

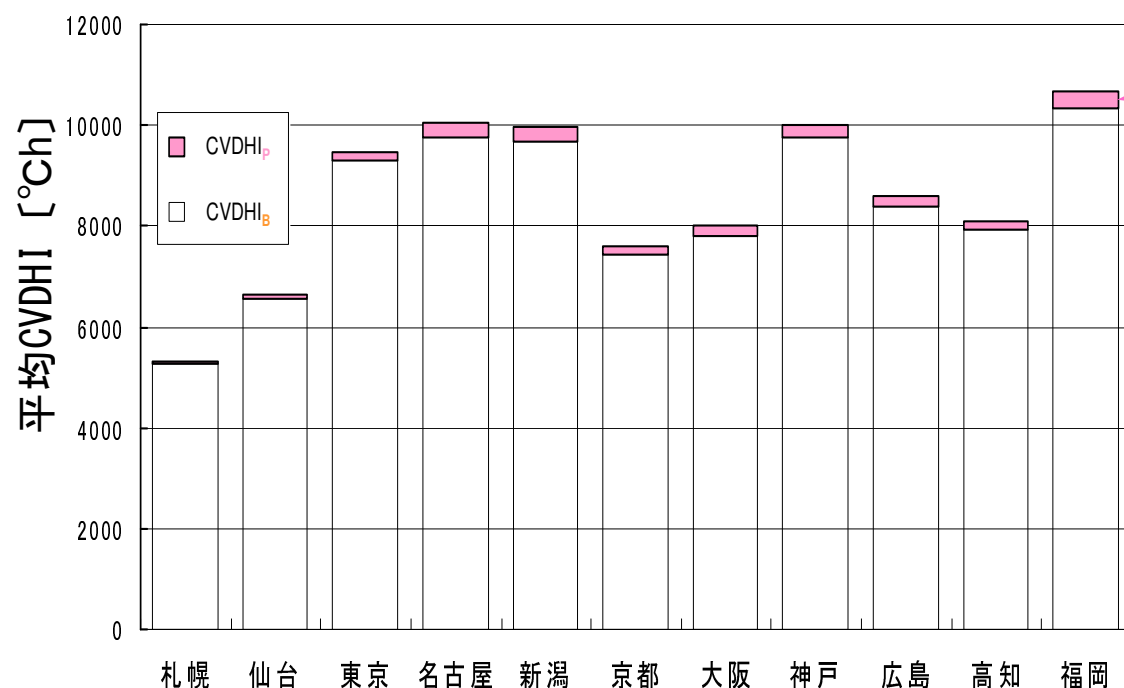


# 通風時の戸建住宅を対象とした 開口面積と換気回数に関する研究

指導教員

有波裕貴  
赤林伸一教授

- 自然通風による室内環境改善効果には、室内気流速度による体感温度の低下効果と大量の換気による排熱効果がある。既往の解析結果によれば換気による排熱効果の割合が極めて大きい。



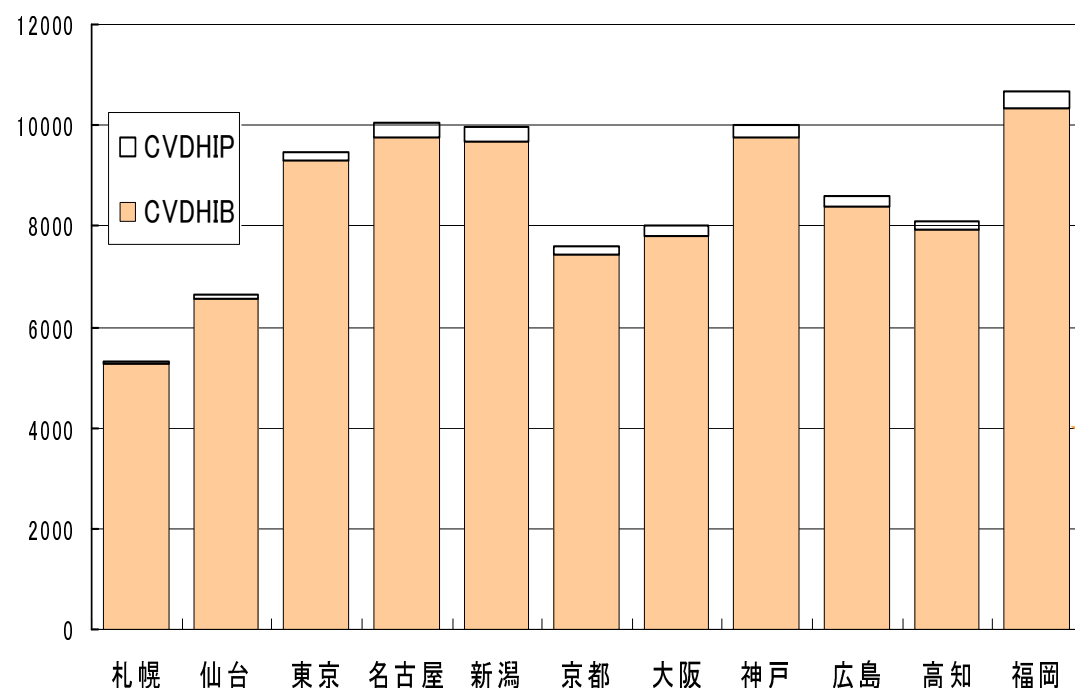
■ CVDHI(室内通風デグリアワー)<sub>p</sub>:  
通風によって生じる可感気  
流による体感温度の低下  
効果

CVDHI<sub>p</sub>: Cross Ventilation  
Degree Hour of Indoor for Person

図 主要11都市の平均CVDHI (case1-4)

※CVDHI(室内通風デグリアワー):通風によって得られる室温低下(体感温度の低下を含む)を非暖房期間において累積したもの

- 自然通風による室内環境改善効果には、室内気流速度による体感温度の低下効果と大量の換気による排熱効果がある。既往の解析結果によれば換気による排熱効果の割合が極めて大きい。

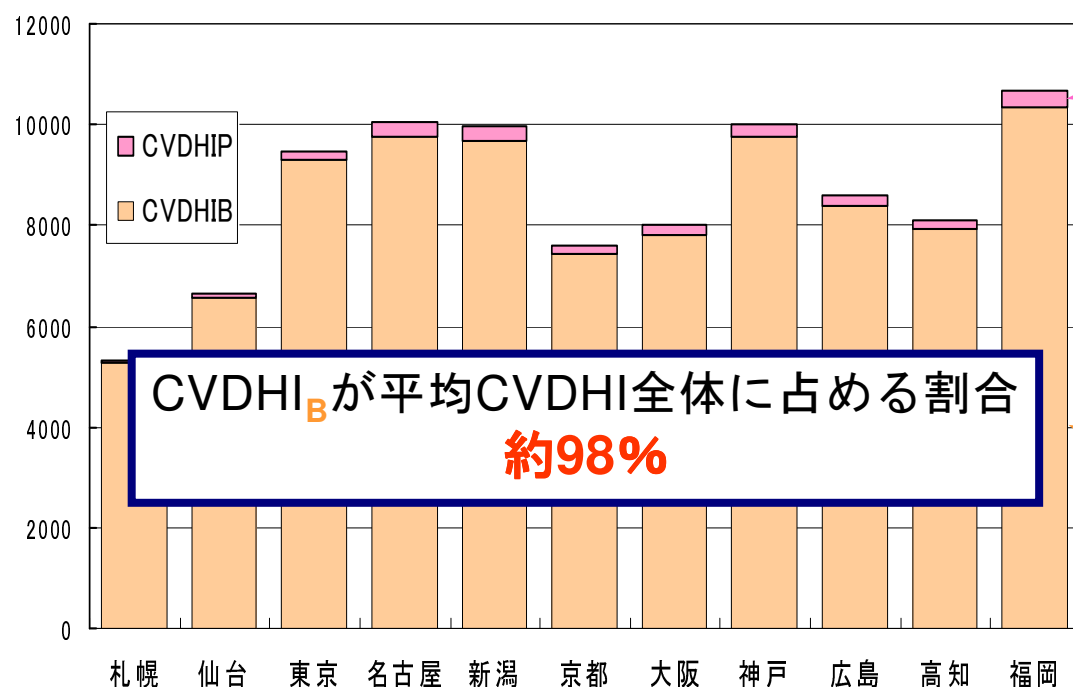


CVDHI<sub>B</sub>: Cross Ventilation  
Degree Hour of Indoor for **B**uilding

■ CVDHI(室内通風デグリアワー)<sub>B</sub>:  
日射等の影響を受ける室内において、通風により室内の熱を屋外に排出する排熱効果

※CVDHI(室内通風デグリアワー):通風によって得られる室温低下(体感温度の低下を含む)を非暖房期間において累積したもの

夏季における住宅の温熱環境改善や省エネルギーを図る上で、自然通風を効果的に利用するためには通風時の排熱効果に着目して室内温熱環境改善効果を検討する必要がある。



■ CVDHI(室内通風デグリアワー)<sub>P</sub>:  
通風によって生じる可感気  
流による体感温度の低下  
効果

■ CVDHI(室内通風デグリアワー)<sub>B</sub>:  
日射等の影響を受ける室  
内において、通風により室  
内の熱を屋外に排出する  
排熱効果

本研究では、単体の単純住宅モデルを対象として換気回数と室温の関係を解析し、通風により室温が外気温とほぼ等しくなるために必要な最少の換気回数(有効換気回数)を明らかにする。

街区モデルを対象として、有効換気回数を得るために必要な最小の窓面積率(有効窓面積率)を検討し、換気回数や開口条件等と通風性能の関係を明らかにすることを目的とする。

# 解析条件

対象モデル: 2階建て単純住宅モデル

窓面積: 19.44m<sup>2</sup>

基準窓面積率※: 19%

延床面積: 103.68m<sup>2</sup>

熱容量: 298.6kJ/K

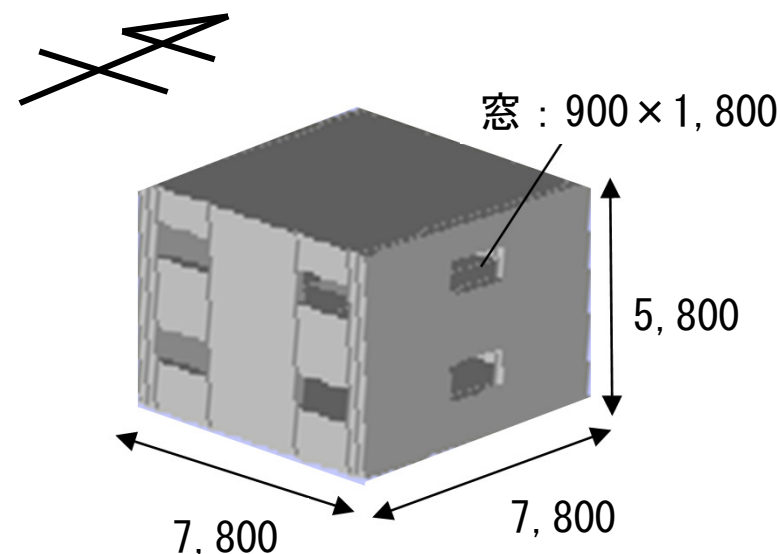
熱損失係数: 1.98W/(m<sup>2</sup>・K)

※窓面積率: (窓面積/床面積)

表 解析対象住宅モデルの仕様

| 壁名称 | 仕様                       |
|-----|--------------------------|
| 外壁  | 石膏ボード、ネオマフォーム、合板、モルタル    |
| 屋根  | 石膏ボード、セルローズファイバー、合板、スレート |

対象都市: 換気回数を設定する場合は新潟とし、  
実換気回数を用いる場合は札幌、仙台、東京、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、広島、高知、福岡の11都市とする。



単位: [mm]

(1) 建蔽率 0 % (単体)

図 1 解析対象住宅モデル

# 解析条件

窓の大きさ : 900mm × 1,800mm

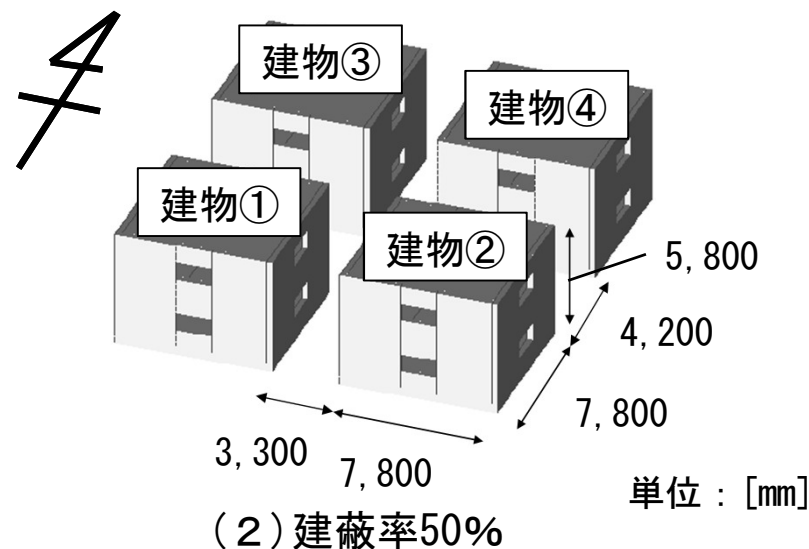
窓面積 : 12.96m<sup>2</sup>

基準窓面積率※: 13%

延床面積 : 103.68m<sup>2</sup>

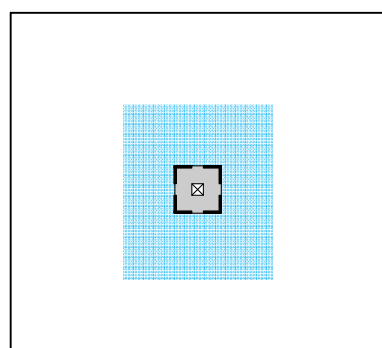
※窓面積率: (窓面積/床面積)

