

外断熱・二重通気工法の自動制御時における通気実態の把握

IN-SITU SURVEY OF A VENTILATION OF A HOUSE COMPOSED OF AN EXTERNAL HEAT INSULATION AND DOUBLE VENTILATION SYSTEM DURING AUTOMATIC CONTROL

高村研究室 17T5059E 森星斗
Takamura Lab. 17T5059E Hoshito MORI

キーワード：外断熱・二重通気工法、高断熱・高气密住宅、温熱環境、壁体内通気

Keywords: A house composed of an external heat insulation and double ventilation system, Well-insulated and air tightened houses, Thermal environments, Air-circulation in walls

1 はじめに

我が国の家庭部門における最終エネルギー消費量は石油危機以降約2倍に増加し、全体の15%¹⁾程を占めている。また、東日本大震災後の電力需給の逼迫やエネルギー価格の不安定化を受け、家庭部門における省エネルギーの重要性が再認識されている。居住者の健康維持と快適性の向上を目的とする「HEAT20」²⁾の発足や「第5次エネルギー基本計画」³⁾に基づき、年間の一次エネルギー消費量が正味でゼロになるZEHが推進されており、戸建て住宅の高断熱・高气密化が進められてきた。これにより、冬期において暖房負荷が減少した。一方、その高い外皮性能により、一度取得した熱を外部へ放出することが困難であった。この問題に対する技術として、排熱効果を有する外断熱・二重通気工法が挙げられる。壁体内通気住宅に関する研究として、梅野⁴⁾らによって実測を基に通気層内の温湿度の把握が行われている。通気層内温湿度は室内温湿度の影響をほとんど受けておらず、外気温湿度に付随して変動することを明らかにしている。落合⁵⁾らによって、同等の外皮性能を持ち、通気性能を持つ戸建て住宅と通気性能を持たない戸建て住宅の居室温度を、実測結果から比較した。通気性能を持つ住宅は、通気性能を持たない住宅に比べ最高室温が低く、その排熱効果により室温の上昇が抑制されることが確認された。また細川⁶⁾らによって、ダンパー数を変更した戸建て住宅の実測調査が行われた。ダンパーの数を減らしても床下から外気を導入し、小屋裏で通気を行うシステムは正常に稼働するが、室温に対する排熱効果は減少することが明らかになった。外断熱・二重通気工法は、通気モードを制御する自動制御がある。しかし、自動制御時における通気実態の把握は十分に行われておらず、排熱効果の向上を目指し、実態把握を行った。そこで、本研究では、これまでに蓄積された実測結果と、本年度新規で実測を行った物件の実測結果に基づき、詳細に分析を行い、外断熱・二重通気工法の自動制御と通気性能の関係について明らかにすることを目的とする。

2 研究概要

2.1 外断熱・二重通気工法概要

外断熱・二重通気工法概念図を図1に示す。外断熱・二重通気工法とは、構造躯体を断熱材で覆い、外壁と断熱材の間に外側通気層が、断熱材と石膏ボードの間に内側通気層が設けられている。また、床下の開閉式のダンパーと小屋裏に設置された給気口で給気を

近年、省エネルギー化や住環境の向上により、住宅では高断熱・高气密化が推進されてきた。それに伴い夏期において一度取得した熱を外へ排出できない事などが懸念されている。それらの問題に対し有効な機能を持つ外断熱・二重通気工法に着目し、外気によって自動でダンパーの開閉などを行う、自動制御時における通気状況を詳細に分析し、実態の把握を行った。

