パッシブハウスの性能評価に関する研究
戸建住宅を対象とした最適設計方法の基礎的検討

鳴海　佳子　　指導教員　赤林　伸一　教授

1　研究目的

1970 年代にオイルショックが起こりエネルギー価格が高騰し、これに対応する為、パッシブハウスの研究が行われた。従来のパッシブソーラーハウスは、住宅の断熱・気密性能を向上させるだけでなく、開口部の最適配置による太陽光や太陽熱の効果的な利用や、蓄熱技術等の有効利用でエネルギー消費を減少させることを意図したシステムである。一方、1990 年代以降、化石燃料の使用による気候変動の緩和を図るため、住宅でも更なる省エネルギーが推進されている。住宅の省エネルギーに関する研究は太陽光発電やエアコンの効率向上等のアクティブな手法が主流となっており、断熱・気密性能や窓、換気口の配置等、パッシブな手法の検討は十分なされていないのが現状である。

本研究では、パッシブな手法の有効性を検討するため、外壁を全てガラスとした住宅（以下、ガラス住宅）、壁だけの住宅（以下、壁住宅）、南面のみに開口を設置した住宅（以下、南窓住宅）を対象とし、開口の大きさや配置の検討を行う。又、換気口の開閉により変化する自然換気量をパラメータとして、日射取得による室温への影響の検討を行う。更に、断熱・蓄熱性能をパラメータとし、住宅性能が室内環境に及ぼす影響を検討し、挟み撃ち的な手法でパッシブハウスの最適な設計方法を明らかにすることを目的とする。

2　研究概要

2.1　解析対象地域・住宅：図 1 に解析対象モデルを示す。２階建戸建住宅※1 を対象とする。日本建築学会標準住宅モデル[文1)] を参考とした幅 8,645[mm] ×奥行 7,280[mm] ×階高 2,700[mm] で総二階の戸建住宅（陸屋根）とし、各階を一室とする。解析対象地域は札幌、仙台、東京、名古屋、金沢、新潟、京都、広島、島根、高知、福岡の 11 都市とする。

2.2　解析条件：表 1 に解析 case を示す。気象データには日本建築学会拡張アメダス気象データ（標準年）[文2)] を用いる。住宅の断熱性能※2、蓄熱性能※3 を系統的に変化させ、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS ver.16 を用いて自然室温※4 の算出を行う。住宅モデルはガラス住宅、壁住宅、南窓住宅の窓面積を南壁面の 100[%]、80[%]、60[%] とした計５パターンとする。各住宅モデルに対し断熱性能は A: 低断熱、B: 標準断熱、C: 高断熱の３種類、蓄熱容量は無し、５[MJ/K]、10[MJ/K] の３種類とし、計 45case の解析を行う。

2.3　換気量：図２に壁面風圧分布（風向角 S）と換気口位置を示す。常時換気として 0.5[回 /h] の機械換気を行う。又、自然換気口（15 × 15[cm]）を床を除く５面に各 16[個] ずつ計 80[個] を均等に設置する。CFD 解析（RANS）により 16 風向の壁面の風圧係数の分布を算出する。得られた風圧係数から、換気回路網計

表１　解析 case

解析cace	窓設置方位	壁面積に対する窓面積の割合[%]	断熱性能[W/(m2・K)] 各部材U値			U_A値	蓄熱容量[MJ/K]
case1-A-0	全面壁 壁住宅	0	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8		1.82	0
case1-A-V							5
case1-A-X							10
case1-B-0			B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(Low-Eガラス):1.7		0.53	0
case1-B-V							5
case1-B-X							10
case1-C-0			C	屋根・床・外壁:0.1 ガラス(3層ガラス):0.4		0.13	0
case1-C-V							5
case1-C-X							10
case2-A-0	全面窓 ガラス住宅	100	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8		5.00	0
case2-A-V							5
case2-A-X							10
case2-B-0			B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(Low-Eガラス):1.7		1.47	0
case2-B-V							5
case2-B-X							10
case2-C-0			C	屋根・床・外壁:0.1 ガラス(3層ガラス):0.4		0.02	0
case2-C-V							5
case2-C-X							10
case3-A-0	南面に窓を設置 南窓住宅	100	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8		2.60	0
case3-A-V							5
case3-A-X							10
case3-B-0			B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(Low-Eガラス):1.7		0.77	0
case3-B-V							5
case3-B-X							10
case3-C-0			C	屋根・床・外壁:0.1 ガラス(3層ガラス):0.4		0.15	0
case3-C-V							5
case3-C-X							10
case4-A-0		80	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8		2.48	0
case4-A-V							5
case4-A-X							10
case4-B-0			B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(Low-Eガラス):1.7		0.74	0
case4-B-V							5
case4-B-X							10
case4-C-0			C	屋根・床・外壁:0.1 ガラス(3層ガラス):0.4		0.14	0
case4-C-V							5
case4-C-X							10
case5-A-0		60	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8		2.36	0
case5-A-V							5
case5-A-X							10
case5-B-0			B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(Low-Eガラス):1.7		0.70	0
case5-B-V							5
case5-B-X							10
case5-C-0			C	屋根・床・外壁:0.1 ガラス(3層ガラス):0.4		0.13	0
case5-C-V							5
case5-C-X							10