対象都市 : 全国842都市

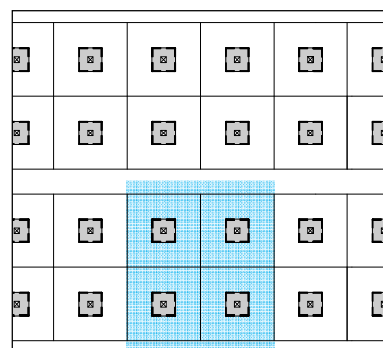


(2) 建蔽率50%

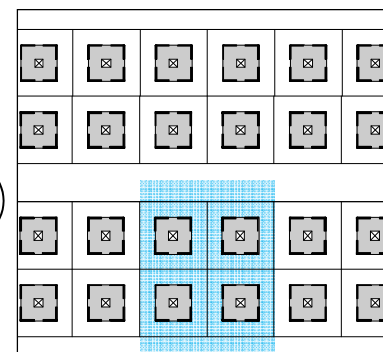
図1 解析対象住宅モデル



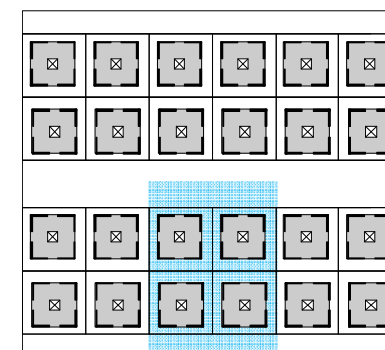
(1) 街区モデル  
(建蔽率 0%)



(2) 街区モデル  
(建蔽率 10%)



(3) 街区モデル  
(建蔽率 30%)



(4) 街区モデル  
(建蔽率 50%)

図 街区モデル

設定換気回数による解析

熱負荷シミュレーションソフト  
TRNSYSによる熱負荷計算

気象データ: 気温、日射 +

設定換気回数

熱負荷計算

※設定する換気回数は0.5回/h(窓閉鎖時)、  
2、4、6、8、10、12、14、16、18、  
20、30、40回/h(年間一定)とする

※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)を用いる

室温

図 室温算出の解析フロー



## 実換気回数の算出

数値流体解析CFD2000による  
対象住宅モデルの数値解析

16風向の気流解析

+ 各都市の風向、風速

換気回数の算定

実換気回数

図 実換気回数の算出フロー

## 窓面積率の算出

### 数値流体解析CFD2000による 対象住宅モデルの数値解析

16風向の開口部風速比

建蔽率: 0 (単体)、10、30、50%  
窓面積率: 3、4、8、13、25%

風向別換気回数の算出

各窓面積率における基準風速  
(地上6.5mで風速1.0m/s)

窓面積率と平均換気回数の回帰式を求める

換気回数は16風向の平均値をとる

+各都市の風向、風速

窓閉鎖時には  
基準最小風速0.3m/s、  
換気回数0.5回/hとする

実換気回数の算出

窓面積率を1%刻みとする

図 窓面積率の算出フロー

## 窓面積率の算出

### 数値流体解析CFD2000による 対象住宅モデルの数値解析

16風向の開口部風速比

遮蔽率: 0 (単体)、10、30、50%  
窓面積率: 3、4、8、13、25%

風向別

算出した実換気回数が有効換気回数を満たす窓面積率を842都市を対象に検討を行う。

窓面積率と平均換気回数 of 回帰式を求める

+ 各都市の風向、風速

換気回数は16風向の平均値をとる

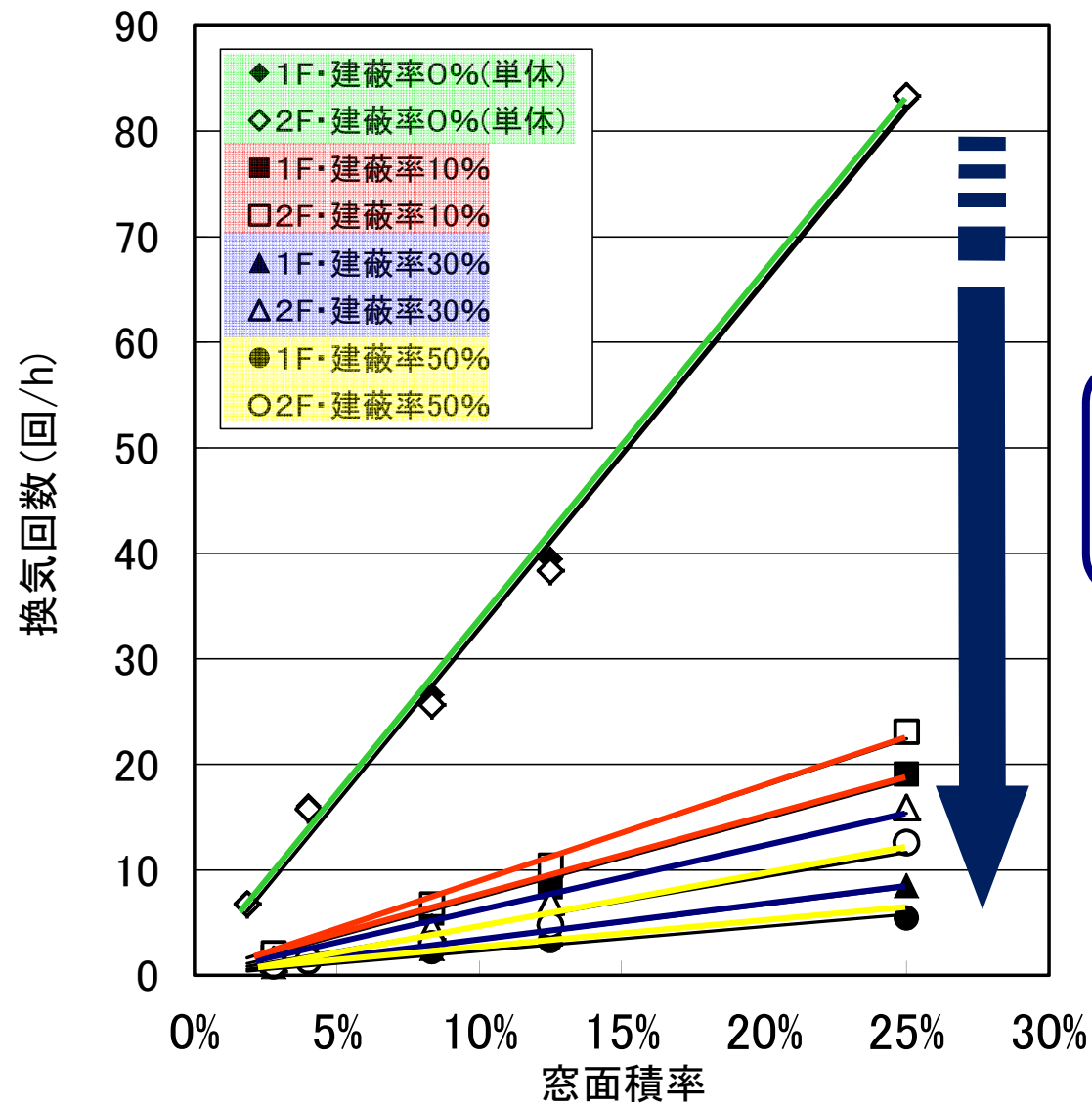
窓閉鎖時では  
基準最小風速0.3m/s、  
換気回数0.5回/hとする

実換気回数の算出

窓面積率を1%刻みとする

図 窓面積率の算出フロー

# 解析概要



建蔽率が高くなる程、傾きが小さくなり、換気回数は減少する。

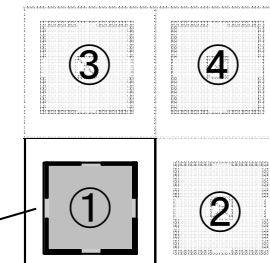


図2 換気回数と窓面積率の関係 (建物①)

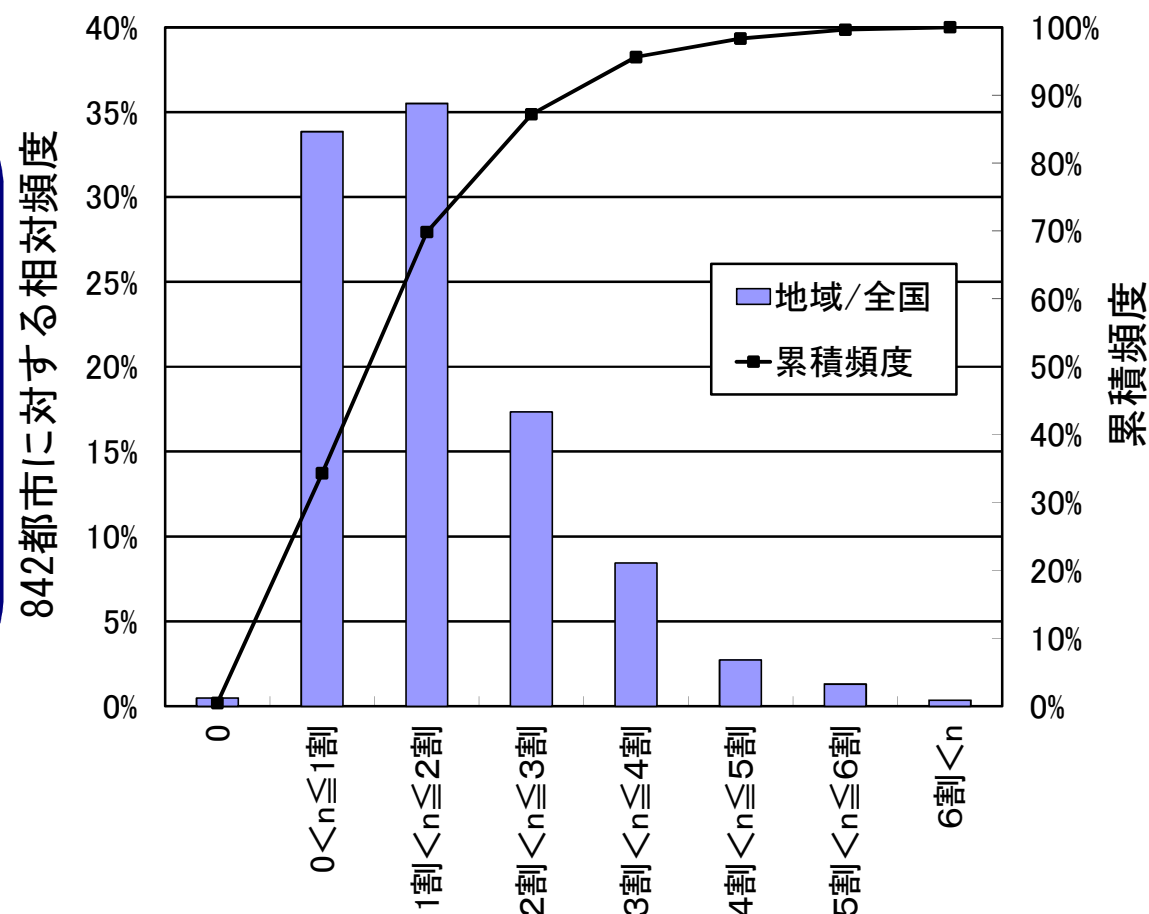
この回帰式から窓面積率を1%刻みとして842都市の実換気回数を算出する。

表1 各建蔽率における回帰式と寄与率

|           |    | 建物①            | 建物②            | 建物③            | 建物④            |
|-----------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 建蔽率0%(単体) | 1F | $y = 329.16x$  | —              | —              | —              |
|           |    | $R^2 = 0.9977$ | —              | —              | —              |
|           | 2F | $y = 327.37x$  | —              | —              | —              |
|           |    | $R^2 = 0.9959$ | —              | —              | —              |
| 建蔽率10%    | 1F | $y = 74.099x$  | $y = 74.104x$  | $y = 74.098x$  | $y = 74.105x$  |
|           |    | $R^2 = 0.9923$ | $R^2 = 0.9923$ | $R^2 = 0.9923$ | $R^2 = 0.9923$ |
|           | 2F | $y = 89.709x$  | $y = 89.700x$  | $y = 89.477x$  | $y = 89.475x$  |
|           |    | $R^2 = 0.9927$ | $R^2 = 0.9927$ | $R^2 = 0.9928$ | $R^2 = 0.9927$ |
| 建蔽率30%    | 1F | $y = 33.269x$  | $y = 33.269x$  | $y = 33.266x$  | $y = 33.267x$  |
|           |    | $R^2 = 0.9955$ | $R^2 = 0.9955$ | $R^2 = 0.9955$ | $R^2 = 0.9955$ |
|           | 2F | $y = 61.410x$  | $y = 61.409x$  | $y = 60.906x$  | $y = 60.910x$  |
|           |    | $R^2 = 0.9894$ | $R^2 = 0.9894$ | $R^2 = 0.9894$ | $R^2 = 0.9894$ |
| 建蔽率50%    | 1F | $y = 23.157x$  | $y = 23.160x$  | $y = 23.158x$  | $y = 23.160x$  |
|           |    | $R^2 = 0.9667$ | $R^2 = 0.9668$ | $R^2 = 0.9667$ | $R^2 = 0.9668$ |
|           | 2F | $y = 46.571x$  | $y = 46.564x$  | $y = 45.325x$  | $y = 45.307x$  |
|           |    | $R^2 = 0.9648$ | $R^2 = 0.9654$ | $R^2 = 0.9640$ | $R^2 = 0.9640$ |

