木造住宅におけるペレットヒーター利用温風床暖房の暖房効果に関する実測調査

A FIELD MEASUREMENT ON SPACE HEATING EFFECT OF HOT AIR FLOOR HEATING SYSTEM WITH A WOOD PELLET FAN-HEATER IN A JAPANESE WOODEN HOUSE

高橋 達 ——— *1 八田 翔 ——— *2

Itaru TAKAHASHI ——— *1 Sho HATTA ——— *2

キーワード：
木質バイオマス, ペレットストーブ, 温風床暖房

Keywords:
Wood biomass, Pellet stove, Hot air floor heating

The authors have researched hot air floor heating system with a wood pellet fan-heater. This paper describes its space heating effects of the first house with the system. Indoor vertical temperature difference was less than 1.5°C except the date with outside air temperature below 0°C. The globe temperature in the living room varied from 15°C to 25°C within the range of comfort globe temperature and that in the second floor's room 11°C to 22°C. Temperatures of the lower surface of wooden floor surrounding the hot air outlet were kept below 43.1°C.

1. はじめに

木質バイオマスは近年、利用の拡大が広く望まれている再生可能エネルギーの一つである。建築分野における利用方法は、木質チップや木質ペレット燃料を用いたボイラーによる給湯・暖房の他に、薪や木質ペレット燃料を用いた暖房などがある。それらのなかでペレットヒーター^{注1)}による暖房は、薪に比べれば燃料の投入が容易で頻度も少なく、操作しやすいという点で住まい手の受容度が高い暖房方法である。

既往の研究では、Persson らやGeorges らがペレットヒーターを含む木質熱ストーブ1台と高断熱・高気密住宅との複合による全館暖房の効果を数値シミュレーションにより詳細に検討している¹⁾。他方、太陽熱利用空気集熱式の床暖房では、温風を床下に吹き込むことにより、住宅の上下温度差を小さくし、1階では床暖房が、2階では対流暖房が可能になるので³⁾、もし集熱空気をペレットヒーターからの温風に置き換えれば、木質ペレット燃料を利用した温風床暖房の実現が予想できる。しかしながら、これらの研究では、投入する再生可能資源を木質バイオマスとした場合は温風床暖房が検討されておらず、温風床暖房を検討した場合は投入する再生可能資源が太陽熱に留まる。鋳鉄製薪ストーブを用いたパッシブ換気住宅の全室暖房の研究例⁴⁾があるが、燃料が木質ペレットでなく薪であり、熱源機が温風吹き出しを行わない放射加熱器である。

筆者らは再生可能エネルギー源の一つである木質バイオマスを建築の熱源に利用する研究の一環で、ペレットヒーター利用温風床暖房の研究を行なっている⁵⁾⁶⁾。このシステムは、床下にペレットヒーターからの温風を吹き込むことにより、1階の床暖房を行なうと

もに、1階の床吹出口からの給気が上昇気流となって2階の対流暖房をも行なうため、上下温度差の小さい全館暖房を1台の熱源機で実現できるはずである。木質バイオマスという再生可能資源を利用しながら、熱源機1台で快適性と利便性の高い全館暖房が可能になるので、木質バイオマスを利用した暖房の高度化になると筆者らは考えている。このような背景から筆者らは、実験小屋における暖房実験と数値シミュレーションによりその実現性のある程度確認している⁵⁾⁶⁾。しかしながら、ペレットヒーター利用温風床暖房の暖房効果について実住宅を対象にして検証するには至っていない。

このようなことから本報告では、一般の住宅に初めて導入されたペレットヒーター利用温風床暖房システムについて暖房効果を把握するために実測調査を行なったので、その結果について述べることにした。

2. 研究方法

図1に実測対象住宅A邸の平面・断面を、写真1にA邸の外観やリビング、ダイニング、ペレットヒーターなどの様子を示す。A邸は山口県下関市に2015年11月27日に竣工した2階建て、延べ床面積123.03m²の木造住宅である。A邸のQ値は1.67W/m²K、U_A値は0.51W/m²Kであり、外皮断熱性能は比較的高い。基礎は立ち上がりの内側とペレットヒーター下部の1.9m角の土間基礎下側が厚さ50mmの発泡ポリスチレンで断熱されている。土間基礎の上側も、外周部に沿って屋内側の幅450mmの部分が厚さ50mmの発泡ポリスチレンで断熱されている。

1階のリビングには出力3.3～7.1kW、使用電力43W（点火時約2

本稿は既発表論文⁷⁾を加筆・修正したものである。

¹⁾ 東海大学工学部 教授・博士（工学）
（〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1）

²⁾ 東海大学 職員・修士（工学）

¹⁾ Prof., Faculty of Eng., Tokai Univ., Dr. Eng.

