

試験家屋を用いた土壁断熱工法の環境性能に関する実証試験†

三田村輝章*, 石川恒夫*, 柳下雄介**, 大井明弘***

Verification Experiment for Environmental Performance of A Mud Wall with The Insulation Method Using The Test House†

Teruaki Mitamura*, Tsuneo Ishikawa*, Yusuke Yanagishita**
and Akihiro Oi***

The aim of this study is to make clear the environmental performance of the developed wall construction which is installed the insulation material on the exterior side of the mud wall. Filed measurement for hygrothermal environment in the test house was carried out. The test house consists of two rooms i.e. furnished with a mud wall and vinyl wallpaper. This paper describes the measurement result of indoor temperature and humidity for two years. Though the differences for daily mean temperature for two years between the mud wall and vinyl wallpaper was small, the differences for daily mean relative humidity was about 5-10%RH. According to measurement results in summer and winter, a peak and range of fluctuation for temperature and humidity were different in both room. Heat storage and moisture buffering effect of the mud wall with the insulation method were discussed. For future works, this measured data will be used for verification of numerical simulation. An optimization for the design as thickness of the mud wall and insulation etc. will be conducted.

Key words : Mud wall, Insulation method, Hygrothermal environment,
Test house, Filed measurement

1 はじめに

近年、木材をはじめとする自然素材の建築利用が推奨されているが、その中でも建築材料としての土は、伝統的な古民家では塗り壁として古くから用いられてきた素材であり、環境面では、その蓄熱性能や調湿性能が室内温湿度の安定化に寄与すること、また、再利用が可能であることから環境負荷が小さいことのほか、意匠面でも素材の持つ美しさや自由な造形が可能であることなどから、国内外で再評価されつつある。しかし、従来の土壁工法による住宅では、断熱性能の低さが欠点とされており^{1), 2)}、冬期の室温低下を克服し、土壁を現代住宅へ適用していくためには断熱化された土壁工法の開発が不可欠となる。これまで、土壁の断熱化に関する研究は、実住宅を対象とした調査事例があり^{3)~6)}、土壁工法と現代的な工法について比較しているほか、数値シミュレーションにより防露性能や省エネルギー性について検討されているが⁷⁾、同条件での長期的かつ定量的な比較実証を

行った研究は少ない。

そこで、本研究では、土壁の外側に自然素材として羊毛の断熱材を施した壁体構造を開発し、内装仕上げの異なる2棟で構成される試験家屋を用いた実証試験を行っている。本報では、試験家屋の概要と温湿度環境の実測結果について報告する。

2 調査概要

2・1 試験家屋

試験家屋は、長野県上田市郊外に建設され、2013年3月に竣工した。延床面積9.94m²(6畳)の壁の内装仕上げが異なる2つの居室が東西方向に切り妻屋根で連結された形状となっている。Fig. 1に外観と内観を示す。西側の居室は、壁は中塗り仕上げの土壁とし、その外側に断熱材として羊毛(t=69mm)と樹皮断熱材が設置され、外装仕上げは唐松板張りとなっている(以下、「土壁棟」と呼ぶ)。一方、東側の居室は、壁は繊維混入ケイ酸カルシ

† 原稿受理 平成29年2月24日 Received February 24, 2017

* 建築学科 (Department of Architecture)

