．また，経済性においても主要部品がフロン品と共用化できないため割高となり，初期導入コストが高くなるため, 普及の障壁となっている. 一方で近年, ハイドロフルオロオレフィン（HFO）を使った GWP10 未満のグリーン冷媒が冷媒メーカより提案されており，既存機器との共用性を保ちつつ環境負荷低減を実現できる可能性が示されている．

1.1.2 目的

本研究では，現行フロン冷媒機と比較して性能を同等以上とし，かつ初期導入コストを同等レベルに抑えることを技術目標とし, GWP10 未満のグリーン冷媒を使用したコンデンシングユニットの検討および開発を行う．

これにより，既設機更新を含む市場導入の障壁を低減し，低 GWP 冷媒機器の早期普及を通じて，冷凍・冷蔵分野における温室効果ガス排出削減に貢献することを目的とする．

1.1.3 アウトカム目標との関係

本研究で対象とするグリーン冷媒は，現行冷媒と運転圧力が近く，機器仕様の大幅な変更を必要としない特長を有している．そのため，新規の大型設備投資を伴うことなく，施工性や保守・サービス性についても現行機と同等レベルを維持することが可能である．

以上の特性から，既存市場への導入障壁が低く，低 GWP 機器の普及促進に直結する技術であると位置付けられる．

1.2 研究開発項目

研究開発では，低 GWP 冷媒を用いたコンデンシングユニットの実用化を目指し，Table 1.2-1 に示す 7 つの研究開発項目を設定した．

まず，①「シミュレーションによる HFO 混合冷媒の性能評価と選定」および②「冷凍機油及び材料評価と選定」を実施し，冷媒特性および信頼性の観点から基礎検討を行った．これらの結果を踏まえ，選定冷媒に適合した③「圧縮機の設計」および④「コンデンシングユニット設計」を行い，長期信頼性を確保できる仕様を検討した．

次に，③で得られた設計結果を基に⑤「圧縮機試作及び性能信頼性評価」を実施し，開発した圧縮機を

搭載した⑥「コンデンシングユニット試作及び性能評価」を行った．最終段階として，試作したコンデンシングユニットをショーケースと接続し，実店舗模擬試験室において⑦「長期モニタ試験」を実施し，性能および信頼性を総合的に評価した．

Table 1.2-1　Research and Development Items

Item	Title	Overview
No.1	Performance Evaluation and Selection of HFO Refrigerant Mixtures by Simulation	Using our proprietary simulation technology to shorten evaluation time, we will study refrigerant types and compositions and estimate their performance. Based on these results, candidate Refrigerant Mixtures will be evaluated and selected.
No.2	Evaluation and Selection of Refrigeration Oils and Materials	Stability evaluation of refrigeration oils and material compatibility assessments will be conducted to identify issues related to long-term product reliability. In addition, appropriate refrigeration oils and materials will be selected for the proposed Refrigerant Mixtures.
No.3	Compressor Design	Based on the findings obtained from Items No.1 and No.2, compressors will be designed using in-house compressor development technology to ensure long-term reliability.
No.4	Condensing Unit Design	The following performance enhancement measures will be implemented, and their combined effects on performance improvement will be evaluated: ・Compressor injection port design ・Injection control technology ・Subcooling bypass technology ・Air heat exchanger technology ・Optimization of fan design
No.5	Prototype Development of Compressor and Performance/Reliability Evaluation	Prototype compressors will be manufactured and preliminary tests will be conducted. In the event of any issues, improvements will be made to the prototype compressors.
No.6	Prototype Development of Condensing Unit and Performance Evaluation	Prototype condensing units will be fabricated to evaluate and verify performance enhancement measures. If any issues occur, improvements will be implemented on the prototype units.
No.7	Monitoring Evaluation under Actual Store-Equivalent Conditions	A condensing unit will be connected to display cases and long-term monitoring tests will be conducted in a test facility simulating actual store conditions. Performance and reliability will be evaluated to confirm that there are no issues during long-term operation.

