

博 士 論 文

住宅の通風性能の簡易評価手法に関する研究

2 0 1 5 年 2 月

新潟大学大学院 自然科学研究科  
環境科学専攻 社会基盤・建築学コース（建築系）

有波 裕貴

指導教官 赤林伸一教授



## 目次

## 序編

## 第1章 研究目的

0.1.1 研究目的	3
0.1.2 本論文の構成	5

## 第2章 通風性能評価指標

0.2.1 通風性能の評価指標	9
0.2.1.1 地域指標	10
0.2.1.2 立地指標	11
0.2.1.3 建物指標	12
0.2.2 屋外通風デグリアワー (CVDH0) の概要	
0.2.2.1 通風デグリアワーの解析フロー	13
0.2.2.2 気象データ	14
0.2.2.3 通風デグリアワーの解析条件	15
0.2.2.4 非暖房期間の定義	16
0.2.3 室内通風デグリアワー (CVDHI) の概要	
0.2.3.1 室内通風デグリアワー (CVDHI) の解析フロー	17
0.2.3.2 室内通風デグリアワー (CVDHI) の概要	18
0.2.3.3 CVDHI 算出結果例	18
0.2.4 室温の算出	
0.2.4.1 実換気回数と設定換気回数による 室温の算出方法	20
0.2.5 有効窓面積率の算出	
0.2.5.1 有効窓面積率の算出方法	21
0.2.5.2 有効窓面積率の定義	22

## 第3章 数値流体解析 (CFD 解析) の手法

0.3.1 数値流体解析 (CFD) の目的	31
0.3.2 数値流体解析の概要	
0.3.2.1 基礎方程式	32
0.3.2.1.1 N - S 方程式と平均操作	32
0.3.2.1.2 方程式の無次元化	34
0.3.2.2 コントロールボリューム法	35
0.3.2.3 移流項の差分スキーム	36
0.3.2.3.1 移流項の差分スキームの誤差	36

0.3.2.3.2	中心差分スキーム	38
0.3.2.3.3	風上差分スキーム	39
(1)	1次精度風上差分	39
(2)	QUICK(Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics)	39
(3)	ハイブリッド及び最適化風上差分スキーム	39
0.3.2.4	乱流のモデル化	40
0.3.2.4.1	乱流モデルにおけるエネルギー散逸機構 とマイクロスケール	40
0.3.2.4.2	乱流モデル導入の必要性	41
0.3.2.5	レイノルズ方程式に基づく乱流モデル	42
0.3.2.5.1	k の輸送方程式	43
0.3.2.5.2	k- $\epsilon$ 型 2 次方程式モデル (浮力を伴わない場合(等温))	46
0.3.2.5.3	k- $\epsilon$ 型 2 次方程式モデル (浮力を伴う場合(非等温))	49
0.3.3.1	数値解析条件	53
0.3.3.2	各種境界条件	55

#### 第4章 熱負荷計算プログラムの概要

0.4.1	多数室型熱負荷計算プログラム TRANSYS の概要	
0.4.1.1	TRANSYS with IISiBat の特徴	61
0.4.1.2	TYPE56: MULTI-ZONE BUILDING の概要	62
0.4.1.3	数学的記述	63
0.4.1.4	PREBID の概要	90
0.4.2	生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver. 2.0 の概要	
0.4.2.1	SCHEDULE の概要	92
0.4.2.2	生活スケジュールの作成	92
0.4.2.2.1	居住モデル作成の方針	92
0.4.2.2.2	生活者の行動モデル	93
0.4.2.2.3	生活行為に伴う機器使用スケジュール作 成の考え方	98
0.4.2.2.4	家庭用機器使用スケジュール	99
0.4.2.2.5	用途と照明発熱の設定値	104
0.4.2.3	スケジュール発生ソフトウェア	105
0.4.2.3.1	スケジュール発生ソフトウェアの概要	105



0. 4. 2. 3. 2 スケジュール発生アルゴリズム	105
<b>第 1 編 単純住宅モデルを対象とした解析</b>	
<b>第 1 章 解析概要</b>	
1. 1. 1 解析対象モデル及び数値流体解析領域	113
<b>第 2 章 有効換気回数の解析結果</b>	
1. 2. 1 TRNSYS 解析結果	127
1. 2. 2 有効換気回数	127
1. 2. 3 外気温と室温の日変化	130
1. 2. 4 有効換気回数と実換気回数	132
1. 2. 5 主要 11 都市における実換気回数の頻度分布	135
<b>第 3 章 有効窓面積率</b>	
1. 3. 1 換気回数と窓面積率の関係	143
1. 3. 2 有効窓面積率マップ	145
1. 3. 3 有効窓面積率の比較	180
<b>第 4 章 まとめ</b>	183
<b>第 2 編 日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象とした解析</b>	
<b>第 1 章 解析概要</b>	
2. 1. 1 解析対象モデル及び数値流体解析領域	187
2. 1. 2 室内発熱負荷の設定	194
2. 1. 3 室内熱負荷の算出結果	199
<b>第 2 章 有効換気回数の解析結果</b>	
2. 2. 1 TRNSYS による解析結果	202
2. 2. 2 有効換気回数	202
2. 2. 3 有効換気回数と実換気回数	205
<b>第 3 章 有効窓面積率</b>	
2. 3. 1 換気回数と窓面積率の関係	213
2. 3. 2 有効窓面積率マップ	215
2. 3. 3 有効窓面積率の地域比較	221

第4章 解析結果（有効換気回数 10 回 /h の場合）	
2.4.1 有効換気回数の再検討	223
2.4.2 有効窓面積率マップ	224
2.4.3 有効窓面積率の地域比較	230
第5章 まとめ	232
第3編 通風性能簡易評価モデルを対象とした解析	
第1章 実在住宅の通風経路のモデル化	
3.1.1 住宅プランの分類	237
3.1.2 各プランの分類方法	238
第2章 各プランの割合	242
第3章 通風性能簡易評価モデル	243
第4章 建蔽率0%（単体）の場合の解析対象モデル及び 数値流体解析領域	254
第5章 熱負荷解析条件	
3.5.1 気象データ	259
3.5.2 換気回数による通風性能評価	259
第6章 各室の平均室内外温度差	260
第7章 建蔽率0%（単体）の場合の各プランの 有効窓面積率	
3.7.1 窓面積率と換気回数の関係	266
3.7.2 有効窓面積率マップ	270
3.7.3 有効窓面積率の比較	291
3.7.4 単純住宅モデルとの比較	293
第8章 建蔽率10、30、50%の場合の解析対象モデル 及び数値流体解析領域	294

第9章 建蔽率 10、30、50%の場合の各プランの有効窓面積率	
3.9.1 窓面積率と換気回数の関係	303
3.9.2 有効窓面積率マップ	310
3.9.3 有効窓面積率の比較	327
3.9.4 単純住宅モデル及び標準住宅モデルとの比較	333
第10章 有効窓面積率と CVDHIT の関係	338
第11章 まとめ	342
第4編 結論と今後の展望	
第1章 結論	349
第2章 今後の展望	354
<謝辞>	357
<参考文献>	361



序編  
第 1 章 研究目的



### 0.1.1 研究目的

我が国の最終エネルギー消費では民生部門の増加率が約1.9倍と高く(1974年比)、全体の約34%を占めている(2012年:エネルギー白書2014)。民生部門の内訳では家庭部門が約42%、業務部門が58%であり、家庭部門におけるエネルギー消費は室内の快適性の追求や新たな家電製品の普及により、今後、更に増加すると考えられる。住宅などでは自然エネルギー(再生可能エネルギー)を有効に利用し、室内快適性等を向上させる居住環境調整手法の開発、評価が望まれている。我が国では古来より外部風により窓等の開口部に生じる風圧力差を換気駆動力とした自然換気・通風が中間季・夏季を通じて住宅の室内温熱環境改善手法として用いられてきた。通風の積極的利用は冷房使用頻度を低下させ、冷房用エネルギーの削減が見込まれるため、自然エネルギーの有効利用方法の一つとして更なる積極的な利用が望まれている。

建築環境工学における自然換気・通風は古くから研究されている分野の1つに挙げられる。住宅の自然換気は、外部風により外壁面に生じる風圧力差を換気駆動力とした自然通風と住宅の室内外温度差による空気の密度差から生じる浮力を駆動力とした温度差換気の二種類が存在する。建築物の通風性能を定量的に評価するためには、これら外部風、室内外温度差に基いて生じる室内気流速度分布等の気流構造をCFD(Computational Fluid Dynamics: 数値流体解析)等の手法により明らかにする必要がある。比較的静的な空気流動メカニズムである室内外温度差のみによる室内気流性状の変化は、比較的容易に明らかにすることが可能である。一方、外部風による住宅の通風性状は、地域条件(地域の気候、気象等)、立地条件(対象建物周辺の街区状況、隣棟間隔、建蔽率、地形等)、建物形状(平面計画)、開口条件(位置、高さ、大きさ)等に大きく影響され、住宅の通風性能を定量的に評価するためには、同一の住宅が寒冷地から温暖地へ、内陸部から沿岸部へ移動することによる通風性能の変化や、建蔽率や開口条件などが通風性能に及ぼす変化等を総合的に評価する必要がある。既往の研究では、室内通風デグリアワー(CVDHI: Cross Ventilation Degree Hour of Inside Area)による評価手法を用いて個々の住宅の通風性能を定量的に評価することが可能であることを報告している。しかし、この手法は建物モデル毎に数値流体解析と年間の熱負荷計算を行い、3パターンの標準新有効温度(SET\*)から室内通風デグリアワーを積算し、評価を行う必要があり、そのための計算量が膨大なため通風性能を実用的に評価することは困難である。

通風による室内環境改善効果には、通風による排熱効果( $CVDHI_B$ )と室内気流速度による体感温度の低下効果( $CVDHI_P$ )がある。既往の研究によれば、日射による窓面の日射熱取得や壁面・屋根の貫流熱、室内発熱などに対する通風による排熱効果( $CVDHI_B$ )の割合がCVDHI全体( $CVDHI_T$ )の約98%を占め、極めて大きい。そのため自然通風を効果的に利用するためには、通風による排熱効果( $CVDHI_B$ )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。

以上のように、住宅の通風性能は、住宅の間取りや開口条件以外に地域の風向、風速、建蔽率などの住宅周辺の条件等により大きく異なり、定量的に評価することが極めて困難である。しかし、風通しや陽当たりの良さは住宅の性能として重要であり、このため特に通風性

能を簡易・定量的に評価することは必要不可欠な課題となっている。

本研究では、まず、単純住宅モデル及び日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象として、換気回数と室温の関係を解析し、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）、及び有効換気回数と実換気回数の関係を検討し、換気回数等と通風性能の関係を明らかにする。続いて、連続した住宅団地（建蔽率0%（単体）、10%、30%、50%）を対象とし、戸建住宅モデルの建蔽率と窓面積率（窓面積／床面積）をパラメータとして実換気回数を算出する。有効換気回数を満たすような窓面積率（有効窓面積率）を検討し、戸建住宅の窓面積率と換気回数の関係から排熱による通風効果を明らかにする。

次に、実在の戸建住宅の平面計画を通風経路に着目して類型化を行い、外壁の開口条件と内壁の間仕切り壁による室同士の繋がり方を考察することで、通風性能をより簡易に評価する通風性能簡易評価モデルを作成する。通風経路に着目してモデル化を行った通風性能簡易評価モデルを対象として解析を行い、窓面積率（床面積に対する開口部の面積）を変化させて実換気回数を算出する。十分な室温低下効果を得るために必要な換気回数（有効換気回数）を満たす最小の窓面積率（有効窓面積率）を検討し、開口条件と通風性能の関係を明らかにする。又、外部風向が変化する場合における通風量の変化による各室の室温の相違を比較・検討し、室温と通風量の関係を明らかにする。その上で建蔽率を変化させて解析を行い、全国842地域を対象に有効窓面積率を算出し、地域（地域指標）、建蔽率（立地指標）、平面計画（建物性能指標）の関係に基づいて比較することで、戸建住宅における通風性能の簡易・定量的な評価手法を開発することを目的とする。加えて、詳細かつ定量的な通風性能評価手法の一つである室内通風デグリアワーと有効窓面積率の関係を解析し、簡易的な通風性能評価指標としての有効窓面積率の妥当性の検証を行う。



## 0.1.2 本論文の構成

本論文は序編及び第1編から第3篇によって構成されている。

序編第1章は『研究目的』

序編第2章は『通風性能評価指標』

序編第3章は『数値流体解析（CFD 解析）の手法』

序編第4章は『熱負荷計算プログラムの概要』

第1編は『単純住宅モデルを対象とした解析』

第2編は『日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象とした解析』

第3編は『通風性能簡易評価モデルを対象とした解析』

第4編は『結論と今後の展望』

序編第1章では、本論文の研究目的を示す。

序編第2章では、本論文で用いる通風性能評価指標の概要について示す。

序編第3章では、本論文の気流解析を行う際に用いる数値流体解析（CFD）の手法と乱流モデル、各種境界条件について示す。

序編第4章では、第5編以降で用いる多数室型熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS の手法と生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE の概要について示す。

第1編では、建蔽率0%（単体）の場合において、各階1室で構成された二階建ての単純住宅モデルを対象として、日本全国の気象条件から換気回数と室温の関係を解析する。更に、グロス建蔽率0%、10%、30%、50%を対象に、窓面積と換気回数の関係に関する解析を行い、全国842地域の有効窓面積率の算出を行う。

第2編では、建蔽率0%（単体）の場合において、日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象として、室内発熱負荷を考慮した熱負荷計算を行い、換気回数と室温の関係を解析する。更に、グロス建蔽率0%、10%、30%、50%を対象に、窓面積率と換気回数の関係に関する解析を行い、全国842地域の有効窓面積率の算出を行う。

第3編では、実在の戸建住宅の平面計画を対象として通風経路によりモデル化を行い作成した通風性能簡易評価モデルについて示す。通風性能簡易評価モデルを対象に、建蔽率0%（単体）の場合において、各室の室温及び全国842都市における有効窓面積率を示す。更に、通風性能簡易評価モデルを対象に、グロス建蔽率0%、10%、30%、50%を対象に、全国842地域における有効窓面積率を示す。最後に通風デグリアワーと有効窓面積率の関係を解析し、有効窓面積率の通風性能評価指標としての妥当性の確認を行う。

第4編では、第1篇から第3編の解析結果から、戸建住宅を対象とした通風性能の簡易・定量的評価を提案し、今後の展望を述べる。



序編

## 第 2 章 通風性能評価指標



## 0.2.1 通風性能の評価指標

図0.2.1.1に総合通風性能評価指標の概念を示す。室内の気流分布に特に影響が大きいと思われる要素は、地域による気象条件の影響（既往の研究ではこれを「①地域指標」と定義）、建物の周囲状況の影響（「②立地指標」と定義）、建物の形状・窓の配置等の違いによる影響（「③建物性能指標」と定義）の3要素と考えられる。本論文では、この3つの指標を使用して既往の研究<sup>参考文献 29)</sup>で提案された総合的通風性能評価指標を評価尺度とする。

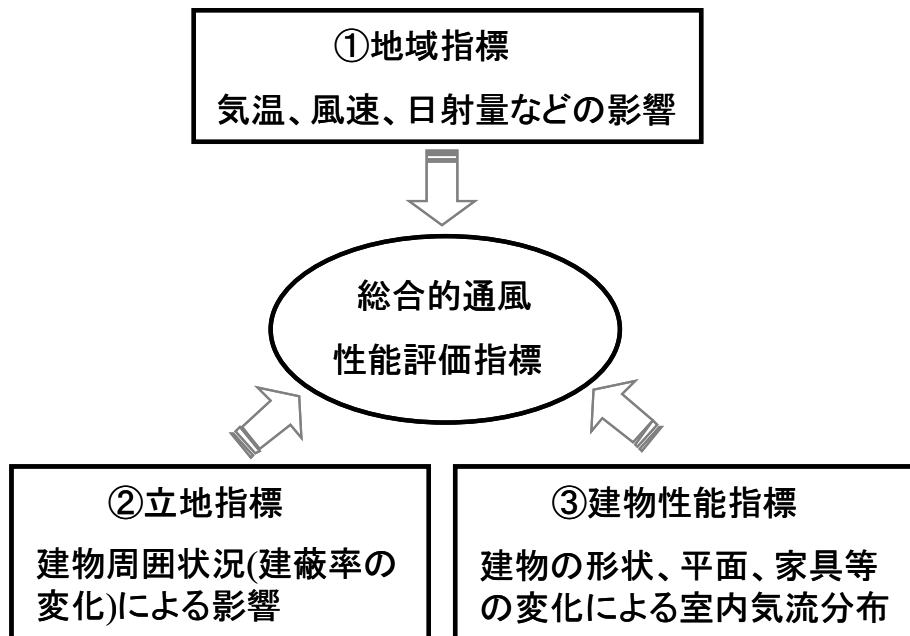


図0.2.1.1 総合通風性能評価指標の概念

## 0.2.1.1 地域指標

住宅を建設する上で、その建設する地域は、住宅の通風性能に大きな影響を与えると考えられる。地域の違いにより、気温、湿度、日射、風向、風速など様々な気象条件が異なってくる。そのため、地域の気象条件を考慮し、通風性能に配慮した住宅は省エネルギー、健康など様々なメリットがあると考えられる。

図 0.2.1.2 に地域指標の概念を示す。人体が外界条件から受ける影響の地域的な相違を温熱環境評価尺度により評価する。人体の上方には仮想屋根（完全黒体：長波長吸収率=1、短波長吸収率=1）があると仮定し、直接、日射の影響は受けないと仮定する。また、人体周囲には壁は無いものと想定し、人体は外部風速の影響を直接受けるものとする。

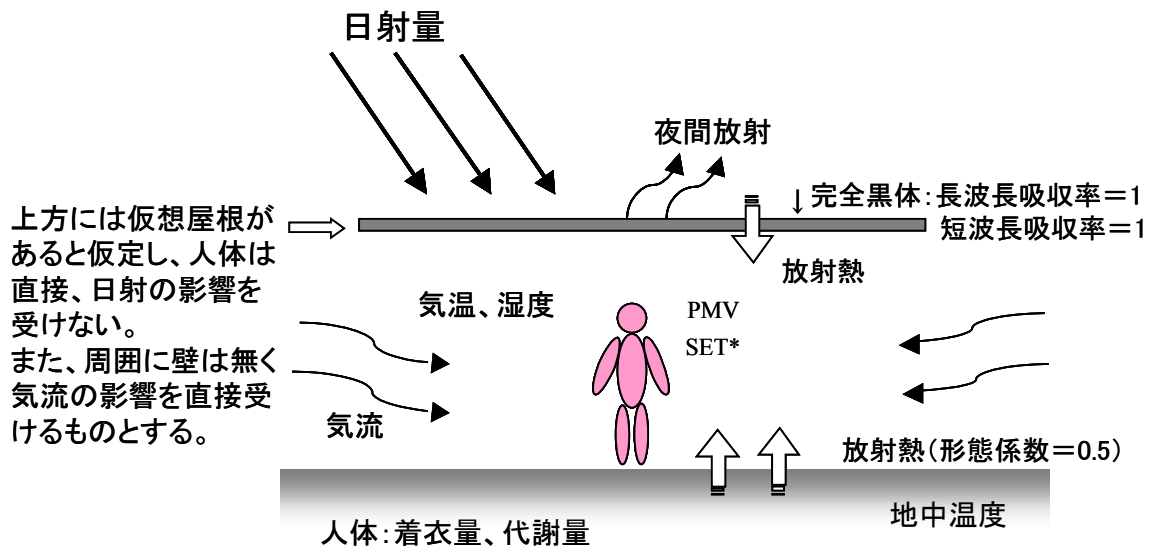


図 0.2.1.2 人体が外界条件から受ける影響

### 0.2.1.2 立地指標

住宅の通風性能は周辺の建物の影響を大きく受けると考えられる。図0.2.1.3に単純住宅モデルを例にした建蔽率変化による気流分布の違いを示す。建蔽率の違いにより、風上側壁面の剥離流や室内気流分布性状に大きな違いが見られる。周囲に建物がない場合、住宅の開口部を開放すれば、通風の効果を最大限に得られる。

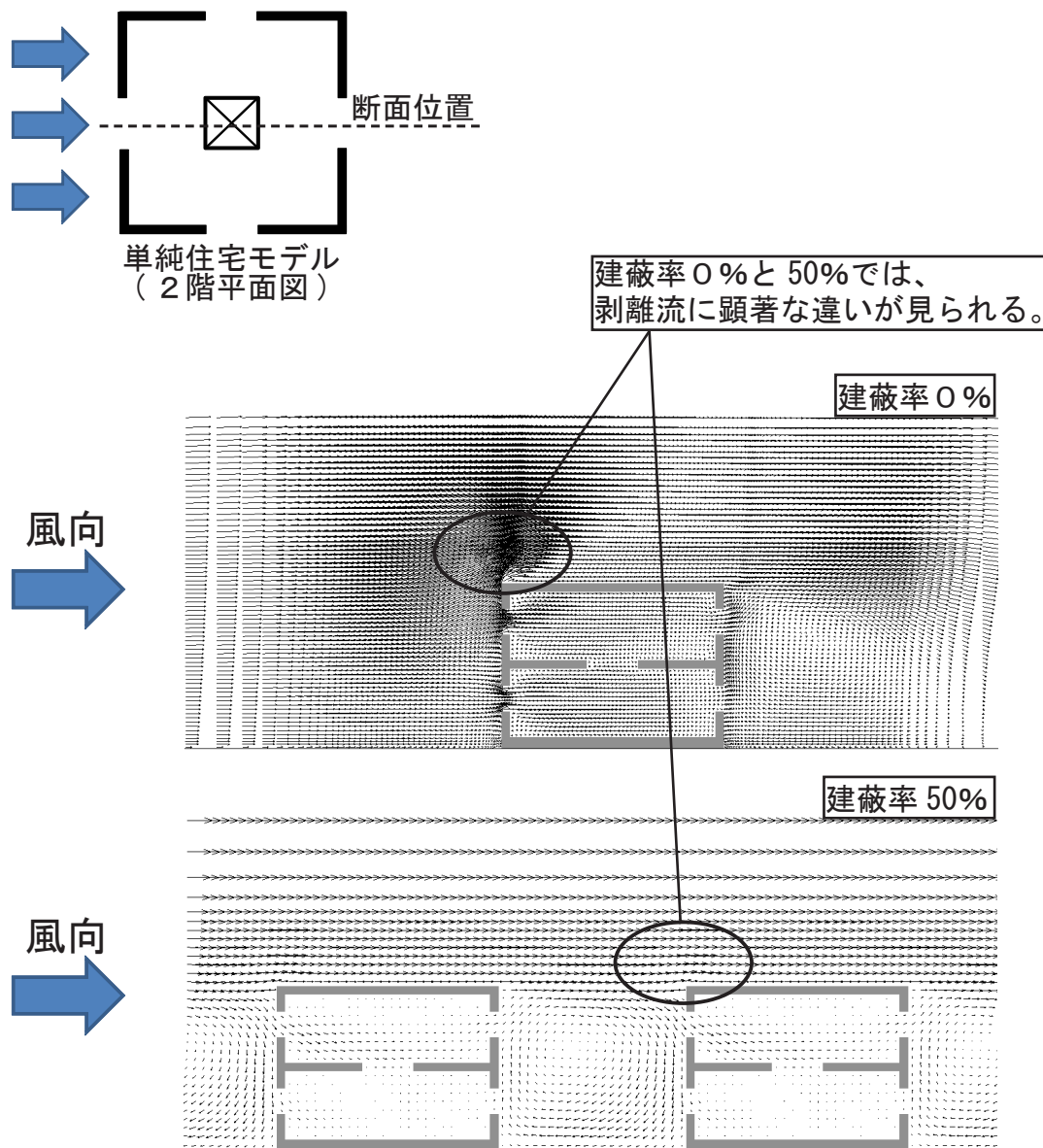


図0.2.1.3 建蔽率0%と50%による気流分布の違い

### 0.2.1.3 建物性能指標

住宅の形状、窓や家具等の配置の違い、シェルター性能等は、通風性能に大きな影響を与えると考えられる。その地域の気象条件や周辺建物の影響を考慮し、通風の効果を最大限にあげるためには建物の性能に十分配慮する必要がある。そのため、本論文では各解析対象モデルにおいて16風向のCFD解析を行い、建物性能を評価する尺度として、後述する有効窓面積率を用いて評価を行う。

### 0.2.2 屋外通風デグリアワー（CVDH0）の概要

#### 0.2.2.1 屋外通風デグリアワーの解析フロー

屋外通風デグリアワー（以下 CVDH0 と記述）の概要を示す。図 0.2.2.1 に CVDH0 の解析フローを、図 0.2.2.2 に通風デグリアワー（CVDH0）の概念を示す。SET\* を算出する際の風速値は、人体周辺の熱対流を考慮し、最小風速を 0.3m/s、最大風速を 3.0m/s とする。CVDH0 は基準最小風速(0.3m/s)時の SET\*(1) の時間変化を計算し、快適範囲の上限である SET\* が 26℃を超えている時間を対象に、各地域の実風速データによる SET\*(2) と比較し、下限値の SET\* を 23℃として時間数に SET\* 差 (SET\*(1) - SET\*(2)) を乗じて算出する。すなわち、CVDH0 はそれぞれの地域において、気流のみの影響により、SET\* が 26℃を超えている時間に、人体の体感温度をどの程度低下させるかを示す指標である。

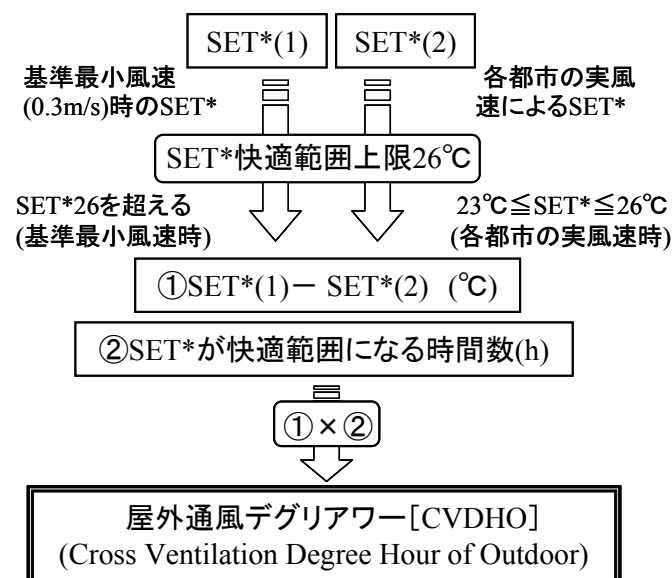


図 0.2.2.1 通風デグリアワー（CVDH0）の解析フロー



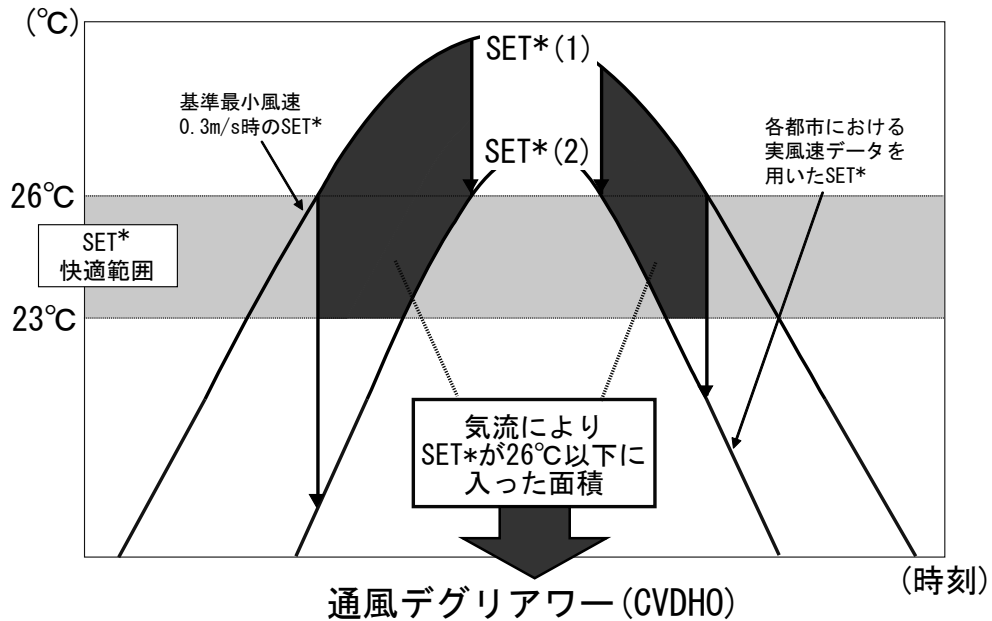


図 0.2.2.2 通風デグリアワー (CVDH0) の概念

#### 0.2.2.2 気象データ

気象データは日本建築学会拡張アメダス気象データを使用する。また、データ抽出の年度は標準年とし、全国 842 地点を対象に解析を行った。

CVDH0 算出に使用したデータは以下の通りである。

- ①気温 (°C)
- ②絶対湿度 (mmHg)
- ③風速 (m/s)
- ④代謝量 (50kcal/ m<sup>2</sup> h →一定)
- ⑤着衣量 (clo)
- ⑥日射量 (kcal/ m<sup>2</sup> h)
- ⑦夜間放射量 (kcal/ m<sup>2</sup> h)
- ⑧長波長吸収率
- ⑨短波長吸収率
- ⑩地中温度 (°C)

注) 日本建築学会拡張アメダス気象データに収録のプログラムにより算出

- ⑪相対湿度 (%)
- ⑫ MRT

### 0.2.2.3 屋外通風デグリアワーの解析条件

表 0.2.2.1 に CVDH0 の解析条件を示す。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）を使用する。基準風速は風速 0.3m/s を基準最低風速とし、風速 3.0m/s を基準最大風速と定義されている。つまり、風速 0.3m/s 未満の風速は風速 0.3m/s とし、風速 3.0m/s を超える風速は風速 3.0m/s である。

仮想屋根は完全黒体とし、長波長吸収率、短波長吸収率を 1.0 と仮定する。地表面温度は拡張アメダス気象データに収録されているプログラムより算出したデータを用い、形態係数は屋根面 0.5、床面 0.5 と仮定する。

着衣量は夏季期間 7～9 月を 0.5clo、冬季期間 12～2 月を 1.0clo、中間期 3～6 月、10 月、11 月を 0.75clo とする。

表 0.2.2.1 屋外通風デグリアワーの解析条件

気象データ	拡張アメダス気象データ (気温、風速、湿度等)
基準風速	0.3m/s(最小)、3.0m/s(最大)
仮想屋根	完全黒体 長波・短波長吸収率=1
着衣量	0.5clo(7～9月)
	1.0clo(12～2月)
	0.75clo(3～6、10、11月)
代謝量	1Met
形態係数	屋根0.5、地面0.5
非暖房期間	日平均気温:18℃以上
非就寝時	6～23時

#### 0.2.2.4 非暖房期間の定義

図 0.2.2.4 に非暖房期間の定義を示す。CVDH0 の算出は非暖房期間の非就寝時を対象とする。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。非就寝時は、6 時 00 分から 23 時 59 分と定義する。

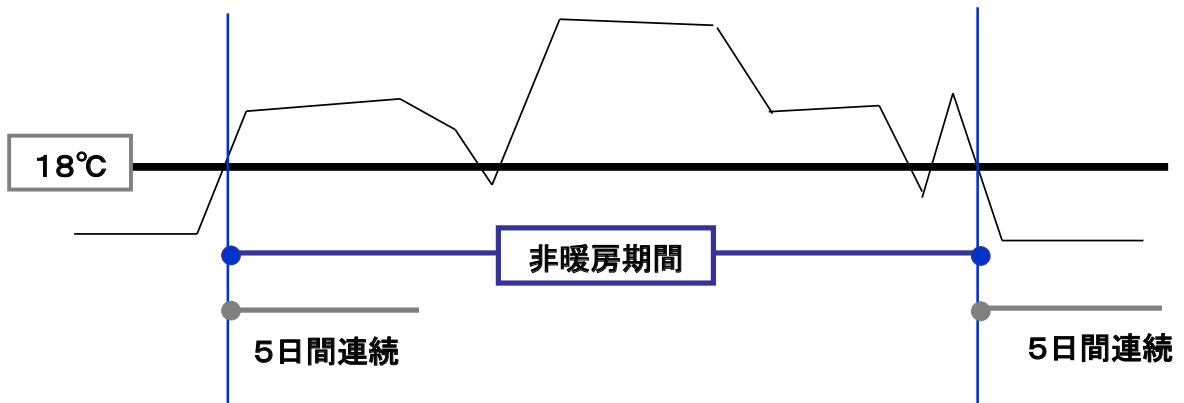


図 0.2.2.4 非暖房期間の定義

### 0.2.3 室内通風デグリアワー（CVDHI）の概要

#### 0.2.3.1 室内通風デグリアワー（CVDHI）の解析フロー

図 0.2.3.1 に CVDHI の解析フローを示す。CVDHI では、まず対象モデルの室内外気流分布を明らかにするため数値流体解析（CFD 解析）を行い、対象モデル 16 風向の気流分布を算出する。その結果から、対象都市の風向、風速から換気量を算定し、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により、対象建物の室温、MRT、相対湿度を算出する。これらの数値シミュレーションから非暖房期間において窓を開放した場合と閉鎖した場合の SET\* を算出し、CVDHI を算出する。

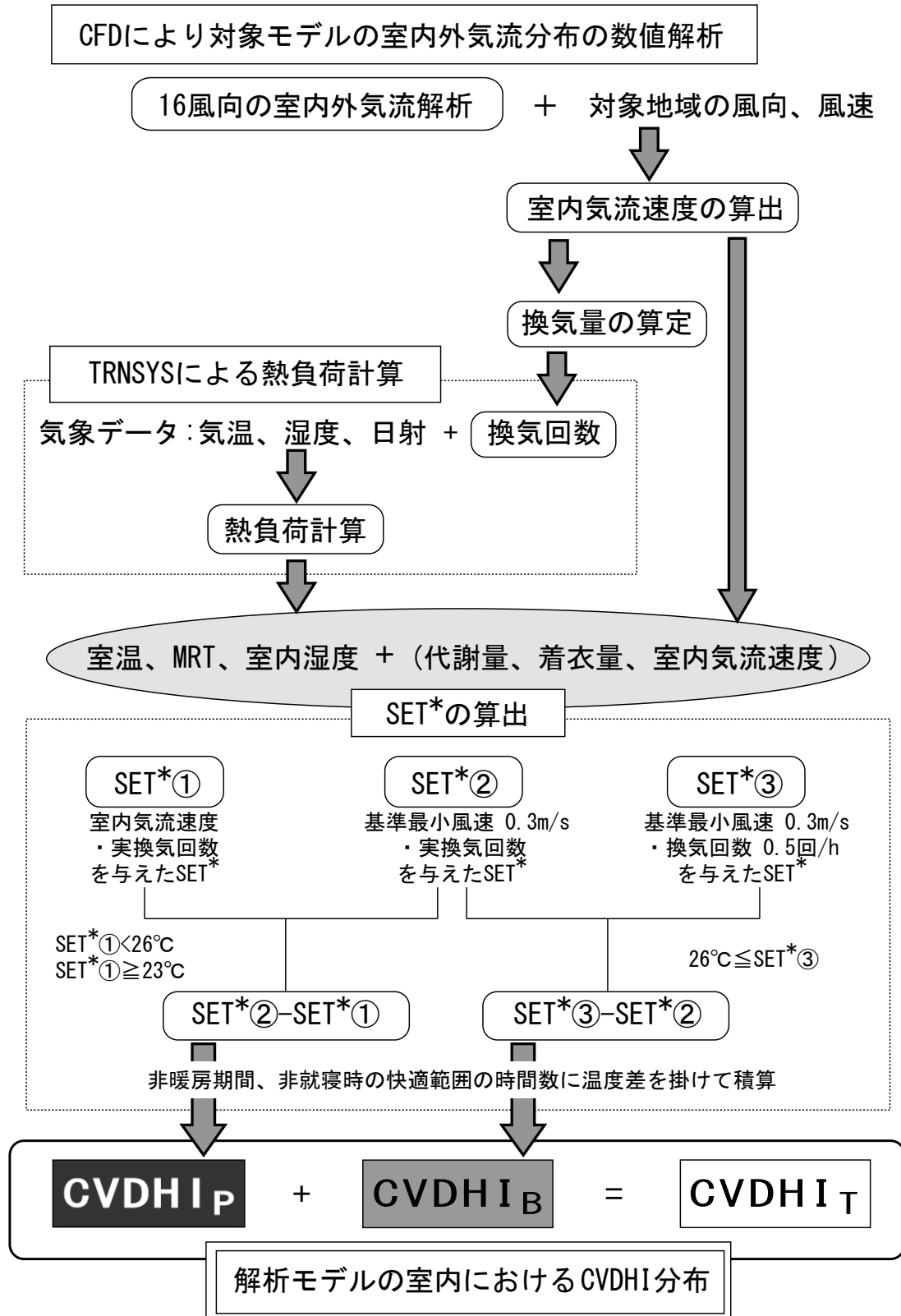


図 0.2.3.1 CVDHI の解析フロー

### 0.2.3.2 室内通風デグリアワー（CVDHI）の概要

図 0.2.3.2 に CVDHI の概念を示す。熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により算出された、窓閉鎖時（換気回数 0.5 回/h）と、窓開放時（実換気回数を時系列で 1 時間毎に入力）の室温、MRT、湿度から SET\* ①（窓開放、実風速時）、SET\* ②（窓開放、基準最小風速 0.3m/s 時）、SET\* ③（窓閉鎖、基準最小風速 0.3m/s 時）を非暖房期間・非就寝時（各地域において非暖房期間は異なるため、CVDHI の総算出時間には地域分布が存在する）で各室内解析領域メッシュ毎に算出する。

#### (1) CVDHI<sub>p</sub>

まず窓閉鎖時の SET\* ③の時刻変化を計算し、次に快適範囲の上限である SET\* が 26℃を超えている時刻を対象に、窓開放時の実風速データによる SET\* ①と比較し、SET\* ①が 26℃を下回る範囲を抽出する。快適範囲の下限値の SET\* を 23℃として、窓開放（算出された換気回数を与える）、基準最小風速 (0.3m/s) 時の SET\* ②を計算し、SET\* ②と SET\* ①との差を非暖房期間・非就寝時で積算した値 (1 時間毎) を CVDHI<sub>p</sub> と定義する。CVDHI<sub>p</sub> は通風により生じる室内気流による体感温度低下の効果を示す指標である。

#### (2) CVDHI<sub>B</sub>

また、SET\* ③と SET\* ②との差を非暖房期間・非就寝時で積算した値を CVDHI<sub>B</sub> と定義する。CVDHI<sub>B</sub> は通風による換気回数の増大による室温低下の効果を示す指標である。

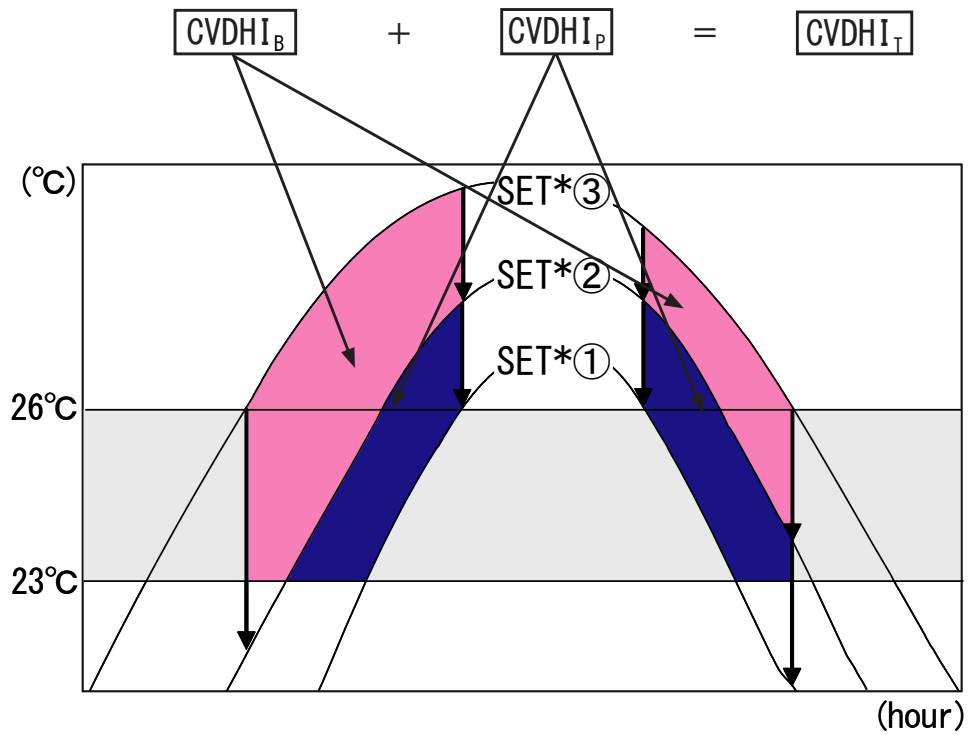
尚、TRNSYS における室温、相対湿度、MRT の解析結果では、各室の平均値が算出されるため、各時間における CVDHI<sub>B</sub> の値は各室で一定となる。しかし、CVDHI<sub>B</sub> を積算する際は SET\* ①が快適範囲に入る時間で加算されるため、通風時に通気輪道などが発達する領域では、SET\* ①が快適範囲に入る時間が相対的に長くなり、当該メッシュにおける CVDHI<sub>B</sub> が相対的に多く加算されることで室内に空間分布が生じる。

#### (3) CVDHI<sub>T</sub>

CVDHI<sub>p</sub> と CVDHI<sub>B</sub> とを足し合わせたものを CVDHI<sub>T</sub> と定義し、通風によって得られる体感温度の低下効果を含む室温の低下効果を示す指標である。

### 0.2.3.3 CVDHI 算出結果例

図 0.2.3.3 に主要 11 都市の平均 CVDHI (case1-4) を示す。CVDHI<sub>p</sub> が CVDHI<sub>T</sub> に占める割合は約 2 % 程度であり、CVDHI<sub>B</sub> が CVDHI<sub>T</sub> に占める割合は極めて大きい。つまり、自然通風による室内温熱環境改善効果では、可感気流を与え、体感温度を低下させる効果よりも、換気によって排熱し、室温低下の効果が極めて大きい。



SET\* ①：窓開放（算出された換気回数を与える），算出された室内気流速度  
 SET\* ②：窓開放（算出された換気回数を与える），基準最小風速 0.3m/s 時  
 SET\* ③：窓閉鎖（換気回数 0.5 回 / h を与える），基準最小風速 0.3m/s 時  
 CVDHI：SET\* ③が 26℃以上，SET\* ①が 26℃以下のとき 23℃までを積算

図 0.2.3.2 CVDHI の概念

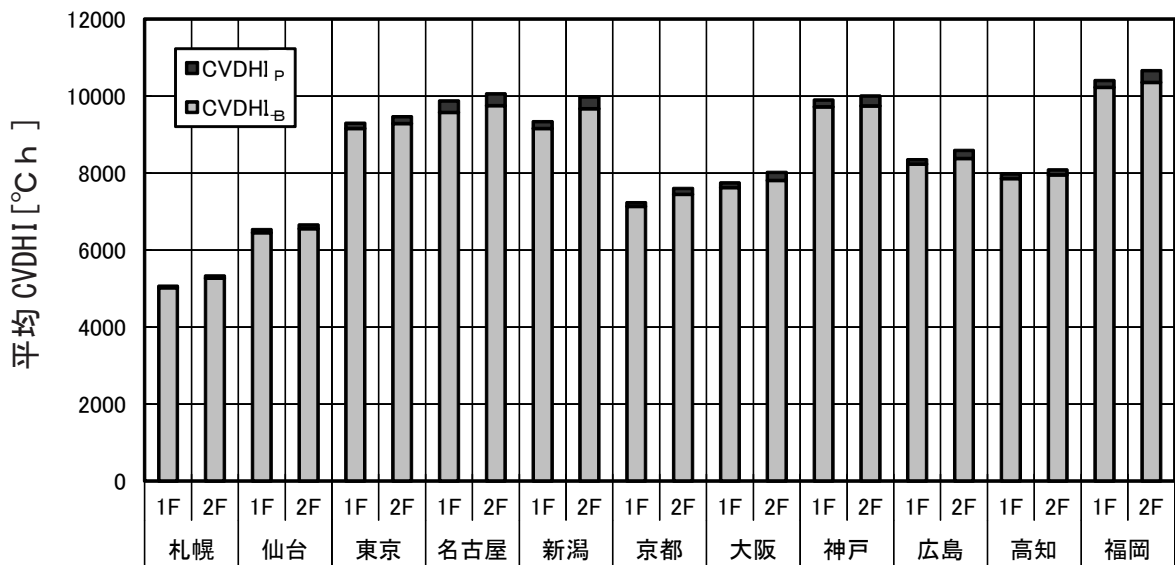


図 0.2.3.3 主要 11 都市の平均 CVDHI (case1-4)

## 0.2.4 室温の算出方法

## 0.2.4.1 実換気回数と設定換気回数による室温の算出方法

図0.2.4.1に室温算出の解析フローを示す。設定換気回数の場合は、室温の算出に熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS を用いる。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、計算時には気象データの気温、相対湿度、日射に加えて換気回数を設定し、対象住宅モデルの室温を算出する。算出した値を比較、考察することで、室温が外気温とほぼ等しくなるために必要な最小の換気回数（有効換気回数）を検討する。

実換気回数の場合は、室内外気流分布の解析は標準  $k-\epsilon$  モデルを用いた数値流体解析 (CFD2000) により行う。CFD により 16 風向別の開口部風速比を求め、窓面の風速比から換気量を算出し、基準風速（基準高さ 6.5 m 地点で風速 1 m/s の時）での換気回数を求める。基準風速時の換気回数と各都市の風向・風速から実換気回数を算出する。算出した実換気回数と気象データを用い、TRNSYS により室温を算出する。

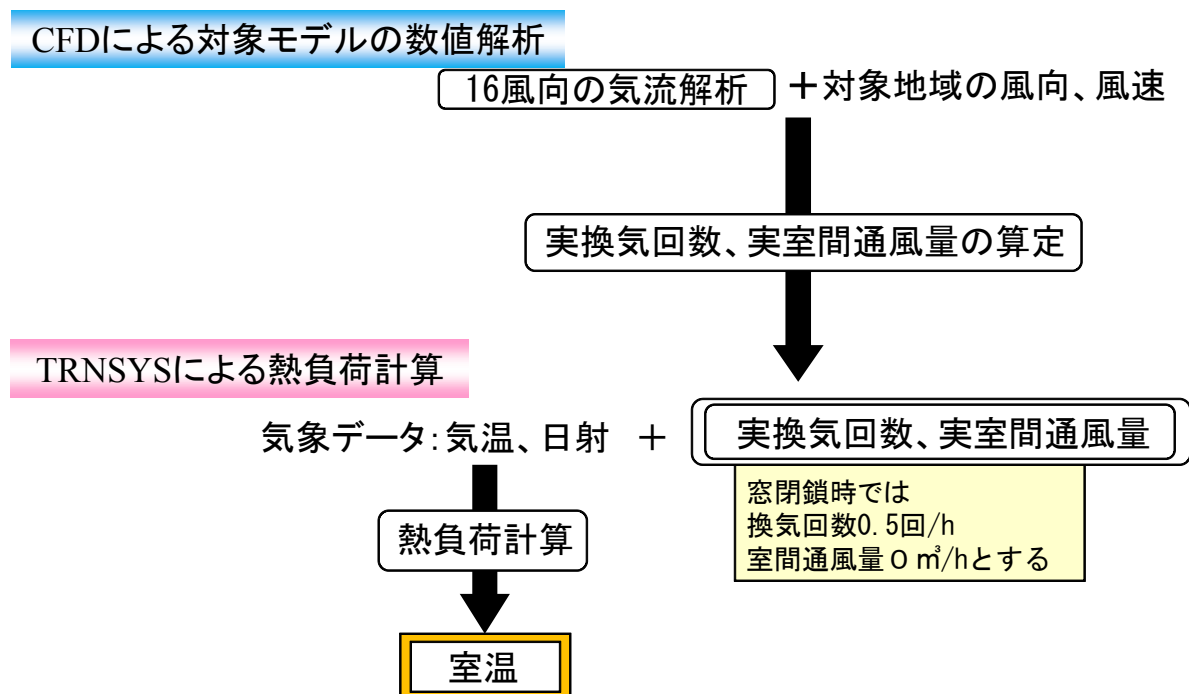


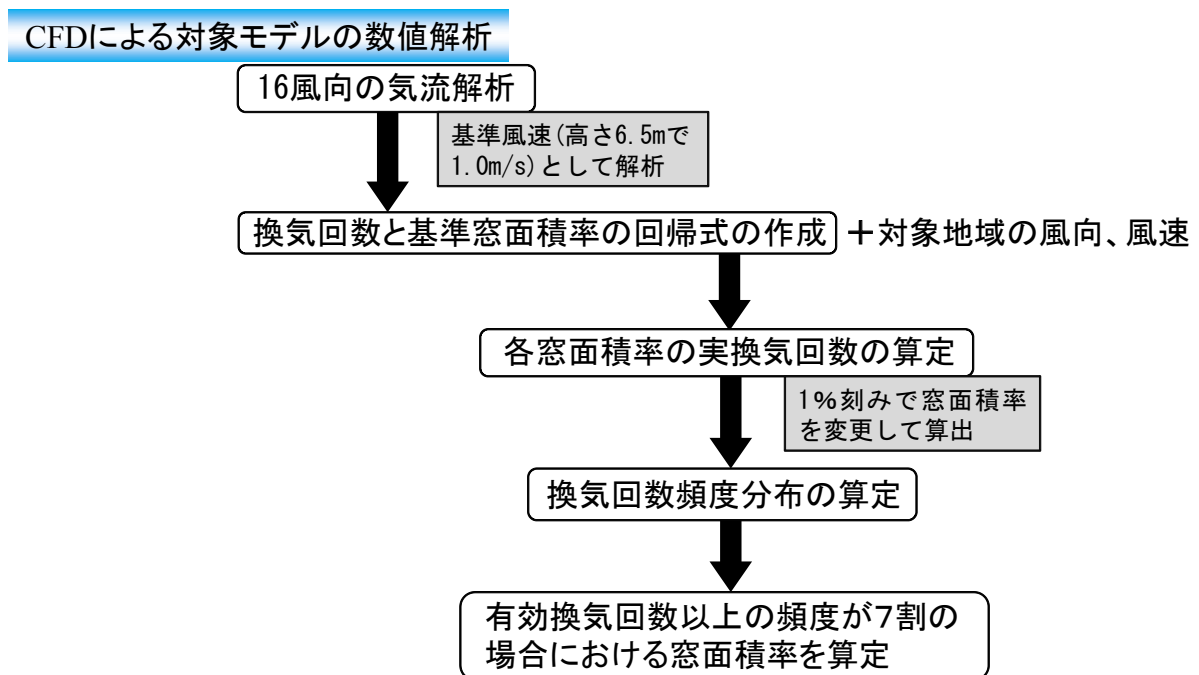
図 0.2.4.1 室温算出の解析フロー



## 0.2.5 有効窓面積率の算出

## 0.2.5.1 有効窓面積率の算出方法

図0.2.5.1に有効窓面積率の解析フローを示す。基準風速（基準高さ6.5m地点で風速1.0m/sの時）での換気回数を算出する方法は0.2.4.1と同様である。算出した基準風速での換気回数と基準窓面積率<sup>※1</sup>から回帰式を求め、求めた回帰式の窓面積率を1%刻みで変化させて、各風向における各窓面積率の換気回数を算出する。算出した換気回数から、各地域の風向風速により実換気回数を算出する。各地域の実換気回数における非暖房期間全体に対する相対頻度と累積頻度を求める。



※ 有効換気回数：で十分な室温低下が得られると考えられる換気回数

図0.2.5.1 有効窓面積率算出の解析フロー

※窓面積率：(窓面積 / 床面積)

### 0.2.5.2 有効窓面積率の定義

図 0.2.5.2 換気回数と窓面積率のグラフ例を示す。換気回数は建物の窓面積率に応じて線形に増加する。但し、換気駆動力となる外部風が無風状態では、換気回数と窓面積率が比例しないため、どれほど窓面積を増加させても自然通風による排熱効果によって室内環境改善効果を得ることはできない。従って、全国 842 地域における非暖房期間の無風の相対頻度を考慮して有効窓面積率を検討する必要がある。

図 0.2.5.3 に非暖房期間における全国の無風の頻度分布を、図 0.2.5.4 ～図 0.2.5.14 に 11 都市の風向頻度分布を示す。各地域の非暖房期間における無風の相対頻度（無風時間 / 非暖房期間）は 1 割から 2 割までが最も高く、無風の相対頻度が 2 割以下においては、全国 842 地域に対する各都市の累積頻度は 70% 程度、3 割以下においては、累積頻度は 80% を超えている。

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自然通風時の有効換気回数以上の相対頻度が 7 割以上の時に、自然通風による排熱効果によって室内環境改善効果を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。有効窓面積率の低い地域は自然通風によって室温が外気温とほぼ等しくなる効果が大きい地域である。

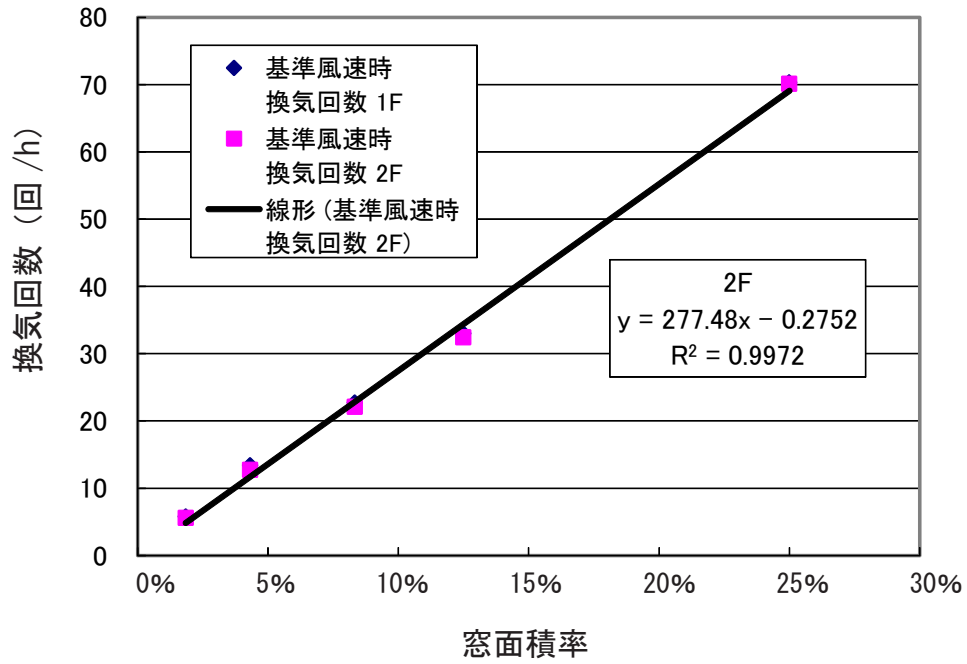


図 0.2.5.2 換気回数と窓面積率のグラフ例

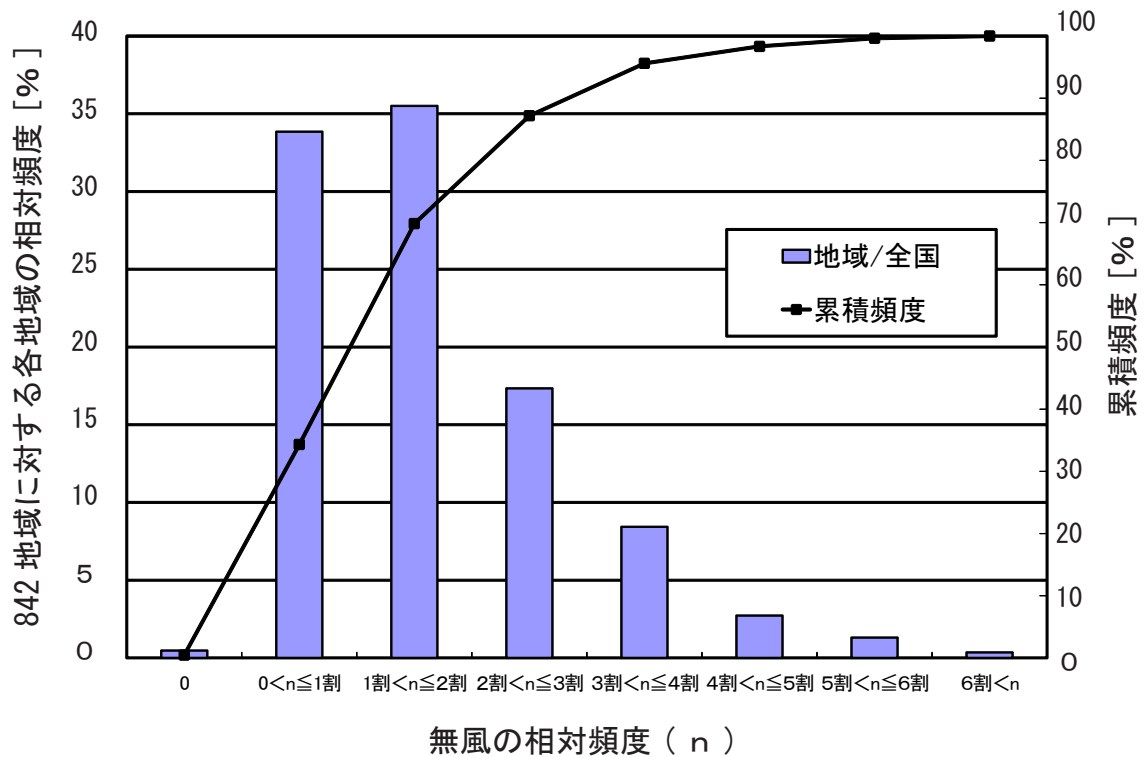


図 0.2.5.3 非暖房期間における全国の無風時間の頻度分布

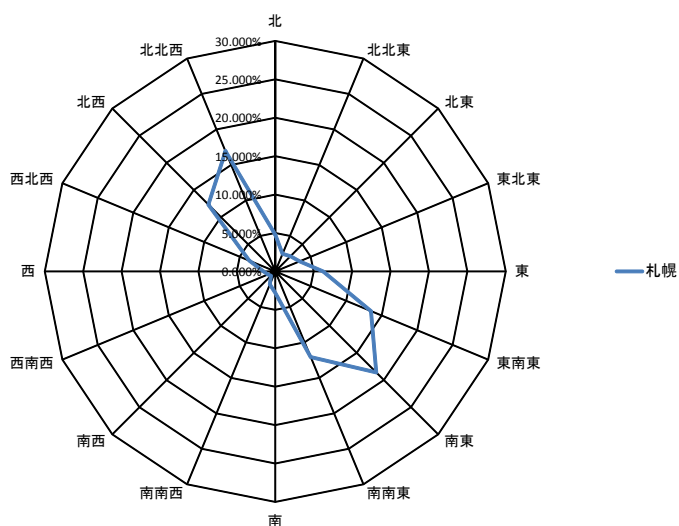


図 0.2.5.4 風向頻度分布（札幌）

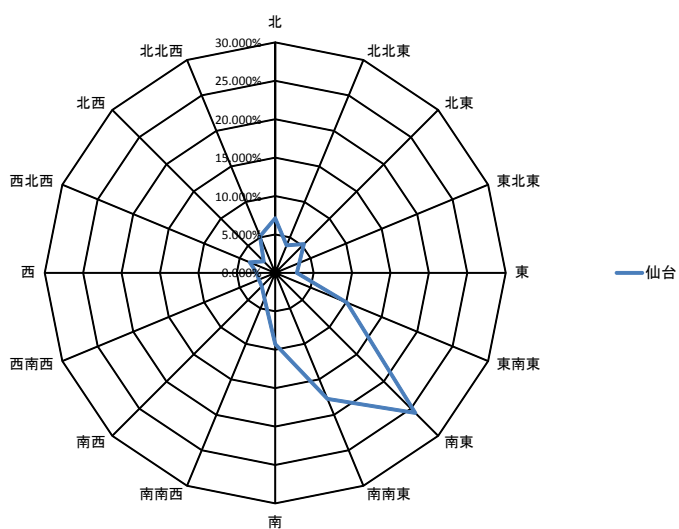


図 0.2.5.5 風向頻度分布（仙台）

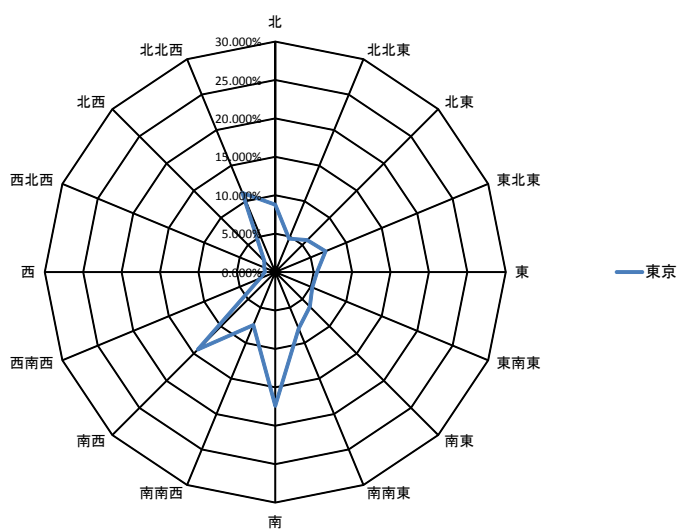


図 0.2.5.6 風向頻度分布（東京）

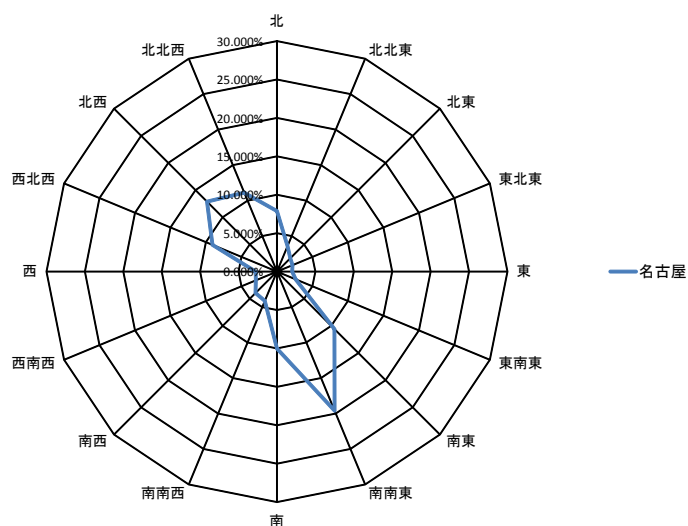


図 0.2.5.7 風向頻度分布（名古屋）

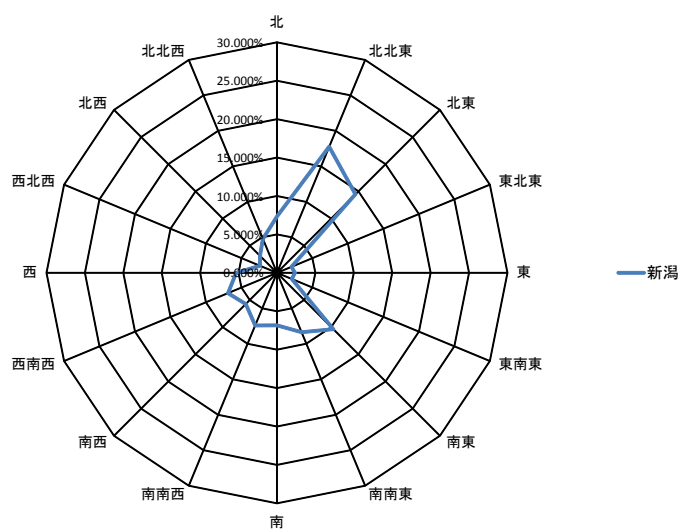


図 0.2.5.8 風向頻度分布（新潟）

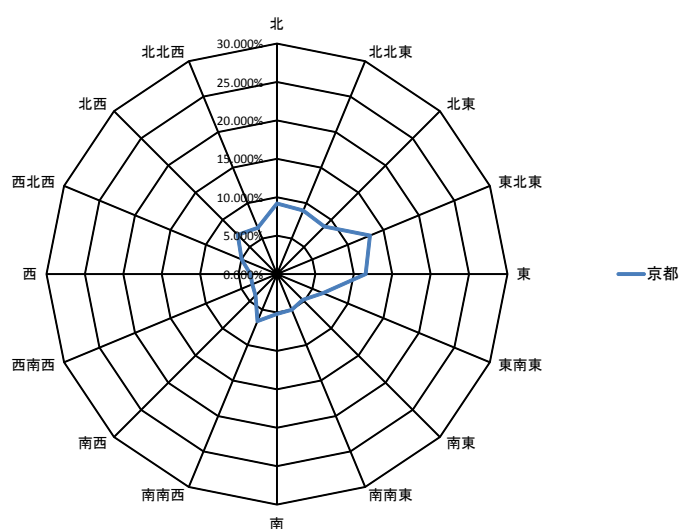


図 0.2.5.9 風向頻度分布（京都）

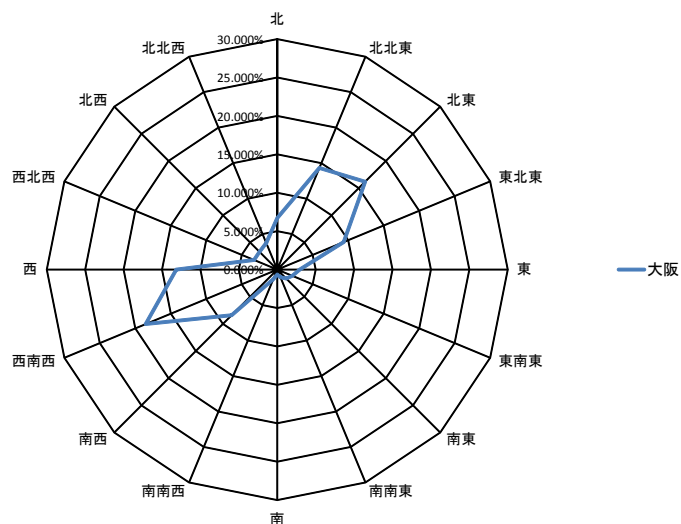


図 0.2.5.10 風向頻度分布（大阪）

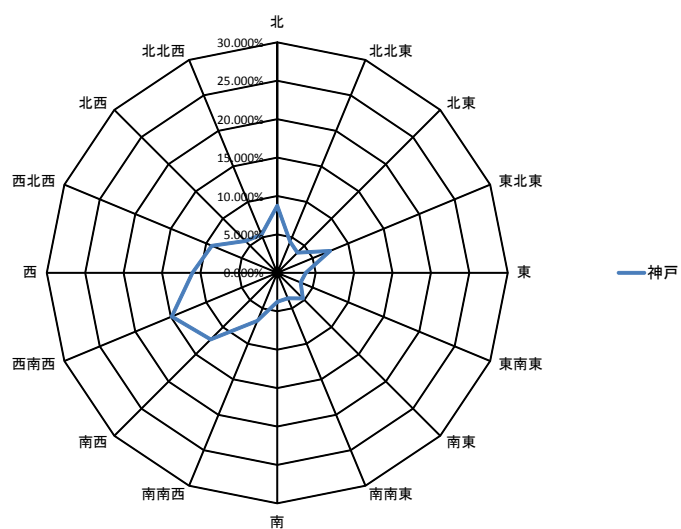


図 0.2.5.11 風向頻度分布（神戸）

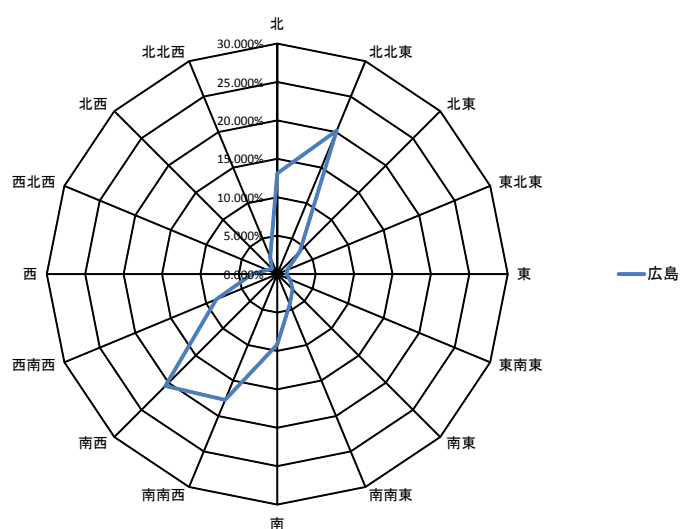


図 0.2.5.12 風向頻度分布（広島）

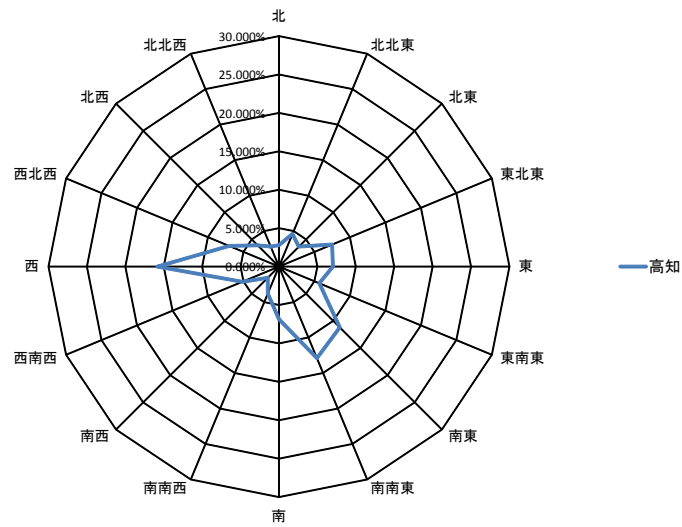


図 0.2.5.13 風向頻度分布（高知）

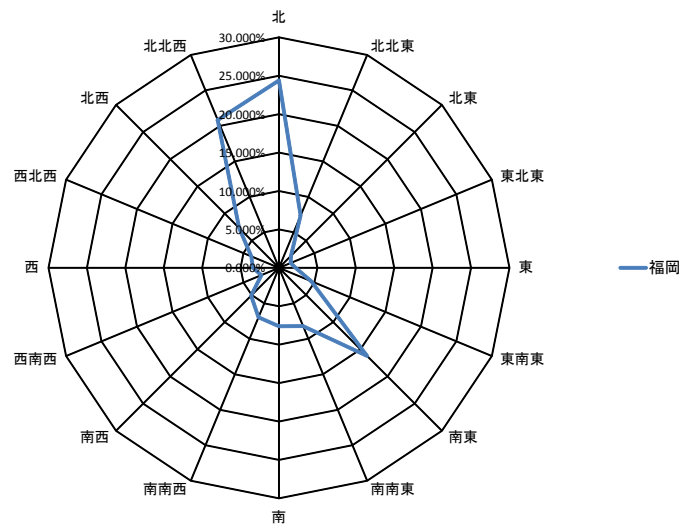


図 0.2.5.14 風向頻度分布（福岡）





序編

## 第3章 数値流体解析の手法



### 0.3.1 数値流体解析 (CFD) の目的

数値流体解析 (Computational Fluid Dynamics : 以降 CFD) は、流れ現象を記述する非線形の基礎方程式を直接数値シミュレーションにより解析するものであり、様々な条件のものと複雑な流れ場解析も柔軟に行う能力を持つものである。

乱れた流れのシミュレーションでは、流体の基礎方程式を直接解いて微細な渦運動全てを解析するのではなく、平均風速や乱れのエネルギーなど流れの平均的な性状を記述する乱流の数学モデル（流れの基礎方程式から近似的に導かれるもので、これも非線形の連立偏微分方程式を成す）を解いて行うことが一般的となっている。

CFD は非線形現象の計算を行うことができるので、熱、汚染物質を輸送し、室内の温度分布、汚染物質分布の主因となる流れ場の解析を行うことが可能である。

室内環境の構造を理解する上で、気流速度だけではなく、輸送速度や拡散速度の能力を評価することが重要である。CFD は詳細に室内の流れ場を解析することができるため、このような情報を解析することができる。そのため CFD は、室内環境設計におけるリスク回避のためと、様々な設計パラメータの変更が室内に与える影響を考慮して合理的な環境設計を行うことができるようにするために利用される。

本編では、本論文の気流解析をする際に用いた CFD の解析手法と乱流モデルに関する基礎的な解説を示す。

### 0.3.2 数値流体解析 (CFD) の概要

#### 0.3.2.1 基礎方程式

流体運動の基礎的な性質として、連続条件、運動保存条件がある。連続条件から連続の式と称される偏微分方程式が、運動量保存条件から運動方程式と称される偏微分方程式がそれぞれ導き出される。運動方程式はこの運動方程式の導出に功績のあった二人の科学者の名を冠して Navier-Stokes 方程式とも称される。

##### 0.3.2.1.1 N - S 方程式と平均操作

層流、乱流に関わらず、非圧縮性である場合の流体现象は、以下に示す方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial t} + \nu \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (0.3.2.1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (0.3.2.2)$$

によって記述される。

$u_i$ : 速度ベクトルの瞬時値の各成分 ( $i=1, 2, 3$ )

$p$ : 流体密度  $\rho$  で割った圧力

$\nu$ : 分子動粘性係数

(テンソルの規約に従い、繰り返された下付添え字については縮約を取るものとする。)

(0.3.2.1) 式は Navier-Stokes 方程式と呼ばれ (以後、N-S 方程式と呼ぶ) 流体の運動量保存を表す。(0.3.2.2) 式は連続の式と呼ばれ、流体の質量保存を表す。これらの式における  $u_i, p$  の4つの変数がすべての時間、空間においてわかれば、流体の現象がわかったことになる。風工学や室内気流で一般的に現れる乱流現象も等温、非圧縮性の流れであれば (0.3.2.1)、(0.3.2.2) 式により完全に記述されることになる。しかし、これらを用いて数値計算を行えば直ちに乱流が解けると考えるのはやや早計である。なぜなら、数値解析では例外なく時間的、空間的に連続的な量を有限な離散量で近似するという手法を用いて解析する。しかしこのように連続量を離散化して表すという操作は、風速変動に対してはローパスフィルターと同様の効果を持つものであり、差分分割の大きさに対応したカットオフ周波数を与えたことになる。つまり差分分割の大きさに対応したカットオフ周波数を与えたことになる。つまり差分分割以下の風速変動を捉えることができなくなるわけである。従って (0.3.2.1)、(0.3.2.2) 式を用いて数値計算を行っても、通常の実験のコンピュータを用いた計算では細かい変動はカットされてしまい、乱流の特質の全てを捉えることは困難である。

一般に、乱流の本質を知るためには高周波の変動まで捉えることが必要とされており、そのためには極めて高いカットオフ周波数を持つローパスフィルターを用いて数値シミュレーションを行う必要がある。つまり、空間的に考えれば非常に細かいメッシュ分割が必要となり、そのためメッシュ数は膨大な量となる。又、空間差分を細かくすれば、当然対応して時間間隔も細かくする必要があり、時間間隔を細かく取れば、定常解を得るまでの計算時間は非常に長いものとなる。このような大規模な計算を行うためには、それに対応した高性能の計算機が必要となる。しかし、後述するように、あまりにも計算量が膨大になるため、近い将来にそのような計算機の出現を期待することは困難であると考えられる。

$$u_i = \langle u_i \rangle + u_i' \quad , \quad p = \langle p \rangle + p' \quad (0.3.2.3)$$

ここで、風速  $u_i$ 、圧力  $p$  を平均値と変動値に分けて、

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} &= \langle \langle u_i \rangle + u_i' \rangle + \frac{\partial}{\partial t} \left( \langle u_i \rangle \langle u_j \rangle + \langle u_i \rangle u_j' + u_i' \langle u_j \rangle + u_i' u_j' \right) \\ &= - \frac{\partial}{\partial t} \langle \langle p \rangle + p' \rangle + \nu \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\partial}{\partial x_j} \langle \langle u_i \rangle + u_i' \rangle + \frac{\partial}{\partial t} \langle \langle u_i \rangle + u_j' \rangle \right\} \quad (0.3.2.4) \\ &\quad (\langle u_i \rangle, \langle p \rangle : \text{平均値}, u_i \cdot p \text{ 秩序 } F \text{ 変動量}) \end{aligned}$$

と置き、(0.3.2.1) 式に代入し、アンサンブル平均  $\langle \rangle$  をとれば次式を得る。

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \langle u_j \rangle}{\partial x_j} = - \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \nu \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \langle u_i' u_j' \rangle \right\} \quad (0.3.2.5)$$

(0.3.2.4) 式で変動量の平均値が 0 となるので、最終的には次式となる。

(0.3.2.5) 式はレイノルズ方程式と呼ばれる。(0.3.2.5) 式の右辺の  $(-\langle u_i' u_j' \rangle)$  がレイノルズ応力であり、乱流による運動量の輸送を表す。(0.3.2.5) 式は時間的に平均化された乱流場を記述しているので細かい変動は消されており、この方程式が記述している風速や圧力の空間分布は比較的緩やかである。従ってこの式を用いれば比較的荒い差分メッシュによっても、乱流の平均的性状をある程度正しく捉えられるものと考えてよい。多くの数値シミュレーションのための乱流モデルがレイノルズ方程式を出発点としている。この場合、高周波の風速変動の寄与は平均的にレイノルズ応力として表現されているので、数値計算に伴うローパスフィルターの効果により、高周波成分がカットされることに伴う不都合は小さいものと考えてよい。

### 0.3.2.1.2 方程式の無次元化

(0.3.2.1) 式を代表長さ  $L_0$ 、代表速度  $\langle u_0 \rangle$  を用いて無次元化すれば次のようになる。  
ここで添え字\*は無次元量を表し、

$$\frac{\partial u_i^*}{\partial t^*} + \frac{\partial u_i^* u_j^*}{\partial x_j^*} = \frac{\partial p^*}{\partial x_i^*} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial}{\partial x_j^*} \left( \frac{\partial u_i^*}{\partial x_j^*} + \frac{\partial u_j^*}{\partial x_i^*} \right) \quad (0.3.2.6)$$

である。

$$u_j^* = \frac{u_j}{\langle u_0 \rangle}, \quad x_i^* = \frac{x_i}{L_0}, \quad t^* = \frac{t}{t_0} = \frac{t}{(L_0 / \langle u_0 \rangle)}, \quad p_i^* = \frac{p}{\langle p_0 \rangle} = \frac{p}{\langle u_0 \rangle^2},$$

$$\Delta p^* = \frac{\Delta p}{\Delta p_0}, \quad \text{Re} = \frac{\langle u_0 \rangle L_0}{\nu}$$

(0.3.2.6) 式から判るように、右辺第2項の分子粘性による拡散項は Re 数の増大と共に減少していく。従って、(0.3.2.1) 式を基礎式として数値シミュレーションを行う場合、Re 数が大きい流れでは、分子粘性の効果は期待できないことになる。一方、移流項等の差分化に伴う打ち切り誤差による正や負の大きささまざまの数値粘性が生じ、Re 数の増大と共にこれらの方が分子粘性より卓越するようになる。数値粘性は、差分化に伴う打ち切り誤差により発生する粘性であり、物理的に何ら意味を持たないものである。負の数値粘性は計算不安定をもたらす、正の数値粘性は不当に安定した数値解を与える。前者の場合は一見乱流に見えるような解を与えることがあり、後者の場合は一見正しい層流解が得られたかのような印象を与える。たとえ実現象によく似た解が得られたとしても、それが数値粘性に基づくものであれば、物理的裏付けが乏しいという意味で正しい解であるとはいえないし、又、そのような方法に安易に頼っていては、数値シミュレーションを乱流の予測手法として確立することはできない。

一方、レイノルズ方程式を用いる場合には、一般にレイノルズ応力に対して、新たに渦動粘性係数  $n_t$  を導入したモデル化 (Eddy Viscosity Model (EVM)) が行われる (但し、応力方程式モデルでは  $n_t$  は用いない)。この場合には、 $n_t$  に基づく乱流粘性項に Re 数に対する依存性はない。なぜならば一般に  $\nu_t \propto \langle u_0 \rangle L_0$  であるため、 $n_t$  を  $L_0$ 、 $\langle u_0 \rangle$  を用いて無次元化しても、

$$\frac{\nu_t}{\langle u_0 \rangle L_0} \approx \text{const.} \quad (0.3.2.7)$$

となるからである。従って、Re 数の増大に伴い粘性項が小さくなり、その評価を行うのが困難になるという事態は生じにくい。

## 0.3.2.2 コントロールボリューム法

CFD で一般的に用いられる計算格子には、スタガードグリッド (staggered grid: 食い違い格子) とコロケーショングリッド (collocated grid: 集中格子) の2種類がある。後者はレギュラグリッド (regular grid: 一般格子) と呼ばれる。

スタガードグリッドでは図 0.3.2.1 (a) で示すように圧力、温度、乱流エネルギーなどのスカラー変数をコントロールボリュームの中心で定義し、速度などのベクトル変数の成分をコントロールボリュームの界面で定義する。スタガードグリッドの採用により、圧力の空間振動を回避することが容易になった。現在もっとも多く使用されているグリッドである。

コロケーショングリッドは図 0.3.2.1 (b) で示すように全ての変数をコントロールボリュームの中心、すなわちグリッドの交点で定義する。このため、コロケーショングリッドはスタガードグリッドに比べて、一般化曲線座標や複合グリッドへの拡張が容易であることや、解析結果として算出する乱流統計量の取り扱いが簡明であり、メモリーが大幅に節約できるといった利点を有する。しかし、一方でこのような変数配置の場合、圧力の空間振動が発生しやすく、従来ではその使用を避ける傾向が強かった。この問題に対しいくつかの修正方法が提案されており、この中でも一般的に用いられているのは、Rhie-Chow により提案されたもので、コントロールボリューム中心で定義する速度に加え、スタガードグリッドと同様にコントロールボリューム中心で定義する速度を与え、これが連続式を満足するように圧力を求める解法したコロケーショングリッドである。現在、コロケーショングリッドといえば、おの方法を採用したコロケーショングリッドを指す場合が多い。但し、このコロケーショングリッドを採用した場合、コントロールボリューム中心で定義する速度に基づく連続条件が高精度で満足されない。このため、LES (Large Eddy Simulation) などに適用した場合、運動エネルギーが保存されず、スタガードグリッドを用いた解析に比べ予測精度が悪化するという報告もあり、注意を要する。

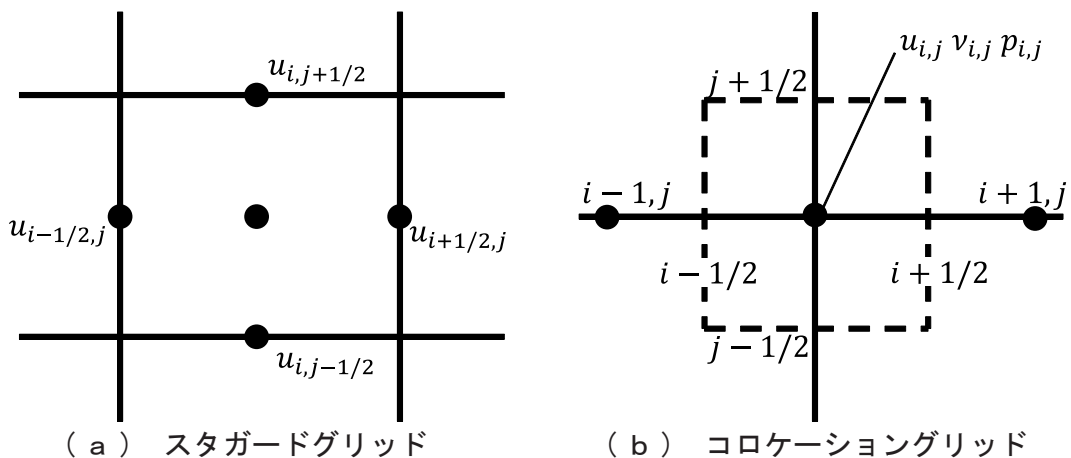


図 0.3.2.1 CFD で用いられる計算格子

### 0.3.2.3 移流項の差分スキーム

N-S 方程式の移流項は非線形項で大きな数値誤差を生む原因となりやすいのでその差分近似は特に大切である。この項の存在が N-S 方程式の数値解法を特に困難なものにしている。移流項の差分演算子は、数値積分のプロセスにおいて不安定の原因になることが多く、これを避けるために様々な工夫が施されるが、反面この工夫が数値粘性などの誤差をもたらす原因となりやすい。

#### 0.3.2.3.1 移流項の差分スキームの誤差

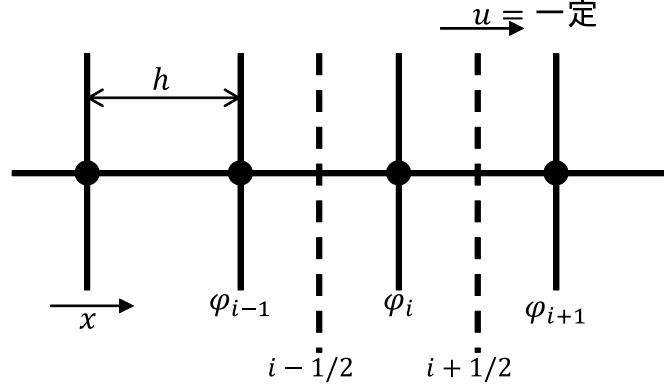
差分スキームを用いて離散化を行う場合、当然差分スキームの次数に応じて打ち切り誤差が生じる。この誤差には大きく分けて2つある。1つは偶数階の微分項を含む打ち切り誤差項に由来する散逸誤差 (dissipative error) と呼ばれる誤差である。これは格子分解能近くの高波数成分を減衰させ、得られる数値解析結果を空間的に滑らかで拡散的にする性質を持つものである。散逸誤差を生じる誤差項は結果的に人工的な粘性として機能することから数値粘性項と呼ばれる。もう1つは奇数階の微分項を含む打ち切り誤差項に由来する分散誤差 (dispersive error) と呼ばれる誤差である。これは格子分解能近くの高波数成分の位相誤差を生じさせ、空間的な数値振動 (wiggle) を引き起こす性質をもつものである。

数値解析を行う上では、散逸誤差は数値粘性を生じ安定化条件として働くことになるが、過剰な数値粘性が付加されると本来の流体とは大きく性質の異なる流れを解くことになり解析結果を大きく歪めてしまう。一方、分散誤差は数値振動を生じさせ計算不安定を招くことが多い。差分スキームを構築する場合、この両者を同時にかつ完全に除去することは困難であり、そのため数値粘性と数値不安定のバランスを考えて、実用上利用しやすいスキームが各種提案されている。表 0.3.2.1 に単純な一次元流れ場におけるスカラーの移流項  $-u\partial\phi/\partial x$  (または  $-\partial u\partial\phi/\partial x$ ) について、各種の差分スキームを示す。但し、ここでは流速  $u$  は一定流速を仮定する。



表 0.3.2.1 移流項に関する各種差分スキーム

(アンダーラインは打ち切り誤差項を意味する。点線の部分は、そのスキーム独特の機能を發揮させるため意図して導入した数値粘性を、実線の部分はそれ以外の結果的に発生した打ち切り誤差を示す。)



(A) 2次精度中心差分スキーム

$$\begin{aligned} -u \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i &\cong -u \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h} \\ &= -u \left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i + \frac{1}{6} \left( \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} \right)_i h^2 + \cdots \right] \end{aligned}$$

(B) 風上差分スキーム

(a) 1次精度風上差分

$$\begin{aligned} -u \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i &\cong -u \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h} + |u| \frac{\varphi_{i+1} + 2\varphi_i + \varphi_{i-1}}{2h} \\ &= -u \left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i + \frac{1}{6} \left( \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} \right)_i h^2 + \cdots - \frac{1}{2} \frac{|u|}{u} \left\{ \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_i h + \frac{1}{12} \left( \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} \right)_i h^3 + \cdots \right\} \right] \end{aligned}$$

(b) 2次精度風上差分

$$\begin{aligned} -u \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i &\cong -u \frac{-\varphi_{i+2} + 4\varphi_{i+1} - 4\varphi_{i-1} + \varphi_{i-2}}{4h} + \frac{\varphi_{i+2} - 4\varphi_{i+1} + 6\varphi_i - 4\varphi_{i-1} + \varphi_{i-2}}{4h} \\ &= -u \left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i - \frac{1}{3} \left( \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} \right)_i h^2 + \cdots - \frac{1}{4} \frac{|u|}{u} \left\{ \left( \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} \right)_i h^3 + \frac{1}{6} \left( \frac{\partial^6 \varphi}{\partial x^6} \right)_i h^5 + \cdots \right\} \right] \end{aligned}$$

(c) QUICK (2次精度風上差分)

$$\begin{aligned}
 -u\varphi_{i+1/2} &\cong u \frac{-\varphi_{i+2} + 9\varphi_{i+1} + 9\varphi_i - \varphi_{i-1}}{16} + |u| \frac{\varphi_{i+2} - 3\varphi_{i+1} + 3\varphi_i - \varphi_{i-1}}{16} \\
 &= u \left[ \underbrace{\varphi_{i+1/2} - \frac{3}{128} \left( \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} \right)_{i+1/2} h^4 + \cdots}_{\text{---}} \underbrace{\frac{1}{16} \frac{|u|}{u} \left\{ \left( \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} \right)_{i+1/2} h^3 + \frac{1}{8} \left( \frac{\partial^5 \varphi}{\partial x^5} \right)_{i+1/2} h^5 + \cdots \right\}}_{\text{---}} \right] \\
 -\left( \frac{\partial u \varphi}{\partial x} \right)_i &\cong \frac{-(u\varphi)_{i+1/2} + (u\varphi)_{i-1/2}}{h} \\
 &= -u \frac{-\varphi_{i+2} + 9\varphi_{i+1} + 9\varphi_i - \varphi_{i-1}}{16} - |u| \frac{\varphi_{i+2} - 3\varphi_{i+1} + 3\varphi_i - \varphi_{i-1}}{16} \\
 &\quad + u \frac{-\varphi_{i+1} + 9\varphi_i + 9\varphi_{i-1} - \varphi_{i-2}}{16} - |u| \frac{\varphi_{i+1} - 3\varphi_i + 3\varphi_{i-1} - \varphi_{i-2}}{16} \\
 &= -u \left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i + \frac{1}{24} \left( \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} \right)_i h^2 + \cdots \right] - \frac{1}{16} \frac{|u|}{u} \left\{ \left( \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} \right)_i h^3 + \frac{1}{6} \left( \frac{\partial^6 \varphi}{\partial x^6} \right)_i h^5 + \cdots \right\}
 \end{aligned}$$

(d) ハイブリッド及び最適化風上差分スキーム

$$-u \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i \cong -u \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h} + \left\{ |u| \frac{\varphi_{i+1} + 2\varphi_i + \varphi_{i-1}}{2h} \right\} \times A$$

①ハイブリッドスキーム (2次精度中心差分又は1次精度風上差分)

$$Pe = \frac{uh}{\Gamma} \leq 2 : A = 0 \quad , \quad Pe = \frac{uh}{\Gamma} > 2 : A = 1 \quad , \quad \text{ここで } \Gamma \text{ は拡散係数}$$

②最適化風上差分スキーム

$$0 \leq A \leq 1 \quad , \quad A : Pe \text{ と場所によって経験的判断に基づき変化させる}$$

### 0.3.2.3.2 中心差分スキーム

このスキームはもっとも一般的でよく用いられる差分スキームである。2次精度の差分を指すのが一般的であるが、近年では4次精度、6次精度のような高次精度の中心差分の利用も多くなっている。中心差分スキームの場合、偶数階の打ち切り誤差を持たないのでこれに由来する数値粘性（散逸誤差）を持たないながら、奇数階の微分項を打ち切り誤差として含むため分散誤差による空間的振動 (wiggle) を生じやすく、計算安定性に欠ける。2次精度中心差分の場合、表0.

### 0.3.2.3.3 風上差分スキーム

風上差分スキームは、一般に中心差分項と人工的に付加した数値粘性項の2つの項として分離することができる。表0.3.2.1に示す各種風上差分スキームは、いずれも（中心差分項）+（数値粘性項）という形式で示されている。このことからわかるように、風上差分スキームにも中心差分項起源による分散誤差が含まれていることになるが、一般には分散誤差よりも散逸誤差（数値粘性項）が大きく働く。したがって風上差分系のスキームを利用した場合には滑らかで拡散的な解析結果が得られることになる。なお、表0.3.2.1の破線のアンダーラインで示した項は、各種風上差分スキームの中で意図して導入された最も重要な数値粘性項を表している。1次精度風上差分の場合、表0.3.2.1に示すような具体的には  $-(1/2) \cdot (|u|/u) \cdot (\partial^2 \varphi / \partial x^2) \cdot h$  が意図して導入した主要な数値粘性項である。

#### （1） 1次精度風上差分

2次精度中心差分に2階微分項を持つ1次精度の大きな数値粘性項を導入したものであり、きわめて安定なスキームである。実用的には大変便利であるので幅広く利用されている。但し、数値粘性のもたらす誤差が一般的に大きくなり過ぎことが多いので十分注意して用いるべきである。

#### （2） QUICK(Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics)

Leonardにより1979年に提案された風上差分スキームである。2次精度中心差分と同じく2次の打ち切り誤差を含むが、風上側の重みをもつように設計されており、表3.2.1に示すように4階微分を含む3次の数値粘性項  $-(1/16) \cdot (|u|/u) \cdot (\partial^4 \varphi / \partial x^4) \cdot h^3$  を持つ。比較的小さな数値粘性による安定性と精度のバランスがとれていることから  $k-\varepsilon$  モデルなどのRANS(Raynolds Averaged Navier-Stokes equations) モデルに基づく数値解析ではきわめて広く用いられている。ただしLESやDNS(Direct Numerical Simulation) ではQUICKスキームの有する数値粘性が誤差要因となり得るので用いられることは殆どない。LESやDNSで風上差分スキームを利用する場合には、付加される数値粘性項の寄与が相対的に小さくなる高次精度のスキームを導入することが必要となる。

#### （3） ハイブリッド及び最適化風上差分スキーム

中心差分、風上差分のどちらのスキームを利用した場合でも打ち切り誤差に伴う問題が生じる。そこで、両スキームを局所的に使い分けて、両スキームの欠点を補うことを意図したスキームが提案されている。このスキームではセルペクレ (peclet,  $Pe$ ) 数  $uh/\Gamma$  ( $\Gamma$ : 拡散係数) (またはセルレイノルズ (Reynolds,  $Re$ ) 数) などを判定基準として、①中心差分と使い分ける、②中心差分に風上差分の数値粘性項を重み付けるといった方法がとられる。一般に①の方法をハイブリッドスキーム、②を最適化風上差分スキームと呼ぶ。表3.2.1では2次精度中心差分と1次精度風上差分を基にしたスキームを示しているが、ハイブリッド及び最適化風上差分スキームの考え方は、高次精度の中心・風上差分に対しても適用できる。

## 0.3.2.4 乱流のモデル化

## 0.3.2.4.1 乱流におけるエネルギー散逸機構とマイクロスケール

乱流の最も顕著な特徴の一つは、大小様々なスケールの渦（風速変動）が存在することである。Re 数が大きくなると渦のスケールも極めて小さなスケールにまで及び、その極めて小さい風速変動までが重要な意味を持つ。乱流の運動エネルギーは、大きなスケールの渦が小さなスケールの渦を作り出すいわゆるカスケードと呼ばれるプロセスにより大きな渦（長波長の風速変動）から小さな渦（短波長の風速変動）に順次伝達される。大きなスケールの渦においては粘性力はほとんど作用しないが、カスケードの最終段階である最も小さなスケールの渦（最小渦）においては、運動エネルギーは分子粘性により熱エネルギーとして消散される。従って、これより小さなスケールの渦は存在しない。この運動エネルギーの散逸のプロセスが乱流において非常に重要であり、乱流の本質を知るためには極めて短波長の変動まで捉えなければならない理由である。

この過小渦の大きさは、Kolmogoroff のマイクロスケール  $\eta$  と呼ばれ、その大きさは次式で評価される。

$$\eta \sim \left( \frac{v^3}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (0.3.2.8)$$

$\varepsilon$  は単位時間、単位質量当たりのエネルギー散逸率 [ $\text{m}^2/\text{s}^2$ ] であり具体的には風速変動を用いて

$$\varepsilon = \nu \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_j'}{\partial x_j} \right\rangle \quad (0.3.2.9)$$

で定義される。一方、 $\varepsilon$  は  $\eta$  よりはるかに大きなスケールにおけるエネルギー輸送によって順次伝達されたエネルギーが最終的に消散される量であるから、大きなスケールのエネルギー輸送量 =  $\varepsilon$  による散逸量という考えにより、次式で評価される。

$$\varepsilon \sim \frac{V_0^3}{L_0} \quad (0.3.2.10)$$

$V_0$ : 代表的速度 [ $\text{m/s}$ ]

$L_0$ : 代表的長さ [ $\text{m}$ ]

$$\frac{\eta}{L_0} \sim \text{Re} \quad (0.3.2.11)$$

$$\text{但し、} \text{Re} = \frac{V_0 L_0}{\nu}$$

(0.3.2.11) 式よりわかるように、無次元化されたマイクロスケール $\eta$ の値は $L_0$ の増大と共に小さくなるのがわかる。 $\eta$ と $L_0$ は乱流を特徴づける最も大切な長さスケールであり、乱流の数値シミュレーションにおいてもこれらの量に、注意を払う必要がある。

#### 0.3.2.4.2 乱流モデル導入の必要性

乱流を含む流体現象をモデル化せずに(0.3.2.1)式をそのまま解くシミュレーションをDNS(Direct Numerical Simulation)と呼ぶ。最も単純明快であるので、この方法で正しい解を得ることができれば理想的であるといえる。しかしDNSにより高Re数の流れを正しく解くには、極めて細かいメッシュ分割が要求されるので、現状のコンピュータの能力でもとでは容易ではない。

メッシュ分割数を試算してみる。正しい解を得るためにはエネルギー散逸機構が再現されるべきであるため、メッシュの分割間隔 $h$ とマイクロスケール $\eta$ が同程度である必要がある。建築空間内の流れ場ではRe数は小さな場合でも $10^6$ を超えており、 $h=\eta$ と仮定すれば(0.3.2.11)式からメッシュの分割間隔は代表長さ $L_0$ の $10^5$ 分の1程度、即ち $L_0$ を対象空間の幅とすれば、三次元的には $10^{13}$ 程度のメッシュ分割が必要である。

このように乱流現象をモデル化せずに乱流の数値解析を行うことは一般的に困難である。そこで変動量に何らかの平均化操作を与えることによって必要な計算量を減らしたうえで扱わざるを得ない。

### 0.3.2.5 レイノルズ方程式に基づく乱流モデル

前節において、乱流のモデル化が必要なことを確認した。乱流の数値解析に際しては変動量に何らかの平均操作を施したものを解析対象にせざるを得ない。個の平均値の取り扱いには各種のものがあ、その手法に対応して各種の乱流モデルが存在する。ここでは乱流の平均流のみを解析対象とし、レイノルズ方程式を基礎に数値計算を行うモデルとして  $k-\varepsilon$  2 方程式モデルを取り上げる。

レイノルズ方程式 ((0.3.2.5) 式) を数値的に解く場合、未知数は  $\langle u_i \rangle$  (平均風速の3成分)、 $p$  の4つとレイノルズ応力 ( $= -\langle u_i' u_j' \rangle$ ) である。方程式の数は3成分に関する運動方程式 (レイノルズ方程式) と連続式の4つであり、レイノルズ応力 ( $= -\langle u_i' u_j' \rangle$ ) をそのままの形で残せば方程式系が完結しなくなるので、これをモデル化して  $\langle u_i \rangle$  等で表示してやる必要が生じる。

そこで分子粘性とのアナロジーから渦粘性係数を導入し、レイノルズ応力を表現する。これを Boussinesq の渦粘性モデルといい、2次元境界層の場合、次式で示される。

$$-\langle u_1' u_2' \rangle = \nu_t \frac{\partial \langle u_1 \rangle}{\partial x_2} \quad (0.3.2.12)$$

これは乱流による運動量輸送が平均風速の勾配に比例して輸送されると仮定して、その比例定数として渦粘性係数  $\nu_t$  を与えるものであり、EVM (Eddy Viscosity Model) と呼ばれる。渦粘性  $\nu_t$  は分子粘性  $\nu$  とは異なり物性値ではなく乱れの状態に強く依存し、流れの中で大きく変化する。この  $\nu_t$  の分布を決定することが次なる問題である。

$k-\varepsilon$  モデルでは乱流エネルギー  $k$ 、乱れの長さスケール  $l$  を用いて、渦粘性  $\nu_t$  を以下の様に表す。

$$\nu_t = k^{1/2} \cdot l \quad (0.3.2.13)$$

更にこの (0.3.2.13) 式は、後述の (0.3.2.33) 式の様にも表現される。この時、(0.3.2.12) 式の渦粘性モデルをテンソルの一般形で示せば、

$$-\langle u_i' u_j' \rangle = \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (0.3.2.14)$$

(0.3.2.14) 式の右辺第2項の  $\delta_{ij}$  はクロネッカーのデルタであり、これはノルマルストレスの和が乱れの乱流エネルギー ( $k = \langle u_i' u_j' \rangle / 2$ ) の2倍に等しいことを保つために必要である。

### 0.3.2.5.1 $k$ の輸送方程式

$k$  の輸送方程式は次のようにして導き出される。N-S 方程式 ((0.3.2.1) 式) から平均流に関する運動方程式 (レイノルズ方程式 (0.3.2.5) 式) を引けば変動量に関する運動方程式として次式が導かれる。

$$\begin{aligned} & -\frac{\partial u_i'}{\partial t} + \langle u_j' \rangle \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + u_j' \frac{\partial \langle u_i' \rangle}{\partial x_j} + u_j' \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \\ & = -\frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \nu \left( \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial x_j} \langle u_i' u_j' \rangle \end{aligned} \quad (0.3.2.15)$$

(0.3.2.15) 式に  $u_j$  をかけて時間平均をとれば、

$$\begin{aligned} & \underbrace{\frac{\partial k}{\partial t}}_{(1)} + \underbrace{\langle u_j' \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j}}_{(2)} + \underbrace{\langle u_i' u_j' \rangle \frac{\partial \langle u_i' \rangle}{\partial x_j}}_{(3)} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \langle u_i' \cdot k' \rangle}_{(4)} \\ & = \underbrace{-\frac{\partial}{\partial x_j} \langle u_j' \cdot p' \rangle}_{(5)} + \underbrace{\nu \frac{\partial}{\partial x_j} \left\langle u_j' \left( \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right) \right\rangle}_{(6)} - \underbrace{\nu \left\langle \left( \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right\rangle}_{(7)} \end{aligned} \quad (0.3.2.16)$$

(但し、 $k' = \frac{1}{2} u_i' u_j'$ )

(0.3.2.16) 式 がまだ近似を行っていない厳密な形での輸送方程式である。(0.3.2.16) 式の各項の物理的意味を以下に示す。

- (1)  $k$  の時間変化
- (2) 平均流による  $k$  の移流
- (3) レイノルズ応力による  $k$  の生産
- (4)  $k$  の乱流拡散による輸送
- (5) 圧力変動による  $k$  の方向成分間の再分配
- (6) 分子拡散による  $k$  の輸送
- (7) 分子粘性により熱エネルギーに変換される割合 (粘性消散率)

分子粘性に関係のある (6)、(7) の項を書き直して次のように表現する。

$$\begin{aligned} & \underbrace{\nu \frac{\partial}{\partial x_j} \left\langle u_i' \left( \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right) \right\rangle}_{(6)} - \underbrace{\nu \left\langle \left( \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right\rangle}_{(7)} \\ & = \underbrace{\nu \frac{\partial^2 k}{\partial x_j \partial x_j}}_{(8)} - \underbrace{\nu \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \cdot \frac{\partial u_j'}{\partial x_j} \right\rangle}_{(9)} \end{aligned} \quad (0.3.2.17)$$

(6) の第2項、(7) の第2項が互いに消去され、結局 (8)、(9) が残る。

(7) から (9) の変形に関しては、もし、細かいスケールに関して近似的に一様な乱流であるとみなすことができれば、統計量の空間微分が 0 になることにより、

$$\begin{aligned} \nu \left\langle \left( \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right\rangle &= \nu \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right\rangle + \frac{\partial}{\partial x_j \partial x_j} \langle u_i' u_j' \rangle \\ &= \nu \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right\rangle \end{aligned} \quad (0.3.2.18)$$

とすることが可能である。したがって、(6) から (8) への変形についても同様の近似化が可能である。(0.3.2.16)、(0.3.2.17) 式において時間的平均 ( $\langle \rangle$ ) のついた相関項は未知量であるのでこれらの項を何らかの形で近似しない限り解くことはできない。Launder と Spalding によるこれらの近似の方法について次に概説する。

(0.3.2.16) 式の (3) の項の  $\langle u_i' u_j' \rangle$  に対しては (0.3.2.13) 式の渦粘性の概念を用いる。従って次式となる。

$$\begin{aligned} -\langle u_i' u_j' \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} &= \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \\ &= \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \end{aligned} \quad (0.3.2.19)$$

(0.3.2.16) 式の (4)、(5) の項に関して、両者をまとめて勾配輸送の近似を用いる。

$$\langle u_j' \cdot k' \rangle * + \left\langle u_j' \cdot \frac{p'}{p} \right\rangle = -\frac{\nu_t}{\sigma_1} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \quad (0.3.2.20)$$

(  $\sigma_1$  : 経験定数 )

(0.3.2.16) 式の (6)、(7) のかわりに (0.3.2.16) 式の (8)、(9) を用いるが、(9) の項は

$$\nu \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_j'}{\partial x_j} \right\rangle = \varepsilon \quad (0.3.2.21)$$

と置く。 $\varepsilon$  は粘性消散率であり、その大きさは十分発達した乱流においては、一般に次式で評価される。



$$\varepsilon \approx \frac{V_t}{l} \quad (0.3.2.22)$$

( $V_t$ : 例えば乱流速度)

$V_t$  の代わりに  $k^{1/2}$  を用い、比例定数を  $C_D$  とすれば、

$$\varepsilon \approx C_D \frac{k^{3/2}}{l} \quad (0.3.2.23)$$

$l$  に関しては、代数のモデルの場合と同様、その空間分布を事前に決めて与える。これが 1 方程式モデルの特徴であり、また、このモデルの弱点につながるものである。モデル化された方程式は結局次のようになる。

$$\frac{Dk}{Dt} = D_k + P_k - \varepsilon \quad (0.3.2.24)$$

但し、 $D/D_t$  は実質微分  $\left( \frac{\partial}{\partial t} + \langle u_1 \rangle \frac{\partial}{\partial x_1} + \langle u_2 \rangle \frac{\partial}{\partial x_2} + \langle u_3 \rangle \frac{\partial}{\partial x_3} \right)$  を表し、

$$\text{拡散項 } D_k = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_1} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} \quad (0.3.2.25)$$

$$\text{生産項 } P_k = \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \quad (0.3.2.26)$$

である。

### 0.3.2.5.2 $k-\varepsilon$ 型2方程式モデル（浮力を伴わない場合（等温））

$k-\varepsilon$  型2方程式モデルでは、 $k$  の輸送方程式以外に  $\varepsilon$  輸送方程式を用いる。 $\varepsilon$  は長さのスケール代表として選ばれたという側面を持っている。 $\varepsilon$  の輸送方程式は次のように導かれる。変動量に関する運動方程式（(0.3.2.15) 式）を  $x_k$  で微分し、両辺に  $2v\left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_k}\right)$  をかけて時間平均をとれば次式となる。

$$\begin{aligned} \underbrace{\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}}_{(1)} + \underbrace{\langle u_j \rangle}_{(2)} \underbrace{\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}}_{(2)} = & \underbrace{-2v \frac{\partial^2 \langle u_i \rangle}{\partial x_k \partial x_j} \left\langle u_j' \frac{\partial u_i'}{\partial x_k} \right\rangle}_{(3)} - \underbrace{2v \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \left( \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial u_j'}{\partial x_k} \right\rangle + \left\langle \frac{\partial u_k'}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial u_k'}{\partial x_j} \right\rangle \right)}_{(4)} \\ & - \underbrace{2v \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial u_j'}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right\rangle}_{(5)} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \langle u_j' \cdot \varepsilon' \rangle}_{(6)} - \underbrace{\frac{2v}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left\langle \frac{\partial u_i'}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial p'}{\partial x_k} \right\rangle}_{(7)} \\ & + \underbrace{v \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x_j \partial x_j}}_{(8)} - \underbrace{2v^2 \left\langle \frac{\partial^2 u_i'}{\partial x_j \partial x_k} \right\rangle^2}_{(9)} \end{aligned} \quad (0.3.2.27)$$

（ただし、 $\varepsilon' = \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_i'}{\partial x_j}$ ）

(0.3.2.27) 式において、(3)、(4) は平均流による、また (6) はボルティックスストレッチングによる  $\varepsilon$  のプロダクションを示す。(6)、(7)、(8) の項はそれぞれ速度変動、圧力変動、粘性の寄与による  $\varepsilon$  の拡散項と解釈される。(9) 項は粘性による  $\varepsilon$  の消散を示す。

(0.3.2.27) 式中で時間平均（ $\langle \rangle$ ）を含む項は何らかの近似が必要である。しかしながら (0.3.2.27) 式の右辺の各項は、いずれも粘性が主要な役割を果たす極めて小さなスケールで生じる現象により記述されているため、これを平均流の勾配やレイノルズストレス等の2次相関項等を用いて近似することは、式の本来の特性に鑑みて適切でないと考えられる。すなわち (0.3.2.27) 式の各項は、乱流エネルギー  $k$  や平均流の運動方程式で現れる比較的大きなスケール（乱れの積分長さスケール等が対応）の現象に比べ極めて小さなスケールにより特徴づけられているため、この各項を直接大きなスケールで変化する諸量で近似することが不可能である。しかしながら、前述したように  $\varepsilon$  は最終的には大きなスケールの流れ場によりコントロールされているため（ $\varepsilon \sim k^{3/2}/l$ ）、(0.3.2.27) 式で示される exact な方程式とは別にマクロスコピックな知見からこれをモデル化するというアプローチを採ることが可能である。乱流では、大局的には大きなスケールの乱れが平均流からエネルギーを受け取る割合（乱流エネルギー生産の割合）と、小さなスケールの乱れの粘性散逸によりエネルギーが消散される割合が釣り合っていると考えられる。この意味で  $\varepsilon$  の輸送方程式のモデルをこの乱流エネルギーの生産に関連した物理量のスケールで作成することは、十分な妥当性を持っている。

ところで、 $\varepsilon$  は  $k$  の輸送方程式と同様に生産項と消散項を持っているものとするのが妥当であり、この考えに基づいて Davidov らによりマクロな見地から両者が次式の様に近似されている。 $\varepsilon$  の平均流による生産項  $P_\varepsilon$ 、 $\varepsilon$  の粘性消散項を  $\varepsilon_\varepsilon$  と表すとすれば、

$$P_\varepsilon - \varepsilon_\varepsilon = (C_1 P_k - C_2 \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k} \quad (0.3.2.28)$$

ここで  $P_k$  は (0.3.2.26) 式で定義されている  $k$  の生産項であり  $C_1$ 、 $C_2$  は経験定数である。また、 $\varepsilon$  の乱流拡散も  $k$  の輸送方程式と同様に曾於拡散フラックス ( $\langle u_j, \varepsilon' \rangle$ ) が、 $\varepsilon$  の勾配に比例するモデルを用い、次式を用いる。

$$\langle u_j' \cdot \varepsilon' \rangle = -\frac{\nu_t}{\sigma_2} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \quad (0.3.2.29)$$

(0.3.2.28)、(0.3.2.29) 式の拡散、生産、消散を表す各項により、 $\varepsilon$  の輸送方程式は結局次式の様にモデル化される。

$$\frac{D_\varepsilon}{D_t} = D_\varepsilon + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 P_k - C_2 \varepsilon) \quad (0.3.2.30)$$

$$\text{但し、} D_\varepsilon = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_2} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right\} \quad (0.3.2.31)$$

上記 (0.3.2.30) 式は、やや乱暴であるが、 $k$  の輸送方程式 (0.3.2.25) 式に  $\varepsilon/k$  を乗じて次元を  $\varepsilon$  に変更したものに近いと解釈することも可能である。

渦粘性  $\nu_t$  は (0.3.2.14)、(0.3.2.23) 式の関係より、

$$\nu_t = C_D \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (0.3.2.32)$$

となる。

これまでに、 $C_D$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $s_1$ 、 $s_2$  の 5 つの経験定数が表れた。

Spalding と Launder は  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  については、

$$\sigma_1 = 1.0 \quad , \quad \sigma_2 = 1.3 \quad (0.3.2.33)$$

を提案している。 $C_D$  については、 $k$  の生産と散逸がだいたい平衡であるような流れ場の中の実験に基づいて次のように定められた。

$$C_D = 0.09 \quad (0.3.2.34)$$

$$C_D = \left( \frac{-\langle u_i' u_j' \rangle}{k} \right)^2 \quad (0.3.2.35)$$

従ってこれより  $\frac{|\langle u_i' u_j' \rangle|}{k} = 0.3$  である。従って、 $C_D=0.09$  という値は、乱れが等方と考

えた時の  $u_i'$ 、 $u_j'$  の相関係数  $|\langle u_i' u_j' \rangle| / \frac{2}{3}k$  が 0.45 であるということを意味していると考えてよい。

Launder 等は、 $C_1$  については壁近傍の乱流境界層における実験式より、又、 $C_2$  については格子背後の乱れの減衰の実験から次のように導いている。

$$C_1 = 1.59 \quad , \quad C_2 = 2.0 \quad (0.3.2.36)$$

さらに彼らは、より広範な流れ場に適合する推奨値として computer optimization により次の値を提案している。

$$C_1 = 1.44 \quad , \quad C_2 = 1.92 \quad (0.3.2.37)$$

### 0.3.2.5.3 $k-\varepsilon$ 型2方程式モデル（浮力を伴う場合（非等温））

非等温の浮力を伴う場合の平均流れ場は以下の方程式系によって記述される。

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \langle u_j \rangle}{\partial x_j} = -\frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - g\beta \langle \Delta \theta \rangle \delta_{i3} \quad (0.3.2.38)$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (0.3.2.39)$$

$$\frac{\partial \langle \Delta \theta \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_j \rangle \langle \Delta \theta \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_3} \cdot \frac{\partial \langle \Delta \theta \rangle}{\partial x_j} \right) \quad (0.3.2.40)$$

但し、 $\langle \Delta \theta \rangle = \langle \theta \rangle - \langle \Delta \theta_0 \rangle$

$\langle \theta \rangle$  : 各点における温度

$\langle \Delta \theta_0 \rangle$  : 周辺の流体の平均温度

$g$  : 重力加速度 ( $-9.8\text{m/s}^2$ 、 $x_3$  座標軸と逆方向)

$\beta$  : 空気の体積膨張率 (約  $1/300$ )

$$\Delta \rho = -\beta \rho_0 \langle \theta \rangle$$

$$\text{但し、} \Delta \rho = \rho - \rho_0 \quad (0.3.2.41)$$

$\rho$  : 各点の流体密度

$\rho_0$  : 周辺の温度  $T_0$  の流体の平均密度

上式では、温度差により浮力の生じる場合を示したが、空気と密度の異なるガスの場合も取り扱いと同じである。この場合、 $\Delta r$  と代表密度差  $\Delta r_0$  及び濃度  $C$  の間には次式の関係が成り立つ。

$$\Delta \rho = \Delta \rho_0 \times C \quad (0.3.2.42)$$

$$\text{但し、} \Delta \rho = \rho_s - \rho_0$$

$\rho_s$  : 排出されたガスの密度

$C$  : 各点におけるガスの濃度（希釈率）

(0.3.2.37) 式の浮力項に対して、(0.3.2.1) 式と (0.3.2.5) 式から等温の場合の  $k$  の輸送方程式と同様の操作を施せば、 $k$  の輸送方程式中に新たな浮力による乱流エネルギー  $k$  の生産項  $G_k$  が現れる。

$$G_k = -g\beta\langle\theta \cdot u_i'\rangle\delta_{i3} \quad (0.3.2.43)$$

但し、 $\theta$  : 温度の瞬時値

$\langle\theta\rangle$  : 温度の時間平均値

これを勾配輸送で近似すると、

$$G_k = -g\beta\langle\theta' \cdot u_i'\rangle\delta_{i3} \quad (0.3.2.44)$$

となる。

又、 $\varepsilon$  の方程式においても同様に、浮力に基づく  $\varepsilon$  の生産項  $G_k$  が新たに現れる。非等温流の場合の (0.3.2.15) 式に相当する式に含まれる浮力項 ( $-gbq'd_{i3}$ ) に対して、(0.3.2.15) 式から (0.3.2.27) 式を導くのと同じ操作を施すことによって、次元に示す  $G_\varepsilon$  が得られる。

$$G_\varepsilon = -2vg\beta\left\langle\frac{\partial u_i'}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial \theta'}{\partial x_k}\right\rangle\delta_{i3} \quad (0.3.2.45)$$

浮力による  $\varepsilon$  の生産項が加わった場合も、等温の場合の (0.3.2.30) 式と同様のマクロ近似を行うとすれば、(0.3.2.45) 式の  $G_k$  は次元と数値定数を考慮して、

$$(\varepsilon \text{ の生産と消散}) = (C_1P_k + C_3G_k - C_{2\varepsilon})\frac{\varepsilon}{k} \quad (0.3.2.46)$$

と表されるので、結局、非等温の場合の  $k$  の輸送方程式は、

$$\frac{Dk}{Dt} = D_k + P_k + G_k - \varepsilon \quad (0.3.2.47)$$

$\varepsilon$  の輸送方程式は

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = D_\varepsilon + \frac{\varepsilon}{k}(C_1P_k + C_3P_k) - \frac{\varepsilon}{k}(C_{2\varepsilon}) \quad (0.3.2.48)$$

となる。

非等温の場合を対象とした  $k$ - $\varepsilon$  モデルでは、(0.3.2.38)、(0.3.2.40)、(0.3.2.41)、(0.3.2.47)、(0.3.2.48) 式を解く。

非等温の場合、等温の場合に現れた 5 つの定数以外に  $s_\beta$  ((0.3.2.40) 式) と  $C_\beta$  ((0.3.2.48) 式) の 2 つの定数が新たに現れる。 $s_\beta$  は乱流プラントル数と呼ばれ、例えば、乱流壁面で 0.85 ~ 1.0、自由乱流で 0.5 ~ 0.7 程度とされている。

浮力による  $\varepsilon$  の生産に関わる定数  $C_\beta$  は、他の定数に比べてまだ確定されておらず、検討の余地が残されている。もし、平均流の勾配による  $\varepsilon$  の生産と浮力による  $\varepsilon$  の生産が同等の寄与を持つとするならば、 $C_\beta$  は  $C_1$  と同様の値 ( $\sim 1.44$ ) となるはずで Rodi は (0.3.2.48)

式の下線部の項を次式に書き直している。Rodi をはじめとする既往の研究により、この 1.44 という値は鉛直方向の速度成分が卓越する流れ場においては比較的良い結果をもたらすが、水平方向の速度成分が卓越する流れ場では、この値を大幅に減ずる必要があることが明らかとなっている。

$$\frac{\varepsilon}{k}(C_1 P_k + C_3 G_k) = \frac{\varepsilon}{k}(P + G_k)(1 + C_3' Rf) \quad (0.3.2.49)$$

2次元垂直せん断流の場合、

$$Rf = 0 \quad (0.3.2.50)$$

又、2次元水平せん断流の場合、

$$Rf = -\frac{G_k}{P_k + G_k} \quad (0.3.2.51)$$

という形で  $Rf$  を定める方法を提案している。又、 $C_3'$  の値に関して Rodi は

$$C_3' = 0.8 \quad (0.3.2.52)$$

としている。これは  $Rf=0$  (垂直せん断流) の場合  $C_3=1.44$  に、又  $R_f$  が (0.3.2.51) 式から与えられる場合 (水平せん断流)、 $C_3=0.29$  に相当する。

又、Viollet 等は (0.3.2.44) 式で定義される浮力による  $k$  の生産項  $G_k$  の正負から  $C_3$  を決定する方法を採用している。彼らは  $G_k > 0$  の場合、 $C_3=C_1=1.44$ 、 $G_k < 0$  の場合  $C_3=0$  として計算を行っている。ここで  $G_k$  の正負は (3.2.45) 式から明らかなように、流れ場の安定度に対応する。

$$\text{即ち、 } G_k > 0 \text{ は } \frac{\partial \langle \theta \rangle}{\partial z} < 0 \quad \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} > 0 \right) \text{ の不安定状態を、}$$

$$\text{又、 } G_k < 0 \text{ は } \frac{\partial \langle \theta \rangle}{\partial z} > 0 \quad \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} < 0 \right) \text{ の安定状態を意味する。}$$

非等温の場合の  $k-\varepsilon$  モデルをまとめて表 0.3.2.2 に示す。

$k-\varepsilon$  型 2 方程式モデルはその導出のプロセスから見て十分に発達した乱流を対象にしていると考えられる。このモデルは理工学分野の各種の問題に適用され、かなりの成功を収めており、現在も広く使われている乱流モデルである。

表 0.3.2.2 非等温の場合の  $k$ - $\varepsilon$  モデル

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (0.3.2.53)$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \langle P \rangle + \frac{2}{3} k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \right] - g\beta \langle \theta \rangle \delta_{i3} \quad (0.3.2.54)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_1} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + (P_k + G_k) - \varepsilon \quad (0.3.2.55)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_2} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 P_k + C_3 G_k) - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (0.3.2.56)$$

$$P_k = \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \quad (0.3.2.57)$$

$$G_k = -g\beta \frac{\nu_t}{\sigma_\theta} \cdot \frac{\partial \langle \Delta \theta \rangle}{\partial x_i} \delta_{i3} \quad (0.3.2.58)$$

$$\frac{\partial \langle \Delta \theta \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle \Delta \theta \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_\theta} \cdot \frac{\partial \langle \Delta \theta \rangle}{\partial x_j} \right) \quad (0.3.2.59)$$

数値定数 :  $C_D=0.09$ 、 $C_I=1.44$ 、 $C_2=1.92$

$\sigma_1=1.0$ 、 $\sigma_2=1.3$ 、 $\sigma_3=1.0$

$C_3$  に関しては

① Viollet 型の場合

・  $G_k > 0$  (不安定) の場合  $C_3=C_I$

・  $G_k \leq 0$  (安定) の場合  $C_3=0$

② Rodi 型の場合

・ 垂直せん断流の場合  $C_3=1.44$

・ 水平せん断流の場合  $C_3=0.92$



### 0.3.3.1 数値解析条件

本研究において、戸建住宅の通風性能を評価するにあたり、CFDにより室内外の流れ場を解析し、基準換気回数と基準室間通風量を算出する。以下に、その解析条件の詳細を記述する。

#### (1) 解析風向

16 風向を解析する。

#### (2) 窓の開閉状況

全窓終日開放として計算を行う。

#### (3) 基礎方程式

解析には標準  $k - \varepsilon$  モデルを用いる。

標準  $k - \varepsilon$  モデルの基礎方程式を表 0.3.3.1 に示す。

#### (4) 離散化スキーム

時間には 1 次精度風上差分スキームを、空間については移流項に 3 次精度風上差分スキームを、他は 2 次精度中心差分を用いる。

#### (5) 記号の定義

記号を次のように定義する。

$\langle \rangle$	: アンサンブル平均
$U_i$	: 平均風速の 3 成分
$k$	: 乱流エネルギー
$\varepsilon$	: $k$ の散逸
$X_t$	: 空間座標
$\nu_t$	: 渦動粘性係数
$\alpha$	: ベキ指数
$Z_s$	: 基準高さ
$U_s$	: 基準高さにおける風速
$\sigma$	: 風速変動の標準偏差
$\tau_w$	: 壁面せん断応力

表 0.3.3.1 標準 k-e モデルの基礎方程式

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (0.3.3.1)$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \langle p \rangle + \frac{2}{3} k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu_t \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \right] \quad (0.3.3.2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_1} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (0.3.3.3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_2} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (0.3.3.4)$$

$$P_k = \nu_t S^2 \quad (0.3.3.5)$$

$$\nu_t = C_u \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (0.3.3.6)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial \langle \Delta u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle \Delta u_j \rangle}{\partial x_i} \right)^2} \quad (0.3.3.7)$$

数値定数は以下のように与える。

$$C_u = 0.09, \quad C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad \sigma_1 = 1.0, \quad \sigma_2 = 1.3$$

### 0.3.3.2 各種境界条件

図 0.3.3.1 に境界条件設定を示す。

#### (1) 流入・流出面

##### a. 平均風速

流入風速の鉛直分布  $U(z)$  は、下式のようなべき乗則で与える。

$$z_s = 6.5, \quad U_s = 3.0, \quad \alpha = 0.25$$

$$U(z) = U_s \left( \frac{z}{z_s} \right)^\alpha \quad (0.3.3.8)$$

##### b. 乱流エネルギー $k$

乱れの強さ  $I(z)$  の鉛直分布式を下式に示す。

$$I(z) = \frac{\sigma_u(z)}{U(z)} = 0.1 \left( \frac{z}{z_G} \right)^{(-\alpha-0.05)}$$

$$z_G = 100$$

上式を参考として流入の  $k$  の鉛直分布  $k(z)$  は下式のように与える。

$$k(z) = \frac{\sigma_u^2(z) + \sigma_v^2(z) + \sigma_w^2(z)}{2} \cong \sigma_u^2(z) = (I(z)U(z))^2 \quad (0.3.3.10)$$

##### c. $k$ の散逸 $\varepsilon$

流入の  $\varepsilon$  の鉛直分布  $\varepsilon(z)$  は、乱れの生成  $P_k$  と散逸  $\varepsilon$  がほぼ釣り合っていると仮定して下式のように与える。

$$\varepsilon(z) \cong P_k(z) \cong -\overline{uw}(z) \frac{dU(z)}{dz} \cong C_l^{1/2} k(z) \frac{dU(z)}{dz} = C_l^{1/2} k(z) \frac{U_s}{z_s} \alpha \left( \frac{z}{z_s} \right)^{(\alpha-1)}$$

$$C_l = 0.09$$

#### (2) 計算領域側面、上空面

壁面に沿う速度の鉛直方向勾配を壁面において 0 とするものであり (free-slip 条件)、下式により与える。

$$\frac{\partial u}{\partial x_n} \Big|_{wall} = 0 \quad (0.3.3.12)$$

### (3) 地表面、建物壁面

壁面において、壁面に沿う風を0とし、壁近傍において与えられる直線風速分布に基づき壁面せん断力  $\tau_w$  を下式により与える（対数則）。

$$\frac{u(x_n)}{(\tau_w / \rho)^{1/2}} = \frac{1}{\kappa} \ln x_n^+ + A = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{(\tau_w / \rho)^{1/2} \cdot x_n}{\nu} + A \quad (0.3.3.13)$$

$A$ ：普遍定数

$\kappa$ ：カルマン (*Karman*) 定数 (=0.4)

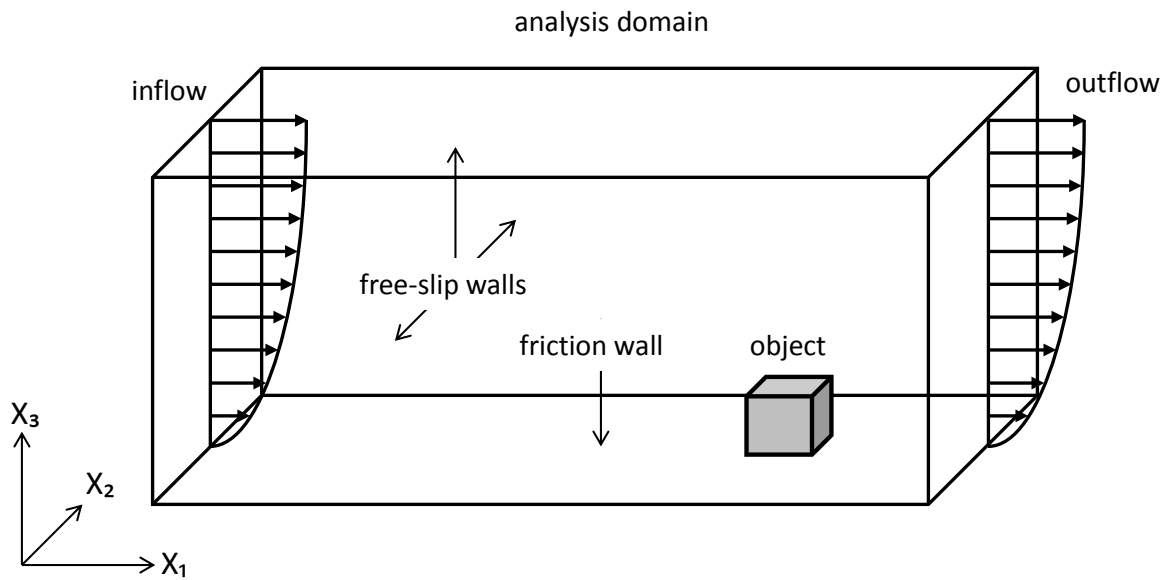


図 0.3.3.1 境界条件設定

#### (4) 周期境界条件

##### a. 流入・流出面、計算領域側面

建蔽率を考慮した解析では解析領域の周壁を周期境界条件として領域内で周遊させて与える。建蔽率 10、30、50% の CFD 解析は、連続した住宅団地の中央部の住宅を対象とする。

建蔽率 10、30、50% の解析での基準風速（6.5 m 高さ）は建物が無い解析を別途行い、基準風速が 3.0m/s になるように上空面の風速を調整して解析を行う。

##### b. 上空面

上空面にはべき乗則により、解析領域上空面高度における風速を外部風の駆動力として与える。



## 序編

## 第 4 章 熱負荷計算プログラムの概要





#### 0.4.1 多数室型熱負荷計算プログラム TRNSYS の概要

##### 0.4.1.1 TRNSYS with IISiBat の特徴

TRNSYS (TRNSYS with IISiBat) は、モジュール式構造を持つシミュレーションプログラムである。つまり、TRNSYS では様々なモジュール (TRNSYS プログラムでは、これらを TYPE と呼ぶ。例えば、気象データの読み取り、スケジュールの作成、集熱器の計算、蓄熱層の計算などを行なう TYPE がある) を組み合わせてデータの流れを指定し、IISiBat (イージーバット) と呼ばれるインターフェース上でひとつのシミュレーションモデルを構築することが可能である。実際にシミュレーションを行う際の作業は、計算目的に合わせていくつかの TYPE を選定し、各 TYPE での設定値やこれらの TYPE 間で行われるデータ交換を情報を指定することである。また、標準のライブラリに含まれていない独自の計算モジュール (TYPE) をインターフェース上で容易に作成することも可能である。このように TRNSYS は柔軟性・拡張性の高いプログラムである。TRNSYS の構造とデータフローを図 0.4.1.1 に示す。

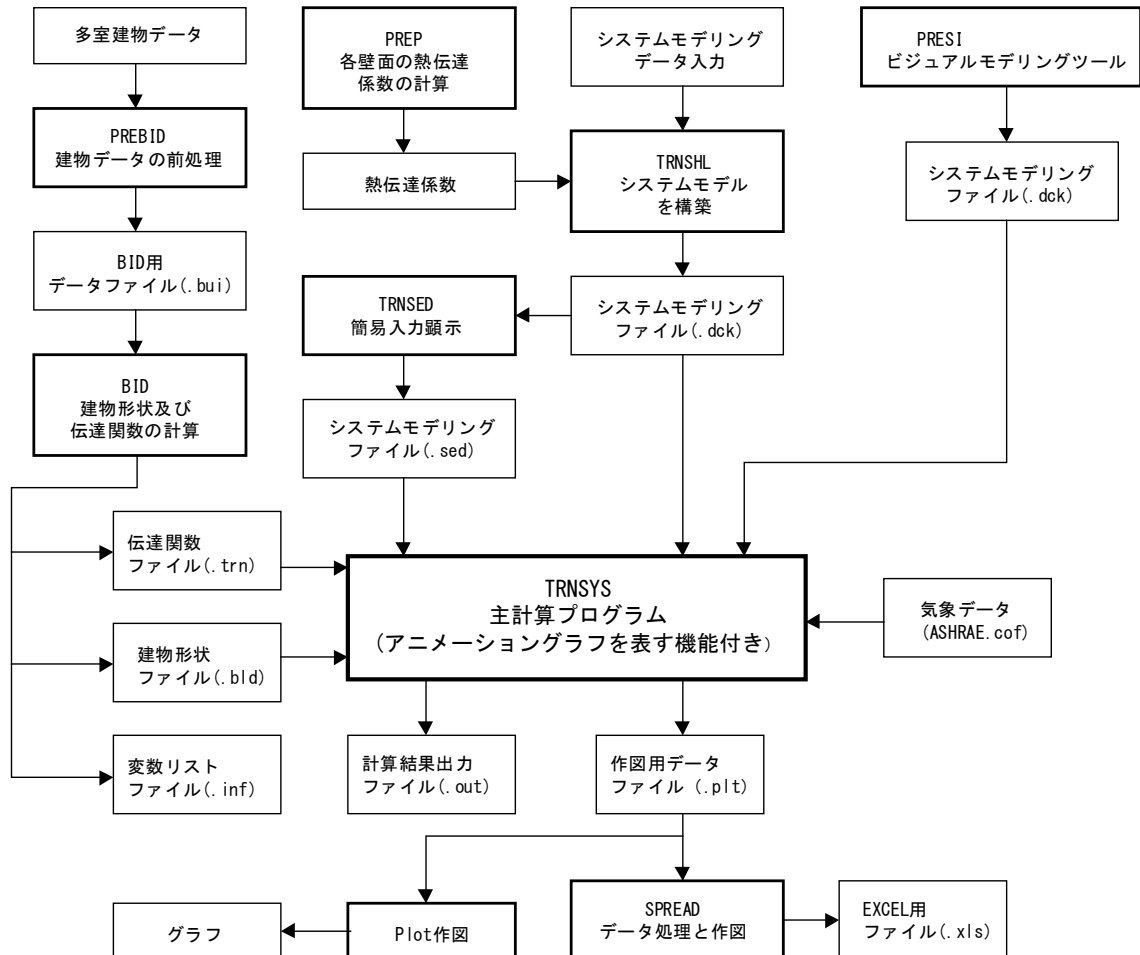


図 0.4.1.1 TRNSYS の構造とデータフロー

#### 0.4.1.2 TYPE56: MULTI-ZONE BUILDING の概要

TRNSYS は、25 のゾーンをもつ建物の熱の動きを体系付ける要素で構成される。この要素を使うには、最初にそれぞれの前処理プログラムを実行しなければならない。Building Input Description プログラム (BID) は、建物について記述されたファイルを読み込み処理し、TRNSYS シミュレーションの TYPE56 の構成要素によって使われる 2 つのファイルを作成する。ユーザーは、テキストエディタかインタラクティブプログラム PREBID を用いて、BID によって処理された建物の記述を含んだファイルを作る。TYPE56 コンポーネントでは 5 つのパラメーターが必要となる。第 1・2 のパラメーターは、建物のデータ (\*.BLD) と移動機能係数のデータファイルをそれぞれ読み込んだ FORTRAN のロジカルユニットである。第 3 のパラメーターは FORTRAN ロジカルユニットに窓の熱と光に関するデータを含んだライブラリファイルを与える。この ASCII ファイルは TYPE56 を割り当てる。アメリカの Lawrence Berkeley 研究所で開発された WINDOW4.1 プログラムを用いることで発展可能である。第 4 のパラメーターは内部の伝達性と熱交換の計算をする。もし、時間による熱変換係数が使われるなら（例えば、床暖房システムと組み合わせて）、第 4 のパラメーターは 1 となる。第 5 のパラメーターは実施される部屋の温度の計算をするために、気温と平均表面温度の間に地域要因を与える。TYPE56 の出力、入力 は BID プログラム内の建物の記述とオプションによって決まる。BID は詳細な出力データと TYPE56 に必要な入力データを生み出す。

暖房、冷房、加湿、除湿の設備には 2 方法ある。その 2 方法は“エネルギー率”と“温度レベル”をコントロールするのに TYPE12 と TYPE19 のモデルが利用できるという点で似ている。“エネルギー率”を用いる方法では、空調設備の単純化モデルは TYPE56 コンポーネント内で実行される。ユーザーは冷暖房の設定温度や湿度コントロールや最大冷暖房率を指定する。建物の各ゾーンでこれらの設定は変えることができる。もしユーザーが冷暖房設備のより詳しいモデルを必要とするならば、“温度レベル”もより詳しくしなければならない。この場合、それぞれのコンポーネントは冷暖房設備か、またはどちらかの設備のモデルが必要となる。TYPE56 ゾーンから出力されたデータを、今度は TYPE56 ゾーンの冷暖房設備モデルの入力に用いることができる。

### 0.4.1.3 数学的記述

冷暖房設備の単純化モデルを含まない一般的な場合を最初に示す。もし別々の設備コンポーネントが使われるならば、それらを内部の対流または通風による熱取得として単純化されたゾーンと結合することができる。これには、TYPE56 のコンポーネント内で冷暖房設備を求める簡単な方法が記されている。もうひとつのセクションでは、壁機能に移す関係に基づく timebase とは異なる timestep のシミュレーションの使い方について記す。最後に、太陽エネルギーと内部の輻射エネルギーをそれぞれのゾーン内に分配する方法である光学と熱の窓モデルと湿気バランス計算を示す。

#### 熱ゾーン (Thermal Zone)

TYPE56 の建物モデルは、例えば家具といった空気集合点と密接に関係があるそのゾーンの空気の容積と容量の熱容量を表している各ゾーンにひとつの空気の中心点を持つ非幾何学的のバランスモデルである。だから、容量の中心点はゾーンの容積とは別に入力する。

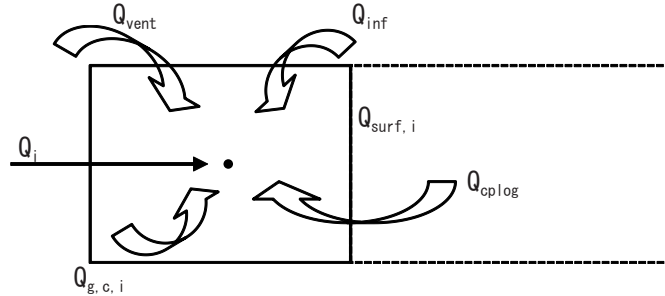


図 0.4.1.1 空気の中心点の熱バランス

空気の中心点への熱の流れ (Convective Heat Flow to the Air Node)

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{surf,i} + \dot{Q}_{inf,i} + \dot{Q}_{r,i} + \dot{Q}_{g,c,i} + \dot{Q}_{cplg,i} \quad (0.4.1.1)$$

$$\dot{Q}_{surf,i} = U_{w,i} \cdot A_{w,i} \cdot (T_{wall,i} - T_{air})$$

；すべての内側表面からの熱の流れ

$$\dot{Q}_{inf,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{outside} - T_{air})$$

；外気流入量

$$\dot{Q}_{r,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ventilation} - T_{air})$$

；換気量 (HVAC の様な利用者の決めた換気システムによる)

$$\dot{Q}_{g,c,i} = \left[ \frac{kJ}{h} \right]$$

；人間や設備、照明、放熱器などによる内部の対流の増加

$$\dot{Q}_{cplg,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{zone,i} - T_{air})$$

；ゾーン i か境界状態からの結合性のある空気流の増加

## 混合 (Coupling)

この章では空気を中心点から、または中心点への熱の流れである、あるゾーンが他のゾーンから受ける空気の最大の流れを定義する。それはゾーン内で空気の交換が起こったものとして、隣り合ったゾーンから戻ってきた空気の流れを自動的に定義するのではない。この戻ってきた流れを考えると、対応する混合は戻ってきた同じ空気を受ける隣り合ったゾーン内で定義されなければならない。この取り決めは、ゾーン内を横切る通風、または3つ以上のゾーン内を循環する通風（例えば、2階建ての温室を通るサーモサイフンのような）をユーザーに説明できるようにするためである。

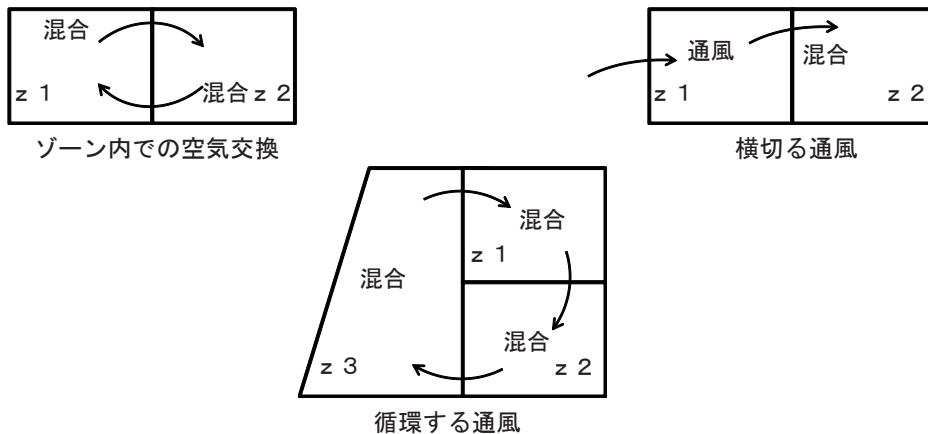


図 0.4.1.2 空気の流れ

注；TYPE56 では空気バランスのチェックはできない。ユーザーは混合によってゾーンを空にすることも満たすこともできる。ゾーン内を混合、換気、流入する空気の流れは物理的に重要であることに注意しなければならない。

## 壁や窓への輻射熱流 (Radiative Heat Flows (only) to the Walls and Window)

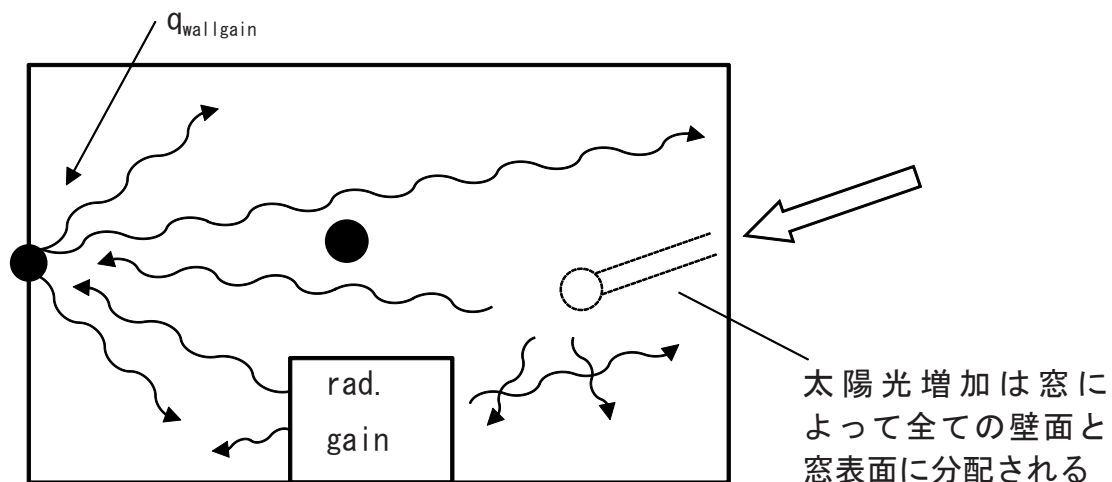


図 0.4.1.3 壁表面のある点からの輻射熱の流れ

$$\dot{Q}_{r,w_i} = \dot{Q}_{g,r,i,w_i} + \dot{Q}_{sol,w_i} + \dot{Q}_{long,w_i} + \dot{Q}_{wall-gain} \quad (0.4.1.2)$$

- $\dot{Q}_{r,w_i}$  ; 壁表面温度の中心点への輻射増加 [kJ/h]  
 $\dot{Q}_{g,r,i,w_i}$  ; 壁が受けるゾーン内の輻射増加 [kJ/h]  
 $\dot{Q}_{sol,w_i}$  ; 窓を通して壁が受ける太陽光増加 [kJ/h]  
 $\dot{Q}_{long,w_i}$  ; この壁と他のすべての壁と窓の間で交換される長波長輻射  
 (  $\varepsilon_i = 1$  ) [kJ/h]  
 $\dot{Q}_{wall-gain}$  ; 壁表面のユーザーが明示した熱の流れ

次のサブセクションではこれらのエネルギー量の計算に使われた表現が与えられる。変化する温度とエネルギーを計算するための手順が必要とされる。

### 壁と窓 (Walls and Windows)

図 0.4.3.3 には、窓や壁の熱反応によって特定される熱流や温度が示される。図 0.4.3.3 で用いられた用語は下記に記す。

- $S_{s,i}$  ; 内部表面で吸収した輻射熱流 (太陽熱と輻射熱取得)  
 $S_{s,o}$  ; 外部表面で吸収された輻射熱流 (太陽熱取得)  
 $\dot{q}_{r,s,i}$  ; ゾーン内における全ての他表面の純輻射熱移動  
 $\dot{q}_{r,s,o}$  ; 外部表面を考慮した全ての他表面の純輻射熱移動  
 $\dot{q}_{w,g,i}$  ; 壁表面へのユーザーの指定した熱流  
 $\dot{q}_{s,i}$  ; 内部表面においての壁からの伝導熱流  
 $\dot{q}_{s,o}$  ; 外部表面においての壁からの伝導熱流  
 $\dot{q}_{c,s,i}$  ; 内部表面からゾーン空気への熱対流  
 $\dot{q}_{c,s,o}$  ; 境界 / 表面から外部表面への熱対流  
 $T_{s,i}$  ; 内部表面温度  
 $T_{s,o}$  ; 外部表面温度  
 $T_i$  ; ゾーン i の温度 (空気の中心点)  
 $T_{a,s}$  ; 外部境界表面における周囲の空気の温度

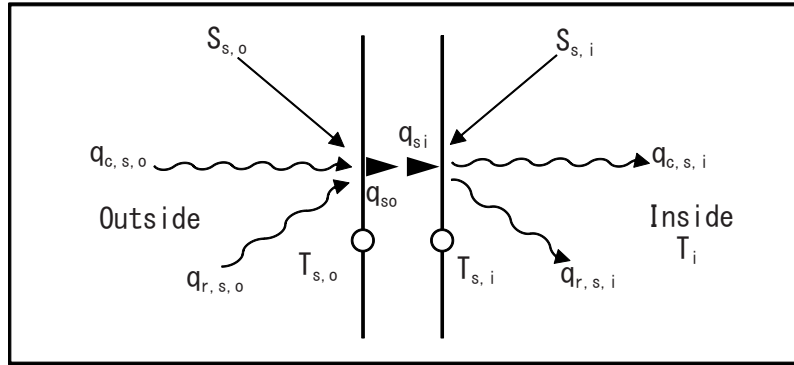


図 0.4.1.4 表面熱流と表面温度

壁は、表面から表面へ限定される Mitalas と Arseneault (参考文献 ;1, 2, 6) の変換機能関係によって説明される。全ての壁において、表面における熱伝導は次のようになる

$$\begin{aligned} \dot{q}_{s,i} &= \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,i}^k \\ \dot{q}_{s,o} &= \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,o}^k \end{aligned} \quad (0.4.1.3)$$

これらの表面温度や熱流に関する時系列の方程式は、同じ時間間隔で数値を求められる。右上の  $k$  の文字は時系列用語と関係する。現在の時間が  $k=0$  であって、それよりも前の時間が  $k=1$  などである。この計算に基づく timebase は、BID の中でユーザーによって明示されている。時系列の係数 ( $a's, b's, c's, d's$ ) は参考文献 2 の  $z$  関数のルーチンを使う BID プログラム内で決められる。

### Mitalas による機能変換法 (Transfer Function Method by Mitalas)

機能や応答要因を移す方法は、壁の“熱履歴”を伝える方法として述べられ、壁は黒い箱として考察されている。たとえ壁が高い熱量 ( $k \leq 20$ ) をもつ重い壁であろうと、この壁の熱反応の記述をほんの少しの時間幅でしか考察しないものであろうとも、(ユーザーによって明示された) timebase と関係のある timestep ( $k$ ) の数値は示される。考察された壁の timebase がある一定の時間を超えた場合、変換機能のマトリックス係数の計算は停止させられる。その結果、そのような“薄い”壁は、熱量を無視した抵抗によって置き換えることが出来る。例として、次のような図は異なった壁の材料層を示している。

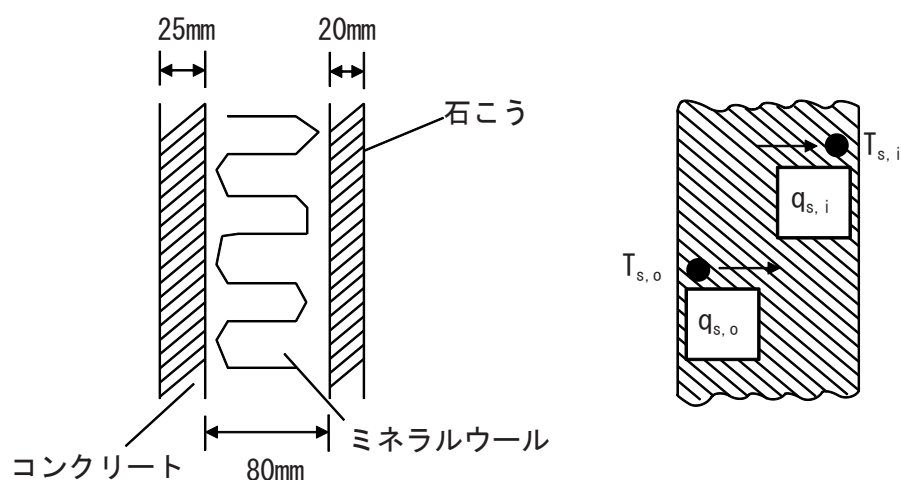


図 0.4.1.5 実際の壁と黒箱モデルの壁

外側から内側にコンクリート、ミネラルウール、石膏の3つの層で構成される壁を例として示す。

表 0.4.1.1 壁材の物質データ

物質データ	厚さ [m]	伝導率 [kJ/h·m·K]	容積 [kJ/kg·K]	密度 [kg/m3]
コンクリート	0.025	6.23	0.75	2200
ミネラルウール	0.08	0.155	0.75	40
石膏	0.02	2.62	0.75	1600

機能変換法を使うと、BID プログラムは、例として次に挙げられた変換機能係数を計算する。



\*\*\*\*\* 壁変換計算 \*\*\*\*\*

レンガ壁タイプ

表 0.4.1.2 機能変換係数 (Mitalas)

K	A	B	C	D
0	2.6190774.E+01	1.2372480.E+00	4.4254315.E+01	1.0000000.E+00
1	-2.4298963.E+02	6.5867610.E-01	-4.2365060.E+01	-1.3354550.E-04
2	2.6803463.E-03	3.7640136.E-04	5.2372929.E-03	
合計	1.8944930.E+00	1.8944320.E+00	1.8944920.E+00	9.9866400.E-01

試験壁の係数表は上記のようになる。さらに変換機能係数リストは、壁の熱伝導値  $U$  の計算と内部と外部の表面への一定の伝達性の熱移動 ( $\alpha_i$ ,  $\alpha_o$ ) を考慮している合計熱移動係数  $k$  を含む。

注；これらの対流による熱移動係数はシミュレーションでは使われない。 $k$  値の計算はインフォメーションファイル (\*.INF) で述べられているため、そこで対流による熱移動係数は使われる。

$$\frac{1}{\alpha_i} = 0.13 \frac{1}{\frac{W}{m^2 K}} \quad ; \quad \frac{1}{\alpha_o} = 0.04 \frac{1}{\frac{W}{m^2 K}}$$

壁要素の熱量を考慮しているダイナミックなシミュレーションではこれらの値を用いないが、壁表面の一時的な熱流に暗に含まれた熱の抵抗について描写している。変換機能方法と TYPE56 建物モデル全体の最終的な証明は、CEC リサーチプログラム PASSYS の詳細な測定法を使った Peter Voit(参考文献 ;7) によってなされた。

## 長波長輻射 (The Long-Wave Radiation)

ゾーン内の表面とゾーン空気から内部表面へ対流する熱流が交換する長波長輻射は、Seem(参考文献 ;3) と図 0.4.1.6 に示された STAR ネットワークを使うことで近似値を得られる。この方法は、壁表面から対流による空気中心点への、そして放射による他の壁と窓要素への同方向のエネルギーの流れを考慮した太陽熱量の変化や、床暖房された人工の温度集中点 (Tstar) を使う。ZAE ミュンヘンの S. Holst によってなされた、スウェーデン LUND 大学の建物の詳細モデル JULOTTA(参考文献 ;4) と比較すると、表面温度は一致することがわかる。混合した熱流や輻射熱変換係数を用いる単一中心点モデルは、より顕著な違いがみられる。(IEA Task 13, 参考文献 ;7)



