

断熱改修と床暖房を敷設した伝統民家の 温熱環境改善効果の計測

中園真人(感性デザイン工学科) 吉浦温雅(情報・デザイン工学専攻) 志賀均(ジャスト東海)
水沼信(山口県技術センター) 後藤伴延(感性デザイン工学科) 小金井真(感性デザイン工学科)

Measurement of effect on thermal environment improvement of tradition house where insulation renovation and floor heating were constructed

Mahito NAKAZONO (Kansei Design) Atsumasa YOSHIURA (Information Design)
Hitoshi SHIGA(Just Toukai) Makoto MIZUNUMA (Yamaguchi Prefectural Industrial Technology Institute)
Tomonobu GOTO (Kansei Design) Makoto KOGANEI(Kansei Design)

In this paper, we propose the technique for improving the thermal environment of the tradition house by the insulation renovation and the floor heating. We repaired the tradition house by this technique, and did the measurement investigation of the thermal environment before and after the repair. As a result, it was confirmed that about 2–5°C had been improved to the room temperature decrease in the dawn. And, top and bottom indoor temperature distribution was canceled by using the floor heating together with the air conditioner immediately after beginning of heating.

Key Words: Traditional House, thermal Environment, Repair

1. 序論

伝統民家は断熱・気密性能が低く、従来の暖房機器である石油ストーブや電気こたつが使用された冬期の温熱環境には、①暖房室と非暖房室の間に大きな温度差が生じる、②暖房中の室内に上下温度差が生じる、③暖房停止後に急激に室温が低下し、明け方の室温を維持することが困難、などの問題がある。このために東北地方では、高断熱高気密化の手法により民家の隅々まで現代住宅と同等の温熱環境を得ようとした改修事例¹⁾が見られる。しかし、外壁に断熱材を挿入することや気密化を図るなどの技術的に困難で、民家全体に及ぶ大掛かりな改修は、膨大な費用がかかり実施されることは敬遠されると予想される。したがって、現実的な改修手法としては、改修後に使われることが想定される範囲において、上記の冬季伝統民家の温熱環境の問題点を改善していくという視点に基づいたものが必要になると考える。

これまでの伝統民家の冬季の温熱環境について

は、宇野らの中部日本の山間部における実測調査と居住者へのアンケート調査の結果から、室内の上下温度差が大きく、居住者は「すきま風が多い」「足下が冷たい」の不満を抱えているといった問題点を報告したもの²⁾があるが、これは問題点を指摘したものであり問題点を改善する手法について検討したものではない。伝統民家の冬季の温熱環境に関する研究のうち、室内温熱環境を改善することを意図して断熱改修を施した事例を取り扱ったものについては、長谷川らによる床・壁・天井に100mmの断熱材を施した事例³⁾の実測調査を行ったもの³⁾があるが、ここでは改修前後の温熱環境について比較が行われておらず、断熱改修が温熱環境に及ぼした効果については検証されていない。また、改修後の温熱環境についても上下温度差が大きいなど高い温熱環境レベルが得られておらず、伝統民家の改修手法は今後検討される必要があるとされている。

そして、床暖房が敷設された実家屋の温熱環境

の実測調査については、鉄筋コンクリート造や高断熱木造住宅を対象としたものはあるが、床暖房が敷設された伝統民家の改修事例が多く確認できるなかで、伝統民家を対象として温熱環境を実測調査したものはない。床暖房の暖房開始後の温熱環境については、芥川らによる次世代省エネルギー基準Ⅲ地域仕様の住宅においてヒートポンプ式床暖房の実測調査⁴⁾があり、床暖房を使用した場合に室温が22℃に達するために2.5時間以上の時間が必要であること、エアコン・床暖房・エアコン連動床暖房の3つの運転モードのうちエアコン連動床暖房が須永らの快適評価域の「快適感+」に最も早く到達すると報告されている。しかし、これは伝統民家の温熱環境の改善を目指そうとした観点のものではない。