²⁾ Staff, Tokai Univ., M. Eng.

図1 実測対象住宅A邸の平面・断面

分間は263W)のペレットヒーターが設置されている。ペレットヒーターの出力はダイヤルスイッチにより最小から最大まで4段階に調整できるようになっており、内蔵ファンの吹出風量は出力と対応して53.4m³/h、58.5m³/h、89.4m³/h、99.6m³/hの4段階に変化する。ペレットヒーターは強制給排気を行なう密閉式燃焼器具であり、背面にあるダクトの還気口から室空気を吸引し、ヒーター内部で加熱した後、温風をヒーター底部に設けた立下りダクトに押し出すようになっている。

温風は、立下りダクト下端にある給気口から床下の北と東に向かって吹き出され、1階各所の床吹出口から暖気が供給される。その暖気は上昇気流によって2階居室を移動し、循環ファン（風量100m³/h、使用電力3W）により天井換気口、循環ダクトを経て最終的に1階床下に戻されるようになっている。

暖房時、ペレットヒーターの本体は表面温度の最高値が天板で70～80℃、窓ガラス部で100～200℃、その他で40～60℃になるので、設置室の放射暖房効果もある程度期待できる⁵⁾。

2-1 実測調査

実測期間は2015年12月7日～2016年3月29日であり、表1の項目を、2015年12月7日～2016年1月7日は15分間隔で、2016年1月8日～3月29日は1時間間隔で計測した。

なお、実測期間中、ペレットヒーターの運転を住まい手に委ねた結果、ペレットヒーターの出力は実測期間中の最寒日である1月24日のみ4段階のうちの最小から2番めとなり、それ以外は最小出力の3.3kWで平均して午前2時間、午後4時間運転することになった。ペレット燃料は2～3日ごとに一袋（10kg）を使用した。

床吹出口の開口面積は、施工者が床吹出口付近の風速を微風速計で確認しながら床下の気流分布の均一化を試み調整した。

2-2 床下空気・1階室空気・2階室空気のエネルギー収支分析

ペレットヒーターからの温風放熱が屋内でどのように分配されているかを把握するために、1階床下空気・1階室空気・2階室空気のエネルギー収支を算出した。式(1)、式(2)、式(3)にそれぞれ1階床下空気、1階室空気、2階室空気におけるエネルギー収支を示す。

$$q_{hsa} + c_{pa}\rho_a(V_{cf} + V_{nc})(\theta_{r2a} - \theta_{ufa}) = c_{pa}\rho_a V_{ufa} \frac{d\theta_{ufa}}{dt} + q_{fu} + c_{pa}\rho_a(V_{hf} + V_{cf} + V_{nc})(\theta_{folt} - \theta_{r1a}) + q_b \quad (1)$$

写真1 A邸の外観・リビングダイニング・天井還気口・立下りダクトとペレットヒーター

表1 計測項目

計測項目	測定場所	計測機器ほか
空気温度	リビング、ダイニング、主寝室書斎(F.L.+0.8m)、床下6ヶ所(土間上0.18m)	小型温度ロガー(T&D Thermorecorder RTR-53)
グローブ温度	リビング、ダイニング、主寝室、書斎(F.L.+0.8m)	T型熱電対φ0.2mm、黒塗リピンポン球、熱電対ロガー(Onset U12-015)
上下気温分布	階段室(F.L.+0.5m、+1.0m、1.5m、+2.0m、2.5m+3.0m)	小型温度ロガー(Onset UA-002-xx)
表面温度	ダイニングと1Fの廊下の床裏、土間表面7ヶ所	T型熱電対φ0.2mm、熱電対ロガー(Onset U12-015)
外気温ほか	気象庁観測地点が10km以内の比較的近距离にあるため参照した。	