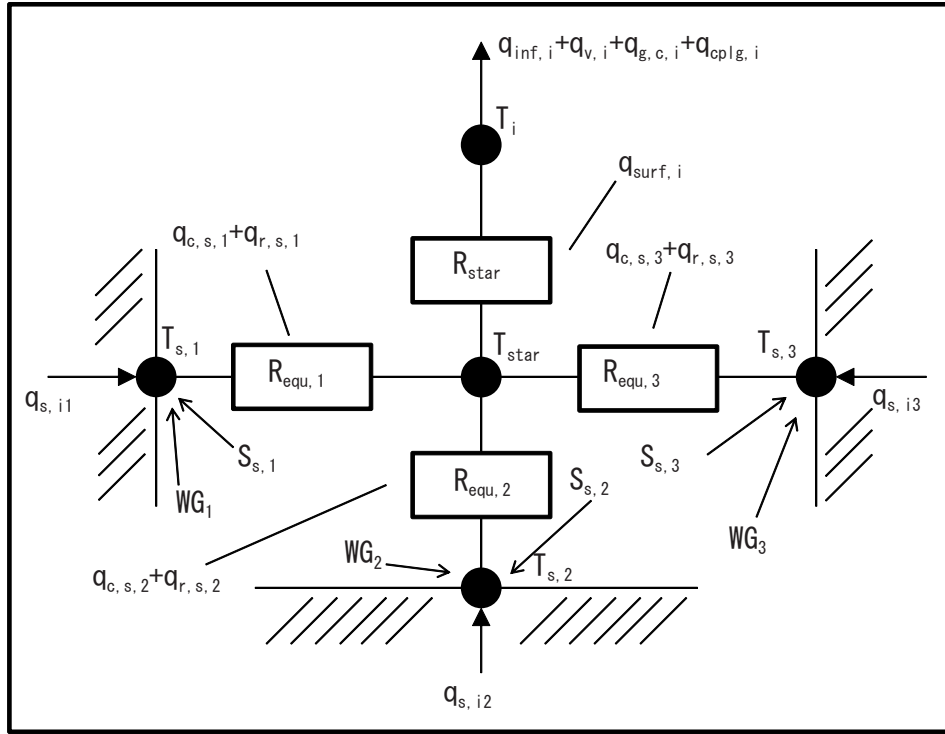


図 0.4.1.6 3面ゾーンの STAR ネットワーク

$$R_{star,i} = f(\alpha_i, A_{surf,i}) = \frac{1}{Q_{surf,i}} (T_{star} - T_i) \quad (0.4.1.4)$$

抵抗  $R_{equiv,i}$ ,  $R_{star,i}$  の計算方法は（参考文献；3）参照。エリアの割当は全表面間の吸収要因を求めるため、これらの計算で用いられる。STAR 温度は内側壁面の純放射と熱対流の計算で使われる。

$$\begin{aligned} \dot{q}_{comb,s,i} &= \dot{q}_{c,s,i} + \dot{q}_{r,s,i} \\ \dot{q}_{comb,s,i} &= \frac{1}{R_{quiv,i} A_{s,i}} (T_{s,i} - T_{star}) \end{aligned} \quad (0.4.1.5)$$

$\dot{q}_{comb,s,i}$  ; 対流と輻射による熱流の混合

$A_{s,i}$  ; 内部表面面積

外部表面における長波長輻射交換は、TYPE56 モデルで入力した仮想外気温； $T_{sky}$  と各外部表面の気候要素； $f_{sky}$  を使った関数で求められる。合計伝熱量  $\dot{q}_{comb,s,o}$  は対流による伝熱と輻射による伝熱の合計として次式で求められる。

$$\begin{aligned}\dot{q}_{comb,s,o} &= \dot{q}_{c,s,o} + \dot{q}_{r,s,o} \\ \dot{q}_{c,s,o} &= h_{conv,s,o} \cdot (T_{a,s} - T_{s,o}) \\ \dot{q}_{r,s,o} &= \sigma \cdot \varepsilon_{s,o} \cdot (T_{s,o}^4 - T_{fsky}^4) \\ T_{fsky} &= (1 - f_{sky}) \cdot T_{a,s} + f_{sky} \cdot T_{sky}\end{aligned}\tag{0.4.1.6}$$

$\dot{q}_{comb,s,o}$  ; 表面での対流と輻射による熱流の混合  
 $\dot{q}_{c,s,o}$  ; 表面での対流による熱流  
 $\dot{q}_{r,s,o}$  ; 表面での輻射による熱流  
 $h_{conv,s,o}$  ; 外部表面における対流伝熱係数  
 $f_{sky}$  ; 外側表面で見える空の割合 1  
 $T_{sky}$  ; 長波長輻射交換で使われる仮想外気温  
 $\varepsilon_{s,o}$  ; 外側表面の長波長放射  
 $\sigma$  ; Stephan-Boltzmann 定数

近隣に建物のない垂直な壁では、 $f_{sky}$  値は 0.5 である。もし壁の前に視界を妨げる建物がある場合、 $f_{sky}$  値は 0.5 よりも小さくなる。屋根の上には障害物のない水平な屋根では、 $f_{sky}$  値は 1.0 となる。

表面でのエネルギーバランスは次式で与えられる

$$\begin{aligned}\dot{q}_{s,i} &= \dot{q}_{comb,s,i} + S_{s,i} + Wallgain \\ \dot{q}_{s,o} &= \dot{q}_{comb,s,o} + S_{s,o}\end{aligned}\tag{0.4.1.7}$$

太陽放射と長波長輻射の両方を受ける内部表面積  $S_{s,i}$  は、人間や家具といった室内にあるものも含む。

Wallgain はユーザーが定義した内壁表面を流れるエネルギーの流れである。それは太陽高度の変化による天井冷房システムモデルの単純な方法として使用される。外側表面積  $S_{s,o}$  は太陽放射だけを受ける。

## 外壁 (External Walls)

式 0.4.1.2 に式 0.4.1.7 を代入した式は、境界気温の関数として外壁の内部表面熱流の混合や操作をすることができる。

$$\dot{q}_{comb,s,i} = \dot{q}_{c,s,i} + \dot{q}_{r,s,i}$$

$$B_s = \frac{e_s h_{s,o}}{(1 - f_s)}$$

$$C_s = \frac{f_s \left( \frac{1}{R_{equiv,i} A_{s,i}} \right)}{(f_s - 1)}$$

$$D_s = \frac{f_s S_{s,i} + e_s (S_{s,o} - k_{s,o}) + K_{s,i}}{(1 - f_s)}$$

$$e_s = \frac{b_s^o}{a_s^o + h_{s,o}}$$

$$f_s = (b_s^o e_s - c_s^o) R_{equiv,i} A_{s,i} \quad (0.4.1.8)$$

$K_{s,i}$  と  $K_{s,o}$  の値は変換機能方程式によって決まる。

$$K_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,i}^k$$

$$K_{s,o} = \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,o}^k \quad (0.4.1.9)$$

## 壁の境界状態 (Walls with Boundary Conditions)

式 0.4.1.8 もまた、既知の境界温度  $T_{b,s}$  を  $T_{a,s}$  として代わりに使うことができる。

## 隣り合った内壁と境界状態と同一の壁

(Adjacent, Internal Walls and Walls with Identical Boundary Conditions)

他のゾーンと隣り合った壁、内壁、同一状態である隣り合ったゾーンの壁に、式 0.4.1.8 は適用されるが、下記の点に注意する

隣り合ったゾーン；  $T_{a,s} = T_{star,j}$

内壁；  $T_{a,s} = T_{star,j}$

隣り合った同一のゾーン；  $T_{a,s} = T_{star,j}$

$$B_s = \frac{e_s \frac{1}{R_{equiv,j} A_{s,j}}}{1 - f_s}$$

$$e_s = \frac{b_s^o}{a_s^o + \frac{1}{R_{equiv,j} A_{a,j}}}$$

注；内壁では、両側は  $A_s$  領域として考えなければならない。

HBACK  $\leq 0.001$  とすることで気温よりもむしろ外側表面温度を境界状態とすることもできる。この場合、 $T_{a,s} = T_{s,o} = T_{b,s}$  とする。 $B_s, C_s$  は次のようになる。

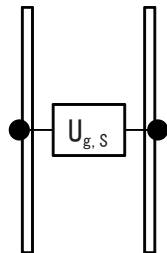
$$B_s = \frac{b_s^o}{1 + c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

$$C_s = \frac{c_s^o}{1 + c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

$$D_s = \frac{K_{s,i} - c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i} S_{s,i}}{1 + c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i}} \quad (0.4.1.10)$$

## 窓 (Windows)

窓は熱量をもたず、太陽エネルギーを通すが内部の長波エネルギーは通さない外壁として考えられる。長波の吸収は表面のみで起こると考えられる。TYPE56 の熱バランスの計算において、窓は下の図で 2 点間モデルとして表される。光学と熱の窓モデルの詳細は後で示す。式 0.4.1.3 ~ 0.4.1.8 は窓の計算で有効である。



$$a_s^o = b_s^o = c_s^o = U_{g,s}$$

$$a_s^k = b_s^k = c_s^k = d_s^k = 0$$

$U_{g,s}$ ；内側から外側へのガラスの透過損失係数

図 0.4.1.7 TYPE56 の熱バランス計算で使われた 2 点間窓モデル

### ゾーンの表面からの合計熱量 (Total Gains from Surfaces in a Zone)

ゾーン i の全表面からの合計熱量は混合熱移動または式 0.4.1.7 と式 0.4.1.8 の合計である。

$$Q_{surf,i} = \sum A_s q_{comb,i} = \sum_{j=1}^{adj. \text{ zones}} \sum_{i=1}^{walls \text{ to } j} A_s B_s T_{star,j} + \sum_{surfaces}^{ext.} A_s B_s T_a + \sum_{walls}^{int.} A_s B_s T_{star} \\ + \sum_{bound}^{known} A_s B_s T_{b,s} - \sum_{inzone i}^{surface} A_s (C_s T_{star,i} - D_s - S_{s,i}) \quad (0.4.1.11)$$

$A_s$ ; 内部領域の表面積

内壁の両側は内部表面積と考えられ、式 0.4.1.11 に 2 回含まなければならない。

図 0.4.1.6 の STAR 点のエネルギーバランスは次式でえられる。

$$\dot{Q}_{surf,i} = \frac{1}{R_{star,i}} (T_{star,i} - T_i) \quad (0.4.1.12)$$

### 浸透・換気・対流による混合 (Infiltration, Ventilation, and Convective Coupling)

浸透率、換気率は各ゾーンの 1 時間あたりの空気交換回数で得られる。流動率はゾーンの空気容量と空気密度、空気交換率から求められる。浸透は外部の状態により起こり、換気はある（可変）温度により起こる。等しい空気量とそのゾーン温度でゾーンから流出するとみなす。ゾーン i の浸透と換気によるエネルギー量は次式で得られる。

$$\dot{Q}_{inf,i} = \dot{m}_{inf,i} C_p (T_a - T_i) \\ \dot{Q}_{v,i} = \dot{m}_{v,i} C_p (T_v - T_i) \quad (0.4.1.13)$$

$\dot{m}_{inf,i}$  ; 浸透空気の流動率

$\dot{m}_{v,i}$  ; 換気の流動率

$C_p$  ; 空気の熱

$T_v$  ; 換気空気の温度

$T_a$  ; 周囲の温度

温度変化のある個々のゾーンや既知の境界状態をもつ壁は、ある対流による混合が可能である。この混合はゾーンに流入して壁面を伝う空気の流動率である。ある等しい空気量とその温度でゾーンから流出するとみなす。対流による混合で得られるエネルギー量はゾーン内全ての壁が取得するエネルギーの合計である。

$$\dot{Q}_{cplg,i} = \sum_{adj. \text{ zones}} \sum_{walls \text{ to } j} \dot{m}_{cplg,s} C_p (T_j - T_i) + \cdots + \sum_{bound}^{known} \dot{m}_{cplg,s} C_p (T_{b,s} - T_i) \quad (0.4.1.14)$$

$\dot{m}_{cplg,s}$  ; 壁を伝ってゾーン i に流入する空気の流動率

### 自由に変動するゾーンの温度（冷暖房なし）

#### (Floating Zone Temperature (No Heating or Cooling))

自由に変動するゾーンの内部エネルギーの交換率は純熱取得に等しい。

$$C_i \frac{d}{dt} T_i = \dot{Q}_i \quad (0.4.1.15)$$

$C_i$  はゾーン  $i$  の熱容量（最少 =  $V_i \rho \cdot c_p$ 、 $V_i$  はゾーン容積）

純熱量  $\dot{Q}_i$  は  $T_i$  とゾーン  $i$  と隣接する全ゾーンの温度による関数で得られる。

注； $\dot{Q}_i$  は単にこの方程式において決められた全ての timestep で変わらないものであり、ゾーン温度の平均値から求められる。

この場合、与えられた timestep の最終温度による方程式の解は次式ようになる。

$$T_{i,\tau} = T_{i,\tau} - \Delta t + \frac{\bar{\dot{Q}}_{i\Delta t}}{C_i} \quad (0.4.1.16)$$

$\Delta t$  ; シミュレーションの timestep

$T_{i,\tau-\Delta t}$  ; 開始 timestep のゾーン温度

温度変化は直線的で平均値は次のようになる

$$T_i = \frac{T_{i,\tau} + T_{i,\tau-\Delta t}}{2} \quad (0.4.1.17)$$

式 0.4.1.17 は  $T_{i,t}$  と唯一の表現で表される純熱量の式 0.4.1.16 に代入した結果で解け、次式が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{2C_i(\bar{T}_i + T_{i,\tau-\Delta t})}{\Delta t} = & \sum_{j=1}^{\text{zones}} \sum_{\text{it}oj}^{\text{walls}} \dot{m}_{cplg,s} C_p \bar{T} + \dot{m}_{cplg,s} C_p T_a + \sum_{\text{bound}}^{\text{known}} \frac{d}{dt} \dot{m}_{cplg,s} C_p T_{b,s} \\ & - \left( \frac{1}{R_{star,i}} - \sum_{\text{bound}ies}^{\text{known}} \dot{m}_{cplg,i} + \sum_{\text{it}oj}^{\text{walls}} \dot{m}_{cplg,s} + \dot{m}_{inf,i} \dot{m}_{v,i} \right) \bar{T}_i \\ & + \dot{m} C_p T_v + \dot{Q}_{g,c,i} \end{aligned} \quad (0.4.1.18)$$

式 0.4.1.11 と式 0.4.1.12 は等しくそして次のように再編できる

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{R_{star,i}} - \sum_{\text{walls}}^{\text{int.}} A_s B_s + \sum_{\text{ini}}^{\text{surf.}} A_s C_c \right) \bar{T}_{star,i} - \left( \sum_{\text{zones}}^{\text{adj.}} \sum_{\text{it}oj}^{\text{walls}} A_s B_s \right) \bar{T}_{star,i} - \frac{1}{R_{star,i}} \bar{T} : \\ & = \left( \sum_{\text{surfaces}}^{\text{exterior}} A_s B_s \right) T_a + \sum_{\text{bound}eries}^{\text{known}} A_s B_s T_{b,s} + \sum_{\text{inzone}i}^{\text{surface}} A_s (D_s + S_{s,i}) \end{aligned} \quad (0.4.1.19)$$

エネルギーバランスは全てのゾーンについて書かれ、ゾーン温度平均と STAR 温度平均の 1 次方程式の結果である式 0.4.1.18 と式 0.4.1.19 によってえられる行列式では、

$$[X][\bar{T}] = [Z] \quad (0.4.1.20)$$

この行列は次のように分配される

$$[X] = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix}$$

$$[\bar{T}] = \begin{bmatrix} \bar{T}_1 \\ \bar{T}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{T} \\ \bar{T}_{star} \end{bmatrix}$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix}$$

$$X_{11,ii} = \left( \sum^{wallsitoj} \dot{m}_{cplg,s} + \dot{m}_{inf,i} + \dot{m}_{v,i} \right) C_p + \frac{2C_i}{\Delta t} + \sum^{known\ boundaries} \dot{m}_{cplg,i}$$

$$X_{11,ii} = \sum^{wallsitoj} \dot{m}_{cplg,s} C$$

$$X_{12,ii} = \frac{1}{R_{star,i}}$$

$$X_{12,ij} = 0$$

$$X_{21,ii} = -\frac{1}{R_{star,i}}$$

$$X_{21,ij} = 0$$

$$X_{22,ii} = \sum^{int.\ walls} A_s B_s + \sum^{surf.\ inzonei} A_s C_s$$

$$X_{22,ii} = - \sum^{adj.\ walls\ zones} \sum^{itoj} A_s B_s$$

$$Z_{1,i} = \dot{m}_{inf,i} C_p T_a + \dot{m}_{cplg,s} C_p T_{b,s} + \dot{m}_v C_p T_v$$

$$Z_{2,i} = \left( \sum^{ext.\ surf} A_s B_s \right) T_a + \sum^{known\ boundaries} A_s B_s T_{b,s} + \sum^{surf.\ inzonei} A_s (D_s + S_{s,i})$$

温度変化のあるゾーンの場合

$$[\overline{T}] = [X]^{-1}[Z] \quad (0.4.1.21)$$

ゾーン i の最終温度は

$$T_{i,\tau} = 2\overline{T}_i - T_{i,\tau-\Delta t} \quad (0.4.1.22)$$

注；各ゾーンの timestep での平均温度は TYPE56 で出力される。これは TRNSYS スタンダードで最終 timestep での平均値として与えられた結果による。

#### 壁の Timebase に対するシミュレーション Timestep (Simulation Timestep Versus Wall Timebase)

式 0.4.1.8 は、内側と外部の空気温度を持つ壁の内部の表面における熱伝導値を与える。式 0.4.1.2 と式 0.4.1.4 は、時系列 に基づくので時系列の Timebase の平均を出せば正確な値となる。また、ゾーン空気内部のエネルギーの変化率についての微分方程式が、シミュレーションの Timestep で解明される。これは壁の Timebase シミュレーションの Timestep が壁の Timebase 以下ならば、Timebase 上の内部の壁表面における平均の熱伝導値は式 0.4.3.23 で求められる。

$$\overline{\dot{q}_{s,i,\Delta t_b}} = B_s \overline{T_{i,\Delta t_b}} + C_s \overline{T_{a,s,\Delta t_b}} + D_s \quad (0.4.1.23)$$

$\Delta t_b$  は、壁の Timebase に関係している。

平均時間軸空気温度は式 0.4.1.24、式 0.4.1.25 で求める。

$$\overline{T_{i,\Delta t_b}} = \frac{\sum_{\text{over timebase}} T_{i,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b} \quad (0.4.1.24)$$

$$T_{a,s,t_b} = \frac{\sum_{\text{over timebase}} T_{a,s,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b} \quad (0.4.1.25)$$

式 0.4.1.24 と式 0.4.1.25 を、式 0.4.1.23 に代入すると、次式が得られる。

$$\dot{q}_{s,i,\Delta t_b} = \sum_{\text{over timebase}} (B_s \overline{T_{i,\Delta t}} + C_s \overline{T_{a,s,\Delta t}} + D_s) \frac{\Delta t}{\Delta t_b} = \frac{\sum \dot{q}_{s,i,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b} \quad (0.4.1.26)$$



壁の Timebase 上の平均熱流動は、シミュレーションの Timestep 上の平均気温で求められた平均熱流動と等しい。各 Timestep の方程式の解にとって、方程式 0.4.1.8 によって与えられる壁の熱流動は最新の状況を使い決定される。しかしながら、壁の履歴を特徴付ける気温と熱流動は壁の Timebase 上の平均を表している。これは Timebase 値の期間で気温幅を導く。

重く厚い壁の Timebase は 2 時間またはそれ以上かけて決定される。もし同じ建物にとっても薄い壁があったならば、BID プログラムはエラーメッセージを出し停止する。これは軽い構造の時間定数によって引き起こされる。もし時間定数が変換機能の Timebase よりも低ければ、応答はエラーを出すであろう。この場合、薄い壁は抵抗層を用いる記述によって置き換えられるはずである。この方法は方程式 0.4.1.26 によって与えられた壁の Timebase 上の熱流動をもたらす。

### 光と熱の窓モデル (Optional and Thermal Window Model)

TRNSYS バージョン 14.2 では、詳細な窓モデルが米国の Lawrence Berkeley Laboratory によって開発された WINDOW4.1 プログラムで使われている出力データが TYPE56 のコンポーネントの中に組み込まれている。この窓モデルは 6 つの窓ガラスで構成され、細部において太陽放射の伝達、投影、吸収を算出する。内外の遮光物や様々なガラスのタイプによる端補正が検討される。光と熱の窓モデルが以下に述べられている。

### 窓の説明 (Discription of the Window)

窓は、5つの異なるガスで満たされた6つの窓ガラスで構成されている。各窓ガラスはそれぞれの温度をもち、前に説明した通り、内側の窓ガラスはSTAR 中心点温度と STAR ネットワークに関わっている。そして、外側の窓ガラスは周囲の気温に熱を伝えることによって、そして架想外気温 ( $T_{fsky}$ ) に変換する長波長輻射によって結びつけられる。フレームと窓ガラスとガス充填物の熱容量は無視する。

窓ガラスにおいて求める温度は、入射・拡散する太陽放射の伝達・吸収・反射や、ゾーンの壁や内部にある遮光物から反射する短波長輻射の拡散によって計算される。(図 0.4.1.8 参照)

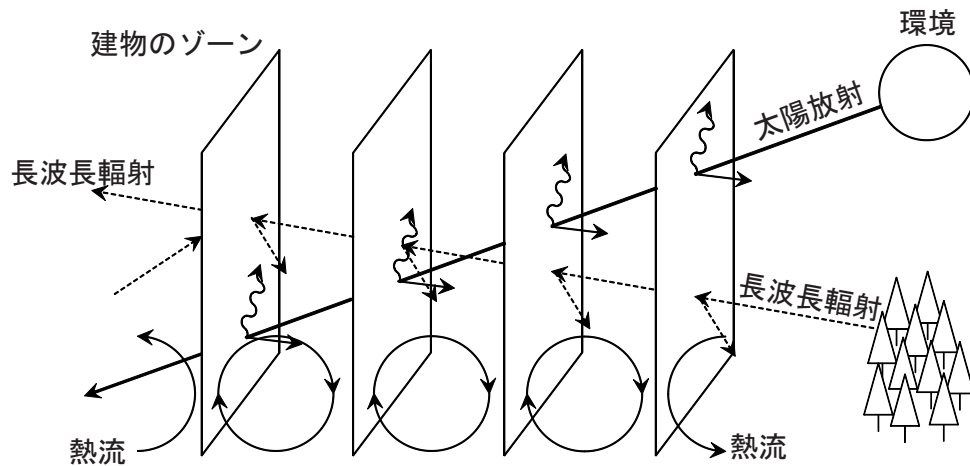


図 0.4.1.8 窓モデルの詳細図

### 太陽放射の伝達 (Transmission of Solar Radiation)

それぞれのガラスはガラス材料と入射角度によって決まる太陽放射の入射の一部を吸収し反射する。WINDOW4.1 プログラムでは、単一のガラスと吸収・伝達する各ガラスとの間の反射の細かい計算を、直射日光の入射角 10 度で半球形の拡散において実行した。充填したガスの持つ熱やガラスからの伝導や放射とともに、窓の光学データは WINDOW4.1 プログラムによって ASCII ファイルに表されている。この出力ファイルは、DOE2.1 (LBL) や TRNSYS14.2 のような熱の分析プログラムに役立つ標準フォーマットを装備している。TRNSYS では、窓のライブラリーファイルは一般的に使用されているガラスのシステムをユーザーに役立たせるため WINDOW4.1 プログラムを用いて作られた。

このデータは、回帰機能を用いて構成・改変した TYPE56 によって読み出される。

$$y = x \cdot \left( 2 - x + (1 - x)^2 \cdot (cl + c2 \cdot (2 - x)) \right)$$

この改変データを用いると、各窓における太陽放射の伝達と短波長輻射の吸収の合計が算出される。

### 窓ガラス間における熱流動 (Heat Flux Between Window Panes)

個々の窓ガラス間における熱伝達の様子を下の図に示す。伝達・対流・長波長輻射は個々のものとみなされる。

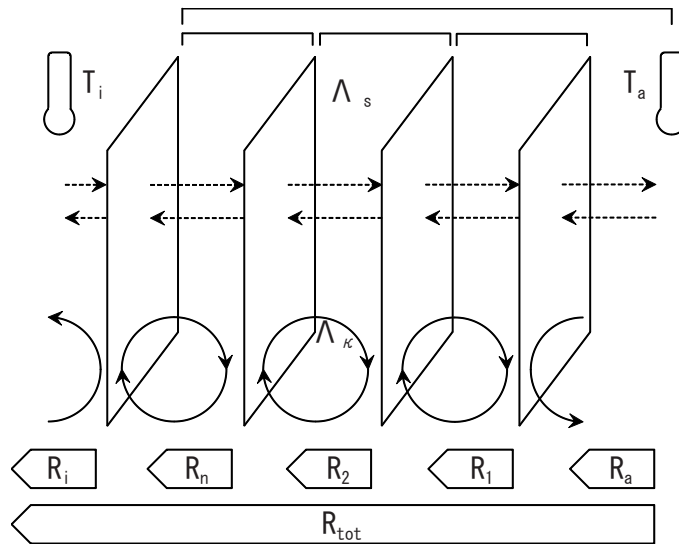


図 0.4.1.9 窓ガラス中の抵抗ネットワーク

内側の窓ガラスから周囲への熱流動は、下の式を用いて算出される。

$$\dot{Q}_{n-a} = k_{n-a} A (T_n - T_a) \quad (0.4.1.27)$$

$$k_{n-a} = \frac{1}{\sum R_{jj} + R_a}, R_{jj} = \frac{1}{\Lambda_{jj}}$$

$$R_a = \frac{1}{\alpha_{c,a} + \alpha_{r,a}}, R_i = \frac{1}{\alpha_{c,i} + \alpha_{r,i}}$$

$$\Lambda_{jj} = \Lambda_{cnv,jj} + \Lambda_{rad,jj} + \Lambda_{cond,jj}$$

ガラス間の放射熱の変換係数は、次式を用いて算出する。

$$\Lambda_{jj} = a\sigma(T_{mean})^3 \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (0.4.1.28)$$

個々のガラス間の対流熱の変換係数に置き換えられるのは、窓の傾斜を考慮しつつ次式を用いて算出される。

$$A_k = Nu \cdot \frac{\lambda(T)}{s} \quad (0.4.1.29)$$

$$R_a = \frac{g\Delta TL^3}{T\mu \propto} \quad (0.4.1.30)$$

$$Nu = 1 + 44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin(1.8\beta)^{1.6})}{R_a \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{R_a \cos \beta} \right]^+ + \left[ \left( \frac{R_a \cos \beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ \quad (0.4.1.31)$$

#### 短波長輻射の吸収 (Absorption of Short-Wave Radiation)

窓ガラスにおける短波長輻射の吸収（太陽放射の入射・拡散・ゾーンの全表面や内部にある遮光物から反射したものの拡散）は次式によって与えられた窓ガラスからゾーンへの熱流量を導く。

$$\dot{Q}_{abs,i} = \sum_{i \rightarrow n} (I_{dir} abs_{dir,i} + I_{dif} abs_{dif,i} (I_{ref,z} + I_{ref,sh}) abs_{dif,i,b}) \frac{R_{i-1} + R_a}{R_{tot}} \quad (0.4.1.32)$$

ガラスなどの全熱流量は、温度差のみによる熱損失と、短波長輻射（参考文献；5）の大きさのみによるガラスの熱吸収流量に分割して示すことができる。

ゾーンの表面で反射された拡散太陽放射はTYPE56によってのみ算出されるので、もしゾーンのすべての窓からの太陽放射の伝達合計がわかるなら、ゾーンのすべての窓に繰り返し使用される回路は、実際にゾーンの拡散反射する太陽放射が決定するまで実行することができる。

#### 窓ガラス温度の反復解法 (Iterative Solution for Pane Tempertures)

短波長輻射の吸収は個々の窓ガラスの温度増加を引き起こす。これは接した窓や、窓の内部（ゾーン）と外部（周囲）へ熱流動を引き起こし、その結果、窓ガラス温度に補足的な変化をもたらす。窓ガラス温度におけるこの反復は、窓ガラス温度変化が指定された値よりも低くなるまで行われる。

#### 窓ガラスを通過する全エネルギー流量 (Total Energy Flux through the Window Glazing)

個々の窓ガラス温度と窓ガラスを通過する全熱流量を決定すると、吸収された短波長輻射は、それぞれの窓ガラスで集約され、内部と外部の窓の中心点に分割され、窓ガラス中心点で吸収された短波長輻射が示される。

$$\dot{Q}_{abs,i} = 0.5(\dot{Q}_{abs} + h_i \cdot (T_i - T_{zone}) - h_o \cdot (T_o - T_{amb})) \quad (0.4.1.33)$$

$$\dot{Q}_{abs,a} = \dot{Q}_{abs} - \dot{Q}_{abs,i} \quad (0.4.1.34)$$

2点間モデルのこれら熱流動は、多くのゾーンを持つ建物のダイナミックな反応を算出するための熱均衡アルゴリズムである TYPE56 の中で使われている。

### 補正端と窓フレーム (Edge Correction and Window Frame)

窓ガラス温度の算出は、ガラスの端の影響を受けない安定したガラスの中央で行われる。ガラスの端でスペーサーの影響である冷橋を考慮し、5つの異なる素材のスペーサーにおいて補正端係数は WINDOW 4.1 プログラムによって算出される。ガラスの周囲から 2.5 インチ (63.5mm) の範囲をガラスの端と定義する。これらの補正係数と WINDOW プログラムで定義されたガラスサンプルの高さと幅は、ウィンドウライブラリーから読み込まれ、ガラスの  $u$  値は、特にガラスの中央の値を  $u_{\text{center}}$  とし、そしてガラスの端の値を  $u_{\text{edge}}$  として次式で算出する。

$$u_{\text{edge}} = C_{\text{edge},1} + C_{\text{edge},2} \cdot u_{\text{centr}} + C_{\text{edge},3} \cdot u_{\text{centr}}^2 \quad (0.4.1.35)$$

$$u_{\text{glass}} = (A_{\text{centr}} \cdot u_{\text{centr}} + A_{\text{edge}} \cdot u_{\text{edge}}) / (A_{\text{centr}} + A_{\text{edge}}) \quad (0.4.1.36)$$

この補正值  $u_{\text{glass}}$  は、建物の記述の中で明らかにされたものとして TYPE56 の窓の熱計算に使われている。

建物の記述では、窓全体の面積に対するフレームの面積の比率が明らかにされ、さらにフレームの  $u$  値が与えられる。窓全体の  $u$  値はガラスとフレームの  $u$  値を示す数値として算出される。

$$u_{\text{window}} = f_{\text{frame}} \cdot u_{\text{frame}} + (1 - f_{\text{frame}}) \cdot u_{\text{glass}} \quad (0.4.1.37)$$

太陽放射の伝達は、この比率によって（窓の不透過性のフレーム部分によって）減少する。TYPE56 の熱均衡アルゴリズムにおいて、熱流全体とその結果生じる温度は、合計窓面積と関わっている。

### 外部と内部の遮光物 (External and Internal Shading Devices)

外部あるいは内部の遮光物は建物の窓のみで考える。建物の記述で与えられた要因によって、外部の遮光物は窓のガラス領域に入射する太陽放射を減少させる。外部の遮光物が有効であるならば、周囲へガラスの熱損失を減少させる熱抵抗を決定してもよい。

内部の遮光物によって、伝達された太陽放射の減少と太陽放射の反射係数、そしてゾーンの空気中心点に付加された対流の温度を限定しているパラメーターを決めることができる。モデルは、異なる窓ガラス上の内部の遮光物から反射された太陽の放射の吸収を考慮に入れる。そのために内部の窓ガラスによってとても現実的な温度となる。内部のガラスの後部に置かれた遮光物によって付加された対流は、遮光物上の太陽放射の吸収によって煙突効果を生じ始めさせる。

内部遮光において吸収された太陽放射は、伝達された太陽放射の生成物・反射を考慮した遮光ガラス面積の一部・先に述べた上昇気流を経て空気中心点に移された断片として与えられる。

$$\dot{q}_{absh} = \dot{q}_{transfish}(1 - refl_{ish})(1 - c_{conv,sh}) \quad (0.4.1.38)$$

付加された対熱流である、ゾーンの空気中心点への流れは、その結果、次式で与えられる。

$$\dot{q}_{conv,sh} = \dot{q}_{transfish}(1 - refl_{ish})c_{conv,sh} \quad (0.4.1.39)$$

### 太陽放射の分布 (Distribution of Solar Radistion)

入射は、エネルギーの集中した面積分布にしたがって、配分される。いくつかの表面に吸収された入射の割合は次式で表される。

$$f_{s,s} = \frac{\alpha_s A_s}{\sum_{surfaces} (1 - \rho_{d,s}) A_s} \quad (0.4.1.40)$$

$\alpha_s$  ; (建物の説明で定義された) 表面の太陽熱の吸収

$\rho_{d,s}$  ; 表面の太陽放射による反射率

壁表面では、

$$\tau_s = 0, \quad \rho_{d,s} = (1 - \alpha_s)$$

窓では、伝達損失は次式で表される。

$$\tau_s = (1 - \alpha_s - \rho_{d,s})$$

$\rho_{d,s}$  ; 内側からの太陽放射による反射率

### 長波長輻射の分布 (Distribution of Long-Wave Radiation)

全表面は、放射する内部のエネルギー増加により黒くなると仮定する。面積分布によってこれらの増加分が配分される。1つの表面によって吸収され、いくつかのゾーンで得られた内部放射の割合は次式によって表される。

$$f_{1,s} = \frac{A_s}{\sum_{surfaces} A_s} \quad (0.4.1.41)$$

## 水分バランス (Moisture Balance)

エネルギーバランスの計算と平行して、TYPE56 は空気中に漂っている湿気の割合、またはあるセットポイントにおける加湿 / 除湿を考慮して水分バランスを計算する。この場合、TYPE56 は潜在する水分量を計算する。TYPE56 で使われる水分バランスの計算には2つのモデルがある。第1のモデルは、ゾーンにおける増加する水分量の収着による影響を考慮する。第2のモデルは、より高度でありゾーンにおける壁の表面と内部の水分を和らげるものが表される。

## 有効な湿気容量モデル (Effective Capacitance Humidity Model)

第1のモデルにおいて、吸着性・脱着性の材料、地面または植物のバッファ効果は、ゾーンの空気の生成物や水分容量の割合として明らかにされた有効な水分容量によって考えられる。

$$M_{eff,i} = Ratio \cdot M_{air,i} \quad (0.4.1.42)$$

ここで、

$M_{eff,i}$  ; ゾーンにおける有効な水分容量

$M_{air,i}$  ; ゾーンにおける空気量

$Ratio$  ; 1 から 10 の範囲で表される増加要素

いくつかのゾーンにおける水分バランスは下の微分方程式にしたがって、求められる。

$$M_{eff,i} \frac{d\omega_i}{dt} = \dot{m}_{inf,i}(\omega_a - \omega_i) + \dot{m}_{v,i}(\omega_{v,i} - \omega_i) + W_{g,i} + \sum_{j=1}^{walls} m_{cplg,s}(\omega_j - \omega_i) \quad (0.4.1.43)$$

ここで、

$\omega_i$  ; ゾーンの湿度

$\omega_a$  ; 周囲の湿度

$\omega_{v,i}$  ; 通風の湿度

$W_{g,i}$  ; 内部の湿気取得量

$\omega_j$  ; ゾーン J 隣接湿度



連立微分方程式の解を簡単にするため、前の timestep の最後にある  $\omega$  値を上  
の式で用いる。サブルーチン DIFFEQ は、各ゾーンの timestep 上の最終湿度と平均湿度  
をそれぞれ解くために使用される。ゾーンにおける平均湿度が、加湿や除湿に  
よってセットポイントよりも低下したり上昇したりするならば、セットポイントに  
おける湿度を保つために潜在エネルギーは増加あるいは減少する。ゾーン内の湿度  
変化は、 $\omega_i = \omega_{\tau,i}$  で生じると仮定する。この場合、

$$Q_{lat,i} = h_v \left[ \dot{m}_{inf,i}(\omega_a - \omega_{req,i}) + \dot{m}_{v,i}(\omega_{v,i} - \omega_{req,i}) + W_{g,i} \right. \\ \left. + \sum_{\substack{walls \\ i-j}} m_{cplg,s} (\omega_{j,\tau-\Delta t} - \omega_{i,\tau-\Delta t}) - \frac{M_{eff,i}(\omega_{req,i} - \omega_{i,\tau-\Delta t})}{\Delta t} \right] \quad (0.4.1.44)$$

ここで、

$Q_{lat,i}$  ; 潜在エネルギー減少量 (+ 除湿、- 加湿)

$h_v$  ; 気化熱

$\omega_{req,i}$  ; 加湿あるいは除湿のセットポイント

2つのセットポイント間で湿度は自由に変動する。

#### バッファーストレイジの湿度モデル (Buffer Storage Humidity Model)

バッファーストレイジのモデルは、表面と内部のストレージに分類されたバッ  
ファの湿気を説明する。これらのバッファは下図のようにお互いに関連してい  
る。さらに表面のバッファはゾーンの中心点と関係している。それぞれのバッ  
ファは3つのパラメータで明確にされる。

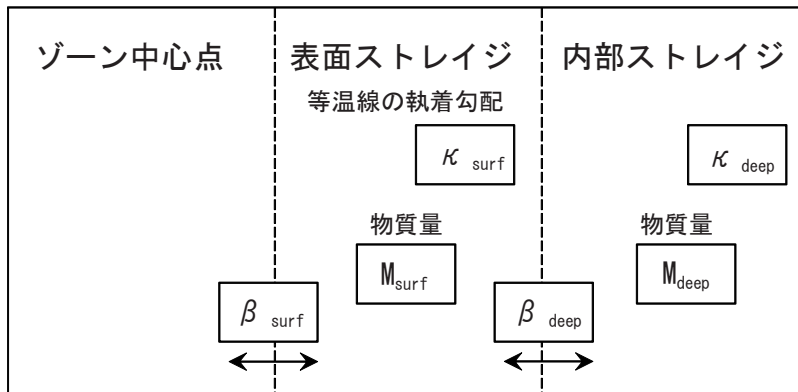


図 0.4.31.10 バッファーストレイジのモデル

第1のパラメータは物質における等温線Kの収着勾配である。これらの数値は物  
質の水分保有量を表している。第2のパラメータは物質質量である。3番目のパラメ  
ータ $\beta$ はストレージからゾーン中心点への水蒸気移動をコントロールしている。



## バッファーストレイジの湿度モデルの数学的説明 (Mathematical Description of the Buffer Storage Humidity Model)

ゾーンの湿度計算に使用する微分方程式は、ゾーン中心点と表面ストレージとの間における水分の交換を考慮して期間を延長する。今までの微分方程式と新しい微分方程式との比較を下に示す。

有効な容量モデル

$$M_{air,i} \cdot W_{cap} \frac{d\omega_i}{dt} = \dot{m}_{inf,i}(\omega_a - \omega_i) + \dot{m}_{v,i}(\omega_{v,i} - \omega_i) + \dot{W}_{g,i} + \sum_{i-j} m_{cplg,s}(\omega_j - \omega_i) \quad (0.4.1.45)$$

バッファーストレイジモデル

$$M_{air,i} \cdot \frac{d\omega_i}{dt} = \dot{m}_{inf,i}(\omega_a - \omega_i) + \dot{m}_{v,i}(\omega_{v,i} - \omega_i) + \dot{W}_{g,i} + \sum_{i-j} m_{cplg,s}(\omega_j - \omega_i) + \beta_{surf}(\omega_{surf} - \omega_i) \quad (0.4.1.46)$$

$\omega_i$  ; ゾーン i の湿度 (水分 kg/ 空気 kg)

$\omega_a$  ; 周囲の湿度

$\omega_{v,i}$  ; 通風の湿度

$\omega_j$  ; ゾーン j との隣接湿度

$\omega_{surf}$  ; 表面ストレージの湿度

$\dot{W}_{g,i}$  ; 内部の水分取得量 (水分 kg/h)

$\dot{m}, \beta$  ; 変換係数

さらに、2つの新しい微分方程式は、表面と内部ストレージの含水の説明を表している。

$$M_{surf} \kappa_{surf} f(\varphi, \omega) \frac{d\omega_{surf}}{dt} = \beta_{surf}(\omega_i - \omega_{surf}) + \beta_{deep}(\omega_{deep} - \omega_{surf}) \quad (0.4.1.47)$$

$$M_{deep} \kappa_{deep} f(\varphi, \omega) \frac{d\omega_{deep}}{dt} = \beta_{deep}(\omega_{surf} - \omega_{deep}) \quad (0.4.1.48)$$

$\omega_{deep}$  ; 内部ストレージの湿度

$\kappa_{surf}$  ; バッファ表面の収着等温線の勾配 (kg<sub>water</sub>/kg<sub>material</sub>/rel. humidity)

$\kappa_{deep}$  ; バッファ内部の収着等温線の勾配

$f(\varphi, \omega)$ ; 相対湿度の変換因数→湿度

$\beta_{surf}$  ; ゾーンの変換係数⇔表面ストレージ (kg/h)

$\beta_{deep}$  ; 表面ストレージの変換係数⇔内部ストレージ (kg/h)

初めに、ユーザーは実際の壁の層を2つの湿度のストレージタイプに割り当てる。バッファー表面では、もっとも反射が少ない抵抗物質のみが問題とされる。

$$\beta_{surf} = 0.1 \cdot \frac{A}{0.094 \cdot \frac{1}{\beta'} + \sum d_i \mu_i} \quad (0.4.1.49)$$

$\beta_{surf}$  は計算可能である。計算は表面積  $A$  (m<sup>2</sup>)、蒸気変化の係数  $\beta$  (～12m/h)、厚さ  $d$ (m) と層  $i$  の抵抗  $\mu$  に基づいている。 $\beta_{deep}$  の計算で蒸気の抵抗の係数は無視することができる。

$$\beta_{deep} = 0.1 \cdot \frac{A}{\sum d_i \mu_i} \quad (0.4.1.50)$$

厚さを  $d$  とすると、 $M = 2d \cdot A \cdot \rho$  に相当するバッファー物質質量と係数  $\beta$  の数値は容易に決定される。下記の  $d$  の厚さは考慮して決定しなければならない。例えば、表面バッファーが1層目の石こう (mm) と2層目の内部バッファー (mm) のみで定義されるとすると、壁表面の湿度ストレージは得られるが内部は無視される。オフィスにおける湿度の測定は、式 0.4.1.51 の条件のときに壁による影響を考慮していることを示している。

$$\frac{\beta_{surf}}{A} = 3 \frac{kg_{air}}{m^2 h}, \quad \frac{\beta_{deep}}{A} = 1 \frac{kg_{air}}{m^2 h} \quad (0.4.1.51)$$

この根拠は、最初の値は数分以内の流量を表し、次の値は数時間以内の流量を表すという事実の上に成り立っている。測定と詳細なシミュレーションは、(レンガやコンクリートの) 壁の中央部から部屋の空気へ流れる水分がごく微量で無視できるということも示している。もしもシミュレーションが数日以上かかるならば、周囲からゾーンへの水分の流れはより増加し、そして浸透パラメーターによって明らかにされなければならない。

前述の値は推奨値である。もちろん、内部バッファーは別の方法で明らかにすることもできる。微量値は1つの季節内での水蒸気移動を表している。式 0.4.1.50 を用いると、厚さ  $d$  と質量  $M$  は容易に決定される。

もし1つの物質だけが1つのストレージで使用されるとすると（例えば、内部ストレージにはコンクリート）ユーザーは建物の説明ファイル\*.BUI.の中にパラメーターKやMを設定しなければならない。もしもユーザーが複数の物質を考慮したいのなら（例えば、コンクリートと石こう）、1つのパラメーターを1に設定しもう1つのパラメーターをKとMによる積の合計に設定する必要がある。

$$\kappa_1 M_1 + \kappa_2 M_2 + \dots$$

#### バッファーストレージの例 (Buffer storage Example)

湿度と温度は80m<sup>3</sup>の容積のあるオフィスで2日間測定されている。そのオフィスは、石こう（厚さ：12mm）とミネラルウール（厚さ：10cm）からなる層の壁、そしてコンクリートの天井と床で囲まれている。周期的に絶対湿度は急激に上昇した。

表 0.4.3.3 から石こうの係数 KSURF が決定する。

$$KSURF = 0.015$$

深層バッファは、異なる物質を考慮する。そのため、KDEEP の値は、

$$KDEEP = 1$$

石こうの層の大きさは50m<sup>2</sup>。表面バッファの浸透深度は、d=3mm に等しいため対応する重量は270kg である。

$$MSURF = 50m^2 \cdot 6mm \cdot 900kg/m^3 = 270kg$$

$$\begin{aligned} MDEEP &= M1 \cdot \kappa1 + M2 \cdot \kappa2 + M3 \cdot \kappa3 \\ &= M(gypsum) \cdot \kappa(gypsum) + M(mineralwool) \cdot \kappa(mineralwool) \\ &\quad + M(concrete) \cdot \kappa(concrete) \\ &= 270 \cdot 0.015 + 500 \cdot 0.01 + 175 \cdot 0.04 = 16 \end{aligned}$$

$$BDEEP = \beta_{deep} / A \cdot A = 1 \frac{kg}{m^2h} \cdot 50m^2 = 50 \frac{kg}{h}$$

$$BSURF = \beta_{surf} / A \cdot A = 3 \frac{kg}{m^2h} \cdot 50m^2 = 150 \frac{kg}{h}$$

建物の説明は（今までのパラメーター WCAPR の代わりに）下のパラメーターを含んでいるはずである。

$$KSURF = 0.015$$

$$KDEEP = 1$$

$$MSURF = 270$$

$$MDEEP = 16$$

$$BSURF = 150$$

$$BDEEP = 50$$

表 0.4.1.3 バッファーストレイジ湿度モデルの物質データ

物質	密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\kappa$ $\left[ \frac{\text{kg-water}}{\text{kg-build.mat.}} \right] / [\text{rel.humidity}]$	抵抗 $\mu$
重コンクリート	2200	0.04	70-150
多孔質コンクリート	600	0.05-0.08	5-10
レンガ	1900	0.03	15-25
泥レンガ	1600	0.005	5-10
プラスター	1800	0.02	5-20
石こう	900	0.015	8
木材	600	0.2	40
コルク	100	0.03	5-10
ミネラルウール	100	0.01	1
HR発泡	20	0.7	20-70

# バッファーストレイジ湿度のモデルの測定とシミュレーションの比較 (Comparison of Measurement and Simulation for the Buffer Storage Humidity Model)

測定とシミュレーションによる湿度

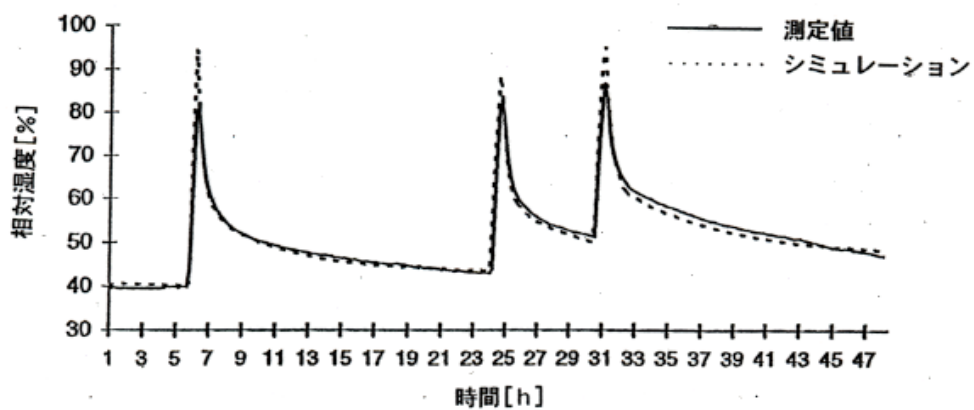


図 0.4.1.11 バッファーストレイジ湿度のモデルにおける測定とシミュレーションの結果

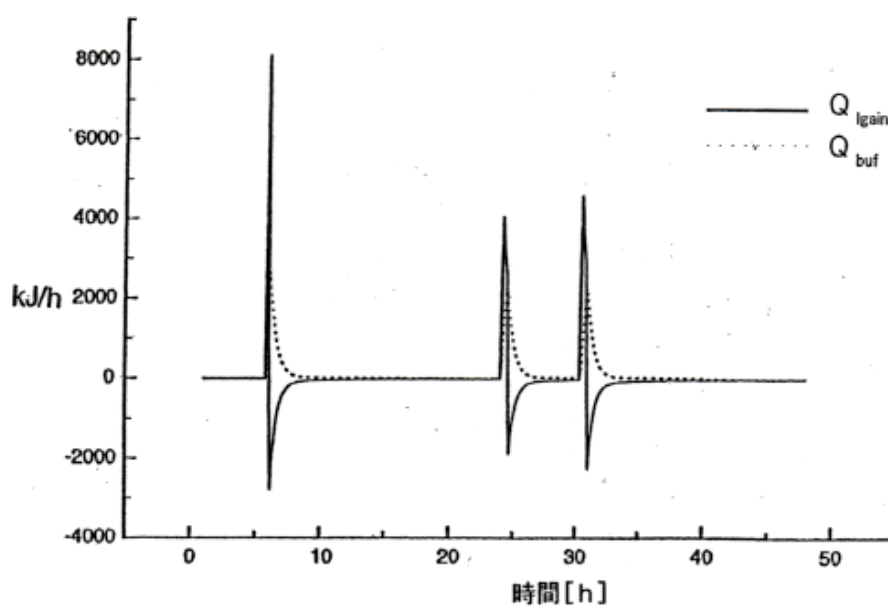


図 0.4.1.12 表面バッファーに流れるエネルギーを表す  $Q_{lgain}$  と  $Q_{buf}$  の出力結果

#### 0.4.1.4 PREBID の概要

TRNSYS で使用するマルチゾーン建物モデルはいくつかの段階を踏む。まずその建物 (\*.BUI) を表す複雑なテキストファイルは建物の幾何学と熱のプロパティに基づいて作られる。このファイルはPREBID として同じサブディレクトリーに含まれる BIDWIN プログラムによって処理される。BIDWIN は \*.BUI ファイルの情報を二つの新しいファイルを作成するために用いる。一方には、建物についての幾何学情報が含まれ、そしてもう一方には ASHRAE の壁変換機能を含む。BIDWIN はまた TYPE56 に必要な入力データと得られる出力データを表すファイルも作成する。これらのファイルは実際の TRNSYS 入力ファイルの中の TYPE56 で使われる。

上記のプロセスの最も時間がかかり難解な部分は、建物についてのファイル (\*.BUI) を作成するところである。このファイルに必要なシンタクスは複雑で精密であるため、タイピングや配置によるエラーがよくおこる。さらに、このファイルの指示は部分から全体へと伝わる。個々の物質における熱のプロパティは最初に入力され、これらの物質は壁を表すものとなる。つまり全建物の構成はあらかじめ決めなければならない。

PREBID は \*.BUI ファイルを作り出す時に、簡単に操作できるツールとして開発された。テキストファイル中の情報を入力する代わりに、単純化された連結窓におけるプロセスの記述に従って導かれる。PREBID3.0 では、最初に基本的なプロジェクトデータを、各ゾーンごとに入力する。

- ・ 新しい詳細窓モデル
- ・ 新しい詳細湿度モデル
- ・ 可変輻射率の新しい熱モデル
- ・ 内壁表面における対流によって変化する熱変換係数
- ・ 長波長による外部との熱交換
- ・ 出力リストの増加

加えて、この境界面が持つ利点を与えるために、PREBID はシステムを操作する Windows に移される。さらに、ある壁と窓のライブラリーは現在アメリカとドイツの基準に従っている。壁や層などの新しい TYPE を表す方法もまた変化した。PREBID の前のバージョンでは、新しい TYPE はその名前を入力することによって簡単に作成され、後に TYPE の定義が TYPE マネージャー内で行われる。この方法は様々なエラーを引き起こし、特に TYPE のプロパティを定義し忘れることが多かった。ユーザーにより良いガイダンスを与えるために、PREBID はユーザーが続行する

前に新しい TYPE を完全に定義することを必要とする。TYPE マネージャーは以前に定義された TYPE の編集においてのみ必要とされる。より理解しやすい境界面とするためのもう 1 つの改良点は壁と窓の接合部である。PREBID において、窓は外壁でのみ定義することができ、窓面積は入力された壁面積から自動的に除去される。

## TRANSYS 構成要素

パラメーター NO.

説明

- 1 Lud - BID によって書かれた建物の記述を読むための FORTRAN の論理ユニット
- 2 Lut - BID によって書かれた壁の変換係数を読むための FOTRAN の論理ユニット
- 3 LUWIN - 窓のライブラリーの FORTRAN 論理ユニット
- 4 T\*-MODE - STAR ネットワークの計算のスイッチ
  - 0 : シミュレーション開始時のみ
  - 1 : 全ての timestep
- 5 Aop - 測定される部屋の温度の付加要素

## 入出力

BID プログラムは、必要な入力と使用可能な出力 (\*INF) のリストを使って出力ファイルを作り出す。ユーザーは TRANSYS 入力ファイルの中の適した入力関係を指定しなければならない。

## 0.4.2 生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver. 2.0 の概要

### 0.4.2.1 SCHEDULE の概要

この住宅用エネルギー計算用生活スケジュール生成プログラム SCHEDULE は、空気調和衛生工学会住宅の消費エネルギー計算法小委員会（平成5年4月～平成8年3月）の作業の一貫として作成し、任意の家族構成、任意の建物における生活行為にともなう室内発熱パターンを作成するプログラムを住宅用エネルギーシミュレーション小委員会（平成9年4月～平成12年3月）において拡張し、給湯パターンの作成の追加及び換気に影響を与える空気汚染物質として湿気、CO、CO<sub>2</sub>の発生を加えたものである。

### 0.4.2.2 生活スケジュールの作成

#### 0.4.2.2.1 居住モデル作成の方針

この方法では平均的な構成による家族を想定し、居住者各人の行動を典型的に想定して、個々の機器についての時刻別使用スケジュールを設定して行く。スケジュール作成の時にエネルギー用途別の調査結果から目積算平均を基礎に時刻別使用スケジュールを調整できるので、平均的なスケジュール作成には適しており、直接的な方法といえる。

しかしながら、住宅の居住する家族構成、年齢は様々であり、また、住宅内での生活行動も様々であると考えられるため、多様な状況に対応できるジュール作成法も必要となってくる。この方法は住宅規模、住宅構成や所有機器の変化に対応した居住者の生活行動を各種のスケジュール設定に反映させることができたため、ライフスタイルの変化にも柔軟に対応できる。ここでは、NHKの国民生活時間調査を用いて居住者の時刻別行動スケジュールを作成し、行動スケジュールを用いて各種スケジュールを発生させる方法を述べる。

#### 0.4.2.2.2 生活者の行動モデル



## ○生活行為モデル

ある程度利用パターンが固定化できる事務所建物とは異なり、住宅内での利用状況や生活行為は人様々であると考えられるが、居住する人を男女、年齢、職業をパラメータとして分類することにより、ある程度標準的な生活行為を把握できると思われる。本報告では、日本人の生活スタイルを全国的に細かく調査されたNHKの「国民生活時間調査」の結果を利用して人々の家の中での生活行為のモデル化を行った。

## ○NHK『国民生活時間調査』について

### 1) 調査目的

日本人の1日全体の生活行動を調査することにより、日本人の生活の様子やその変化を明らかにしており、日本人の生活を時間の使い方面で捉えた基本データとして、広く各方面で利用されることを目的としている。

### 2) 調査年

調査は、戦前の1941年に一度実施され、戦後は1960年より5年毎に行われている（最新のものは1995年）。ここでは1990年（平成2年）に行われた調査結果を使用した。

### 3) 調査対象数

調査対象者：10才以上の国民

調査相手数：90,240人（1都道府県当り1920人×47都道府県）

有効調査相手数：67,898人

有効調査相手率：75.2%

### 4) 生活行動の分類

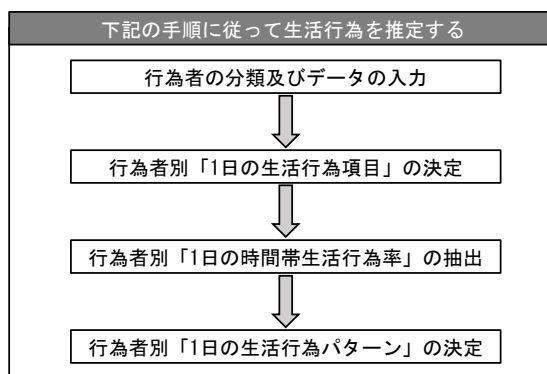
調査における生活行動の分類を表0.4.2.1に示す。

表 0.4.2.1 生活行動の分類（NHK『国民生活時間調査』1990年より）

大分類	中分類	小分類	備考
生活必需行動	睡眠		30分以上継続したもの
	食事		3食とそれらに準じる間食
	身のまわりの用事		洗顔・トイレ・入浴・着がえ・化粧・身辺整理
	療養・静養		自分の病気の診断・治療に係る行動
社会生活行動	仕事		何らかの収入(報酬)を得る行動
	学校	授業・学校の行事	学校(各種学校を除く)での学習行動
		課外活動	「学校・学校行事」以外の学校や部やクラブの活動
		学校外での学習	学習塾や自宅での学習行動
	家事	炊事	「食事」や「おやつ」の準備から後始末までの行動
		そうじ	清掃・掃除、ごみ処理や草取りを含む
		洗たく	アイロンがけ、整理・収納を含む
		縫い物・編み物	家事として行う縫い物・編み物に限る
		買い物	食料品・日用品など、生活用品の買い物
		子供の世話	育児・教育、子供の相手、子供の世話
		病人や老人の世話	家族の病人や老人の介護・世話
		家庭雑事	雑用、片付け・手入れ、手伝い・留守番・お使い
	通勤		自宅-職場間の移動
	通学		学校(塾・各種学校を含む)-自宅間の移動
	会話・交際	社会参加	地域社会行事等への参加、冠婚葬祭に係る行動
		仕事つきあい	仕事や職場に関連した交際・仕事参加
		個人的つきあい	友人・隣人・知人、仕事関係者との会話(仕事以外)
		家族との対話	団らん、親子・夫婦などの家族間のコミュニケーション
		電話	「電話」による私的なコミュニケーション
		手紙	「手紙」による私的なコミュニケーション
自由行動時間	レジャー活動	見物・鑑賞	舞台、音楽会、展示会、スポーツ、まつり等の見物・鑑賞
		行楽・散歩	観光地・遊園地等で遊ぶ、ドライブ・釣り・散歩をする
		スポーツ	体操・運動・スポーツをする
		勝負ごと	勝ち負けを楽しむゲーム(スポーツ以外)や賭け事
		趣味・けいこごと	「技能や資格の勉強」を含む
	マスメディア接触	テレビ	テレビには衛星放送・CATV・文字放送を含む
		ラジオ	ラジオにはFM・PCM放送を含む
		新聞	新聞には業界紙・広報誌チラシ広告を含む
		雑誌	雑誌には週刊誌・季刊・年刊誌を含む
		本	書籍(「雑誌」「マンガ」以外)を含む
		漫画	雑誌か単行本かは問わない
		レコード・CD	「ラジオ」以外の音声メディア接触
		ビデオ	ソフトの種類(テレビの録画、レンタル、市販)は問わない
		映画	劇場で見るものに限る
	休息		休息、うたた寝、無為、お茶・おやつ・晩酌
	その他自由行動		お祈り、お勤め、礼拝、考え事、上記には属さない子供の遊び
その他の行動	その他の移動		通勤・通学以外の移動
	未記入		行動の記入漏れ

## ○生活行為のモデル化

### 1) 生活行為の推定方法



### 2) 生活者の分類

今回のモデル化における行為者（家族）は、時間量集計結果、時刻集計結果の有無と家族構成を考慮し、表 0.4.2.2 のように 8 分類とし、平日と休日とに分けた，なお、大学生は生活行為、時間帯が不定期と思われるため分類から除いた。各データ数値は公表されている調査集計表を直接読み取りデータ入力した。

表 0.4.2.2 行為者の分類

①勤め人・男
②勤め人・女
③家庭婦人
④高校生
⑤中学生
⑥小学生
⑦70歳以上・男
⑧70歳以上・女

## 3) 行為者別1日の生活行為項目の決定

時間量集計結果より、各行為者別に「1日の行為率」の高い項目から順に並べ、各行為率の平均時間量を積算する。その積算時間量が24時間を超えたところまでをその行為者の「1日の生活行為項目」として決定した。

1日の生活行為パターン作成時には食事をしながらテレビを見るなどの「ながら行為」を許しているために、厳密には積算時間が24時間をもって1日の生活行為を定義すると、1日の行為量としてはながら行為の分だけ少なくなる。しかしながら行為の時間をあらかじめ決めることができなかったために、ここでは各行為の平均時間量の積算が24時間で1日分の行為とした。ただし、行為の分類に関しては、例えば洗たくといっても洗たくとアイロンがけでは使用機器が同一ではないため、このままでは生活行為に伴う機器使用スケジュールに用いることができないために、NHKの調査では「洗たく」としてあった行為を、洗たく、洗たくもの干し・取り込み、アイロンがけに分離した。このような操作により、表0.4.2.3に示す独自の28分類を作成し、行為を決定した。

表 0.4.2.3 行為者の分類

行為	含まれる行為
住宅	家にいる時間帯全て
食事	
洗顔	『身のまわりの用事』から時間帯別の行為を推定して分離 ※本委員会独自の分類
着がえ	
入浴	
療養・静養	
学業	授業・学校の行事、課外活動、学校外での学習を合計
炊事	
掃除	
洗たく	「洗たく」から使用機器を分離するために分離 ※本委員会独自の分類
アイロンがけ	
洗たく干し・取入れ	
社会参加	
仕事つきあい	
家族対話	
行楽・散策	
スポーツ	
勝負事	
趣味	
けいごと	
テレビ	
新聞	
雑誌	
本	
マンガ	
無行為	

具体例として、勤め人・男（平日）の場合の決定手順を示す。

- ①行為率順に大から小へ各行為を並べる。（「睡眠」→「病人世話」）
- ②各行為の「平均時間量」を行為率の大きい方から順に積算し、24 時間を超えたところまでを「1 日の生活行為項目」とする。「家族対話」で 24 時間 30 分となるため、この行為までとする。

#### 4) 行為者別「1 日の生活行為パターン」の決定

3) で決定した行為者の「1 日の行為」のそれぞれに対して、15 分間における「時刻別の行為率」の高い時間帯を各行為の「平均時間量」になるまで選択した。また、同じ時間帯における行為の重複は、行為の内容、行為のピーク時間を考慮して時間帯をずらした。ただし、食事とテレビなど「ながら行為」は可とした。

具体例として、表 0.4.2.4 に『1 日の生活行為項目』一覧を示す。

- ①各行為の 15 分間における「時刻別の行為率」を、時刻別集計結果より抽出する。
- ②各行為毎に「ピークの時間帯」、「ピークの行為率の 80%となる時間帯」、「ピークの行為率の 50(%) となる時間帯」をチェックする。ただし、「ピークの時間帯」は 1 日中で複数回発生することもあり得る。例えば、「テレビ」では、1 日の中で、夜 20:45 と 21:45 に勤め人・男全体数に対するその行為者の割合が 41.3%とピークになっているが、朝 7:00 も 16.6%と割合は小さいがピークとする。
- ③ピーク時刻を中心に各行為の「平均時間量」になるまで時間量（15 分）を積算し、生活行為の時間帯を決定する。
- ④行為率のピークであっても、入浴などの重複行為を許さない他の行為がある場合には、行為を中断して時間帯を設定した。

表 0.4.2.4 『1 日の生活行為項目』一覧

行為者の分類		生活行為項目
①勤め人・男	平日	睡眠、食事、身のまわり、仕事、テレビ、通勤、新聞、家族対話
	休日	睡眠、食事、身のまわり、テレビ、新聞、仕事、家族対話
②勤め人・女	平日	睡眠、食事、身のまわり、テレビ、仕事、炊事、通勤、洗たく
	休日	睡眠、食事、身のまわり、テレビ、炊事、洗たく、掃除、新聞、仕事
③家庭婦人	平日	睡眠、食事、身のまわり、炊事、テレビ、洗たく、掃除、新聞、家族対話、趣味・けいこ、本
	休日	睡眠、食事、身のまわり、炊事、テレビ、洗たく、掃除、新聞、家族対話、趣味・けいこ、行楽
④高校生	平日	食事、睡眠、身のまわり、学業、通学、テレビ、本、炊事、ラジオ
	休日	食事、睡眠、身のまわり、テレビ、学業、本、炊事、趣味・けいこ、行楽・散策
⑤中学生	平日	睡眠、食事、学業、身のまわり、通学、テレビ、本、趣味・けいこ
	休日	食事、睡眠、身のまわり、テレビ、学業、本、趣味・けいこ、行楽・散策
⑥小学生	平日	睡眠、食事、身のまわり、学業、テレビ、通学、趣味・けいこ、スポーツ
	休日	睡眠、食事、身のまわり、テレビ、学業、趣味・けいこ、勝負ごと、スポーツ
⑦70歳以上・男	平日	食事、睡眠、身のまわり、テレビ、新聞、仕事
	休日	睡眠、食事、テレビ、身のまわり、炊事、新聞、仕事、行楽・散策
⑧70歳以上・女	平日	睡眠、食事、身のまわり、テレビ、炊事、洗たく、掃除、新聞、趣味・けいこ、仕事
	休日	食事、睡眠、身のまわり、テレビ、炊事、洗たく、掃除、新聞、仕事

### 0.4.2.2.3 生活行為に伴う機器使用スケジュール作成の考え方

家族を“勤め人男”、“家庭婦人”といった属性に分類し、この家族の属性別に時刻毎の生活行為のモデル化が行われているものとする、ここではNHK「国民生活時間調査」に基づく生活行為モデルを用いることを前提としている。しかし、住宅内のエネルギー消費をこの生活行為モデルから推定しようとした場合には、家族の分類だけではなく、その複合体である家族と建物の部屋構成も関連する。ここでは、任意の家族構成、任意の部屋構成に対する標準的な生活スケジュールの作成アルゴリズムを示す。

生活行為のモデル化では行為と時刻を規定している。しかし、使用機器のスケジュールは、どの部屋でどんな機器がいつ使用され、どのぐらいの熱や湿気などが発生したかを示す必要がある。したがって、前項で作成した生活行為モデルから以下の項目を決める必要がある。

- ①どのような家族構成なのか？
- ②その住宅の建物の構成はどのようなものか？大きさは？部屋の使われ方は？
- ③ある部屋は誰が使用するのか？
- ④ある行為は何処で行われるのか？
- ⑤ある行為はどんな機器を使用しているのか？1つの機器で良いのか複数の機器を使用しないのか？
- ⑥その機器の熱・湿気・空気汚染物質の発生量は？
- ⑦冷蔵庫のように行為と関連しない機器もあるのではないか？

生活行為に伴う機器スケジュールの概要は、図0.4.2.1に示すように行為の行われる部屋及び使用機器の関係をあらかじめ決めておく、入力条件として家族構成と部屋構成を与え、行為の行われる部屋及び使用機器の関係から、行為の行われる部屋と機器発熱を決めようとするものである。

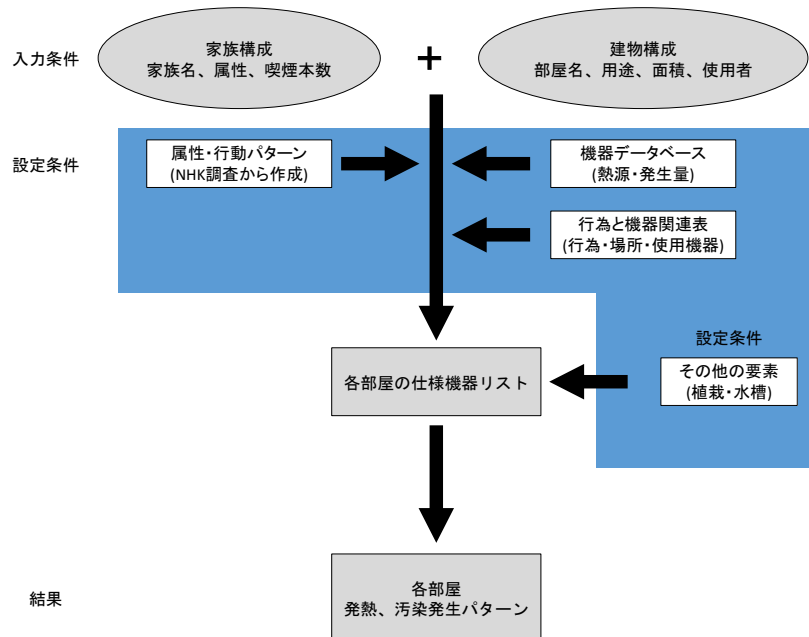


図0.4.2.1 生活行為に伴う発熱・空気汚染物質発生スケジュール作成アルゴリズムの概念図

生活行為モデルはエネルギー消費ばかりではなく、湿気の発生や二酸化炭素なども同様な考え方で予測することが可能であり、今回は室内空気汚染物質の発生も同時に予測できるアルゴリズムとした。

#### 0.4.2.2.4 家庭用機器使用スケジュール

##### ○家庭用機器使用スケジュールの作成の考え方

機器の使用スケジュールは、既に述べたように、ある行為が行われる場合、どの部屋で何が使われ、何がどのくらい発生するのかを明らかにすることである。このため、ここでは行為と機器の関係を定義する。

##### ○行為と用途・機器の設定値

各行為が行われる部屋を求めるためには、その行為がどのような用途の部屋でどのような機器を使用しているのかを予め決めておく必要がある。

##### 1) 行為が行われる場所と使用機器の関係

部屋用途は、表 0.4.2.3 で定義した 28 行為がそれぞれ行われる部屋を想定して、居間、食堂、厨房、個室、洗面、浴室、廊下、トイレ、その他の 9 用途とした。

表 0.4.2.5 に 28 行為とその行為の行われる部屋の用途、使用機器の関係を示す。使用される部屋や機器は、複数の機器を使用することも考えられるため、行為が行われる場所と機器は複数設定するものとした。表中で（外）は、室内では行われないものとして無視する。また、行為毎に喫煙者がその行為を行なっている場合の喫煙を行うかどうかも設定する。行為毎の Met（活動量）は発熱量を計算するために使用する。

ここで、洗濯などの機器と直接関係ないものもあるがこれは、機器以外のものから発生するためで、使用機器の定義は熱が発生するものと定義できる。

表 0.4.2.5 生活行為と部屋用途及び使用機器名称

行為	喫煙	Met	場所	機器	場所	機器	場所	機器	場所	機器
在宅	喫煙	1	居間	なし						
すいみん		0.8	個室	なし						
食事	喫煙	1.4	食堂	なし						
洗顔		1.6	洗面	ドライヤー						
着がえ		1.6	個室	なし						
入浴		2	浴室	入浴	浴室	浴室				
療養・静養		0.8	個室	なし						
学業		1.2	個室	スタンド						
炊事		2.2	厨房	レンジ	厨房	鍋・やかん	厨房	電子レンジ	厨房	炊飯器
掃除		2	居間	掃除機	個室	雑巾がけ	居間	雑巾がけ		
洗たく		1.6	洗面	洗濯機						
アイロンがけ		1.6	居間	アイロン						
洗たく干し・取入れ		2	居間	なし						
社会参加		2	(外)	なし						
仕事つきあい	喫煙	2	(外)	なし						
家族対話	喫煙	1	居間	なし						
行楽・散策		2	(外)	なし						
スポーツ		2	(外)	なし						
勝負ごと	喫煙	1.2	個室	なし						
趣味	喫煙	1.2	個室	なし						
けいこごと	喫煙	2	(外)	テレビ						
テレビ	喫煙	1.2	居間	ラジオ						
ラジオ	喫煙	1.2	居間	スタンド						
新聞	喫煙	1	居間	スタンド						
雑誌	喫煙	1	居間	スタンド						
本	喫煙	1	個室	スタンド						
マンガ	喫煙	1	個室	スタンド						
無行為	喫煙	1	居間	なし						



## ○人体からの行為別熱発熱量

人体からの行為別熱発生熱量は室内温度や湿度に左右されるが、スケジュール作成時点では実際の室内温度及び湿度が不明あり以下の温度と作業量により次式とした。

・冬季（室温 20℃）

$$\text{顕熱} = 4.378 * \text{met}^2 + 17.313 * \text{met} + 48.85 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.1)$$

$$\text{潜熱} = 7.540 * \text{met}^2 + 94.690 * \text{met} - 65.184 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.2)$$

・夏季（室温 26℃）

$$\text{顕熱} = 9.015 * \text{met}^2 - 18.858 * \text{met} + 63.29 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.3)$$

$$\text{潜熱} = 0.794 * \text{met}^2 + 89.794 * \text{met} - 50.46 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.4)$$

・春秋（室温 24℃）

$$\text{顕熱} = -1.595 * \text{met}^2 + 20.866 * \text{met} + 40.22 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.5)$$

$$\text{潜熱} = -10.884 * \text{met}^2 + 110.4 * \text{met} - 67.01 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.6)$$

さらに基礎代謝量による補正を行なう

$$\text{顕熱} = \text{顕熱} \times \text{基礎代謝} / 59 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.7)$$

$$\text{潜熱} = \text{潜熱} \times \text{基礎代謝} / 59 \quad [\text{W}] \quad \dots (0.4.2.8)$$

表 0.4.2.6 作業量と発熱・湿気発生量

Met	20℃		22℃		24℃		26℃	
	熱(W)	湿気(g/h)	熱(W)	湿気(g/h)	熱(W)	湿気(g/h)	熱(W)	湿気(g/h)
1	69	30	65	37	59	45	53	55
1.1	76	44	69	50	62	59	53	72
1.2	77	57	71	67	63	77	53	89
1.4	80	74	72	82	66	93	55	107
2	101	136	90	151	76	160	62	191

## ○機器データベース

使用機器には、単にスイッチを入れれば毎回定格出力を発生する機器と条件により発生量に変化する機器がある。このため、機器の熱発生量は、線形係数で表現するものとする。変数として世帯人数、床面、温度（20℃基準値）とした。

$$\text{発生熱量} = \text{変数} \times A + \text{定数}$$

・・・(0.4.2.9)

現在登録されている機器は21機器である。ここで変数の指定のない場合には定常発生で定数のみとする。加算／固定の項目は、同じ機器を同一室内で同時に使用した場合加算するか、そのまま固定値をとるかで、例えばテレビは複数の人が同時に見ることができるため固定。コンピュータは1人1台のため複数の人が使用すると追加される。

### 1) 冷蔵庫

冷蔵庫は売れ筋の大きなものほど技術革新が大きく、あるメーカーのカatalogによれば、消費電力と冷蔵庫の大きさとは大きな関係が無い。そこでここでは、平均的に60Wを標準とした。

### 2) 電気ジャーポット

東京電力の「上手に使って、快適省エネ電気ジャーポット」によれば、一般的な電気ジャーポットは1000W～900Wで約15分で沸かし上げ（消費電力としては232Wh）、その後95℃をキープするためにON（65W）／OFFを繰り返し一定に電気を使用する（37Wh程度）（2.2リッター2社4機種の中平均値）。しかし、機器発熱スケジュールを考える上で湯沸かしを行う時間を特定することは難しく、平均的な値として16時間通電し、2回沸騰させることと仮定し、1時間平均66Whの消費電力と設定した。また、電気ジャーポットは行為に関係なく、時間により発生するものとした。

### 3) 電子レンジ

東京電力の「上手に使って、快適省エネ電子レンジ」によれば、電子レンジの調理時間は、ほうれん草1束4分、ジャガイモ3個で8分程度であり、1日の使用時間では10分前後であると考えられる。また、炊事の度に使用されることは少ないので、電子レンジの1日の使用量200Wとし、夕方の炊事の時刻に使用されるものとした。

### 4) 温水洗浄便座

東京電力の「上手に使って、快適省エネ温水洗浄便座」によれば、温水ヒータを使用している場合で500W、乾燥ヒータを使用で300W、便座で50W程度が定格電力消費量となっている。また、1年間の電力消費は、温度により左右され190kWh（低）～440kWh（高）であり、1時間換算では22Wh～50Whである。使用時間については、特定することはできないため1日24時間一定の消費電力とした。消費電力については、温度をやや低めに設定すると仮定し、ここでは定格出力を冬季35W、中間季27W、夏季23Wとした。

### 5) 全自動洗濯機・衣類乾燥機

東京電力の「上手に使って、快適省エネ全自動洗濯機衣類乾燥機」によれば、4kgを1回100V機種・標準コースで洗濯した場合の電力消費量は95Whとなっている。ここでスケジュールから見ると洗濯行為は45分間行われており、45分間で95Whの消費電力であることから1時間あたりでは126Wの消費電力とした。衣類乾燥機に関しては、国産100V型の機種では、4kgの衣類1回の乾燥で3.5時間で3510Whの電力消費となる。従って、1時間当たりでは1000Wの消費電力とした。また、衣類乾燥機は、行為とは関係なく行われるものとした。

## 6) 電気炊飯器

当委員会の実験によれば2合の炊飯の場合電力消費は190Wであった。東京電力の「上手にを使って、快適省エネ電子ジャー炊飯器」によれば2合193W、3合225W、4合256W（ただし1升炊き）であり、2合炊きの場合の電力消費は一致する。そこで一般家庭では3合が、平均と仮定し、電力消費量を225Wとした。

## 7) 掃除機

掃除機は最大1000W程度のものもあるが一般的には最強で稼動し続けることはなく、5～6割程度の能力で可動すると思われる。また、掃除の時間は行動パターンによれば1時間であるが、掃除機は1時間使用することではなく20分と仮定し、掃除機の1時間当りの消費電力は200Wと設定した。

## 8) 入浴行為

入浴行為に伴う機器使用は基本的には換気扇が上げられるが、入浴中は体感上の問題等から換気扇を使用しないケースも多く消費電力も小さなことからここでは換気扇は省略した。

## 9) 待機電力

最新の機器では待機電力は小さくなっているが、ここではやはり東京電力の「上手にを使って、快適省エネ待機電力」のものを使用した。ラジオ（ここではラジカセを想定）の待機電力が大きな理由は、内部のトランスやマイコンであるとされている。

## 10) 調理用レンジ

エネルギー消費量アンケート調査結果によれば、調理にガスのみを使用している世帯のガス使用量は地域性による違いがあるが季節変動はほとんど無く、世帯人数による違いが大きかった。このため、世帯人数により次式で調整する事とした。

$$\text{調理用レンジ発生量} = 472.8 \times \text{世帯人数} + 506.4 (\text{Wh})$$

#### 0.4.2.2.5 用途と照明発熱の設定値

照明発熱は、用途毎に標準的な発熱量が異なると考えられる。居間などの居室は多く、廊下などの非居室ではわずかであり、照明の点灯時刻は季節や部屋の用途にも左右される。また、廊下などの通過空間等ではその部屋ではっきりとした行為が行われなくても時間帯により照明が点灯されるが、居間等の部屋では一般に在室者がいない場合には点灯時間になっても点灯されないことが普通である。ここでは用途毎に標準的な面積当たりの照明発熱量を仮定し、これに床面積を乗じることで、各部屋の標準発熱量を求めることとした。この床面積当たりの照明発熱量は、使用率を考慮してあり、実際の設置機器の容量より小さな設定となっている。

このような関連を示したものが表0.4.2.7である。ここで、在室リンク「Y」は、照明が点灯時間であり睡眠以外の行為で在室者がいる場合のみ点灯、在室リンク「N」の場合には点灯時間がくれば点灯することを示している。

表 0.4.2.7 証明の設定

用途名	照明 W/m <sup>2</sup>	在室 リンク	冬		春秋		夏	
			朝	晩	朝	晩	朝	晩
居間	5	Y	0:00-8:00	17:00-24:00	0:00-8:00	18:00-24:00	0:00-7:00	19:00-24:00
食堂	4	Y	0:00-8:00	17:00-24:00	0:00-8:00	18:00-24:00	0:00-7:00	19:00-24:00
厨房	5	Y	0:00-8:00	17:00-24:00	0:00-8:00	18:00-24:00	0:00-7:00	19:00-24:00
個室	5	Y	0:00-8:00	17:00-24:00	0:00-8:00	18:00-24:00	0:00-7:00	19:00-24:00
洗面	5	Y	0:00-8:00	17:00-24:00	0:00-8:00	18:00-24:00	0:00-7:00	19:00-24:00
浴室	5	Y	0:00-8:00	17:00-24:00	0:00-8:00	18:00-24:00	0:00-7:00	19:00-24:00
廊下	5	N	6:00-8:00	17:00-24:00	6:00-8:00	18:00-24:00	6:00-7:00	19:00-24:00
トイレ	20	Y	6:00-8:00	17:00-24:00	6:00-8:00	18:00-24:00	6:00-7:00	19:00-24:00
その他	0	Y	6:00-8:00	17:00-24:00	6:00-8:00	18:00-24:00	6:00-7:00	19:00-24:00

### 0.4.2.3 スケジュール発生ソフトウェア

#### 0.4.2.3.1 スケジュール発生ソフトウェアの概要

一般の住宅は様々な家族構成や様々な建物構成であり、平均的なスケジュールを考える場合に家族構成や建物構成が変わった場合について対応できると便利である。このため3.2で示したNHKの行動実態調査結果を用いた生活行為のモデル化や機器使用のアルゴリズムを作成した。しかしながら、このアルゴリズムを使用して実際に生活スケジュールを作成しようとした場合には、何らかのプログラム化が必要となる。プログラム化においては、WindowsとMac両方で可動することや、生活行為データや機器データが容易にメンテナンス可能であることなどを考慮し、マイクロソフトExcelのVisual Basicにより作成した（実行はExcel97以上が必要、尚MACではフォントが異なるため実行不可能な場合もある）このため、発生スケジュール自体がExcelの表として作成されるため、その後の活用が手軽に行えるなどの利点もある。

#### 0.4.2.3.2 スケジュール発生アルゴリズム

##### ○全体フロー

0.4.2.2で示したように生活行為モデルから生活スケジュールを作成しようとする場合、入力条件としては以下の項目が必要である。

- ①どのような家族構成なのか？
- ②その住宅の建物の構成はどのようなものか？大きさは？部屋の使われ方は？
- ③ある部屋は誰が使用するのか？

実際には、この他行為と機器の関係が必要であるが、これは既に図0.4.2.1で示したアルゴリズムに沿って定義されているものとする。これを整理すると、図0.4.2.2に示すようになり、入力条件として家族構成と建物構成を入力する。その入力に条件により各部屋で行われる行為が分析され、そこで使用される機器が自動的に各部屋に配置される。自動作成されたものが平均的な機器であるが、生活嗜好により平均的な機器以外を使用する場合を考慮し、配置した機器を修正可能とした。その後生活スケジュールが作成される。

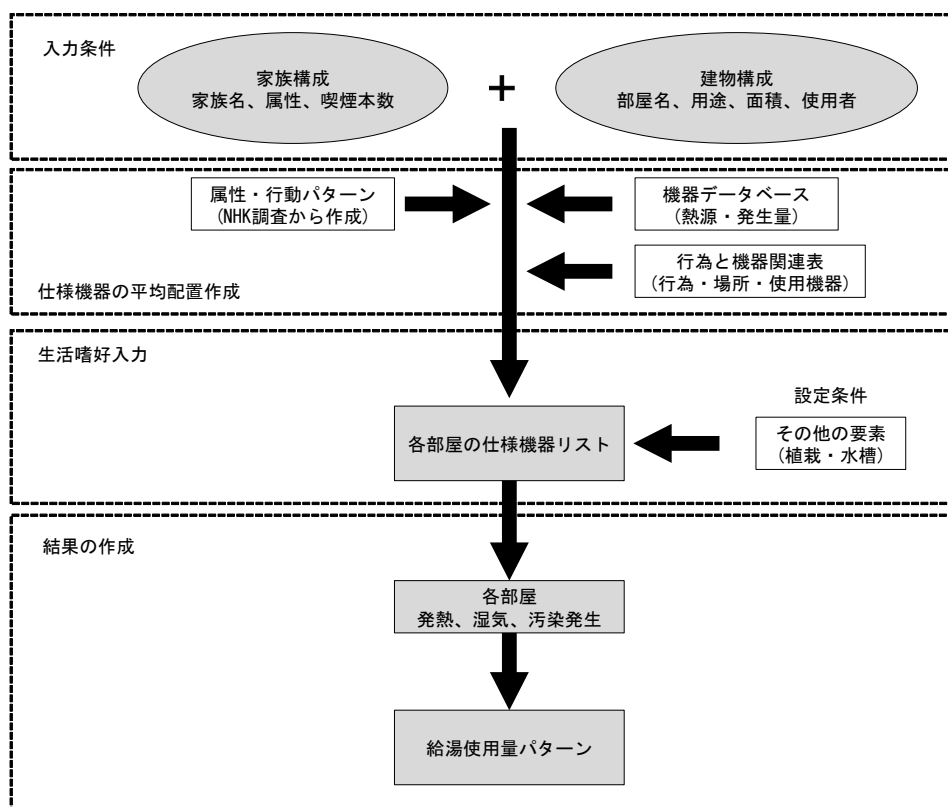


図 0.4.2.2 生活行為に伴う発熱・空気汚染物質発生スケジュール作成全体フロー

### ○入力条件

入力条件としては家族構成と建物構成となるが、家族構成はNHK調査から作成した行為モデルを当てはめるために0.4.2.2.2の表0.4.2.2で示した8属性①勤め人・男、②勤め人・女、③家庭婦人、④高校生、⑤中学生、⑥小学生、⑦70才以上・男、⑧客70才以上・女を設定し、さらに喫煙者に対しては1時間当りの喫煙本数を設定する、建物に関しては、各部屋に床面積と行為がどの部屋で行われるのか分析するために、0.4.2.2で示した居間、食堂、厨房、個室、洗面、浴室、廊下、トイレ、その他の9用途の設定を行なう。9用途のうち個室では、誰が使うのか設定する必要がある。

### ○各室で使用する機器の配置決定フロー

家族構成と建物構成が入力されれば、図0.4.2.3に示す計算フローにより、各部屋で使用する機器を設定することが可能となる。

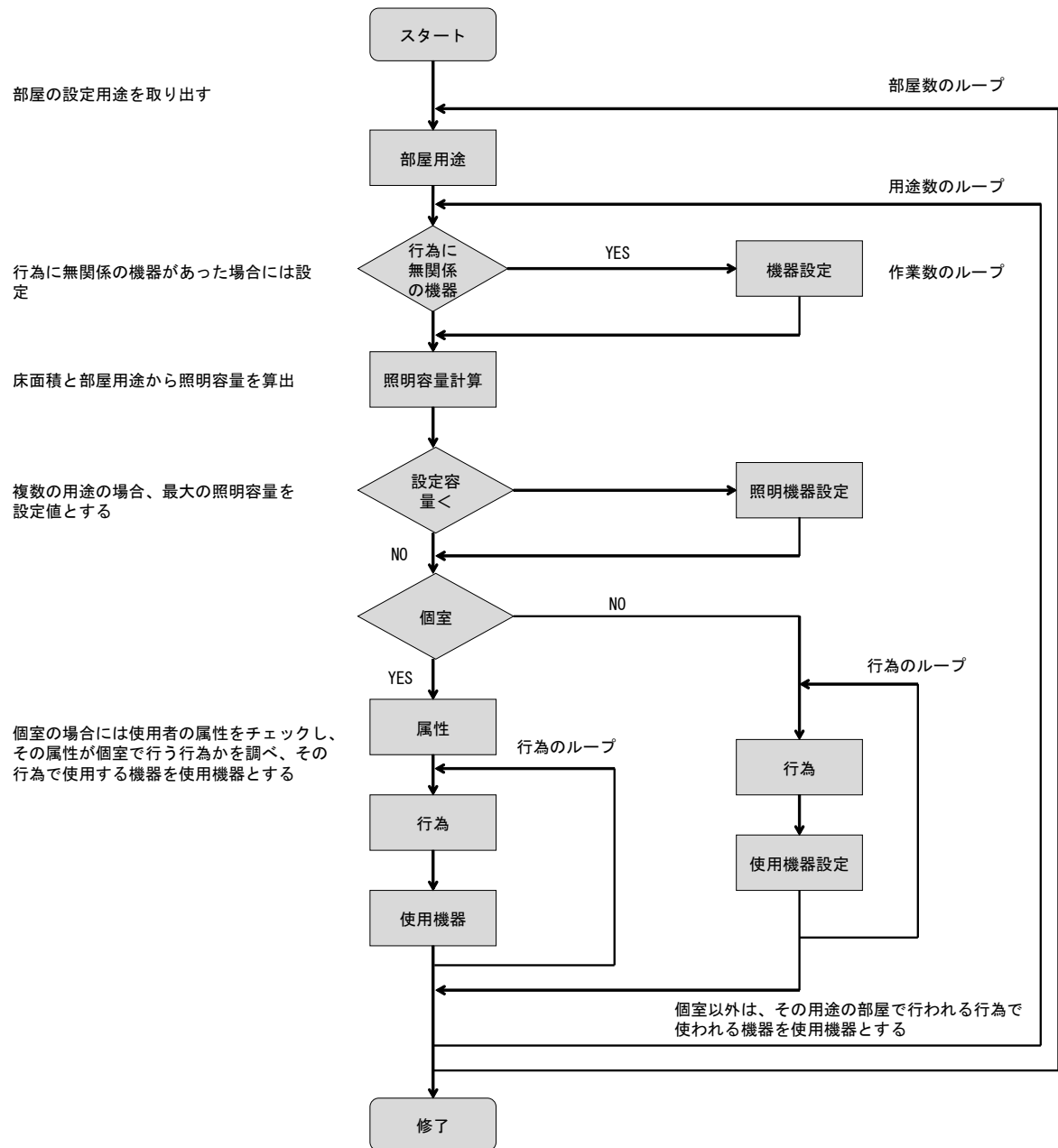


図 0.4.2.3 各部屋の設定機器を求める計算フロー

結局、各部屋の使用機器の設定は、その部屋で行われる行為を調べ、その行為で使われる機器を羅列することである。

## ○室内熱・空気汚染物質発生パターン作成フロー

具体的な生活行為に伴う室内発熱・空気汚染物質発生パターン作成フローは、図0.4.2.4に示すようなものである。

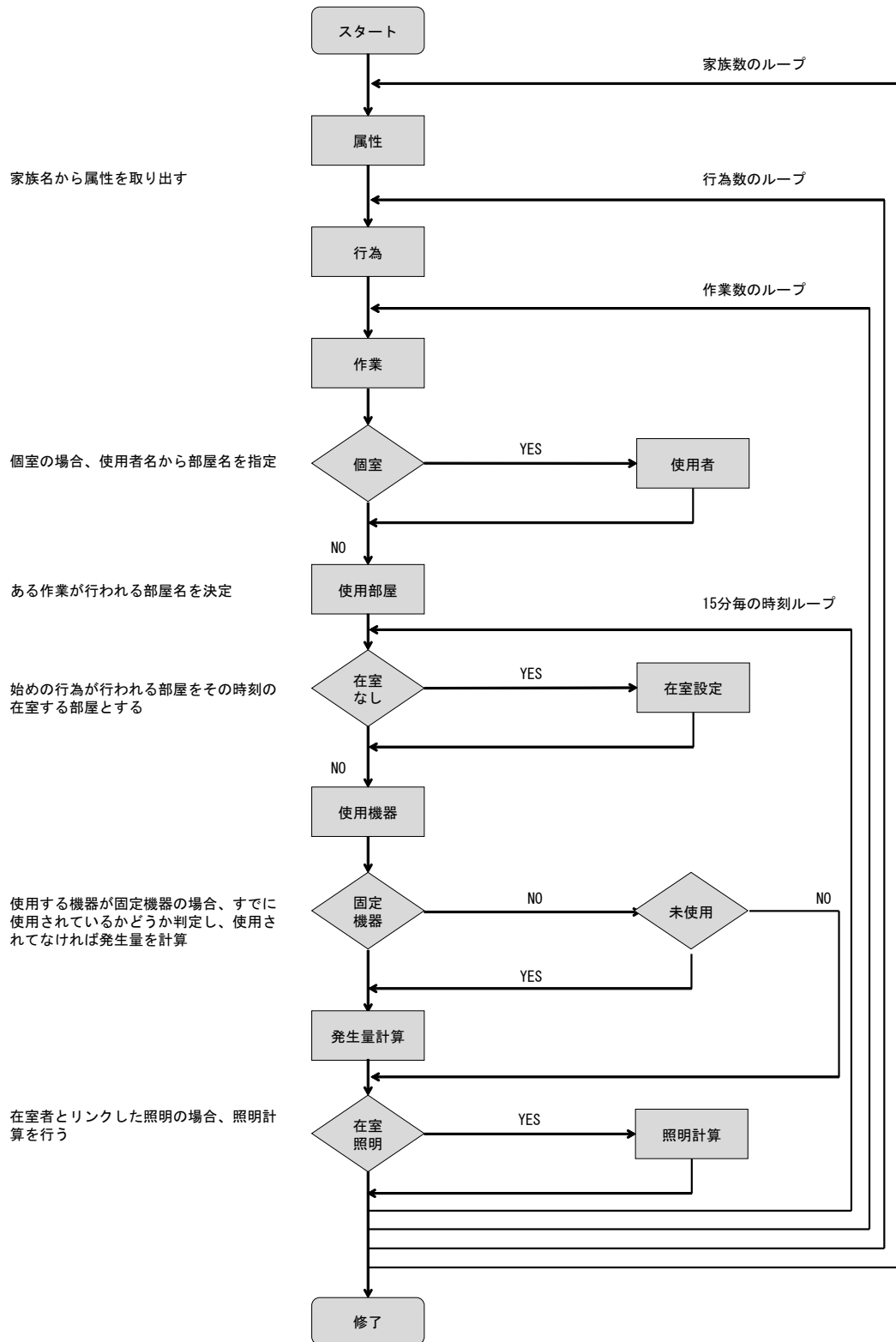


図 0.4.2.4 時刻別熱・汚染物質発生算出フロー



以下に手順を示す。

- 1) 家族から属性を求める
- 2) 属性別、行為別、作業別について使用する部屋、使用する機器を作成する。
- 3) ある行為に対して複数の作業がある場合、それぞれの作業毎に作成する。
- 4) 使用される部屋名は、個室で行われる場合には、部屋の使用者から部屋名を特定し、個室以外の場合には部屋の用途から判断する。
- 5) ある時刻に複数の行為が設定されている場合には、最初の行為が行われる部屋をその時刻の在室とする。2番目以降の行為は、各部屋で行われ機器発熱などは考慮するが、人体からの発熱や汚染物質の発生は在室のみとする。
- 6) 機器に関しても固定機器の場合には、その部屋で既にその機器が使用されているかどうかをチェックし、使用されている場合には、発熱量など計算しない。
- 7) 在室時連動照明でかつ点灯時間帯内であれば、照明点灯を行なう。
- 8) 行為と非連動機器・照明の場合には別途計算する。



## 第 1 編 単純住宅モデルを対象とした解析



## 第1章 解析概要

## 1.1.1 解析対象モデル及び数値流体解析領域

## 有効換気回数の解析対象

解析モデルは単純住宅モデルとする。表 1.1.1 に単純住宅モデル概要を、表 1.1.2 に単純住宅モデルの構成材を、表 1.1.3 に各都市の非暖房期間を、図 1.1.1 ～ 1.1.3 に数値解析領域のメッシュ分割を、図 1.1.4 に解析対象モデルの室内メッシュ分割を、図 1.1.5 に解析対象モデルの外観を、図 1.1.6 に風向別累積風速図の代表図として新潟の風向別累積風速図<sup>\*</sup>を示す。解析対象は全国 11 都市とする。

表 1.1.1 単純住宅モデル概要

数値解析メッシュ	$54(x) \times 54(y) \times 37(z) = 107,892$
室内解析メッシュ	$26(x) \times 26(y) \times 19(z) = 12,844$
延べ床面積	118.4[m <sup>2</sup> ]
開口部総面積	$0.9 \times 1.8 \times 12 = 19.44$ [m <sup>2</sup> ]
窓面積率(窓/床)	19%
熱損失係数	1.98W/(m <sup>2</sup> ・K)

表 1.1.2 単純住宅モデルの仕様

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

表 1.1.3 各都市の非暖房期間

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

※風向別累積は非暖房期間に各風向の風速を累積したものである

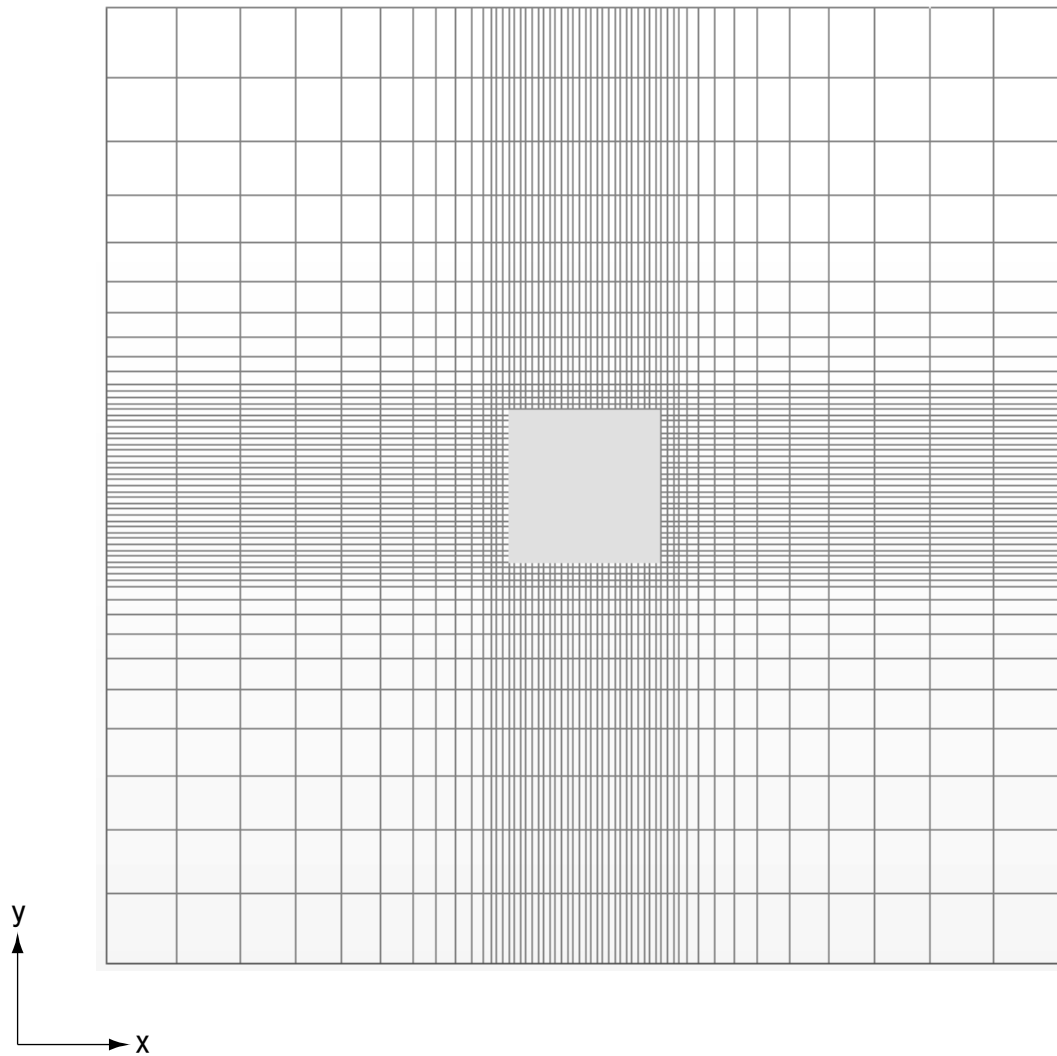


図 1.1.1 数値解析領域のメッシュ分割 (x-y 軸)

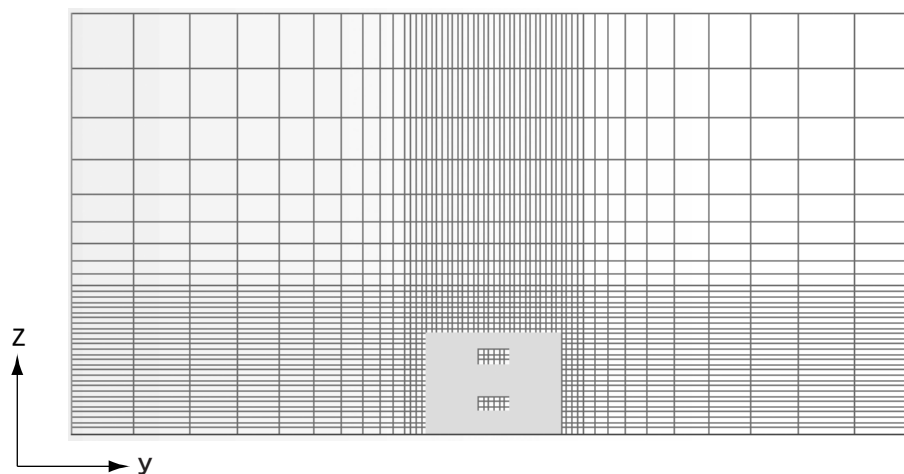


図 1.1.2 数値解析領域のメッシュ分割 (y-z 軸)

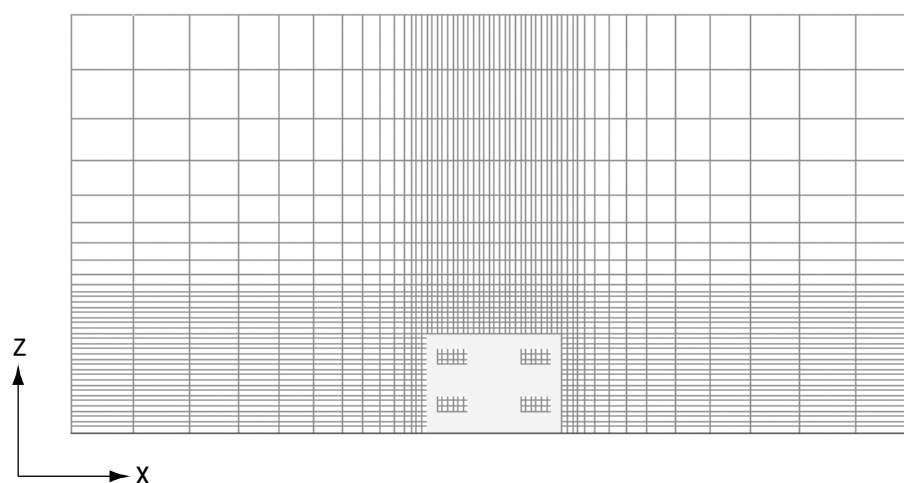
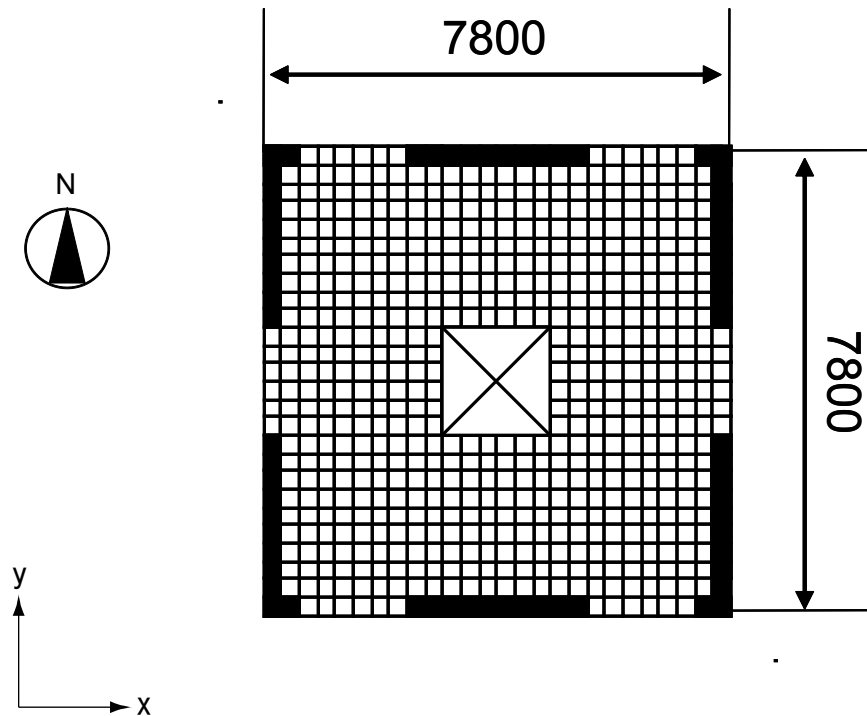
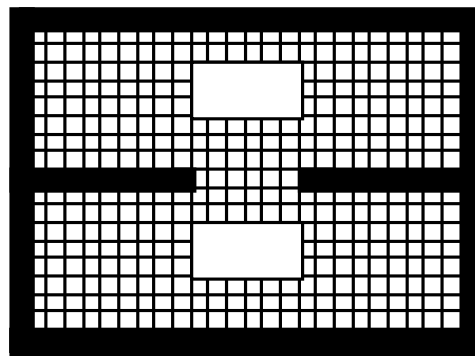


図 1.1.3 数値解析領域のメッシュ分割 (x-z 軸)



(1) 水平断面のメッシュ分割

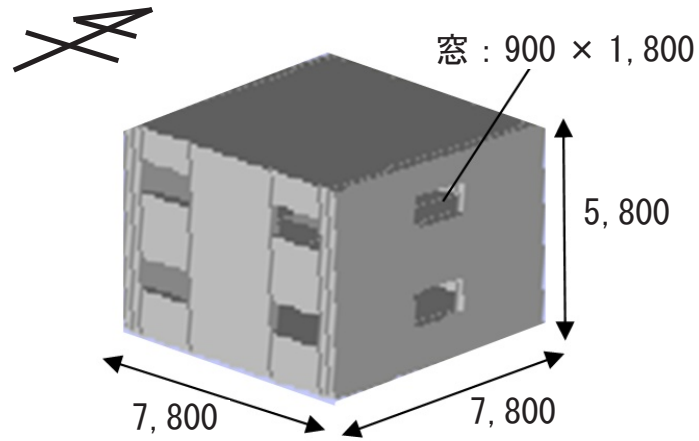


単位 : [mm]

(2) 鉛直断面のメッシュ分割

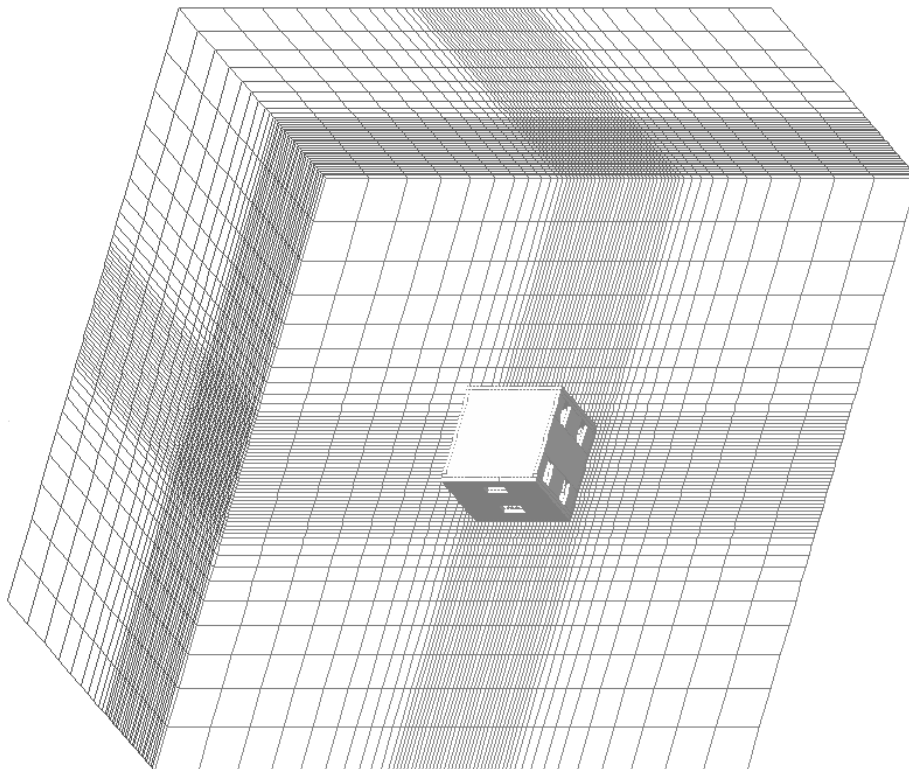
図 1.1.4 解析対象モデルの室内メッシュ分割





単位 : [mm]

(1) 外観



(2) 全体メッシュ

図 1.1.5 解析対象モデルの外観

## 有効窓面積率の算出における解析対象

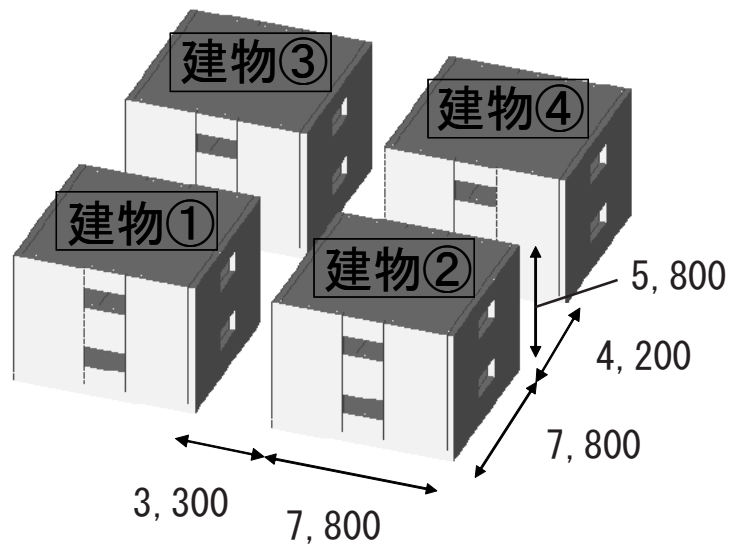
表 1.1.4 に CFD の解析条件を、表 1.1.5 に CFD の解析対象街区を、図 1.1.7 に住宅モデル外観を、図 1.1.8 ～ 1.1.10 に各建蔽率における街区モデルを、図 1.1.11 に建蔽率 10% における解析対象モデルの外観を、図 1.1.12 ～ 1.1.14 に建蔽率 10% における数値解析領域のメッシュ分割を、図 1.1.15 に建蔽率 30% における解析対象モデルの外観を、図 1.1.16 ～ 1.1.18 に建蔽率 30% における数値解析領域のメッシュ分割を、図 1.1.19 に建蔽率 50% における解析対象モデルの外観を、図 1.1.20 ～ 1.1.22 に建蔽率 50% における数値解析領域のメッシュ分割を示す。解析モデルは 2 階建て単純住宅モデルとし、建蔽率は 0%（単体）、10%、30%、50% の 4 パターンとする。建蔽率 0%（単体）の場合の解析対象は、有効換気回数の算出における解析対象と同様とする。解析対象地域は全国 842 地域とし、窓面積率（窓面積 / 床面積）は 3、4、8、13、25% の場合を対象とする。

表 1.1.4 CFD の解析条件

解析風向数	16風向	
数値解析領域メッシュ数	建蔽率10%	$164(x) \times 178(y) \times 37(z)$
	建蔽率30%	$96(x) \times 110(y) \times 37(z)$
	建蔽率50%	$74(x) \times 88(y) \times 37(z)$
室内解析メッシュ	$26(x) \times 26(y) \times 19(z)$	
述べ床面積[m <sup>2</sup> ]	118.4	
境界条件	流入:1/4乗速(基準高さ6.5m、風速3.0m/s)	
	自由流出	
乱流モデル	標準k-εモデル	

表 1.1.5 CFD の解析対象街区

建蔽率	窓面積率	窓の大きさ[m <sup>2</sup> ]
10%	25%	1.8×1.8
	13%	0.9×1.8
	8%	0.9×1.2
	3%	0.6×0.6
30%	25%	1.8×1.8
	13%	0.9×1.8
	8%	0.9×1.2
	3%	0.6×0.6
50%	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



単位 : [mm]

図 1.1.7 住宅モデル外観

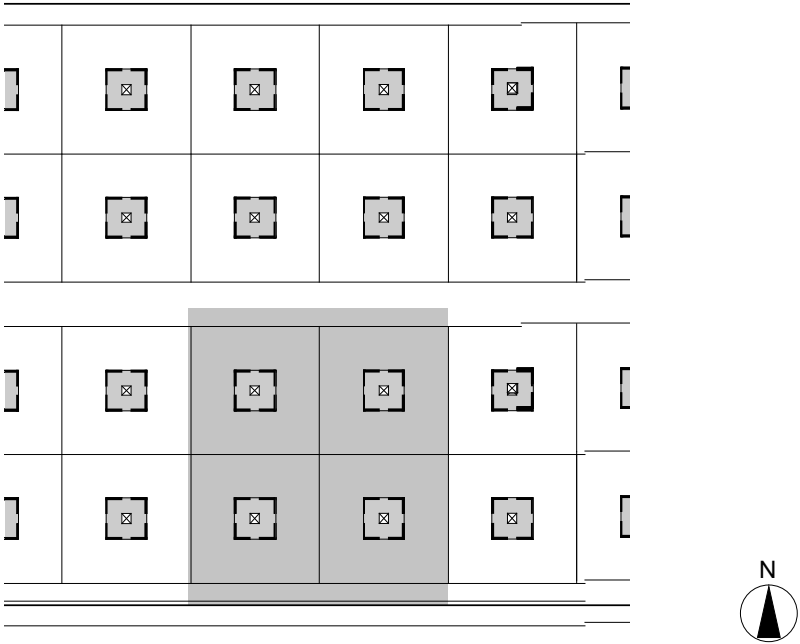


図 1.1.8 街区モデル（建蔽率 10%）

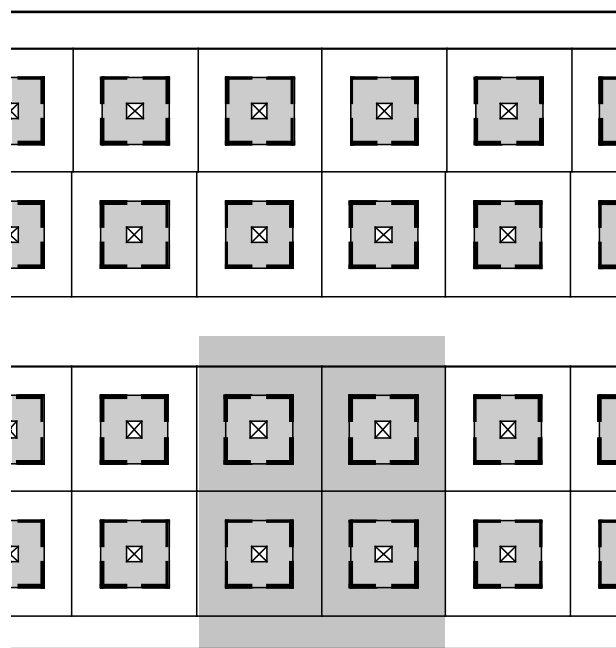


図 1.1.9 街区モデル（建蔽率 30%）

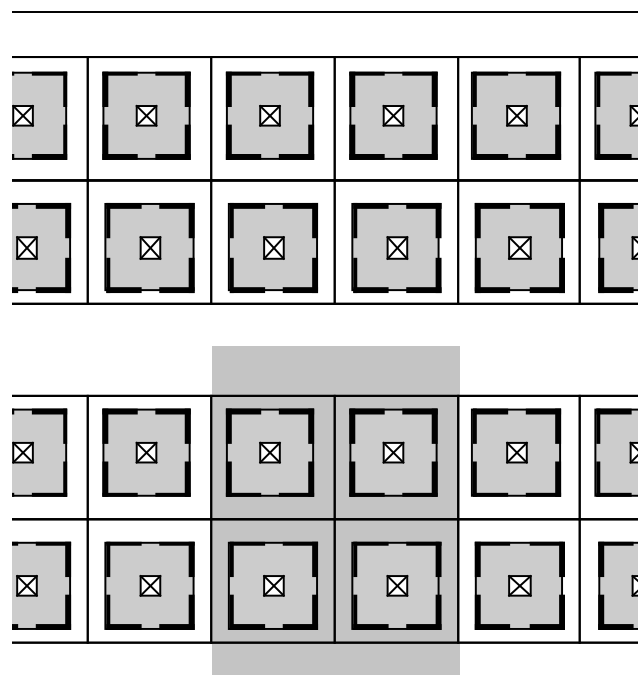


図 1.1.10 街区モデル（建蔽率 50%）

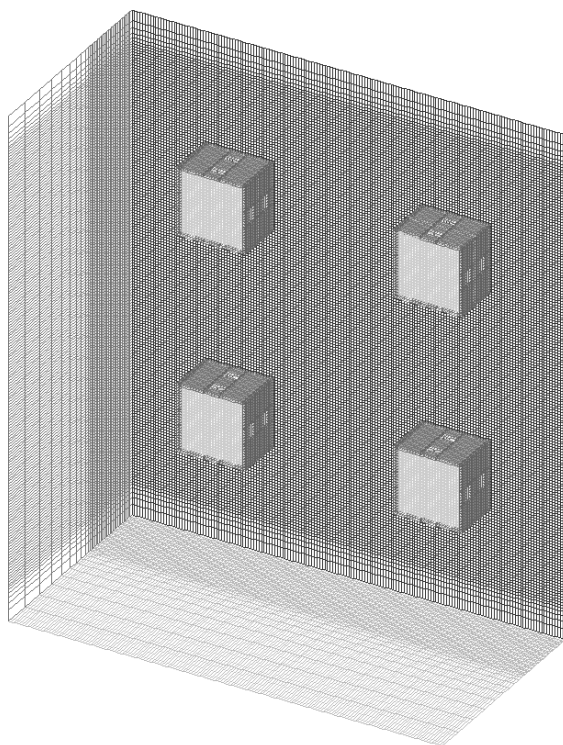


図 1.1.11 建蔽率 10%における解析対象モデルの外観

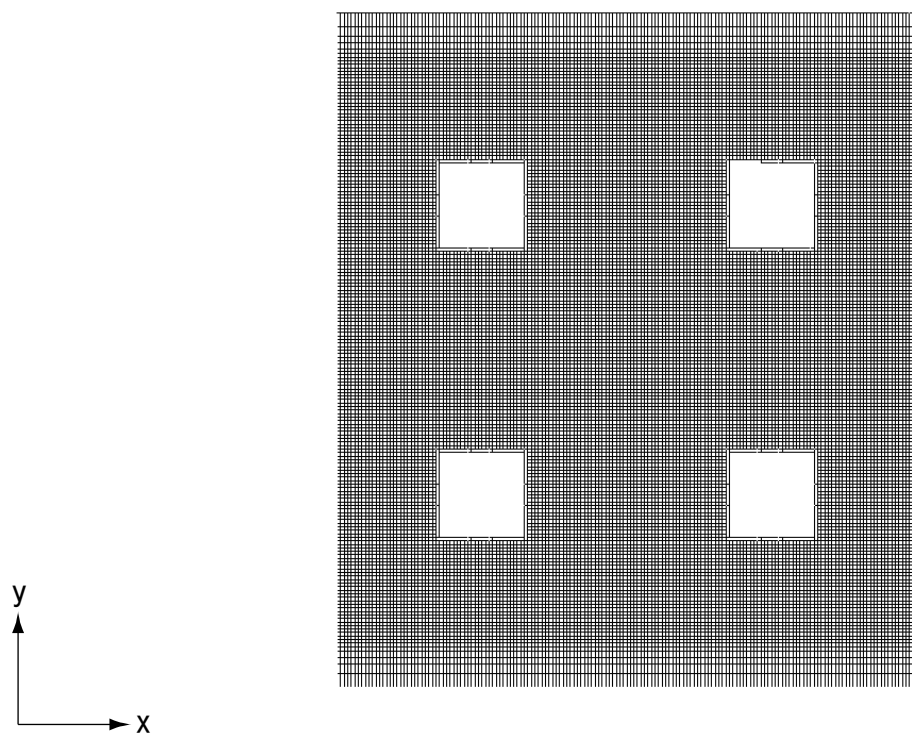


図 1.1.12 建蔽率 10%における数値解析領域のメッシュ分割 (x-y 軸)

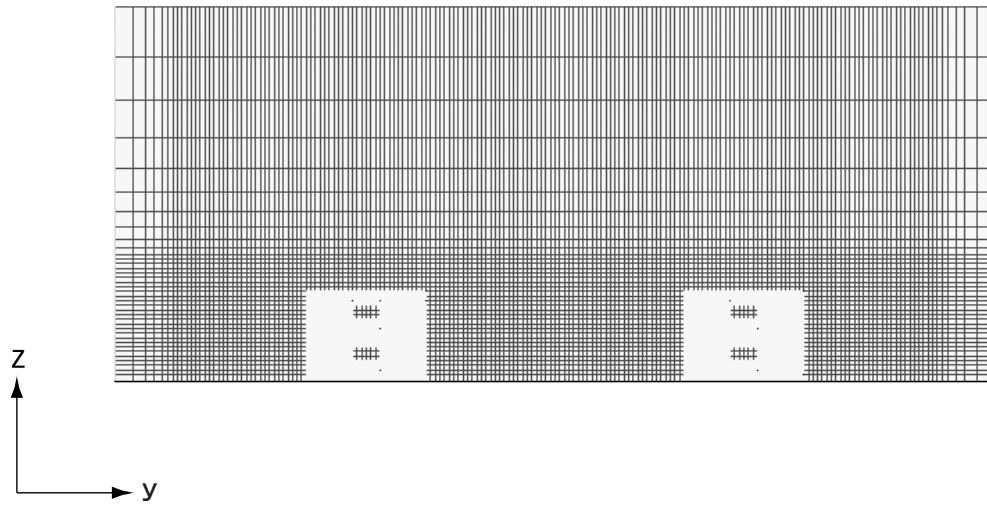


図 1.1.13 建蔽率 10%における数値解析領域のメッシュ分割 (y-z 軸)

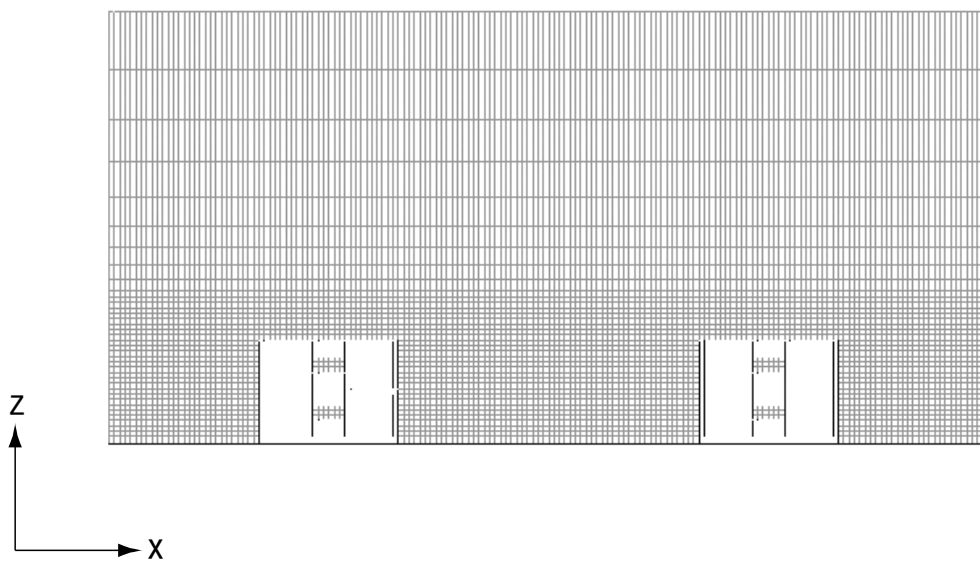


図 1.1.14 建蔽率 10%における数値解析領域のメッシュ分割 (x-z 軸)



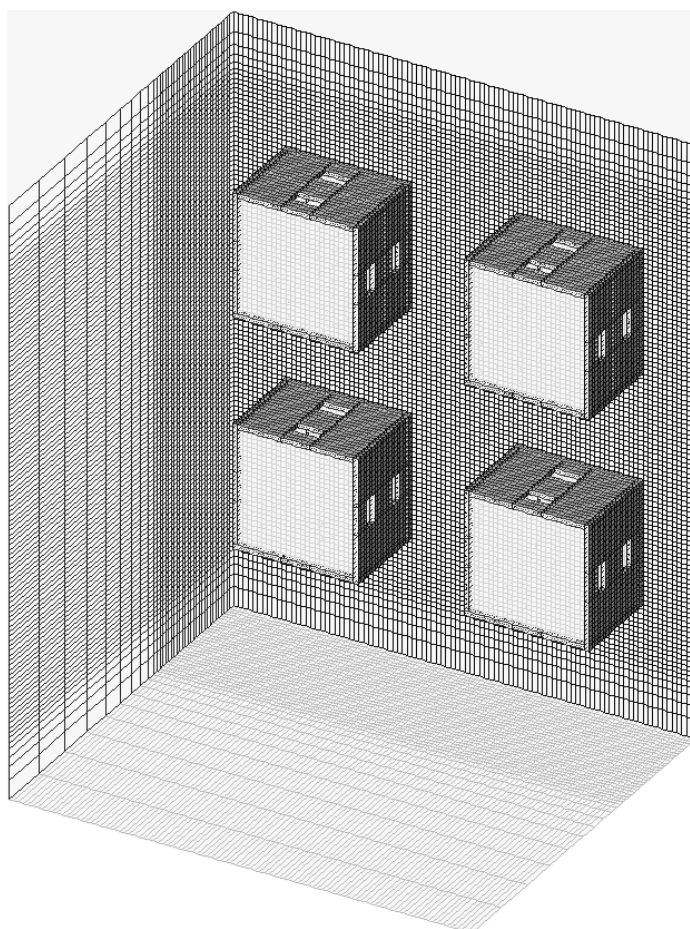


図 1.1.15 建蔽率 30%における解析対象モデルの外観

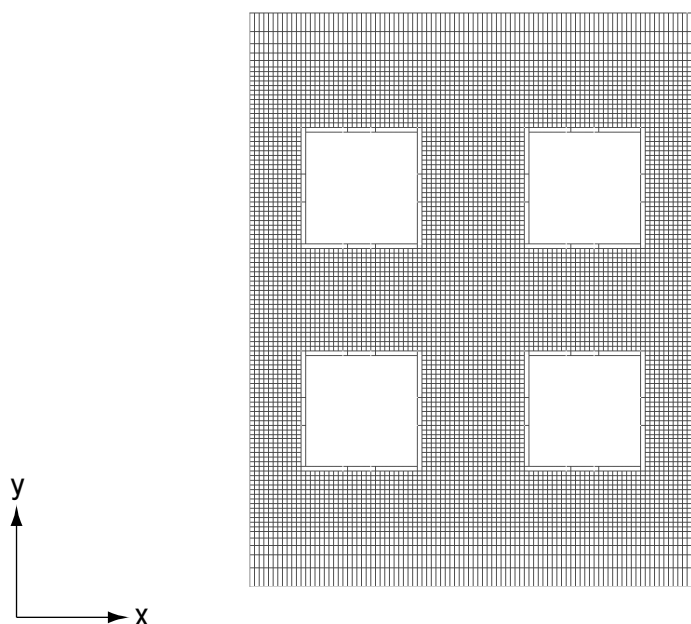


図 1.1.16 建蔽率 30%数値解析領域のメッシュ分割 (x-y 軸)

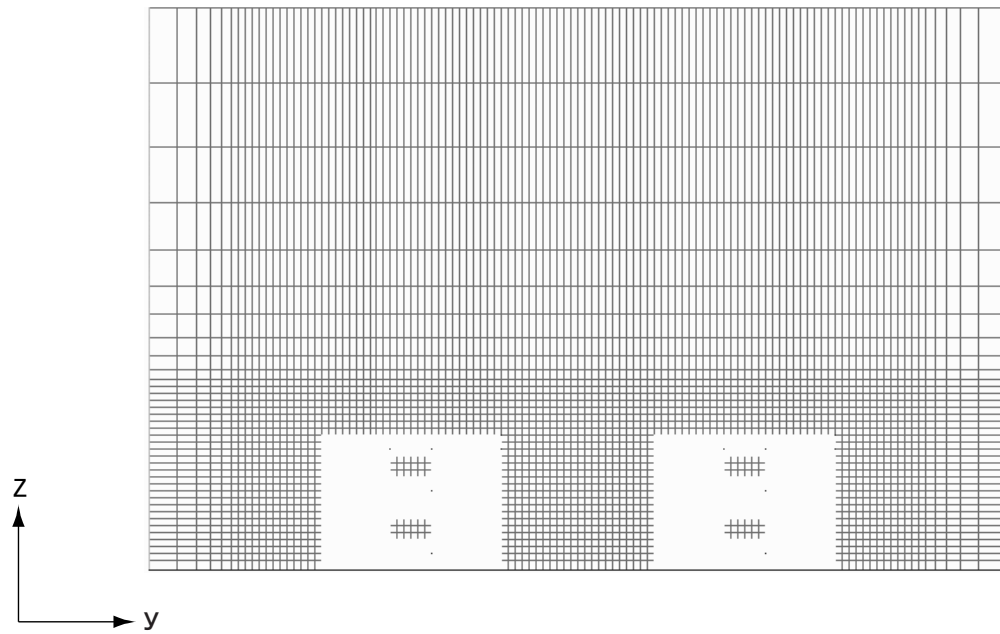


図 1.1.17 建蔽率 30%における数値解析領域のメッシュ分割 (y-z 軸)

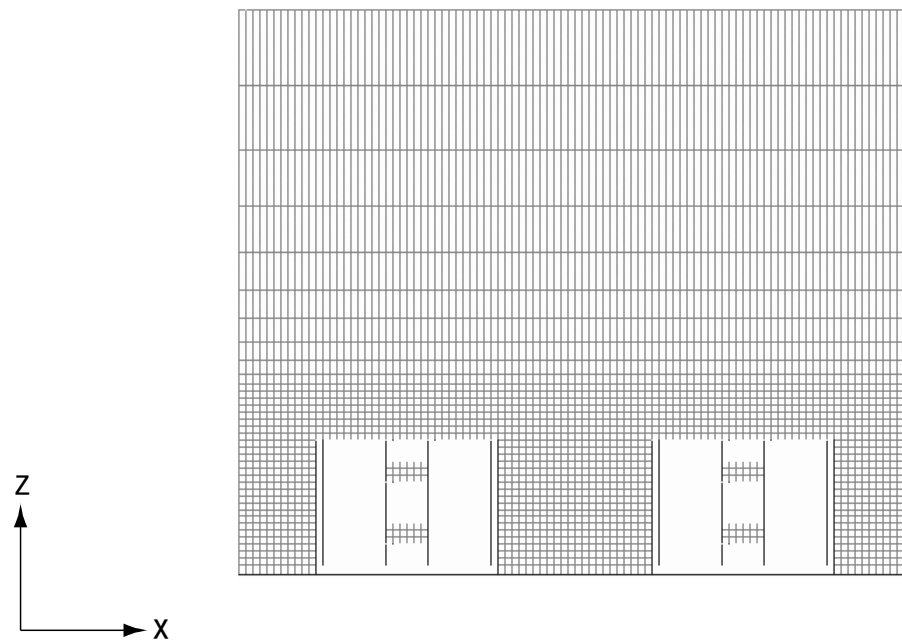


図 1.1.18 建蔽率 30%における数値解析領域のメッシュ分割 (x-z 軸)



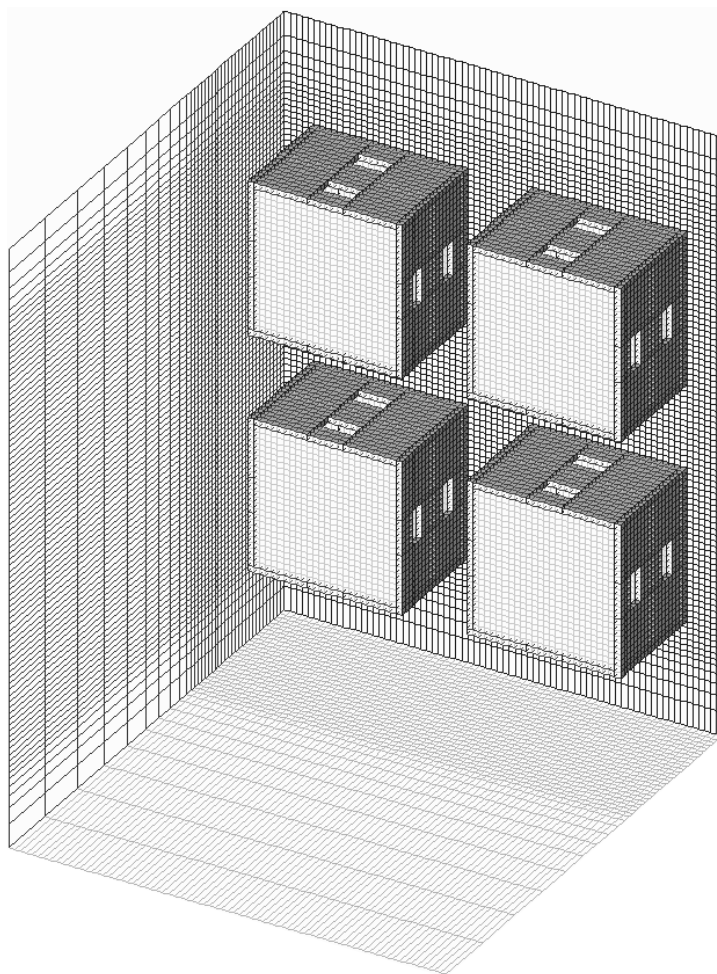


図 1.1.19 建蔽率 50%における解析対象モデルの外観

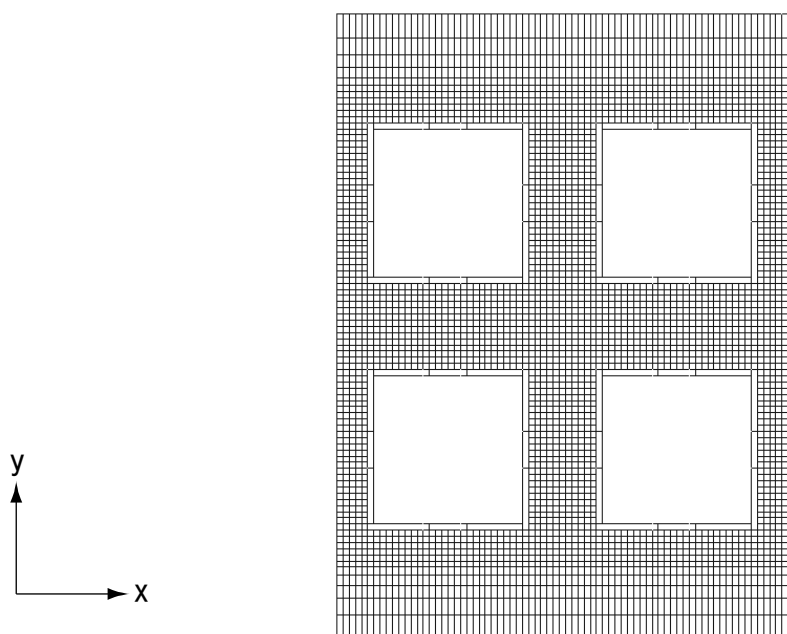


図 1.1.20 建蔽率 50%数値解析領域のメッシュ分割 (x-y 軸)

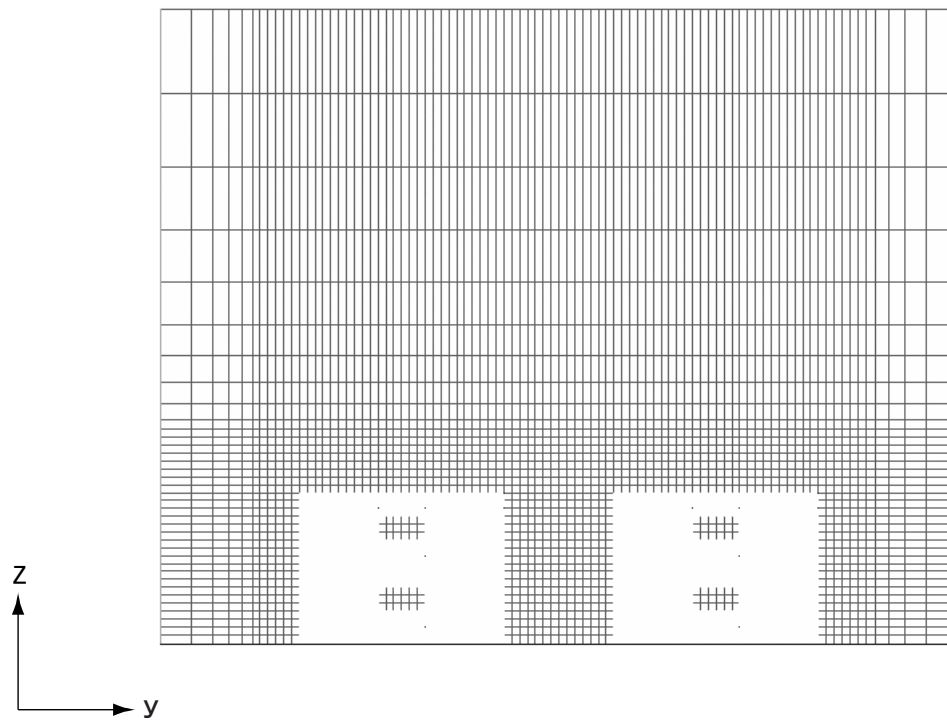


図 1.1.21 建蔽率 50%における数値解析領域のメッシュ分割 (y-z 軸)

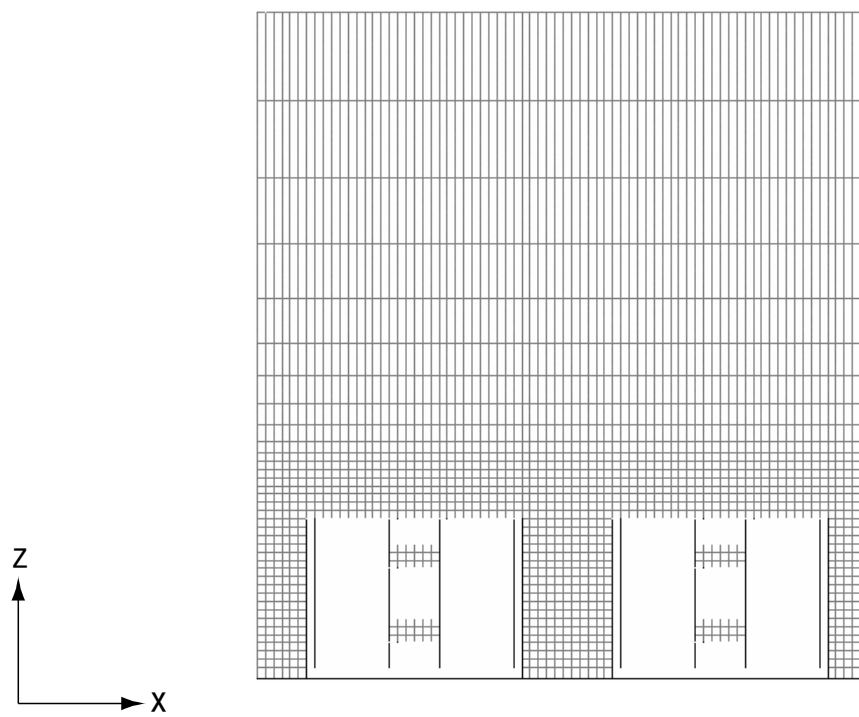


図 1.1.22 建蔽率 50%における数値解析領域のメッシュ分割 (x-z 軸)

## 第2章 有効換気回数の検討

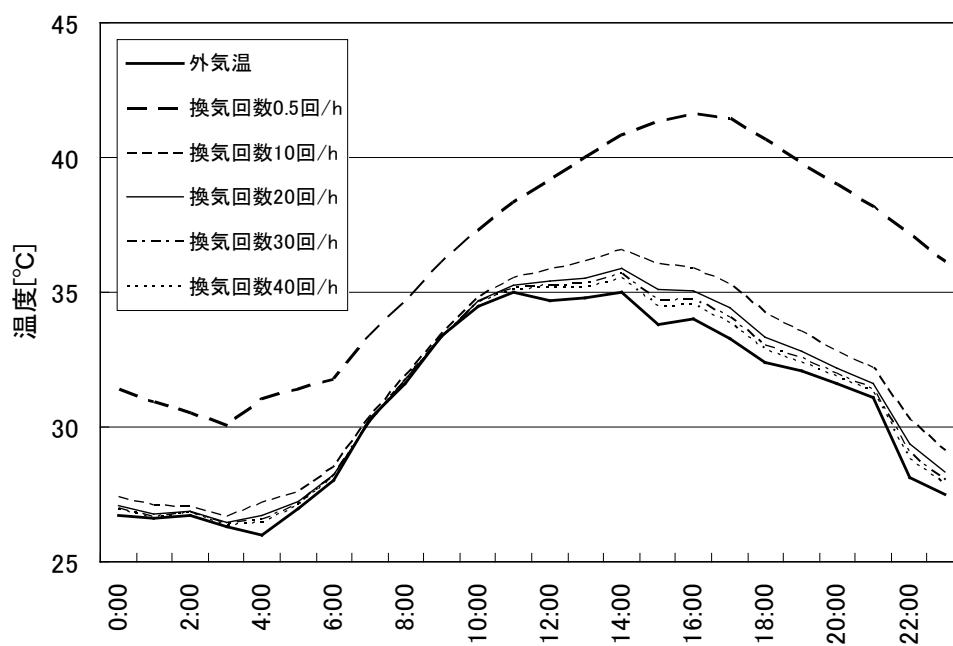
### 1.2.1 TRNSYS 解析結果

図 1.2.1 に新潟における各換気回数の室温を示す。対象日は非暖房期間において新潟の日平均外気温が最高となる 7 月 23 日とする。新潟における各換気回数の室温は換気回数 0.5 回/h(窓閉鎖時)の場合、1 階、2 階ともに室温と外気温の温度差は最大で約 8℃となる。換気回数 10 回/h では室温は 12 時から 20 時で外気温と差が見られるものの、室温はほぼ外気温程度まで低下している。また、換気回数が 30 回/h、40 回/h と多くなるにつれ、室温は外気温に近づく。換気回数 10 回/h と換気回数 20 回/h の室温差は、換気回数 20 回/h 以上の室温差に比較して相対的に大きい。

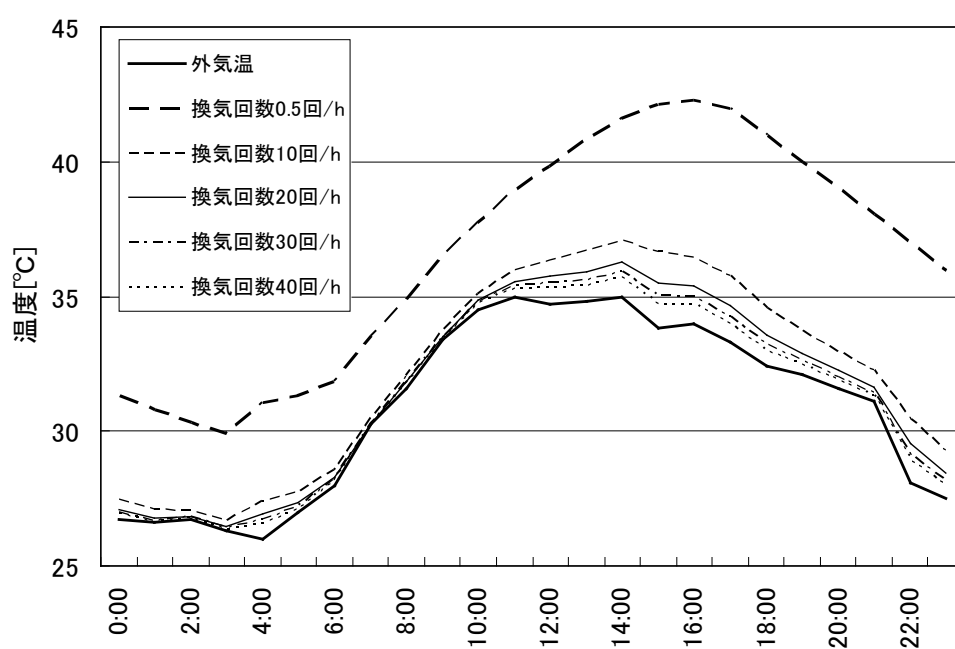
図 1.2.2 に新潟における各換気回数の平均室内外温度差を示す。対象日は新潟において日平均気温が最大となる 7 月 23 日と非暖房期間である。7 月 23 日では 1 階、2 階ともに換気回数 16 回/h で室温と外気温の差は 1℃以下となり、非暖房期間では 1 階、2 階ともに換気回数 12 回/h で室温と外気温の差は 1℃以下となる。また、7 月 23 日、非暖房期間ともに換気回数 20 回/h では室温と外気温の差は約 0.7℃程度となり、換気回数 30 回/h、40 回/h では室温と外気温の差は 0.5℃以下となる。1 階と 2 階では、1 階の方がより少ない換気回数で平均室内外温度差が小さくなる。これは 1 階は 2 階に比べ、屋根、天井面からの貫流熱流が小さく、室温上昇が相対的に小さいからと考えられる。

### 1.2.2 有効換気回数

室温と外気温の差が 1℃以下の時に十分に室温が低下していると考え、1 階、2 階ともに自然通風によって十分な室内環境改善効果が得られる換気回数 20 回/h を有効換気回数と定義する。

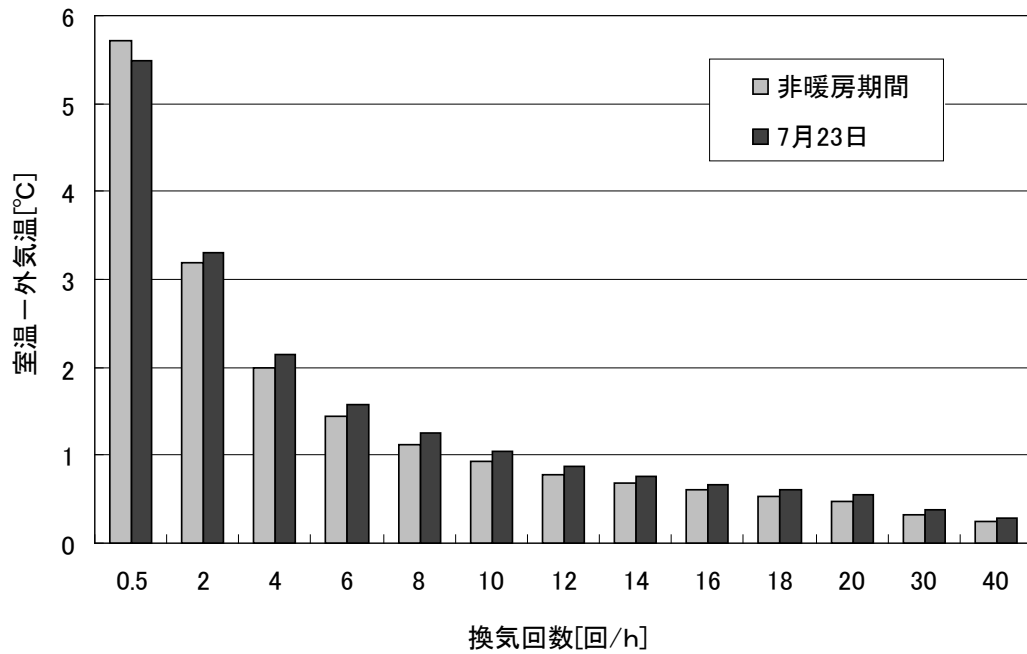


(1) 1 F

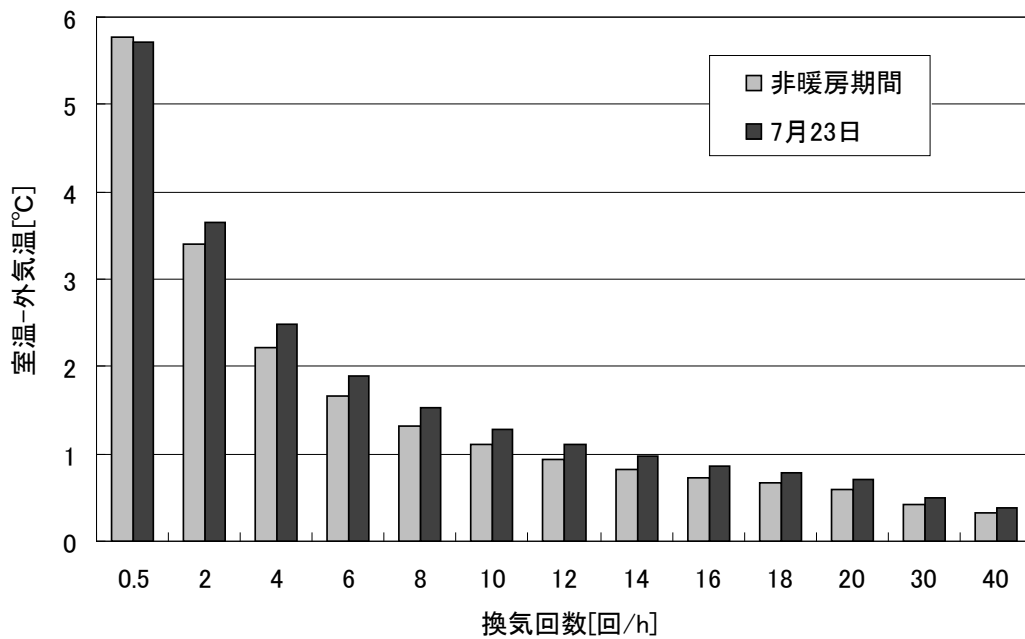


(2) 2 F

図 1.2.1 新潟における各換気回数の室温（日平均気温が最高の日：7/23）



(1) 1 F



(2) 2 F

図 1.2.2 新潟における各換気回数の平均室内外温度差

### 1.2.3 外気温と室温の日変化

有効換気回数と実換気回数の関係を検討する。

図 1.2.3 に新潟の外気温と室温の日変化を、図 1.2.4 に東京の外気温と室温の日変化を示す。ともに各都市において日平均気温が最高となる日の結果である。但し、窓開放時の室温では非就寝時に窓を開放し、就寝時は窓を閉鎖する。窓閉鎖時の室温は換気回数 0.5 回/h とし、窓開放時は実換気回数とする。

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。東京、新潟ともに自然通風による排熱効果によって十分な室内環境改善効果が得られていると考えられる。

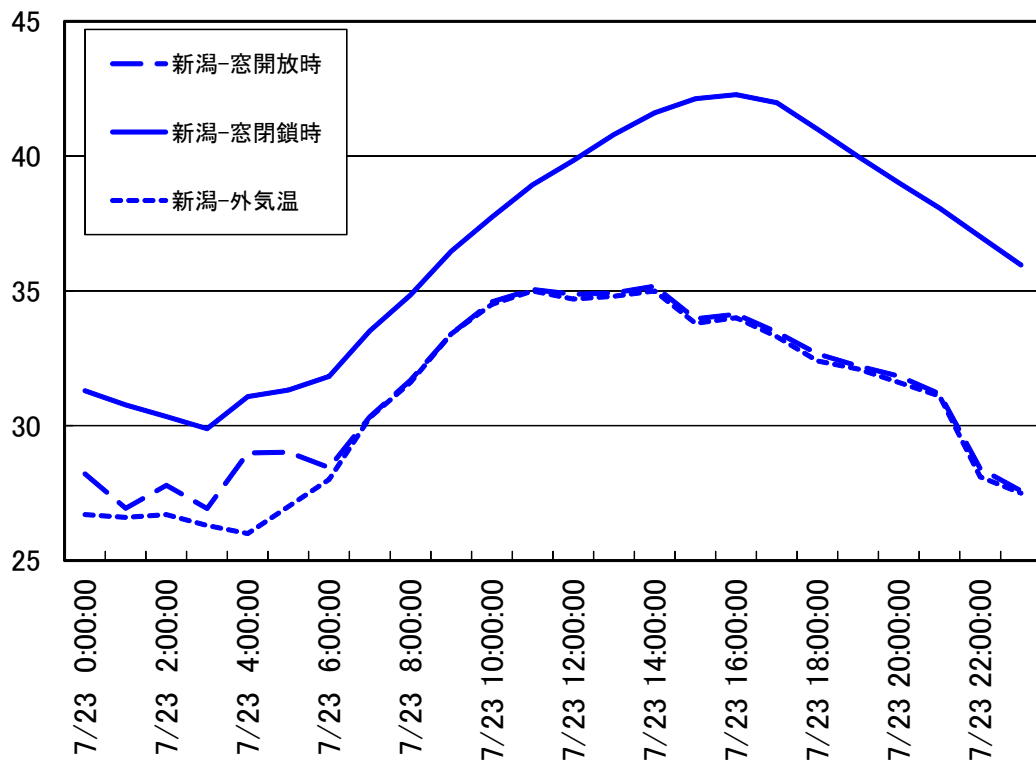


図 1.2.3 新潟の外気温と室温の日変化  
(日平均気温が最高の日：新潟 7/23)

