

集合住宅における壁体内空気循環暖房システムの暖房機器の変更による省エネルギー効果の検証

ASSESSMENT OF AN ENERGY SAVING EFFECT IN AN APARTMENT WITH A DIFFERENT HEATING EQUIPMENT FOR INSIDE-WALL AIR CIRCULATION HEATING SYSTEM

高村研究室 17T5061G 山本陸人
Takamura Lab. 17T5061G Rikuto YAMAMOTO

キーワード：
放射暖房 エアコン 省エネルギー性能 快適性能

Keywords:
Radiation heating, Air conditioner, Energy-saving performance, Comfort performance

放射暖房方式はエアコンに代表される対流式暖房に比べ、室内温度が均一になりやすく、快適な温熱環境を作り出せるとされている。本研究ではRC造集合住宅におけるエアコンを用いた壁体内空気循環暖房システムの快適かつ省エネルギー性の高い設定条件を室温や消費電力、表面温度分布の計測によって検討し、最適な設定での本システムとエアコン暖房時との比較を行うことで本システムの性能評価を行った。

1. はじめに

暖房方式の主流である、エアコンに代表される対流式暖房は短時間で室内温度を上昇できるが、快適性に問題がある。一方で床暖房に代表される放射暖房は室内の上下温度分布が均一になりやすく、快適な室内環境を作り出せるとされている。エアコンと比較して床暖房が快適であることは飯野¹⁾らによって示されている。既往研究では、戸建て住宅における床下空間を利用した全室暖房システムに関する研究²⁾や集合住宅における床チャンパー空調に関する研究³⁾は行われているが、本研究で対象とするシステムのように、集合住宅において床・壁・天井の6面を利用した放射暖房に関する研究は少ない。

本システムは、室内を取り囲むように設けられた空気層内に、壁体内に設置したエアコンとクロスフローファン(以下CFファンとする)で温風を循環させ、放射暖房を行う。安田ら⁴⁾により放熱器によって熱供給し、カウンターアローファン(以下CAファンとする)で空気層内に温風を循環させる6面での放射暖房システムに関する研究が行われた。放熱器を用いたシステムでは快適性が高いが、空気層内に温風が十分に循環していないことや消費電力量が多いことが課題であった。本研究ではRC造集合住宅におけるエアコンを用いた壁体内空気循環暖房システムの実測ケースの中から快適性と省エネルギー性が両立された最適条件を検討した。さらに、実測ケースの最適条件での本システムと放熱器を使用したシステム、エアコン暖房と比較し、性能評価を行った。

2. システム概要および建物概要

2.1 暖房システム概要

対象室モデルを図1に示す。壁体内に設置されたエアコンとその両端に設置された2台のCFファンにより床・壁・天井の6面に設けられた空気層に温風を循環させることで暖房を行う。CFファンとエアコンの仕様を表1、表2に示す。

2.2 建物概要

表3に集合住宅の概要を示す。実験は集合住宅の1階部分の1室で行った。対象室の平面図を図2に示す。室外機の仕様を表4に示す。換気設備は全熱交換型のダクトレス第一種換気システムである。

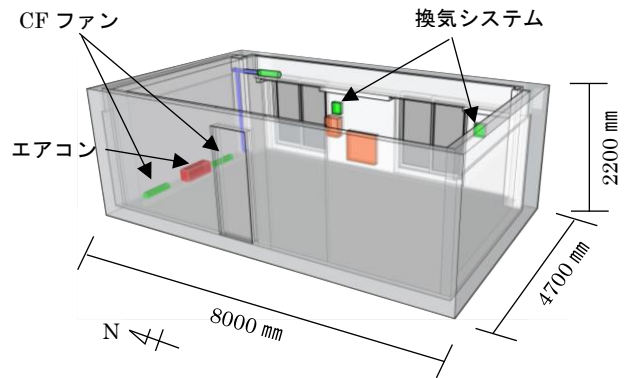


図1 対象室モデル

表1 CFファン仕様

	最大風量 [m ³ /h]	定格電力 [W]
ファン	576	51

表2 エアコン仕様

室内機	風量[m ³ /h]	
	強	冷:900 暖:936
	弱	冷:810 暖:780
	微	冷:636 暖:636

表3 建物概要

所在地	長野県駒ヶ根市
竣工	2006年8月
構造	RCラーメン構造
階数	地下1階 地上3階
延床面積	1住戸88m ² (1階~3階 各4戸) 総延床面積1408m ²
U _a 値	0.55W/m ² ・K