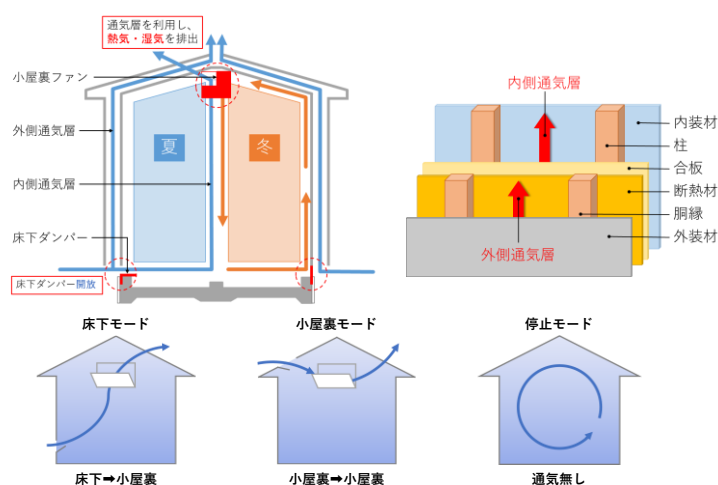


図1 外断熱・二重通気工法概要

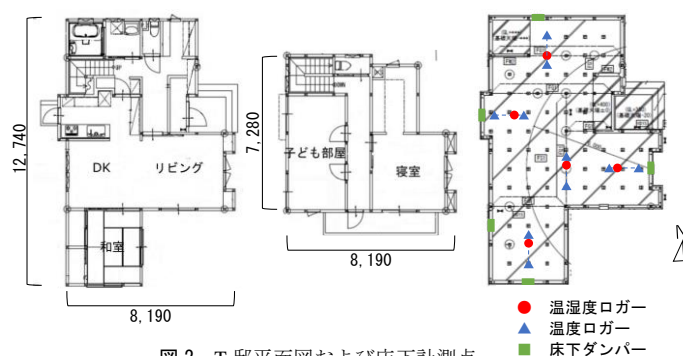


図2 T邸平面図および床下計測点

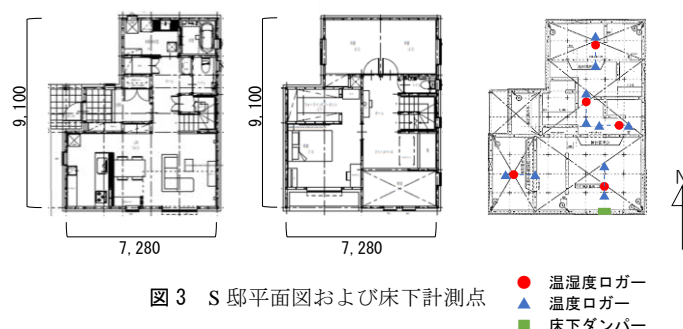


図3 S邸平面図および床下計測点

行い、小屋裏ファンで排気を行う。夏期には、熱や湿気を排出する目的でダンパーを開き、小屋裏ファンを稼働させ通気を行う。冬期は、ダンパーを閉じ、小屋裏ファンの運転を停止させることにより、高断熱・高気密住宅となる。通気モードはダンパーの開閉によって4モード存在する。床下モードは床下ダンパーから外気を導入し、通気層を経て小屋裏ファンで通気を行う。小屋裏モードは小屋裏ダンパーで外気を導入し、小屋裏ファンで通気を行う。停止モードはダンパーを閉じ、小屋裏ファンを停止し、通気を行わない。自動モードはそれらの通気パターンを外気温によって自動で切り替えを行う。

2.2 対象物件概要および測定概要

対象物件の平面図及び床下計測点を図2と図3に示す。対象物件の概要を表1に、実測の計測項目と計測機器を表2に示す。自動モードの設定温度を表3に、年度別の計測の測定条件を表4に示す。T邸の所在地は長野県長野市である。また、延床面積127.3㎡、 U_A 値0.51W/㎡K、C値0.51cm²/㎡の木造住宅である。測定期間は2019年と2020年の8月から9月のそれぞれ2カ月間とした。S邸の所在地は埼玉県さいたま市である。また、延床面積108.5㎡、 U_A 値0.38W/㎡K、C値0.1cm²/㎡の木造住宅である。測定期間は2020年の8月から9月のそれぞれ2カ月間とした。表4より、T邸において2020年の計測では床下ダンパーを5箇所を使用した。また2019年の計測では床下北、2020年のS邸計測では床下南の1箇所のみダンパーを使用した。