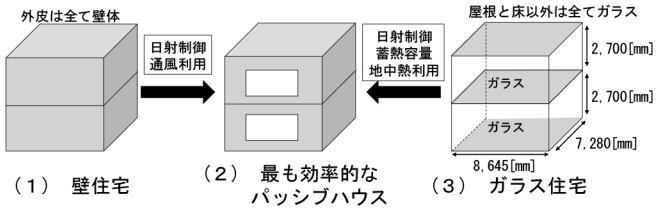


図１　解析対象モデル

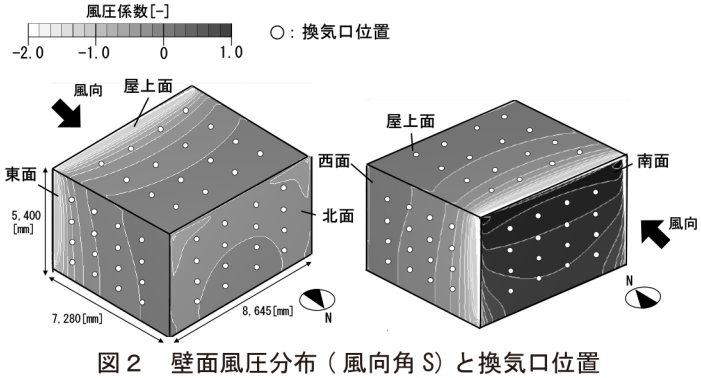


図２　壁面風圧分布（風向角 S）と換気口位置

算を行い、外部風速と換気量の関係を明らかとする。

2.4　パッシブ快適時間：図３に換気口の開閉による快適時間の概念を示す。20[℃] から 27[℃] を快適室温とし、自然室温が快適室温となる時間を快適時間とする。室温が 27[℃] 以上の場合を過熱室温、20[℃] 以下の場合を過冷室温とする。快適時間の検討では全換気口を開放した場合に快適室温になる時間、全換気口を閉鎖した場合に快適室温になる時間を「快適時間」とする。全換気口を開放した時に過冷室温となり、閉鎖した時に過熱室温となる時間は、自然室温が快適温度になる適当な換気口の数が存在すると考えられるため、「見なし快適時間」と定義する。算出された快適時間と見なし快適時間を合計した時間を「パッシブ快適時間」と定義する。全換気口を開放した場合に過熱室温となる時間を「過熱時間」、全換気口の開閉によらず過冷室温となる時間を「過冷時間」と定義する。１年間（8,760 時間）における快適時間、見なし快適時間、過熱時間、過冷時間を算出し、パッシブ快適時間が最も長くなる断熱性能、蓄熱容量、窓面積を検討する。

❸　代表都市における解析結果

11 都市内で最も北に位置する札幌、最も南に位置する福岡、太平洋側代表地として東京、日本海側代表地として新潟の４都市を代表として報告する。

3.1　換気回数の算出：図４に代表都市における全換気口開放時の換気回数の頻度分布を、図５に全換気開放時の１階における換気回数の時刻変化を示す。それぞれの地域において、１年を通じて時期による換気回数に大きな差は殆ど見られない。年平均換気回数は札幌では 5.53[回 /h]、新潟では 8.01[回 /h]、東京では 5.22[回 /h]、福岡では 5.61[回 /h] である。新潟は他の都市に比べ平均で約 1.4 倍換気量が多い。

3.2　快適時間の算出：図６に代表都市における季節毎※5 のパッシブ快適・過熱・過冷の各時間を示す。どの case でも夏季のパッシブ快適時間の差は少ない。冬季は、壁住宅ではほとんどが過冷時間となるが、ガラス住宅、南窓住宅では日射によりパッシブ快適時間が増加する。札幌では、case3-C-0（南窓住宅（100[%]），断熱性能 C，蓄熱容量 0[MJ/K]）が最もパッシブ快適時間が長く、年間の 62.2[%]（5,445 時間）である。新潟は、case3-C-V（南窓住宅（100[%]），断熱性能 C，蓄熱容量 5[MJ/K]）が最もパッシブ快適時間が長く、年間の 60.9[%]（5,339 時間）である。東京では、case4-C-X（南窓住宅（80[%]），断熱性能 C，蓄熱容量 10[MJ/K]）が最もパッシブ快適時間が長く、年間の 79.8[%]（6,989 時間）である。福岡では、case3-C-X（南窓住宅（100[%]），断熱性能 C，蓄熱容量 10[MJ/K]）が最もパッシブ快適時間が長く、年間の 72.7[%]（6,368 時間）である。

