【課題名】自然冷媒を用いたヒートポンプの冷温熱利用による高効率な空調給湯システムの開発・実証（委託）

【代表者】㈱デンソー　榊原　久介

【実施年度】平成30～令和2年度

(1)課題概要

①【課題の概要・目的】

モントリオール議定書のキガリ改正において、HFC冷媒の生産・消費が規制され、先進国は2036年までに段階的に85%削減することとなった。一方で、パリ協定における2050年のCO2排出量削減のために、住宅の高気密高断熱化や機器の更なる省動力化が求められている。本事業ではこれらの国際的な枠組みに対応するために、空調・調湿・給湯のそれぞれの運転を単一自然冷媒にて従来機同等以上の性能を達成することでHFC冷媒からの脱却を図り、更に未利用熱の有効活用にて省動力化を実現する空調・調湿・給湯一体型ヒートポンプ機器の開発を行う。これにより空調・調湿・給湯の負荷バランスに関係なく快適・健康な居住空間を省動力で実現できる。

重要課題：

2-①　廃熱等未利用熱の有効活用を促進する熱利用機器・システムの開発・実証

2-③　ビル内の空調や給湯等の使用時又は待機時のエネルギー消費量を15%程度以上削減するシステムの開発・実証

②【技術開発の内容】

自然冷媒としてCO2冷媒を想定しているが、CO2は従来機（R32）に対して、膨張損失が大きいため、エジェクタで膨張エネルギーを回収し効率を向上させる。さらにインジェクション、デシカント（調湿）、空調給湯併用により従来機以上の省動力化を達成する。

A. 重要な開発要素

A1.【エジェクタ】

従来の給湯条件に対し、空調条件では幅広い流量条件に対応する必要があり、現時点は冷房性能について目標達成の目処付けが完了している。本開発では、他条件に対応できる流路形状の最適化と可変(切替)機構を確立する。

（実用化レベルに2025年到達見込）

A2.【インジェクションコンプレッサ】

システム性能目標達成のためにインジェクションに対応可能な「鏡板片側2段圧縮スクロール」の高効率化が重要であり、現時点では体積効率のポテンシャル確認まで完了している。本開発では損失解析と試作検証を行う。（実用化レベルに2025年到達見込）

A3.【空調給湯技術】

空調・給湯と多岐にわたる作動条件に対応する必要があり、現時点では冷房定格条件について目標達成目処付けを完了している。本開発では他条件でのサイクルバランスの最適化により目標性能の達成をめざす。（実用化レベルに2025年到達見込）

その他の開発要素：

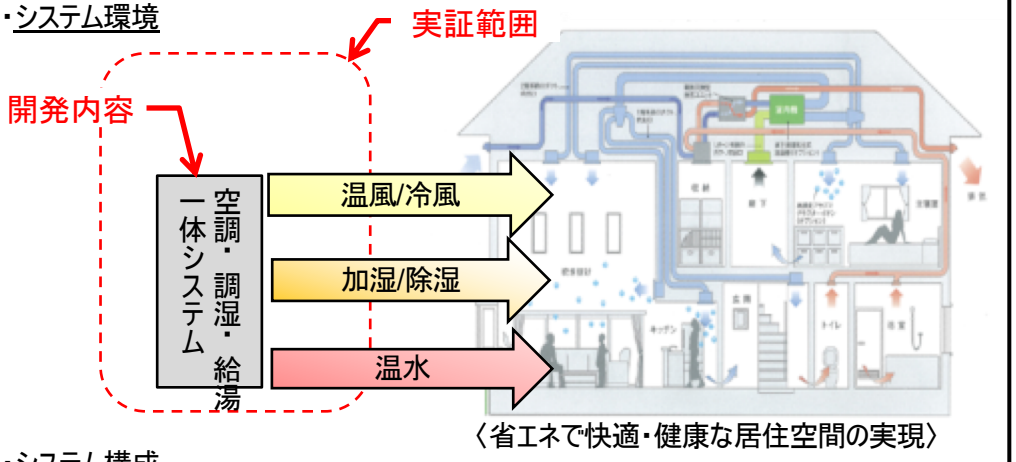
A4.【デシカント空調技術】

B.　開発要素のシステム統合と、C. その実証

A3において、重要な開発要素であるA1、A2の開発要素をシステムへの統合を行う。実証にあたってはH32年度よりデンソーの実証棟にて空調・給湯一体機の評価を行い、従来システムとの比較についてはシミュレーションを活用することとする。