3 床下モードの実態把握

3.1 床下への外気の導入実態

床下モードにおいて、外気が正常に床下に導入されている事を確認するため、外気と床下の絶対湿度の相関関係を考察した。床下モードと停止モードの外気と床下中央の絶対湿度の相関関係を図4に、相関係数を表5に示す。表5より、停止モードの相関係数はT邸では0.38、S邸では0.33と弱い相関があった。これにより停止モードにおけるT邸とS邸において、外気が床下へ導入されていないことが確認できた。一方で、床下モードの相関係数は、T邸で0.69と相関があり、同じS邸では0.94と非常に強い相関があった。これにより、床下モードにおけるT邸とS邸において、ダンパー開放時において外気が導入されていることを確認した。

3.2 居室温度の時系列変化

床下モードにおいて、外気が導入されていることが確認できたため、居室の温度を把握した。T邸とS邸の床下モードにおいて外気変動が近い二日間を代表日に選定した。代表日二日間における居室の平均温度を表6に示す。居室温度の時系列変化を図5に示す。表6より、T邸では外気平均温度23.8℃に対して、床下の平均温度が24.7℃と低く、S邸では外気平均温度24.1℃に対して床下の平均温度が25.4℃と高いことが確認できた。また図5より、T邸とS邸では、リビングと寝室、小屋裏の温度の変動の傾向が異なることが確認できた。特に小屋裏の温度の二日間における最高気温と最低気温の差は、T邸では4.0℃、S邸では1.2℃であった。またS邸においては居室間の温度差が非常に小さいことが確認された。原因としては、小屋裏の部屋と2階部分が連続していることが考えられる。

表1 対象住宅概要

対象住宅	T邸		S邸	
所在地	長野県長野市		埼玉県さいたま市	
構造	在来軸組工法		在来軸組工法	
延床面積	127.3㎡		108.4㎡	
住宅区分	4地域		6地域	
断熱仕様	外壁	XPS3種 50mm	XPS3種 60mm	
	基礎	XPS3種 50mm	XPS3種 60mm	
	屋根	XPS3種 90mm	XPS3種 60mm+40mm	
U_A 値	0.51W/㎡k		0.38W/㎡k	
C値	0.51cm ² /㎡		0.10cm ² /㎡	

表2 計測項目

計測項目		計測間隔	計測機器
表面温度	床下(5点)	10分	温度ロガー TR-71wb
	壁面		温度ロガー TR-71wf
温湿度	外気・各居室		温湿度ロガー TR-72wf
	床下(5点)		温湿度ロガー LR5001
	小屋裏		
日射			1分

表3 自動モード切替温度

	自動モード 切り替え温度				
	停止M	小屋裏M	床下M	小屋裏M	停止
T邸	18℃未満	18℃~24℃	24℃~29℃	29℃~36℃	36℃以上
S邸	18℃未満	18℃~24℃	24℃~32℃	32℃~36℃	36℃以上
床下ダンパー	閉	閉	開	閉	閉
小屋裏ダンパー	閉	開	開	開	閉

表4 ダンパーの数

T邸		S邸
2020年	2019年	2020年
5	1(北)	1(南)

表5 絶対湿度相関係数

	床下M	停止M
T邸	0.69	0.38
S邸	0.94	0.33

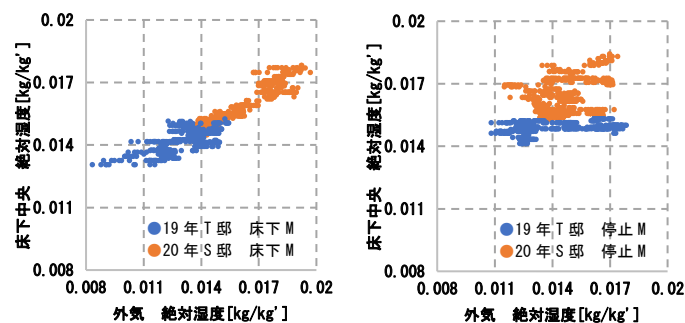


図4 外気と床下 絶対湿度相関(床下M・停止M)