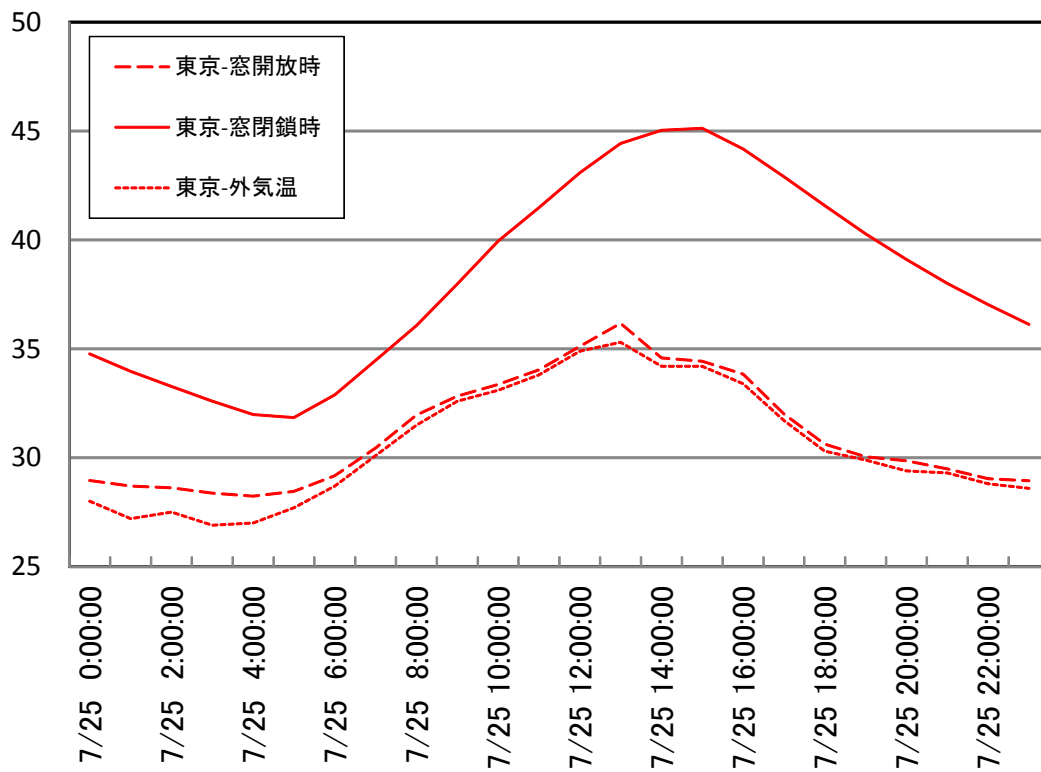
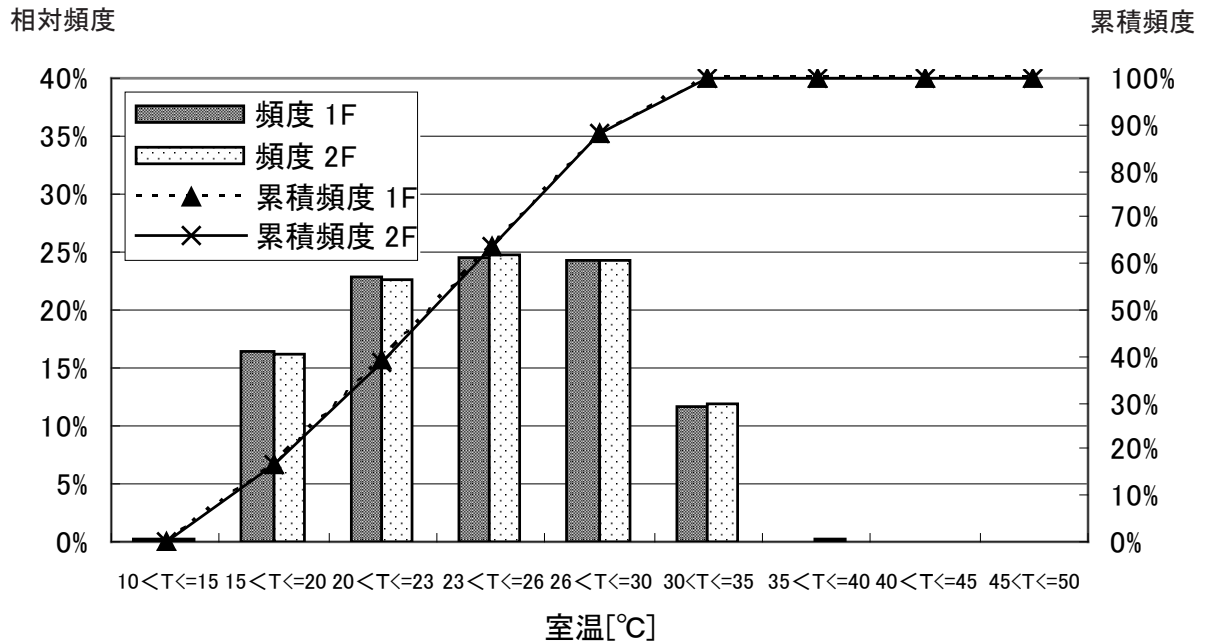


図 1.2.4 東京の外気温と室温の日変化  
(日平均気温が最高の日：東京 7/25)

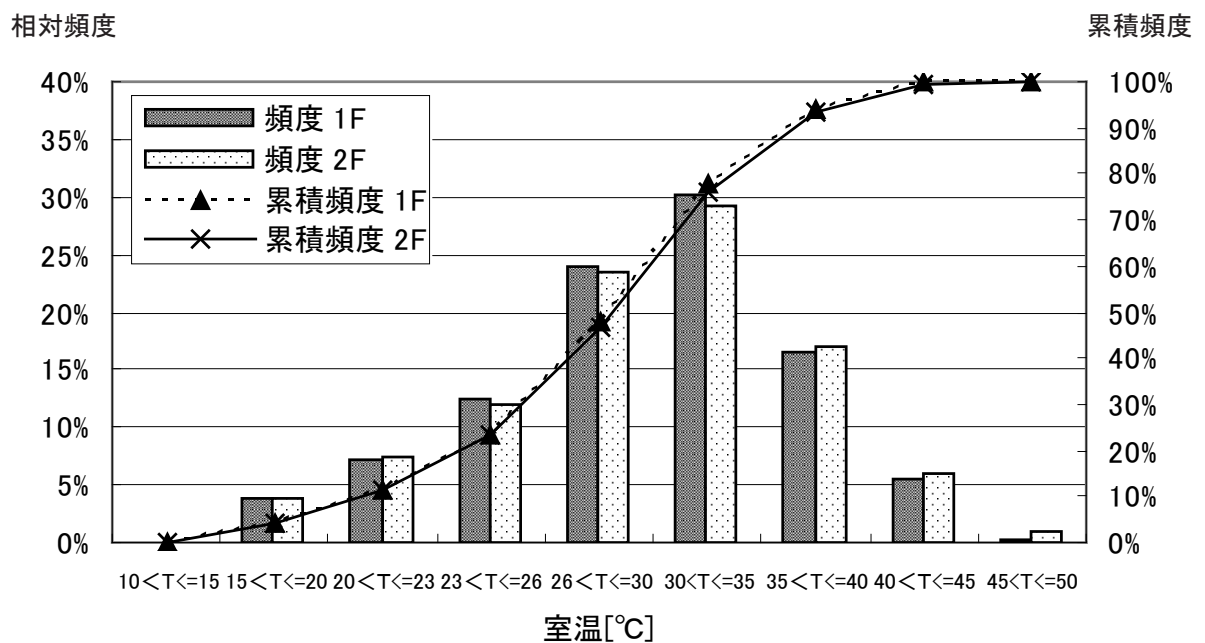
#### 1.2.4 有効換気回数と実換気回数

図1.2.5に窓開放時と窓閉鎖時における東京の室内温度頻度分布を、図1.2.6に窓開放時と窓閉鎖時における新潟の室内温度頻度分布を示す。新潟、東京ともに、窓閉鎖時には $30^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ の相対頻度が最も高く、窓開放時には $23^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ の快適温度まで低下する相対頻度が最も高い。窓閉鎖時と比較して、窓開放時には相対頻度のピークが約 $8^{\circ}\text{C}$ 低下して発生している。窓閉鎖時には、東京は新潟と比較して、室温が $15^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ まで分布しており、この傾向は窓開放時も同様である。また、東京では窓開放時に快適温度の範囲に入る累積頻度は65%程度となり、新潟では70%となる。これは東京は新潟に比較して、非暖房期間における平均気温が高いことや、新潟では平均風速が速いことが影響していると考えられる。



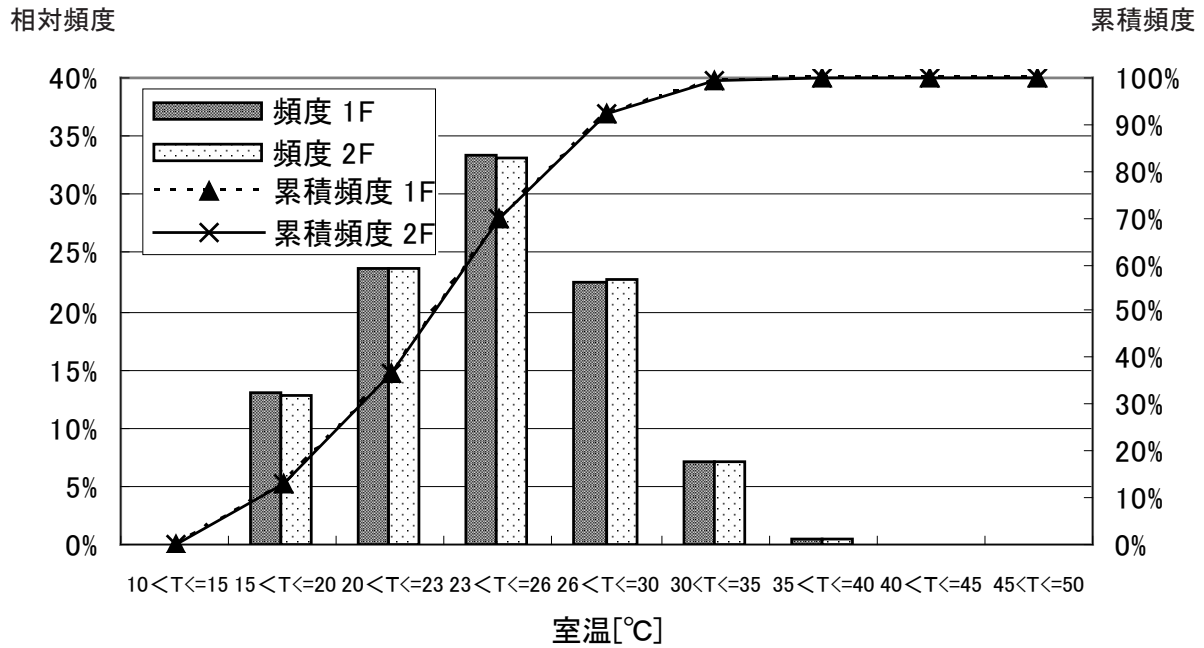


(1) 窓解放時

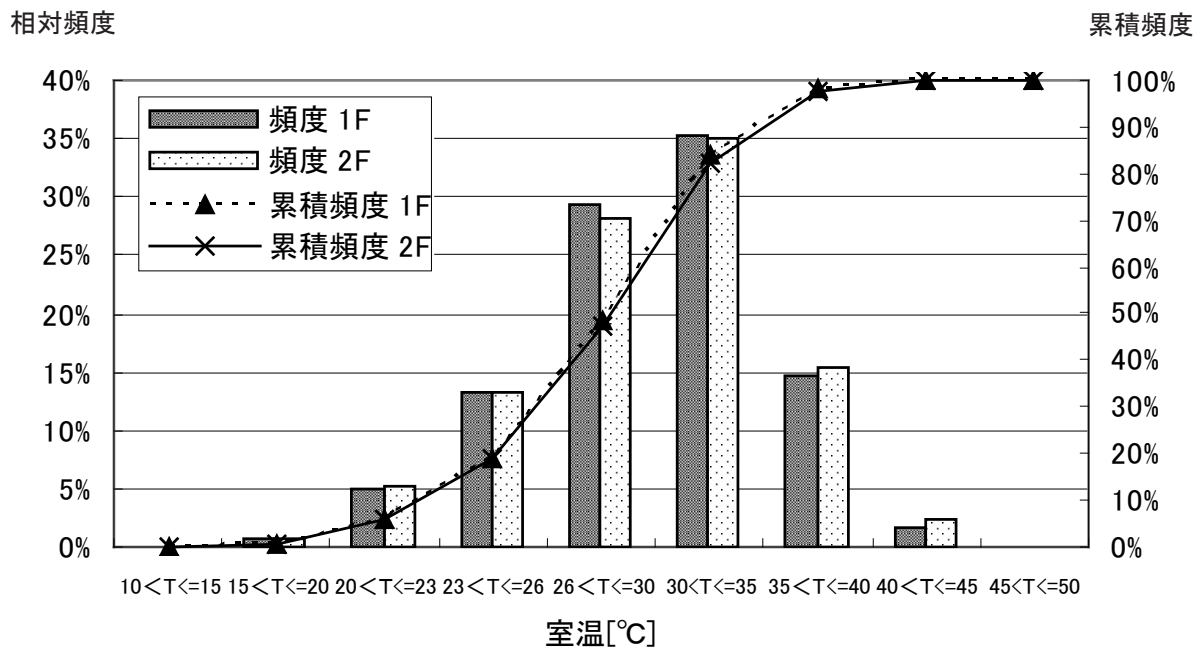


(2) 窓閉鎖時

図 1.2.5 東京の室内温度頻度分布



(1) 窓解放時



(2) 窓閉鎖時

図 1.2.6 新潟の室内温度頻度分布

### 1.2.5 主要11都市における実換気回数の頻度分布

図1.2.7～1.2.17に各対象都市の換気回数頻度分布を示す。平均風速の速い新潟や神戸では換気回数30回/h以下の頻度はほとんどない。京都、広島、高知を除く8都市では換気回数100回/h以上の頻度が50%以上となり、基準となる換気回数20回/hの頻度を大きく上回っている。換気回数20回/h以下の頻度は殆どない。換気回数100回/h以上の頻度で比較すると、他の都市よりも新潟、名古屋が約10%高い。これは新潟、名古屋が他の都市よりも平均風速が速いためと考えられる。また、どの都市でも1F、2Fの差は殆どみられない。

図1.2.18に11都市における有効換気回数以上の相対頻度を示す。どの都市でも1F、2Fの差は殆どみられない。平均風速の遅い京都と高知では他の都市と比較して、有効換気回数以上の相対頻度が低い。

今回の単体の単純住宅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、自然通風による排熱効果によって十分な室内環境改善効果が得られると考えられる。

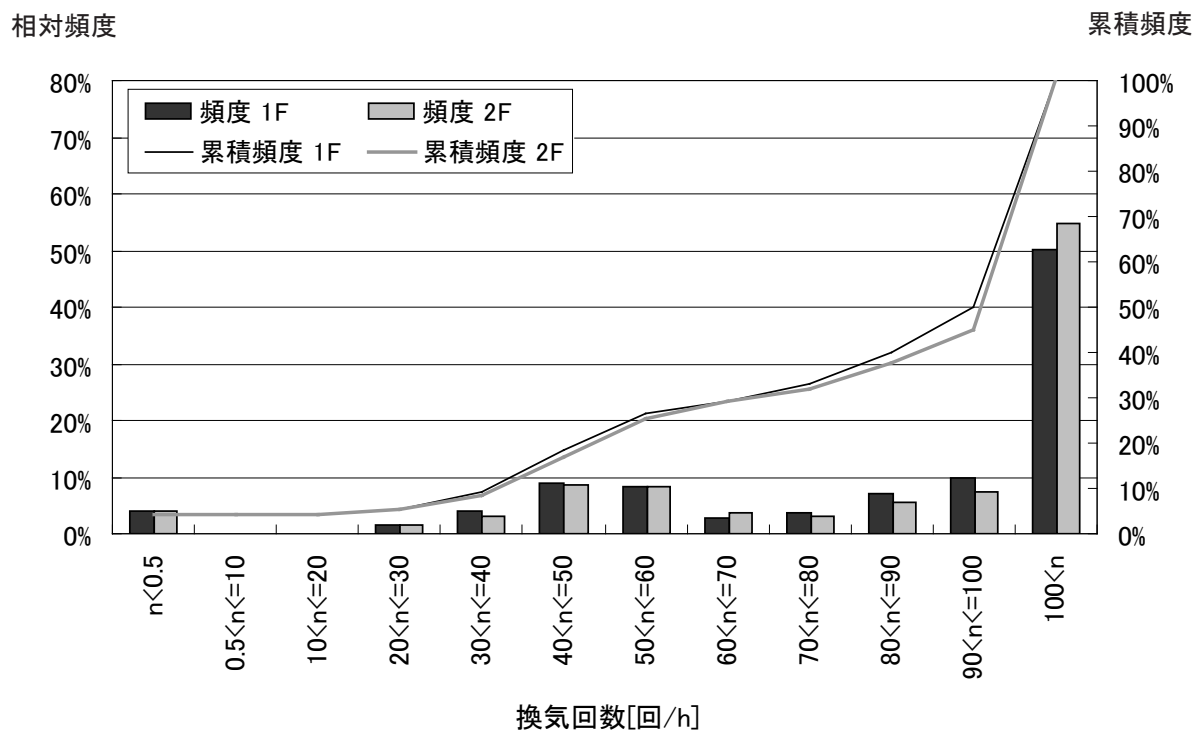


図 1.2.7 札幌の換気回数頻度分布

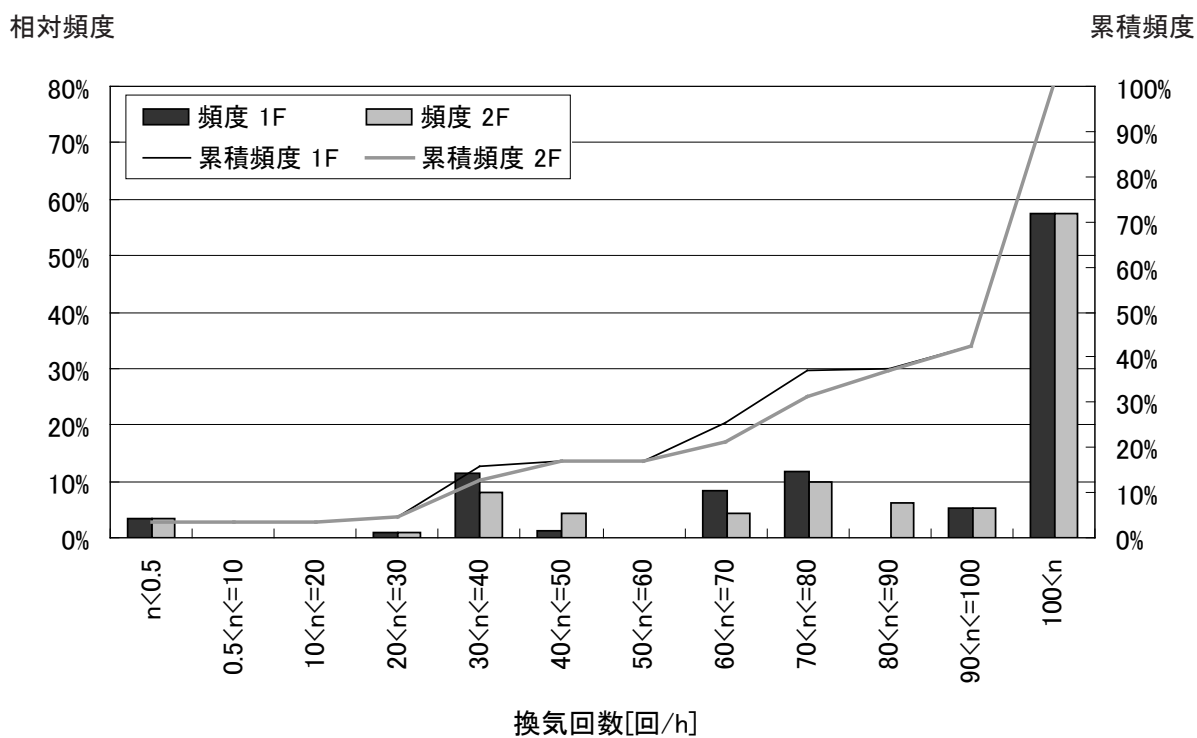


図 1.2.8 仙台の換気回数頻度分布

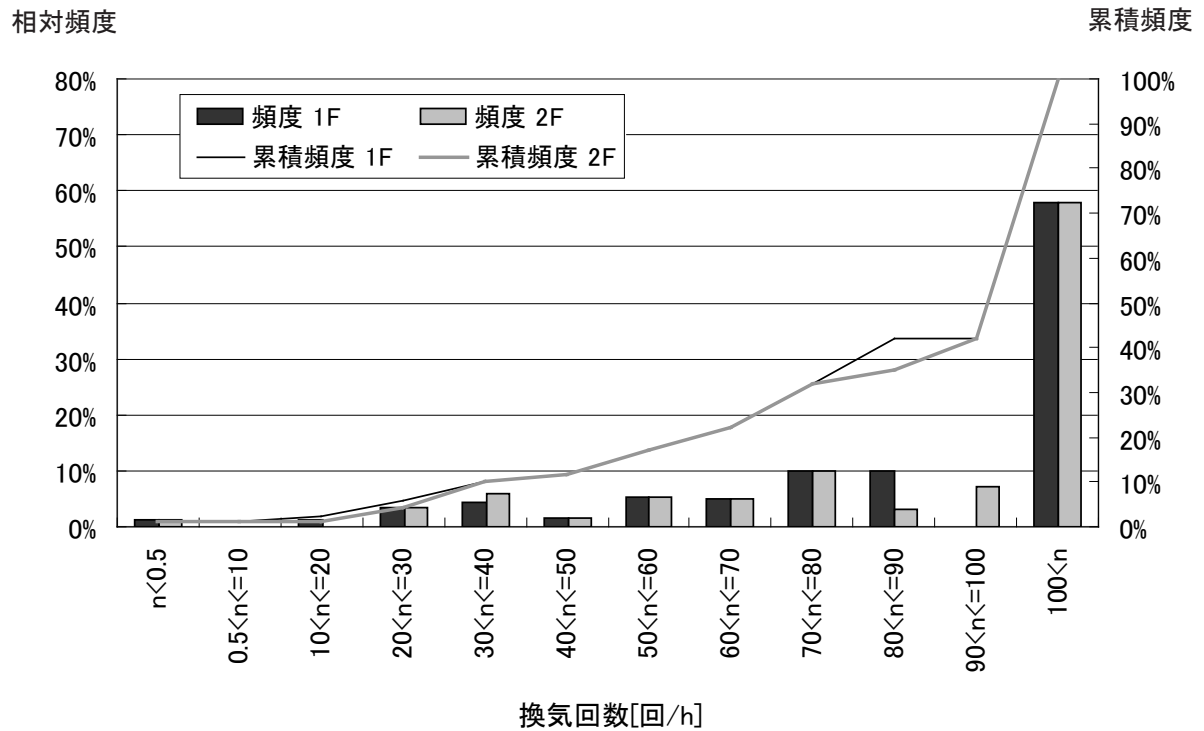


図 1.2.9 東京の換気回数頻度分布

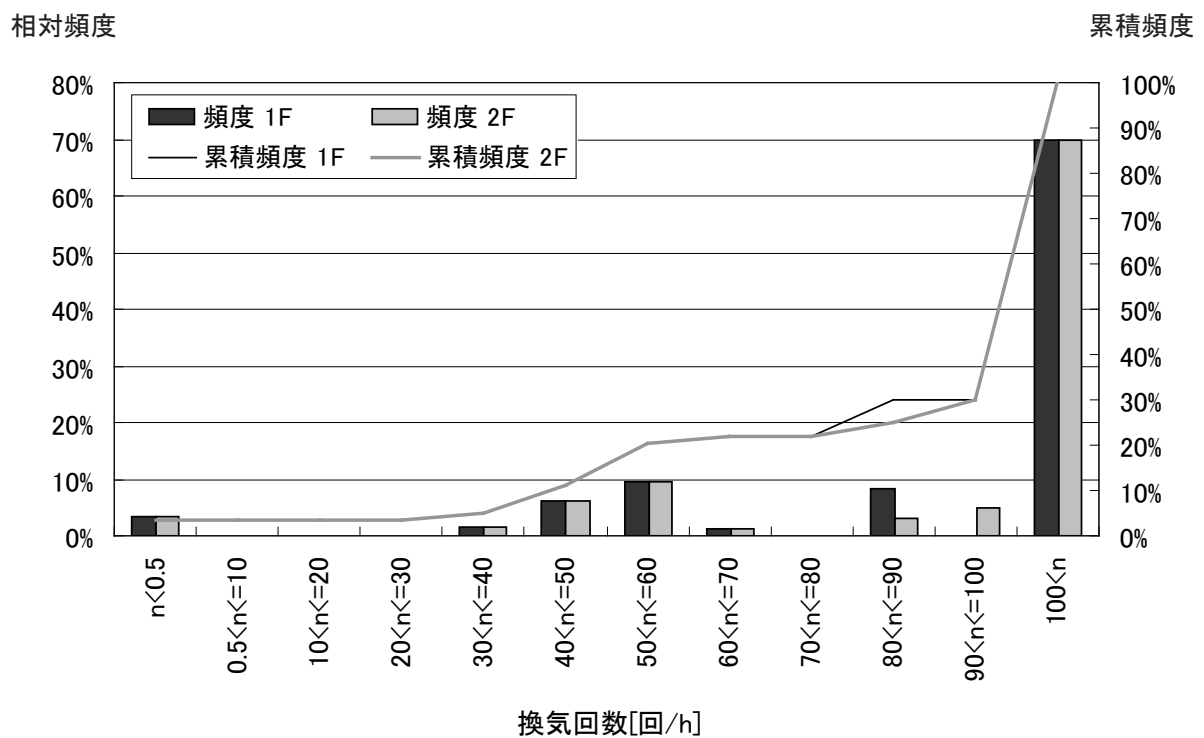


図 1.2.10 名古屋の換気回数頻度分布

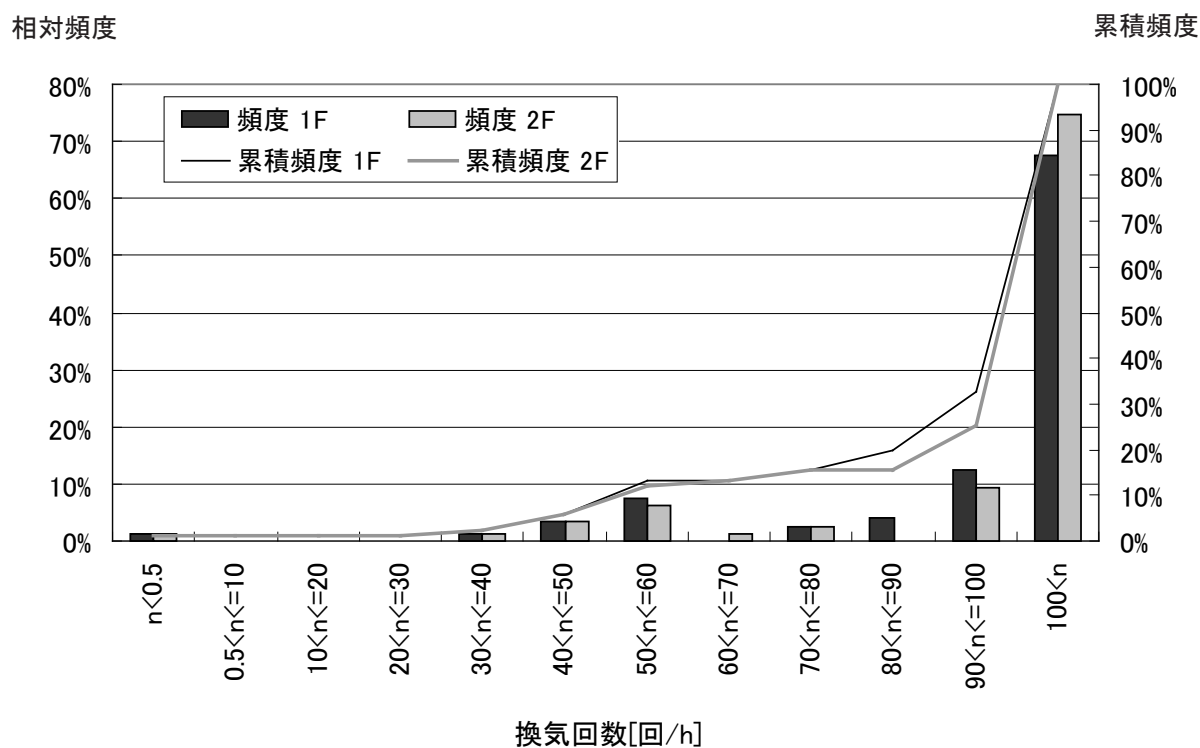


図 1.2.11 新潟の換気回数頻度分布

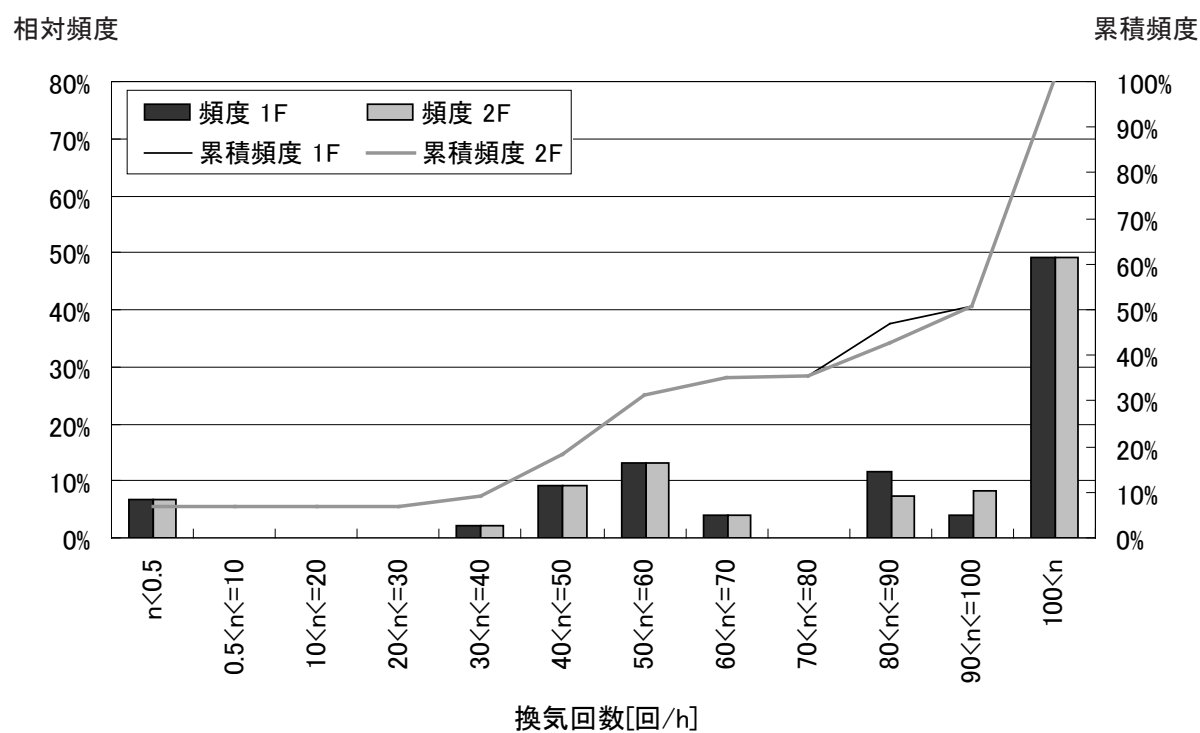


図 1.2.12 京都の換気回数頻度分布

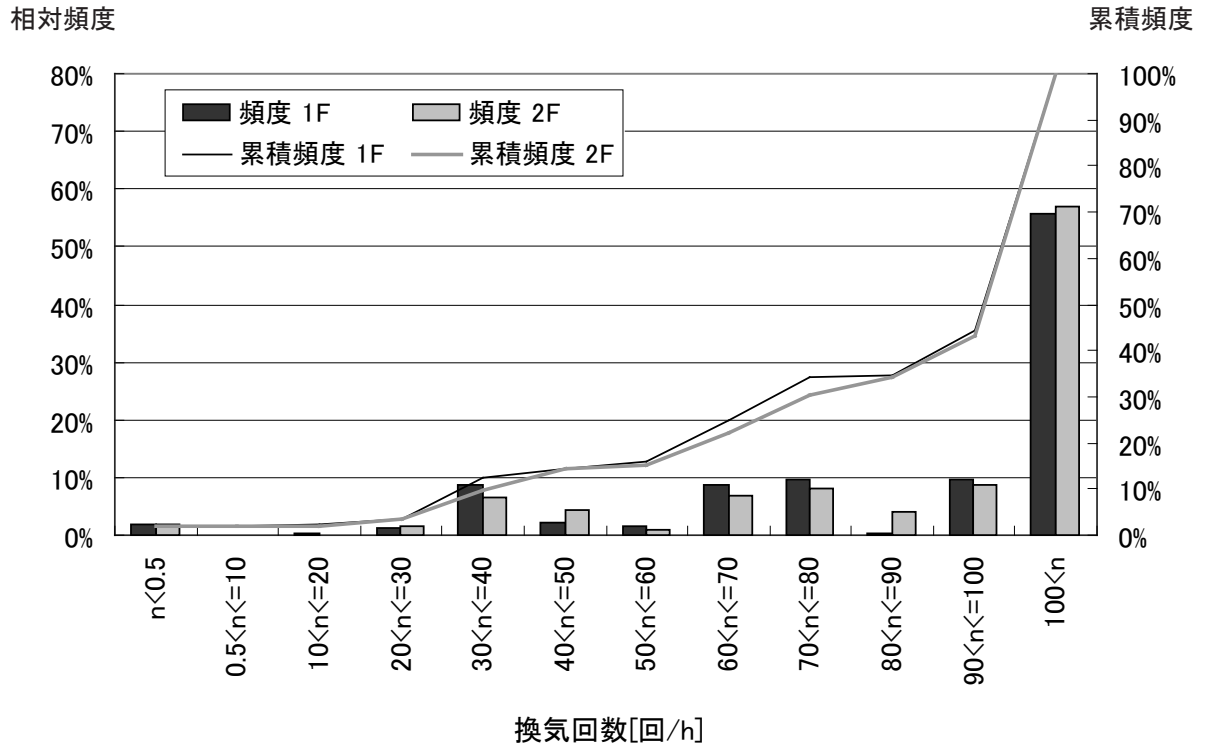


図 1.2.13 大阪の換気回数頻度分布

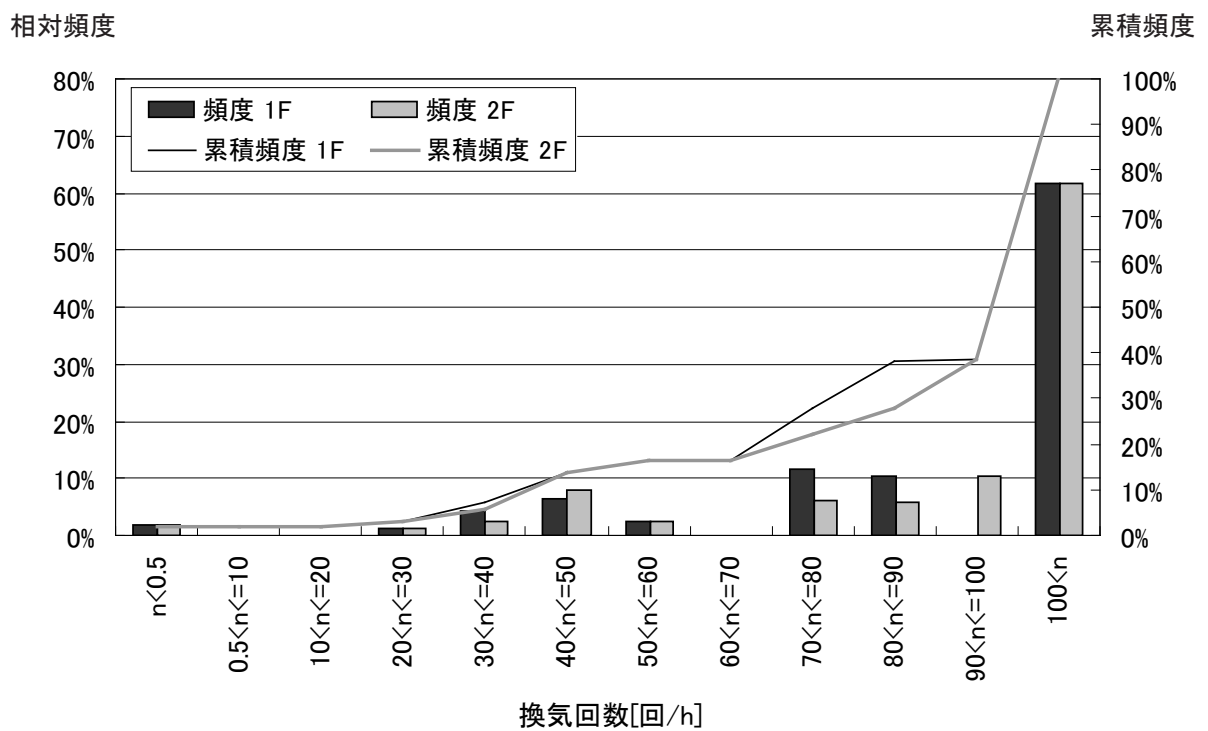


図 1.2.14 神戸の換気回数頻度分布

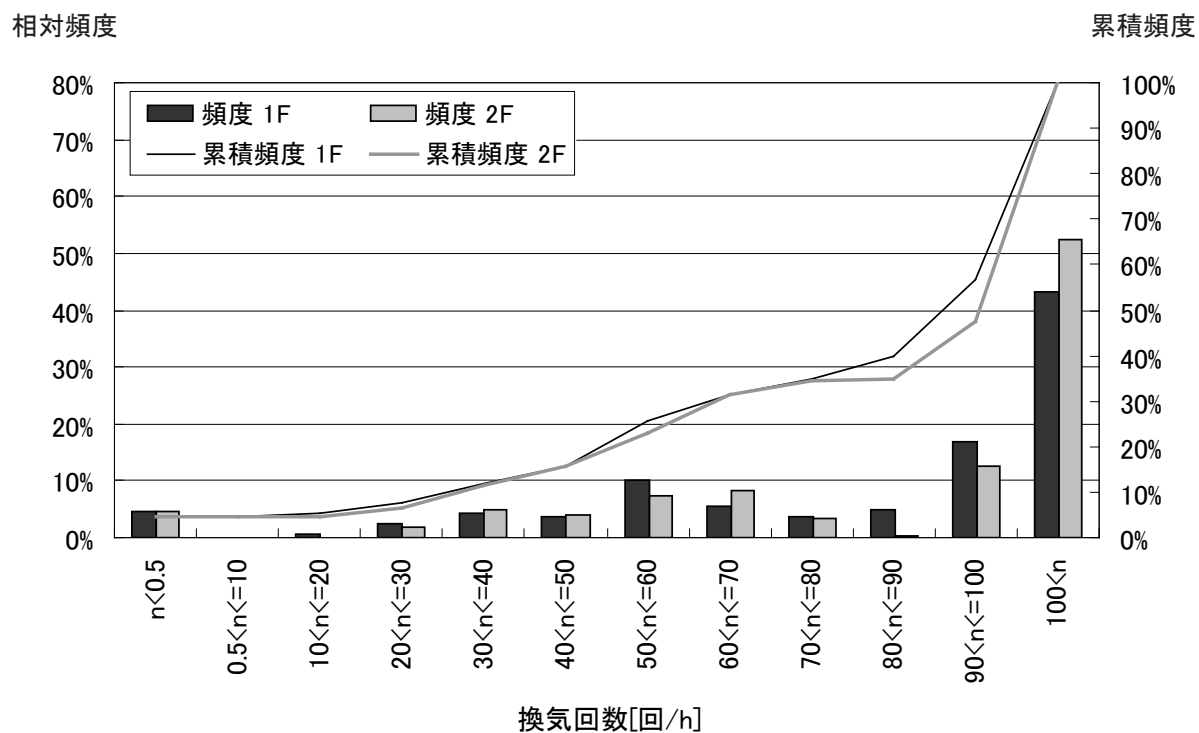


図 1.2.15 広島の換気回数頻度分布

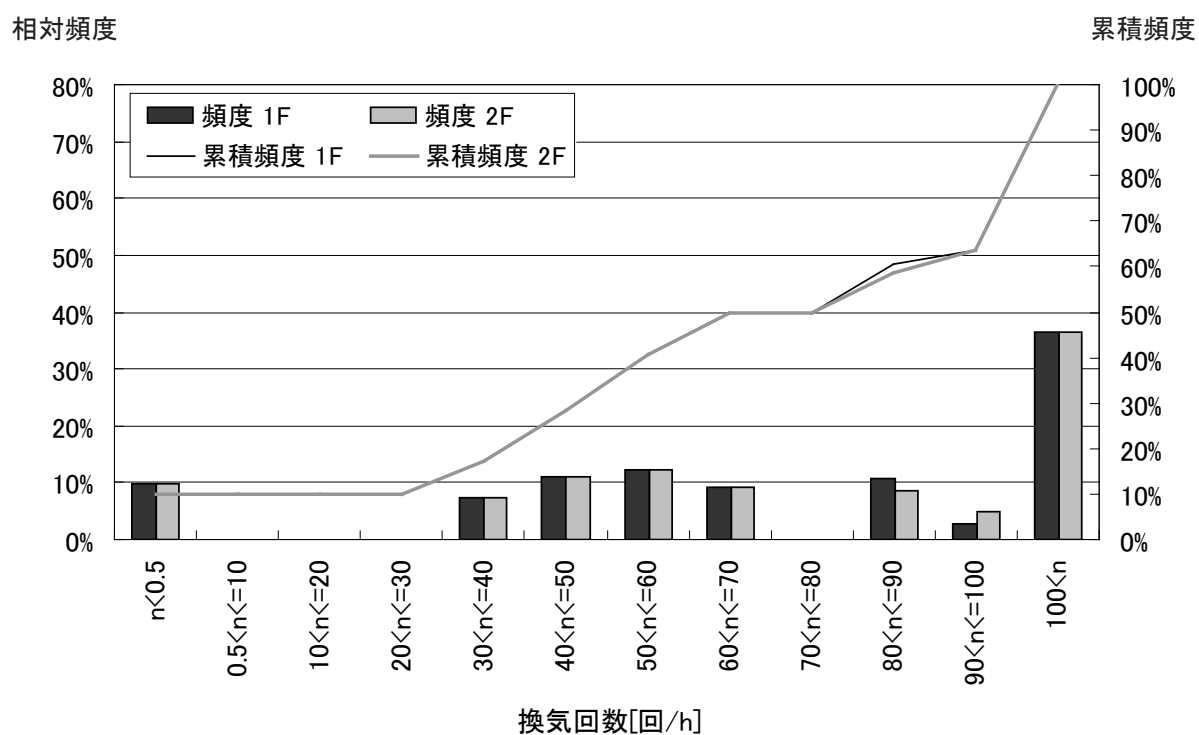


図 1.2.16 高知の換気回数頻度分布



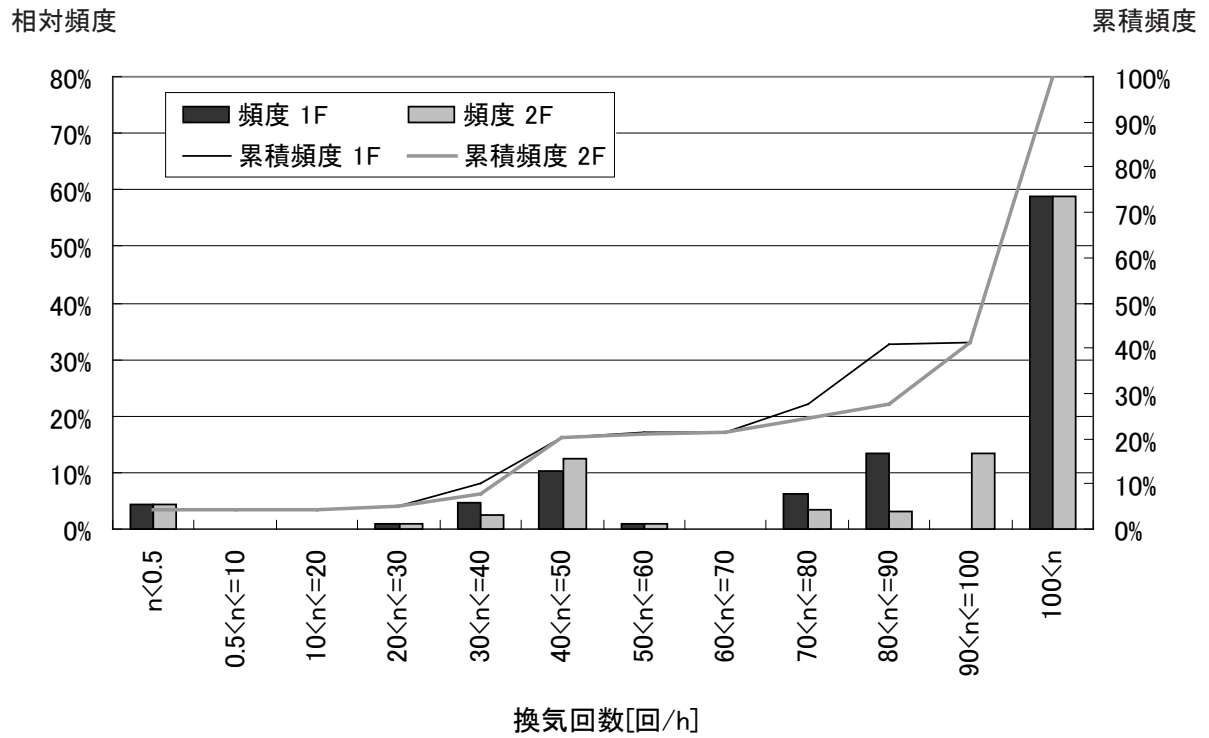


図 1.2.17 福岡の換気回数頻度分布

相対頻度

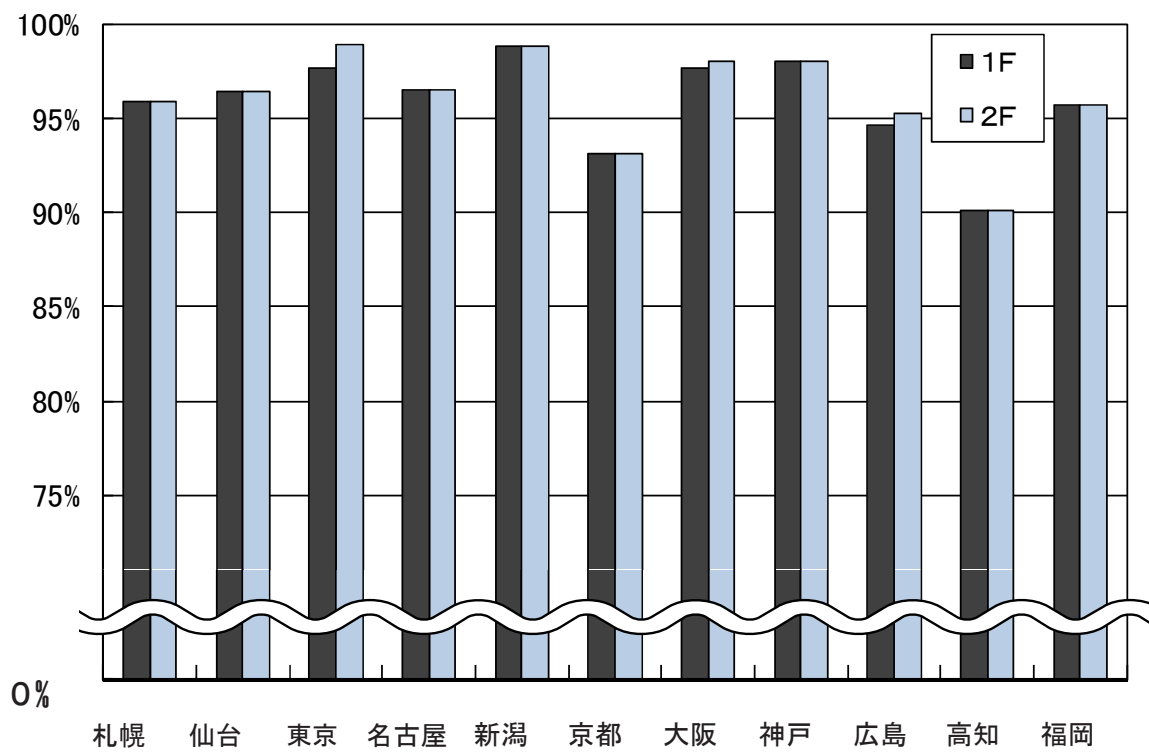


図 1.2.18 11 都市における有効換気回数以上の相対頻度

## 第3章 有効窓面積率

## 1.3.1 換気回数と窓面積率の関係

表 1.3.1 に各建蔽率における回帰式と寄与率を、図 1.3.1 に建物①における換気回数と窓面積率の関係を示す。図 1.3.1 では建蔽率が 0 (単体)、10、30、50% と増加する程、傾きは小さくなり、換気回数は減少する。1 F よりも 2 F で傾きが大きい。表 1.3.1 は上段に回帰式、下段に寄与率を示し、 $y$  を換気回数、 $x$  を窓面積率とする。1 F、2 F ともに回帰式はどの建物位置でも差は殆どない。また、いずれの回帰式においても寄与率は 0.96 以上となる。この回帰式から窓面積率を 1 % 刻みとして全国 842 各都市の実換気回数を算出する。

表 1.3.1 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	$y = 46.571x$	$y = 46.564x$	$y = 45.325x$	$y = 45.307x$
		$R^2 = 0.9648$	$R^2 = 0.9654$	$R^2 = 0.9640$	$R^2 = 0.9640$

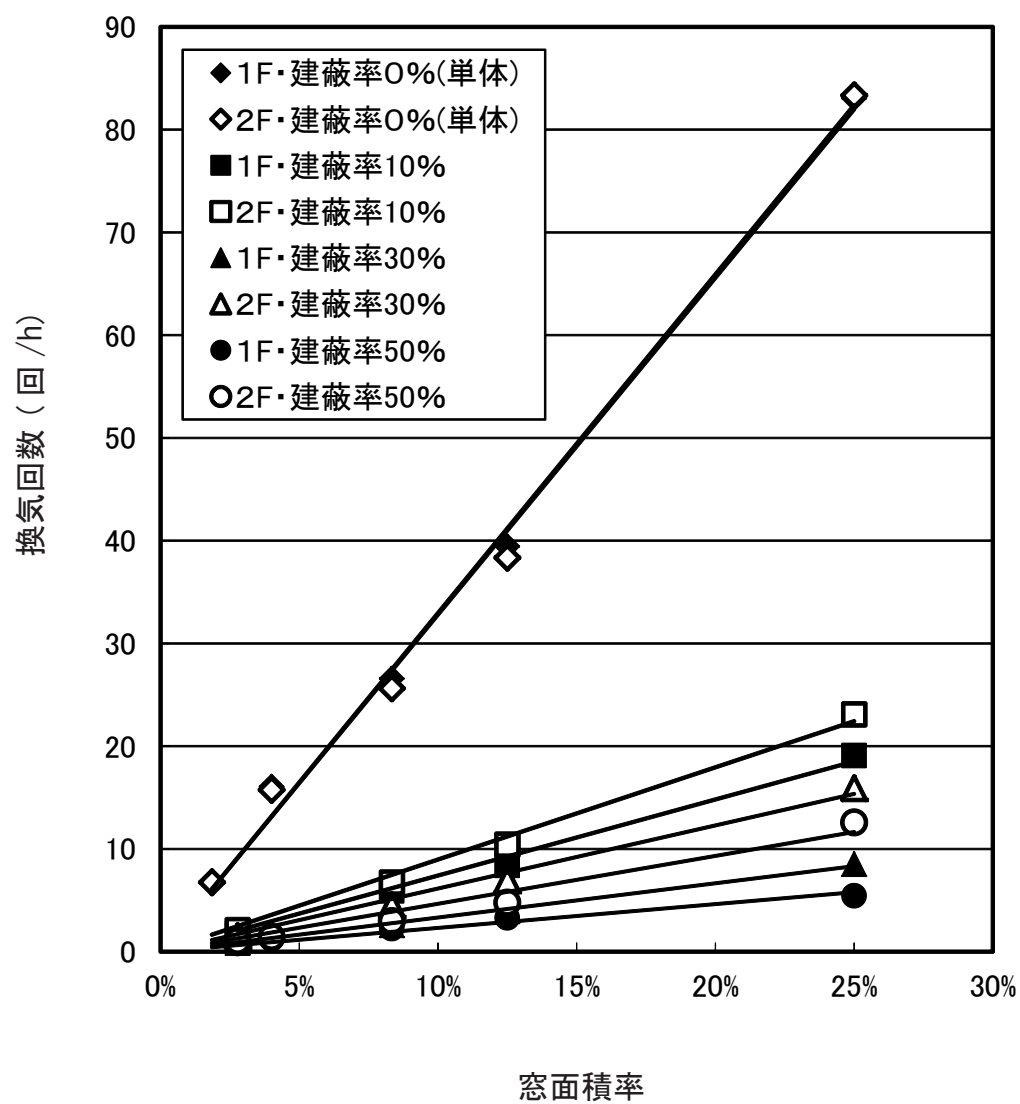


図 1.3.1 換気回数と窓面積率の関係（建物①）

### 1.3.2 有効窓面積率マップ

図 1.3.2 ～図 1.3.27 に各建蔽率における有効建蔽率マップを示す。

建物①～④を比較すると、差はほとんど見られない。建蔽率 0 %（単体）における有効窓面積率マップでは 1 階、2 階で差は殆ど見られない。有効窓面積率は都市によって異なり、内陸部では 15%程度と高く、海沿いの都市では 5%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。但し、瀬戸内海に面した高松や松山では有効窓面積率は 7 %程度と高い。また、島や山、岬などの風速が速くなる地域では有効窓面積率は 3%程度と低くなっている。

建蔽率 10%における有効窓面積率マップでは 1 階より 2 階の有効窓面積率が低い。建蔽率 0 %（単体）の場合と同様に有効窓面積率は都市によって異なり、内陸部では 30%程度と高く、海沿いの都市では 15%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。但し、瀬戸内海に面した高松や松山では有効窓面積率は高い。また、島や山、岬などの風速が速くなる地域では有効窓面積率は 10%程度と低くなっている。

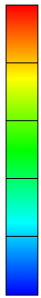
建蔽率 30%における有効窓面積率マップでは建蔽率 10%の場合と同様に、1 階より 2 階の有効窓面積率が低い。また、建蔽率 0 %（単体）の場合と同様に有効窓面積率は都市によって異なり、1 階は 45%以下の有効窓面積率は殆ど見られない。2 階は内陸部で有効窓面積率は 45%程度と高く、海岸沿いの都市では 25%と低い。島や山、岬などの風速が速い地域でも同様に有効窓面積率が 15%以下と低くなっている。建蔽率 10%の場合と比較して、有効窓面積率は 7 %程度高く、建蔽率 10%の場合よりも都市による窓面積率の差が大きい。

建蔽率 50%における有効窓面積率マップでは建蔽率 10%の場合と同様に、1 階より 2 階の有効窓面積率が低い。また、建蔽率 0 %（単体）の場合と同様に有効窓面積率は都市によって異なり、1 階は 60%以下の有効窓面積率は殆ど見られない。2 階は内陸部で有効窓面積率は 60%程度と高く、海岸沿いの都市では 30%程度と比較的低い。島や山、岬などの風速が速い地域でも同様に有効窓面積率が 20%以下と低くなっている。建蔽率 10%の場合と比較して、有効窓面積率が 15%程度高く、建蔽率 30%の場合よりも更に都市による窓面積率の差が大きい。

図 1.3.28 ～図 1.3.35 に同一スケール（有効窓面積率 0 %～ 60%）の各建蔽率における有効建蔽率マップ（建物①）を示す。

建蔽率が高くなる程、有効窓面積率は高くなる。風速の遅い内陸部と風速の速い海沿いの都市との有効窓面積率の差は、建蔽率が 0 %（単体）、10%、30%、50%と高くなる程、10%、15%、20%、30%と大きくなる。これは建蔽率が建蔽率が高くなる程、住宅が密集し、摩擦による風速の低下が大きくなったため、風速の遅い内陸部と風速の速い海沿いの都市との風速の差がより大きくなったことが要因と考えられる。但し、建蔽率 30%、50%の 1 階では都市による有効窓面積率の差は殆ど見られない。

20%



0%

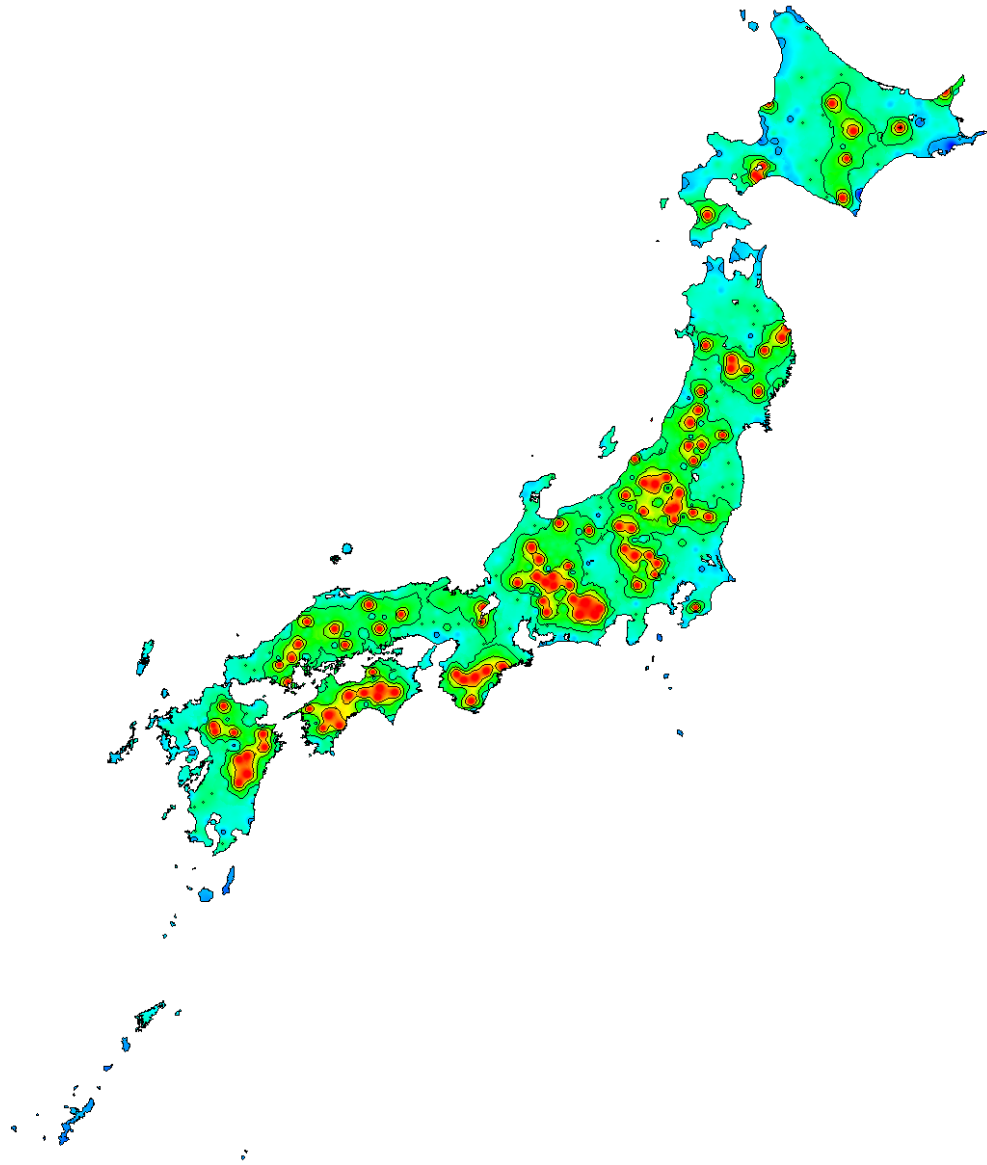


図 1.3.2 建蔽率0%（単体）における有効窓面積率マップ（1F）

20%



0%

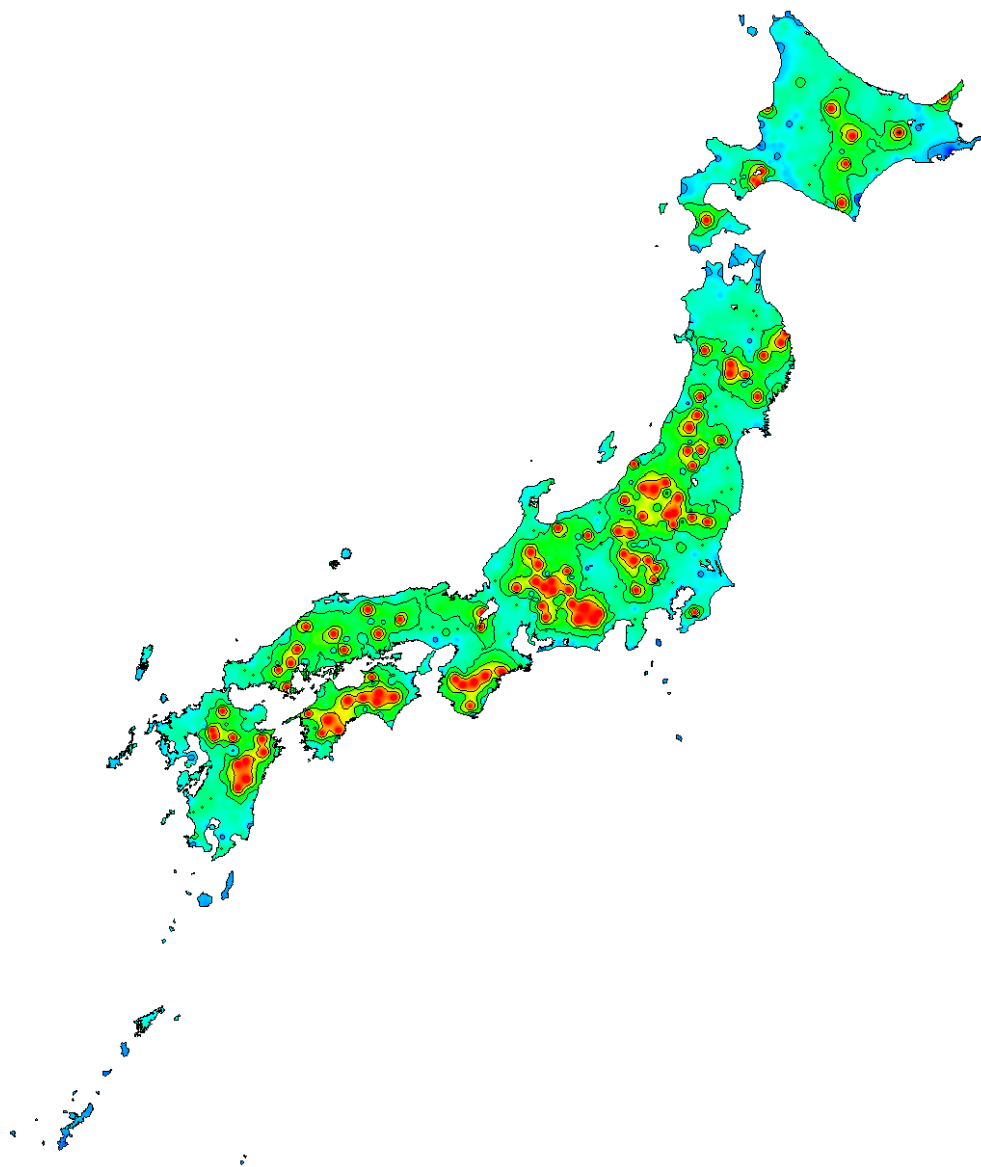


図 1.3.3 建蔽率0%（単体）における有効窓面積率マップ（2F）

40%



0%

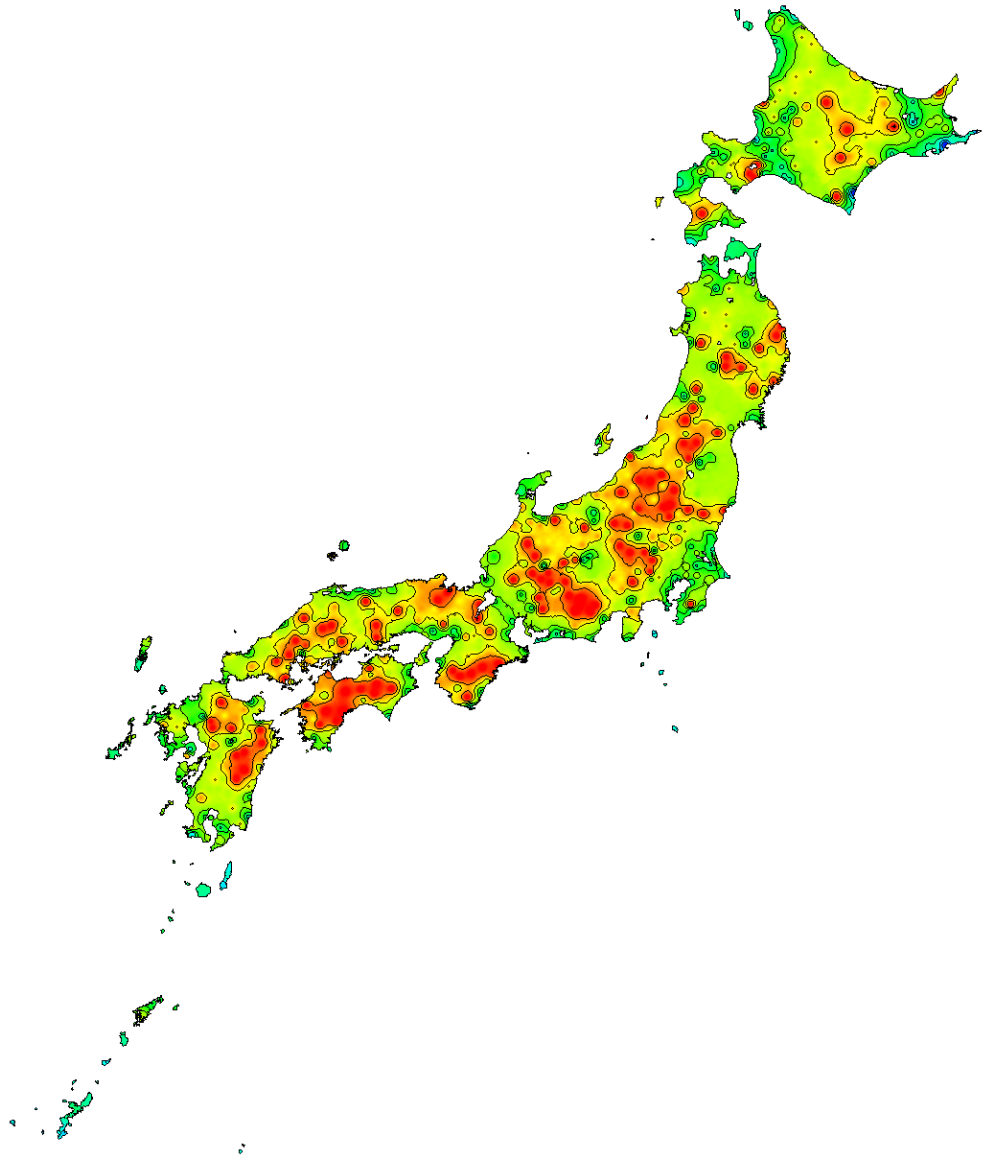


図 1.3.4 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物①、1 F）



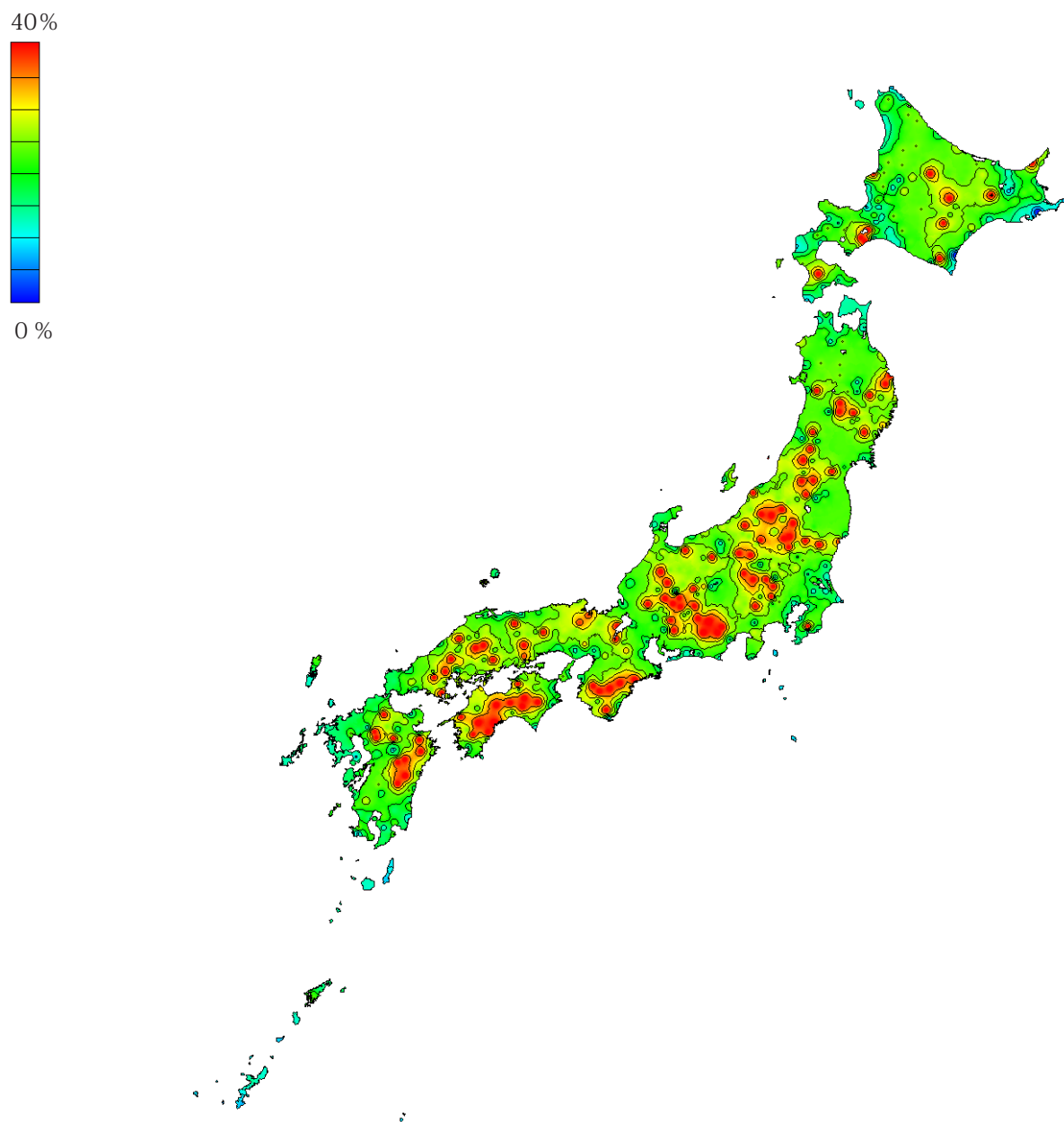


図 1.3.5 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物①、2 F）

40%



0%

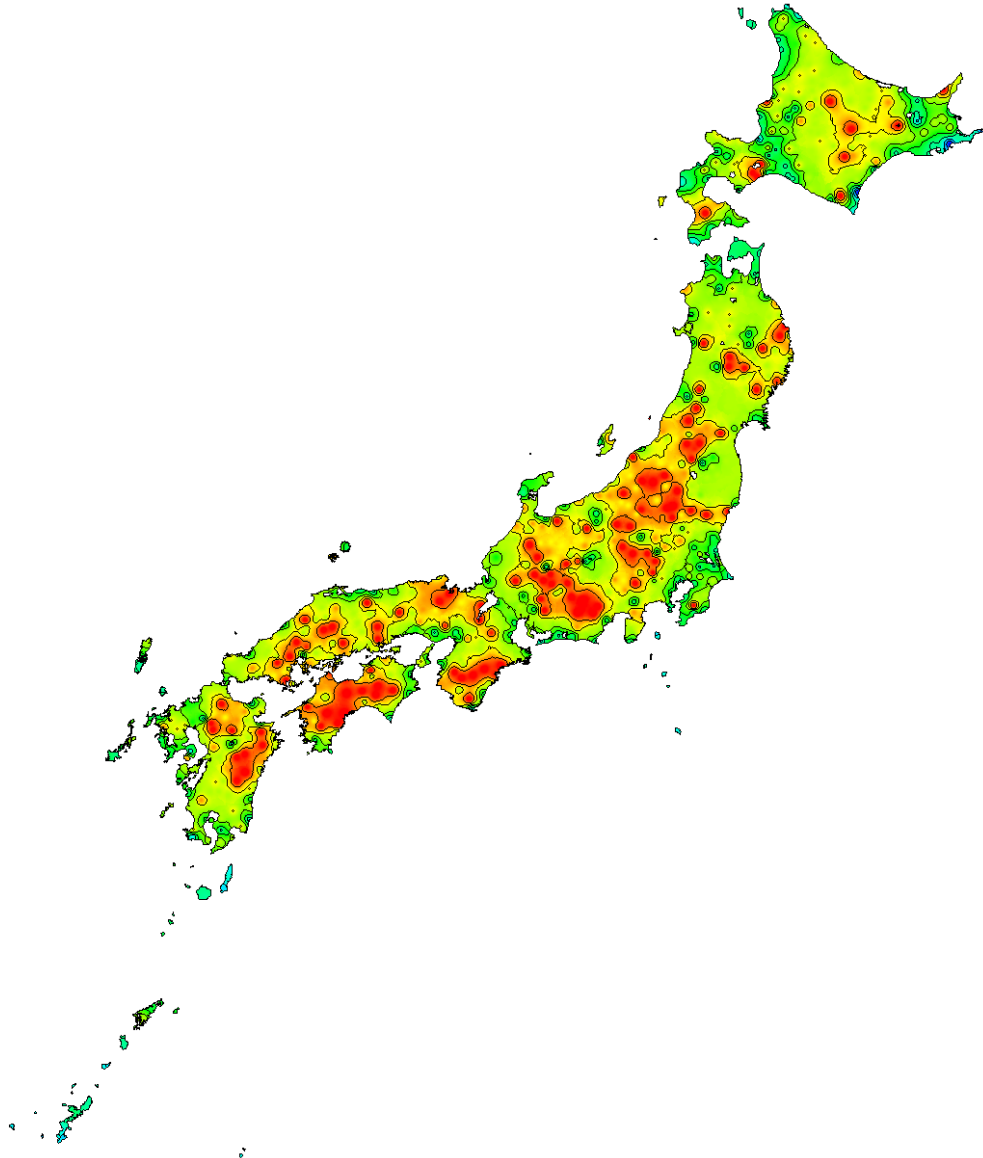


図 1.3.6 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物②、1 F）

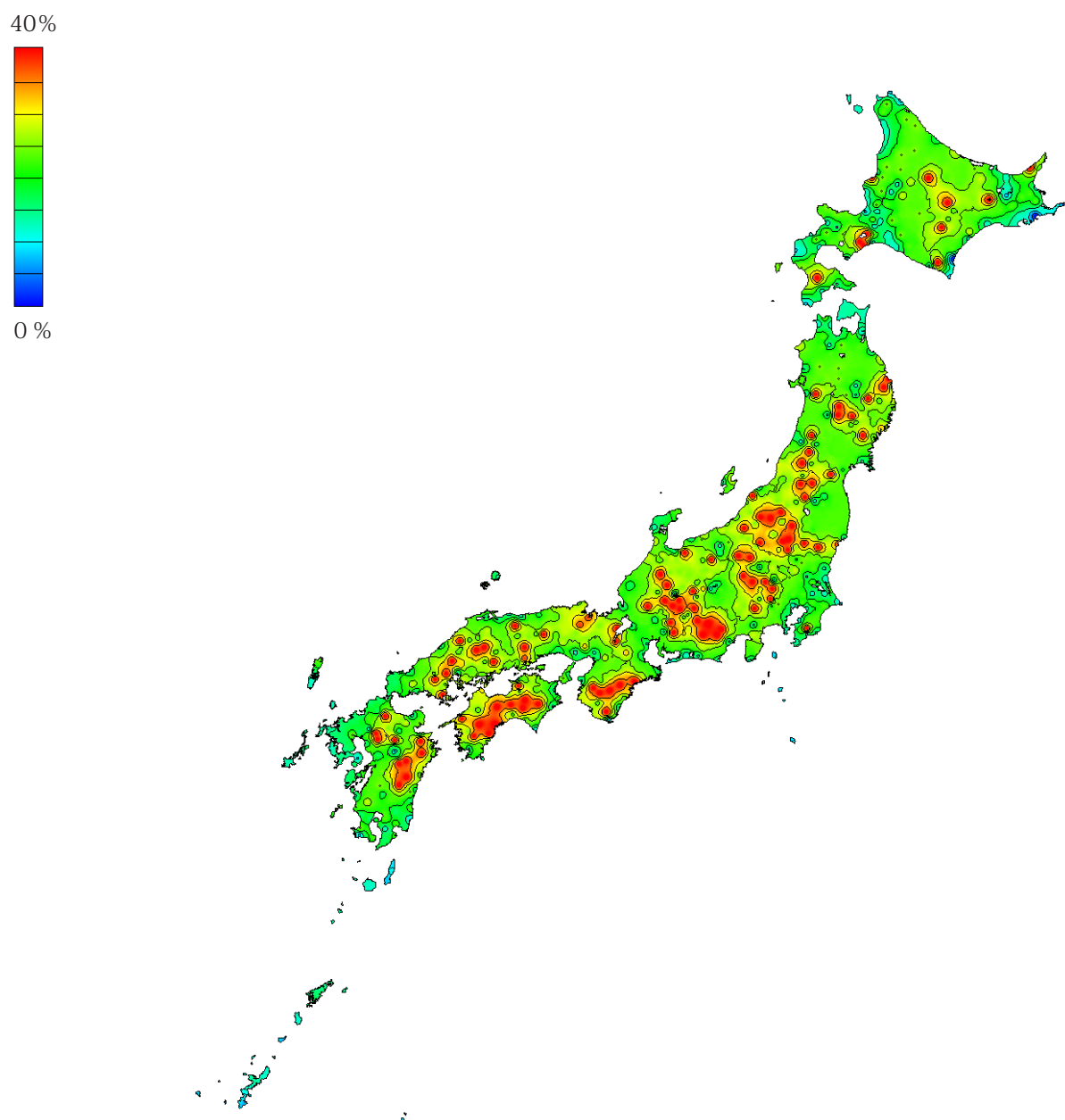


図 1.3.7 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物②、2 F）

40%



0%

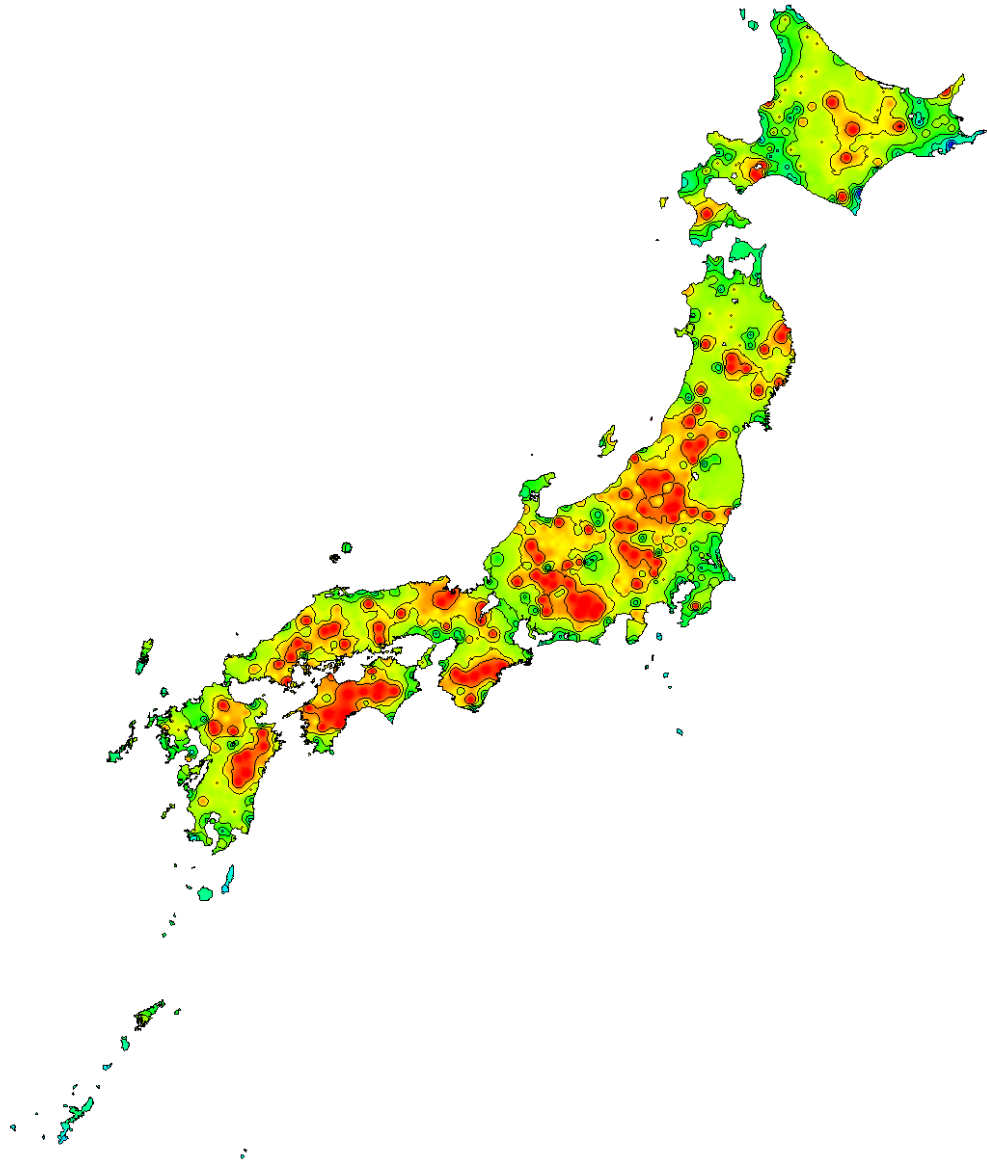


図 1.3.8 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物③、1 F）

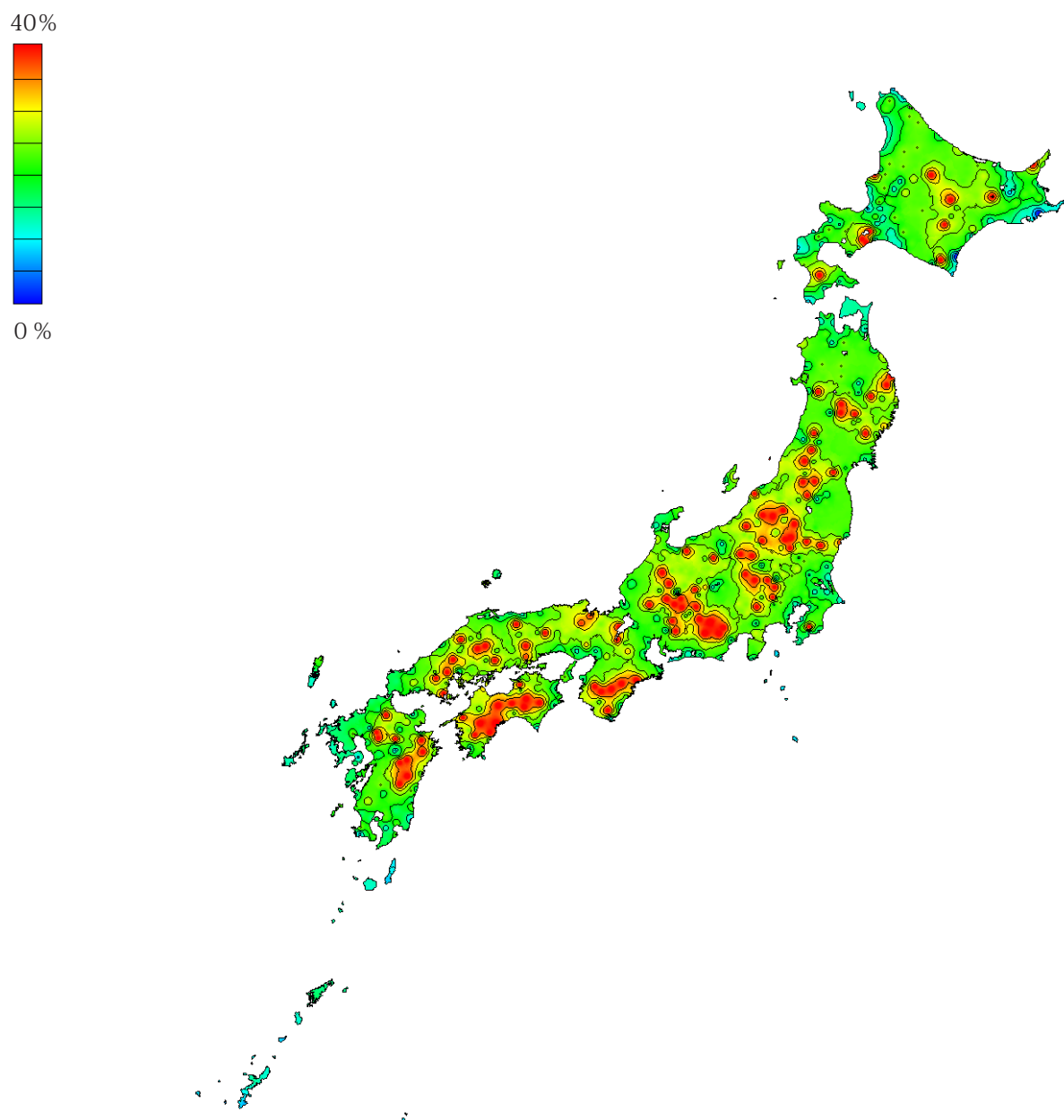


図 1.3.9 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物③、2 F）

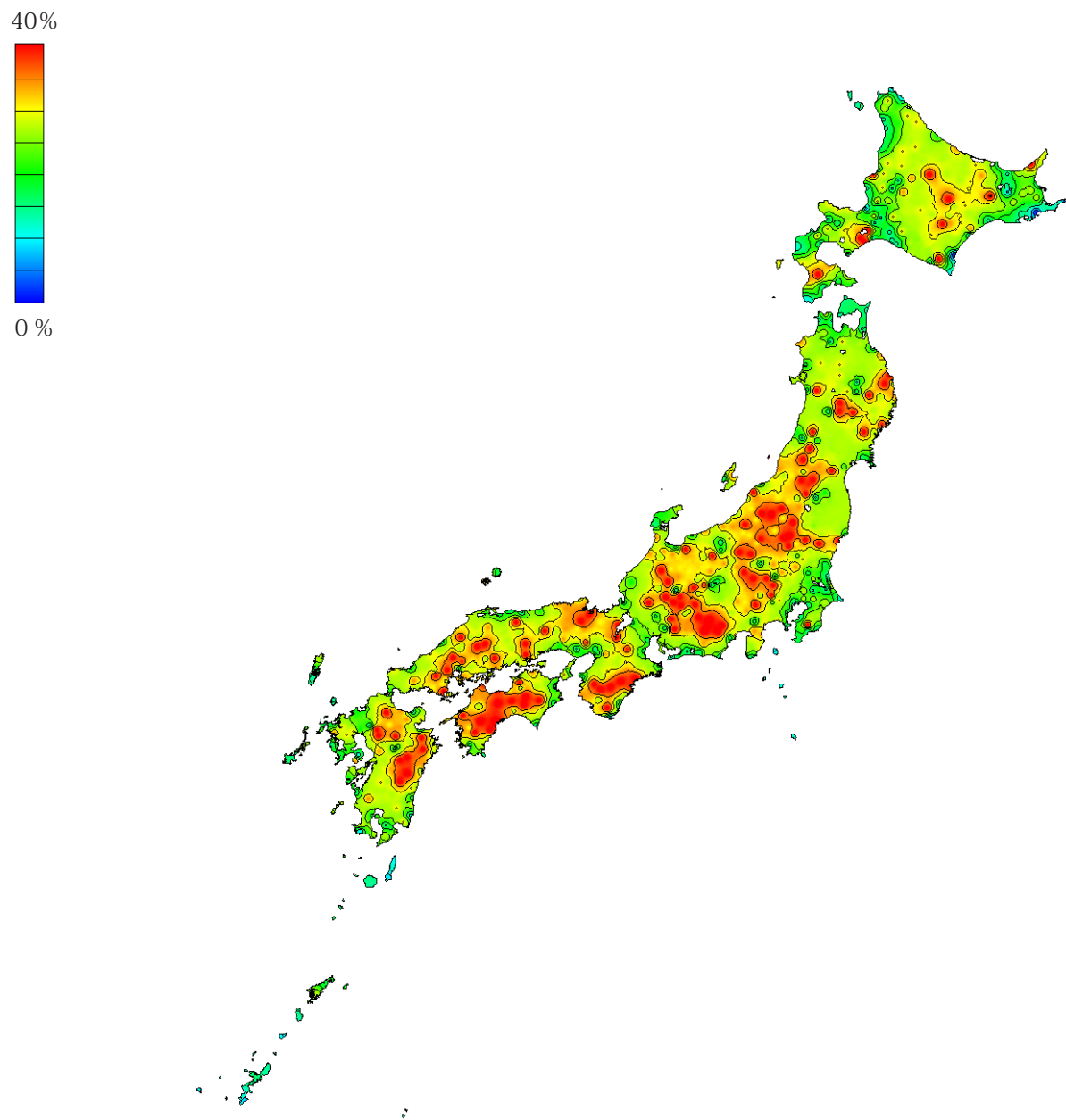


図 1.3.10 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物④、1 F）

40%



0%

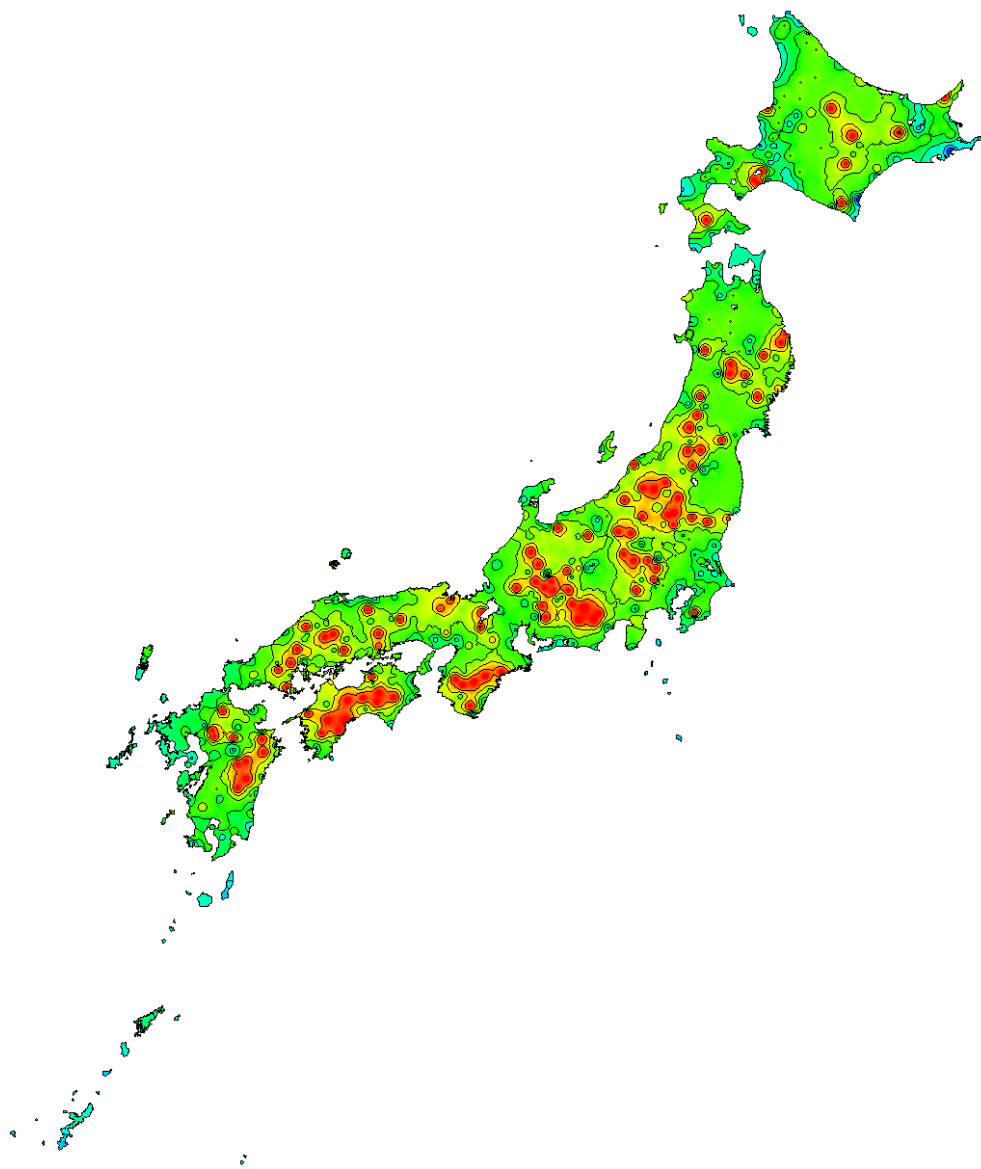


図 1.3.11 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物④、2 F）

45%



0%

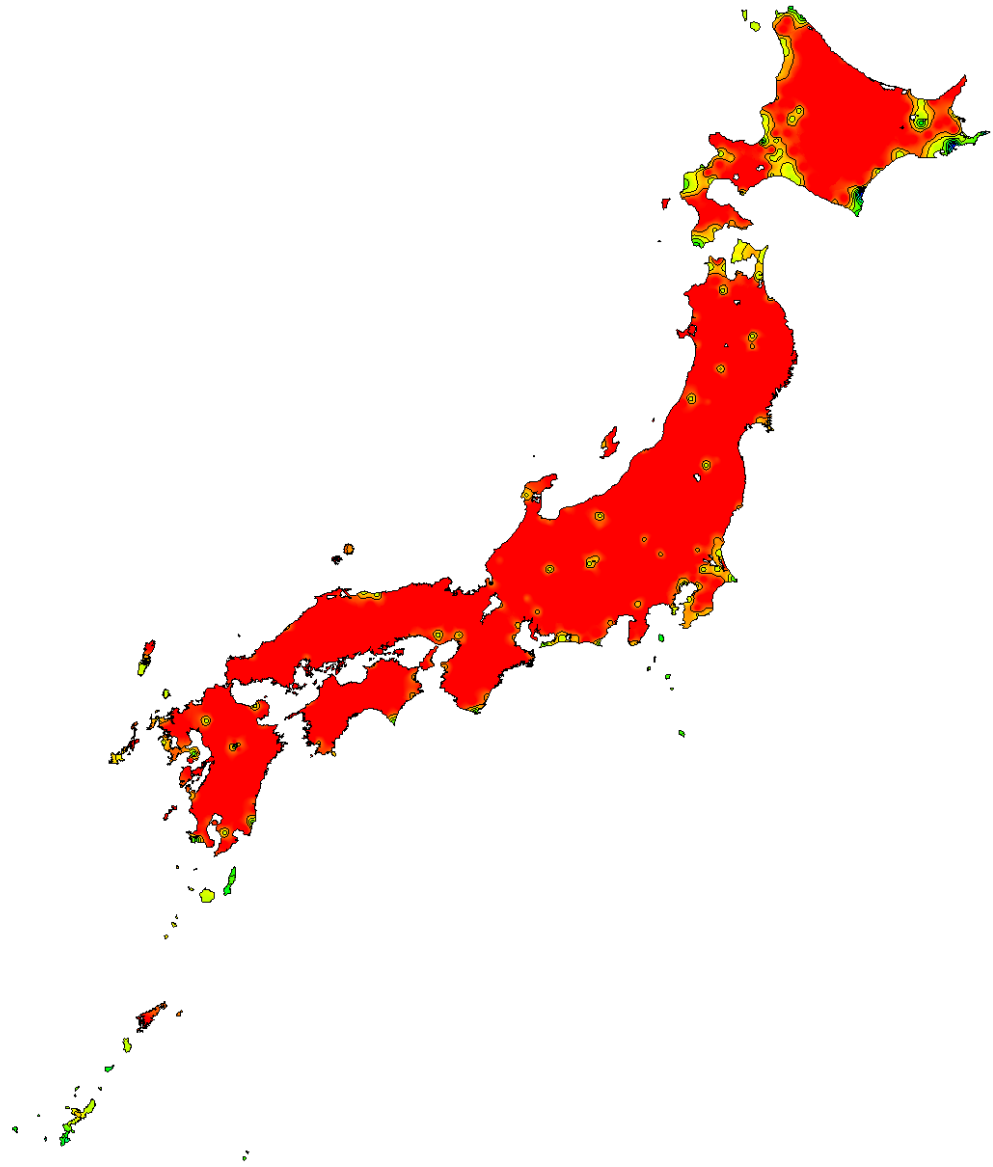


図 1.3.12 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物①、1 F）



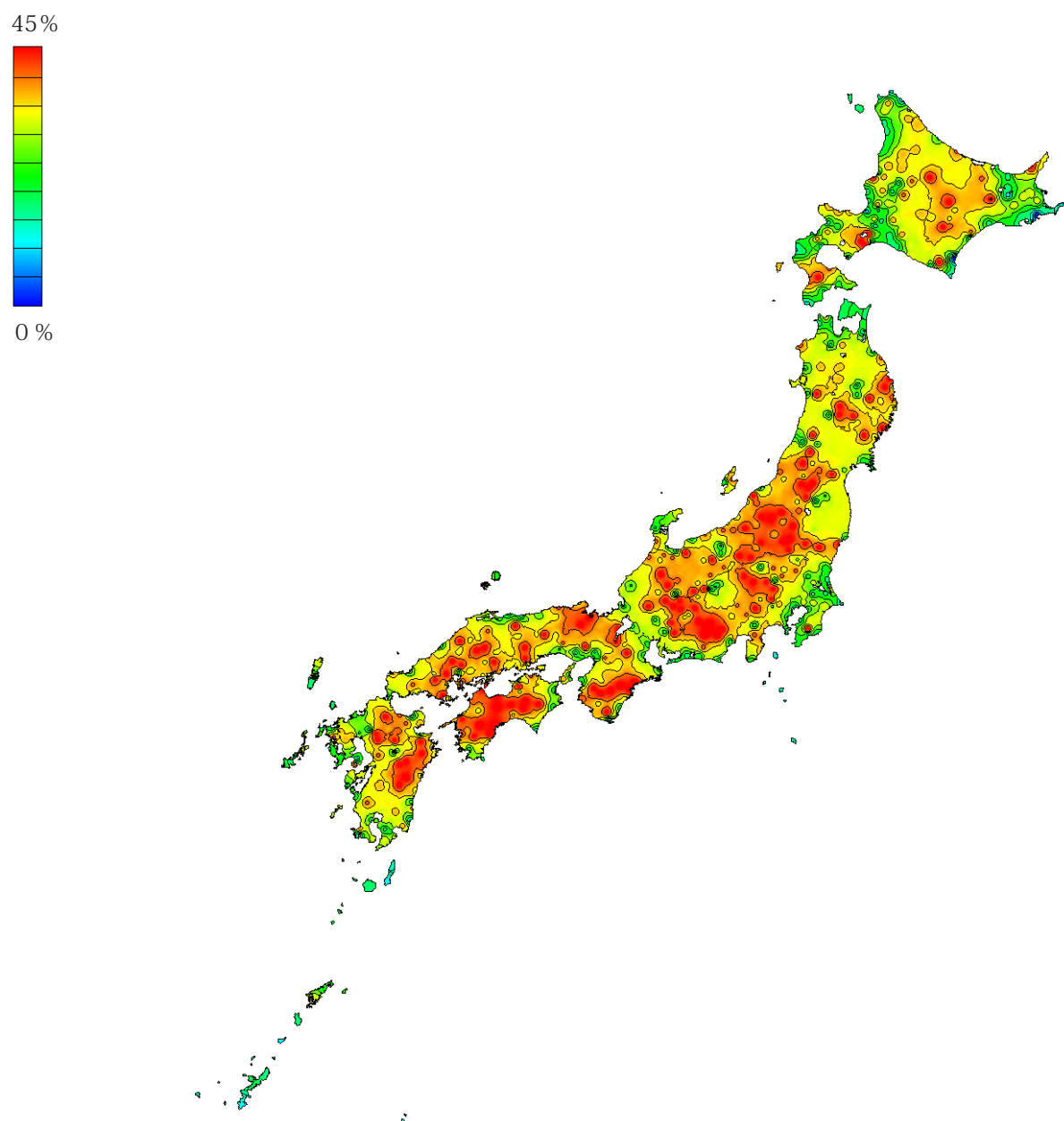


図 1.3.13 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物①、2 F）

45%



0%

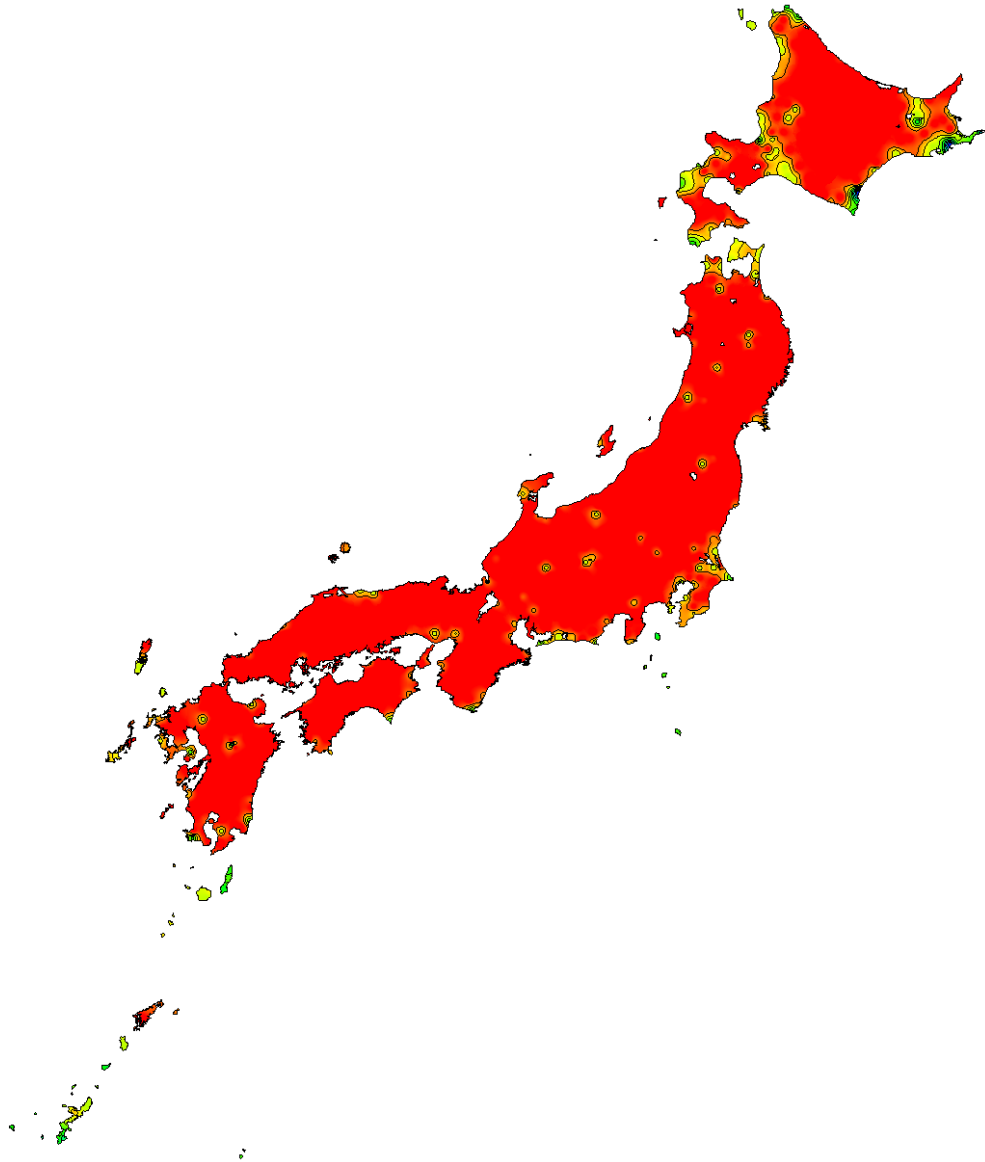


図 1.3.14 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物②、1F）

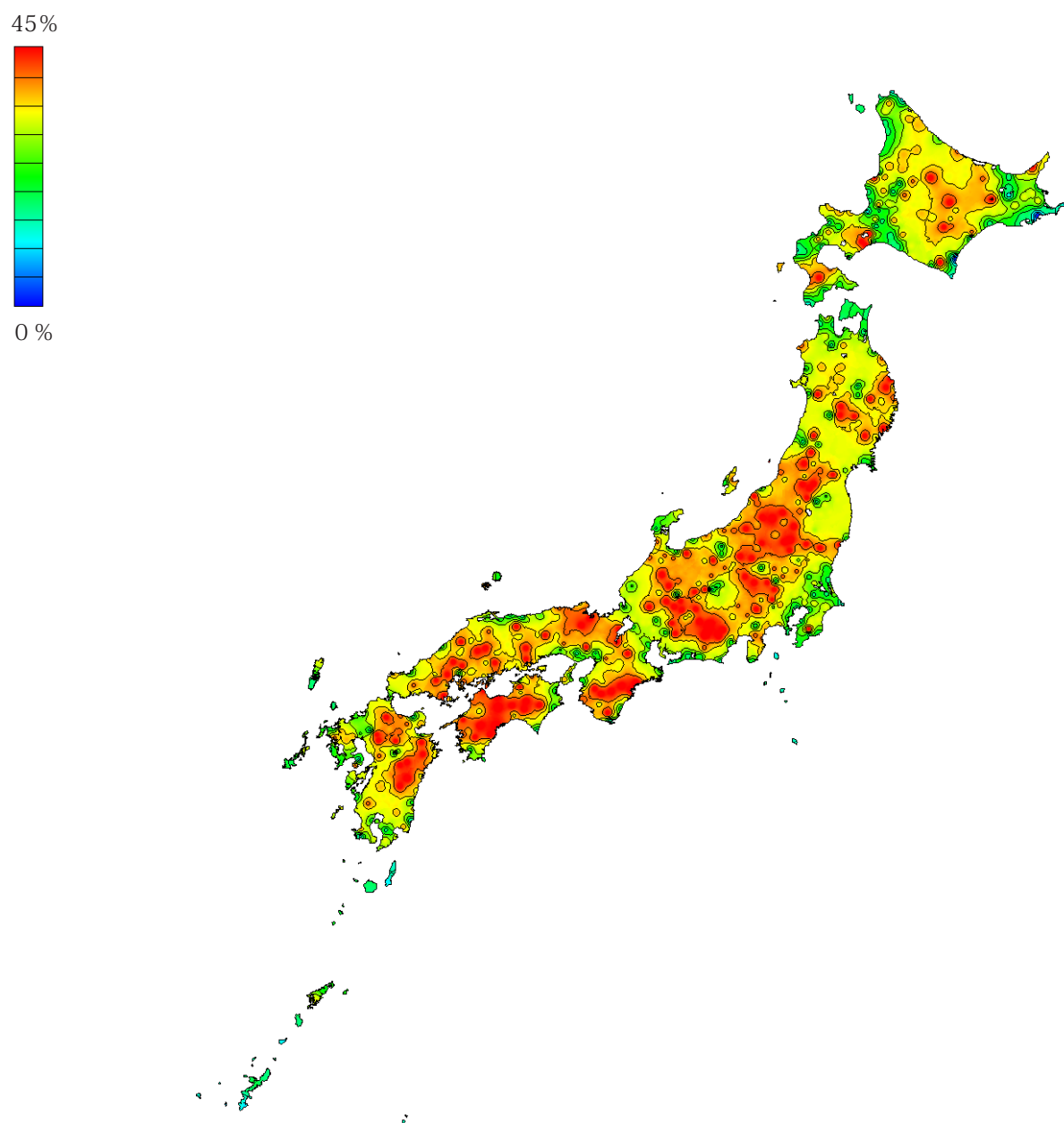


図 1.3.15 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物②、2 F）

45 %



0 %

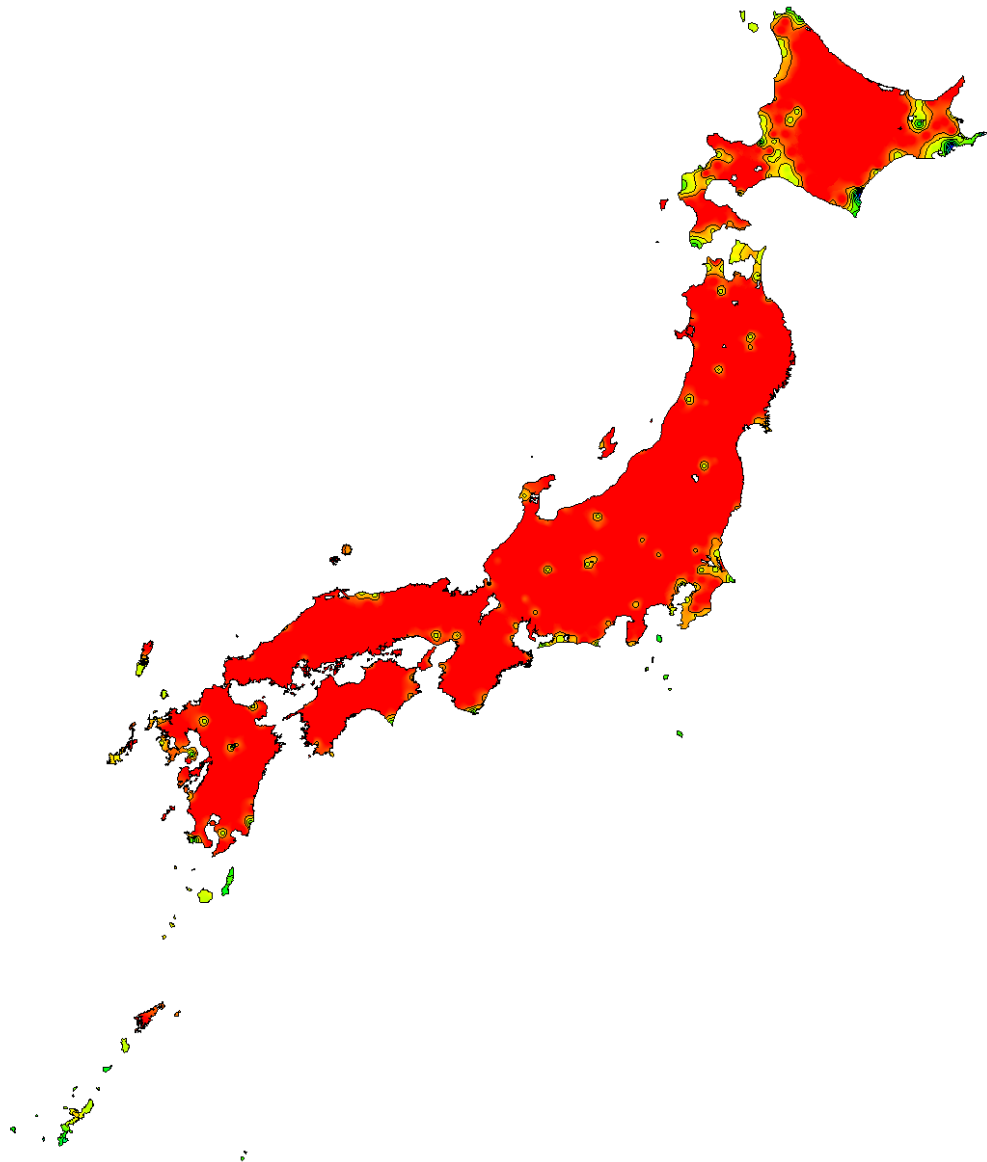


図 1.3.16 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物③、1F）

45%



0%

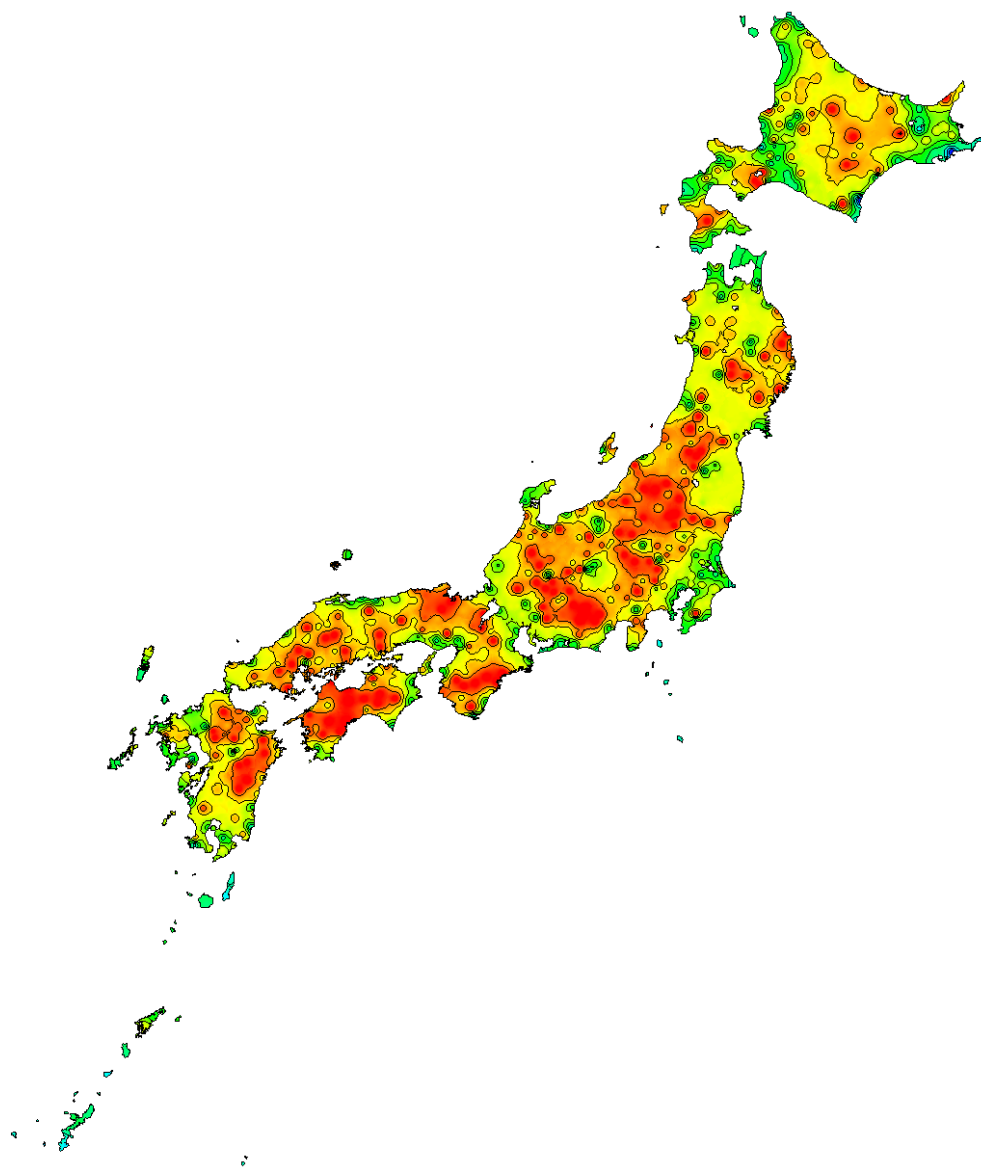


図 1.3.17 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物③、2 F）

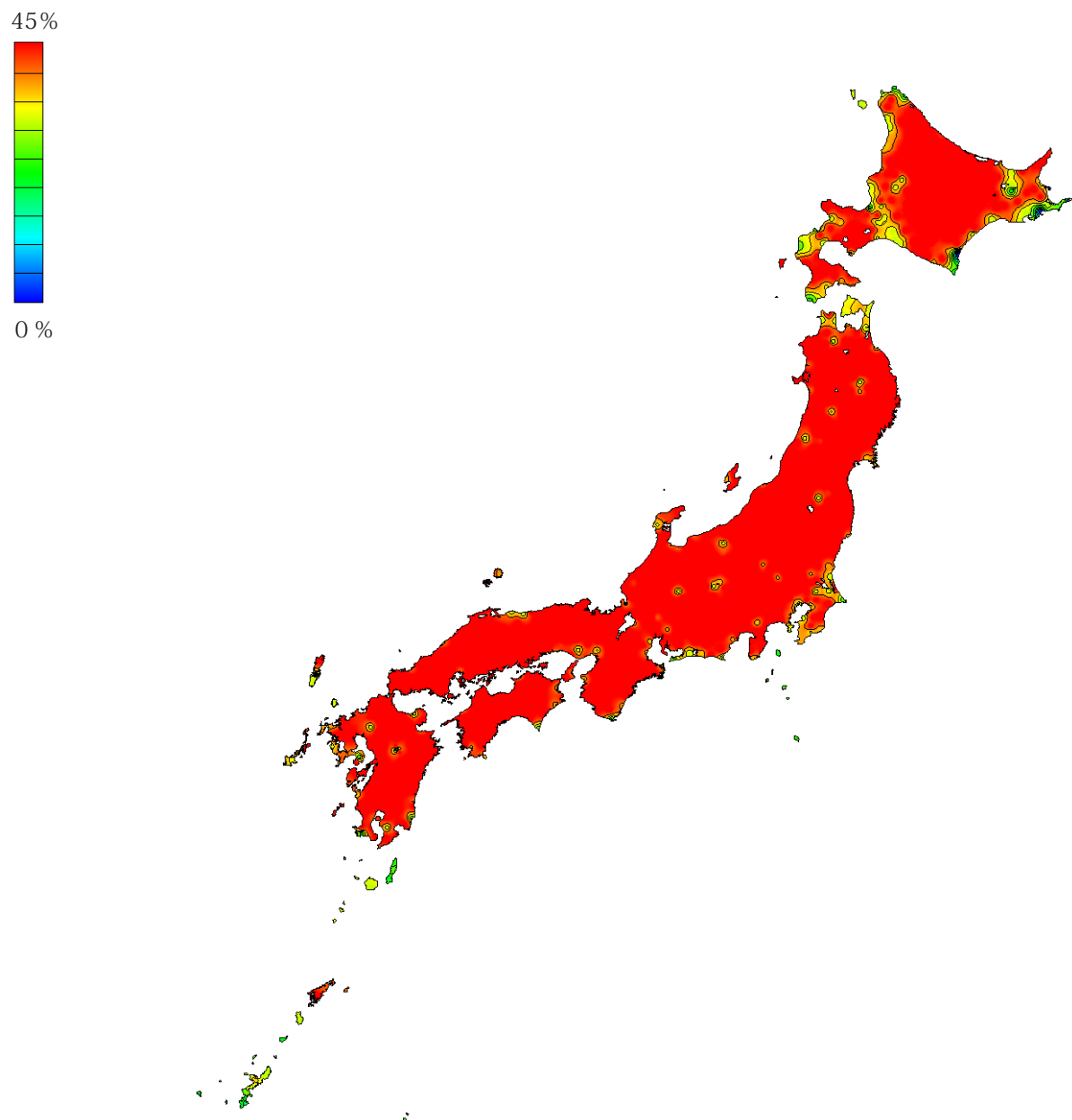


図 1.3.18 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物④、1 F）

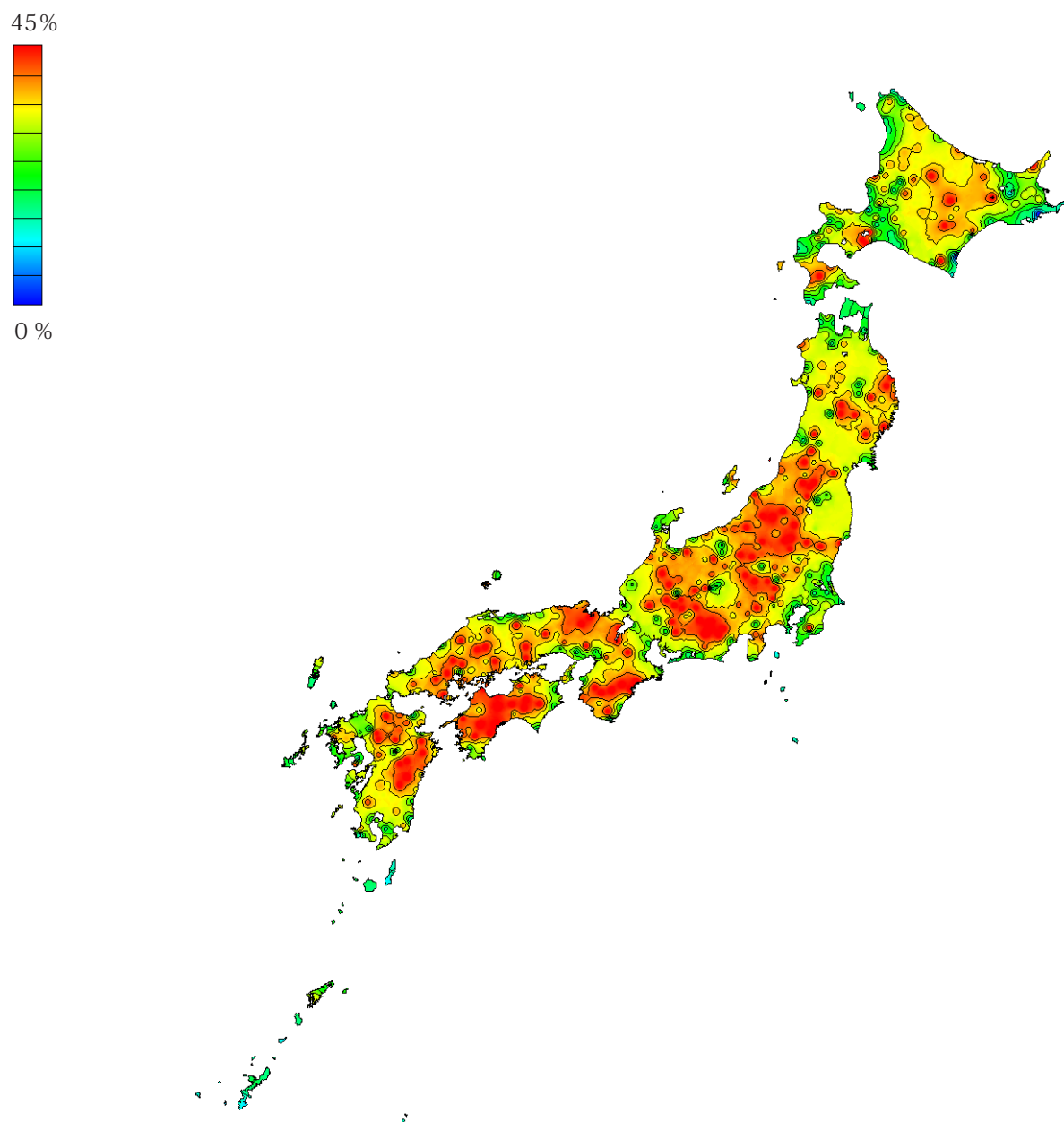


図 1.3.19 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物④、2 F）

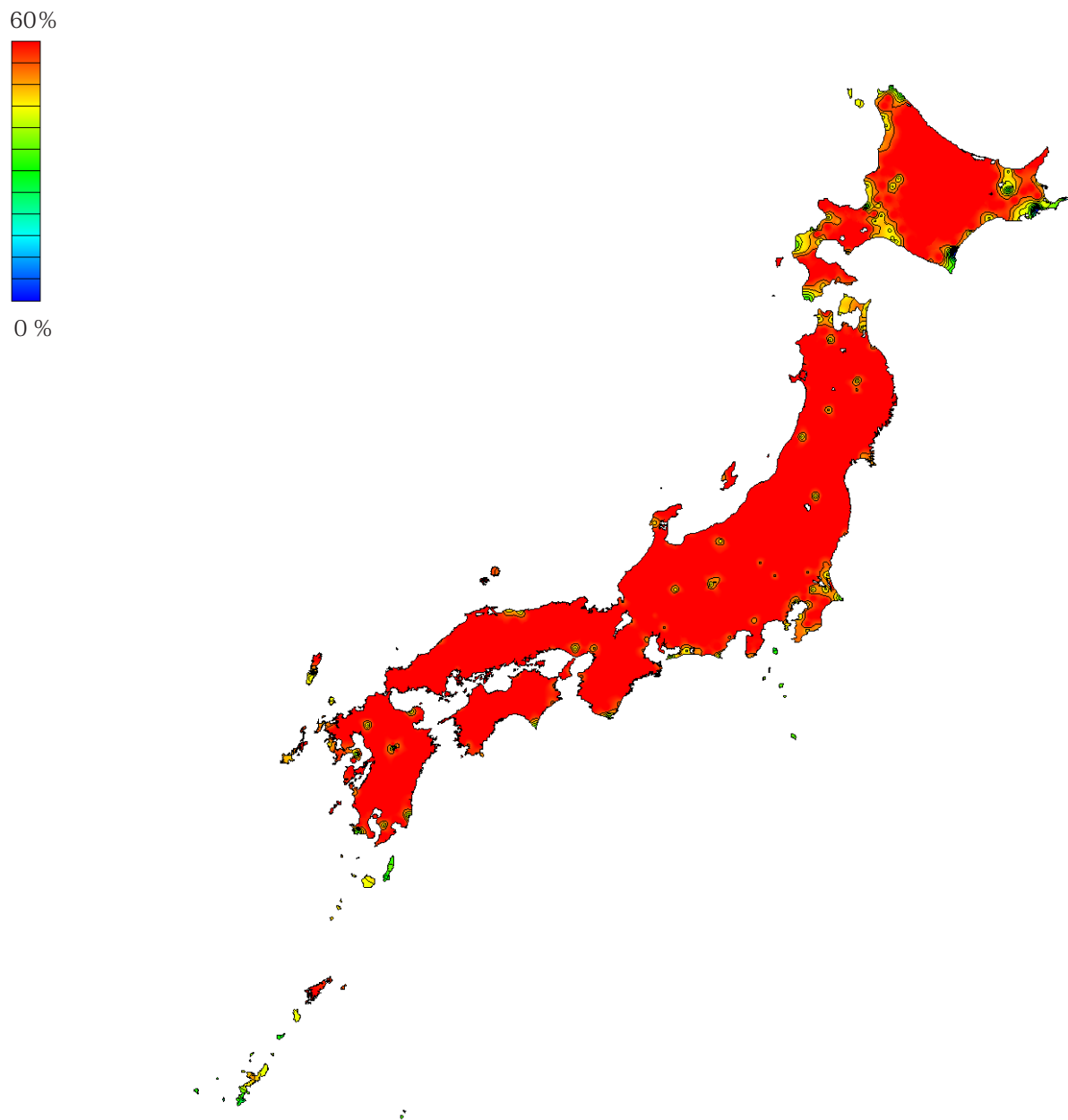


図 1.3.20 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物①、1 F）



60%  
0%

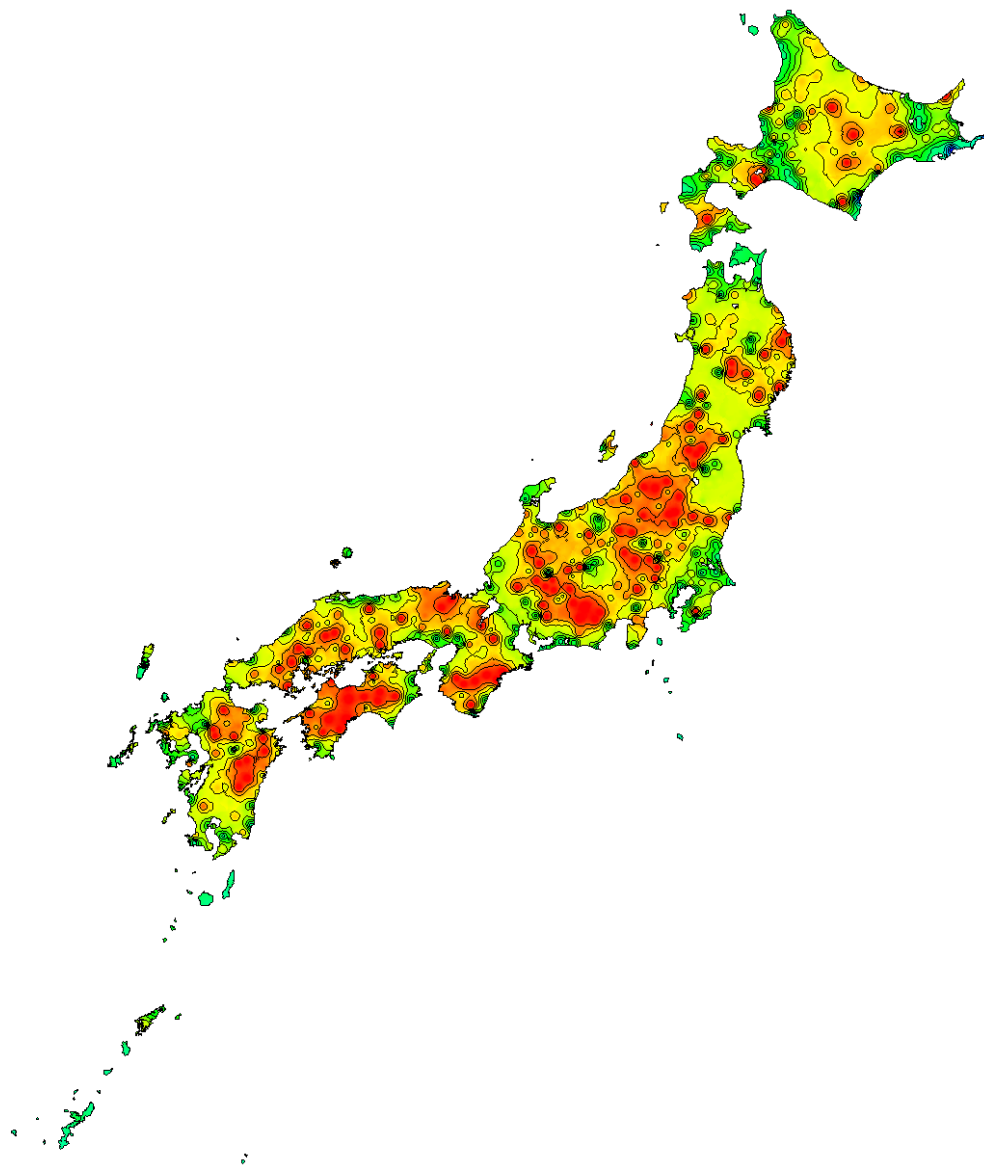


図 1.3.21 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物①、2 F）

60%  
0%

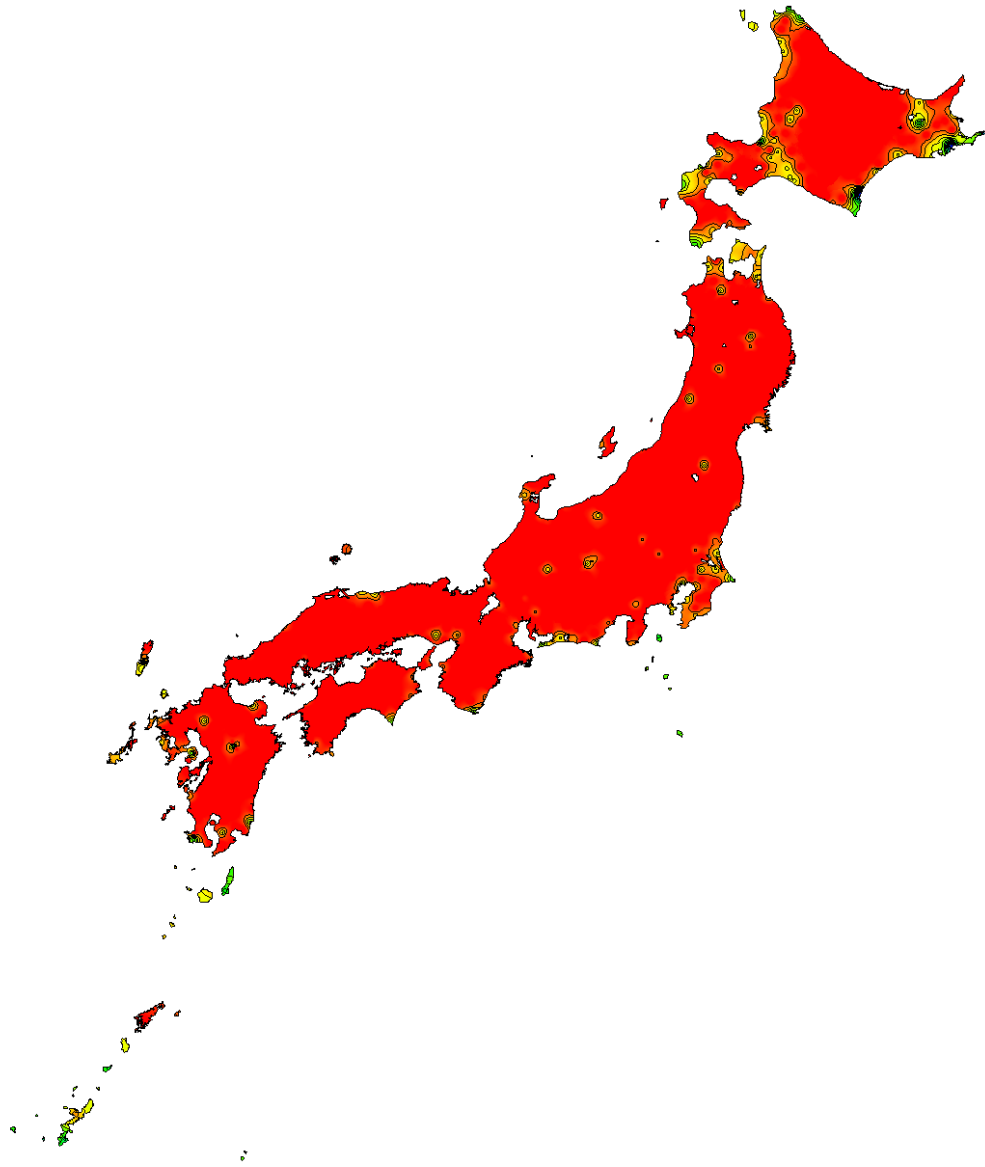


図 1.3.22 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物②、1F）

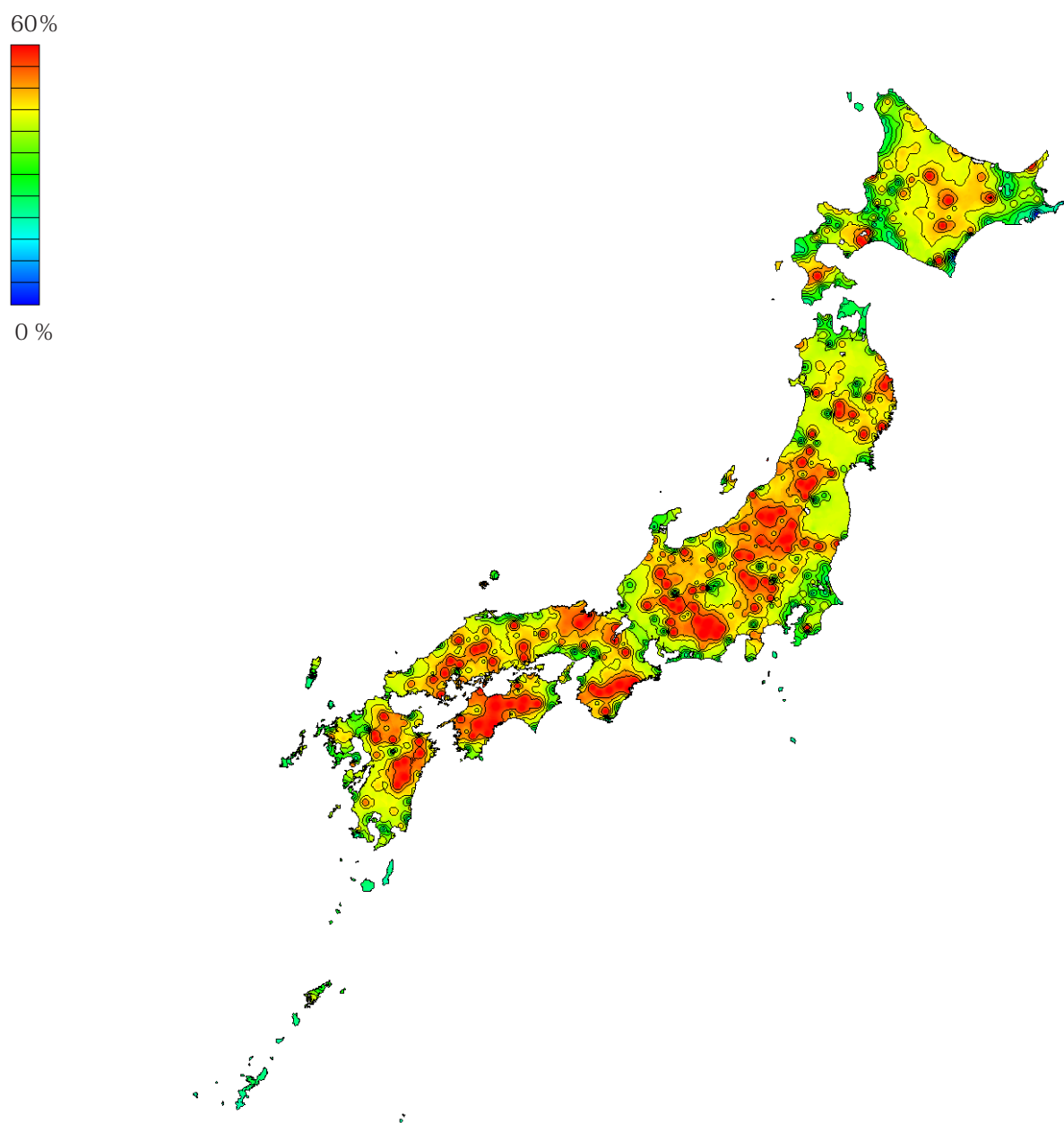


図 1.3.23 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物②、2 F）

60%



0%

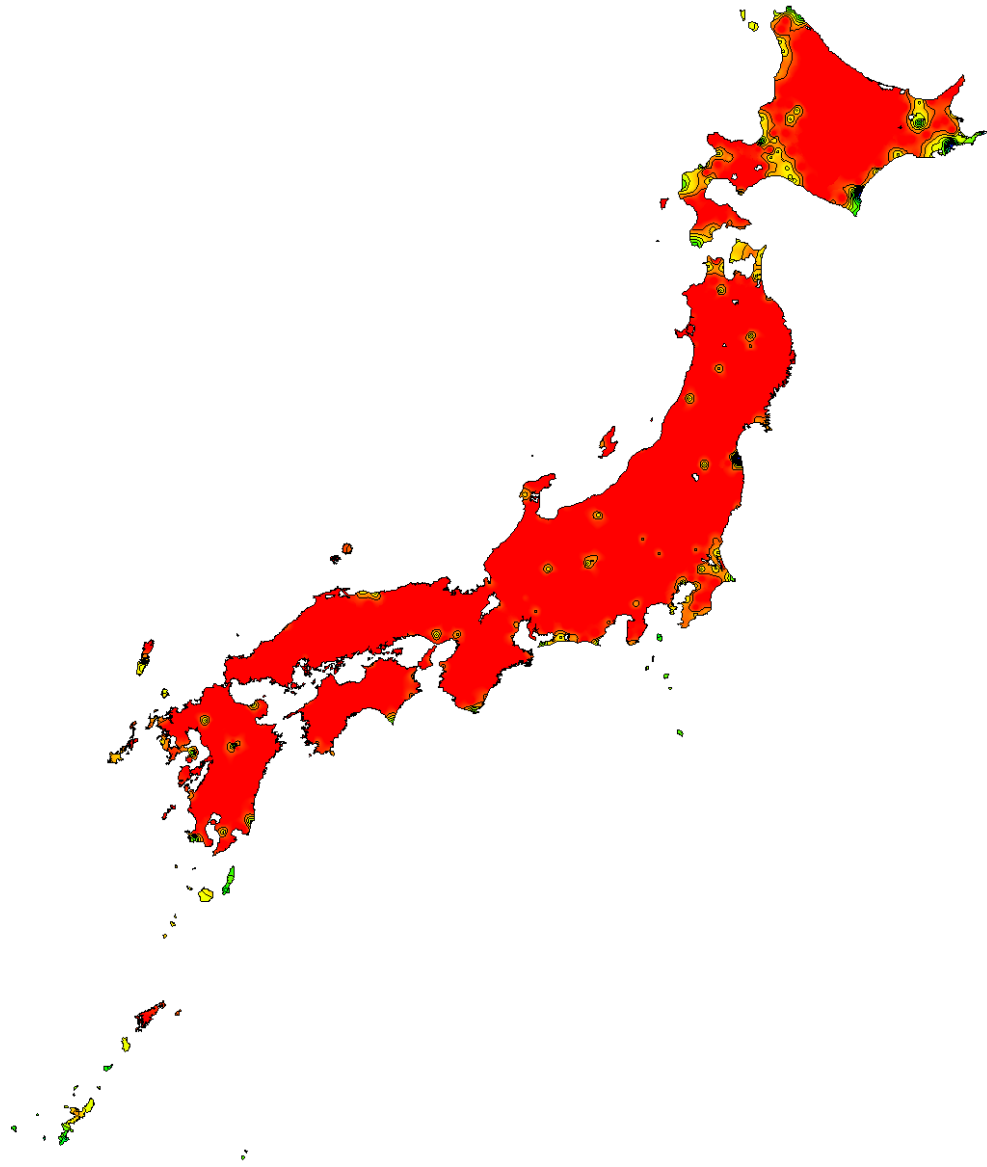


図 1.3.24 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物③、1 F）

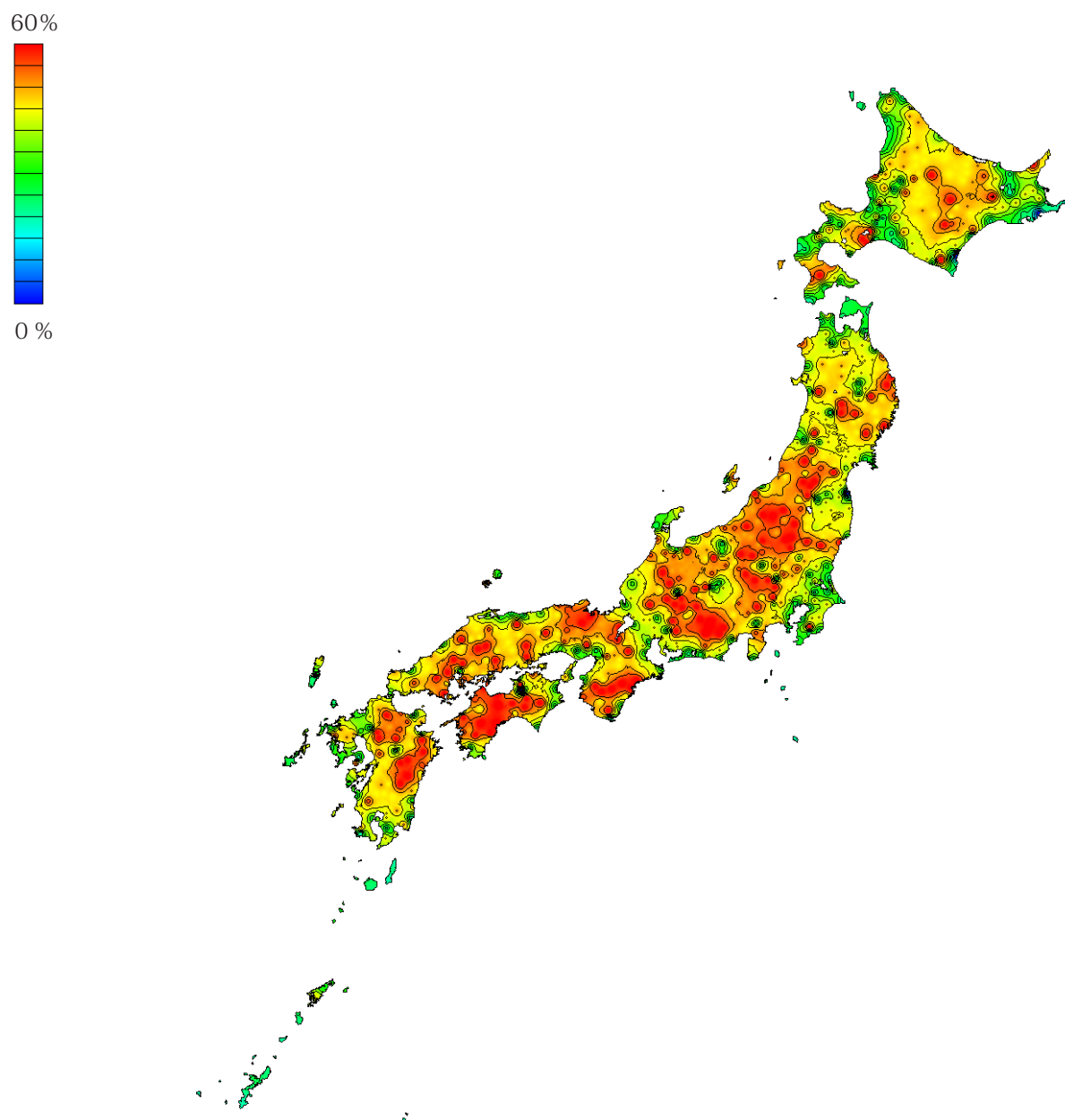


図 1.3.25 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物③、2 F）

60%



0%

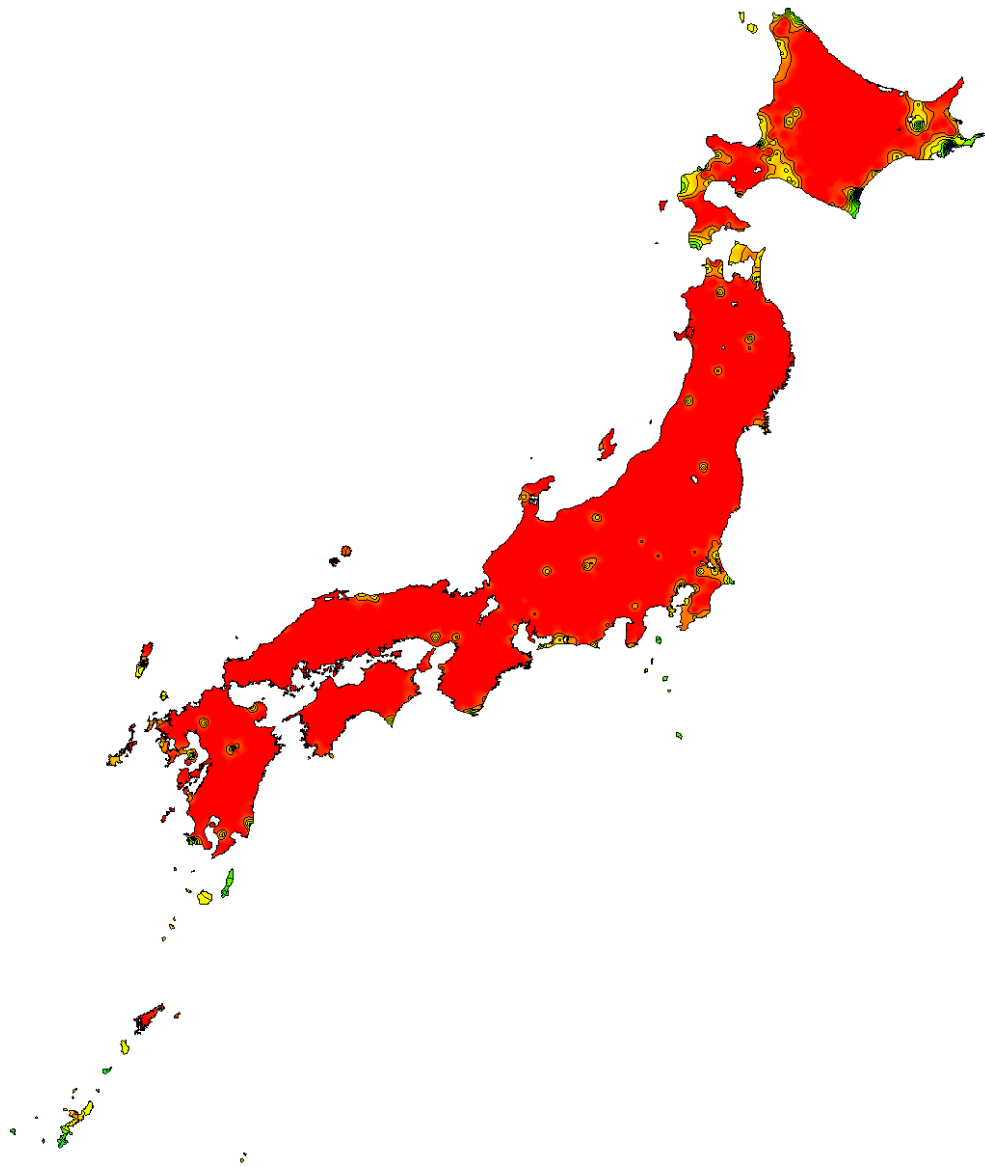


図 1.3.26 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物④、1 F）

60%



0%

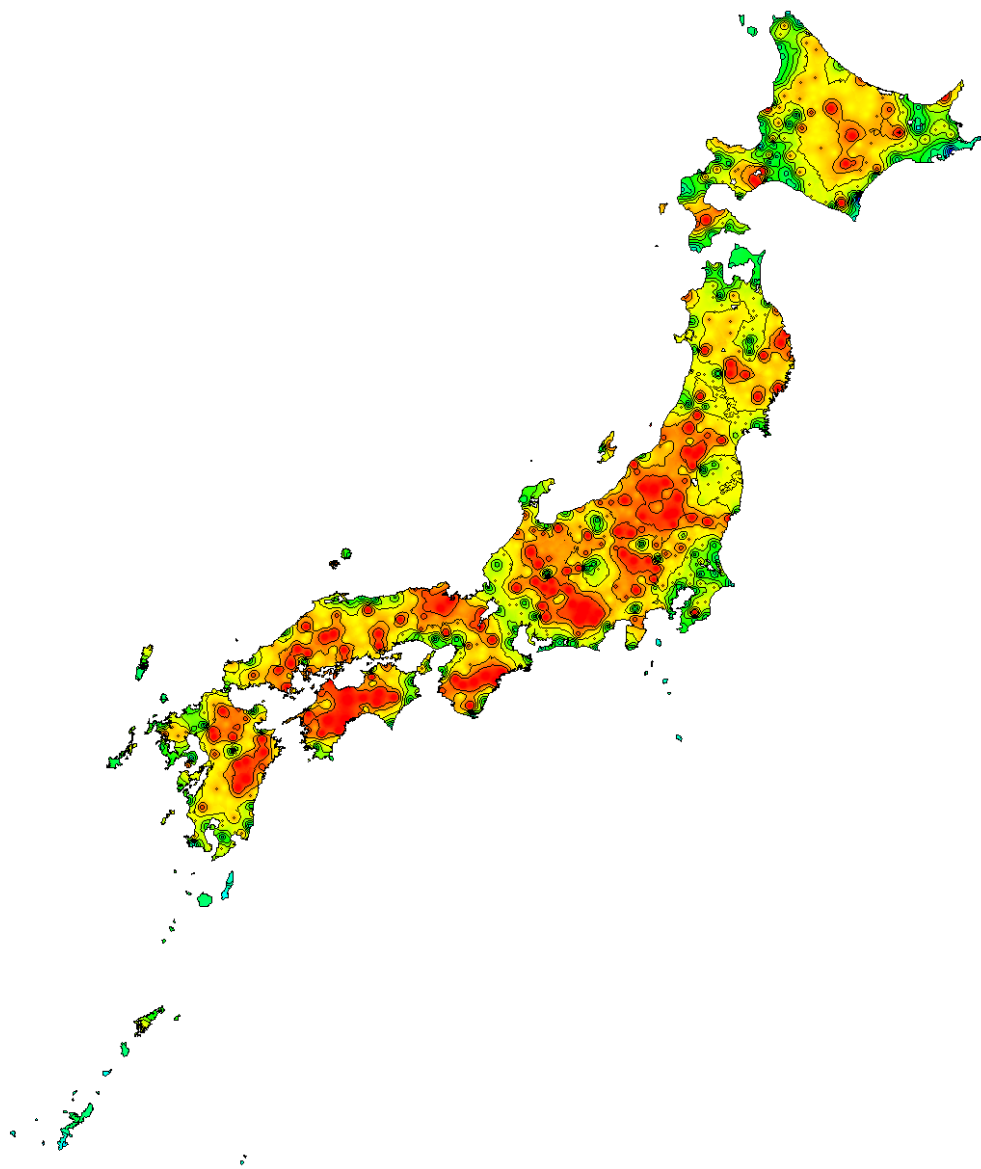


図 1.3.27 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物④、2 F）

60%



0%

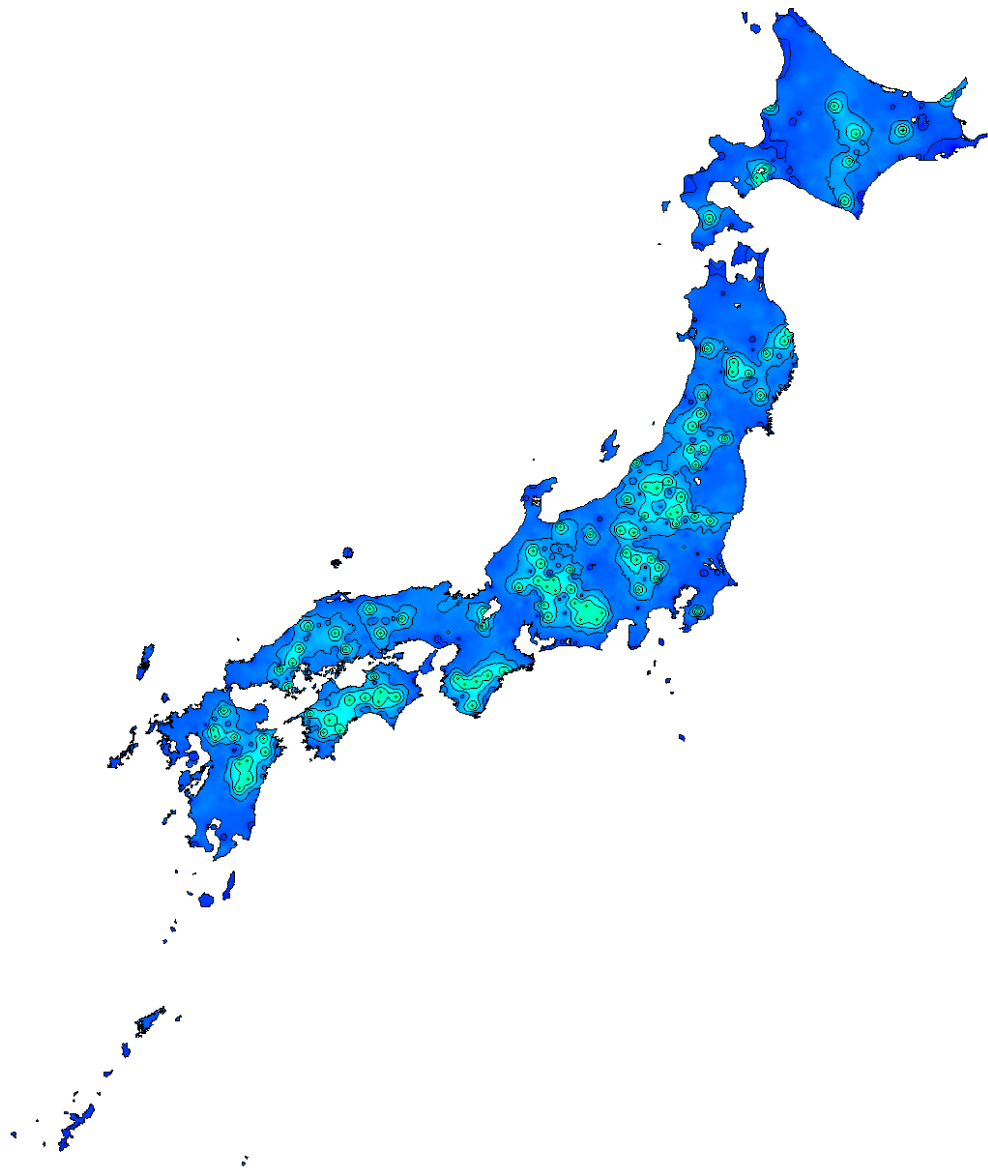


図 1.3.28 建蔽率 0% (単体) における有効窓面積率マップ (1 F)  
(同スケール: 有効窓面積率 0% ~ 60%)