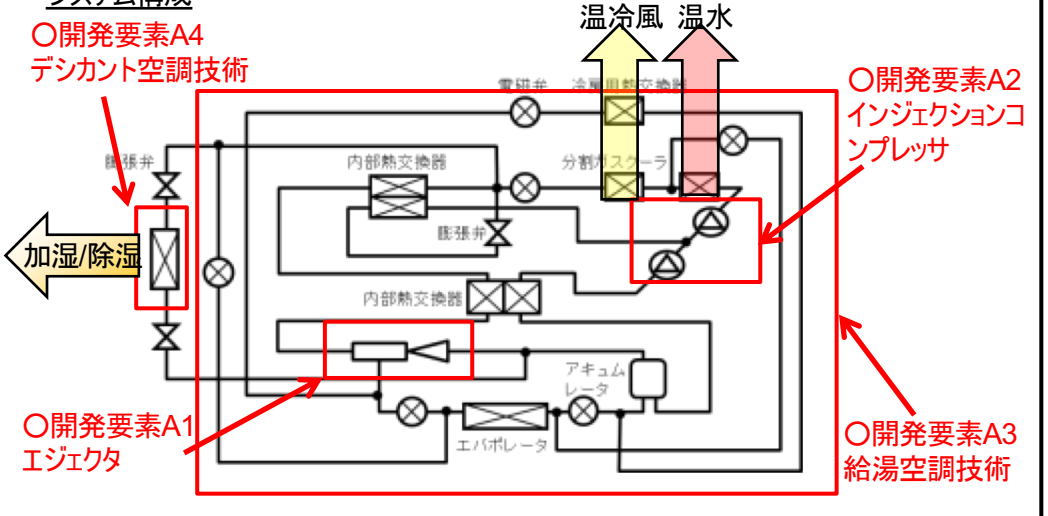
③【システム構成】

・システム環境



〈省エネで快適・健康な居住空間の実現〉

・システム構成



④【技術開発の目標・リスク】

○想定ユーザ・利用価値：新築購入者・光熱費の削減

○目標となる仕様及び性能：空調APF：5.9（R32従来機同等）、給湯APF：3.8

空調・給湯併用により、従来機に対する動力削減：10%

さらにデシカント空調技術併用による動力削減：5%

○開発工程のリスク・対応策：エジェクタの超臨界からの減圧過程やコンプレッサ内部の微小漏れなどに対する現象の解明を進め、性能未達のリスクの早期発見と対応策の実施により機能品およびシステム全体での効率向上を達成する。

(2)実施計画等

①【実施体制】

技術開発代表者

(株)デンソー
榊原　久介

(全体システムの開発、総括)
カーエアコンシステムおよびCO2冷媒H/P給湯システムの開発実績あり
冷凍サイクル分野について30年間の業務実績あり
事業終了後の製品化・販売を担当

再委託者(H30～H31年度)

豊橋技術科学大学
川村　洋介
(エジェクタの開発)
エジェクタ開発に応用できる圧縮性二相流の研究分野において8年間の研究実績あり

共同実施者

東京大学
党　超鋲
(デシカント空調技術の開発)
デシカント空調機の研究開発について10年間の業務実績あり

共同実施者

一般財団法人
電力中央研究所
張　莉
(デシカント空調技術の開発)
CO2冷媒ヒートポンプ給湯機の開発、試験について20年間の実績があり、デシカント機器性能試験について10年間の業務実績あり

②【実施スケジュール】

	H30年度	H31年度	H32年度
要素技術A1	→	→	→
エジェクタの開発	20,345千円	16,467千円	13,027千円
要素技術A2	→	→	→
インジェクションコンプレッサ	25,255千円	25,945千円	24,897千円
要素技術A3	→	→	→
給湯空調技術の開発	13,666千円	22,237千円	15,766千円
要素技術A4	→	→	→
デシカント空調技術の開発	17,629千円	20,433千円	19,129千円
B統合システムの最適化	→	→	→
(要素技術A3の中で統合)	(0)	(0)	(0)
C実証		→	→
	0千円	497千円	497千円
その他経費	894千円	149千円	149千円
合計	77,789千円	85,728千円	73,465千円

