

パッシブハウスに関する研究

戸建住宅を対象とした自然換気と快適環境の検討

指導教員

菅野 里奈
赤林 伸一 教授

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率的な利用や、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・気密性能や窓の配置、換気口の面積や数等、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、**南面のみを窓とした住宅**を対象とし、特に換気口による**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、パッシブハウスの設計方法を明らかに**することを目的とする。

研究概要

解析モデルは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。

対象地域は東京とする。

南面窓ガラス面積
100[%] : 46.7[m ²]
80[%] : 37.4[m ²]
60[%] : 28.0[m ²]

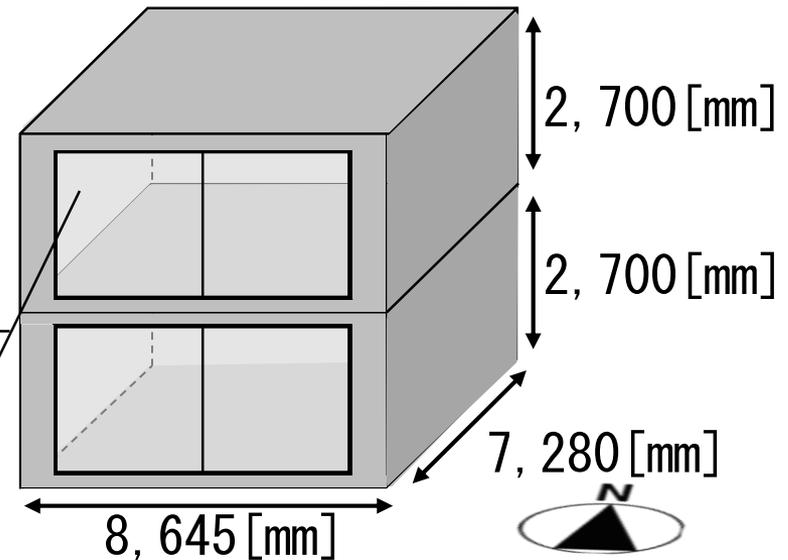


図 解析モデル

※1 家族構成は父、母、子の計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、熱負荷計算を行う。

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

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}、**蓄熱容量**^{※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。

※2 壁、屋根、1階床の断熱材の厚み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、室全体に熱容量を与えて

※4 蓄熱容量を変化させる。

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

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

解析条件

住宅モデルは南面のみに窓を設置した住宅とし、窓面積を100 [%]、80 [%]、60 [%] とする。

表 1 解析case

解析case	壁面積に対する 南窓面積の割合 [%]	断熱性能 [W / (m ² · K)]		蓄熱容量 [MJ/K]
		各部材U値	U _A 値	
case1-A-0	100	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case1-A-V				5
case1-A-X				10
case1-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case1-C-V				5
case1-C-X				10
case2-A-0	80	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case2-A-V				5
case2-A-X				10
case2-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case2-C-V				5
case2-C-X				10
case3-A-0	60	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case3-A-V				5
case3-A-X				10
case3-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case3-C-V				5
case3-C-X				10

解析条件

断熱性能は3段階、蓄熱容量も3段階とし、計27caseの解析を行う。

表1 解析case

解析case	壁面積に対する 南窓面積の割合 [%]	断熱性能 [W/(m ² ・K)]		蓄熱容量 [MJ/K]
		各部材U値	U _A 値	
case1-A-0	100	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case1-A-V				5
case1-A-X				10
case1-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case1-C-V				5
case1-C-X				10
case2-A-0	80	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case2-A-V				5
case2-A-X				10
case2-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case2-C-V				5
case2-C-X				10
case3-A-0	60	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case3-A-V				5
case3-A-X				10
case3-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case3-C-V				5
case3-C-X				10

換気条件

常時換気として0.5[回/h]の機械換気を行う。

また、自然換気口15[cm]×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)により壁面の風圧係数の分布を算出し、換気回路網計算により換気量を求める。

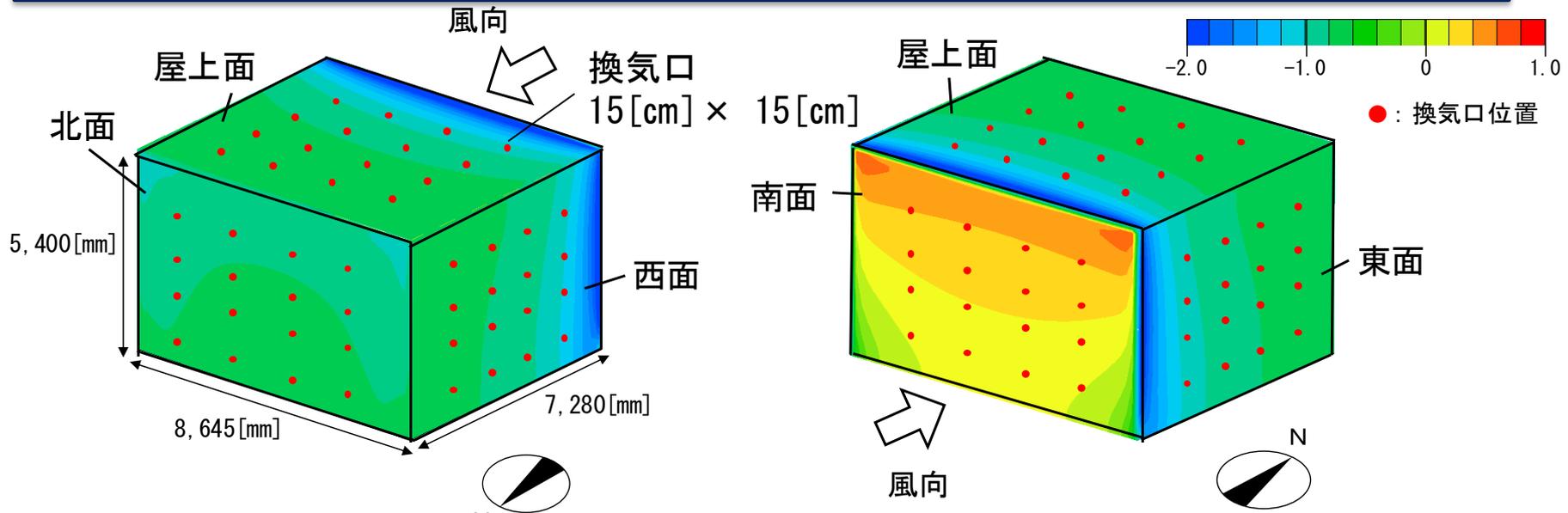


図 壁面風圧分布(風向角S)と換気口位置

快適室温とパッシブ快適時間

20[°C]から27[°C]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。

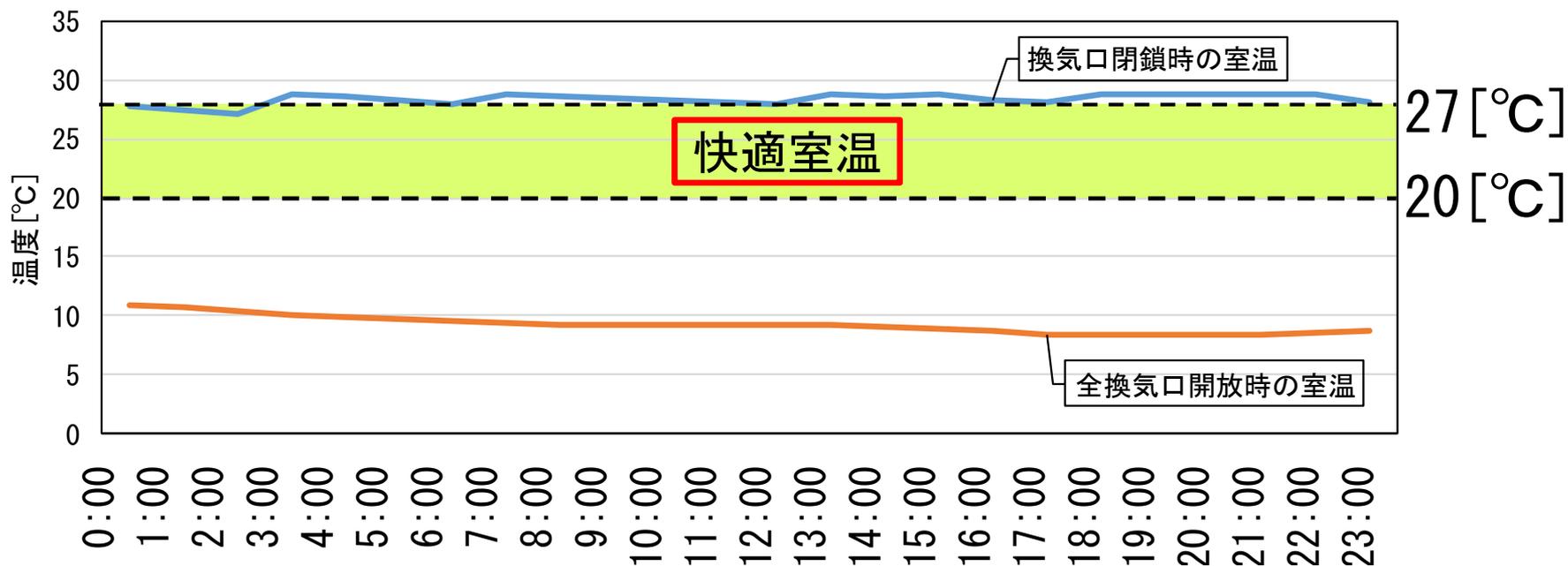


図 快適室温の範囲

快適室温とパッシブ快適時間

20[°C]から27[°C]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[°C]以上の場合を過熱室温、20[°C]以下の場合を過冷室温とする。

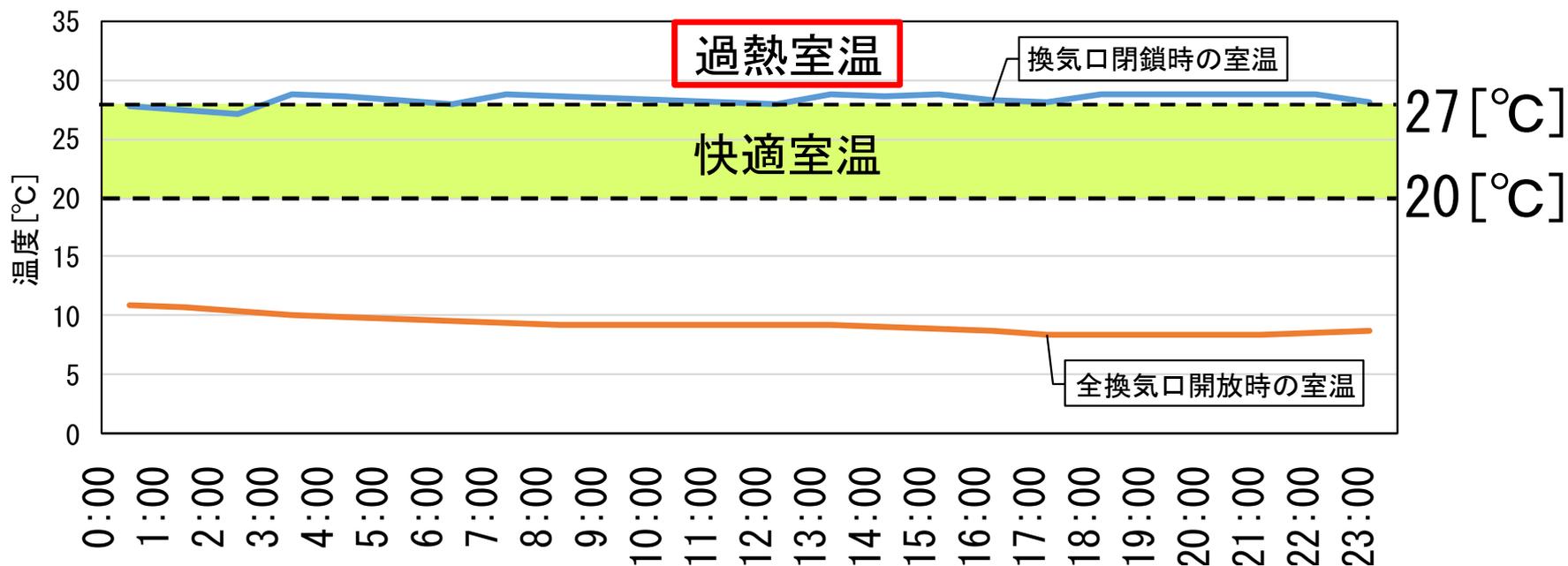


図 快適室温の範囲

快適室温とパッシブ快適時間

20[°C]から27[°C]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[°C]以上の場合を過熱室温、20[°C]以下の場合を過冷室温とする。