また、これまでに住宅の居室については、温熱環境の調査を行うとともに、居住者が使用する暖房機器や暖房の習慣、さらに室温を保持するために努める行為などの記録により、住宅の温熱環境の実態を明らかにし、今後の温熱環境を改善していく方向を探ろうとしたものが多くある^{5) -8)}。絵内らは、北海道にある住宅について長期間にわたる調査を行っている^{9) -10)}。ここでは、ストーブの使用では外気温の低下に伴う床付近温度の低下を放置せざるを得ない状態であり、起床直後の予熱期では床付近温度が低いため、ストーブの周辺に生活領域を限定縮小して輻射熱により体感温の低下を補償し、室温の上昇につれて徐々に活動範囲を広げていくことが観察されたことが報告されている。また、晴天時には日射の効果により、曇天時と比較すると上下温度差が正午の時点で約半分に減少し、室温も低めに設定され、隣接非暖房空間の戸襖を開放して、生活領域を広げていることが多いと報告されている。さらに、床暖房が敷設された住宅については、運転開始後の室温上昇を円滑にするために予熱用のファン・コンベクターが併用されていることが確認されている。松原らは、京都にある住宅を対象として温熱環境と住まい方の関係について、居間のイス座・ユカ座と室温との対応関係から考察し、「ユカ座・こたつ等あり」「イス座」「ユカ座・こたつ等なし」の順に床付近温度は高くなり、室温と起居様式の間に関連性がみられたことが示されている¹¹⁾。また、床付近温度が低い温熱環境でこたつ等の使用、あるいは暖房機器の採暖的使用により寒さを補っているために、生活域がこれらの機器周辺に限定されていることが現状として存在し、居住者によってそのような実態が許容されていると報告されてい

る。これより、京都においては断熱・気密性を若干高めることで得られる、ある程度高い自然室温に少量の加熱を行い、こたつ等を中心とした活動性の低い生活を行うことも住まい方の一つの方向性であると述べている。これらの得られた知見は、伝統民家の温熱環境を改善していくうえにおいても参考となる有用なものとして評価できると考えられる。

そこで筆者らは、断熱改修と床暖房の敷設によって冬季伝統民家の温熱環境の問題点を改善する手法を提案する。ここでの床暖房の敷設とは、北側に配置される居室の床をフローディング張りにし、イス座を行う食事室として使用するために、足下が暖かく快適な室内温熱環境が求められる場合などに限られる。したがって、本改修手法は日射取得などの環境条件を考慮して、同一の民家の各居室について断熱改修と床暖房の敷設を組み合わせることで、温熱環境の問題点を改善し、改修後の使われ方に応じた温熱環境を形成しようとするものである。

本改修手法が期待する伝統民家の温熱環境の改善効果は、①断熱性能が低い部位を断熱化する軽微な改修により、上記した冬季伝統民家の温熱環境の問題点①・③を改善すること、②床暖房と補助暖房の併用により、床暖房の単独運転と比較して室内温度を上昇させるために要す時間を短縮可能にし、温熱環境の問題点②を改善することである。

そこで本報では、山口県山口市にある改修後に福祉施設として利用される伝統民家を対象として実施した、断熱改修と床暖房を敷設した本改修手法の改修事例において、改修前後に行った温熱環境の実測調査の結果を比較することにより、上記した本改修手法が期待する2点の温熱環境の改善効果について明らかにする。さらに、施設運営時の温熱環境について実測調査を行うことにより本改修手法の有効性を検証する。

3. 改修前の計測結果

断熱材は食堂と機能回復訓練室の天井・床下と機能訓練室南北の廊下に設置した。断熱材の仕様は、天井 200mm・床下 100mm であり次世代省エネルギー基準を満たすものである。床暖房^{注1)}は、前述した理由により食堂に敷設した(図2)。

表1に計測の概要を示す。改修前の計測は、図1中の改修前平面図に示した計測点において、自然室温と6:00から22:00まで石油ファンヒータを使用して暖房した室内温度を計測した。改修後の

計測は、図1中の改修後平面図に示した計測点において、機能訓練室における6:00から22:00まで石油ファンヒータを使用して暖房した室内温度と食堂における床暖房単独運転・床暖房とエアコンの併用時の室内温度を計測した。改修後の運営時には、同じ計測点において施設が使用されている状態で計測を行った。

3. 改修前の計測結果

3.1 改修前非暖房時の計測結果

図3・4・5は、機能訓練回復室・食堂・地域交流室の自然室温の変動を示している。機能訓練回復室の南廊下と東和室の室内温度は、食堂の南廊下と東和室とそれぞれ比較すると、12:00ごろをピークとして上昇していることが確認できる。これは、食堂が北側に配置されているために、日射取得において不利であることが示されていると考えられる。同様に地域交流室の南北廊下・和室についても、日射取得条件による室温変動の違いが示されている。脱衣室については、日中に室温の上昇が確認されず、10℃以下の室温で保たれていることが確認できる。