表6 床下モード 居室平均温度

	外気	床下	リビング	寝室	小屋裏
T邸	23.8℃	24.7℃	27.8℃	27.5℃	27.8℃
S邸	24.1℃	25.4℃	27.1℃	27.3℃	27.2℃

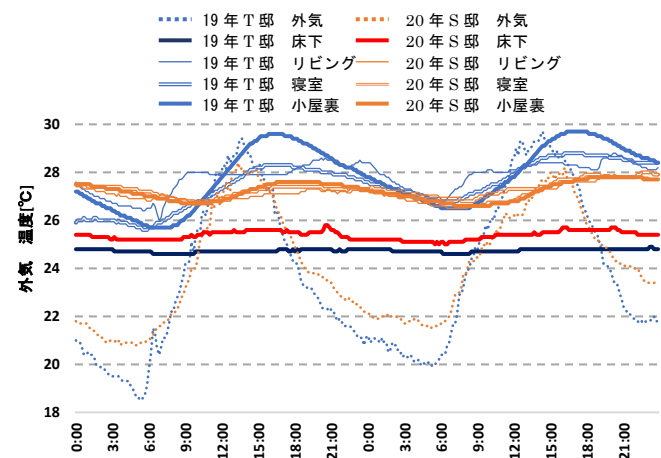


図5 床下モード 居室温度変化

4 自動モードの制御分析

4.1 各居室温度分布

自動モードの居室の温度分布の把握を行った。解析対象期間は T 邸では、2020 年に自動モードで計測を行った期間において、雨などの悪天候や空調時を除いた上で外気温が 20℃～35℃の範囲で 10 日間とした。S 邸では、2020 年に自動モードで計測を行った 3 日間とした。計測条件ごとの居室温度分布を図 6 に示す。図 6 より、T 邸において、床下から小屋裏に温度が上昇している傾向が確認できた。また、床下ダンパーが 5 箇所の場合と、床下ダンパーが北のみで 1 箇所の場合で差異がなかった。一方、S 邸において、居室温度の変動幅が非常に小さく、また居室同士の温度差が小さいことが確認できた。S 邸の傾向が T 邸の傾向と異なる原因として、S 邸の外気が T 邸と比べ、低いことがあげられる。また、断熱仕様や床下ダンパーの設置方位などの住宅の仕様の違いが考えられる。

4.2 通気モード別の通気状況把握

自動モードの居室の通気状況の把握をモード別に行った。自動モードにおける通気モード別の T 邸と S 邸の外気と床下中央、外気と小屋裏の温度の相関係数を表 7 に、外気と床下中央の温度の相関係数を図 7 に、外気と小屋裏の温度の相関係数を図 8 に示す。図 7 と図 8 より小屋裏モードは外気温が 24℃以下と 29℃以上に分布していた。床下モードは外気温が 24℃以上 29℃以下に分布していた。そのため、表 3 に示す自動モードの切替温度と一致しており、設定通りに自動制御が行われていることが確認できた。表 7 より、床下モードの外気と床下の相関係数は T 邸では 0.63 であり、S 邸では 0.59 で相関があるため、外気が導入されている事が確認できた。また、小屋裏モードの外気と小屋裏の相関係数は、T 邸では 0.54 で相関があり、S 邸では 0.32 で弱い相関があるため、外気が導入されている事が確認できた。図 7 より、T 邸において、床下モードと小屋裏モードの切替温度である外気温度 24℃付近で小屋裏モードと比べ、床下モードの床下温度が低下しており、温度の低い外気を導入するために、切替温度は妥当であると考えられる。また、床下モードと小屋裏モードの切替温度である外気温度 29℃付近において、床下モードと比べ、小屋裏モードの床下温度が低下していることから、床下モードにおいて温度が高い外気を導入してしまっていることが確認できた。温度が高い外気の導入を防ぐため、外気温度 27℃程度を切替温度とすることで、より床下温度の上昇を防ぐことができると考えられる。図 8 より、T 邸の外気温度 35℃付近の小屋裏温度において、停止モードと小屋裏モードで差異がないものの、図 7 では小屋裏モードと比べ、停止モードの床下温度が 25℃程度まで低下していることから、小屋裏モードと停止モードの切替温度は 32℃程度に変更することで、床下温度の上昇を防ぐことができると考えられる。