** 建築学専攻 大学院生 (Graduate Student, Division of Architecture)

*** (株)アトリエデフ (Atlier DEF Co., Ltd.)



Fig. 1 Exterior and interior views of the test house

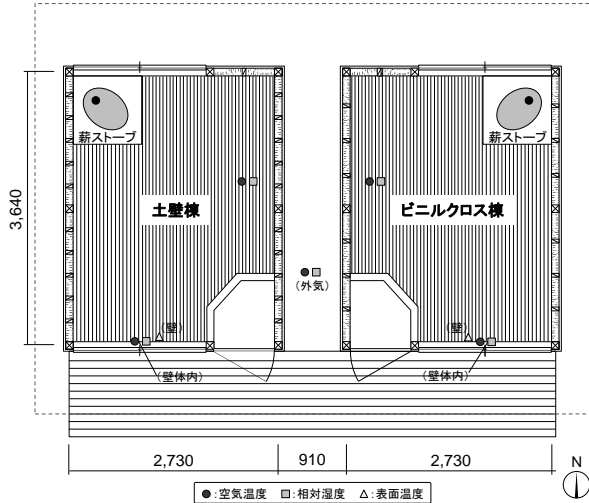


Fig. 2 Plan of the test house

ウム板を下地材としたビニルクロス仕上げとなっており、その他の構成は土壁棟と同様であるが、羊毛の厚み ($t=100\text{mm}$)のみ異なる^{注1)} (以下、「ビニルクロス棟」と呼ぶ)。Fig. 2 に試験家屋の平面図, Fig. 3 に断面図, Fig. 4 に壁体構成を示す。床と天井の仕様は両棟とも同一であり、床は無垢の杉板張り ($t=30\text{mm}$)、床下はコンクリート ($t=150\text{mm}$)の基礎に羊毛 ($t=100\text{mm}$)により内断熱が施され、床下土間の外周部には樹皮断熱材 ($t=25\text{mm}$)が設置されている。天井は屋根面で羊毛 ($t=100\text{mm}$)により断熱が施され、仕上げは無垢の杉板張り ($t=15\text{mm}$)となっている。天井は屋根面で羊毛 ($t=100\text{mm}$)により断熱が施され、仕上げは無垢の杉板張り ($t=15\text{mm}$)となっている。また、南側と北側の窓にはアルミサッシと複層ガラス (FL3+A12+FL3) が使用されている。両棟の外皮平均熱貫流率 U_A 値は、土壁棟が $0.85\text{W/m}^2\text{K}$ 、ビニルクロス棟が $0.79\text{W/m}^2\text{K}$ であり、平成 25 年省エネ基準における 4 地域の基準値である $0.75\text{W/m}^2\text{K}$ をやや上回っている。換気設備として、北側外壁にパイプファン (定格風量: $48\text{m}^3/\text{h}$)、南側外壁に給気口が設置されている。冷房設備はなく、暖房設備として薪ストーブが設置されている^{注2)}。

2・2 測定方法

測定項目は、室内空気と壁体内の温湿度、壁体の表面温度である。室内空気の温湿度は、小型温湿度データロガー (T&D 製: TR-72Ui, 精度: $\pm 0.5^\circ\text{C}$, $\pm 5.0\%\text{RH}$) を用い、床上 1.0m 付近に設置して測定する。壁体内の温湿度は、小型温湿度データロガー (T&D 製: TR-77Ui, 精度: $\pm 0.5^\circ\text{C}$, $\pm 2.5\%\text{RH}$) のセンサー部分を土壁棟では土壁 (木摺) と羊毛の間、ビニルクロス棟では繊維混

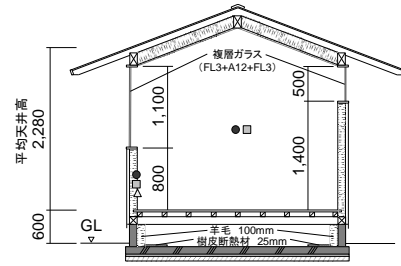


Fig. 3 Section of the test house

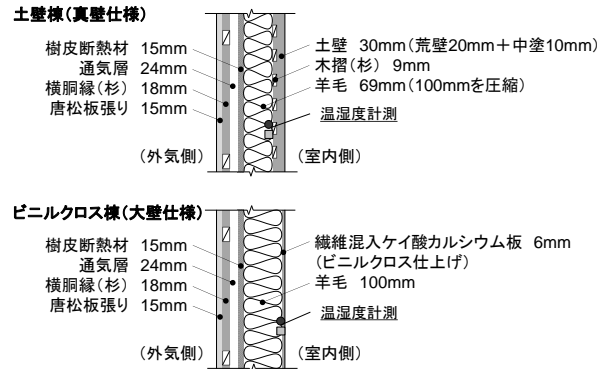


Fig. 4 Composition of the walls

入ケイ酸カルシウム板と羊毛の間に埋め込んで測定する。壁の表面温度は、T型熱電対 ($\phi 0.3$) を南側の壁面に貼り付け、小型熱電対データロガー (Onset 製: UX100-014M) に接続して測定する。いずれも 15 分間隔でデータをメモリに記録する。なお、これらの測定は 2013 年 4 月に開始しており、本報では 2015 年 3 月までの 2 年間の結果について示す。