3.2 改修前暖房時の計測結果

図6・7・8は、6:00から22:00の間ファンヒータを使用して暖房(設定温度23℃)した結果を示したものである。3室とも暖房開始直後から室温が上昇し始め11:00以降にはほぼ定常状態になっている。22:00に暖房を停止すると、室温は急速に低下し、明け方6:00には9~10℃程度になっていることが確認できる。これから3室とも断熱性能が低いことが推察される。小屋裏の室温変動を見ると、暖房開始後から上昇し室温が定常状態で保たれている時間帯では15℃以上で保たれおり、また自然室温の計測結果と比較からも天井の断熱性能が低く室内からの熱移動が生じていることが考えられる。廊下の室温変動については、暖房停止後から室温の低下が生じていることが確認できる。これについても、建具の断熱性能が低いことや建具の隙間からの漏気により室内から廊下への熱移動があることを示していると考えられる。床付近温度については、機能訓練室は16℃程度、食堂は14℃程度で保たれている。両居室の床付近温度は、室内温度と比較して約6℃程度低く、室内に上下温度差が生じていることが確認できる。次に、地域交流室の南北和室と脱衣所の温度を比較すると、午前中の間には15℃程度の温度差があることが確認できる。同様に北廊下や曇天時の南廊下についても暖房室との温度差が確認できる。

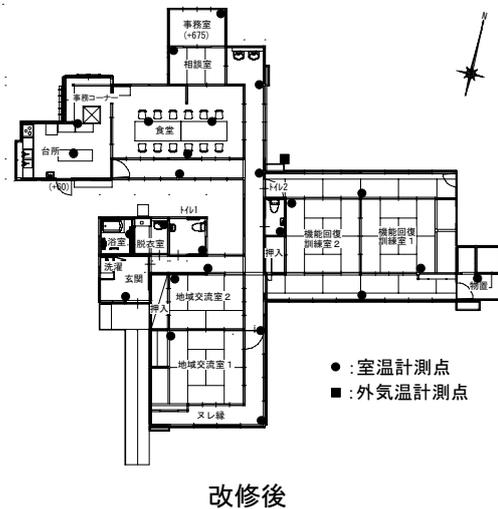
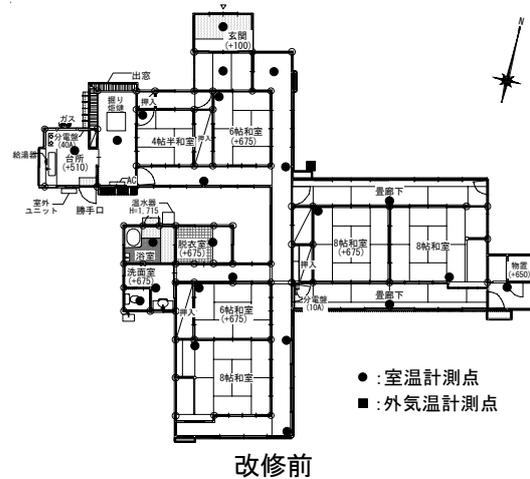


図1 改修前後の平面図

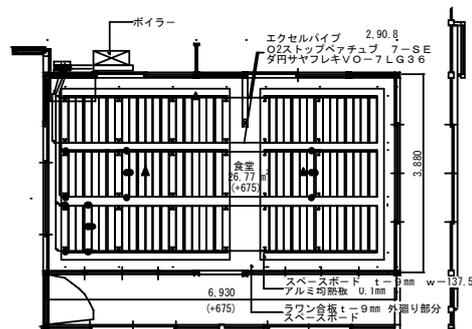


図2 床暖房割付け図

表1 計測の概要

改修	建物内の状況	測定期間	
1	前	空家	2006.12~2007.1
2	後	非運営時	2008.2~2008.3
		運営時	2008.12.15~2008.12.20

4. 断熱改修による温熱環境の改善効果

4.1 断熱改修後暖房時の計測結果

図9は断熱改修後の機能回復訓練室と食堂の計測結果を示している。小屋裏の温度変動を見ると、暖房開始後から上昇しているが改修前と比較すると温度上昇は小さくなっていることが確認でき、天井の断熱性が向上したことが示されていると考えられる。暖房開始後・暖房停止直後の室温変動は、改修前と比較して大きな変化を確認することができない。これは、改修前と変わらず居室から廊下への熱移動があるためと考えられる。床付近温度についても、改修前と同様に室温との温度差があることが確認できる。改修前と比較して、室温・天井付近温度が高くなっているが、これは南廊下の日射取得による室温上昇の影響によるものと考えられる。改修前にみられた暖房室と南廊下との温度差については、夜間暖房時の結果をみると大きな変化は確認できない。図10に示した改修後の食堂の室温変動についても、機能訓練回復室と同様の傾向が確認できる。

