

二重床チャンバ方式による集合住宅向け住戸セントラル空調システムの開発

－ 居住下住戸における実測調査と解析 －

久保 俊輔 ・ 佐竹 晃 ・ 河原 博之*¹

Development of Under-floor Air Supply HVAC System for Condominiums

Measurement of Operation on Dwelling Residential and Comparison with Simulation

Shunsuke KUBO, Akira SATAKE, Hiroyuki KAWAHARA

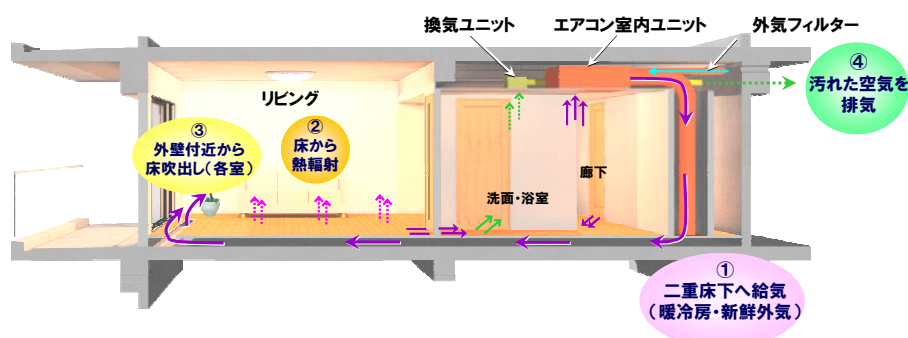


図-1 床チャンバー空調システム概要

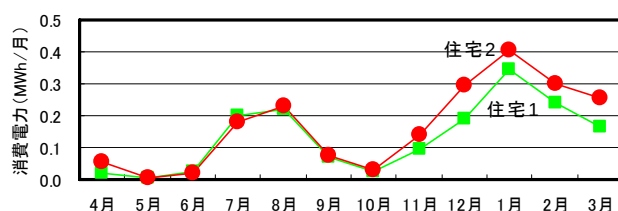


図-2 消費電力

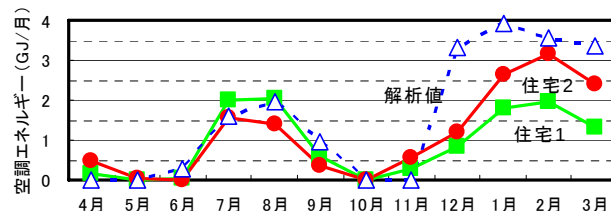


図-3 熱量(実測値と解析値)

研究の目的

床チャンバー空調システムを導入した集合住宅において、実居住時のデータの蓄積と本システムの性能向上方法に関わる知見を得ることを目的とし、実居住時の運転状況に関わる長期実測調査を行った。さらに事前予測値の検証をするために、年間シミュレーションとの比較を行った。

技術の説明

集合住宅の多くに採用される二重床の空間を、冷暖房と換気の給気経路に利用した、住戸セントラル式の24時間空調システムである（図-1）。各室の窓付近に床吹出しユニットを配置し、その吹出し風量を停止／自動制御することで、多室制御を可能としている（室別VAV方式）。

床チャンバー空調システムでは、床面からのふく射と、床吹き出しによる気流を併用した冷暖房が実現し、従来のルームエアコンにおける、上下温度むら、気流不快感等の問題を解決した高水準の室内快適性を創造し、床暖房専用設備を必要としない。さらに、住戸全体の冷暖房熱源を、省エネポテンシャルが高いヒートポンプ1台でまかなうため、環境性能にも優れたシステムである。

主な結論

床チャンバー空調システムを導入した集合住宅2住戸にて、実居住時の室温、空調機の運転特性、消費電力、熱量の年間データを収集できた。さらに運転状況や、居住者の違いによる年間電力消費の特性を把握した。（図-2）シミュレーションによる空調熱量事前予測値は、居住者運転設定の条件差と考えられる原因で、特に冬期の実測値との差が確認されたが、実用上は解析モデルで開発システムの運転状況を再現できることを確認した。（図-3）