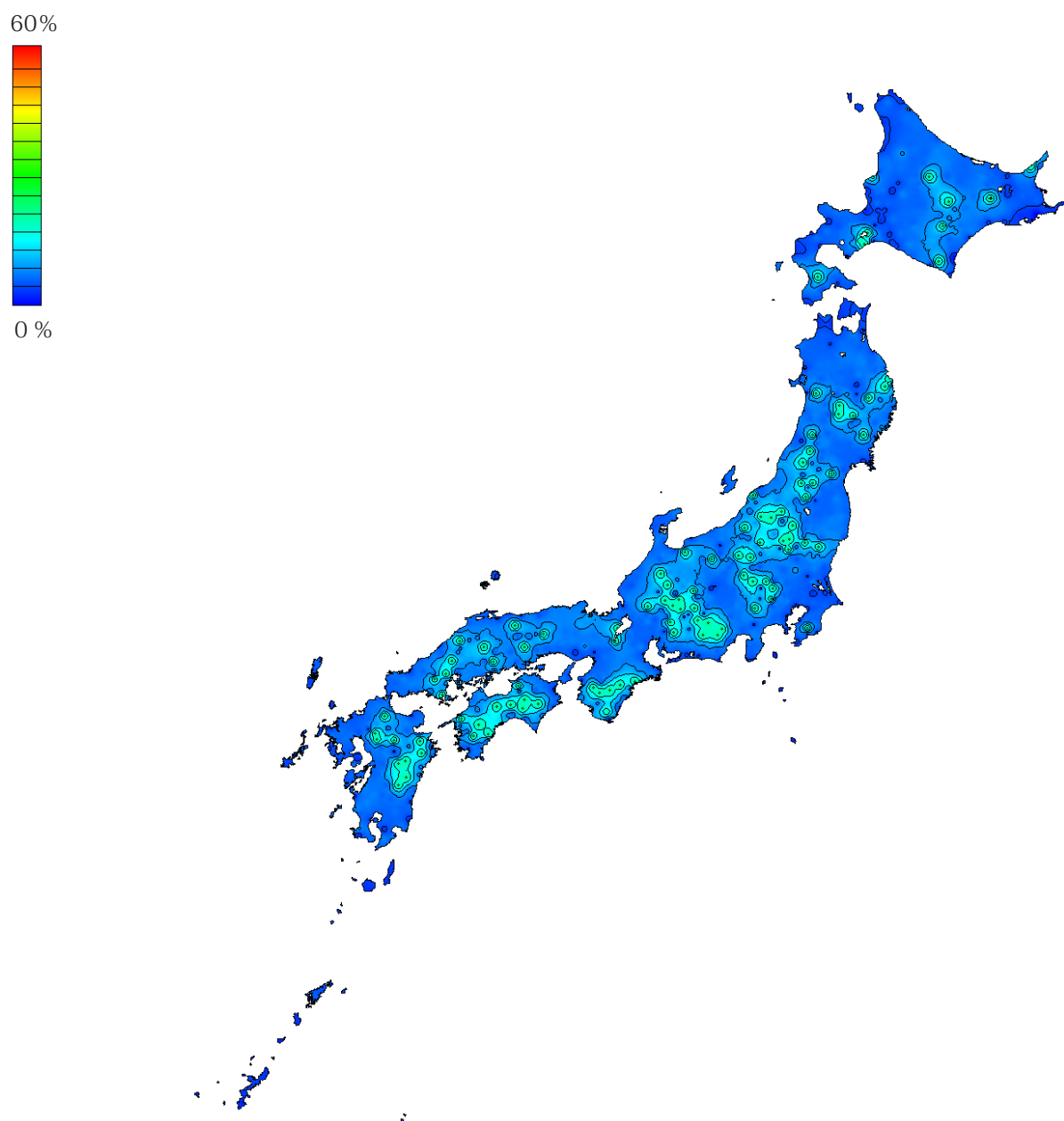


図 1.3.29 建蔽率0%（単体）における有効窓面積率マップ（2F）  
（同スケール：有効窓面積率0%～60%）

60%



0%

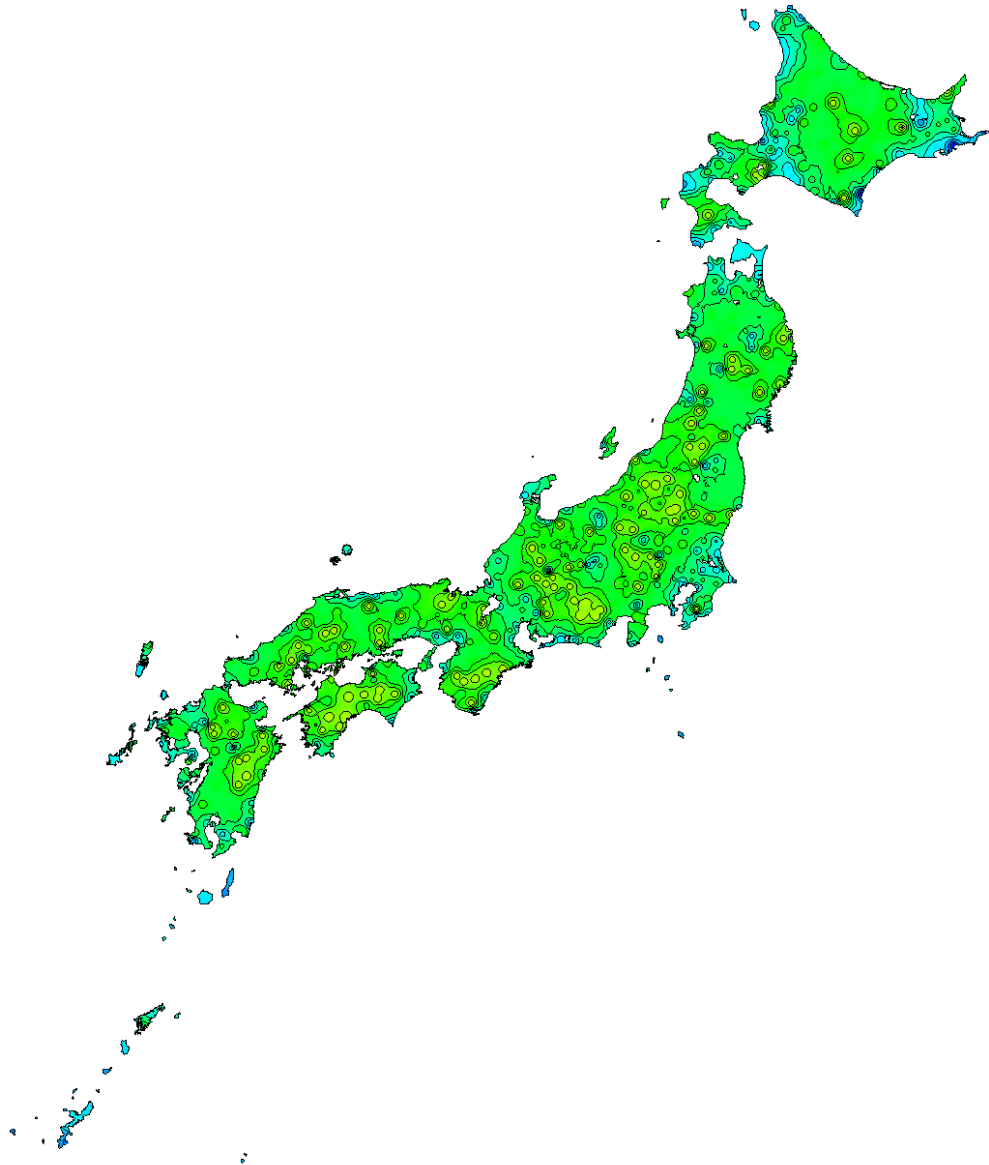


図 1.3.30 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物①、1F）  
（同スケール：有効窓面積率 0%～60%）

60%



0%

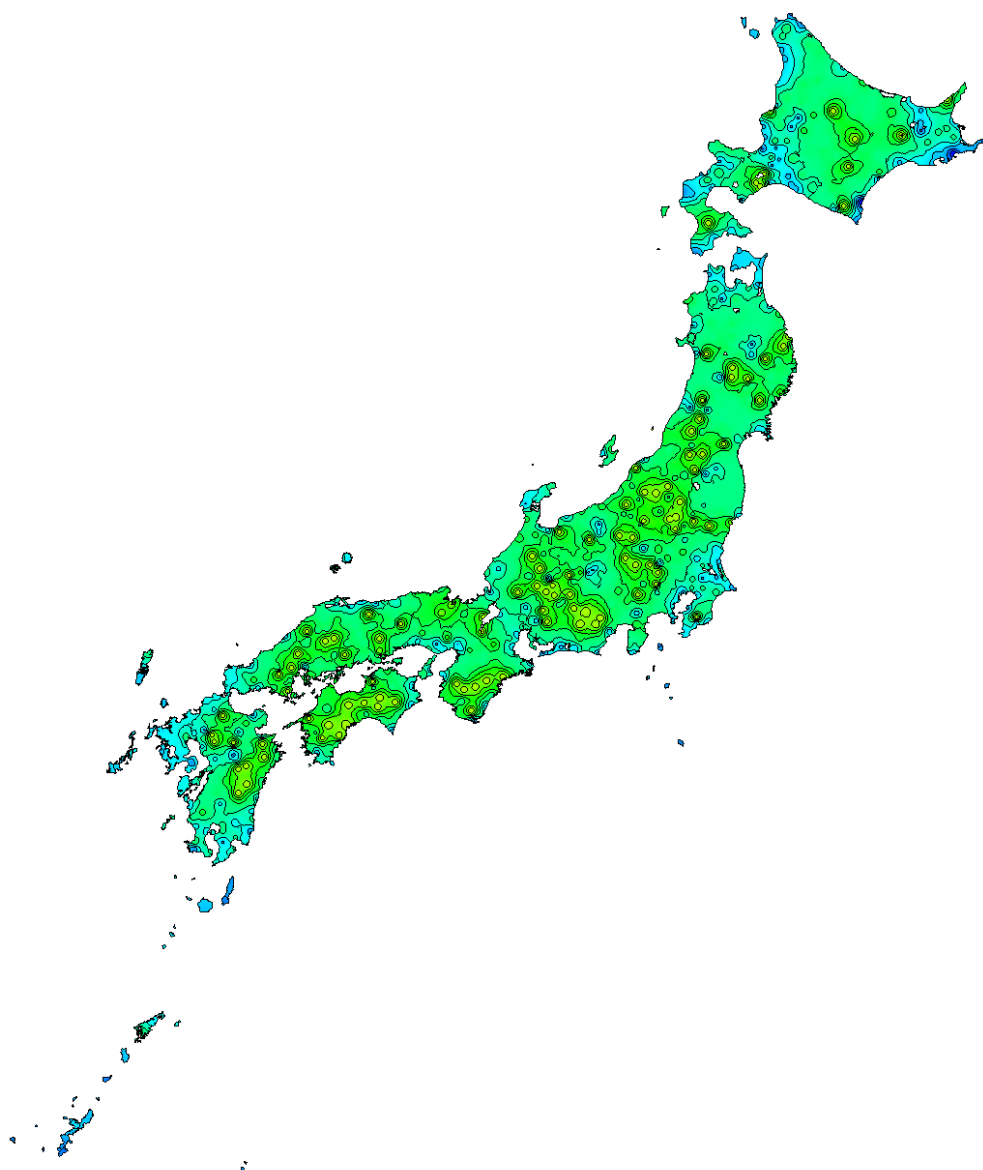


図 1.3.31 建蔽率 10%における有効窓面積率マップ（建物①、2 F）  
（同スケール：有効窓面積率 0%～60%）

60%



0%

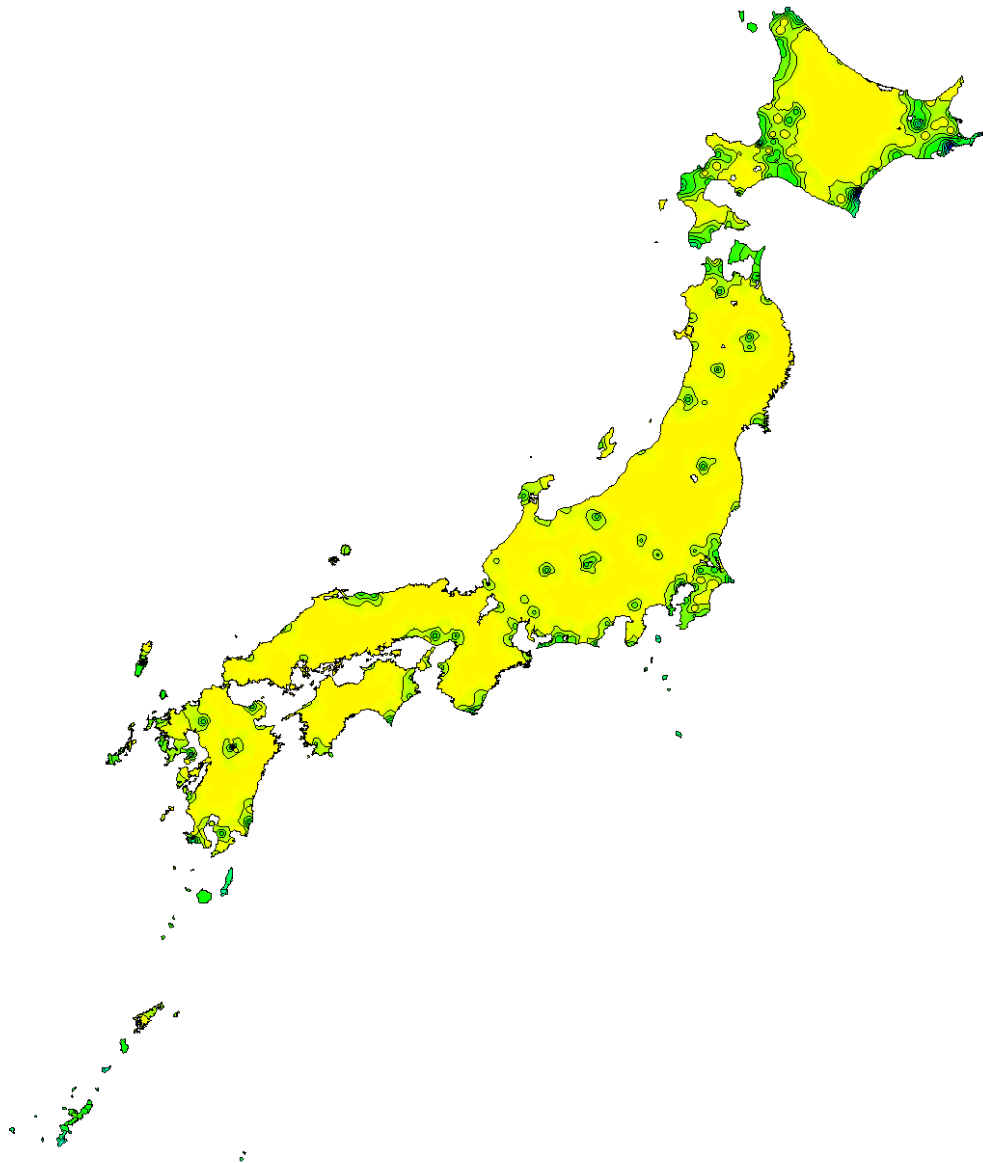


図 1.3.32 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物①、1F）  
（同スケール：有効窓面積率 0%～60%）

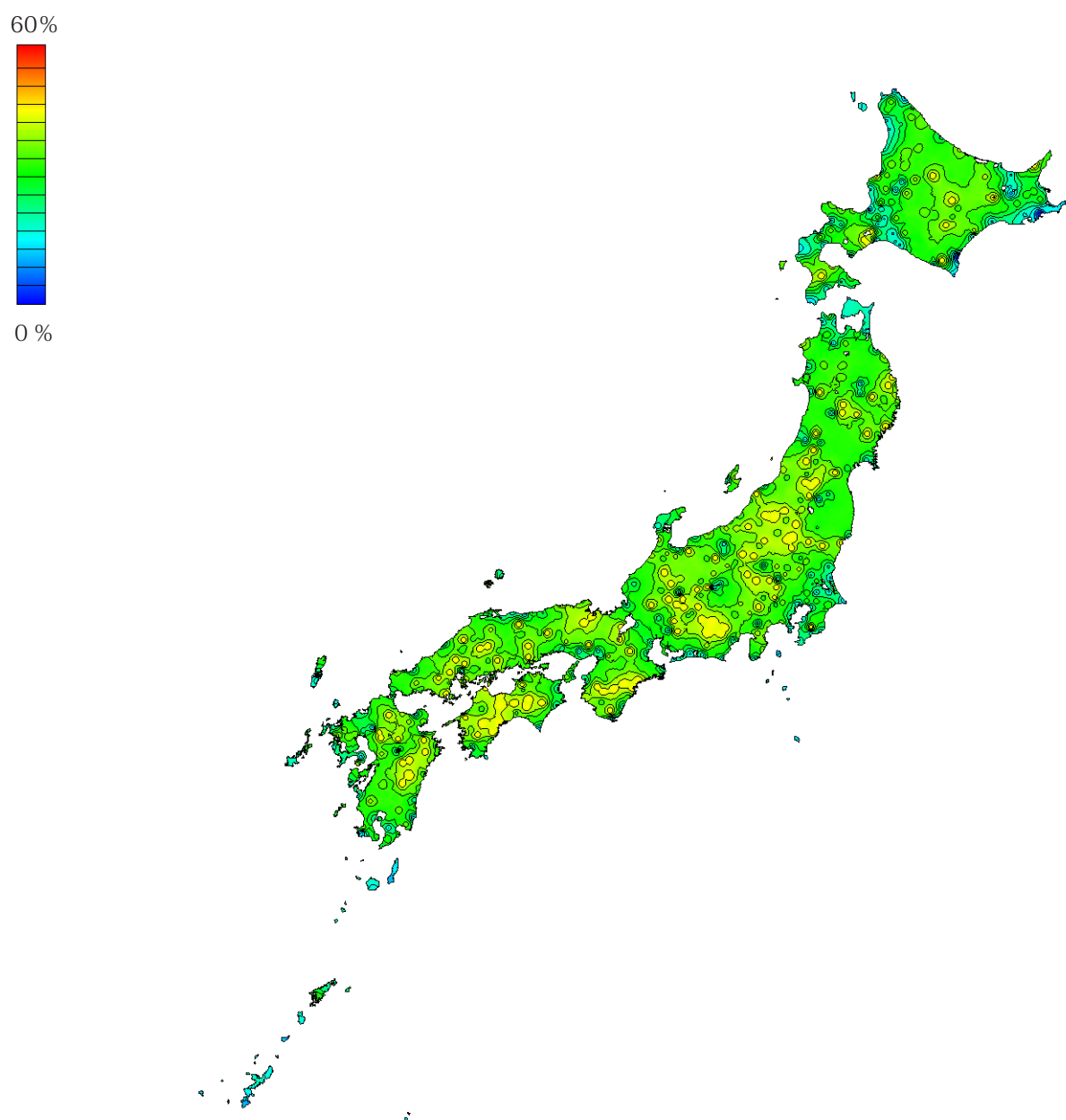


図 1.3.33 建蔽率 30%における有効窓面積率マップ（建物①、2 F）  
（同スケール：有効窓面積率 0%～60%）

60%



0%

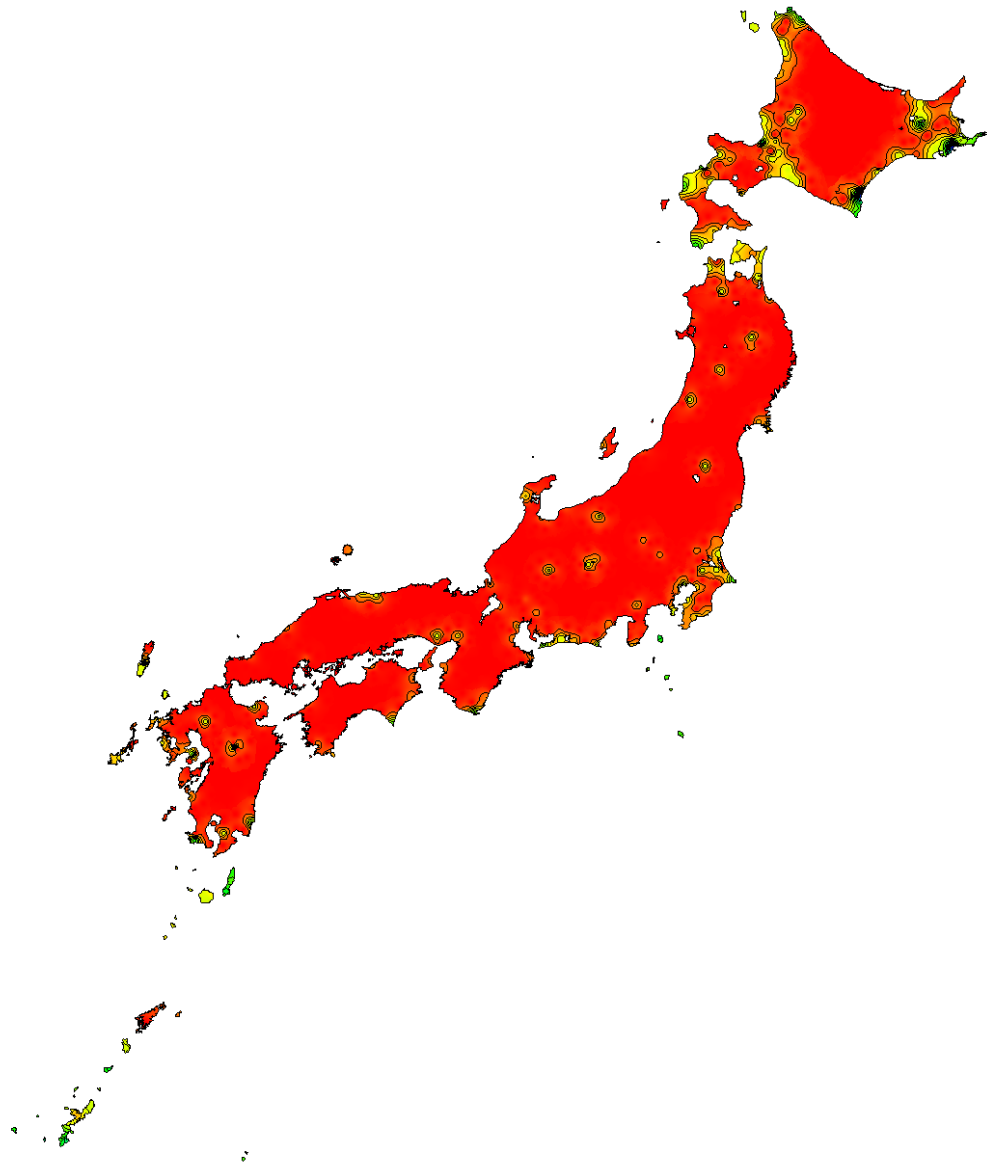


図 1.3.34 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物①、1 F）  
（同スケール：有効窓面積率 0%～60%）

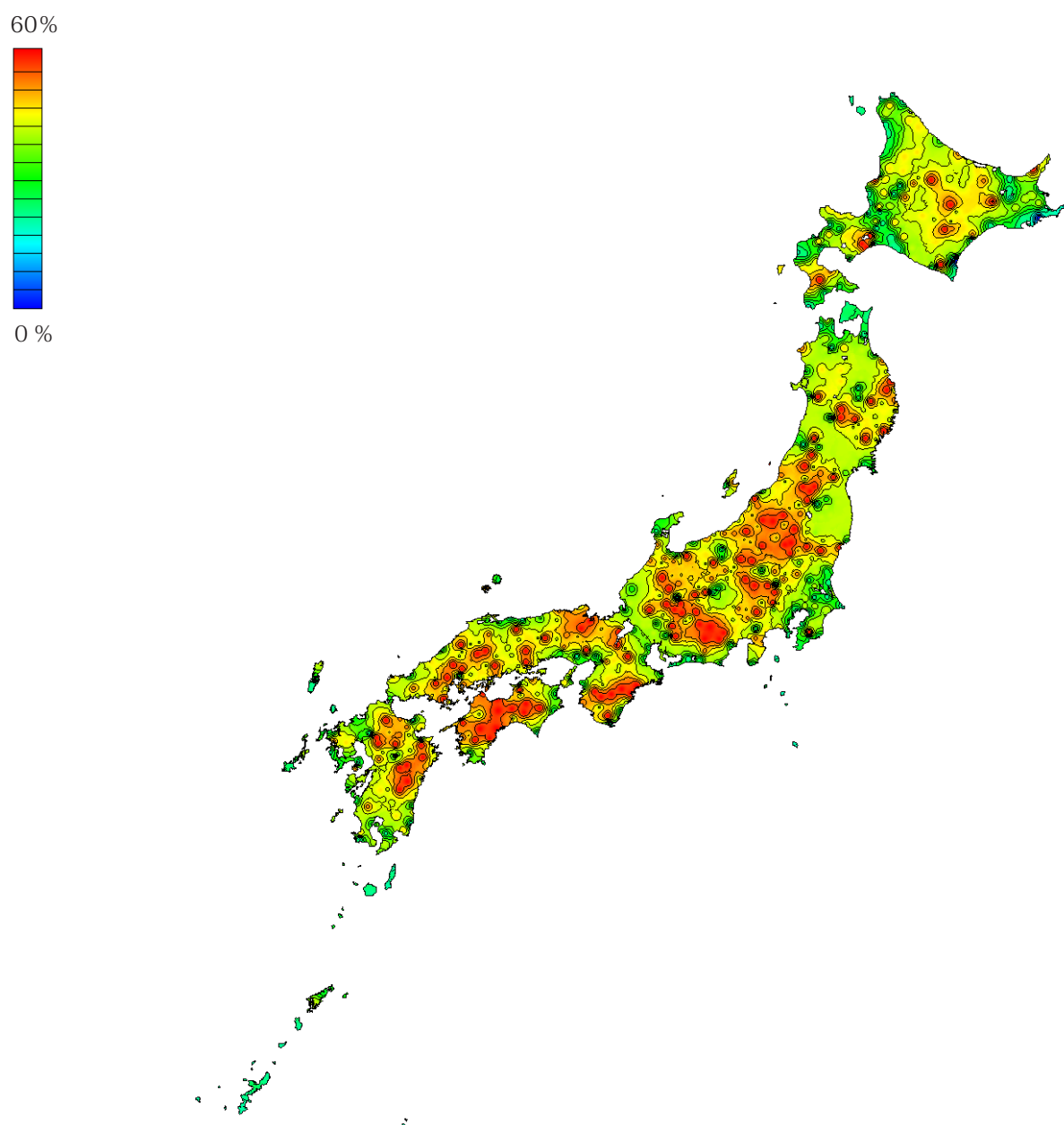


図 1.3.35 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（建物①、2 F）  
（同スケール：有効窓面積率 0%～60%）

### 1.3.3 有効窓面積率の比較

図1.3.36に11都市における各建蔽率の有効窓面積率（建物①、1F）を、図1.3.37に11都市における各建蔽率の有効窓面積率（建物①、2F）を示す。

どの都市でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなり、特に、2階では風速の遅い京都や高知などの都市では変化が大きくなっている。

1階では、どの都市でも有効窓面積率の差は小さく、建蔽率0%（単体）では5%程度、建蔽率10%では20%程度、建蔽率30%では40%程度、建蔽率50%では60%程度となる。

2階では、都市による有効窓面積率の差は大きく、新潟や福岡などの風速の速い都市では有効窓面積率は建蔽率0%（単体）では5%程度、建蔽率10%では15%程度、建蔽率30%では20%程度、建蔽率50%では30%程度と低く、京都や高知などの風速の遅い都市では有効窓面積率は建蔽率0%（単体）では10%程度、建蔽率10%では30%程度、建蔽率30%では40%程度、建蔽率50%では55%程度と高い。

1階と2階を比較すると、2階の方が有効窓面積率が低い傾向がある。これは1階よりも2階の方が地表面から離れているため、風速が速くなることが原因であると考えられる。

建蔽率50%に着目すると、新潟、福岡の有効窓面積率は25%程度となり、京都、高知では55%程度になっており、2倍以上の差があり、建蔽率が大きくなる程、風速の速い都市と遅い都市の窓面積率の差が大きくなる。



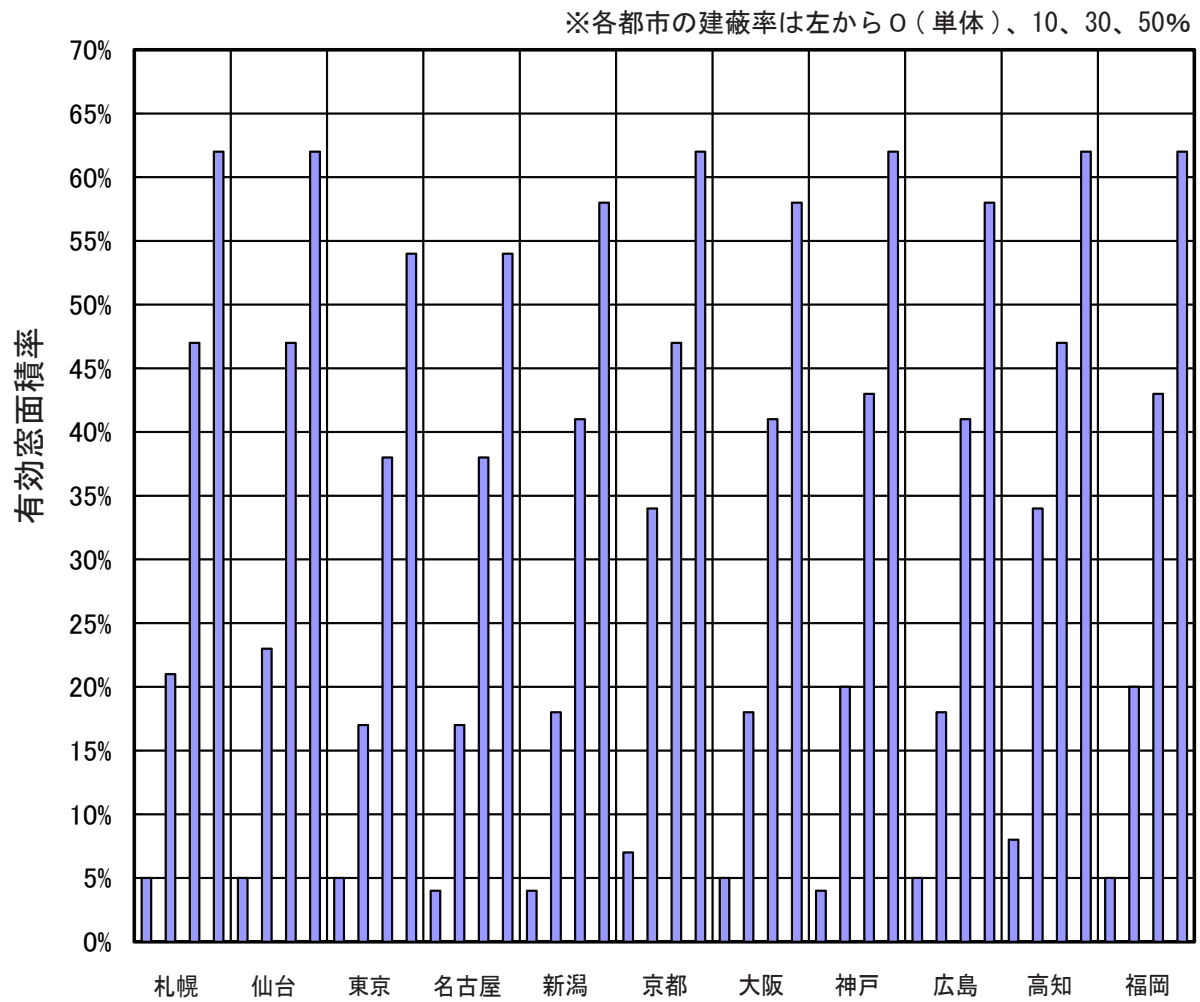


図 1.3.36 11 都市における各建蔽率の有効窓面積率（建物①、1 F）

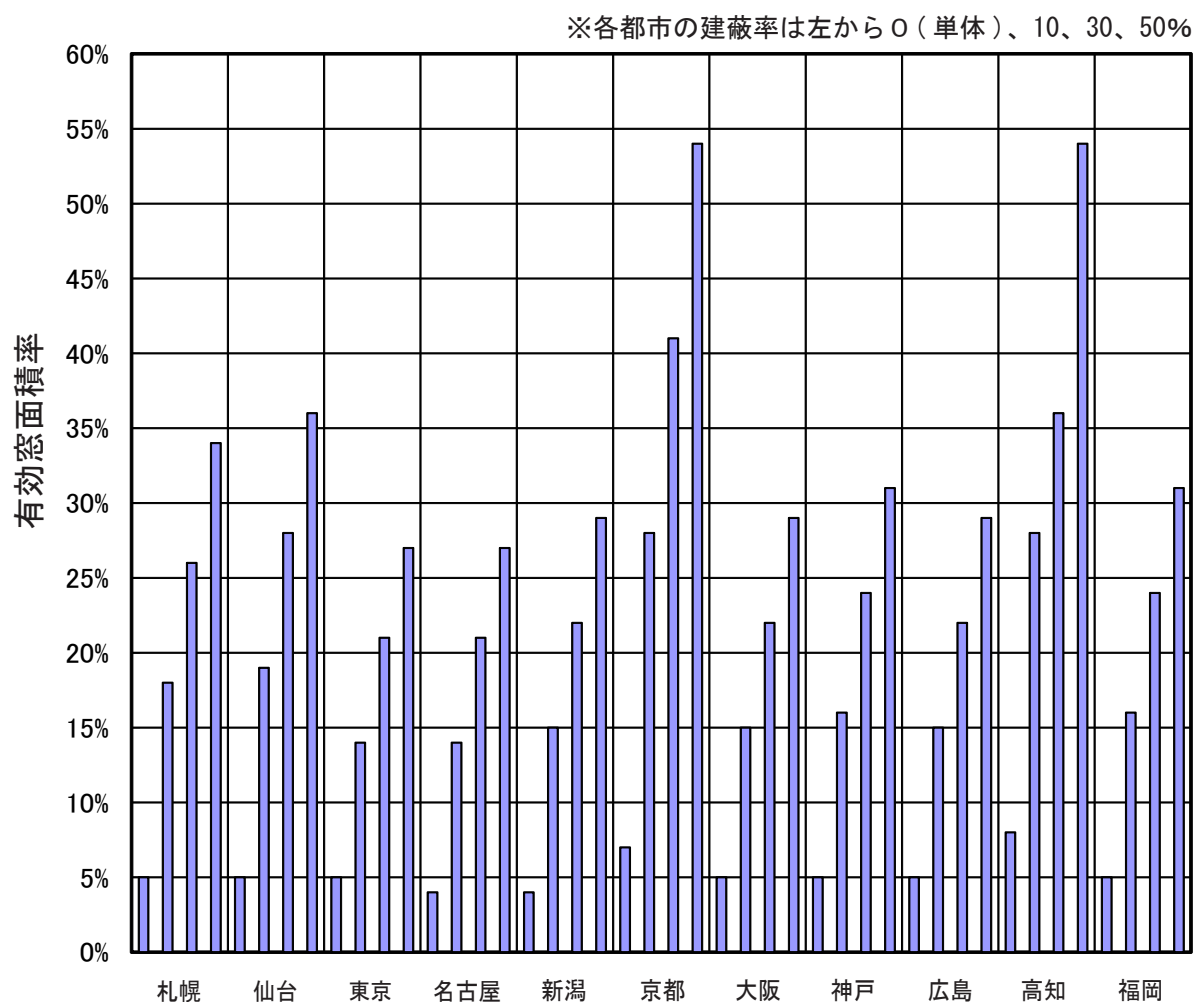


図 11.3.37 11 都市における各建蔽率の有効窓面積率（建物①、2 F）

## 第4章 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今回対象とした建蔽率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、ある程度の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どの都市でも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。新潟や福岡などの風速の速い都市では有効窓面積率は5%（建蔽率0%）～30%（建蔽率50%）程度と低い。
- ⑤各建蔽率で有効窓面積率は内陸部で10%（建蔽率0%）～60%（建蔽率50%）と高く、海沿いの都市で5%（建蔽率0%）～30%（建蔽率50%）程度と低い傾向がある。これは内陸部が風速が遅く海沿いの都市では速いためであると考えられる。



## 第2編 日本建築学会住宅用標準問題モデルを 対象とした解析



## 第1章 解析概要

## 2.1.1 解析対象モデル及び数値流体解析領域

解析モデルは日本建築学会住宅用標準問題モデル（標準住宅モデル）とする。表 2.1.1 に標準住宅モデルの概要を、表 2.1.2 に窓面積率 14% の場合の方位別開口面積を、表 2.1.3 に構成材及び熱損失係数を、図 2.1.1 に標準住宅モデルの外観を、図 2.1.2 ～図 2.1.5 に各建蔽率の数値解析領域のメッシュ分割を、図 2.1.6 ～ 2.1.7 に標準住宅モデルの室内メッシュ分割を、表 2.1.4 に 11 都市の非暖房期間と平均風速を示す。解析対象街区は単体、建蔽率 10、30、50% とし、対象地域は有効換気回数の算出では 11 都市、有効窓面積率の算出では全国 842 都市とする。

表 2.1.1 標準住宅モデルの概要

数値解析メッシュ	単体	$78(x) \times 72(y) \times 41(z) = 230,256 \text{メッシュ}$
	建蔽率10%	$54(x) \times 54(y) \times 41(z) = 119,556 \text{メッシュ}$
	建蔽率30%	$60(x) \times 60(y) \times 41(z) = 147,600 \text{メッシュ}$
	建蔽率50%	$68(x) \times 68(y) \times 41(z) = 189,584 \text{メッシュ}$
室内解析メッシュ		$42(x) \times 36(y) \times 23(z) = 34,776 \text{メッシュ}$
延べ床面積		109.98 $\text{m}^2$

表 2.1.2 方位別開口面積（窓面積率※ 14% の場合）

	開口面積 $[\text{m}^2]$				開口総面積 $[\text{m}^2]$
	南面	北面	東面	西面	
1F	4.32	1.44	0	2.08	7.84
2F	2.88	2.4	1.44	0.96	7.68
開口総面積 $[\text{m}^2]$	7.20	3.84	1.44	3.04	15.52

表 2.1.3 構成材及び熱損失係数

屋根	石膏ボード、セルローズファイバー、PERPENUICU、合板、スレート
外壁	石膏ボード、ネオマフォーム、PERPENUICU、合板、モルタル
床	合板、合板、グラスウール
熱損失係数	1.98 $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$

※窓面積率＝窓面積 / 床面積

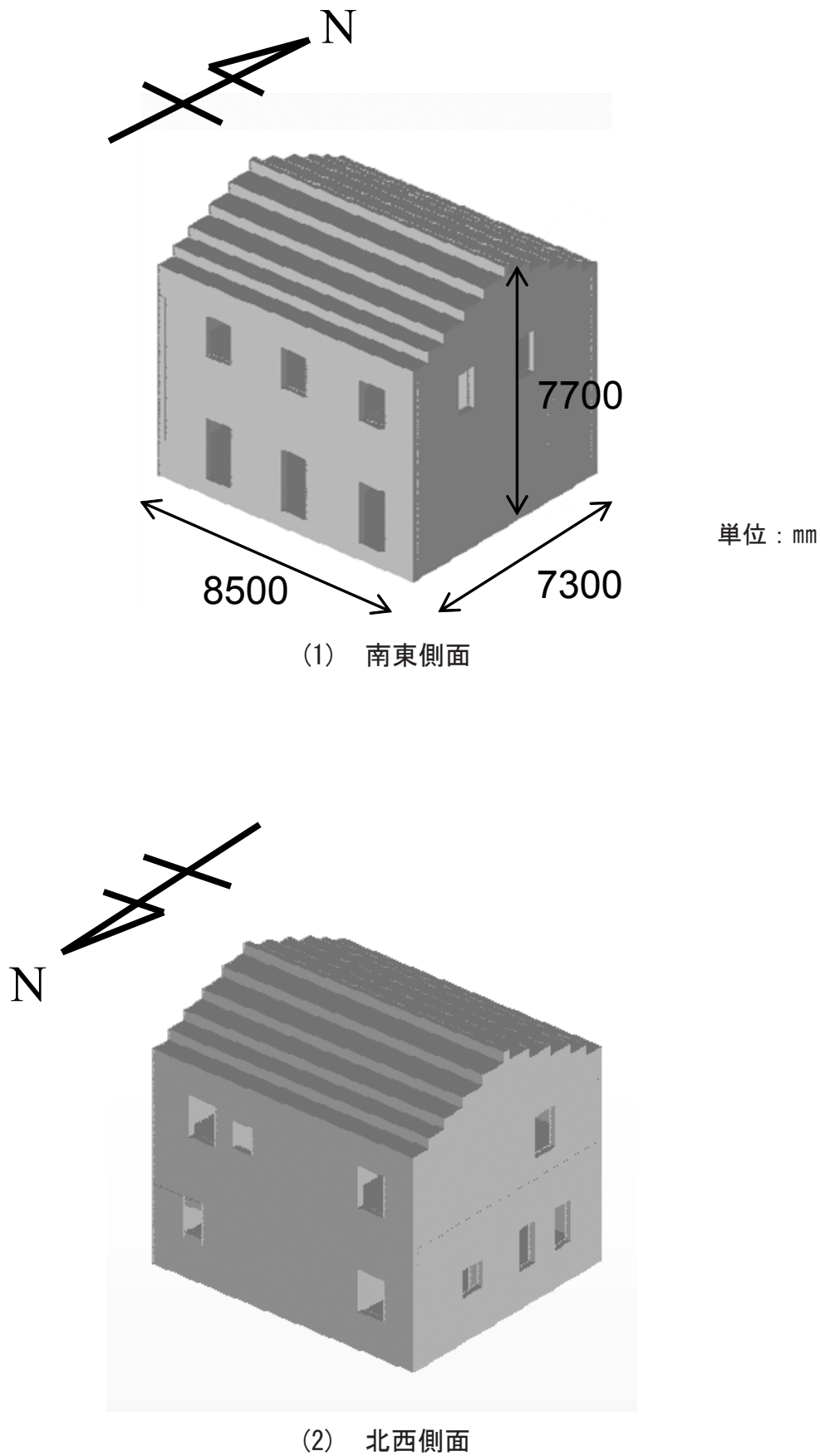


図 2.1.1 標準住宅モデルの外観



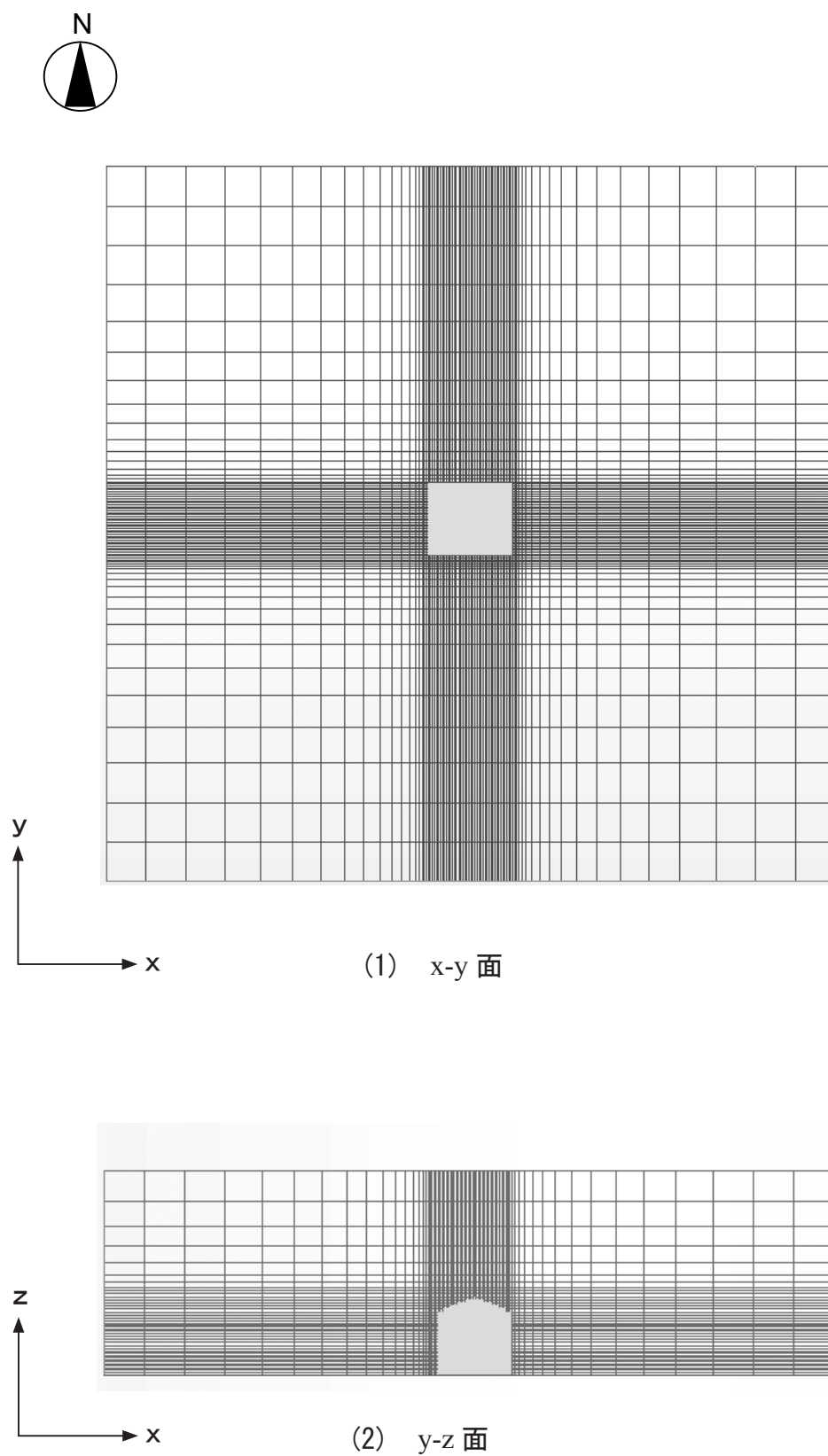


図 2.1.2 単体における数値解析領域のメッシュ分割

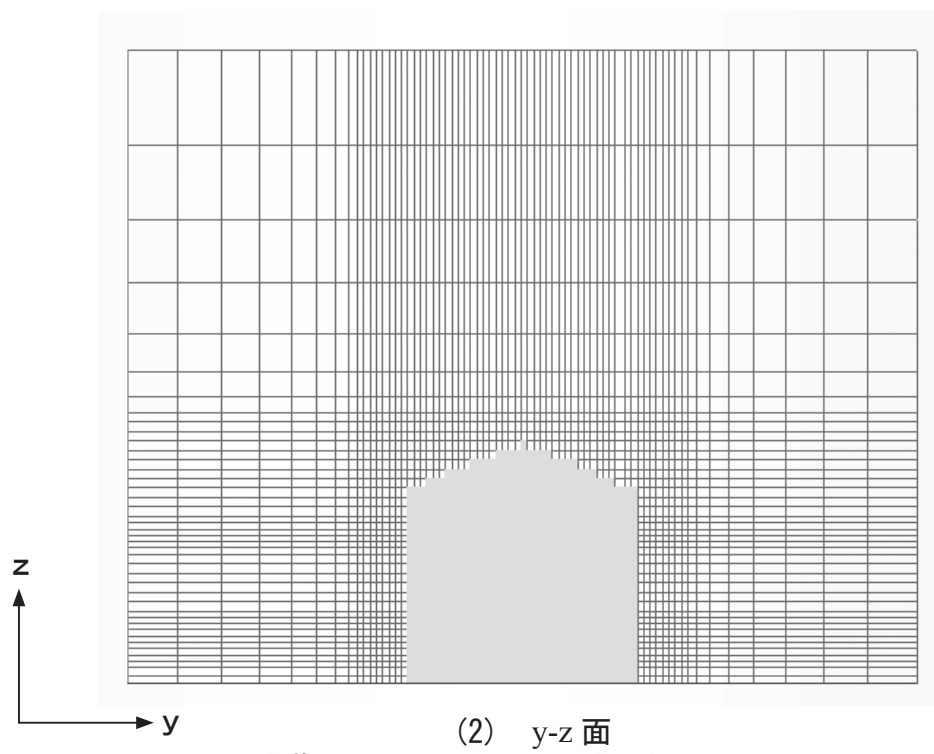
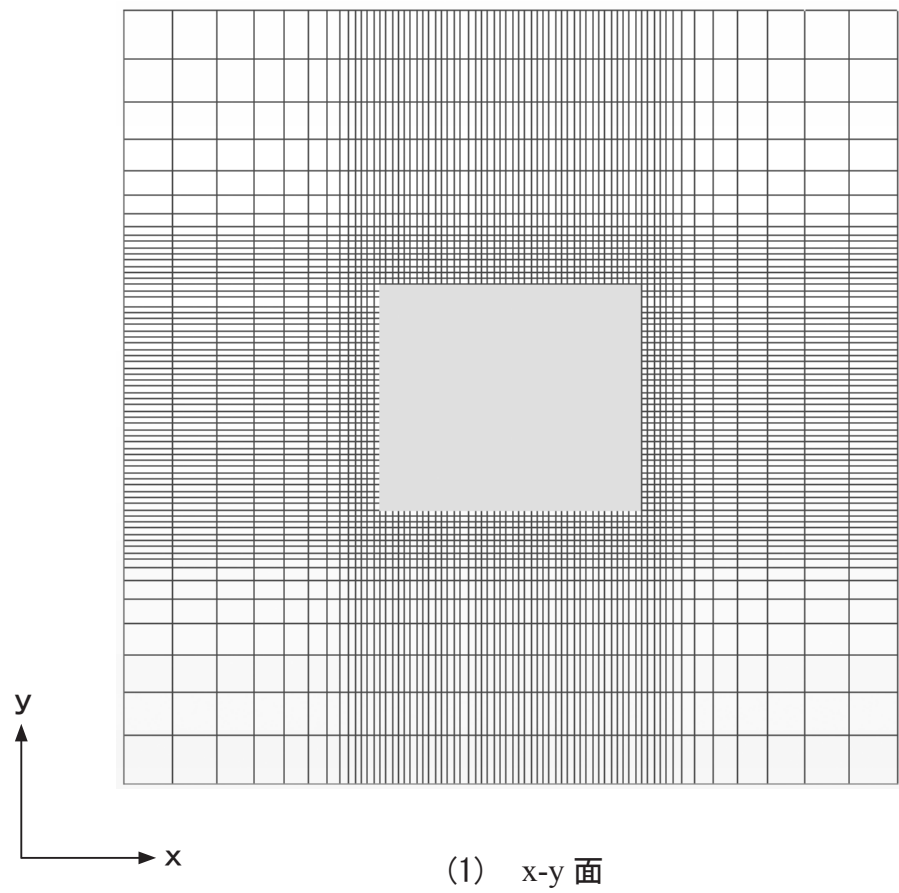


図 2.1.3 建蔽率 10%における数値解析領域のメッシュ分割

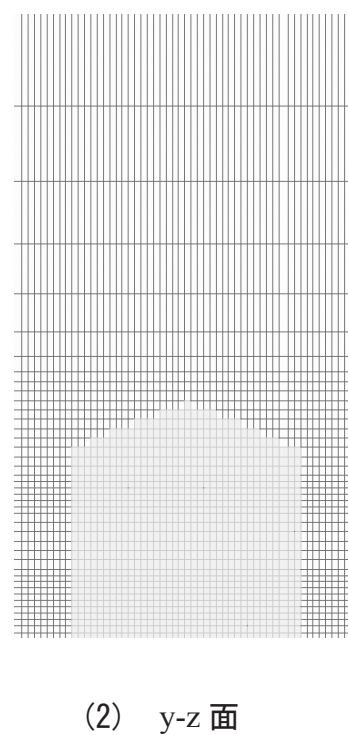
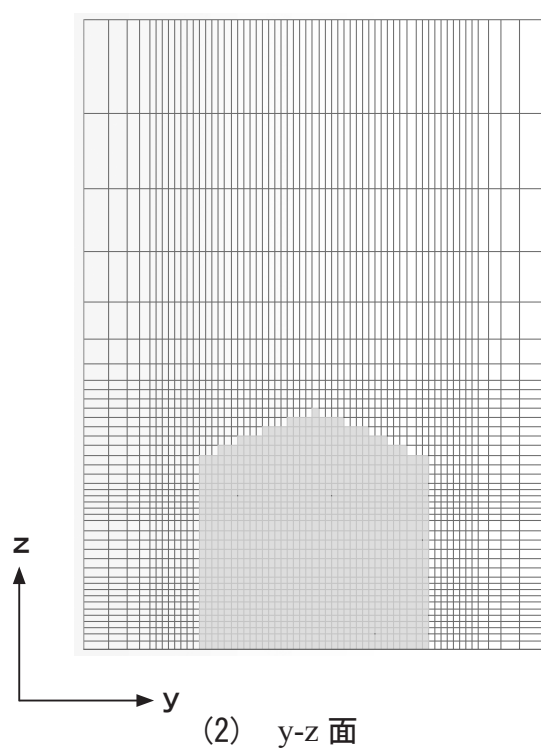
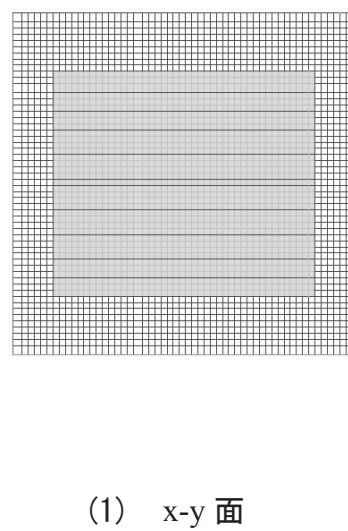
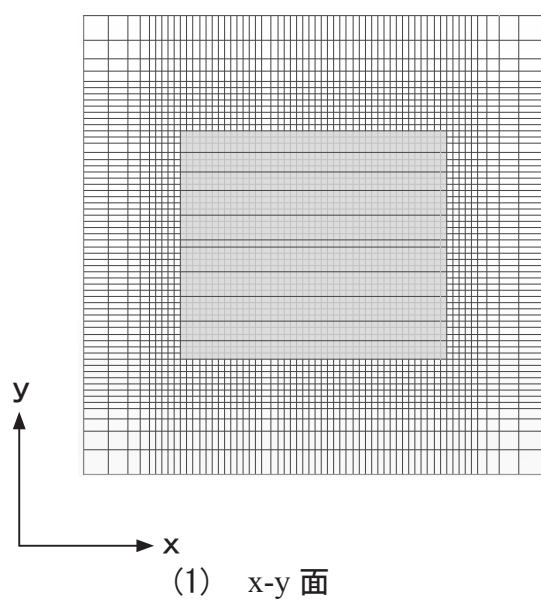


図 2.1.4 建蔽率 30%における  
数値解析領域のメッシュ分割

図 2.1.5 建蔽率 50%における  
数値解析領域のメッシュ分割

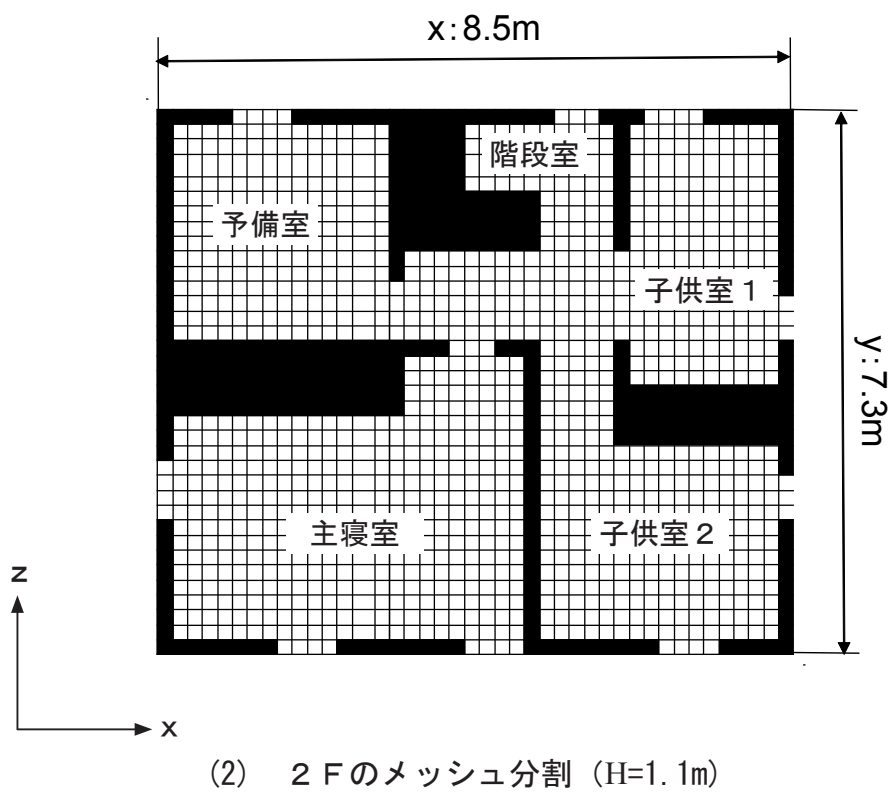
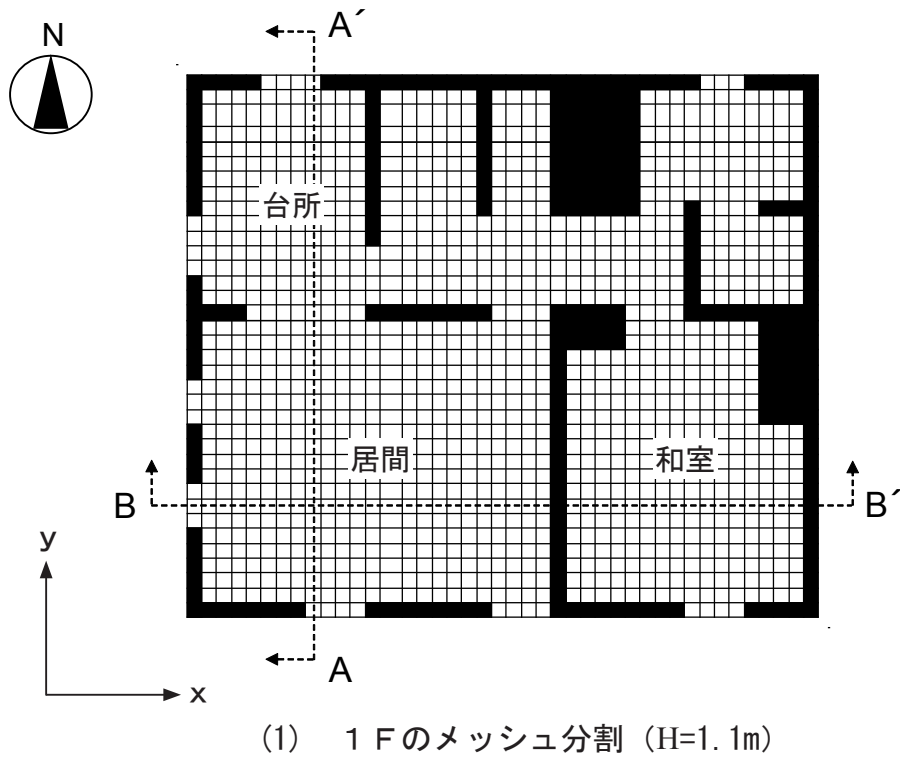
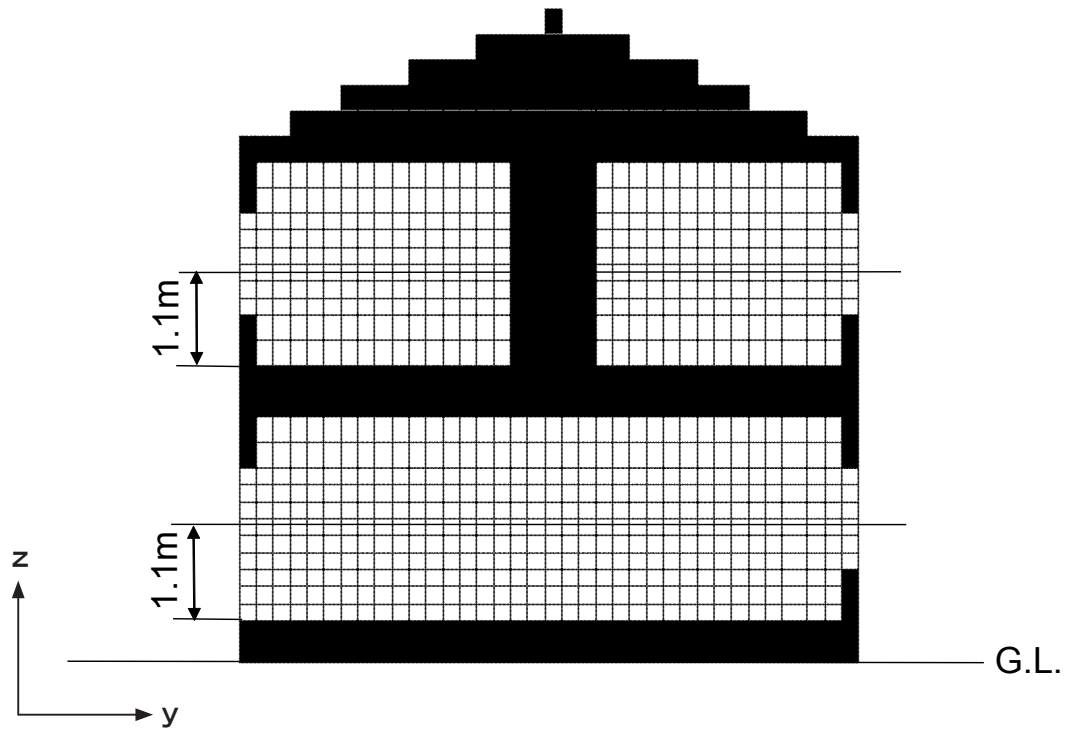
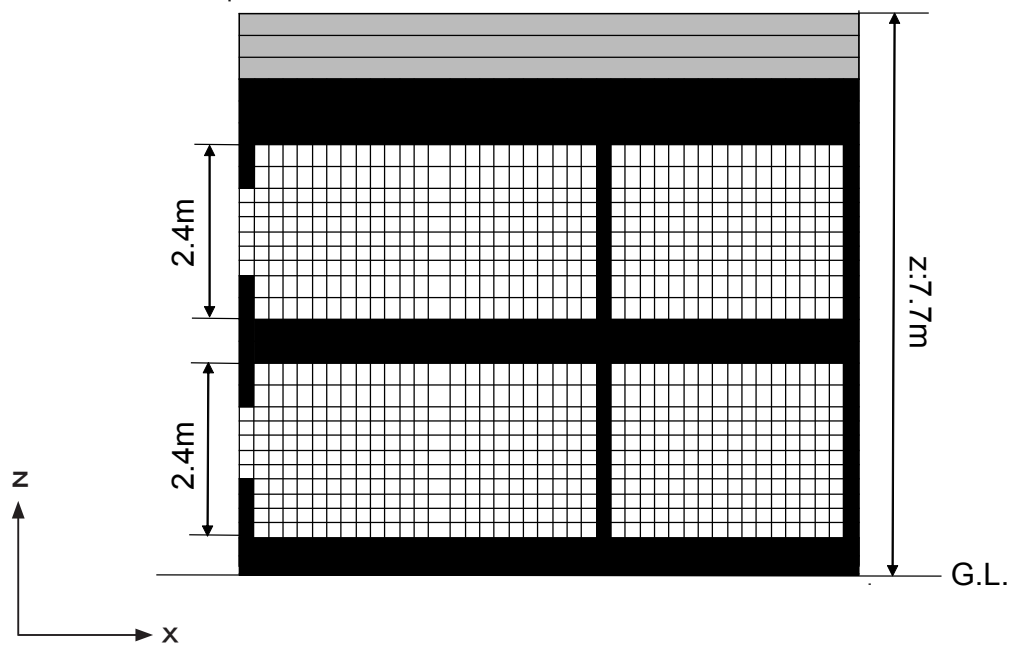


図 2.1.6 標準住宅モデルの室内メッシュ分割 (水平断面)



(1) A-A' 断面



(2) B-B' 断面

図 2.1.7 標準住宅モデルの室内メッシュ分割（鉛直断面）

## 2.1.2 室内発熱負荷の設定

室内熱負荷は生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULEVer. 2.0 を用いて求める。表 2.1.5 に家族構成を、表 2.1.6 に各部屋と行為、使用機器の関係を、表 2.1.7、2.1.8 に在室パターンを、図 2.1.9 ～ 2.1.13 に室内熱負荷を示す。家族は父母子 2 人の 4 人家族とし、それぞれの生活パターンから各部屋の時間ごとの熱負荷を求める。求めた室内熱負荷から年間の室内熱負荷を作成し、熱負荷シュミレーションソフトで年間室内熱負荷を考慮して計算する。

表 2.1.5 家族構成

名前	属性	喫煙本数/hour
花子	家庭婦人・母	0
一郎	勤め人・父	2
翼	小学生	0
陽子	中学生	0

表 2.1.6 各部屋と行為、使用機器の関係

階	1F						2F						
部屋名	L D K	和室	浴室	洗面	ホール1	トイレ1	MB	CB 1	CB 2	予備室	トイレ2	ホール2	屋根裏
用途	居間、食堂、厨房	個室	浴室	洗面	廊下、その他	トイレ	個室	個室	個室	個室	トイレ	廊下	その他
床面積 (㎡)	27.74	13.25	3.31	4.94	10.41	1.66	20.5	11.63	11.57	10.14	1.66	9.1	62.97
使用者							母、父	子1	子2				
照明 (W)	277.4	79.5	66.2	98.8	83.28	66.4	123	69.78	69.42	60.84	66.4	72.8	0
常時稼働機器	冷蔵庫					温水洗浄便座					温水洗浄便座		
常時稼働機器	電気ジャーボット												
行為	掃除		入浴	洗顔			掃除	学業	学業				
機器	掃除機		入浴	ドライヤー			雑巾かけ	スタンド	スタンド				
行為	掃除		入浴	洗濯			本		本				
機器	雑巾かけ		浴槽	洗濯機			スタンド		スタンド				
行為	アイロンかけ		入浴										
機器	アイロン		洗場										
行為	テレビ												
機器	テレビ												
行為	ラジオ												
機器	ラジオ												
行為	新聞												
機器	スタンド												
行為	雑誌												
機器	スタンド												
行為	炊事												
機器	レンジ												
行為	炊事												
機器	鍋・やかん												
行為	炊事												
機器	電子レンジ												
行為	炊事												
機器	炊飯器												

表 2.1.7 在室パターン（平日）

平日		母		父		子1		子2	
時間		部屋名	行為	部屋名	行為	部屋名	行為	部屋名	行為
0	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
1	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
2	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
3	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
4	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
5	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
6	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	洗面	洗顔	洗面	洗顔	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	LDK	炊事	MB	着がえ	洗面	洗顔	洗面	洗顔
7	0	LDK	炊事	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	15	LDK	食事	LDK	新聞	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	30	LDK	在宅			CB1	着がえ	CB2	着がえ
	45	LDK	テレビ						
8	0	LDK	テレビ						
	15	LDK	新聞						
	30	LDK	新聞						
	45	LDK	洗濯干し・取入れ						
9	0	LDK	掃除						
	15	LDK	掃除						
	30	LDK	掃除						
	45	LDK	掃除						
10	0	LDK	在宅						
	15	LDK	在宅						
	30	MB	趣味						
	45	MB	趣味						
11	0	MB	趣味						
	15	MB	趣味						
	30								
	45								

12	0	LDK	炊事						
	15	LDK	テレビ						
	30	LDK	テレビ						
	45	LDK	テレビ						
13	0	LDK	テレビ						
	15	LDK	テレビ						
	30	LDK	在宅						
	45	LDK	在宅						
14	0	MB	趣味						
	15	MB	趣味						
	30	MB	趣味						
	45	MB	趣味						
15	0								
	15								
	30								
	45								
16	0	LDK	在宅						
	15	LDK	在宅						
	30	LDK	在宅						
	45	LDK	在宅						
17	0	LDK	新聞						
	15	LDK	炊事			LDK	在宅		
	30	LDK	炊事			CB1	学業	LDK	テレビ
	45	LDK	炊事			CB1	学業	LDK	テレビ
18	0	LDK	炊事			CB1	学業	CB2	本
	15	LDK	在宅			CB1	学業	CB2	本
	30	LDK	食事			CB1	学業	LDK	テレビ
	45	LDK	食事			CB1	学業	LDK	テレビ
19	0	LDK	テレビ			LDK	テレビ	LDK	テレビ
	15	LDK	テレビ			LDK	テレビ	LDK	テレビ
	30	LDK	テレビ	LDK	食事	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	45	LDK	テレビ	LDK	食事	LDK	テレビ	CB2	学業
20	0	LDK	テレビ	LDK	新聞	LDK	テレビ	CB2	学業
	15	LDK	テレビ	LDK	新聞	LDK	テレビ	CB2	学業
	30	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ	CB2	学業
	45	LDK	テレビ	LDK	テレビ	浴室	入浴	CB2	学業
21	0	LDK	テレビ	浴室	入浴	浴室	入浴	CB2	学業
	15	LDK	テレビ	浴室	入浴	LDK	在宅	CB2	学業
	30	浴室	入浴	LDK	テレビ	LDK	在宅	CB2	学業
	45	浴室	入浴	LDK	テレビ	CB1	睡眠	CB2	学業
22	0	MB	本	LDK	テレビ	CB1	睡眠	浴室	入浴
	15	MB	本	LDK	テレビ	CB1	睡眠	浴室	入浴
	30	MB	本	LDK	在宅	CB1	睡眠	CB2	本
	45	MB	本	LDK	在宅	CB1	睡眠	CB2	本
23	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠



表 2.1.8 在室パターン（休日）

休日		母		父		子1		子2	
時間		部屋名	行為	部屋名	行為	部屋名	行為	部屋名	行為
0	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
1	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
2	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
3	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
4	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
5	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
6	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
7	0	洗面	洗顔	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	着がえ	MB	睡眠	洗面	洗顔	CB2	睡眠
	30	LDK	炊事	洗面	洗顔	CB1	着がえ	CB2	睡眠
	45	LDK	炊事	MB	着がえ	LDK	食事	CB2	睡眠
8	0	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	食事	洗面	洗顔
	15	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ	CB2	着がえ
	30	洗面	洗濯	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	45	LDK	新聞	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ
9	0	LDK	新聞	LDK	テレビ	LDK	在宅	LDK	在宅
	15	LDK	洗濯干し・取入れ	LDK	新聞	LDK	在宅	CB2	学業
	30	LDK	掃除	LDK	新聞			CB2	学業
	45	LDK	掃除					CB2	学業
10	0	LDK	掃除					CB2	学業
	15	LDK	掃除						
	30								
	45								
11	0								
	15					CB1	勝負ごと		
	30					CB1	勝負ごと		
	45	LDK	炊事			CB1	勝負ごと		

12	0	LDK	在宅			LDK	在宅	LDK	在宅
	15	LDK	食事			LDK	食事	LDK	テレビ
	30	LDK	テレビ			LDK	食事	LDK	テレビ
	45	LDK	テレビ			LDK	在宅	LDK	テレビ
13	0	LDK	テレビ						
	15	LDK	テレビ						
	30								
	45								
14	0								
	15								
	30								
	45	MB	趣味						
15	0	MB	趣味			CB1	勝負ごと		
	15	MB	趣味			CB1	勝負ごと		
	30	MB	趣味			CB1	勝負ごと		
	45	MB	趣味			CB1	勝負ごと		
16	0	MB	趣味			CB1	趣味		
	15					CB1	趣味		
	30	LDK	洗濯干し・取入れ			CB1	趣味	CB2	趣味
	45	LDK	在宅			CB1	趣味	CB2	趣味
17	0	LDK	在宅			LDK	在宅	CB2	趣味
	15	LDK	炊事			CB1	学業	CB2	本
	30	LDK	炊事	LDK	在宅	CB1	学業	CB2	本
	45	LDK	炊事	LDK	在宅	CB1	学業	CB2	本
18	0	LDK	在宅	LDK	在宅	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	15	LDK	食事	LDK	在宅	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	30	LDK	食事	LDK	食事	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	45	LDK	食事	LDK	食事	LDK	テレビ	LDK	テレビ
19	0	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	15	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	30	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ
	45	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ	LDK	テレビ
20	0	LDK	テレビ	LDK	テレビ	CB1	学業	CB2	学業
	15	LDK	テレビ	LDK	テレビ	CB1	学業	CB2	学業
	30	LDK	テレビ	LDK	テレビ	CB1	学業	CB2	学業
	45	LDK	テレビ	LDK	テレビ	浴室	入浴	CB2	学業
21	0	LDK	テレビ	浴室	入浴	浴室	入浴	浴室	入浴
	15	LDK	テレビ	浴室	入浴	LDK	在宅	浴室	入浴
	30	浴室	入浴	LDK	テレビ	CB1	睡眠	洗面	洗顔
	45	浴室	入浴	LDK	テレビ	CB1	睡眠	LDK	在宅
22	0	LDK	在宅	LDK	テレビ	CB1	睡眠	CB2	本
	15	LDK	在宅	LDK	テレビ	CB1	睡眠	CB2	本
	30	LDK	在宅	LDK	在宅	CB1	睡眠	LDK	在宅
	45	LDK	在宅	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
23	0	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	15	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	30	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠
	45	MB	睡眠	MB	睡眠	CB1	睡眠	CB2	睡眠

### 2.1.3 室内熱負荷の算出結果

室内負荷は就寝時に小さく、起床、活動と共に大きくなり、特に調理、食事時の負荷が大きい。また日中時は母しか滞在していないため負荷は小さい。部屋ごとにみるとLDKが負荷の大半を占め、そのため2Fより1Fの負荷が大きい。個別にみると冬期は6:00～8:00、13:00、19:00～23:00に室内負荷が大きく、他の期間に比べ、昼のピークが見られ、朝夕のピークの時間も長い。また平日に比べ休日の室内発熱負荷が大きい。夏期、中間期は7:00と17:00にピークがみられ、18:00～22:00の室内発熱負荷も大きい。

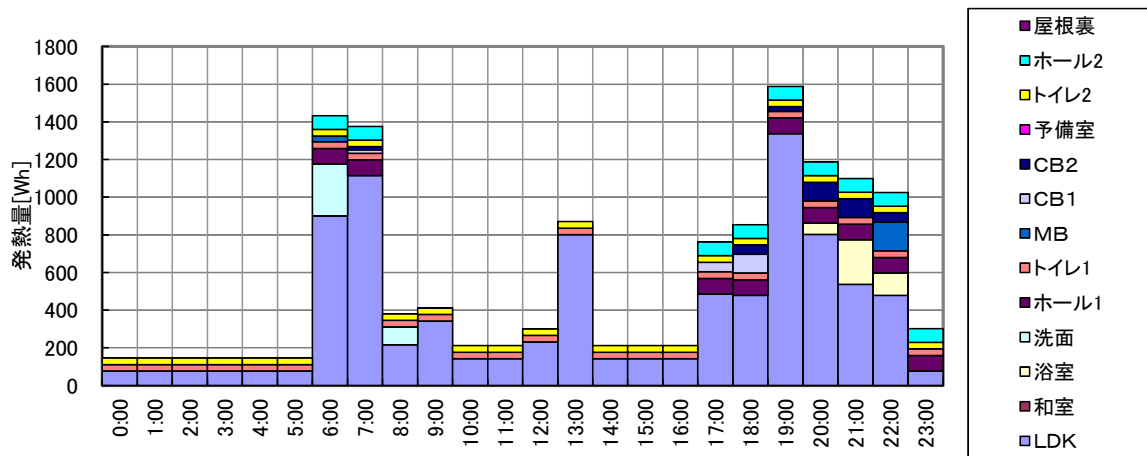


図 2.1.8 室内発熱負荷（冬期・平日）

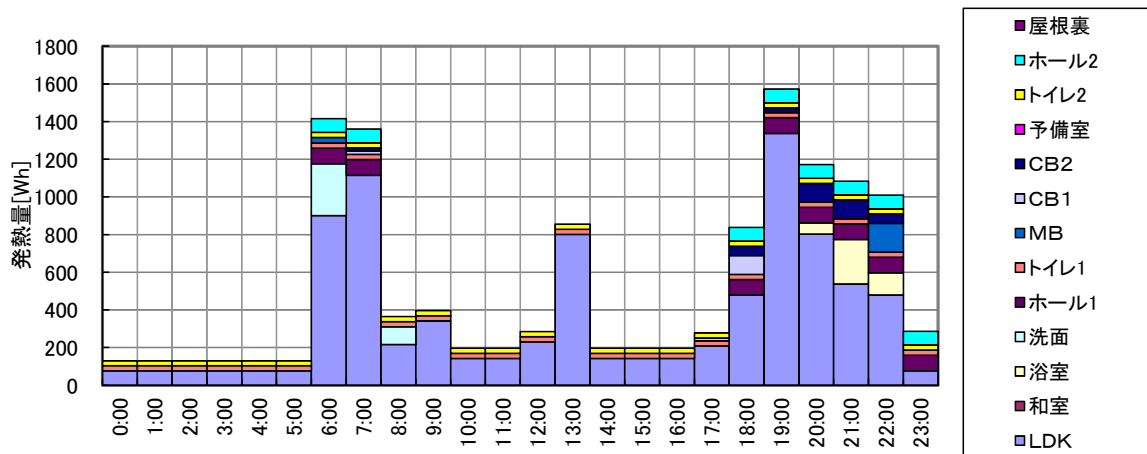


図 2.1.9 室内発熱負荷（中間期・平日）

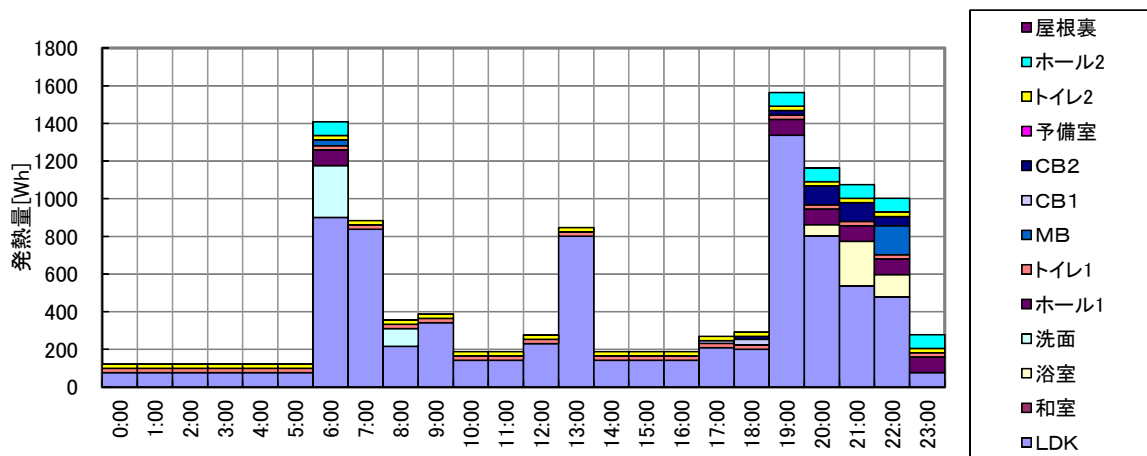


図 2.1.10 室内発熱負荷（夏期・平日）

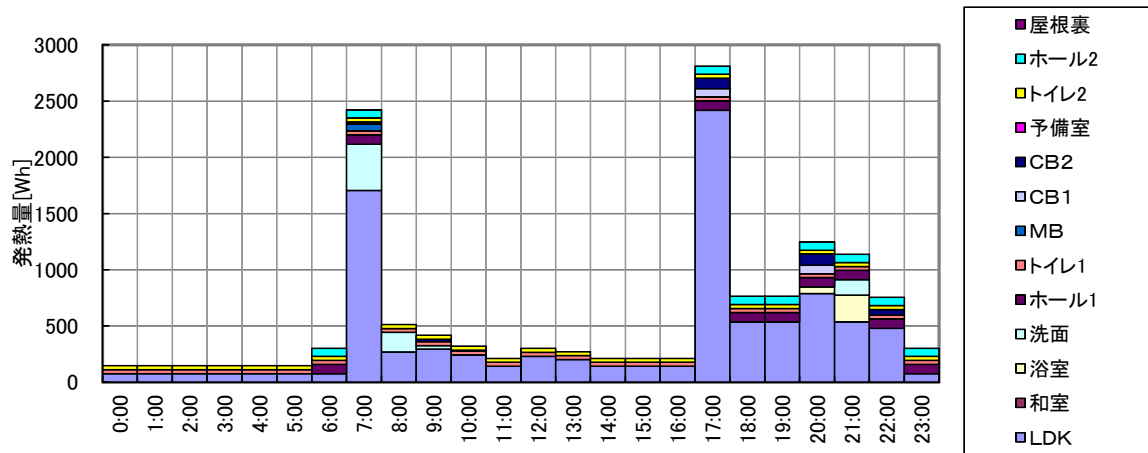


図 2.1.11 室内発熱負荷（冬期・休日）

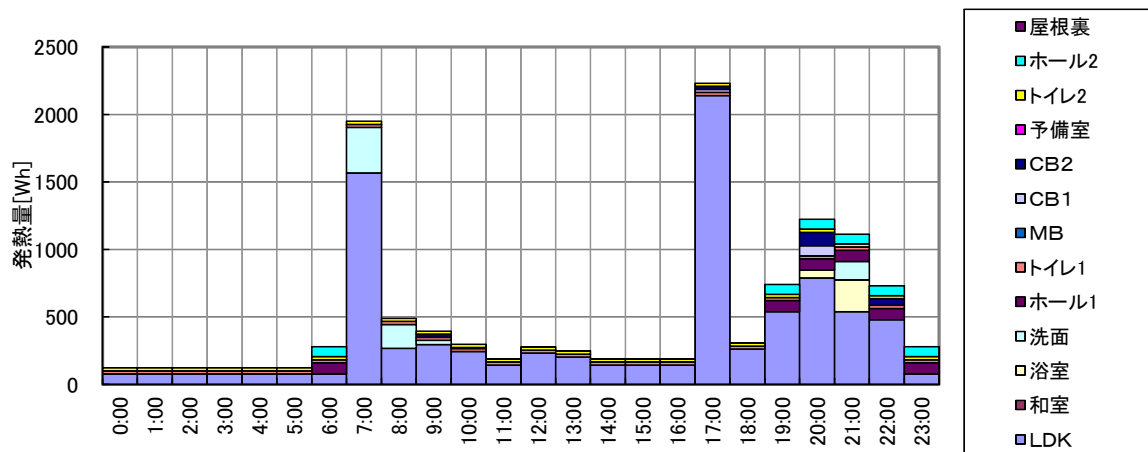


図 2.1.12 室内発熱負荷（中間期・休日）

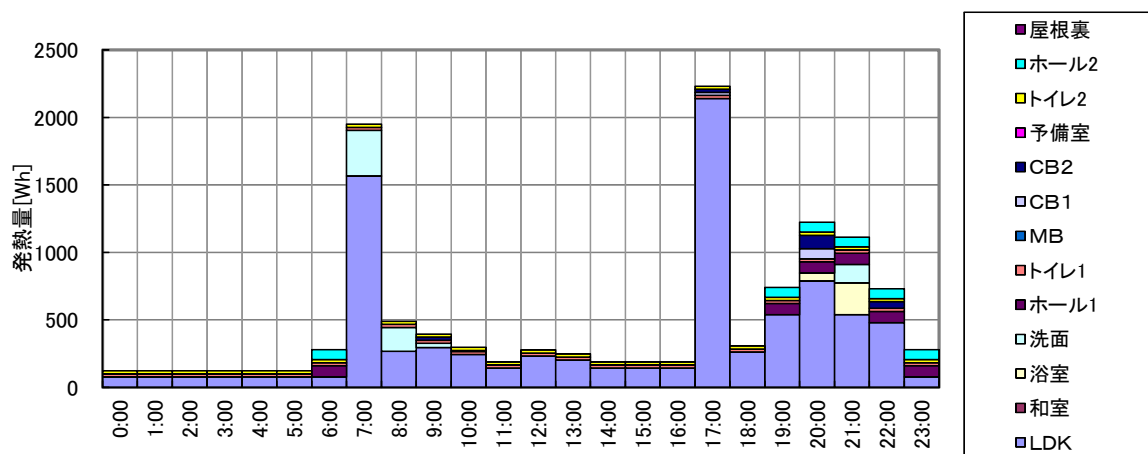


図 2.1.13 室内発熱負荷（夏期・休日）

## 第2章 有効換気回数の検討

### 2.2.1 TRNSYS による解析結果

本章では標準住宅モデルの単体のみを対象とする。

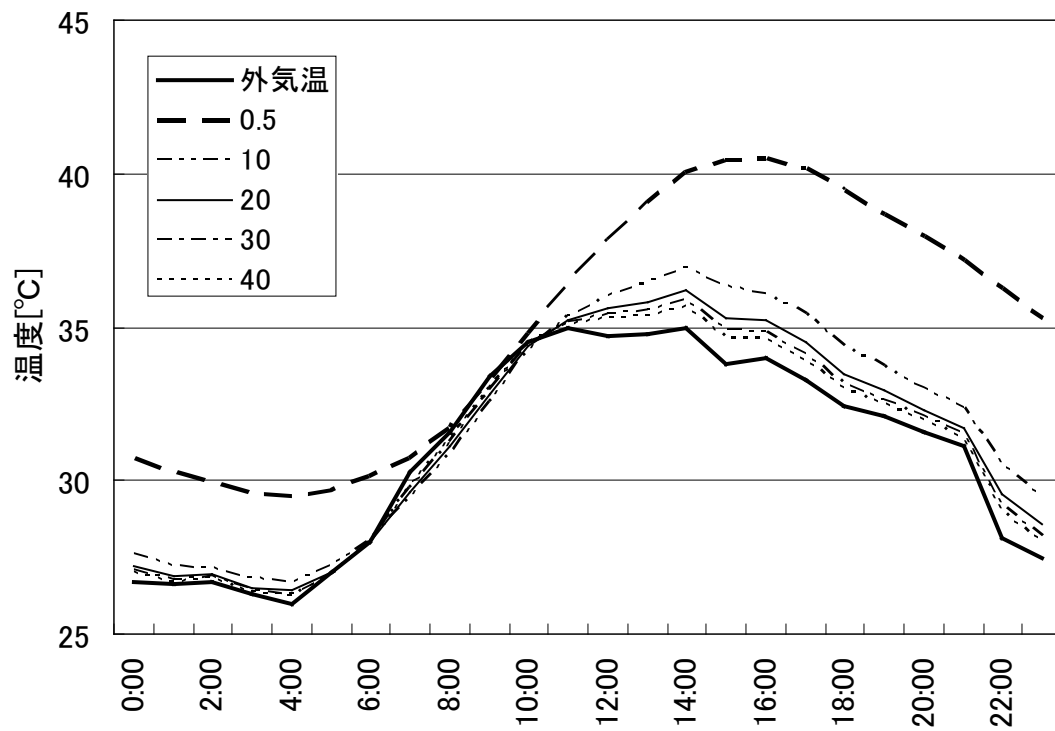
図 2.2.1 に室内負荷を入れた新潟における各換気回数の室温を、図 2.2.2 に室内負荷を入れた新潟における各換気回数の日平均室内外温度差を示す。

新潟における各換気回数の室温では換気回数 0.5 回/h（窓閉鎖時）の場合、室温と外気温は 1、2 F ともに最大で約 7℃程度の温度差となる。1、2 F ともに換気回数 10 回/h では室温は 12 時から 20 時まで外気温と差が見られるものの、室温はほぼ外気温程度まで低下している。換気回数 30 回/h、40 回/h と換気回数が多くなる程、室温は外気温に近づく。換気回数 10 回/h と換気回数 20 回/h の室温差は、換気回数 20 回/h 以上の室温差に比較して相対的に大きい。また、1、2 F ともに傾向は同様であるが、4 時から 10 時までの傾向が少し異なる。

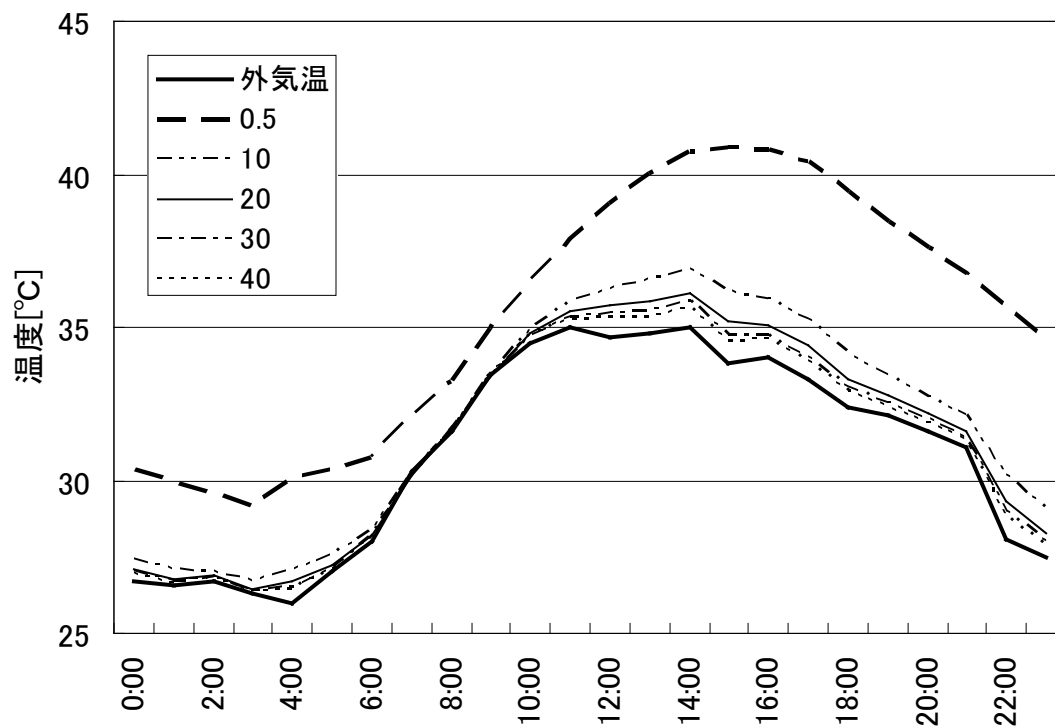
新潟における各換気回数の平均室内外温度差では 7 月 23 日は 1 F で換気回数 10 回/h、2 F で換気回数 12 回/h で室温と外気温の差は 1℃以下となり、非暖房期間では 1、2 F ともに換気回数 10 回/h で室温と外気温の差は 1℃以下となる。また、7 月 23 日、非暖房期間ともに換気回数 20 回/h では室温と外気温の差は約 0.6℃程度となり、換気回数 30 回/h、40 回/h では室温と外気温の差は 0.4℃以下となる。

### 2.2.2 有効換気回数

TRNSYS による熱負荷計算の結果、室温と外気温の差が 1℃以下の時に十分に室温が低下していると考え、換気回数 20 回/h を有効換気回数と設定する。



(1) 1F



(2) 2F

図 2.2.1 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)

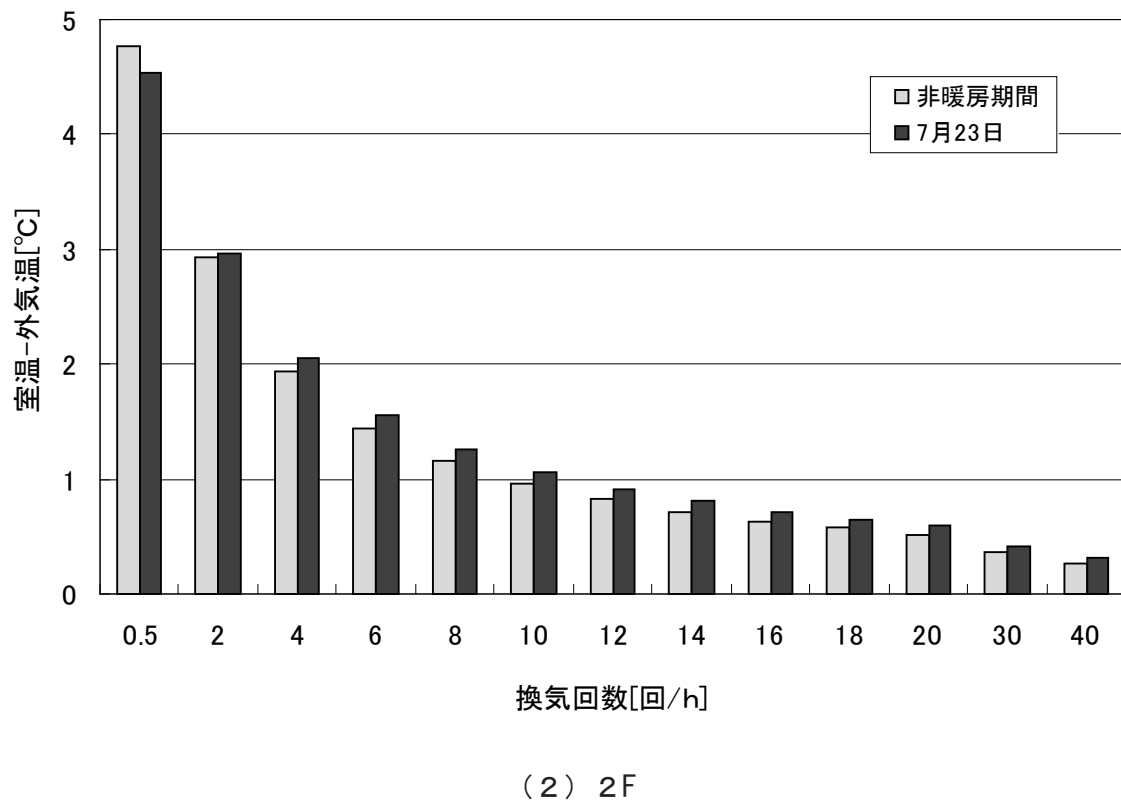
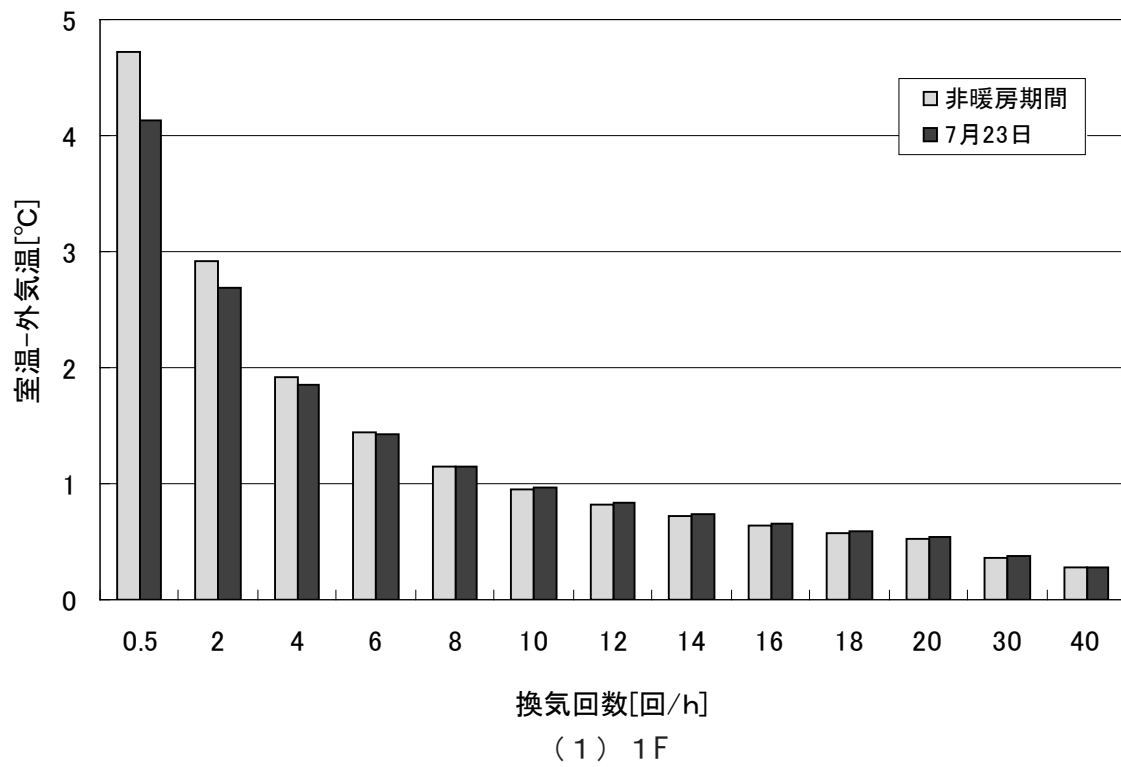


図 2.2.2 新潟における各換気回数の平均室内外温度差



### 2.2.3 有効換気回数と実換気回数

図 2.2.3 ～ 2.2.13 に 11 都市における換気回数頻度分布を、図 2.2.14 に 11 都市の有効換気回数以上での相対頻度を示す。

平均風速の速い新潟や神戸では換気回数 30 回 /h 以下の頻度はほとんどない。京都、広島、高知を除く 8 都市では換気回数 100 回 /h 以上の頻度が 20% 以上となり、基準となる換気回数 20 回 /h の頻度を上回っている。どの都市でも 20 回 /h 以下の換気回数の頻度は 20% 程度ある。換気回数 100 回 /h 以上の頻度で比較すると、新潟や名古屋、神戸、福岡の頻度が高い。これは他の都市よりも平均風速が速いためと考えられる。

また、11 都市の有効換気回数以上における相対頻度では 4 都市ともに 1F と 2F で殆ど差はみられない。札幌、京都、広島、高知以外の都市では換気回数 20 回 /h 以上の相対頻度が 90% を超え、高知以外の都市は相対頻度が 85% を超えている。高知の 1F でも 78% を超えており、単純住宅程ではないが、十分な室温低下効果が得られていると考えられる。

今回の標準住宅モデルでは十分な室温低下効果が得られ、ある程度の開口面積以上での室温低下効果は同様であると考えられる。

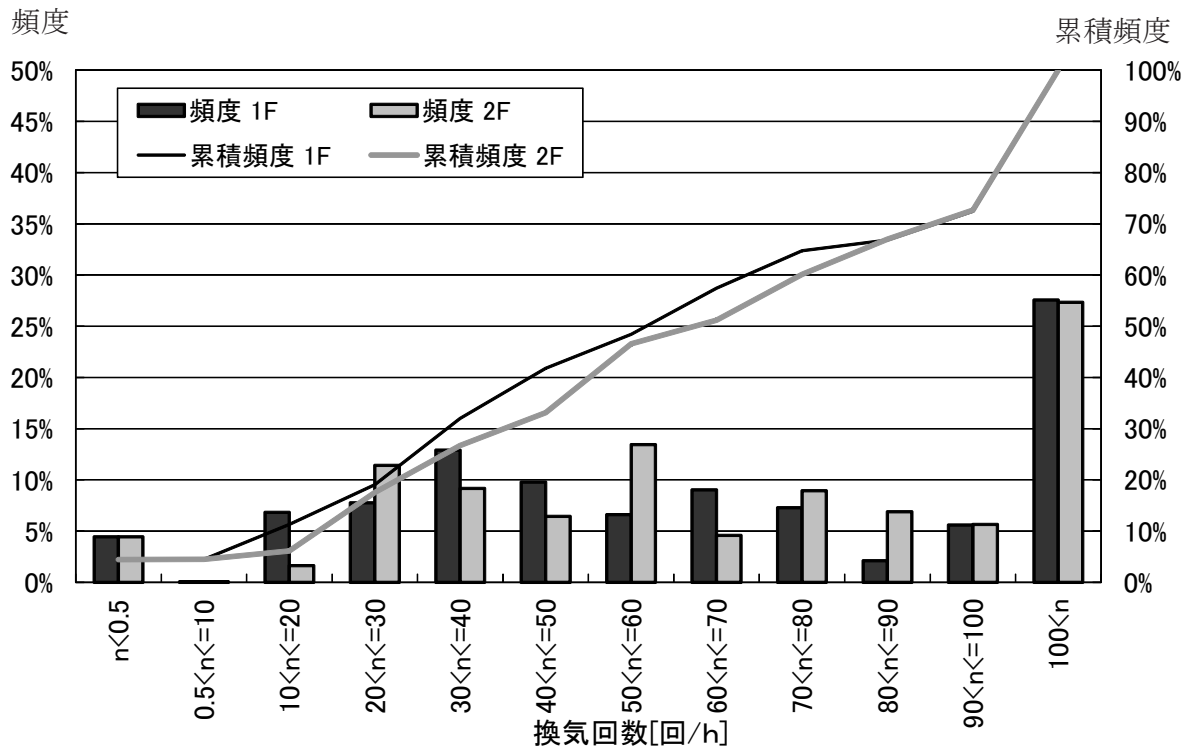


図 2.2.3 札幌の換気回数頻度分布

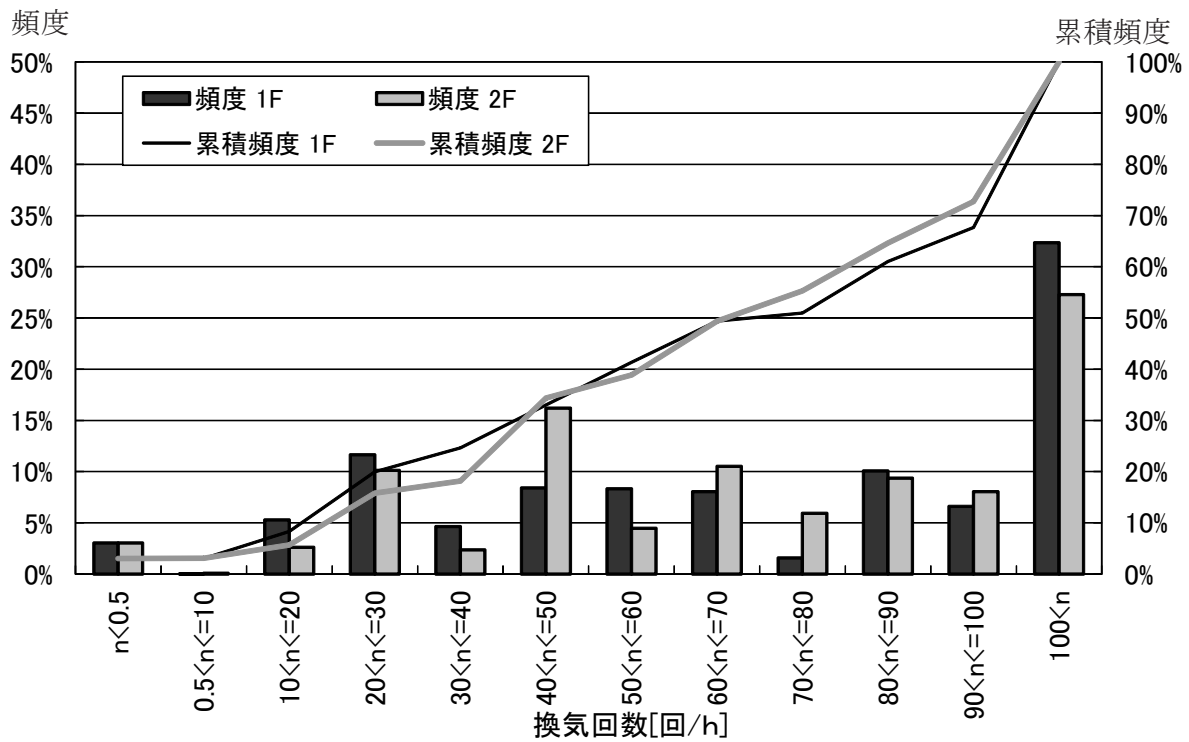


図 2.2.4 仙台の換気回数頻度分布

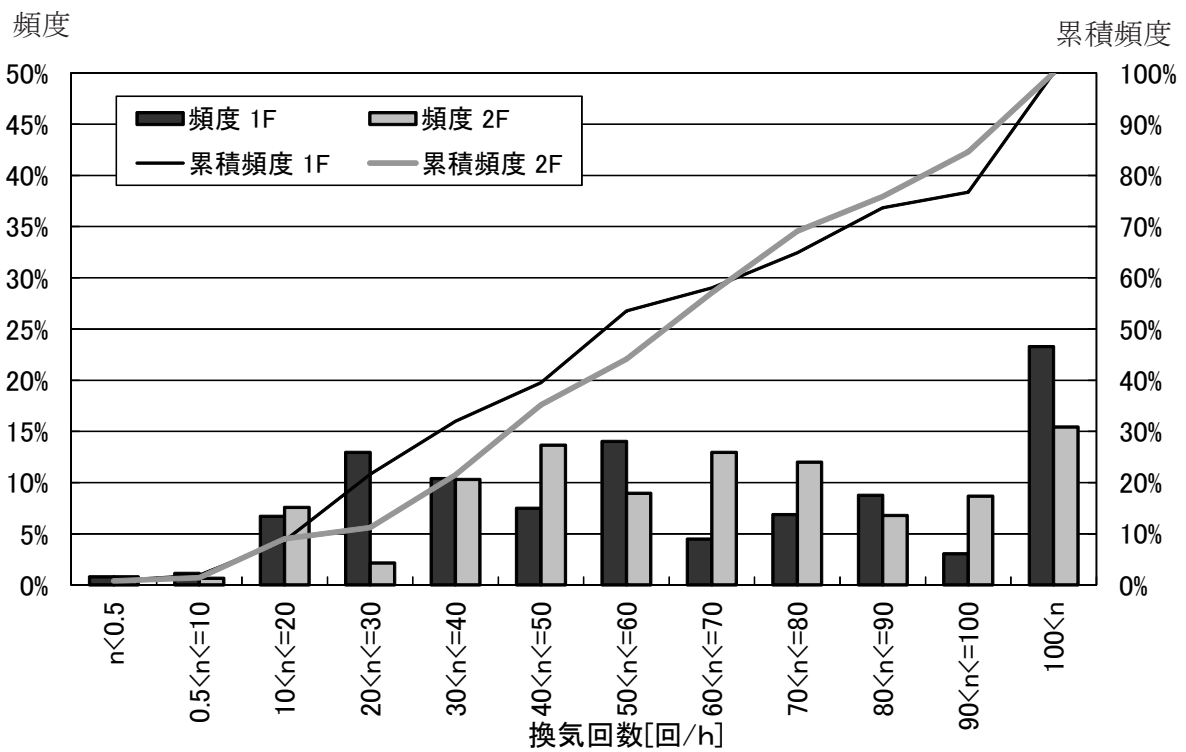


図 2.2.5 東京の換気回数頻度分布

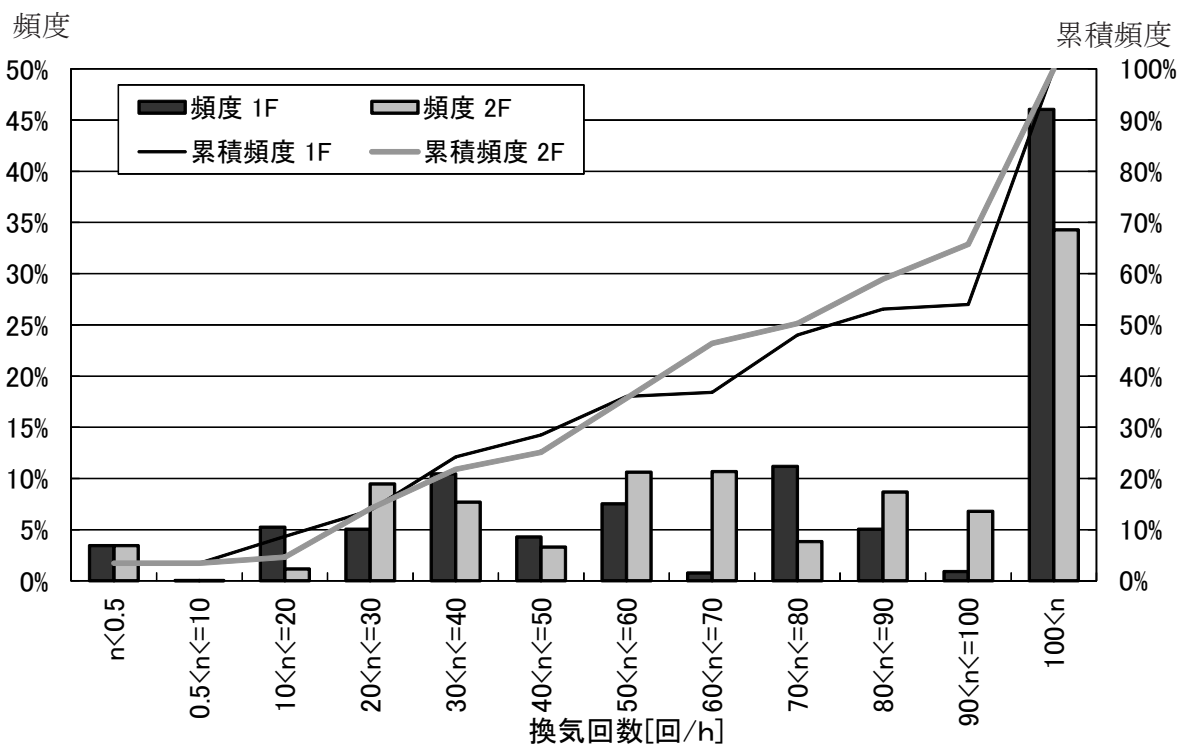


図 2.2.6 名古屋の換気回数頻度分布

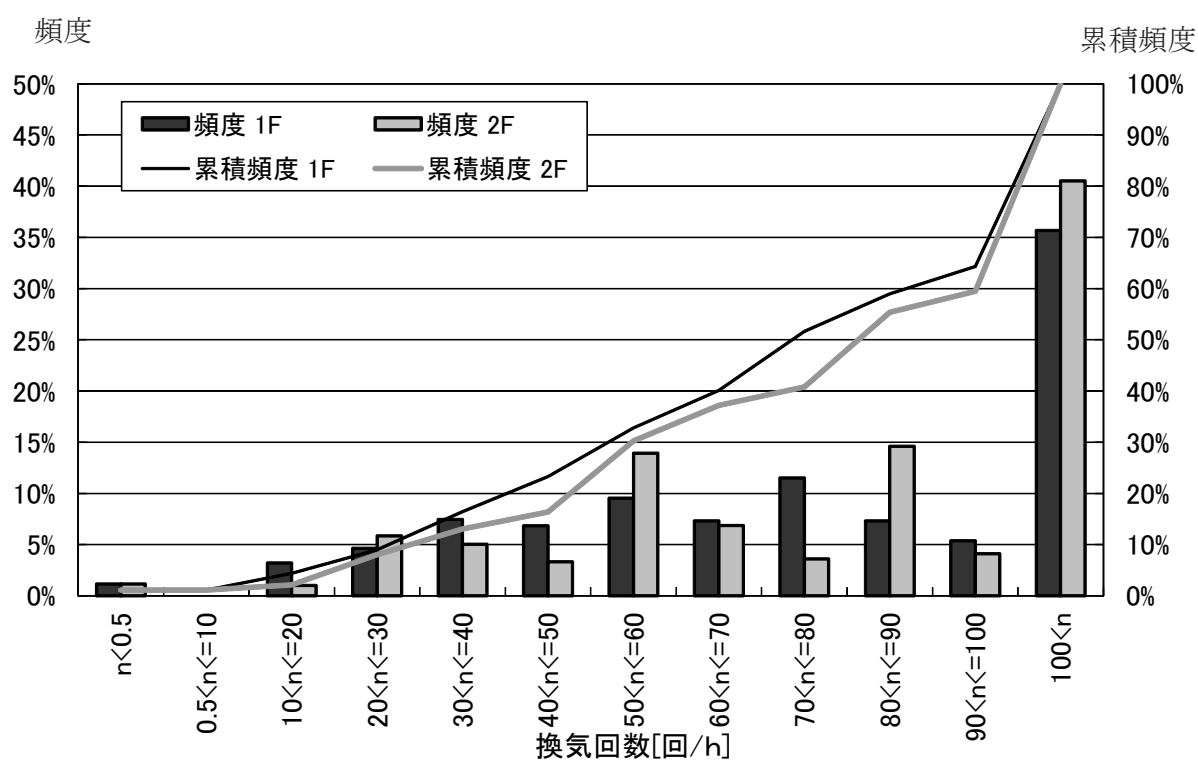


図 2.2.7 新潟の換気回数頻度分布

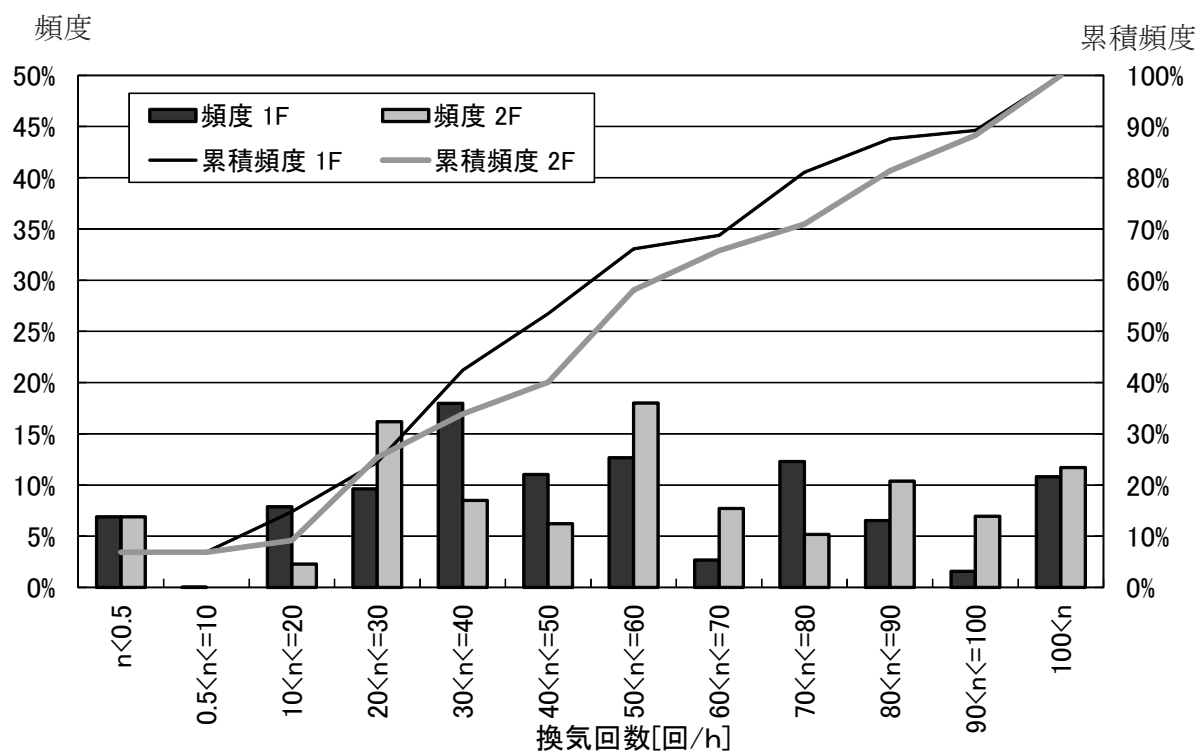


図 2.2.8 京都の換気回数頻度分布

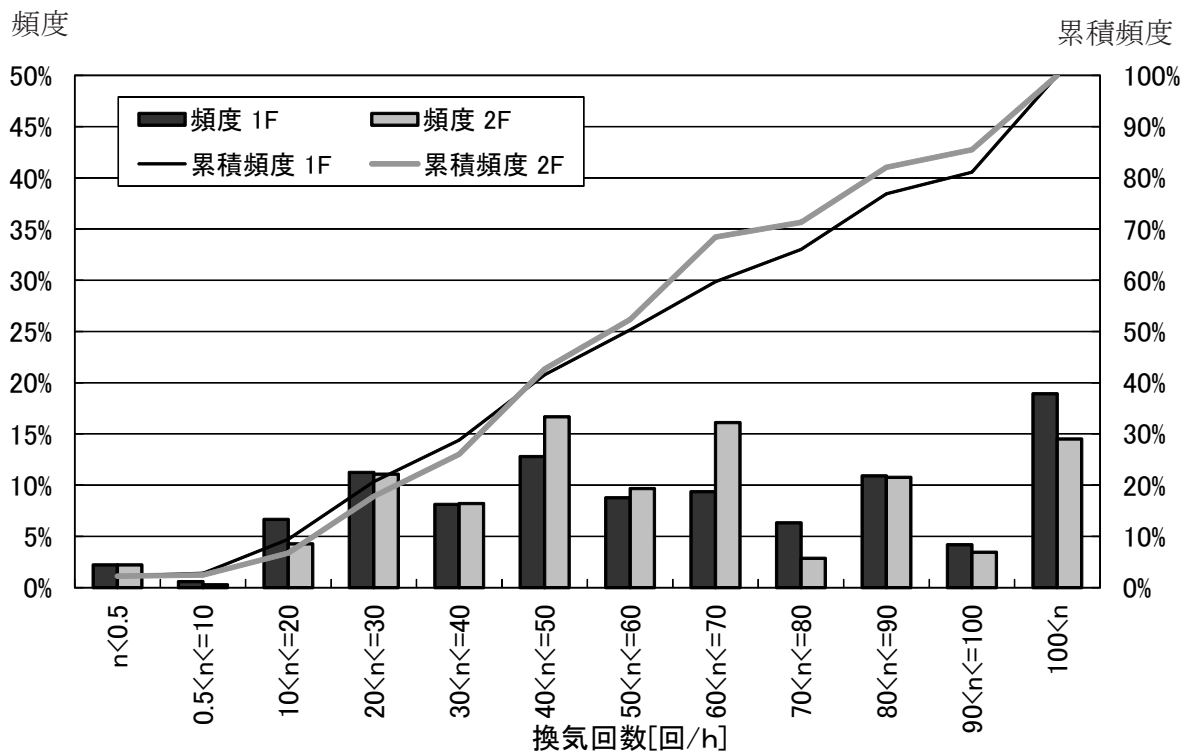


図 2.2.9 大阪の换气回数頻度分布

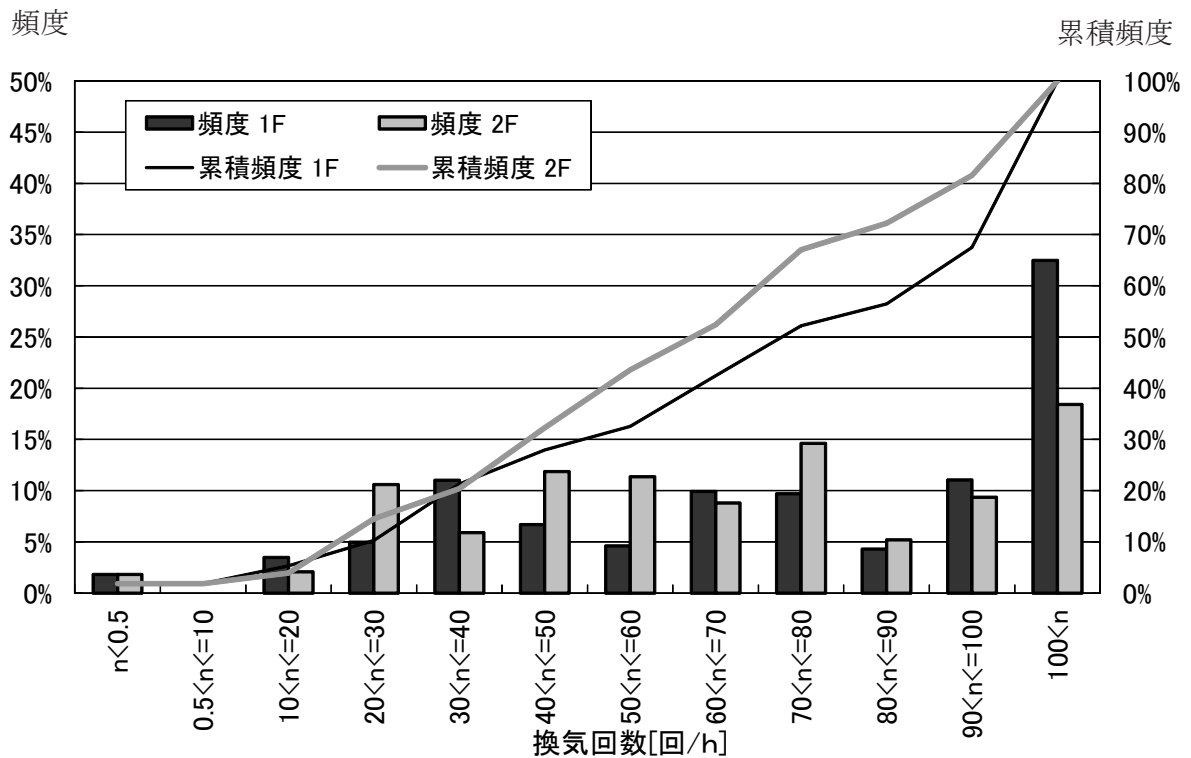


図 2.2.10 神戸の换气回数頻度分布

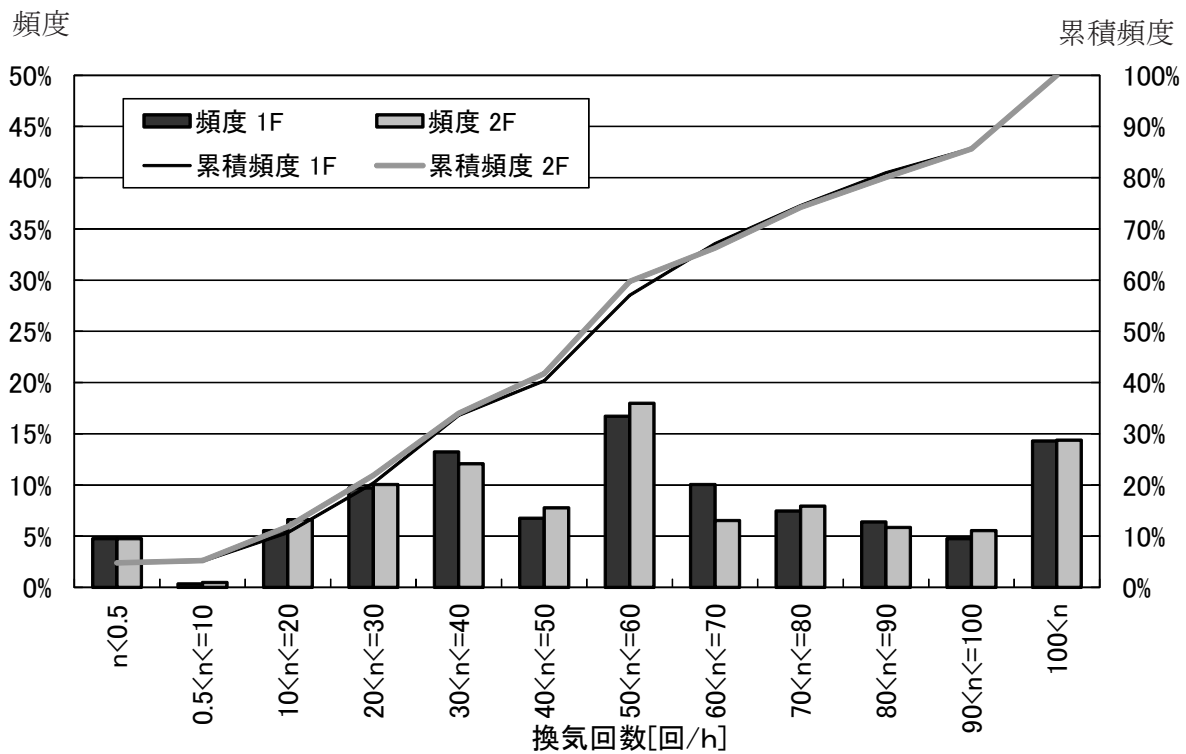


図 2.2.11 広島の換気回数頻度分布

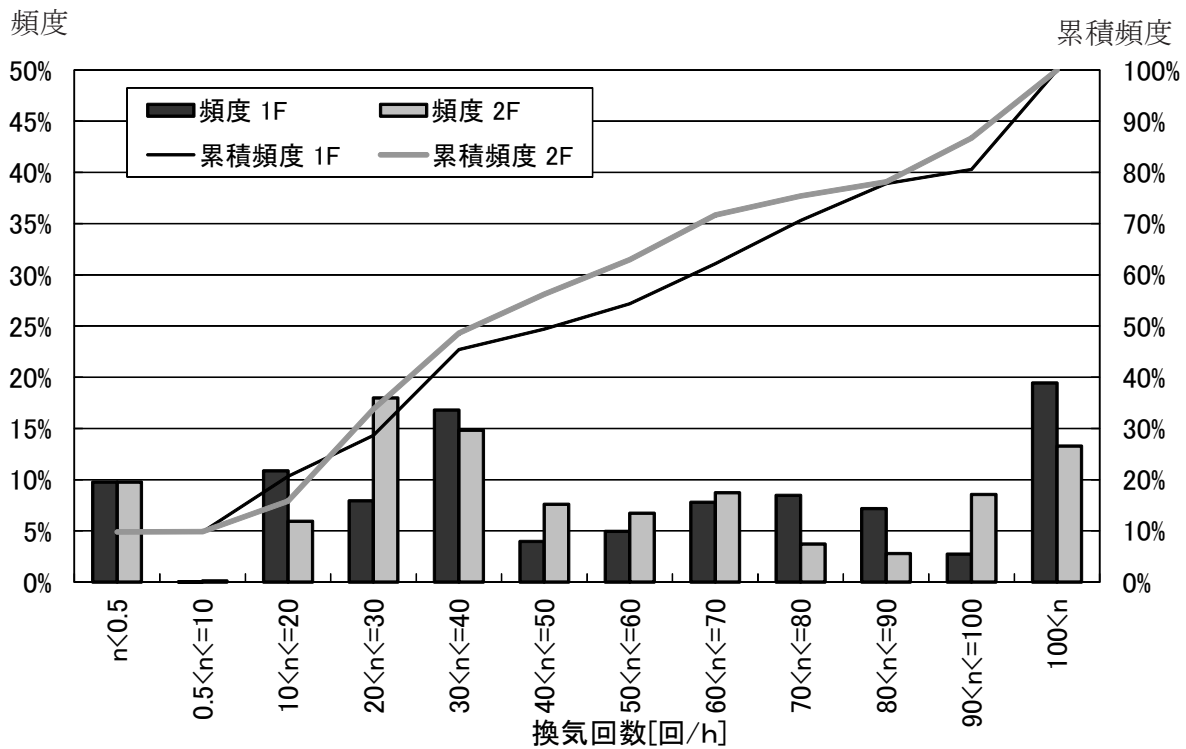


図 2.2.12 高知の換気回数頻度分布

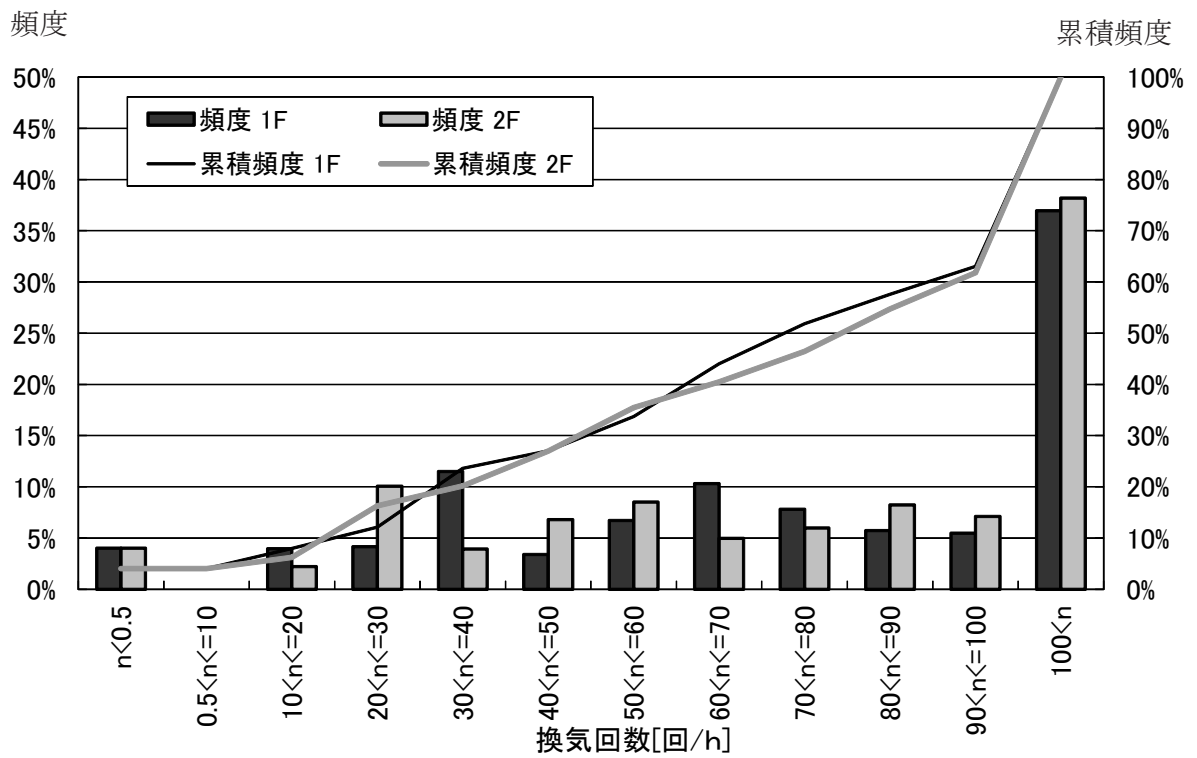


図 2.2.13 福岡の換気回数頻度分布

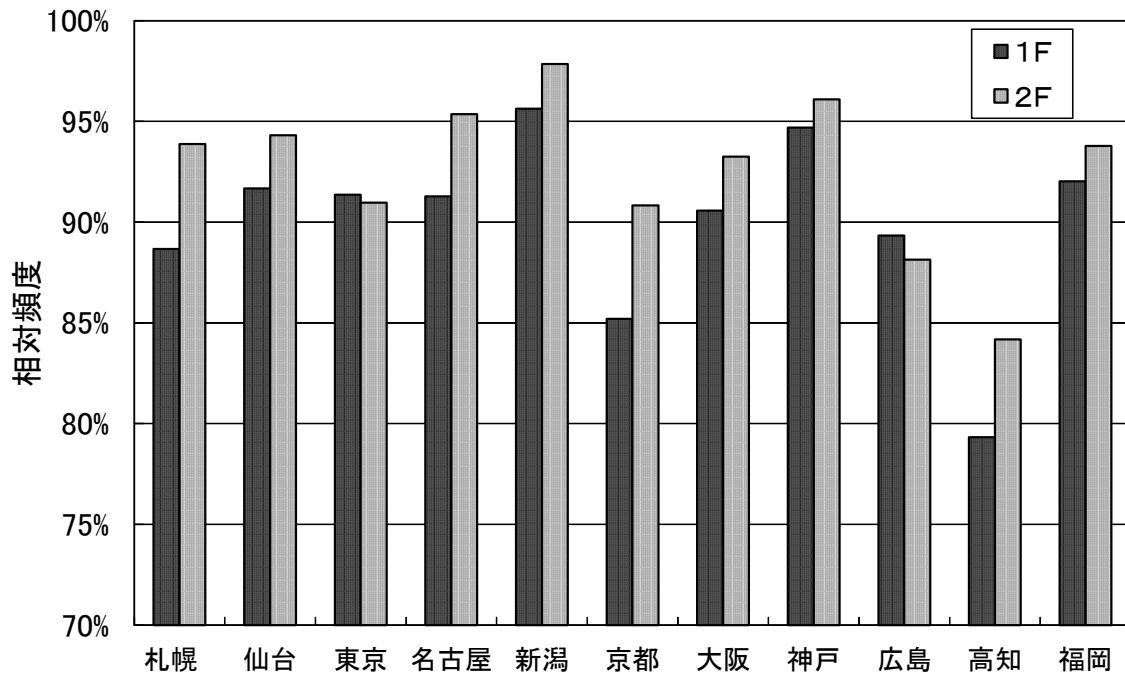


図 2.2.14 11 都市の有効換気回数以上での相対頻度



## 第3章 有効窓面積率（有効換気回数 20 回 /h の場合）

## 2.3.1 換気回数と窓面積率の関係

図 2.3.1 に各建蔽率における換気回数と窓面積率の関係を、図 2.3.2 に建蔽率 10、30、50%における換気回数と窓面積率の関係を、表 2.3.1 に各建蔽率における回帰式と寄与率を示す。上段に回帰式、下段に寄与率を示し、 $y$  を換気回数、 $x$  を窓面積率とする。単体、建蔽率 10、30、50%と高くなる程、傾きが小さくなる。単体と建蔽率 10、30、50%における換気回数の差は大きい。1 F よりも 2 F で傾きが大きい。また、殆どの回帰式において寄与率は 0.9 程度となる。この回帰式を用いて、窓面積率を 1 % 刻みとし、全国各地域の換気回数を算出する。

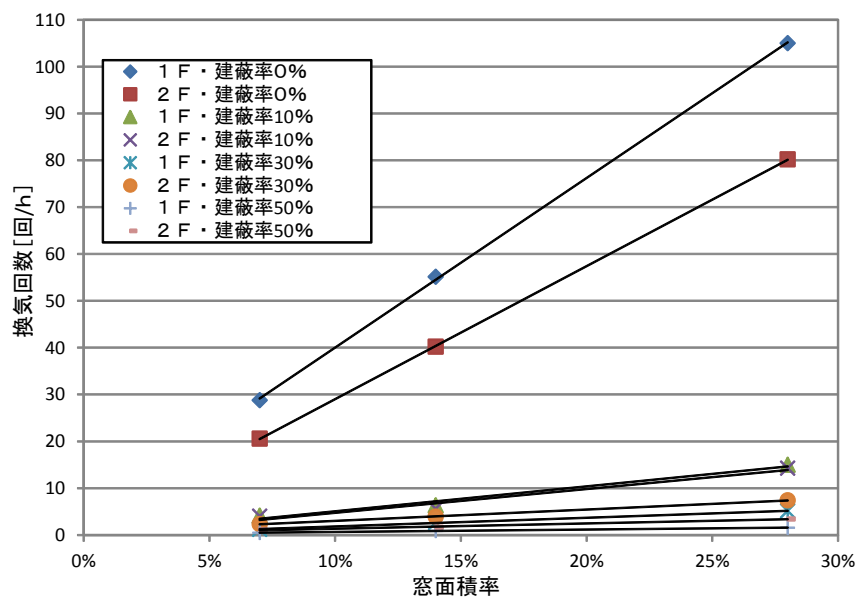


図 2.3.1 各建蔽率における換気回数と窓面積率の関係

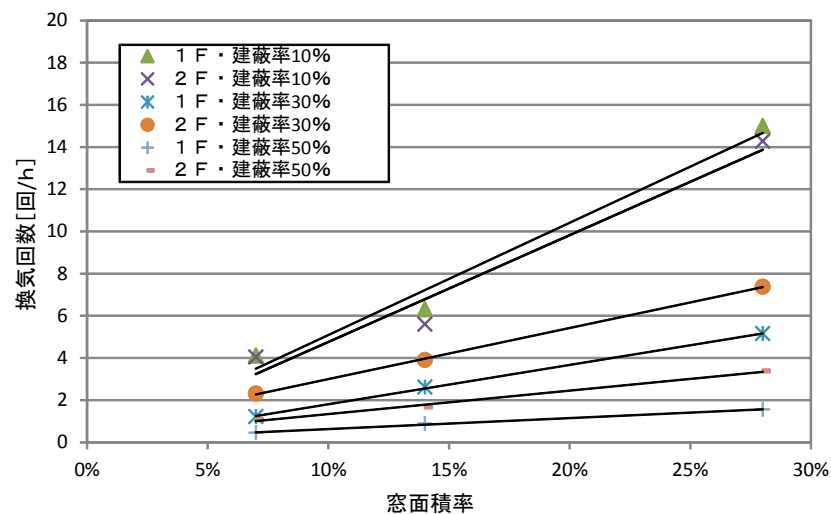


図 2.3.2 換気回数と窓面積率の関係（建蔽率 10、30、50%の場合）

表 2.3.1 各建蔽率における回帰式と寄与率

	建蔽率0%		建蔽率10%		建蔽率30%		建蔽率50%	
	1F	2F	1F	2F	1F	2F	1F	2F
NNE	$y = 208.67x - 3.8896$ $R^2 = 0.9981$	$y = 223.1x + 3.8323$ $R^2 = 0.9988$	$y = 24.995x - 0.1321$ $R^2 = 1$	$y = 30.124x + 1.0423$ $R^2 = 1$	$y = 12.236x + 0.2122$ $R^2 = 1$	$y = 16.674x + 0.7372$ $R^2 = 1$	$y = 2.6469x + 0.5807$ $R^2 = 1$	$y = 11.106x - 0.0768$ $R^2 = 1$
NE	$y = 157.27x - 2.2731$ $R^2 = 0.9978$	$y = 177.59x + 11.346$ $R^2 = 0.9949$	$y = 21.386x + 0.5047$ $R^2 = 1$	$y = 29.213x + 1.3259$ $R^2 = 1$	$y = 14.703x + 0.3385$ $R^2 = 1$	$y = 17.77x + 0.5514$ $R^2 = 1$	$y = 8.1271x + 0.6922$ $R^2 = 1$	$y = 11.936x - 0.0791$ $R^2 = 1$
ENE	$y = 138x + 3.3624$ $R^2 = 0.9934$	$y = 179.61x + 8.8624$ $R^2 = 0.9951$	$y = 19.724x + 0.3346$ $R^2 = 1$	$y = 31.743x + 0.6989$ $R^2 = 1$	$y = 15.34x + 0.4679$ $R^2 = 1$	$y = 17.309x + 0.5182$ $R^2 = 1$	$y = 9.6766x + 0.6833$ $R^2 = 1$	$y = 8.5206x + 0.3435$ $R^2 = 1$
E	$y = 82.997x + 6.4504$ $R^2 = 0.9688$	$y = 217.66x - 1.1405$ $R^2 = 0.9984$	$y = 13.571x + 0.558$ $R^2 = 1$	$y = 41.99x + 0.2117$ $R^2 = 1$	$y = 11.8x + 0.3867$ $R^2 = 1$	$y = 24.4x + 0.0803$ $R^2 = 1$	$y = 14.825x + 0.0662$ $R^2 = 1$	$y = 11.876x + 0.16$ $R^2 = 1$
ESE	$y = 167.84x - 0.2775$ $R^2 = 0.9993$	$y = 255.22x + 2.1669$ $R^2 = 0.9997$	$y = 20.026x + 0.211$ $R^2 = 1$	$y = 45.118x - 0.1454$ $R^2 = 1$	$y = 14.177x + 0.4253$ $R^2 = 1$	$y = 29.436x - 0.2862$ $R^2 = 1$	$y = 8.8564x + 0.8297$ $R^2 = 1$	$y = 17.72x - 0.2297$ $R^2 = 1$
SE	$y = 300.89x + 4.0431$ $R^2 = 0.9997$	$y = 309.55x + 2.1158$ $R^2 = 0.9994$	$y = 33.162x + 0.167$ $R^2 = 1$	$y = 44.402x + 0.2022$ $R^2 = 1$	$y = 17.104x + 0.4196$ $R^2 = 1$	$y = 30.476x - 0.1132$ $R^2 = 1$	$y = 7.2921x + 0.8399$ $R^2 = 1$	$y = 20.47x - 0.5291$ $R^2 = 1$
SSE	$y = 361.09x + 4.9087$ $R^2 = 0.9994$	$y = 299.78x - 0.6746$ $R^2 = 1$	$y = 33.162x + 0.167$ $R^2 = 1$	$y = 47.647x + 0.2374$ $R^2 = 1$	$y = 17.414x + 0.296$ $R^2 = 1$	$y = 27.936x + 0.1768$ $R^2 = 1$	$y = 6.1601x + 0.362$ $R^2 = 1$	$y = 16.932x - 0.238$ $R^2 = 1$
S	$y = 361.23x + 3.8366$ $R^2 = 0.9998$	$y = 280.12x + 0.5861$ $R^2 = 1$	$y = 50.153x + 0.906$ $R^2 = 0.98$	$y = 47.256x + 0.6153$ $R^2 = 0.9641$	$y = 18.144x + 0.0528$ $R^2 = 0.9994$	$y = 23.387x + 0.6229$ $R^2 = 0.9995$	$y = 5.0792x + 0.1252$ $R^2 = 0.9987$	$y = 10.611x + 0.3179$ $R^2 = 0.9928$
SSW	$y = 314.52x + 1.6983$ $R^2 = 1$	$y = 221.29x + 2.6075$ $R^2 = 0.9997$	$y = 43.802x + 0.5211$ $R^2 = 1$	$y = 35.983x + 0.5749$ $R^2 = 1$	$y = 14.899x + 0.3868$ $R^2 = 1$	$y = 13.674x + 0.845$ $R^2 = 1$	$y = 4.6023x + 0.429$ $R^2 = 1$	$y = 9.099x + 0.2147$ $R^2 = 1$
SW	$y = 213.46x + 6.7297$ $R^2 = 1$	$y = 125.8x + 9.6884$ $R^2 = 0.9946$	$y = 32.116x + 1.1632$ $R^2 = 1$	$y = 19.731x + 1.0028$ $R^2 = 1$	$y = 16.2x + 0.5541$ $R^2 = 1$	$y = 13.555x + 0.6432$ $R^2 = 1$	$y = 7.6799x + 0.905$ $R^2 = 1$	$y = 12.397x + 0.0261$ $R^2 = 1$
WSW	$y = 219.91x + 2.9737$ $R^2 = 0.9999$	$y = 141.75x + 2.5817$ $R^2 = 0.9976$	$y = 37.078x + 0.5257$ $R^2 = 1$	$y = 28.202x + 0.1053$ $R^2 = 1$	$y = 18.053x + 0.5427$ $R^2 = 1$	$y = 16.861x + 0.1529$ $R^2 = 1$	$y = 10.708x + 0.6187$ $R^2 = 1$	$y = 13.2x + 0.1836$ $R^2 = 1$
W	$y = 282.11x + 0.282$ $R^2 = 0.9998$	$y = 138.04x - 0.4959$ $R^2 = 1$	$y = 45.285x + 0.4034$ $R^2 = 1$	$y = 28.984x + 0.016$ $R^2 = 1$	$y = 16.266x + 0.5524$ $R^2 = 1$	$y = 18.591x + 0.0856$ $R^2 = 1$	$y = 13.886x + 0.106$ $R^2 = 1$	$y = 9.3979x + 0.6087$ $R^2 = 1$
WNW	$y = 302.84x + 3.5879$ $R^2 = 0.9981$	$y = 197.38x + 1.5166$ $R^2 = 0.9997$	$y = 50.252x + 0.321$ $R^2 = 1$	$y = 29.423x - 0.1922$ $R^2 = 1$	$y = 24.188x + 0.2278$ $R^2 = 1$	$y = 18.956x - 0.0949$ $R^2 = 1$	$y = 12.624x + 0.3711$ $R^2 = 1$	$y = 10.802x + 0.3892$ $R^2 = 1$
NW	$y = 341.83x - 0.2351$ $R^2 = 1$	$y = 231.36x + 5.1032$ $R^2 = 0.9968$	$y = 52.411x + 0.0662$ $R^2 = 1$	$y = 34.538x + 0.0322$ $R^2 = 1$	$y = 22.513x + 0.1305$ $R^2 = 1$	$y = 18.36x + 0.0537$ $R^2 = 1$	$y = 10.337x + 0.6048$ $R^2 = 1$	$y = 12.767x - 0.1348$ $R^2 = 1$
NNW	$y = 259.9x - 2.2042$ $R^2 = 0.9995$	$y = 238.82x + 5.3604$ $R^2 = 0.9968$	$y = 35.861x + 0.2384$ $R^2 = 1$	$y = 33.314x + 0.8824$ $R^2 = 1$	$y = 16.492x + 0.0159$ $R^2 = 1$	$y = 20.114x + 0.278$ $R^2 = 1$	$y = 4.6419x + 0.3685$ $R^2 = 1$	$y = 9.7234x - 0.0017$ $R^2 = 1$
N	$y = 186.6x - 2.6804$ $R^2 = 0.9981$	$y = 218.21x + 4.6499$ $R^2 = 0.9988$	$y = 22.545x + 0.0788$ $R^2 = 1$	$y = 34.451x + 1.0659$ $R^2 = 1$	$y = 8.2558x + 0.0184$ $R^2 = 1$	$y = 19.287x + 0.5815$ $R^2 = 1$	$y = 7.4554x + 0.1234$ $R^2 = 1$	$y = 10.606x + 0.1171$ $R^2 = 1$

### 2.3.2 有効窓面積率マップ

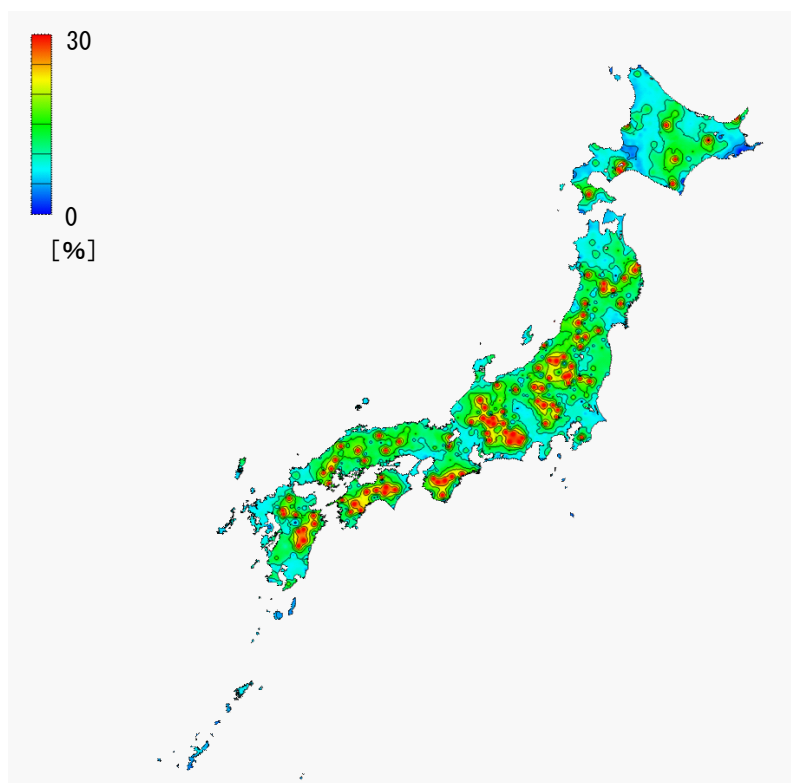
図 2.3.3 ～図 2.3.6 に窓面積率 0 ～ 140% における各建蔽率の有効窓面積率マップを、図 2.3.7 に各建蔽率における有効窓面積率の平均値を示す。

窓面積率 0 ～ 140% の場合は各建蔽率毎に殆ど色が同様である。また、内陸部では有効窓面積率が高く、海沿いの地域では低い傾向がある。地域差よりも建蔽率が有効窓面積率に大きく影響していると考えられる。

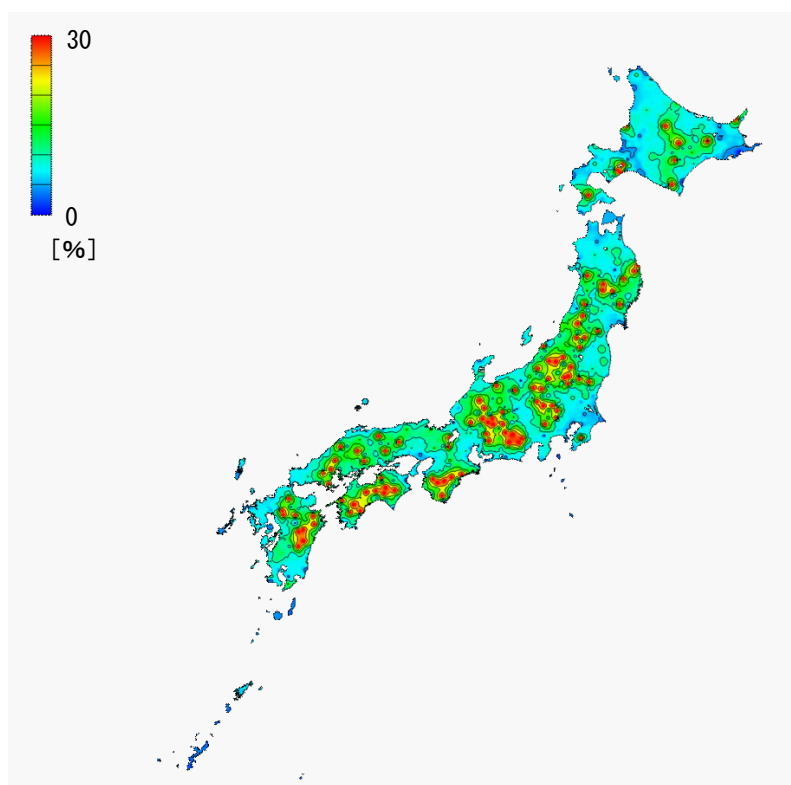
窓面積率を建蔽率毎に合わせた場合ではどの建蔽率でも 1F より 2F の窓面積率は小さい傾向がある。どの建蔽率でも有効窓面積率は地域によって異なり、内陸部では有効窓面積率が高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためと考えられる。但し、瀬戸内海に面した高松や松山では有効窓面積率は高い。また、島や山、岬などの風速が速くなる地域では有効窓面積率は特に低くなっている。