東京を除く３都市では南面全面に窓を設置したモデルが最もパッシブ快適時間が長い。冬季の外気温が低く、日射量が少ない札幌と新潟は、蓄熱容量が最も大きい

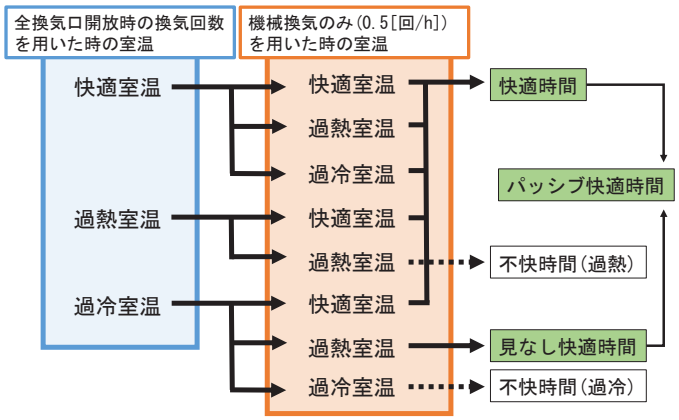


図３　換気口の開閉による快適時間の概念

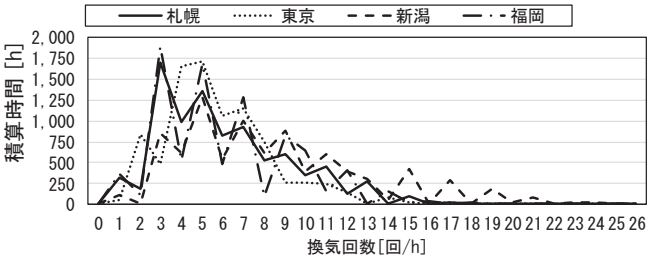
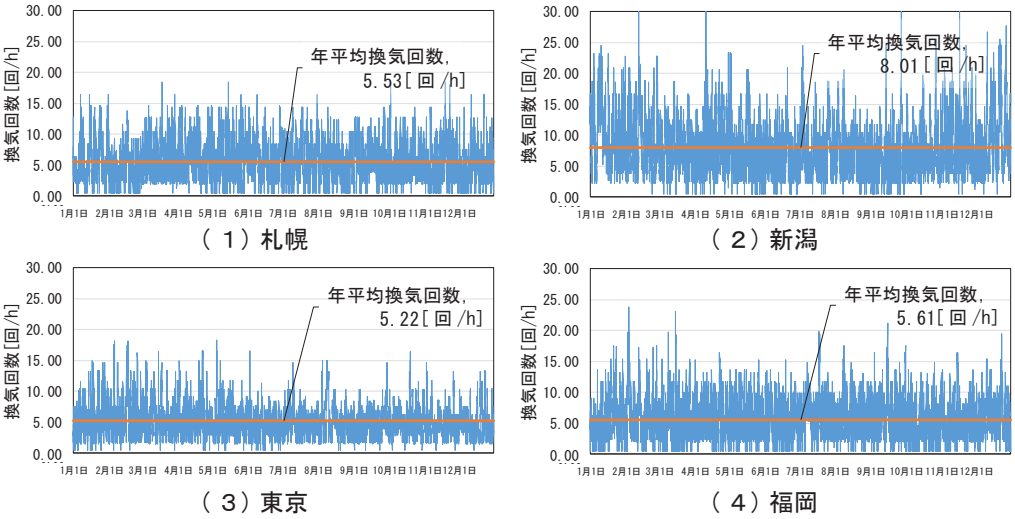