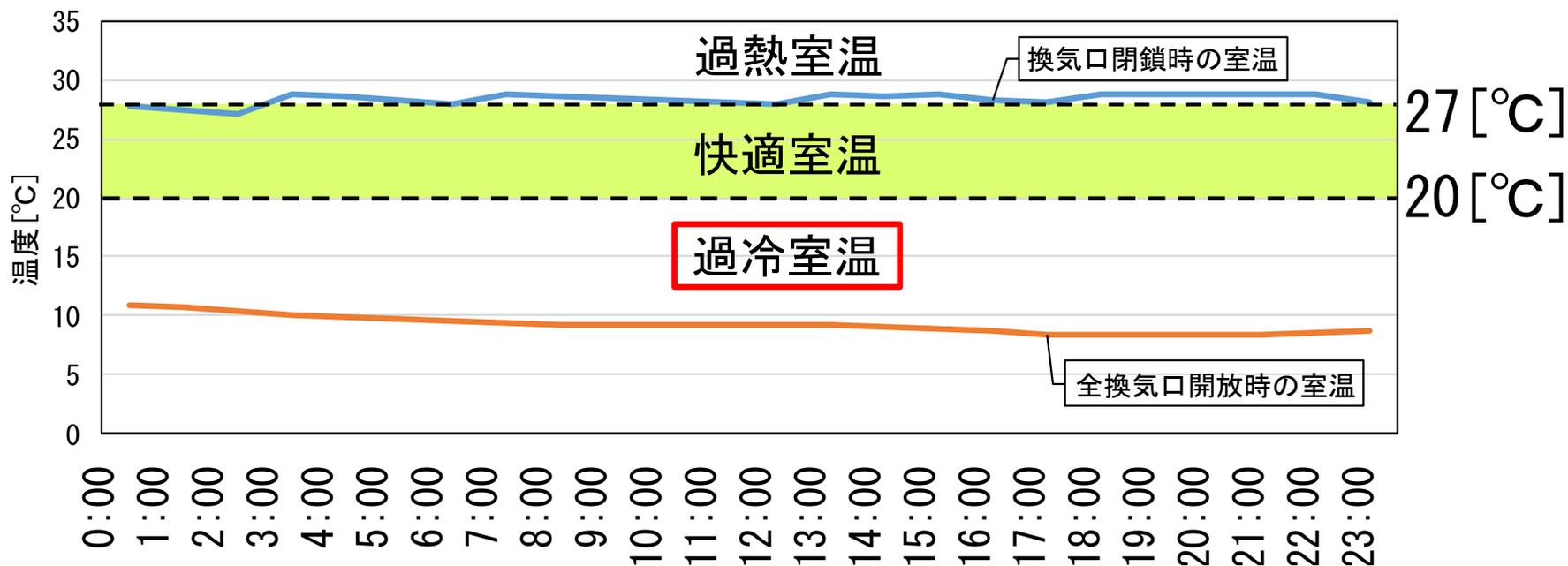


図 快適室温の範囲

快適室温とパッシブ快適時間

快適時間の検討では全換気口を開放した場合に快適になる時間、全換気口を閉鎖した場合に快適になる時間を「**快適時間**」とする。

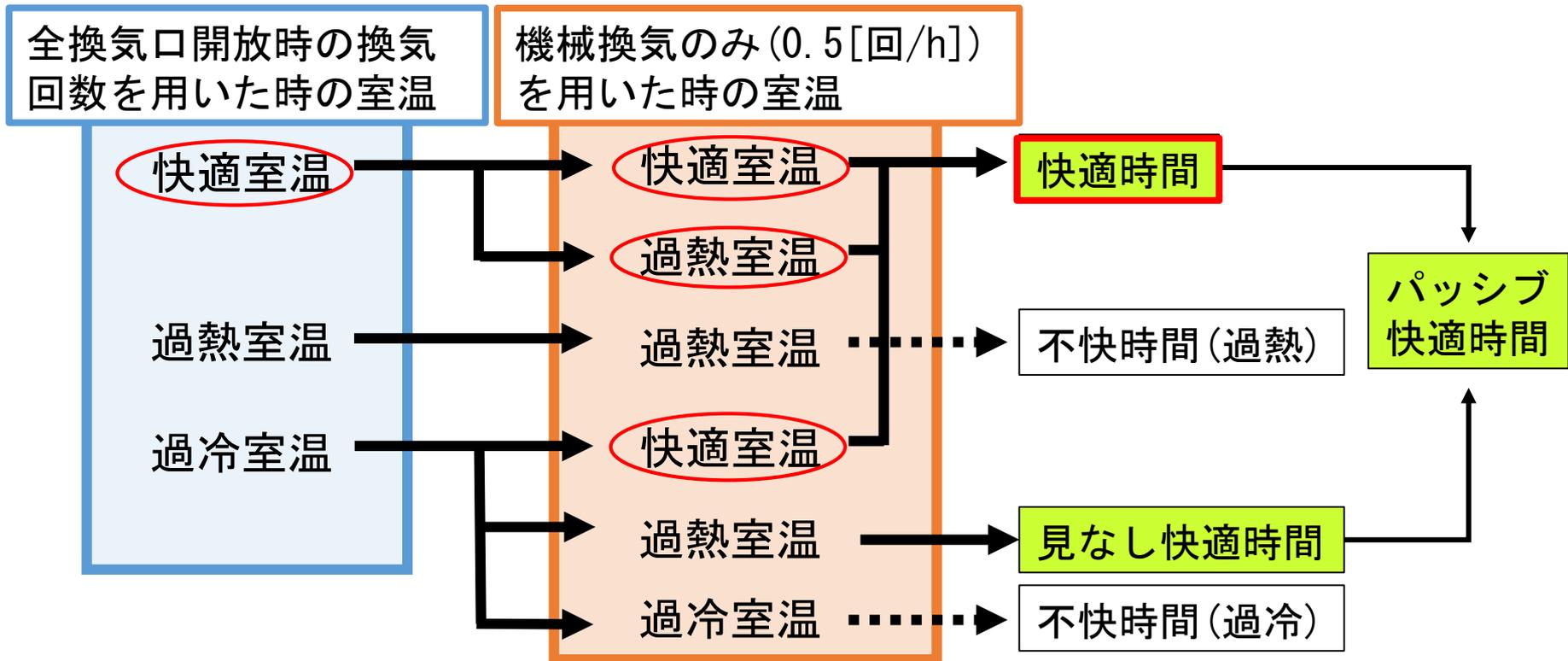


図 快適時間の定義

快適室温とパッシブ快適時間

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、**自然室温が快適時間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。

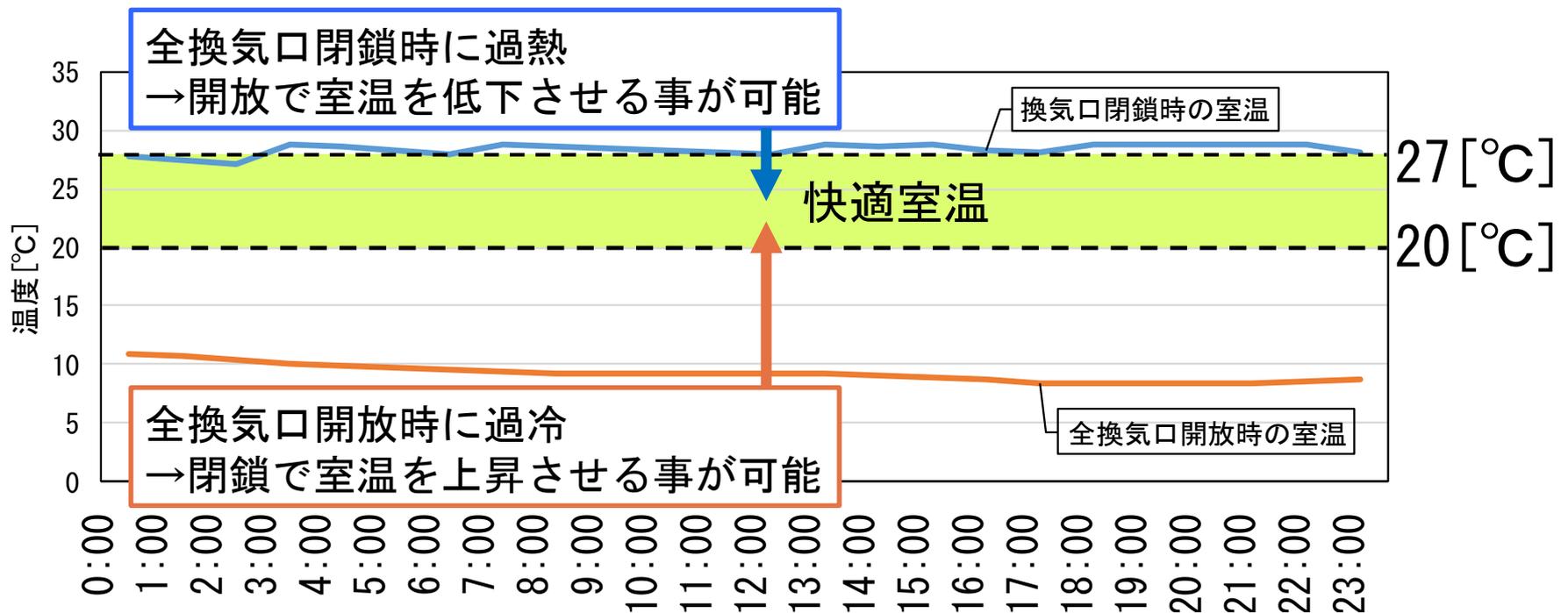


図 見なし快適時間の概念





快適室温とパッシブ快適時間

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、**自然室温が快適時間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。

全換気口開放時の換気回数を用いた時の室温

機械換気のみ (0.5 [回/h]) を用いた時の室温

快適室温

快適室温

快適時間

過熱室温

過熱室温

不快時間 (過熱)

パッシブ
快適時間

過冷室温

快適室温

過熱室温

見なし快適時間

過冷室温

不快時間 (過冷)