※上段は回帰式、下段は寄与率を示し、yを換気回数、xを窓面積率とする。

無風の場合、窓面積率と換気回数は比例しないので、非暖房期間において有効換気回数以上の相対頻度が7割以上の時に通風による室内環境改善効果が十分に得られると考え、この効果が得られる最小の窓面積率を有効窓面積率と定義する。



無風の相対頻度 (n)

図3 非暖房期間の全国における外部風が無風の頻度分布

# 解析結果

※ 7月23日：新潟の日平均気温が最高となる日

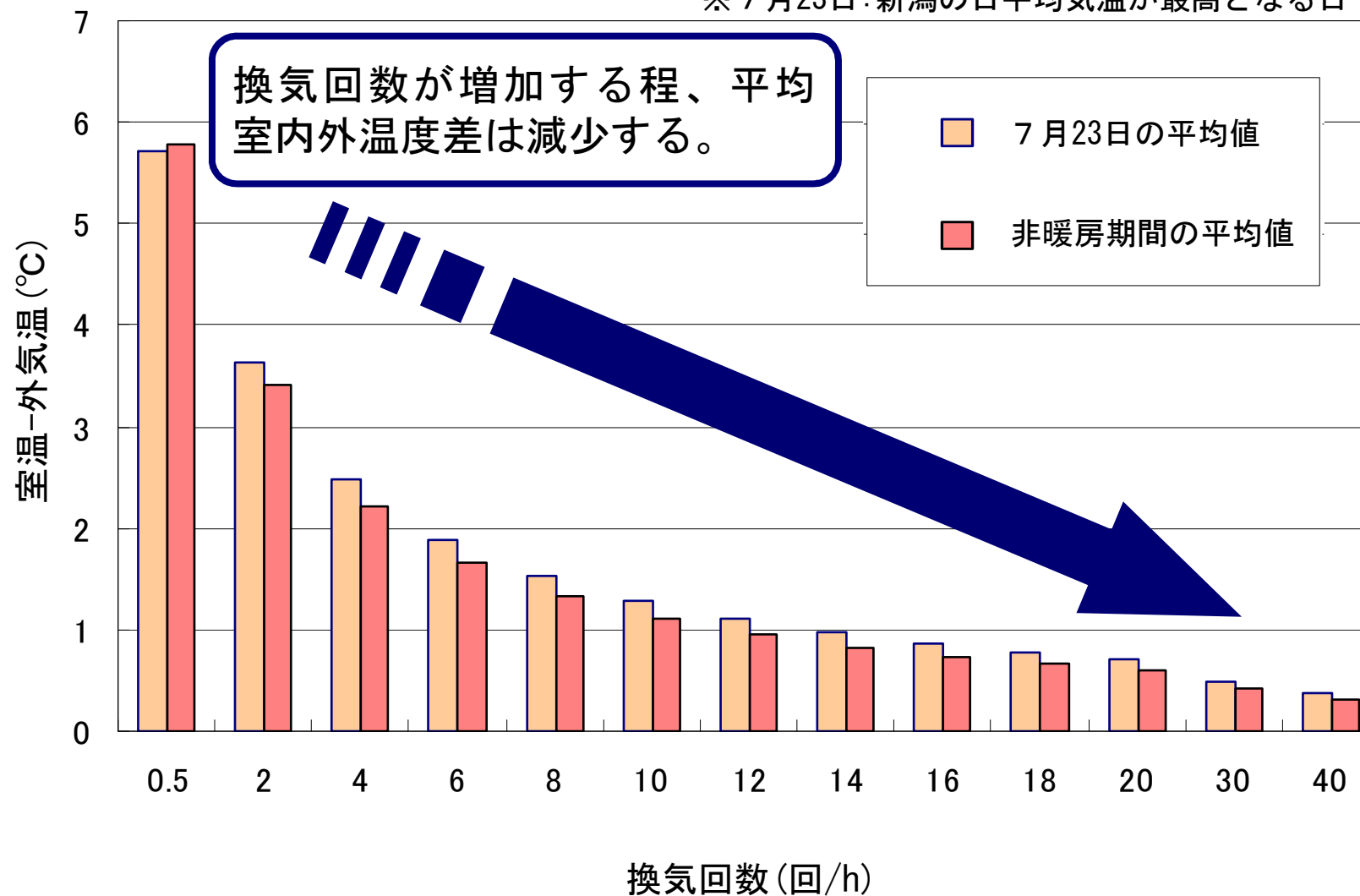


図4 換気回数を設定する場合の平均室内外温度差(新潟、2 F)

# 解析結果

※ 7月23日：新潟の日平均気温が最高となる日

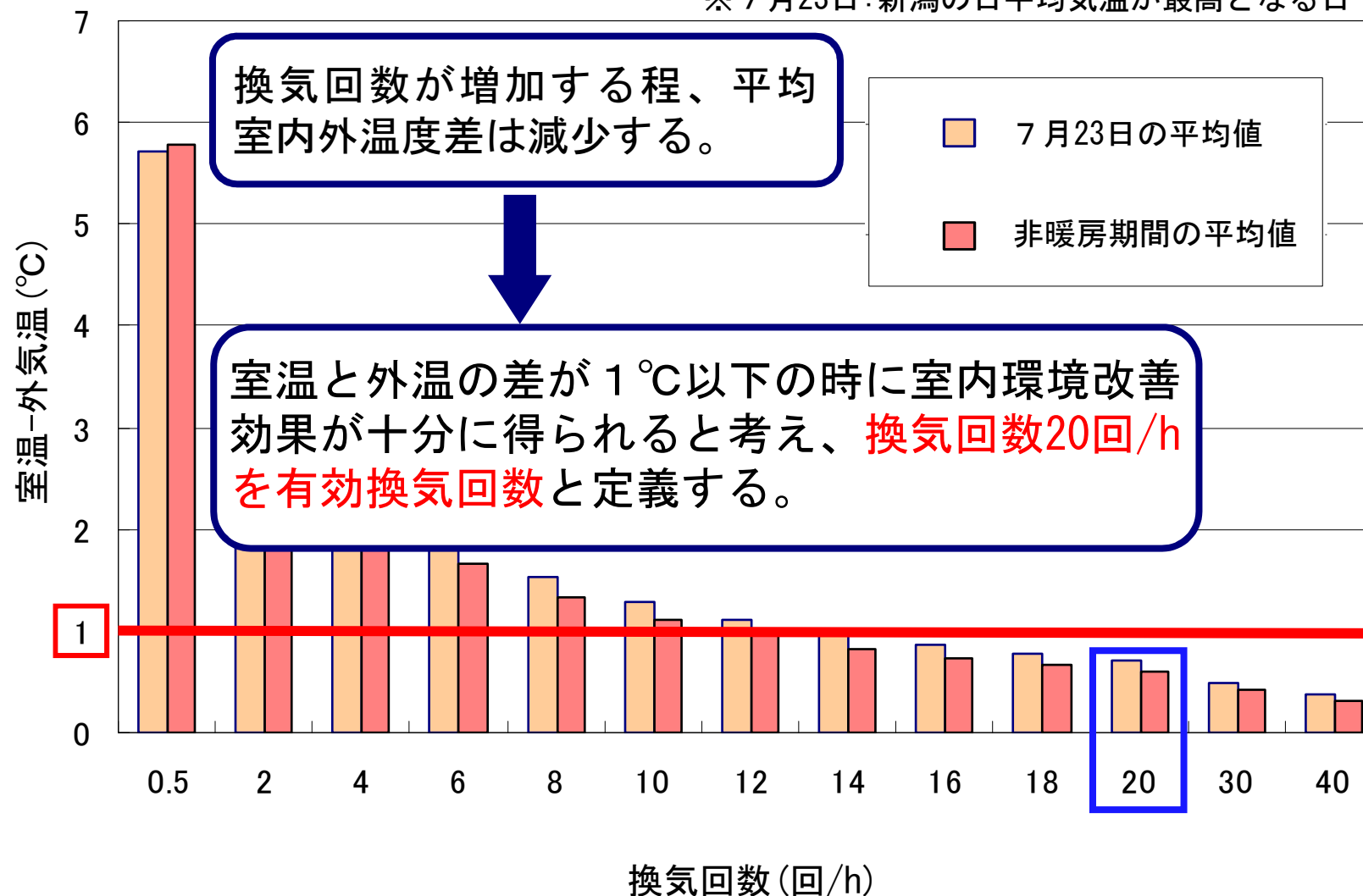


図4 換気回数を設定する場合の平均室内外温度差(新潟、2 F)



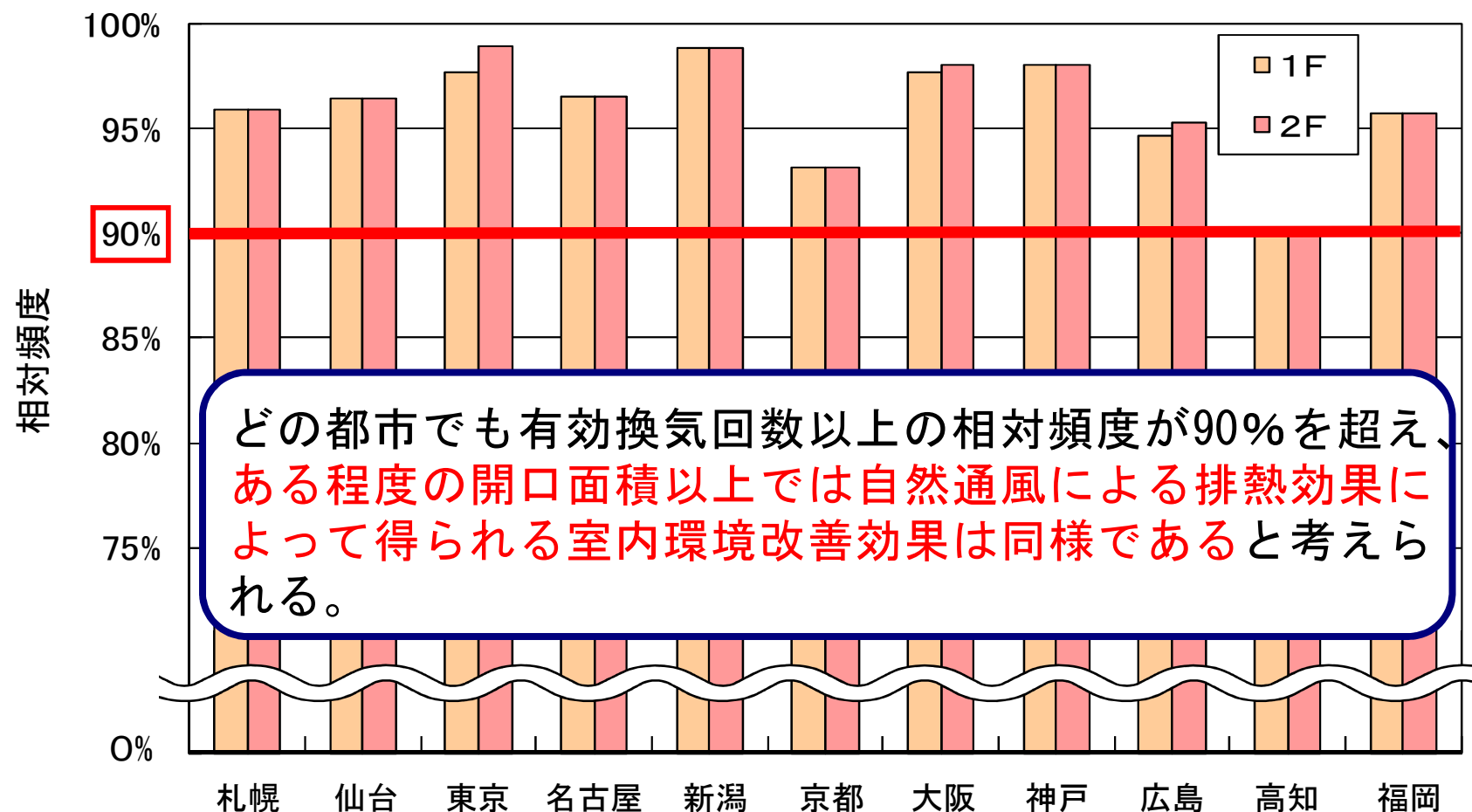


図5 11都市における有効換気回数以上の相対頻度 (建蔽率0%(単体))