図４　代表都市における全換気口開放時の換気回数の頻度分布



（１）札幌　（２）新潟　（３）東京　（４）福岡

図５　全換気口開放時の１階における換気回数の時刻変化

10[MJ/K] のモデルでパッシブ快適時間が短くなるが、蓄熱量による差は極めて小さい。

南窓住宅（100[%]）を例とし、断熱性能、蓄熱容量がパッシブ快適時間に与える影響を検討する。図７に代表都市における断熱性能毎のパッシブ快適時間（南窓住宅（100[%]、断熱性能５[MJ/K]）を示す。どの断熱性能においても東京が最もパッシブ快適時間が長い。全ての地域において、断熱性能が向上するとパッシブ快適時間は増加し、断熱性能Ｂから断熱性能Ｃに断熱性能を向上させると、パッシブ快適時間は20[%] 程度増える。札幌と福岡に比べて、東京と福岡の方が断熱性能を向上させた時のパッシブ快適時間の増加量が大きい。図８に代表都市における蓄熱容量毎のパッシブ快適時間（南窓住宅（100[%]、断熱性能C）を示す。札幌と新潟では蓄熱容量が増加すると、パッシブ快適時間が減少する場合もあるが、その差は0.2～0.3[%] と極めて小さい。東京と福岡では蓄熱容量が増加するとパッシブ快適時間も増加するが、増加率は＋１～３[%] である。断熱性能をＡからＣに向上させた時と、蓄熱容量０[MJ/K] から10[MJ/K] に増加させた時を比べると、断熱性能を向上させた方がパッシブ快適時間の増加量が大きい。住宅性能がパッシブ快適時間に与える影響は、札幌と新潟、東京と福岡が同様の傾向となる。

ガラス配置がパッシブ快適時間に与える影響を検討する。図９に新潟と東京における、壁住宅、ガラス住宅、南窓住宅のパッシブ快適時間（蓄熱容量５[MJ/K]）を示す。新潟は、東京と比較して、どの case でもパッシブ快適時間が少ない。ガラス住宅と壁住宅は、南窓住宅に対して、パッシブ快適時間は短い。南窓住宅で窓面積を変化させてもパッシブ快適時間の差は極めて小さい。