1.3 実施体制

本研究の実施体制を Figure 1.3-1 に示す．本研究は，日立グローバルライフソリューションズを中心として実施した．

ただし，コンデンシングユニットは単体では製品として成立しないため，図中に記載していないショーケースメーカにも外注という形で評価協力をいただいた．

さらに，冷媒メーカおよび冷凍機油メーカからは，冷媒特性情報や材料評価に関する技術的支援を受け，企業連携による体制のもとで研究開発を推進した．

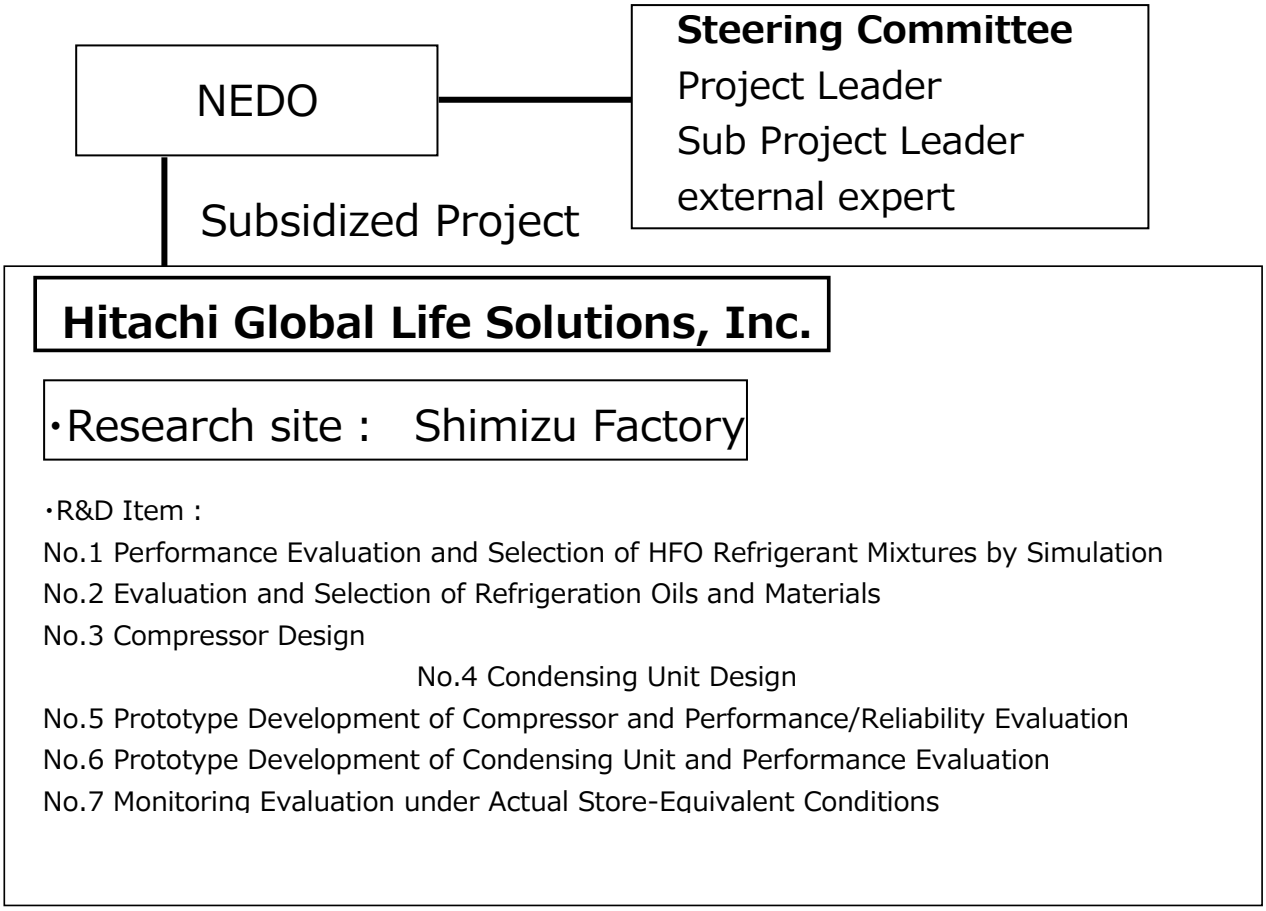


Figure 1.3-1　Project Organization

1.4　実施概要と目標（中間・最終）と根拠

1.4.1　実施概要

前節で説明したとおり，研究開発項目は 7 項目ある．個々の開発項目の関係性を Figure 1.4-1 に示す．①「シミュレーションによる HFO 混合冷媒の性能評価と選定」では，弊社シミュレーションに，冷媒メーカ提供の冷媒物性を組み込んで，冷凍機性能を考慮し，冷媒の選定を行った．②「冷凍機油及び材料評価と選定」では，選定した冷媒に対し，適正な冷凍機油や材料の選定を行った．③「圧縮機の設計」では，選定された冷媒と冷凍機油を使い，長期信頼性を確保できる圧縮機を設計した．③の設計を基に，⑤「圧縮機試作及び性能信頼性評価」では，試作圧縮機の評価を実施した．また選定した冷媒に対し，④「コンデンシングユニット設計」では，性能を考慮した設計を行った．⑥「コンデンシングユニット試作及び性能評価」では，先に試作した圧縮機を搭載した試作ユニットにて，性能評価を実施した．⑦「実店舗相当のモニタ評価」では，製作したコンデンシングユニットにショーケースをつなぎ，実店舗模擬試験室においてモニタ試験を実施する．その後，試作機を用いた性能・信頼性評価を通じて設計妥当性を検証し，得られた知見を設計改善へフィードバックすることで，実使用条件に耐え得る仕様の確立を図った．