* 1 本店 建築事業本部 建築設計第2部

二重床チャンバ方式による 集合住宅向け住戸セントラル空調システムの開発 －居住下住戸における実測調査と解析－

久保 俊 輔 佐 竹 晃
河 原 博 之 *1

要 旨

近年の集合住宅は、地球環境問題等を背景に高断熱化が進み、特に冬の室内温熱環境が向上している。これに伴い、現在普及率が高い床暖房設備へのニーズが低下すると思われる反面、夏の室内快適性への希求から冷房設備（エアコン）が全室に必要となってきた。また、内装の施工品質の向上のため乾式二重床の床先行工法の採用が増えており、これは住戸内で連続する空間を生む。これら背景から本開発では、二重床空間を冷暖房の給気経路に利用する新構造の住戸セントラル式空調システムを考案し、技術開発を行ってきた。将来の集合住宅の建築・設備計画として、省エネルギー、快適性、全室分の冷暖房設備実装を考慮したシステム開発を目指している。これまでに実験住宅での各種実験研究を経て、最適なシステム構造・設計方法を確立し、2008年に実際の集合住宅に適用し居住状態での長期試験、実測調査を開始した。本報では、2年間の実測調査で得られた、開発システム運転時の室温やその運転特性、年間の消費電力の実績について示す。また、空調消費電力の年間シミュレーション方法を実測値で検証した結果を示す。

キーワード 住戸セントラル空調／乾式二重床／空気式床冷暖房／変風量方式／実居住時調査

目 次

- | | |
|------------|-------------------|
| 1. はじめに | 4. 実測結果 |
| 2. システムの概要 | 5. 実測値と解析値の空調熱量比較 |
| 3. 実測調査概要 | 6. まとめ |

DEVELOPMENT OF UNDER-FLOOR AIR SUPPLY HVAC SYSTEM FOR CONDOMINIUMS - MEASUREMENT OF OPERATION ON DWELLING RESIDENTIAL AND COMPARISON WITH SIMULATION -

Shunsuke KUBO Akira SATAKE
Hiroyuki KAWAHARA

Synopsis:

In this study, we developed the under-floor air supply HVAC system for condominiums. Up to now, we built an experiment house comprising the proposed system and carried out various experiments. As a result, we found the most suitable method about structure and the design of the system. Afterwards, we built the system in actual condominium completed in 2008, and we had started the long-term measurement of the operation on dwelling.

This report presents the results of room temperature, operation characteristics of the air conditioner and annual electricity consumption, which obtained by the measurement for two years. Moreover, it was confirmed to be able to presume the energy consumption during the year of this system on practical use by the simulation.

1. はじめに

1.1 開発の背景

現在の集合住宅の多くには、リビングを中心に床暖房設備が採用されている。床暖房は、ルームエアコンのように温風で室・人を暖める「対流式」とは異なり、床面から室・人を暖める「輻射式」の暖房である。窓等の断熱性能が低い建物でも足元付近の寒さを緩和できる快適性に優れた暖房方式であり、普及が進んでいる。

一方で近年の集合住宅では、省エネルギー性と快適性のニーズの高まりから、関東等の温暖地域においても複層ガラスが標準的になり始める等、建物の高断熱化が進んでいる。これには 2006 年施行の改正省エネルギー法¹⁾にて、集合住宅においても省エネルギー措置の届出が義務化されるようになった影響も大きい。この建物の高断熱化は、特に冬の暖房負荷を低減する上に、輻射環境が改善され窓際や足元が冷える現象を大きく改善する。

このような建築の高断熱化に伴い、床暖房設備の相対的な重要度は低下していくと想定される。また、従来の床暖房設備には 50～60℃程度の高い温度を生産する温熱源機が必要であったが、高断熱建物では 40℃以下の温度でも足元から暖かい環境を実現できるようになり、機器効率が優れ冷暖房ともに対応できる、ヒートポンプ冷温熱源機への代替が可能となってくる。このような集合住宅の暖房方式の要件の変化に対して、夏の快適性の希求、熱帯夜の増大や防犯意識の高まりに起因して、冷房設備の必要性は高まり続け、集合住宅全室へのエアコン設置が求められるようになると想定される。