4.3 昼夜別の通気状況把握

昼夜での通気状況の変化を検討した。また昼夜の選別は、日射量が 1W/m²以上の時間帯を昼間とし、1W/m²未満の時間帯を夜間とした。T 邸と S 邸の外気と小屋裏の温度の相関係数を表 8 に示す。昼間における外気と小屋裏の温度の相関係数を図 9 に、夜間における外気と小屋裏の温度の相関係数を図 10 に示す。表 8 より、T 邸と S 邸の相関係数から、床下モードと小屋裏モードにおいて昼間より夜間の相関係数が高い傾向が確認できた。これより、昼間と比べ、夜間がより多く外気を導入していることが確認できた。また図 9 よ

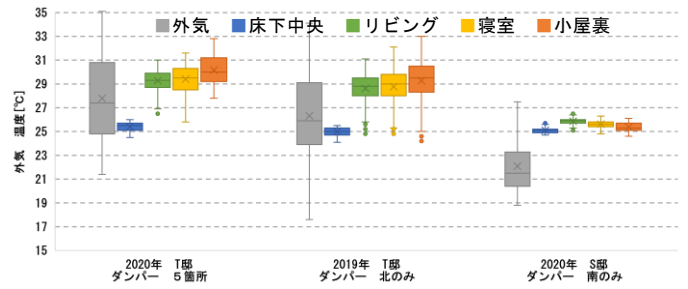


図 6 自動モード 居室温度分布

表 7 通気モード別 外気と床下・外気と小屋裏 温度相関係数

		床下 M	小屋裏 M	停止 M
T 邸	床下	0.63	0.21	0.19
	小屋裏	0.36	0.54	0.06
S 邸	床下	0.59	0.27	0.46
	小屋裏	0.32	0.32	0.72

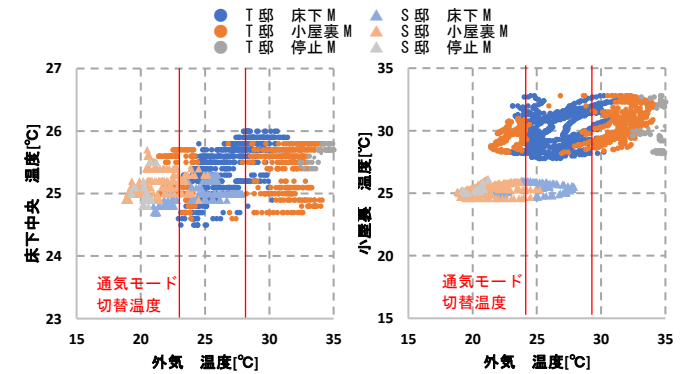


図 7 外気と床下 相関関係 図 8 外気と小屋裏 相関関係

表 8 昼夜別 外気と小屋裏 温度相関係数

		床下 M	小屋裏 M	停止 M
T 邸	昼	0.27	0.57	0.64
	夜	0.52	0.74	0
S 邸	昼	0.47	0.20	0
	夜	0.82	0.78	0.72