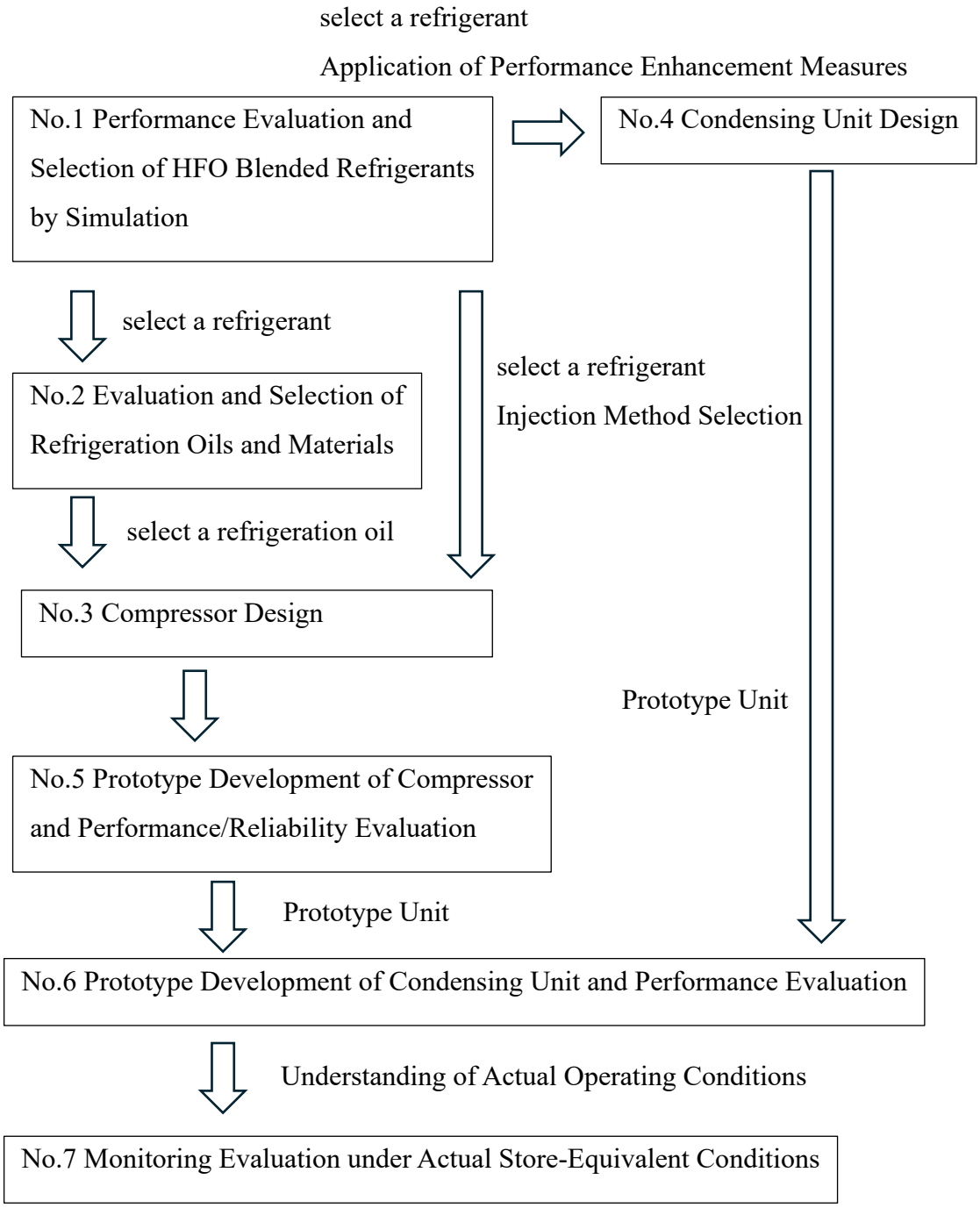


Figure 1.4-1　Correlation Diagram of R&D Items

1.4.2　目標

本研究の目標は，現状市販されているフロン冷媒機と同等以上の性能を実現可能とする要素技術および周辺機器技術の開発の道筋を明確化することである．

具体的には，以下の技術目標を設定した．

1. 冷媒種類，冷媒組成の選定
2. 冷凍機油，材料適合性評価　＊機器の長期信頼性に対する課題リストの作成
3. コンデンシングユニット性能向上策の策定

4. 圧縮機設計および試作機評価　＊機器の長期信頼性　現行機同等
5. コンデンシングユニット設計および試作機評価　＊COP 当社現行機（R448A）比 100%以上

1.5 成果と意義

1.5.1 成果

本研究を通じて，以下の成果を達成した．

・環境性，安全性，省エネルギー性および経済性の観点から，冷凍機用途に適した低 GWP 冷媒として R474B を選定した．

・冷凍機油の熱化学的安定性について検討を行い，適切な冷凍機油および材料を選定し材料適合性評価した．

・冷媒に対応した圧縮機を設計し試作機製作することで，現行機と同等以上の信頼性を確保できる見通しを得た．

・R474B に対応した圧縮機およびコンデンシングユニットの試作・評価を行い，現行機同等以上の COP を達成した．

1.5.2 意義

本研究成果により以下の意義がある．

・現行フロン冷媒機と同等の性能およびコストで，R474B への冷媒転換が可能であることを示した．

・R474B は CO_2冷媒と比較して運転圧力が低く，耐圧設計，施工性，メンテナンス性の面で現行機との親和性が高い．

・R474B コンデンシングユニットは既設機更新を前提とした市場においても導入が容易であり，低 GWP 冷媒機器の普及を通じたカーボンニュートラル実現に大きく寄与する技術である．

1.6 具体的技術内容

1.6.1 研究開発項目①シミュレーションによる HFO 混合冷媒の性能評価と選定