表4 室外機仕様

	暖房能力 [kW]	定格消費電力 [kW]
室外機 エアコン接続時	7.7	2.150

表5 計測機器

計測機器	計測項目	計測間隔
T型熱電対 φ0.32mm	温度	1分
グローブ球	放射温度	1分
TWP-030 (ハカルプラス製)	電力量	1分
AM-101 (京都電子工業製)	気温 グローブ温度 相対湿度	10分
TR-72nw (T&D製)	温度 相対湿度	10分
testo 175H1	温度 相対湿度	1分

表6 計測期間

ケース名	設定温度	設定風量	ファン風量	風向	計測期間
30°C・強・45°	30°C	強(936m ³ /h)	最大(576m ³ /h)	左右ルーバー45°	11/20~11/26
30°C・強・直進	30°C	強(936m ³ /h)	最大(576m ³ /h)	直進	12/1~12/13
25°C・自動・45°	25°C	自動	最大(576m ³ /h)	左右ルーバー45°	12/14~12/21
25°C・強・45°	25°C	強(936m ³ /h)	最大(576m ³ /h)	左右ルーバー45°	12/22~1/7

3. 計測概要

計測機器の仕様は表 5 に、計測点を図 2 に示す。計測点①~④では地下天井・スラブ表面・床空気層・床裏面・床表面・天井表面・天井空気層の温度を計測し、f1~f9 では床空気層内風速、天井空気層内風速と床表面温度を計測した。また、計測点③では室内温度（床上 100mm・600mm・1100mm・1700mm）とグローブ温度、湿度、PMV（床上 1100mm）の計測を行った。また、エアコンの吹き出し口、吸い込み口の温湿度やエアコンと CF ファンの消費電力量の計測を行った。計測は 2020 年 11 月 20 日~11 月 26 日、12 月 1 日~12 月 13 日、12 月 14 日~12 月 21 日、12 月 22 日~2021 年 1 月 7 日の期間で行い、機器設定ごとの計測期間を表 6 に示す。また、計測開始日は設定の切り替え日として分析対象期間から除外した。

4. 風量や風向による傾向比較

4.1 風量の増加による空気層内風速

放熱器を使用したシステムでは CA ファンを天井に設置し、ダクトを通して床空気層に供給していたが、CA ファンの風量が小さく空気層内に十分に温風が循環していなかった。本システムでは空気層内の風速を増加させるために、576 m³/h の CF ファンを新たに設置した。図 3 と図 4 に本システムにおける空気層内風速分布を示す。図の矢印の向きは風向、数値は風速の 1 分間の平均値、括弧内の数値は放熱器を使用したシステムの空気層内風速分布との差を表す。赤色、青色は風速の増加、減少を表す。緑色は本システムで追加した計測点である。なお、北壁の風速に関しては放熱器を使用したシステムと風向が逆になっていた。放熱器を使用したシステムは「強運転の CA ファン(378 m³/h)×2 台」、本システムは「CF ファン(576 m³/h)×2 台と強運転のエアコン(936 m³/h)、エアコンルーバー45°」として計測した。放熱器を使用したシステムに比べ、本システムは大部分で風速の上