$$q_{fu} + c_{pa}\rho_a(V_{hf} + V_{cf} + V_{nc})(\theta_{folt} - \theta_{r1a}) + q_{hc} + H_i = c_{pa}\rho_a V_{r1a} \frac{d\theta_{r1a}}{dt} + c_{pa}\rho_a(V_{cf} + V_{nc})(\theta_{r1a} - \theta_{r2a}) + U_{s1}A_{s1}(\theta_{r1a} - \theta_{oa}) + q_{v1} \quad (2)$$

$$c_{pa}\rho_a(V_{cf} + V_{nc})(\theta_{r1a} - \theta_{r2a}) = c_{pa}\rho_a V_{r2a} \frac{d\theta_{r2a}}{dt} + U_{s2}A_{s2}(\theta_{r2a} - \theta_{oa}) + q_{v2} \quad (3)$$

c_{pa} : 空気の定圧比熱 [J/(kgK)]
 ρ_a : 空気の密度 [kg/m³]
 V_{cf} : 循環ファンの送風量 [m³/s]

図2 室空気温度と床表面温度（右図の1月24日が実測期間中の最寒日）

- V_{hf} : ペレットヒーター内蔵ファンの送風量 [m^3/s]
- V_{nc} : 温度差による館内自然循環風量 [m^3/s]
- θ_{rla} : 1階の平均室空気温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- θ_{r2a} : 2階の平均室空気温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- θ_{ufa} : 1階床下空気の平均温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- V_{ufa} : 1階床下空気の容積 [m^3]
- V_{rla} : 1階床下空気の容積 [m^3]
- V_{r2a} : 2階室空気の容積 [m^3]
- t : 時間 [s]
- θ_{fol} : 床吹出口の空気温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- q_{fu} : 1階床下空気から1階室空気への置き床貫流熱 [W]
- U_{s1} : 1階における外皮の面積加重平均熱貫流率 [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]
- U_{s2} : 2階における外皮の面積加重平均熱貫流率 [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]
- A_{s1} : 1階の外皮面積 [m^2]
- A_{s2} : 2階の外皮面積 [m^2]
- q_{v1} : 1階の換気による熱損失 [W]
- q_{v2} : 2階の換気による熱損失 [W]
- q_b : 1階床下空気から基礎への吸熱 [W]
- q_{hsa} : ペレットヒーターから床下空気への温風放熱 [W]
- q_{hc} : ペレットヒーターから1階室空気への対流放熱 [W]
- H_i : 1階の内部発熱熱 [W]

実測期間が新築住宅への入居後間もない時期で筆者らが実測調査への協力要請を控えたことから、 q_{hsa} と q_{hc} はその算出のために必要なペレットヒーター表面温度や出口空気温度などを実測できなかった。そのため、同機種のペレットヒーターを用いた暖房実験における測定値から推定した文献5)の最小出力（吹出風量 $53.4\text{m}^3/\text{h}$ ）時における温風放熱と対流放熱の値を使い、吹出風量 $58.5\text{m}^3/\text{h}$ の場合の温風放熱と対流放熱は放熱量が総風量に比例すると仮定して推定した。ペレットヒーター表面と室空気の温度差が大きい場合、同じ機種で同じ出力設定であれば、このような推定でも推定誤差は小さいと考えた。2階床の貫流熱はその上下気温差が小さいことから

図3 階段室の上下温度分布（右の1/24が実測期間中最寒日）

無視した。 q_{v1} 、 q_{v2} は1階と2階の換気回数を0.5回/hと仮定し、1階と2階の室容積、内外気温差などから推定した。 H_i は人体発熱（2名）と電灯照明の合計で 300W とした。

式(1)～式(3)の三式を後退差分法した後、まず、式(3)において各項の温度測定値を代入することにより、館内自然循環風量 V_{nc} を推定し、次いで求めた V_{nc} を各項の温度測定値とともに式(2)に代入することにより置き床貫流熱 q_{fu} を推定した。最後に、各項の温度測定値とともに、 V_{nc} 、 q_{fu} の推定値を式(1)に代入することにより、床下空気から基礎への吸熱 q_b を推定した。なお、3-4で後述する計算結果では、各収支式の右辺第一項で表される空気の蓄熱速さが 50W 未満となり小さくなったので、無視した。

3. 結果と考察

3-1 室温変化・上下温度分布

図2は実測期間中の最寒日である1月24日を含む4日間の室空気温度・床表面温度（右側）と他の4日間の室空気温度・床表面温度を示したものである。ダイニングの床表面温度は床吹出口直近の計測値