単体、建蔽率 10% では分布がよく表れているが、建蔽率 30% は殆どの地域で有効窓面積率 100% 以上が必要である。また、建蔽率 50% も殆どの地域で有効窓面積率 140% 以上が必要である。

有効窓面積率の平均値は単体、建蔽率 10、30、50% と大きくなるほど有効窓面積率の平均値も大きくなる。また、どの建蔽率でも 1F よりも 2F が有効窓面積率の平均値は小さい。単体では他の建蔽率と比較して 1F、2F の差は小さい。

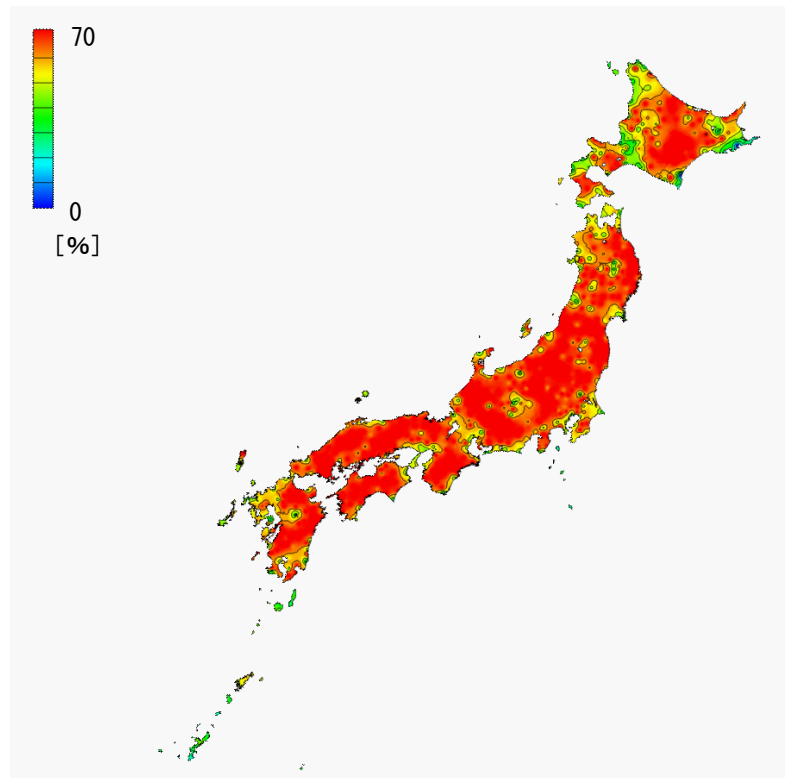


(1) 1F

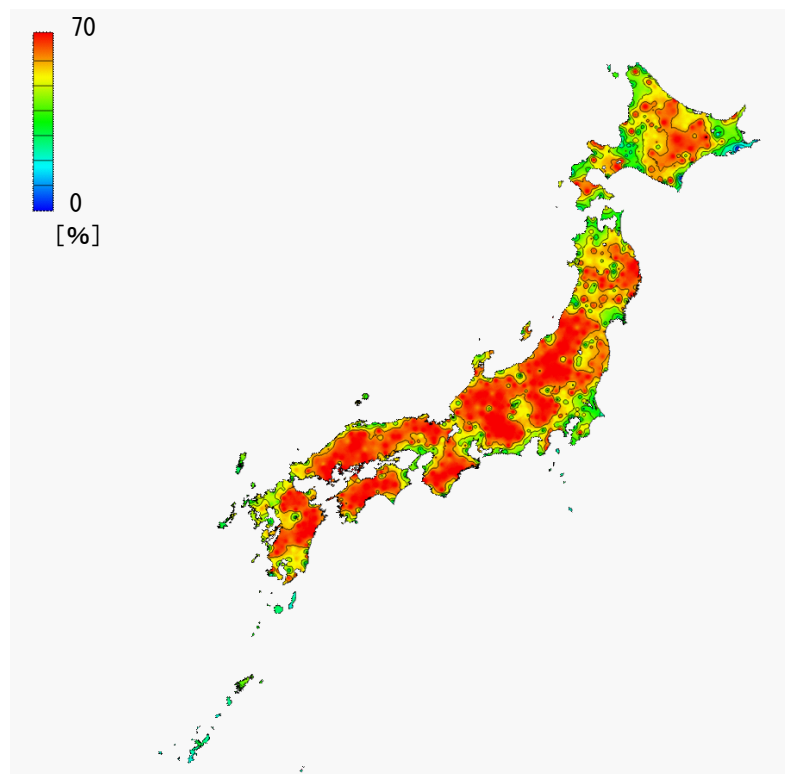


(2) 2F

図 2.3.3 単体の有効窓面積率マップ

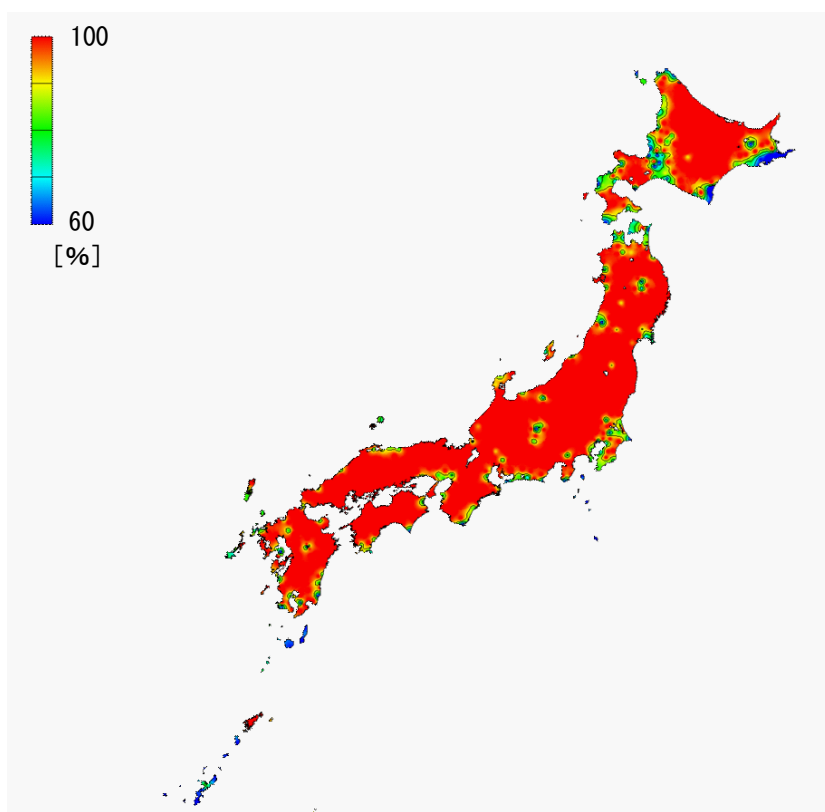


(1) 1F

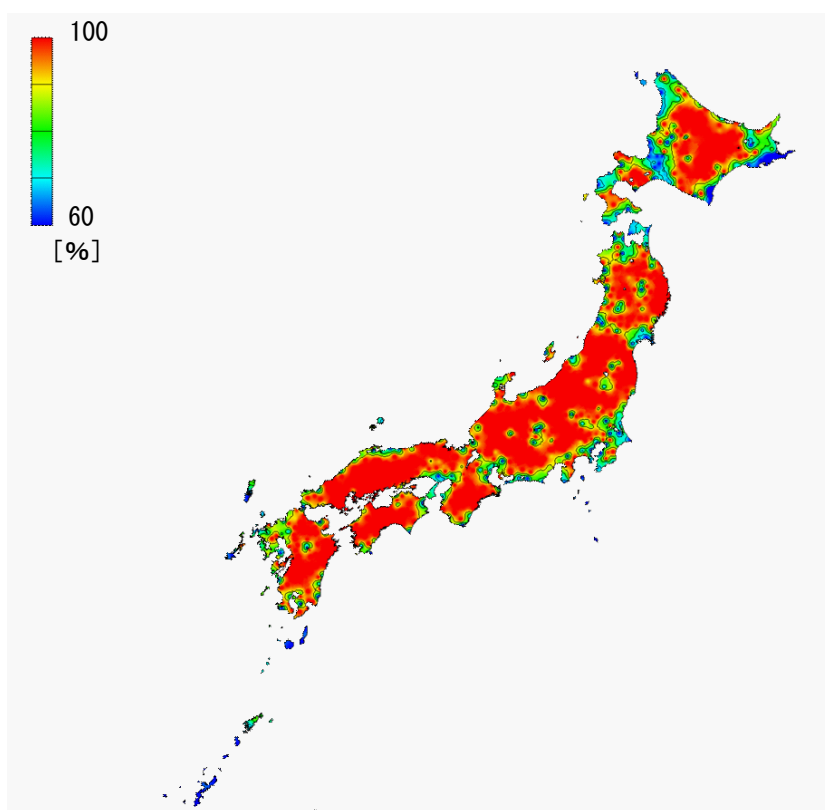


(2) 2F

図 2.3.4 建蔽率 10%の有効窓面積率マップ

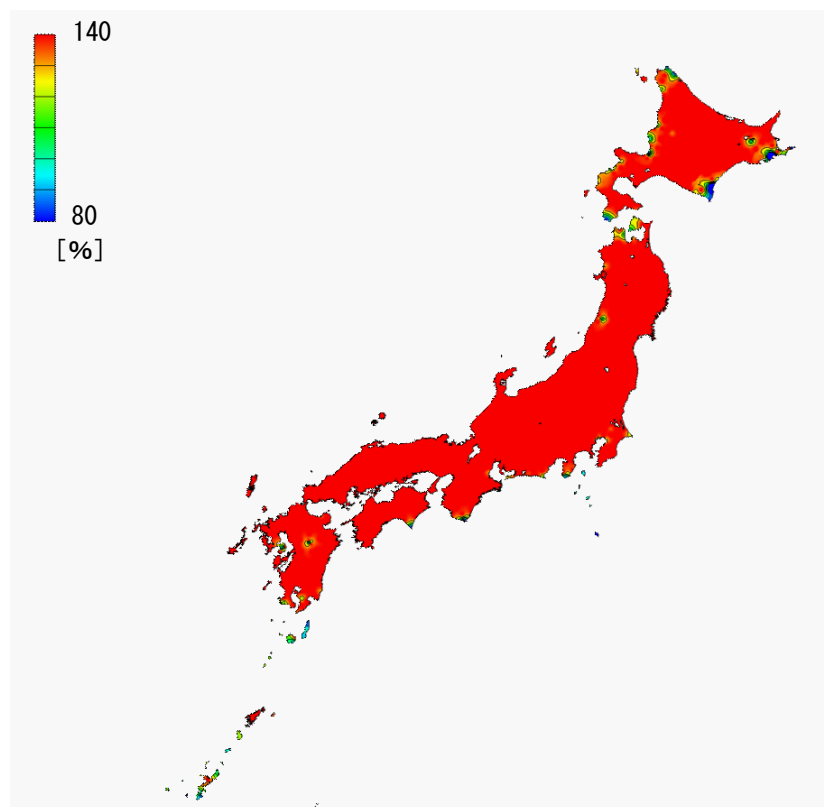


(1) 1F

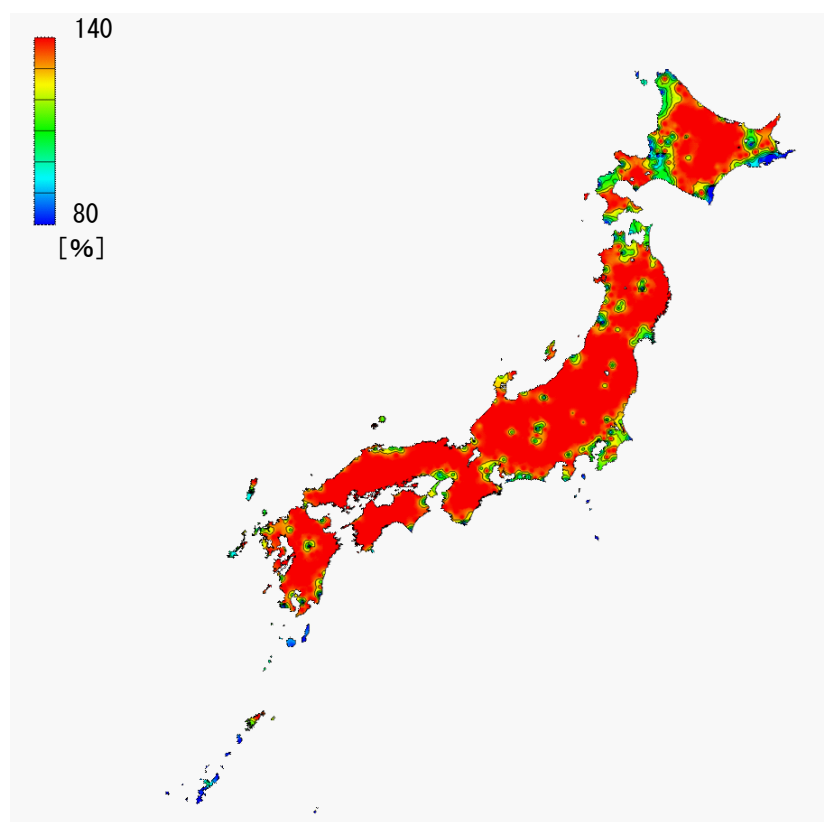


(2) 2F

図 2.3.5 建蔽率 30%の有効窓面積率マップ



(1) 1F



(2) 2F

図 2.3.6 建蔽率 50%の有効窓面積率マップ

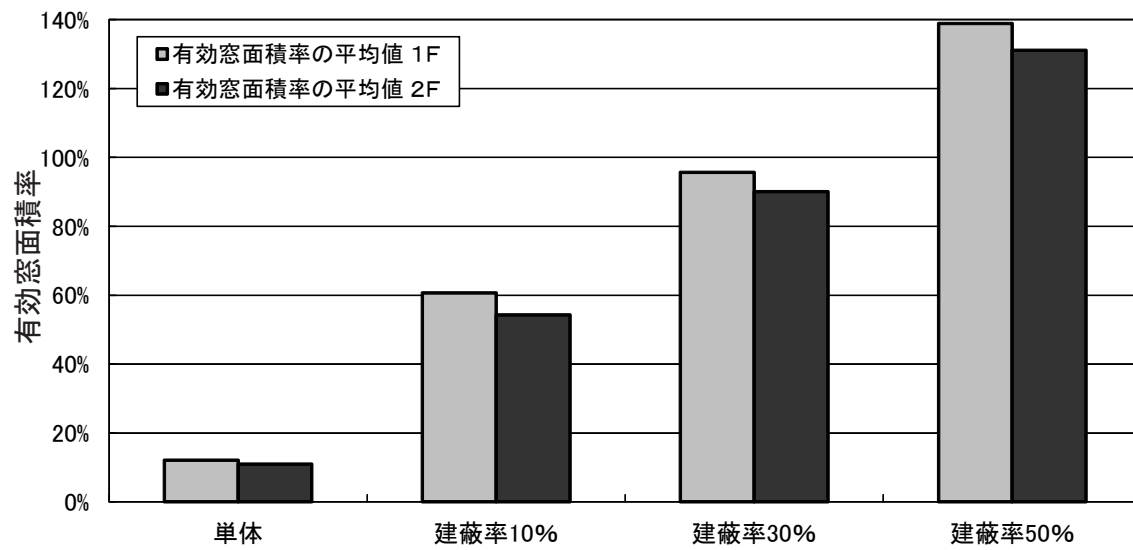


図 2.3.7 各建蔽率における有効窓面積率の平均値

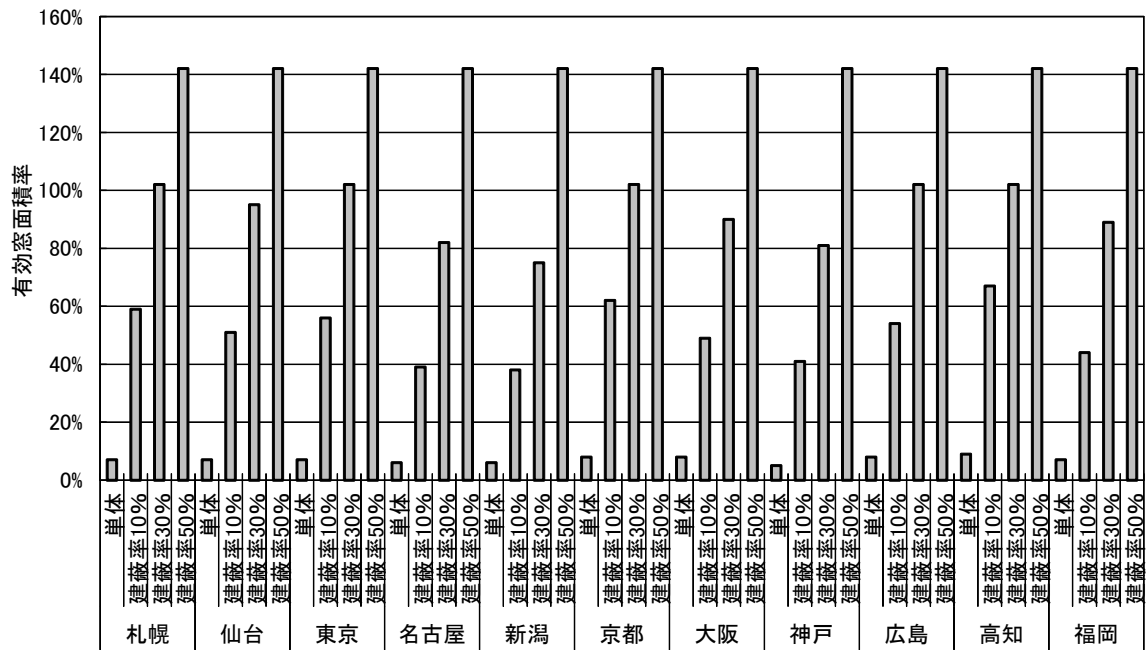


### 2.3.3 有効窓面積率の地域比較

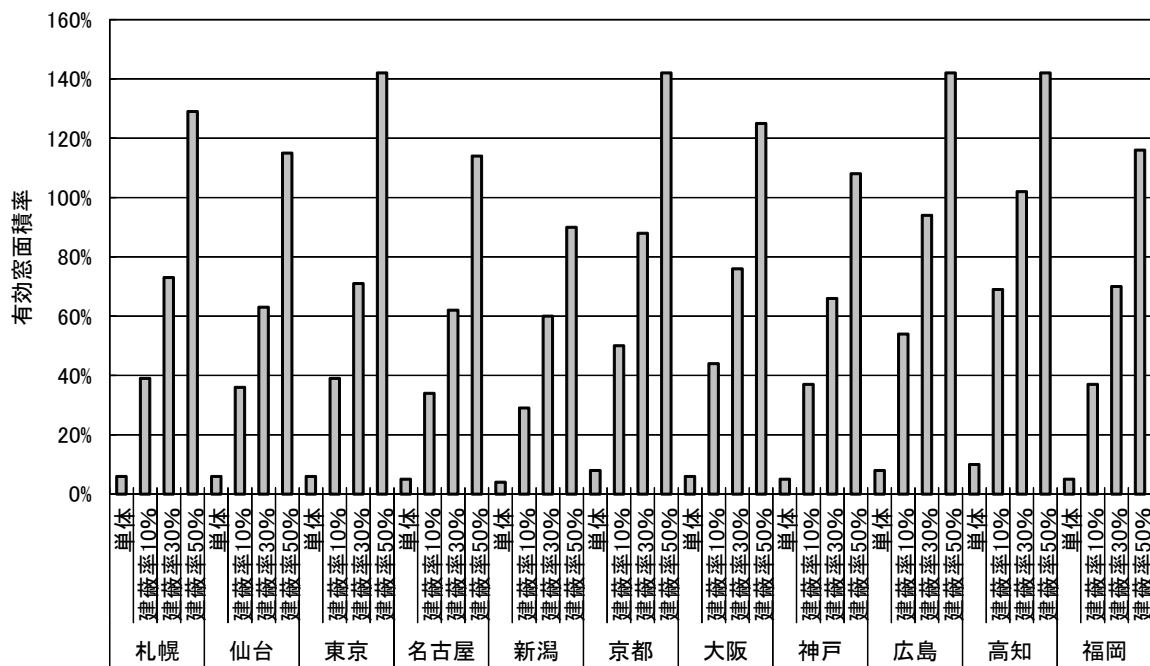
図 2.3.8 に各建蔽率の主要 11 都市における有効窓面積率を示す。

どの地域でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。特に、風速の遅い京都や高知などの地域では変化が大きくなっている。新潟や福岡などの風速の速い地域では有効窓面積率は低く、京都や高知などの風速の遅い地域では有効窓面積率は高い。建蔽率 50%に着目すると、有効窓面積率は新潟が 90%程度、福岡が 110%程度となり、京都、高知では 140%を超えている。

また、1 F より 2 F は有効窓面積率が小さい傾向がある。1 F では建蔽率 30、50%では殆どの都市の有効窓面積率は最大窓面積率を超える程大きい。



(1) 1F



(2) 2F

図 2.3.8 11都市における有効窓面積率

## 第4章 解析結果（有効換気回数 10 回 /h の場合）

## 2.4.1 有効換気回数の再検討

第3章では有効換気回数 20 回 /h 以上の建蔽率 10、30、50%における有効窓面積率は実用性に乏しい結果となった。そこで、有効換気回数 20 回 /h の設定を改めて検討する。図 2.4.1 に新潟における各換気回数の平均室内外温度差を示す。換気回数 10 回 /h の場合でも殆ど室内と外気温の差は 1℃程度である。そこで、有効換気回数を 10 回 /h と設定し直し、窓面積率を算出する。

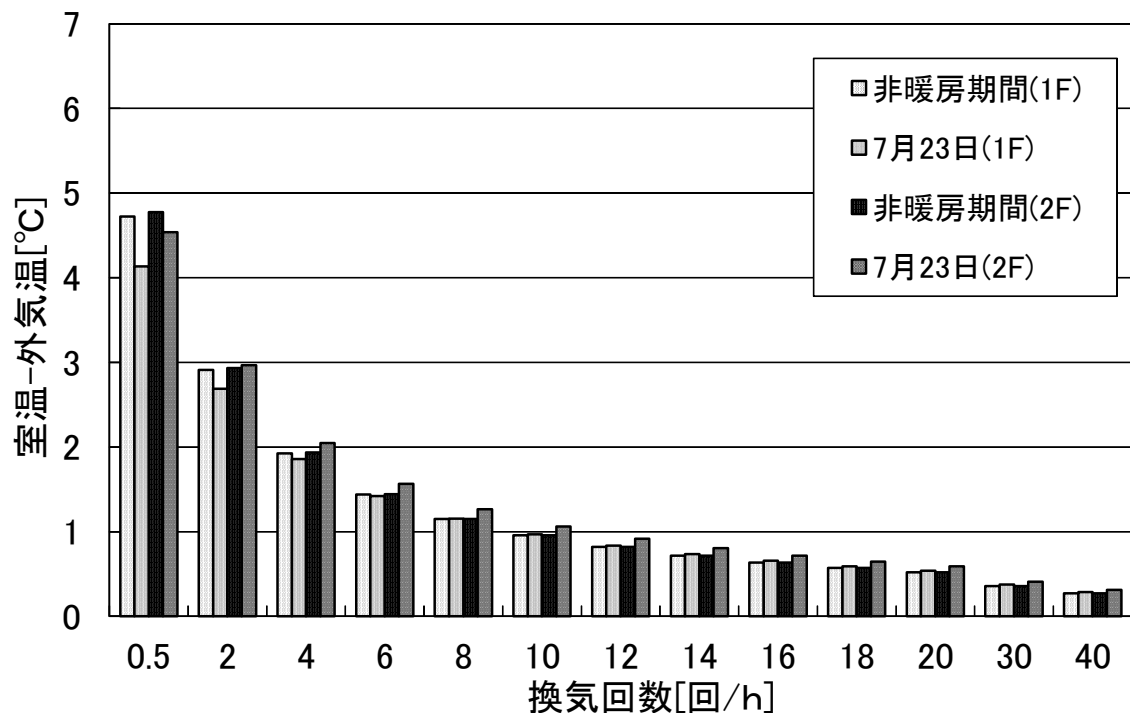


図 2.4.1 新潟における各換気回数の平均室内外温度差

## 2.4.2 有効窓面積率マップ

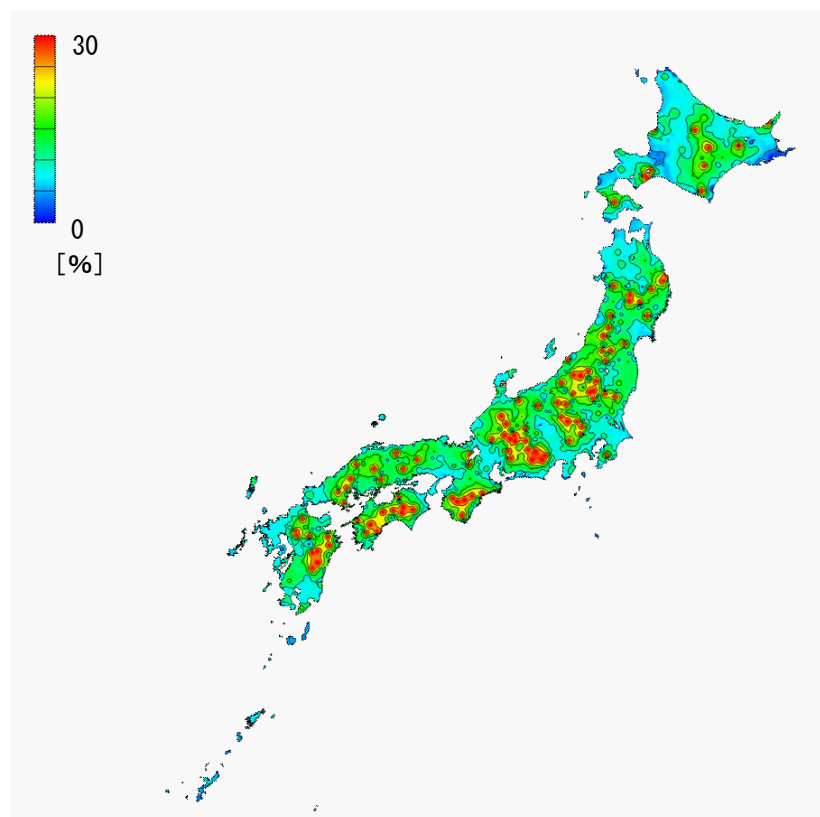
図2.4.2～図2.4.5に有効換気回数を10回/hとした場合の有効窓面積率マップを、図2.4.6に各建蔽率における有効窓面積率の平均値を示す。

窓面積率0～140%では各建蔽率毎に殆ど色が同様である。また、内陸部では有効窓面積率が高く、海沿いの地域では低い傾向がある。地域差よりも建蔽率が有効窓面積率に大きく影響していると考えられる。

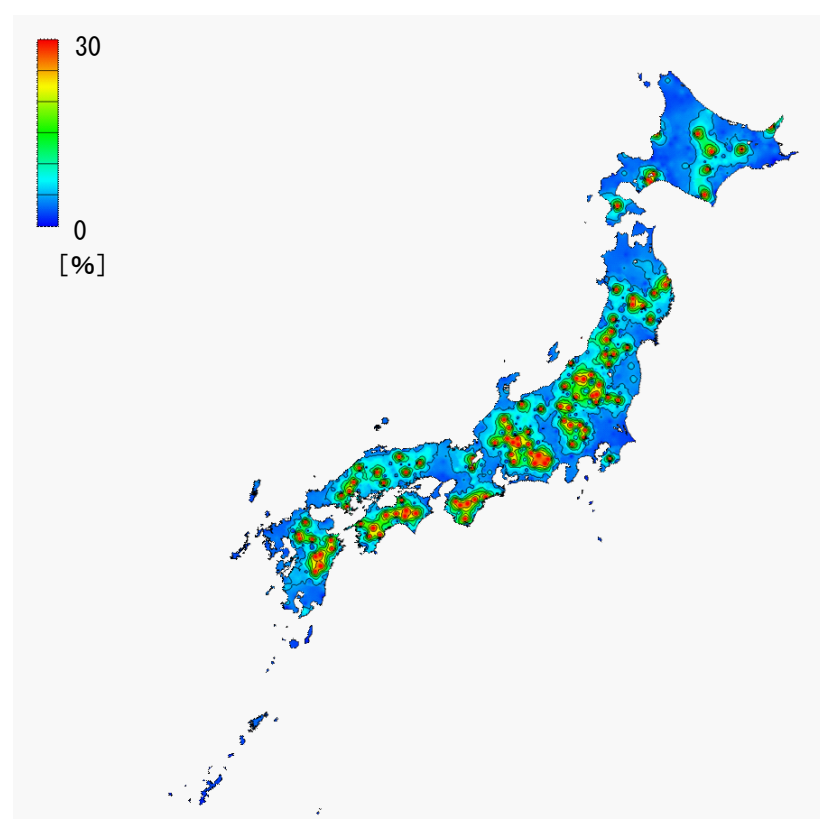
窓面積率を各建蔽率に合わせた場合ではどの建蔽率でも1Fより2Fの窓面積率は小さい傾向がある。どの建蔽率でも有効窓面積率は地域によって異なり、内陸部では有効窓面積率が高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためと考えられる。但し、瀬戸内海に面した高松や松山では有効窓面積率は高い。また、島や山、岬などの風速が速くなる地域では有効窓面積率は特に低くなっている。

有効換気回数20回/hの場合と比較すると、建蔽率30、50%でもよく分布が表れており、実用性のある値に近づいたと考えられる。

有効窓面積率の平均値は単体、建蔽率10、30、50%と大きくなるほど有効窓面積率の平均値も大きくなる。また、どの建蔽率でも1Fよりも2Fが有効窓面積率の平均値は小さい。建蔽率50%では他の建蔽率と比較して1F、2Fの差は大きい。

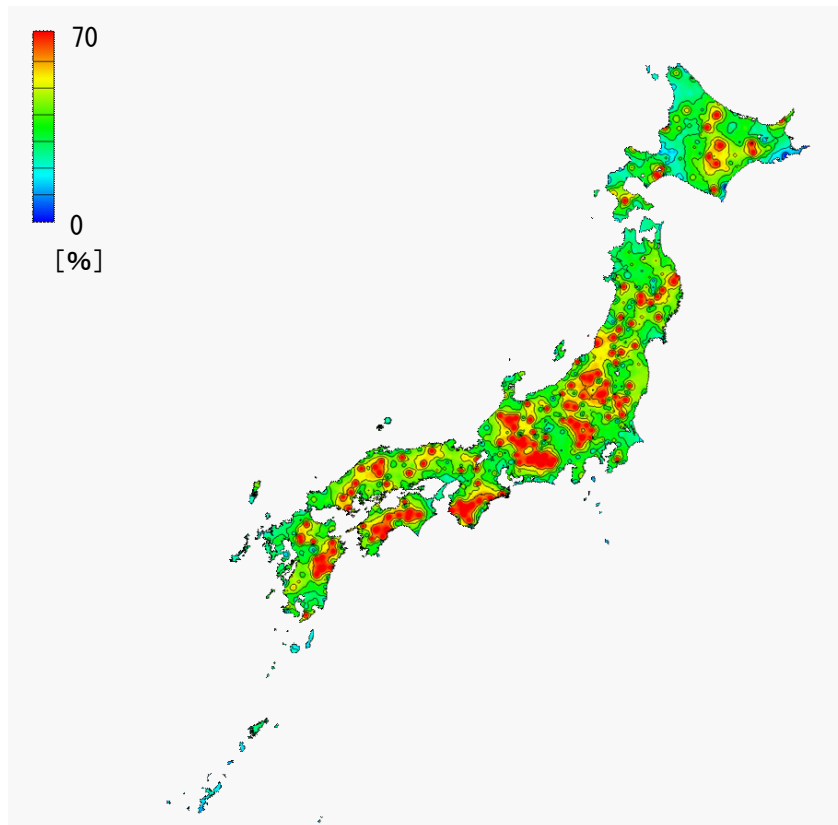


(1) 1F

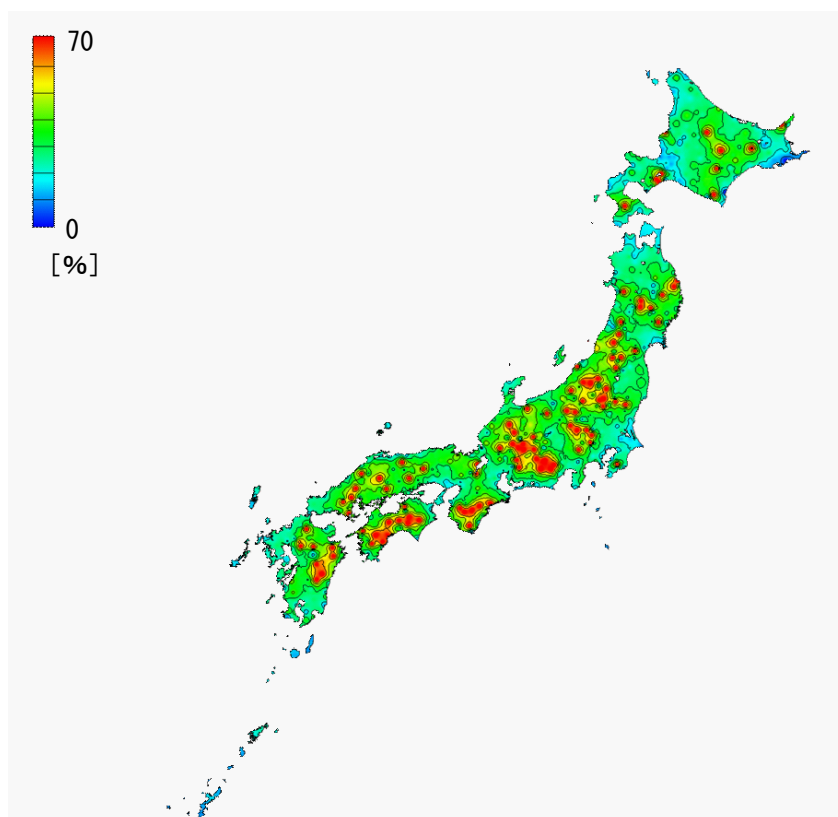


(2) 2F

図 2.4.2 単体の有効窓面積率マップ

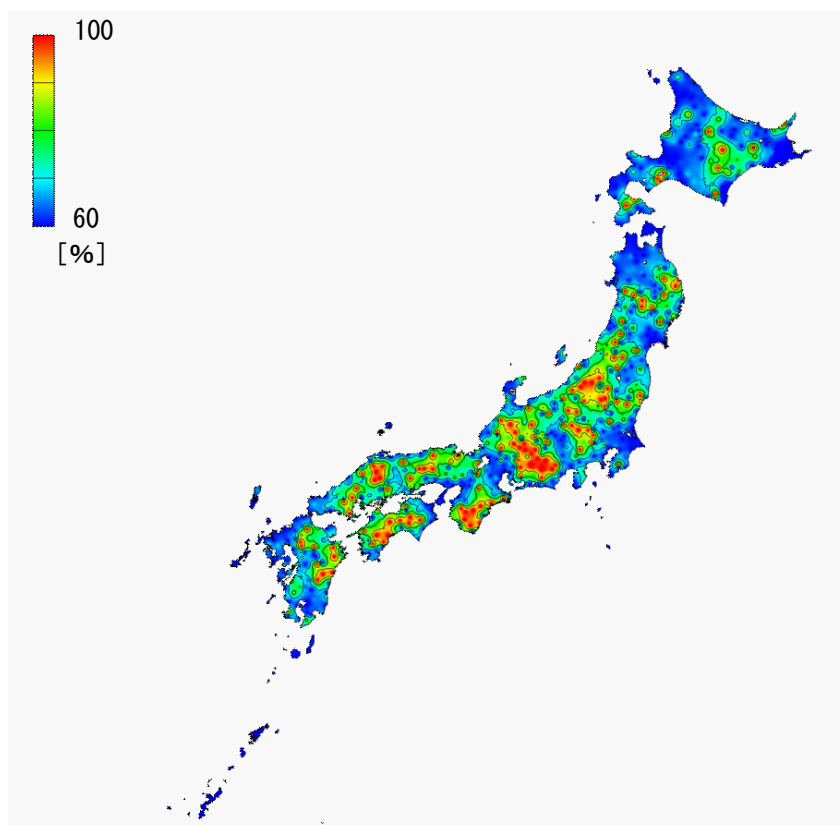


(1) 1F

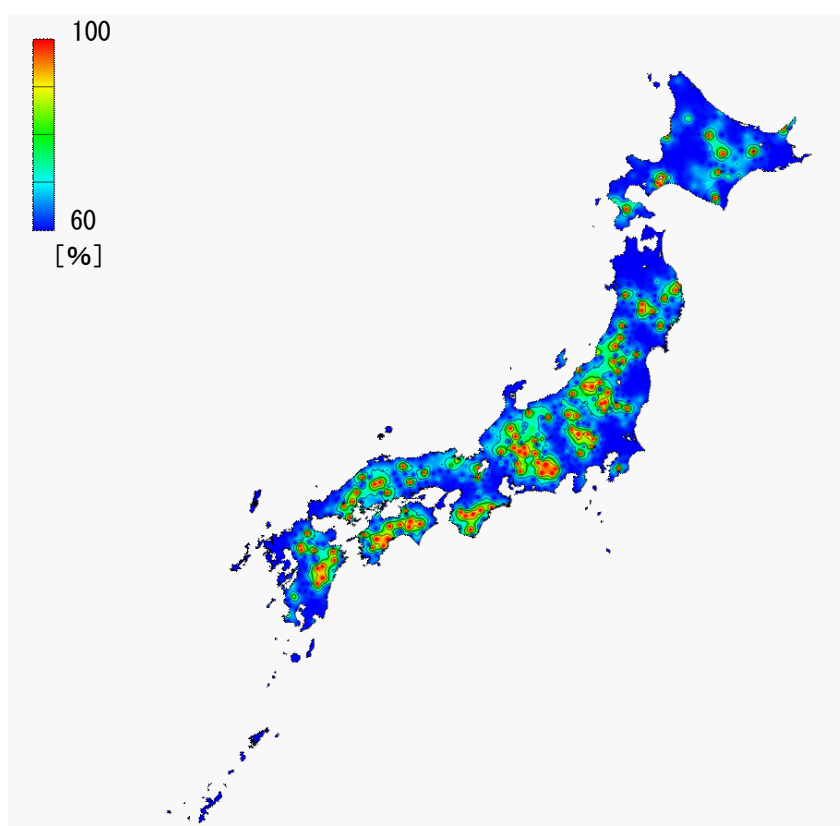


(2) 2F

図 2.4.3 建蔽率 10%の有効窓面積率マップ

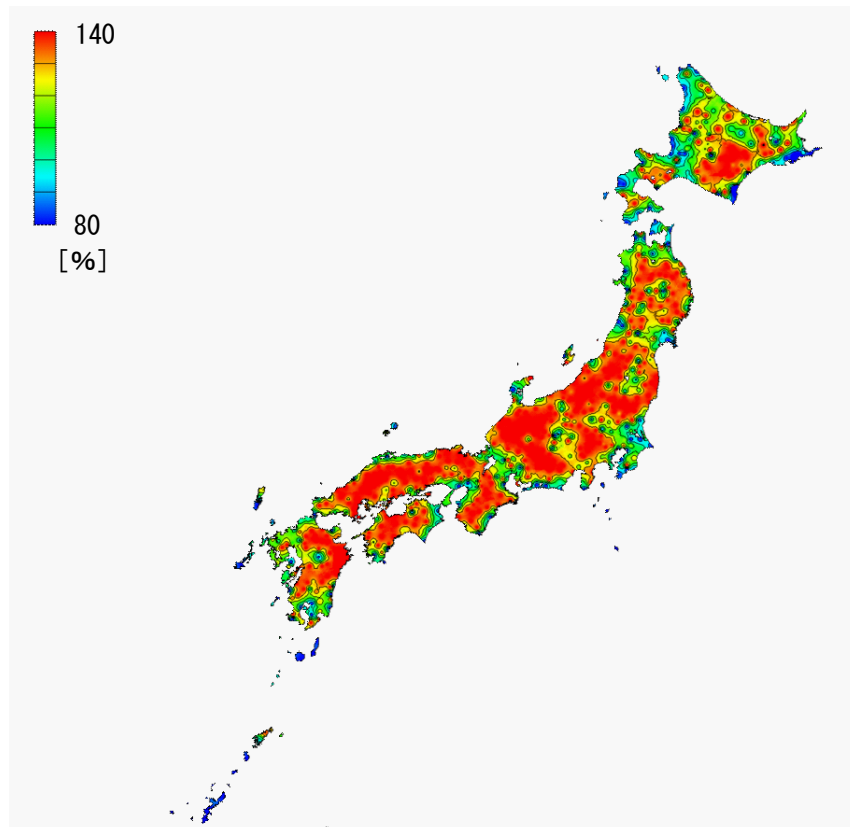


(1) 1F

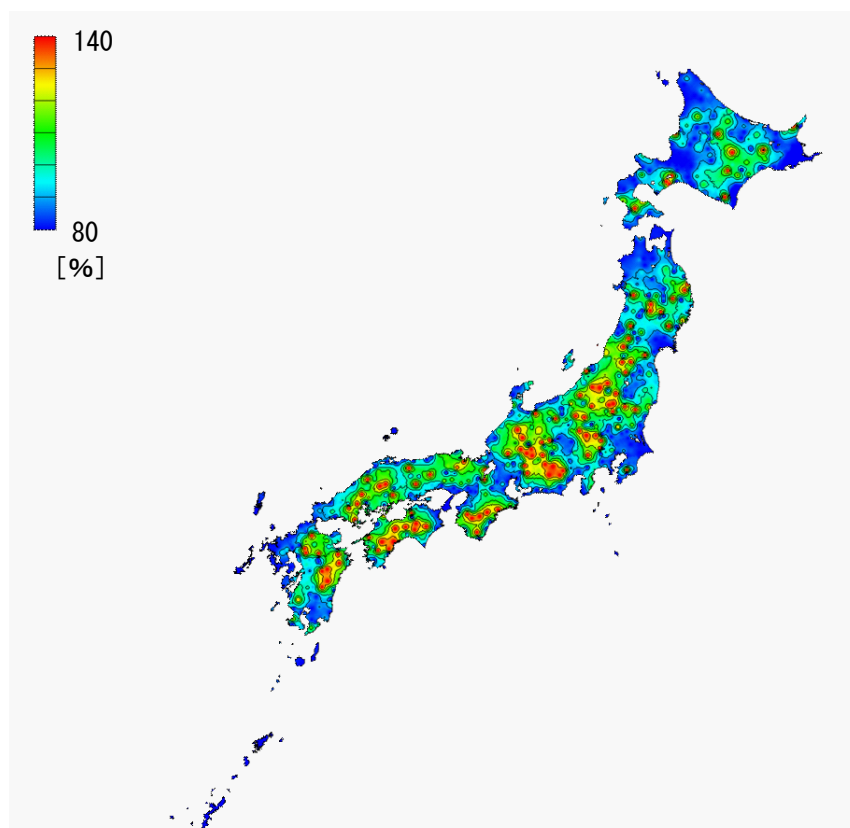


(2) 2F

図 2.4.4 建蔽率 30%の有効窓面積率マップ



(1) 1F



(2) 2F

図 2.4.5 建蔽率 50%の有効窓面積率マップ



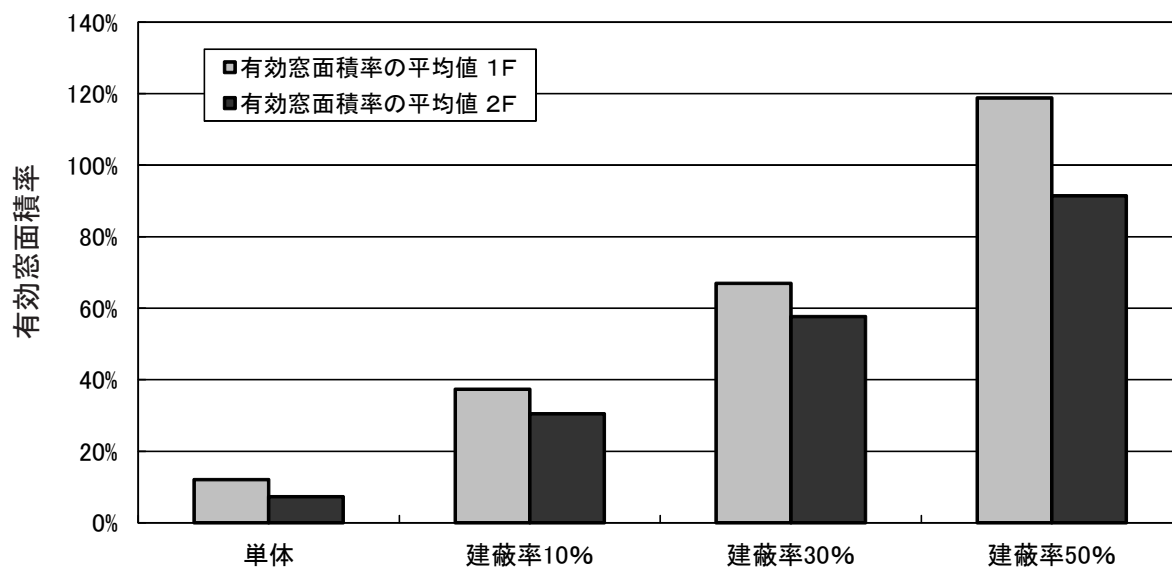


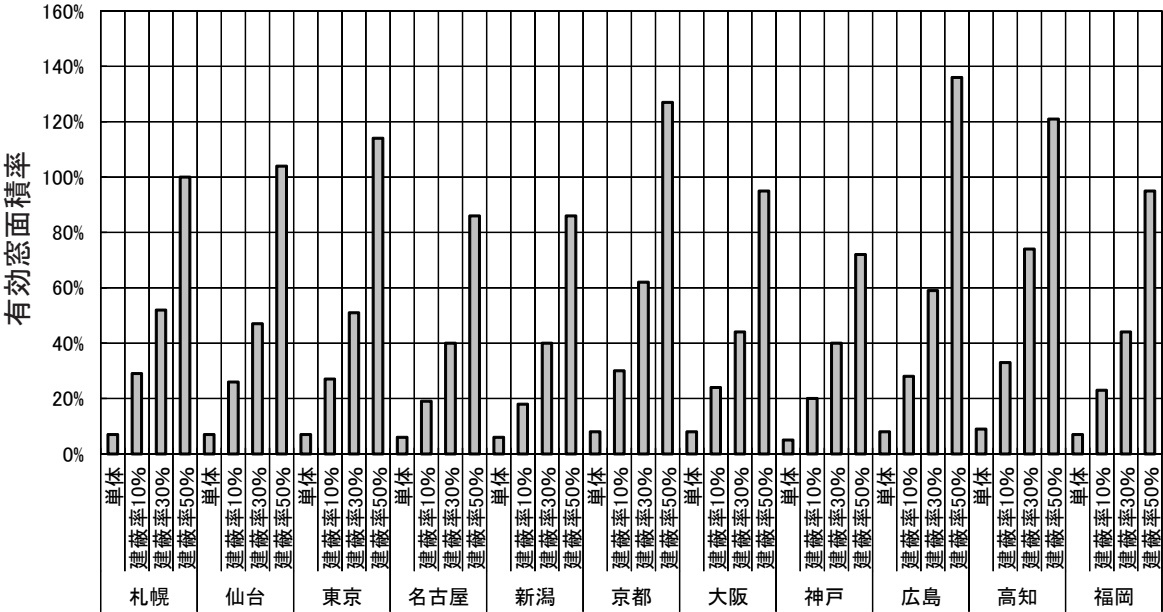
図 2.4.6 各建蔽率における有効窓面積率の平均値

### 2.4.3 有効窓面積率の地域比較

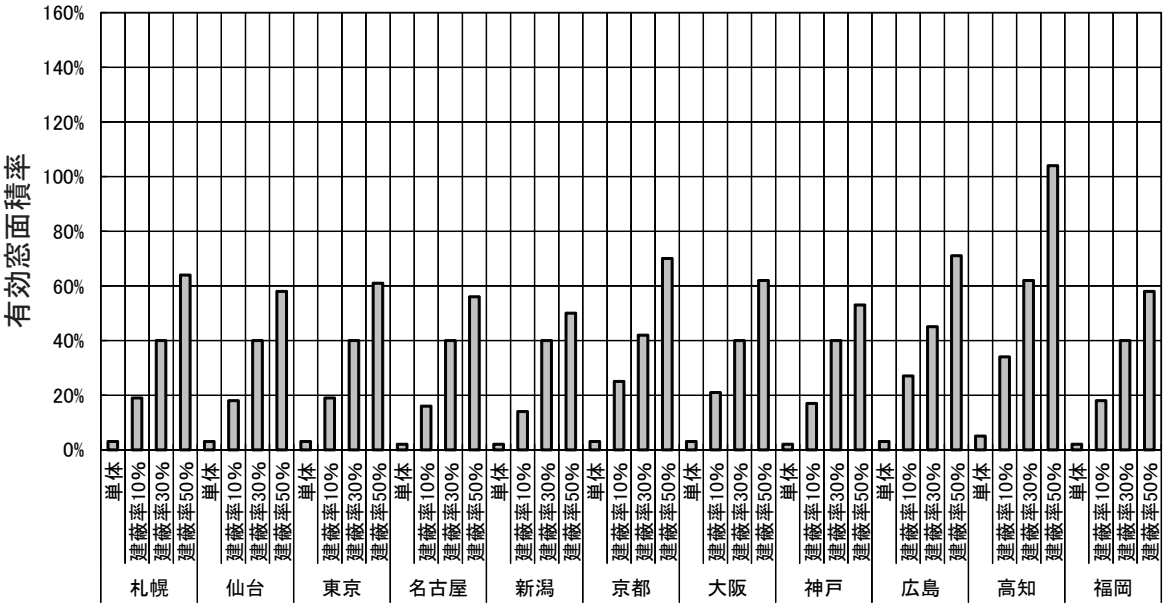
図 2.4.7 に各建蔽率の主要 11 都市における有効窓面積率を示す。

どの地域でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。特に、風速の遅い京都や高知などの地域では変化が大きくなっている。新潟や福岡などの風速の速い地域では有効窓面積率は低く、京都や高知などの風速の遅い地域では有効窓面積率は高い。建蔽率 50%に着目すると、新潟、福岡の有効窓面積率は 25%程度となり、京都、高知では 55%程度になっており、2 倍以上の差がある。建蔽率が大きくなる程、風速の速い地域と遅い地域の窓面積率の差が大きくなる。

また、1 F より 2 F は有効窓面積率が小さい。1 F では建蔽率 50%で仙台、東京、京都、広島、高知の 5 都市で有効窓面積率は 100%を超えるが、140%以下になっている。2 F では建蔽率 50%で高知のみ有効窓面積率が 100%を超えており、他の都市は有効窓面積率は 80%以下となっている。



(1) 1F



(2) 2F

図 2.4.7 主要 11 都市における有効窓面積率

## 第5章 まとめ

### 第2章

- ①換気回数が多くなる程、室温は外気温に近づき、新潟の7月23日（日平均外気温が最高の日）、非暖房期間ともに換気回数20回/hでは室温と外気温の差は1℃以下となり、十分に室温が低下している。
- ②十分に室温が低下する換気回数は20回/hである。
- ③新潟では実換気回数100回/h以上の累積頻度が20%程度になっており、換気回数20回/h（有効換気回数）の頻度を上回っている。
- ④どの都市でも有効換気回数以上の頻度割合が80%程度を満たしており、十分な室温低下効果が得られていると考えられる。
- ⑤ある程度の開口面積以上では室温低下効果は同様であると考えられる。次の章では有効換気回数20回/hを基準として十分な室温低下効果が得られる最小の開口面積の検討を行う。

### 第3章

- ①無風の頻度を考慮し、有効換気回数20回/h以上の頻度が非暖房期間に占める割合が70%以上のときの窓面積率を有効窓面積率と定義した。
- ②どの建蔽率でも有効窓面積率は内陸部で高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためである。また、建蔽率30、50%では有効窓面積率が最大窓面積率を超える地域が多い。
- ③地域差よりも建蔽率が有効窓面積率に大きく影響していると考えられる。
- ④どの地域でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。建蔽率50%では最大窓面積率を超える都市が多い。

### 第4章

- ①第3章で最大窓面積率を超える都市が多かったため、有効換気回数10回/h以上の頻度が非暖房期間に占める割合が70%以上のときの窓面積率を有効窓面積率と定義し直した。
- ③どの建蔽率でも有効窓面積率は内陸部で高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためである。また、有効換気回数20回/hと比較すると、建蔽率30、50%でも最大窓面積率を超えない地域が多い。
- ④どの地域でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。広島のみ最大窓面積率を超えている。





### 第3編 通風性能簡易評価モデルを対象とした解析





## 第1章 実在住宅の通風経路のモデル化

## 3.1.1 住宅プランの分類

対象とする戸建住宅の平面計画は大手ハウスメーカー7社※の8戸、ハウジング新潟の50戸の計58戸（2階建て56戸、1階建て2戸）とし、通風経路に着目してモデル化を行う。

図3.1.1に住宅平面計画の分類フローを示す。対象とする平面計画を各階において通風性能に影響を及ぼす間仕切り壁の数、中間室外壁の開口の有無、室間の開口の繋がり方で類型化し、プランAからプランEの5つと間仕切り壁の存在しないパターン（単純住宅モデル）の計6パターンに分類する。

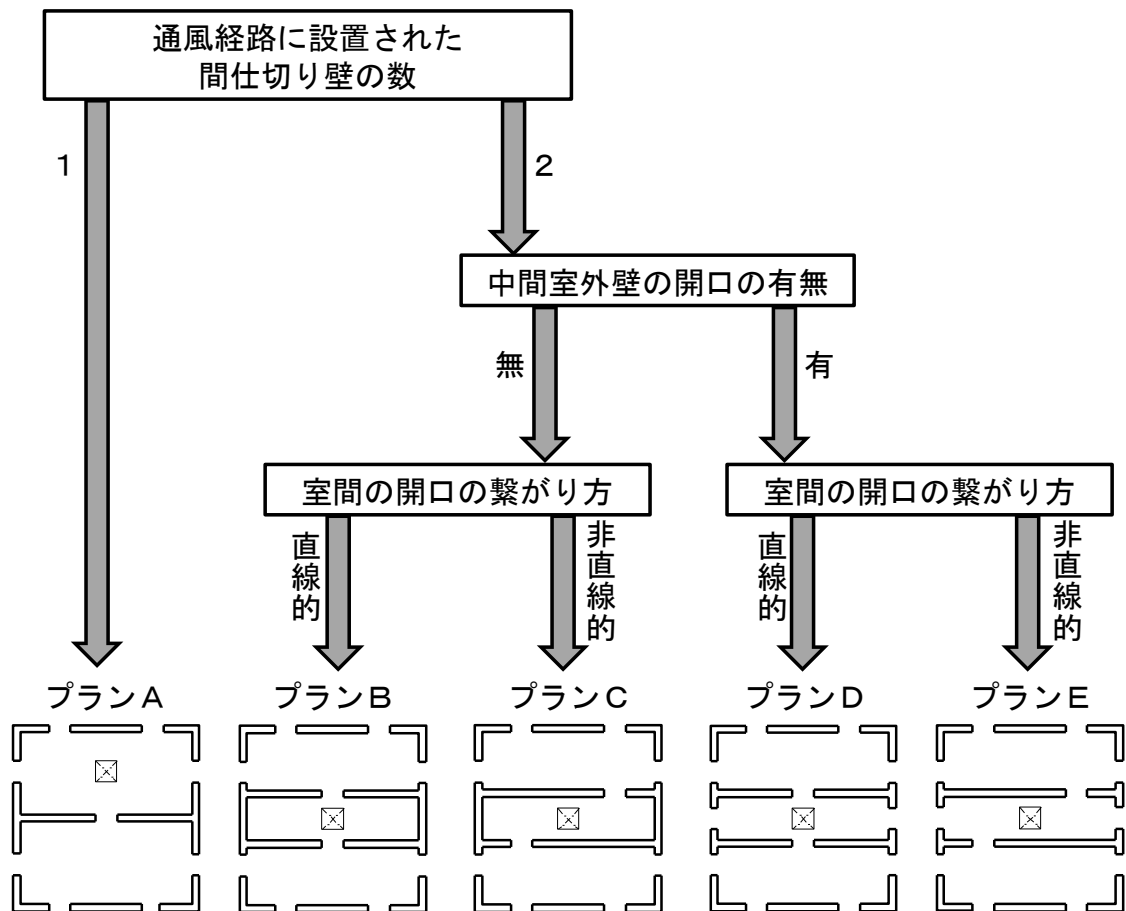


図3.1.1 住宅平面計画の分類フロー

※ 大和ハウス、積水ハウス、住友林業、セキスイハイム、ミサワホーム、旭化成ホームズ、パナホーム

## 各プランの分類方法

- ①プランAは間仕切り壁の数が1枚で中間室が無いプランである。
- ②プランBは間仕切り壁の数が2枚で中間室外壁に開口が無く、室間の繋がりが直線的なプランである。
- ③プランCは間仕切り壁の数が2枚で中間室外壁はプランBと同様、開口がなく、室間の繋がりが非直線的なプランである。
- ④プランDは間仕切り壁の数が2枚で中間室外壁に開口を有し、室間の繋がりが直線的なプランである。
- ⑤プランEは間仕切り壁の数が2枚で中間室外壁はプランDと同様、開口を有し、室間の繋がりが非直線的なプランである。

図 4. 1. 2 ～ 4. 1. 7 に各プランの通風経路のモデル化例を示す。

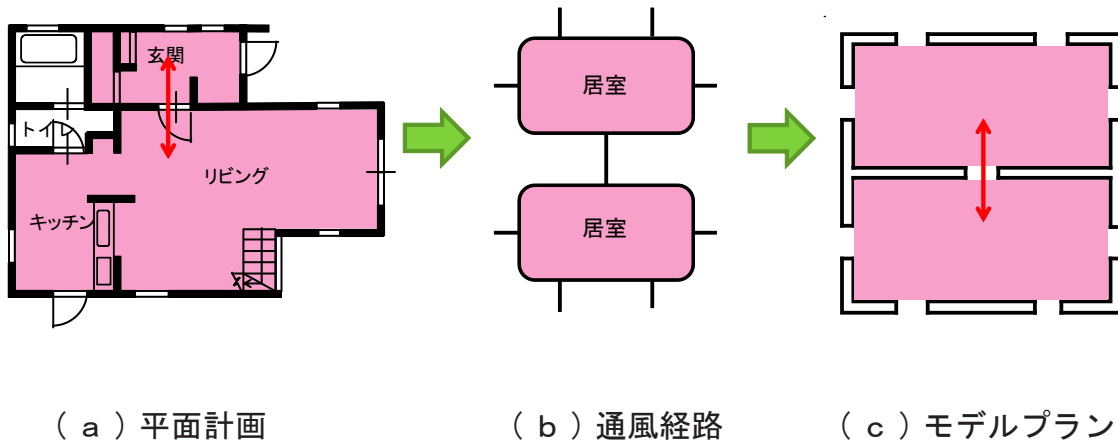


図 3. 1. 2 通風経路のモデル化例（プランA）

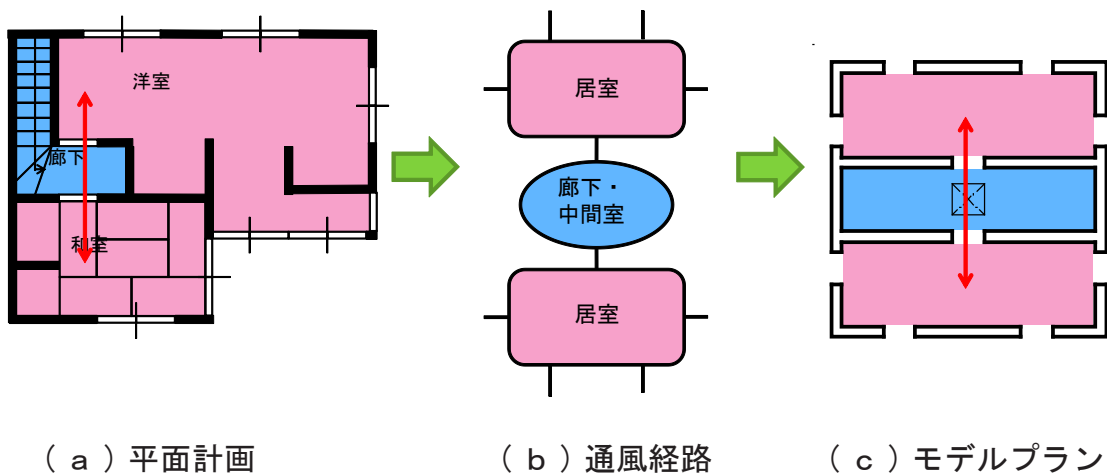


図 3. 1. 3 通風経路のモデル化例（プランB）

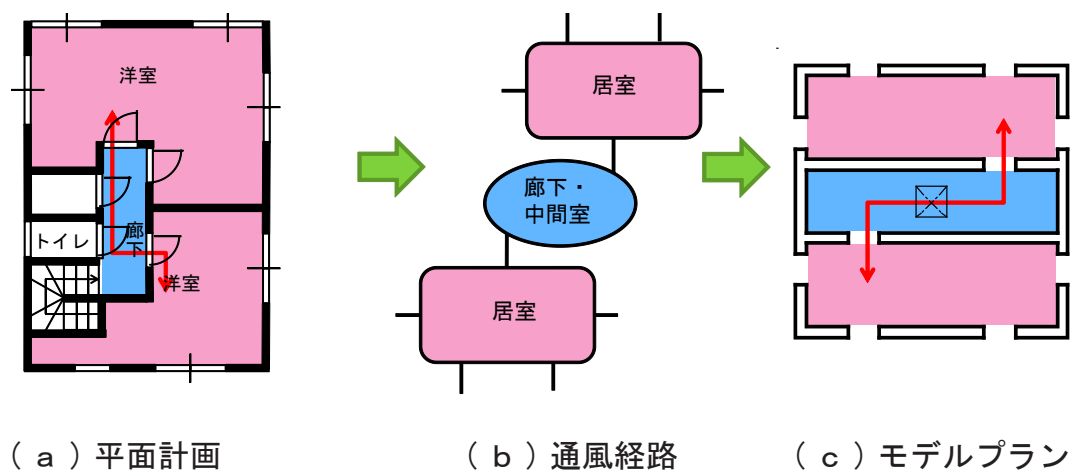


図 3.1.4 通風経路のモデル化例（プランC）

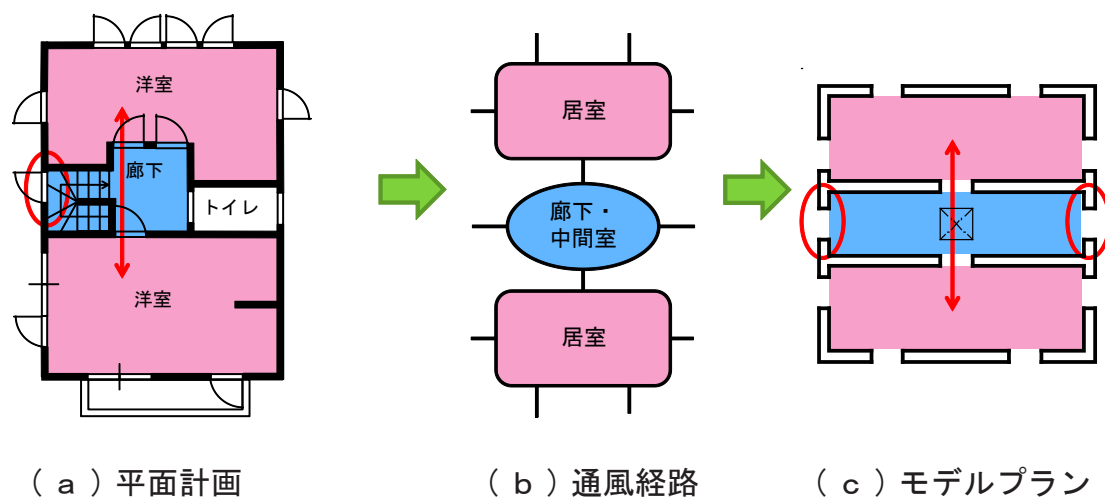


図 3.1.5 通風経路のモデル化例（プランD）

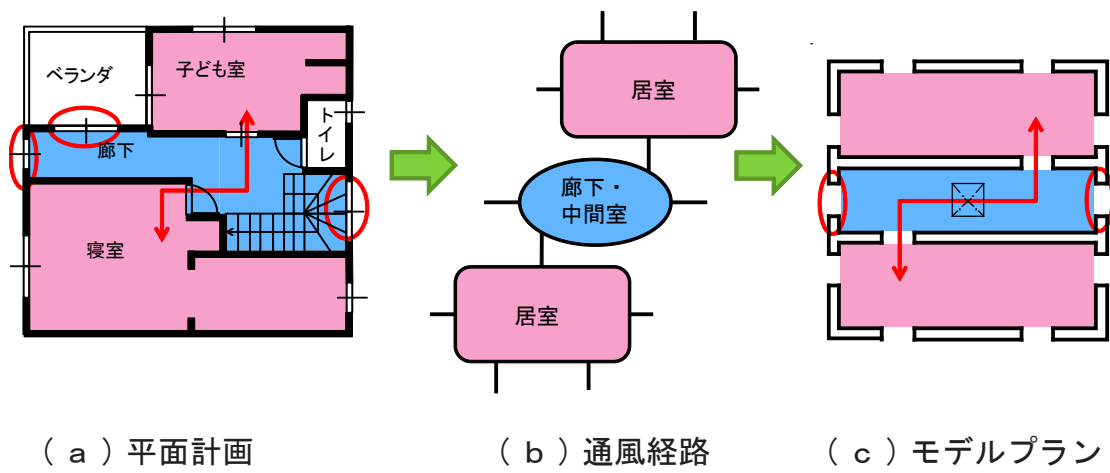


図 3.1.6 通風経路のモデル化例（プランE）

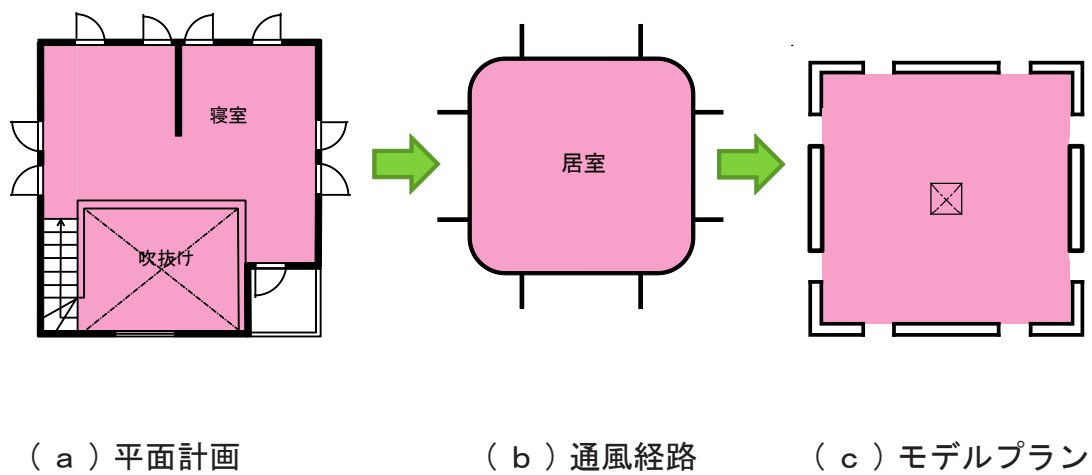


図 3.1.7 通風経路のモデル化例（単純住宅モデル）

室温の算出では、解析モデルは各室ごとに解析する。図 4.1.8 に各プランの室の分け方を示す。プランAでは1階南方向から Zone A、Zone B、2階南方向から Zone C、Zone Dとする。プランBからプランEは1階南方向から Zone A、Zone B、Zone C、2階南方向から Zone D、Zone E、Zone Fとする。

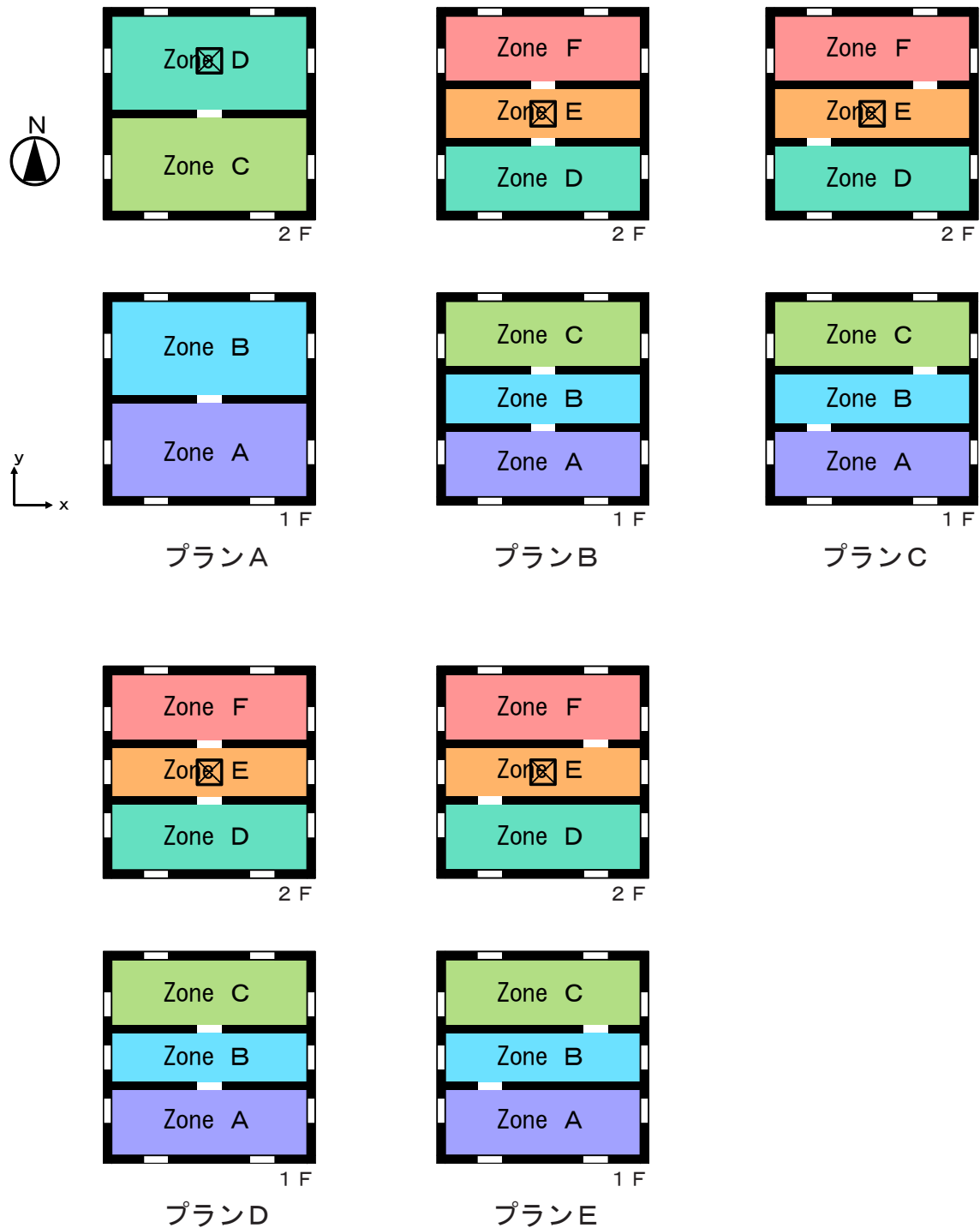


図 3.1.8 各プランの室の分け方

## 第2章 各プランの割合

図 3.2 に対象とした住宅平面計画における各プランの割合を示す。全体的にプランEが多い傾向があるが、1階ではプランAも多い。これは1階にはLDKが配置される場合が比較的多く、室間に廊下などの中間室が無い場合が多いためと考えられる。

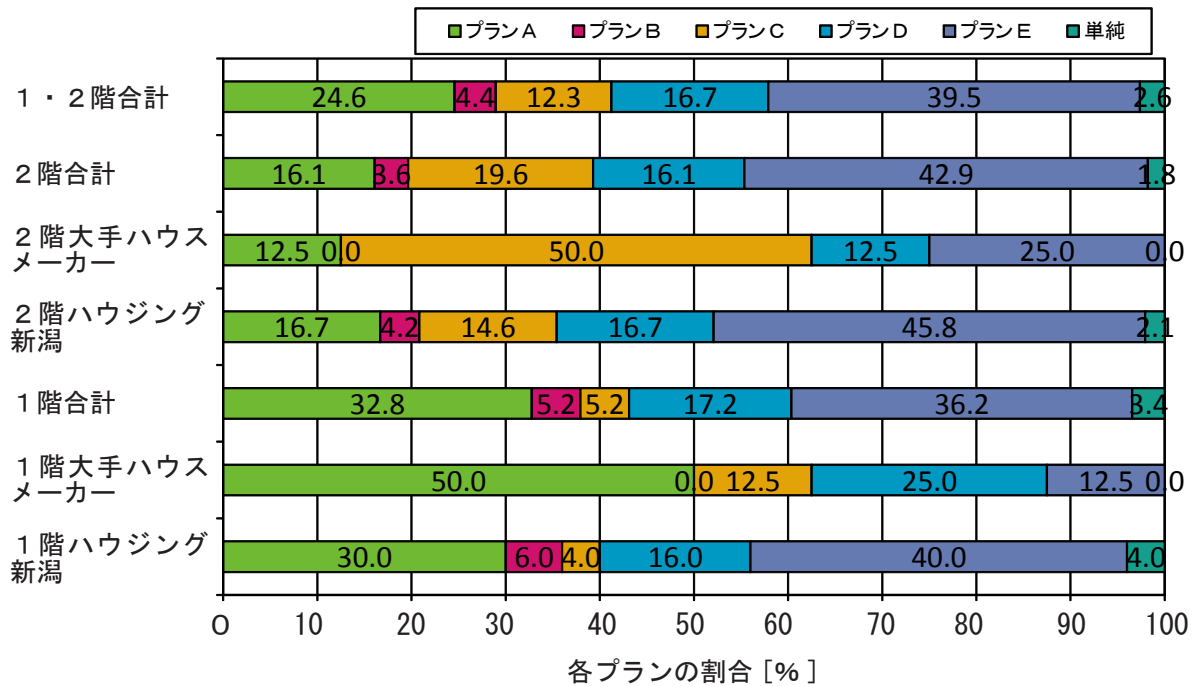


図 3.2 対象とした住宅平面計画における各プランの割合

### 第3章 通風性能簡易評価モデル

図 3.3.1 ～図 3.3.3 に通風性能簡易評価モデル（プランA）を、図 3.3.4 ～図 3.3.6 に通風性能簡易評価モデル（プランB）を、図 3.3.7 ～図 3.3.9 に通風性能簡易評価モデル（プランC）を、図 3.3.10 ～図 3.3.12 に通風性能簡易評価モデル（プランD）を、図 3.3.13 ～図 3.3.15 に通風性能簡易評価モデル（プランE）を示す。

第3篇第1章における平面計画の類型化により通風性能簡易評価モデルを作成する。外壁の開口は一般的な窓の開放面積の 900mm × 900mm として各室に 4 箇所ずつ、プランD、Eでは中間室に 2 箇所ずつ設ける。間仕切り壁の開口は 900mm × 1800mm とし、プランA、B、Dは間仕切り壁中央部に、プランC、Eは外壁から 1200mm 内側に設ける。2階平面図における中央部の開口は、階段を設置する場合を想定して設け、開口は 900mm × 900mm とする。1、2階共に階高は 2700mm、天井高は 2400mm とする。

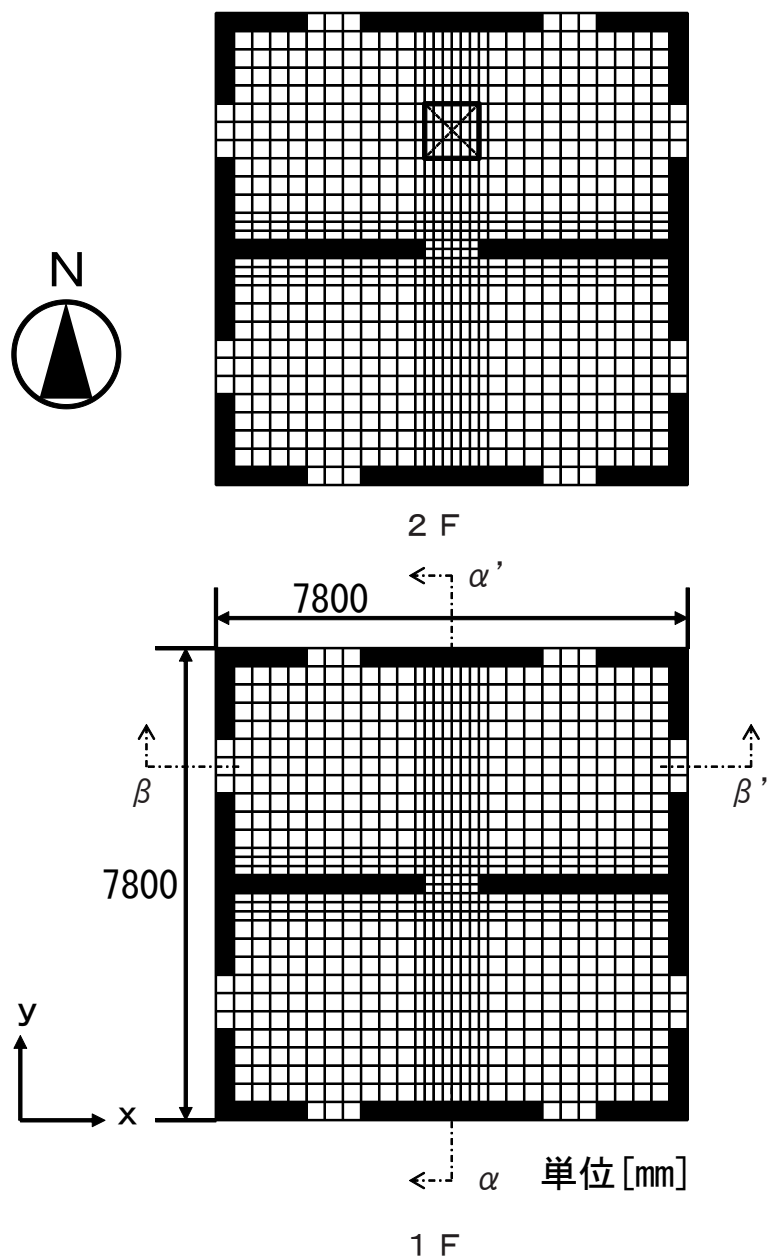


図 3.3.1 水平断面のメッシュ分割（プランA）



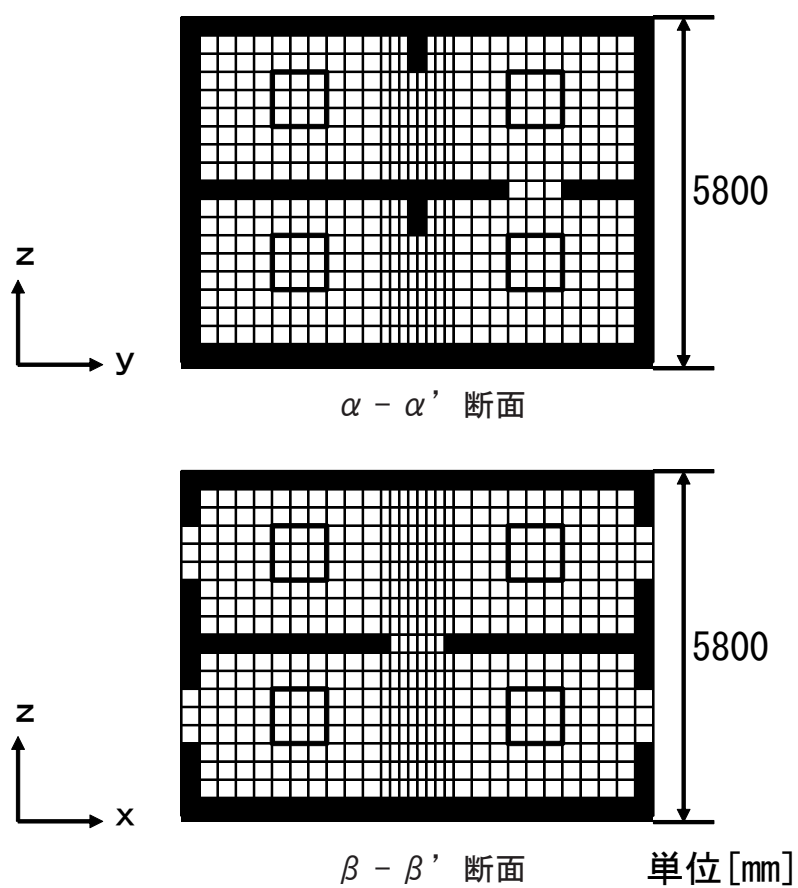


図 3.3.2 鉛直断面のメッシュ分割（プランA）

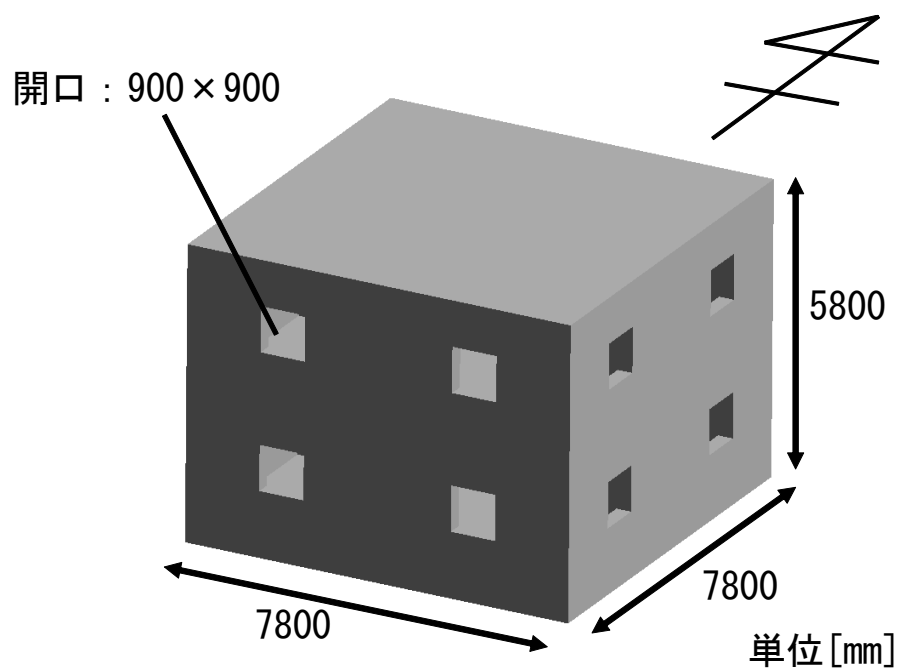


図 3.3.3 解析対象モデルの外観（プランA）

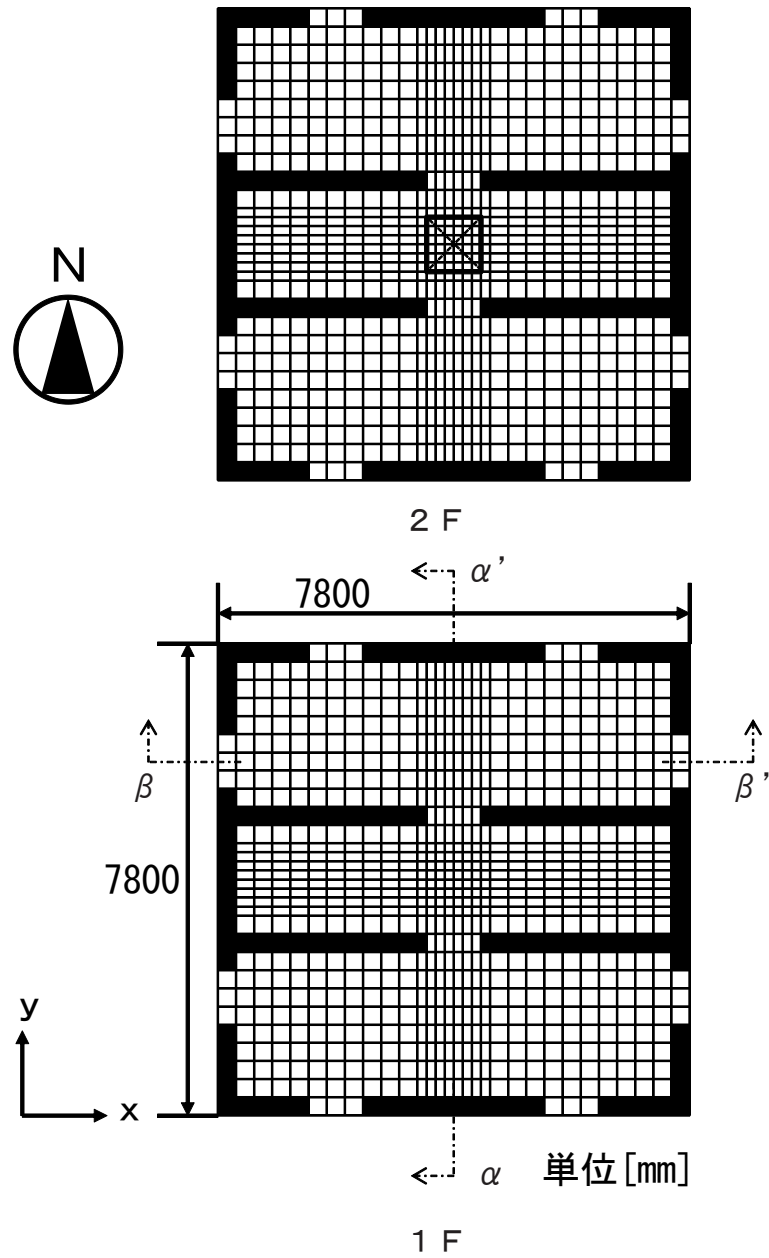


図 3.3.4 水平断面のメッシュ分割（プランB）

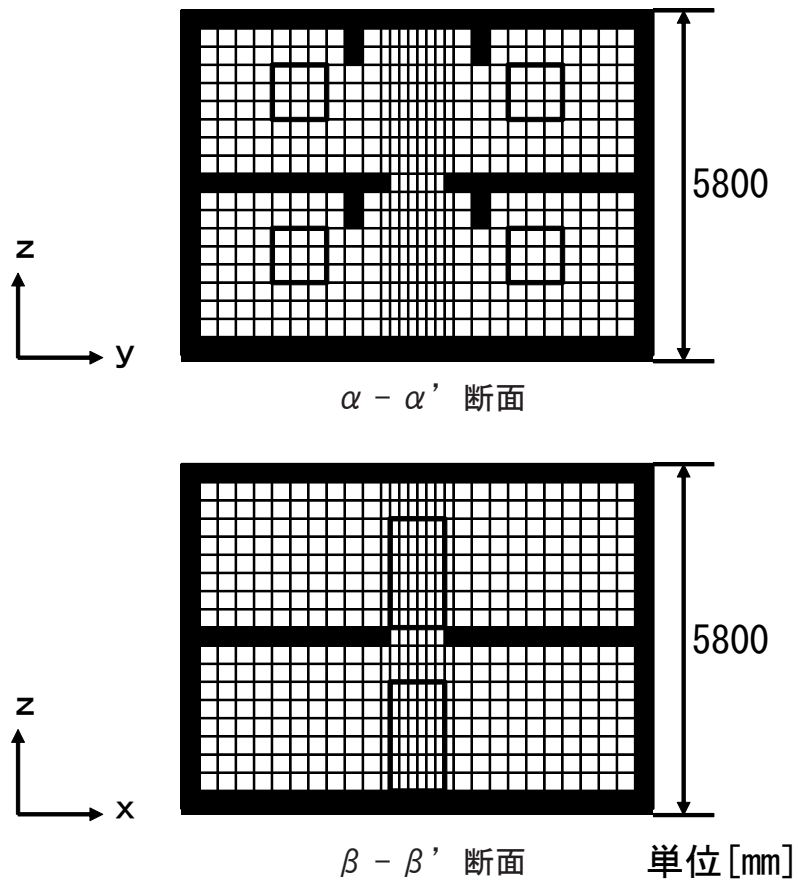


図 3.3.5 鉛直断面のメッシュ分割（プランB）

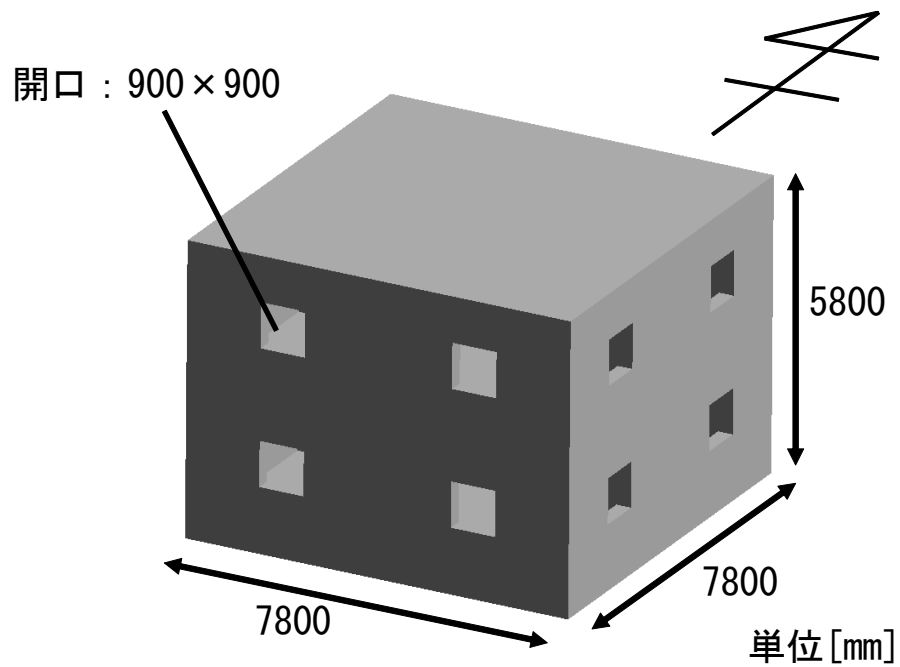


図 3.3.6 解析対象モデルの外観（プランB）

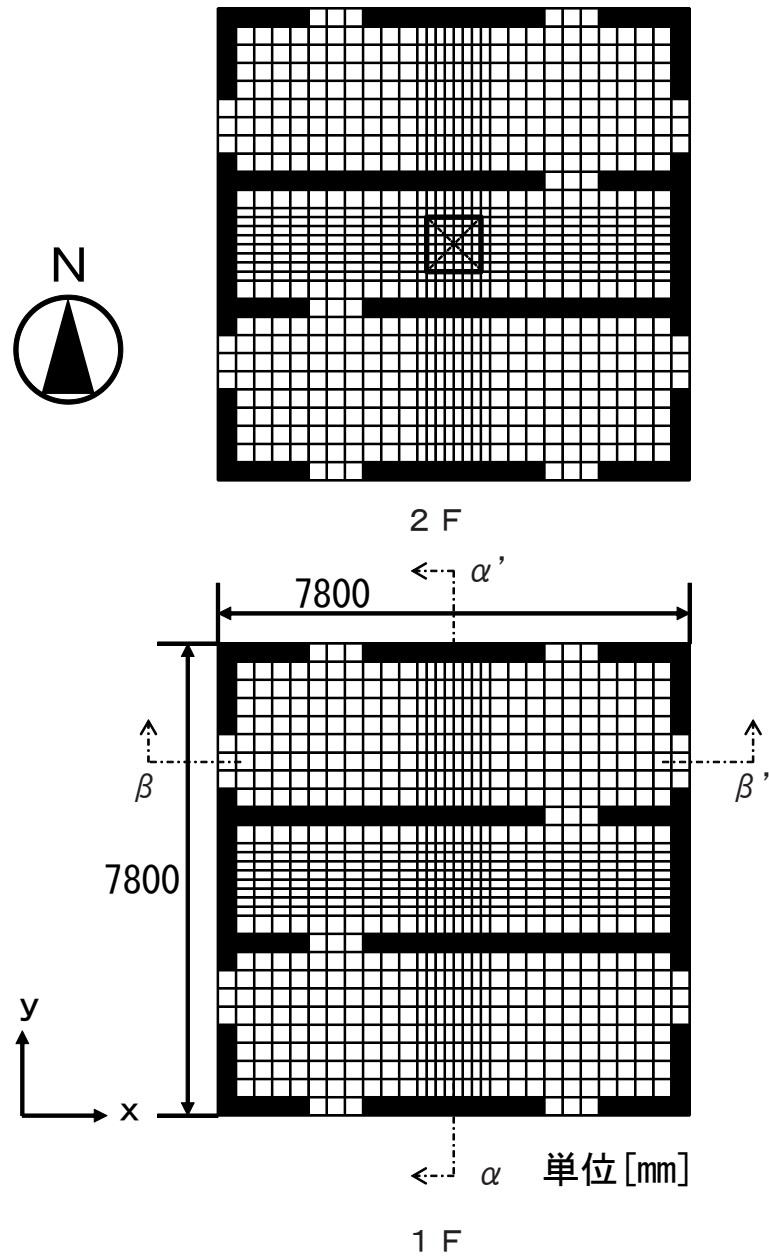


図 3.3.7 水平断面のメッシュ分割（プランC）

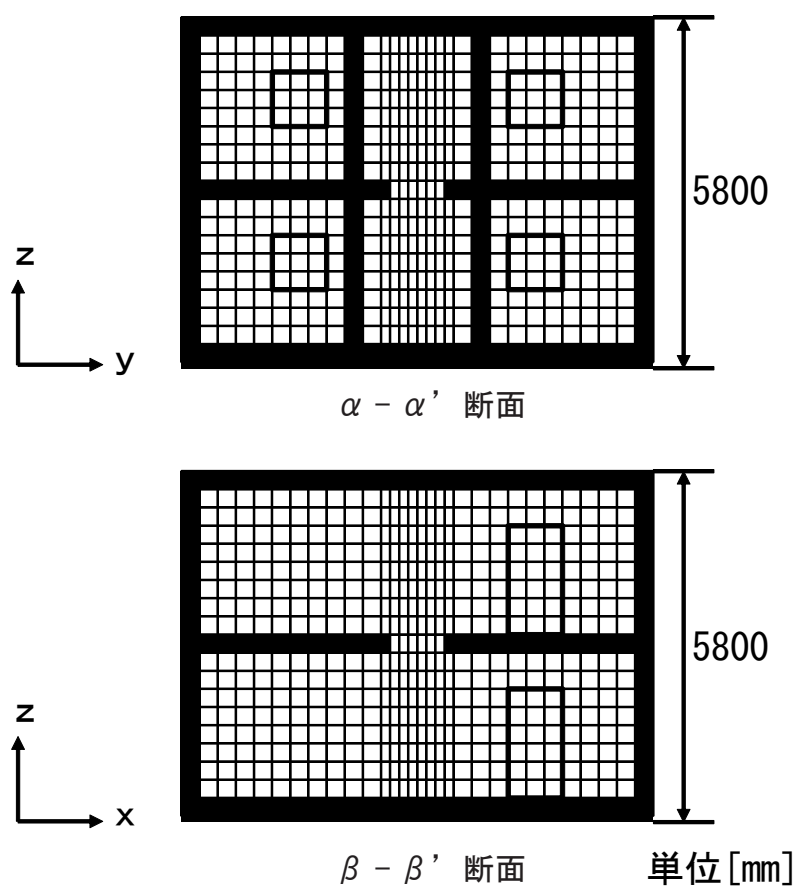


図 3.3.8 鉛直断面のメッシュ分割（プランC）

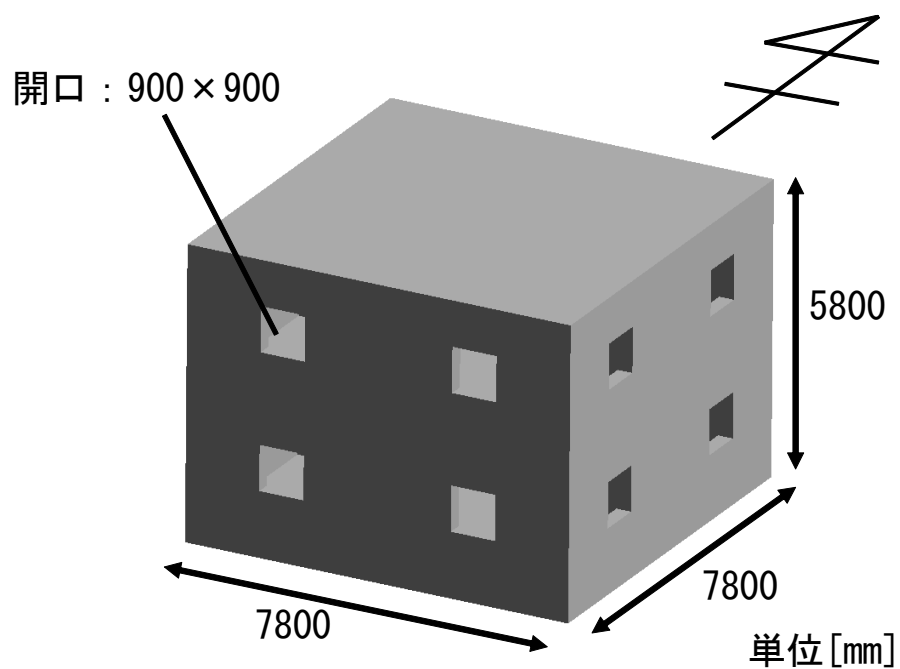


図 3.3.9 解析対象モデルの外観（プランC）

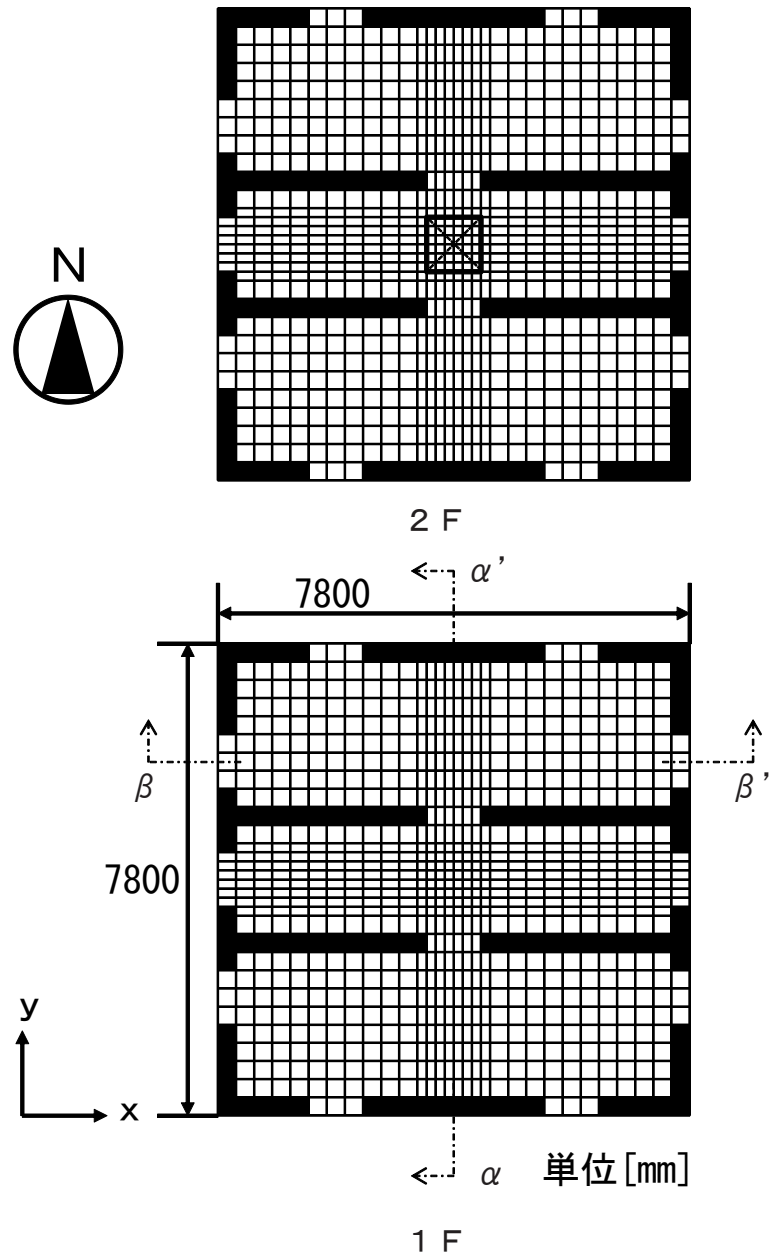


図 3.3.10 水平断面のメッシュ分割（プランD）

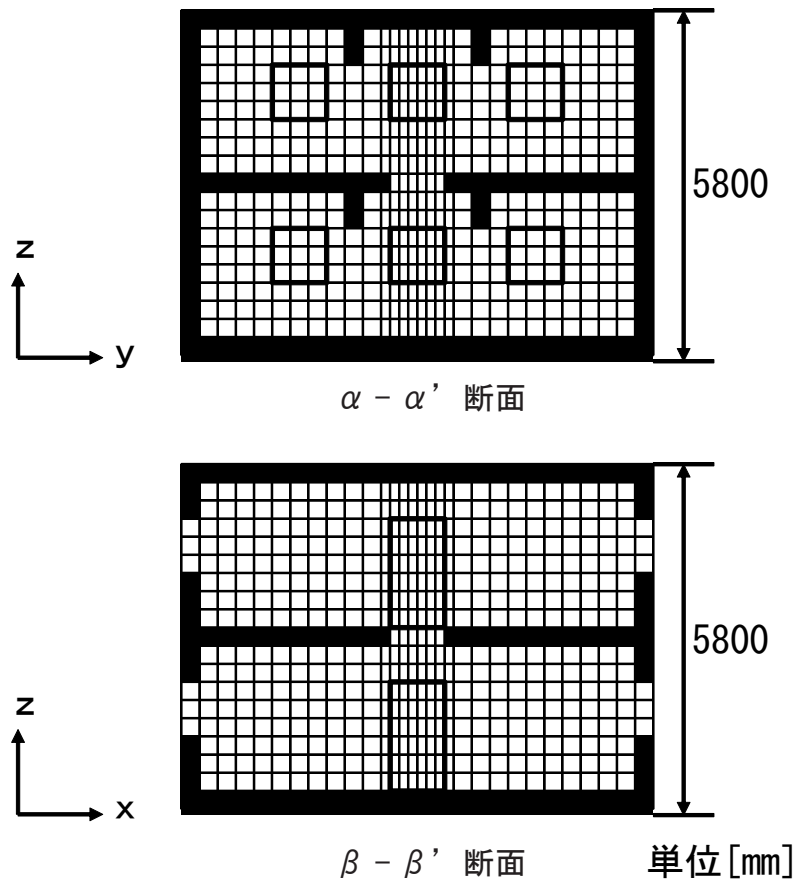


図 3.3.11 鉛直断面のメッシュ分割（プランD）

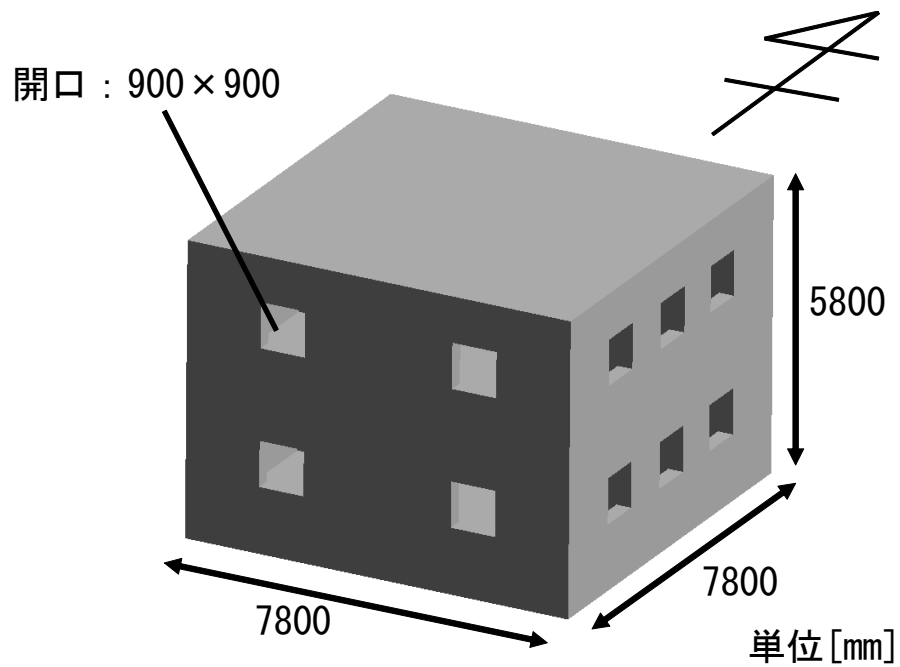


図 3.3.12 解析対象モデルの外観（プランD）

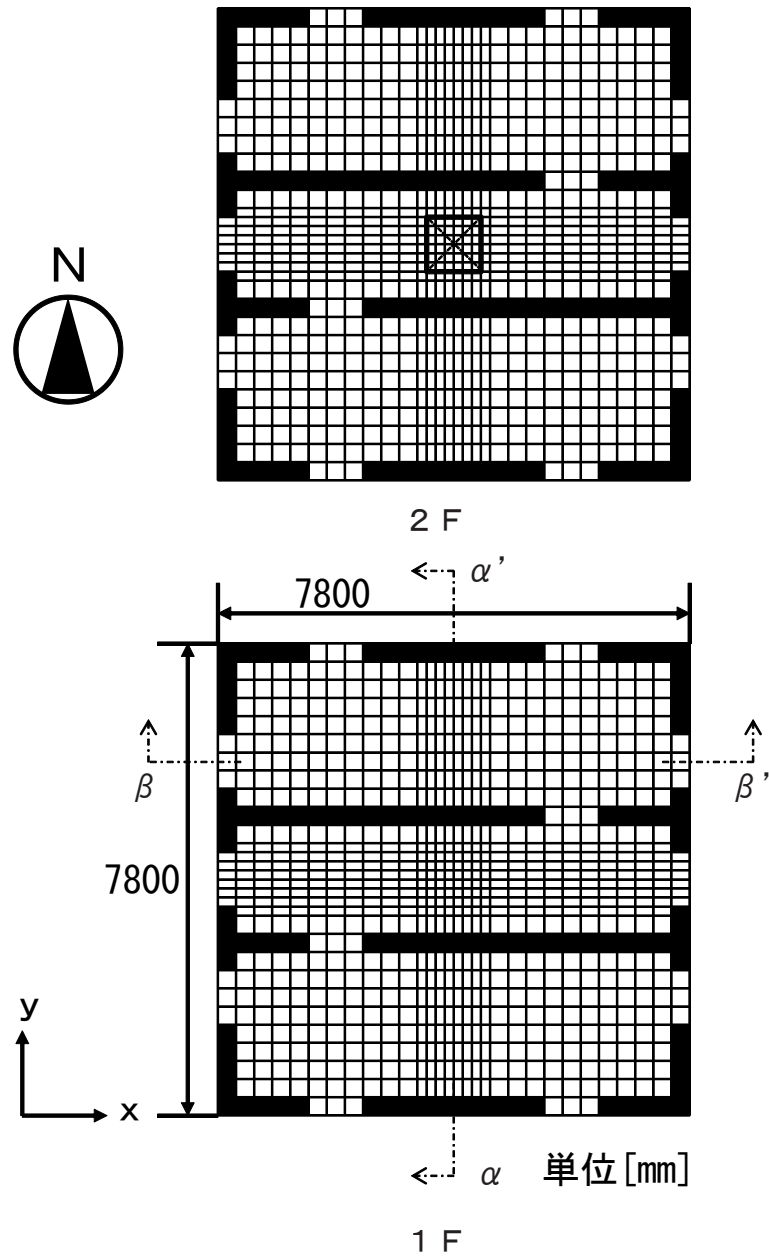


図 3.3.13 水平断面のメッシュ分割（プラン E）



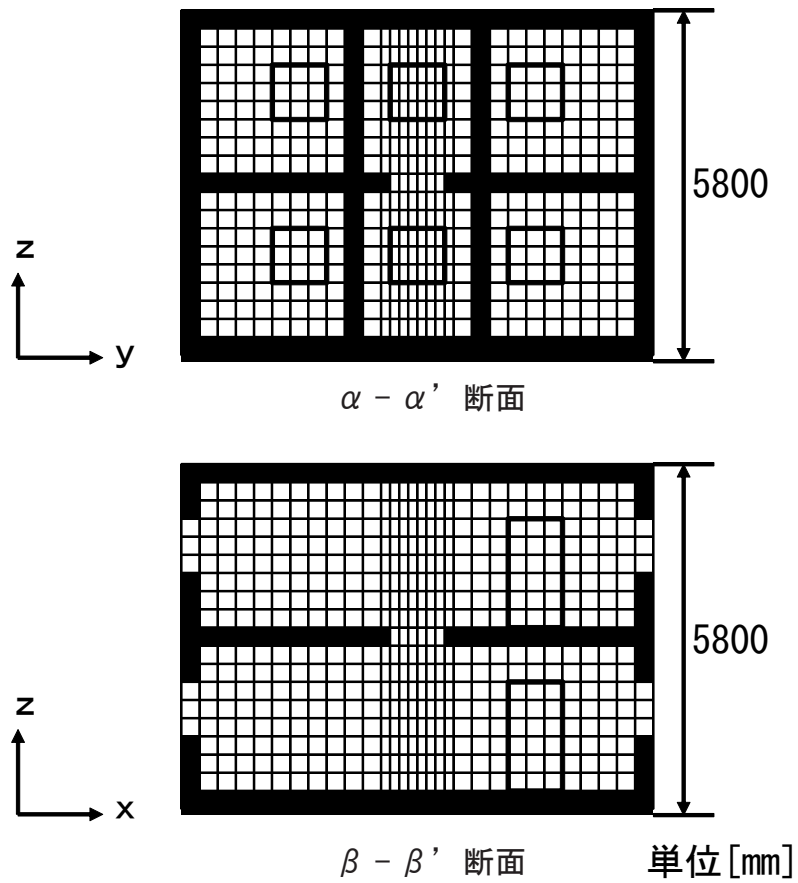


図 3.3.14 鉛直断面のメッシュ分割（プランE）

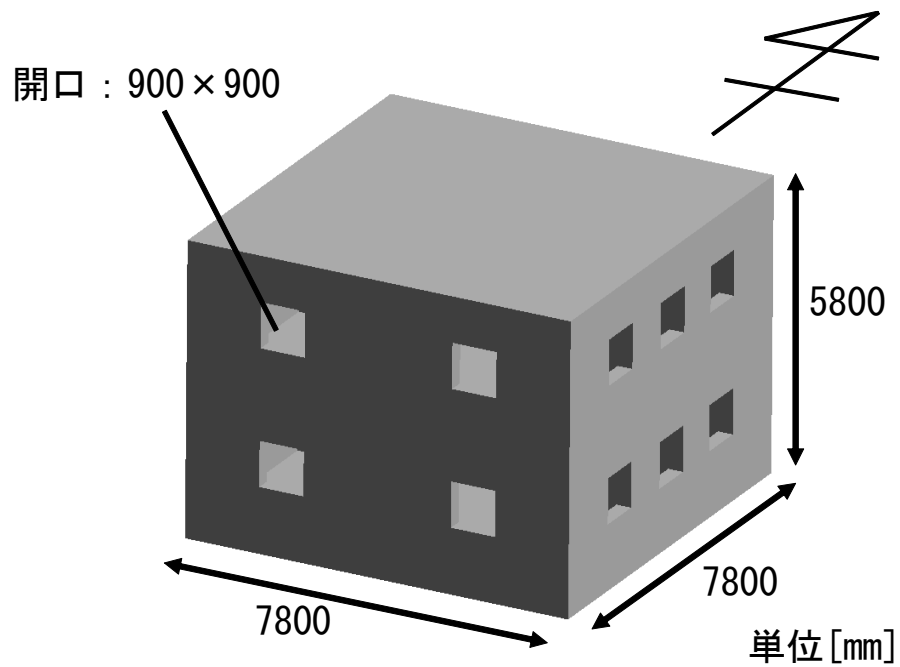


図 3.3.15 解析対象モデルの外観（プランE）

## 第4章 建蔽率0%（単体）の場合の解析対象モデル及び数値流体解析領域

解析対象モデルは、実在住宅をモデル化した、プランAからプランEの5つとし、非暖房期間・非就寝時※において解析する。室温算出の対象都市は札幌、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。表3.4.1に住宅モデル概要を、表3.4.3に住宅モデルの仕様を、図3.4.1～3.4.4にプランA、B、Cにおける数値解析領域のメッシュ分割を、図3.4.5～3.4.8にプランD、Eにおける数値解析領域のメッシュ分割を示す。

表 3.4.1 住宅モデル概要

解析風向数	16風向	
数値解析領域メッシュ数	$56(x) \times 56(y) \times 37(z) = 116,032$	
室内解析メッシュ数	$30(x) \times 30(y) \times 19(z) = 17,100$	
延床面積[m <sup>2</sup> ]	112.5	
開口部総面積[m <sup>2</sup> ]	プランA、B、C	$0.9 \times 1.8 \times 16 = 25.9$
	プランD、E	$0.9 \times 1.8 \times 20 = 32.4$
基準窓面積率[%]	プランA、B、C	3.8、7.7、11.5、23.0
	プランD、E	4.8、9.6、14.4、28.8
境界条件	流入：1/4乗則（基準高さ6.5m、風速3.0m/s）	
	流出：自由流出	
乱流モデル	標準k-εモデル(等温)	
熱損失係数[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	プランA、B、C	1.98
	プランD、E	2.11

表 3.4.2 住宅モデルの仕様

部材	構成材	熱貫流率(W/m <sup>2</sup> ・K)
屋根	石膏ボード、セルローズファイバー(厚さ160mm)、合板、スレート	0.215
外壁	石膏ボード、フェノールフォーム断熱材(厚さ40mm)、合板、モルタル	0.431
1階床	床板、合板、グラスウール(厚さ100mm)	0.337
2階床	カーペット、合板、空気層、石膏ボード(1階天井)	1.916
窓ガラス	ペアガラス	2.7

※ 就寝時間を午前0時00分から午前5時59分とし、就寝時間以外を非就寝時間とする。

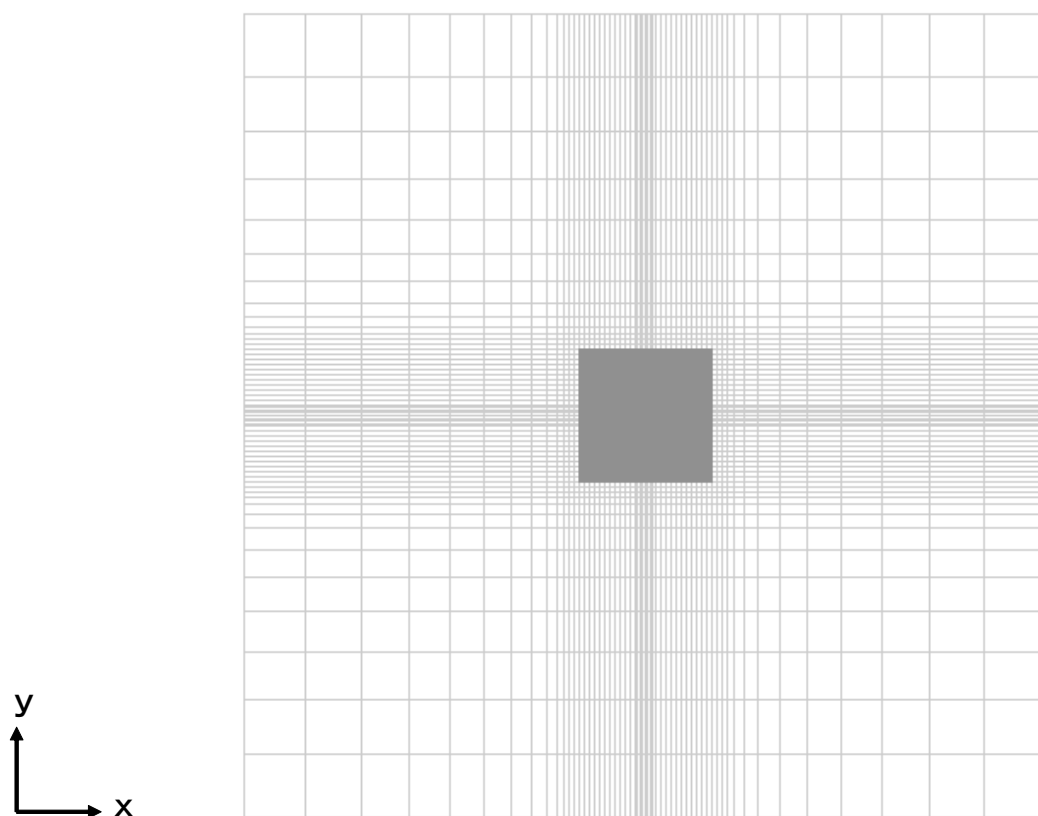


図 3.4.1 プランA、B、Cにおける数値解析領域のメッシュ分割（ $x - y$  軸）

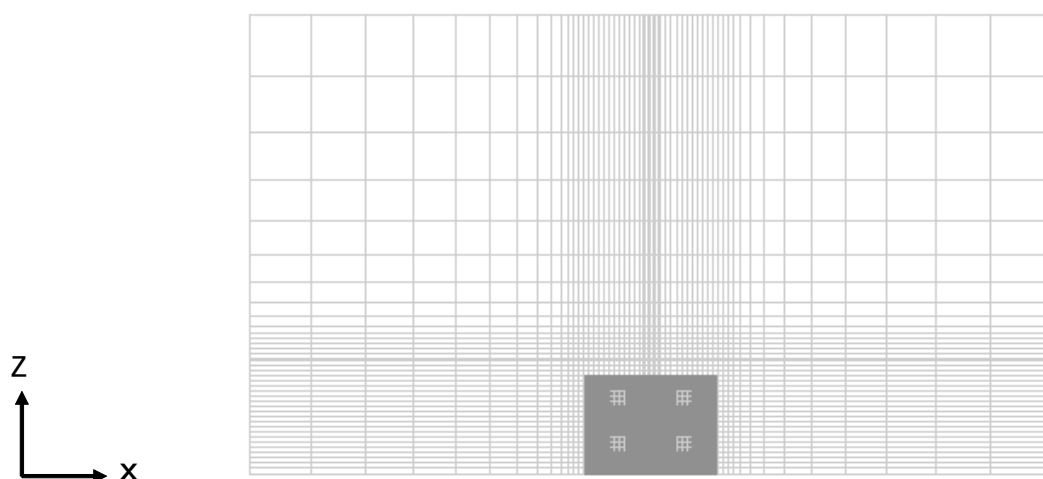


図 3.4.2 プランA、B、Cにおける数値解析領域のメッシュ分割（ $x - z$  軸）

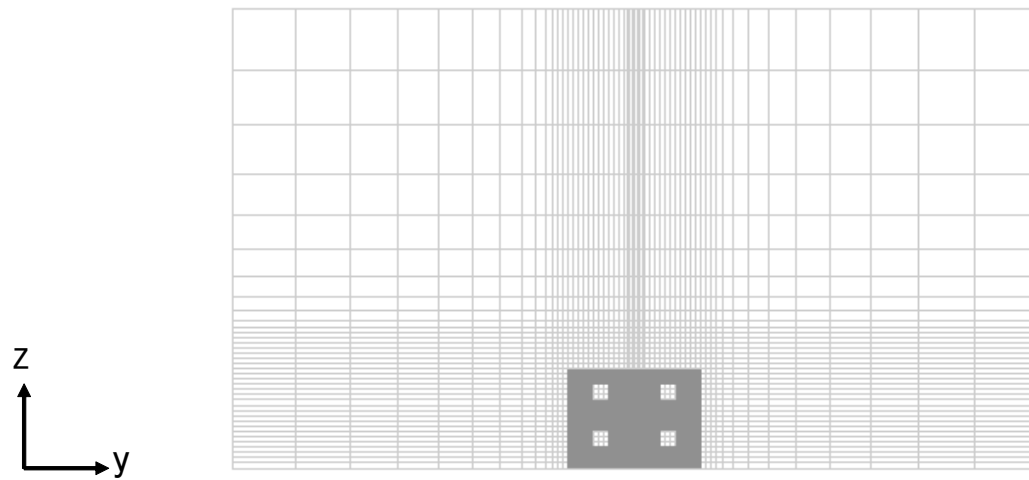


図 3.4.3 プランA、B、Cにおける数値解析領域のメッシュ分割（ $y - z$  軸）

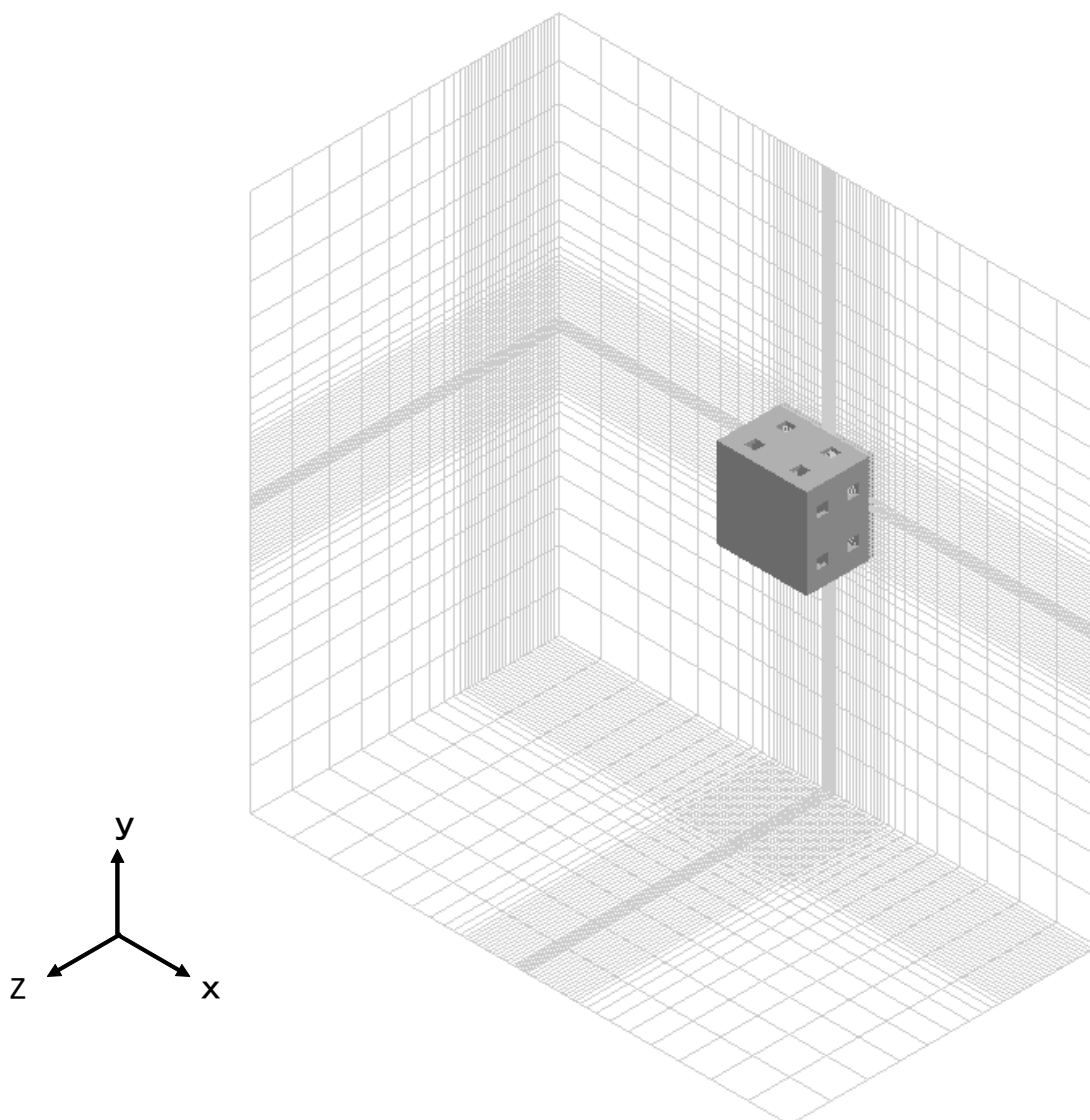


図 3.4.4 プランA、B、Cにおける数値解析領域の全体メッシュ

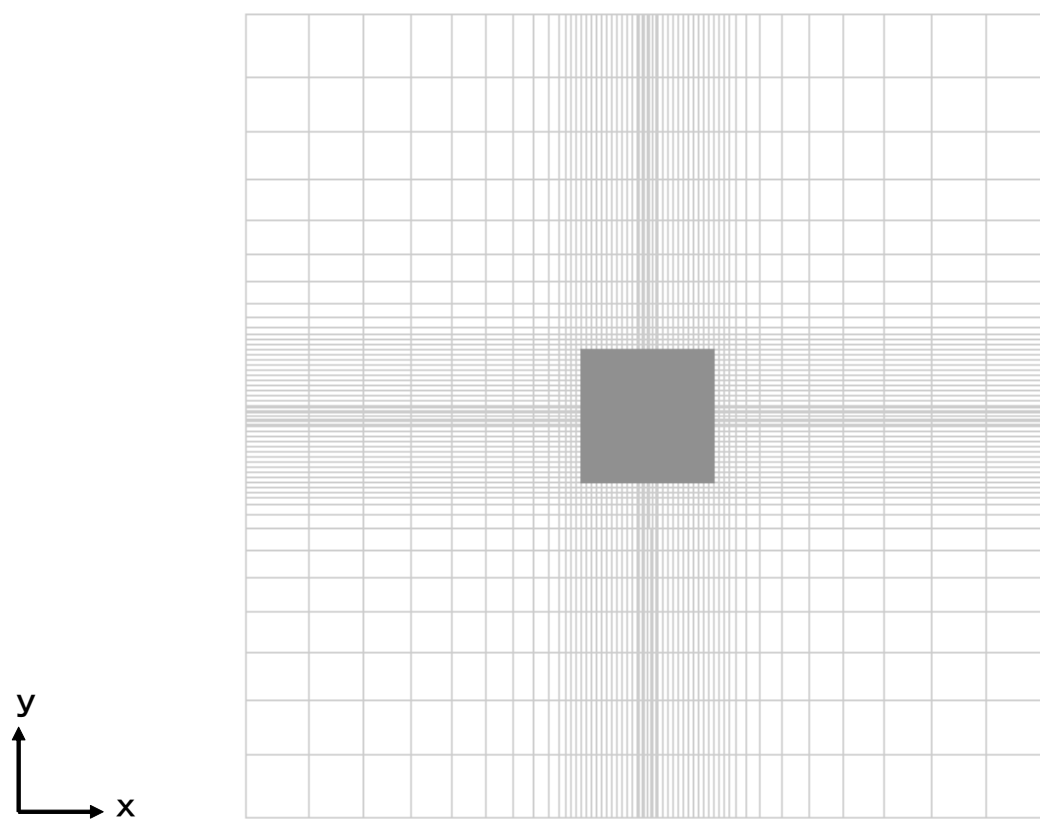


図 3.4.5 プランD、Eにおける数値解析領域のメッシュ分割（ $x - y$  軸）

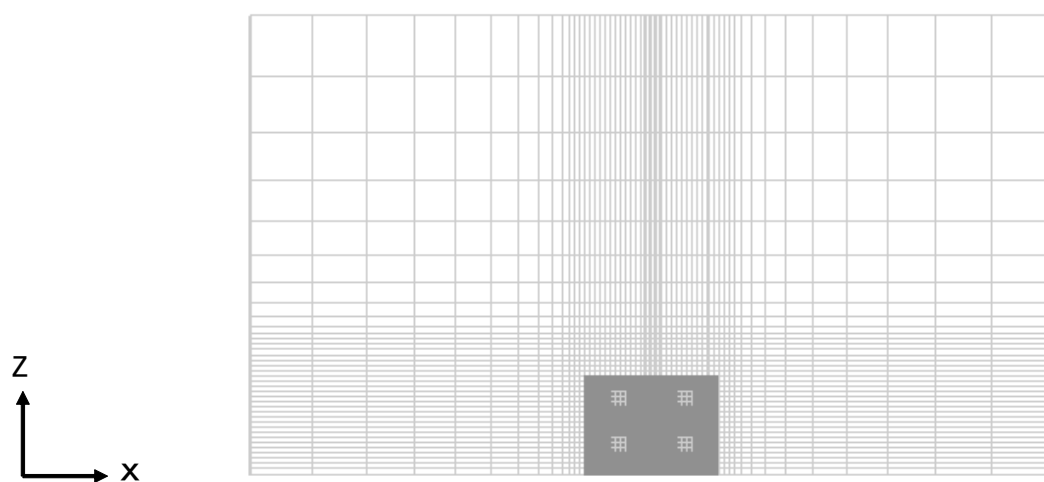


図 3.4.6 プランD、Eにおける数値解析領域のメッシュ分割（ $x - z$  軸）

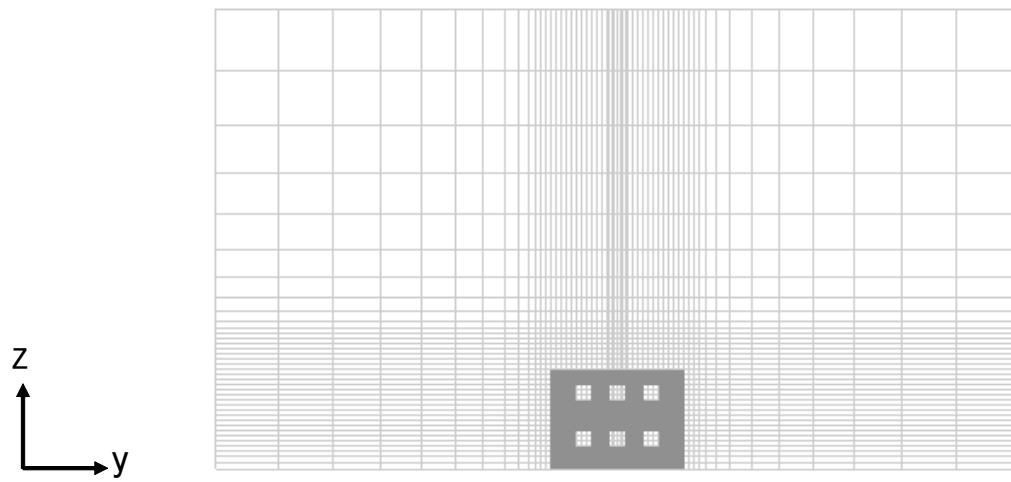


図 3.4.7 プランD、Eにおける数値解析領域のメッシュ分割（ $y - z$  軸）

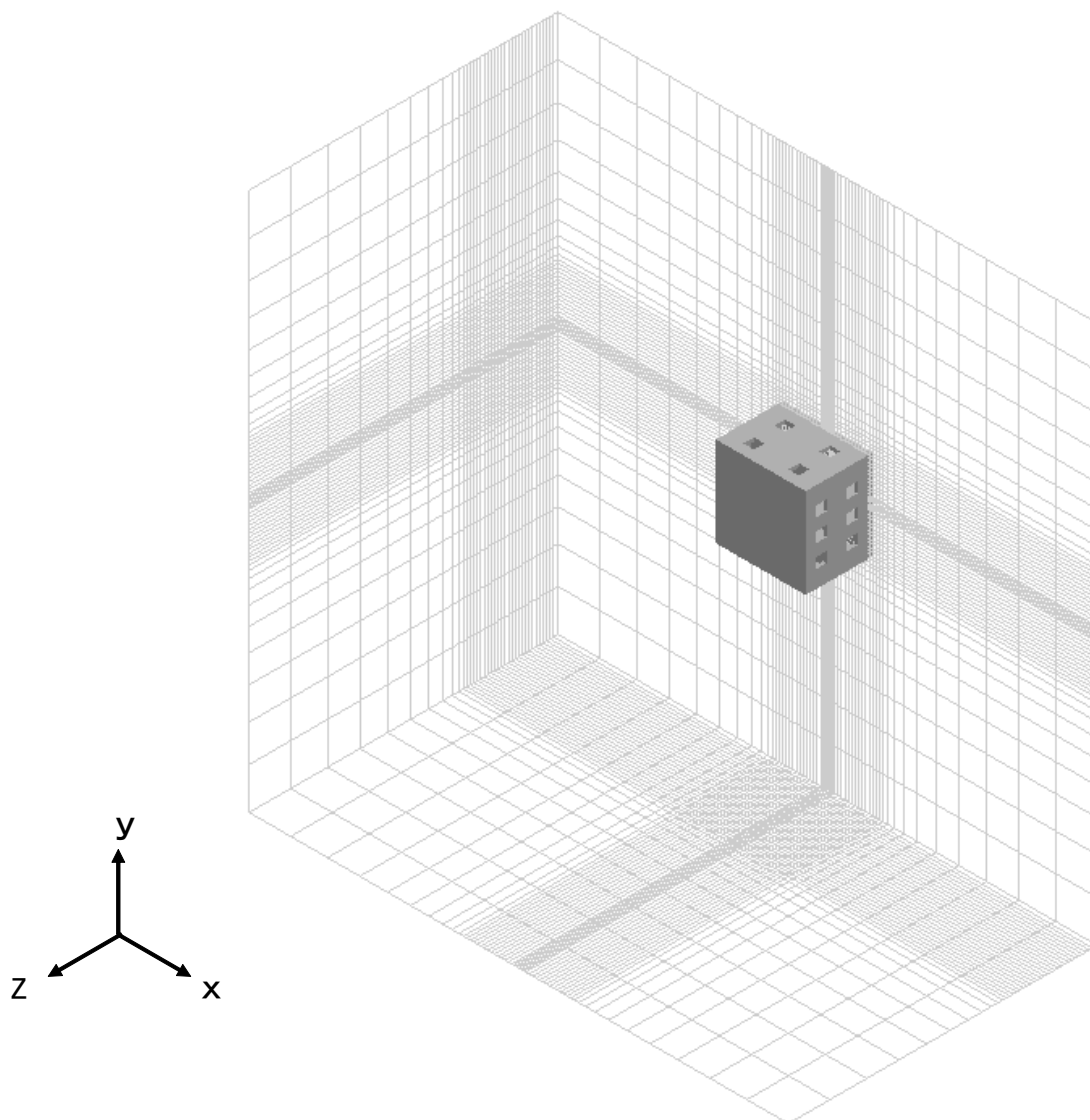


図 3.4.8 プランD、Eにおける数値解析領域の全体メッシュ

## 第5章 熱負荷解析条件

CFDにより算出した実換気回数と実室間通風量と気象データから、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により各室の室温を解析し、各基準窓面積率における各室の平均室内外温度差を非暖房期間・非就寝時において算出する。

### 3.5.1 気象データ

気象データは日本建築学会拡張アメダス（標準年）とし、TRNSYSによる室温の解析では主要11都市（札幌、仙台、東京、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、広島、高知、福岡）において以下の項目を用いて解析を行う。

- ①外気温
- ②相対湿度
- ③直達日射
- ④天空日射
- ⑤風速
- ⑥風向

### 3.5.2 換気回数による通風性能評価

換気回数による通風性能評価に基づき、自然通風による排熱効果によって各階の平均室内外温度差が1℃未満となるGrade①（換気回数20回/h）、1℃程度となるGrade②（換気回数10回/h）を評価対象とする。

表 3.5.1 換気回数による通風性能評価

	一定の開口面積により得られる換気回数と平均室内外温度差
Grade①	換気回数20回/h、平均室内外温度差1℃未満
Grade②	換気回数10回/h、平均室内外温度差1℃
Grade③	換気回数4回/h、平均室内外温度差2℃
Grade④	換気回数2回/h、平均室内外温度差3℃
Grade⑤	換気回数0.5回/h、平均室内外温度差4℃以上

## 第6章 各室の平均室内外温度差

図3.6.1～3.6.10に各プランの各室の平均室内外温度差（非暖房期間・非就寝時）を示す。各室の平均室内外温度差は各都市の風向、風速により変化する。窓面積率が高くなる程、各室の平均室内外温度差は小さくなり、それに伴い各階における各室の平均室内外温度差の差も小さくなる。

各プランを比較すると平均室内外温度差に顕著な違いは観察されず、換気回数が十分得られている場合、平面計画によって室温の低下効果はあまり変化しないと考えられる。東京（卓越風向：南）や福岡（卓越風向：北）等の卓越風が顕著な地域では、風下側の室で比較的室温低下が少なくなるが、各階で偏差は0.2～0.6℃程度であり、通風性能評価は各階で行うことが可能であると考えられる。



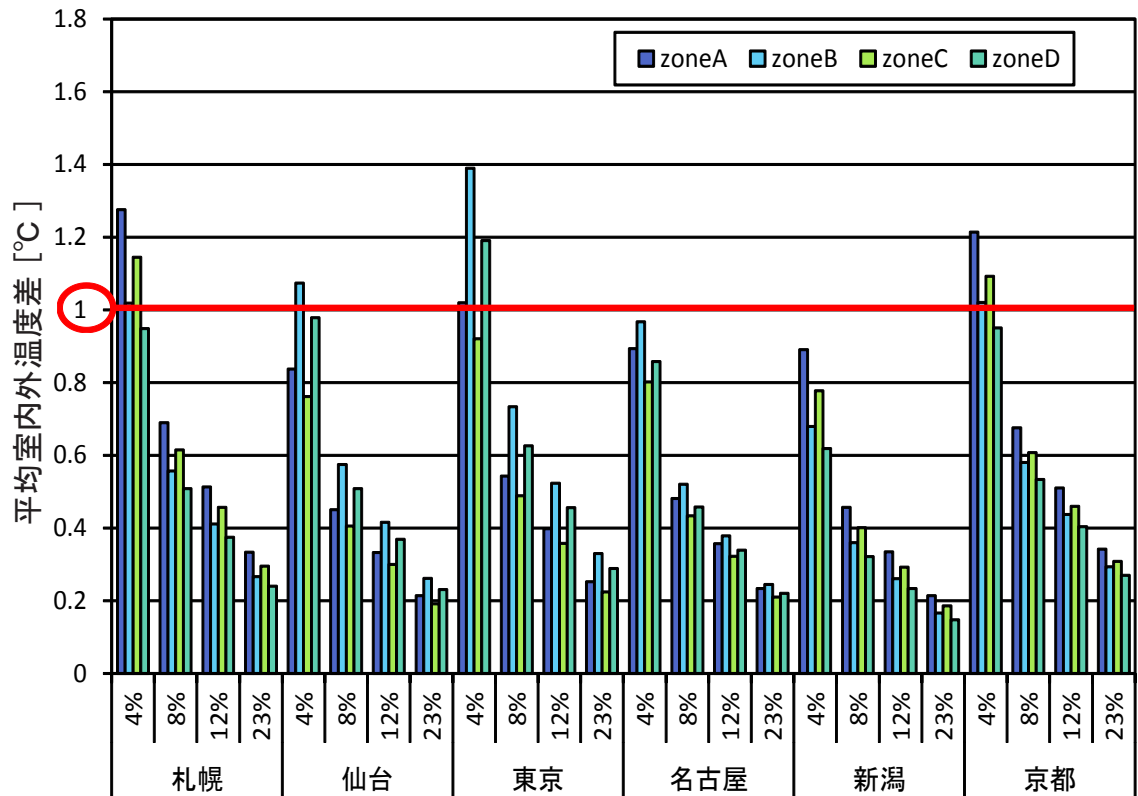


図 3.6.1 6都市における各室の平均室内外温度差  
(プランA、非暖房期間非就寝時)

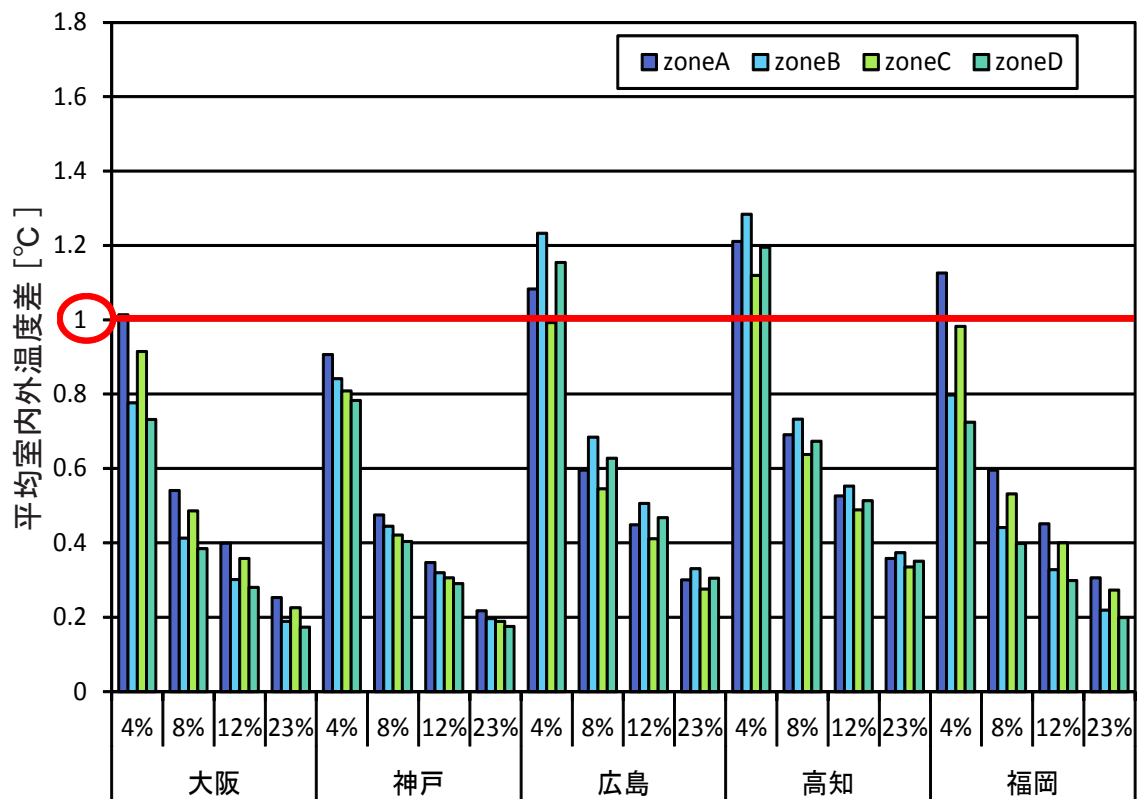


図 3.6.2 5都市における各室の平均室内外温度差  
(プランA、非暖房期間非就寝時)

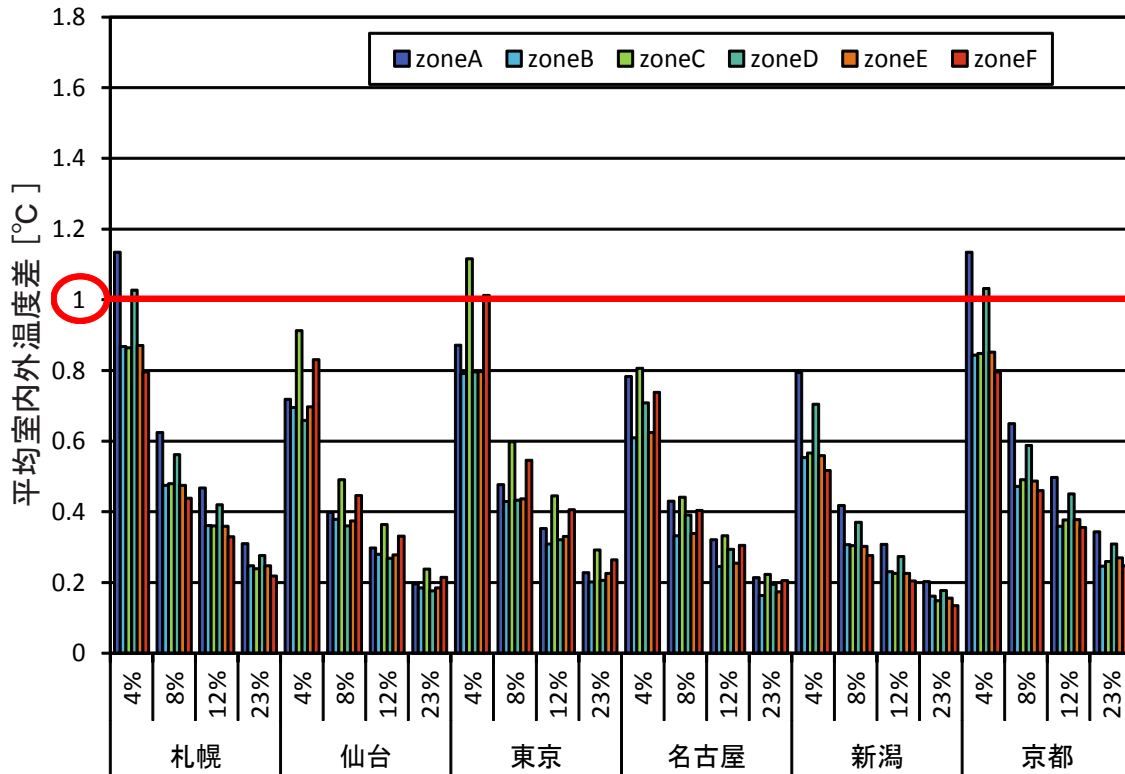


図 3.6.3 6都市における各室の平均室内外温度差  
(プランB、非暖房期間非就寝時)

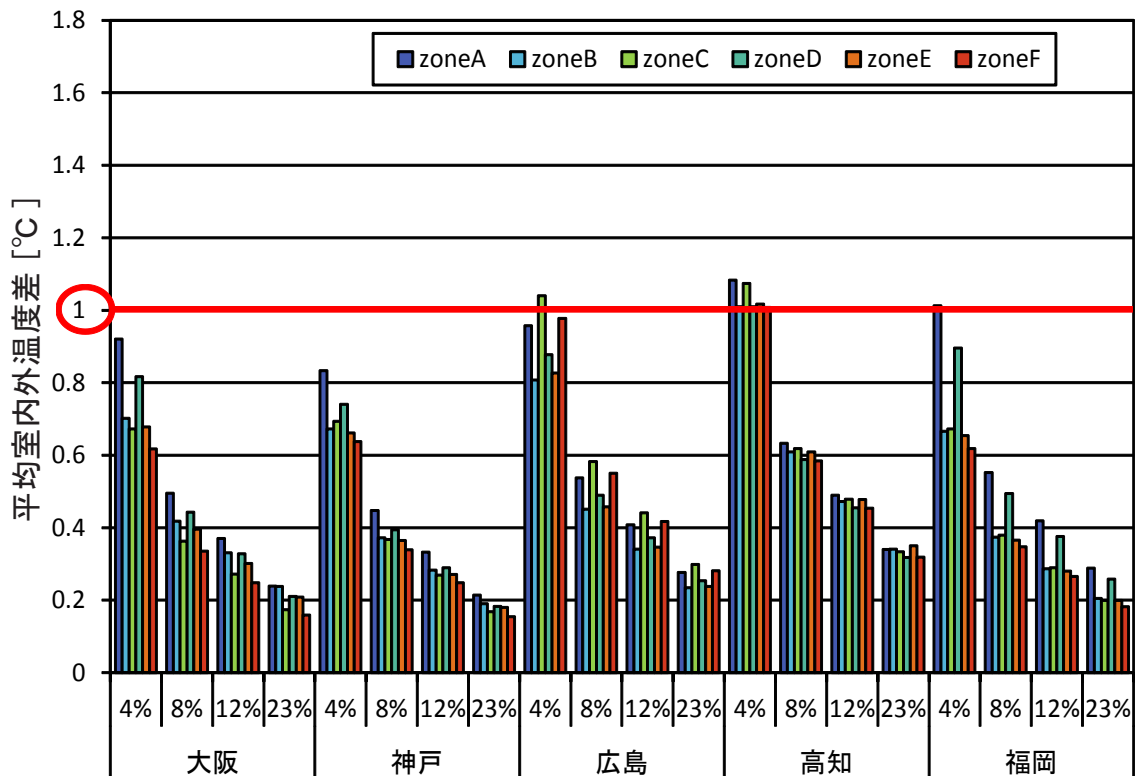


図 3.6.4 5都市における各室の平均室内外温度差  
(プランB、非暖房期間非就寝時)

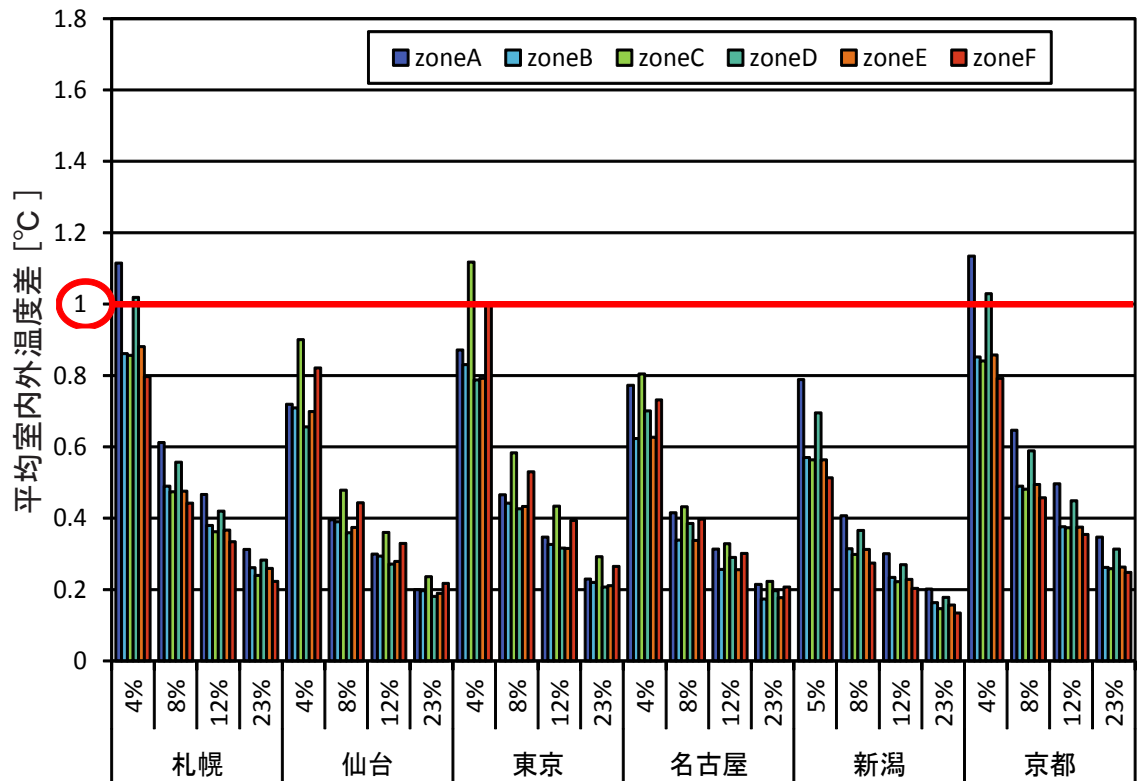


図 3.6.5 6都市における各室の平均室内外温度差  
(プランC、非暖房期間非就寝時)