図 快適時間の定義

快適室温とパッシブ快適時間

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。

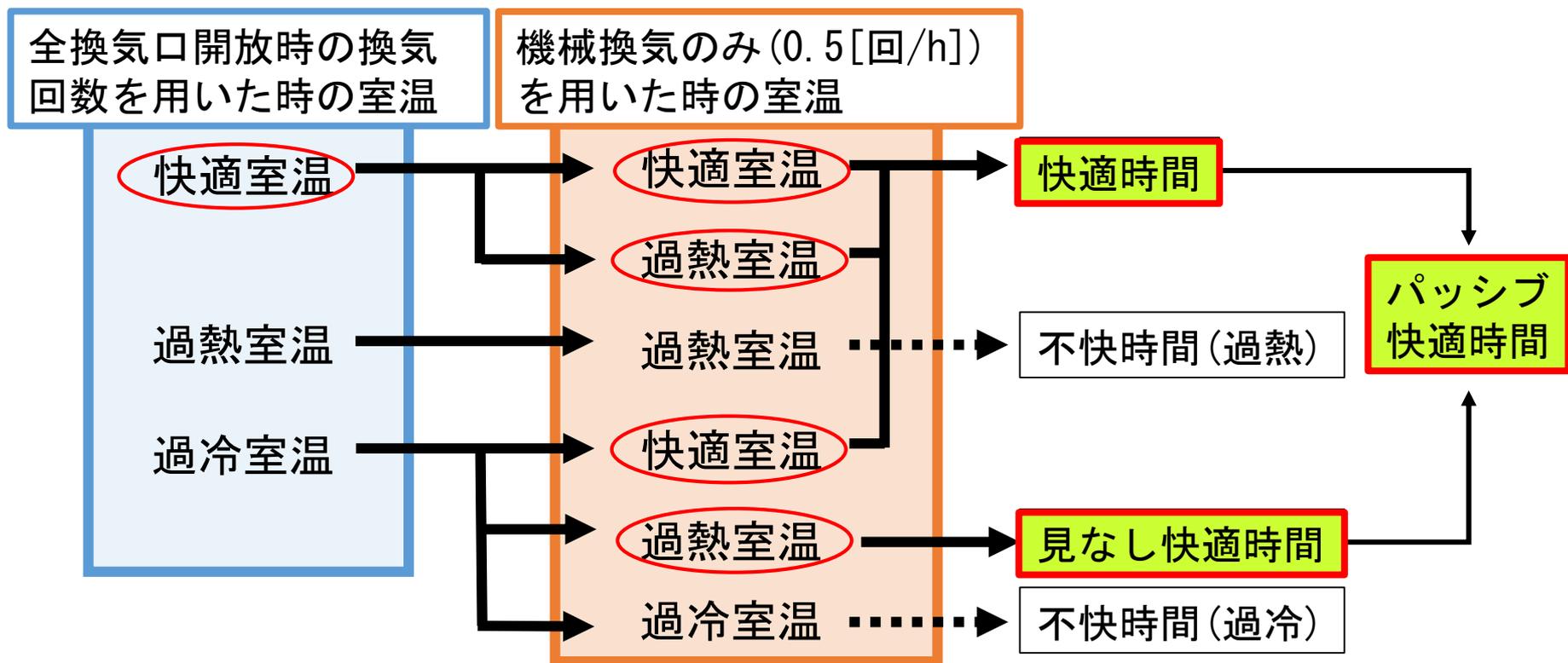


図 快適時間の定義

快適室温とパッシブ快適時間

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住宅が性能が高いと考え、断熱性能、蓄熱容量、窓面積の検討を行う。**

全換気口開放時の換気回数を用いた時の室温

機械換気のみ(0.5[回/h])を用いた時の室温

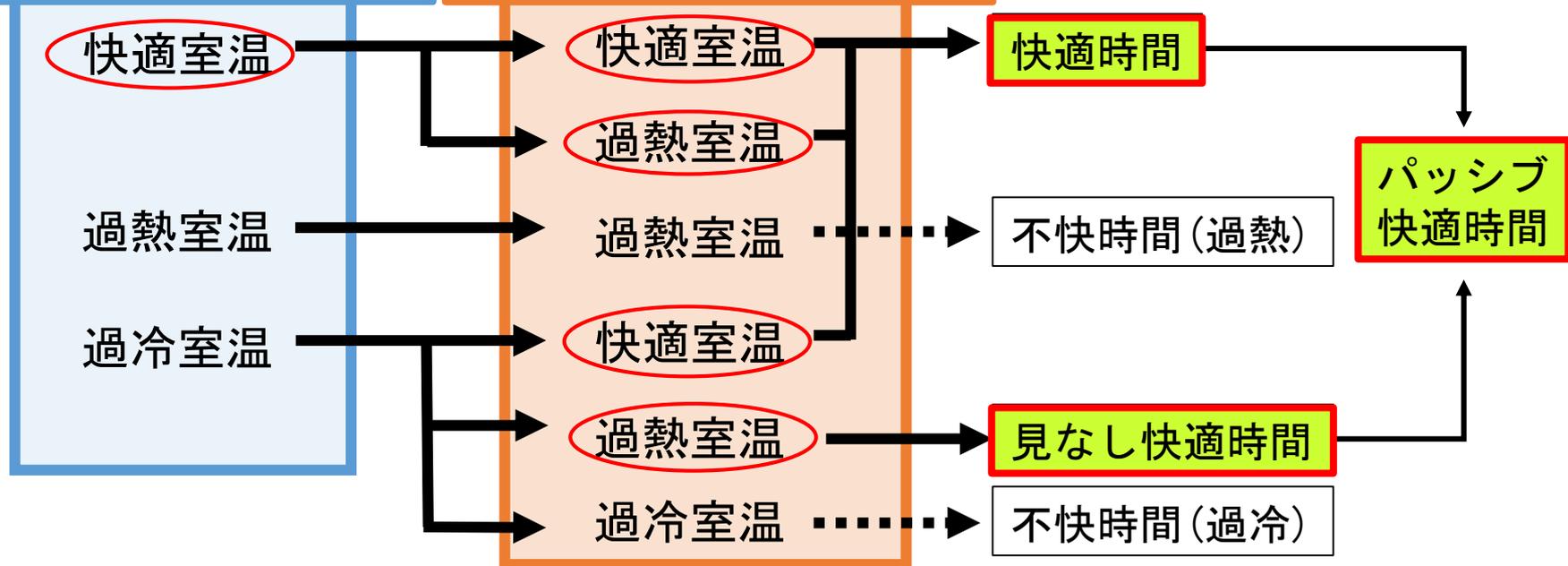


図 快適時間の定義

見なし快適温度における換気口の数検討

全caseの中で**最もパッシブ快適時間が長いcaseを最適case**とする。

方法①

初期換気回数：
全換気口を閉鎖し、
機械換気で0.5[回/h]

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過熱時間：
開放する換気口を2[個]増加

40回計算後

方法②

初期換気回数：
全換気口を開放した
換気回数

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過冷時間：
閉鎖する換気口を2[個]増加

40回計算後

時間毎の最適な換気口の開放個数の決定

図1 最適な換気口数の検討方法

見なし快適温度における換気口の数検討

本研究では最適caseを対象にパッシブ快適時間とするための最適な換気口の開閉個数を2つの方法で解析を行う。

方法①

初期換気回数：
全換気口を閉鎖し、
機械換気で0.5[回/h]

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過熱時間：
開放する換気口を2[個]増加

40回計算後

方法②

初期換気回数：
全換気口を開放した
換気回数

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過冷時間：
閉鎖する換気口を2[個]増加

40回計算後

時間毎の最適な換気口の開放個数の決定

図1 最適な換気口数の検討方法

見なし快適温度における換気口の数検討

方法①は、初めに**機械換気のみ**の**自然室温**を算出する。

方法①

初期換気回数：
全換気口を閉鎖し、
機械換気で0.5[回/h]

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

全換気口閉鎖時に過熱
→開放で室温を低下させる事が可能

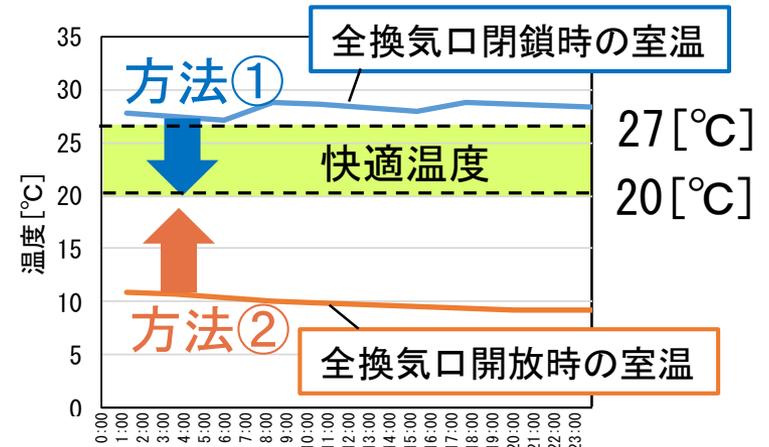


図 最適な換気回数による室温の検討

図 1 最適な換気口数の検討方法

見なし快適温度における換気口の数検討

その結果、室温が過熱になった時間は換気口を2〔個〕開放※⁵して再度室温を計算する。

方法①

初期換気回数：
全換気口を閉鎖し、
機械換気で0.5〔回/h〕

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過熱時間：
開放する換気口を2〔個〕増加

全換気口閉鎖時に過熱
→開放で室温を低下させる事が可能

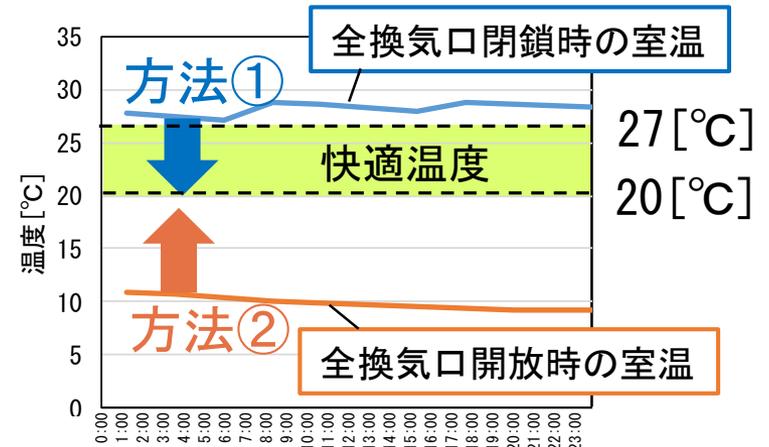


図 最適な換気回数による室温の検討

図 1 最適な換気口数の検討方法

※⁵ 換気口の位置は無視し、開放した換気口の個数(開口面積)と換気回数は比例すると仮定する。また換気口は2個1セットとして開放個数を変化させる。これは、換気には流入口と流出口が1セットとして必要なためである。従って全80個の管機構は40セットとして開放個数を変化させる。

見なし快適温度における換気口の数検討

その結果、室温が過熱になった時間は換気口を2〔個〕開放※5して再度室温を計算する。

方法①

初期換気回数：
全換気口を閉鎖し、
機械換気で0.5〔回/h〕

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過熱時間：
開放する換気口を2〔個〕増加

全換気口閉鎖時に過熱
→開放で室温を低下させる事が可能

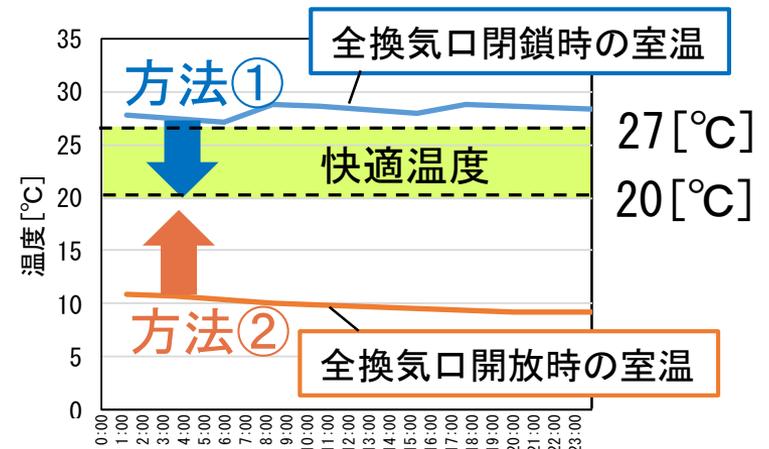


図 最適な換気回数による室温の検討

図 1 最適な換気口数の検討方法

※5 換気口の位置は無視し、開放した換気口の個数(開口面積)と換気回数は比例すると仮定する。また換気口は2個1セットとして開放個数を変化させる。これは、換気には流入口と流出口が1セットとして必要なためである。従って全80個の管機構は40セットとして開放個数を変化させる。