4.2 明け方最低室温と最低外気温の関係

図11は断熱改修前後の明け方最低室温と最低外気温の関係を示している。断熱改修前の食堂・機能回復訓練室は5℃程度外気温と比較して高いことが分かる。断熱改修後の食堂・機能回復訓練室については、機能回復訓練室は外気温と比較して約7℃高く、食堂は10℃程度高い。これより、断熱改修によって明け方の室温低下が2~5℃程度改善されたと考えられる。

5. 床暖房の敷設による温熱環境の改善効果

5.1 床暖房単独運転とエアコン併用時の計測結果

図12は、ボイラー設定温度60℃、室内リモコンでパイプ温度50℃に設定して計測した結果である。床表面・室内空気温度は8時間経過した後に定常に達していることが分かる。

定常時の床表面温度は、約30℃で室内空気温度は18℃程度で保たれている。小屋裏・廊下の温度変動は、ファンヒータ使用時の結果と同様に暖房停止後に温度低下していることが確認できる。床表面・室内空気温度の計測結果は床暖房使用時室内の快適推奨範囲を満たしている。しかし、室内空気温度の18℃は快適推奨範囲の最も低い値である。これは、廊下への熱損失が影響していることが推測される。

図13は、床暖房の設定がボイラー設定温度60℃、室内リモコンによるパイプ温度設定45℃で、エアコンを6:00~10:00の間22℃で運転した結果を示したものである。暖房開始から床表面・室内空気温度は上昇し、7:00~10:00の間は室内空気温度が25℃で保たれていることが確認できる。エアコン停止後の室内空気温度は低下するが、20℃程度で保たれている。

5.2 垂直温度分布の比較

図14は、中空パイプ方式床暖房システム使用時・断熱改修前後にファンヒータを使用した場合の垂直温度分布を比較したものである。中空パイプ方式床暖房システムを使用した場合、暖房開始30分後には垂直方向に温度差がない温度分布が形成されている。2時間後には床表面温度は25℃2時間後には床表面温度は25℃まで上昇し、床上50mmの温度は13℃になり、500mmから天井付近までの温度はほぼ均一に12℃になっている。定常状態である8時間後には、床上50mmの温度は18℃、1000mmの温度は17℃になっている。断熱改修前のファンヒータ使用時と比較すると、1000mmの温度は5℃程度低いが、室内の上下温度差については改善されていることが確認できる。

次に、エアコン併用時の垂直温度分布についてみると、暖房開始30分後には、床表面温度は21℃まで上昇し、床上50mmの温度は17℃になり、1000mmの温度は22℃になっている。天井付近の温度は25℃程度になっており、垂直方向において温

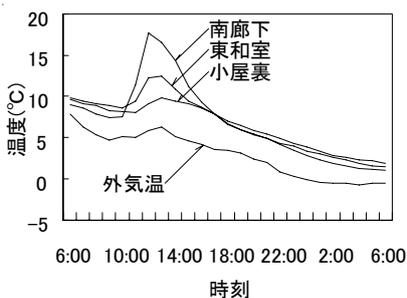


図3 前機能訓練回復室(自然室温)

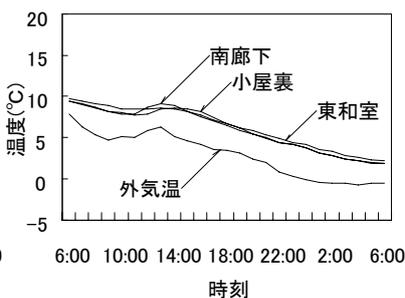


図4 前食堂(自然室温)

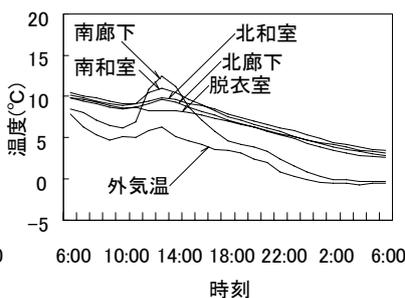


図5 前地域交流室(自然室温)

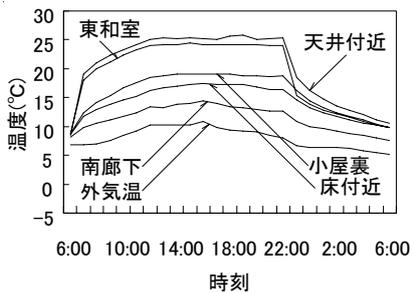


図6 前機能訓練回復室(暖房時)