また近年の集合住宅には、乾式二重床が普及しているが、施工の品質向上、効率化、将来の間取り更新性への配慮等の観点から、二重床の床先行工法が開発されその採用が増えており、これは住戸内で連続する空間を生む。

このような背景を鑑み、本開発では、将来の集合住宅には全室分の冷房、暖房をともに考慮し、省エネルギー、快適性を満足する建築・設備計画が求められていくと考え、住戸内で連続する二重床空間を、ヒートポンプ式冷暖房の給気経路に利用し、床面からの輻射と床吹き出しによる気流（対流）を併用した、新構造の住戸セントラル式の 24 時間空調システム（以下開発システムという）を提案し、その技術開発を行ってきた。

1.2 これまでの開発成果

まず、既存集合住宅の 1 住戸にプロトタイプシステムを構築し、約 2 年間の室内環境実測や被験者評価実験を行った。ここでは、壁掛けルームエアコンとの比較結果として、開発システムは暖房時の床面温度が室温より 1～2℃高く、足元から暖かい室環境を全室で実現できること、冷房時の室内気流が小さいこと、これらの効果により冬夏ともに快適性の心理評価が高いこと等、開発空調システムの優位性を確認した^{2), 3)}。また、二重床内が冬夏と

もに真菌の発育環境でないこと等、従来方式に対して空気衛生面での問題がないことを確認した⁴⁾。

その後、開発システムの性能向上と実用化を目的として、機器の小型化や室別の変風量制御機構等の装置改良を行い、改良開発システムを実装した実大試験住戸での各種実験を行った。改良開発システムにおいても、上下温度むら、気流不快感等の問題を解決した優れた室内環境を実現できることを確認した。また、実測結果をもとに、開発システムの運転を再現できるシミュレーションモデルを構築した^{5), 6)}。そして、このモデルを使った年間シミュレーション結果として、住戸全体の冷暖房熱源をヒートポンプ 1 台でまかなう開発システムは、従来に比べて省エネルギーが図れることを確認した。

1.3 本報研究の目的

以上のような、実験住宅での各種実験研究を経て、最適なシステム構造・設計方法を確立し、2008 年に実際の集合住宅に適用し、居住状態での長期運転試験と実測調査を開始した。居住者の運転操作によって変化する室内温熱環境、空調機の運転状況、消費電力、経年変化等のデータの蓄積やアンケート調査を目的とする。さらには、本システムの性能向上方法に関わる知見を得ることを目的とする。

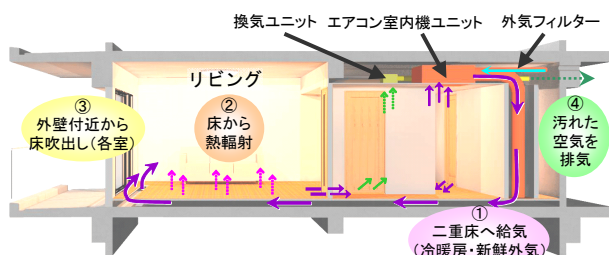
本報では、ここで得られた実測結果について示す。さらに、今後様々な住宅プランに対して、開発システムの設計と、実現室内温熱環境や消費電力の予測を可能とするため、これまでに構築したシミュレーションモデル（方法）の妥当性を確認するべく、解析結果と実測結果との比較を行う。