見なし快適温度における換気口の数検討

それでも過熱となる時間は開放する換気口数を更に2 [個] ずつ増加させ、

方法①

初期換気回数：
全換気口を閉鎖し、
機械換気で0.5 [回/h]

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過熱時間：
開放する換気口を2 [個] 増加

全換気口閉鎖時に過熱
→開放で室温を低下させる事が可能

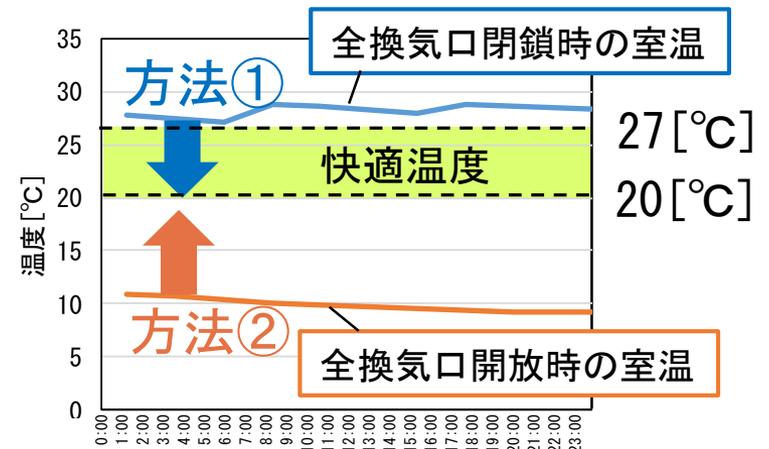


図 最適な換気回数による室温の検討

図 1 最適な換気口数の検討方法

見なし快適温度における換気口の数検討

時間毎の最適な換気口数を算出する。

方法①

初期換気回数：
全換気口を閉鎖し、
機械換気で0.5[回/h]

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過熱時間：
開放する換気口を2[個]増加

40回計算後

時間毎の最適な換気口の開放個数の決定

全換気口閉鎖時に過熱
→開放で室温を低下させる事が可能

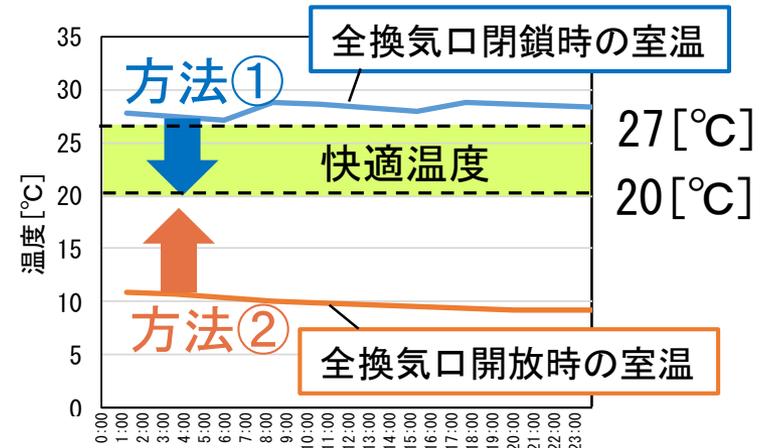


図 最適な換気回数による室温の検討

図 1 最適な換気口数の検討方法

見なし快適温度における換気口の数検討

方法②は、初めに全換気口を開放した換気回数※⁶で自然室温を算出する。

全換気口開放時に過冷
→閉鎖で室温を上昇させる事が可能

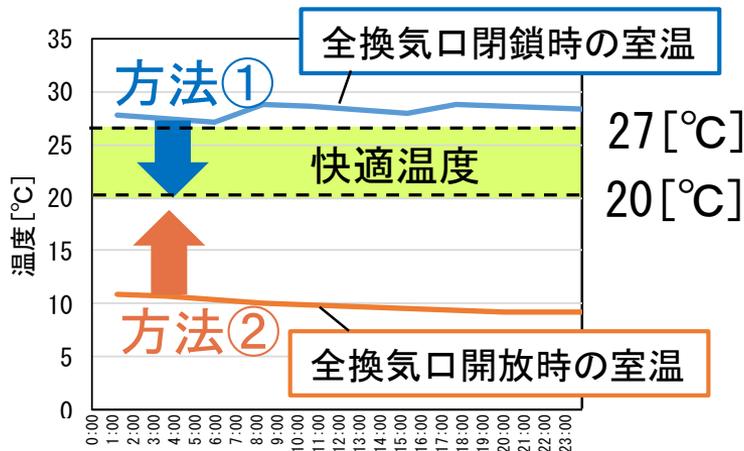


図 最適な換気回数による室温の検討

方法②

初期換気回数：
全換気口を開放した
換気回数

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

図 1 最適な換気口数の検討方法

※⁶ CFD解析(RANS)により壁面の風圧係数の分布を算出することにより求める。

見なし快適温度における換気口の数検討

室温が過冷になった時間は2 [個] ずつ換気口を閉鎖し、再度室温を算出し、

全換気口開放時に過冷
→閉鎖で室温を上昇させる事が可能

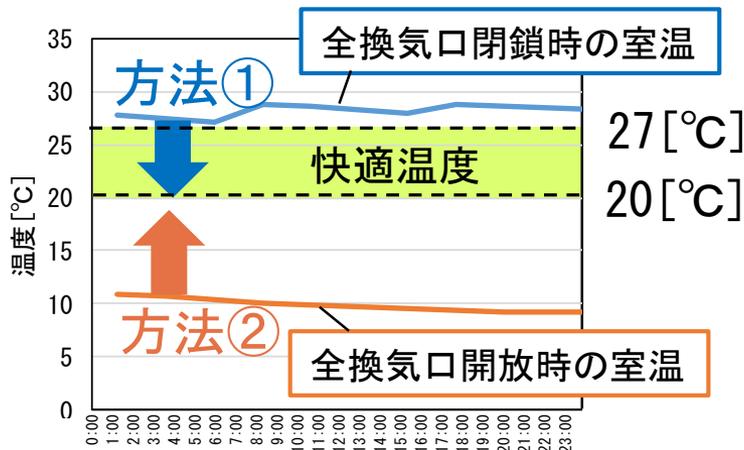


図 最適な換気回数による室温の検討

方法②

初期換気回数：
全換気口を開放した
換気回数

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過冷時間：
閉鎖する換気口を2 [個] 増加

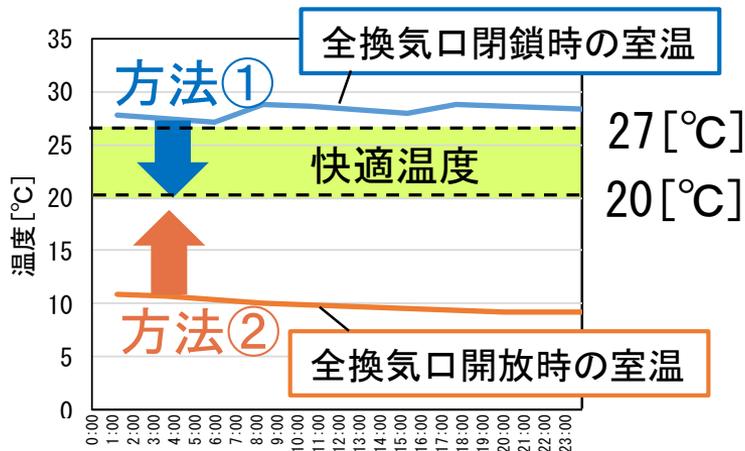
40回計算後

図 1 最適な換気口数の検討方法

見なし快適温度における換気口の数検討

快適温度となる換気口の数 を明らかとする。

全換気口開放時に過冷
→閉鎖で室温を上昇させる事が可能



方法②

初期換気回数：
全換気口を開放した
換気回数

TRNSYS ver. 16を用いた
室温の算出

最大40回
繰り返す

過冷時間：
閉鎖する換気口を2[個]増加

40回計算後

時間毎の最適な換気口の開放個数の決定

図 1 最適な換気口数の検討方法

見なし快適温度における換気口の数の検討

方法①・②で快適温度となる換気口の数を算出し、その快適時間を「可能快適時間」とする。

最適caseのパッシブ快適時間、方法①での可能快適時間（以下、最適case-①）、方法②での可能快適時間（以下、最適case-②）、方法①または②で快適室温となった合計時間（以下、最適case-③）を比較する。

表 換気方法のcase

case名	算出時間
最適case	パッシブ快適時間
最適case-①	方法①の場合の可能快適時間
最適case-②	方法②の場合の可能快適時間
最適case-③	方法①または方法②で快適室温となった合計時間

解析結果

表 1 解析case

解析case	壁面積に対する 南窓面積の割合 [%]	断熱性能 [W/(m ² ・K)]		蓄熱容量 [MJ/K]
		各部材U値	U _A 値	
case1-A-0	100	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case1-A-V				5
case1-A-X				10
case1-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case1-C-V				5
case1-C-X				10
case2-A-0	80	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case2-A-V				5
case2-A-X				10
case2-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case2-C-V				5
case2-C-X				10
case3-A-0	60	A	屋根・床・外壁:2.0 ガラス(シングルガラス):5.8	0
case3-A-V				5
case3-A-X				10
case3-B-0		B	屋根・床・外壁:0.6 ガラス(LOWEガラス):1.7	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
case3-C-V				5
case3-C-X				10