であり、12月29～1月2日と1月24～27日のいずれにおいても、非暖房時に17～18℃だったのが、暖房を行なうと24～26℃に上昇している。

室空気温は、12月29日からの4日間では1階が15～21℃、2階が14～20℃になっており、2階の室空気温が1階より最低でも1.5℃低くなるに留まっている。これに対して1月23日からの4日間の室空気温は、1階が14～24.5℃、2階が10～15℃になっており、2階の室空気温が1階より最大で10℃低くなっている。これは1月下旬になり寒さが厳しくなったことを受けて、ペレットヒーターの出力を3.3kWから5.2kWに上げたにもかかわらず、2階への供給熱が不足したためと考える。

図3に12月30～31日と1月24～25日における階段室の上下温度分布を示す。なお、階段室は頻繁に使う生活動線のため、1階床表面温度は測定できず、ダイニングにおける床吹出口開閉蓋の裏面温度で代用した。1階F.L.+3.5mの階段室空気温も同じ理由で測れなかったため書斎空気温で代用した。1月8日～3月29日に1階F.L.+0.5mと+1.0mの室空気温は計測機器の設定ミスのため欠測した。

12月30～31日では、室空気温は1、2階のいずれも15.5～18.5℃になっており、ペレットヒーター稼働の有無に関わらず1、2階の上下気温差は1.5℃以下に収まっている。これは、外皮の断熱・気密性能が高いことに加えて、ペレットヒーターからの温風が床下から床上に供給されることによって、床付近でのコールドドラフト作用が抑制されたためである。

これに対して1月24～25日では、ペレットヒーター稼働1時間後の2階空気温（1階F.L.+3.5m）が12℃になっており、1階床表面温度の23℃より11℃低く、1階室空気温（1階F.L.+1.0m）の19℃より7℃低くなっている。2階空気温を除けば、ペレットヒーター稼働の有無に関わらず、上下気温差は2.0℃以下に収まっているが、12月30～31日と異なり、各高さにおける空気温はペレットヒーター停止後3.5～5℃低くなっている。前述したように、最寒日においては2階への供給熱量、循環風量が不足していると考えられるので、ペレットヒーターの出力を上げる必要があるような寒冷時に全館暖房を行なう場合は、ペレットヒーターの稼働と連動して循環風量も増加させ、上下温度差を縮小する必要がある。2階空気温がそれより低い位置の気温より低いのは、その測定点が階段室の隣にある書斎になることによって、暖気の十分な流入がなかったためと考える。

暖気が十分に2階へ流入するように暖房システムを調整しなかったのは、前述したように住まい手が入居して間もない時期であることから、筆者らが実測調査への協力要請を控えたためである。

3-2 ペレットヒーター給気口まわりと床下の温度分布

図4に1月24日17:00～23:30（暖房時）におけるペレットヒーター給気口まわりの断面温度分布を示す。給気口から吹き出される温風の温度は42.6～77.3℃になっている。また、ペレットヒーター底部と給気口を結ぶ立下りダクトに面した床板側面の温度は上側表面近くで36.4～43.1℃、裏面近くで35.1～40.8℃になっている。なお立下りダクトはロックウール20mmで断熱されている。温風が当たる可能性のある床裏面近くの空気温は32.7～44.2℃になっている。文献8)によれば、木材の出火危険温度は260℃とされていることから、立下りダクトに面した床板側面と床裏面のいずれも、出火する

図4 ペレットヒーター給気口周辺の温度分布
(1月24日(実測期間中最寒日)17:00～23:30、暖房時)

図5 土間基礎の表面と上部空気の水平温度分布
(1月24日(実測期間中最寒日)17:00～23:30、暖房時)

図6 各室の暖房時におけるグローブ温度の頻度分布
(総データ数2853)

ような高温にはなっていない。なお、本システムは温風床暖房のシステムであるため、床下で出火を招くような強度の放射放熱は行なっていない。

図5に1月24日17:00～23:30（暖房時）の土間基礎の表面と上部空気の水平温度分布を示す。土間基礎表面温度の時間帯平均値は、ヒーター給気口に近い測定点で20.2℃、和室下部で18.5℃になっている。他方、給気口から一番遠いトイレ下部で15.7℃になっている。土間基礎の表面温度は高温空気の吹き出しによって極端に高くなるおらず、室温程度である。