3 温湿度の調査結果

3・1 年間における日平均温湿度

Fig. 5 に年間における日平均温湿度変動を示す。日平均温度をみると、室内空気、壁体内ともに土壁棟とビニルクロス棟の差は非常に小さく、夏季では最高で外気と同程度の 30°C 程度まで上昇し、冬季では薪ストーブを使用したことによる一時的な温度上昇を除いては、外気より 5°C 程度高い範囲で変動している。日平均絶対湿度をみると、温度と同様に両棟の差は小さく、年間を通して外気と同程度であり、夏季で $10\sim 18\text{g}/\text{kg}$ 、冬季で $2\sim 3\text{g}/\text{kg}$ の範囲で変動している。

日平均相対湿度をみると、両棟とも竣工から初年度の 2013 年度は冬季で $20\sim 50\%\text{RH}$ 、夏季で $55\sim 70\%\text{RH}$ の範囲で変動し、6~7 月にかけての梅雨期では、土壁棟ではビニルクロス棟より $5\%\text{RH}$ 程度低く抑制され、逆に冬季ではビニルクロス棟の方が土壁棟より $5\sim 10\%\text{RH}$ 程度低く、特に薪ストーブ使用時に顕著であり、年間を通して土壁棟の変動は安定していることがわかる。竣工から 2 年目の 2014 年度においても全体的な変動の傾向は同様であるが、初年度と比較すると特に冬季にかけては両棟の差は小さくなっている。

