

太陽エネルギー活用型ヒートポンプ暖冷房換気給湯システムによる住宅のエネルギー自立性向上に関する研究 その4： 冬期床下暖房時の省エネ性および快適性向上のための検討

全館空調 温熱環境 住宅
PVT 床下暖房

正会員 ○石倉 侃介*1 同 高瀬 幸造*2
同 前 真之*3 同 真島 繁*4
同 盧 炫佑*5

1. はじめに

本報では、実測およびCFD解析を用いて冬期床下暖房時の省エネ性および快適性向上のための検討を行った。

2. 冬期実測結果

床下空間にある熱流センサのデータに欠測のないb邸を対象とした検討について示す。図1～図2では、b邸の図面および計測点概要を示す。また床下空間には、基礎外周部立上り全面・基礎スラブ全面に断熱材が貼ってある(図2)。

2020年1月～2月の実測期間において、最低外気温を記録した2月7日を代表日とした。図3にシステムの運転モード、図4に外気温、設定温度および各室温度、図5に各室温度、図6に熱流、図7に家全体の消費電力量と発電量を示す。図6では、床下空間から外気方向へ熱が移動するとき、基礎外周部立上りの熱損失が正の値、床下空間から土壌方向へ熱が移動するとき基礎スラブの熱損失が正の値をとる。

温熱環境に着目すると、主居室のリビングにおいては、設定温度の25℃で保たれていることが確認できる(図4)。また、住戸全体として、おおむね23℃付近で室温が推移しており、特にリビング・個室といった居室の温度差が小さく快適性が保たれていることが確認できる(図5)。

次に省エネ性について着目する。床下ダクト吹出口温度が50℃まで上昇したとき、基礎外周部立上り・基礎スラブの熱損失が大きくなっていることを確認できた(図6)。さらに、同時刻では、家全体の消費電力量が2500Wまで高まることも確認できた(図7)。

3. CFD解析を用いた検討

ここではCFD解析を用いて、最低外気温条件において、省エネ性の高まる床下吹出口温度の検討、また床下空間の熱損失を減少させるための基礎断熱位置を考慮した検討を行った。解析にはFlowDesigner2020を用いた。解析対象日時は、2020年1月～2月において、最低外気温を記録した2020年2月7日午前7時20分の実測データに基づき、定常解析を行った。解析条件は表1に示す。放射伝熱も考慮に入れるため、放射解析を行った。境界条件は表2に示す。土壌温度設定は、本検討の解析とは別に縦100m×横100m×高さ10mの土壌の側面と底面を標準年拡張アメダス2010年版(静岡県吉原)の年平均気温16.2℃、地表面を解析日時の外気温3.1℃と設定し、

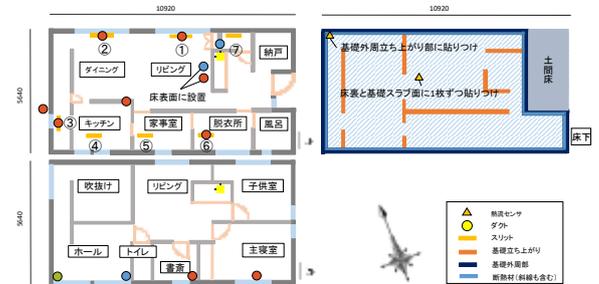


図1：平面図および計測点概要 (b邸)



図2：断面図および計測点概要 (b邸)

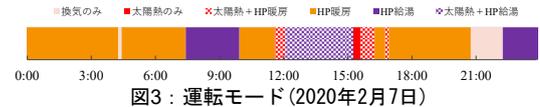


図3：運転モード(2020年2月7日)

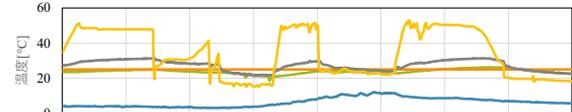


図4：外気温、設定温度および各室温度(2020年2月7日)

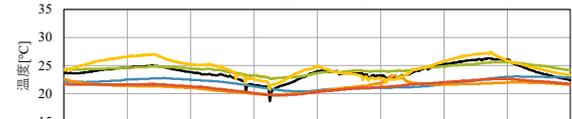


図5：各室温度(2020年2月7日)