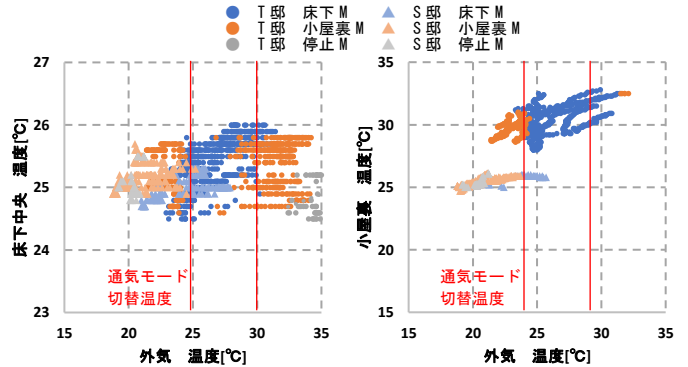


図 9 外気と小屋裏 相関関係 (昼) 図 10 外気と小屋裏 相関関係 (夜)

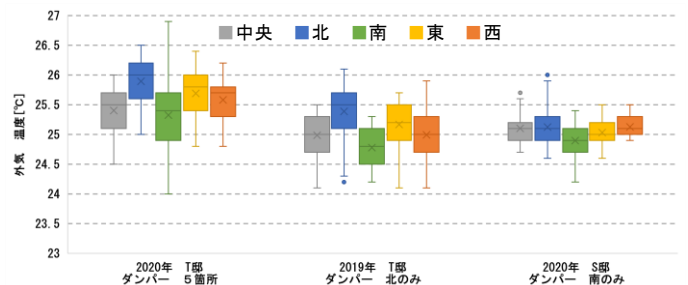


図 11 床下温度分布

り、小屋裏の温度は昼間に上昇しており、夜間において小屋裏の温度が低下せず、28℃～33℃程度で推移していた。そのため、小屋裏モードと停止モードの切替温度を32℃程度まで下げることで、昼間において、小屋裏温度の上昇を防ぐ可能性があると考えられる。

5 自動モードの床下温度把握

5.1 床下の温度分布

自動モードの床下空間の温度分布の把握を行った。自動モードの計測条件ごとの床下温度分布を図11に、床下表面温度分布を図12に示す。T邸の2年間とS邸において、床下北側の温度が最も高く、T邸では床下東側が、S邸では床下西側が次に高い傾向があることが確認できた。T邸において床下ダンパーが5箇所の場合と、床下ダンパーが北のみで1箇所の場合で差異がなかった。一方、S邸ではT邸の2年間と比較して床下温度の変動幅が小さかった。床下の表面温度においても床下温度と同様に、床下北側が高く、T邸において床下ダンパーが5箇所の場合と、床下ダンパーが北のみで1箇所の場合で差異がなかった。また、S邸においては、T邸と比較して表面温度の変動幅が小さかった。さらに、T邸の2年間とS邸において床下空間の外周付近の表面温度が高い傾向にあった。T邸において床下ダンパーが5箇所の場合と、床下ダンパーが北のみで1箇所の場合において傾向の違いが少なく、ダンパーによる影響は少ないと考えられる。

5.2 通気モード別の床下温度把握

自動モードの床下の温度分布の把握をモードごとに行った。自動モードにおける通気モード別の2020年のT邸とS邸の外気と床下北側、外気と床下南側の温度の相関係数を表9に示す。外気と床下北側の温度の相関関係を図13、外気と床下南側の温度の相関関係を図14に示す。表9より、床下モードにおいて外気と床下の相関係数からT邸とS邸において床下北側より、床下南側の相関が強い傾向があることから、床下北側と比べ、床下南側では通気しやすいことが確認できた。図14より、T邸の床下南側において、床下モードと小屋裏モードの切替温度である外気温度24℃付近で床下南側の温度が低下しており、切替温度が妥当であると考えられるが、床下モードと小屋裏モードの切替温度である外気温度29℃付近において小屋裏モードの床下南側の温度が25.5℃程度まで低下している。床下温度の上昇を防ぐため、小屋裏モードの床下温度が25.5℃程度になる外気温度27℃程度を切替温度とすることで、温度の高い外気の導入を防ぐ可能性があると考えられる。