2. システム概要

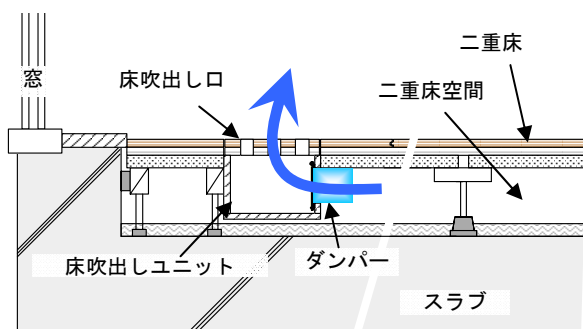
図-1 に開発システムの概要を示す。開発システムは、エアコン室内機を廊下の下がり天井内に設置し、廊下からの還気と新鮮外気を冷暖房した上で、まず二重床空間に給気する。二重床空間に冷暖房された空気が通ることにより、床の冷暖が行われ室内で輻射空調の効果を与えることができる。次に、各室の窓・外壁付近に設置した床吹出しユニットから、室内に給気して室内の冷暖房と換気を行い、最後に、供給された空気は各室のアンダーカットから廊下へ戻り、一部は室内機の返り空気となり循環し、汚れた空気は浴室等の換気設備により排気する。

各室の窓付近に配置した床吹出しユニット内のダンパーにより、その吹出し風量を停止／自動制御することで、多室制御を可能としている（室別変風量（VAV）方式）。

また、24 時間換気の給気は中性能のフィルタを通過し、各室からの返り空気と混合した後に、エアコン室内機を通り各室に給気される。フィルタを通してため従来より清浄な外気を取り入れられ、従来のような各室の自然給気口からの不快なドラフトを解消できる。



(1) 全体概要



(2) 床吹出し部詳細

図-1 開発システム概要

3. 実測調査概要

3.1 調査対象

図-2 に調査対象住戸の東側から見た立面位置を、表-1 に調査対象住戸の、表-2 に空調機の諸元を示す。また、図-4 に対象住戸の平面を示す。対象住戸は、横浜市に2008年に竣工したRC造5階建ての新築集合住宅の3階の2住戸である。

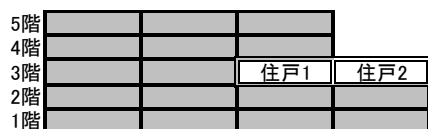


図-2 調査対象住戸（東側立面）

表-1 調査対象住戸の諸元

名称	床面積 〔㎡〕	位置	熱損失係数 (計算値) 〔W/㎡・℃〕	相当隙間 面積(実測値) 〔cm ² /㎡〕	換気 設備	家族 人数
住戸1	71.8	中間階 中間	2.1	0.45	第一 種	3人
住戸2		最上階 妻側	2.4	0.45		3人

表-2 空調機の諸元

運転 状態	エネルギー 消費効率	定格出力 (標準) [kW]	消費電力 (標準) [kW]
冷房	3.03	5.0	1.65
暖房	3.29	5.6	1.70

3.2 調査期間

2008年4月～現在まで計測を行っており、本報では2008年4月～2010年3月の2年間についての結果を記す。図-3 に実測した日平均外気温と、横浜の標準年外気温⁷⁾を示す。7～8月や2月に実測のほうが高い期間があるが、全体的に標準的な気象下での実測調査であった。



図-3 年間の日平均外気温

3.3 計測方法

計測項目、位置について以下及び図-4 に示す。10分間隔で連続計測を行った。

- ①電 力：住戸内分電盤部で、空調及び住戸全体
- ②圧力差：エアコン室内機出入口（事前に計測した圧力差と風量の関係（P-Q 特性）を用いて風量に換算する。）
- ③温湿度：外気、エアコン室内機の還気（RA：Return Air）及び給気（SA：Supply Air）
- ③'温湿度：リビング、廊下。
 - ・計測は初年度夏から冬の室内温湿度の性状を把握する目的で、室内に自記録式の温湿度計を設置し、10分間隔で連続計測を行った。
 - ・各室への給気は廊下に戻るため、廊下の温湿度は、住戸全体の平均的な環境を表すと考えた。