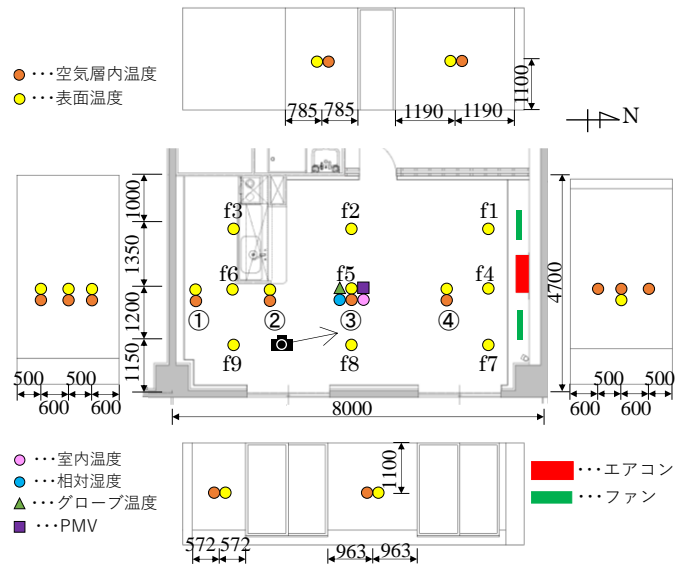


図 2 対象室平面図と計測点展開図

昇が確認できたため、空気層内の循環効率が改善されたといえる。

4.2 風向による表面温度

本システムではエアコン風向の違いによる床表面温度分布の把握を目的とし、エアコンのルーバーを開いた場合の他にルーバーを直進とした場合の計測を行った。図 5 と図 6 に床表面の熱画像、図 7 に熱画像の変換前画像を示す。なお、エアコンの位置を点線で示し、撮影位置は図 2 に示す。ルーバー45°の場合は温風の左右への拡散が確認できたが、ルーバーを直進とした場合は温風が左右に拡散せず、直進に進む傾向が確認できた。ルーバー45°とした方がより床表面の温度差を小さくできたと考える。

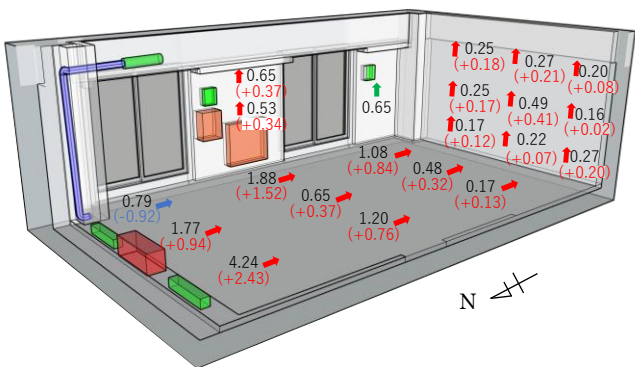


図 3 2020 年度空気層内風速分布 [m/s]

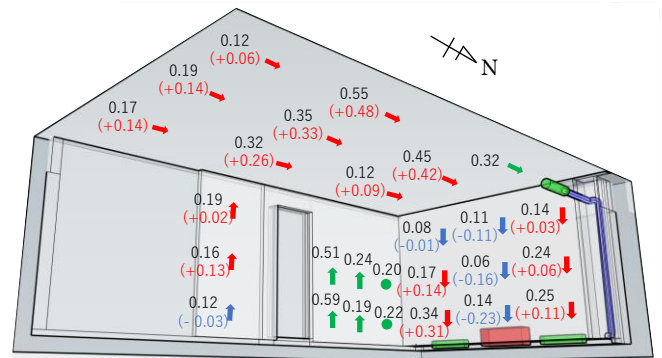


図 4 2020 年度空気層内風速分布 [m/s]

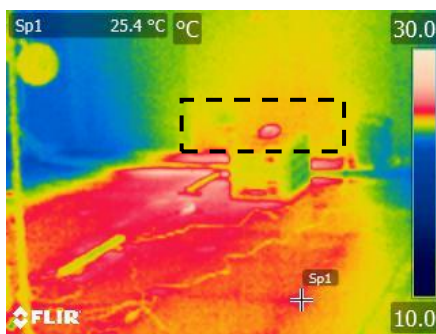


図 5 熱画像(45°)

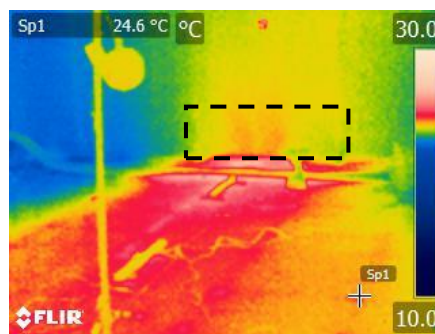


図 6 熱画像(直進)

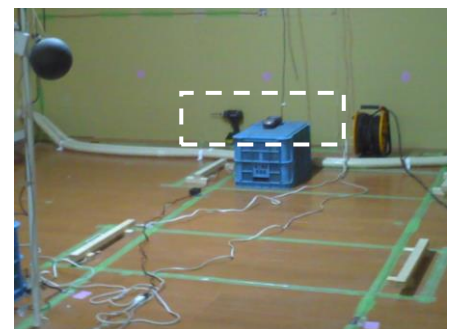


図 7 変換前画像

5. 本システムにおける最適条件の検討

5.1 設定温度の検討

分析対象日として本システムの「30°C・強・直進」と「25°C・強・45°」において日射の影響を受けない0時～6時の平均外気温度に近い12月4日、12月30日を代表日とし、比較した。0時～6時の平均外気温度は12月4日は4.7°C、12月30日は4.8°Cであった。なお、エアコンのルーバーの向きは室内温度や消費電力量への影響が小さいことは予備実測で明らかになったため、設定温度を30°Cとした場合は風向を直進とした。