6 まとめ

外断熱・二重通気住宅の2物件での実測に基づいて2物件の傾向と実態を詳細に分析し、以下の知見を得た。

- 1) 断熱仕様や地域の異なる2物件において、床下モードでは外気が床下に導入されていることが確認できた。
- 2) 自動モードにおける通気状況から、自動モードにおいても外気が導入されている事が確認できた。また昼夜別の通気状況から、昼間より夜間で外気が導入されやすい事が確認できた。さらに、通気モードの切替温度は概ね問題ないものの、切替温度を変更することでより排熱効果が向上できると考えられる。

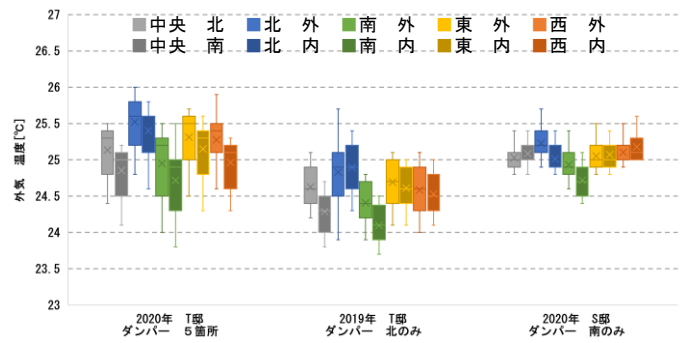


図12 床下表面温度分布

表9 モード別 外気と床下 温度相関係数

		床下		
		床下M	小屋裏M	停止M
T邸	北	0.54	0.28	0.09
	南	0.73	0.22	0.24
S邸	北	0.52	0.33	0.46
	南	0.89	0.46	0.59

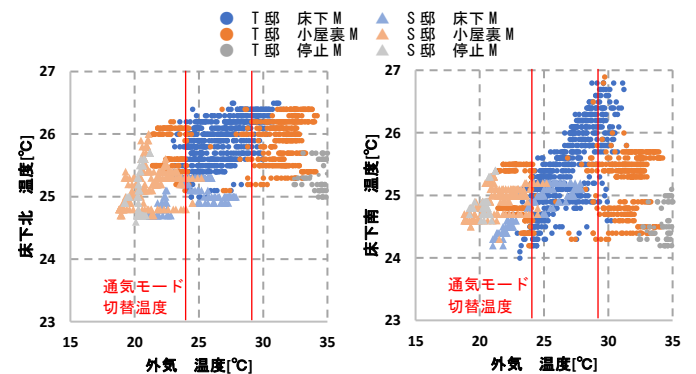


図13 外気と床下北 相関関係 図14 外気と床下南 相関関係

- 3) 自動モードにおける床下温度分布はダンパー設置数に関わらず、床下北側の温度が高く、床下南側の温度が低い傾向があった。また床下表面温度から、基礎内部と比べ、基礎外周の温度が高いことが確認された。さらに床下の通気状況から、床下北側より、床下南側で外気が導入されやすい事が確認できた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、株式会社カネカ、並びに株式会社カネカソーラーサーキットのお家には多大なる協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) ZEHに関する情報公開について
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html (アクセス 2020.01.25)
- 2) 一般社団法人 20年先を見据えた日本の高断熱住宅研究会
<http://www.heat20.jp/> (アクセス日 2020.01.25)
- 3) エネルギー基本計画について 資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/ (アクセス日 2020.01.25)
- 4) 梅野徹也, 鉦井修一, 齋藤宏昭, 本間義規, 壁体内通気層における防露性能の実態に関する研究-実験住宅における通気量の実態把握 日本建築学会環境系論文集第78巻694号, 2013年12月
- 5) 落合隼汰, 高村秀紀, 青山純也, 外断熱・二重通気工法における排熱効果の定量化 (第1報) 実測データに基づく排熱効果の検証 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集 第6巻 温熱環境評価 編
- 6) 細川健, 高村秀紀, 外断熱・二重通気工法における排熱効果の定量化 (第4報) シミュレーションと実測による最適仕様の検討 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集 第6巻 温熱環境評価 編
- 7) カネカのお家ソーラーサーキット
<https://www.schs.co.jp/> (アクセス日 2020.01.25)