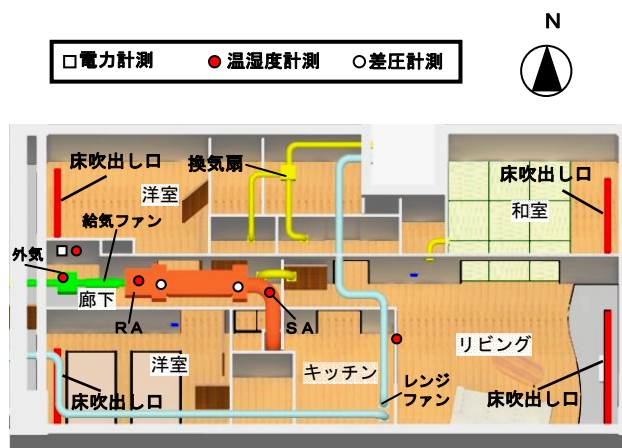


図-4 対象住戸と測定位置

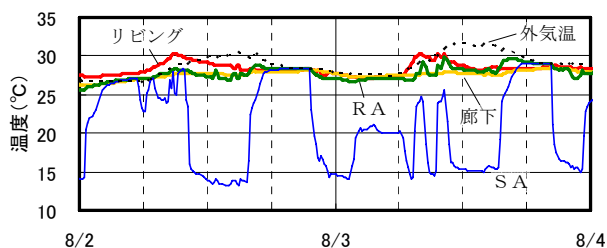
4. 実測結果

住戸 1, 住戸 2 ともに, 空調の運転や温度設定は, 居住者の温冷感に任せた. 住戸 1 では夏期冬期ともに間欠運転が, 住戸 2 では夏期冬期ともに連続運転がなされた.

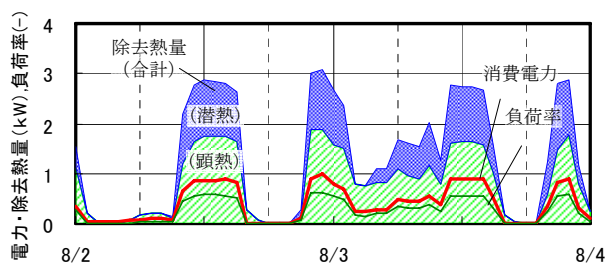
4.1 夏期の運転状況

代表的な冷房運転がされた 2008 年の夏期 2 日間 (8/2, 8/3) の各計測点の温度および空調機の運転状況について, 住戸 1 を図-5 に, 住戸 2 を図-6 に示す.

間欠運転であった住戸 1 では, 午前のリビングの室温が 30℃を越える時間が見られた. その後, 居住者により冷房運転が開始され, SA 温度が約 14℃まで低下している. 約 2 時間で 27℃程度まで室温が低下した. また, 除去熱

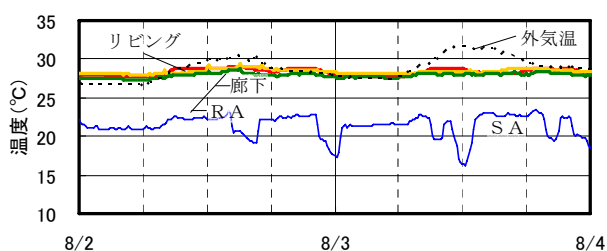


a) 各計測点の温度

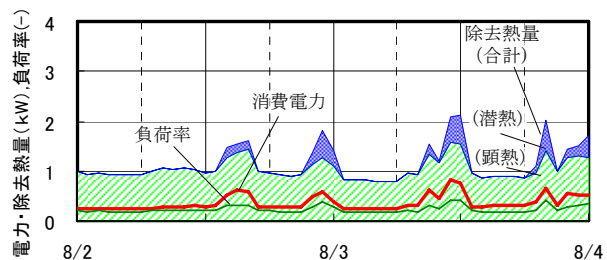


b) 空調機の運転状況

図-5 住戸 1 の実測結果 (夏期)



