

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82115

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04387

研究課題名（和文）負荷変動に対する動的応答を考慮したVRFエアコンのエネルギー消費性能評価法の開発

研究課題名（英文）Development of Evaluation Method for Energy Consumption Performance of VRF Air Conditioners Considering Dynamic Response to Heat Load Fluctuation

研究代表者

宮田 征門（Miyata, Masato）

国土技術政策総合研究所・住宅研究部・主任研究官

研究者番号：40554986

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：近年、非住宅建築物の空調システムとしてVRFエアコン（Variable Refrigerant Flow Air-conditioner）の採用が増えている。カーボンニュートラル化の達成に向けて、VRFエアコンの更なる省エネルギー化・脱炭素化に向けた開発や検討が国内外で多く実施されているが、そのエネルギー消費特性については不明な点が多い。そこで、本研究では、負荷変動に対する動的応答を考慮したVRFエアコンの性能試験方法を開発すると共に、この試験結果から得られた結果を基にシミュレーションを援用して検討を行い、ZEB Ready達成を目指すためのVRFエアコンの設計法ガイドラインの作成を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脱炭素化の実現に向けて、多大なエネルギーを消費する非住宅建築物の空調システムの省エネルギー化が喫緊の課題となっている。近年はVRFエアコンの採用が多いが、そのエネルギー消費特性は複雑であり評価が難しい。現状のJISにおいては機器の動作を強制的に固定する等して性能を計測する方法が定められているが、この試験結果は実態を表していない。本研究では、実態としてのエネルギー消費性能を明らかにするための新たな試験法を開発し、この試験結果を基に様々なケーススタディを行い、設計上の留意点等を整理した。本研究の成果により空調システムの更なる省エネルギー化の達成が期待される。

研究成果の概要（英文）：VRF (Variable Refrigerant Flow) air conditioners have been adopted as air conditioning systems in many non-residential buildings. Many developments and studies have been conducted to further conserve energy and decarbonize VRF air-conditioners toward achieving carbon neutrality, but there are many unknowns regarding their energy consumption characteristics. Therefore, we developed a new energy performance test methodology for VRF air conditioners that takes into account their dynamic response to heat load, and based on the results obtained from this test, we conducted studies with the aid of building energy simulations to develop a guideline for a design method for VRF air conditioners to achieve ZEB (net Zero Energy Building).

研究分野：建築設備

キーワード：非住宅建築物 省エネルギー 空調システム VRF エアコンディショナ エネルギー消費特性 試験方法 エネルギーシミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、建物用途・規模・地域を問わず多くの非住宅建築物の空調システムとして個別分散型のVRFエアコン(Variable Refrigerant Flow Air-conditioner、図1)が採用されている。カーボンニュートラル化の達成に向けて、VRFエアコンの更なる省エネルギー化・脱炭素化に向けた開発や検討が国内外で多く実施されているが、負荷変動に対して動的に応答する複雑な機器特性を踏まえてエネルギー消費性能をどのように評価するか、その特性を踏まえて建築設備システムとしてどのように設計するかについては技術的知見が不足しており課題が多い。



図1 VRF エアコン

2. 研究の目的

本研究では、負荷変動に対する動的応答を考慮したVRFエアコンの性能試験方法を開発すると共に、この試験結果から得られた結果を基にシミュレーションを援用して検討を行い、ZEB Ready 達成を目指すためのVRFエアコンの設計法ガイドラインの作成を行う。

3. 研究の方法

(1) VRFエアコンの実動性能試験法の開発

VRFエアコン本体のエネルギー消費性能はJIS B 8616:2015で規定された方法に基づき試験されるが、この試験性能と実際にVRFエアコンが建築物に設置され運用されたときの性能(実働特性)には乖離があり、真に省エネルギーに寄与するVRFエアコンの開発や普及の阻害要因となっている。本研究では、エアコン内部の制御をオフにして圧縮機回転数や冷媒圧力等の運転点を強制的に固定した状態で行うJISに基づく試験方法ではなく、この固定を実施せずにエアコン内部の制御を活かした状態で一定の負荷を与える試験方法(負荷固定試験)を新たに開発し、この試験法によりエネルギー消費特性を明らかにする。

(2) VRFエアコンの設計法ガイドラインの作成

開発した負荷固定試験法の結果を用いて作成したシミュレーションモデルを用いて、建築設備設計上の様々な課題の解決策の検討し、VRFエアコンの設計法ガイドラインを作成する。なお、この検討は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム/ZEBを目指した個別分散型空調システム的设计課題に関する調査」と連携して行われたものである。