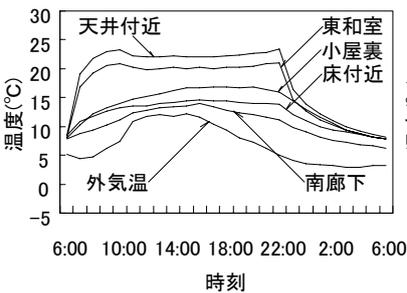


図7 前食堂(暖房時)

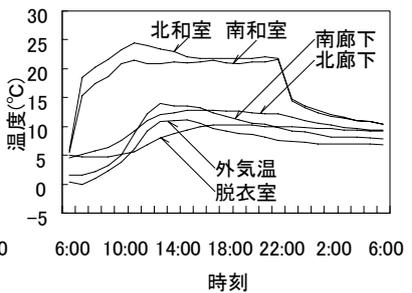


図8 前地域交流室(暖房時)

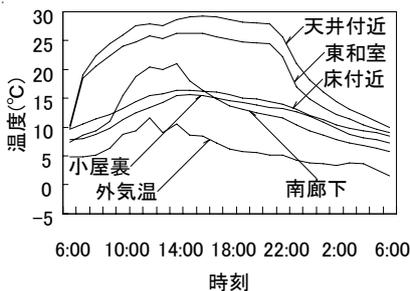


図9 後機能訓練回復室(暖房時)

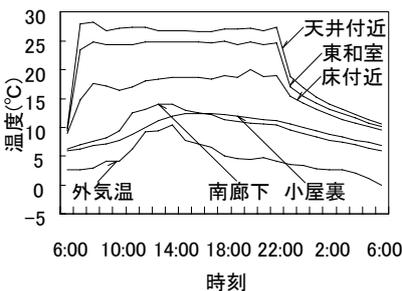


図10 後食堂(暖房時)

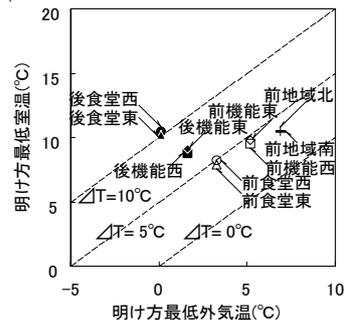


図11 明け方最低室温と最低外気温

度差がある。しかし、2時間後の安定した時間帯の垂直温度分布を見ると、床上50mmの温度は22°C、1000mmの温度は26°Cになっている。また、1000mm以上の温度差も30分後と比べ小さくなっていることが分かる。以上から、エアコンを併用することにより暖房開始30分後において床表面近傍の温度を確保しつつ、さらにファンヒータ使用時より上下温度差を小さく保つことが可能になることが示された。

6. 運営時の温熱環境の計測結果

6.1 運営時の室温変動と建物内の温度分布

図16には、暖房機器の設置位置と代表的な建具の開閉状況を示す。図17・18には、運営時の室温変動を示す。7:30頃にスタッフは出所し、同時に食堂の床暖房とエアコンの運転を開始する。1時間後には、20°C程度まで室温は上昇している。この間、食堂ではスタッフによるミーティングが行われる。床暖房とエアコンを併用することが有効に活用されていると考えられる。8:00頃の機能訓練室東西の室温は8°C程度まで低下しているが、エアコンとファンヒータを使用して暖房を開始し2時間後には20~22°C程度まで上昇している。これより、施設の利用者が機能訓練室を使用する10:00頃には、室温を維持することが可能になっていることが分かる。9:00頃から、事務室・脱衣所・機能訓練室西廊下・便所1,2で暖房が開始されている。事務室の12:00の時点での室温は18°C