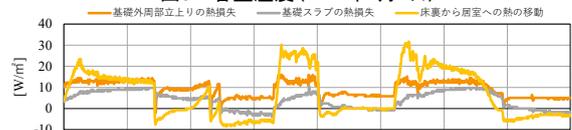


図6：熱流(2020年2月7日)

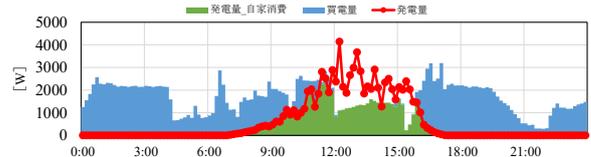


図7：家全体の消費電力量と発電量(2020年2月7日)

Research on Improving the Energy Independence of Houses by Using Air-Conditioning and Hot-Water Supplying System Utilizing PVT Air Collector & Heat Pump for Houses.

Part4. Examination for Improving Energy Saving and Comfort in case of Using Underfloor Heating in Winter.

ISHIKURA Kansuke, TAKASE Kozo, MAE Masayuki, MAJIMA Shigeru, ROH Hyunwoo

表1：解析条件

解析ソフト	FlowDesigner2020	
解析内容	温度・速度、放射解析	
乱流モデル	標準k-εモデル	
解析領域	50m×50m×18.367m	
メッシュ数	約1500万メッシュ	
内部発熱	家電198W、人体発熱120W	
収束判定	(定常解析)1×10 ⁻³ ~3.5	
解析日時	2020/2/7 AM7:20	
外気温	3.1℃ (解析対象日時の実測データ)	
流入条件	B系統吹出口	風量 423m ³ /h (解析対象日時の実測データ) 吹出口温度 40℃、45℃、50℃
流出条件	RA吸込口	423m ³ /h

表2：境界条件

部材	プロパティ					
	パネル種別	内表面熱伝達率	外表面対流熱伝達率	材質と熱伝導率(W/mK)	疑似厚み	厚み
窓	形状モデル	自動計算	19.9	Low-E複層ガラス(0.141)	各窓ごとに設定	
屋根	形状モデル	自動計算	19.9	杉板(0.12)	0.400m	
外壁	形状モデル	自動計算	19.9	杉板(0.12)	0.290m	
内壁	形状モデル	自動計算	自動計算	杉板(0.12)	0.130m	
床	形状モデル	自動計算	自動計算	杉板(0.12)	0.04m	
基礎コンクリート(スラブ面)	形状モデル	自動計算	自動計算	基礎コンクリート(1.6)		0.150m
基礎コンクリート(立ち上がり)	形状モデル	自動計算	自動計算	基礎コンクリート(1.6)		0.100m
基礎断熱材	形状モデル	自動計算	自動計算	押出法ポリスチレンフォーム3種 bA(0.028)		0.050m
大引	形状モデル	自動計算	自動計算	杉板(0.12)		0.100m

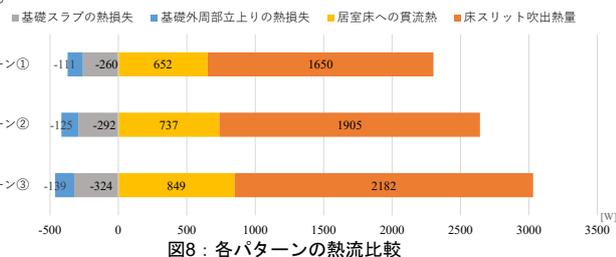
解析を行った。そこから中央部の 50m×50m×10m を取り出し、本検討の解析領域内における土壌設定温度とした。

3.1 床下ダクト吹出口温度を考慮した検討

最低外気温の条件において、床下ダクト吹出口温度を 40℃、45℃、50℃と設定した場合をそれぞれパターン①、②、③とする。

解析を行った結果、暖房負荷を賄う熱量を正の値、床下から外気・土壌への熱損失を負の値として図 8 にまとめた。床下投入熱量に対する床下熱損失の割合は、全てのパターンにおいて 14~15%と大きな差は見られなかった。また、パターン①~③の床下熱損失量はそれぞれ 371W、417W、462W となった。次に温熱環境については、評価方法として SET*を採用した。住戸全体の体積を 100%としたとき SET*の快適域に収まる体積の割合は、パターン①では 61%、パターン②では 70%、パターン③では 79%となった(図は省略)。