4. 研究成果

(1) VRFエアコンの実動性能試験法の開発

東京電力ホールディングス株式会社が所有する試験設備にて、日本国内メーカー製エアコン(8馬力)を対象として試験を行った(図2)。室内機には、天井埋込カセット形室内機(2馬力)を4台使用した。室外側試験室に室外機を設置し、4室ある室内側試験室(A~D室)に室内機を1台ずつ設置した。各条件について、連続で試験は行わず、1日1条件ずつ設定を変えて実施した。試験手順を次に示す。



図2 負荷固定試験の様子(室外機)

本研究にて新たに開発した試験手順を以下に示す。

- 1) 室内側試験室内の温熱環境、特に室内機と連結させたチャンバーボックス内の熱の滞留をリセットするために、チャンバーボックスの開口を解放した状態で、試験設備側空調機により送風運転を行う。この際、試験対象エアコンは停止した状態とする(室内機の吹き出し口のフラップは閉まったまま)。全ての室内機の吸込空気温度と吹出空気温度の差が $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の範囲内に収まるまで運転を続ける。
- 2) 室外側試験室、室内側試験室それぞれについて、設定温湿度の値を指示調節計に入力し、試験設備側空調機の運転を行う。室外機及び室内機の吸込空気乾球温度及び湿球温度と設定温度との差が $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の範囲内に収まるまで運転を続ける。
- 3) 室外機及び室内機の温度条件が安定したら試験を開始する。試験対象エアコンを起動し、室内側試験室への熱量の供給を開始する。熱量の供給については10分後に設定値に達するように徐々に変化させる。
- 4) 供給熱量を安定された状態で3時間以上連続してエアコンを運転する。

本研究では、運転モード（冷房／暖房）や各室内機の負荷率などを変化させ、計 35 ケースの試験を実施した。試験結果の一例として、冷房負荷率 25% の際の試験結果を図 3 に、暖房時 (No. 8～12、負荷率 100%、75%、50%、25%、15%) 及び冷房時 (No. 22～26、負荷率 100%、75%、50%、25%、15%) の試験結果を用いて処理熱量と消費電力の関係をグラフ化した結果を図 4、5 に示す¹⁾。図 4、5 より今回の試験対象機については、暖房時、冷房時とも処理熱量と消費電力はほぼ比例関係にあることが分かる。