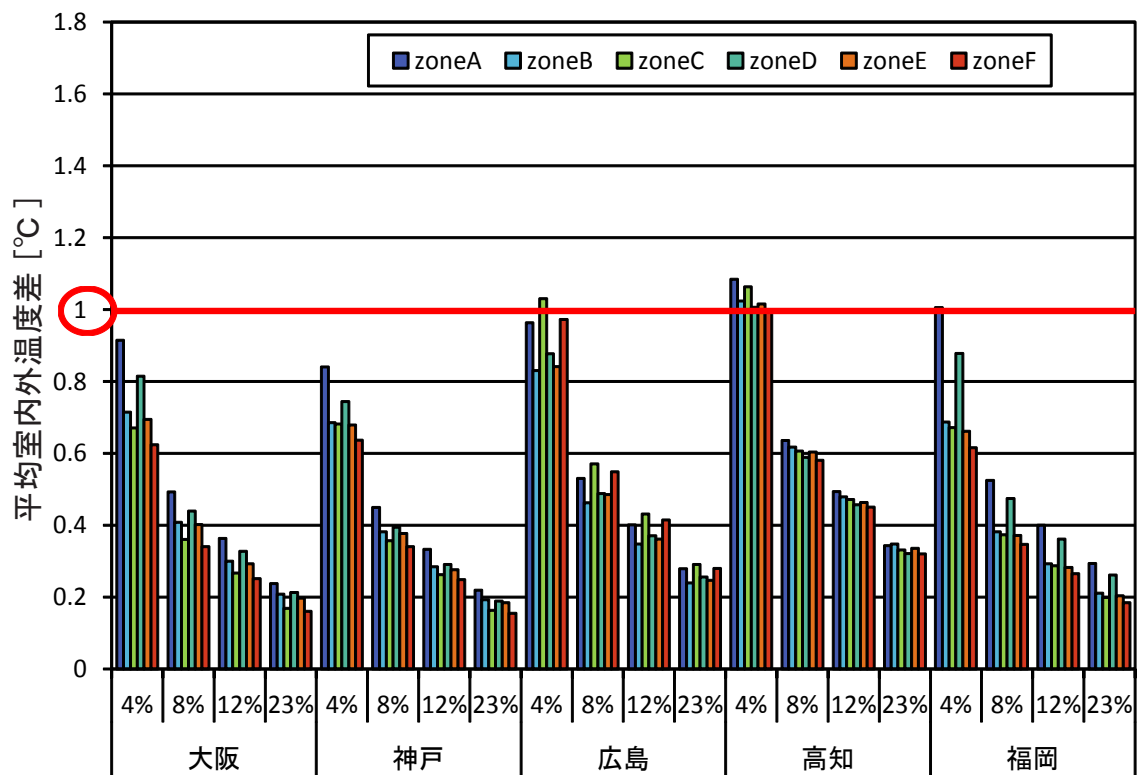


図 3.6.6 5都市における各室の平均室内外温度差  
(プランC、非暖房期間非就寝時)

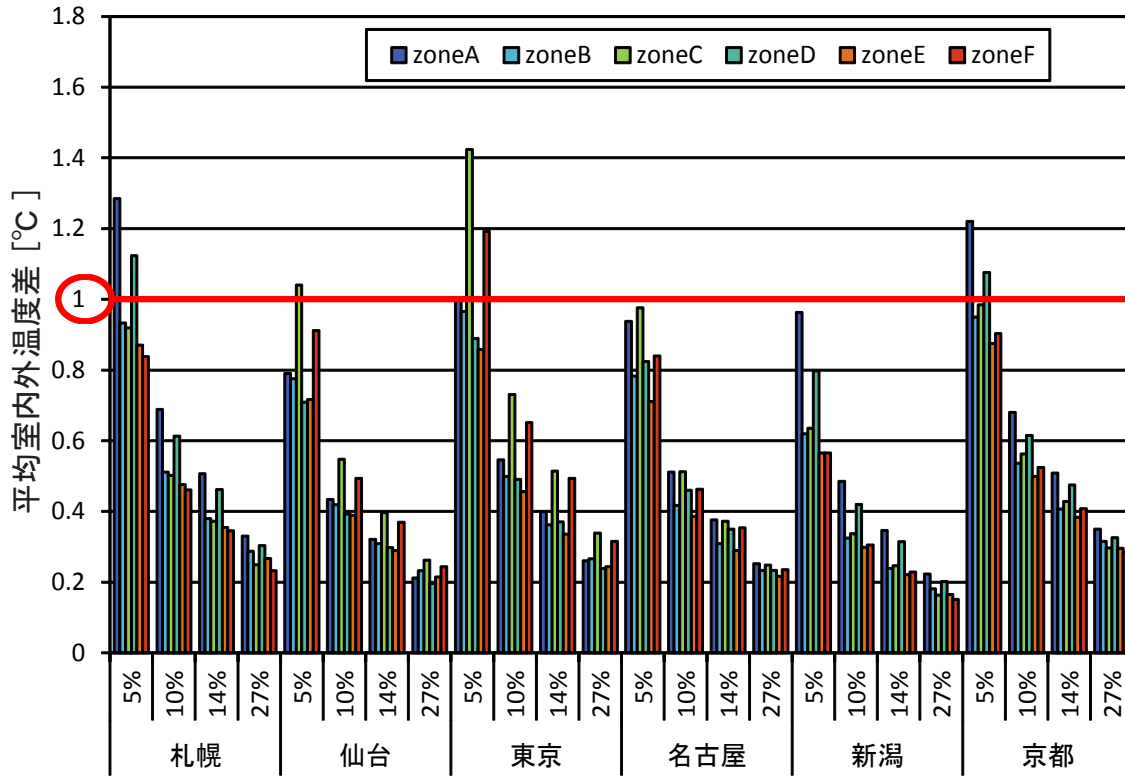


図 3.6.7 6都市における各室の平均室内外温度差  
(プランD、非暖房期間非就寝時)

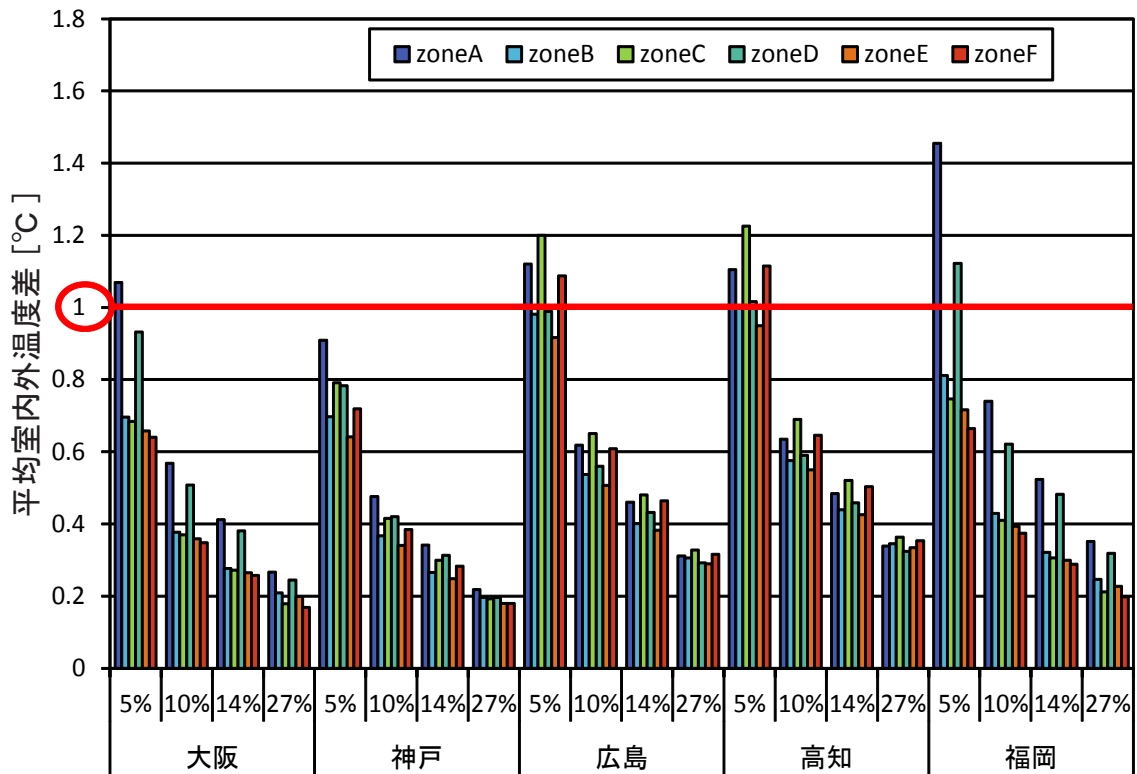


図 3.6.8 5都市における各室の平均室内外温度差  
(プランD、非暖房期間非就寝時)

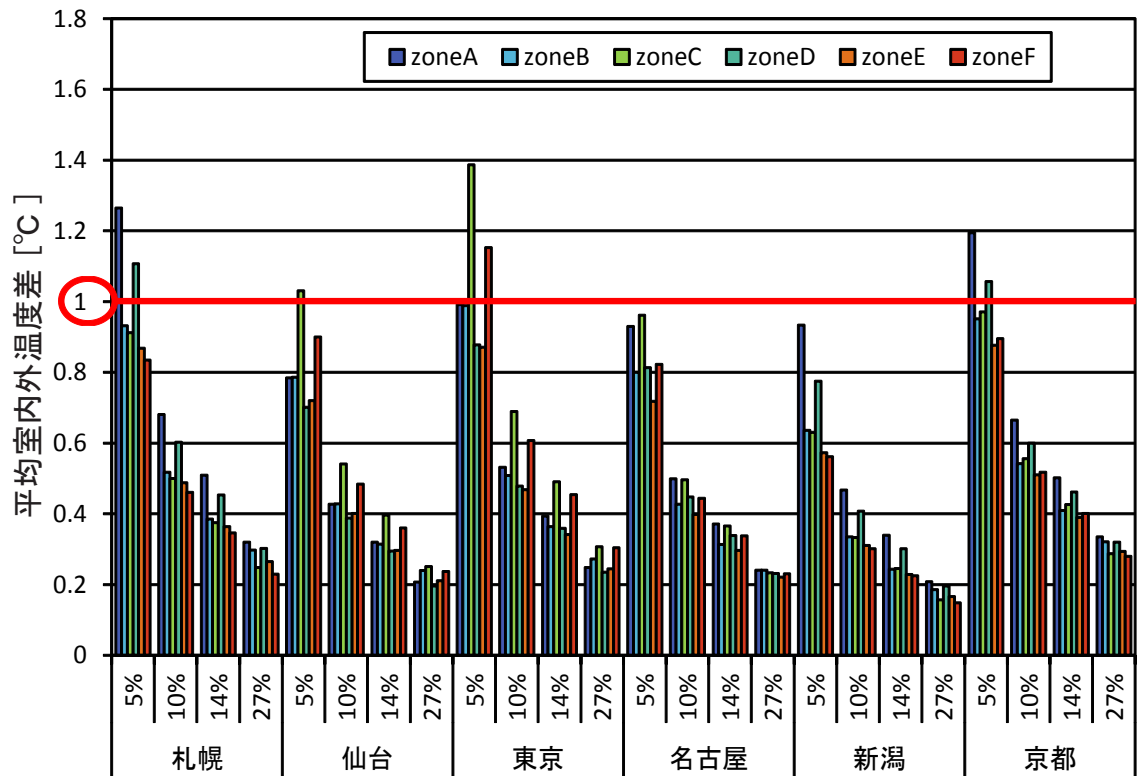


図 3.6.9 6都市における各室の平均室内外温度差  
(プランE、非暖房期間非就寝時)

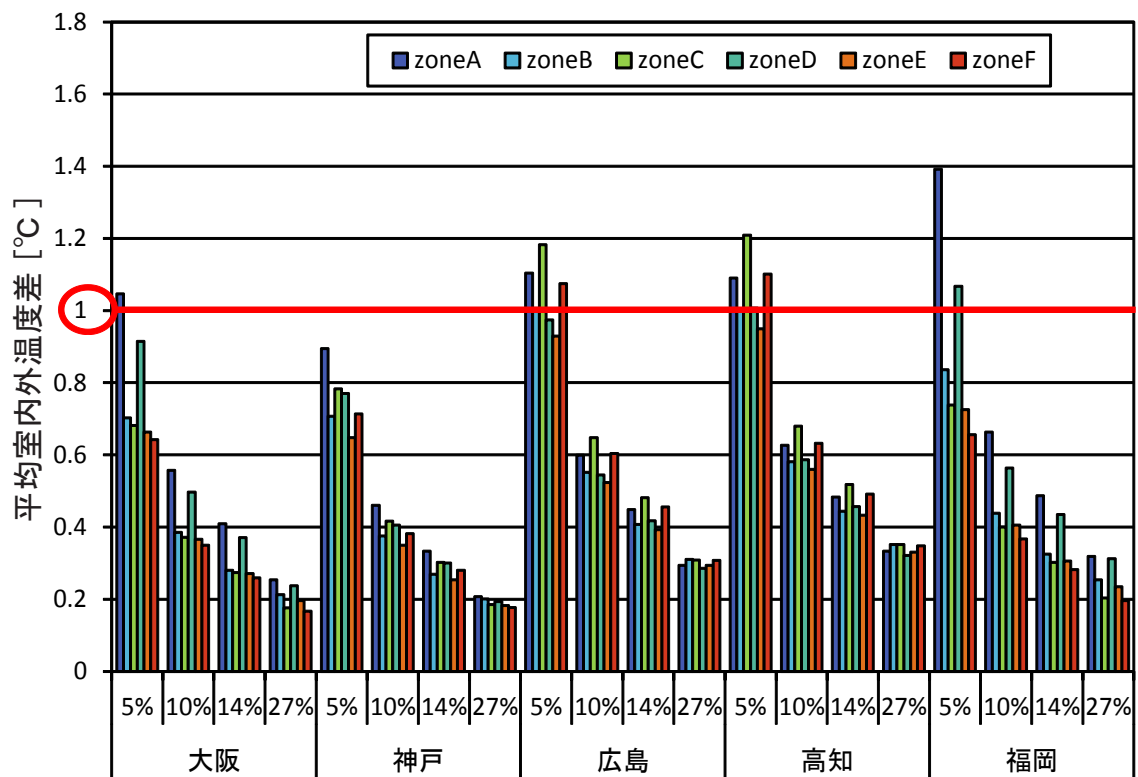


図 3.6.10 5都市における各室の平均室内外温度差  
(プランE、非暖房期間非就寝時)

## 第7章 有効窓面積率

### 3.7.1 換気回数と窓面積率の関係

表 3.7.1 ～ 3.7.2 に各プランの各風向における回帰式と寄与率を、図 3.7.1 ～ 3.7.2 に各プランにおける換気回数と窓面積率の関係（風向 S）を、図 3.7.3 に室間通風量と窓面積率の関係（プラン B、風向 S）を示す。表 3.7.3 ～ 3.7.4 において、上段に回帰式、下段に寄与率を示し、 $y$  を換気回数とし、 $x$  を窓面積率とする。どの風向でも寄与率は 0.99 以上となる。換気回数と窓面積率の関係は、プランの相違による変化はあまりない。

表 3.7.1 各プランの各風向における回帰式と寄与率 (1F)

		1F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 2.4073x + 6.2988$ $R^2 = 0.9984$	$y = 2.5092x + 5.0572$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.6094x + 5.0039$ $R^2 = 0.9994$	$y = 2.5934x + 5.7259$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.7045x + 4.6792$ $R^2 = 1$
	NE	$y = 2.7656x + 6.0885$ $R^2 = 0.9979$	$y = 2.7676x + 5.9186$ $R^2 = 0.9974$	$y = 2.7818x + 5.2229$ $R^2 = 0.9988$	$y = 2.8163x + 8.301$ $R^2 = 0.9969$	$y = 3.0379x + 5.3387$ $R^2 = 0.9986$
	ENE	$y = 2.7754x + 3.5977$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.8838x + 2.0231$ $R^2 = 1$	$y = 3.0086x - 0.0124$ $R^2 = 0.9994$	$y = 3.2385x + 2.6812$ $R^2 = 1$	$y = 3.3699x + 0.2789$ $R^2 = 0.9999$
	E	$y = 2.7888x - 0.4418$ $R^2 = 1$	$y = 2.7878x + 0.3296$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.7993x + 0.1843$ $R^2 = 1$	$y = 3.5886x - 1.6501$ $R^2 = 1$	$y = 3.6061x - 1.7985$ $R^2 = 1$
	ESE	$y = 2.7801x + 3.4393$ $R^2 = 0.9998$	$y = 2.8838x + 2.0231$ $R^2 = 1$	$y = 2.9239x + 1.4665$ $R^2 = 0.9997$	$y = 3.2385x + 2.6812$ $R^2 = 1$	$y = 3.2486x + 1.5603$ $R^2 = 1$
	SE	$y = 2.764x + 5.8165$ $R^2 = 0.9979$	$y = 2.7676x + 5.9186$ $R^2 = 0.9974$	$y = 2.6005x + 7.3719$ $R^2 = 0.9985$	$y = 2.8163x + 8.301$ $R^2 = 0.9969$	$y = 2.7625x + 12.316$ $R^2 = 0.9965$
	SSE	$y = 2.5186x + 5.1038$ $R^2 = 0.9989$	$y = 2.5092x + 5.0572$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.5215x + 4.8875$ $R^2 = 1$	$y = 2.5934x + 5.7259$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.6311x + 5.2076$ $R^2 = 0.9998$
	S	$y = 2.6485x + 0.0609$ $R^2 = 1$	$y = 2.5761x + 0.8612$ $R^2 = 1$	$y = 2.5426x + 1.6459$ $R^2 = 1$	$y = 2.2524x + 1.6919$ $R^2 = 0.9994$	$y = 2.4821x - 0.6591$ $R^2 = 1$
	SSW	$y = 2.5186x + 5.1038$ $R^2 = 0.9989$	$y = 2.5092x + 5.0572$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.6094x + 5.0039$ $R^2 = 0.9994$	$y = 2.5934x + 5.7259$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.7045x + 4.6792$ $R^2 = 1$
	SW	$y = 2.764x + 5.8165$ $R^2 = 0.9979$	$y = 2.7676x + 5.9186$ $R^2 = 0.9974$	$y = 2.7818x + 5.2229$ $R^2 = 0.9988$	$y = 2.8163x + 8.301$ $R^2 = 0.9969$	$y = 3.0379x + 5.3387$ $R^2 = 0.9986$
	WSW	$y = 2.7801x + 3.4393$ $R^2 = 0.9998$	$y = 2.8838x + 2.0231$ $R^2 = 1$	$y = 3.0086x - 0.0124$ $R^2 = 0.9994$	$y = 3.2385x + 2.6812$ $R^2 = 1$	$y = 3.3699x + 0.2789$ $R^2 = 0.9999$
	W	$y = 2.7888x - 0.4418$ $R^2 = 1$	$y = 2.7878x + 0.3296$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.7993x + 0.1843$ $R^2 = 1$	$y = 3.5886x - 1.6501$ $R^2 = 1$	$y = 3.6061x - 1.7985$ $R^2 = 1$
	WNW	$y = 2.7754x + 3.5977$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.8838x + 2.0231$ $R^2 = 1$	$y = 2.9239x + 1.4665$ $R^2 = 0.9997$	$y = 3.2385x + 2.6812$ $R^2 = 1$	$y = 3.2486x + 1.5603$ $R^2 = 1$
	NW	$y = 2.7656x + 6.0885$ $R^2 = 0.9979$	$y = 2.7676x + 5.9186$ $R^2 = 0.9974$	$y = 2.6005x + 7.3719$ $R^2 = 0.9985$	$y = 2.8163x + 8.301$ $R^2 = 0.9969$	$y = 2.743x + 8.7661$ $R^2 = 0.9975$
	NNW	$y = 2.4073x + 6.2988$ $R^2 = 0.9984$	$y = 2.5092x + 5.0572$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.5215x + 4.8875$ $R^2 = 1$	$y = 2.5934x + 5.7259$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.6311x + 5.2076$ $R^2 = 0.9998$
	N	$y = 2.6302x - 0.2826$ $R^2 = 1$	$y = 2.5761x + 0.8612$ $R^2 = 1$	$y = 2.5426x + 1.6459$ $R^2 = 1$	$y = 2.2524x + 1.6919$ $R^2 = 0.9994$	$y = 2.4821x - 0.6591$ $R^2 = 1$

表 3.7.2 各プランの各風向における回帰式と寄与率 (2F)

		2F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 2.7955x + 3.0686$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.6969x + 4.239$ $R^2 = 0.9996$	$y = 2.7908x + 2.8168$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.5874x + 6.4954$ $R^2 = 0.9993$	$y = 2.6848x + 4.4796$ $R^2 = 1$
	NE	$y = 3.1634x + 2.2117$ $R^2 = 0.9997$	$y = 3.1331x + 2.8447$ $R^2 = 0.9993$	$y = 3.105x + 2.2685$ $R^2 = 0.9998$	$y = 3.1806x + 3.9595$ $R^2 = 0.9994$	$y = 3.2733x + 2.6147$ $R^2 = 0.9996$
	ENE	$y = 3.1042x + 1.0933$ $R^2 = 1$	$y = 3.1019x + 1.8308$ $R^2 = 1$	$y = 3.0217x + 1.3973$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.431x + 1.4409$ $R^2 = 1$	$y = 3.4396x + 1.109$ $R^2 = 0.9998$
	E	$y = 3.0845x - 2.228$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.1375x - 2.5837$ $R^2 = 1$	$y = 3.1277x - 2.5035$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.7723x - 3.2744$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.7717x - 3.5356$ $R^2 = 0.9999$
	ESE	$y = 3.0941x + 1.3451$ $R^2 = 1$	$y = 3.1019x + 1.8308$ $R^2 = 1$	$y = 2.9488x + 2.3245$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.431x + 1.4409$ $R^2 = 1$	$y = 3.3616x + 1.701$ $R^2 = 0.9999$
	SE	$y = 3.1124x + 2.8994$ $R^2 = 0.9996$	$y = 3.1331x + 2.8447$ $R^2 = 0.9993$	$y = 2.9466x + 3.9815$ $R^2 = 0.9995$	$y = 3.1806x + 3.9595$ $R^2 = 0.9994$	$y = 3.0032x + 6.4905$ $R^2 = 0.9996$
	SSE	$y = 2.706x + 4.0819$ $R^2 = 0.9996$	$y = 2.6969x + 4.239$ $R^2 = 0.9996$	$y = 2.6118x + 4.3158$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.5874x + 6.4954$ $R^2 = 0.9993$	$y = 2.4371x + 7.5577$ $R^2 = 0.9992$
	S	$y = 2.654x - 0.4105$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.5751x + 0.9926$ $R^2 = 1$	$y = 2.6224x + 0.8926$ $R^2 = 1$	$y = 2.1271x + 0.8821$ $R^2 = 1$	$y = 2.2353x + 0.2903$ $R^2 = 0.9999$
	SSW	$y = 2.706x + 4.0819$ $R^2 = 0.9996$	$y = 2.6969x + 4.239$ $R^2 = 0.9996$	$y = 2.7908x + 2.8168$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.5874x + 6.4954$ $R^2 = 0.9993$	$y = 2.6848x + 4.4796$ $R^2 = 1$
	SW	$y = 3.1124x + 2.8994$ $R^2 = 0.9996$	$y = 3.1331x + 2.8447$ $R^2 = 0.9993$	$y = 3.105x + 2.2685$ $R^2 = 0.9998$	$y = 3.1806x + 3.9595$ $R^2 = 0.9994$	$y = 3.2733x + 2.6147$ $R^2 = 0.9996$
	WSW	$y = 3.0941x + 1.3451$ $R^2 = 1$	$y = 3.1019x + 1.8308$ $R^2 = 1$	$y = 3.0217x + 1.3973$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.431x + 1.4409$ $R^2 = 1$	$y = 3.4396x + 1.109$ $R^2 = 0.9998$
	W	$y = 3.0845x - 2.228$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.1375x - 2.5837$ $R^2 = 1$	$y = 3.1277x - 2.5035$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.7723x - 3.2744$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.7717x - 3.5356$ $R^2 = 0.9999$
	WNW	$y = 3.1042x + 1.0933$ $R^2 = 1$	$y = 3.1019x + 1.8308$ $R^2 = 1$	$y = 2.9488x + 2.3245$ $R^2 = 0.9999$	$y = 3.431x + 1.4409$ $R^2 = 1$	$y = 3.3616x + 1.701$ $R^2 = 0.9999$
	NW	$y = 3.1634x + 2.2117$ $R^2 = 0.9997$	$y = 3.1331x + 2.8447$ $R^2 = 0.9993$	$y = 2.9466x + 3.9815$ $R^2 = 0.9995$	$y = 3.1806x + 3.9595$ $R^2 = 0.9994$	$y = 3.0376x + 4.8128$ $R^2 = 0.9992$
	NNW	$y = 2.7955x + 3.0686$ $R^2 = 0.9997$	$y = 2.6969x + 4.239$ $R^2 = 0.9996$	$y = 2.6118x + 4.3158$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.5874x + 6.4954$ $R^2 = 0.9993$	$y = 2.4371x + 7.5577$ $R^2 = 0.9992$
	N	$y = 2.6877x - 0.3058$ $R^2 = 0.9999$	$y = 2.5751x + 0.9926$ $R^2 = 1$	$y = 2.6224x + 0.8926$ $R^2 = 1$	$y = 2.1271x + 0.8821$ $R^2 = 1$	$y = 2.2353x + 0.2903$ $R^2 = 0.9999$

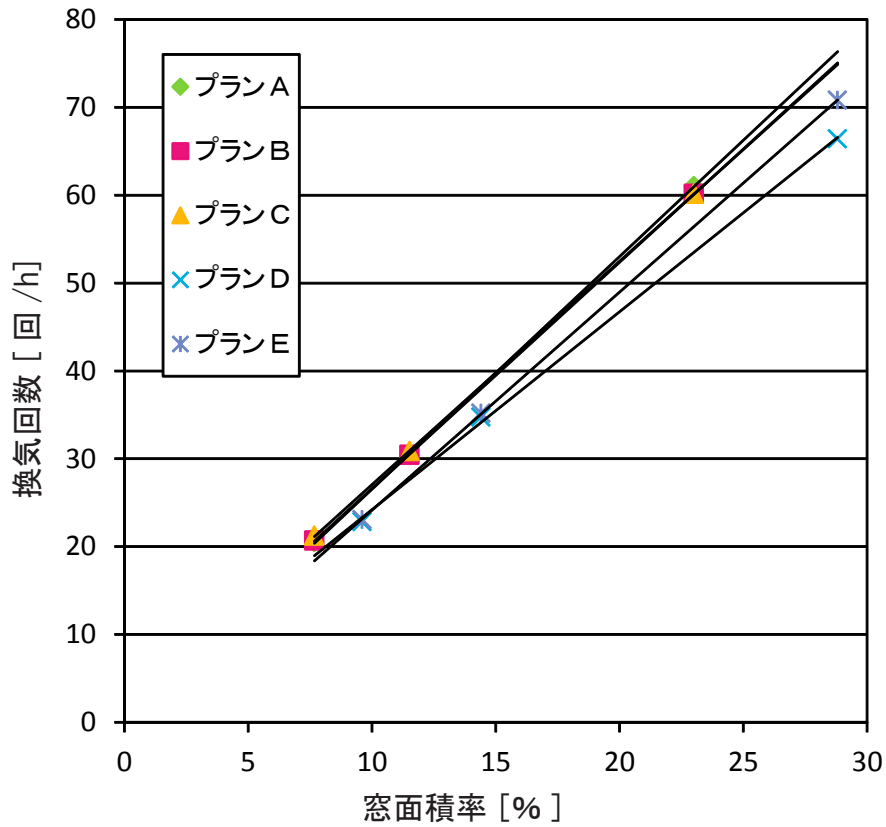


図 3.7.1 各プランにおける換気回数と窓面積率の関係（風向 S、1 F）

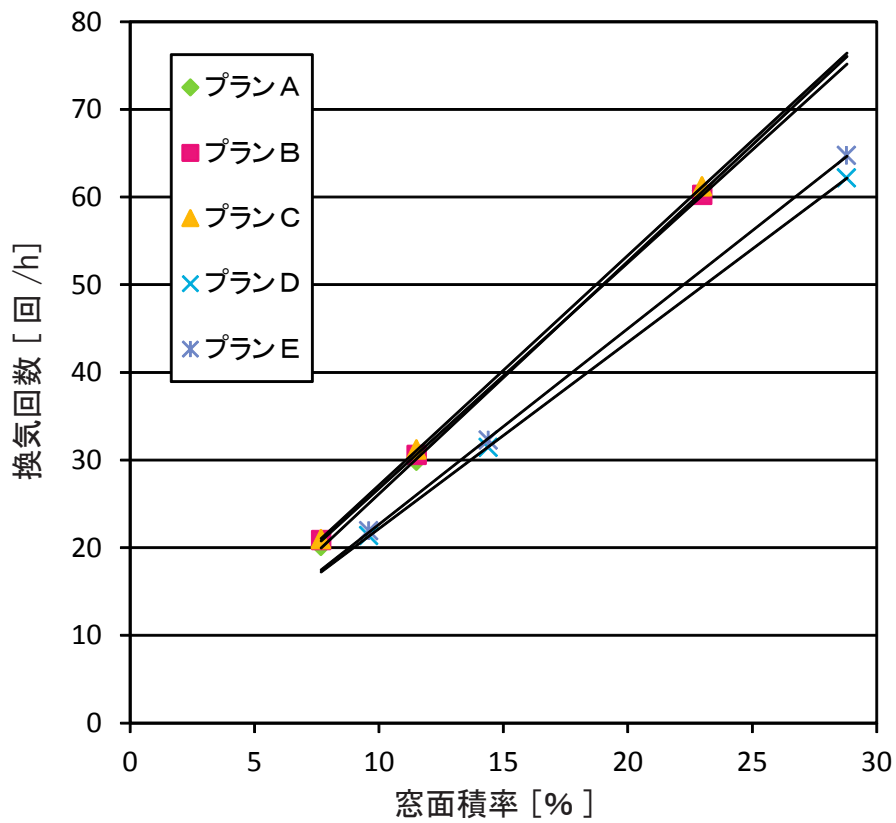


図 3.7.2 各プランにおける換気回数と窓面積率の関係（風向 S、2 F）



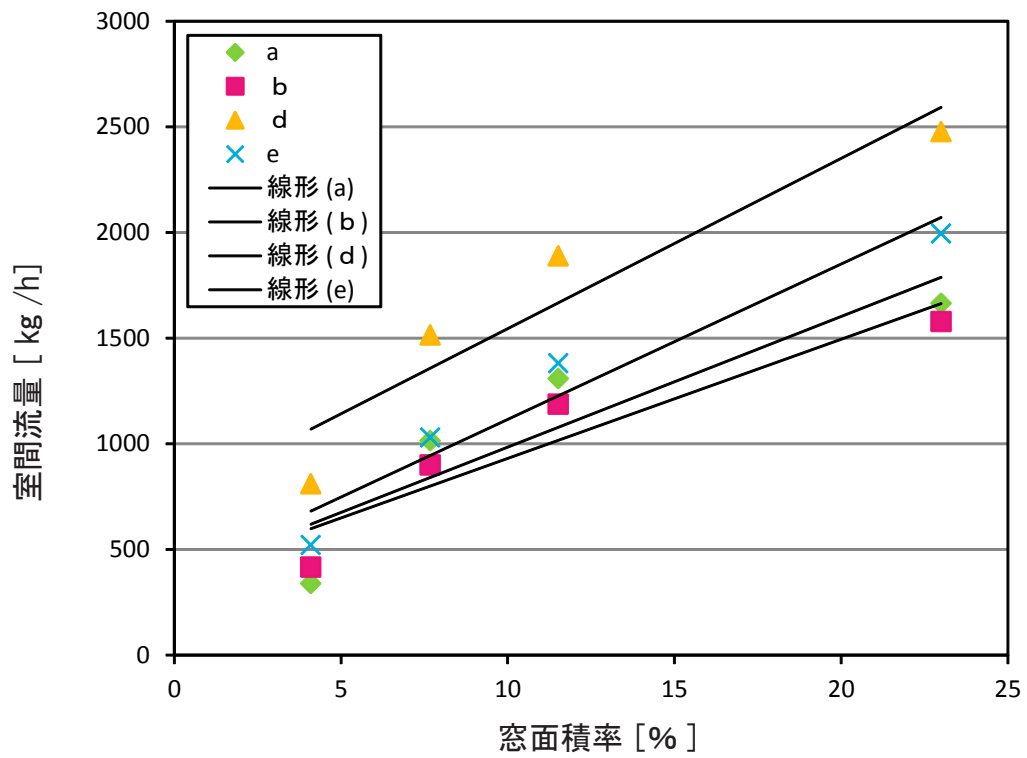


図 3.7.3 室間通風量と窓面積率の関係（プランB、風向S）

### 3.7.2 有効窓面積率マップ

図 3.7.4 ～図 3.7.23 に各プランにおける有効窓面積率マップを示す。

有効窓面積率は地域によって異なる。全体的に Grade ①（換気回数 20 回 /h）の方が有効窓面積率が高い。又、どちらの評価 Grade においても内陸部、山間部では有効窓面積率が比較的高く、海沿いの都市では低い傾向がある。これは、内陸部では風速が遅く、海沿いの都市では速いためと考えられる。尚、有効窓面積率は 1 F と 2 F で殆ど変化しない。プラン A ～ E を比較すると、どのプランにおいても上記の特徴が見られ、プランの相違によって有効窓面積率に変化は殆どない。このことから、単体モデル（建蔽率 0 %）では間仕切り壁や開口条件の違いによって通風性能は変化しないと考えられる。

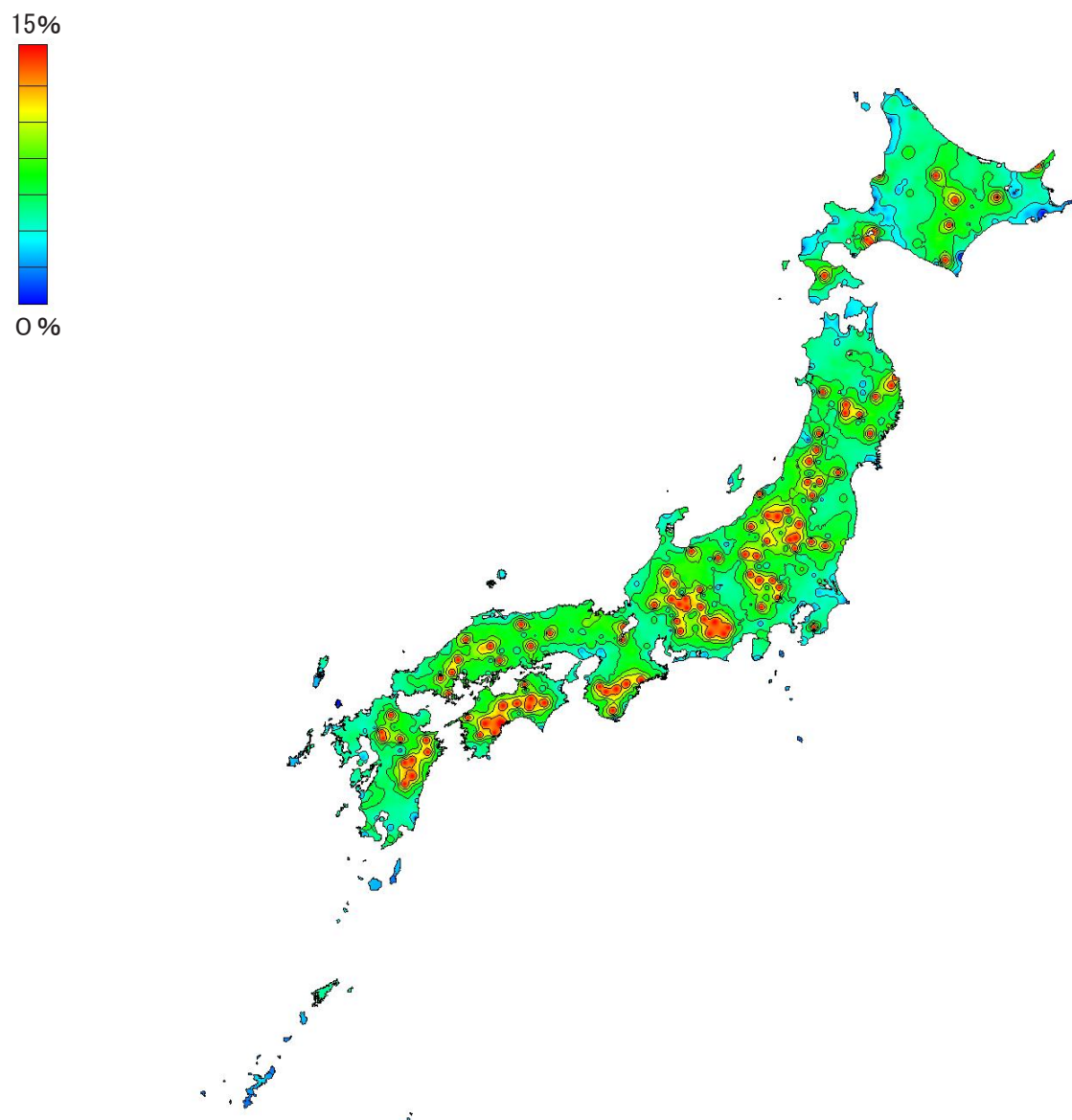


図 3.7.4 プランAにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、1 F )

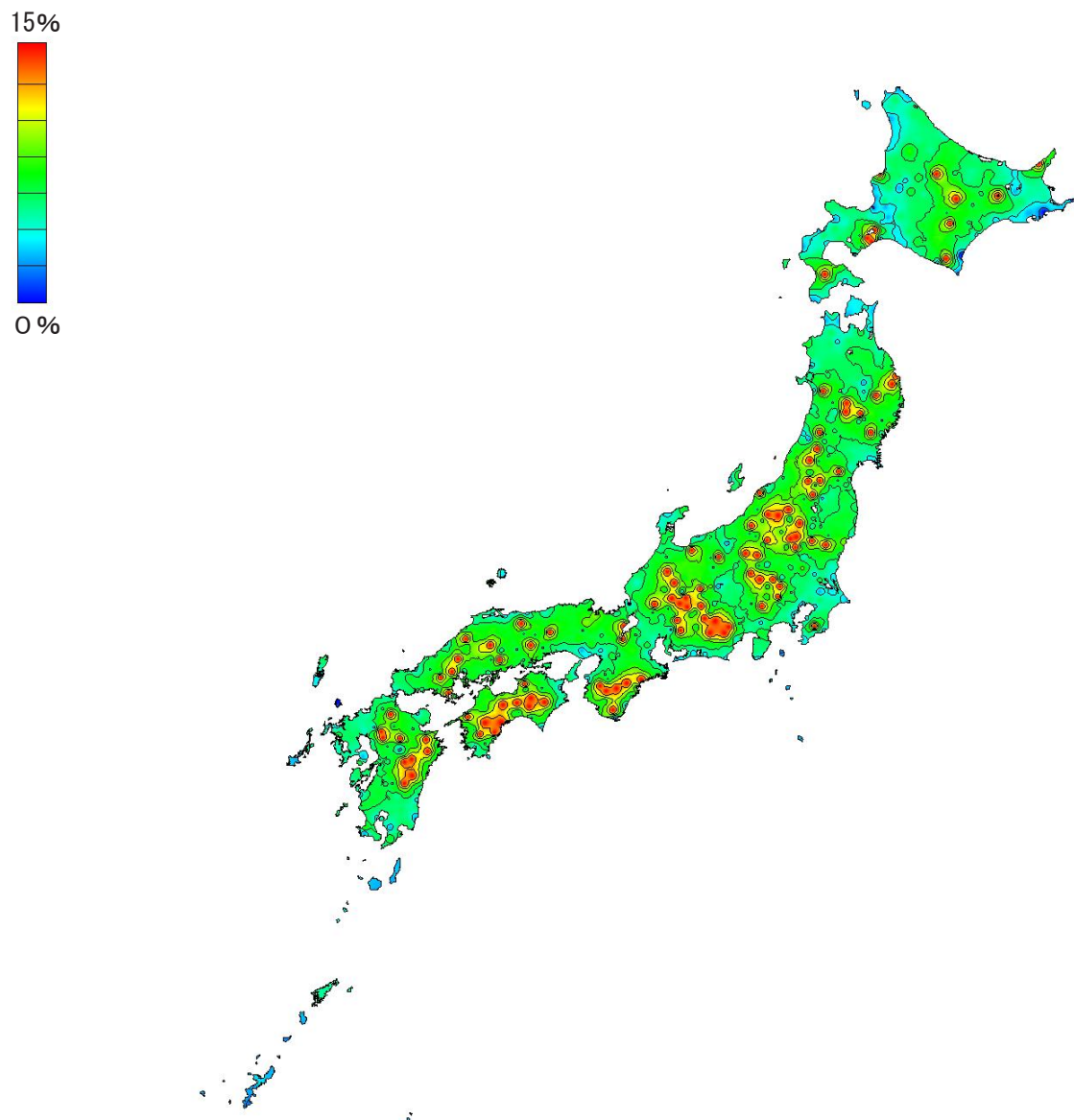


図 3.7.5 プランAにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、2 F )

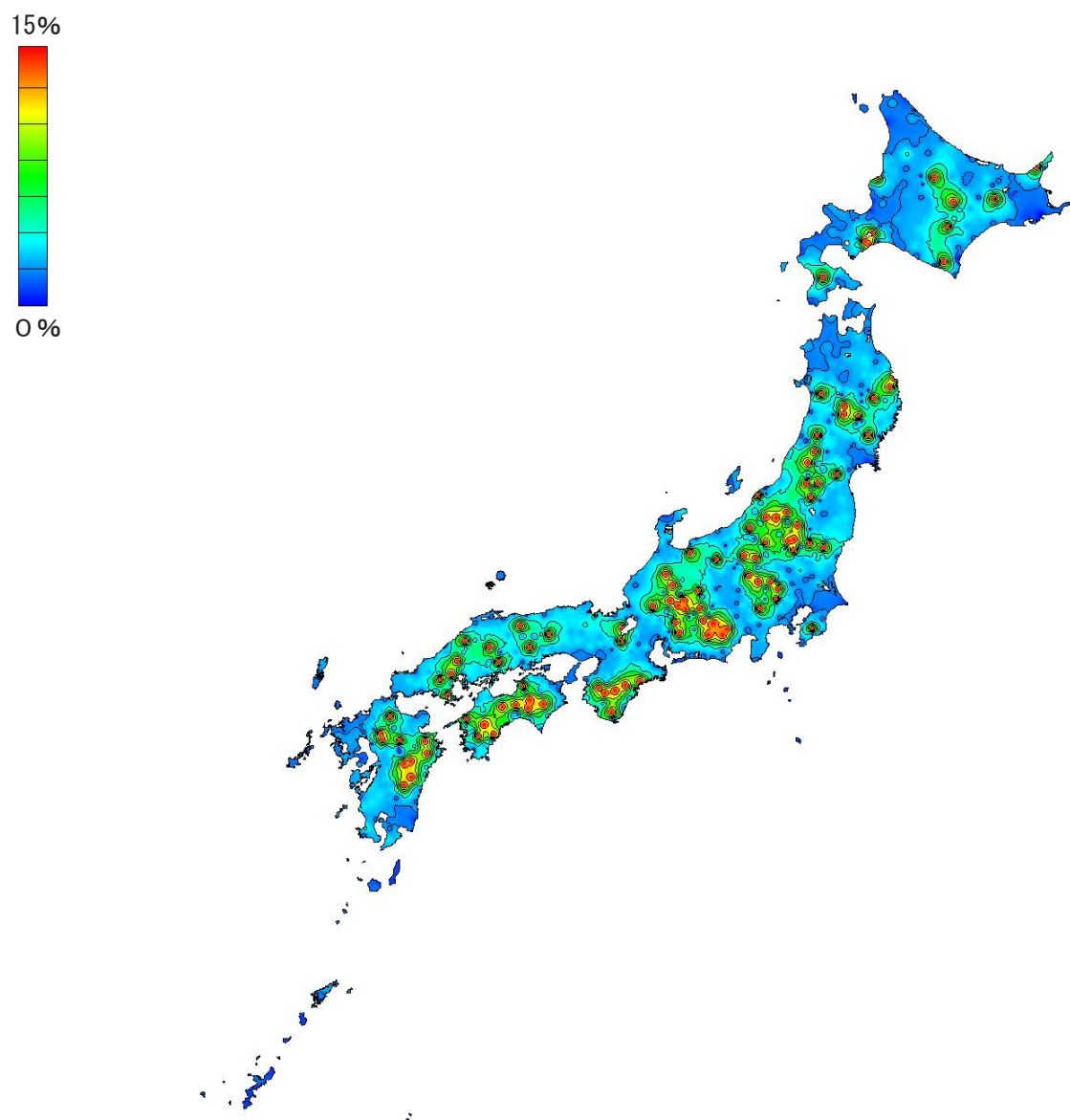


図 3.7.6 プランAにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、1 F )

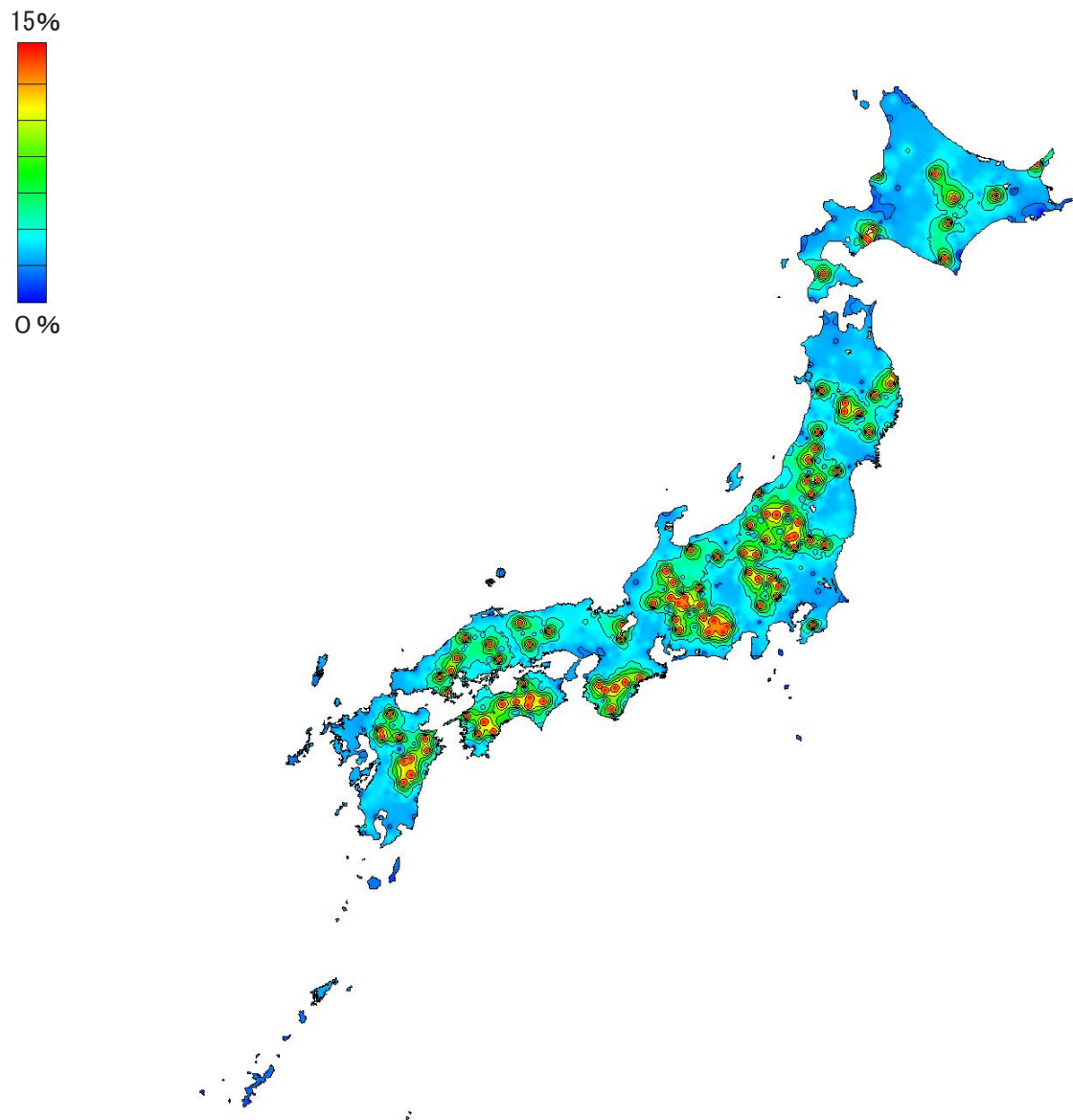


図 3.7.7 プランAにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、2 F )

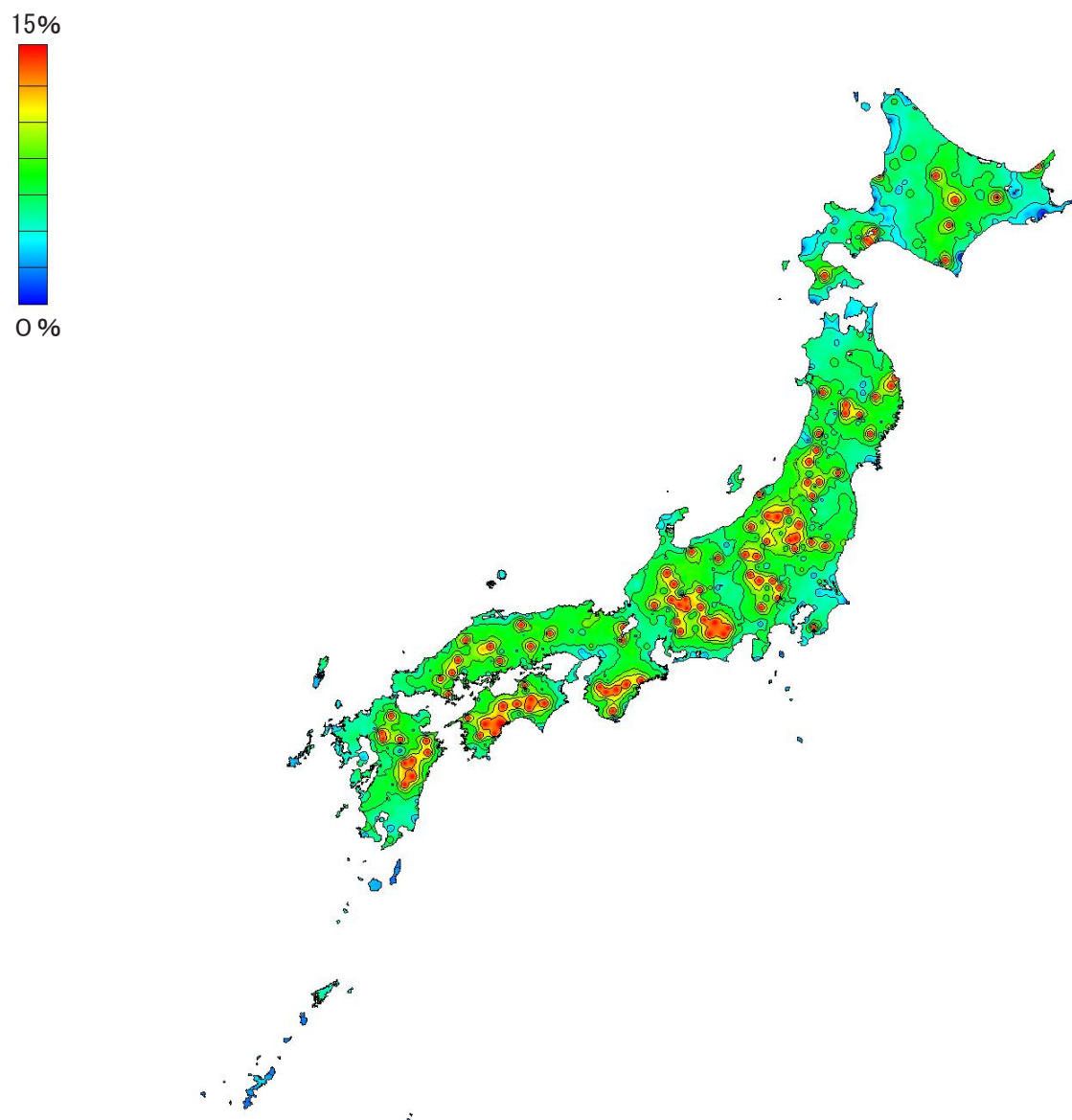


図 3.7.9 プランBにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、1 F )

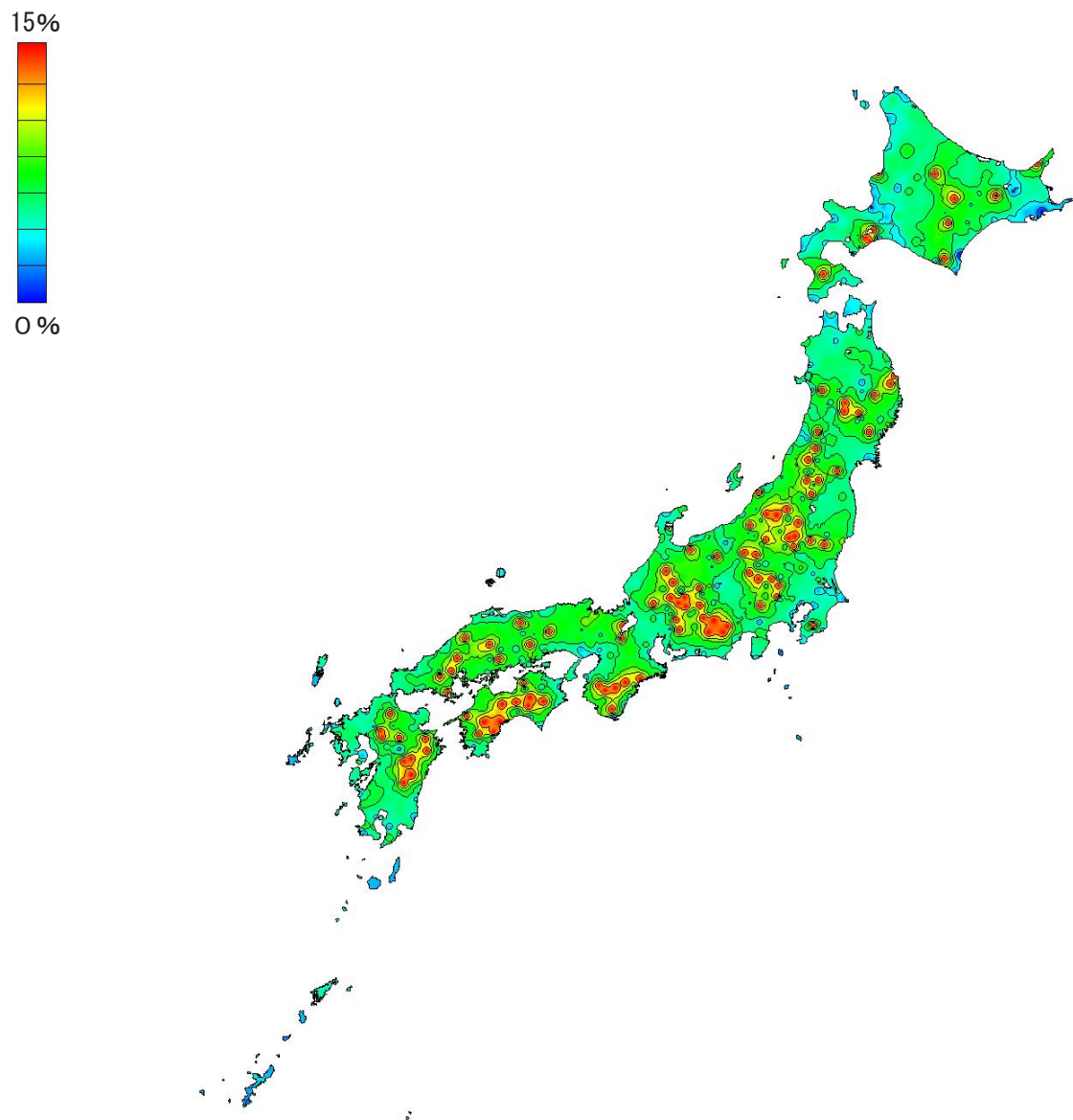


図 3.7.10 プランBにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、2 F )



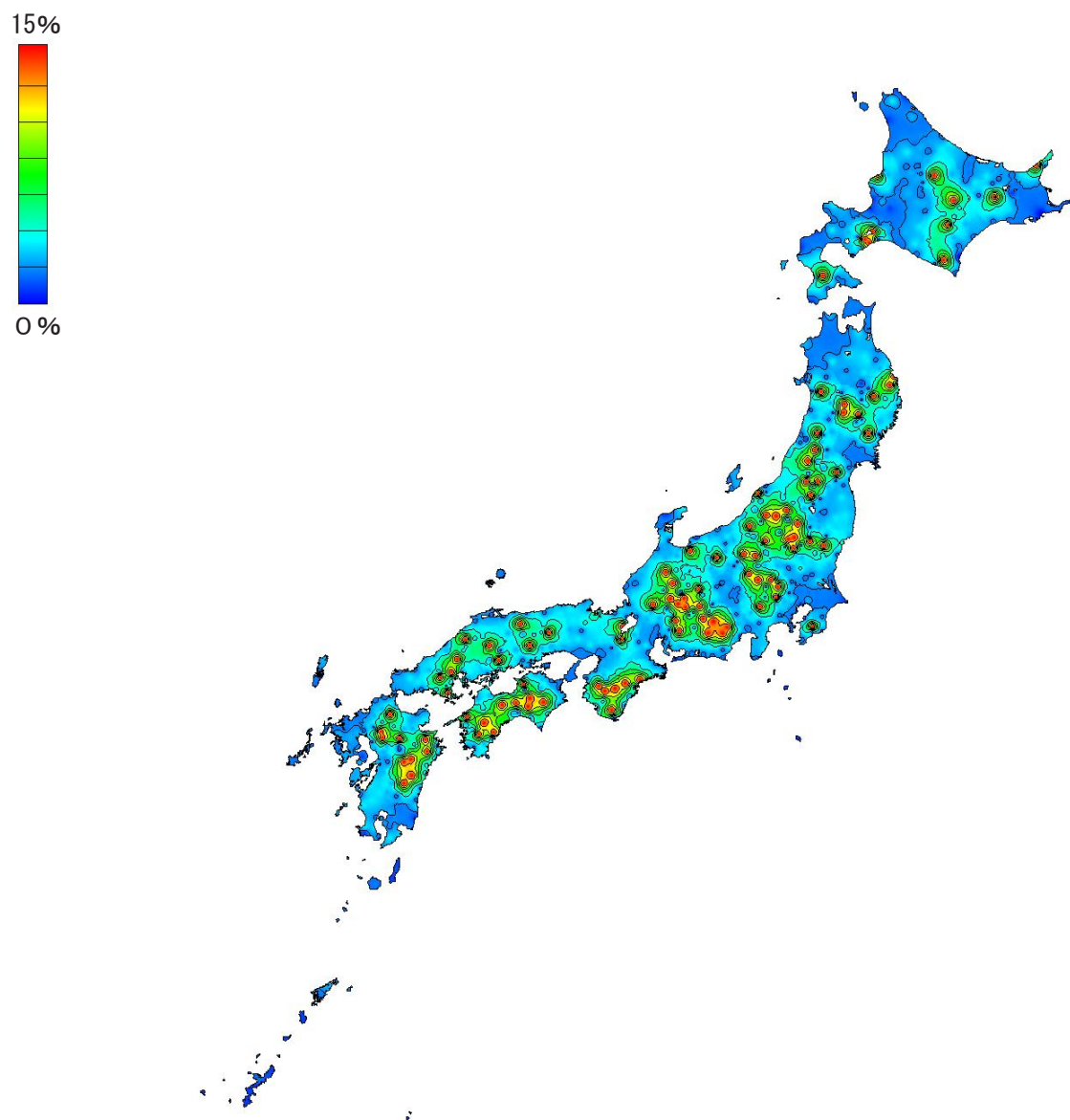


図 3.7.11 プランBにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、1 F )

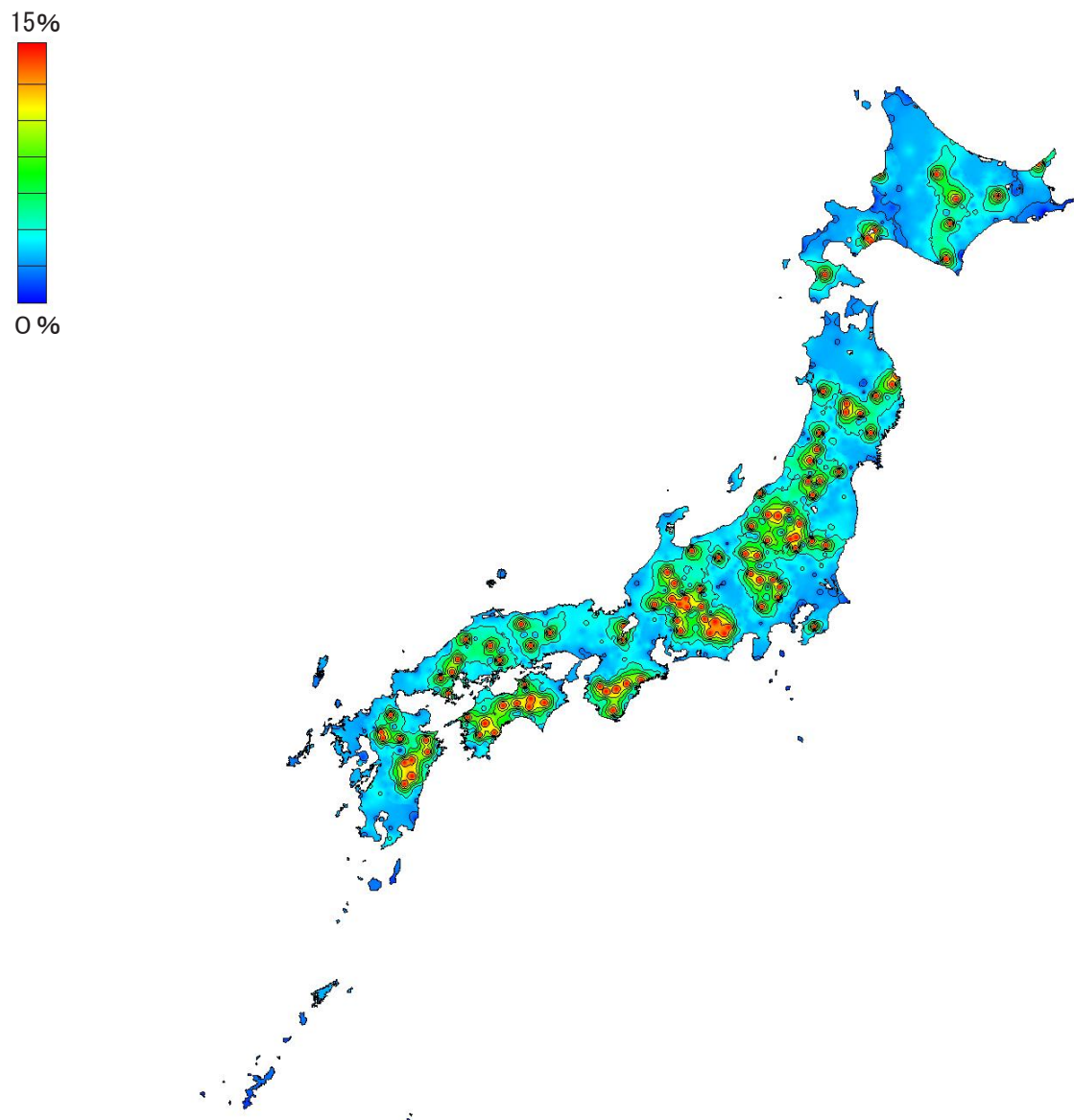


図 3.7.12 プランBにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、2 F )

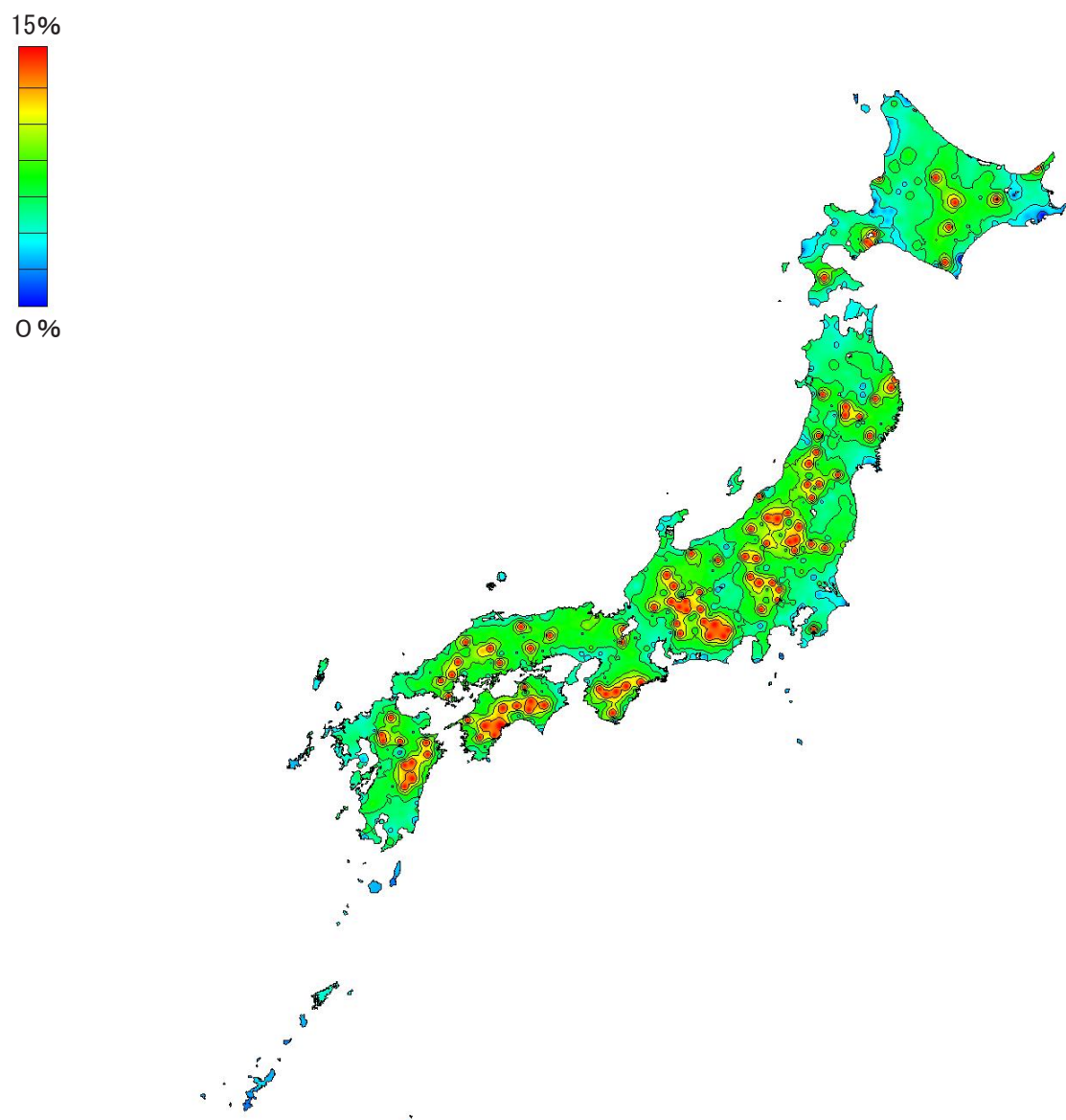


図 3.7.13 プランCにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、1 F )

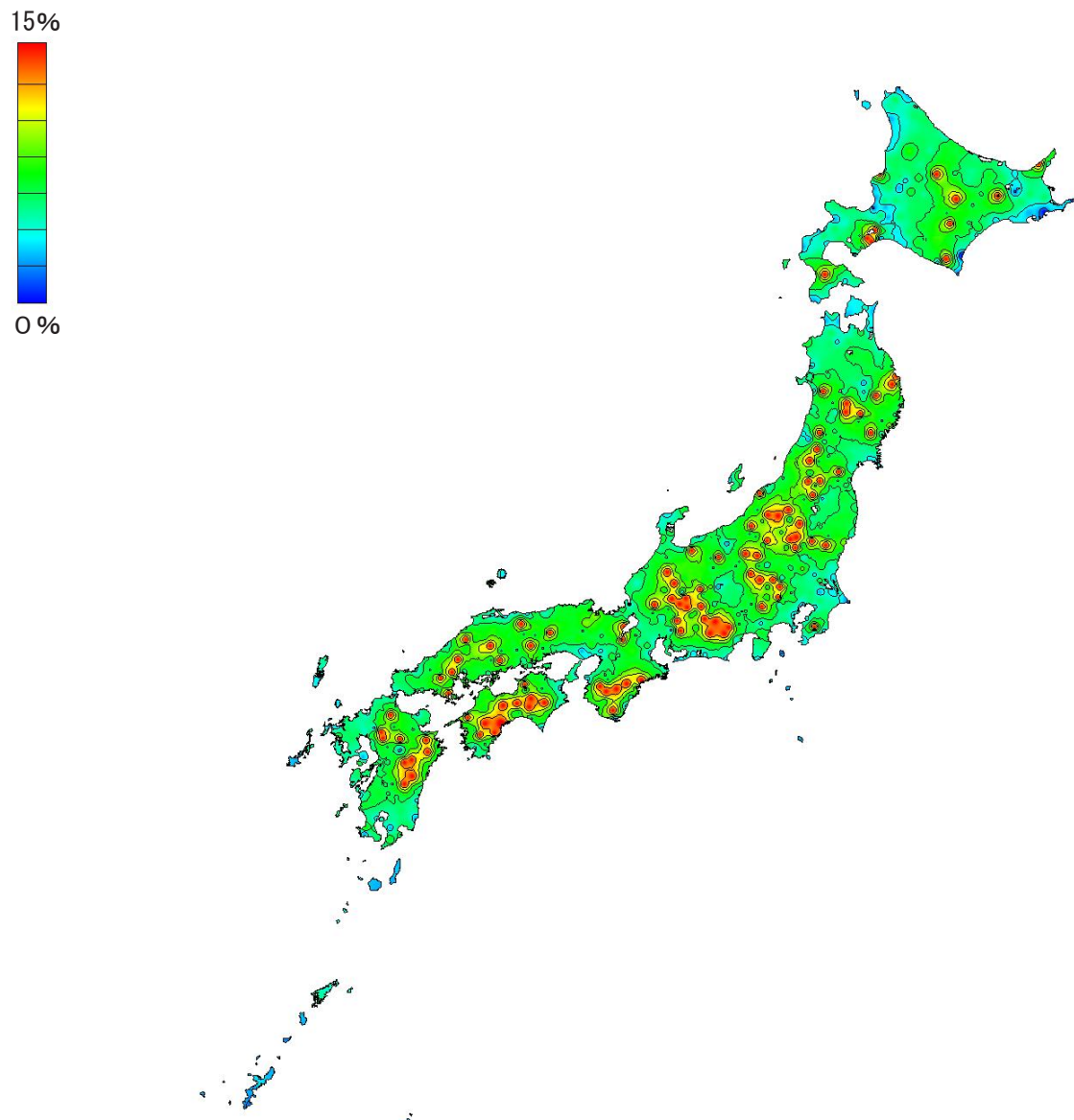


図 3.7.14 プランCにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、2 F )

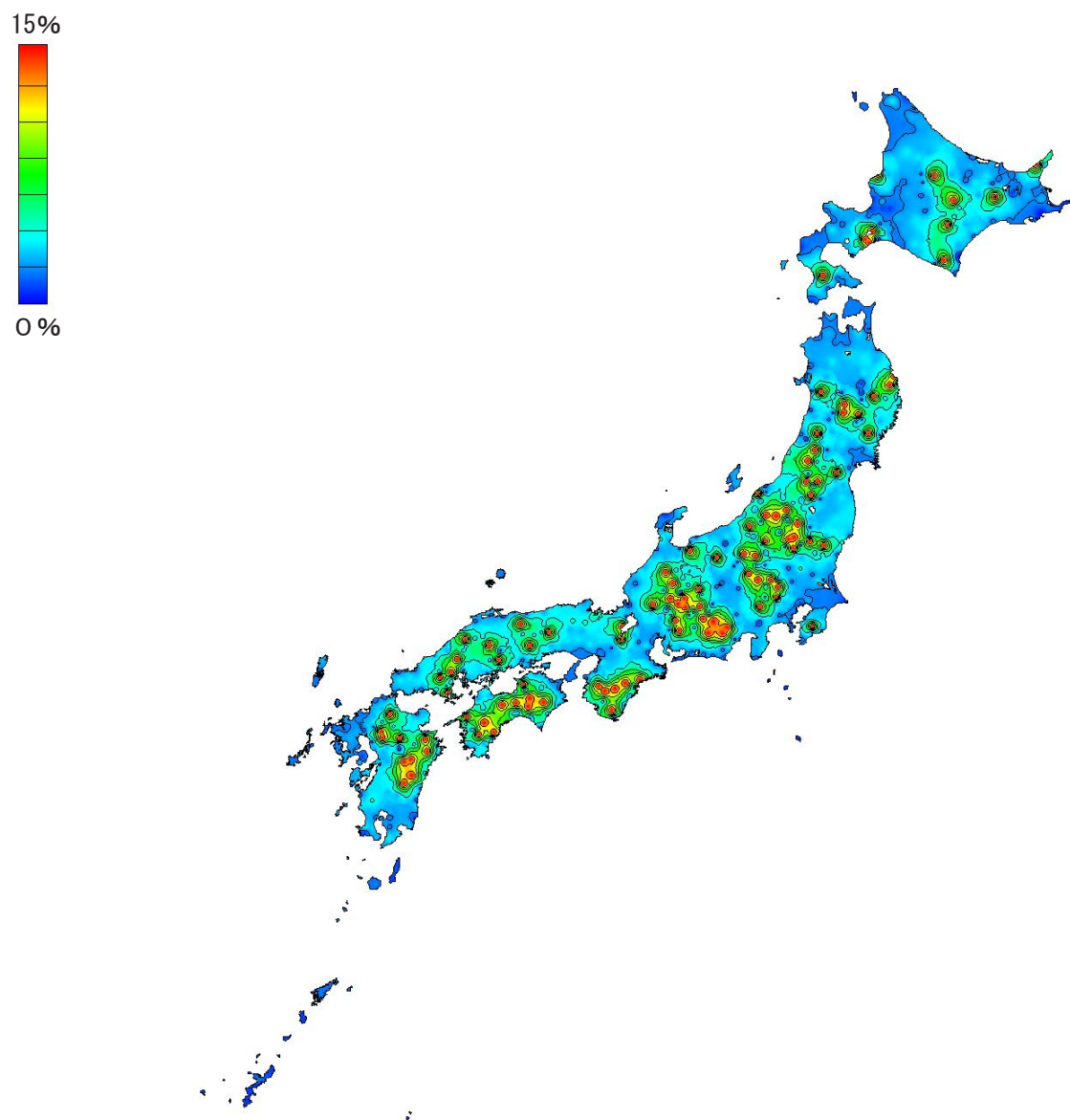


図 3.7.15 プランCにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、1 F )

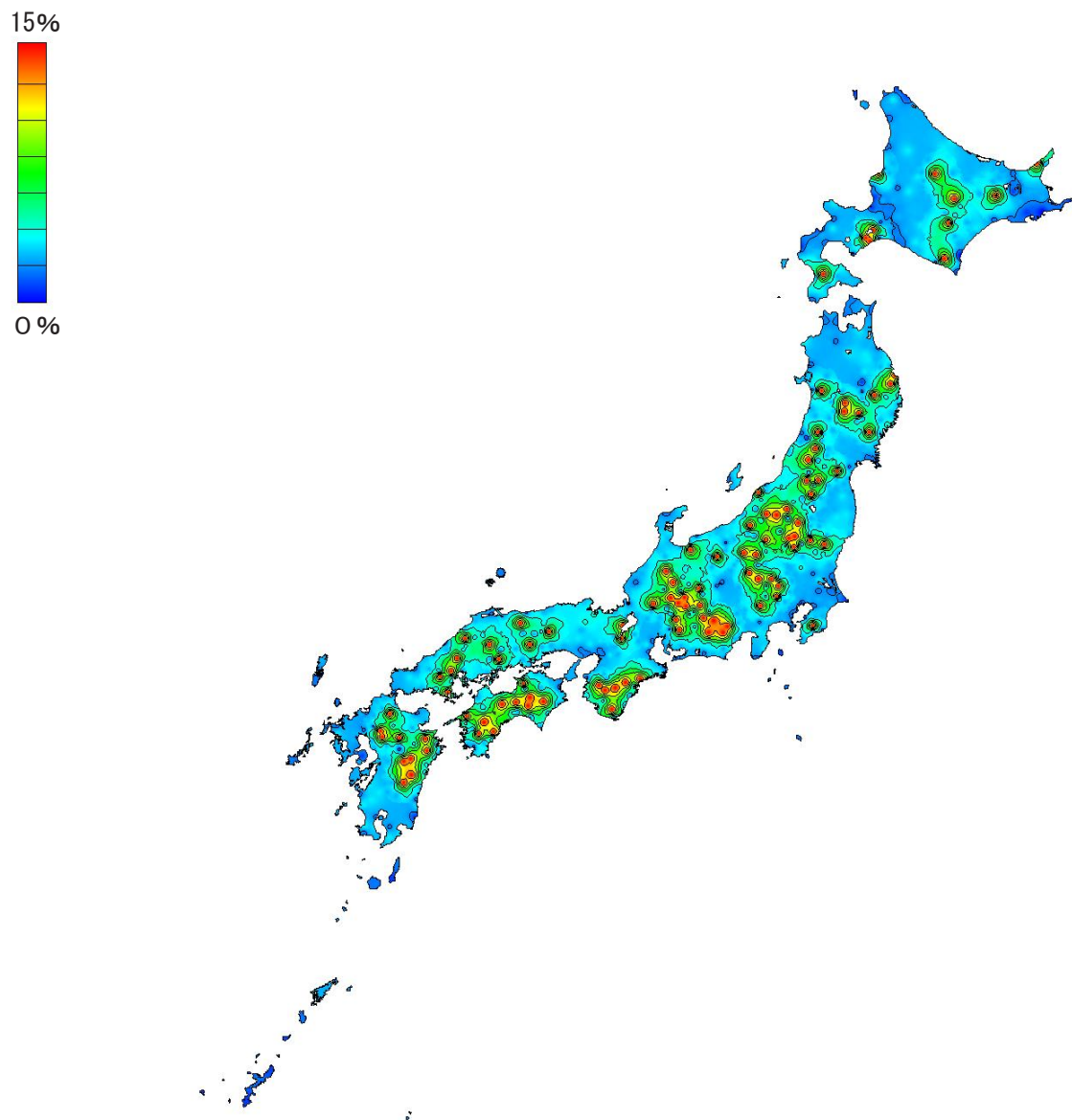


図 3.7.16 プランCにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、2 F )

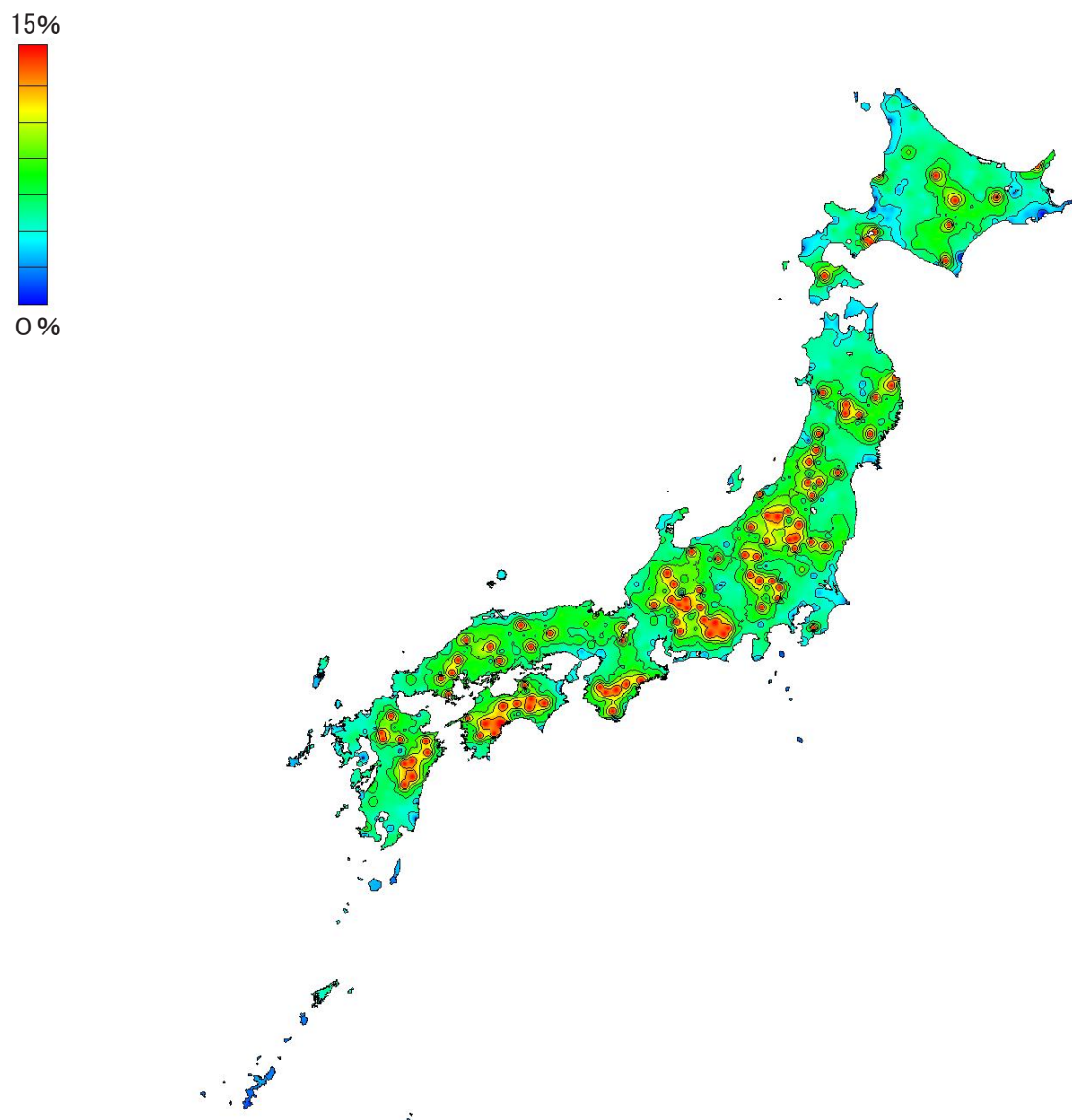


図 3.7.17 プランDにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、1 F )

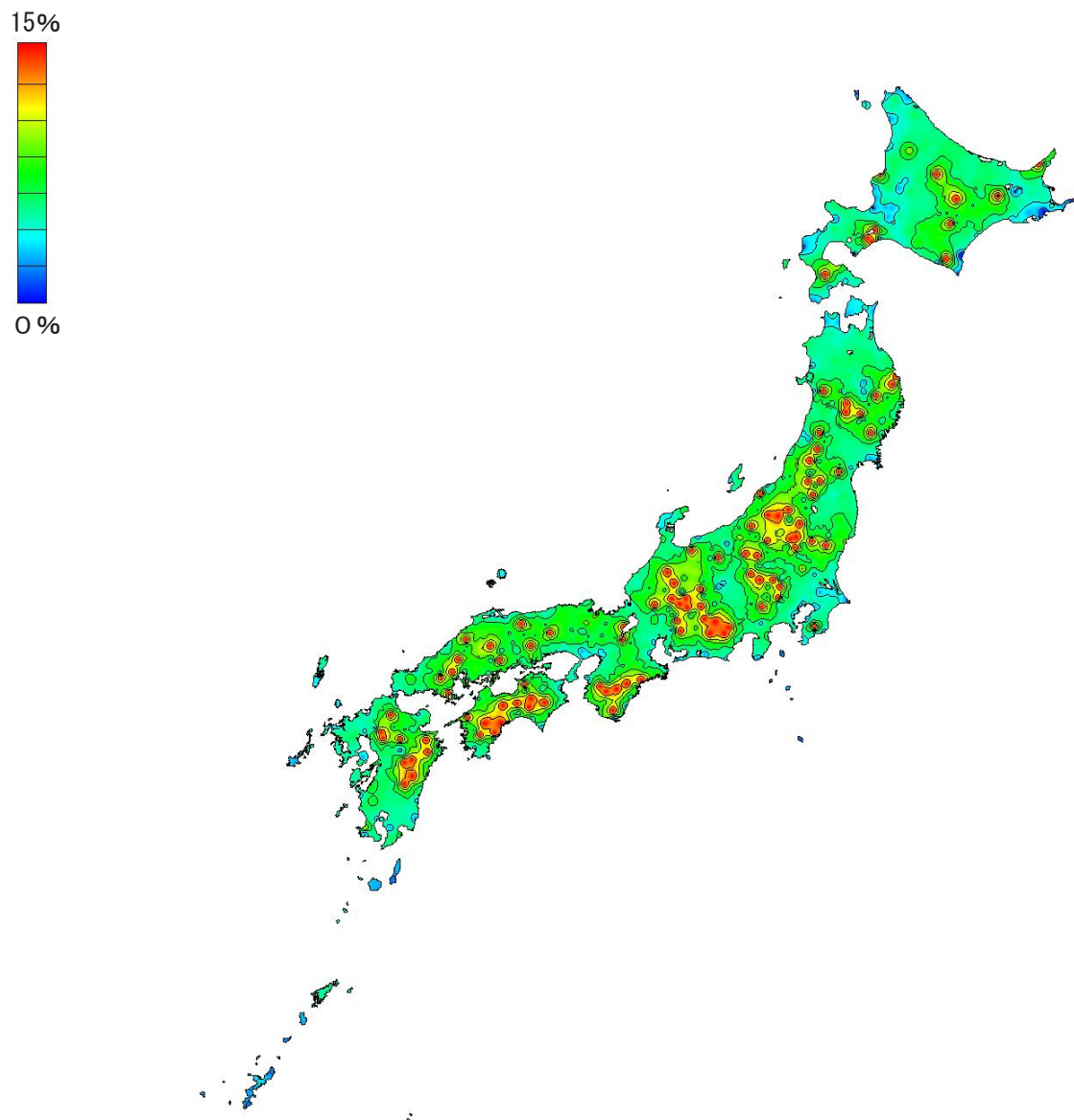


図 3.7.18 プランDにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、2 F )



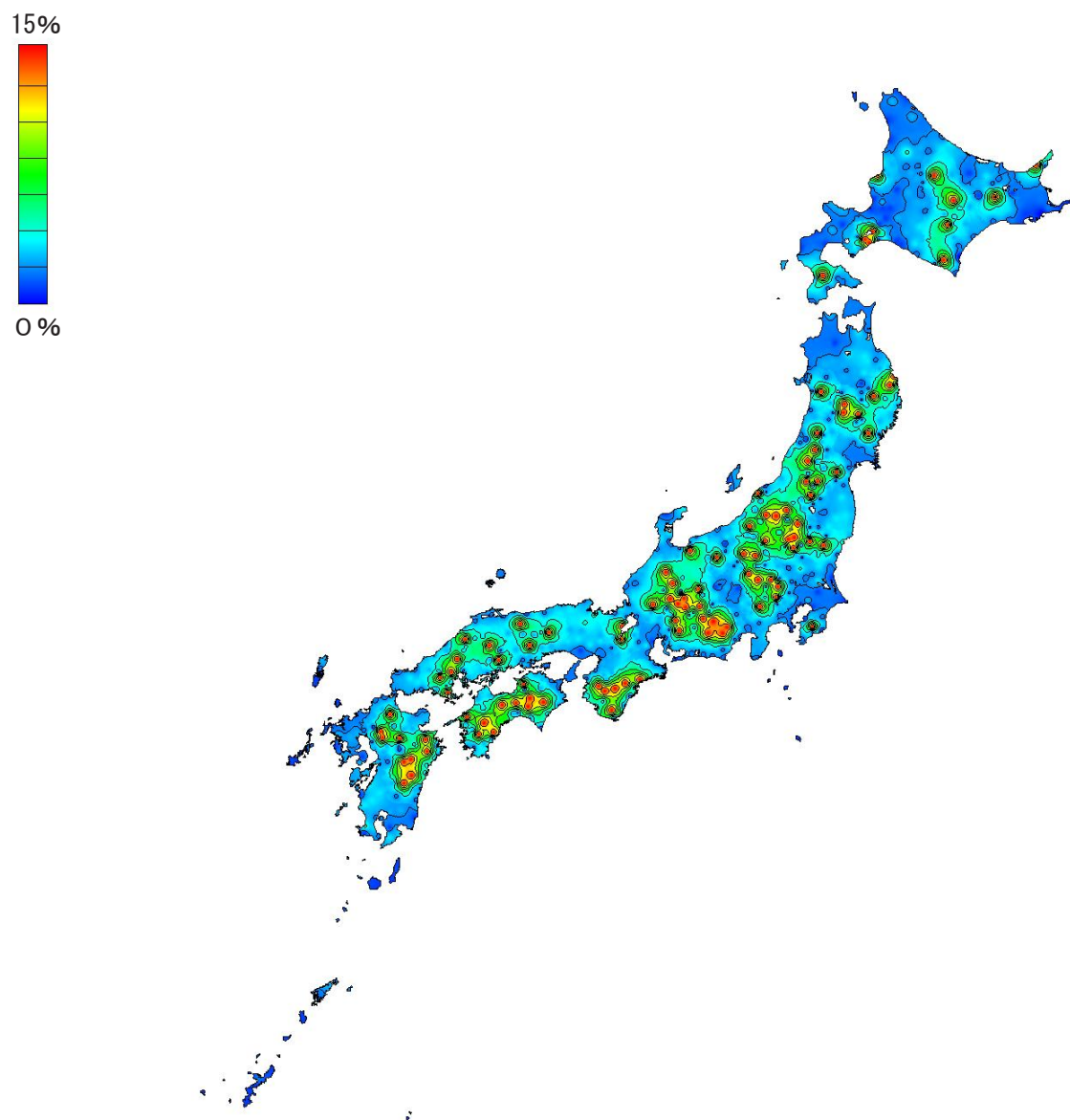


図 3.7.19 プランDにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、1 F )

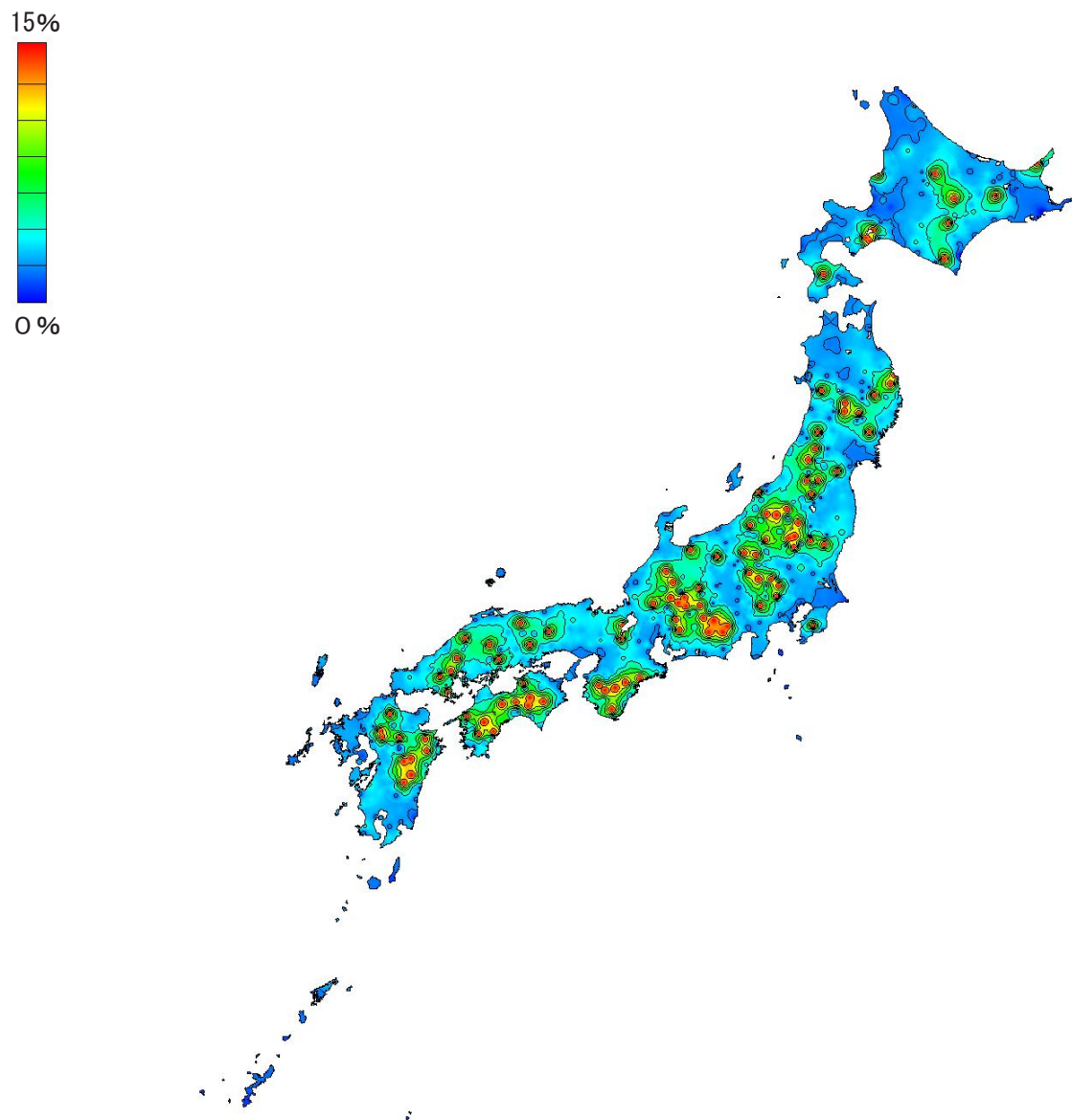


図 3.7.20 プランDにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、2 F )

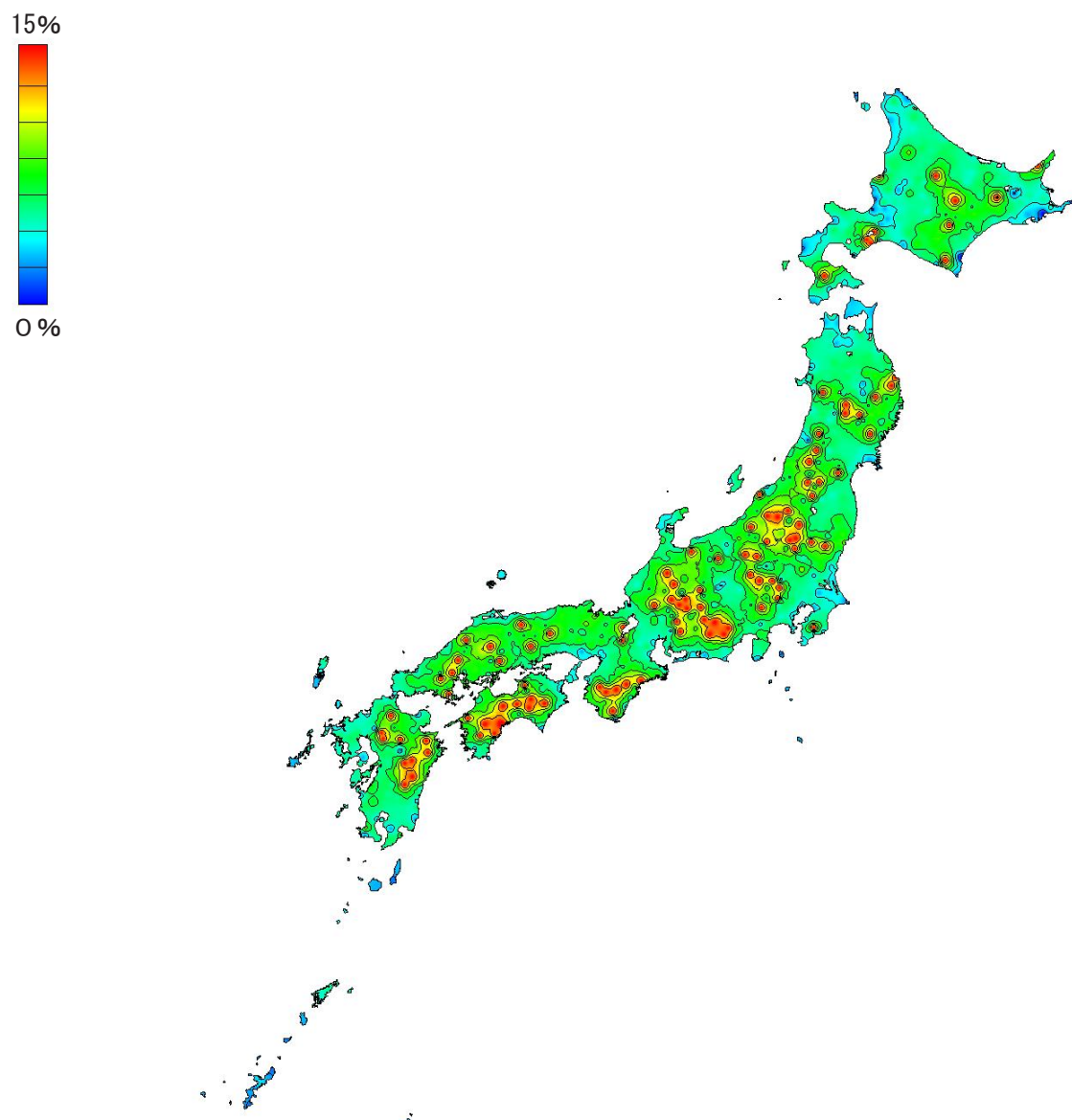


図 3.7.21 プランEにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、1 F )

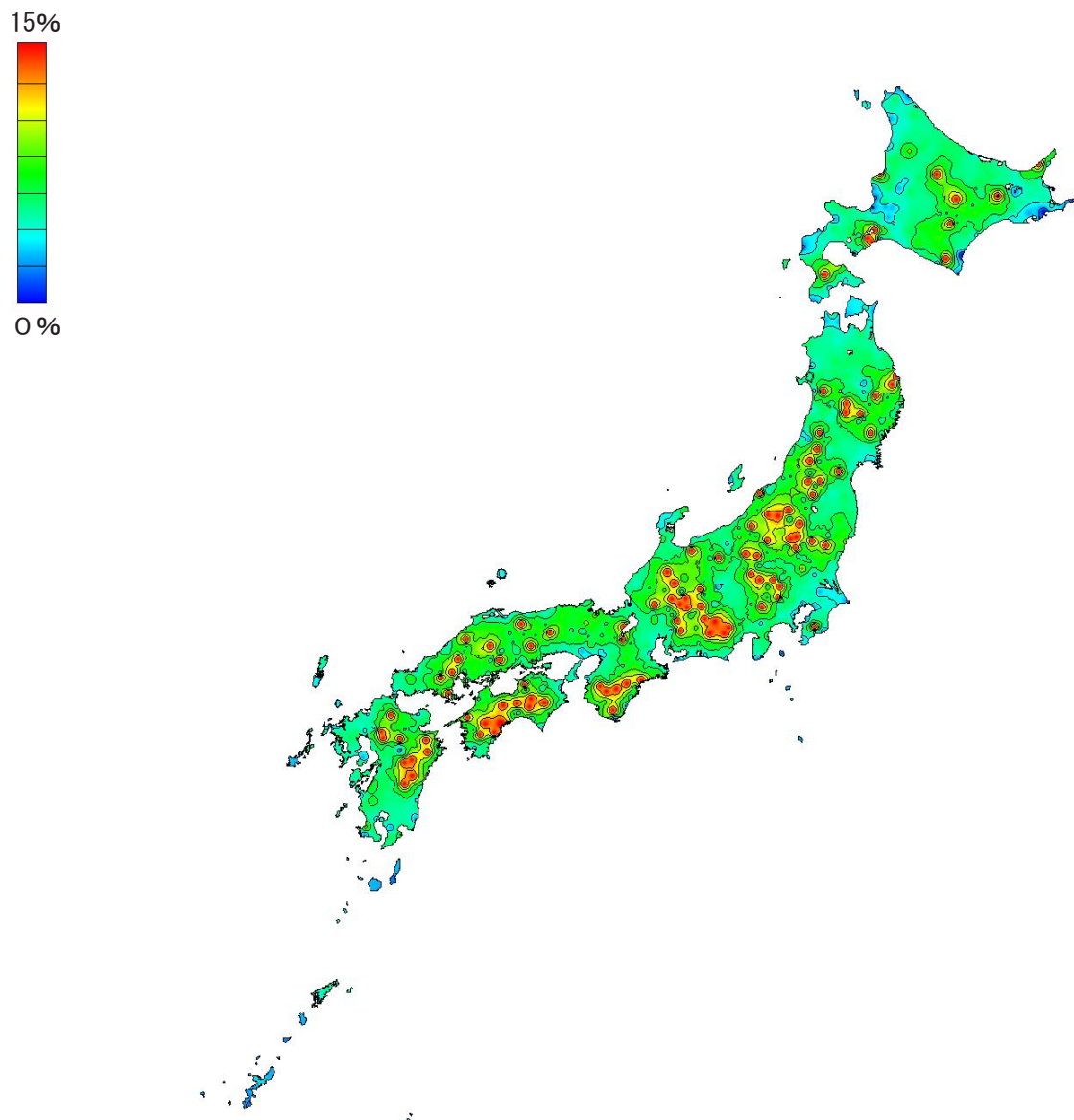


図 3.7.22 プランEにおける有効窓面積率マップ (Grade ①、2 F )

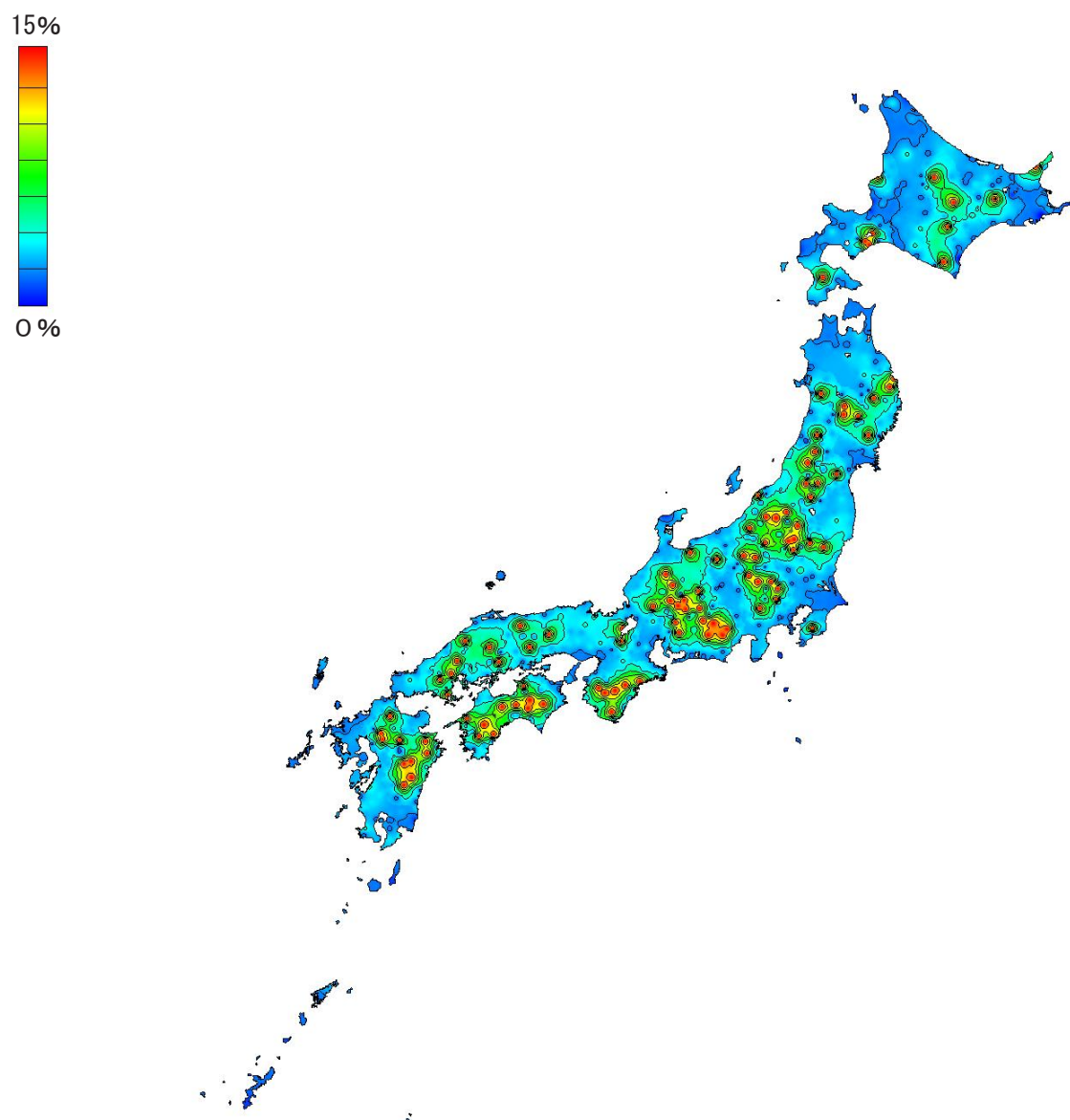


図 3.7.23 プランEにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、1 F )

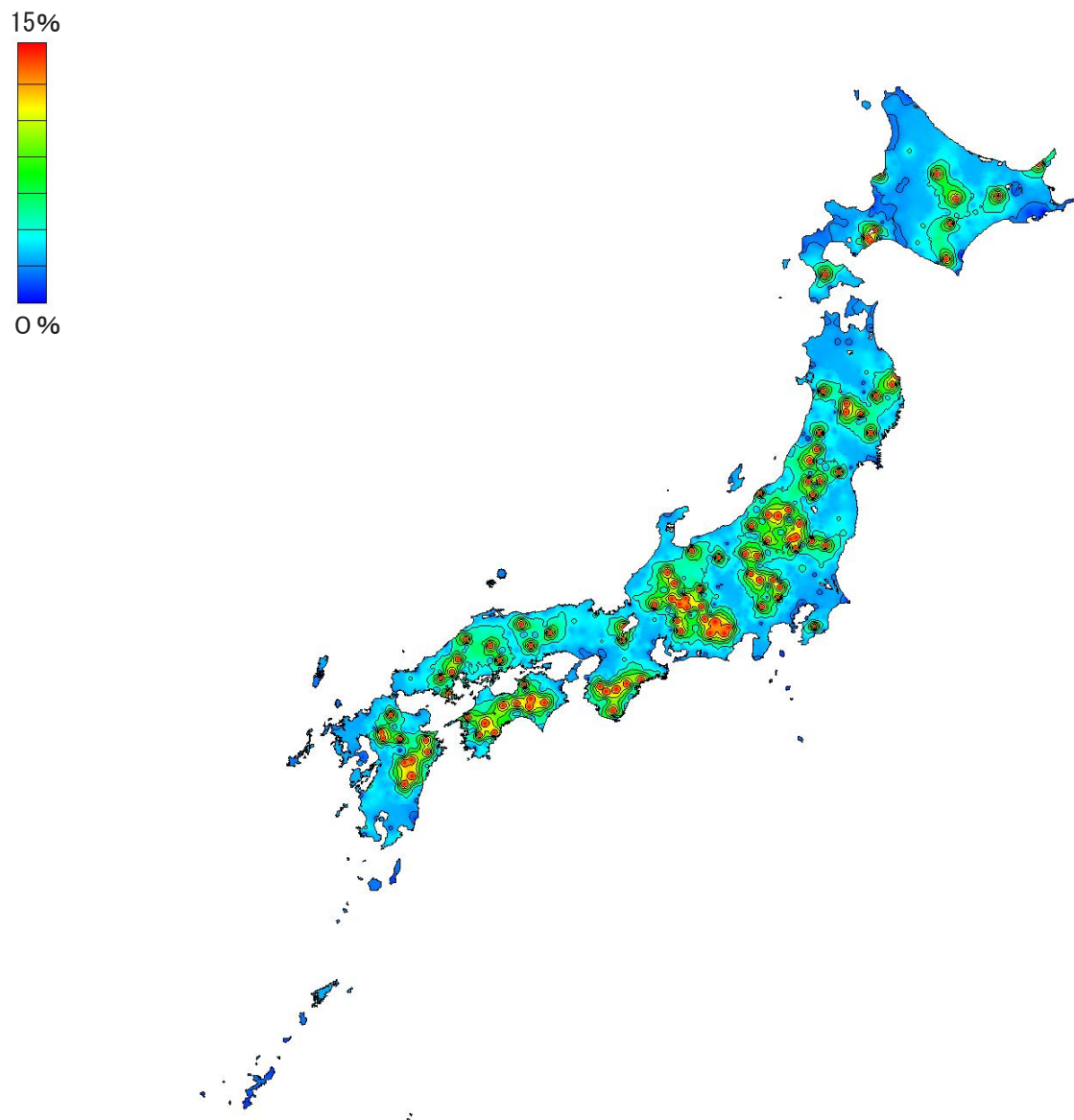


図 3.7.24 プランEにおける有効窓面積率マップ (Grade ②、2 F )

### 3.7.3 有効窓面積率の比較

図 3.7.25 ～ 3.7.28 に 11 都市における各プランの有効窓面積率 (Grade ①、Grade ②) を示す。Grade ① (換気回数 20 回 /h) において、新潟や福岡などの風速の速い都市では有効窓面積率は 4 % 程度と比較的低く、京都、高知などの風速の遅い都市では有効窓面積率が 8 % 程度と比較的高い傾向がある。また。プランの相違による有効窓面積率の変化は殆どない。

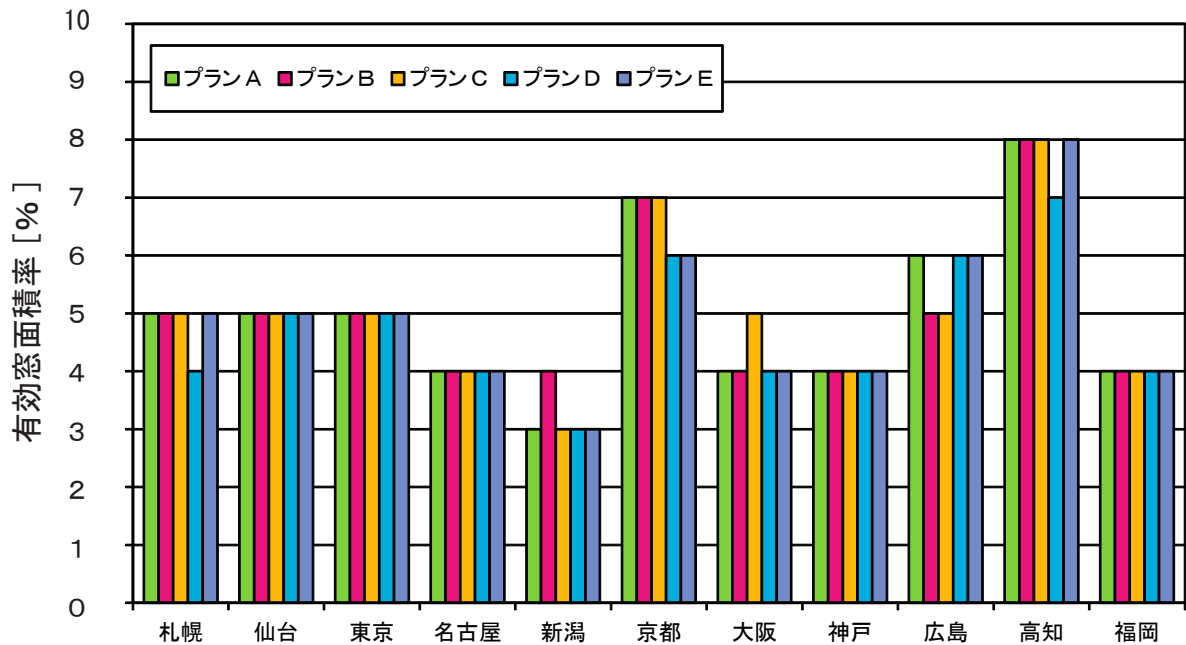


図 3.7.25 11 都市における各プランの有効窓面積率 (Grade ①、1 F )

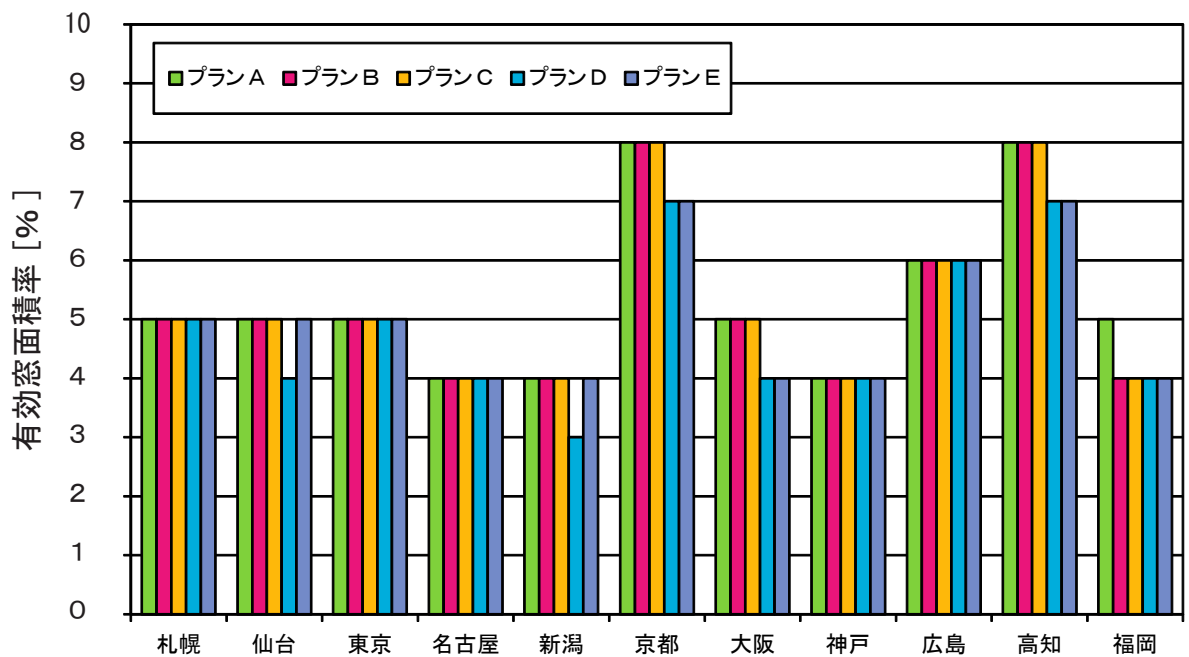


図 3.7.26 11 都市における各プランの有効窓面積率 (Grade ①、2 F )

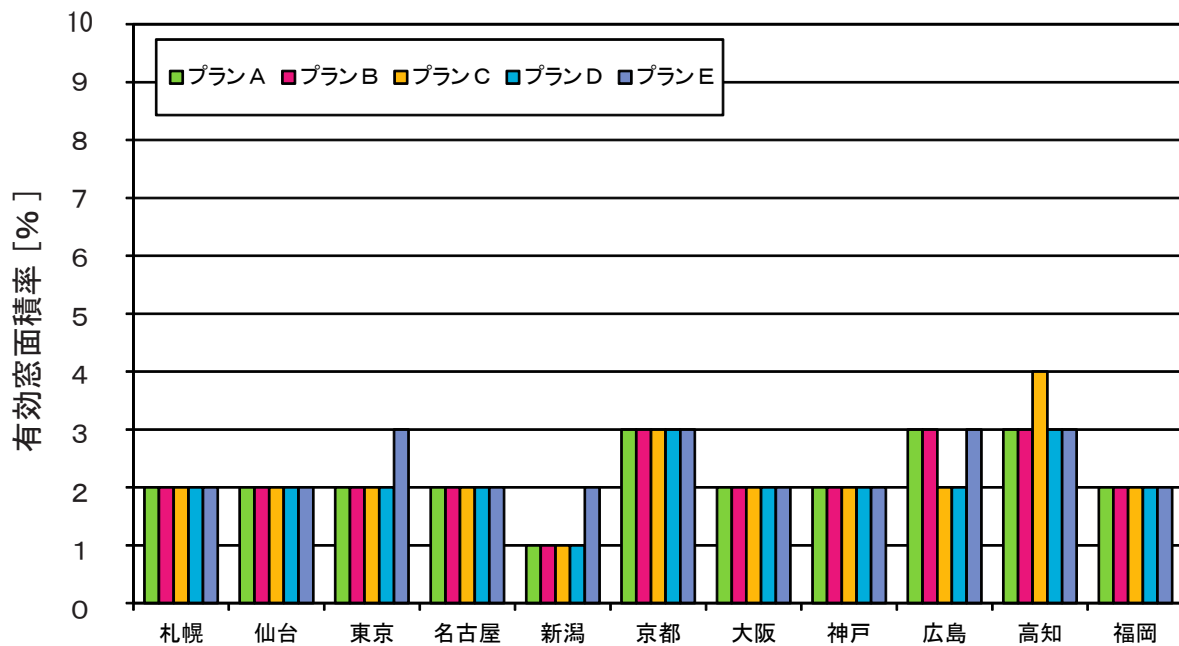


図 3.7.27 11 都市における各プランの有効窓面積率 (Grade ②、1 F )

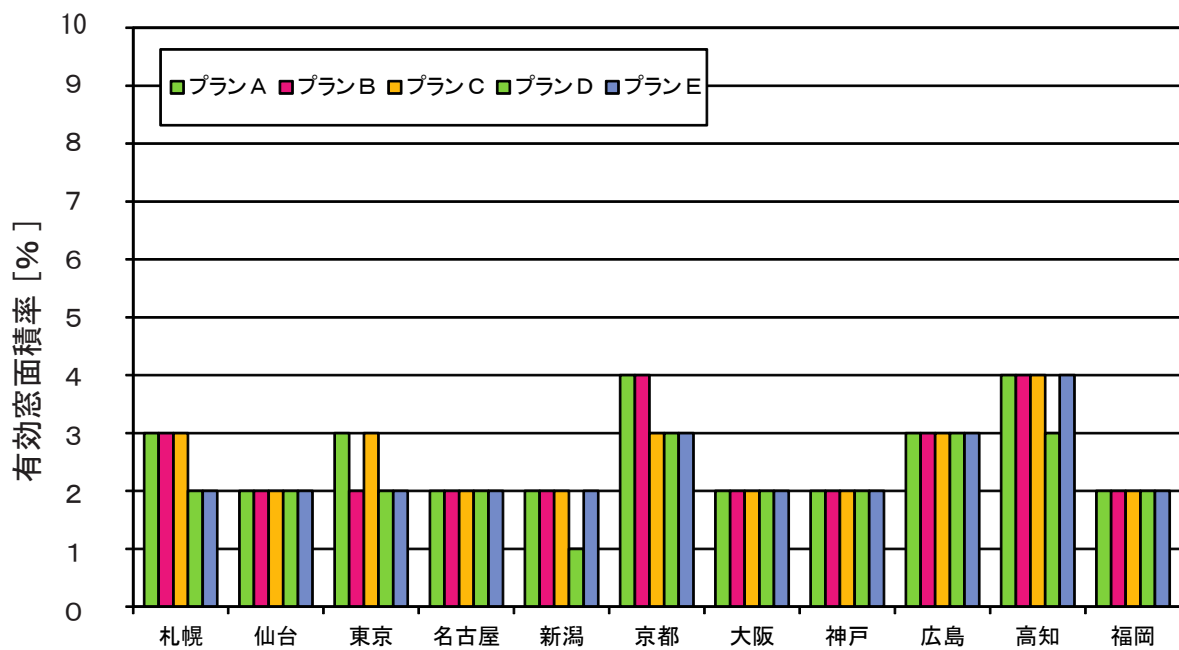


図 3.7.28 11 都市における各プランの有効窓面積率 (Grade ②、2 F )



### 3.7.4 単純住宅モデルとの比較

図 3.7.29 に単純住宅モデルとの有効窓面積率の比較（Grade ①、2 F）を示す。有効窓面積率は、各プランと単純住宅モデルとの相違は殆どない。

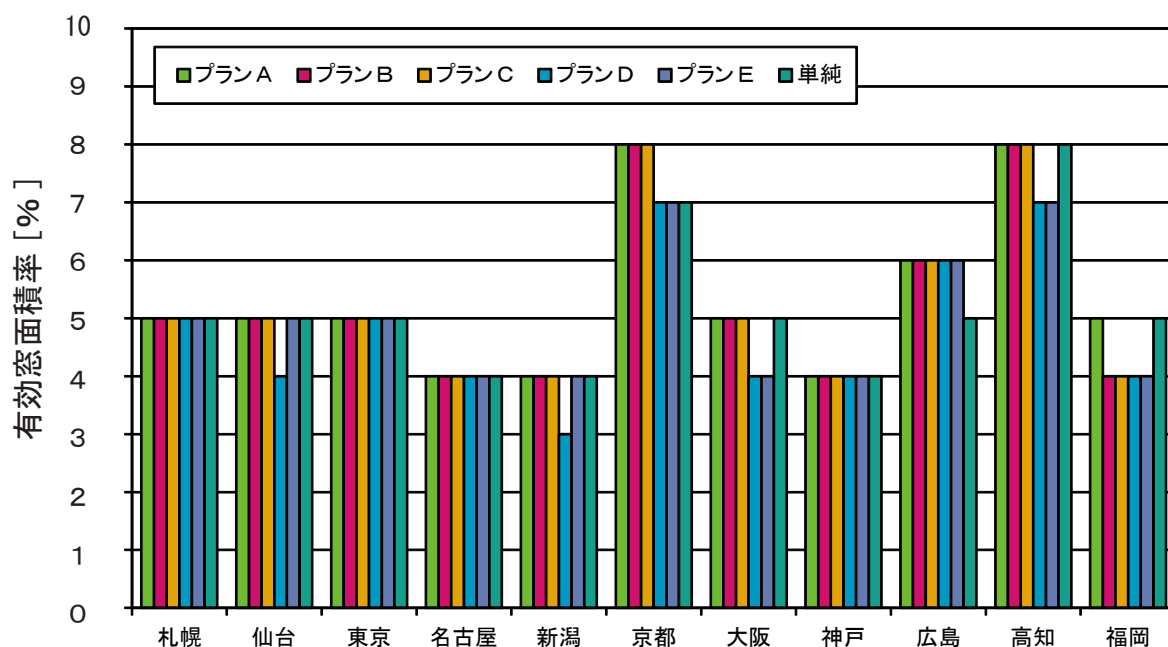


図 3.7.29 単純住宅モデルとの有効窓面積率の比較（Grade ①、2 F）

## 第8章 建蔽率10、30、50%の場合の解析対象モデル及び数値流体解析領域

解析対象モデルは、実在住宅をモデル化した通風性能簡易評価モデルプランAからプランEの5つとし、建蔽率10%、30%、50%とする。対象地域は全国842地域とする。図3.8.1に街区モデル概要を、表3.8.1に住宅モデル概要を、図3.8.2～3.8.5に建蔽率10%における数値解析領域のメッシュ分割を、図3.8.6～3.8.9に建蔽率30%における数値解析領域のメッシュ分割を、図3.8.10～3.8.13に建蔽率50%における数値解析領域のメッシュ分割を示す。

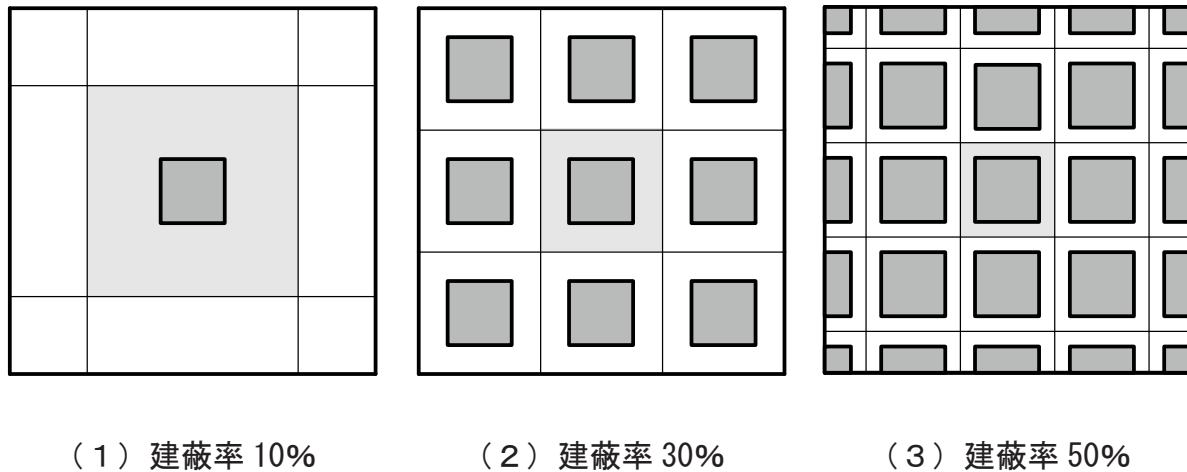


図 3.8.1 街区モデル概要

表 3.8.1 住宅モデル概要

解析風向数	16風向	
解析領域メッシュ数	建蔽率10%	$56(x) \times 56(y) \times 37(z) = 116,032$
	建蔽率30%	$56(x) \times 56(y) \times 37(z) = 116,033$
	建蔽率50%	$42(x) \times 42(y) \times 37(z) = 65,268$
室内解析メッシュ数	$30(x) \times 30(y) \times 19(z) = 17,100$	
延べ床面積	111.69	
開口部総面積[m <sup>2</sup> ]	プランA、B、C	$0.9 \times 1.8 \times 16 = 25.9$
	プランD、E	$0.9 \times 1.8 \times 20 = 32.4$
基準窓面積率[%]	プランA、B、C	7.7、11.5、23.0
	プランD、E	9.6、14.4、28.8
境界条件	流入・流出：周期境界条件	
乱流モデル	標準k-εモデル(等温)	

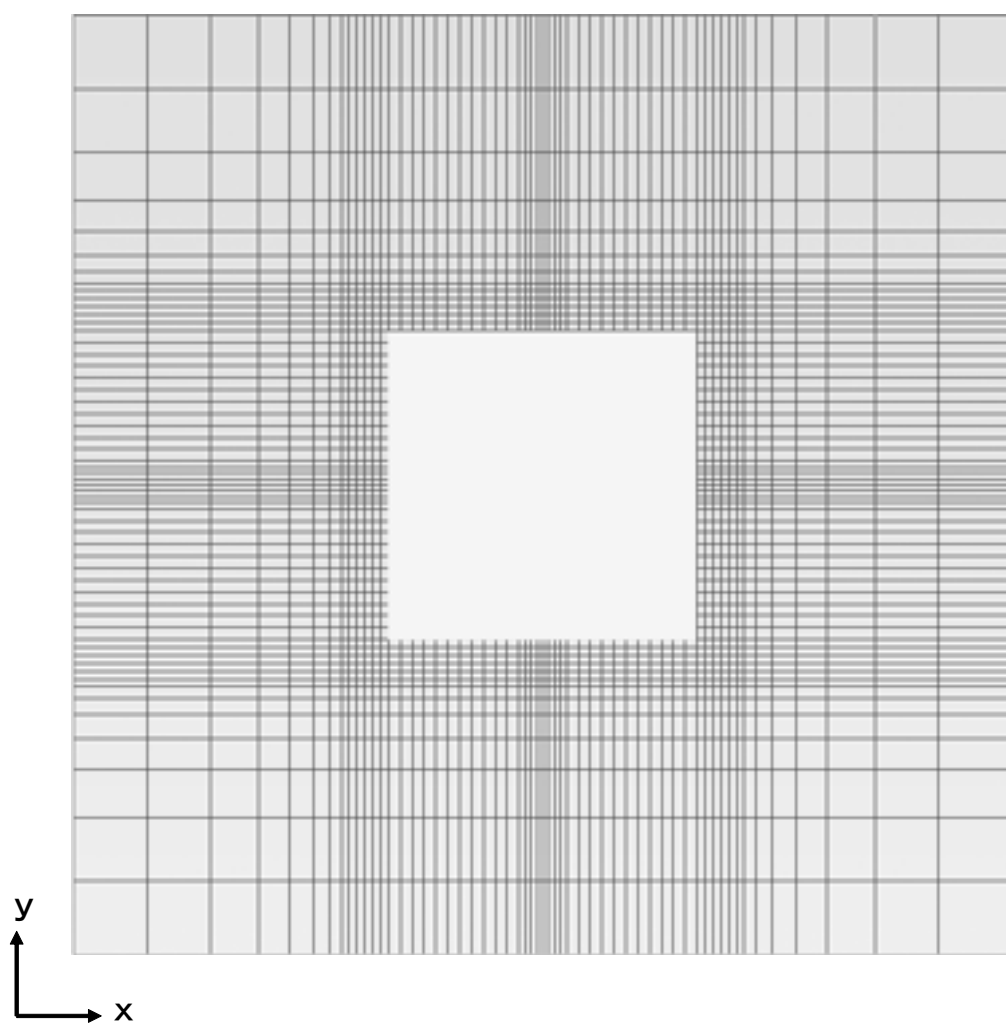


図 3.8.2 建蔽率 10%における数値解析領域のメッシュ分割（ $x - y$  軸）

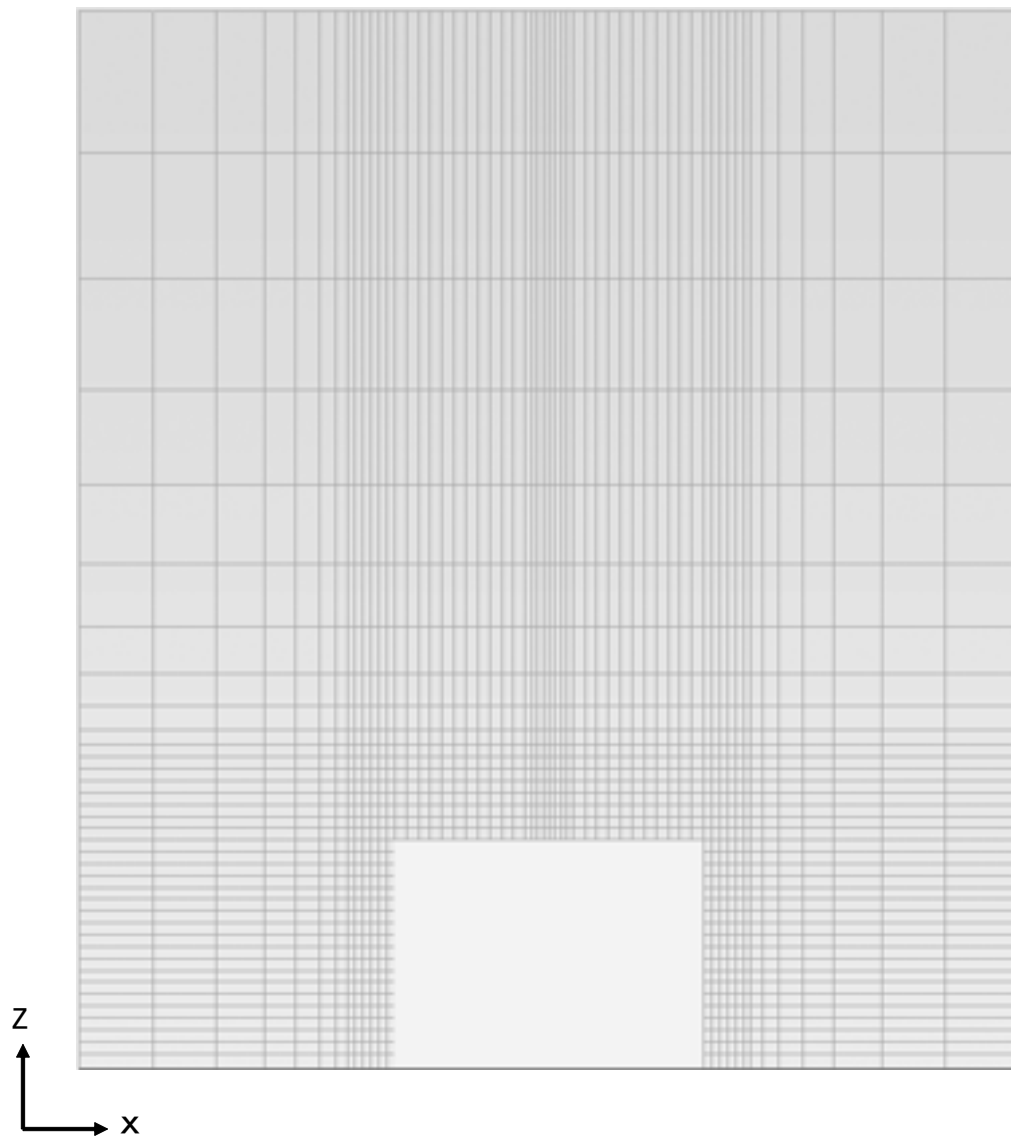


図 3.8.3 建蔽率 10%における数値解析領域のメッシュ分割（ $x - z$  軸）

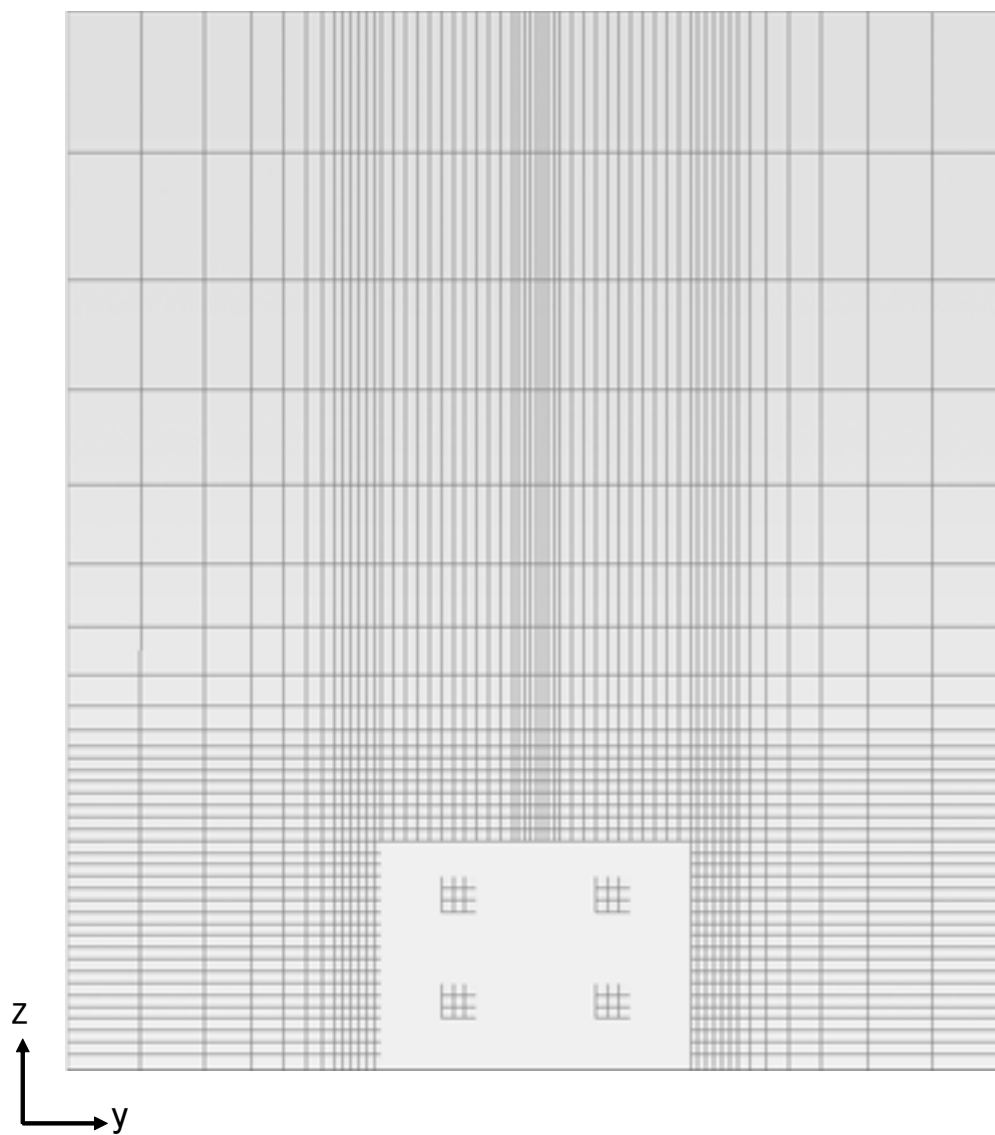


図 3.8.4 建蔽率 10%における数値解析領域のメッシュ分割 (  $y - z$  軸 )

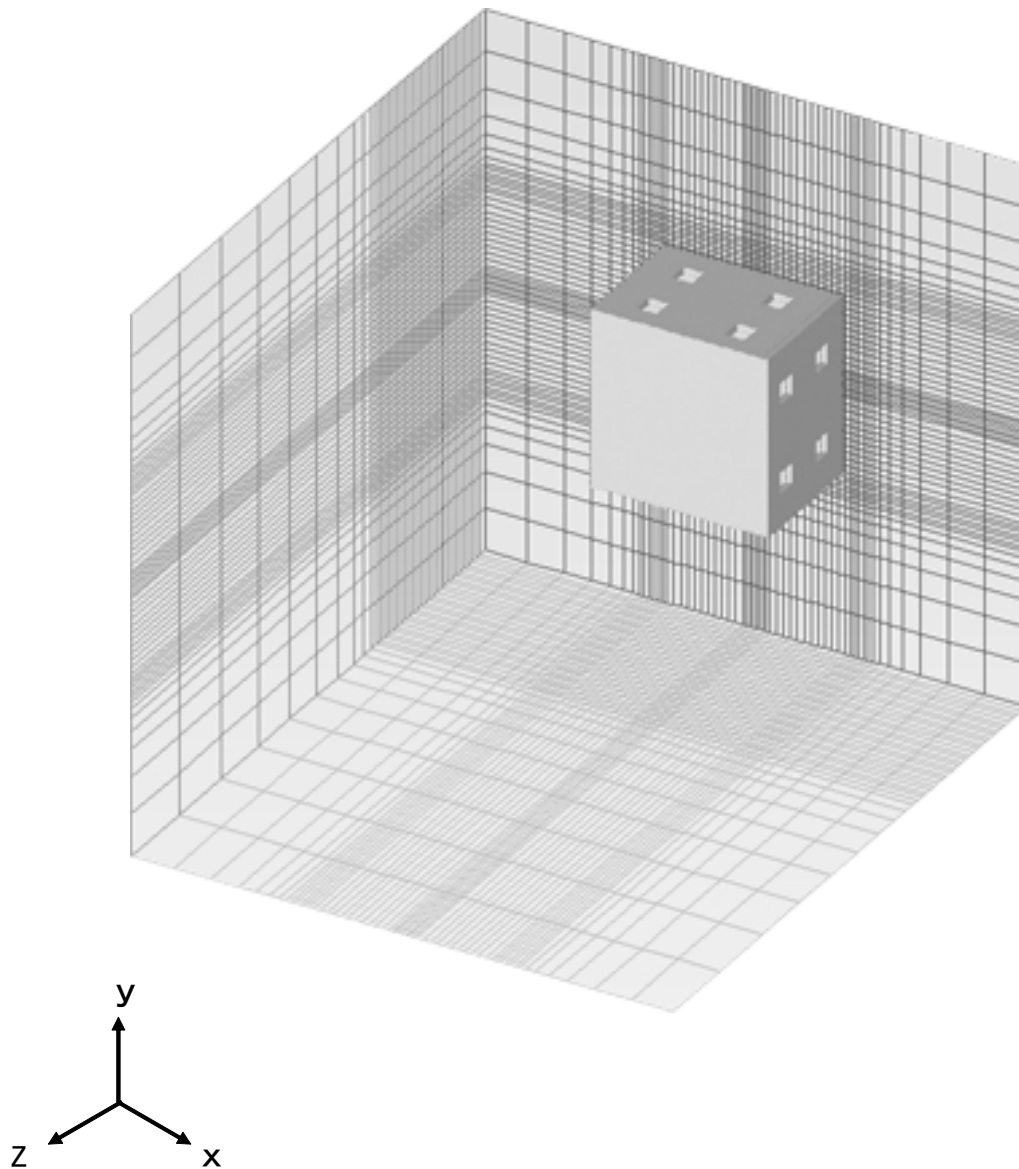


図 3.8.5 建蔽率 10%における数値解析領域の全体メッシュ

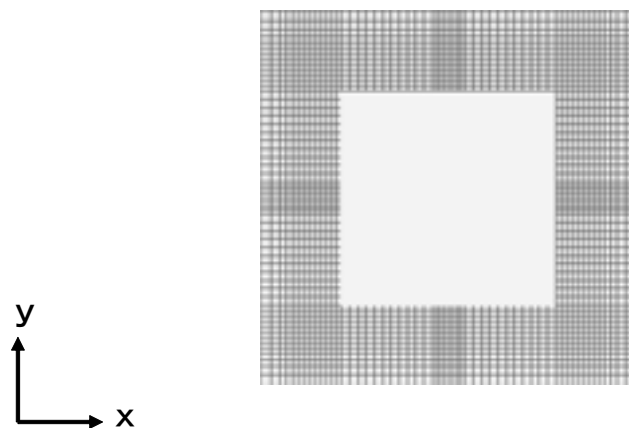


図 3.8.6 建蔽率 30%における数値解析領域のメッシュ分割（ $x - y$  軸）

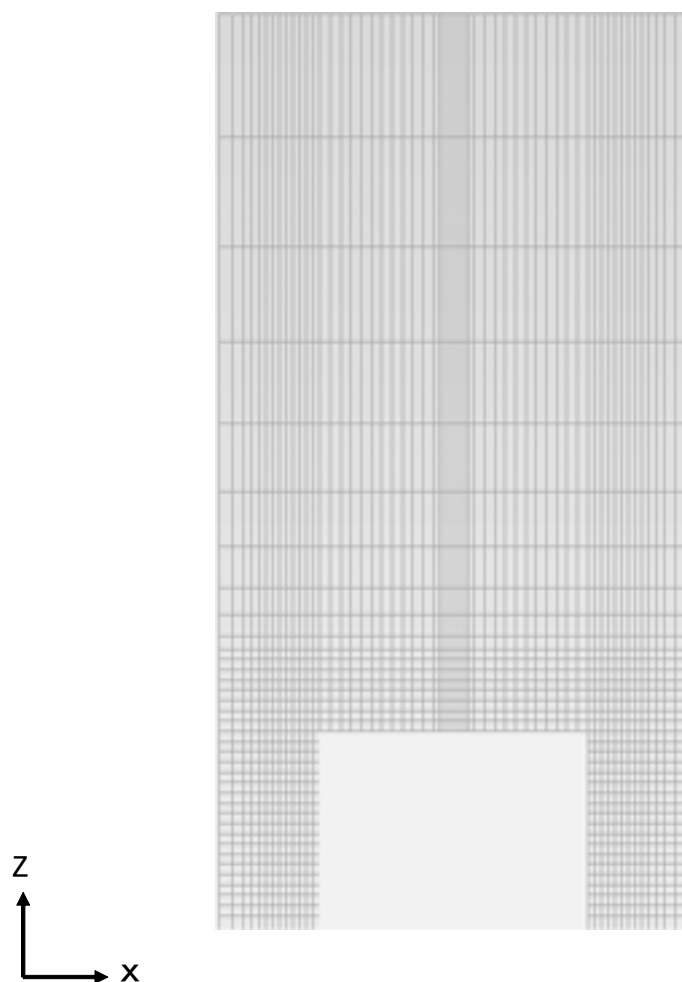


図 3.8.7 建蔽率 30%における数値解析領域のメッシュ分割（ $x - z$  軸）

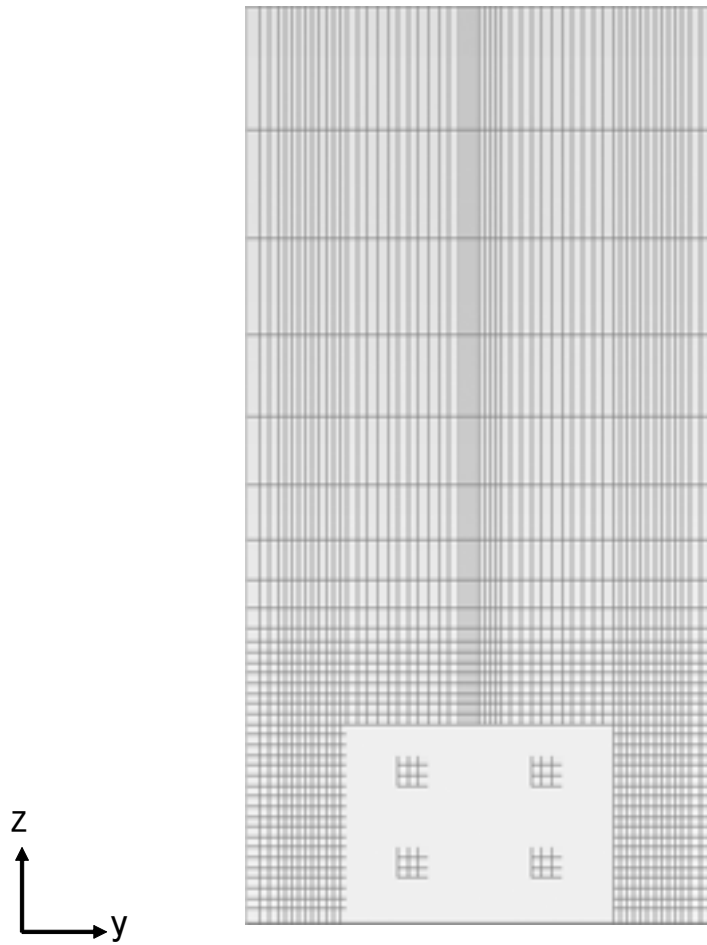


図 3.8.8 建蔽率 30%における数値解析領域のメッシュ分割（ $y - z$  軸）

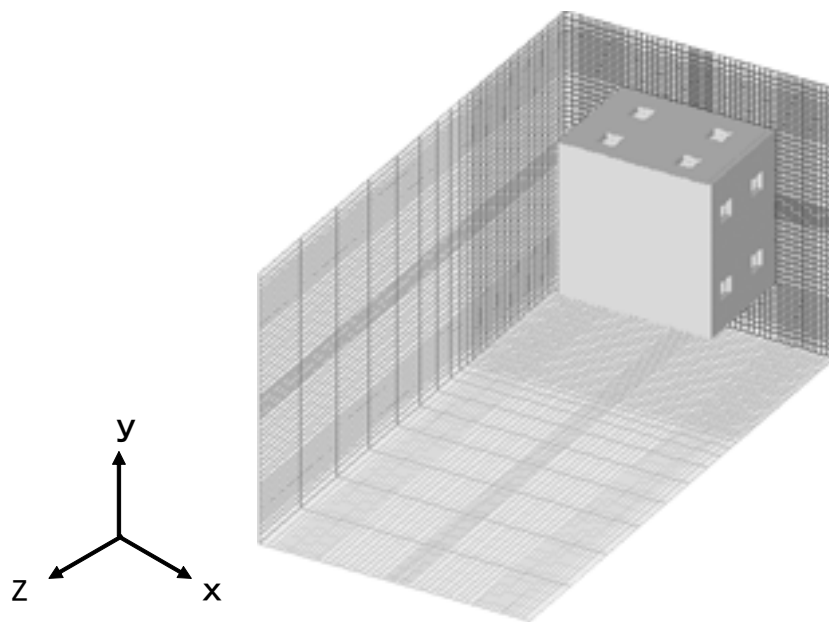


図 3.8.9 建蔽率 30%における数値解析領域の全体メッシュ



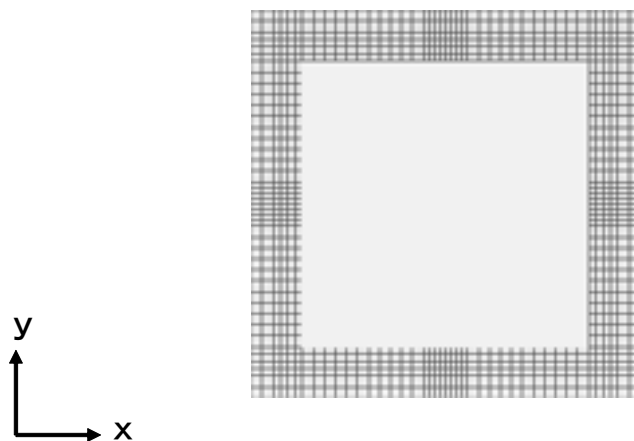


図 3.8.10 建蔽率 50%における数値解析領域のメッシュ分割（ $x - y$  軸）

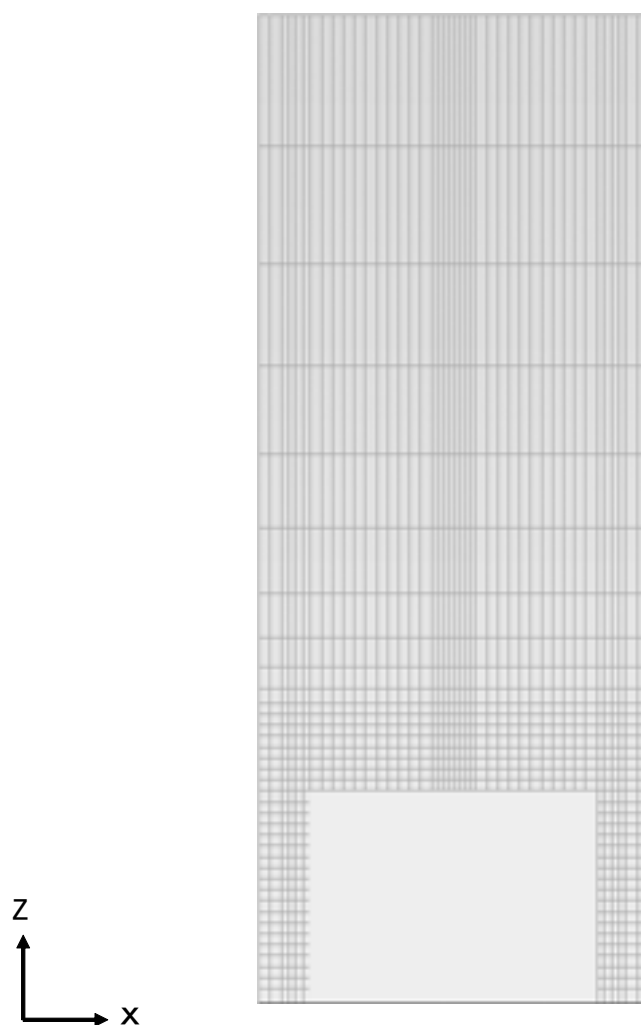


図 3.8.11 建蔽率 50%における数値解析領域のメッシュ分割（ $x - z$  軸）

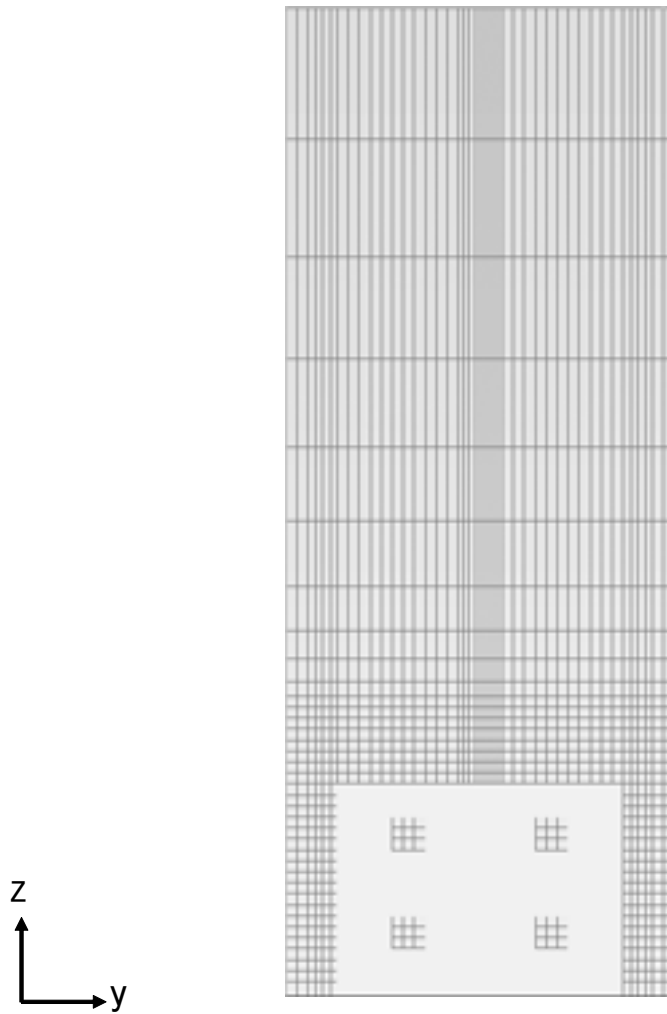


図 3.8.12 建蔽率 50%における数値解析領域のメッシュ分割（ $y - z$  軸）

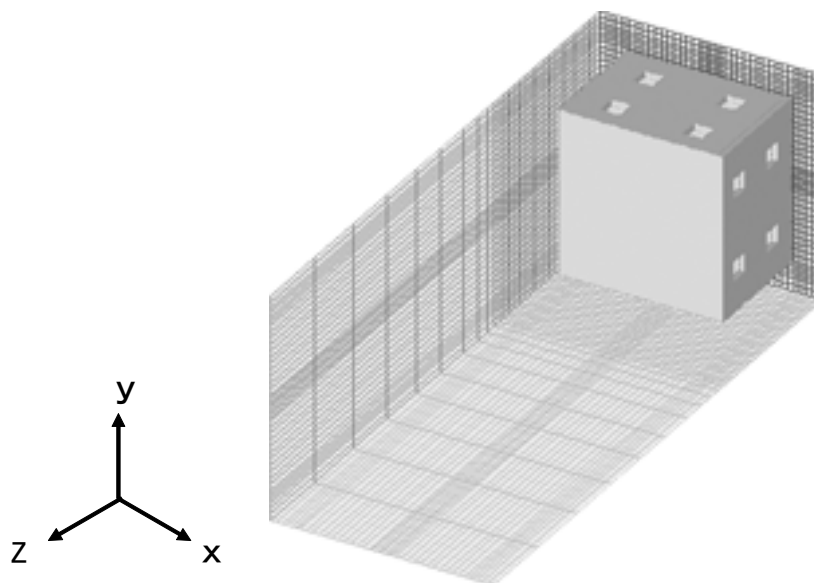


図 3.8.13 建蔽率 50%における数値解析領域の全体メッシュ

## 第9章 建蔽率10、30、50%の場合の各プランの有効窓面積率

### 3.9.1 窓面積率と換気回数の関係

表3.9.1～3.9.6に各プランの各風向における回帰式と寄与率を、図3.9.1～3.9.6に各建蔽率における換気回数と窓面積率の関係（風向S）を示す。建蔽率10、30、50%モデルでは、数値解析領域メッシュを各建蔽率に合わせて境界条件を周遊させているため、建物は1戸しかないので、回帰式も各建蔽率・各風向で1つしかない。表3.9.1～3.9.6では上段に回帰式、下段に寄与率を示し、 $y$ を換気回数とし、 $x$ を窓面積率とする。各プランでどの風向でも寄与率は0.92以上となる。換気回数は窓面積率に比例して増加する。換気回数と窓面積率の関係は、プランの相違による変化はあまりない。この回帰式を用いて全国842地域を対象に有効窓面積率を算出する。