低 GWP 冷媒を用いたコンデンシングユニットの実現にあたり，冷媒の選定は性能・安全性・信頼性・経済性を左右する最重要要素である．本研究では，当社が保有する冷凍サイクルシミュレーション技術を用い，複数の HFO 混合冷媒候補について机上検討を実施した．

具体的には，冷媒組成の違いによる冷凍能力，COP，吐出温度，圧縮比等のサイクル特性を算出し，従来フロン冷媒との比較評価を行った．併せて，可燃性区分や GWP 値といった安全性・環境性の観点も含め，総合的な評価を実施した．

冷凍機用途向けの R1132(E)混合冷媒については，冷媒メーカより冷媒情報を提供頂き，それらを反映したシミュレーションを実施した．その結果，性能面および安全面のバランスが最も目標条件に合致する冷媒として R474B を選定した．

本選定により，現行フロン冷媒に近い運転条件を維持しつつ，GWP を大幅に低減できる見通しを得た．

1.6.2 研究開発項目②冷凍機油および材料評価と選定

R474B は低 GWP である一方，現行フロン冷媒と比較して冷凍機油の熱化学的安定性に課題があることが想定された．そのため，本研究では冷媒と冷凍機油，ならびに圧縮機構成材料との適合性評価を重点項目として検討した．

まず，複数の冷凍機油候補について，冷媒雰囲気下での熱安定性試験および化学的劣化評価を実施した．併せて，圧縮機内部を構成する材料について適合性を評価した．

その結果，R474B 使用時においても熱化学的に安定であり，長期運転において性能劣化や材料劣化の懸

念が小さい冷凍機油を選定することができた．また，圧縮機を構成する各部材についても，現行機と同等以上の安定性を有する材料を適用可能であることを確認した．

これにより，R474B を用いた場合でも，現行機と同等の長期信頼性を確保できる見通しを得た．

1.6.3 研究開発項目③圧縮機設計　研究開発項目⑤圧縮機試作および性能信頼性評価

R474B は，現行フロン冷媒と比較して単位循環量当たりの冷凍能力が低下する特性を有している．この課題に対応するため，本研究では圧縮機の外形サイズを変更することなく，高速運転化によって冷媒循環量（押除量×回転数）を増加させる設計方針を採用した．