年間のパッシブ快適時間

どの住宅モデルでも断熱性能が向上すると、日射の影響により、冬季に過冷時間が減少し、パッシブ快適時間は長くなる。

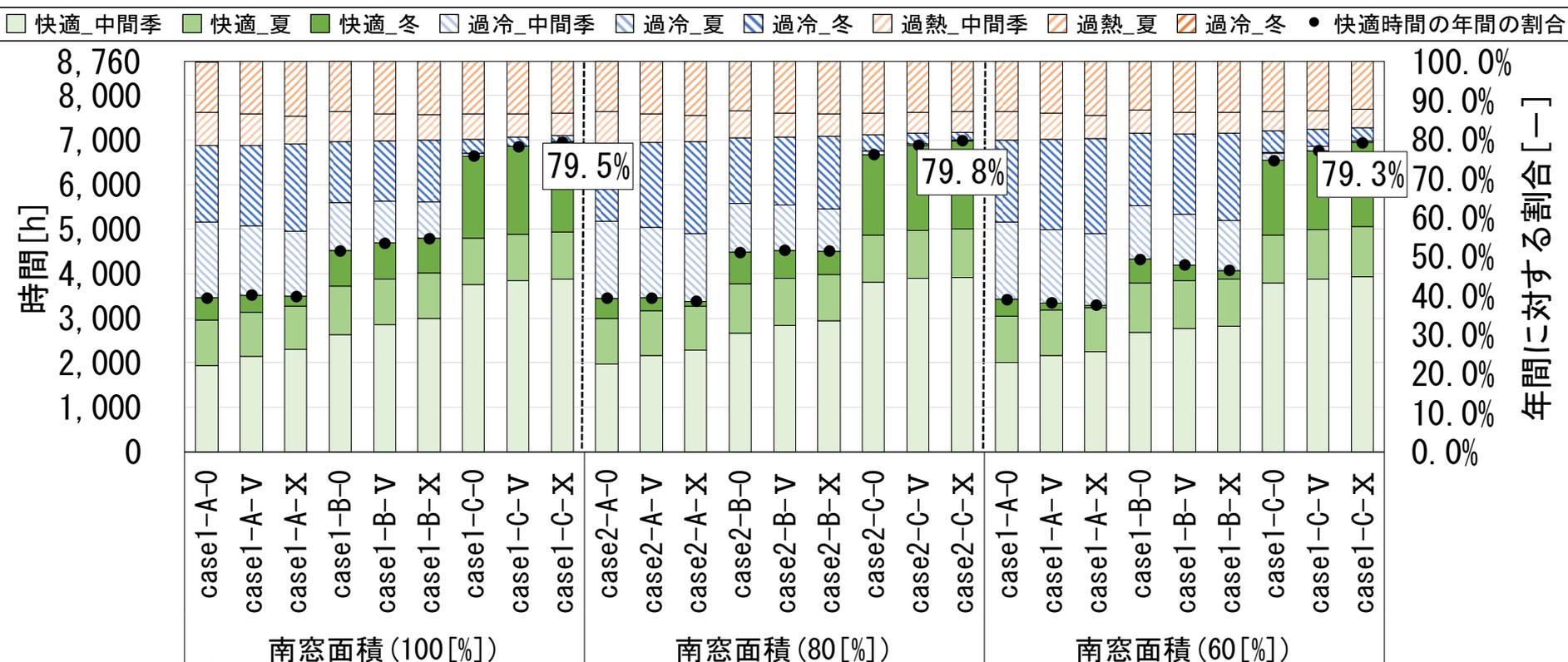


図2 各住宅モデルにおける季節毎^{※7}のパッシブ快適・過冷・過熱の各時間

※7 3月から5月・9月から11月を中間季、6月から8月を夏、12月から2月を冬とする。

年間のパッシブ快適時間

どの住宅モデルでも断熱性能が向上すると、日射の影響により、冬季に過冷時間が減少し、パッシブ快適時間は長くなる。

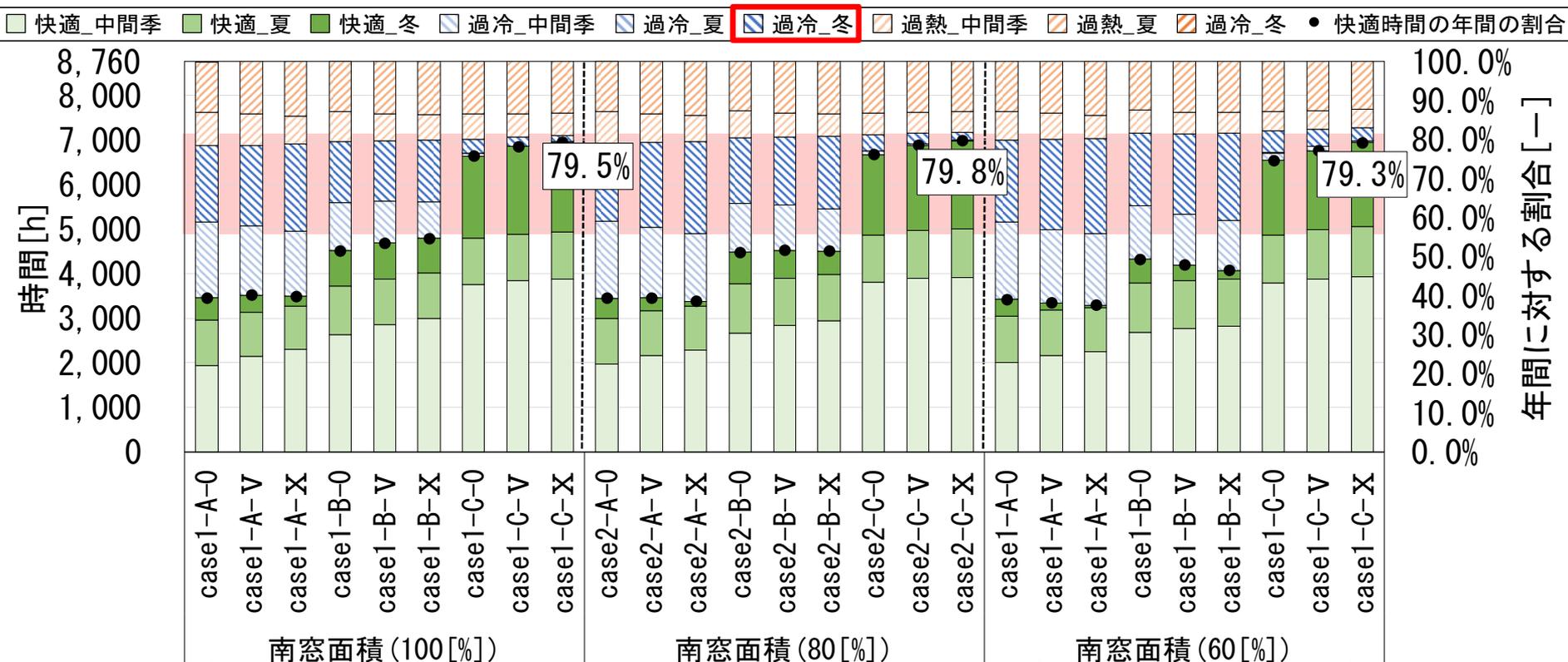


図2 各住宅モデルにおける季節毎^{※7}のパッシブ快適・過冷・過熱の各時間

※7 3月から5月・9月から11月を中間季、6月から8月を夏、12月から2月を冬とする。

年間に対する割合 [—]

年間のパッシブ快適時間

どの住宅モデルでも断熱性能が向上すると、日射の影響により、冬季に過冷時間が減少し、パッシブ快適時間は長くなる。

■ 快適_中間季 ■ 快適_夏 ■ 快適_冬 ■ 過冷_中間季 ■ 過冷_夏 ■ 過冷_冬 ■ 過熱_中間季 ■ 過熱_夏 ■ 過熱_冬 ● 快適時間の年間の割合