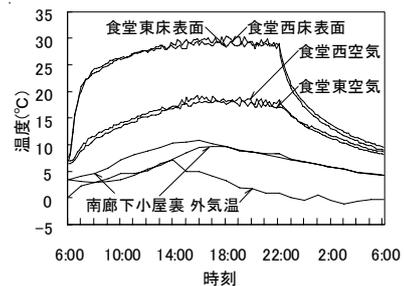


図12 床暖房単独使用時の結果

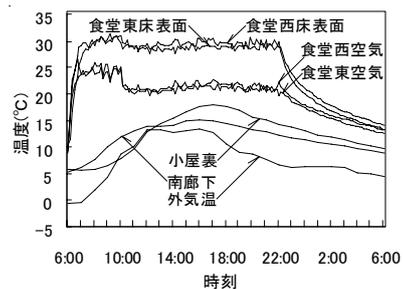


図13 エアコン併用時の結果

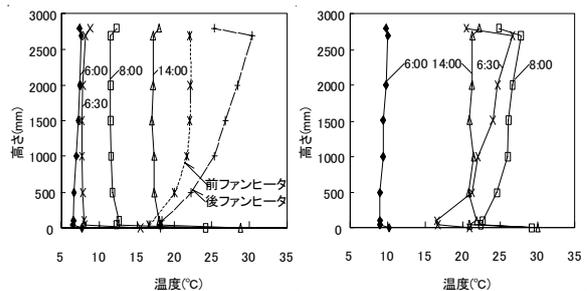


図14 垂直温度分布の比較
(左:床暖房単独、右:エアコン併用)

程度と低温になっている。脱衣所についても11:30までの入浴時間中においても室温は18℃程度と低温になっていることが分かる。機能訓練室西廊下は、運営時間中は暖房が続けられ、16:00頃には20℃程度まで上昇している。便所1,2については、運営時間中に暖房が続けられるが16℃程度までしか上昇していない。これら脱衣所・機能訓練室西廊下・便所1,2での居室と異なる場所による暖房行為は、スタッフ・利用者による寒さの実感によって行われていると考えられる。しかし、低温に保たれていることから、断熱性能の不足を補充する必要性が確認される。

図19には、運営時の建物内の温度分布を示している。施設利用者が滞在する9:00から16:00の間、食堂と機能訓練室では20℃程度の室温を維持されているが、これら2室と比べ廊下・脱衣所・便所については、低温になっていることが確認できる。

6.2 機能訓練室の温熱環境の特徴

図20には、機能訓練室での日中の温熱環境の特徴を示している。機能訓練室の南廊下は日中において、日射の取得により室温が上昇するので、居室間との建具を開放していることが確認された。図21には、5日間の利用者の滞在時間の合計を示しているが、南廊下は26時間と多くの滞在が確認された。これより、機能訓練室では日中に日射の効果により、建具を開放して居室の滞在域を拡大することが可能になっていることが分かる。利用者の機能訓練室での滞在の様子は、日中に関わらず設置されたソファ・テーブルを中心にして、