高速運転化に伴い懸念される軸受部の潤滑状態および信頼性については，事前に要素試験を実施し，軸受摺動部の潤滑状態を把握した．これらの試験結果を基に，現行機の軸受構造を維持したまま，運転範囲の検討を行い，長期間運転していても信頼性を確保できる設計仕様とした．

上記設計に基づき試作圧縮機を製作し，圧縮機単体用ガスサイクル試験装置を用いて性能および信頼性評価を実施した．評価の結果，設計で想定した運転範囲において安定稼働が可能であることを確認した．また，最大回転数条件での信頼性試験においても異常は認められず，長期運転に耐え得る信頼性を有することを確認した．

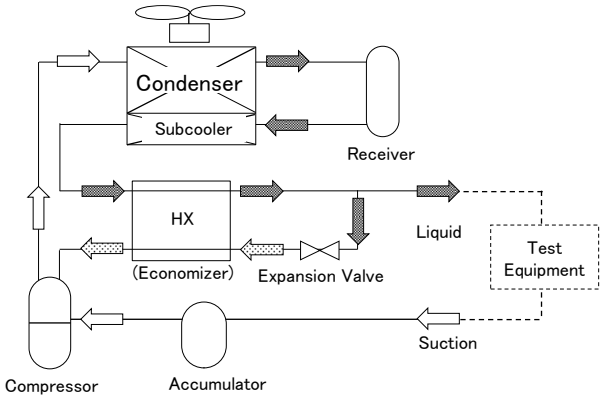
1.6.4 研究開発項目④コンデンシングユニット設計　⑥コンデンシングユニット試作および性能評価

R474B は環境負荷が小さい一方で，従来冷媒 R448A と比較すると性能低下が懸念される．そのため，市場要求である「現行機と同等以上の性能」を満足するためには，性能向上策の検討が不可欠である．

まず，現行コンデンシングユニットに R474B をドロップインした場合の性能をシミュレーションにより評価した結果，COP は現行比 94%程度に低下すると試算された．これを受け，性能低下要因を整理し，熱交換性能向上や過冷却の活用等，複数の COP 向上策を積み上げ検討した．

その後，実機試験によりドロップイン時の性能評価を実施し，計算結果との整合性を確認した．現行冷媒の試験結果と比較すると，低圧側の圧力損失の増加と圧縮機回転数の増加が認められ，圧縮機の効率を調べると，現行機と比べ大きく低下していることが分かった．

低圧側圧力損失低減の一手段として，過冷却回路を追加した試作機を製作し，性能評価を行った結果，＋4.6%の COP 向上効果を確認し，低圧側圧力損失低減が大きな効果があることを確認した．



Result

Capacity	18kW
Evaporating Temperature	-10°C
Suction Vapor Temperature	18°C
Ambient Temperature	32°C
COP (Relative to Current R448A)	93.4%
Compressor Rotational Speed (Relative to R448A)	120%

Factors Causing COP Degradation

・Increase in Pressure Loss of Suction Vapor
・Decrease in Compressor Efficiency Due to Changes in Compressor Speed