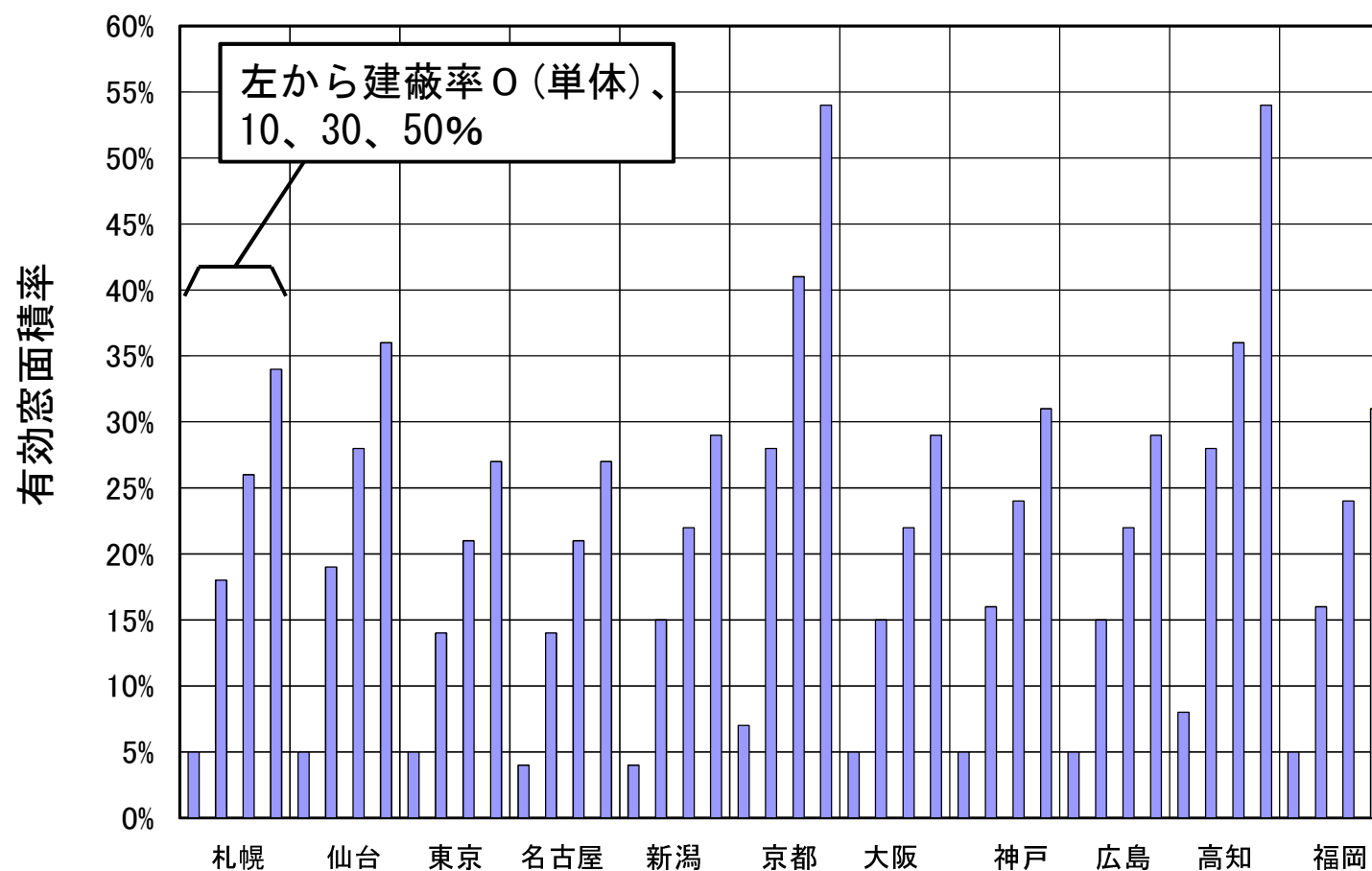


図6 11都市における各建蔽率の有効窓面積率（建物①、2F）

# 解析結果

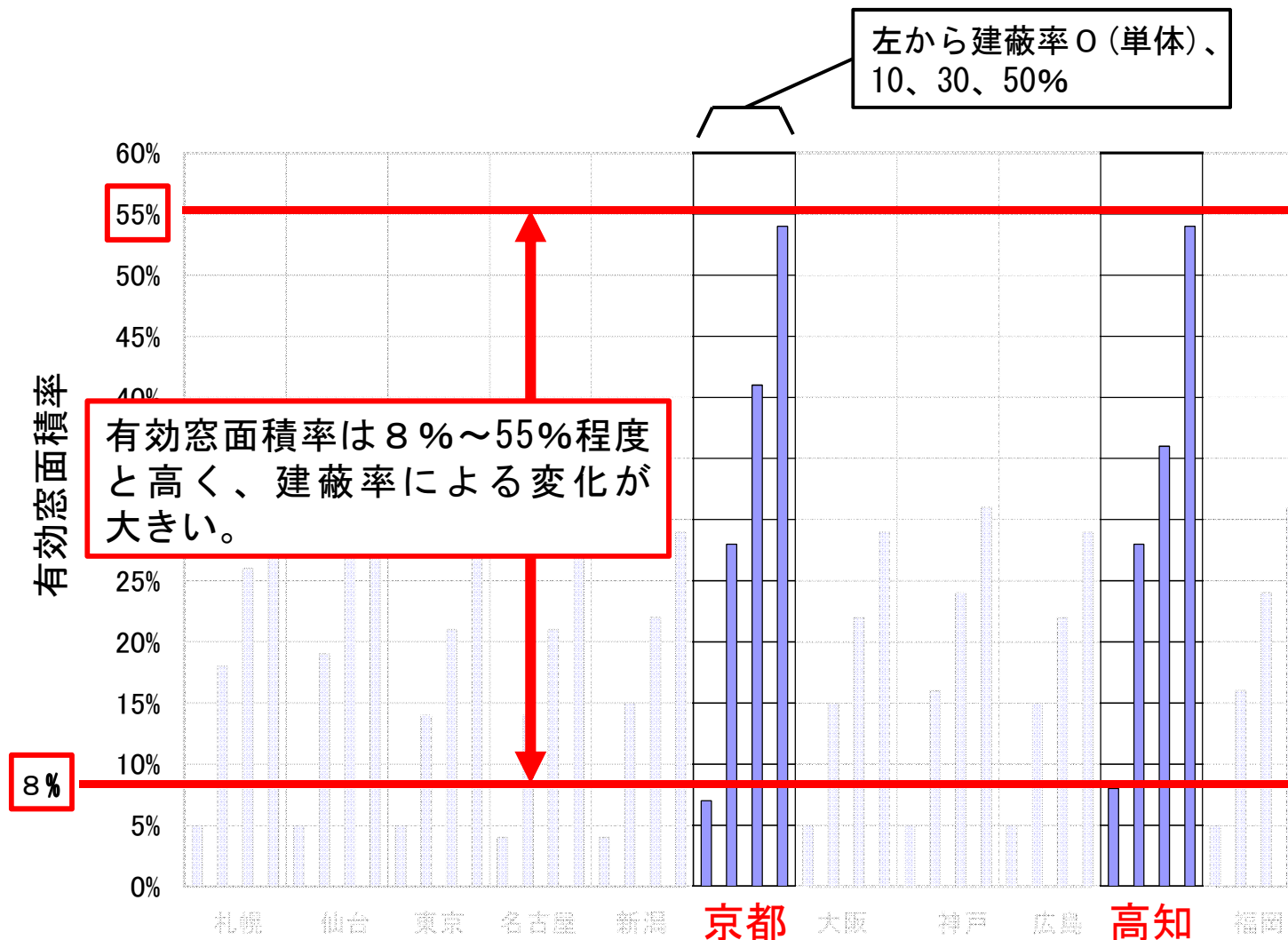


図6 11都市における各建蔽率の有効窓面積率（建物①、2F）

# 解析結果

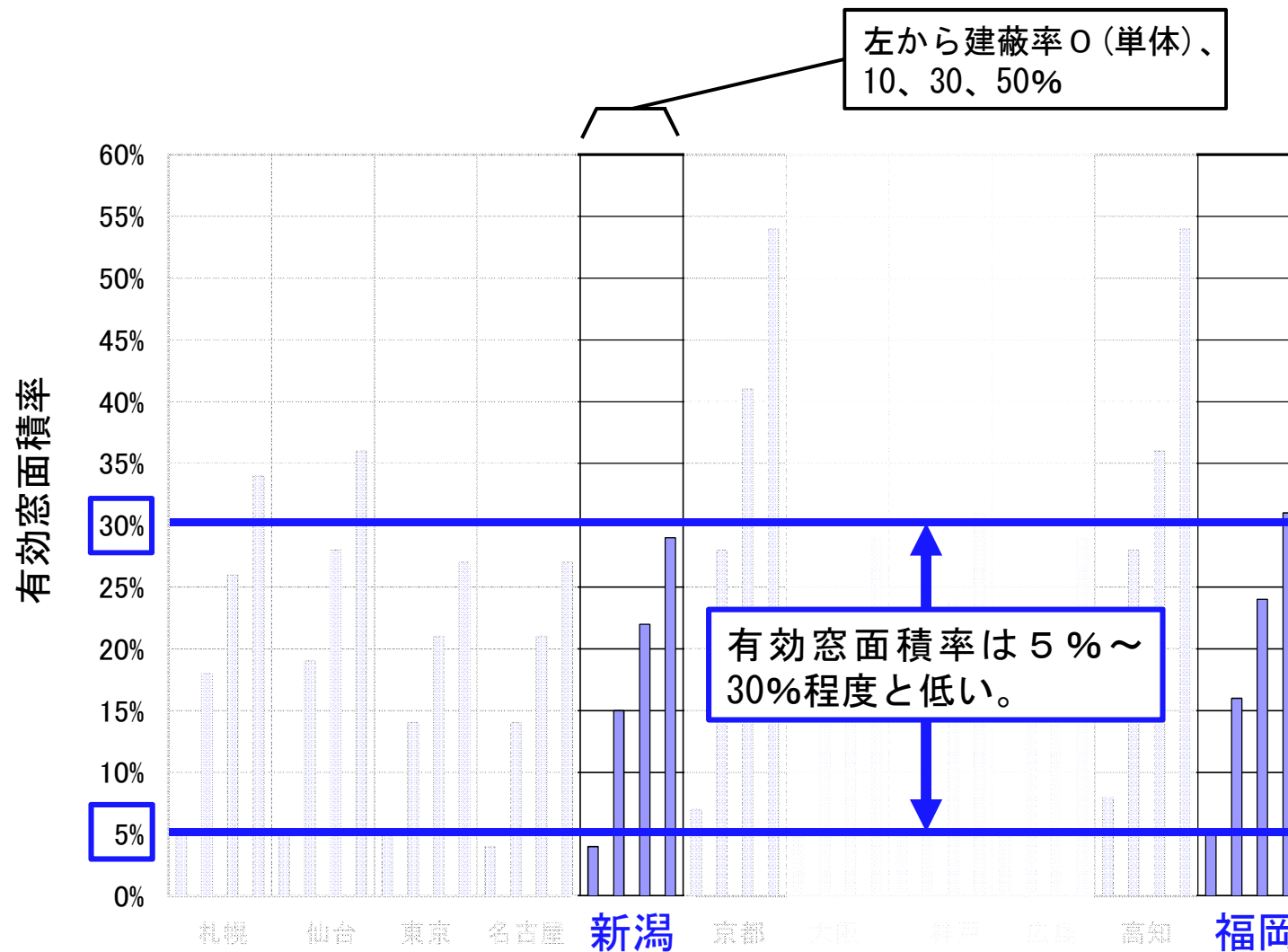


図 6 11都市における各建蔽率の有効窓面積率(建物①、2 F)

*Akabayashi*  
*ALab.*



# 解析結果

有効窓面積率は都市によって異なり、内陸部では50%~60%程度と高く、海沿いの都市では30%程度と低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの都市では速いためと考えられる。