表 3.9.1 建蔽率 10%の場合における各プラン各風向の回帰式と寄与率 (2F)

		2F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 1.0412x - 0.5825$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.9948x - 0.3936$ $R^2 = 1$	$y = 1.0662x - 1.059$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.9135x + 0.1102$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.9548x - 0.6655$ $R^2 = 1$
	NE	$y = 1.1161x + 0.1276$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0895x + 0.3584$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0904x + 0.211$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.9855x + 2.0995$ $R^2 = 0.9976$	$y = 1.0375x + 1.4105$ $R^2 = 0.9984$
	ENE	$y = 1.1822x - 1.8911$ $R^2 = 0.9985$	$y = 1.1755x - 1.8134$ $R^2 = 0.9986$	$y = 1.1729x - 1.873$ $R^2 = 0.9997$	$y = 1.1039x + 0.1599$ $R^2 = 0.9999$	$y = 1.1181x - 0.0769$ $R^2 = 0.9994$
	E	$y = 1.1946x - 1.7267$ $R^2 = 0.9996$	$y = 1.204x - 1.6746$ $R^2 = 0.9997$	$y = 1.2006x - 1.6691$ $R^2 = 0.9997$	$y = 1.138x + 0.8758$ $R^2 = 0.9981$	$y = 1.1373x + 0.9185$ $R^2 = 0.9986$
	ESE	$y = 1.1647x - 1.6319$ $R^2 = 0.9982$	$y = 1.1755x - 1.8134$ $R^2 = 0.9986$	$y = 1.15x - 1.6398$ $R^2 = 0.9989$	$y = 1.1039x + 0.1599$ $R^2 = 0.9999$	$y = 1.0976x + 0.0334$ $R^2 = 0.9995$
	SE	$y = 1.1015x + 0.2636$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0895x + 0.3584$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0304x + 0.7597$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.9855x + 2.0995$ $R^2 = 0.9976$	$y = 0.9464x + 2.3969$ $R^2 = 0.9969$
	SSE	$y = 1.0058x - 0.5955$ $R^2 = 1$	$y = 0.9948x - 0.3936$ $R^2 = 1$	$y = 0.9711x - 0.1444$ $R^2 = 1$	$y = 0.9135x + 0.1102$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.8647x + 0.6336$ $R^2 = 0.9994$
	S	$y = 0.9564x - 0.3133$ $R^2 = 1$	$y = 0.9429x - 0.1482$ $R^2 = 0.9999$	$y = 1.0162x - 0.5622$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.7473x + 0.1274$ $R^2 = 1$	$y = 0.8131x - 0.3268$ $R^2 = 0.9999$
	SSW	$y = 1.0058x - 0.5955$ $R^2 = 1$	$y = 0.9948x - 0.3936$ $R^2 = 1$	$y = 1.0662x - 1.059$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.9135x + 0.1102$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.9548x - 0.6655$ $R^2 = 1$
	SW	$y = 1.1015x + 0.2636$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0895x + 0.3584$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0904x + 0.211$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.9855x + 2.0995$ $R^2 = 0.9976$	$y = 1.0375x + 1.4105$ $R^2 = 0.9984$
	WSW	$y = 1.1647x - 1.6319$ $R^2 = 0.9982$	$y = 1.1755x - 1.8134$ $R^2 = 0.9986$	$y = 1.1729x - 1.873$ $R^2 = 0.9997$	$y = 1.1039x + 0.1599$ $R^2 = 0.9999$	$y = 1.1181x - 0.0769$ $R^2 = 0.9994$
	W	$y = 1.1946x - 1.7267$ $R^2 = 0.9996$	$y = 1.204x - 1.6746$ $R^2 = 0.9997$	$y = 1.2006x - 1.6691$ $R^2 = 0.9997$	$y = 1.138x + 0.8758$ $R^2 = 0.9981$	$y = 1.1373x + 0.9185$ $R^2 = 0.9986$
	WNW	$y = 1.1822x - 1.8911$ $R^2 = 0.9985$	$y = 1.1755x - 1.8134$ $R^2 = 0.9986$	$y = 1.15x - 1.6398$ $R^2 = 0.9989$	$y = 1.1039x + 0.1599$ $R^2 = 0.9999$	$y = 1.0976x + 0.0334$ $R^2 = 0.9995$
	NW	$y = 1.1161x + 0.1276$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0895x + 0.3584$ $R^2 = 0.9994$	$y = 1.0304x + 0.7597$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.9855x + 2.0995$ $R^2 = 0.9976$	$y = 0.9464x + 2.3969$ $R^2 = 0.9969$
	NNW	$y = 1.0412x - 0.5825$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.9948x - 0.3936$ $R^2 = 1$	$y = 0.9711x - 0.1444$ $R^2 = 1$	$y = 0.9135x + 0.1102$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.8647x + 0.6336$ $R^2 = 0.9994$
	N	$y = 0.9997x - 0.5655$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.9429x - 0.1482$ $R^2 = 0.9999$	$y = 1.0162x - 0.5622$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.7473x + 0.1274$ $R^2 = 1$	$y = 0.8131x - 0.3268$ $R^2 = 0.9999$

表 3.9.2 建蔽率 10%の場合における各プラン各風向の回帰式と寄与率 (1F)

		1F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 0.8858x - 1.213$ $R^2 = 1$	$y = 0.8936x - 1.2073$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.9516x - 1.6419$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.8217x + 0.0581$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.8899x - 0.6682$ $R^2 = 0.9998$
	NE	$y = 0.8694x + 1.3258$ $R^2 = 0.9973$	$y = 0.8882x + 1.0981$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.9207x + 0.7728$ $R^2 = 0.999$	$y = 0.8205x + 2.6803$ $R^2 = 0.9952$	$y = 0.9073x + 1.6802$ $R^2 = 0.9976$
	ENE	$y = 0.8331x - 1.0743$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.8068x - 0.7387$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.866x - 1.6242$ $R^2 = 0.9977$	$y = 0.7502x + 0.32$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.8067x - 0.2908$ $R^2 = 0.9999$
	E	$y = 0.7734x - 0.5209$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.7668x - 0.4284$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.7696x - 0.4349$ $R^2 = 1$	$y = 0.7139x + 1.5249$ $R^2 = 0.997$	$y = 0.7179x + 1.4236$ $R^2 = 0.9963$
	ESE	$y = 0.8503x - 1.2903$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.8068x - 0.7387$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.8165x - 1.0541$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.7502x + 0.32$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.7571x + 0.2218$ $R^2 = 0.9988$
	SE	$y = 0.8937x + 1.0808$ $R^2 = 0.9978$	$y = 0.8882x + 1.0981$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.8944x + 0.9729$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.8205x + 2.6803$ $R^2 = 0.9952$	$y = 0.8137x + 2.7974$ $R^2 = 0.9961$
	SSE	$y = 0.9243x - 1.191$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.8936x - 1.2073$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.8528x - 1.0274$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.8217x + 0.0581$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.8382x - 0.3243$ $R^2 = 0.9994$
	S	$y = 0.7058x - 0.1072$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.6849x + 0.1777$ $R^2 = 1$	$y = 0.6712x + 0.3387$ $R^2 = 1$	$y = 0.5488x + 0.522$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.5651x + 0.3365$ $R^2 = 0.9998$
	SSW	$y = 0.9243x - 1.191$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.8936x - 1.2073$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.9516x - 1.6419$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.8217x + 0.0581$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.8899x - 0.6682$ $R^2 = 0.9998$
	SW	$y = 0.8937x + 1.0808$ $R^2 = 0.9978$	$y = 0.8882x + 1.0981$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.9207x + 0.7728$ $R^2 = 0.999$	$y = 0.8205x + 2.6803$ $R^2 = 0.9952$	$y = 0.9073x + 1.6802$ $R^2 = 0.9976$
	WSW	$y = 0.8503x - 1.2903$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.8068x - 0.7387$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.866x - 1.6242$ $R^2 = 0.9977$	$y = 0.7502x + 0.32$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.8067x - 0.2908$ $R^2 = 0.9999$
	W	$y = 0.7734x - 0.5209$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.7668x - 0.4284$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.7696x - 0.4349$ $R^2 = 1$	$y = 0.7139x + 1.5249$ $R^2 = 0.997$	$y = 0.7179x + 1.4236$ $R^2 = 0.9963$
	WNW	$y = 0.8331x - 1.0743$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.8068x - 0.7387$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.8165x - 1.0541$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.7502x + 0.32$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.7571x + 0.2218$ $R^2 = 0.9988$
	NW	$y = 0.8694x + 1.3258$ $R^2 = 0.9973$	$y = 0.8882x + 1.0981$ $R^2 = 0.9979$	$y = 0.8944x + 0.9729$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.8205x + 2.6803$ $R^2 = 0.9952$	$y = 0.8137x + 2.7974$ $R^2 = 0.9961$
	NNW	$y = 0.8858x - 1.213$ $R^2 = 1$	$y = 0.8936x - 1.2073$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.8528x - 1.0274$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.8217x + 0.0581$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.8382x - 0.3243$ $R^2 = 0.9994$
	N	$y = 0.6797x - 0.1741$ $R^2 = 1$	$y = 0.6849x + 0.1777$ $R^2 = 1$	$y = 0.6712x + 0.3387$ $R^2 = 1$	$y = 0.5488x + 0.522$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.5651x + 0.3365$ $R^2 = 0.9998$

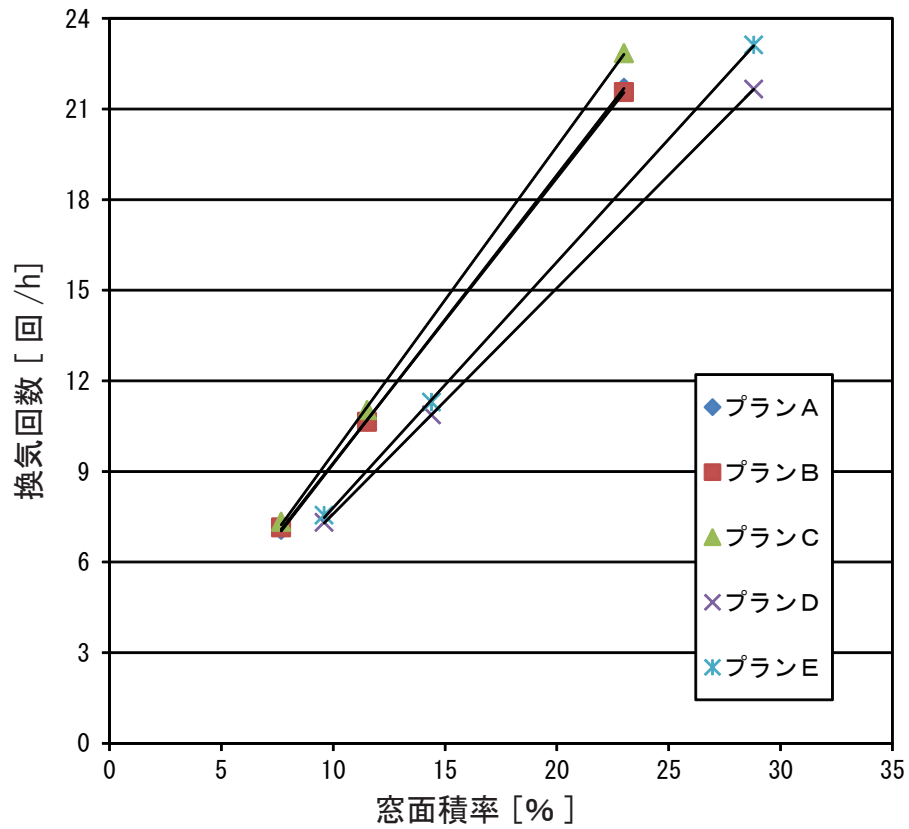


図 3.9.1 建蔽率 10%における各プランの換気回数と窓面積率の関係  
(風向 S、2 F)

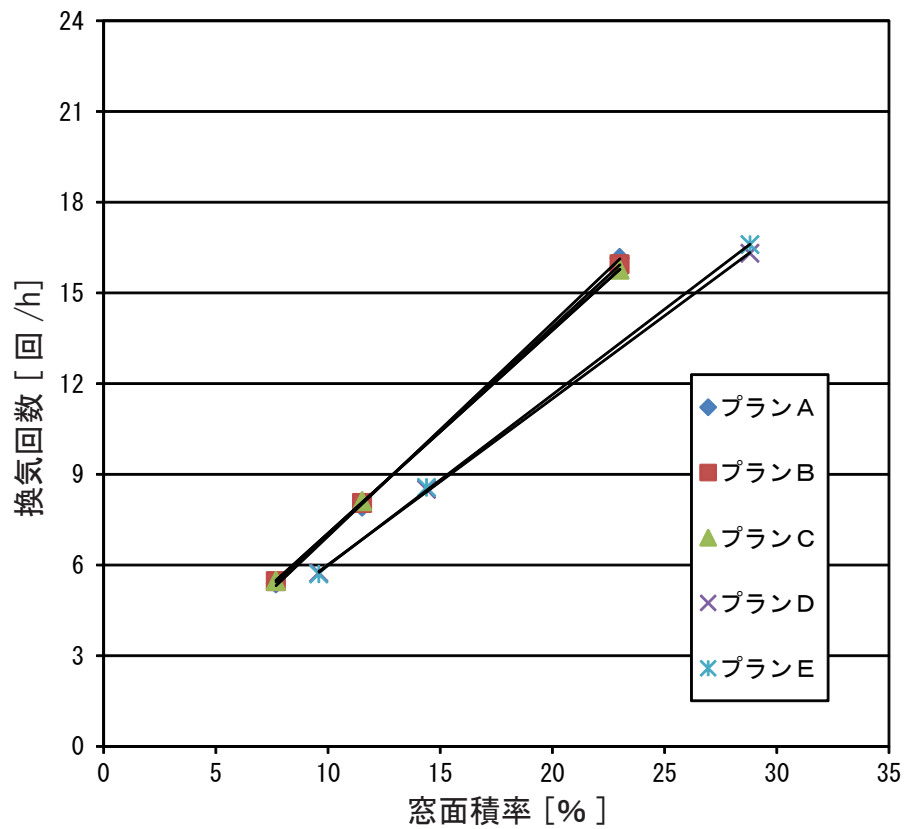


図 3.9.2 建蔽率 10%における各プランの換気回数と窓面積率の関係  
(風向 S、1 F)

表 3.9.3 建蔽率 30%の場合における各プラン各風向の回帰式と寄与率 (2F)

		2F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 0.6221x - 0.9976$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.589x - 0.8848$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.6319x - 1.1778$ $R^2 = 0.9977$	$y = 0.5113x - 0.6167$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.5306x - 0.7129$ $R^2 = 0.9977$
	NE	$y = 0.6687x - 1.0413$ $R^2 = 0.9994$	$y = 0.6377x - 0.8836$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.6633x - 1.0561$ $R^2 = 0.9992$	$y = 0.5791x - 0.1507$ $R^2 = 1$	$y = 0.6025x - 0.3485$ $R^2 = 1$
	ENE	$y = 0.6825x - 1.5396$ $R^2 = 0.9983$	$y = 0.6449x - 1.1968$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.6625x - 1.3382$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.6014x - 0.2098$ $R^2 = 1$	$y = 0.6147x - 0.3967$ $R^2 = 0.9999$
	E	$y = 0.6695x - 1.5197$ $R^2 = 0.9973$	$y = 0.6867x - 1.606$ $R^2 = 0.9982$	$y = 0.6904x - 1.6797$ $R^2 = 0.9981$	$y = 0.6377x - 0.57$ $R^2 = 1$	$y = 0.6315x - 0.4222$ $R^2 = 1$
	ESE	$y = 0.6574x - 1.3302$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.6449x - 1.1968$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.6521x - 1.2759$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.6014x - 0.2098$ $R^2 = 1$	$y = 0.597x - 0.2485$ $R^2 = 0.9998$
	SE	$y = 0.6287x - 0.778$ $R^2 = 0.9993$	$y = 0.6377x - 0.8836$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.6479x - 0.8966$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.5791x - 0.1507$ $R^2 = 1$	$y = 0.5673x + 0.0119$ $R^2 = 0.9999$
	SSE	$y = 0.5847x - 0.8744$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.589x - 0.8848$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.6323x - 1.2057$ $R^2 = 0.9969$	$y = 0.5113x - 0.6167$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.5277x - 0.7165$ $R^2 = 0.9994$
	S	$y = 0.5565x - 0.7255$ $R^2 = 0.9994$	$y = 0.5707x - 0.8095$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.6311x - 1.1347$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.4413x - 0.617$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.4962x - 1.0012$ $R^2 = 0.9986$
	SSW	$y = 0.5847x - 0.8744$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.589x - 0.8848$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.6319x - 1.1778$ $R^2 = 0.9977$	$y = 0.5113x - 0.6167$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.5306x - 0.7129$ $R^2 = 0.9977$
	SW	$y = 0.6287x - 0.778$ $R^2 = 0.9993$	$y = 0.6377x - 0.8836$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.6633x - 1.0561$ $R^2 = 0.9992$	$y = 0.5791x - 0.1507$ $R^2 = 1$	$y = 0.6025x - 0.3485$ $R^2 = 1$
	WSW	$y = 0.6574x - 1.3302$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.6449x - 1.1968$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.6625x - 1.3382$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.6014x - 0.2098$ $R^2 = 1$	$y = 0.6147x - 0.3967$ $R^2 = 0.9999$
	W	$y = 0.6695x - 1.5197$ $R^2 = 0.9973$	$y = 0.6867x - 1.606$ $R^2 = 0.9982$	$y = 0.6904x - 1.6797$ $R^2 = 0.9981$	$y = 0.6377x - 0.57$ $R^2 = 1$	$y = 0.6315x - 0.4222$ $R^2 = 1$
	WNW	$y = 0.6825x - 1.5396$ $R^2 = 0.9983$	$y = 0.6449x - 1.1968$ $R^2 = 0.9986$	$y = 0.6521x - 1.2759$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.6014x - 0.2098$ $R^2 = 1$	$y = 0.597x - 0.2485$ $R^2 = 0.9998$
	NW	$y = 0.6687x - 1.0413$ $R^2 = 0.9994$	$y = 0.6377x - 0.8836$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.6479x - 0.8966$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.5791x - 0.1507$ $R^2 = 1$	$y = 0.5673x + 0.0119$ $R^2 = 0.9999$
	NNW	$y = 0.6221x - 0.9976$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.589x - 0.8848$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.6323x - 1.2057$ $R^2 = 0.9969$	$y = 0.5113x - 0.6167$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.5277x - 0.7165$ $R^2 = 0.9994$
	N	$y = 0.6088x - 0.8842$ $R^2 = 0.9985$	$y = 0.5707x - 0.8095$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.6311x - 1.1347$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.4413x - 0.617$ $R^2 = 0.9988$	$y = 0.4962x - 1.0012$ $R^2 = 0.9986$

表 3.9.4 建蔽率 30%の場合における各プラン各風向の回帰式と寄与率 (1F)

		1F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 0.4128x - 1.0419$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.4599x - 1.1639$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.429x - 1.0577$ $R^2 = 0.9994$	$y = 0.3706x - 0.7225$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.382x - 0.9288$ $R^2 = 1$
	NE	$y = 0.4417x - 0.7379$ $R^2 = 1$	$y = 0.5036x - 1.0273$ $R^2 = 1$	$y = 0.4923x - 1.0793$ $R^2 = 1$	$y = 0.4249x - 0.8339$ $R^2 = 1$	$y = 0.4395x - 0.9279$ $R^2 = 1$
	ENE	$y = 0.4154x - 0.9067$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.4767x - 1.3825$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.4351x - 1.0202$ $R^2 = 0.9992$	$y = 0.3836x - 0.9658$ $R^2 = 1$	$y = 0.3906x - 0.9983$ $R^2 = 0.9996$
	E	$y = 0.1925x - 0.5697$ $R^2 = 0.9967$	$y = 0.1737x - 0.4607$ $R^2 = 0.9944$	$y = 0.1694x - 0.3474$ $R^2 = 0.9965$	$y = 0.1682x + 0.0307$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.1679x + 0.0109$ $R^2 = 0.9998$
	ESE	$y = 0.4593x - 1.3247$ $R^2 = 0.9978$	$y = 0.4767x - 1.3825$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.4532x - 1.1965$ $R^2 = 0.9992$	$y = 0.3836x - 0.9658$ $R^2 = 1$	$y = 0.3933x - 0.982$ $R^2 = 0.9999$
	SE	$y = 0.5161x - 1.1931$ $R^2 = 1$	$y = 0.5036x - 1.0273$ $R^2 = 1$	$y = 0.5108x - 1.2981$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.4249x - 0.8339$ $R^2 = 1$	$y = 0.4428x - 0.9593$ $R^2 = 1$
	SSE	$y = 0.4651x - 1.1254$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.4599x - 1.1639$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.4509x - 1.1666$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.3706x - 0.7225$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.3855x - 0.9758$ $R^2 = 1$
	S	$y = 0.2401x - 0.7866$ $R^2 = 0.9918$	$y = 0.1901x - 0.3881$ $R^2 = 0.9976$	$y = 0.164x - 0.4118$ $R^2 = 0.9899$	$y = 0.1638x - 0.3276$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.1429x - 0.3565$ $R^2 = 0.997$
	SSW	$y = 0.4651x - 1.1254$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.4599x - 1.1639$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.429x - 1.0577$ $R^2 = 0.9994$	$y = 0.3706x - 0.7225$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.382x - 0.9288$ $R^2 = 1$
	SW	$y = 0.5161x - 1.1931$ $R^2 = 1$	$y = 0.5036x - 1.0273$ $R^2 = 1$	$y = 0.4923x - 1.0793$ $R^2 = 1$	$y = 0.4249x - 0.8339$ $R^2 = 1$	$y = 0.4395x - 0.9279$ $R^2 = 1$
	WSW	$y = 0.4593x - 1.3247$ $R^2 = 0.9978$	$y = 0.4767x - 1.3825$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.4351x - 1.0202$ $R^2 = 0.9992$	$y = 0.3836x - 0.9658$ $R^2 = 1$	$y = 0.3906x - 0.9983$ $R^2 = 0.9996$
	W	$y = 0.1925x - 0.5697$ $R^2 = 0.9967$	$y = 0.1737x - 0.4607$ $R^2 = 0.9944$	$y = 0.1694x - 0.3474$ $R^2 = 0.9965$	$y = 0.1682x + 0.0307$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.1679x + 0.0109$ $R^2 = 0.9998$
	WNW	$y = 0.4154x - 0.9067$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.4767x - 1.3825$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.4532x - 1.1965$ $R^2 = 0.9992$	$y = 0.3836x - 0.9658$ $R^2 = 1$	$y = 0.3933x - 0.982$ $R^2 = 0.9999$
	NW	$y = 0.4417x - 0.7379$ $R^2 = 1$	$y = 0.5036x - 1.0273$ $R^2 = 1$	$y = 0.5108x - 1.2981$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.4249x - 0.8339$ $R^2 = 1$	$y = 0.4428x - 0.9593$ $R^2 = 1$
	NNW	$y = 0.4128x - 1.0419$ $R^2 = 0.9991$	$y = 0.4599x - 1.1639$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.4509x - 1.1666$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.3706x - 0.7225$ $R^2 = 0.9997$	$y = 0.3855x - 0.9758$ $R^2 = 1$
	N	$y = 0.1435x - 0.3764$ $R^2 = 0.9961$	$y = 0.1901x - 0.3881$ $R^2 = 0.9976$	$y = 0.164x - 0.4118$ $R^2 = 0.9899$	$y = 0.1638x - 0.3276$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.1429x - 0.3565$ $R^2 = 0.997$

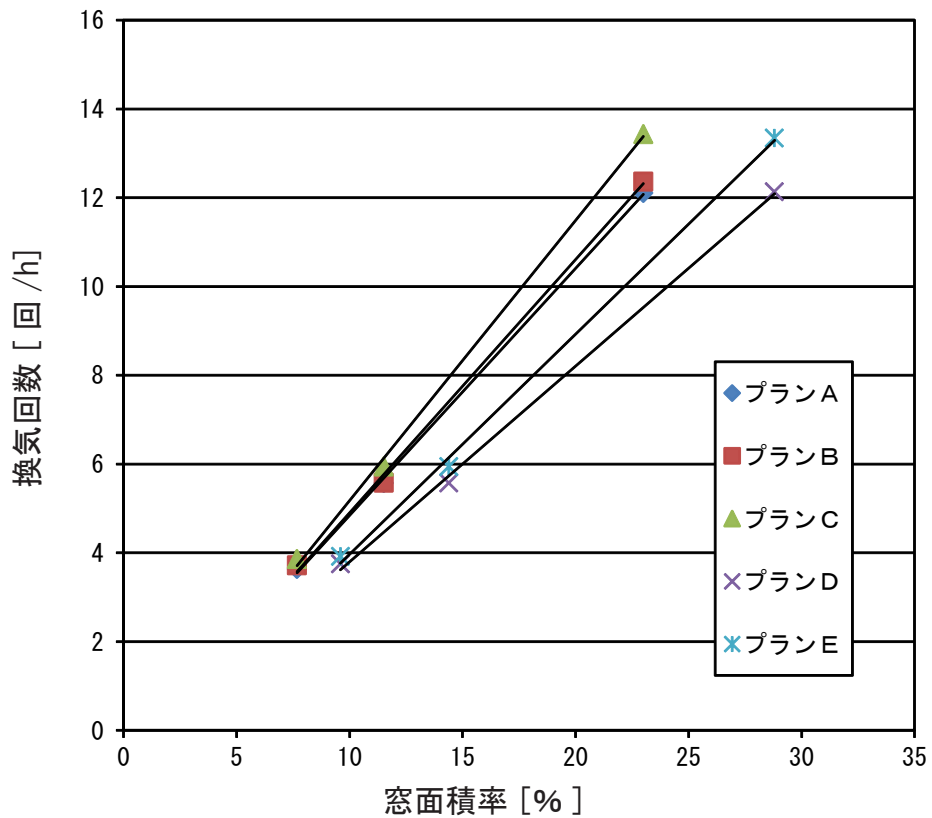


図 3.9.3 建蔽率 30%における各プランの換気回数と窓面積率の関係  
(風向 S、2 F)

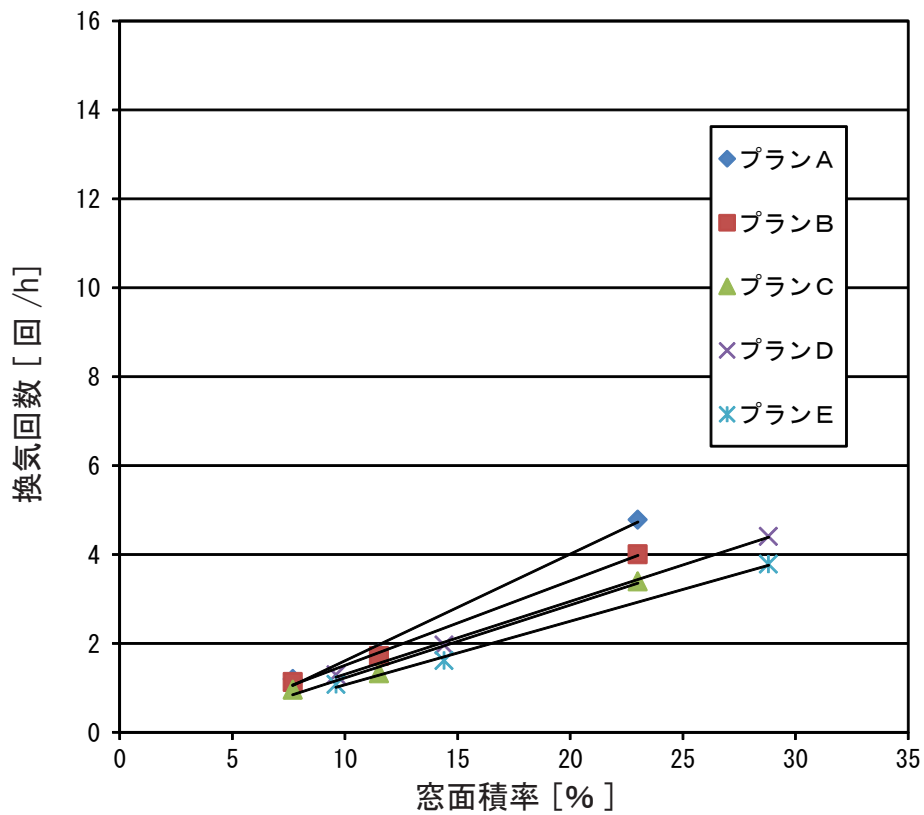


図 3.9.4 建蔽率 30%における各プランの換気回数と窓面積率の関係  
(風向 S、1 F)

表 3.9.5 建蔽率 50%の場合における各プラン各風向の回帰式と寄与率 (2F)

		2F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 0.3819x - 2.2221$ $R^2 = 0.9843$	$y = 0.3769x - 2.2007$ $R^2 = 0.9869$	$y = 0.3841x - 2.2715$ $R^2 = 0.984$	$y = 0.3154x - 2.1264$ $R^2 = 0.9892$	$y = 0.3193x - 2.1608$ $R^2 = 0.9875$
	NE	$y = 0.4017x - 1.9728$ $R^2 = 0.9913$	$y = 0.3987x - 1.9086$ $R^2 = 0.9954$	$y = 0.402x - 1.9975$ $R^2 = 0.9918$	$y = 0.3485x - 2.0491$ $R^2 = 0.9956$	$y = 0.357x - 2.1282$ $R^2 = 0.9935$
	ENE	$y = 0.346x - 1.946$ $R^2 = 0.9833$	$y = 0.3475x - 1.9405$ $R^2 = 0.9858$	$y = 0.3669x - 2.114$ $R^2 = 0.9837$	$y = 0.2867x - 1.8994$ $R^2 = 0.9867$	$y = 0.3011x - 1.9726$ $R^2 = 0.9887$
	E	$y = 0.3487x - 2.0499$ $R^2 = 0.9904$	$y = 0.3623x - 2.2324$ $R^2 = 0.986$	$y = 0.3664x - 2.2219$ $R^2 = 0.9859$	$y = 0.2949x - 1.9825$ $R^2 = 0.9911$	$y = 0.2863x - 1.7382$ $R^2 = 0.9936$
	ESE	$y = 0.3563x - 2.0427$ $R^2 = 0.984$	$y = 0.3475x - 1.9405$ $R^2 = 0.9858$	$y = 0.3523x - 1.8911$ $R^2 = 0.9864$	$y = 0.2867x - 1.8994$ $R^2 = 0.9867$	$y = 0.2926x - 1.8649$ $R^2 = 0.9872$
	SE	$y = 0.3924x - 1.8561$ $R^2 = 0.9977$	$y = 0.3987x - 1.9086$ $R^2 = 0.9954$	$y = 0.4123x - 2.087$ $R^2 = 0.9922$	$y = 0.3485x - 2.0491$ $R^2 = 0.9956$	$y = 0.3529x - 2.0827$ $R^2 = 0.9951$
	SSE	$y = 0.3662x - 2.1979$ $R^2 = 0.9826$	$y = 0.3769x - 2.2007$ $R^2 = 0.9869$	$y = 0.3992x - 2.3881$ $R^2 = 0.9832$	$y = 0.3154x - 2.1264$ $R^2 = 0.9892$	$y = 0.3229x - 2.1907$ $R^2 = 0.9881$
	S	$y = 0.2765x - 1.4915$ $R^2 = 0.991$	$y = 0.285x - 1.5836$ $R^2 = 0.9905$	$y = 0.3024x - 1.7177$ $R^2 = 0.9887$	$y = 0.2225x - 1.3223$ $R^2 = 0.9939$	$y = 0.231x - 1.408$ $R^2 = 0.9917$
	SSW	$y = 0.3662x - 2.1979$ $R^2 = 0.9826$	$y = 0.3769x - 2.2007$ $R^2 = 0.9869$	$y = 0.3841x - 2.2715$ $R^2 = 0.984$	$y = 0.3154x - 2.1264$ $R^2 = 0.9892$	$y = 0.3193x - 2.1608$ $R^2 = 0.9875$
	SW	$y = 0.3924x - 1.8561$ $R^2 = 0.9977$	$y = 0.3987x - 1.9086$ $R^2 = 0.9954$	$y = 0.402x - 1.9975$ $R^2 = 0.9918$	$y = 0.3485x - 2.0491$ $R^2 = 0.9956$	$y = 0.357x - 2.1282$ $R^2 = 0.9935$
	WSW	$y = 0.3563x - 2.0427$ $R^2 = 0.984$	$y = 0.3475x - 1.9405$ $R^2 = 0.9858$	$y = 0.3669x - 2.114$ $R^2 = 0.9837$	$y = 0.2867x - 1.8994$ $R^2 = 0.9867$	$y = 0.3011x - 1.9726$ $R^2 = 0.9887$
	W	$y = 0.3487x - 2.0499$ $R^2 = 0.9904$	$y = 0.3623x - 2.2324$ $R^2 = 0.986$	$y = 0.3664x - 2.2219$ $R^2 = 0.9859$	$y = 0.2949x - 1.9825$ $R^2 = 0.9911$	$y = 0.2863x - 1.7382$ $R^2 = 0.9936$
	WNW	$y = 0.346x - 1.946$ $R^2 = 0.9833$	$y = 0.3475x - 1.9405$ $R^2 = 0.9858$	$y = 0.3523x - 1.8911$ $R^2 = 0.9864$	$y = 0.2867x - 1.8994$ $R^2 = 0.9867$	$y = 0.2926x - 1.8649$ $R^2 = 0.9872$
	NW	$y = 0.4017x - 1.9728$ $R^2 = 0.9913$	$y = 0.3987x - 1.9086$ $R^2 = 0.9954$	$y = 0.4123x - 2.087$ $R^2 = 0.9922$	$y = 0.3485x - 2.0491$ $R^2 = 0.9956$	$y = 0.3529x - 2.0827$ $R^2 = 0.9951$
	NNW	$y = 0.3819x - 2.2221$ $R^2 = 0.9843$	$y = 0.3769x - 2.2007$ $R^2 = 0.9869$	$y = 0.3992x - 2.3881$ $R^2 = 0.9832$	$y = 0.3154x - 2.1264$ $R^2 = 0.9892$	$y = 0.3229x - 2.1907$ $R^2 = 0.9881$
	N	$y = 0.3298x - 1.9424$ $R^2 = 0.9851$	$y = 0.285x - 1.5836$ $R^2 = 0.9905$	$y = 0.3024x - 1.7177$ $R^2 = 0.9887$	$y = 0.2225x - 1.3223$ $R^2 = 0.9939$	$y = 0.231x - 1.408$ $R^2 = 0.9917$

表 3.9.6 建蔽率 50%の場合における各プラン各風向の回帰式と寄与率 (1F)

		1F				
		プランA	プランB	プランC	プランD	プランE
風向	NNE	$y = 0.1949x + 0.258$ $R^2 = 0.9983$	$y = 0.1852x + 0.4112$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.1911x + 0.2807$ $R^2 = 0.9975$	$y = 0.1632x + 0.3885$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.1725x + 0.162$ $R^2 = 0.9966$
	NE	$y = 0.409x - 0.7954$ $R^2 = 0.9968$	$y = 0.4137x - 0.8428$ $R^2 = 0.9957$	$y = 0.4117x - 0.8437$ $R^2 = 0.9955$	$y = 0.321x - 0.3772$ $R^2 = 0.9959$	$y = 0.3324x - 0.6457$ $R^2 = 0.9934$
	ENE	$y = 0.1702x + 0.7309$ $R^2 = 0.9967$	$y = 0.1692x + 0.6968$ $R^2 = 0.9949$	$y = 0.1485x + 0.8777$ $R^2 = 0.9893$	$y = 0.1461x + 1.0459$ $R^2 = 0.9943$	$y = 0.1428x + 0.9074$ $R^2 = 0.9989$
	E	$y = 0.0845x + 0.3008$ $R^2 = 1$	$y = 0.08x + 0.3965$ $R^2 = 0.9993$	$y = 0.0782x + 0.3547$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.0802x + 1.5067$ $R^2 = 0.925$	$y = 0.0953x + 1.393$ $R^2 = 0.9479$
	ESE	$y = 0.1629x + 0.7603$ $R^2 = 0.9972$	$y = 0.1692x + 0.6968$ $R^2 = 0.9949$	$y = 0.1633x + 0.6957$ $R^2 = 0.996$	$y = 0.1461x + 1.0459$ $R^2 = 0.9943$	$y = 0.1387x + 1.025$ $R^2 = 0.9954$
	SE	$y = 0.4231x - 0.9346$ $R^2 = 0.9958$	$y = 0.4137x - 0.8428$ $R^2 = 0.9957$	$y = 0.4183x - 0.964$ $R^2 = 0.9951$	$y = 0.321x - 0.3772$ $R^2 = 0.9959$	$y = 0.3239x - 0.5431$ $R^2 = 0.9954$
	SSE	$y = 0.1899x + 0.5704$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.1852x + 0.4112$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.1989x + 0.116$ $R^2 = 0.995$	$y = 0.1632x + 0.3885$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.1834x - 0.0206$ $R^2 = 0.9931$
	S	$y = 0.1246x - 0.0038$ $R^2 = 0.9983$	$y = 0.1199x + 0.0096$ $R^2 = 0.9976$	$y = 0.1053x + 0.1394$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.095x + 0.0101$ $R^2 = 0.9981$	$y = 0.0822x + 0.1908$ $R^2 = 1$
	SSW	$y = 0.1899x + 0.5704$ $R^2 = 0.9987$	$y = 0.1852x + 0.4112$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.1911x + 0.2807$ $R^2 = 0.9975$	$y = 0.1632x + 0.3885$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.1725x + 0.162$ $R^2 = 0.9966$
	SW	$y = 0.4231x - 0.9346$ $R^2 = 0.9958$	$y = 0.4137x - 0.8428$ $R^2 = 0.9957$	$y = 0.4117x - 0.8437$ $R^2 = 0.9955$	$y = 0.321x - 0.3772$ $R^2 = 0.9959$	$y = 0.3324x - 0.6457$ $R^2 = 0.9934$
	WSW	$y = 0.1629x + 0.7603$ $R^2 = 0.9972$	$y = 0.1692x + 0.6968$ $R^2 = 0.9949$	$y = 0.1485x + 0.8777$ $R^2 = 0.9893$	$y = 0.1461x + 1.0459$ $R^2 = 0.9943$	$y = 0.1428x + 0.9074$ $R^2 = 0.9989$
	W	$y = 0.0845x + 0.3008$ $R^2 = 1$	$y = 0.08x + 0.3965$ $R^2 = 0.9993$	$y = 0.0782x + 0.3547$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.0802x + 1.5067$ $R^2 = 0.925$	$y = 0.0953x + 1.393$ $R^2 = 0.9479$
	WNW	$y = 0.1702x + 0.7309$ $R^2 = 0.9967$	$y = 0.1692x + 0.6968$ $R^2 = 0.9949$	$y = 0.1633x + 0.6957$ $R^2 = 0.996$	$y = 0.1461x + 1.0459$ $R^2 = 0.9943$	$y = 0.1387x + 1.025$ $R^2 = 0.9954$
	NW	$y = 0.409x - 0.7954$ $R^2 = 0.9968$	$y = 0.4137x - 0.8428$ $R^2 = 0.9957$	$y = 0.4183x - 0.964$ $R^2 = 0.9951$	$y = 0.321x - 0.3772$ $R^2 = 0.9959$	$y = 0.3239x - 0.5431$ $R^2 = 0.9954$
	NNW	$y = 0.1949x + 0.258$ $R^2 = 0.9983$	$y = 0.1852x + 0.4112$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.1989x + 0.116$ $R^2 = 0.995$	$y = 0.1632x + 0.3885$ $R^2 = 0.9996$	$y = 0.1834x - 0.0206$ $R^2 = 0.9931$
	N	$y = 0.0735x + 0.3714$ $R^2 = 0.9975$	$y = 0.1199x + 0.0096$ $R^2 = 0.9976$	$y = 0.1053x + 0.1394$ $R^2 = 0.9998$	$y = 0.095x + 0.0101$ $R^2 = 0.9981$	$y = 0.0822x + 0.1908$ $R^2 = 1$



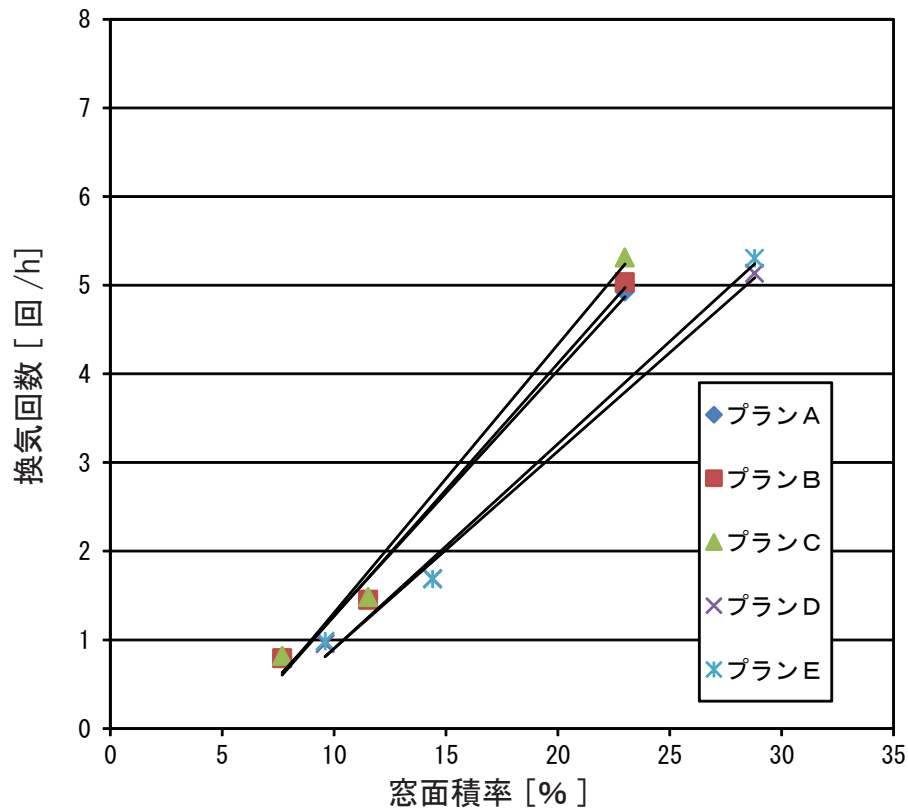


図 3.9.5 建蔽率 50%における各プランの換気回数と窓面積率の関係  
(風向 S、2 F)

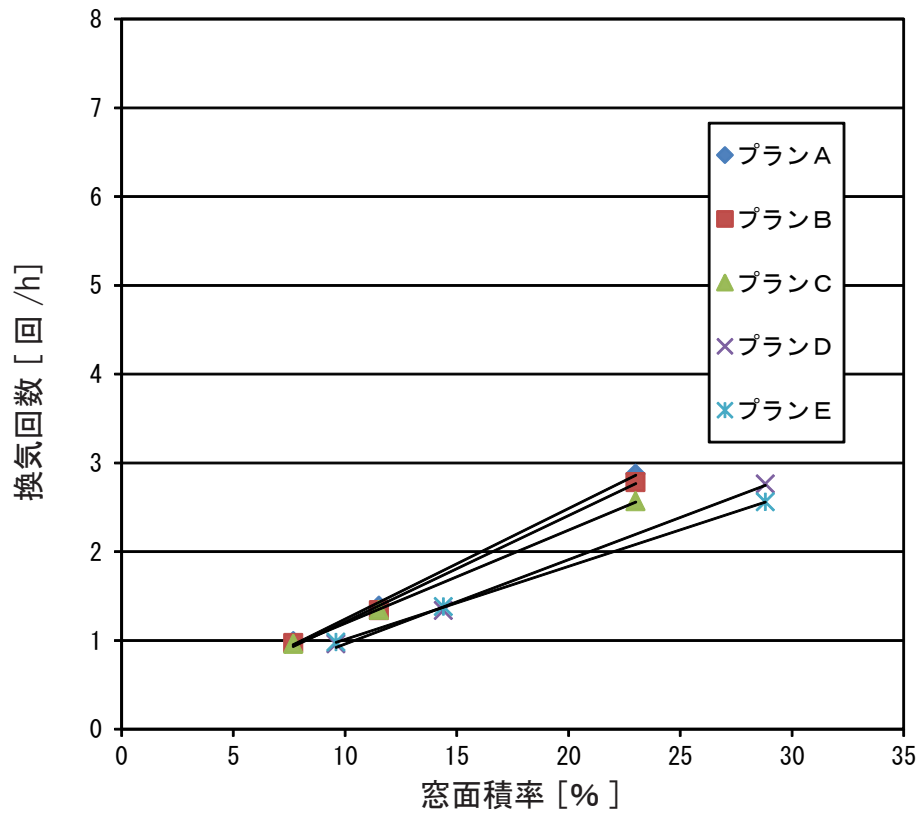


図 3.9.6 建蔽率 50%における各プランの換気回数と窓面積率の関係  
(風向 S、1 F)

### 3.9.2 有効窓面積率マップ

図 3.9.7 ～図 3.9.36 に各プランにおける有効窓面積率マップを示す。

有効窓面積率は地域によって異なり、内陸部、山間部では有効窓面積率が比較的高く、どのプランでも 1 階では建蔽率 10%では 30%程度、建蔽率 30%では 60%程度、建蔽率 50%では 120%程度、2 階では建蔽率 10%では 20%程度、建蔽率 30%では 40%程度、建蔽率 50%では 80%程度となる。海沿いの地域では比較的低い傾向があり、どのプランでも 1 階では建蔽率 10%では 20%程度、建蔽率 30%では 40%程度、建蔽率 50%では 80%程度、2 階では建蔽率 10%では 10%程度、建蔽率 30%では 25%程度、建蔽率 50%では 50%程度となる。これは、内陸部では風速が遅く、海沿いの地域では速いためと考えられる。又、1 F と 2 F を比較すると、どの建蔽率でも有効窓面積率は 2 F の方が低くなる。これは相対的に地表面から高い位置にある 2 F の方が、上空風の影響を比較的多く受け、風速が速いためと考えられる。

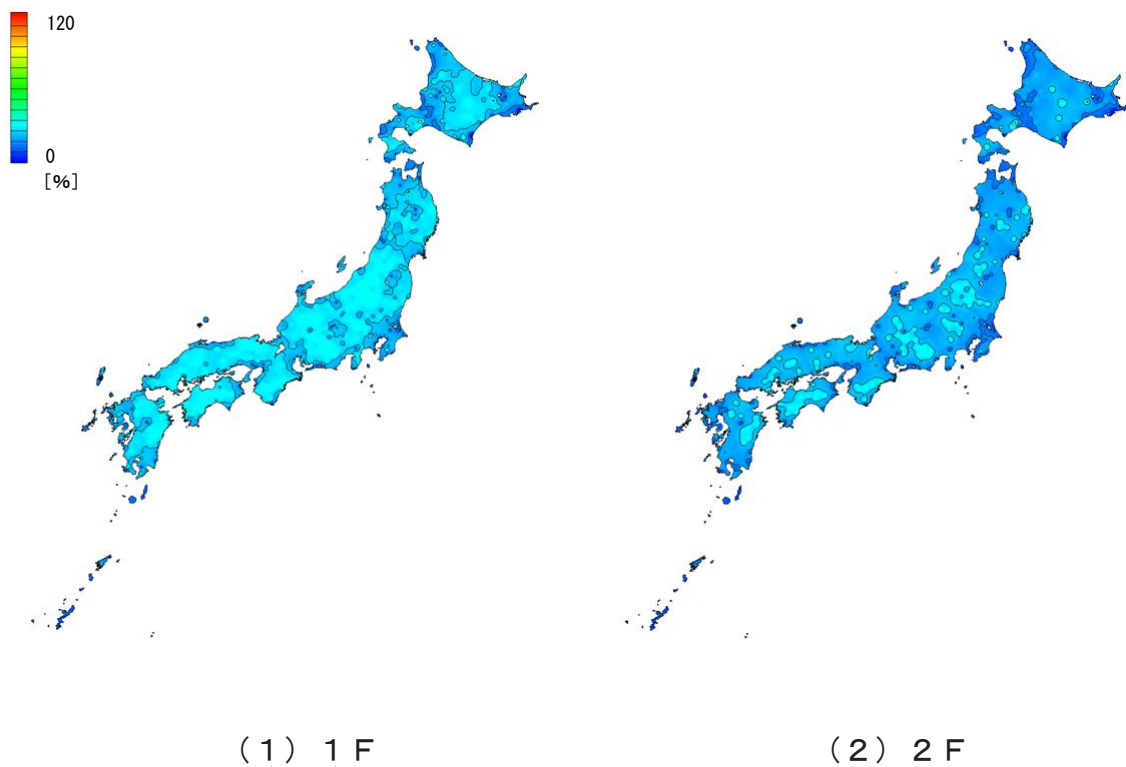


図 3.9.7 建蔽率 10%におけるプラン A の有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0 %～ 120%)

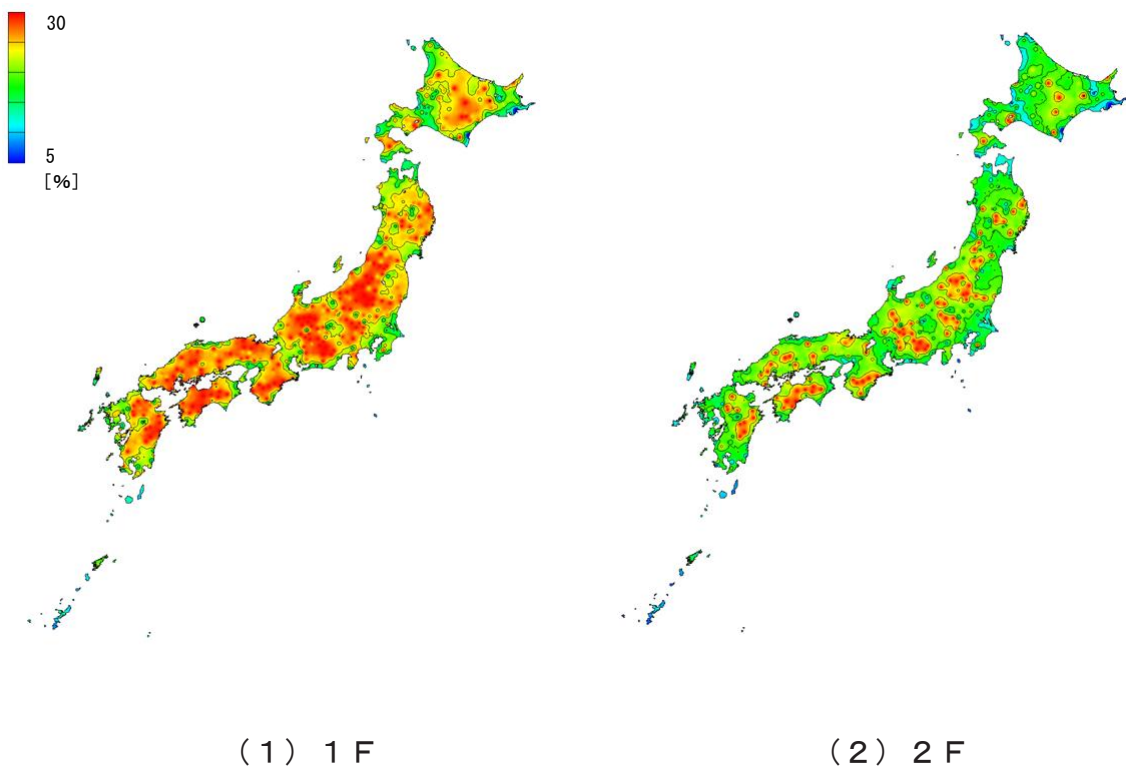


図 3.9.8 建蔽率 10%におけるプラン A の有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 5 %～ 30%)

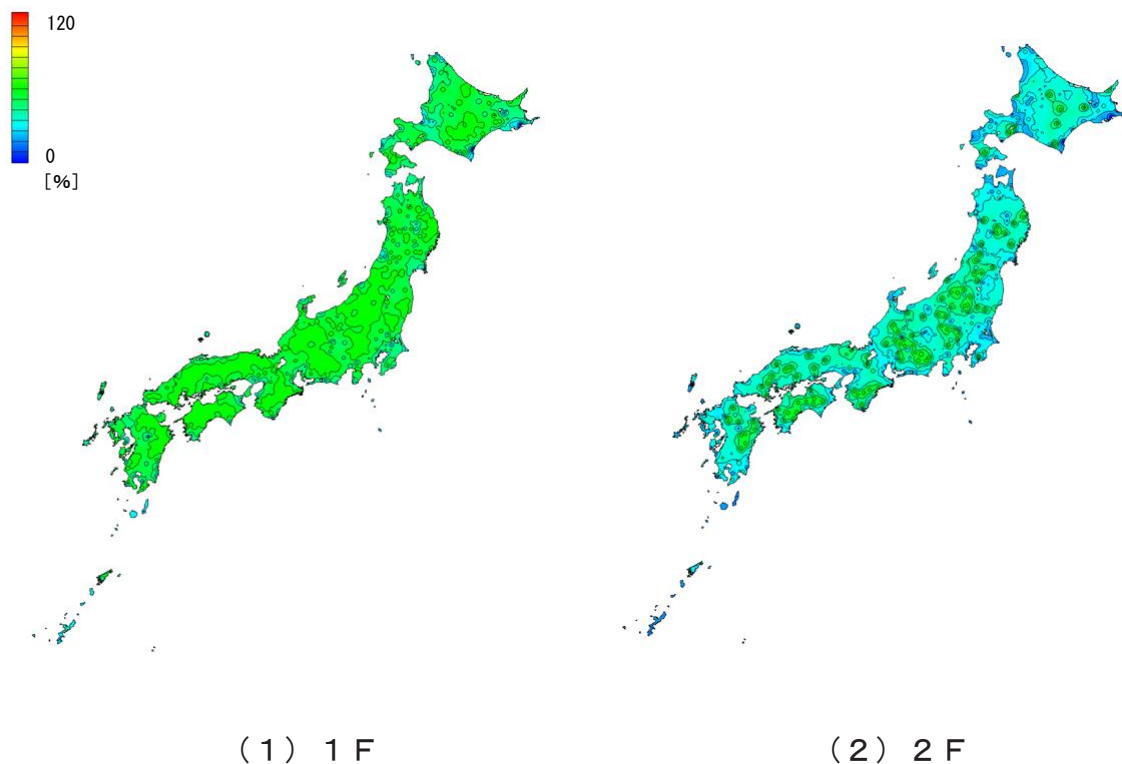


図 3.9.9 建蔽率 30%におけるプランAの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

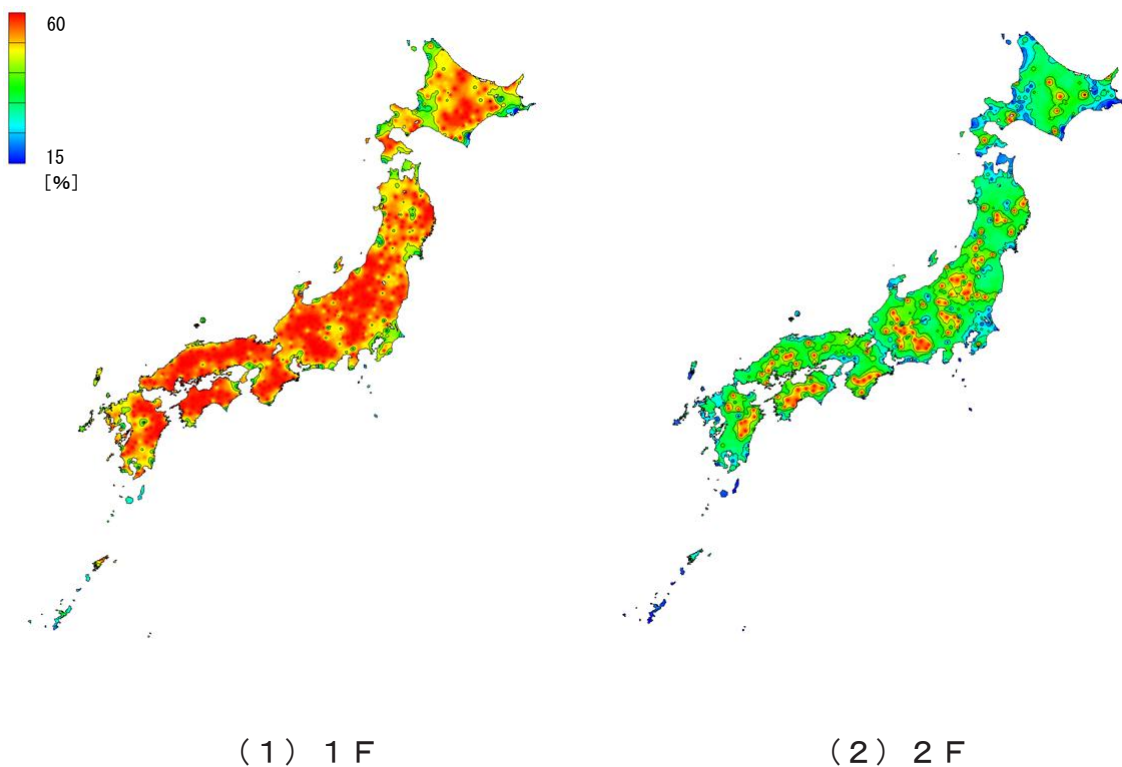


図 3.9.10 建蔽率 30%におけるプランAの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 15%～60%)

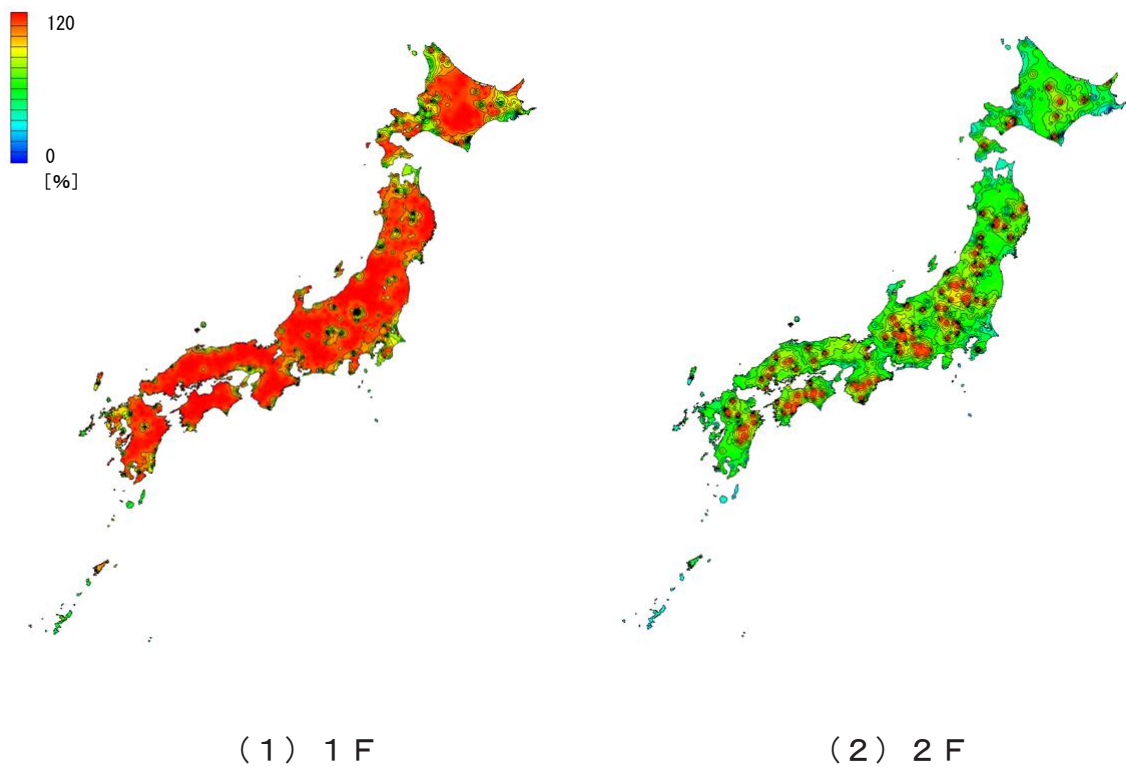


図 3.9.11 建蔽率 50%におけるプランAの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0 %～120%)

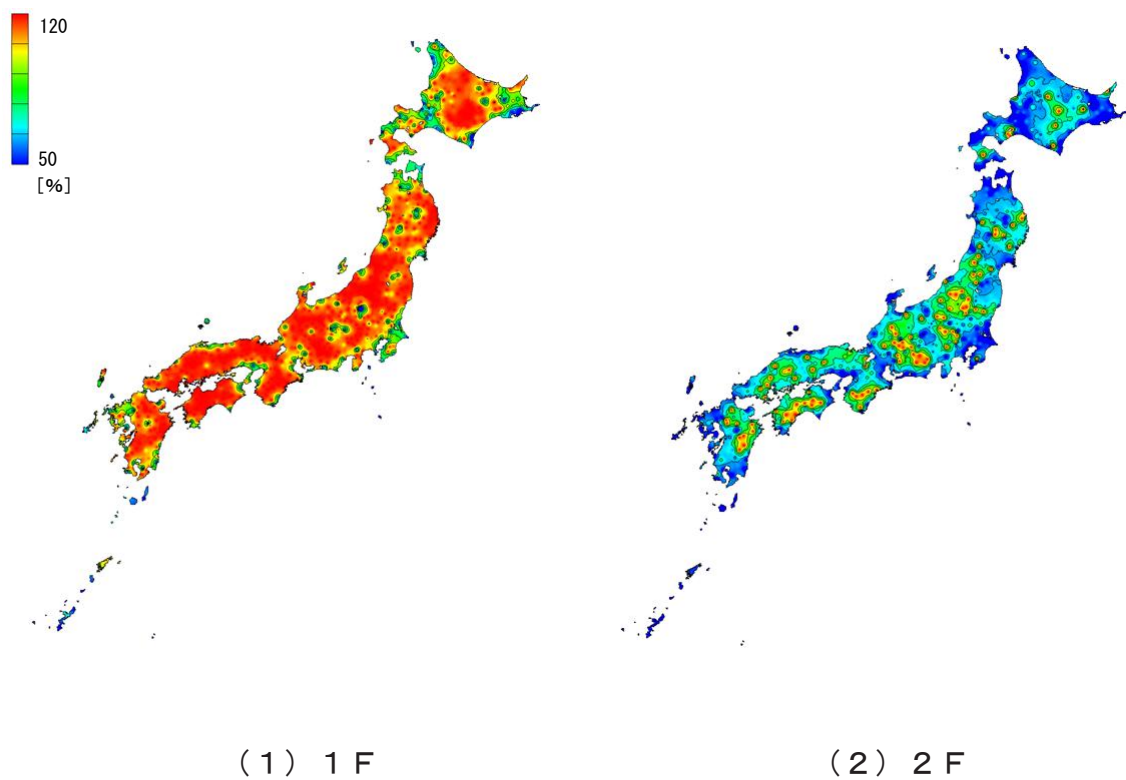


図 3.9.12 建蔽率 50%におけるプランAの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 50 %～120%)

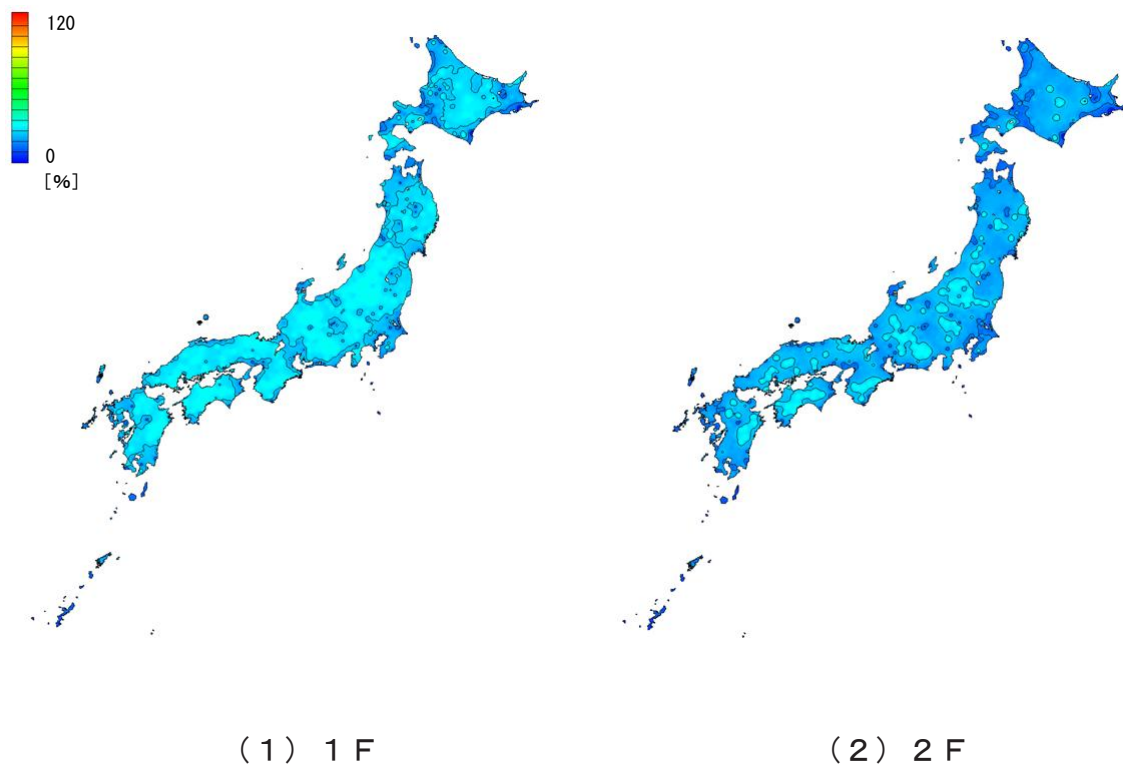


図 3.9.13 建蔽率 10%におけるプランBの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

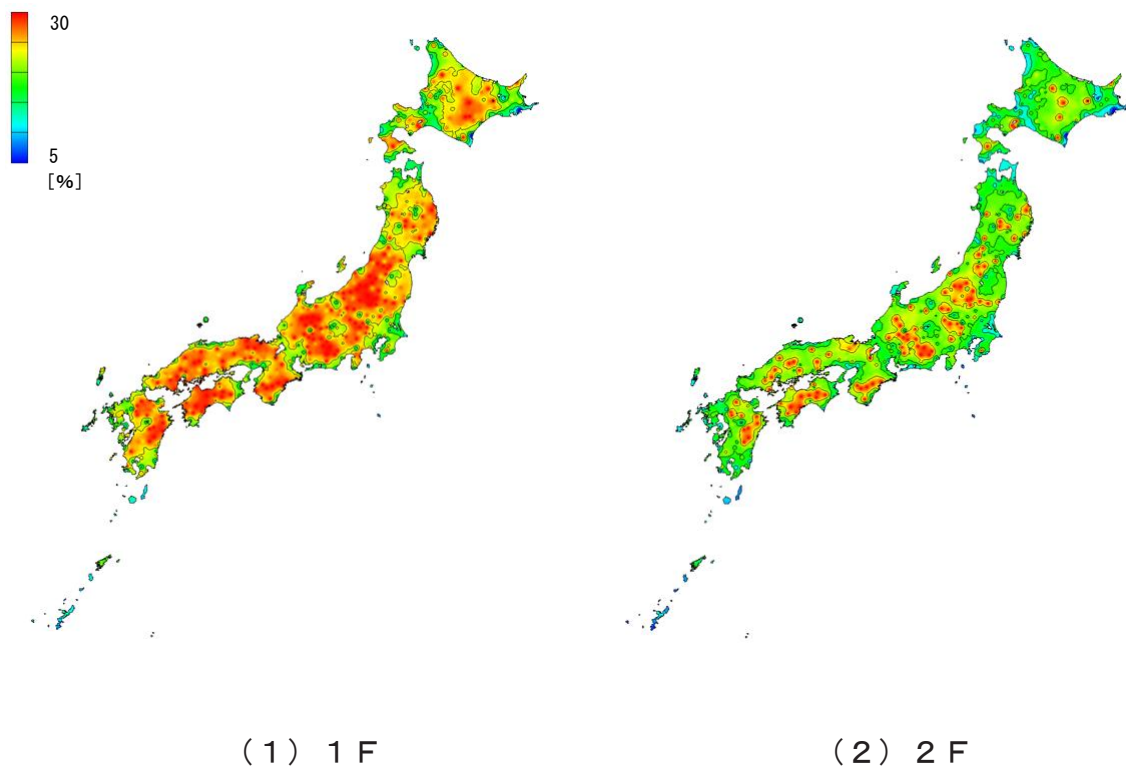


図 3.9.14 建蔽率 10%におけるプランBの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 5%～30%)

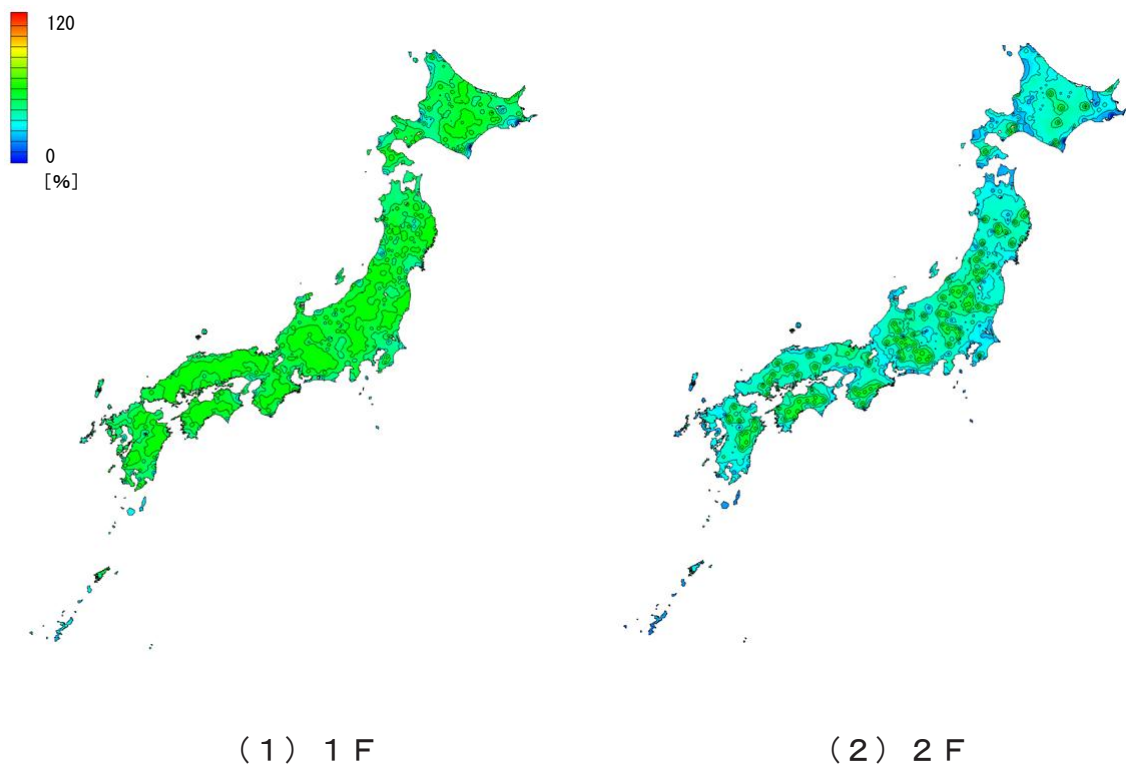


図 3.9.15 建蔽率 30%におけるプランBの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

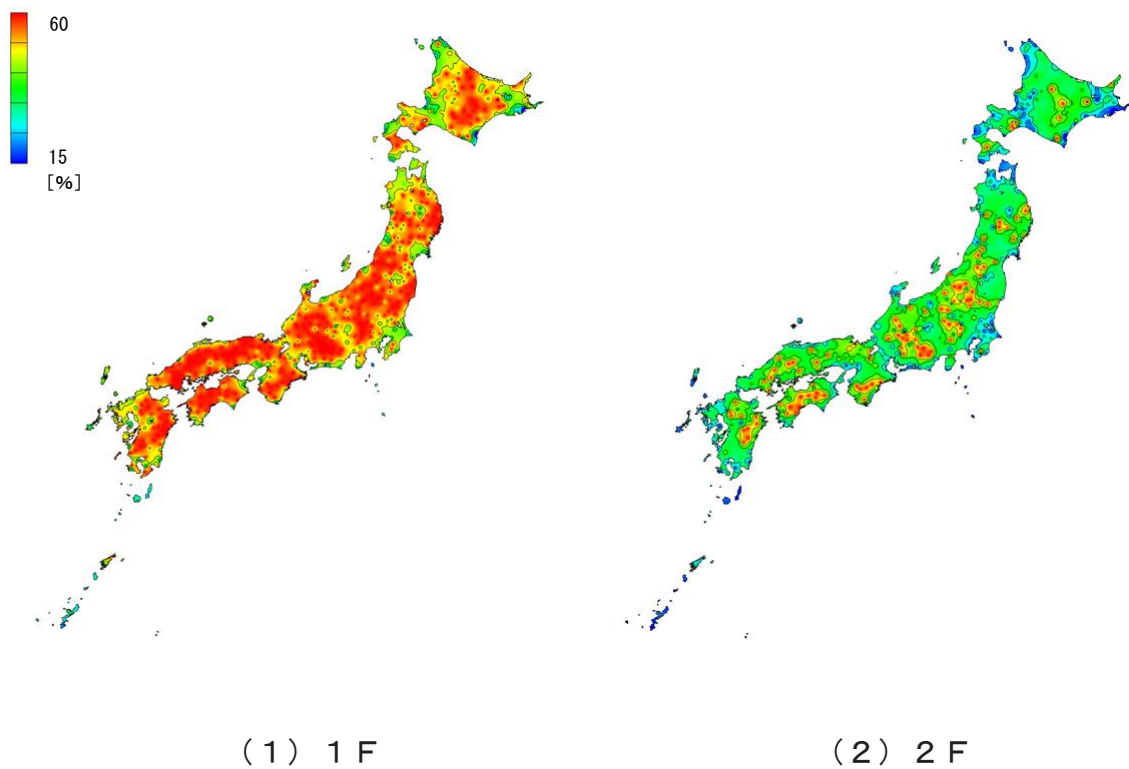


図 3.9.16 建蔽率 30%におけるプランBの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 15%～60%)



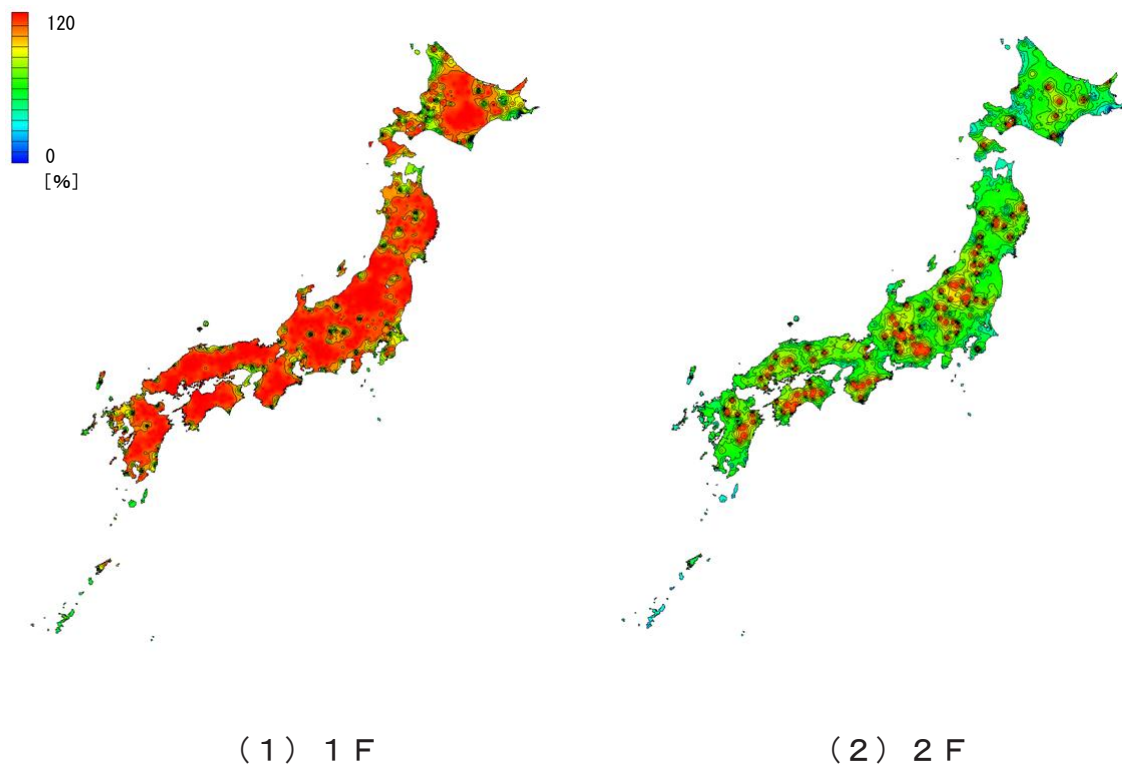


図 3.9.17 建蔽率 50%におけるプランBの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

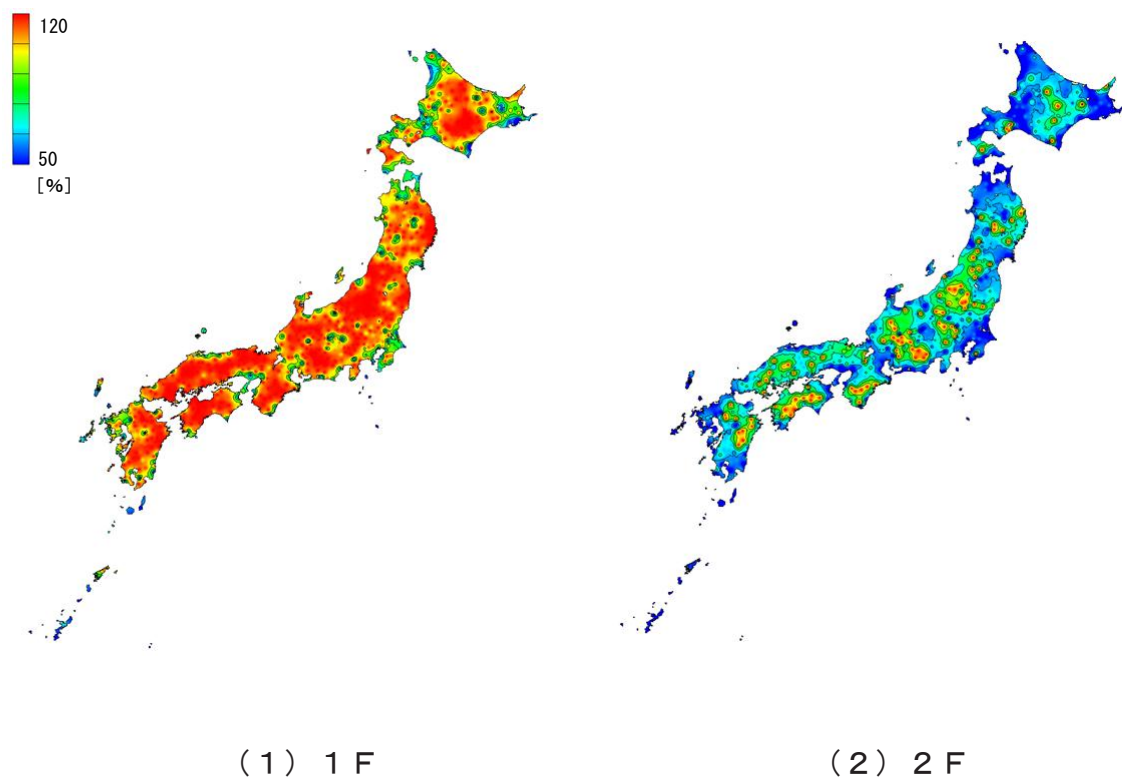


図 3.9.18 建蔽率 50%におけるプランBの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 50%～120%)



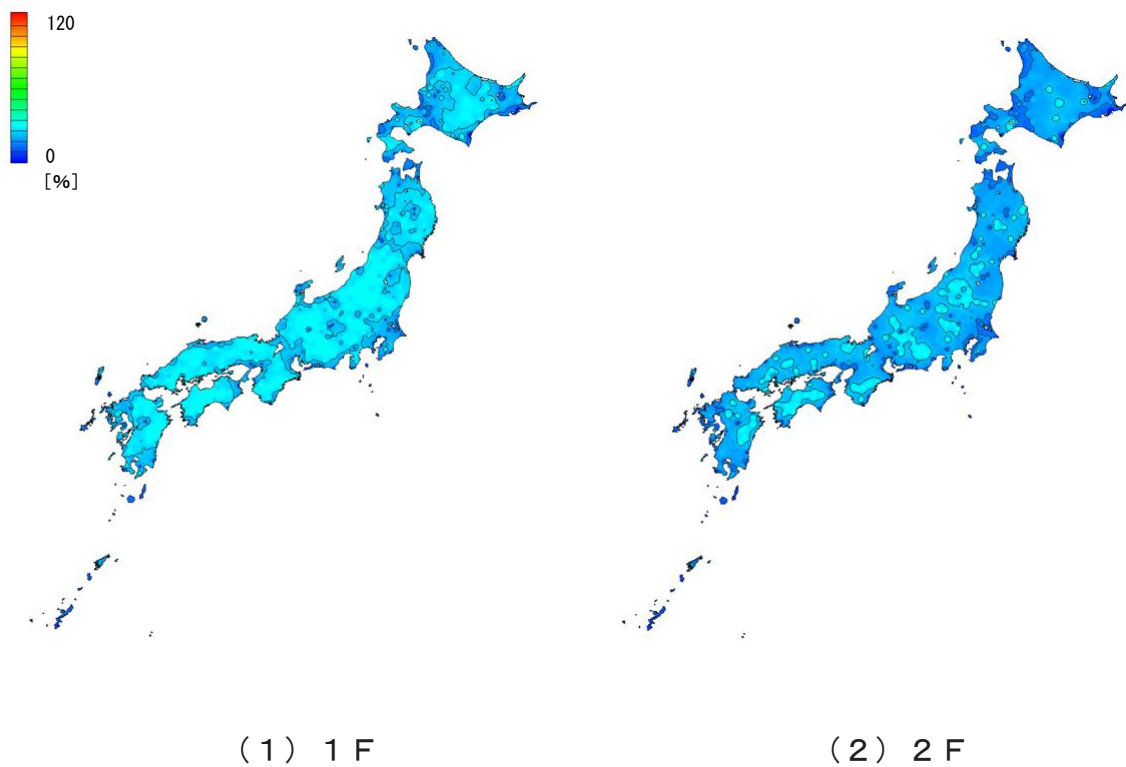


図 3.9.19 建蔽率 10%におけるプランCの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率0%～120%)

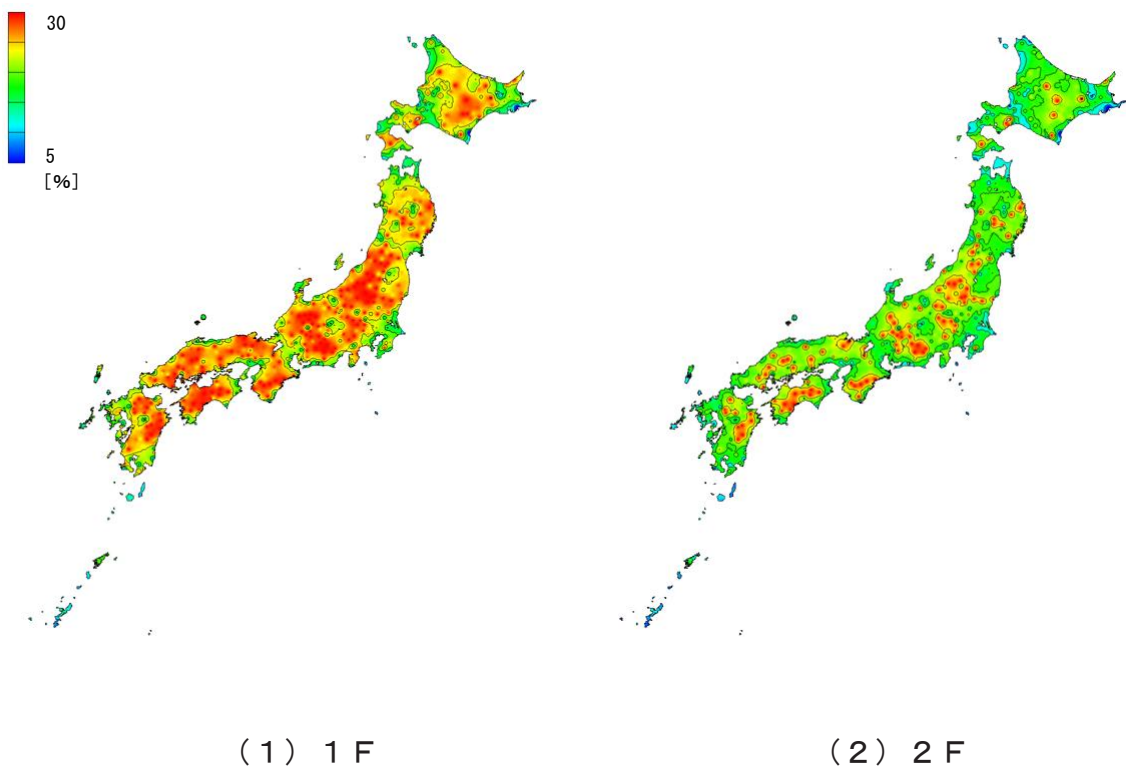


図 3.9.20 建蔽率 10%におけるプランCの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率5%～30%)

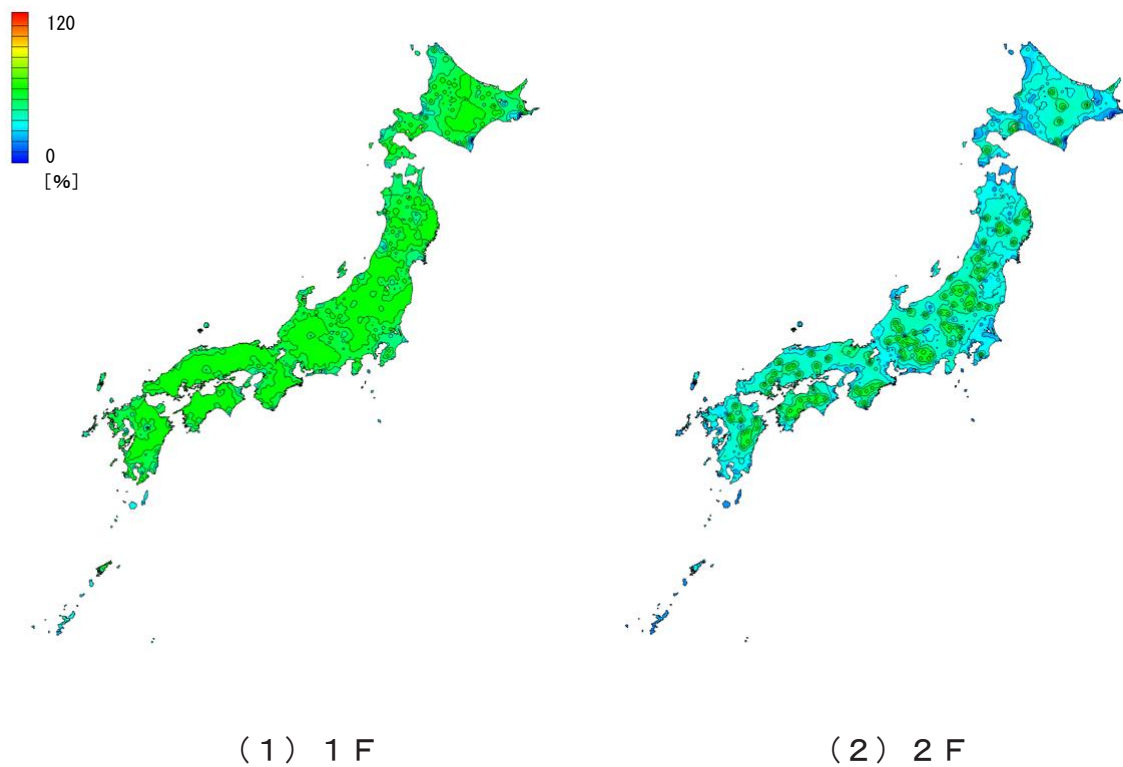


図 3. 9. 21 建蔽率 30%におけるプランCの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

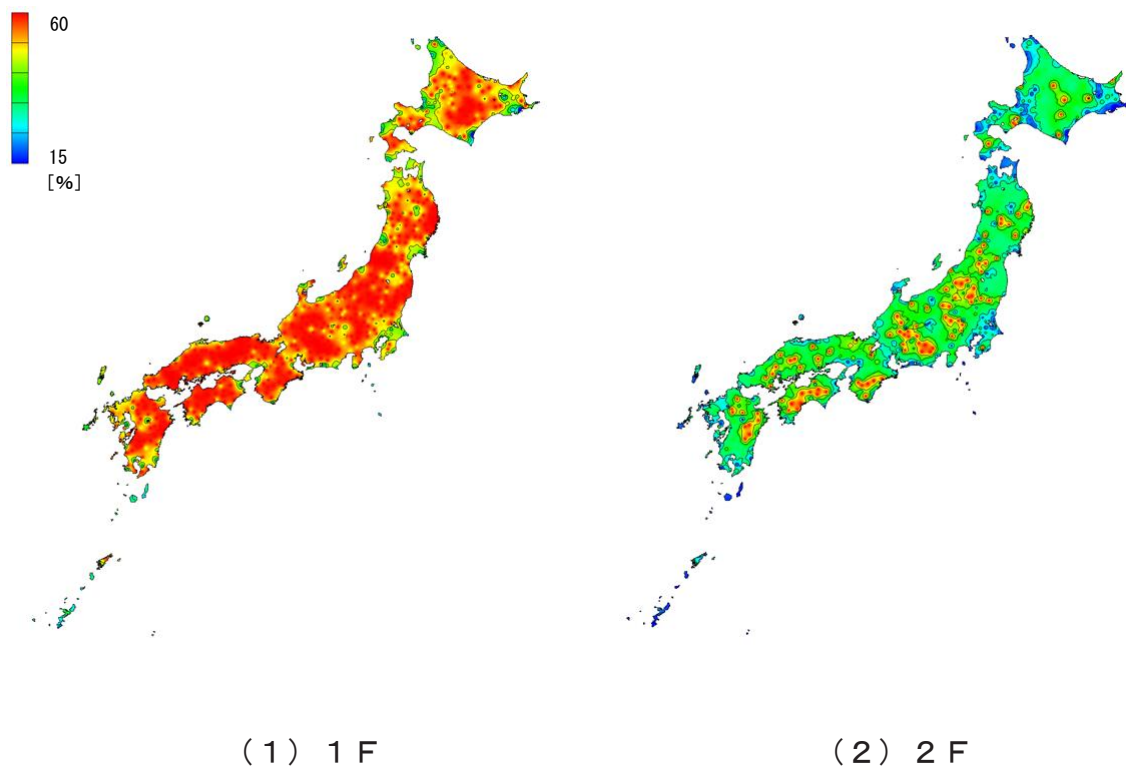


図 3. 9. 22 建蔽率 30%におけるプランCの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 15%～60%)

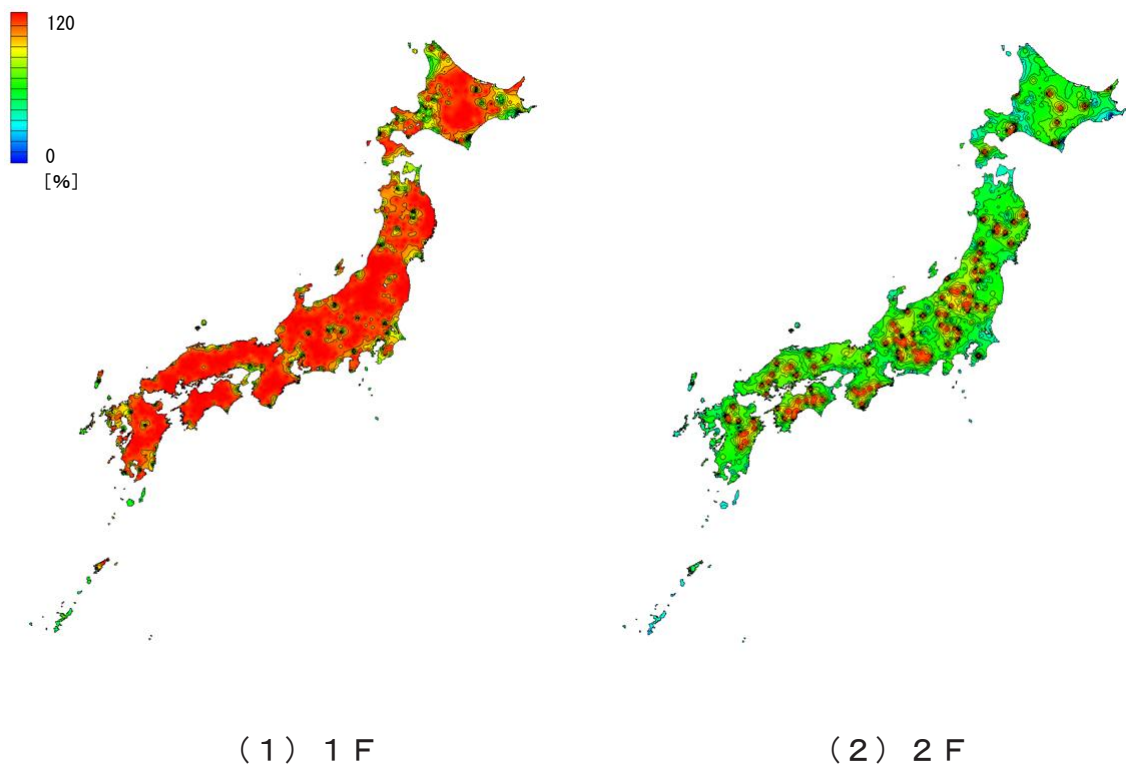


図 3.9.23 建蔽率 50%におけるプランCの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0 % ~ 120 %)

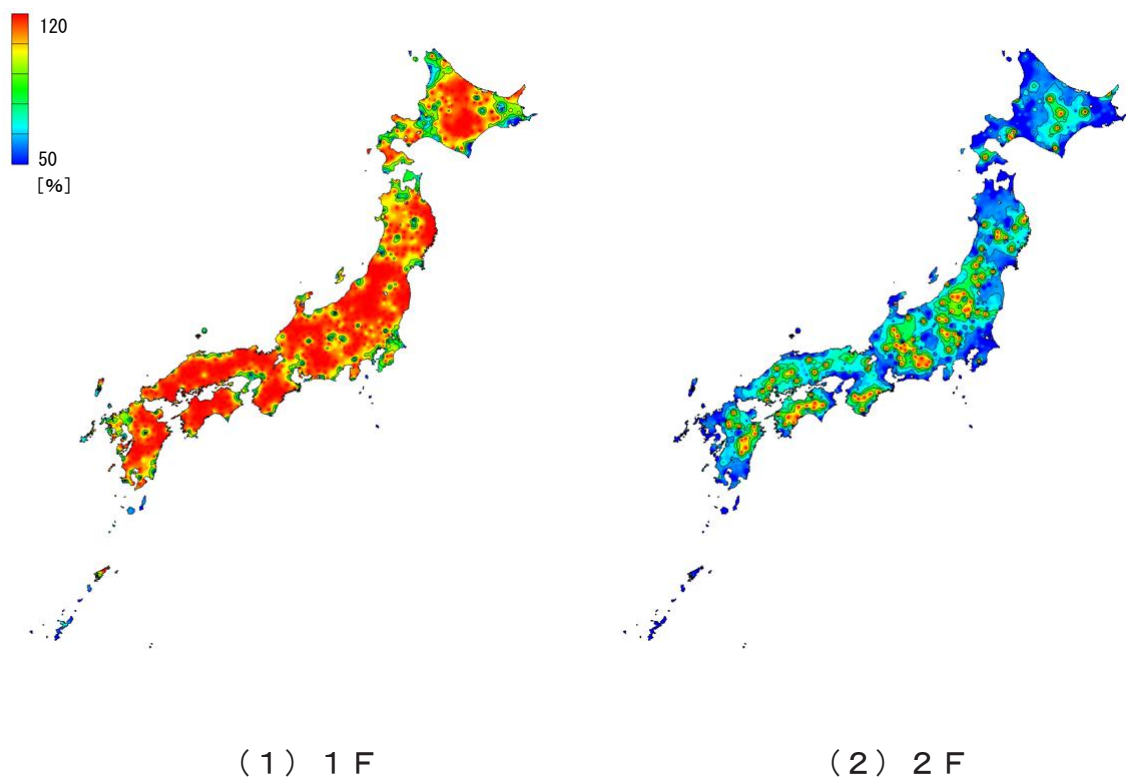


図 3.9.24 建蔽率 50%におけるプランCの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 50 % ~ 120 %)

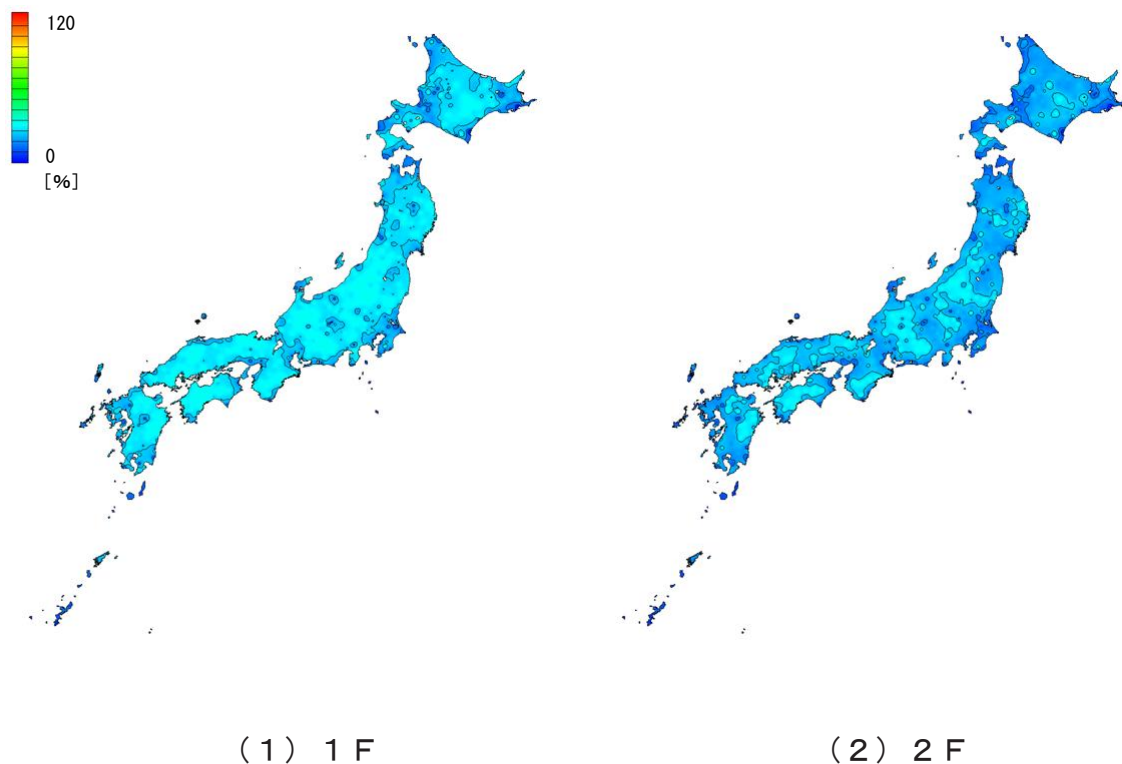


図 3.9.25 建蔽率 10%におけるプランDの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

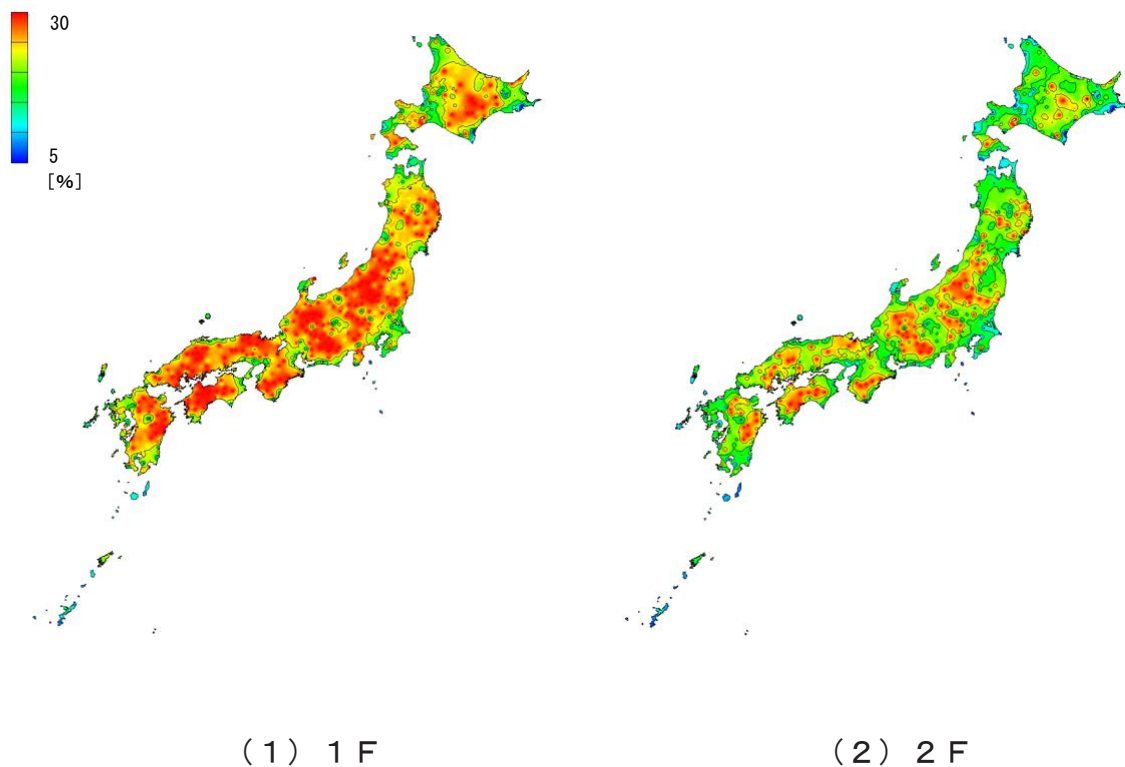


図 3.9.26 建蔽率 10%におけるプランDの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 5%～30%)

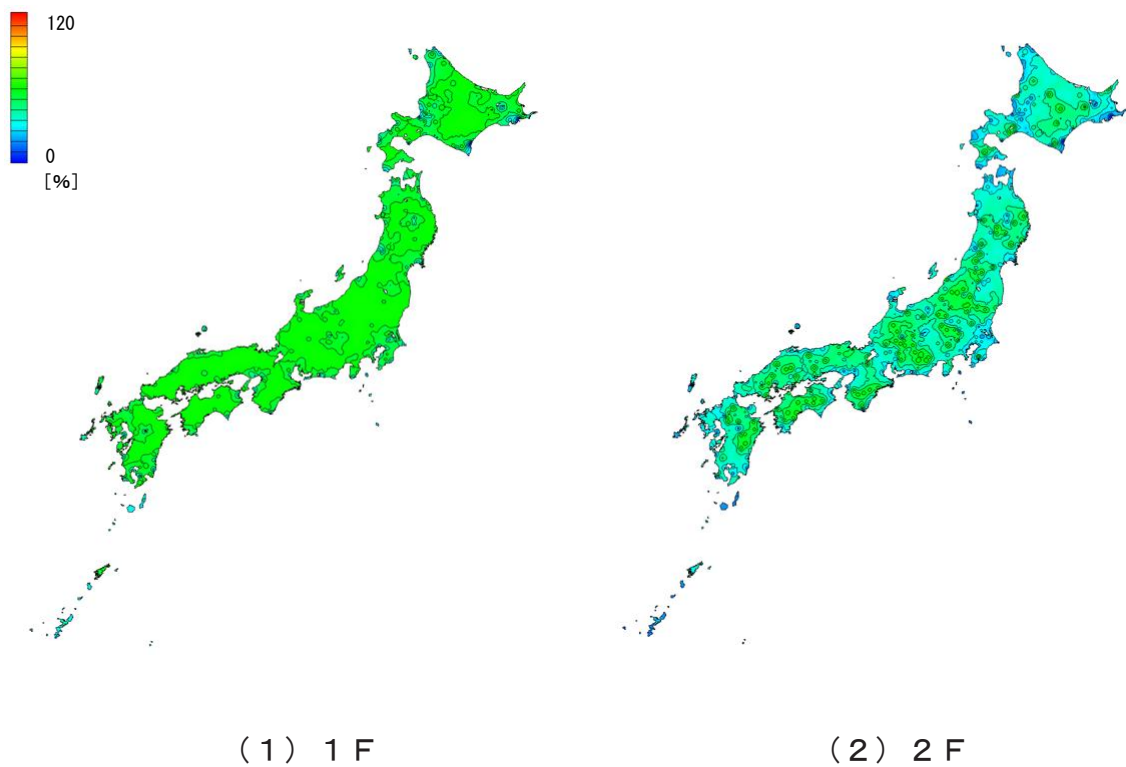


図 3.9.27 建蔽率 30%におけるプランDの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率0%～120%)

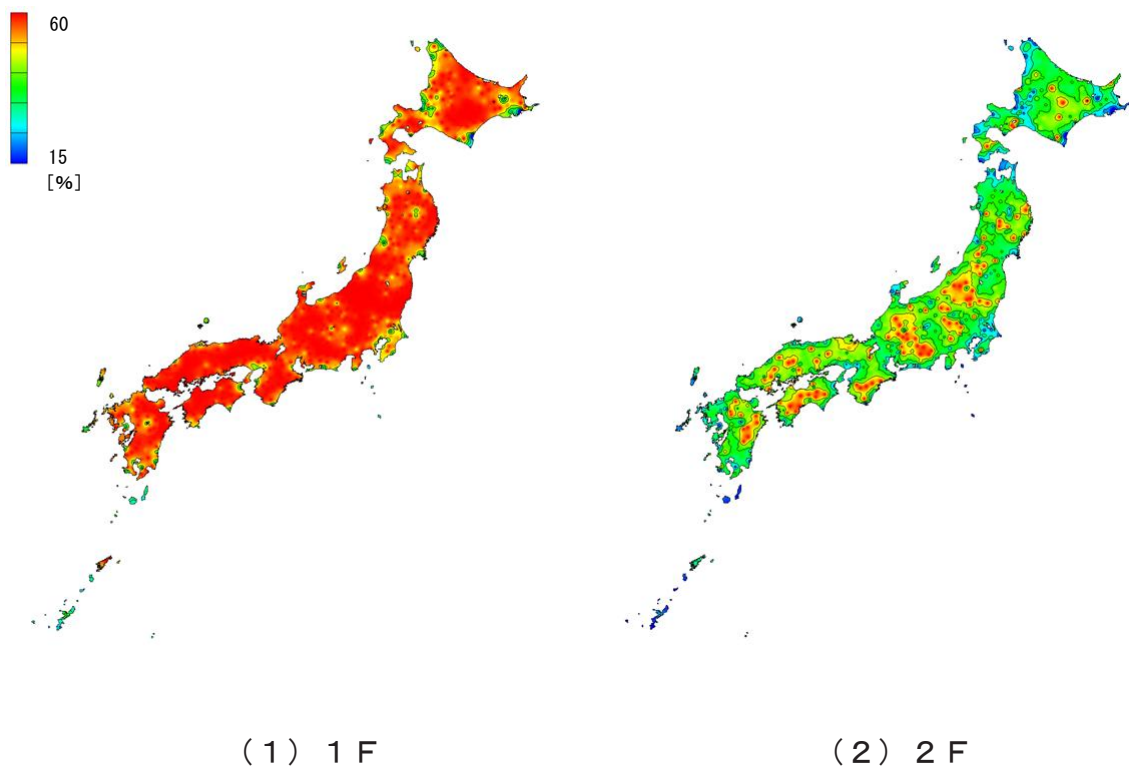


図 3.9.28 建蔽率 30%におけるプランDの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率15%～60%)

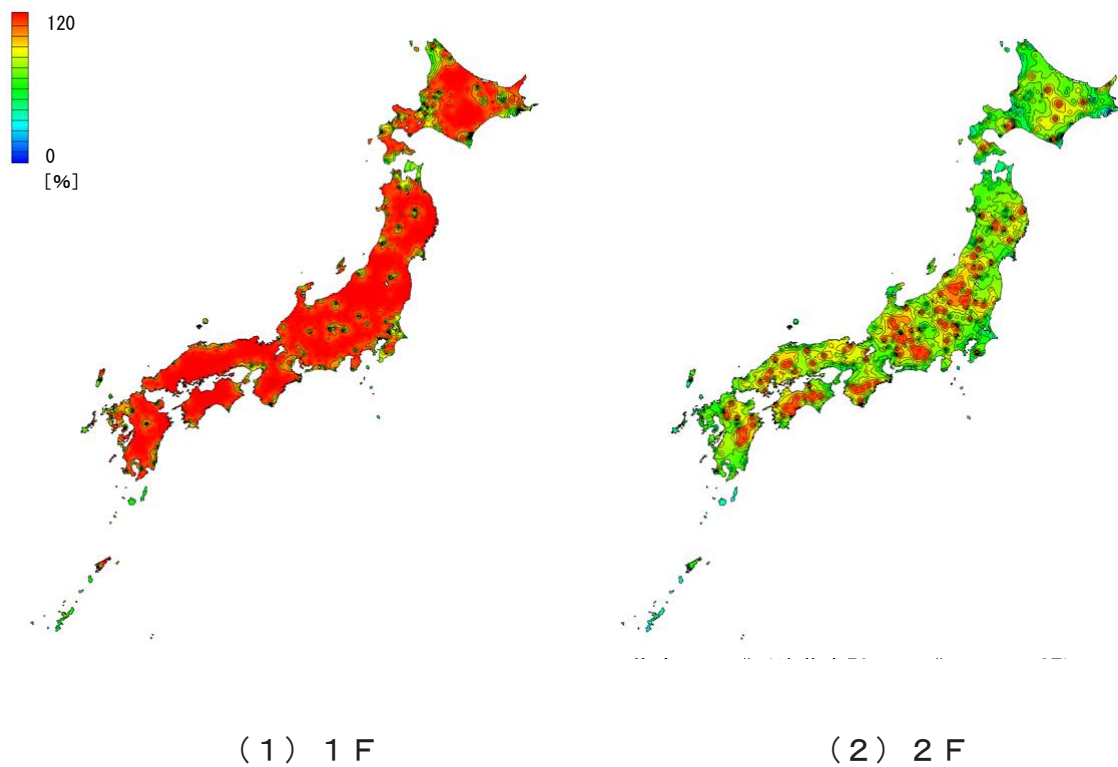


図 3. 9. 29 建蔽率 50%におけるプランDの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

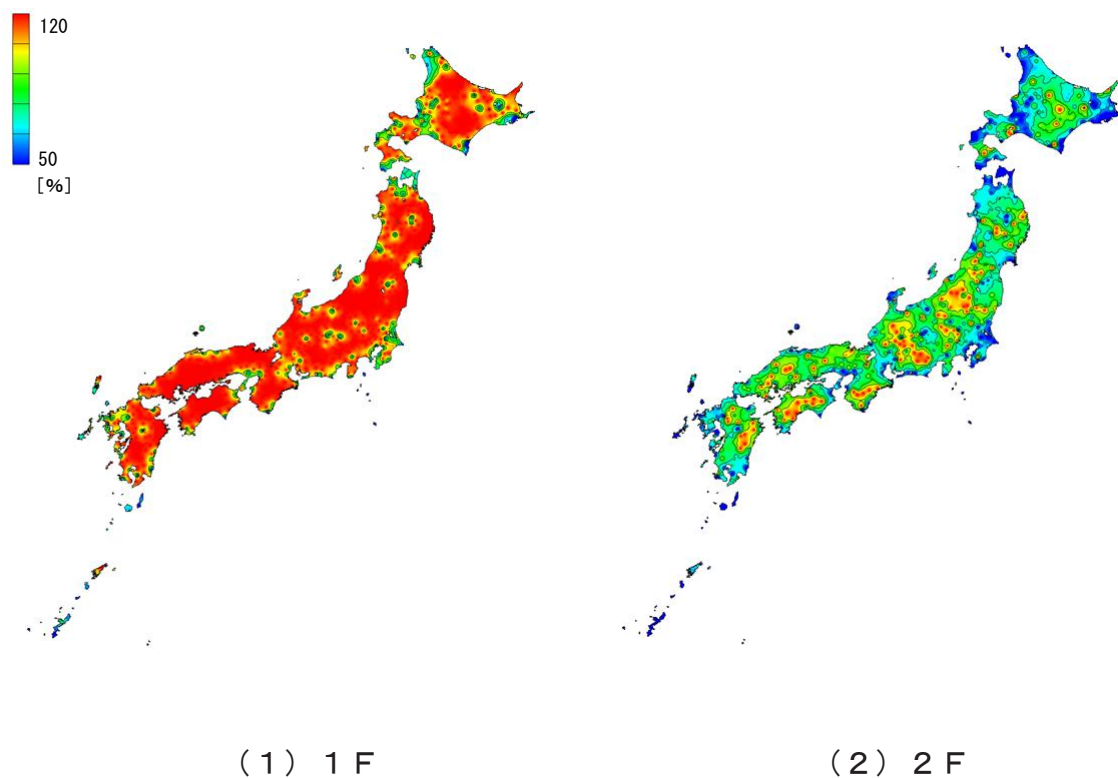


図 3. 9. 30 建蔽率 50%におけるプランDの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 50%～120%)





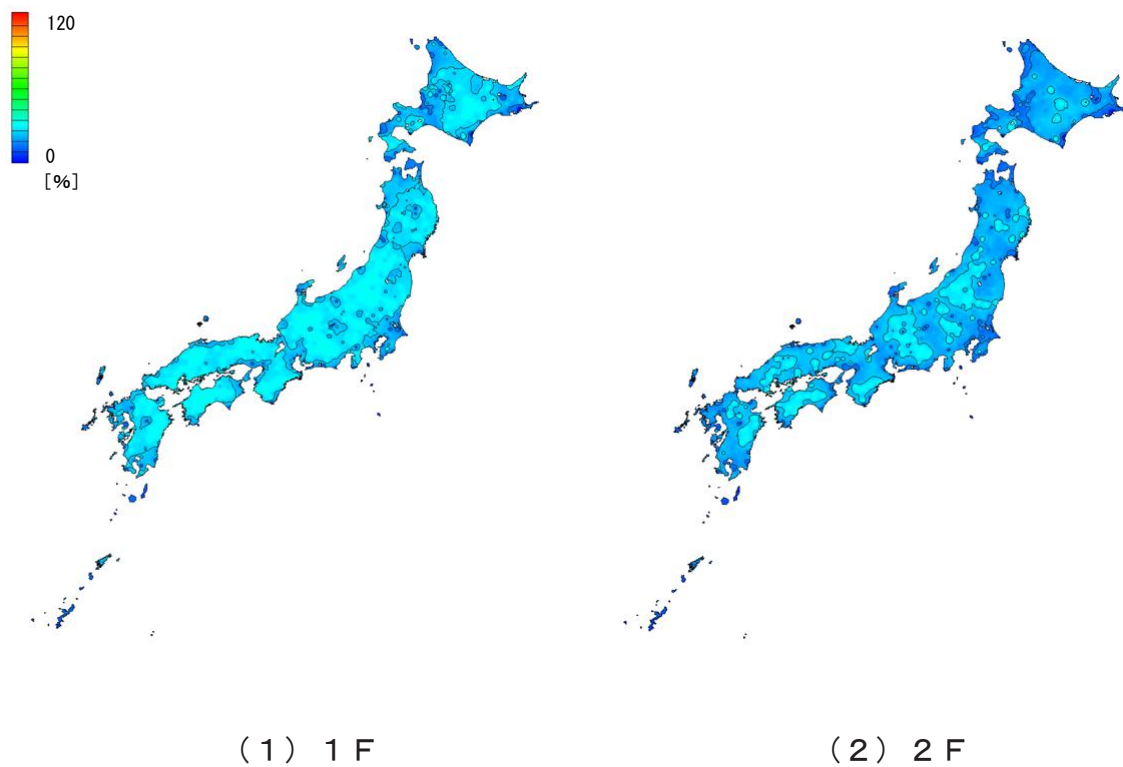


図 3.9.31 建蔽率 10%におけるプランEの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0 %～ 120 %)

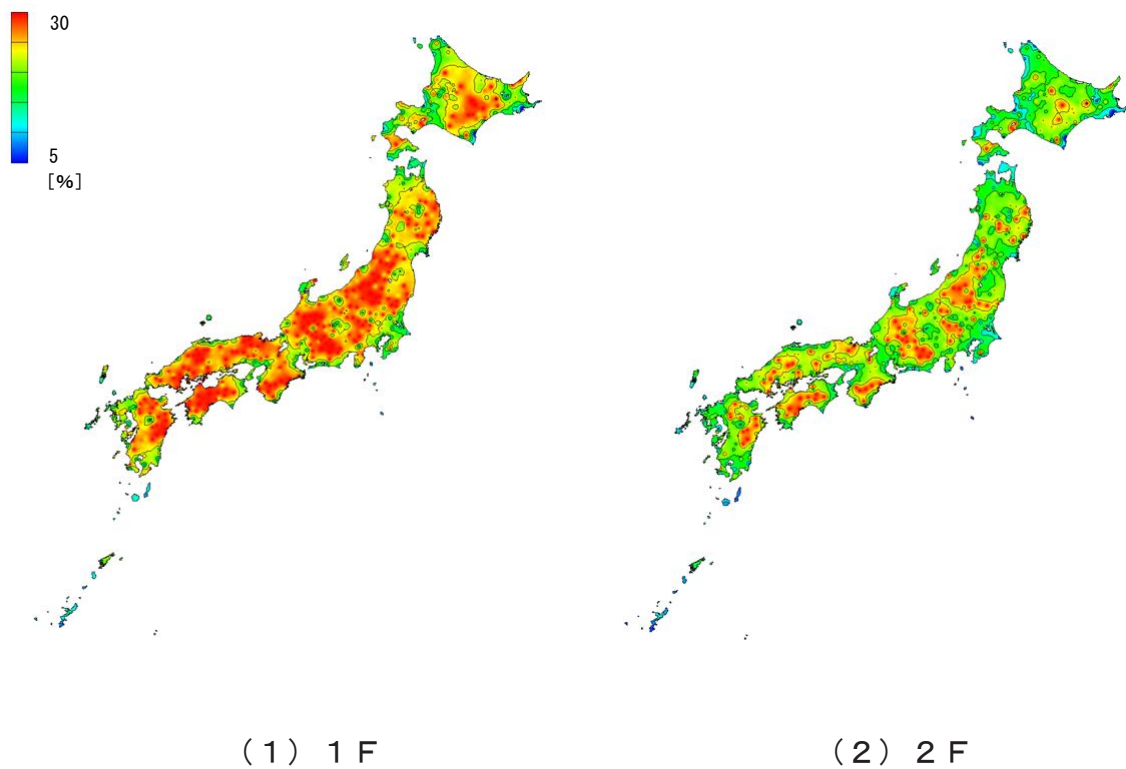


図 3.9.32 建蔽率 10%におけるプランEの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 5 %～ 30 %)



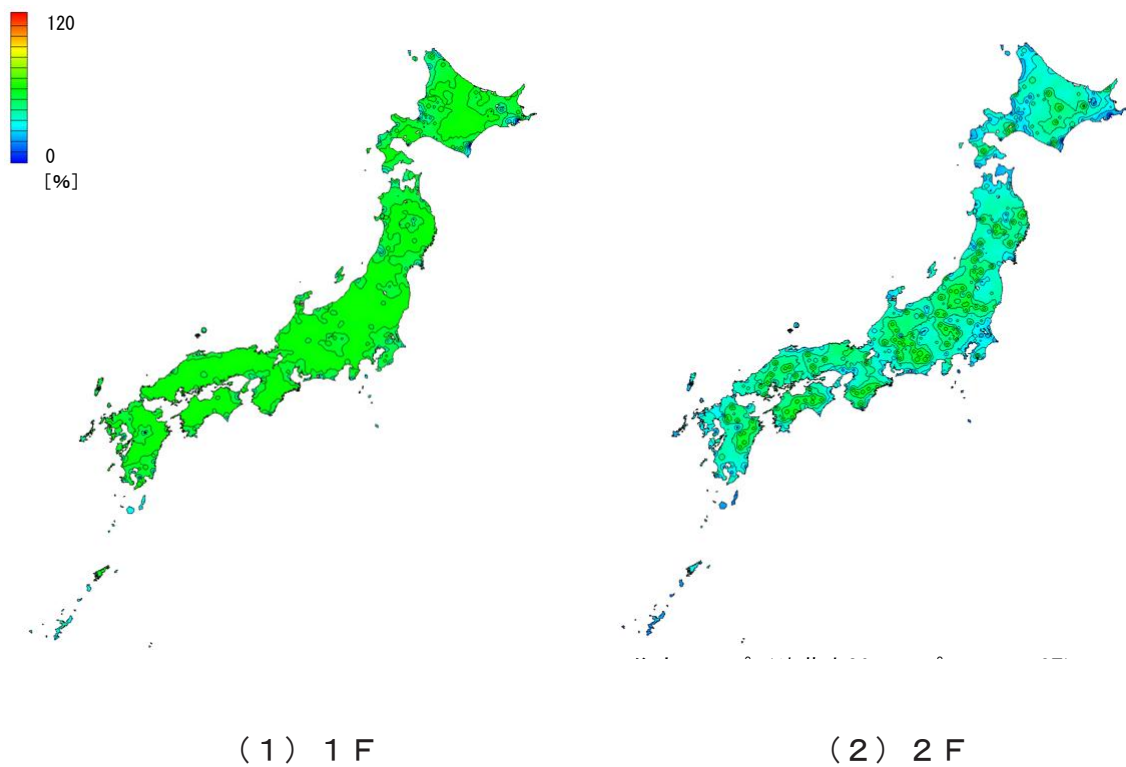


図 3.9.33 建蔽率 30%におけるプランEの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率0%～120%)

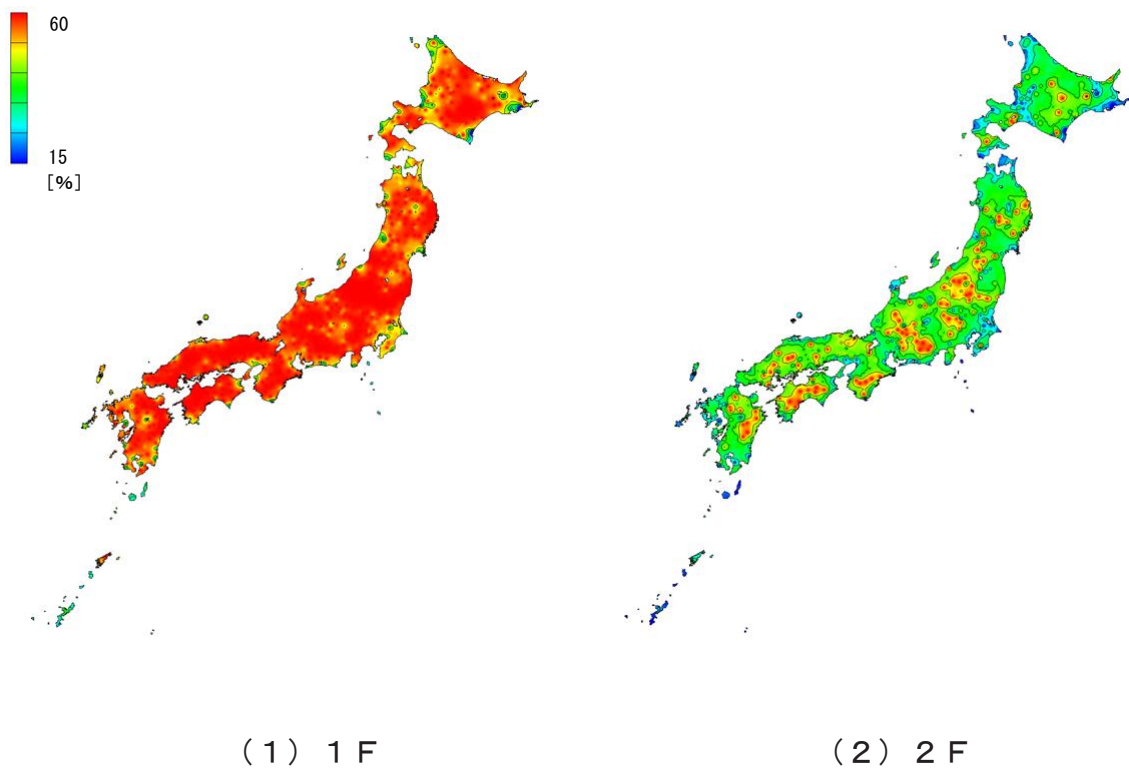


図 3.9.34 建蔽率 30%におけるプランEの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率15%～60%)

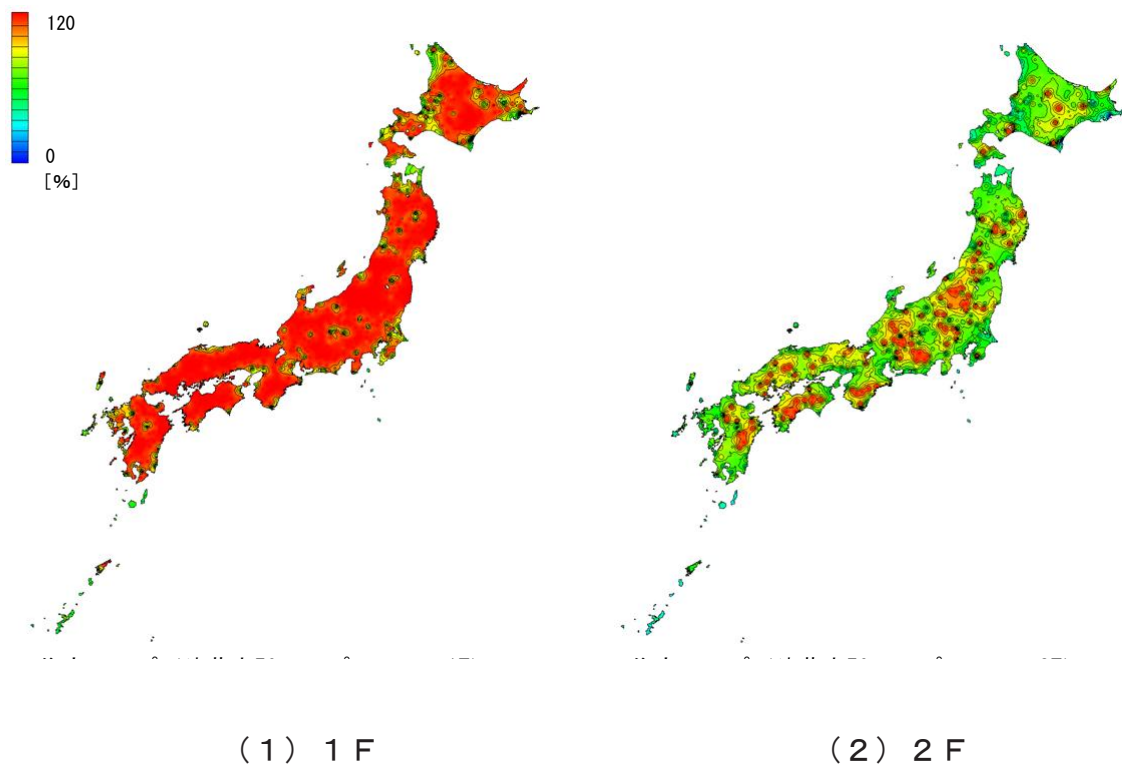


図 3. 9. 35 建蔽率 50%におけるプランEの有効窓面積率マップ  
(同スケール：有効窓面積率 0%～120%)

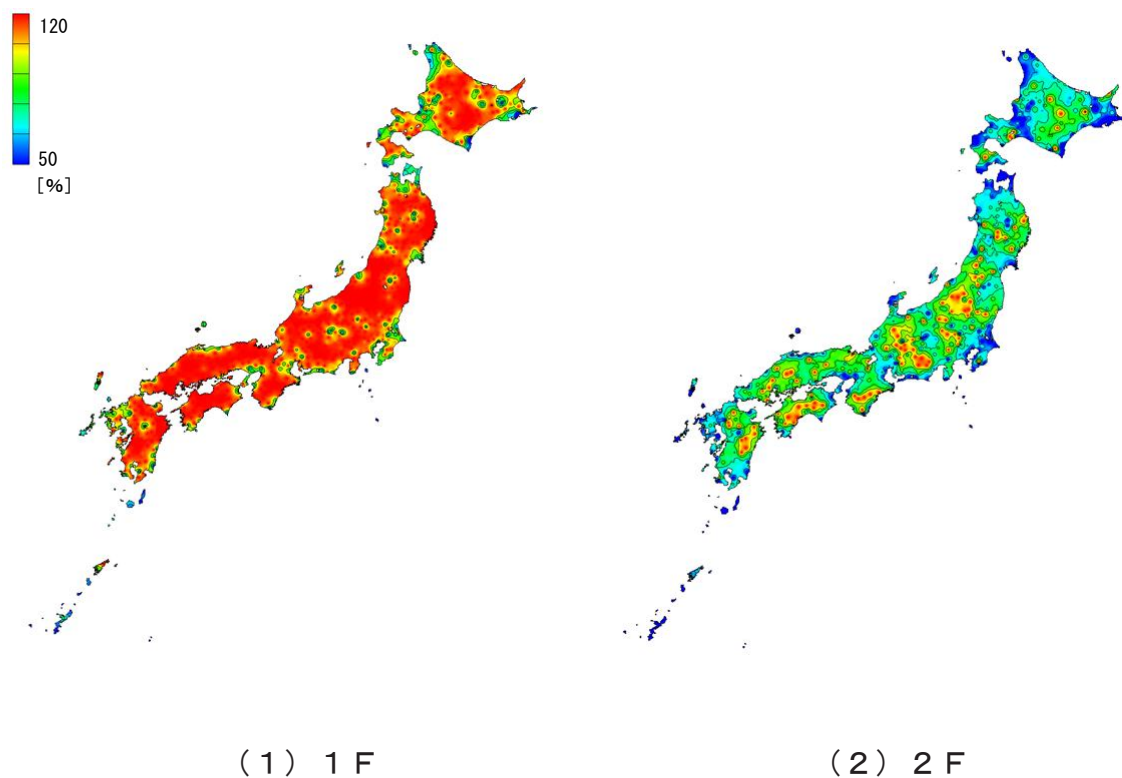


図 3. 9. 36 建蔽率 50%におけるプランEの有効窓面積率マップ  
(個別スケール：有効窓面積率 50%～120%)

### 3.9.3 有効窓面積率の比較

図 3.9.37～図 3.9.41 に各プランの 11 都市における各建蔽率の有効窓面積率を示す。いずれのプランのどの都市でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。新潟や福岡等の風速の速い地域では、有効窓面積率は建蔽率 50%の 1 F で 60～75%程度、2 F で 40～50%程度と相対的に低く、京都や高知等の風速の遅い地域では有効窓面積率は建蔽率 50%の 1 F で 70～80%程度、2 F で 100～120%程度と高い。1 F では風速の遅い京都や高知等の都市では建蔽率の変化による有効窓面積率の変化が比較的大きい。

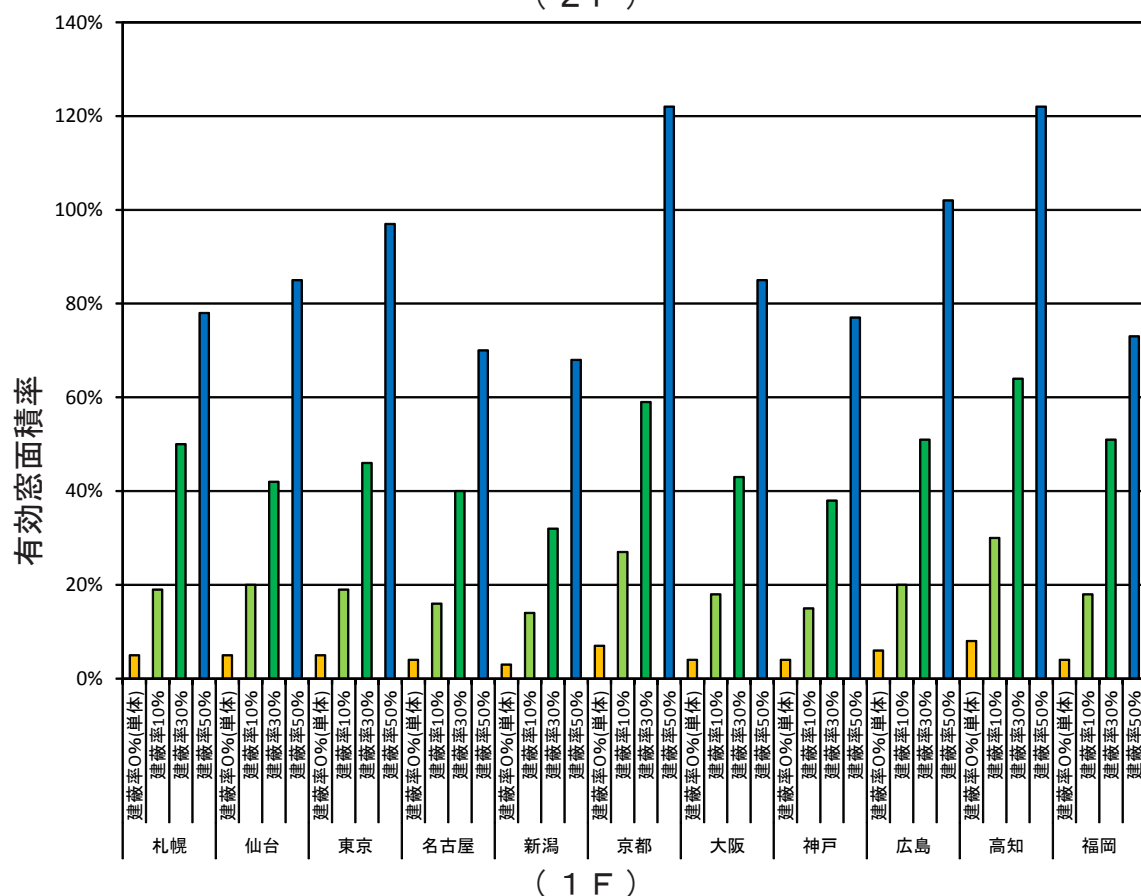
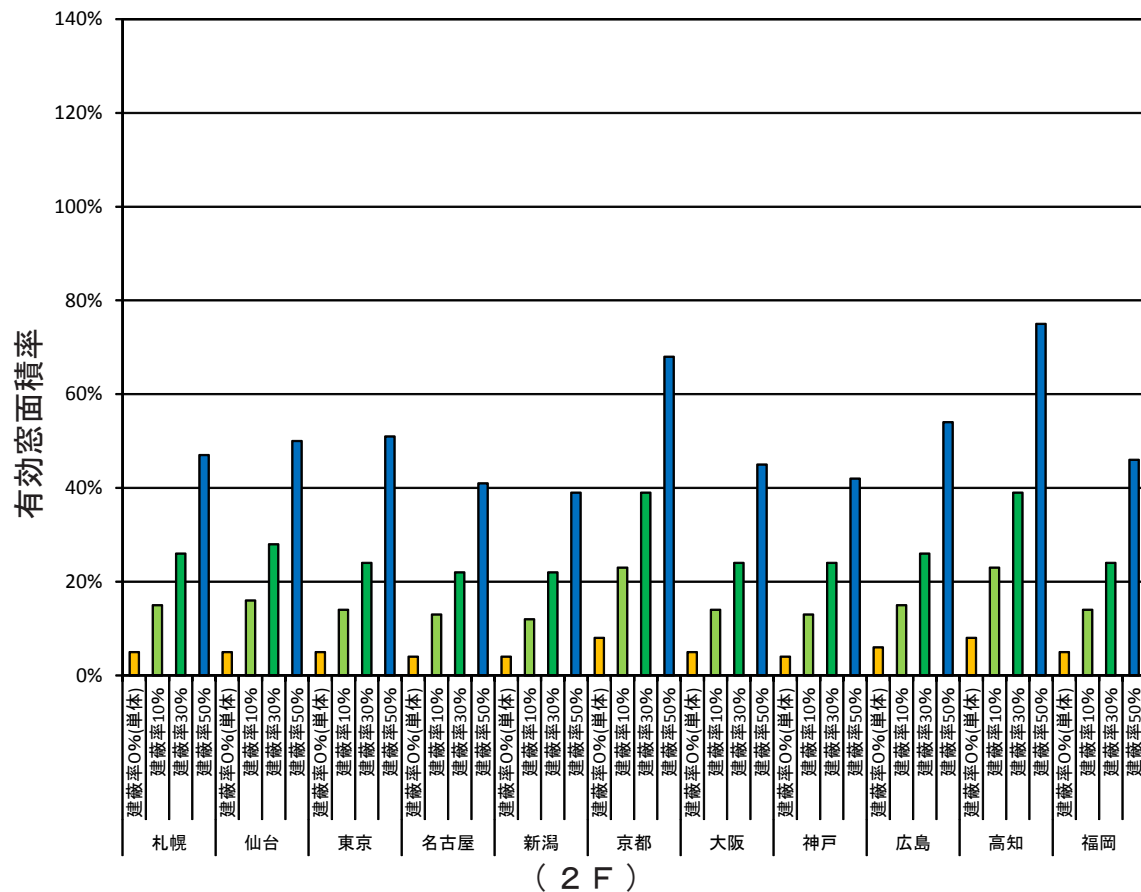


図 3.9.37 プランAの11都市における各建蔽率の有効窓面積率

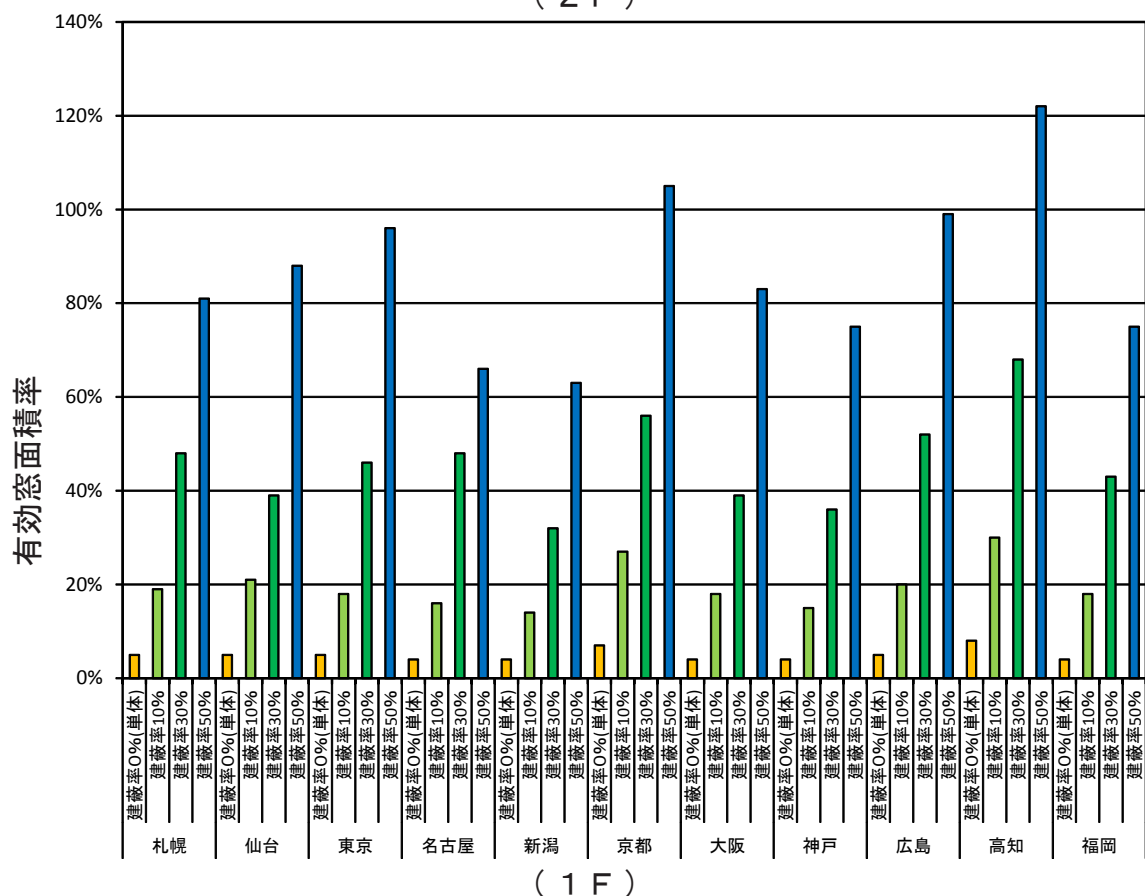
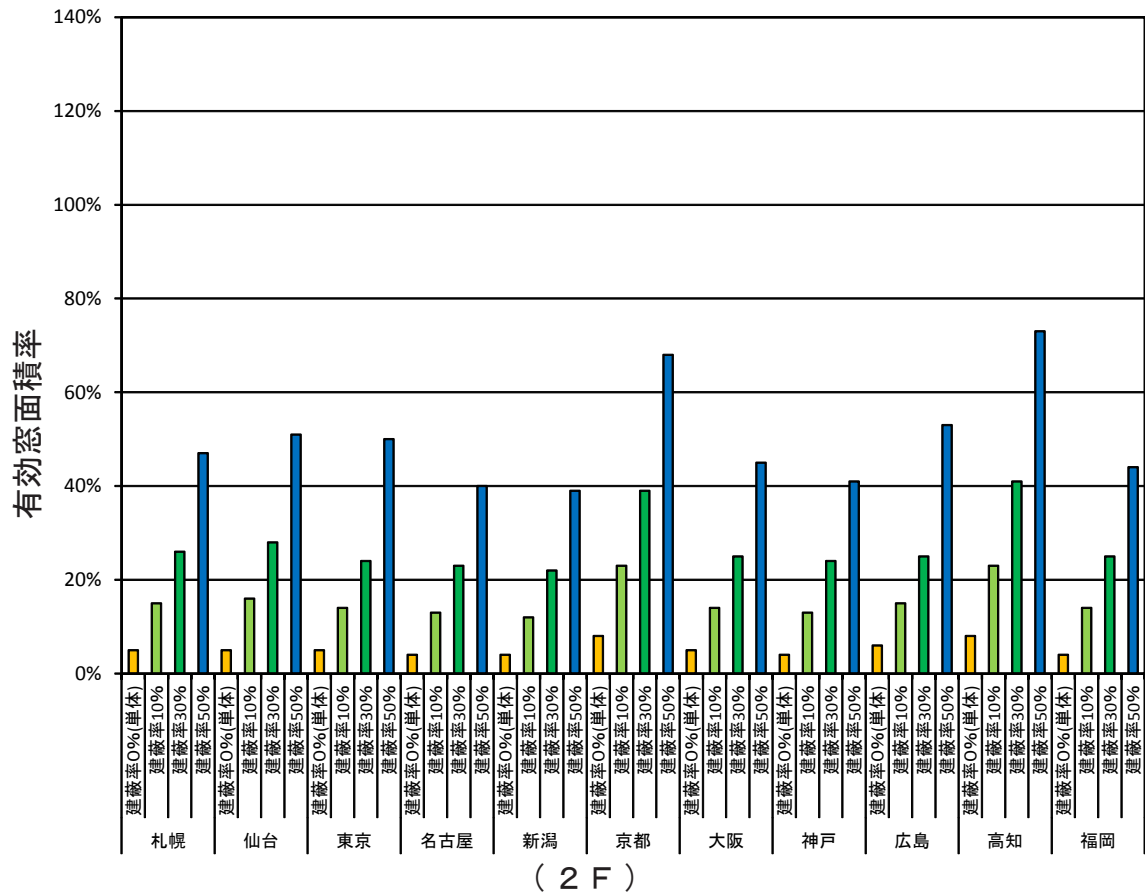


図 3.9.38 プランBの11都市における各建蔽率の有効窓面積率

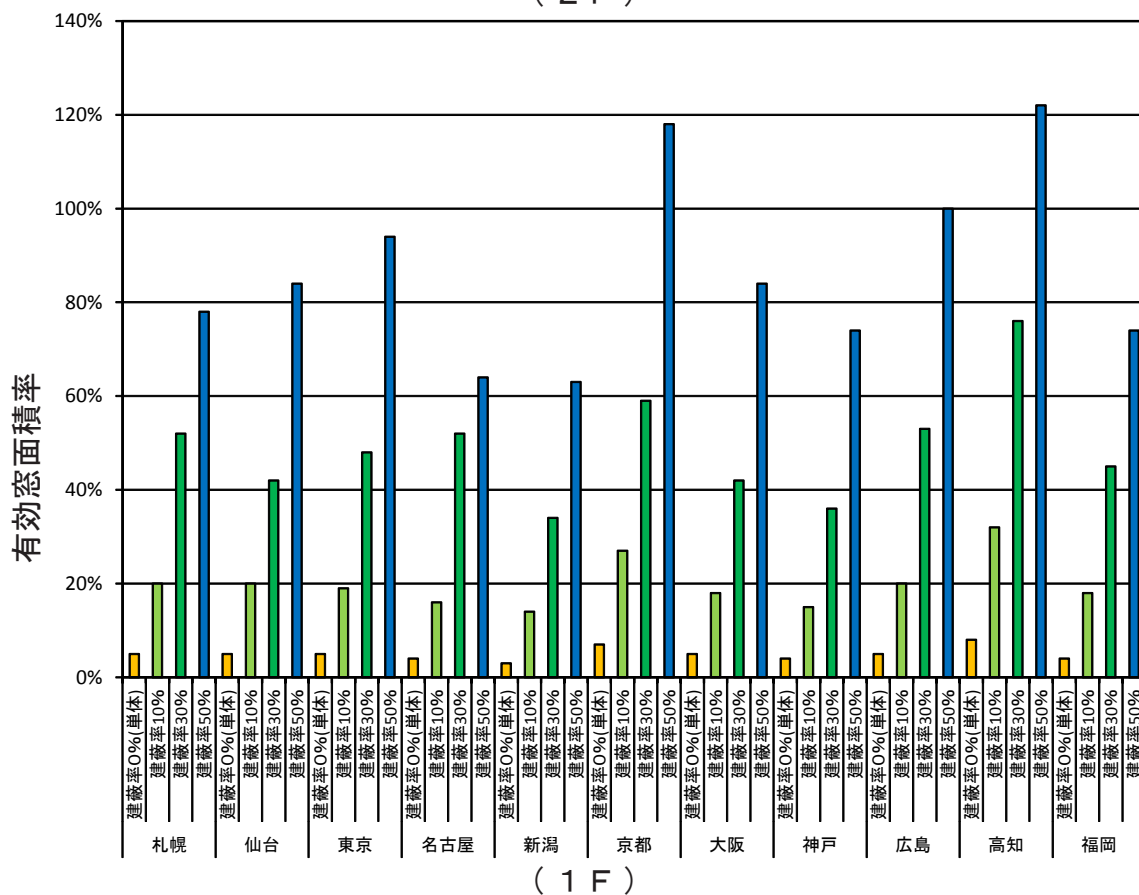
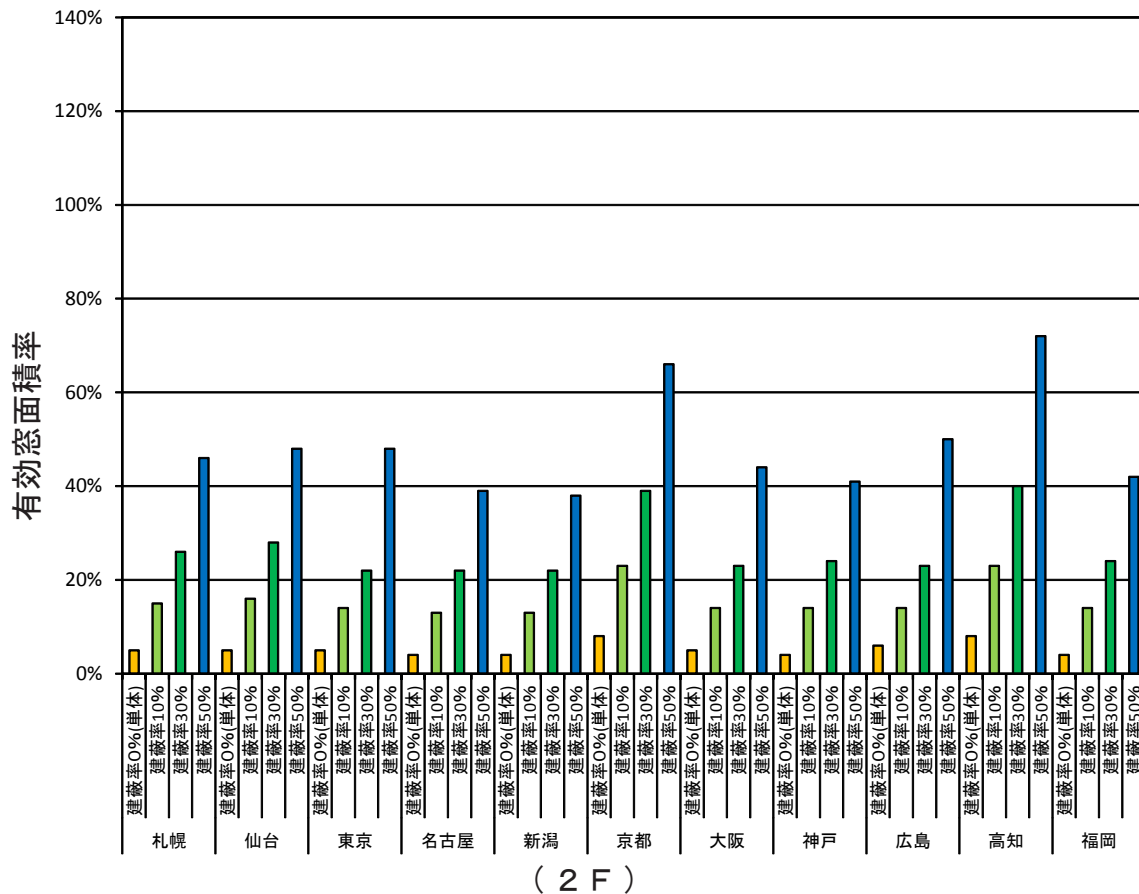