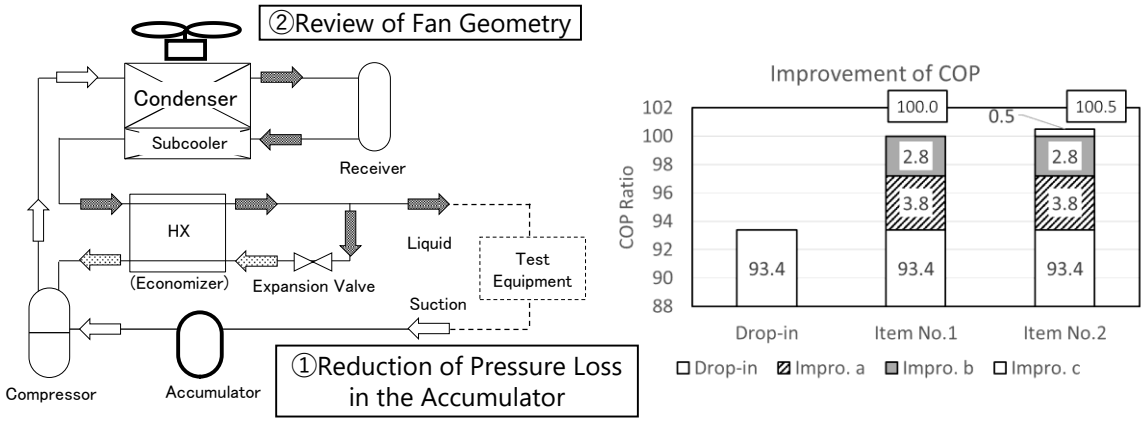
8

Figure 1.6-1　Drop-In Test of R474B on an Existing R448A Unit

試験結果を分析し，低圧部の圧力損失の主原因がアキュームレータにあることが分かったため，アキュームレータの低圧力損失化に取り組んだ．また，当社独自のファン形状開発技術を用いて，ファン効率の改善を行い，ファンモータ入力の低減も行った．Figure 1.6-2 はこれら 2 つの技術を R474B コンデンシングユニットに適用した測定結果である．

アキュームレータの低圧力損失化により，吸入圧力上昇による物性上の COP 向上がなされ，それが+3.8%の効果があった．また同時に圧縮機回転数低下による圧縮機の効率が向上し，COP で+2.8%の効果である．ファン形状の見直しによりファンモータ入力の低減がなされ，COP で+0.5%の効果があった．これらの技術により現行冷媒 COP 比 100.5%を達成した．

これらの結果から，適切な設計改善を施すことで，R474B 使用時においても現行機同等以上の COP を達成可能であることを実証した．



No.	Implementation Items	Improvement	COP Ratio	
-	Drop-In Test	-	-	93.4%
①	Reduction of Pressure Loss in the Accumulator	a. Thermophysical COP Improvement by Increased Suction Pressure	+3.8%	100.0%
		b. Compressor Efficiency Improvement by Reduced Speed	+2.8%	
②	Review of Fan Geometry	c. Reduced Fan Motor Power at the Same Airflow	+0.5%	100.5%

Figure 1.6-2　Cumulative Efficiency Improvement

1.6.5 研究開発項目⑦実店舗相当のモニタ評価

コンデンシングユニットに，ショーケースをつなぎ，実店舗を模擬した試験室において R474B ドロップイン性能試験を実施した．また研究開発項目⑤の試作圧縮機の効果を検証した．

試験はショーケースメーカに外注し，測定条件は年間電力を評価している条件に準拠した．Table 1.6-1 は測定対象のシステム構成であり，Table 1.6-2 は試験結果である．

Table 1.6-1　System Configuration under Measurement

Condensing Unit	Load Side
Our Condensing Unit KX-T8AMV　Modified Unit for R474B	Showcase Manufacturer's Units ・3-ft chilled display cases × 5 units ・6-ft chilled display cases × 3 units ・Walk-in refrigerator × 1 unit

Table 1.6-2　Performance Test Results under Actual Store-Equivalent Conditions

Condition	Ambient Temp. ℃	In-Store Temp. ℃	Current R448A Base		R474B Drop-in		R474B Compressor Change	
			Power Consumption Ratio	Average Compressor Speed	Power Consumption Ratio	Average Compressor Speed	Power Consumption Ratio	Average Compressor Speed
Summer Daytime	32	25	100.0%	30	89.2%	35	89.2%	36
Summer NT / Mid-Season DT	25	25	100.0%	32	94.5%	35	89.5%	33
Mid-Season Nighttime	20	25	100.0%	30	95.8%	32	92.1%	31
Winter Daytime	12	20	100.0%	21	97.6%	25	84.1%	23
Winter Nighttime	7	20	100.0%	21	102.7%	23	89.2%	22
Year-Round			100.0%		95.4%		89.1%	

年間消費電力は，冷媒を現行の R448A から R474B に変更することで 95.4%に低減し，試作圧縮機への変更と若干の冷媒量調整により 89.1%まで低減した．冷媒変更による消費電力低減の主な要因は，同じ能力を発生させるために圧縮機の回転数を増加させた結果，圧縮機が効率の良い範囲で動作できるようになったことが考えられる．本試作圧縮機は部分負荷性能の向上を目的として設計されており，その効果が現れている．