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	(株)デンソー

・2022年までに、耐久性を加味した量産品形状での設計完了
・2024年までに、低コスト化および量産体制の構築
・2025年を目処とし、デンソーの既存販売ネットワークを活用し、販売開始

○事業展開における普及の見込み
・対象市場規模:全館空調機を装着する新築住宅20800戸(2025年の見込み)
・導入コスト目標:従来機の全館空調機、調湿機、ヒートポンプ式給湯機の合計価格(設計、施工費含む)以下

○年度別販売見込み
【提案時当初計画】

年度	2025	2030
目標単年度販売台数(台)	2080	4460
目標累積販売台数(台)	2080	23900
目標販売価格(円/台)	300万円	270万円

【現時点見込み】

年度	2023	2025 (販売開始)	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	—	2080	4460	4460
目標累積販売台数(台)	—	2080	23900	113100
目標販売価格(円/台)	—	300万	270万	270万

○普及におけるリスク(課題・障害)
・国際動向を踏まえた代替冷媒動向
・既存製品に対して大きくコンセプトが異なるため市場の受容性向上が必要
・高圧冷媒(CO2)の取り扱いに対する施工業者への安全基準策定と教育が必要
・調湿空調に関するJIS規格などの規格整備が必要

(3)技術開発成果

①【成果】

自然冷媒であるCO2を用いた空調、給湯一体機用技術開発、およびこれらを採用した実証機の評価を行った。

・冷房定格5.6kW、暖房定格6.7kW、給湯加熱4.5kWの実証機を製作
（次世代省エネルギー基準の6地域の標準住宅を想定した必要能力）
・APF：5.9（目標達成）
・給湯機能と合わせた省エネルギー率：10%（目標達成）

上記と連携するCO2冷媒デシカント空調機の要素技術開発、およびこれらを採用した実証機の評価を行った

・実証機にて定格条件での除湿速度1020g/hと加湿速度750g/hを確認
・従来加湿システムに対する省エネルギー率：15%（目標達成）

②【エネルギー起源CO2削減効果】

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品（装置/システム）1台当たりの単年度CO2削減量（t-CO2/台・年）	0.65
開発品（装置/システム）の法定耐用年数	6年

年度	2025	2030
単年度CO2削減量（万t-CO2/年）	0.13	0.29
累積CO2削減量（万t-CO2）	0.81	9.3
CO2削減コスト（円/t-CO2）	769,000	692,000

【現時点見込み】

開発品（装置/システム）1台当たりの単年度CO2削減量（t-CO2/台・年）	0.65
開発品（装置/システム）の法定耐用年数	6年

現時点見込みの年次は固定

年度	2023（発売前）	2025（販売開始）	2030	2050
単年度CO2削減量（万t-CO2/年）	—	0.13	0.29	0.29
累積CO2削減量（万t-CO2）	—	0.81	9.3	10.0
CO2削減コスト（円/t-CO2）	—	769,000	692,000	692,000

③【成果発表状況】

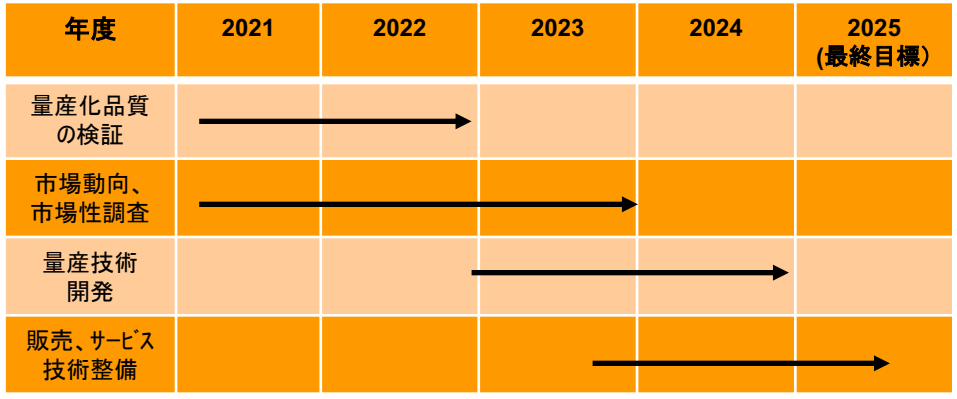
・The 25th IIR International Congress of Refrigeration　2019 年8 月27 日
題目；Novel air conditioning system using desiccant coated heat exchanger
発表者；東 朋寛(東京大学)
・2019 年度日本冷凍空調学会年次大会　2019 年9 月12 日
題目；デシカントモジュールの除加湿性能の実験検討
発表者；東 朋寛(東京大学)
・2021 年度日本冷凍空調学会年次大会　20121年9月10 日
題目；CO2冷媒を用いた潜顕熱分離空調システムの開発
第1報： 装置構成と環境試験室での性能測定
発表者；東 朋寛(電力中央研究所)
・2021 年度日本冷凍空調学会年次大会　20121年9月10 日
題目；CO2冷媒を用いた潜顕熱分離空調システムの開発
第2報： 実証試験
発表者；東 朋寛(電力中央研究所)