3.3　最適 case における代表日の室温の日変化：各地

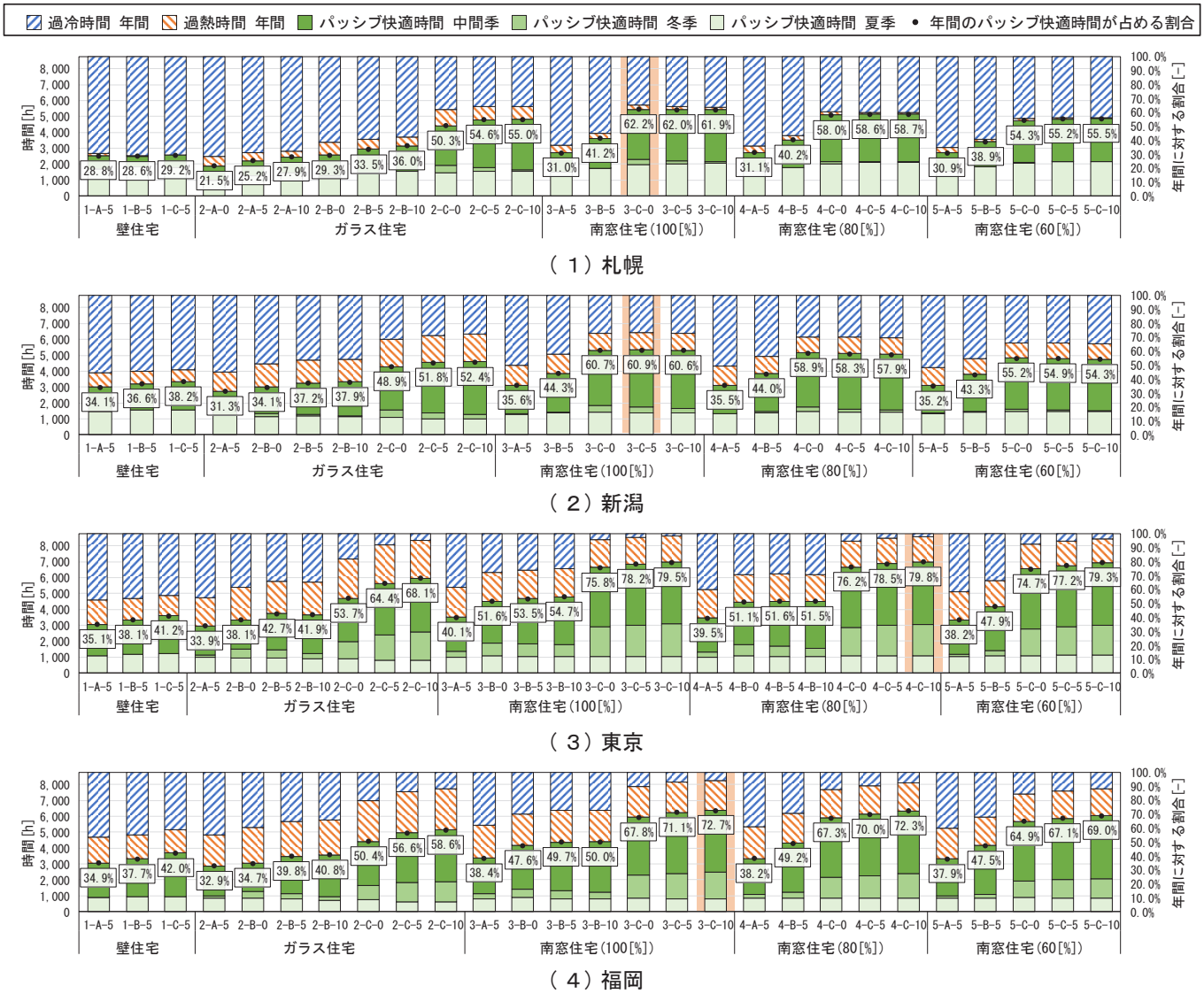


図６　代表都市における季節毎※5のパッシブ快適・過熱・過冷の各時間

＊蓄熱容量を変化させても、年間のパッシブ快適時間の変化が 2.0[%] 以内であり、年間のパッシブ快適時間が１年間（8,760 時間）の 50[%] 以下の case は、蓄熱容量５[MJ/K] の case のみ掲載する。

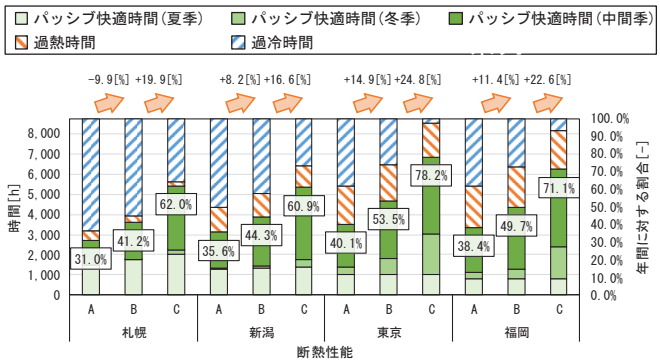


図７　代表都市における断熱性能毎のパッシブ快適時間
（南窓住宅（100[%]、蓄熱容量５[MJ/K]）

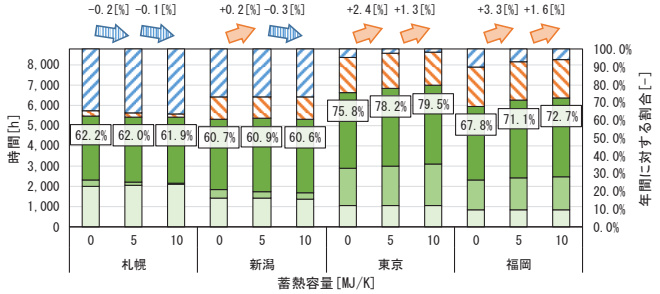
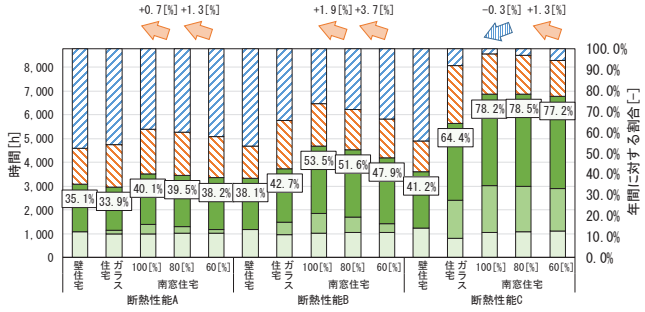
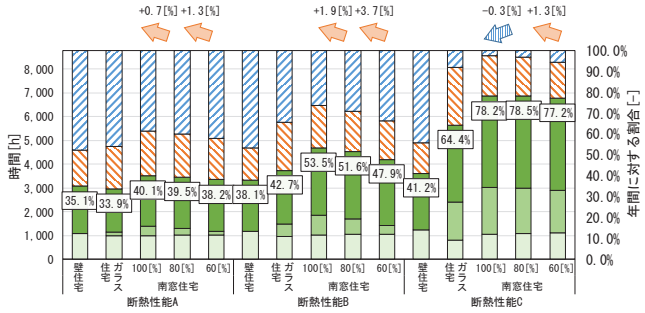