a) 各計測点の温度

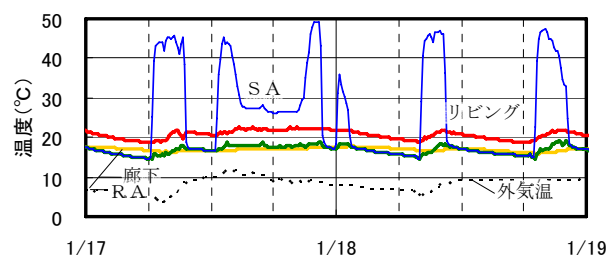


b) 空調機の運転状況

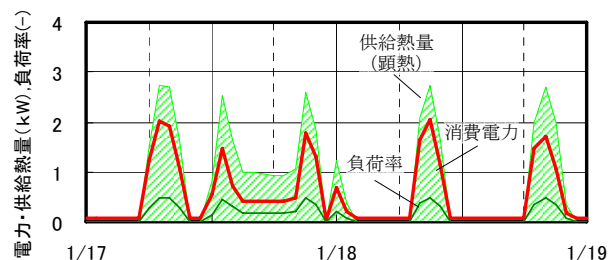
図-6 住戸 2 の実測結果 (夏期)

量は約 3kW で, 顕熱^{注1}・潜熱^{注2}をともに除去しており, 顕熱分は約 1.5kW であった. SA 温度の安定している定常運転時の負荷率^{注3}は約 0.55 であった.

連続運転であった住戸 2 では, 実現室温が各計測点で約 28℃で安定して推移した. SA 温度は 22℃前後で推移しながら空調負荷や設定温度の変更^{注4}により 16℃まで低下した. SA 温度 22℃の時の除去熱量は 0.8~1.0kW で推移し, 顕熱除去主体で運転され, SA 温度が低下すると, 約 2kW となり顕熱分は約 1.5kW で潜熱も 0.5kW 除去されていた. 間欠運転の住戸 1 に比べて, 潜熱除去量は少ないが, リビング・廊下の相対湿度は 60%程度で推移しており, 高湿度な環境ではなかった^{注5}. SA 温度 22℃の時の負荷率は約 0.15 であり, SA 温度が低下すると約 0.4

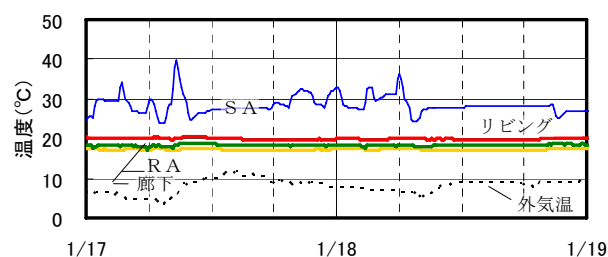


a) 各計測点の温度

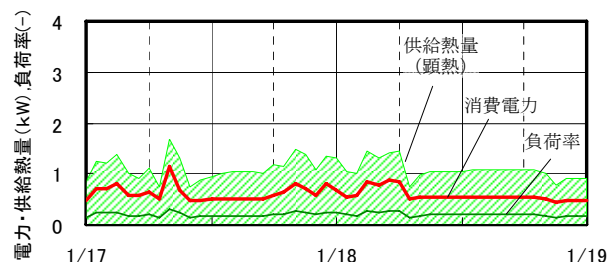


b) 空調機の運転状況

図-7 住戸 1 の実測結果 (冬期)



a) 各計測点の温度



b) 空調機の運転状況

図-8 住戸 2 の実測結果 (冬期)

であった。

このように、連続運転時に頻出する負荷率 0.15 程度の運転状態において、効率に優れる空調機の選定等を検討することで、開発システムの高効率化が図れると思われる。

4.2 冬期の運転状況

代表的な暖房運転がなされた 2009 年の冬期 2 日間 (1/17, 1/18) の各計測点の温度および空調機の運転状況について、住戸 1 を図-7 に、住戸 2 を図-8 に示す。

間欠運転であった住戸 1 では、リビングの実現室温が 18～23℃ (平均 20.6℃)、廊下が 15～18℃ (平均 16.8℃) で推移し、両室間の温度差は約 4℃で継続した。暖房運転時の SA 温度は 40℃以上であり最大で 50℃近くまで上昇した。供給熱量は最大 2.9kW で、負荷率は 0.15～0.5 の範囲で運転状況により変化した。

連続運転であった住戸 2 では、リビングの実現室温が約 20℃、廊下が約 18℃でほとんど変化なく推移し、両室間の温度差は 2℃以内に収まった。SA 温度は 30℃前後で推移し、最大で約 39℃であった。供給熱量は 1.0kW 前後、負荷率は 0.15～0.2 の範囲で、大きな変化なく推移した。夏期と同様に連続運転時の負荷率は、間欠運転時より小さくなった。