④【技術開発終了後の事業展開】

○量産化・販売計画

・2022年度末を目途に量産化に向けた重要品質課題の検証を実施
・2023年度末を目途に低GWP冷媒開発動向、他社動向等からの市場性を検証
・2023年度末を目途に上記と合わせたハウスメーカーとの市場受容性を検証
・2024年度末を目途に量産品質、コスト、量産技術開発を完了
・2025年度末を目処に、デンソーの既存販売ネットワークを活用し販売開始

○事業拡大シナリオ



○シナリオ実現上の課題

・全使用条件を網羅した寿命検証の中で想定外の重要課題露呈
・代替低GWP冷媒動向（HFO冷媒の開発、HC等の可燃性冷媒の採用等）
・高額環境商品に対するユーザー受容性不足（環境意識の浸透が不足等）
・高圧冷媒（CO2）の取り扱いに対する住宅用空調施工業者への啓蒙教育が必要

○参考資料1　CO2削減効果について

○販売開始年（2023年）時点の削減効果
発売開始前のため記載なし

○販売開始年（2025年）時点の削減効果　（試算方法パターン　B-a,Ⅱ-ｉ）
・当社で販売される全館空調向けシステムに本システムを採用（2080台/年）
本事業の成果によるCO2排出量削減効果は0.65t-CO2/台・年（次項）
・単年CO2削減量；　0.13万t-CO2＝0.65t-CO2/台・年X2080台
・累積CO2削減量；　0.81万t-CO2＝累積販売見込量2080台X製品の単年度削減量0.65t-CO2/台・年X法定耐用年数6年
・ CO2削減コスト；　77.9万円＝販売予定価格300万円／0.65t-CO2/台・年／法定耐用年数6年

○2030年時点の削減効果　（試算方法パターン　B-a,Ⅱ-ｉ）
・国内普及想定規模：2.4万台（当社販売計画より）
本事業の成果によるCO2排出量削減効果は0.65t-CO2/台・年
・累積CO2削減量；　9.3万t-CO2＝累積販売見込量2.4万台X製品の単年度削減量0.65t-CO2/台・年X法定耐用年数6年
但し、発売開始の2025年から年度毎に販売見込数量を割り付けて積算した場合の累積削減量は5.0万t-CO2
・ CO2削減コスト；　69.2万円＝販売予定価格270万円／0.65t-CO2/台・年／法定耐用年数6年

○2050年時点の削減効果　（試算方法パターン　B-a,Ⅱ-ｉ）
・国内普及想定規模：2.7万台（当社販売計画より）
本事業の成果によるCO2排出量削減効果は0.65t-CO2/台・年
・累積CO2削減量；　10.0万t-CO2＝2.7万台X0.65t-CO2/台・年X法定耐用年数6年
・ CO2削減コスト；　69.2万円＝販売予定価格270万円／0.65t-CO2/台・年／法定耐用年数6年

○参考資料1　CO2削減効果について

〈1台あたりのCO2削減量試算方法〉

CO2排出量（総等価温暖化影響）= 直接影響 + 間接影響

直接影響 = GWP × L × N + GWP × M × (1-α)