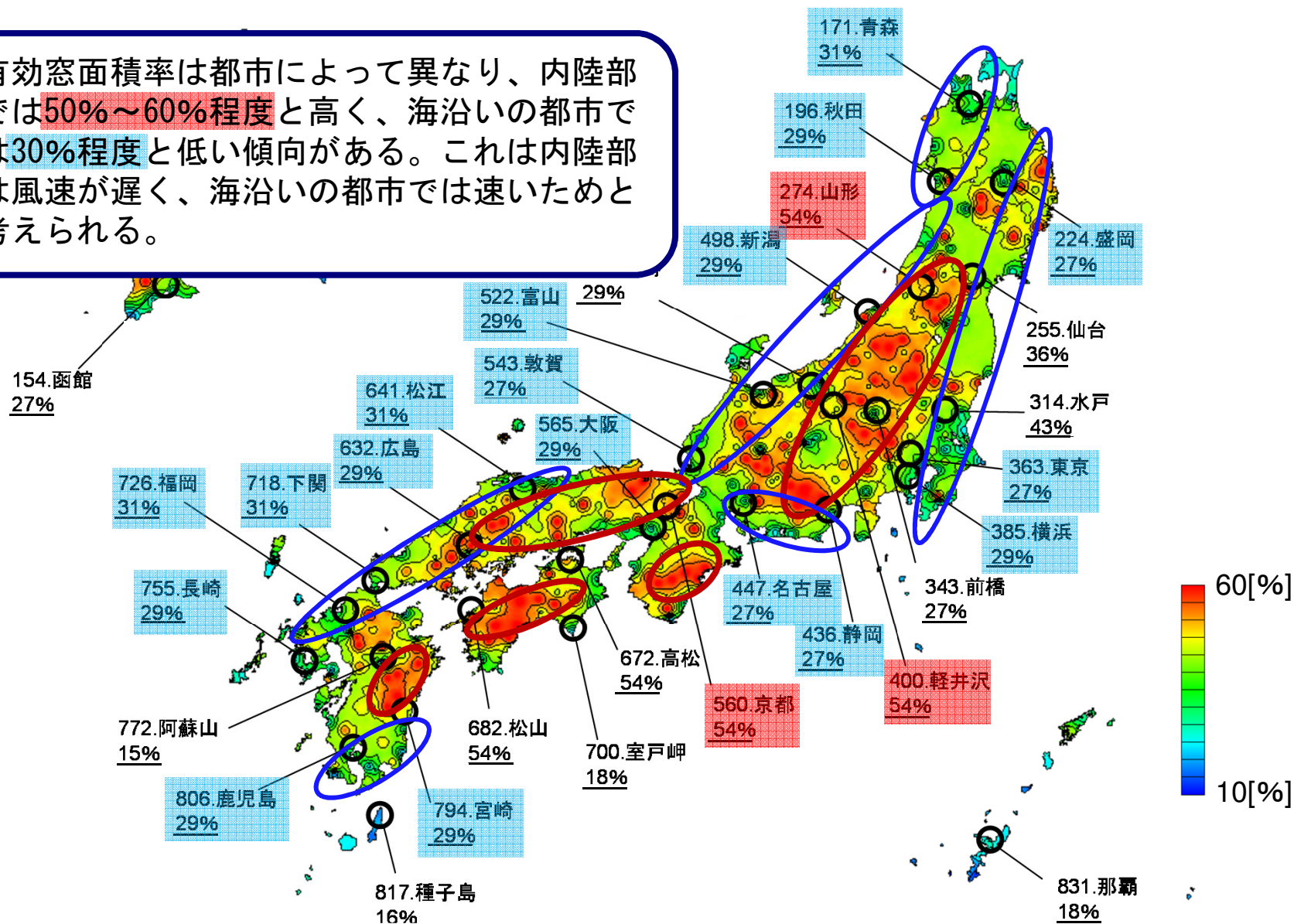


図7 建蔽率50%における有効窓面積率マップ (建物①、2F)



# まとめ

- ①室温と外気温の差が **1℃以下の時に**通風による室内環境改善効果が十分に得られると考え、**換気回数20回/hを有効換気回数と定義する。**
- ②対象とした建蔽率0% (単体) のモデルでは、どの都市でも有効換気回数以上の相対頻度が90%を超え、**ある開口面積以上では**通風による排熱によって得られる**室内環境改善効果は同様である**と考えられる。
- ③無風の頻度を考慮し、有効換気回数以上の相対頻度が**7割以上の時に****通風による室内環境改善効果が十分に得られる**と考え、この効果が得られる**最小の窓面積率を有効窓面積率と定義する。**
- ④**建蔽率が高くなる程、有効窓面積率は高くなる。**風速の遅い都市では有効窓面積率は8% (建蔽率0%) ~ 55% (建蔽率50%) 程度と高く、**建蔽率による変化が大きい。**
- ⑤建蔽率50%では有効窓面積率は**内陸部では50%~60%程度**と高く、**海沿いでは30%程度**と低い傾向がある。

# 室内通風デグリアワー (CVDHI) の定義

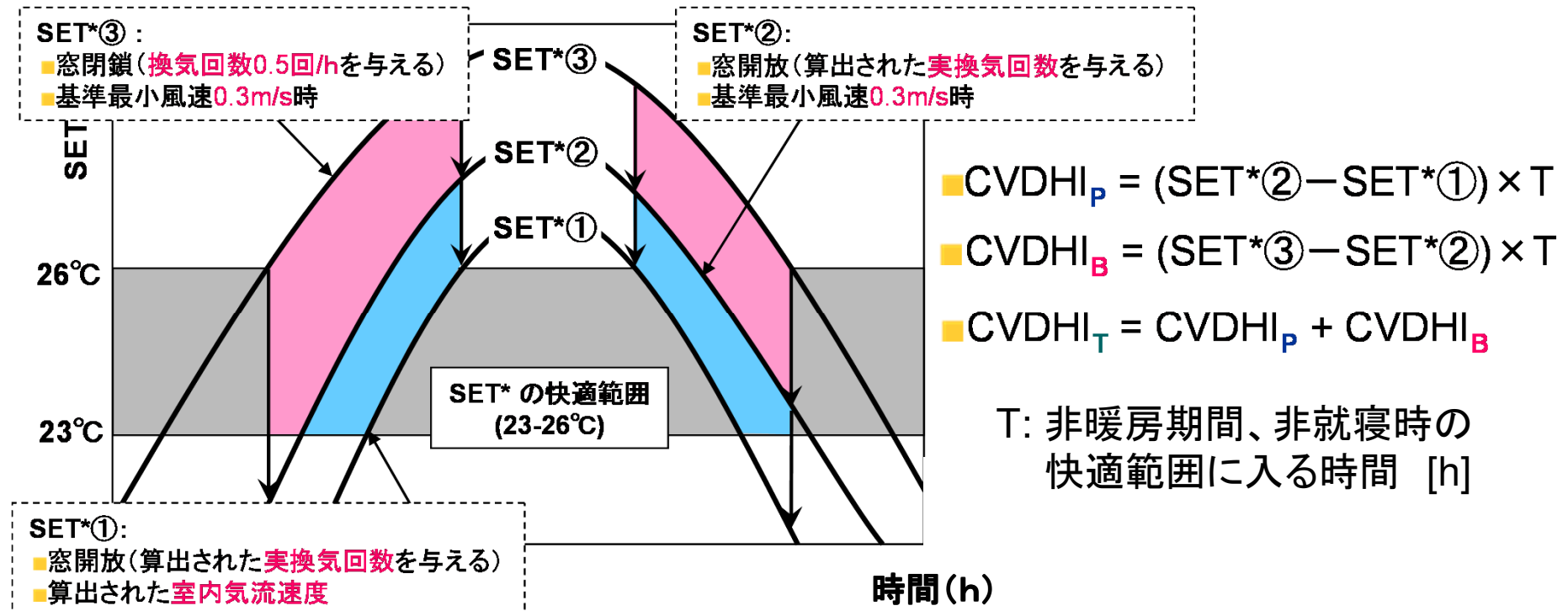
CVDHI<sub>Person</sub>

+

CVDHI<sub>Building</sub>

=

CVDHI<sub>Total</sub>



- CVDHI<sub>P</sub>: 通風によって生じる可感気流による体感温度低下の効果
- CVDHI<sub>B</sub>: 日射等の影響を受ける室内において、通風により室内の熱を屋外に排出する排熱効果