4.3 月別消費電力

図-9 に 2 年間の月別の空調消費電力を示す。2008 年度の夏期は両住戸で同程度であり、冬期は最上階妻側住戸であり連続運転がなされて平均実現室温が高かった住戸 2 が多く、両住戸ともに 1 月に最大値を示す。2 住戸平均値は、冷房期 0.2MWh/月、暖房期 (12-3 月) 0.3MWh/月であり、年積算で 1.8MWh/年であった。2009 年度の夏期は、住戸 2 で居住者の運転方法に変化があった。2008 年度と同様に連続運転が行われていたが、就寝時や外出時に設定温度を 3℃高くする機能を使用しており^{注 6}、酷暑期間である 7 月、8 月の消費電力が低下した。住戸 1 は、2009 年 11 月より居住者が代わっており、暖房をあまり運転しない生活がなされていた^{注 6}。

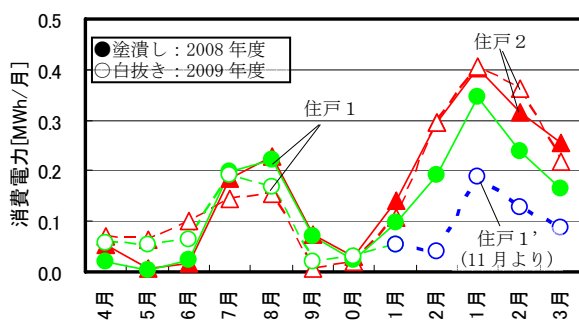


図-9 空調消費電力

5. 実測値と解析値の空調熱量比較

5.1 解析概要

本報以前の研究では、開発システムの、空調運転の制御を再現した解析モデルを動的熱負荷解析ソフト TRNSYS(Ver16)⁸⁾にて構築してきた⁶⁾。ここではこの解析モデルによる年間空調熱量の事前予測値と、実測値とを比較し、解析方法の妥当性を確認する。なお、実測値は 2008 年度のものをを用いた。

5.2 解析条件

4 人家族を想定した人体発熱、機器発熱を居室別にスケジュール⁹⁾を組んで与えた。外気象は横浜の拡張 AMeDAS 気象データ⁷⁾を与える。暖房期間を 12 月～3 月、冷房期間を 6 月～9 月とし、空調設定温度はそれぞれ暖房 22℃、冷房 28℃で連続運転する設定とした。

5.3 解析結果

空調熱量の月別積算値について、解析による事前予測値と両住戸の実測値を図-10 に示す。比較は、連続運転がなされた住戸 2 で行うものとし、間欠運転がなされた住戸 1 については参考として示した。

夏期 (6～9 月) については、解析値は実測値をよく再現している。冬期では実測値と解析値に乖離があった。特に 12 月の両者の乖離が大きい。12 月のリビングの月平均実現室温が実測値 19.3℃、解析値 22.1℃であり、1 月の平均実現室温が実測値 19.6℃、解析値 22.0℃であり居住者の運転設定に条件差があったことが、差の原因だと考えられる。3 月はリビングの実測をしていないが、月平均外気温が実測で 10.5℃、解析で 8.8℃と実測時に外気温が高かったことに伴い、居住者による運転設定の条件差があったと考える。このように、居住者による空調運転設定と空調解析に一般に用いる条件設定に差があることにより、冬期の結果に乖離があったが、解析モデルにて開発システムの空調熱量を安全側で予測できることを確認した。

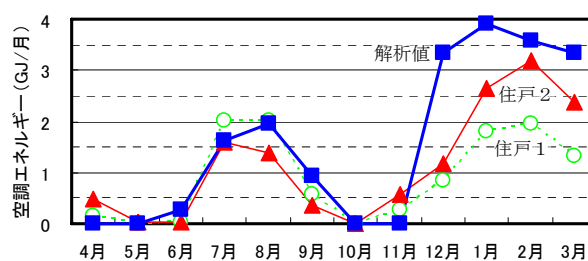


図-10 空調熱量 (実測値と解析値)