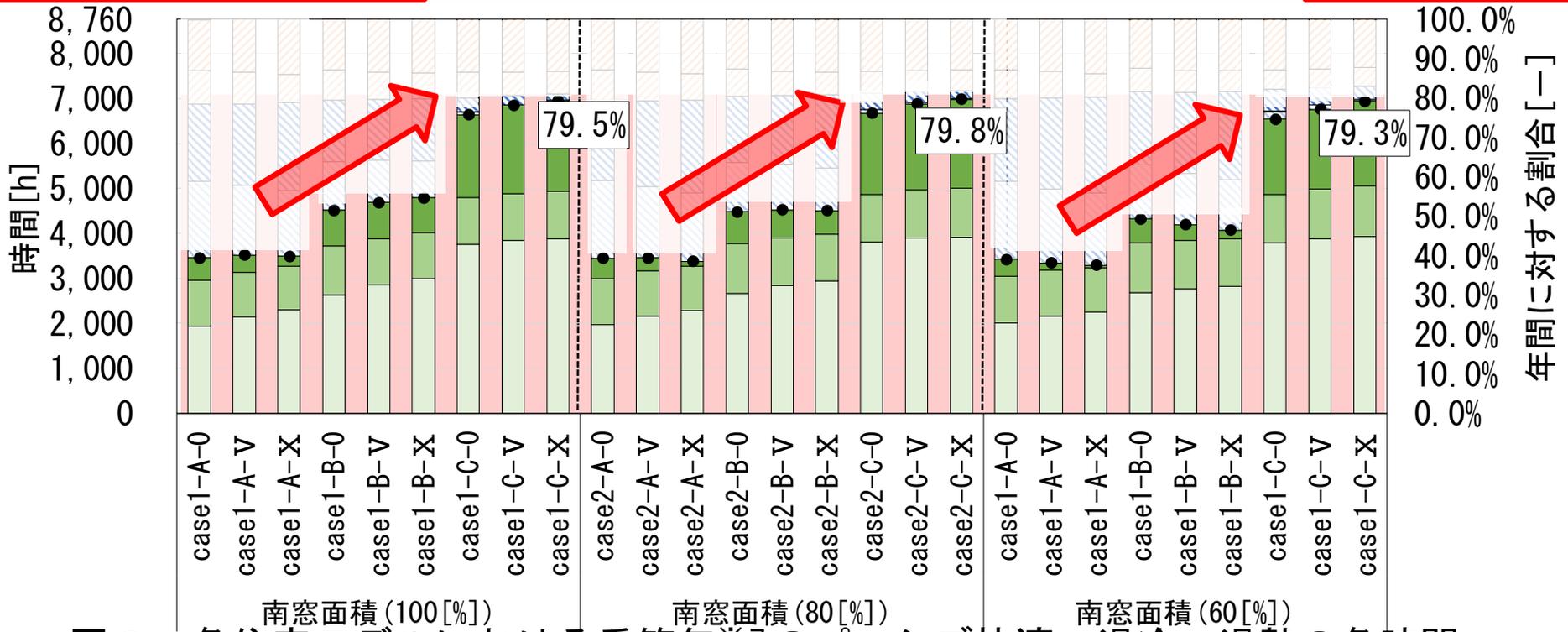


図2 各住宅モデルにおける季節毎^{※7}のパッシブ快適・過冷・過熱の各時間

※7 3月から5月・9月から11月を中間季、6月から8月を夏、12月から2月を冬とする。

年間のパッシブ快適時間

どのcaseにおいても夏季は常に換気を行い室温と外気温の差が少なくなるため、パッシブ快適時間に差が殆ど無い。

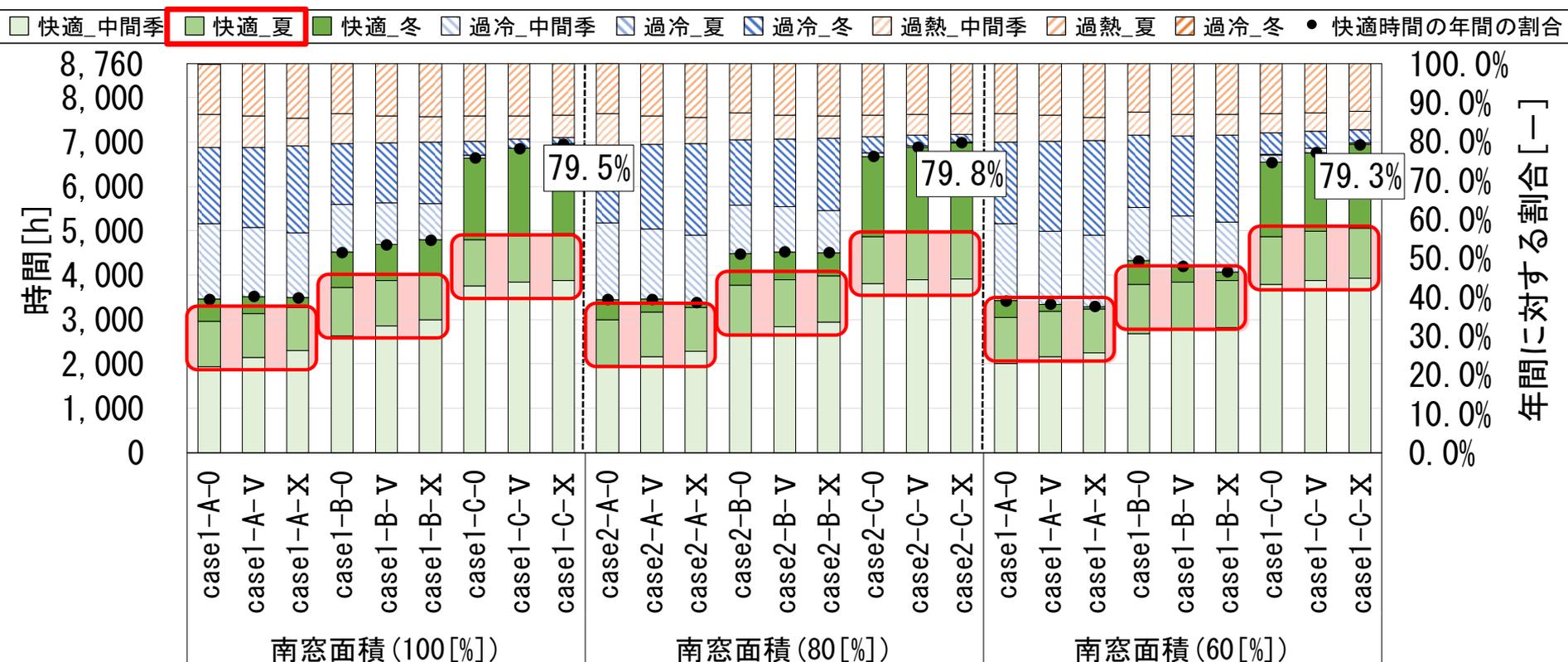


図2 各住宅モデルにおける季節毎^{※7}のパッシブ快適・過冷・過熱の各時間

※7 3月から5月・9月から11月を中間季、6月から8月を夏、12月から2月を冬とする。

年間のパッシブ快適時間

断熱性能が良いcaseがどの窓面積、蓄熱容量でも**快適時間が長い。**

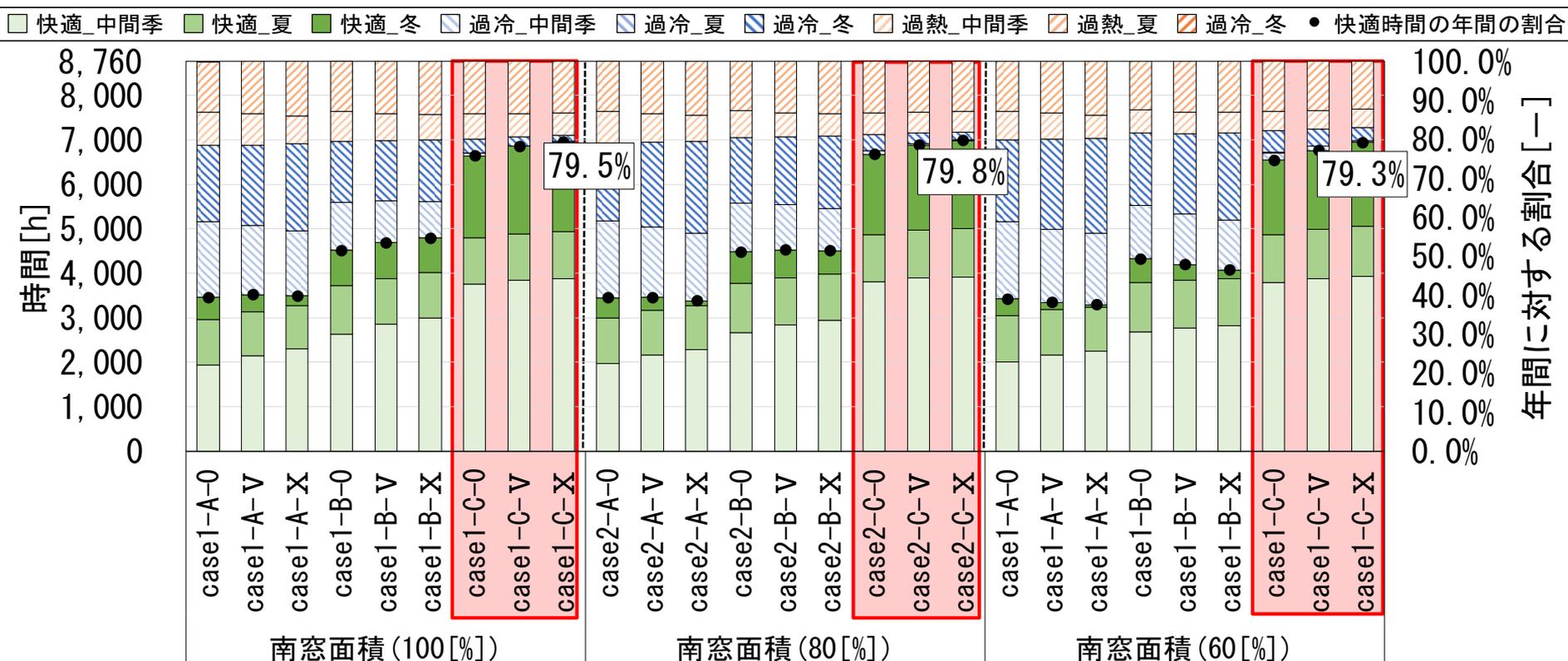


図2 各住宅モデルにおける季節毎^{※7}のパッシブ快適・過冷・過熱の各時間

※7 3月から5月・9月から11月を中間季、6月から8月を夏、12月から2月を冬とする。

年間のパッシブ快適時間

全caseの中でパッシブ快適時間が最も長いのは南窓面積(80[%])、断熱性能・蓄熱容量が最も大きいcase2-C-Xで、年間の79.8[%](6,989時間)である。

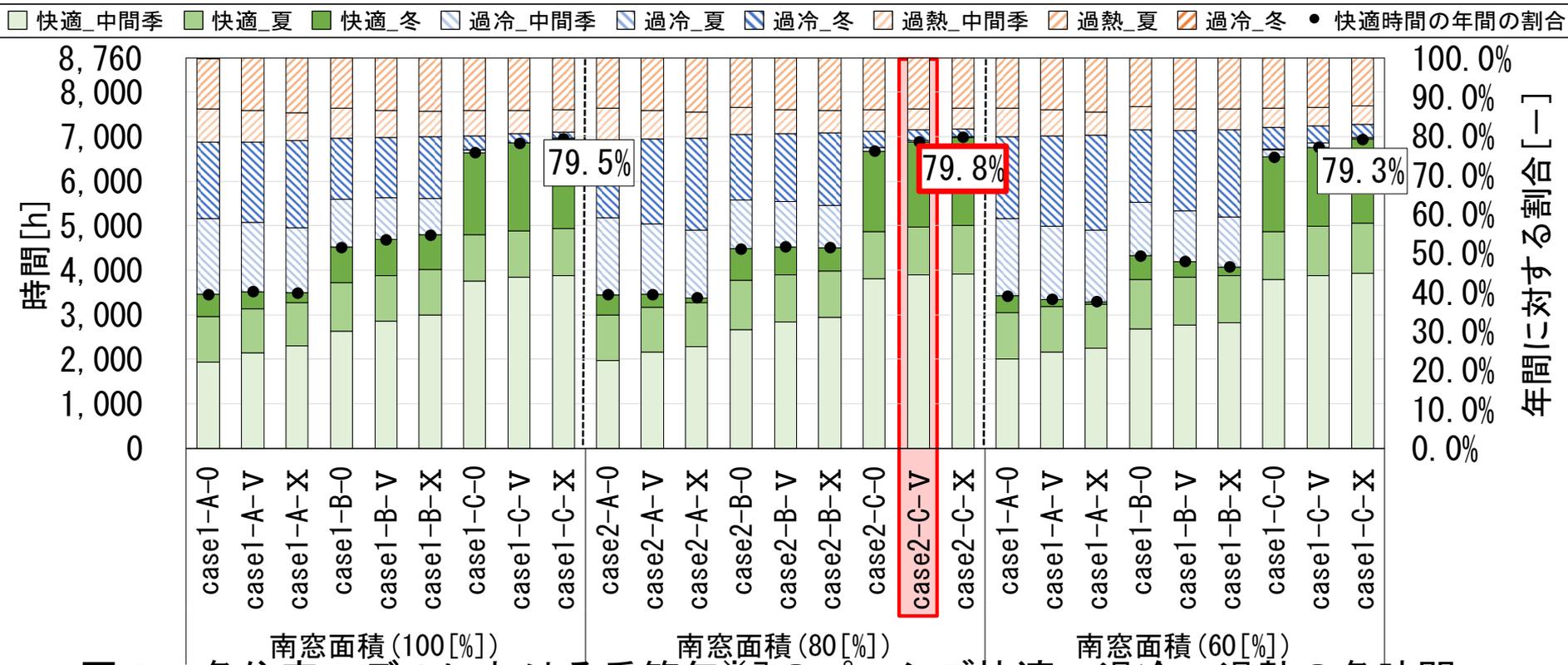


図2 各住宅モデルにおける季節毎^{※7}のパッシブ快適・過冷・過熱の各時間

※7 3月から5月・9月から11月を中間季、6月から8月を夏、12月から2月を冬とする。

最適caseの最適換気回数

最適caseはcase2-C-X (南窓面積80 [%]、断熱性能C、蓄熱容量10 [MJ/K]) とする。

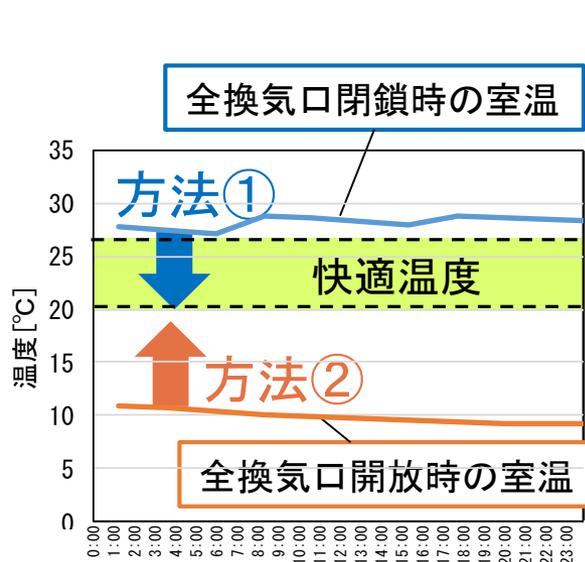


図 最適な換気回数による自然室温算出の概念

case2-C-X

南窓面積 : 80 [%]

断熱性能 : C

蓄熱容量 : 10 [MJ/K]