図8に室内温度と外気温度、1時間当たりの消費電力量を示す。「30°C・強・直進」では室内温度が27°C程度、PMVの値が0.7以上となり必要以上に室内温度が上昇した。一方で、「25°C・強・45°」では室内温度が23°C程度、PMVの値が-0.3近くとなり快適域-0.5~+0.5に収まることが確認できた。なお、PMVの計算ではmet値1.0、clo値1.0とした。また、消費電力量に関しては1時間当たり約370Wh、0時～6時の間で約2.2kWhの削減が確認できた。

5.2 設定風量の検討

分析対象日として本システムの「25°C・自動・45°」と「25°C・強・45°」において日射の影響を受けない0時～6時の平均外気温度に近い2020年12月21日、2021年1月1日を代表日とし、比較した。0時～6時の平均外気温度は12月21日は-2.1°C、1月1日は-2.5°Cであった。

図9に室内温度と外気温度、1時間当たりの消費電力量を示す。設定風量を自動としたことで強運転時に比べ1時間当たりの消費電力量は3時に約500Whの削減が確認できたが、それ以外の時間では約120Wh、0時～6時の間で約1.1kWhの削減が確認できた。設定風量を小さくしたことによる省エネルギー効果は温度を5°C下げたことによる省エネルギー効果程の効果はなかった。また、室内温度に関しては「25°C・強・45°」では22°C程度でPMVの値が-0.5近くである。一方で、「25°C・自動・45°」では16°C程度でPMVの値が-1.9近くとなり快適域-0.5~+0.5から外れることが確認できた。

5.3 最適条件の各面表面温度

4.2、5.1、5.2節より実測ケースにおける本システムの快適性と省エネルギー性が両立された設定条件は「25°C・強・45°」と判断した。図10に「25°C・強・45°」の計測期間の中間日12月30日の各面代表点における表面温度を示す。なお、床表面温度と天井表面温度は計測点3、南壁表面温度と北壁表面温度は床上高さ1100mmの点、東壁表面温度と西壁表面温度は室の中央側の床上高さ1100mmの点を代表点とした。最も温度が高い面は南壁であり、東壁と西壁が他の面に比べて低いことが明らかになった。南壁との日平均温度差は東壁が2.3°C、西壁が3.9°Cと高いことから東西方向へ温風が十分に拡散できていないと考えられる。

6. 暖房方法の異なるパターンの比較

6.1 省エネルギー評価

分析対象日として本システムの最適条件である「25°C・強・45°」と「放熱器:50°C・CAファン:弱運転(222m³/h、定格電力8.5W)×2台」とした放熱器を使用した壁体内空気循環暖房システムにおいて日射の影響を受けない0時～6時の外気温度に近い2020年12月30日と2019年11月15日を抽出し、比較した。0時～6時の平均外気温度は