図８　代表都市における蓄熱容量毎のパッシブ快適時間
（南窓住宅（100[%]、断熱性能 C）

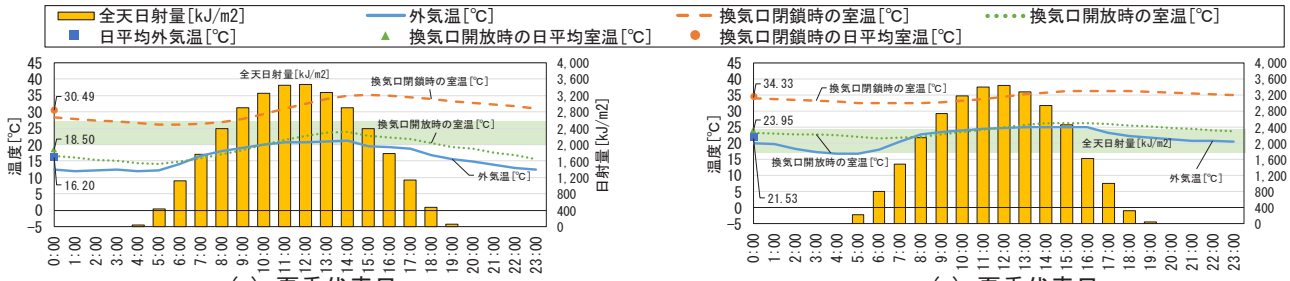


（１）新潟



（２）東京

図９　新潟と東京における、壁住宅、ガラス住宅、南窓住宅の
パッシブ快適時間（蓄熱容量５[MJ/K]）



(a) 夏季代表日

(b) 冬季代表日

（１）札幌（case3-C-0）

(a) 夏季代表日

(b) 冬季代表日

（２）新潟（case3-C-V）

(a) 夏季代表日

(b) 冬季代表日

（３）東京（case4-C-X）

(a) 夏季代表日

(b) 冬季代表日

（４）福岡（case3-C-X）

図 10　最適 case における代表日の外気温、全天日射量、全換気口閉鎖時の室温、全換気開放時の室温

域における、年間で最もパッシブ快適時間が長い case を最適 case とする。夏季、冬季において、それぞれ日積算日射量が最大の日を代表日とする。図 10 に最適 case における代表日の外気温、全天日射量、全換気口閉鎖時の室温、全換気口開放時の室温を示す。

3.3.1　夏季代表日における室温の日変化：札幌では、10 時から 18 時は全換気口開放時に、３時から８時は全換気口閉鎖時に快適室温となり、それ以外の時間は見なし快適時間となる。夏季代表日において、１日を通してパッシブ快適時間となる。

新潟では、一日を通して全換気口開放時に快適室温となる。夏季代表日において１日を通してパッシブ快適時間となる。

東京では、外気温が室温より高い時間が存在する。０時から 11 時は全換気口開放時に快適室温となる。夏季代表日において、パッシブ快適時間が 12 時間（０時から 11 時）、過熱時間が 12 時間（12 時から 23 時）となる。

福岡では、全換気口開放時、閉鎖時ともに一日を通して過熱室温となる。夏季代表日において、１日を通して過熱時間となる。

3.3.2　冬季代表日における室温の日変化：札幌では、全換気口開放時に１日を通して過冷室温となる。13 時から 21 時は日射により全換気口閉鎖時に快適室温となる。全換気口閉鎖時には、15 時に室温が最高の 25.85[℃] となる。冬季代表日において、パッシブ快適時間は９時間（13 時から 21 時）、過冷時間は 15 時間（０時から 12 時，13 時から 23 時）となる。

新潟では、２時から９時は過冷時間となるが、日射により 10 時迄に全換気口閉鎖時に快適室温となる。その後は過熱室温まで上昇し、日射が無くなる 17 時以降も蓄熱効果で過熱室温に保たれる。冬季代表日において、パッシブ快適時間が 16 時間（０時から１時，10 時から 23 時）で、過冷時間が８時間（２時から９時）となる。

東京では、全換気口開放時に１日を通して過冷室温となる。０時から 11 時に全換気口閉鎖時の室温が快適温度となり、それ以降は過熱室温となる。冬季代表日において、１日を通してパッシブ快適時間となる。

福岡では、全換気口開放時に１日を通して過冷室温となる。０時から 13 時は全換気口閉鎖時に快適室温となり、それ以降は過熱時間となる。冬季代表日において、１日を通してパッシブ快適時間となる。

4　11 都市における快適時間

4.1　パッシブ快適時間の算出：図 11 に各地域毎の最適 case におけるパッシブ快適・過熱・過冷の各時間（11 都市）を示す。

夏季のパッシブ快適時間は、一番長い札幌で 89.1[%]、一番短い京都で 26.5[%] である。全ての地域において非快適時間の殆どは過熱し、過冷時間は極めて短い。冬季のパッシブ快適時間は、一番長い名古屋で 96.0[%]、一番短い札幌で 15.4[%] である。全ての地域で非快適時間は過冷し、過熱時間は無い。