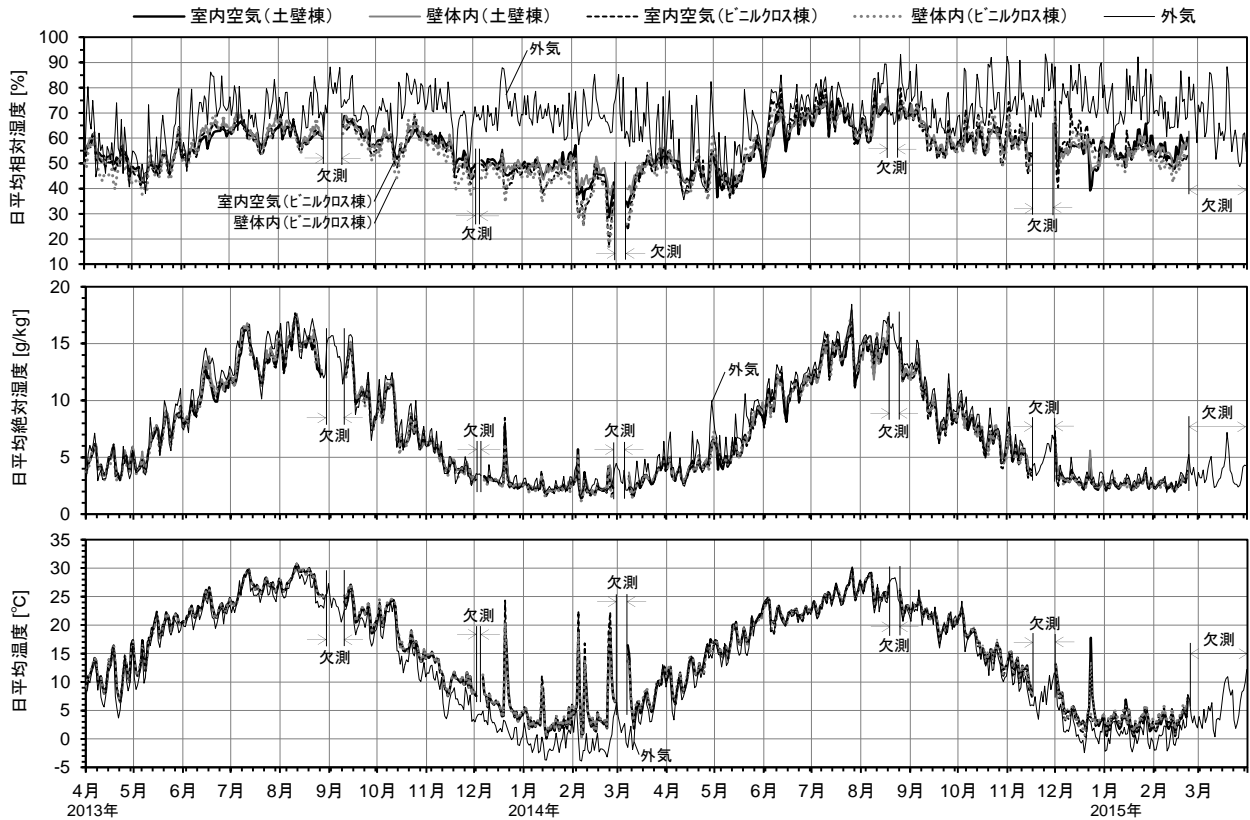


Fig. 5 Daily mean temperature and humidity

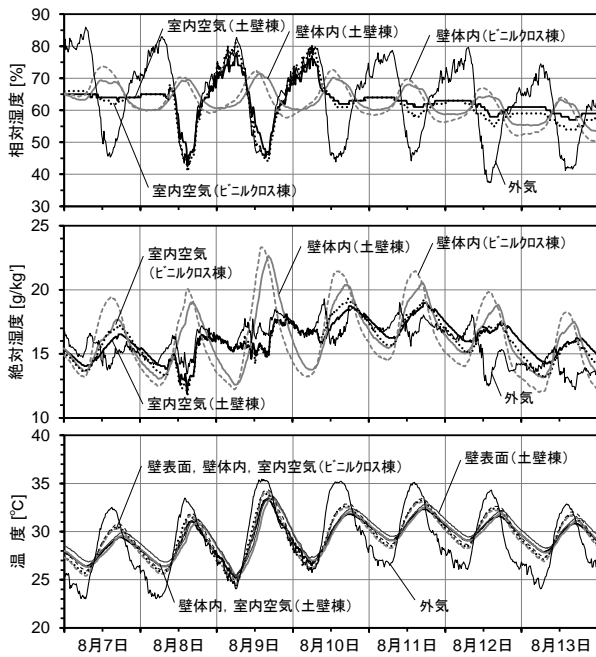


Fig. 6 Temperature and humidity in a week during summer

3・2 夏季・冬季一週間における温湿度変動

Fig. 6 に 2013 年 8 月の夏季一週間における温湿度変動を示す。この期間中、8 月 8 日午後から 10 日午前までは、両棟とも外気と室内空気の相対湿度の変動がほぼ重なっており、窓開け換気が行われていると考えられる。それ以外の期間では、外気は 23~36°C の範囲で変動して

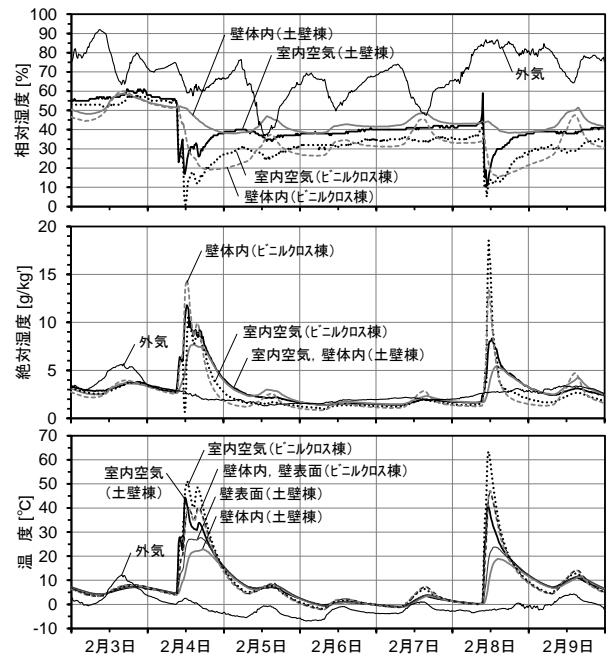


Fig. 7 Temperature and humidity in a week during winter

いるのに対して、両棟とも室内空気、壁体内の温度は外気より変動幅は小さくなり、土壁棟の最高温度と最低温度はそれぞれビニルクロス棟と比較して約 1~1.5°C の差がみられ、更に 2~3 時間のピークの時間遅れがみられることから、土壁による熱容量の効果が現れていると考えられる。室内空気の相対湿度は、外気が 38~85%RH