土間基礎上部150mmの空気温平均値は、ペレットヒーター給気口に近いリビング・ダイニングで20.5℃になっており、それ以外の測定点で14.7～19.4℃になっている。40℃を超える高温の気流は、主に土間基礎上部150mmより高い位置を流れているために、計測した床下空気温は室温に近くなっている。

3-3 居室のグローブ温度・作用温度

図6に暖房時におけるグローブ温度の頻度分布を示す。なおこの頻度は、2015年12月7日～2016年1月7日は15分間隔で、1月8日～3月29日は1時間間隔で計測した、暖房時における総数2853のデータを用いている。

本研究では住宅の床暖房を対象にしているため、オフィスの対流冷暖房を対象にして開発されたPMVやSET*より住宅の床暖房に関する評価例の方が妥当と考え、暖房時についてはリジャルらの住宅における快適グローブ温度⁹⁾を参考にした。リジャルらによれば、快適グローブ温度の平均値±標準偏差×2は、床暖房時が20℃±4.6℃、対流暖房時が20.2℃±4.8℃である⁹⁾。

リビング、ダイニングのグローブ温度は、リジャルらの住宅における快適グローブ温度の範囲内にほとんど収まっている。

書斎のグローブ温度は11～22℃になっており、15℃以下のデータ数は全データの約16%であり、これらは1月8日～3月29日の測定データがほとんどである。前述したように、厳寒日には2階への供給熱が不足したため、快適グローブ温度の下限を下回るグローブ温度になっている。

リビングのグローブ温度は壁付近で測っており、ヒーターの対流と放射の放熱による影響で、ダイニングより20℃以上の頻度が少し大きい。

図7に実測全期間における作用温度の時刻別分布を室空気温と比較して示す。リビングにおいて最大値と最小値の差が最小の0時に着目すると、作用温度、室空気温はともに第1四分位が17.8℃、第3四分位が19.8℃になっている。他方、0時の書斎では、作用温度、室空気温はともに第1四分位が15.5℃、第3四分位が19.0℃になっている。住宅に対しては作用温度の推奨範囲が提案されていないので、カフェテリアに対する17.5～22.5℃をここでは参考にする¹⁰⁾。この推奨範囲はPMVが-0.5～+0.5に相当するので、0時では暖房時と非暖房時とを含む全期間の25%の時間にリビングのPMVが-0.5未満に、書斎ではもっと長い時間がPMV-0.5未満になっていることを意味する。

6時におけるリビングの作用温度は、中央値が16.4℃で全時刻の最低になり、最小値12.3℃、第1四分位15.5℃、第3四分位18.5℃、最大値22.8℃となっている。期間を通じた変化の幅が他の時刻と比べて大きい。最小値と最大値の差が10.5℃で大きいのは、外気温が最低値になる時間帯であることと、暖房した日と暖房しなかった日が混在するためと考える。

3-4 1階床下空気・1階室空気・2階室空気のエネルギー収支

図8に1月24日19時における1階床下空気・1階室空気・2階室空気のエネルギー収支を示す。床下にはペレットヒーター給気口からの温風2536Wと2階からの還気による熱87Wが供給され、このうち1070Wが基礎に吸収され、残りの1382Wが床吹出口からの給気として、171Wが1階床貫流熱として1階室空気に流出する。基礎の吸熱がペレットヒーターの温風放熱の42%で小さくないが、これ

図7 実測全期間における作用温度と空気温の時刻別分布

図8 1階床下空気・1階室空気・2階室空気におけるエネルギー収支[W]

は基礎による蓄熱と地盤への熱損失の和であり、全量が熱損失ではない。

1階室空気には、床吹出口からの給気1382Wと、1階床貫流熱171W、ペレットヒーターの対流放熱591W、内部発熱300Wが投入

されている。1 階室空気からの流出熱は、換気で 506 W、外皮の熱貫流で 810 W、2 階への暖気上昇で 1129 W である。2 階室空気には、暖気上昇による熱 1129 W が供給され、換気によって 308 W、外皮の熱貫流によって 821 W の熱が流出している。

2 階室空気への供給熱量 1129 W は、1 階室空気への供給熱量 2444 W (=1382+171+591+300) の 46% で小さい。そのため、循環風量を増加させるなどして、2 階への供給熱量を増やす必要があると考える。