札幌では case3-C-0（南窓住宅（100[%]），断熱性能 C，蓄熱容量０[MJ/K]）、新潟では case3-C-V（南窓住宅（100[%]），断熱性能 C，蓄熱容量５[MJ/K]）、仙台、名古屋、金沢、京都、広島、島根、福岡では case3-C-X（南窓住宅（100[%]），断熱性能 C，蓄熱容量 10[MJ/K]）、東京では case4-C-X（南窓住宅（80[%]），断熱性能 C，蓄熱容量 10[MJ/K]）、高知では、case5-C-X（南面 60[%] に窓設置，断熱性能 C，蓄熱容量 10[MJ/K]）が最もパッシブ快適時間が長い。

パッシブ快適時間が最も長くなる断熱性能は、どの地域においても断熱性能が最も高い、断熱性能 C の case である。蓄熱容量は、札幌では０[MJ/K]、新潟では５[MJ/K] となるが、それ以外の９都市では 10[MJ/K] の case である。冬季に比較的外気温が低く日射量が少ない地域において、蓄熱容量が小さい case で相対的にパッシブ快適時間が長くなる。窓面積は、南窓住宅で壁面積に対する窓面積の割合が 100 ～ 60[%] の住宅で最もパッシブ快適時間が長くなる。全 case の中で、仙

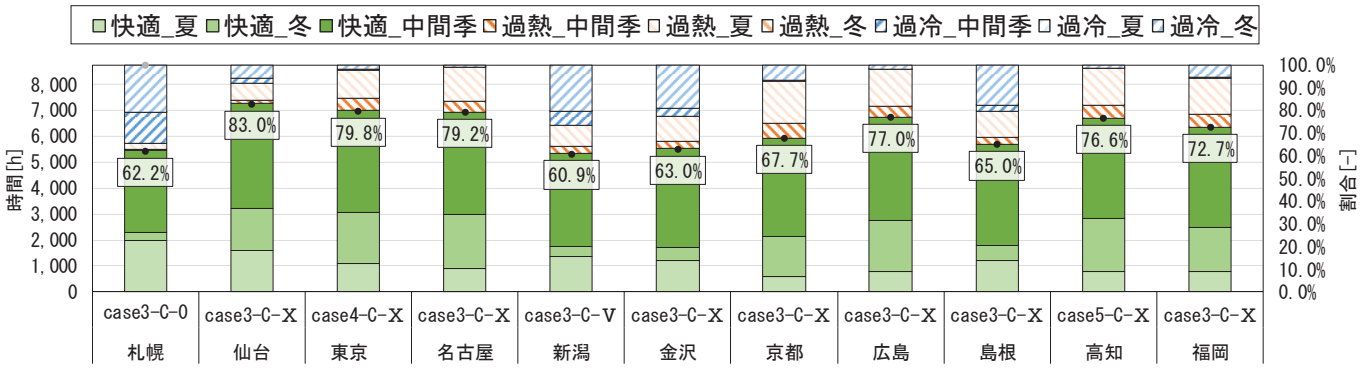


図 11　各地域毎の最適 case におけるパッシブ快適・過熱・過冷の各時間（11 都市）

台の case3-C-X が最もパッシブ快適時間が長く、１年間で 83.0[%] がパッシブ快適時間となる。

5　パッシブ快適時間の内訳

パッシブ快適時間の中には、実際に全換気口開放時、または閉鎖時に快適になる「快適時間」と最適換気口開放個数があると考えられる「見なし快適時間」が混在している。今後、「見なし快適時間」を実現する実際の換気回数を検討する為には、パッシブ快適時間の内、快適時間、見なし快適時間が占める割合について検討する必要がある。図 12 に新潟と東京における最適 case のパッシブ快適時間の内訳を示す。

春季は、両地域でパッシブ快適時間の内、全換気口閉鎖時が５割程度を占める。外気温が低い新潟では、パッシブ快適時間の内、全換気口開放時に快適室温となる割合が、東京に比べ少ない。

夏季は、両地域でパッシブ快適時間の内、殆どが全換気口開放時に快適室温となり、全換気口閉鎖時のパッシブ快適時間は、０時間である。

秋季は、両地域でパッシブ快適時間の内、全換気口開放時が占める割合が大きく６割程度である。全換気口閉鎖時に快適室温となる割合は少ない。

冬季は、新潟では、パッシブ快適時間の内、全換気口閉鎖時が占める割合が殆どだが、東京では見なし快適時間が占める割合も４割以上である。新潟は東京に比べ、パッシブ快適時間が 1,000 時間以上短く、殆どを過冷時間が占める。