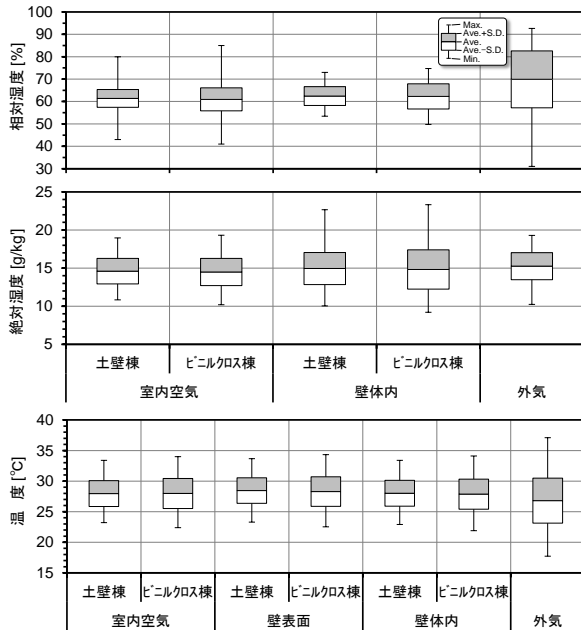


Fig. 8 Temperature and humidity distribution in summer (August 2013)

の範囲で変動しているのに対して、窓開け換気が行われていると考えられる期間以外では、両棟とも変動幅は小さく、55~65%RHの狭い範囲で安定し、無垢の杉板張りである床材や天井材の影響を含めてであるが、調湿効果が現れていると考えられる。更に両棟を比較すると特に気温の上昇する日中では、土壁棟の方がビニルクロス棟より3%RH程度高い傾向がみられ、急激な湿度変動を抑制していることがわかる。壁体内の相対湿度は、両棟とも外気の変動とは逆の位相を示しており、気温の上昇する日中に相対湿度が上昇し、絶対湿度も上昇していることから、躯体内部からの放湿による影響がみられる。また、相対湿度、絶対湿度ともに両棟を比較すると土壁棟の方がビニルクロス棟よりやや変動幅は小さく、約2~3時間のピークの時間遅れがみられるのは、ビニルクロスの下地材である繊維混入ケイ酸カルシウム板と土壁の放湿速度に違いがあることが影響していると考えられる。

Fig. 7に2014年2月の冬季一週間における温湿度変動を示す。この期間中、2月4日と8日の昼頃に薪ストーブが使用されている。薪ストーブを使用しない期間では、土壁棟は夏季と同様に変動幅は小さく、最高温度と最低温度はビニルクロス棟と比較して約1.5~3°Cの差がみられる。また、両棟とも室内空気、壁表面、壁体内で殆ど差はみられない。一方、薪ストーブ使用時では、室容積に対して発熱量が大きい為、両棟の室内空気の最高温度は50~63°C程度まで達するが、土壁棟ではビニルクロス棟より5~20°C低く抑制され、薪ストーブ使用後から明け方にかけての温度低下はやや緩やかになり、最低温度は2~3°C高くなる。その他、土壁棟では、室内空気、壁表面、壁体内の順に5~15°Cずつ温度が低くなるが、ビニルクロス棟では壁表面と壁体内の温度差は小

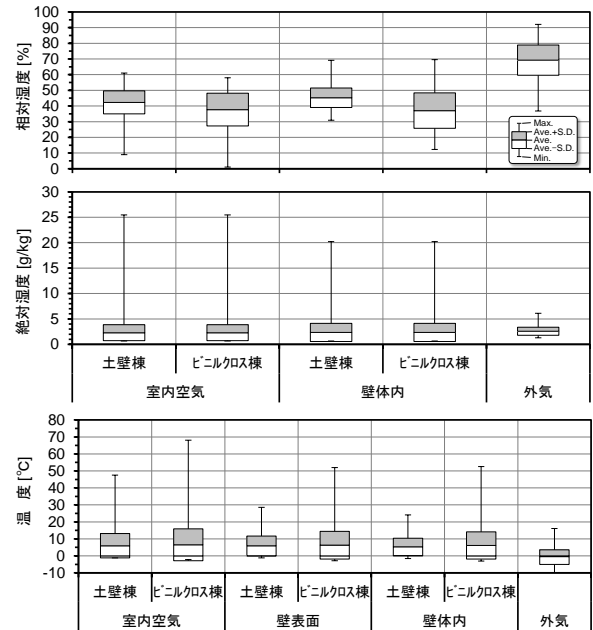


Fig. 9 Temperature and humidity distribution in winter (February 2014)

さく、薪ストーブの熱が壁体内部まで早く伝わる様子が窺える。室内空気の相対湿度は、両棟とも薪ストーブを使用しない期間では、夏季と同様に変動幅は小さく、2月4日の薪ストーブ使用後以降では、土壁棟は約40%RHで一定となり、ビニルクロス棟より常に10%RH程度高く保たれている。