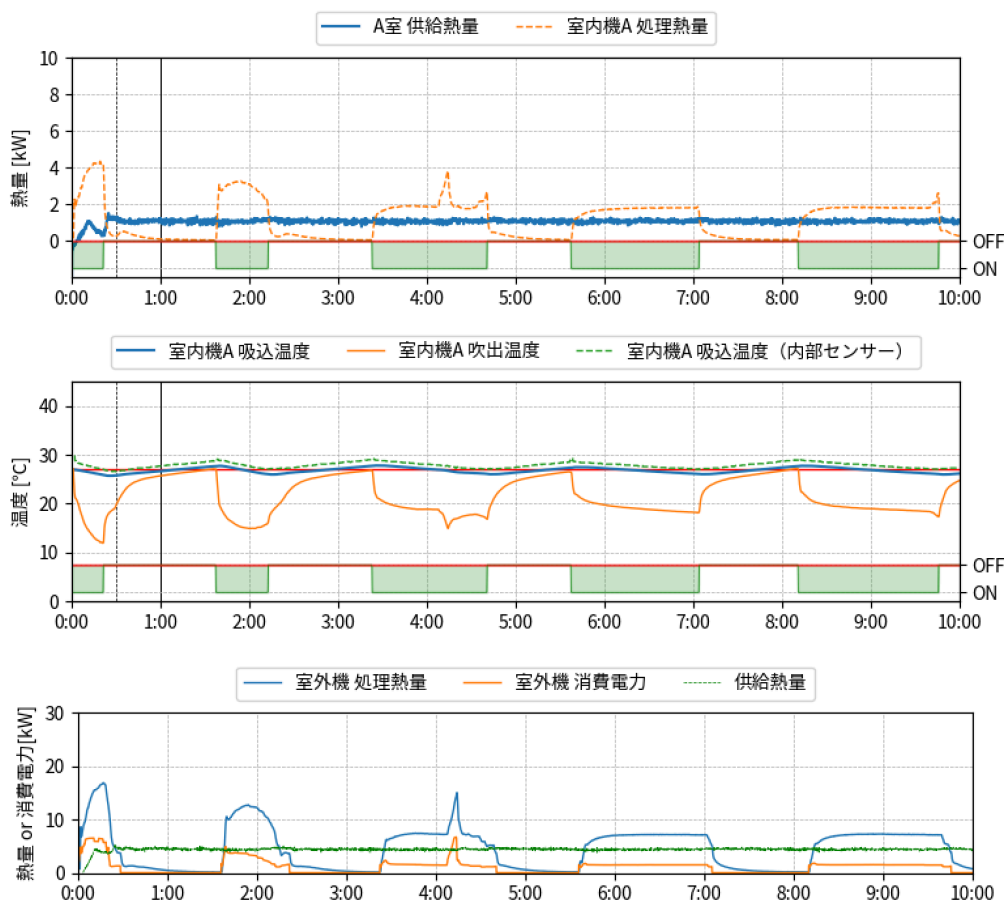


図 3 計測結果の例（冷房負荷率 25%試験、試験 No. 25）

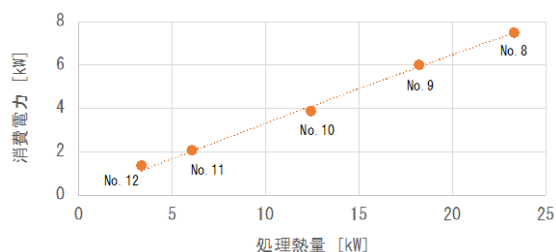


図 4 処理熱量と消費電力の関係（暖房）

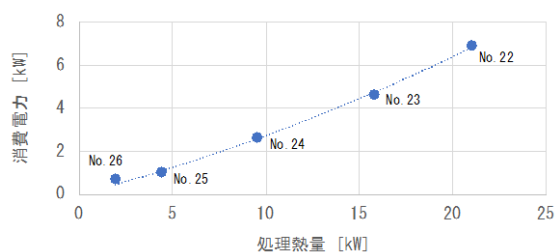


図 5 処理熱量と消費電力の関係（冷房）

現在、建築物省エネ法・省エネ基準における任意評定において開発した試験方法が使用可能となることを目指し、より低負荷域における試験実施可能性の検討や試験結果の再現性検証などを行い、任意評定ガイドライン案として取り纏めた。現在、有識者による審議が行われているところである。

(2) VRF エアコンの設計法ガイドラインの作成

より省エネルギーな非住宅建築物の設計及び運用の実現を目指して、実測及びシミュレーションによる解析を基に VRF エアコンのエネルギー消費性能の実態解明を行ったうえで、ZEB Ready 達成を目指すための設計上の留意点等を取り纏め、ガイドラインとして整理した²⁾。対象とする建物用途は温暖地の事務所、空調設備は冷暖切替型の VRF エアコンとしたが、基本的な考え方については、他の気候地域や用途、機種でも活用できるものを目指した。

ガイドラインで示した ZEB Ready 達成のポイントの一部を表 1 に示す。計画編、設計編、運用編に分け、無対策の設計に比べて 50%以上の省エネを達成するためのポイントを列挙し、実測データやシミュレーションによる解析データを用いて、各段階における留意点を定量的に示した。

表 1 VRF システムの ZEB Ready 達成のポイント(抜粋)³⁾

ZEB Ready 達成のポイント			ビル用マルチの ZEB 達成のポイント(p.9)との関係 ◎：該当、○：一部該当			
大分類	中分類	ポイント	①年間 処理熱量 低減	②低負荷 運転を 避ける	③冷媒 制御の 適正化	
計画編	外皮性能の向上(p.15)	建物の外皮(窓、外壁、屋根等)からの熱取得、熱損失をできるだけ減らす	○	○	-	
	外気処理方法の選択	全熱交換器の採用(p.19)	◎	◎	-	
		外気処理システムの系統分け(p.21)	-	-	◎	
	外気負荷低減対策の採用(p.22)	外気冷房制御などの外気負荷低減対策、CO2 濃度制御、人体検知制御などの外気量制御の採用を検討する	◎	○	-	
設計編	最大熱負荷計算時の留意点	コネクセント発熱の想定値(p.24)	-	◎	-	
	照明発熱の想定値(p.26)	適切な設計照度とし、照明制御も考慮した上で、実際の照明機器を想定した発熱量とする(5~10 W/m ² 程度)	-	◎	-	
	人員密度、外気導入量の想定値(p.27)	実際の在室人員に応じた人員密度とし、適切な外気導入量を設定する	-	◎	-	
	想定する余裕係数(p.27)	余裕係数の意味を勘案し、要・不要を判断する(設計の工夫で対応することが理想)	-	◎	-	
	室内機選定時の留意点	室内機能力の選定(p.28)	-	-	◎	
運用編	運用時の留意点	室内機の設定温度(p.38)	-	-	◎	
		室内機の運転時間(p.39)	-	○	-	
		外気処理ユニットの運転状況(p.39)	-	-	-	
		室内機のルーバ-の設定(p.40)	-	-	-	
	稼働実態把握の重要性	実稼働データの入手方法(p.40)	-	-	-	
		稼働データ確認のポイント(p.41)	-	-	-	
	ZEB Ready 達成のポイント			「ビル用マルチの ZEB 達成のポイント(p.9)との関係 ◎：該当、○：一部該当		
	大分類	中分類	ポイント	①年間 処理熱量 低減	②低負荷 運転を 避ける	③冷媒 制御の 適正化
		室内機タイプの選定(p.28)	ファン動力が大きくなりすぎないものを選定する(天井カセット型はファン動力が小さい)	-	-	-
			室温センサの選定(p.29)	-	-	-
室外機系統設計時の留意点(p.31)		室外機系統内の室内機の運転条件(方位、室用途等)をできるだけ統一する	-	-	◎	
室外機能力選定時の留意点		室外機能力の選定(p.33)	-	◎	-	
		配管長・高低差による能力の補正(p.35)	-	◎	-	
		テナントビルへの対応(p.35)	-	◎	-	
室外機の設置場所(p.36)		冷媒の配管長や高低差が長くなりすぎないようにし、室外機の設置間隔に注意する	-	-	◎	
室内機の設定温度を極端に低くしたり、高くしたりしないようにする		同じ系統内で室内機 1 台だけ運転するなどの低負荷での運転を避ける	-	○	-	
在室人員不在時に外気処理ユニットを運転していないか、設定温度が適切か確認する		暖房時に室内機のルーバ-が水平吹き出しの設定になっていないか注意する(天井カセット型の場合)	-	-	-	
室外機、室内機の実態把握に必要なデータを計測サービ-ス等により入手する		想定した通りに運転できているか、無駄な運転をしていないか、効率の悪い運転をしていないか把握する	-	-	-	