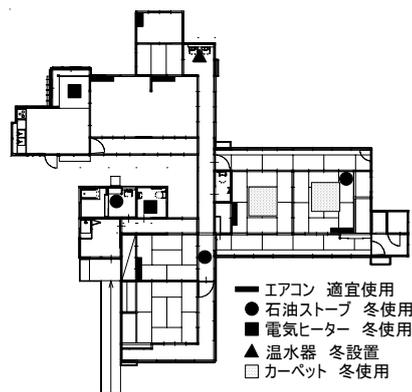


図16 暖房機器の設置と建具開閉の状況

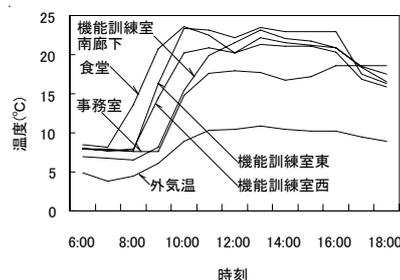


図17 運営時の建物内の室温変動1

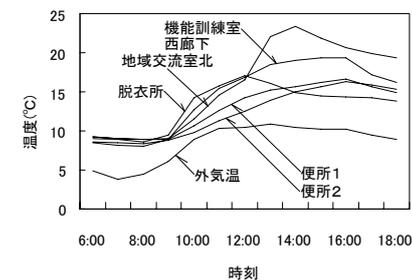


図18 運営時の建物内の室温変動2

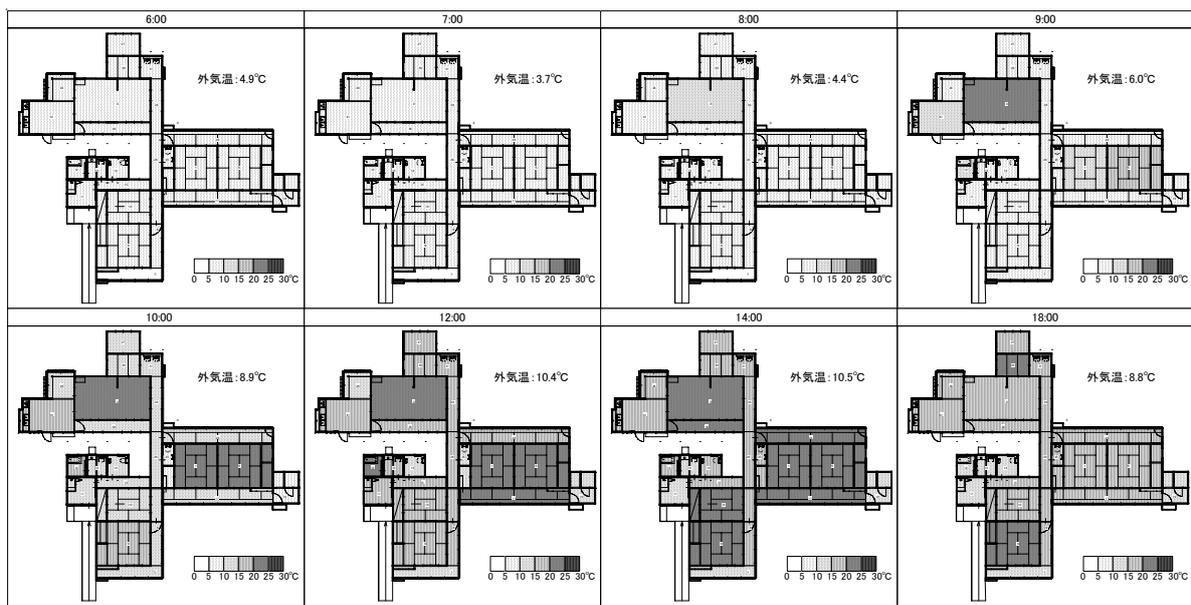


図19 運営時の建物内の温度分布

室全体に分布していることが確認できる。これより、暖房中の床付近温度が利用者の滞在域を制約している影響は少ないと考えられる。また、東室のユカ座が行われる範囲や、西室のテーブルが置かれイス座される範囲には、電気カーペットが敷かれることにより床付近温度についての配慮が確認される。

7. 結論

本報では、断熱改修と床暖房を敷設した伝統民家において、冬季温熱環境の計測を行った結果を示した。得られた知見を以下に示す。

- 改修前の計測結果から、床付近温度は、室内温度と比較して約 6℃程度低く、室内に上下温度差が生じていることが確認された。暖房を停止すると、室温は急速に低下し、明け方 6:00 には 9~10℃程度になっていることが確認された。天井の断熱性能については、暖房時の小屋裏の室温変動が 15℃以上まで上昇しており、多くの熱損失があると考えられる。また地域交流室と脱衣所の温度を比較すると、午前中の際に 15℃程度の温度差があり、暖房室と非暖房室の間に大きな温度差が生じていることが確認された。
- 改修後の計測結果から、暖房停止後の明け方 6:00 の最低室温と最低外気温について、断熱改修前後で比較した結果、食堂・機能回復訓練室とも断熱改修後の明け方の室温と外気温の差が大きくなっており、断熱性の向上により明け方の室温低下が 2~5℃程度改善されたと考えられる。
- 床暖房使用時の温熱環境を計測した結果、暖房開始 8 時間後に床表面・室内空気温度が定常状態に達していることが確認された。定常状態では、床表面温度 30℃、室内空気温度 18℃に保たれており、快適推奨範囲をみたしていることが確認された。床暖房開始時にエアコンを併用することにより、床暖房を使用する室内において暖房開始直後から、十分な暖房効果を得ることが可能であることが確認できた。また、均一な垂直温度分布が形成されることにより、室内の上下の温度分布を解消されていることが確認された。
- 改修後の運営時の温熱環境を計測した結果から、食堂では床暖房とエアコンを併用すること

12:50~12:55(自由時間)
外気温:10.9℃

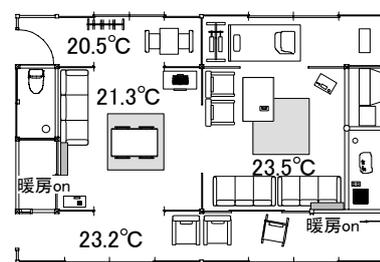


図 20 日中の温熱環境の特徴

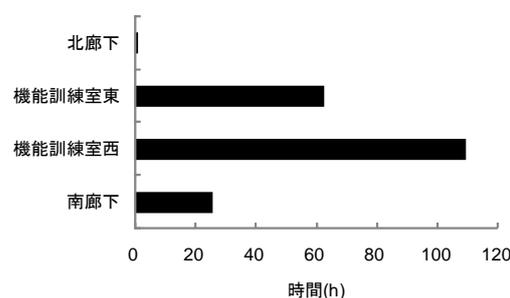


図 21 機能訓練室の滞在時間

により室温上昇に要す時間が短縮され、早朝にスタッフによるミーティングが行われるなどとして活用されていることが確認された。機能訓練室の室温は 8:00 頃に 8℃程度まで低下しているが、施設の利用者が機能訓練室を使用する 10:00 頃には、20~22℃程度まで室温を維持することが可能になっている。また、廊下・脱衣室・便所については、低温になっていることが確認された。さらに、日中の機能訓練室では日射の効果により、建具を開放して居室の滞在域を拡大することが可能になっていることが確認された。