（電気由来）間接影響 = N × E_e × β_e　　（ガス由来）間接影響 = N × E_g × β_g

上式を用いて開発品と従来品のCO2排出量（総等価温暖化影響）を算出しその差により削減量を算出した。

TEWIの計算式
⇒http://www.jfma.org/yougo.html（日本フルオロカーボン協会）

■計算結果

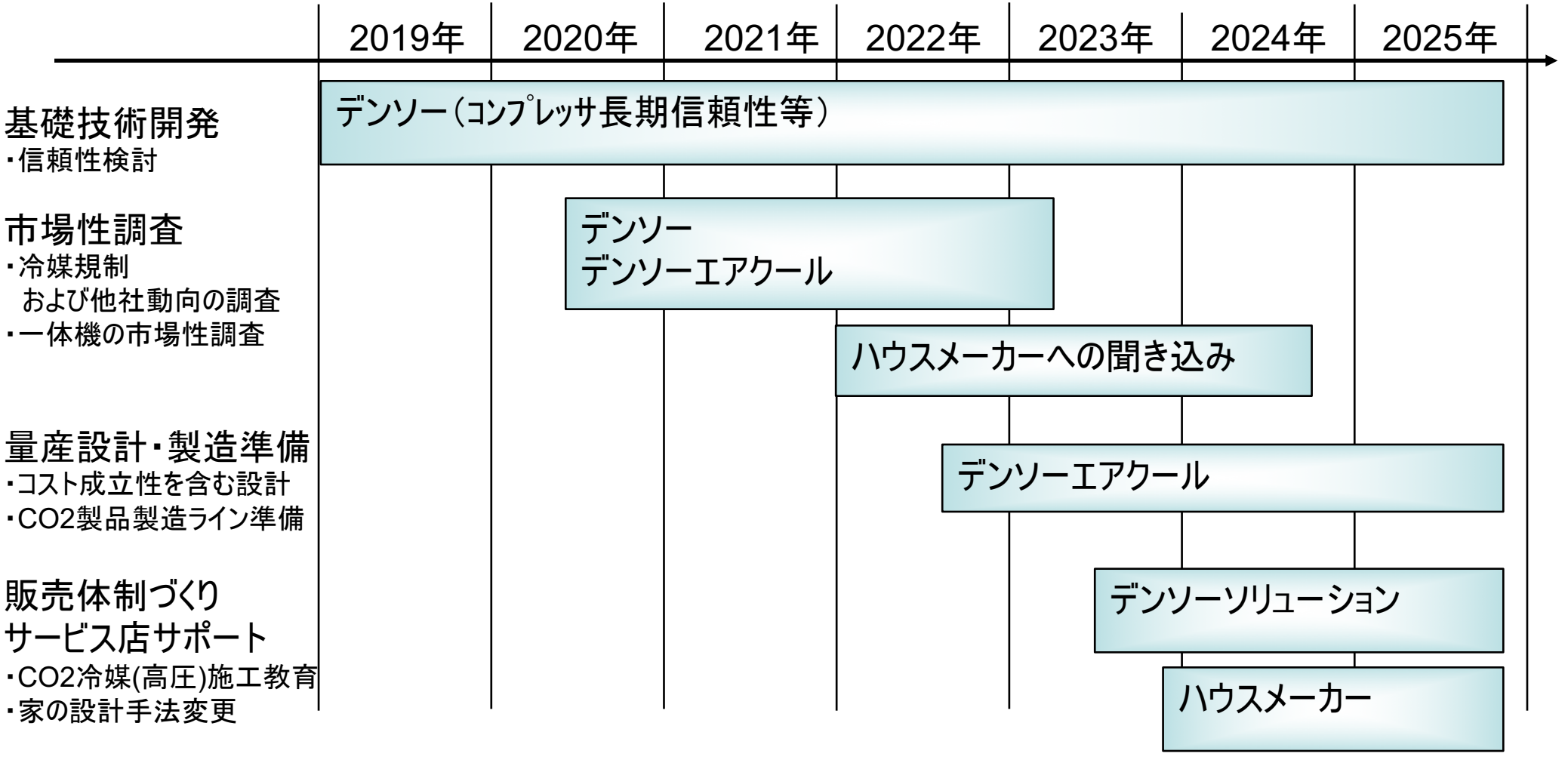
	従来住宅(H27年省エネ基準)	高気密高断熱住宅 (ZEH要件相当)	
	R32冷媒空調機＋ガス給湯機	R32冷媒空調機＋ガス給湯機	空調・調湿・給湯一体機
消費ガス量　Nm3	548	548	
ガスによる間接効果分 t-CO2/台・年	1.22	1.22	
消費電力kWh	2436	1740	2717
電力による間接効果分 t-CO2/台・年	1.40	1.00	1.58
直接効果分 t-CO2/台・年	0.07	0.07	0.00
合計 t-CO2/台・年	2.63	2.23	1.58
開発品による削減量　t-CO2/台・年	1.05	0.65	