3・3 夏季・冬季一ヶ月間における温湿度分布

Fig. 8に2013年8月における温湿度分布を示す。温度分布は、いずれも両棟で平均値と標準偏差に殆ど差はみられないものの、最大値と最小値では1~2°Cの差がみられ、土壁棟ではビニルクロス棟より変動幅は小さくなる。絶対湿度、相対湿度でも同様な傾向であるが、特に相対湿度では、標準偏差も土壁棟の方がやや小さく、より変動幅が安定していることがわかる。

Fig. 9に2014年2月における温湿度分布を示す。温度分布は、いずれも最大値は土壁棟の方がビニルクロス棟より20~25°C程度低く、薪ストーブ使用時の急激な温度上昇が抑制されているためである。また、標準偏差も土壁棟の方が2°C程度小さく、熱容量の効果が窺える。絶対湿度は両棟で殆ど差がみられないが、相対湿度では室内空気、壁体内ともに土壁棟ではビニルクロス棟より全体的に5~10%RH程度高い範囲に位置しており、薪ストーブ使用時の温度上昇に伴う相対湿度の低下が抑制されている。

4 まとめ

本研究では、自然素材による土壁断熱工法を開発し、内装仕上げの異なる2棟で構成される試験家屋を用いた実証試験を実施して、両棟における温湿度の比較から、その環境性能を定量的に把握した。以下に得られた知見をまとめる。

- ・ 年間における日平均の温度と絶対湿度では両棟の差は小さかったが、相対湿度では両棟で5～10%RHの差がみられ、土壁棟における長期スパンでの湿度変動の安定性を確認した。
- ・ 夏季及び冬季の短期間における温湿度変動では、土壁棟ではビニルクロス棟より最高温度と最低温度で1.5～3℃の間で差がみられ、変動幅は小さくなり、また、2～3時間のピークの時間遅れがみられ、土壁による熱容量の効果を定量的に確認した。
- ・ 湿度変動からは、床と天井の内装による影響も含めてであるが、調湿効果を確認し、また、壁体内では日中の温度上昇により、躯体内部からの放湿による影響を確認した。
- ・ 冬季における相対湿度は、土壁棟の方がビニルクロス棟より全体的に5～10%RH程度高く、薪ストーブ使用時の温度上昇に伴う相対湿度の急激な低下が抑制されることを確認した。

今後は、今回の実測結果を数値シミュレーションの検証用データとして用い、土壁と断熱材の厚みのほか、土壁の使用面積などに関する最適化の検討を進める予定である。

謝 辞

本研究は、平成24年度前橋市公募型共同研究事業（テーマ：現代版「土壁の家」づくりのために、研究代表者：石川恒夫）による補助金を受けて実施した。

注 釈

注1) 東西の居室に使用した羊毛は同一製品であるが、両室の壁厚を同一としたため、土壁棟では100mmの羊毛を圧縮して充填している。

注2) 試験家屋に居住者はおらず、主にモデルルーム兼会議スペースとして使用されているが、使用頻度は少ないため、冬季においては意図的に数日間のみ薪ストーブを使用した。

参考文献

- 1) 青嶋竜太, 澤地孝男, 井上隆, 瀬戸裕直, 鈴木大隆, 本間 義規, “日本建築学会大会学術講演梗概集 D-II” (2000), pp.117-118.
- 2) 水沼信, 澤地孝男, 瀬戸裕直, 青嶋竜太, “日本建築学会大会学術講演梗概集 D-II (2000)”, pp.119-120.
- 3) 望月昭, 鈴木大隆, 北谷幸恵, 澤地孝男, 本間義規, 藤田 里美, “日本建築学会学術講演梗概集 D-II (2002)”, pp.75-76.
- 4) 望月昭, 鈴木大隆, 北谷幸恵, 澤地孝男, “日本建築学会学術講演梗概集 D-II (2003)”, pp.169-170.
- 5) 太田昌宏, 宇野勇治, 堀越哲美, “日本建築学会大会学術講演梗概集 D-II (2008)”, pp.89-90.
- 6) 宇野勇治, 太田昌宏, 兼子朋也, 堀越哲美, “第37回人間-生活環境系シンポジウム (2013)”, pp.177-180.
- 7) 水沼信, 澤地孝男, 鈴木大隆 他, “日本建築学会環境系論文集 第73巻 第624号 (2008)”, pp.175-182.