以上より、断熱改修と床暖房の敷設により改修された本事例の温熱環境は、早朝の室温維持・暖房室と非暖房室との温度差の解消においては、まだ改善される必要はあるが、北側に配置される食堂をエアコンと床暖房の使用により早朝に上下温度差の無い快適な環境で使用することを可能にし、南面する機能訓練室では日射の効果により建具を開放して居室の滞在域を拡大することや、暖房中の床付近温度により利用者の滞在域が制約される影響が少ないことから、利用者が施設内を利用していくうえには十分なものになっていると評価できると考えられる。したがって、断熱性能の補充により早朝の室温維持を可能にし、断熱化する範

囲についてより検討していくことにより、本改修手法は比較的温暖な地域において、伝統民家を改修する際に、冬季温熱環境を改善する有効な改修手法になると考えられる。

注

- 1) この床暖房は中空パイプ方式床暖房である。この床暖房は、温水循環パイプ間に熱伝導率が約 370~400 W/m・K と高い銅製の「中空パイプ」を導入した、新しい温水式床暖房システムである。室内実験によりシステムの放熱性能の計測および従来方式との性能比較を行った結果、床表面平均温度は定常状態で 21~22°C に達し、市販の標準タイプと同等の性能を有すことを確認した。また、床表面平均放熱量についても、定常状態で 95W/m² 程度の放熱量に達し、標準タイプと同等の性能を有すことを確認した。

参考文献

- 1) 安井 妙子: 高断熱高気密化による古民家修復, 建築雑誌, No. 1535, 26-27, 2005, 7
- 2) 宇野 勇治 他: 中部日本の山間部における伝統的住宅の室内気候調節と立地集落の微気候, 日本建築学会計画系論文集, 第 532 号, 93-100, 2000. 1
- 3) 長谷川 兼一 他: 宮城県における民家を対象とした室内熱環境に関する実測調査, 日本建築学会大技術報告集, 第 3 号, 189-192, 1996. 12
- 4) 芥川 郁雄 他: 温水床暖房パネル付エアコンによる暖房時の温熱環境調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp249-250, 2002. 8
- 5) 長谷川 房雄 他: 東北地方都市部の木造独立住宅における冬期の温熱環境に関する調査研究, 日本建築学会論文報告集, 第 326 号, 91 - 102, 1983. 4
- 6) 加藤 友也 他: 長野市を中心とした一戸建住宅の冬期室内温熱環境に関する調査研究—熱損失係数から見た室内温熱環境と居住者意識の違いについて—, 日本建築学会計画系論文集, 第 470 号, 19 - 27, 1995. 4
- 7) 垂水 弘夫 他: 北陸の戸建住宅における温冷感を中心とした居住者意識調査 断熱仕様・暖冷房等の実態と快適性評価の高い住宅の抽出, 日本建築学会計画系論文集, 第 488 号, 25 - 34, 1996. 10
- 8) 佐藤 豊 他: 栃木県における住宅の熱環境と住まい方に関する研究 冬季の暖房室・非暖房室の熱環境と意識・住まい方, 日本建築学会計画系論文集, 第 522 号, 7-14, 1999. 8
- 9) 絵内 正道 他: 居住室の温熱環境の実体 その 1 寒さに応じた住まい方と室温変動パターンについて, 日本建築学会論文報告集, 第 264 号, 91 - 98, 1978. 2
- 10) 絵内 正道 他: 居住室の温熱環境の実体 その 1

寒さに応じた住まい方と設定室温について, 日本建築学会論文報告集, 第 265 号, 105 - 113, 1978. 3

- 11) 松原 斎樹 他: 京都市近辺地域における冬期住宅居間の熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究～暖房機器使用の特徴と団らん時の起居様式～, 日本建築学会計画系論文集, 第 488 号, 75 - 84, 1996. 10

(平成 21 年 9 月 30 日受理)