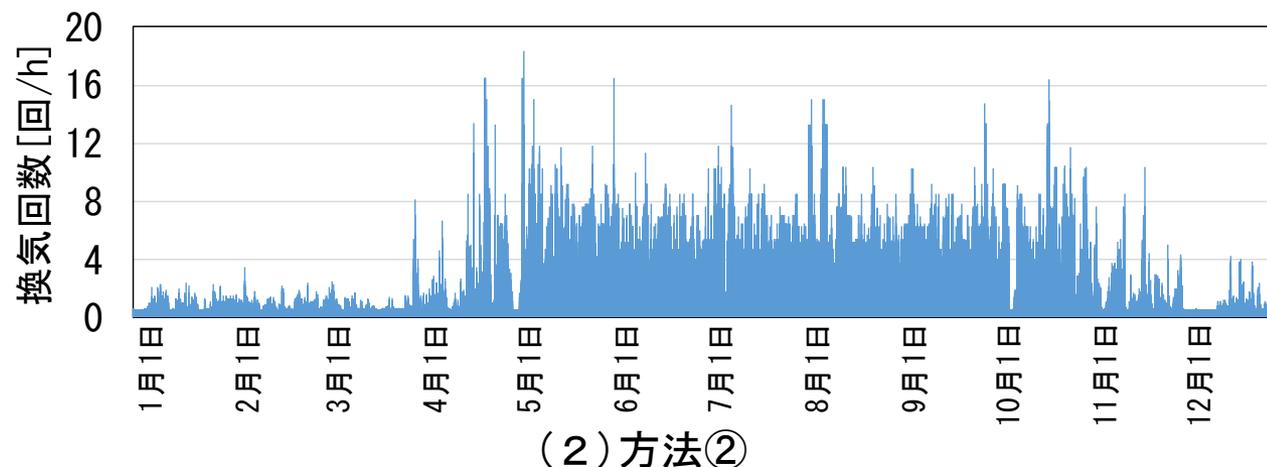
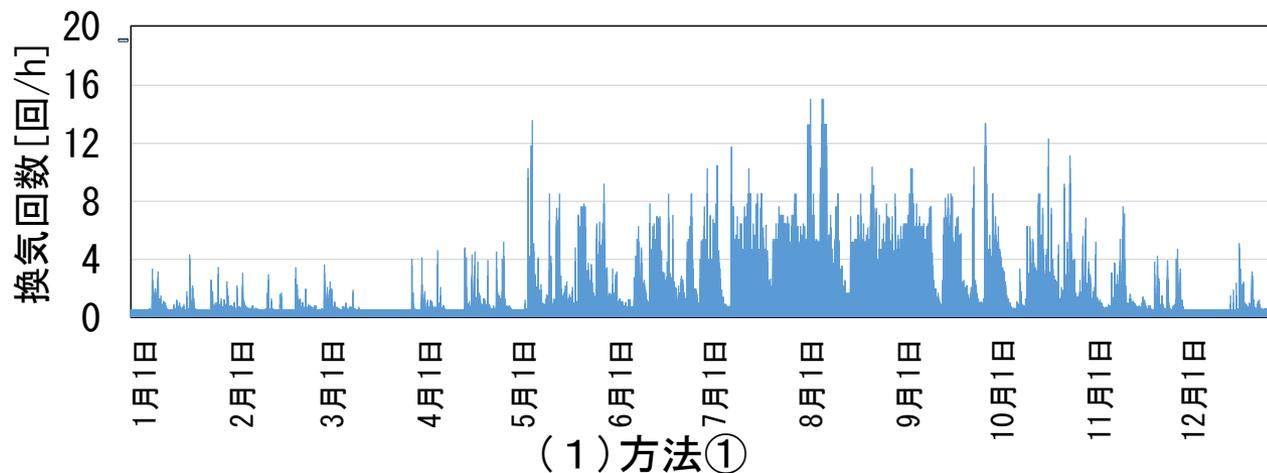


図 3 最適case (case2-C-X) の最適な換気回数の計算結果

最適caseの最適換気回数

年間を通じて**方法②**の方が**換気回数が相対的に多くなり**、**冬季でも換気を行う時間が存在する**。

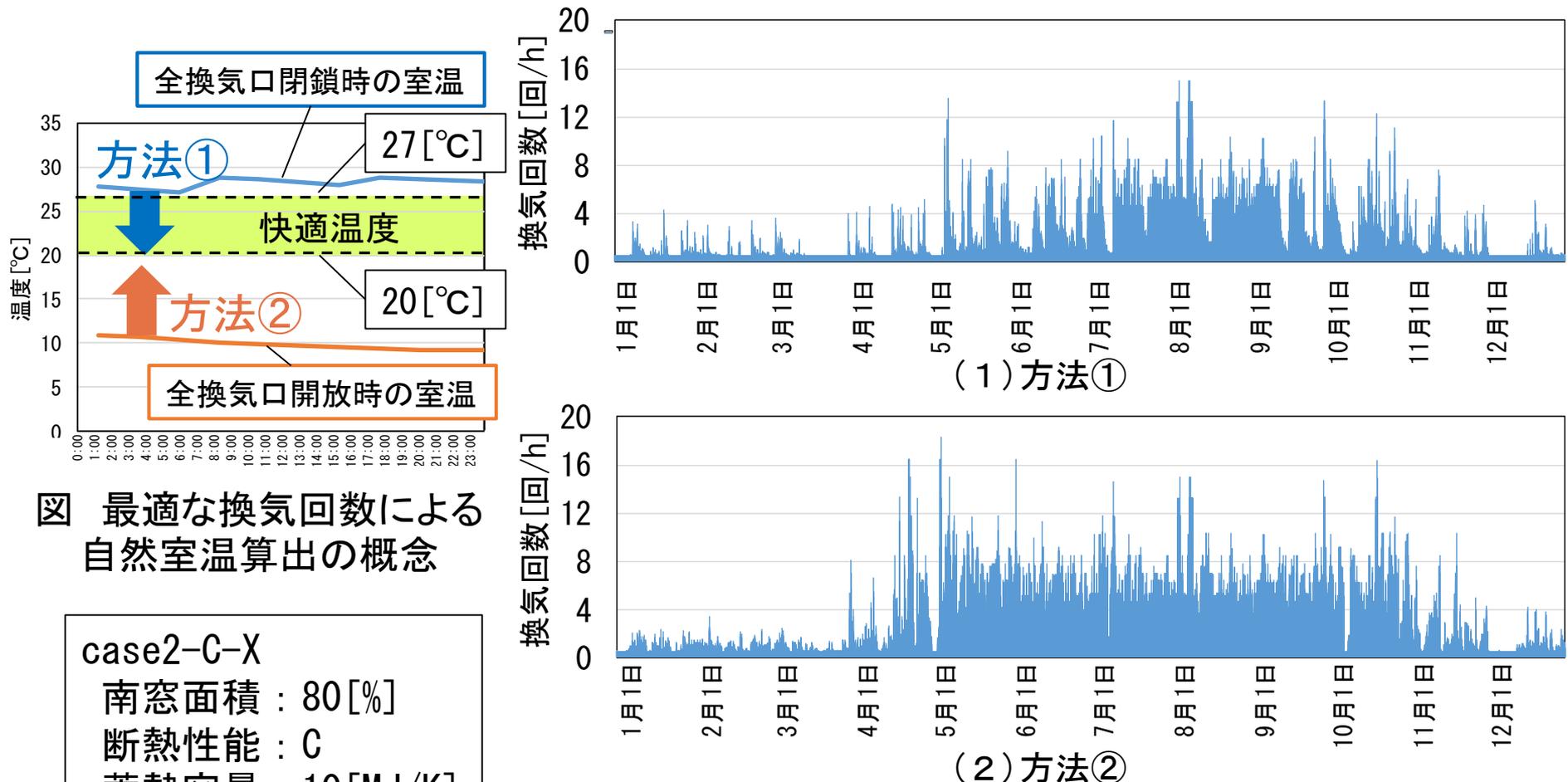


図 最適な換気回数による自然室温算出の概念

case2-C-X

南窓面積 : 80 [%]

断熱性能 : C

蓄熱容量 : 10 [MJ/K]

図 3 最適case (case2-C-X) の最適な換気回数の計算結果

最適caseの最適換気回数

年間を通じて**方法②**の方が**換気回数が相対的に多くなり、冬季でも換気を行う時間が存在する。**

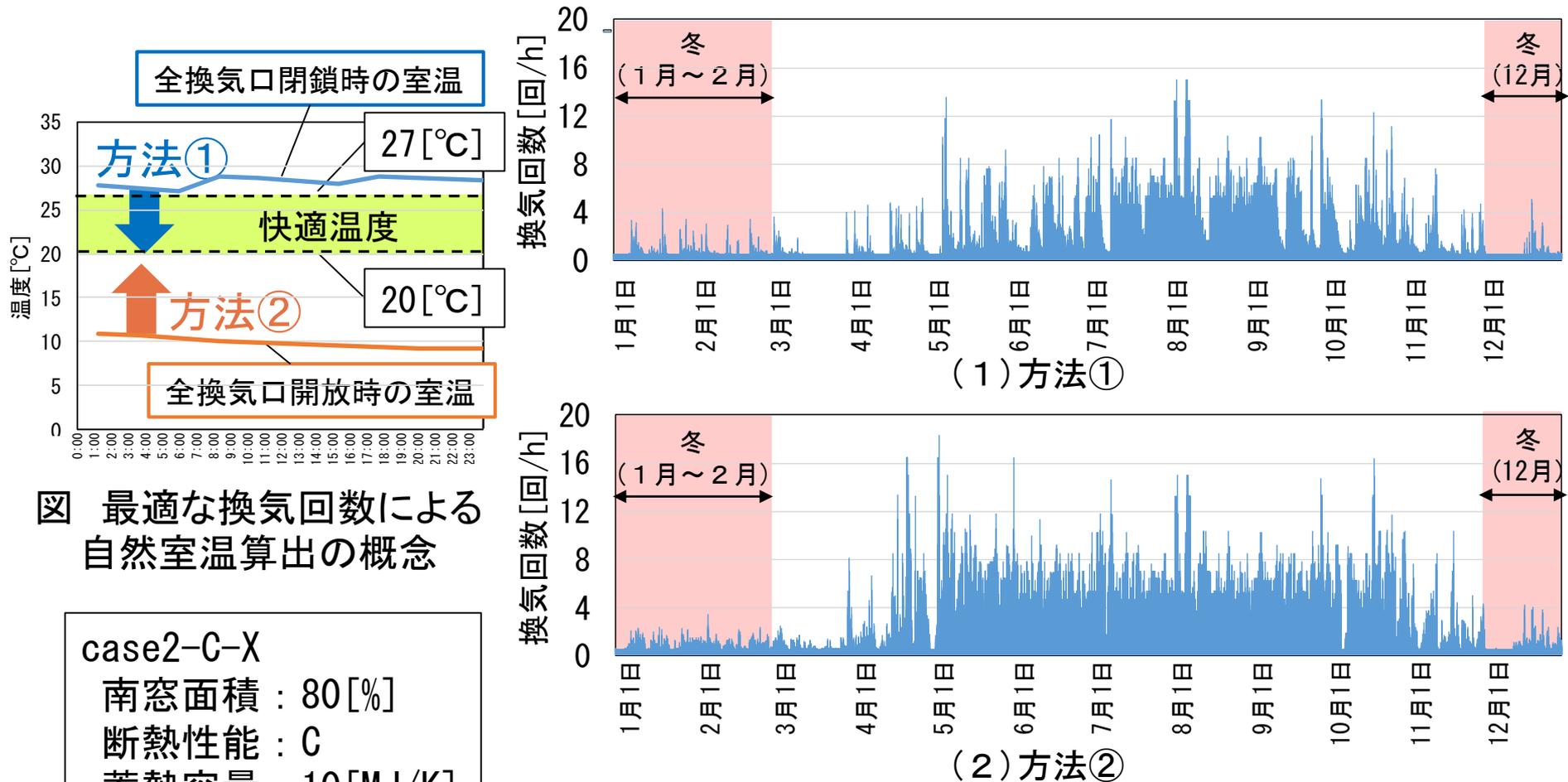


図 最適な換気回数による自然室温算出の概念

case2-C-X

南窓面積 : 80 [%]

断熱性能 : C

蓄熱容量 : 10 [MJ/K]

図 3 最適case (case2-C-X) の最適な換気回数の計算結果

最適caseの快適時間の検討

case2-C-X-②(可能快適時間②)は、case2-C-X-①(可能快適時間①)と比較して換気回数が多いため過冷時間が長く、快適時間はcase2-C-X-①より3.7[%]短い。