図 室内通風デグリアワー (CVDHI) の算出方法の概要



# 新潟の実換気回数の頻度分布

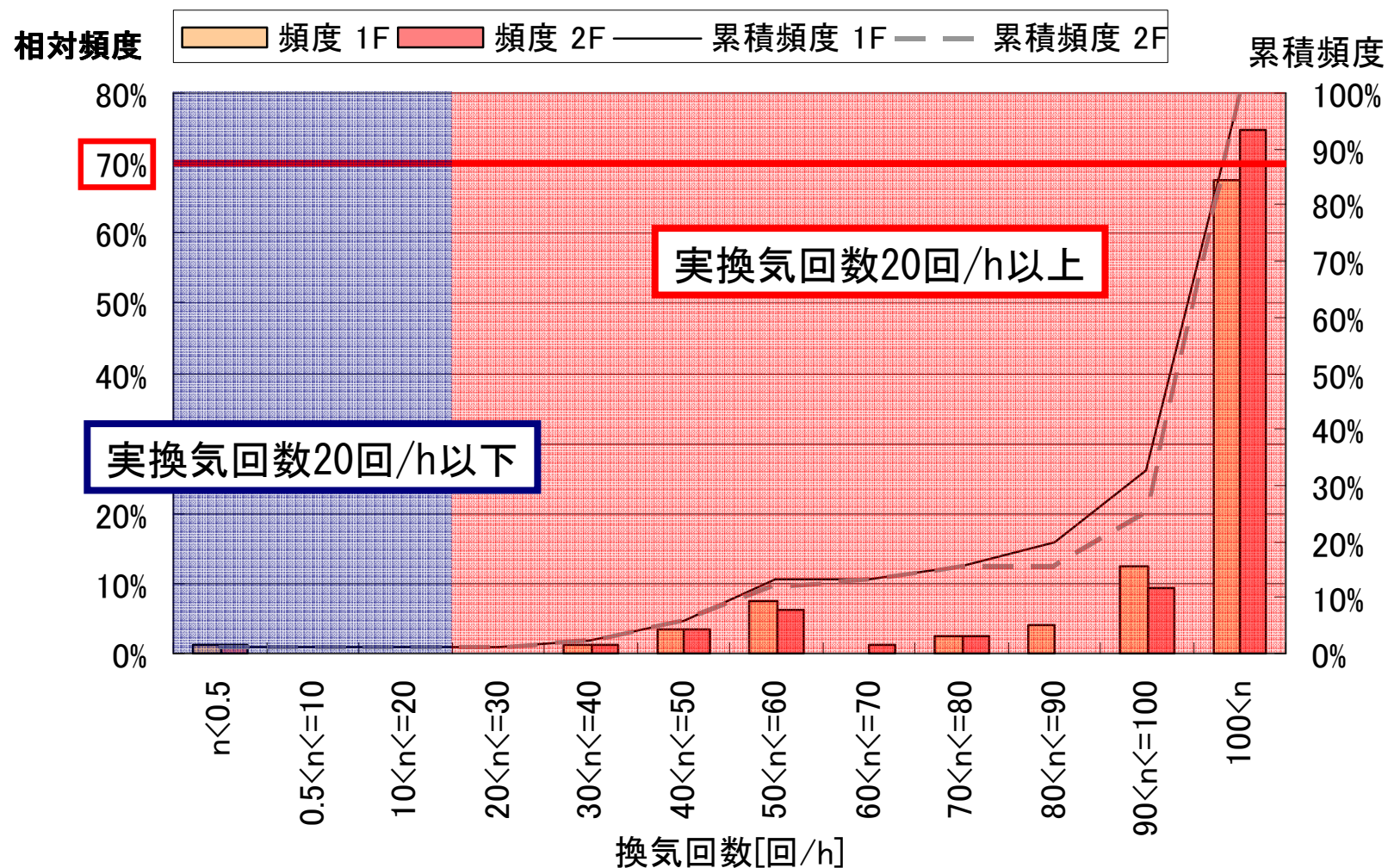


図 新潟の実換気回数の頻度分布

# 新潟における平均室内外温度差(1F)

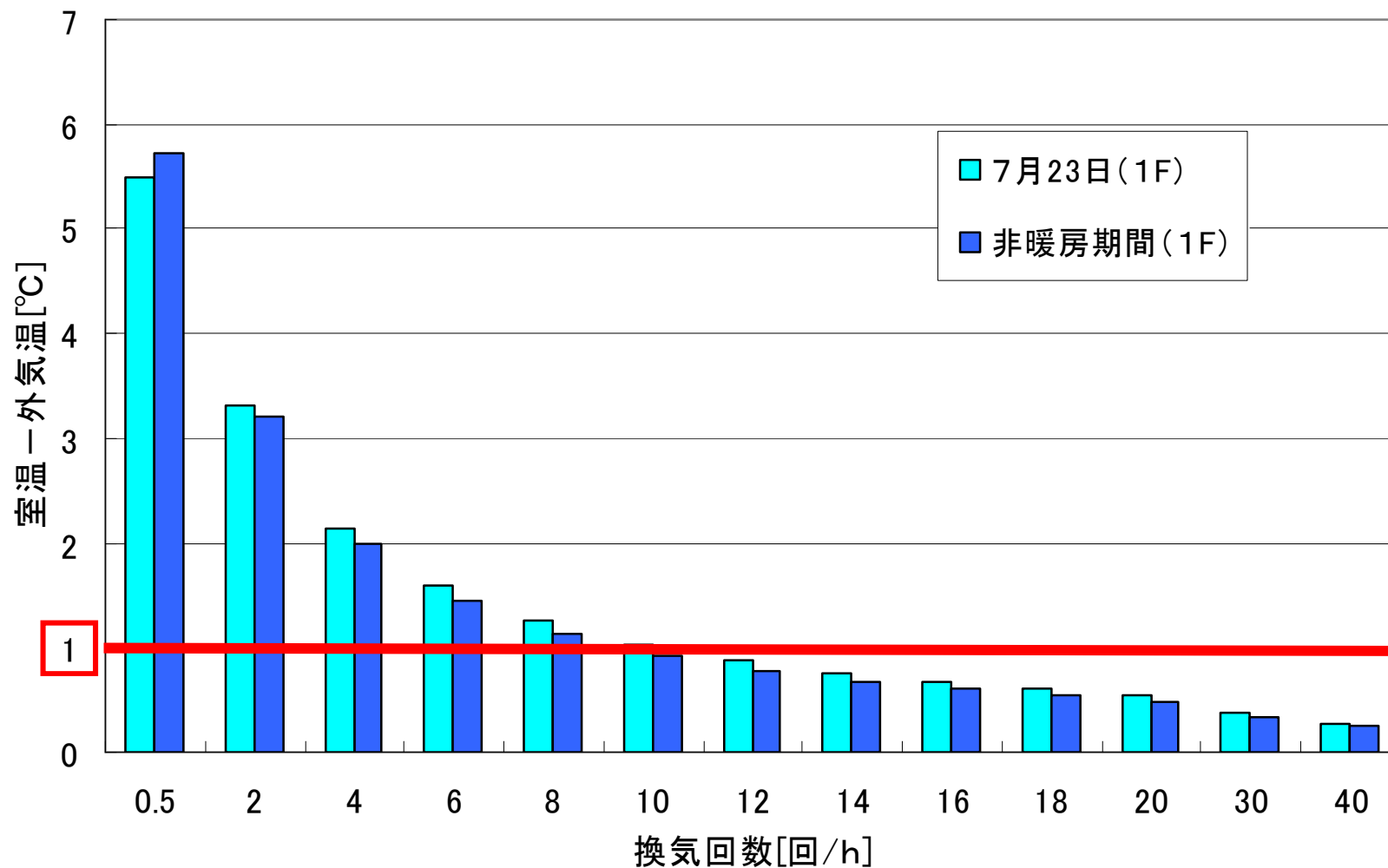


図 新潟において各換気回数を与えた場合の1階の平均室内外温度差

# 新潟における平均室内外温度差

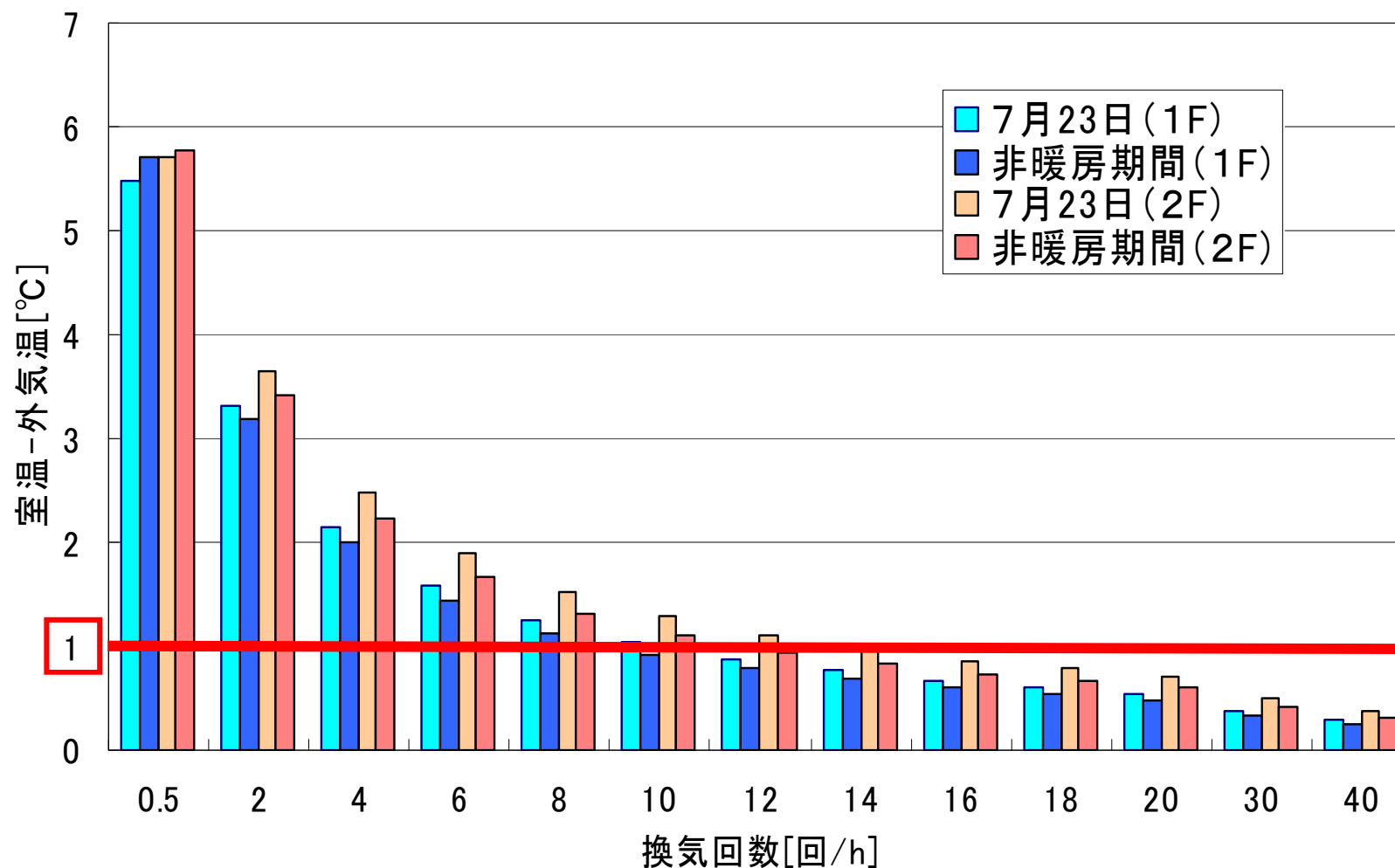
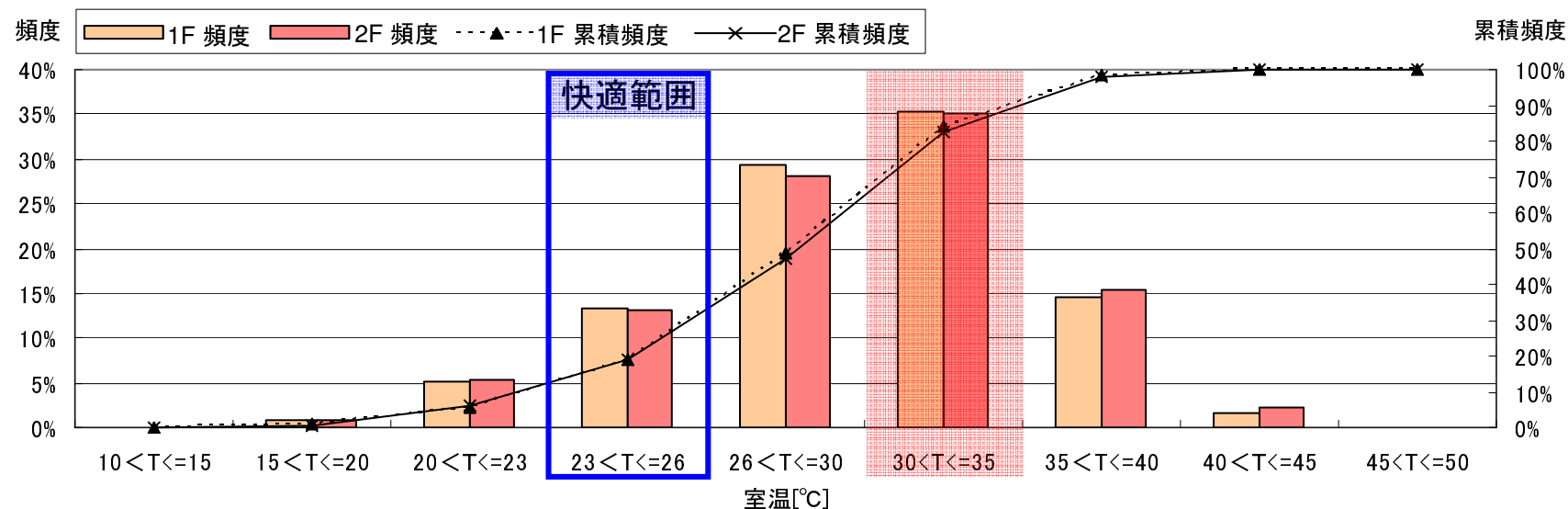
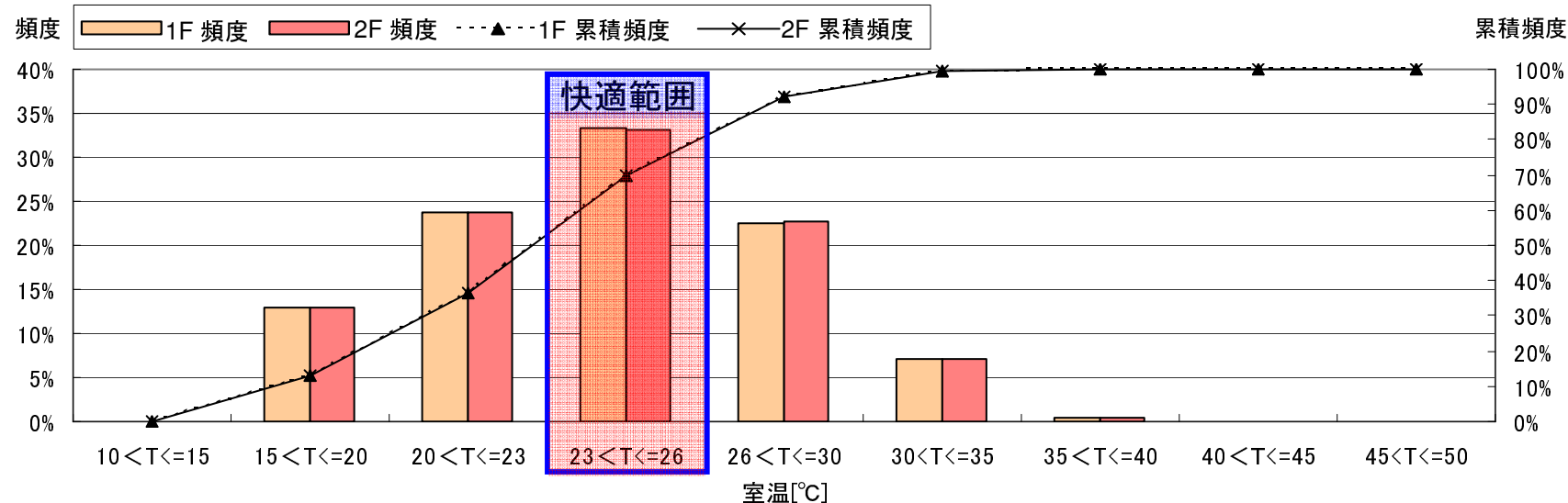