<引用文献>

- 1) 宮田征門, 富樫英介, 芹川真緒, 辻丸のりえ, 佐藤誠, 柳原隆司: ZEB 実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究, その 3 試験室におけるビル用マルチエアコンの実働特性の測定, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, p.177-180, 2022.9
- 2) 佐藤エネルギーリサーチ: ZEB を目指した個別分散型空調システムの設計課題に関する調査 http://www.satoh-er.com/casestudy/casestudy_00011.html
- 3) 佐藤孝輔, 芹川真緒, 辻丸のりえ, 佐藤誠, 宮田征門, 柳原隆司: ZEB 実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究, その 6 計画・設計・運用ガイドラインの概要, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, p.185-188, 2022.9

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 MIYATA Masato	4. 巻 28
2. 論文標題 ANALYSIS OF THE ACTUAL STATUS OF THE BUILDING ENVELOPE STANDARD COMPLIANCE RATE AND ENVELOPE DESIGN SPECIFICATIONS FOR NON-RESIDENTIAL BUILDINGS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 1307 ~ 1312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.28.1307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 NARUKAWA Masaaki, YAMAGUCHI Yohei, SHIMODA Yoshiyuki, MIYATA Masato	4. 巻 87
2. 論文標題 ANALYSIS ON BUILDING ENVELOPE AND BUILDING SERVICE EQUIPMENT DESIGN SPECIFICATION USING THE INPUT AND OUTPUT DATA FROM THE CALCULATION PROGRAM TO CONFIRM COMPLIANCE WITH BUILDING ENERGY CODE (PART 2): LOGISTIC REGRESSION-BASED ANALYSIS CONSIDERING BUILDING SIZE AND LOCATION	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 448 ~ 459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aije.87.448	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masato Miyata, Susumu Hirakawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis on building envelope and building service equipment design specification using the input and output data from the calculation program to confirm compliance with building energy code (part 1): Identification of the design specification for newly built offices in Japan according to the evaluation result of the building energy code	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japan Architectural Review	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2475-8876.12265	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 芹川真緒, 辻丸のりえ, 佐藤誠, 住吉大輔, 宮田征門, 柳原隆司	4. 巻 48
2. 論文標題 温暖地におけるビル用マルチエアコンの稼働実態調査	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 空気調和・衛生工学会論文集	6. 最初と最後の頁 33 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮田征門, 富樫英介, 芹川真緒, 辻丸のりえ, 佐藤誠, 柳原隆司
2. 発表標題 ZEB実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究, その3 試験室におけるビル用マルチエアコンの実働特性の測定
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富樫英介, 芹川真緒, 辻丸のりえ, 佐藤誠, 宮田征門, 柳原隆司
2. 発表標題 ZEB実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究, その4 個別分散空調システムのモデル化と実験データによる検証
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田征門
2. 発表標題 省エネ基準適合性判定プログラムの入出力データ（非住宅建築物、2020年度）の分析
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田征門
2. 発表標題 試験室におけるビル用マルチエアコンの実働特性の測定
3. 学会等名 BSCA Cx事例シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田 征門
2. 発表標題 省エネ基準適合性判定プログラムの入出力データ（非住宅建築物、2019年度）の分析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田 征門
2. 発表標題 個別分散空調の設計実態分析
3. 学会等名 一般財団法人住宅・建築SGDs推進センター シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	エンテリア ナポレオン (Enteria Napoleon)	ミンダナオ大学・Department of Mechanical Engineering and Technology・Professor	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------