表 換気方法のcase

case名	算出時間
case-2-C-X	パッシブ快適時間
case-2-C-X-①	方法①の場合の可能快適時間
case-2-C-X-②	方法②の場合の可能快適時間
case-2-C-X-③	方法①または方法②で快適室温となった合計時間

case2-C-X

南窓面積 : 80 [%]

断熱性能 : C

蓄熱容量 : 10 [MJ/K]

快適_中間季
 快適_夏
 快適_冬
 過冷_中間季
 過冷_夏
 過冷_冬
 過熱_中間季
 過熱_夏
 過熱_冬
 過冷_冬
 • 快適時間の年間の割合

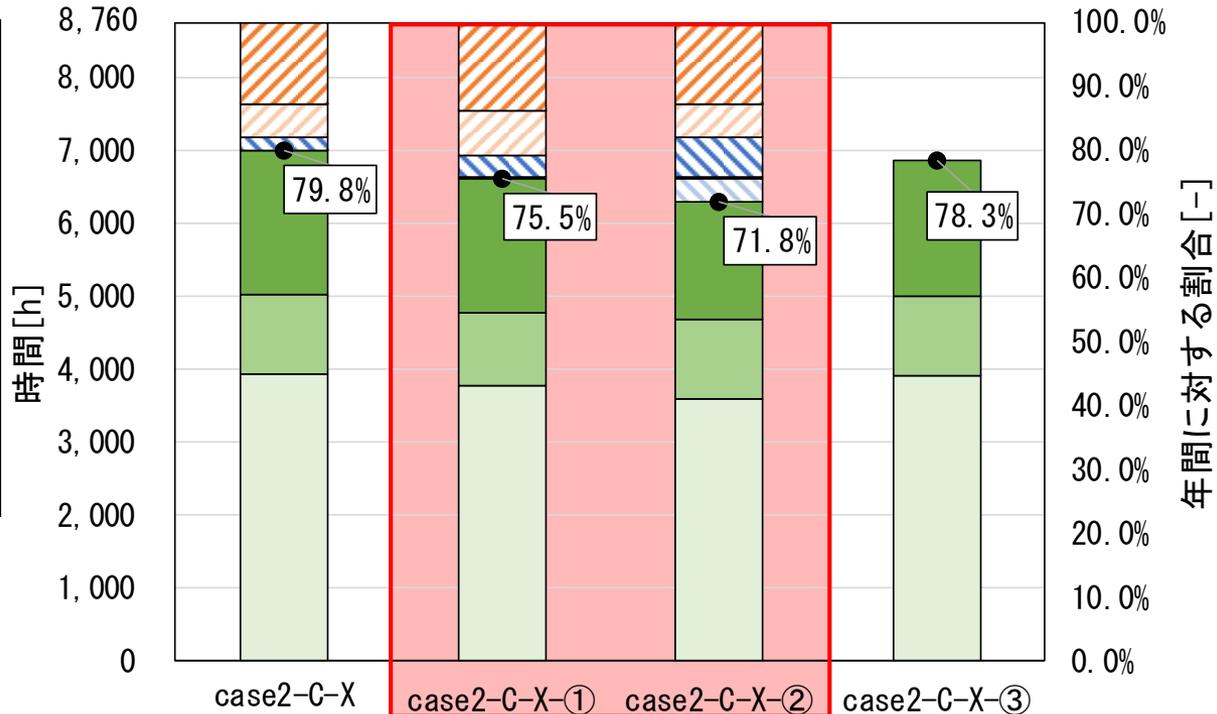


図4 最適case (case2-C-X) の換気回数算出方法毎の快適時間

最適caseの快適時間の検討

また、**case2-C-X-③ (可能快適時間③)** では年間における快適時間の割合は**78.3 [%]** でcase2-C-X (パッシブ快適時間) との差は**1.5 [%]** となる。

表 換気方法のcase

case名	算出時間
case-2-C-X	パッシブ快適時間
case-2-C-X-①	方法①の場合の可能快適時間
case-2-C-X-②	方法②の場合の可能快適時間
case-2-C-X-③	方法①または方法②で快適室温となった合計時間

case2-C-X

南窓面積 : 80 [%]

断熱性能 : C

蓄熱容量 : 10 [MJ/K]

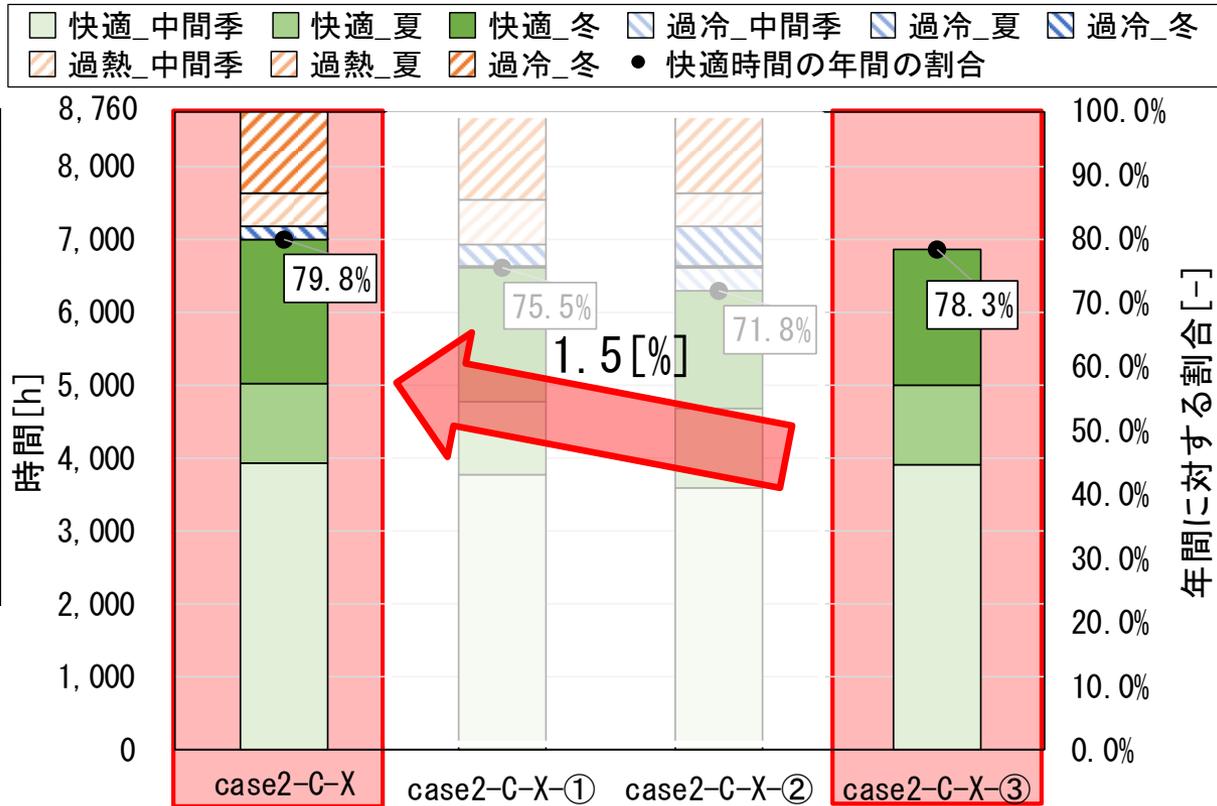


図4 最適case (case2-C-X) の換気回数算出方法毎の快適時間

最適caseの快適時間の検討

最適換気回数を検討することでパッシブ快適時間に近い値となったが、完全には再現されない。

表 換気方法のcase

case名	算出時間
case-2-C-X	パッシブ快適時間
case-2-C-X-①	方法①の場合の可能快適時間
case-2-C-X-②	方法②の場合の可能快適時間
case-2-C-X-③	方法①または方法②で快適室温となった合計時間

case2-C-X

南窓面積 : 80 [%]

断熱性能 : C

蓄熱容量 : 10 [MJ/K]

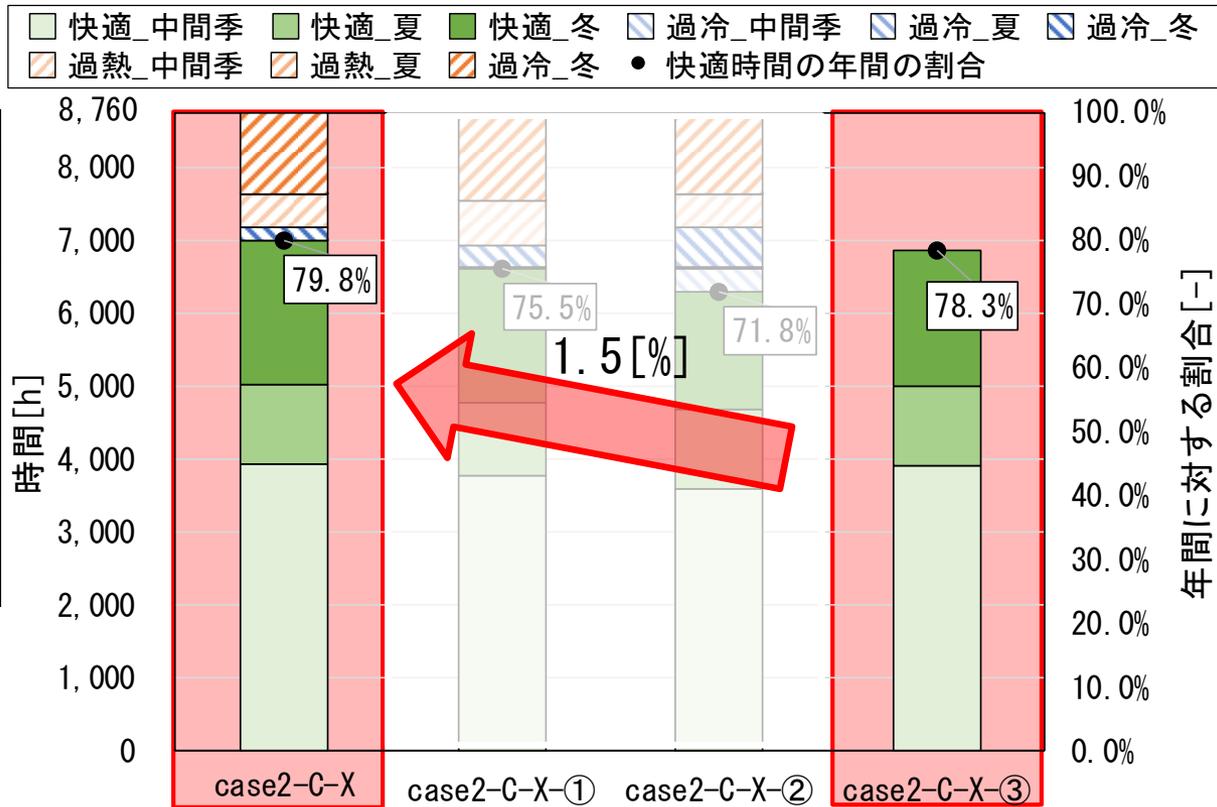


図4 最適case (case2-C-X) の換気回数算出方法毎の快適時間

まとめ

- ① 東京ではcase2-C-X(南窓面積(80[%])、断熱性能C(U_A 値: $1.4 [W/m^2 \cdot K]$)、蓄熱容量10[MJ/K])のcaseが最も快適時間が長い。
- ② 換気口閉鎖時に過熱室温となり、開放時に過冷室温となる見なし快適時間における最適な換気口数が存在する。
- ③ 見なし快適時間に対して快適室温に調整できる換気回数を検討したが、パッシブ快適時間は完全には再現されなかった。