機器の運転年数を10年とし、単年の効果の算出のために1年あたりの効果への割り戻しを実施

■式中の係数の説明

係数	係数の説明	係数の値	備考および注釈
GWP	1kg当りのCO2基準の温暖化係数 積分期間100年　kg-CO2/kg	R32：675　　CO2：1	-
L	機器からの年間漏れ量　kg/年	0.024	漏洩率2%/年として算出 出典：日本における冷媒HFCをめぐる状況と今後の課題について （H21.6 経済産業省　オゾン層保護等推進室）
N	機器の運転年数　年	10	機器の寿命より設定
M	機器への充填量　kg	1.3	2HP相当のヒートポンプ機器の冷媒充填量
α	機器廃棄時の回収率　%	28.6	出典：家電リサイクル法に基づくリサイクルの実施状況等について （H29.1.20　経済産業省 環境省）
E_e E_g	機器の年間電力消費量　kWh/年 機器の年間ガス消費量　　Nm3/年	単体：1740kWh + 548Nm^3 一体機：2717kWh	空調機APF：5.9　　給湯機APF：3.8　　ガス給湯器燃焼効率：80% 省動力効果：空調給湯併用効果10%、調湿による効果5%の計15%にて算出
β_e β_g	1kWhの発電に要するCO2発生量　kg-CO2/kWh 1m^{3}のガス燃焼によるCO2発生量　kg-CO2/Nm^3	0.579 2.23	地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック＜補助事業申請者用＞ ハード対策事業計算ファイル（G.省エネ設備用）

○参考資料2　事業化計画について



※デンソーエアクール
・デンソー100%子会社
・フロン機種の全館空調を量産開発・製造

※デンソーソリューション
・現行機の導入設計
・現行機の販売、メンテナンス

○参考資料3　その他

空調給湯実証機設置状況と実証内容

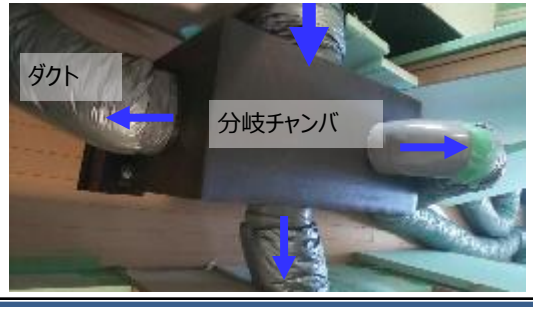
	実証内容	計測項目
春・秋 実証評価	①JIS出湯パターン時の消費電力を測定し 現行給湯機同等性能であることを確認する ②様々な出湯パターン(※M1スタンダード条件の5条件) で湯切れが無いことを確認する	・消費電力 ・冷凍サイクル内部温度、圧力 ・出湯量
夏 実証評価	①多様な外気、空調負荷に対応できることを確認する ②様々な出湯パターン(※M1スタンダード条件の5条件) で湯切れが無いことを確認する	・消費電力　・出湯量 ・冷凍サイクル内部温度、圧力 ・室内温度、湿度、外気温度
冬 実証評価	①多様な外気、空調負荷に対応できることを確認する ②様々な出湯パターン(※M1スタンダード条件の5条件) で湯切れが無いことを確認する	・消費電力　・出湯量 ・冷凍サイクル内部温度、圧力 ・室内温度、湿度、外気温度