6. まとめ

- ① 開発空調システムを導入した集合住宅 2 住戸にて、実居住時の室温、空調機の運転特性、消費電力、熱量の年間データを得た。
- ② 連続運転時の室温は、暖冷房時ともに安定し、冬期の非空調室との室間温度差が 2℃と、間欠運転時の 4℃に比べて小さく、高水準な温熱環境であった。
- ③ 連続冷房運転時の SA 温度は、間欠運転時より高く推移し、顕熱除去が主体で運転され、省エネルギーな運転であった。
- ④ 連続運転時の負荷率は、暖冷房時ともに 0.2 前後で、間欠運転時より低く推移した。
- ⑤ 空調運転時の室温立上げのためには空調出力 5kW 以上は必要だが、現在は定格出力の半分以下で運転している時間がほとんどであり、性能向上に向けた今後の検討項目だと考えられる。
- ⑥ 年間空調消費電力(2 住戸平均)は 1.8MWh/年であった。
- ⑦ 夏期は連続運転と間欠運転で空調熱量・消費電力共に同等であった。
- ⑧ 連続運転時と間欠運転時の 1 月の平均室温を比べると、リビングで同等で、廊下で約 2℃前者が高くなる結果となった。連続運転時は住戸全体で暖かい環境が得られる分、空調熱量は約 50%増加したが、消費電力は約 16%増にとどまるため、少ない消費電力で効率よく運転していることがわかった。
- ⑨ 解析モデルによる空調熱量事前予測値は、居住者運転設定の条件差（主に運転時間）と考えられる原因で、特に冬期の実測値との差が確認されたが、解析モデルで開発システムの運転状況を、安全側で予測できることを確認した。

注 1 物体の温度を変えるための熱量。

注 2 空気中の水蒸気の除去に要する熱量。

注 3 除去(供給)熱量を機器の定格能力で除した値とした。

注 4 居住者による冷房設定温度の変更が行われたと判断される。

注 5 本報では結果を省略した。

注 6 居住者へのヒアリングによる。

謝辞：長期実測に快くご協力いただいた居住者の方に、感謝の意を表します。また、開発システムは東京電力㈱殿との共同開発によるものであり、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) エネルギーの使用の合理化に関する法律（改正，平成 18 年 4 月施行），
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/syouene/shouene.html>
- 2) 桜井，佐竹，加々井：床下チャンバー方式による集合住宅の空調・換気システムに関する研究（その 1）空調システムと試験住戸の概要，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.1201-1202，2005 年 9 月
- 3) 桜井，佐竹，義江，塩田：床下チャンバ方式による集合住宅の空調・換気システムに関する研究(その 2) 夏期実測結果，(その 3)冬期実測結果，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.1187-1190，2006 年 9 月
- 4) 桜井，佐竹，塩田：床下チャンバー方式による集合住宅の空調・換気システムに関する研究(その 4)試験住戸における真菌実態調査，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.1221-1222，2007 年 8 月
- 5) 桜井，井口，佐竹，久保：床下チャンバー方式による集合住宅の空調・換気システムに関する研究(その 5) 試験住戸，空調システムの概要と冬期実測結果，(その 6) 動的シミュレーションモデルの構築，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.1159-1162，2008 年 9 月
- 6) 桜井，井口，佐竹，久保：床下チャンバー方式による集合住宅の空調・換気システムに関する研究（その 7）夏期実測結果，（その 8）動的シミュレーションによる空調負荷算出，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.897-890 2009 年 8 月
- 7) Expanded AMeDAS Weather Data，日本建築学会，2003 年 2 月 28 日
- 8) Solar Energy Laboratory，University of Wisconsin：TRNSYS Volume I Reference Manual
- 9) 宇田川：標準問題の提案 住宅用標準問題，熱分科会第 15 回熱シンポジウム「伝熱解析の現状と課題」，日本建築学会環境工学委員会，pp.23-33，1985 年 9 月