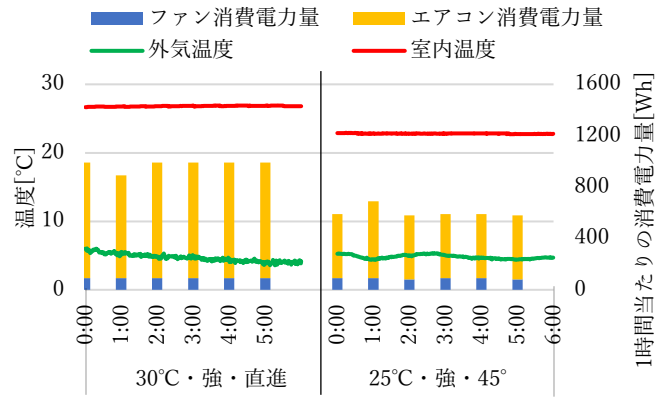


図8 室内温度と外気温度、1時間当たりの消費電力量

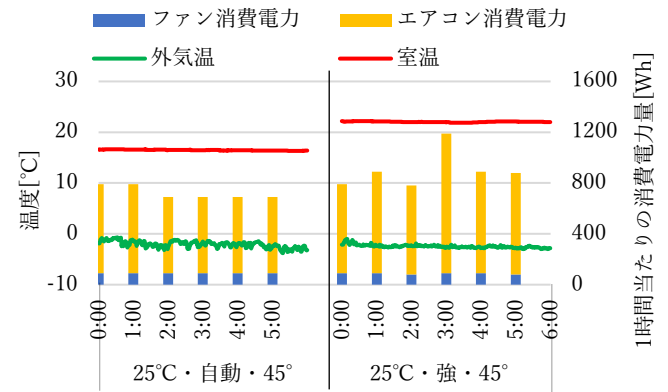


図9 室内温度と外気温度、1時間当たりの消費電力量

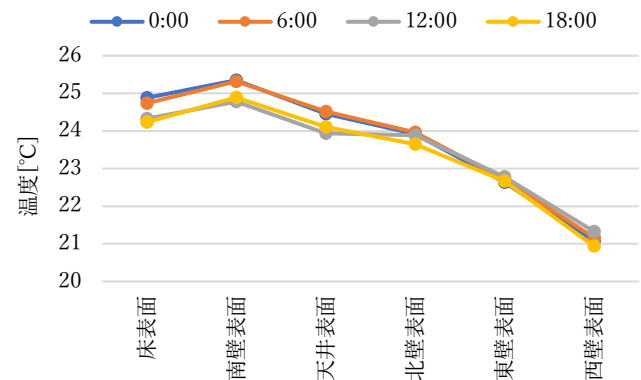


図10 各面表面温度分布

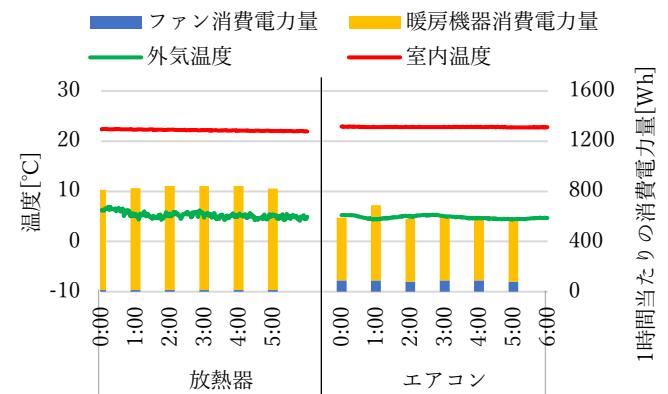


図11 室内温度と外気温度、1時間当たりの消費電力量

2020年12月30日は4.8℃、2019年11月15日は5.3℃であった。

図11に消費電力量と外気温度、室内温度を示す。1時間当たりの消費電力量はエアコンを使用した場合が約230Wh、0時~6時の間で約1.4kWhの削減が確認できた。また、エアコンと放熱器のみの消費電力量では1時間当たり約300Wh、0時~6時の間で約1.8kWhの削減が確認できた。0時~6時の消費電力量から外気温度が同程度の場合、エアコンを使用したシステムが放熱器を使用したシステムに比べ省エネルギー性が高いといえる。

また、本システムの「25℃・強・45°」と「設定温度：20℃・設定風量：自動運転・風向：自動運転」としたエアコン暖房の比較を行った。分析対象日として日射の影響を受けない0時~6時の外気温度が近い2020年12月29日と2019年12月25日を抽出し、比較した。0時~6時の平均外気温度は2020年12月29日は1.1℃であり、2019年12月25日は0.7℃であった。

図12に室内温度と外気温度、1時間当たりの消費電力量を示す。本システムでの室内温度は一定であるのに対して、エアコン暖房の室内温度は頻繁に1度以上の変動がある。これは室内温度を計測している位置にエアコンの温風が直接当たっていたことが要因と考えられる。そのため、温風を直接受けにくい北側や南側の室内温度は実測値よりも低いと考えられる。また、消費電力量に関してはエアコン暖房に比べて本システムが1時間当たり約320Wh、0時~6時の間で約1.6kWh多い。これは本システムのエアコンの設定温度が5℃高く、設定風量を強運転としていることが原因である。

6.2 快適性評価

本システムと放熱器を使用したシステム、エアコン暖房を6.1節と同様の設定条件で垂直温度差を比較し快適性の評価を行った。本システムと放熱器を使用したシステムは同じ6面放射暖房であるため同等の快適性であった。また、「25℃・強・45°」の本システムと「設定温度：20℃・設定風量：自動運転・風向：自動運転」のエアコン暖房の比較には、分析対象日として6.1節と同様の2020年12月29日と2019年12月25日を使用した。