新潟の中間季及び東京の中間期と冬季に、パッシブ快適時間の内、見なし快適時間が２割から４割程度存在する。見なし快適時間に快適室温が実現される、最適開放換気口個数を今後検討する必要がある。

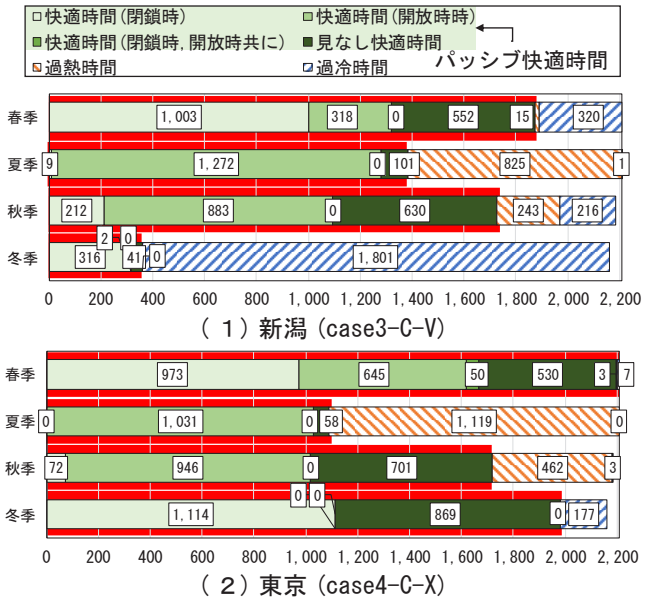


図 12　新潟と東京における最適 case のパッシブ快適時間の内訳

6　まとめ

４都市の比較

①各地域において、１年を通じて時期による全換気口開放時の換気回数に大きな差は見られない。

②夏季は全換気口開放時に快適室温となるため、case ごとのパッシブ快適時間の差は少ない。冬季は壁住宅で殆どが過冷時間となるが、ガラス住宅、南窓住宅では日射によりパッシブ快適時間が増加する。

③断熱性能の向上によりパッシブ快適時間が大きく増加する。蓄熱容量によるパッシブ快適時間の変化量は少ない。断熱性能を向上させた場合と、蓄熱容量を変化させた場合を比べると、断熱性能を向上させた場合でパッシブ快適時間の増加が大きい。

④新潟は、東京と比較して、どの case でもパッシブ快適時間が少ない。南窓住宅で窓面積を変化させてもパッシブ快適時間は、あまり変わらない。

⑤夏季代表日において、札幌と新潟では１日を通してパッシブ快適時間となるが、東京と福岡では午前は全換気口開放時に快適室温、午後は日射により過熱時間となる。

⑥冬季代表日において、東京と福岡では１日を通してパッシブ快適時間となるが、札幌と新潟では、午前は過冷時間、午後は日射によりパッシブ快適時間となる。

11 都市の比較

①どの地域においても断熱性能が最も高い case でパッシブ快適時間が最も長くなる。札幌と新潟を除く９都市では最も蓄熱容量が大きい case でパッシブ快適時間が最も長くなる。

②全 case の中で、仙台の case3-C-X（南窓住宅（100[%]），断熱性能 C，蓄熱容量 10[MJ/K]）が最もパッシブ快適時間が長く 83.0[%] である。

今後の展望

本研究では、パッシブ快適時間を定義し、全換気口開放時に室温が過冷し、全換気口閉鎖時に室温が過熱している場合、自然室温が快適室温になる換気口の開放数があると考えられるため、その時間を見なし快適時間と定義した。今後見なし快適時間において快適室温を実現する換気口開放個数の検討が必要である。

注釈

※１　家族構成は父・母・子２人の計４人とし、生活スケジュール自動作成プログラム SCHEDULE による内部発熱を算出し、熱負荷計算を行い、室温を算出する。

※２　壁、屋根、１階床の断熱材の厚さと、ガラスの断熱性能を変化させる。

※３　実際の室内に蓄熱容量を付加させるには、床や壁などにコンクリートやレンガなどの蓄熱体を設置することが考えられるが、TRNSYS では質点系で計算を行うため、室に熱容量を与えて蓄熱容量を変化させている。

※４　１，２階はほぼ同じ温度変動となるので、１階の温度で快適時間の割合を評価する。

※５　春は３月から５月 (2,208 時間)、夏は６月から８月 (2,208 時間)、秋は９月から 11 月 (2,184 時間)、冬は 12 月から２月 (2,160) 時間とする。

参考文献

文１）宇田川光弘他：標準問題の提案　住宅用標準問題，日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回シンポジウムテキスト，1985 年

文２）日本建築学会「拡張アメダス気象データ」 鹿児島 TLO、2005 年