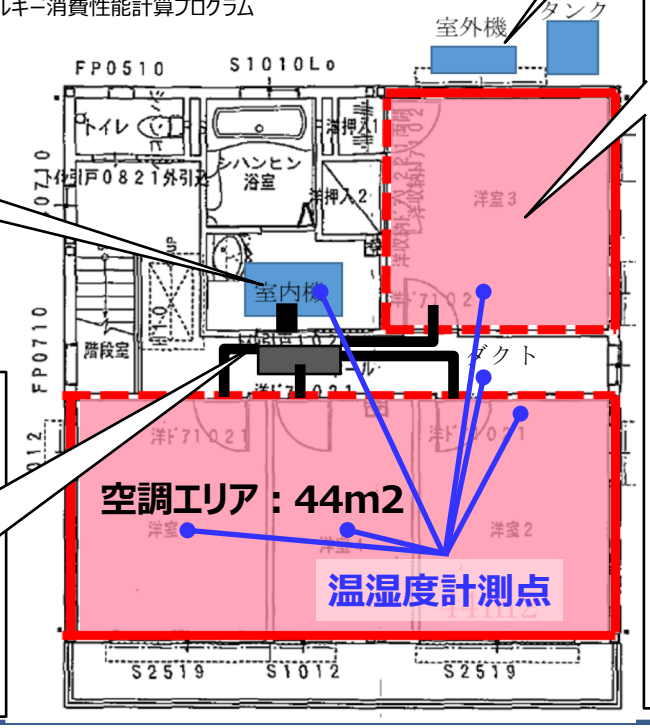
※平成28 年省エネルギー基準に準拠したプログラム「住宅・住戸のエネルギー消費性能計算プログラム
Ver. 2. 3 以降」における電気ヒートポンプ給湯機のM1スタンダード