図 新潟において各換気回数を与えた場合の各階の平均室内外温度差

# 新潟の室温頻度分布



(1) 窓閉鎖時



(2) 窓開放時

図 新潟の室温頻度分布

# 外気温と室温の日変化

窓開放時の室温は東京、新潟ともに外気温とほぼ一致し、  
日平均気温が最高の日でもほぼ一致している。

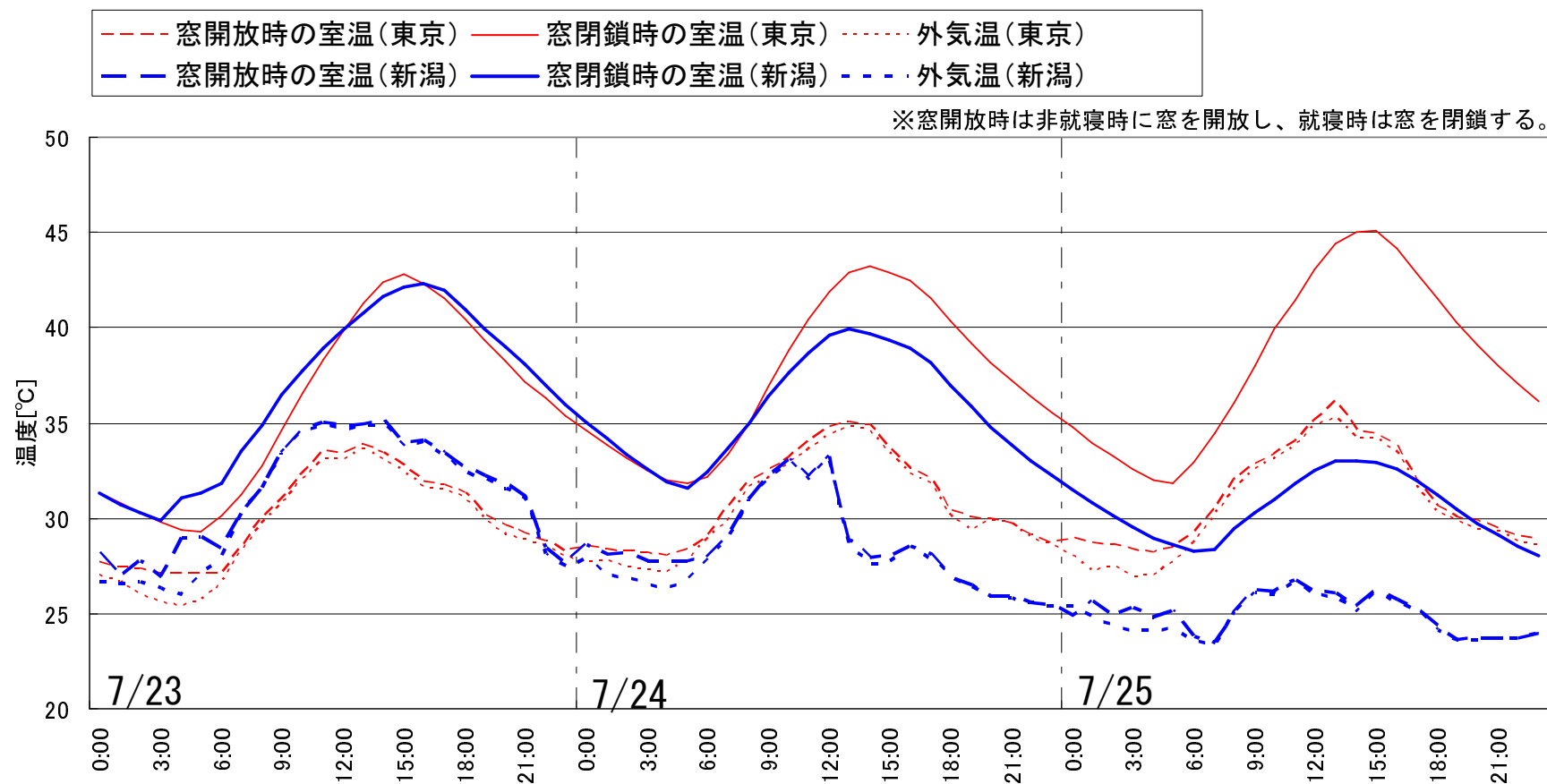


図 東京と新潟の外気温と室温の日変化

# 新潟における各換気回数 of 室温

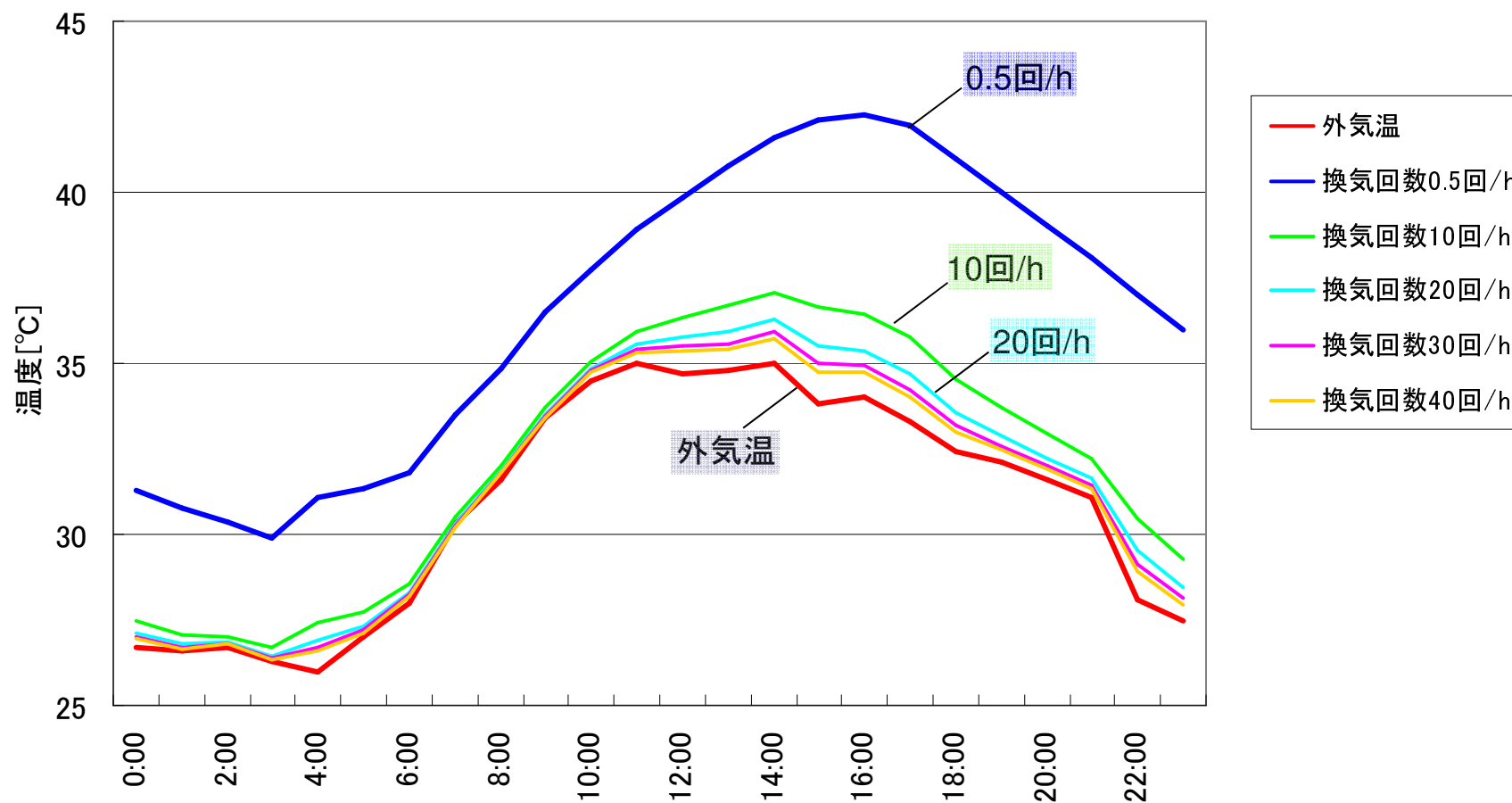


図 新潟における各換気回数 of 室温  
(日平均気温が最高の日 : 7/23)

# 日射による室温上昇の原理

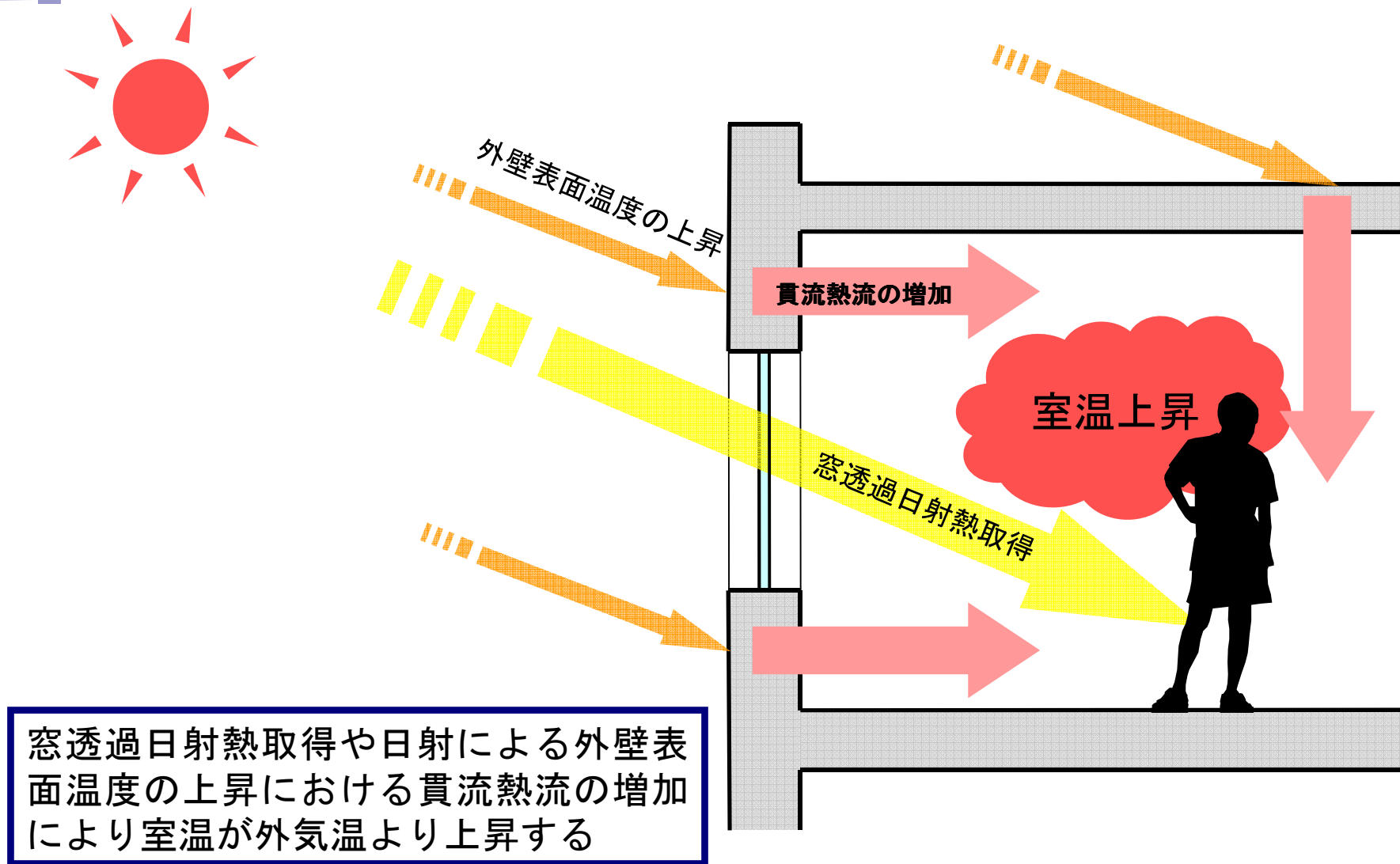


図 日射による室温上昇の原理

## 非暖房期間の定義

日平均気温が  $18^{\circ}\text{C}$  を下回る期間を暖房期間とし、それ以外の期間を非暖房期間と定義する。

期間の初めは、日平均気温  $18^{\circ}\text{C}$  を境に5日間連続  $18^{\circ}\text{C}$  を下回り、その後、5日間連続  $18^{\circ}\text{C}$  を上回る期間の初めの日とし、期間の終わりは逆に5日間連続  $18^{\circ}\text{C}$  を下回る日の初めの日と定義する。

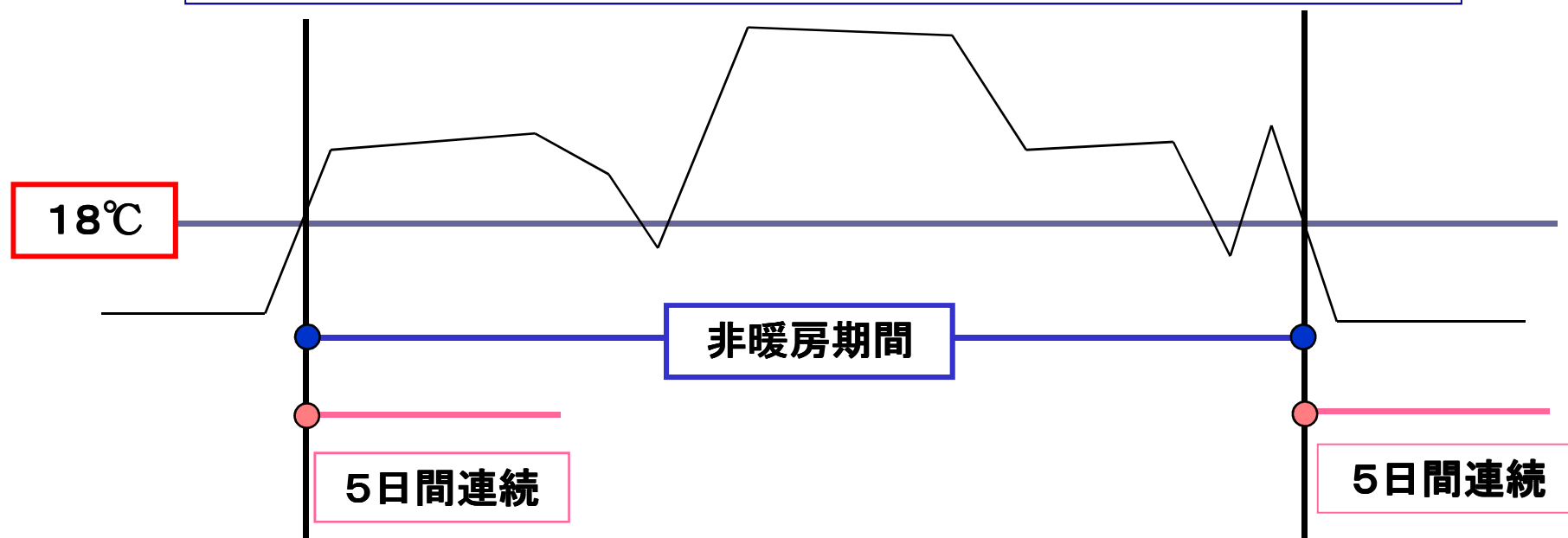


図 非暖房期間の概要



表 対象とした都市の非暖房期間※と平均風速

| 都市  | 非暖房期間      |      | 平均風速[m/s] |
|-----|------------|------|-----------|
| 札幌  | 6/29～9/10  | 76日  | 1.78      |
| 仙台  | 6/12～9/25  | 105日 | 1.86      |
| 東京  | 5/7～10/12  | 158日 | 1.76      |
| 名古屋 | 5/7～10/13  | 159日 | 2.14      |
| 新潟  | 5/29～10/2  | 126日 | 2.41      |
| 京都  | 5/8～10/13  | 158日 | 1.51      |
| 大阪  | 5/6～10/10  | 157日 | 1.96      |
| 神戸  | 5/8～10/18  | 163日 | 2.18      |
| 広島  | 5/7～10/5   | 159日 | 1.77      |
| 高知  | 5/15～10/19 | 157日 | 1.43      |
| 福岡  | 5/8～11/7   | 183日 | 2.07      |