図13、図14にそれぞれの室内垂直温度分布を示す。本システムでは日平均垂直温度差は約0.3℃であるのに対し、エアコン暖房では日平均垂直温度差は約2.1℃であった。エアコン暖房に比べ本システムが垂直温度差が小さいことから、本システムがより快適な室内環境であるといえる。

7. まとめ

本研究ではRC造集合住宅におけるエアコンを用いた壁体内空気循環暖房システムの最適条件を検討し、最適条件での本システムを放熱器を用いた壁体内空気循環暖房システムとエアコン暖房で比較し、性能評価を行った。結果を以下に示す。

- (1) 壁体内空気循環暖房システムに使用する暖房機器は、放射暖房方式よりも対流暖房方式の方が少ない消費電力量で快適な室内環境にできる事が明らかになった。
- (2) CAファン(378 m³/h)からCFファン(576 m³/h)に変更し、エアコン風量を936 m³/hとすることで空気層内の循環効率が改善された。
- (3) 本研究で対象とするシステムの実測ケースの中で快適性と省エネルギー性が両立された最適条件は「25℃・強・45°」であった。

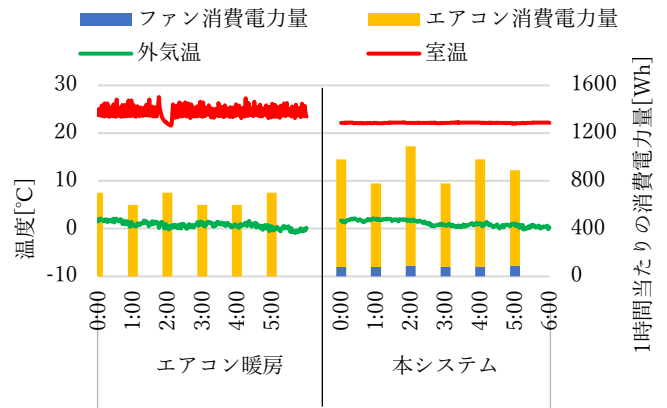


図12 室内温度と外気温度、1時間当たりの消費電力量

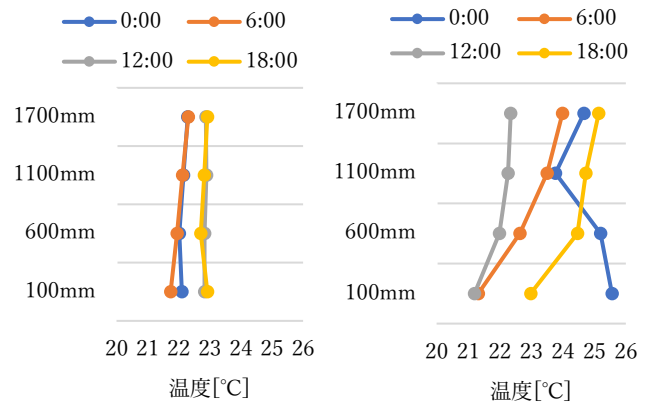


図13 本システムの室内垂直温度分布

図14 エアコン暖房の室内垂直温度分布

- (4) 6面放射暖房はエアコン暖房に比べ快適性が高いといえるが、消費電力量が37 m²の室に対して日積算消費電力量が最低で16.6kWhと多く省エネルギー性が課題である。

今後の課題としては、省エネルギー化を目的とした更なる効率的な運転方法や暖房システムについて検討する必要がある。さらに、東西方向への温風の広がりが十分でなく西壁と東壁の温度が低いことについても改善の余地がある。

謝辞

研究を進めるにあたりご指導、ご協力いただいた泰成株式会社をはじめ、関係各位の皆様には深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1)飯野ら：床暖房とエアコンが設置された居室における温熱環境と快適性、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.409-412、2007.9
- 2)福島ら：床下専用放熱器の開発とユニット住宅への適用：床下空間を利用した空気循環型全室暖房システムの開発と適用 その2(環境工学)、日本建築学会技術報告集、第11巻、第22号、pp311-314、2005.12
- 3)井口ら：住宅における床チャンバー空調の設計手法に関する研究 その1床チャンバーにおける熱と気流の性状および熱負荷計算、日本建築学会技術報告集、第18巻、第40号、pp983-988、2012.10
- 4)安田ら：RC造集合住宅における放熱器を用いた壁体内空気循環暖房システムに関する研究 (第1報)熱源を放熱器としたシステムの性能評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp309-312、2020.9