室外機の
設置状態

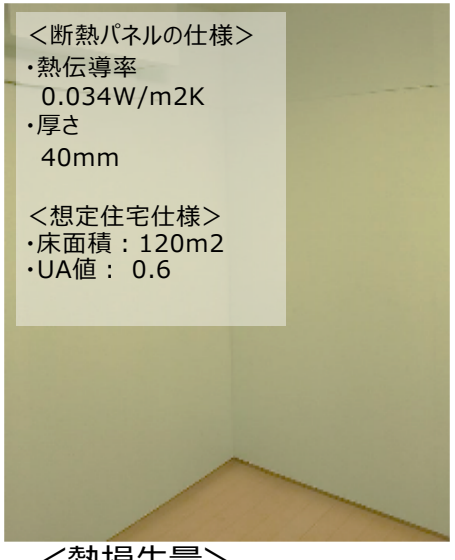
室内機の
設置状態

ダクトにて各空調エリアに空調空気を搬送





想定住宅相当に合わせるために壁面を断熱



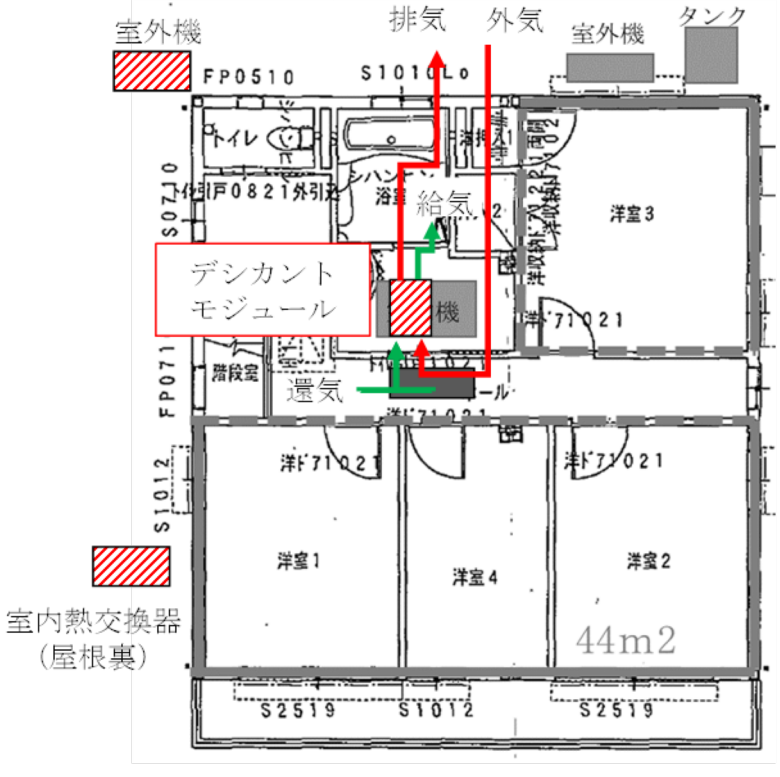
＜断熱パネルの仕様＞
・熱伝導率
0.034W/m2K
・厚さ
40mm

＜想定住宅仕様＞
・床面積：120m2
・UA値：　0.6

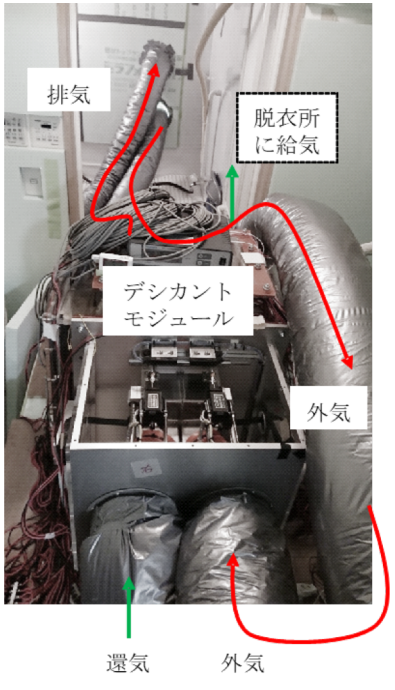
＜熱損失量＞
空調エリア：175W/K
（想定住宅：165W/K）

○参考資料3　その他

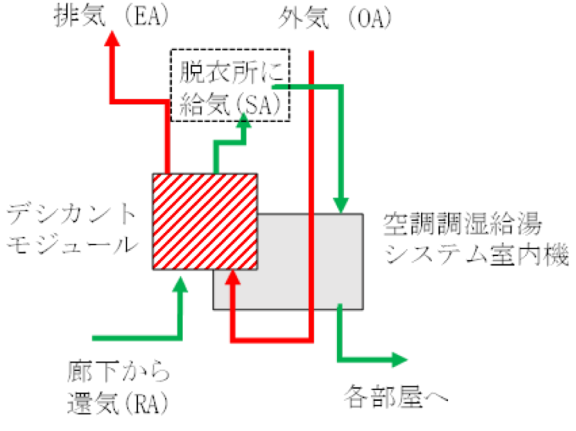
デシカント空調モジュール設置状況



設置平面図



(a)　デシカントモジュール外観



(b)　空気流路概略図

CO2排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- 評価点　6．8点　（10点満点中。（10点：特に優れている、8点：優れている、6点：問題ない、4点：多少問題がある、２点：大きな問題がある））
- 評価コメント

［評価された点］

- カーボンニュートラルに向けて時宜にかなった自然冷媒を用いる空調機による空調給湯システムの開発において、着実な検証を行ない当初の計画通りに目標を達成していることは評価できる。

［今後の課題］

- 本事業でターゲットにしている全館空調システムの国内市場への投入に関しては、コスト、投資回収年数、設置スペースなどの課題がある。普及展開へ向けさらなる検討を行い、早期に解決することが望まれる。また、国内市場は限定的でもあるため、海外市場、特に東南アジア蒸暑地域への展開が期待される。

［その他特記事項］

- 一層のコスト低減化を進めるとともに、施工安全・エンジニア育成の課題も継続的に取組むことが望まれる。
- 全館空調システムへの社会的関心が高まる可能性があり、時機を逸せず開発システムの採用を働き掛ける準備を怠りなく進めることが望まれる。

［事業化に向けたコメント］

- 2025年の販売開始までに、技術検証、市場形成を行うとともに、安全性確保のための冷媒配管の開発など、システム全体の技術開発や教育啓蒙活動が望まれる。
- 2050年カーボンニュートラル宣言に伴って、住宅・建築物の省エネルギー基準見直しの動きが加速し、冷温熱負荷需要も減少していくため、普及シナリオの作成においては設置対象の住宅・建築物の新築及びストックの状況を見極めることが重要である。
- CO2削減コストを下げることが開発システムの普及拡大には必要である。