4. おわりに

ペレットヒーター利用温風床暖房を導入した木造住宅の暖房効果に関する実測調査を行なった結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 外気温 -3 ～ 0℃ の厳寒日を除くと、室空気温は 1、2 階のいずれも 15.5 ～ 18.5℃ になっており、1、2 階の上下気温差は 1.5℃ 以下に収まっている。厳寒日では、2 階への供給熱が不足し、2 階の室空気温が 1 階より最大で 10℃ 低くなっている。
- 2) ペレットヒーター底部と給気口を結ぶ立下りダクトに面した床板側面の温度は上側表面近くで 36.4 ～ 43.1℃、裏面近くで 35.1 ～ 40.8℃ になっている。床裏面近くの空気温は 42.6 ～ 77.3℃ になっている。立下りダクトに面した床板側面と床裏面のいずれも、出火するような高温にはなっていない。
- 3) リビング・ダイニング（1 階）のグローブ温度はいずれも 15 ～ 25℃ であり、リジアルらの快適グローブ温度の範囲内に収まっている。書斎（2 階）のグローブ温度は 11 ～ 22℃ になっている。リジアルらの快適グローブ温度の下限である 15℃ 以下のデータ数は全データの約 16% になっており、それは厳寒日のものである。
- 4) 厳寒日では、1 階から 2 階への供給熱量が 1 階室空気への供給熱量の半分近くになったために、2 階室温が低くなった。そのため、このような場合に対応するために、出力上昇と連動して 1 階から 2 階へ循環風量を増加させる仕組みが必要である。

謝辞

住まい手の方々と㈱安成工務店の弘中一久氏には、実測調査の受入れにあたって終始懇切なご対応をいただきました。また、㈱山本

製作所にはペレットヒーターまわりの測定結果を快くお貸しいただきました。実測調査の遂行においては、当時、東海大学卒論生の志村大祐さん・土城峻さん、修士 1 年生の宮澤沙也加さんの寄与が小さくありません。本研究は平成 26 年度 LIXIL 住生活財団の研究助成を受けました。

注

A.1) ストープは調理可能な暖房器具を意味する名称であるが、いわゆるペレットストーブは調理には対応しておらず、また導入した室空気を加熱して送風するファンヒーターであるため、本論文ではその名称をペレットヒーターと呼ぶことにした。

参考文献

- 1) Georges L. et al., *On the Proper Integration of Wood Stove in Passive House: Investigation Using Detailed Dynamic Simulations*, Energy and Buildings, 59, pp.203-213, 2013.
- 2) Persson T. et al., *Electrical savings by Use of Wood Pellet Stove and Solar Heating Systems in Electrically Heated Single-family House*, Energy and Buildings, 37, pp.920-929, 2005.
- 3) 例えば中村健児・渡辺俊行・林徹夫・龍有二・赤司泰義：太陽熱利用空気集熱式床暖房住宅の設計指針，日本建築学会計画系論文集，No.516，pp.31-38，1999. 2。
- 4) 松尾悠佑・菊田弘輝・斉藤雅也・羽山広文：パッシブ換気住宅における薪ストーブを用いた全室暖房時のエクセルギー評価，日本建築学会環境系論文集，Vol.81，No.719，pp.73-82，2016. 1。
- 5) 黒岩敬仁・高橋達：木造住宅におけるペレットヒーター利用温風床暖房の実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp.1233-1234，2014. 9。
- 6) 黒岩敬仁・高橋達：木造住宅におけるペレットヒーター利用温風床暖房の数値シミュレーション，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp.1183-1184，2015. 9。
- 7) 高橋達・八田翔：下関市の木造住宅に導入したペレットヒーター利用温風床暖房システムの実測調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp.1343-1344，2016. 8。
- 8) 日本火災学会編：火災便覧 第 3 版，共立出版，p.800，1997。
- 9) H. B. リジアル・大森敏明：集合住宅における床暖房とエアコン暖房の熱的快適性に関する研究，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，第 6 巻，pp.133-136，2013. 9。
- 10) Olesen B. W. and Parsons K. C., *Introduction to thermal comfort standards and to proposed new version of EN ISO 7730*, Energy and Buildings, 34, 537-548, 2002.

[2016 年 6 月 1 日原稿受理 2016 年 10 月 15 日採用決定]