※非暖房期間：日平均気温が18℃を下回る期間を暖房期間とし、それ以外の期間を非暖房期間と定義する。

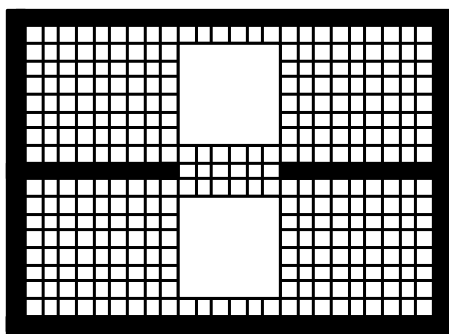
表 主要11都市における外部風が無風の相対頻度  
(非就寝時、非暖房期間)

| 都市  | 非就寝時非暖房時の無風頻度 |
|-----|---------------|
| 札幌  | 4%            |
| 仙台  | 4%            |
| 東京  | 1%            |
| 名古屋 | 3%            |
| 新潟  | 1%            |
| 京都  | 7%            |
| 大阪  | 2%            |
| 神戸  | 2%            |
| 広島  | 5%            |
| 高知  | 10%           |
| 福岡  | 4%            |

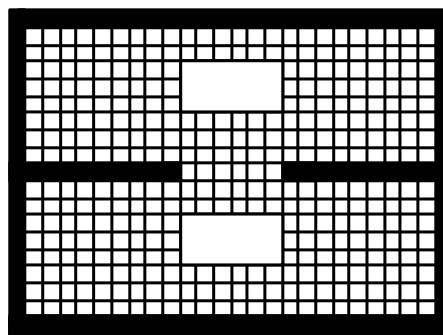
## 非就寝時間

人の就寝時間：午後24時から午前6時とする。

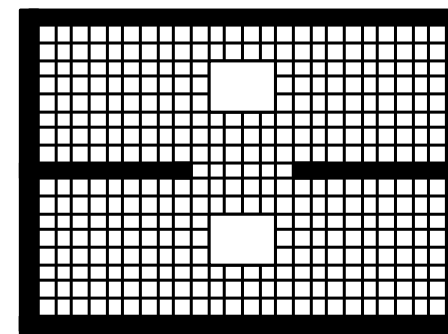
よって、この就寝時間以外を非就寝時間とする。



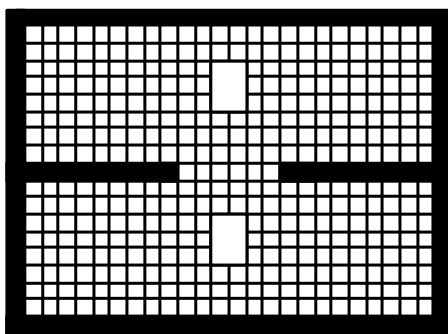
窓面積率25%



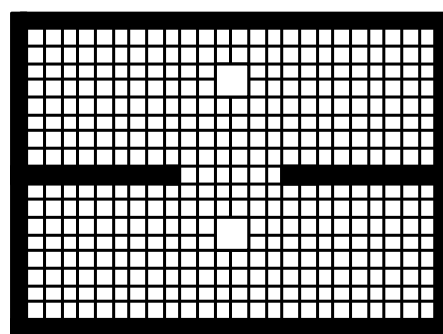
窓面積率13%



窓面積率 8 %



窓面積率 4 %

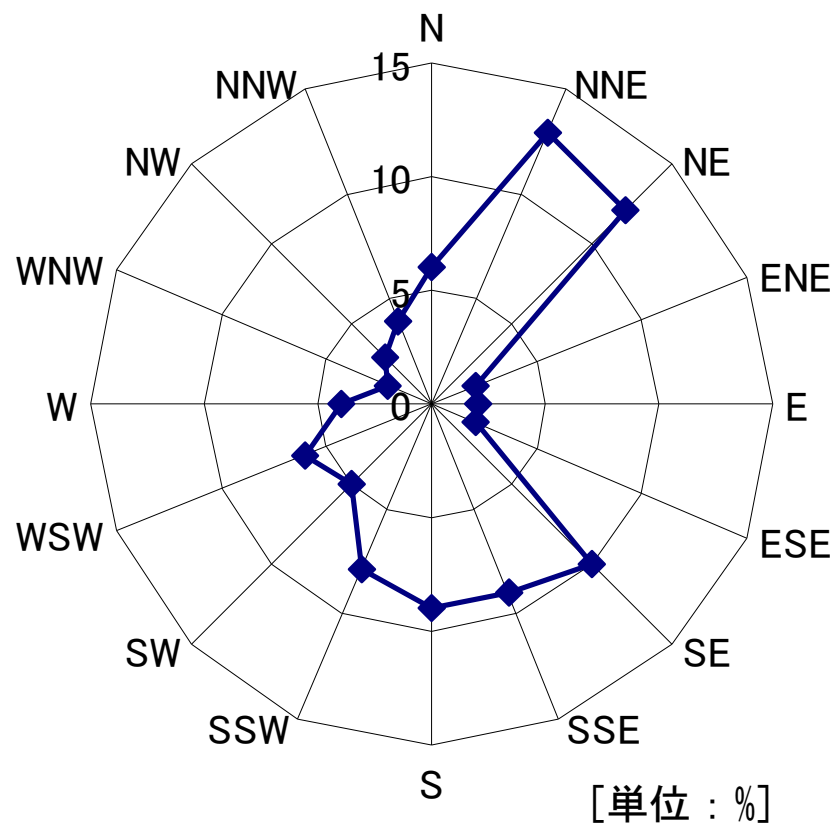


窓面積率 3 %

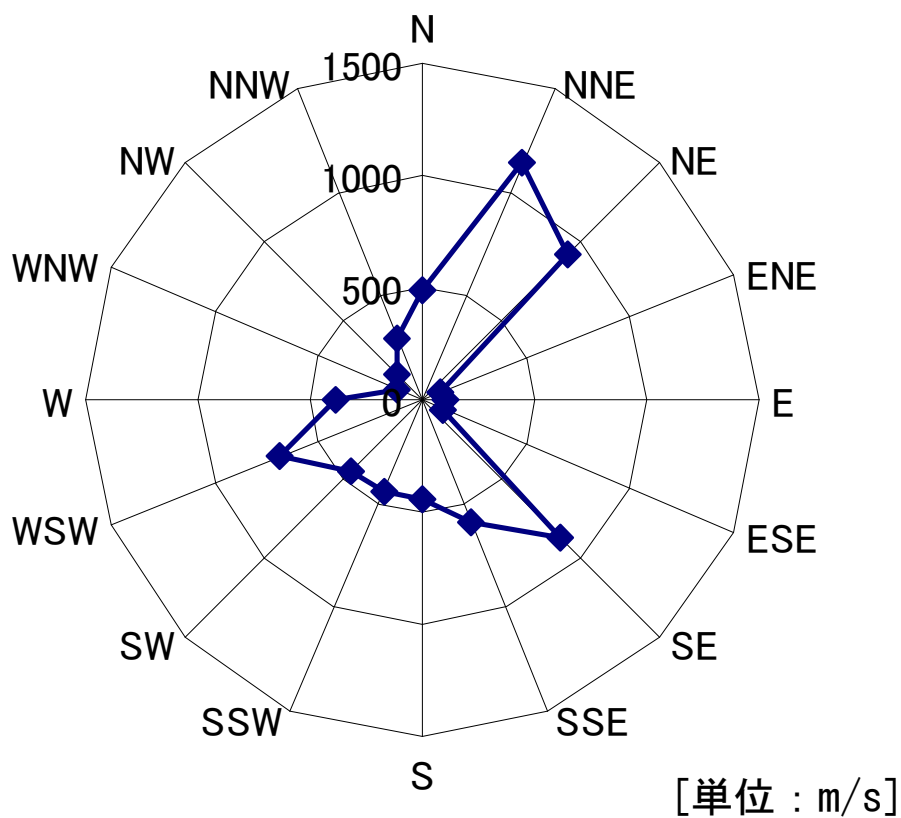
| 窓面積率 | 窓の大きさ[m <sup>2</sup> ] |
|------|------------------------|
| 25%  | 1.8 × 1.8              |
| 13%  | 0.9 × 1.8              |
| 8%   | 0.9 × 1.2              |
| 4%   | 0.9 × 0.6              |
| 3%   | 0.6 × 0.6              |

図 各窓面積率における窓面積の例

# 新潟の非暖房期間の屋外気流性状



(1) 風向頻度



(2) 累積風速の風向頻度

図 新潟の非暖房期間の屋外気流性状

# 用途地域の建蔽率と容積率

|       | 用途地域         | 建蔽率(%)      | 容積率(%)                               |
|-------|--------------|-------------|--------------------------------------|
| 住居系地域 | 第一種低層住居専用地域  | 30・40・50・60 | 50・60・80・100・150・200                 |
|       | 第二種低層住居専用地域  |             |                                      |
|       | 第一種中高層住居専用地域 |             | 100・150・200・300                      |
|       | 第二種中高層住居専用地域 |             |                                      |
|       | 第一種住居地域      | 60          | 200・300・400                          |
|       | 第二種住居地域      |             |                                      |
|       | 準住居地域        |             |                                      |
| 商業系地域 | 近隣商業地域       | 80          | 200・300・400・500・600・700・800・900・1000 |
|       | 商業地域         |             |                                      |
| 工業系地域 | 準工業地域        | 60          | 200・300・400                          |
|       | 工業地域         |             |                                      |
|       | 工業専用地域       | 30・40・50・60 |                                      |

図 各用途地域の建蔽率と容積率の上限

# 最大窓面積率の算出フロー

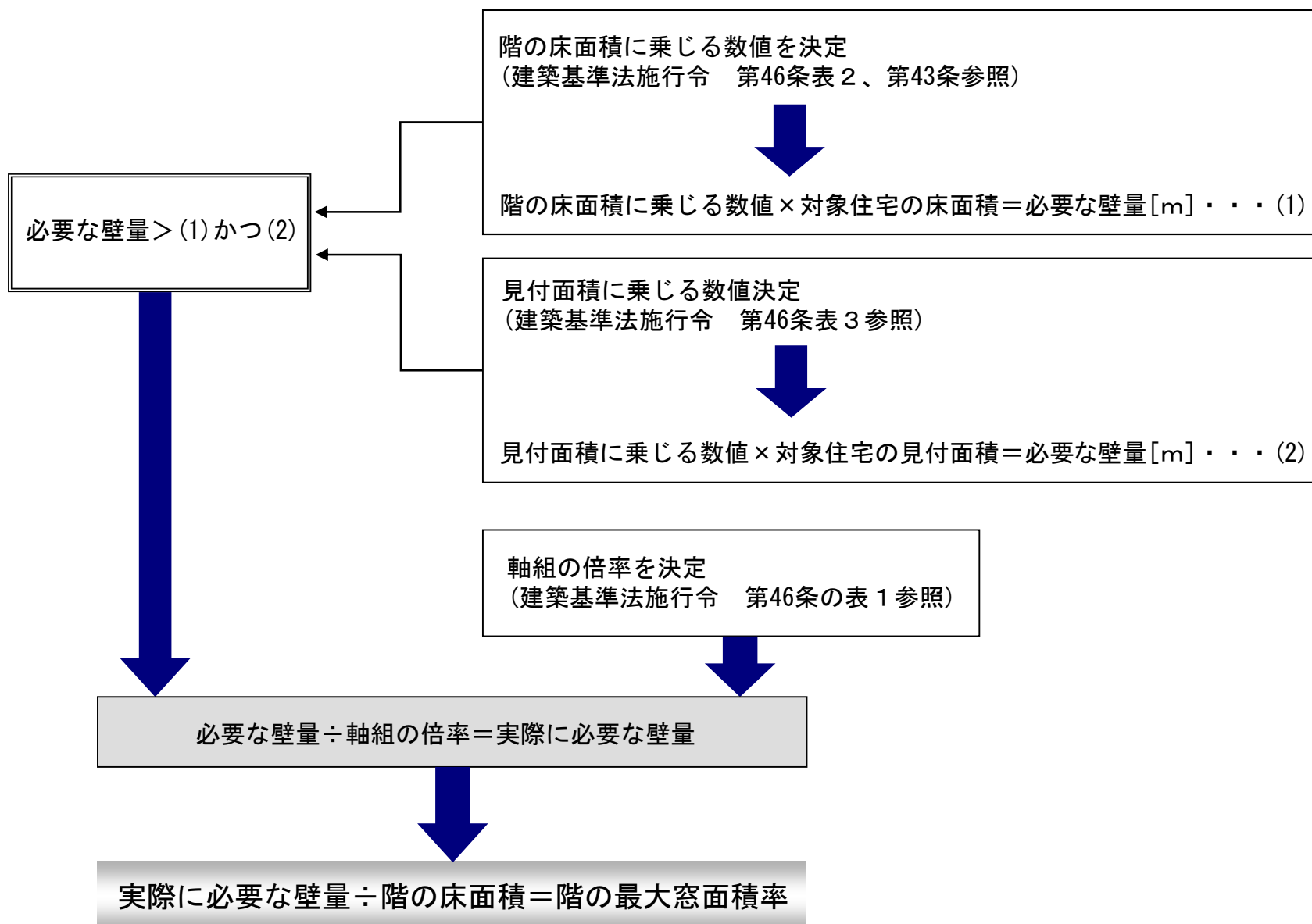


表 単純住宅モデルの最大窓面積率

| 壁倍率 | 最大窓面積率 |      |
|-----|--------|------|
|     | 1F     | 2F   |
| 1   | 41%    | 91%  |
| 2   | 93%    | 123% |
| 5   | 124%   | 141% |

※壁倍率を考慮しない場合の最大窓面積率は246%