また、パターン①~③の床下熱損失量はそれぞれ 371W、417W、462W となった。次に温熱環境については、評価方法として SET*を採用した。住戸全体の体積を 100%としたとき SET*の快適域に収まる体積の割合は、パターン①では 61%、パターン②では 70%、パターン③では 79%となった(図は省略)。



3.2 基礎断熱位置を考慮した検討

基礎断熱位置を考慮した検討では、床下ダクト吹出口温度を 50℃で固定し、基礎断熱位置を変更させることで省エネ性がどれほど上昇できるかを検討した。基礎断熱位置の比較パターンを図 9 に示す。パターン 1 は現状の基礎断熱材位置のモデル、パターン 2 は床裏を除いた床下空間の表面全てに断熱材を貼ったモデル、パターン 3 は一般的な基礎断熱材位置であり、基礎外周部立上りと基礎スラブ面外周部の 0.5m に断熱材を貼ったモデル、パターン 4 はパターン 3 に加え、基礎

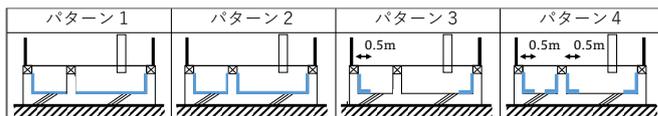


図9：基礎断熱位置の比較検討パターン

中央部立上りとその周辺の基礎スラブ面 0.5m に断熱材を貼ったモデルである。

解析を行った結果を図 10、11 に示す。基礎スラブ面に断熱材を貼ったパターン 1、2 と貼っていないパターン 3、4 では床下熱損失に大きな差が見られた。全体の投入熱量に対する基礎スラブの熱損失は、それぞれ順に 10%、9%、15%、14% となっており、基礎スラブ面に断熱材を貼っているパターン 1、2 の方が 5%程度の床下熱損失が削減でき、省エネ性向上を確認することができた。次に温熱環境については、住居全体に対して各パターンの SET*の快適域の体積割合は 79%、81%、68%、69%と、基礎スラブに断熱材のあるパターン 1、2 の温熱快適性が高く、床下暖房時の基礎スラブ全面断熱の有効性が確認できた。



図10：各パターンの熱流比較

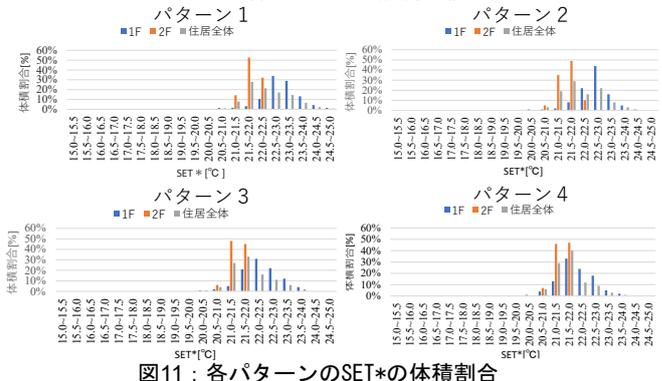


図11：各パターンのSET*の体積割合

4. まとめ

PVT・ヒートポンプ活用全館空調を搭載した住宅における冬期床下暖房時の省エネ性及び快適性向上を目的とし、床下ダクト吹出口温度と基礎断熱位置を考慮した CFD 解析による検討を行った。床下ダクト吹出口温度の検討では、最低外気温において、床下ダクト吹出口温度 40℃の場合でも 60%以上の範囲で快適になり、吹き出し温度が上がればほぼ全体で快適な温熱環境が実現できることが確認できた。また、基礎断熱位置を考慮した検討では、基礎スラブ全面に断熱材を貼った場合に居住域への放熱量が 1 割以上増え、省エネかつ温熱環境的にも有利であると分かった。

*1 東京理科大学大学院
 *2 東京理科大学 講師 博士 (工学)
 *3 東京大学 准教授・博士 (工学)
 *4 東京大学大学院
 *5 OM ソーラー 取締役・技術部長・博士 (工学)

*1 Graduate Student, Tokyo Univ. of Science.
 *2 Junior Assoc. Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.
 *3 Assoc. Prof., the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
 *4 Graduate Student, Tokyo Univ.
 *5 Director, OM Solar Inc. Dr. ENG.