図 3.9.39 プランCの11都市における各建蔽率の有効窓面積率

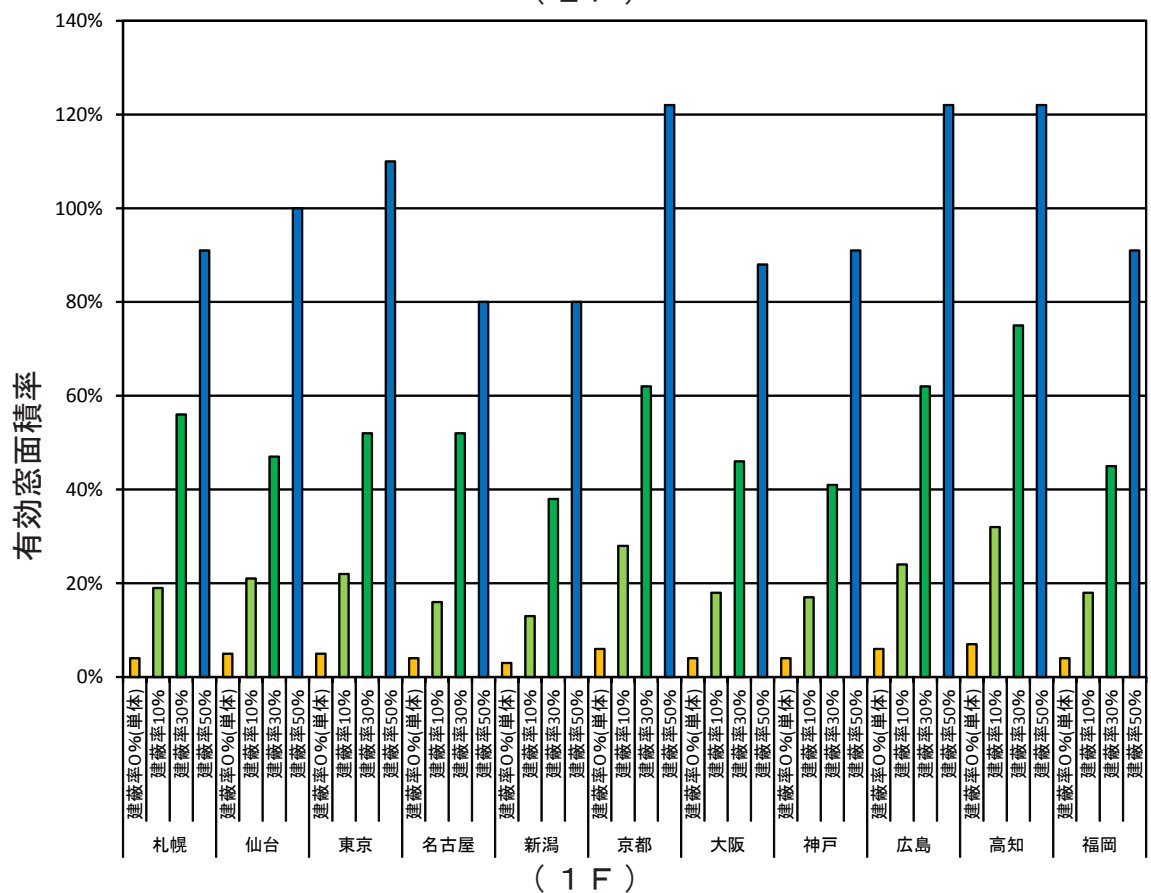
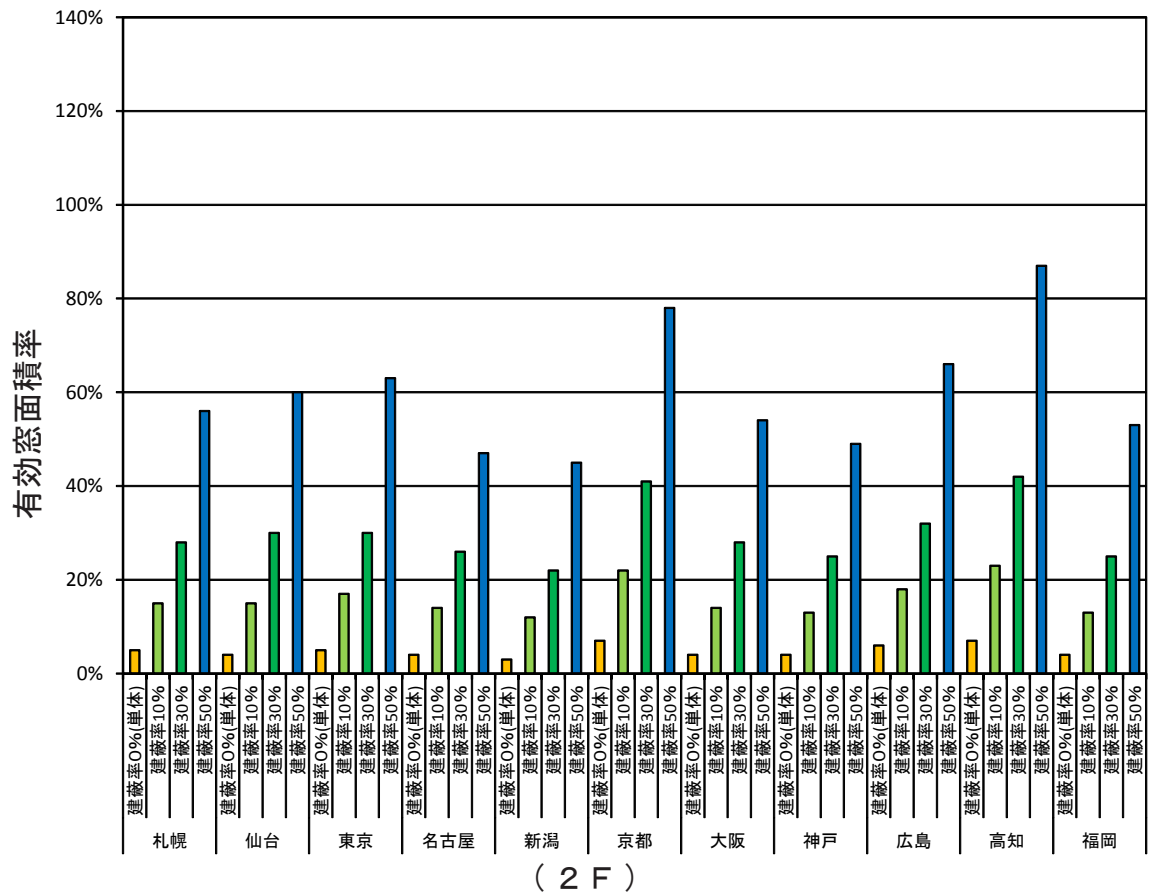


図 3.9.40 プランDの11都市における各建蔽率の有効窓面積率

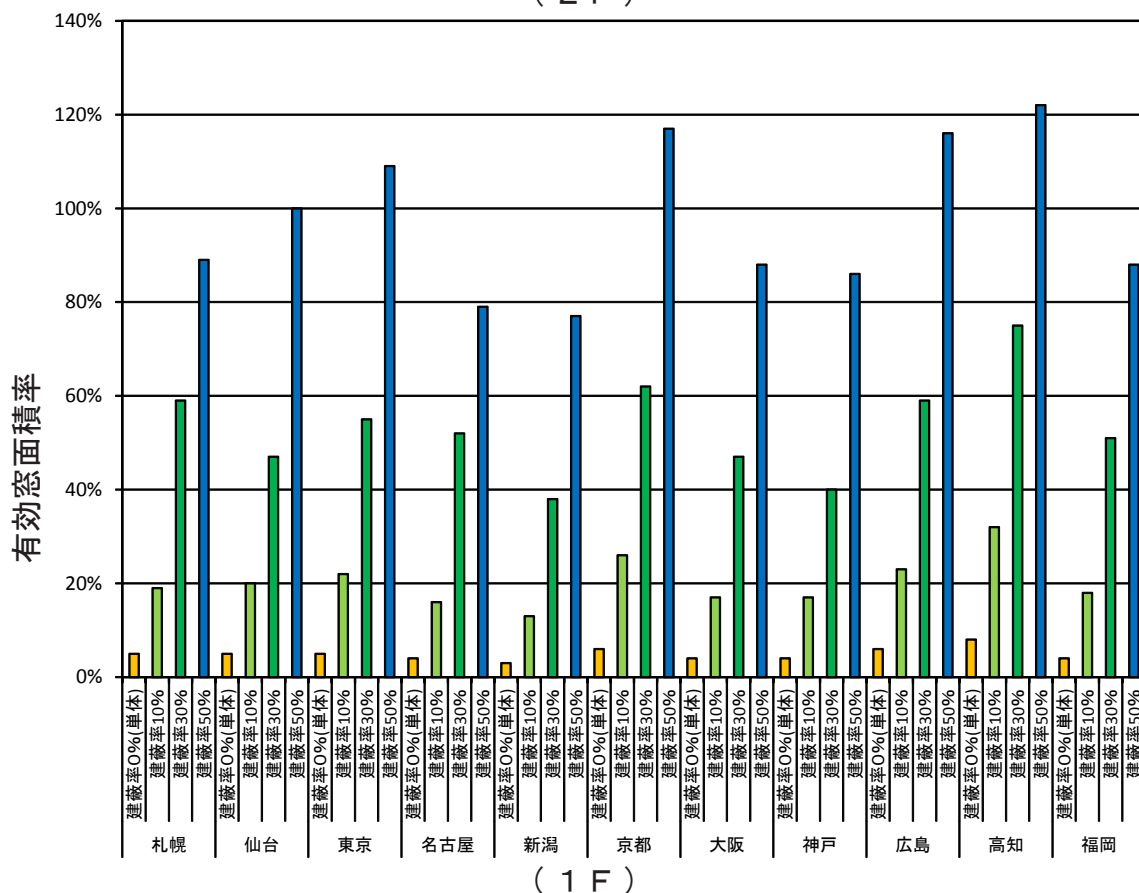
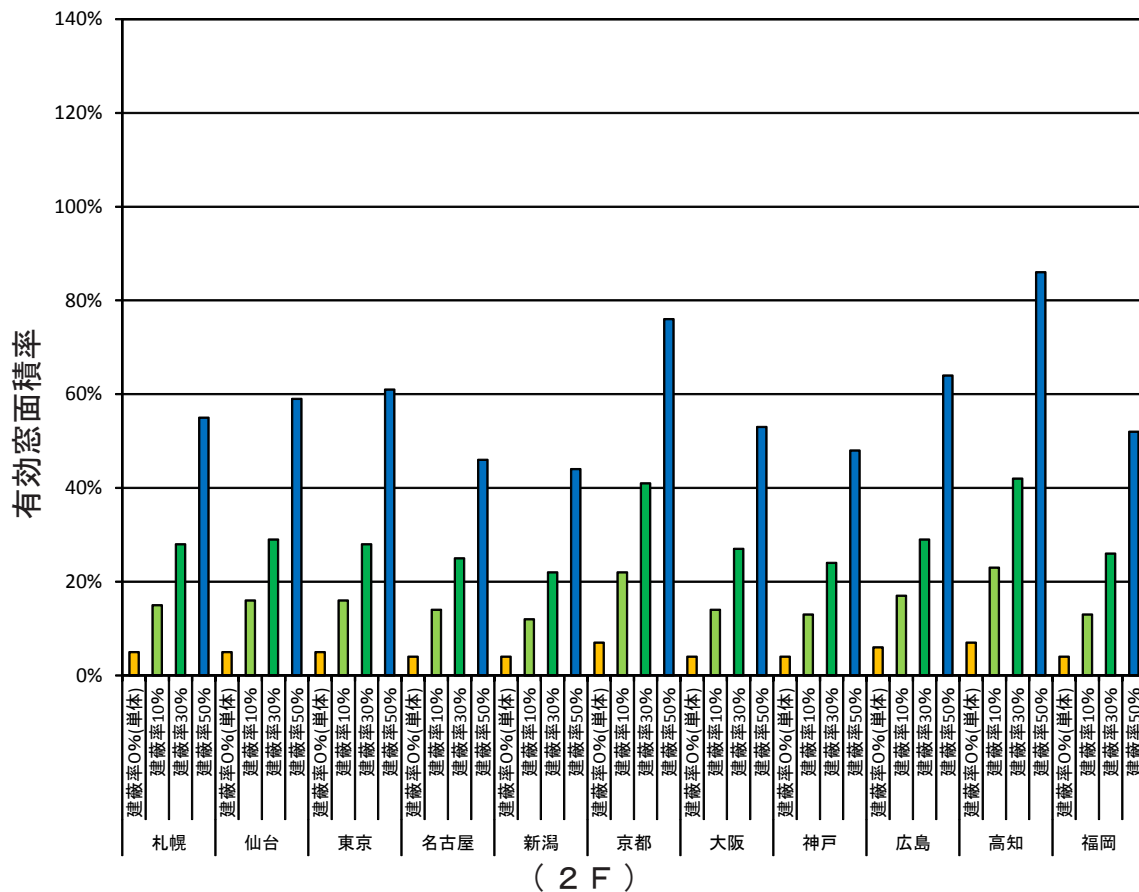


図 3.9.41 プランEの11都市における各建蔽率の有効窓面積率



### 3.9.4 単純住宅モデル及び標準住宅モデルとの比較

本節では建蔽率0（単体）、10、30、50%の単純住宅モデル、標準住宅モデル、通風性能簡易評価モデルを対象とし、外壁の開口条件、間仕切り壁の開口位置、建蔽率が有効窓面積率に及ぼす影響について言及する。

図3.9.42と図3.9.43に東京及び新潟における11都市の各建蔽率の有効窓面積率を示す。建蔽率0%（単体）の場合、有効窓面積率に差は殆どない。両都市ともに、どの建蔽率でも標準住宅モデルの有効窓面積率が最も高い。

標準住宅モデルと通風性能簡易評価モデルを比較すると、東京の1Fでは標準住宅モデルの方がどの建蔽率でも約40ポイント程度、東京の2Fでは建蔽率10%では30ポイント程度、建蔽率30%では40ポイント程度、建蔽率50%では90ポイント程度高い。又、新潟の1Fでは建蔽率10%では25ポイント程度、建蔽率30%では40ポイント程度、建蔽率50%では70ポイント程度、新潟の2Fでは建蔽率10%では15ポイント程度、建蔽率30%では30ポイント程度、建蔽率50%では50ポイント程度高い。これは、標準住宅モデルでは室内の通風経路上に行き止まりの箇所があることや間仕切り壁開口面積が通風性能簡易評価モデルと比較して小さいこと、窓の無い外壁が存在していることが原因と考えられる。

プランA～Eを比較すると、建蔽率50%では、プランD、EがプランA、B、Cと比較して5～15%程度高い。これは、中間室外壁に開口のあるプランD、Eの方が同じ窓面積率（窓面積/床面積）でも、一箇所あたりの窓の開口面積が小さく、換気回数が小さくなるためと考えられる。

又、建蔽率の変化による有効窓面積率の変化と比較すると、プランの相違による有効窓面積率の変化は小さい。本研究ではCFD解析において基準窓面積率を変化させて解析を行う際、間仕切り壁の開口面積（900mm×1800mm）は一定としている。外部風を駆動力とした自然通風量は、通風経路上で最小面積となる開口部の抵抗による影響が相対的に大きいため、最小の開口面積が同じ場合、通風性能の変化は少ないと考えられる。

図3.9.44と図3.9.45に東京及び新潟における各プランにおける各建蔽率の有効窓面積率を示す。どのプランでも建蔽率が高くなる程、有効窓面積率は高くなる。建蔽率の変化による有効窓面積率の変化量は、単純住宅モデル<通風性能簡易評価モデル<標準住宅モデルの順に大きくなる。単純住宅モデルと通風性能簡易評価モデルを比較すると、通風性能簡易評価モデルの方が有効窓面積率は、東京の建蔽率50%の1Fでは40ポイント程度高く、2Fでは20～30ポイント程度高い。新潟では、建蔽率50%の1Fでは10～20ポイント程度高く、2Fでは10ポイント程度高い。

戸建住宅における通風性能では、外壁開口条件及び間仕切り壁開口位置による平面計画の相違と比較して、室内の最小開口面積（間仕切り壁の開口面積）の方が通風性能に与える影響が大きいと考えられる。しかし、建蔽率の変化による有効窓面積率の変化と比較すると、プランの相違による有効窓面積率の変化は小さい。

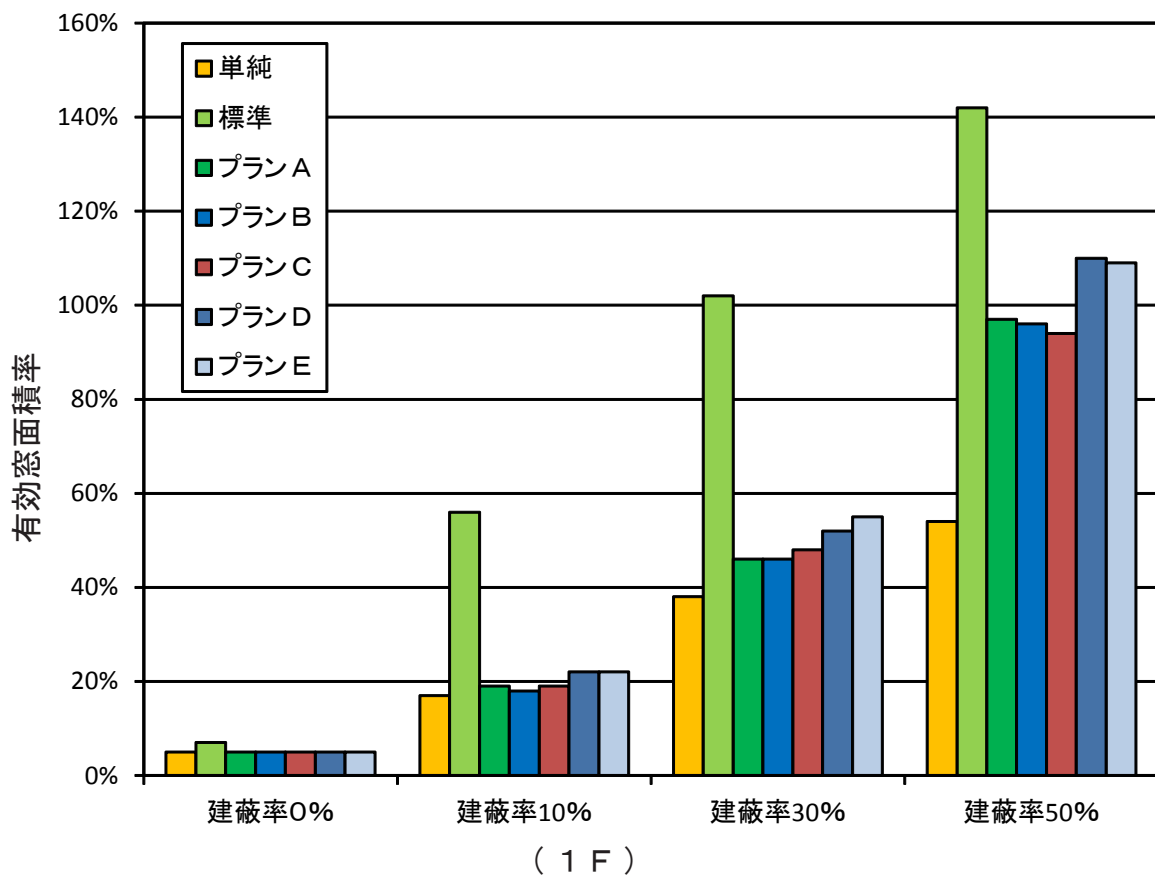
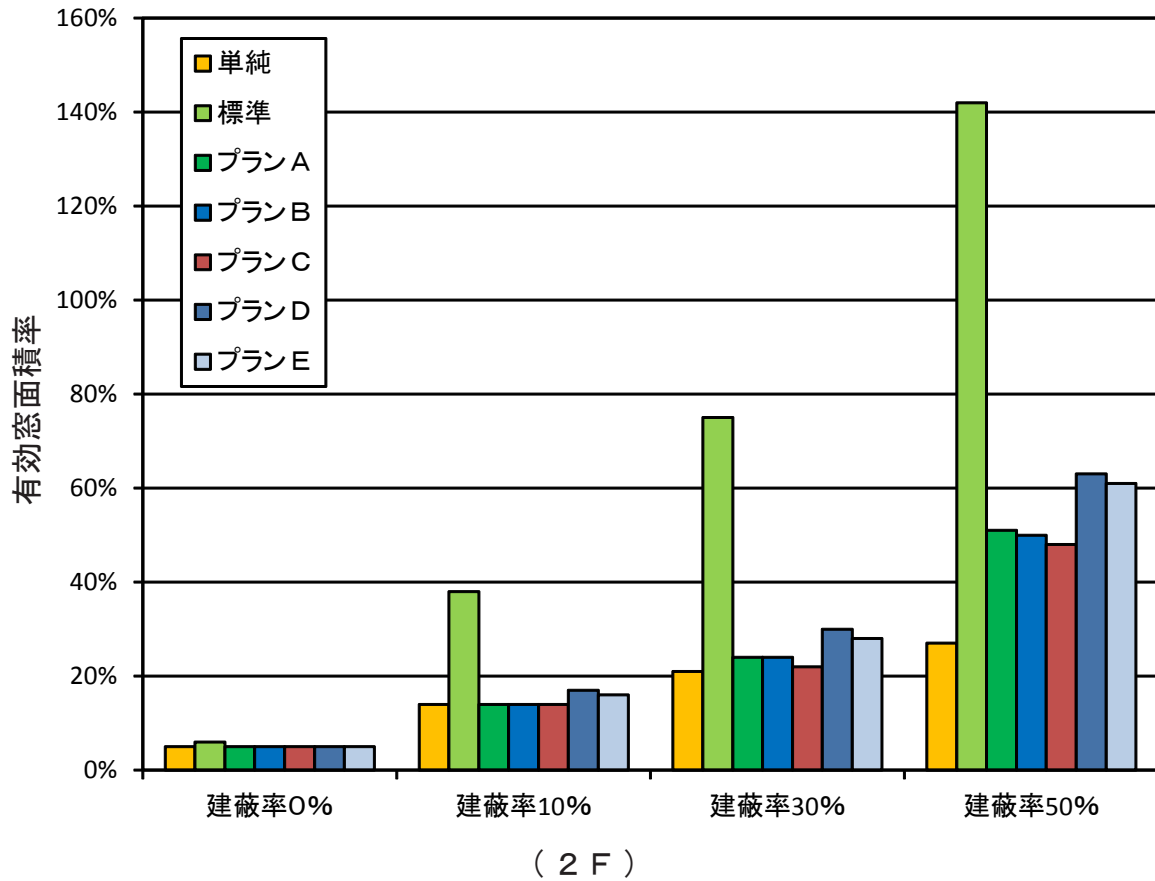


図 3.9.42 東京の各建蔽率における各プランの有効窓面積率

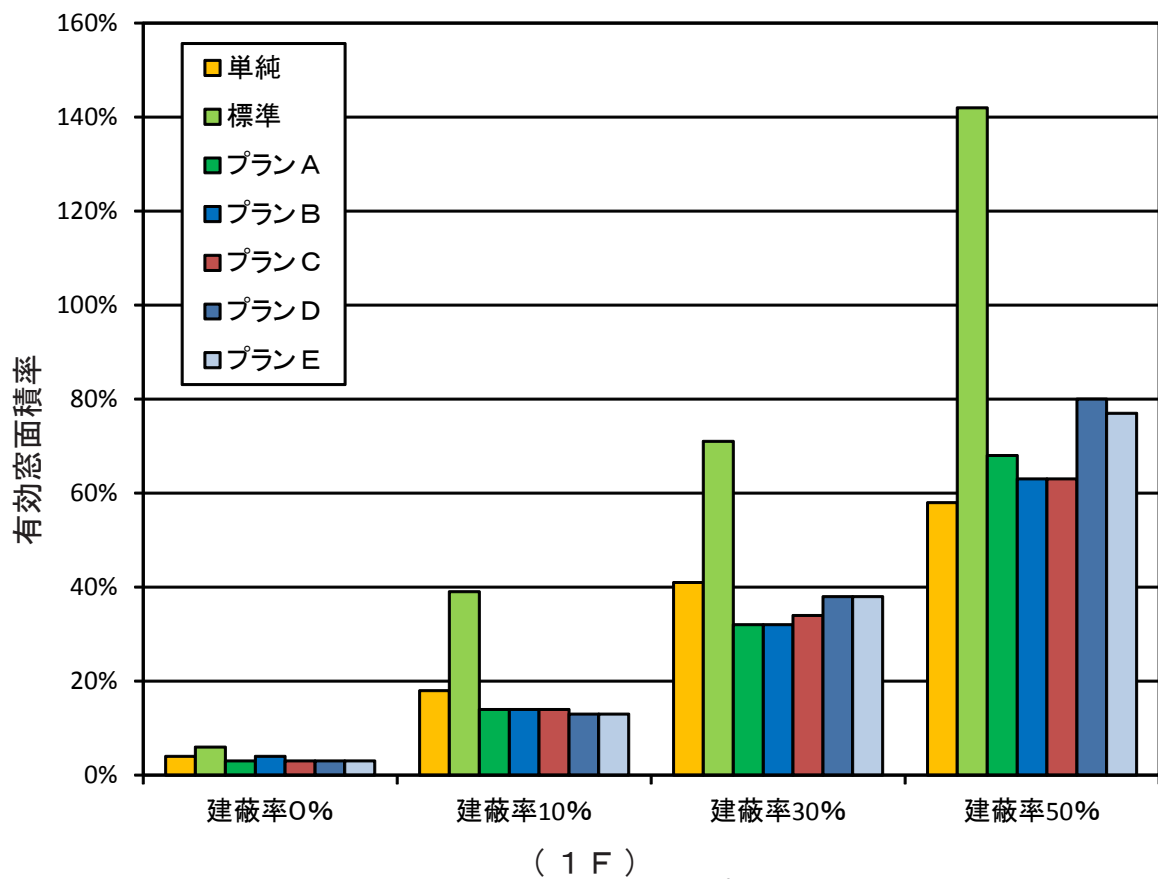
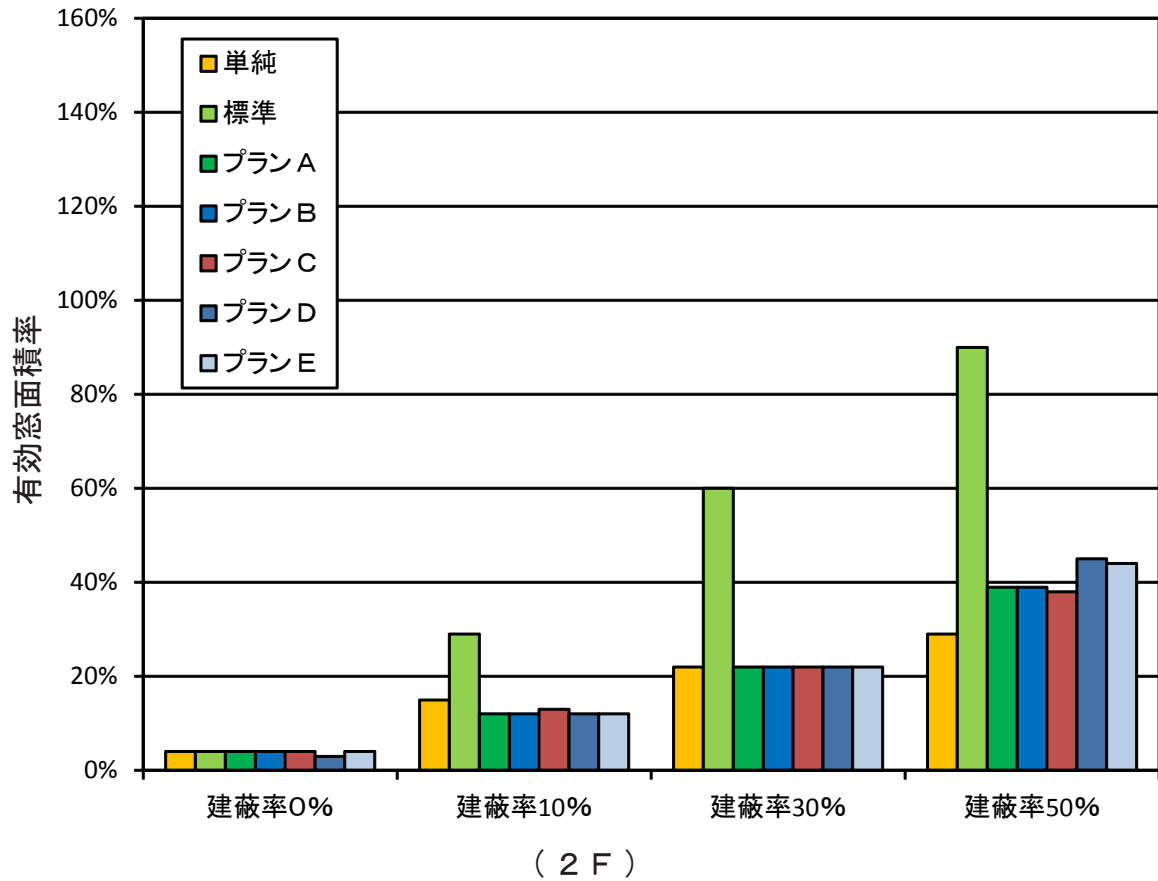


図 3.9.43 新潟の各建蔽率における各プランの有効窓面積率

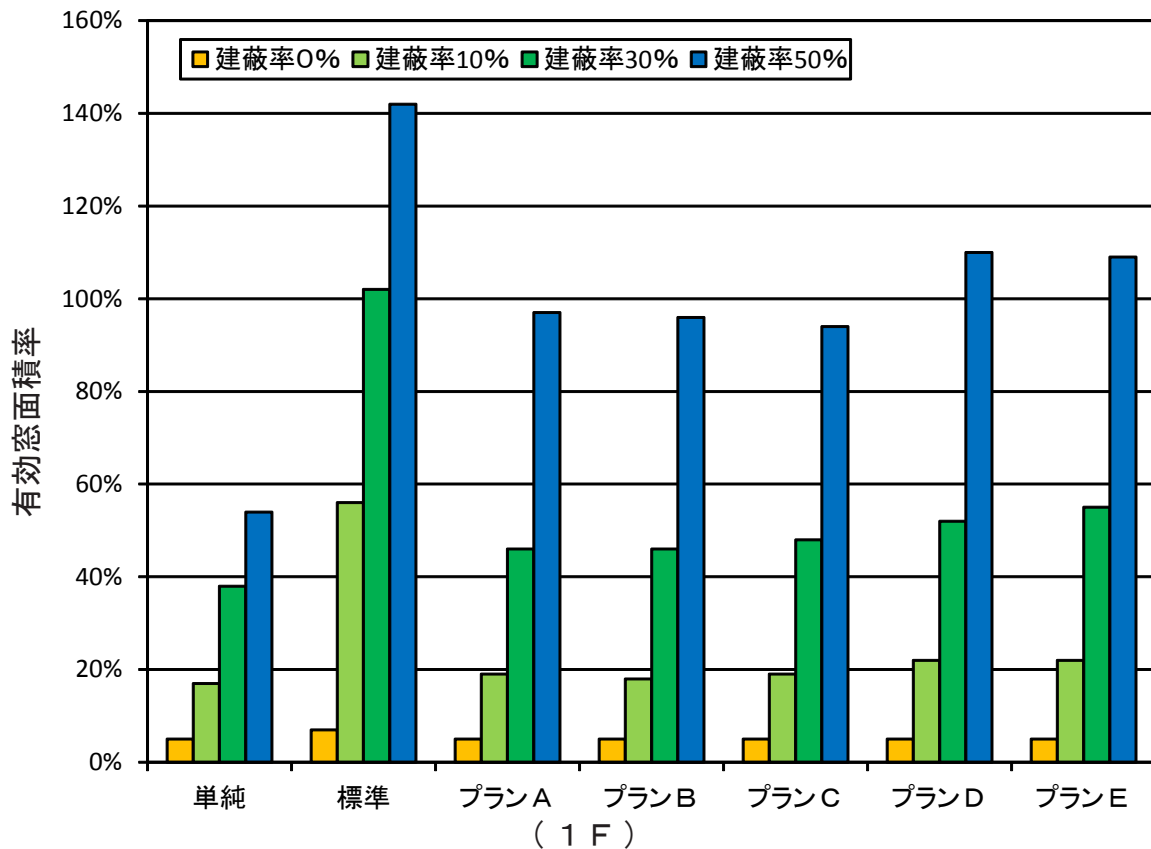
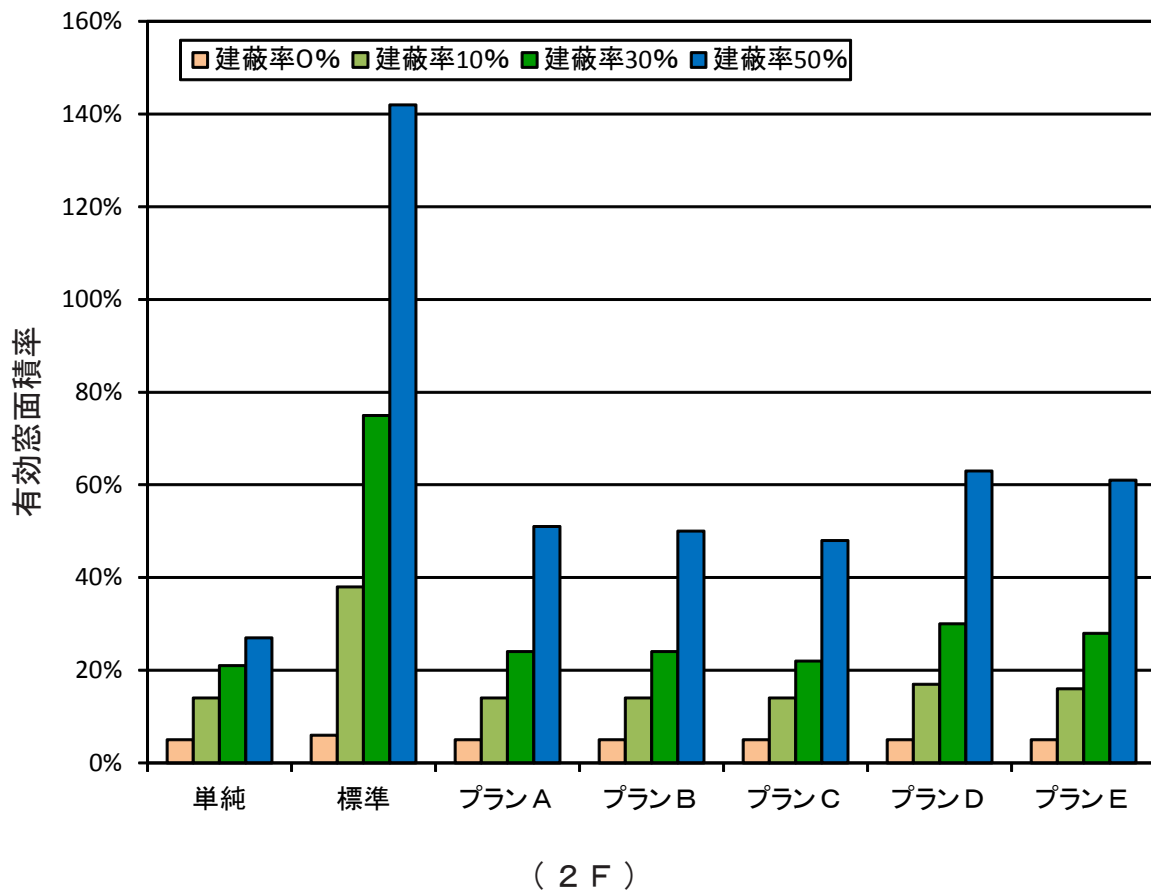


図 3.9.44 東京の各プランにおける各建蔽率の有効窓面積率

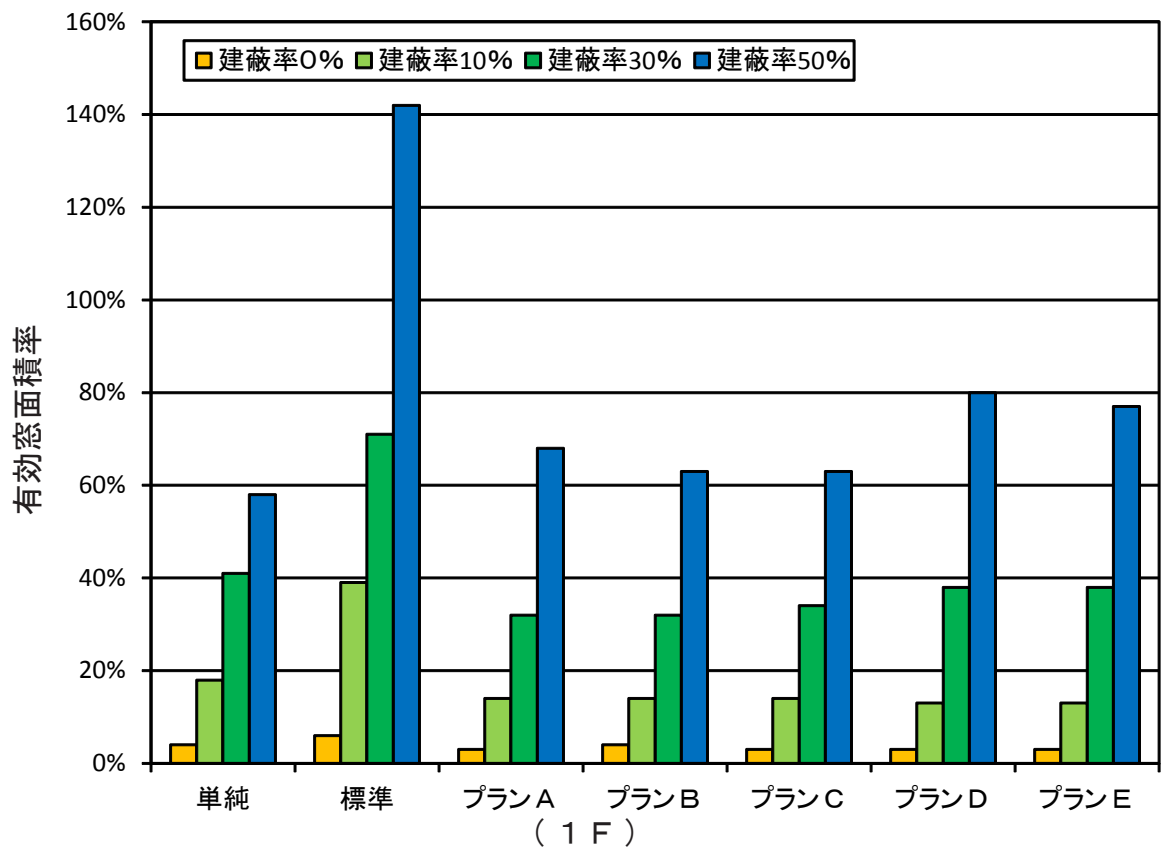
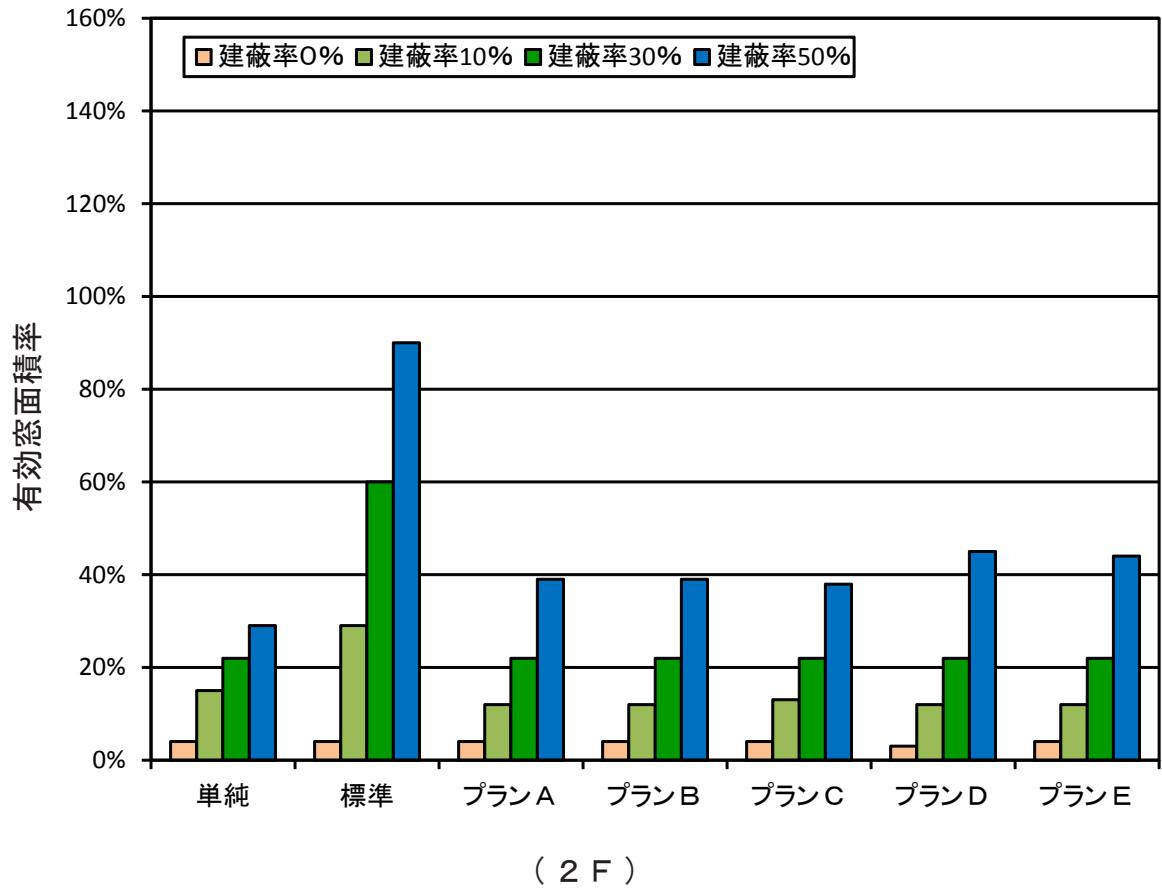


図 3. 9. 45 新潟の各プランにおける各建蔽率の有効窓面積率

## 第10章 有効窓面積率と $CVDHI_T$ の関係

図 3.10.1 に建蔽率 0 % (単体) のプラン A における 11 都市の有効窓面積率を、図 3.10.2 に 1 建蔽率 0 % (単体) のプラン A における 11 都市の  $CVDHI_T$  を示す。風速の速い新潟や福岡では有効窓面積率が低く、 $CVDHI_T$  が大きい。又、風速の遅い京都や高知では有効窓面積率が高く、 $CVDHI_T$  が小さい。このことから、有効窓面積率と  $CVDHI_T$  が対応していると考えられる。

表 3.10.1 に建蔽率 0 % (単体) のプラン A における 11 都市の有効窓面積率と  $CVDHI_T$  を、表 3.10.2 に建蔽率 0 % (単体) のプラン A における 9 都市の有効窓面積率と  $CVDHI_T$  を、図 3.10.3 に建蔽率 0 % (単体) のプラン A における 11 都市の有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の関係を、図 3.10.4 建蔽率 0 % (単体) のプラン A における 9 都市の有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の関係を示す。11 都市の場合では、寄与率が 0.5 ~ 0.6 程度であり、有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の相関は低い。上記の札幌と仙台を除いた 9 都市では寄与率が 0.8 ~ 0.9 程度と相関が高くなる。非暖房期間の時間数が同程度の地域では有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の相関が高くなると考えられる。これは  $CVDHI_T$  は非暖房期間で積算するのに対し、有効窓面積率は各地域の非暖房期間に対する有効換気回数を満たす相対頻度により算出する為、非暖房期間の時間数が関係しないことが原因と考えられる。

非暖房期間が同程度の地域では、 $CVDHI_T$  と有効窓面積率の相関が高いため、有効窓面積率は通風性能評価指標として妥当であると考えられる。

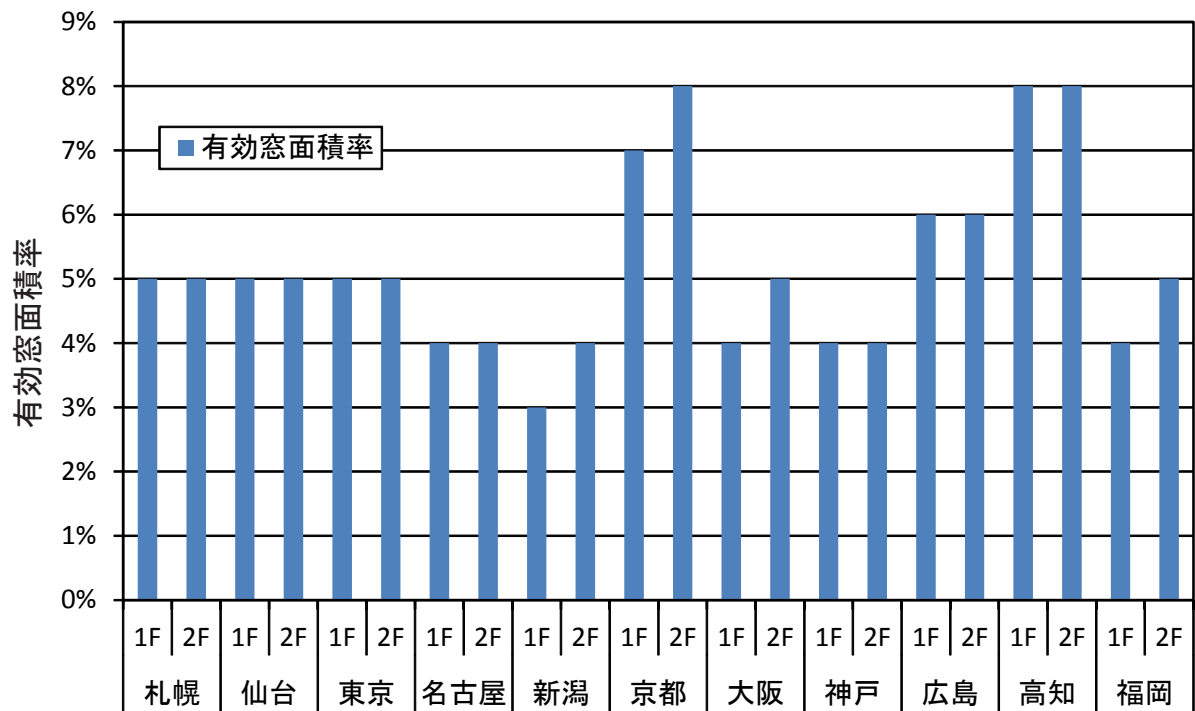


図 3.10.1 建蔽率0%（単体）のプランAにおける 11 都市の有効窓面積率

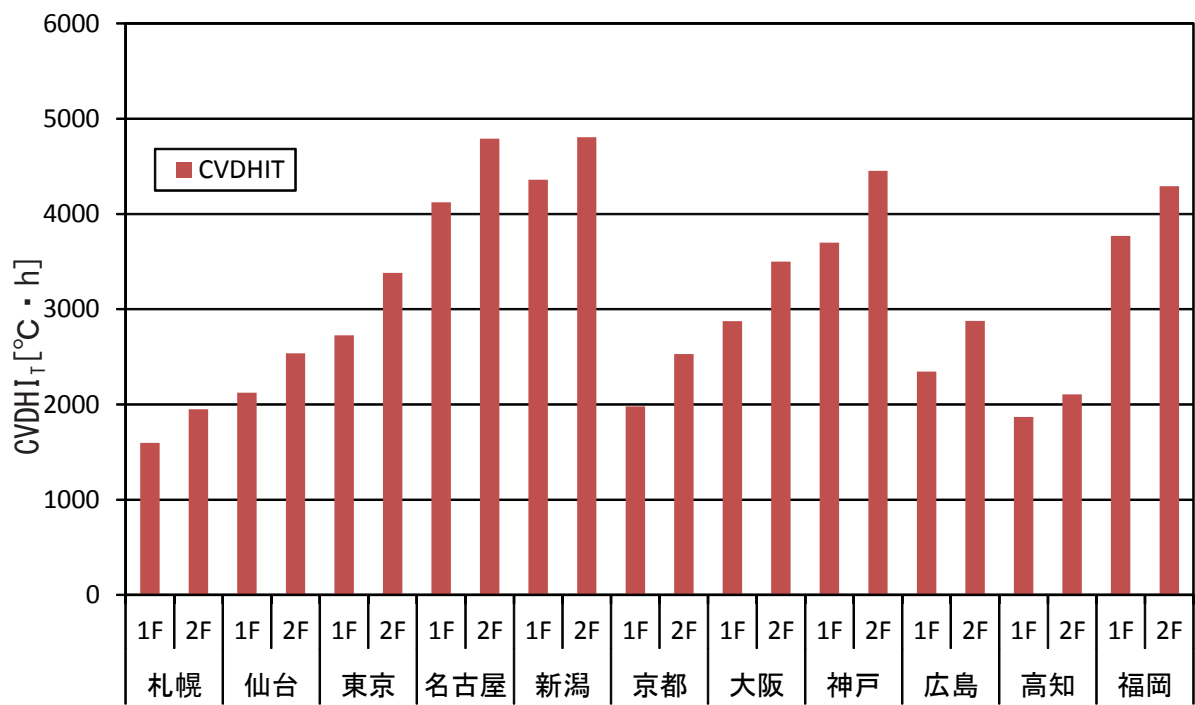


図 3.10.2 建蔽率0%（単体）のプランAにおける 11 都市の CVDHI<sub>T</sub>

表 3.10.1 建蔽率0%（単体）のプランAにおける11都市の有効窓面積率とCVDHI<sub>T</sub>

11都市(1F)	札幌	仙台	東京	名古屋	新潟	京都	大阪	神戸	広島	高知	福岡
CVDHI <sub>T</sub>	1595	2124	2725	4123	4359	1980	2874	3699	2344	1869	3769
有効窓面積率	5%	5%	5%	4%	3%	7%	4%	4%	6%	8%	4%
11都市(2F)	札幌	仙台	東京	名古屋	新潟	京都	大阪	神戸	広島	高知	福岡
CVDHI <sub>T</sub>	1949	2536	3381	4791	4806	2528	3501	4454	2878	2104	4293
有効窓面積率	5%	5%	5%	4%	4%	8%	5%	4%	6%	8%	5%

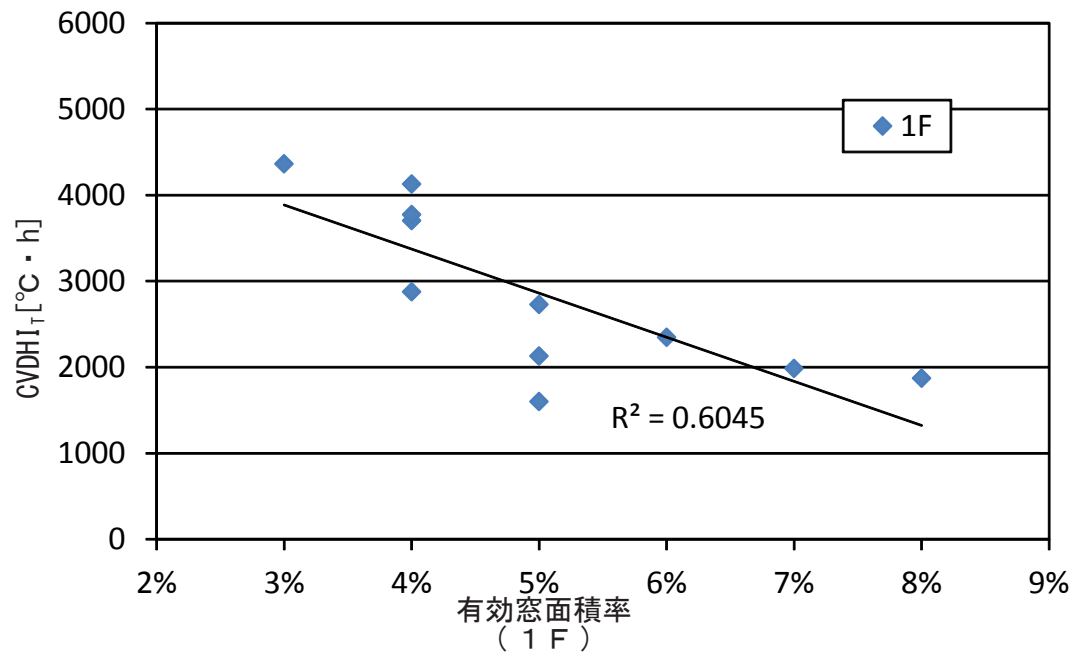
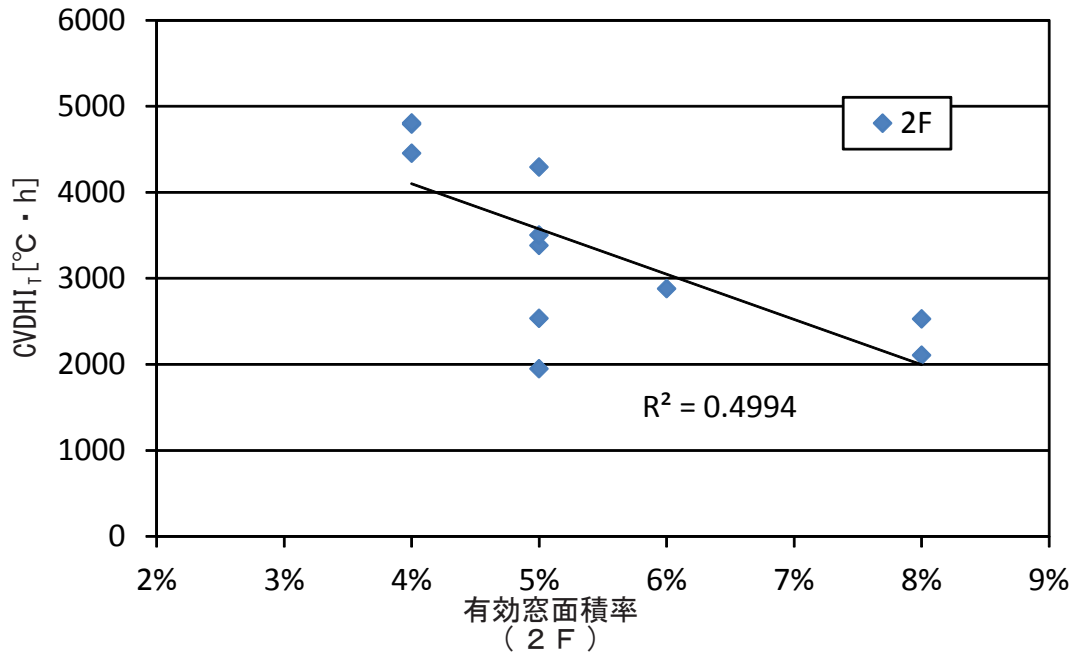


図 3.10.3 建蔽率0%（単体）のプランAにおける11都市の有効窓面積率とCVDHI<sub>T</sub>の関係



表 3. 10. 2 建蔽率0%（単体）のプランAにおける9都市の有効窓面積率と  $CVDHI_T$

9都市(1F)	東京	名古屋	新潟	京都	大阪	神戸	広島	高知	福岡
$CVDHI_T$	2725.2	4123.4	4358.7	1980.4	2873.8	3698.7	2344.1	1868.5	3768.6
有効窓面積率	5%	4%	3%	7%	4%	4%	6%	8%	4%
9都市(2F)	東京	名古屋	新潟	京都	大阪	神戸	広島	高知	福岡
$CVDHI_T$	3381.1	4791.1	4806.2	2528.3	3500.7	4454.3	2878.1	2104.5	4292.8
有効窓面積率	5%	4%	4%	8%	5%	4%	6%	8%	5%

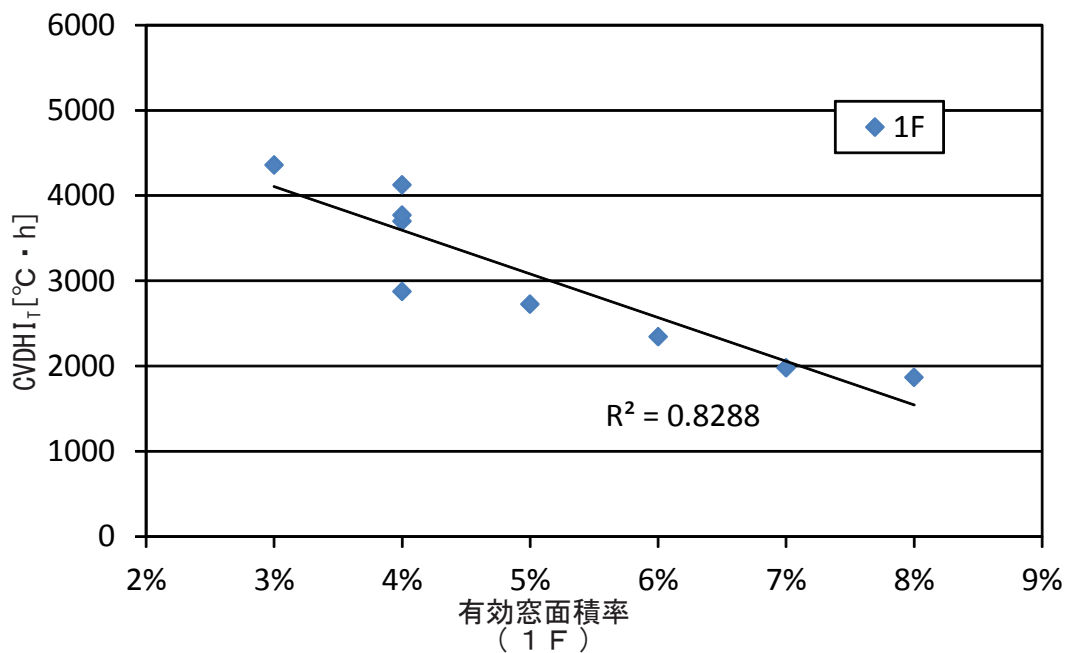
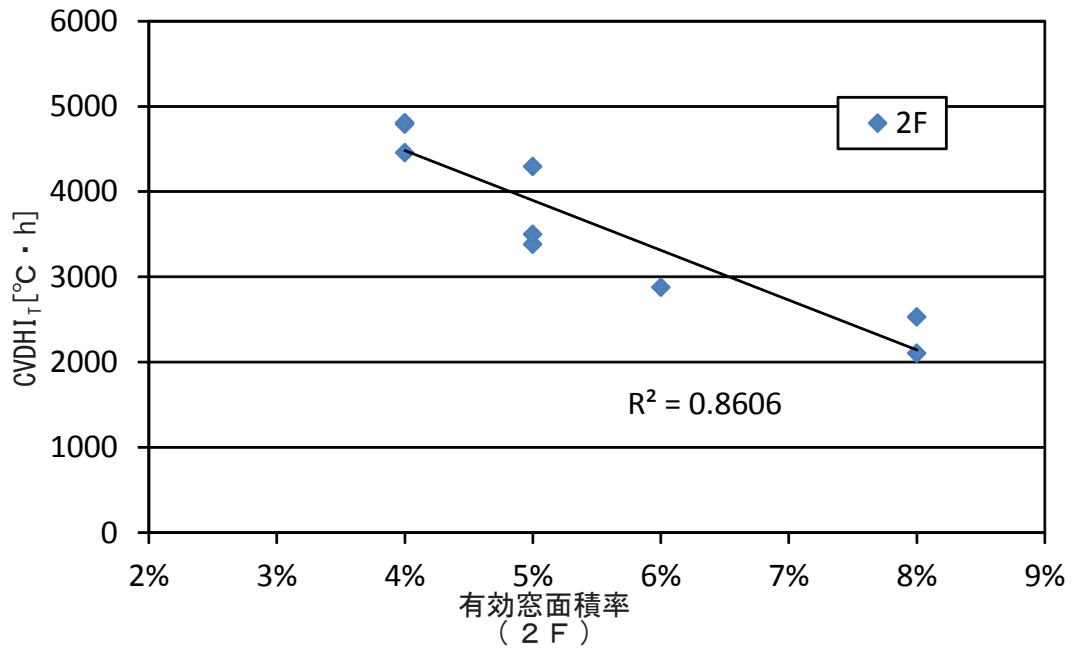


図 3. 10. 4 建蔽率0%（単体）のプランAにおける9都市の有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の関係

## 第11章 まとめ

### 第1章

- ①対象とする平面計画を各階において通風性能に影響を及ぼす間仕切り壁の数、中間室外壁の開口の有無、室間の開口の繋がり方で類型化する。
- ②プランAからプランEの5つと間仕切り壁の存在しないパターン（単純住宅モデル）の計6パターンに分類する。

### 第2章

- ①全体的にプランEが多い傾向があるが、1階ではプランAも多い。これは1階にはLDKが配置される場合が比較的多く、室間に廊下などの中間室が無い場合が多いためと考えられる。

### 第3章

- ①平面計画の類型化により通風性能簡易評価モデルを作成する。
- ②外壁の開口は一般的な窓の開放面積の900mm × 900mmとして各室に4箇所ずつ、プランD、Eでは中間室に2箇所ずつ設ける。
- ③間仕切り壁の開口は900mm × 1800mmとし、プランA、B、Dは間仕切り壁中央部に、プランC、Eは外壁から1200mm内側に設ける。
- ④2階平面図における中央部の開口は、階段を設置する場合を想定して設け、開口は900mm × 900mmとする。1、2階共に階高は2700mm、天井高は2400mmとする。

### 第5章

- ①気象データは日本建築学会拡張アメダス（標準年）とする。
- ②室温の解析では主要11都市（札幌、仙台、東京、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、広島、高知、福岡）において解析を行う。
- ③換気回数による通風性能評価に基づき、自然通風による排熱効果によって各階の平均室内外温度差が1℃未満となるGrade①（換気回数20回/h）、1℃程度となるGrade②（換気回数10回/h）を評価対象とする。

### 第6章

- ①各室の平均室内外温度差は各都市の風向、風速により変化する。
- ②換気回数が十分得られている場合、平面計画によって室温の低下効果はあまり変化しないと考えられる。
- ③東京（卓越風向：南）や福岡（卓越風向：北）等の卓越風が顕著な地域では、風下側の室で比較的室温低下が少なくなる
- ④各階で偏差は0.2～0.6℃程度であり、通風性能評価は各階で行うことが可能であると考えられる。

## 第7章

- ①どの風向でも換気回数と窓面積率は線形比例し、寄与率は0.99以上となる。
- ②プランの相違によって、換気回数と窓面積率の関係に大きな差はない。
- ③有効窓面積率は地域によって異なる。内陸部、山間部では有効窓面積率が比較的高く、海沿いの都市では低い傾向がある。これは、内陸部では風速が遅く、海沿いの都市では速いためと考えられる。
- ④有効窓面積率は1Fと2Fで殆ど変化しない。
- ⑤プランA～Eを比較すると、どのプランにおいても上記の特徴が見られ、プランの相違によって有効窓面積率に変化は殆どない。
- ⑥今回対象とした単体モデル（建蔽率0%）では各モデルにおいて有効窓面積率に殆ど変化は見られない。このことから、単体モデルではどのモデルにおいても間仕切り壁や開口条件の違いによって通風性能は殆ど変化しないと考えられる。
- ⑦単体モデル（建蔽率0%）では有効窓面積率は各プランと単純住宅モデルとの相違はあまりない。

## 第9章

- ①換気回数は窓面積率に比例して増加する。換気回数と窓面積率の関係は、プランの相違による変化はあまりない。
- ②いずれのプランでも各風向の回帰式の寄与率は0.92以上となる。
- ③有効窓面積率は地域によって異なり、内陸部、山間部では有効窓面積率が比較的高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは、内陸部では風速が遅く、海沿いの地域では速いためと考えられる。
- ④1Fと2Fを比較すると、どの建蔽率でも有効窓面積率は2Fの方が低くなる。これは、相対的に地表面から高い位置にある2Fの方が、上空風の影響を比較的多く受け、風速が速いためと考えられる。
- ⑤プランA～Eを比較すると、建蔽率50%では、プランD、EがプランA、B、Cと比較して5～15%程度高い。
- ⑥建蔽率の変化による有効窓面積率の変化と比較するとプランの相違による有効窓面積率の変化は小さい。
- ⑦室内の最小開口面積（本モデルでは間仕切り壁開口面積）が同じの場合では、外壁の開口条件及び間仕切り壁の開口位置による通風量の変化が少ないと考えられる。
- ⑧本研究の分類方法により、対象建物の平面計画を各プランに分類し、建物の周辺状況に応じて各建蔽率における各地域の有効窓面積率を開口面積の基準として参照することで、比較的簡易・定量的に通風性能評価することが可能であると考えられる。

## 第10章

- ①風速の速い新潟や福岡では有効窓面積率が低く、 $CVDHI_T$  が大きい。又、風速の遅い京都や高知では有効窓面積率が高く、 $CVDHI_T$  が小さい。このことから、有効窓面積率と  $CVDHI_T$  が対応していると考えられる。
- ②11都市の場合では、寄与率が0.5～0.6程度であり、有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の相関は低い。上記の札幌と仙台を除いた9都市では寄与率が0.8～0.9程度と相関が高くなる。
- ③非暖房期間の時間数が同程度の地域では有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の相関が高くなると考えられる。これは  $CVDHI_T$  は非暖房期間で積算するのに対し、有効窓面積率は各地域の非暖房期間に対する有効換気回数を満たす相対頻度により算出する為、非暖房期間の時間数が関係しないことが原因と考えられる。
- ④非暖房期間が同程度の地域では、 $CVDHI_T$  と有効窓面積率の相関が高いため、有効窓面積率は通風性能評価指標として妥当であると考えられる。





## 第4篇 結論と今後の展望





## 第1章 結論

本研究では、住宅の通風性能を簡易的に評価する手法を構築することを目的として、まず、単純住宅モデルと日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象に換気回数と室温の関係を解析し、十分な室温低下効果を得るために必要な換気回数（有効換気回数）を定義した。換気回数と窓面積率（床面積に対する開口部の面積）の関係を解析することで、有効換気回数を満たす最小の窓面積率（有効窓面積率）を算出し、住宅で十分な通風性能を得るために必要な窓面積を明らかにした。

更に、実在の戸建住宅の平面計画を通風経路に着目して類型化を行い、外壁の開口条件と内壁の間仕切り壁による室同士の繋がり方を考察することで、通風性能をより簡易に評価する通風性能簡易評価モデルを作成した。通風性能簡易評価モデルを対象として解析を行い、窓面積率を変化させて実換気回数を算出した。有効窓面積率を検討し、開口条件と通風性能の関係を明らかにした。又、外部風向が変化する場合における通風量の変化による各室の室温の相違を比較・検討し、室温と通風量の関係を明らかにした。解析対象の建蔽率を変化させて解析を行い、全国 842 地域を対象に有効窓面積率を算出し、地域（地域指標）、建蔽率（立地指標）、平面計画（建物性能指標）の関係に基づいて比較することで、戸建住宅における通風性能の簡易・定量的な評価手法を検討した。以下に検討の結論を示す。

第1編では、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、有効換気回数の検討を行った。実換気回数と有効換気回数の関係を解析し、有効窓面積率の定義した。更に、建蔽率を変化させて解析を行い、全国 842 地域について各建蔽率毎の有効窓面積率を算出した。

### 第1編 - 第2章

- 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今回対象とした建蔽率 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、ある程度の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。

### 第1編 - 第3章

- ①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。
- ②どの都市でも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。新潟や福岡などの風速の速い都市では有効窓面積率は5%（建蔽率0%）～30%（建蔽率50%）程度と低い。
- ③各建蔽率で有効窓面積率は内陸部で10（建蔽率0%）～60%（建蔽率50%）と高く、海沿いの都市で5（建蔽率0%）～30%（建蔽率50%）程度と低い傾向がある。これは内陸部が風速が遅く海沿いの都市では速いためであると考えられる。

第2編では日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象として、室内発熱を考慮した熱負荷計算により、換気回数と室温の関係を解析し、有効換気回数の検討を行った。更に、実換気回数と有効換気回数の関係を解析し、主要11都市の換気回数頻度の検討を行い、有効窓面積率の定義した。更に、建蔽率を変化させて解析を行い、全国842地域について各建蔽率毎の有効窓面積率を算出した。

### 第2編 - 第1章

- ①換気回数が多くなる程、室温は外気温に近づき、新潟の7月23日（日平均外気温が最高の日）、非暖房期間ともに換気回数20回/hでは室温と外気温の差は1℃以下となり、十分に室温が低下している。
- ②十分に室温が低下する換気回数は20回/hである。
- ③新潟では実換気回数100回/h以上の累積頻度が20%程度になっており、換気回数20回/h（有効換気回数）の頻度を上回っている。
- ④どの都市でも有効換気回数以上の頻度割合が80%程度を満たしており、十分な室温低下効果が得られていると考えられる。
- ⑤ある程度の開口面積以上では室温低下効果は同様であると考えられる。次の章では有効換気回数20回/hを基準として十分な室温低下効果が得られる最小の開口面積の検討を行う。

## 第2編 - 第3章

- ①無風の頻度を考慮し、有効換気回数 20 回 / h 以上の頻度が非暖房期間に占める割合が 70%以上のときの窓面積率を有効窓面積率と定義した。
- ②どの建蔽率でも有効窓面積率は内陸部で高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためである。また、建蔽率 30、50%では有効窓面積率が最大窓面積率を超える地域が多い。
- ③地域差よりも建蔽率が有効窓面積率に大きく影響していると考えられる。
- ④どの地域でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。建蔽率 50%では最大窓面積率を超える都市が多い。

## 第2編 - 第4章

- ①第3章で最大窓面積率を超える都市が多かったため、有効換気回数 10 回 / h 以上の頻度が非暖房期間に占める割合が 70%以上のときの窓面積率を有効窓面積率と定義し直した。
- ③どの建蔽率でも有効窓面積率は内陸部で高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためである。また、有効換気回数 20 回 / h と比較すると、建蔽率 30、50%でも最大窓面積率を超えない地域が多い。
- ④どの地域でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。広島のみ最大窓面積率を超えている。

第3編では実在の戸建住宅の平面計画を対象として通風経路に着目してモデル化を行う。対象とする戸建住宅の平面計画は大手ハウスメーカー7社の8戸、ハウジング新潟の50戸の計58戸（2階建て56戸、1階建て2戸）とする。

## 第3編 - 第1章

- ①対象とする平面計画を各階において通風性能に影響を及ぼす間仕切り壁の数、中間室外壁の開口の有無、室間の開口の繋がり方で類型化する。
- ②プランAからプランEの5つと間仕切り壁の存在しないパターン（単純住宅モデル）の計6パターンに分類する。

### 第3編 - 第2章

- ①全体的にプランEが多い傾向があるが、1階ではプランAも多い。これは1階にはLDKが配置される場合が比較的多く、室間に廊下などの中間室が無い場合が多いためと考えられる。

### 第3編 - 第3章

- ①平面計画の類型化により通風性能簡易評価モデルを作成する。
- ②外壁の開口は一般的な窓の開放面積の900mm × 900mmとして各室に4箇所ずつ、プランD、Eでは中間室に2箇所ずつ設ける。
- ③間仕切り壁の開口は900mm × 1800mmとし、プランA、B、Dは間仕切り壁中央部に、プランC、Eは外壁から1200mm内側に設ける。
- ④2階平面図における中央部の開口は、階段を設置する場合を想定して設け、開口は900mm × 900mmとする。1、2階共に階高は2700mm、天井高は2400mmとする。

### 第3編 - 第5章

- ①気象データは日本建築学会拡張アメダス（標準年）とする。
- ②室温の解析では主要11都市（札幌、仙台、東京、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、広島、高知、福岡）において解析を行う。
- ③換気回数による通風性能評価に基づき、自然通風による排熱効果によって各階の平均室内外温度差が1℃未満となるGrade①（換気回数20回/h）を評価対象とする。

### 第3編 - 第6章

- ①各室の平均室内外温度差は各都市の風向、風速により変化する。
- ②東京（卓越風向：南）や福岡（卓越風向：北）等の卓越風向が顕著な地域では、風下側の室で比較的室温低下が少なくなる。
- ③換気回数が十分得られている場合、平面計画によって自然通風による各階の室温低下効果は殆ど変化しないと考えられる。
- ④各階で平均室内外温度差の偏差は各室で0.2～0.6℃程度であり、通風量が十分得られている場合、通風性能評価は各階で行うことが可能であると考えられる。

第3篇 - 第7章

- ①どの風向でも換気回数と窓面積率は線形比例し、寄与率は0.99以上となる。
- ②通風性能簡易評価モデルのプランの相違によって、換気回数と窓面積率の関係に大きな差はない。
- ③有効窓面積率は地域によって異なる。内陸部、山間部では有効窓面積率が比較的高く、海沿いの都市では低い傾向がある。これは、内陸部では風速が遅く、海沿いの都市では速いためと考えられる。
- ④建蔽率0%（単体）の場合、有効窓面積率は1Fと2Fで殆ど変化しない。
- ⑤建蔽率0%（単体）では各プランにおいて有効窓面積率に殆ど変化は見られない。  
このことから、単体モデルではどのプランにおいても間仕切り壁や開口条件の違いによって通風性能は殆ど変化しないと考えられる。
- ⑥建蔽率0%（単体）では有効窓面積率は各プランと単純住宅モデルとの相違はあまりない。

第3篇 - 第9章

- ①換気回数は窓面積率に比例して増加する。換気回数と窓面積率の関係は、プランの相違による変化はあまりない。
- ②各プランでどの風向でも寄与率は0.92以上となる。この回帰式を用いて全国842地域を対象に有効窓面積率を算出する。
- ③有効窓面積率は地域によって異なり、内陸部、山間部では有効窓面積率が比較的高く、海沿いの地域では低い傾向がある。これは、内陸部では風速が遅く、海沿いの地域では速いためと考えられる。
- ④1Fと2Fを比較すると、どの建蔽率でも有効窓面積率は2Fの方が低くなる。  
これは相対的に地表面から高い位置にある2Fの方が、上空風の影響を比較的多く受け、風速が速いためと考えられる。
- ⑤プランA～Eを比較すると、建蔽率50%では、プランD、EがプランA、B、Cと比較して5～15%程度高いが、建蔽率の変化による有効窓面積率の変化と比較するとプランの相違による有効窓面積率の変化は小さい。
- ⑥各プランの室内最小開口面積（本モデルでは間仕切り壁開口面積）が同じ場合では、外壁の開口条件及び間仕切り壁の開口位置による通風量の変化は相対的に少ないと考えられる。



- ⑦本研究の分類方法により、対象建物の平面計画を各プランに分類し、建物の周辺状況に応じて各建蔽率における各地域の有効窓面積率を開口面積の基準として参照することで、比較的簡易・定量的に通風性能評価することが可能であると考えられる。

### 第3篇 - 第10章

- ①風速の速い新潟や福岡では有効窓面積率が低く、 $CVDHI_T$  が大きい。又、風速の遅い京都や高知では有効窓面積率が高く、 $CVDHI_T$  が小さい。このことから、有効窓面積率と  $CVDHI_T$  が対応していると考えられる。
- ②11都市の場合では、寄与率が0.5～0.6程度であり、有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の相関は低い。上記の札幌と仙台を除いた9都市では寄与率が0.8～0.9程度と相関が高くなる。
- ③非暖房期間の時間数が同程度の地域では有効窓面積率と  $CVDHI_T$  の相関が高くなると考えられる。これは  $CVDHI_T$  は非暖房期間で積算するのに対し、有効窓面積率は各地域の非暖房期間に対する有効換気回数を満たす相対頻度により算出する為、非暖房期間の時間数が関係しないことが原因と考えられる。
- ④非暖房期間が同程度の地域では、 $CVDHI_T$  と有効窓面積率の相関が高いため、有効窓面積率は通風性能評価指標として妥当であると考えられる。

## 第2章 今後の展望

本研究では、単純住宅モデルと日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象に換気回数と室温の関係を解析し、有効換気回数を定義した。有効換気回数を満たす有効窓面積率を算出し、全国842地域における通風を十分得るために必要な窓面積率の算出を行った。更に、実在の戸建住宅の平面計画を類型化してモデル化し、5パターンの通風性能簡易評価モデルを作成した。各室の室温と通風量の関係を解析し、通風量が十分得られる場合、通風性能評価は各階で行うことが可能であることを明らかにした。室内通風デグリアワー ( $CVDHI$ ) の算出結果から、換気による排熱効果に着目し、通風性能評価指標の一つである有効窓面積率を使用して、通風性能簡易評価モデルを対象に建蔽率の変化による各プランの通風性能評価を行い、各建蔽率における平面計画と通風性能の関係を明らかにした。詳細な通風性能評価指標の一つである室内通風デグリアワーと有効窓面積率の関係を解析し、有効窓面積率の通風性能評価指標としての妥当性の検討を行った。本研究による分類方法により、対象建物の平面計画を各プランに分類し、建物の周辺状況に応じて各建蔽率における各

地域の有効窓面積率を開口面積の基準として参照することで、比較的簡易・定量的に通風性能評価することが可能であると考えられる。

今後の展望としては、現段階の解析手法では各戸建住宅プランにおいて通風時の定常状態における気流性状の解析結果を基に通風性能評価を行っており、本来、瞬時的な変化を伴う自然通風の変動成分の定量的評価は行っていない。しかし、非定常な風向・風速の変動を含めた変動風は実際の通風効果に大きく影響を及ぼすことが考えられ、変動風を定量的に評価することは建築物の通風性能の定量的な評価手法及び通風の有効利用法を構築、検討する上では、極めて重要であると考えられる。

これまでの温冷感評価指標、快適感評価指標は定常気流を対象としており、変動気流を平均化し、定常評価指標に当てはめた算出結果は、実際の自然通風の感覚と乖離している可能性があると考えられる。より実体験に近い住宅の通風性能の定量的な評価手法や設計資料の作成が必要であると考えられる。

更に、外部風を主な駆動力とする自然通風においては、対象建物の立地条件が通風性能に大きく影響を及ぼし、実際の住宅の通風性能を評価する上では、対象建物の平面計画だけでなく、建蔽率を始めとした立地条件の評価が重要であると考えられる。加えて、現在は数値流体解析において、連続した住宅団地を対象にほぼ等間隔に配置した建物モデルにおいて建蔽率を変更して解析を行っている。しかし、実際の住宅団地内には公園や広場などの空き地が複数存在していること及び、対象建物は隣家と不等間隔に配置されることが考えられ、より実際に近い立地条件の評価を行うためには、建蔽率だけではなく、より具体的な評価指標として、対象建物外壁と隣接建物外壁との間隔等のモデル化を行い、評価指標として導入を検討する必要があると考えられる。

住宅の通風性能をより実体感的に評価を行うためには、数多くの課題があり、これらの課題を総合的に検討し、評価することで自然通風の有効利用方法、通風設計資料を作成することが期待される。





<謝辞>



## 謝辞

本研究を行うに当たり、終始大変懇切丁寧かつ熱心な御指導を賜りました、新潟大学大学院自然科学研究科教授 赤林伸一博士に対して心よりの感謝を致します。

本研究の全般を通して、種々の御指導かつ適切な御助言を賜りました、新潟県立大学教授 坂口淳博士に対して心よりの感謝を致します。

研究及び日々の中では、環境衛生研究室技術職員 大木（旧姓富岡）誠子氏には様々なご助言を頂きました。

又、新潟大学大学院自然科学研究科赤林研究室 博士後期課程 高野康夫氏（（株）菱機工業 新潟支店）、文欣潔氏、博士前期課程 小池洋氏、阿部真季氏、小林海斗氏、坂口真悟氏、若月裕紀氏には、日々の議論を通じて多くの示唆や知識、公私共々に渡る多大なる御協力を頂きました。

更に、赤林研究室の卒業生である重川隆廣博士（（株）重川材木店建築部 代表取締役）、川崎みなも氏（（株）高砂熱学工業）、佐藤英樹氏（（株）三建設備工業）及び関係諸氏、卒論生の皆様、並びに赤林研究室の学部生 飯塚亜季氏、大熊耀平氏、加藤めぐみ氏、佐藤広基氏、中島昭紀氏、高橋大智氏には数多くの御協力を頂きました。

御世話になりました上記の各位、関係者各位に対し、ここに記して深く心より感謝の意を表します。

2015 年 2 月

新潟大学大学院 自然科学研究科  
環境科学専攻 社会基盤・建築学コース（建築系）

有波 裕貴



## <参考文献>



## 参考文献

- (1) 大橋秀男：「流体力学（１）、（２）」、コロナ社、1982
- (2) 松信八十男：「変形と流れの力学」、朝倉書店、1981
- (3) Suhas V. Patanker：「コンピュータによる熱移動と流れの数値解析」、水谷幸夫 香月正司訳、森北出版、1985
- (4) パトリック・J. ローチェ：「コンピュータによる流体力学」、構造計画研究所
- (5) B. E. Launder, D. B. Spalding：「Mathematical Models of Turbulence, Academic Press, 1972」
- (6) 村上 周三：「CFD による建築・都市の環境設計工学」、東京大学出版社、2000
- (7) B. I. Davidov, On, the statistical Dynamics of an Incompressible Fluid, DOKLADY ACADEMY NAUKA SSSR, Vol. 136, 47, 1961
- (8) W. Rodi, Turbulence Models for Environmental Problems, Prediction Methods of Turbulent Flows, A von Karman Institute Book, pp. 259-350, 1980
- (9) Monin, A. S. and Obukhov, A. M. , 1954, Basic law of Turbulent Mixing in the Ground Layer of the Atmosphere, Akad. Nauk, SSSR, Geofiz. Inst. 151, pp. 1-30
- (10) Prndtl, L. , 1925, Uber die ausgebildete Turbulenz, ZAMM, 5p. 136
- (11) Panofsky, H. A. , 1963, Determination of Stress from Wind and Temperature Measurements, Quart. J. Roy. Met. Soc. , 89, pp. 85-94
- (12) Bradshaw, P. , 1969, The Analogy between Streamline Curvature and Buoyancy in Turbulent Shear Flow, J. Fluid Mech. Vol. 36, part 1, pp. 177-191
- (13) Mizushima, T. G. H. Ogino, F. , Ueda, H. and Komori, S. , 1978, Buoyancy Effects on Transfer, pp. 91-96, Hemisphere Pub. Corp.
- (14) Ellison, T. H. , 1957, Turbulent Transport of Heat and Momentum from an Infinite Rough Plane, J. Fluid Mech. , Vol. 2, pp. 456-466
- (15) Webster, C. A. G. , 1964, An Experimental Study of Turbulence in a Density Stratified Shear Flows, J. fluid Mech. , Vol. 19, p. 221
- (16) Launder, B. E. 1988, On the Computation of Convective Heat Transfer in Complex Turbulent Flows, J. of Heat Transfer, Vol. 110, pp. 1112-1128
- (17) J. S. Smagorinsky "General Circulation Experiments, Monthly Weather Review , Vol. 91, pp. 99-164, 1963
- (18) 日本建築学会：「拡張アメダス気象データ」
- (19) ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-92: Thermal environmental conditions for human occupancy, 1992
- (20) 空気調和・衛生工学会：「空気調和・衛生設備の知識」、1991. 4
- (21) 田中俊六、武田仁、足立哲夫、土橋喬雄：「最新 建築環境工学（改訂）」、1985. 2

- (22) 日本建築学会編：「シリーズ地球環境建築・入門編 地球環境建築のすすめ」  
彰国社，2002. 8
- (23) 赤林・坂口・富永・他：「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その  
5～8」、日本建築学会学術講演会梗概集、2003. 8
- (24) 赤林・坂口・久保・他：「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その  
13、14」、日本建築学会学術講演会梗概集、2006. 8
- (25) 赤林・坂口・久保・他：「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その  
15、16」、日本建築学会学術講演会梗概集、2007. 8
- (26) 赤林・坂口・佐藤・山口：「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 そ  
の 17、18」、日本建築学会学術講演会梗概集、2008. 8
- (27) 赤林・坂口・山口・川崎：「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 そ  
の 19、20」、日本建築学会学術講演会梗概集、2009. 9
- (28) 赤林・坂口・川崎・窪田：「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 そ  
の 21、22」、日本建築学会学術講演会梗概集、2010. 9
- (29) 赤林・坂口・細野・佐藤・久保：「室内気流分布を考慮した通風性能評価に関する  
研究 室内通風デグリアワーを用いた戸建住宅の通風性能評価」、日本建築学会環  
境系論文集、巻号：73(633)、pp. 1261-1266、2008. 11
- (30) 佐々木 淑貴：「住宅における自然エネルギーの有効利用に関する研究」 平成 14  
年度 新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程博士論文
- (31) 笠原 結樹：「戸建住宅に関する通風性能評価指標に関する研究」 平成 14 年度  
新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程修士論文
- (32) 高森 亨：「住宅の通風性能評価手法に関する研究」 平成 16 年度 新潟大学工学  
部建設学科卒業論文
- (33) 渡部 大陸：「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究－通風性能に関す  
る全国を対象としたデータベースの構築－」 平成 16 年度新潟大学大学院自然科学  
研究科博士前期課程修士論文
- (34) 久保 俊輔：「建物方位、開口条件を考慮した通風性能評価に関する研究」 平成 18  
年度 新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程修士論文
- (35) 細野 淳美：「住宅を対象とした通風性能評価に関する研究－室内通風デグリアワー  
による通風性能評価手法の提案－」 平成 19 年度 新潟大学大学院自然科学研究科  
博士前期課程修士論文
- (36) 新保 良明：「通風を考慮した住宅団地の配置計画に関する研究」 平成 19 年度  
新潟大学工学部建設学科卒業論文
- (37) 山口 遵：「集合住宅の通風性能評価に関する研究－室内通風デグリアワーを用いた  
定量的評価－」 平成 21 年度新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程修士論文
- (38) 宮本 範之：「戸建住宅を対象とした通風性能による冷房負荷削減効果に関する研



- 究」新潟大学工学部建設学科卒業論文、
- (39) 川崎みなも：「通風性能を考慮した戸建住宅の配置計画に関する研究」平成22年度新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程修士論文
- (40) 窪田 真和：「戸建住宅のシェルター性能と通風性能の関係に関する研究－断熱性能と直達日射を考慮した場合－」平成21年度新潟大学工学部建設学科卒業論文
- (41) ハウジング新潟2000、2001、2002、2003、2011（新潟日報社）

## 本研究に関する既発表論文

- (1) 有波裕貴、赤林伸一、大嶋拓也、坂口淳：有効換気回数及び有効窓面積率による住宅の通風性能評価に関する研究 平成 25 年 3 月発行 日本建築学会環境系論文集 第 78 巻第 685 号 277 頁から 284 頁に発表
- (2) 赤林伸一、坂口淳、市川裕幸、有波 裕貴：全電化住宅とガス併用住宅におけるエネルギー消費量及び CO2 排出量に関する研究 平成 25 年 3 月発行 日本建築学会環境系論文集 第 78 巻第 685 号 285 頁から 290 頁に発表
- (3) 有波裕貴、赤林伸一、石川真也、坂口淳：可搬型ガスタービン発電機からの高温排熱の拡散性状に関する研究 平成 25 年 5 月発行 日本ガスタービン学会誌 Vol. 41 No. 3 246 頁から 253 頁に発表
- (4) 赤林伸一、大嶋拓也、有波裕貴、大久保肇、楊曉韻、坂口淳：室内気流模型を対象としたシーディング手法の検討及び測定結果 室内気流を対象とした PIV 計測に関する研究 その 1 平成 25 年 8 月発行 日本建築学会環境系論文集 第 78 巻第 690 号 631 頁から 638 頁に発表
- (5) 赤林伸一、坂口淳、大嶋拓也、市川裕幸、有波 裕貴：家庭用燃料電池による電力需要のピークカットに関する研究 その 1 東北電力管内を対象としたシミュレーション結果 平成 25 年 8 月発行 日本建築学会環境系論文集 第 78 巻第 690 号 639 頁から 644 頁に発表
- (6) 赤林伸一、坂口淳、大嶋拓也、市川裕幸、有波裕貴：住宅用エアコンの COP の現状と APF の地域特性に関する研究 平成 26 年 2 月発行 日本建築学会技術報告集、第 20 巻第 44 号 187 頁から 190 頁に発表
- (7) 有波裕貴、赤林伸一、高野康夫、富永禎秀、坂口淳：大型境界層風洞内における単純住宅モデルを対象とした風速変動による通風気流の可視化及び解析結果 室内気流を対象とした PIV 計測に関する研究 その 2 平成 27 年 2 月発行 日本建築学会環境系論文集 第 80 巻第 708 号 (採用決定)
- (8) 有波裕貴、赤林伸一、坂口淳：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その 22 戸建住宅の有効換気回数と有効窓面積率に関する研究、日本建築学会北陸支部研究報告集 (54)、215-218、7 月、2011 年
- (9) 有波裕貴、赤林伸一、坂口淳、佐藤英樹：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究： その 23 換気回数による戸建住宅の通風性能評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演会、D-2、723-724、8 月、2011 年
- (10) 佐藤英樹、赤林伸一、坂口淳、有波 裕貴：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究： その 24 戸建住宅の換気回数と有効窓面積率に関する研究、日本建築学会大会学術講演会、D-2、725-726、8 月、2011 年

- (11) 本田美穂，赤林伸一，坂口淳，有波裕貴：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究：その23 通風経路に着目した実在平面計画のモデル化、日本建築学会北陸支部研究報告集(55)、215-218、7月、2012年
- (12) 有波裕貴，赤林伸一，坂口淳，本田美穂：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究：その24 通風性能の簡易・定量的評価手法の提案、日本建築学会北陸支部研究報告集(55)、219-222、7月、2012年
- (13) 本田美穂，赤林伸一，坂口淳，有波裕貴：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究：その25 通風経路に着目した実在平面計画のモデル化、日本建築学会大会学術講演会、D-2、645-646、9月、2012年
- (14) 有波裕貴，赤林伸一，坂口淳，本田美穂：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究：その26 通風量と室温の定量的評価、日本建築学会大会学術講演会、D-2、647-648、9月、2012年
- (15) 坂口淳，赤林伸一，有波裕貴，本田美穂：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究：その27 通風性能の簡易・定量的評価手法の提案、日本建築学会大会学術講演会、D-2、647-648、9月、2012年
- (16) 有波裕貴，赤林伸一，坂口淳，大浦理路：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究：その28 周辺状況を考慮した通風性能の簡易・定量的評価方法の提案、日本建築学会大会学術講演会、D-2、589-590、8月、2013年
- (17) 大浦理路，赤林伸一，坂口淳，有波裕貴：戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究：その29 有効窓面積率とCVDHIの関係、日本建築学会大会学術講演会、D-2、591-592、8月、2013年



<梗概>



住宅の通風性能の簡易評価手法に関する研究

F 1 3 N 0 0 1 J 有波裕貴  
指導教員 赤林伸一教授

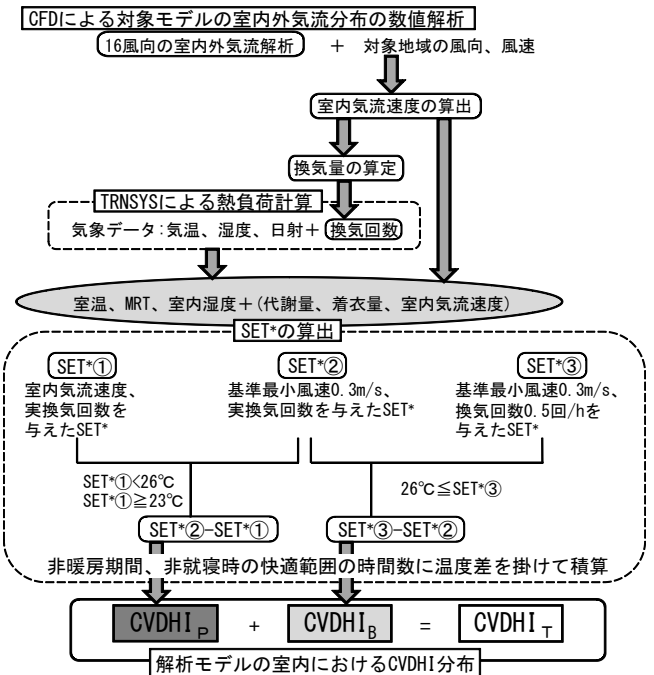
1 研究目的（序編）

近年、持続可能な開発や低炭素社会の推進を背景に、住宅などで消費される民生用エネルギーを削減する事が求められており、住宅においても自然エネルギーを有効に利用し、居住環境を調整する手法の開発・評価は重要であると考えられる。住宅における自然エネルギーの有効利用法の1つに自然通風が挙げられる。自然通風の利用は、室内居住環境を改善させることが可能であり、冷房の使用率を低下させ、冷房用エネルギーの削減が期待されるため、今後の積極的な活用が望まれる。住宅の通風性能は、住宅の間取りや開口条件以外に地域の風向・風速、建蔽率などの住宅周辺の条件等により大きく異なり、定量的に評価することが極めて困難である。しかし、風通しや陽当たりの良さは住宅の性能として重要であり、このため特に通風性能を簡易・定量的に評価することは必要不可欠な課題となっている。

図1に通風性能評価手法の1つである室内通風デグリアワー (Cross Ventilation Degree Hour of Inside Area) の算出フローを示す。既往の研究<sup>文1~4)</sup>では、室内通風デグリアワーによる評価手法を用いて通風性能を定量的に評価することが可能であることを報告している。しかし、この手法は建物モデル毎に各風向における室内外気流分布のCFD解析 (Computational Fluid Dynamics) を行って室内通風デグリアワーを算出し、評価を行う必要がある。この計算量は膨大であり、個々の住宅の通風性能を実用的に評価することは困難である。

図2に主要11都市の平均CVDHIを示す。既往の研究<sup>文3)</sup>によれば、可感気流による体感温度 (SET\*) の低下効果より、換気による排熱効果が極めて大きく、自然通風による室内温熱環境改善効果は通風量のみでほぼ評価することが可能であると考えられる。

本研究では、まず、各階が1室で構成された単純戸建住宅モデルと日本建築学会住宅用標準問題モデル (標準住宅モデル) を対象として、通風による換気回数と室温の関係を解析することで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)



※ 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1 室内通風デグリアワー (Cross Ventilation Degree Hour of Inside Area) の算出フロー

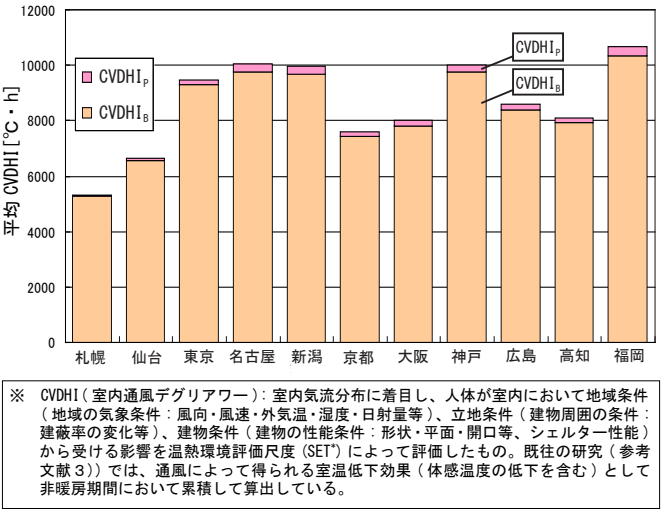


図2 主要11都市の平均CVDHI

及び、有効換気回数と実換気回数の関係を検討し、換気回数と通風性能の関係を明らかにする。更に、戸建住宅団地を対象に建蔽率と窓面積率（床面積に対する開口部の面積）をパラメータとした解析を行い、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）について解析する。

次に、実在の戸建住宅の平面計画を通風経路に着目して類型化を行い、外壁の開口条件と間仕切り壁による室同士の接続状況を考察することで、通風性能をより簡易に評価する通風性能簡易評価モデルを作成する。このモデルを対象としてCFD解析を行い、窓面積率を変化させて実換気回数を算出する。又、外部風向が変化する場合における通風量の変化による各室の室温の相違を比較・検討し、室温と通風量の関係を明らかにする。更に、解析対象モデルの建蔽率を変化させてCFD解析を行い、全国842地域を対象に有効窓面積率を算出する。本研究はこれらの解析結果により建蔽率や開口面積等を変化させた場合の有効窓面積率と排熱による通風効果の関係を明らかにし、有効窓面積率による簡易な通風性能評価手法を提案することを目的とする。

## 2 単純戸建住宅モデルと日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象とした解析（第1・2編）

### 2.1 研究概要

#### 2.1.1 解析条件

図3に単純戸建住宅モデルを、図4に日本建築学会住宅用標準問題モデル（標準住宅モデル）を、表1に各モデルの解析条件（建蔽率0%（単体））を、表2に各モデルの解析条件（建蔽率10%、30%、50%）を、表3に熱負荷計算ソフトTRNSYSに入力した各モデルの部位別熱貫流率を、表4に11都市の非暖房期間<sup>注1)</sup>と平均風速を示す。解析対象は2階建ての単純戸建住宅モデルと標準住宅モデル（戸建）とする。CFDによる解析は単純戸建住宅モデルでは各階は1室として解析を行う。間仕切りや廊下のある標準住宅モデルでは、トイレは窓及び扉を閉鎖し、浴室は窓を閉鎖し、室内扉は開放する。洗面室は窓及び室内扉を開放してCFD解析を行う。換気回数を設定する場合は、対象モデルは建蔽率<sup>注2)</sup>0%（単体）とし、対象地域は新潟のみとする。実換気回数を用いる場合も、対象モデルは建蔽率0%（単体）とし、対象地域は札幌、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。窓面積率を算出する場合は、対象街区は建蔽率0%（単体）、10、30、50%とし、対象地域は標準気象データが整備されている全国842地域とする。

建蔽率0%（単体）のCFD解析は流入境界条件として1/4乗則の流入風を与え、建物単体の解析を行っている。

建蔽率10、30、50%のCFD解析は解析領域周囲の境界条件に周期境界を与え、連続した住宅団地の中央部の住宅を対象とする。建蔽率10、30、50%の解析での基準風速（6.5 m高さ）の風速は建物がない予備解析を別途行い3.0 m/sになるように上空面の風速を調整して解析を行っている。

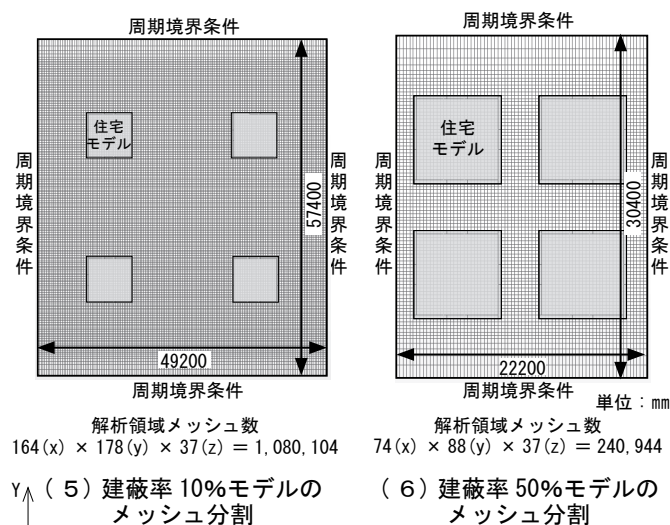
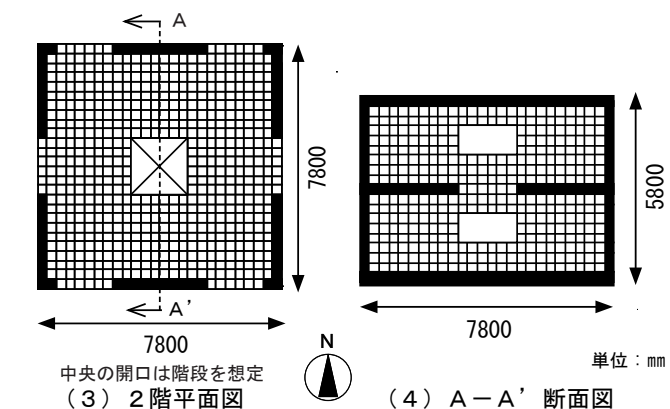
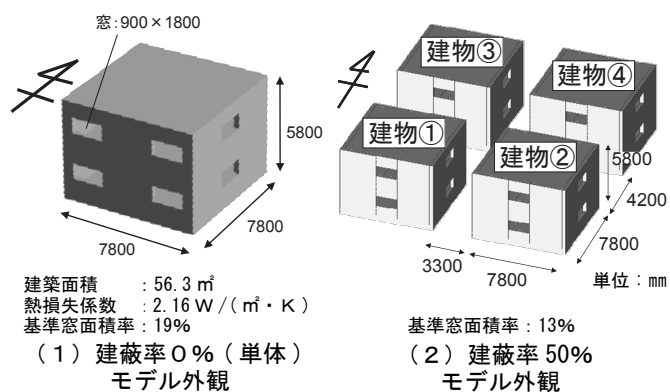


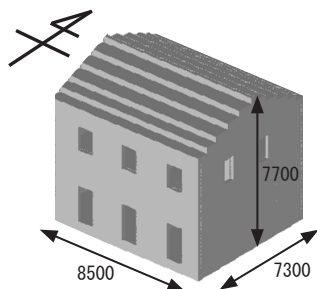
図3 単純戸建住宅モデル



## 2.1.2 解析方法

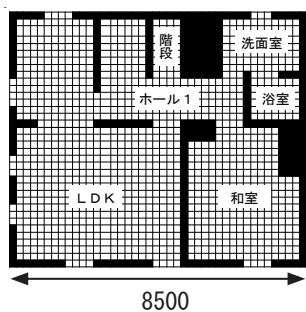
(1) 設定換気回数による室温の解析：図5に室温の算出フローを示す。室温の算出には、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS を用いる。気象データには、日本建築学会拡張アメダス気象データ（標準年）<sup>文5)</sup>を用い、解析時には気象データの気温、日射に加えて換気回数を設定<sup>注3)</sup>し、どのモデルでも1階、2階をそれぞれ1室として対象住宅モデルの室温を算出する。算出した値から、室温が外気温とほぼ等しくなるために必要な最少の換気回数（有効換気回数）を各階で求める。

(2) 実換気回数による解析：室内外気流分布の解析は、標準k-εモデルを用いた等温乱流数値流体解析（使用コード：CFD2000）により行う。CFDにより16風向別の開口部風速比<sup>注4)</sup>

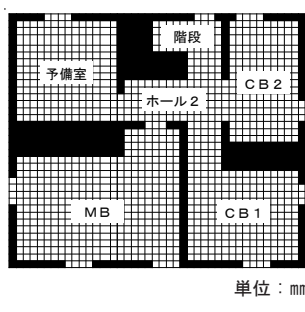


建築面積 : 57.4 m<sup>2</sup>  
熱損失係数 : 1.98 W/(m<sup>2</sup>・K)  
基準窓面積率 : 14%

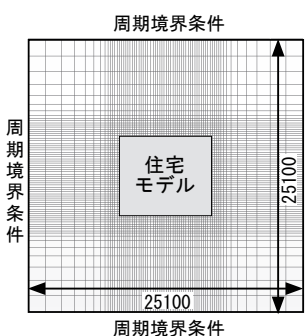
(1) 建蔽率0%（単体）  
モデル外観（戸建）



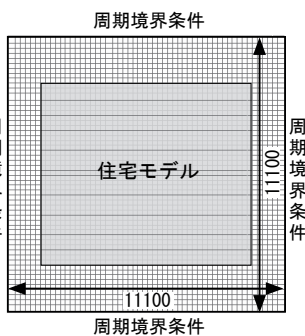
(2) 1F平面図



(3) 2F平面図



解析領域メッシュ数  
68(x) × 68(y) × 41(z) = 189,584



解析領域メッシュ数  
54(x) × 54(y) × 41(z) = 119,556

(4) 建蔽率10%モデルのメッシュ分割 (5) 建蔽率50%モデルのメッシュ分割

図4 日本建築学会住宅用標準問題モデル

を求める。開口部の風速比から換気回数を算出し、各地域の風向・風速から実換気回数を算出する。

(3) 室内発熱負荷の算出：標準住宅モデルを対象とした室温の算出では、各室に室内発熱負荷を与える。室内発熱負荷の算出には、生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE<sup>注5)</sup>を用いる。設定条件は両親、子供2人の4人家族とし、其々の生活パターンから冬期、中間期、夏期の平日、休日における各部屋の時間毎の室内発熱負荷（人体、照明、各種家電機器の発熱）を算出する。次に12～3月を冬期、

表1 各モデルの解析条件（建蔽率0%（単体））

解析風向数	16風向	
解析領域メッシュ数	単純住宅	54(x) × 54(y) × 37(z) = 107,892
	標準住宅	78(x) × 72(y) × 41(z) = 230,256
室内解析メッシュ数	単純住宅	26(x) × 26(y) × 19(z) = 12,844
	標準住宅	42(x) × 36(y) × 23(z) = 34,776
延べ床面積	単純住宅	100.44 m <sup>2</sup>
	標準住宅	109.98 m <sup>2</sup>
基準開口面積	単純住宅	0.9 × 1.8 × 12 = 19.44 m <sup>2</sup>
	標準住宅	15.52 m <sup>2</sup>
境界条件	流入：1/4乗則（基準高さ6.5m、風速3.0m/s） 流出：自由流出	
乱流モデル	標準k-εモデル（等温）	
熱損失係数	単純住宅	2.16 W/(m <sup>2</sup> ・K)
	標準住宅	1.98 W/(m <sup>2</sup> ・K)

表2 各モデルの解析条件  
（建蔽率10%、30%、50%）

解析風向数		16風向	
解析領域メッシュ数	単純住宅	建蔽率10%	$164(x) \times 178(y) \times 37(z) = 1,080,104$
		建蔽率30%	$96(x) \times 110(y) \times 37(z) = 390,720$
		建蔽率50%	$74(x) \times 88(y) \times 37(z) = 240,944$
	標準住宅	建蔽率10%	$68(x) \times 68(y) \times 41(z) = 189,584$
		建蔽率30%	$60(x) \times 60(y) \times 41(z) = 147,600$
		建蔽率50%	$54(x) \times 54(y) \times 41(z) = 119,556$
室内解析メッシュ数	単純住宅	$26(x) \times 26(y) \times 19(z) = 12,844$	
	標準住宅	$42(x) \times 36(y) \times 23(z) = 34,776$	
延べ床面積	単純住宅	100.44㎡	
	標準住宅	109.98㎡	
基準開口面積	単純住宅	$0.9 \times 1.8 \times 8 = 13.0\text{㎡}$	
	標準住宅	15.52㎡	
境界条件	流入・流出：周期境界条件		
乱流モデル	標準k-εモデル(等温)		

表3 各モデルの部位別熱貫流率

部材	モデル	構成材	熱貫流率(W/m <sup>2</sup> ・K)
屋根	単純住宅	石膏ボード、セルローズファイバー(厚さ160mm)、合板、スレート	0.215
	標準住宅	石膏ボード、セルローズファイバー(厚さ160mm)、空気層、合板、スレート	0.209
外壁	単純住宅	石膏ボード、フェノールフォーム断熱材(厚さ40mm)、合板、モルタル	0.431
	標準住宅	石膏ボード、フェノールフォーム断熱材(厚さ40mm)、空気層、合板、モルタル	0.408
1階床	単純住宅 標準住宅	床板、合板、グラスウール(厚さ100mm)	0.337
2階床	単純住宅 標準住宅	カーペット、合板、空気層、石膏ボード(1階天井)	1.916
窓ガラス	単純住宅 標準住宅	ペアガラス	2.7

表4 11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

7～9月を夏期、その他の月を中間期とし、算出した室内発熱負荷から1F、2Fの年間の室内発熱負荷を作成し、TRNSYSで室内発熱負荷を加えた計算を行う。図6にSCHEDULEで計算した夏期・平日の室内発熱負荷を示す。他室よりもLDKにおける室内発熱負荷が大きい。

(4) 窓面積率の算出：図7に窓面積率の算出フローを示す。CFDにより16風向別の開口部風速比を求め、開口部の風速比から基準風速（基準高さ6.5m地点で風速1.0m/sの時）での換気回数を算出する。窓面積率と

#### 実換気回数による解析方法

CFDによる対象モデルの数値解析

#### 設定換気回数による解析方法

TRNSYSによる熱負荷計算

気象データ：気温、日射＋

換気回数

窓閉鎖時には換気回数0.5回/hとする

熱負荷計算

室温

図5 室温の算出フロー

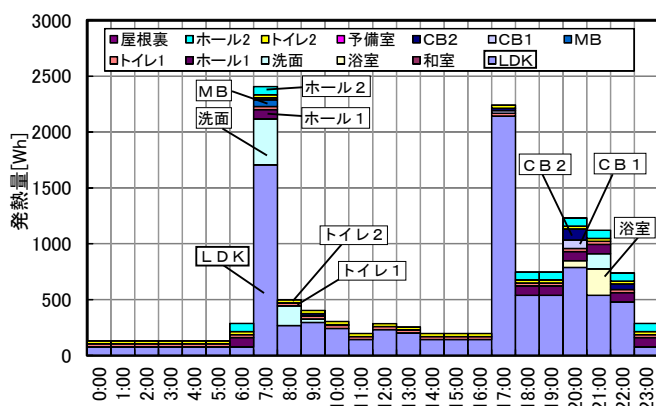


図6 室内発熱負荷（夏期・平日）

CFDによる対象モデルの数値解析

16風向の気流解析

基準換気回数と窓面積率の回帰式の作成＋対象地域の風向、風速

各窓面積率の実換気回数の算定

換気回数頻度分布の算定

有効換気回数以上の頻度が7割の場合における窓面積率を算定

図7 窓面積率の算出フロー

換気回数はほぼ比例する（寄与率0.96以上）ので、算出した換気回数と窓面積率の回帰式を求め、窓面積率を1%刻みで変化させ、各窓面積率の実換気回数を算出する。

(5) 有効窓面積率：図8に非暖房期間における全国の外部風が無風の相対頻度分布を示す。非暖房期間に対する無風の相対頻度は1割から2割までが最も高く、無風の相対頻度が2割までの累積頻度は70%程度となる。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換気回数の時間数が占める割合が7割以上の時に、室温と外気温がほぼ等しくなる効果を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する。

## 2.2 単純戸建住宅モデルを対象とした解析結果

### 2.2.1 有効換気回数

(1) 日平均室内外温度差：図9に新潟における換気回数を設定する場合の日平均室内外温度差を示す<sup>注6)</sup>。対象日は新潟の非暖房期間と日平均外気温が最高となる7月23日である。換気回数が増加すると、室温と外気温の差は小さくなり、7月23日、非暖房期間ともに換気回数20回/hでは室温と外気温の差は約0.7℃となる。室温と外気温の差が1℃未満の時に十分に室温が低下していると考え、換気回数20回/hを単純戸建住宅モデルの有効換気回数と設定する。

(2) 換気回数20回/h以上の相対頻度：図10に非暖房期間における主要11都市の換気回数20回/h以上の相対頻度を示す。単純戸建住宅モデル（建蔽率0%：単体）では、どの都市も換気回数20回/h以上の相対頻度が約90%を超えており、十分な室内環境改善効果が得られて

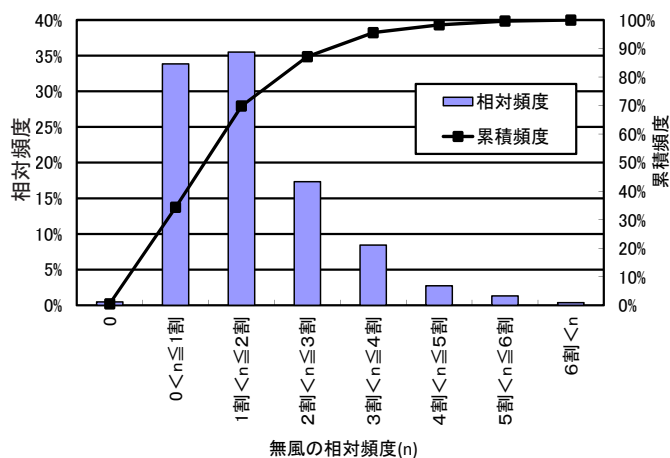


図8 非暖房期間における全国の外部風が無風の相対頻度分布

図13 建蔽率50%における有効窓面積率マップ  
(単純戸建住宅モデル：建物①、2F)

向Sと同様の結果である。建蔽率が高くなる程、傾きが小さくなり、換気回数が減少する<sup>注8)</sup>。建蔽率0%（単体）と建蔽率10、30、50%の換気回数の差は大きい。1F、2F共に回帰式はどの建物位置でも差は殆どなく、いずれの回帰式においても寄与率は0.96以上となる。この回帰式を用いて、窓面積率を1%刻みとして換気回数を算出し、全国の有効窓面積率の分布を求める。

（2）主要11都市における有効窓面積率：図12に建物①、2Fの主要11都市における各建蔽率の有効窓面積率を示す。どの地域でも建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。新潟や福岡などの風速の速い地域では有効窓面積率は5%（建蔽率0%）～30%（建蔽率50%）程度と低く、京都や高知などの風速の遅い地域では有効窓面積率は約10%（建蔽率0%）～50%（建蔽率50%）程度と高い。

（3）有効窓面積率マップ：図13に建物①、2Fの建蔽率50%における有効窓面積率マップを示す。有効窓面積率は地域によって異なり、有効窓面積率は内陸部では40～60%程度と高く、海沿いの地域では20～

30%程度と低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域は速いためと考えられる。但し、瀬戸内海に面した高松や松山では有効窓面積率は50%程度と高い。また、島や山、岬などの特に風速が速くなる地域では有効窓面積率は10%程度と低い。

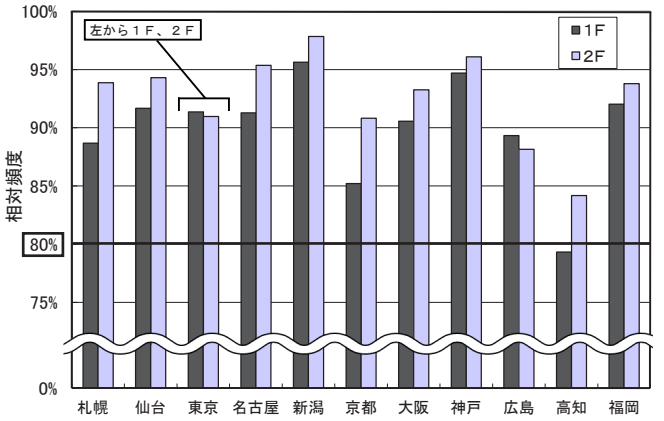


図15 主要11都市の換気回数20回/h以上の相対頻度（標準住宅モデル（戸建）：建蔽率0%（単体））

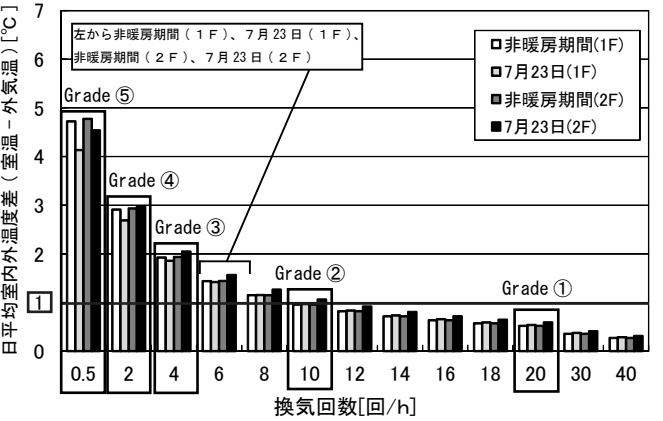


図14 換気回数を設定する場合の日平均室内外温度差（新潟、標準住宅モデル（戸建））

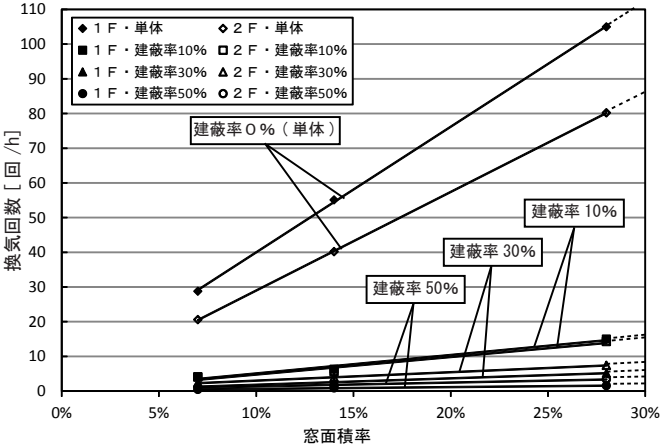


図16 換気回数と窓面積率の関係（標準住宅モデル（戸建）：風向S）

表6 各建蔽率の回帰式と風向Sの寄与率（標準住宅モデル（戸建））

	単体		建蔽率10%		建蔽率30%		建蔽率50%	
	1F	2F	1F	2F	1F	2F	1F	2F
NNE	$y = 208.67x - 3.8896$	$y = 223.1x + 3.8323$	$y = 24.995x - 0.1321$	$y = 30.124x + 1.0423$	$y = 12.236x + 0.2122$	$y = 16.674x + 0.7372$	$y = 2.6469x + 0.5807$	$y = 11.106x - 0.0768$
NE	$y = 157.27x - 2.2731$	$y = 177.59x + 11.346$	$y = 21.386x + 0.5047$	$y = 29.213x + 1.3259$	$y = 14.703x + 0.3385$	$y = 17.77x + 0.5514$	$y = 8.1271x + 0.6922$	$y = 11.936x - 0.0791$
ENE	$y = 138x + 3.3624$	$y = 179.61x + 8.8624$	$y = 19.724x + 0.3346$	$y = 31.743x + 0.6989$	$y = 15.34x + 0.4679$	$y = 17.309x + 0.5182$	$y = 9.6766x + 0.6833$	$y = 8.5206x + 0.3435$
E	$y = 82.997x + 6.4504$	$y = 217.66x - 1.1405$	$y = 13.571x + 0.558$	$y = 41.99x + 0.2117$	$y = 11.8x + 0.3867$	$y = 24.4x + 0.0803$	$y = 14.825x + 0.0662$	$y = 11.876x + 0.16$
ESE	$y = 167.84x - 0.2775$	$y = 255.22x + 2.1669$	$y = 20.026x + 0.211$	$y = 45.118x - 0.1454$	$y = 14.177x + 0.4253$	$y = 29.436x - 0.2862$	$y = 8.8564x + 0.8297$	$y = 17.72x - 0.2297$
SE	$y = 300.89x + 4.0431$	$y = 309.55x + 2.1158$	$y = 33.162x + 0.167$	$y = 44.402x + 0.2022$	$y = 17.104x + 0.4196$	$y = 30.476x - 0.1132$	$y = 7.2921x + 0.8399$	$y = 20.47x - 0.5291$
SSE	$y = 361.09x + 4.9087$	$y = 299.78x - 0.6746$	$y = 33.162x + 0.167$	$y = 47.647x + 0.2374$	$y = 17.414x + 0.296$	$y = 27.936x + 0.1768$	$y = 6.1601x + 0.362$	$y = 16.932x - 0.238$
S	$y = 361.23x + 3.8366$	$y = 280.12x + 0.5861$	$y = 50.153x + 0.906$	$y = 47.256x + 0.6153$	$y = 18.144x + 0.0528$	$y = 23.387x + 0.6229$	$y = 5.0792x + 0.1252$	$y = 10.611x + 0.3179$
	$R^2 = 0.9998$	$R^2 = 1$	$R^2 = 0.98$	$R^2 = 0.9641$	$R^2 = 0.9994$	$R^2 = 0.9995$	$R^2 = 0.9987$	$R^2 = 0.9928$
SSW	$y = 314.52x + 1.6983$	$y = 221.29x + 2.6075$	$y = 43.802x + 0.5211$	$y = 35.983x + 0.5749$	$y = 14.899x + 0.3868$	$y = 13.674x + 0.845$	$y = 4.6023x + 0.429$	$y = 9.099x + 0.2147$
SW	$y = 213.46x + 6.7297$	$y = 125.8x + 9.6884$	$y = 32.116x + 1.1632$	$y = 19.731x + 1.0028$	$y = 16.2x + 0.5541$	$y = 13.555x + 0.6432$	$y = 7.6799x + 0.905$	$y = 12.397x + 0.0261$
WSW	$y = 219.91x + 2.9737$	$y = 141.75x + 2.5817$	$y = 37.078x + 0.5257$	$y = 28.202x + 0.1053$	$y = 18.053x + 0.5427$	$y = 16.861x + 0.1529$	$y = 10.708x + 0.6187$	$y = 13.2x + 0.1836$
W	$y = 282.11x + 0.282$	$y = 138.04x - 0.4959$	$y = 45.285x + 0.4034$	$y = 28.984x + 0.016$	$y = 16.266x + 0.5524$	$y = 18.591x + 0.0856$	$y = 13.886x + 0.106$	$y = 9.3979x + 0.6087$
WNW	$y = 302.84x + 3.5879$	$y = 197.38x + 1.5166$	$y = 50.252x + 0.321$	$y = 29.423x - 0.1922$	$y = 24.188x + 0.2278$	$y = 18.956x - 0.0949$	$y = 12.624x + 0.3711$	$y = 10.802x + 0.3892$
NW	$y = 341.83x - 0.2351$	$y = 231.36x + 5.1032$	$y = 52.411x + 0.0662$	$y = 34.538x + 0.0322$	$y = 22.513x + 0.1305$	$y = 18.36x + 0.0537$	$y = 10.337x + 0.6048$	$y = 12.767x - 0.1348$
NNW	$y = 259.9x - 2.2042$	$y = 238.82x + 5.3604$	$y = 35.861x + 0.2384$	$y = 33.314x + 0.8824$	$y = 16.492x + 0.0159$	$y = 20.114x + 0.278$	$y = 4.6419x + 0.3685$	$y = 9.7234x - 0.0017$
N	$y = 186.6x - 2.6804$	$y = 218.21x + 4.6499$	$y = 22.545x + 0.0788$	$y = 34.451x + 1.0659$	$y = 8.2558x + 0.0184$	$y = 19.287x + 0.5815$	$y = 7.4554x + 0.1234$	$y = 10.606x + 0.1171$

※ y を換気回数、x を窓面積率とし、代表的な風向Sでは上段に回帰式、下段に寄与率を示した。



## 2.3 標準住宅モデル（戸建）を対象とした解析結果

### 2.3.1 有効換気回数

（１）日平均室内外温度差：図 14 に新潟における換気回数を設定する場合の日平均室内外温度差を示す。単純戸建住宅と同様に換気回数が増加する程、室温と外気温の差は小さくなり、7 月 23 日、非暖房期間ともに換気回数 20 回 /h では室温と外気温の差は約 0.6℃となる。

（２）換気回数 20 回 /h 以上の相対頻度：図 15 に非暖房期間における主要 11 都市の換気回数 20 回 /h 以上における相対頻度を示す。平均風速の遅い高知以外の都市は換気回数 20 回 /h 以上の相対頻度が 85%を超えて

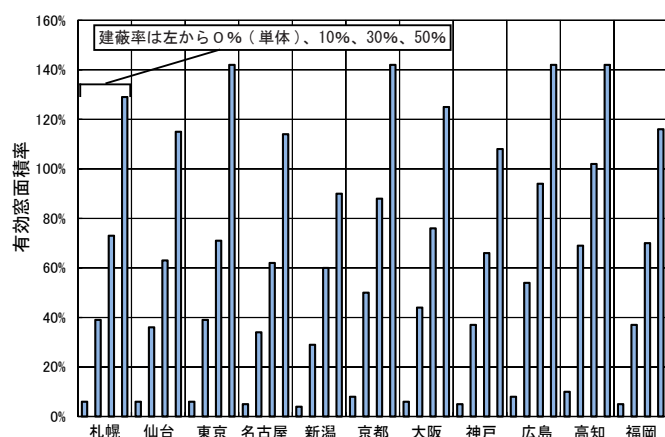


図 17 主要 11 都市における各建蔽率の有効窓面積率（標準住宅モデル（戸建）：Grade ①（有効換気回数 20 回 /h）、2 F）

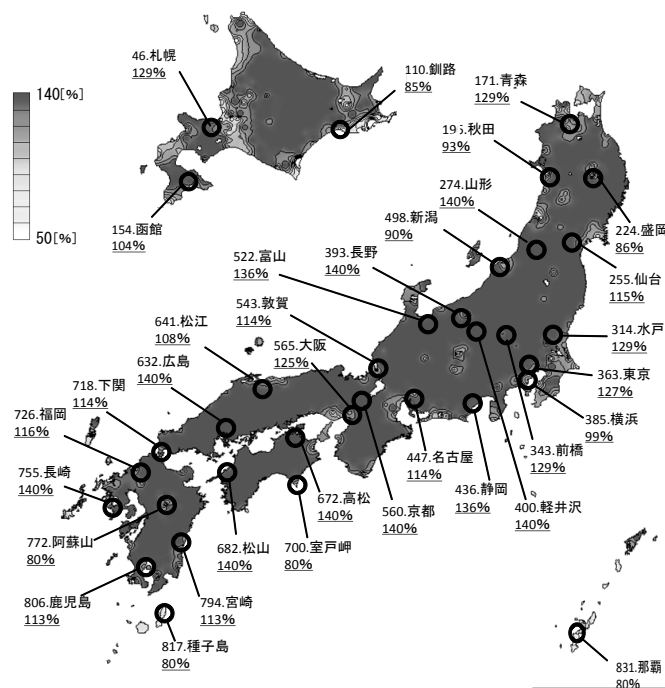


図 18 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（標準住宅モデル（戸建）：Grade ①（有効換気回数 20 回 /h）、2 F）

いる。高知の 1 F でも 78%を超えており、標準住宅モデル（戸建、建蔽率 0 %（単体））でも十分な室内環境改善効果が得られ、ある程度の開口面積以上での室内環境改善効果は同様であると考えられる。

（３）換気回数による通風性能評価：図 16 に示した換気によって得られる平均室内外温度差を基に、今回対象とした建物モデルで室温と外気温の差が其々 1℃未満、1、2℃、3℃、4℃以上となる換気回数 20、10、4、2、0.5 回 /h を其々の有効換気回数として通風性能評価 Grade ①～Grade ⑤の 5 段階に分類し、戸建住宅の通風性能を評価する。尚、通風性能評価 Grade

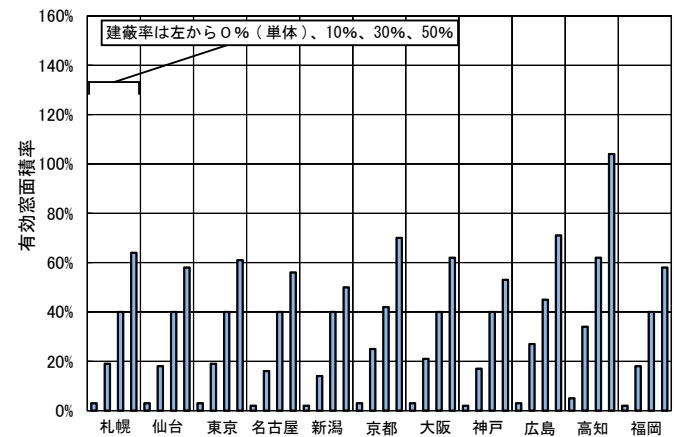


図 19 主要 11 都市における各建蔽率の有効窓面積率（標準住宅モデル（戸建）：Grade ②（有効換気回数 10 回 /h）、2 F）

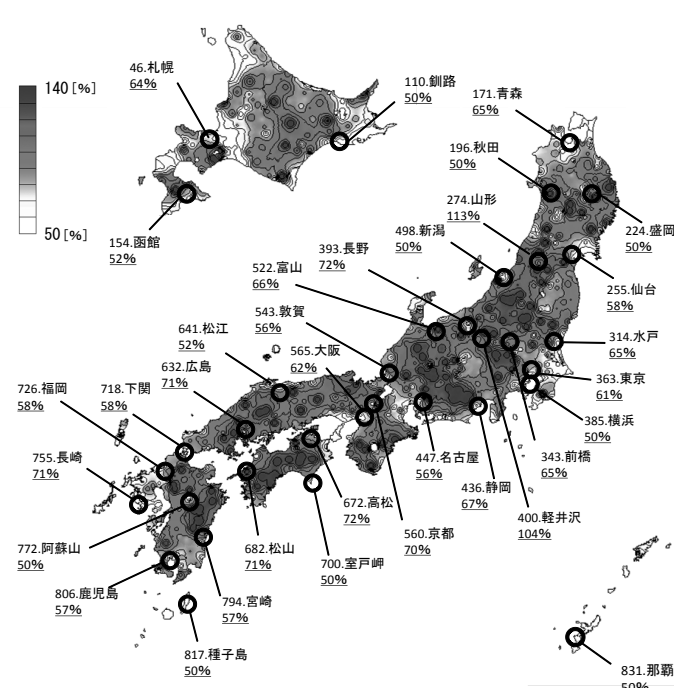


図 20 建蔽率 50%における有効窓面積率マップ（標準住宅モデル（戸建）：Grade ②（有効換気回数 10 回 /h）、2 F）

③～⑤では、日平均室内外温度差が比較的大きく、十分な室内環境改善効果を得られないと考えられるため、本章で有効窓面積率を算出する際に対象とする通風性能評価 Grade は①、②とする。

### 2.3.2 有効窓面積率

(1) 換気回数と窓面積率の関係：表6に各建蔽率の回帰式<sup>注9)</sup>と風向Sの寄与率を、図16に各建蔽率における換気回数と窓面積率の関係(風向S)を示す。建蔽率が高くなる程、傾きが小さくなる。建蔽率0%(単体)と建蔽率10、30、50%の換気回数の差は大きい。又、回帰式では風向により換気回数が大きく変化し、風向Sの寄与率は0.96以上となる。この回帰式を用いて、窓面積率を1%刻みとして換気回数を算出し、全国の有効窓面積率の分布を求める。

(2) 主要11都市における有効窓面積率(Grade①)：図17に2Fの主要11都市における各建蔽率の有効窓面積率を示す。どの地域でも建蔽率が高くなる程、有効窓面積率は高くなる。新潟や神戸などの風速の速い地域では有効窓面積率は5%(建蔽率0%)～100%(建蔽率50%)程度と比較的低く、京都や広島、高知などの風速の遅い地域では有効窓面積率は10%(建蔽率0%)～140%(建蔽率50%)程度と高い傾向がある。建蔽率50%では、東京、京都、広島、高知の4都市では有効窓面積率が140%を超えている。

(3) 有効窓面積率マップ(Grade①)：図18に建蔽率50%における有効窓面積率マップを示す。有効窓面積率は地域によって異なり、有効窓面積率は海沿いの地域で80～90%程度と相対的に低い傾向がある。これは海沿いの地域では風速が速いためと考えられる。また、他の内陸部などの地域では有効窓面積率が140%以上となっており、実現性のある値とは言い難い。

(4) 主要11都市における有効窓面積率(Grade②)：図19に主要11都市における各建蔽率の有効窓面積率を示す。どの地域でも建蔽率が高くなる程、有効窓面積率は高くなる。通風性能評価 Grade ①の場合と比較すると、有効窓面積率は実現性のある値であると考えられる。

(5) 有効窓面積率マップ(Grade②)：図20に建蔽率50%における有効窓面積率マップを示す。有効窓面積率は内陸部で70%程度と高く、海沿いの地域で50～60%程度と低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためと考えられる。通風性能評価 Grade ①の場合と比較すると、有効窓面積率が低い地域では実現性のある値となる。

## 3 通風性能簡易評価モデルを対象とした解析(第3編)

### 3.1 通風性能簡易評価モデルの作成

#### 3.1.1 対象とする戸建住宅の平面計画

対象とする戸建住宅の平面計画は大手ハウスメーカー7社が各社のホームページ<sup>注10)</sup>上に公開している平面計画8戸、ハウジング新潟<sup>文7)</sup>に掲載されている平面計画50戸の計58戸(2階建て56戸、1階建て2戸)とする。各平面計画を通風経路に着目して各階毎に分類し、モデル化を行うことで通風性能簡易評価モデルを作成する。

#### 3.1.2 通風経路のモデル化

実在住宅の平面計画は、風上側から風下側の室まで通気輪道が形成される際に、間仕切り壁や外壁の開口条件など通風経路上で相対的に大きな抵抗となる要素が存在する。本研究ではこの点に着目して類型化を行う。但し、トイレや浴室等の水回りは湿気や汚染物質、臭気などを拡散させないために通風時には扉を閉めると考え除外する。

#### 3.1.3 通風経路による実在平面計画のモデル化

(1) 平面計画の分類方法：図21に住宅平面計画の分類フローを、図22に通風経路のモデル化を示す。平面計画は各階において通風性能に影響を及ぼす間仕切り壁の数、中間室外壁の開口の有無、室間の開口の繋がり方の3要素について類型化を行う。平面計画はプランAからプランEの5つと通風に影響を及ぼす間仕切り壁が存在しないパターン(単純戸建住宅モデル)の計6つに分類することが可

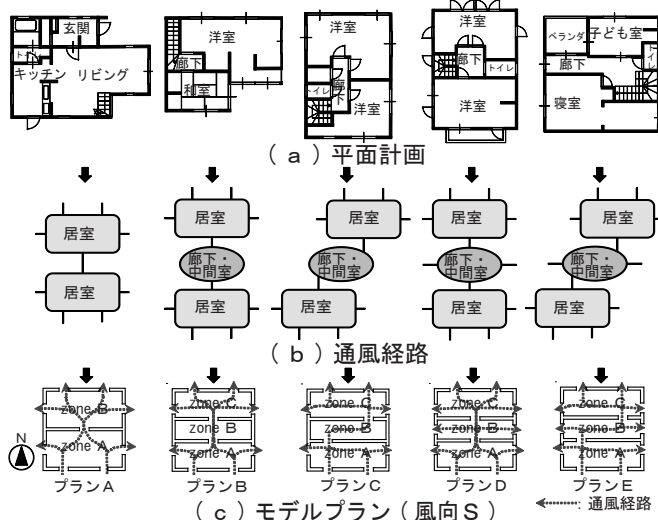
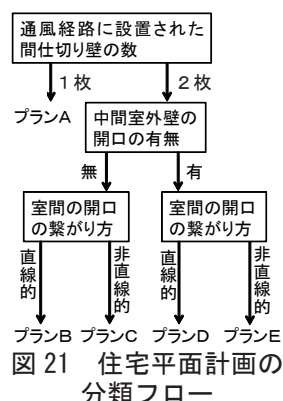


図22 通風経路のモデル化

能と考えられる。

(2) 各プランの割合：図 23 に対象とした平面計画における各プランの割合を示す。どの平面計画においても、各階の合計ではプラン E が 40% 程度と最も多く、1 階の平面計画ではプラン A も 32.8% と多い。これは 1 階の平面計画には LDK が配置される場合が比較的多く、間仕切り壁で室を区切らず大空間を設けているため、中間室が無い場合などが多いと考えられる。又、いずれの階においても、プラン B と C の合計は 10.4 ~ 23.2% 程度、プラン D と E の合計は 53.4 ~ 59% 程度であり、中間室にも開口が設けてある場合が多いと考えられる。

(3) 通風性能簡易評価モデル：図 24 にプラン E の平面図及び断面図を、図 25 に通風性能簡易評価モデルを示す。平面計画の類型化により通風性能簡易評価モデルを作成する。外壁の開口は一般的な窓の開放面積である  $0.81 \text{ m}^2$  ( $900\text{mm} \times 900\text{mm}$ ) を基準として各室に 4 箇所ずつ、プラン D、E では中間室に 2 箇所ずつ設ける。間仕切り壁の開口面積は  $1.62 \text{ m}^2$  ( $900\text{mm} \times 1800\text{mm}$ ) とし、プラン A、B、D は間仕切り壁中央部に、プラン C、E は外壁から 1200mm 内側に設ける。

### 3.2 解析概要

#### 3.2.1 解析条件

図 26 に街区モデルの概要を、表 7 に解析条件を示す。解析対象は通風性能簡易評価モデルプラン A ~ E とし、建蔽率は 0% (単体)、10%、30%、50% とする。各プランにおける基準窓面積率は、プラン A ~ C は 3.8<sup>注11)</sup>、7.7、11.5、23.0% とし、プラン D、E は 4.8<sup>注11)</sup>、9.6、14.4、28.8% とし解析を行う。街区モデル周辺は周期

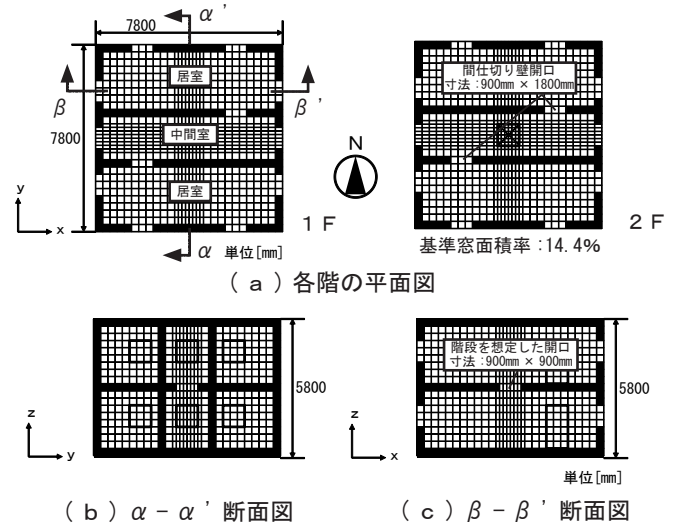


図 24 プラン E の平面図及び断面図

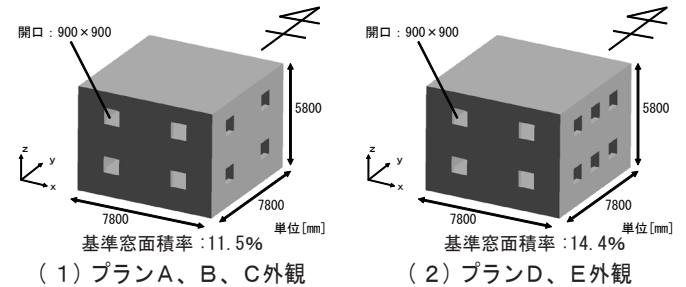


図 25 通風性能簡易評価モデル

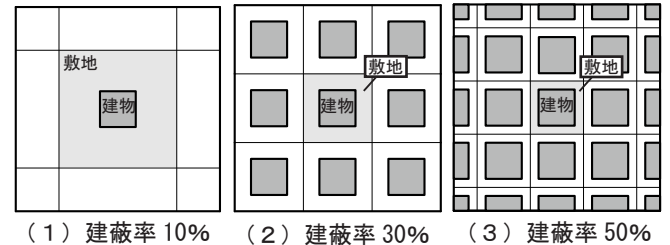


図 26 街区モデルの概要

表 7 解析条件

解析風向数	16風向	
解析領域メッシュ数	建蔽率0%(単体)	$56(x) \times 56(y) \times 37(z) = 116,032$
	建蔽率10%	$56(x) \times 56(y) \times 37(z) = 116,032$
	建蔽率30%	$56(x) \times 56(y) \times 37(z) = 116,032$
	建蔽率50%	$42(x) \times 42(y) \times 37(z) = 65,268$
室内解析メッシュ数	$30(x) \times 30(y) \times 19(z) = 17,100$	
延べ床面積[m <sup>2</sup> ]	111.69	
開口部総面積[m <sup>2</sup> ]	プランA、B、C	$0.9 \times 1.8 \times 16 = 25.9$
	プランD、E	$0.9 \times 1.8 \times 20 = 32.4$
基準窓面積率[%]	プランA、B、C	3.8、7.7、11.5、23.0
	プランD、E	4.8、9.6、14.4、28.8
境界条件	建蔽率0%(単体)	流入: 1/4乗則 (基準高さ6.5m、風速3.0m/s)
		流出: 自由流出
	建蔽率10%	流入・流出: 周期境界条件
	建蔽率30%	
建蔽率50%		
乱流モデル	標準k-εモデル(等温)	
熱損失係数[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	プランA、B、C	1.98
	プランD、E	2.11

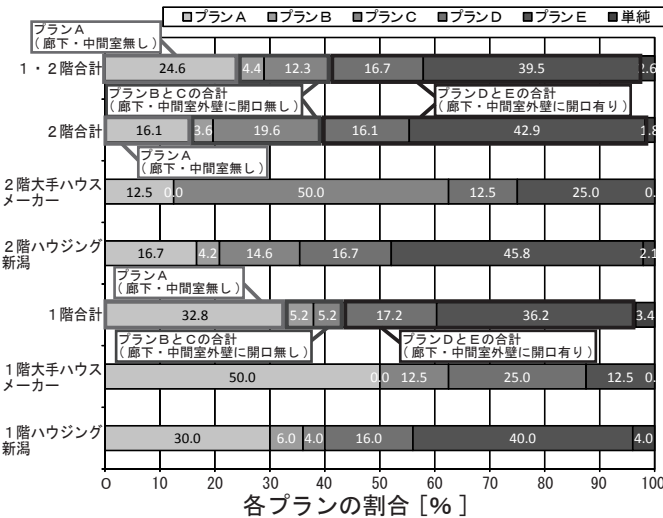


図 23 対象とした平面計画における各プランの割合



境界条件とし、標準住宅モデルと同様の解析手法を用いる。

(2) 実換気回数と実室間通風量の算出方法：解析対象モデルの室内外気流分布の解析は、標準  $k-\varepsilon$  モデルを用いた等温乱流数値流体解析（使用コード：CFD2000）により行う。CFD 解析により 16 風向別の開口部風速比を求める。開口部の風速比から換気回数及び室間通風量を算出し、各地域の風向・風速から実換気回数及び実室間通風量を算出する。

(3) 換気回数による通風性能評価：有効窓面積率を算出する際は、2.3.1(3) の換気回数による通風性能評価に基づき、自然通風による排熱効果によって各階の平均室内外温度差が  $1^{\circ}\text{C}$  未満となる Grade ①を対象とし、有効換気回数は 20 回/h とする。

(4) 各室の平均室内外温度差：換気回数による通風性能評価では、各階で換気回数を設定し、通風による室温低下効果の評価を行っている。しかし、実際の住宅では、全国各地域の風向・風速の変化によって各室の換気回数と室間通風量は時々刻々と変化するため、各室毎に通風による室温低下効果が異なると考えられる。

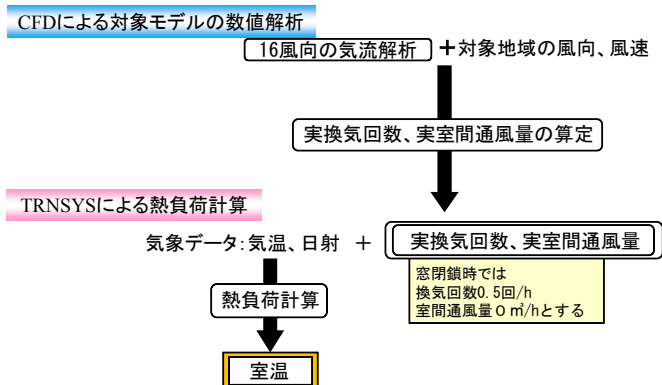


図 27 室温の算出フロー

そこで、各地域の風向・風速により、各室の換気回数と室間通風量を変化させて室温の解析を行い、通風量と室温の関係を明らかにする。

(5) 室温の解析方法：図 27 に室温の算出フローを示す。室温の算出には、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS を用いる。室温を解析する都市は札幌、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。気象データの気温、日射量、算出した実換気回数と実室間通風量から各室の室温を解析し、各基準窓面積率における各室の平均室内外温度差を非暖房期間・非就寝時<sup>注12)</sup>において算出する。

(6) 各窓面積率における実換気回数の算出：CFD 解析により 16 風向別の窓面の風速比を求め、窓面の風速比から基準風速（基準高さ 6.5m で 1.0m/s）での換気回数を算出する。換気回数と窓面積率はほぼ比例するので、算出した換気回数と窓面積率の回帰式を求め、窓面積率を 1% 刻みで変化させて換気回数を算出し、対象地

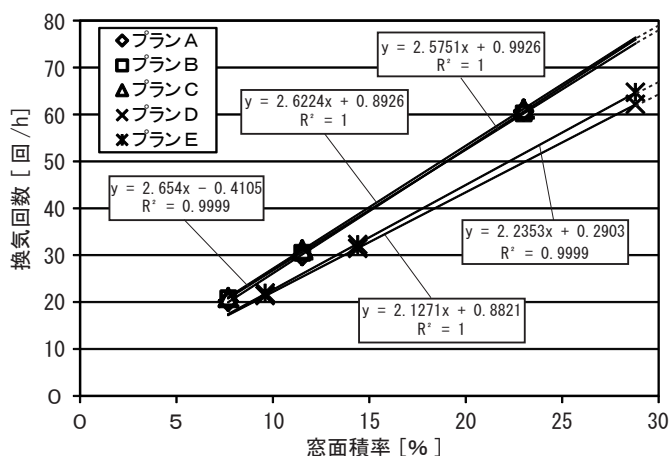


図 30 換気回数と窓面積率の回帰式及び寄与率（建蔽率 0%（単体）、風向 S、2 F）

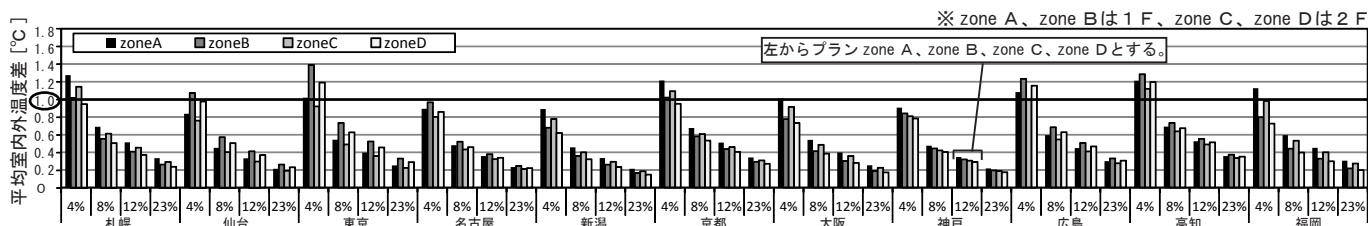


図 28 各室の基準窓面積率における平均室内外温度差（プラン A、非暖房期間・非就寝時）

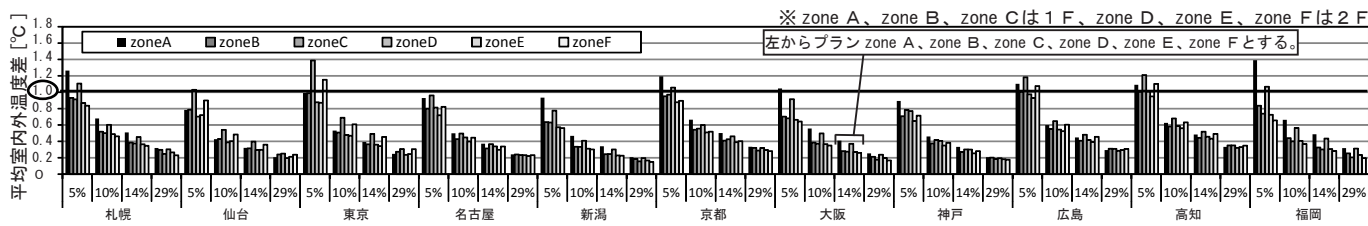


図 29 各室の基準窓面積率における平均室内外温度差（プラン E、非暖房期間・非就寝時）



域の風向・風速から各プランの各窓面積率における実換気回数を算出する。

(7) 有効窓面積率：有効窓面積率の定義は2章と同様とする。

### 3.3 建蔽率0%（単体）を対象とした解析結果

#### 3.3.1 通風量と室温の関係

図28、29にプランA及びEにおける各室の基準窓面積率における平均室内外温度差（非暖房期間・非就寝時）を示す。各室の平均室内外温度差は各地域の風向・風速により変化し、窓面積率が高くなる程、各室の平均室内外温度差の相違は少なくなる。各階における各室の平均室内外温度差の相違は、平均室内外温度差が1℃程度となる窓面積率4%（プランA）又は5%（プランE）の場合においても0.2～0.6℃程度と少ない。通風量が十分な場合、各階における各室の平均室内外温度差はほぼ

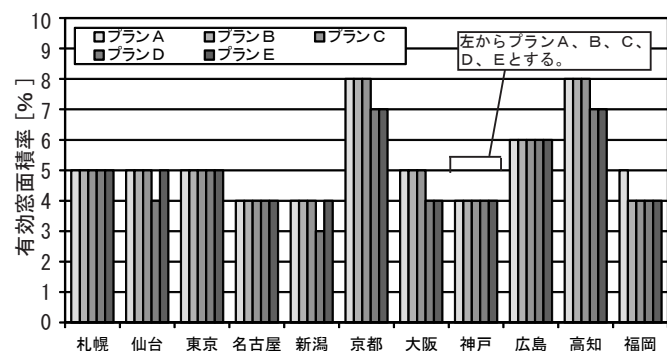


図31 11都市における有効窓面積率  
（建蔽率0%（単体）、2F）

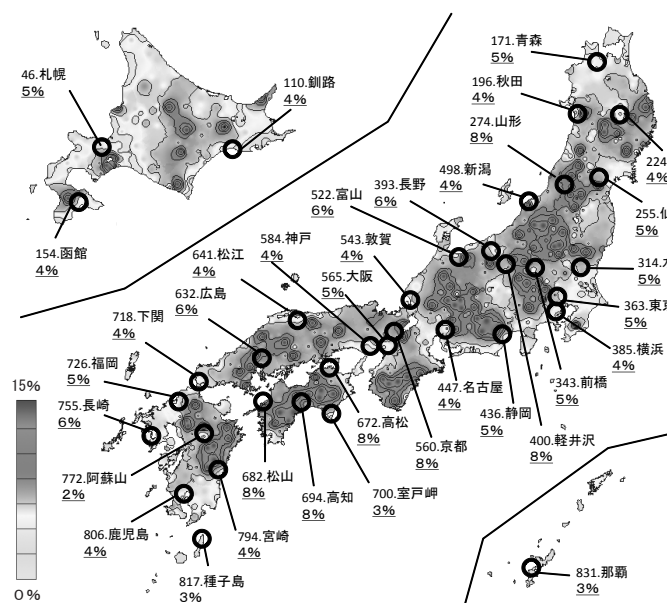


図32 プランAにおける有効窓面積率マップ  
（建蔽率0%（単体）、2F）

等しく、換気回数による通風性能評価は各階で行うことが可能であると考えられる。

#### 3.3.2 有効窓面積率

(1) 換気回数と窓面積率の関係：図30に換気回数と窓面積率の回帰式及び寄与率（風向S、2F）を示す。どのプランでも窓面積率に比例して、換気回数は増加する。又、風向Sの寄与率はどのプランにおいても0.99以上となる。この回帰式を用いて窓面積率を1%刻みで変化させて全国842地域における有効窓面積率の分布を求める。

(2) 11都市における有効窓面積率の比較：図31に11都市における有効窓面積率（建蔽率0%（単体）、2F）を示す。どのプランでも新潟や福岡などの風速の速い地域では有効窓面積率は4～5%程度と比較的低く、京都や高知などの風速の遅い地域では有効窓面積率は7～8%程度と比較的高い傾向がある。プランの相違による有効窓面積率の変化はどの地域でも1%程度である。

(3) 有効窓面積率マップ：図32、33にプランA及びEにおける有効窓面積率マップ（建蔽率0%（単体）、2F）を示す。有効窓面積率は風速の速い海沿いの地域では4%程度と低く、風速の遅い内陸部は10%程度と高い傾向がある。プランAとEを比較すると、有効窓面積率の分布には変化があまり見られない。建蔽率0%（単体）モデルでは、間仕切り壁や開口条件の違いによって通風性能はあまり変化しないと考えられる。

### 3.4 建蔽率10%、30%、50%を対象とした解析結果

#### 3.4.1 有効窓面積率

(1) 換気回数と窓面積率の関係：図34に各建蔽率に

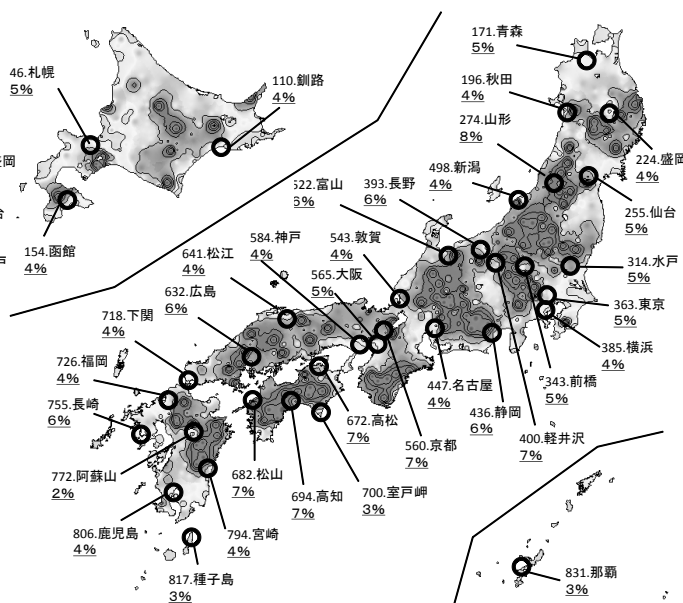


図33 プランEにおける有効窓面積率マップ  
（建蔽率0%（単体）、2F）

における換気回数と窓面積率の回帰式及び寄与率（プラン A・E、風向 S、2 F）を示す。換気回数は窓面積率に比例して増加し、風向 S の寄与率はどのプランでも 0.99 以上となる。この回帰式<sup>注9)</sup>を用いて全国 842 地域を対象に有効窓面積率を算出する。

（2） 11 都市における有効窓面積率の比較：図 35 に各建蔽率における 11 都市の有効窓面積率（プラン E、2 F）を示す。建蔽率が大きくなる程、有効窓面積率は高くなる。建蔽率 50% の 2 階では、有効窓面積率は新潟や福岡等の風速の速い地域においては 40 ～ 50% 程度と相対的に低く、京都や高知等の風速の遅い地域では 75 ～ 85% 程度と高い。

（3） 有効窓面積率マップ：図 36 にプラン E における有効窓面積率マップ（建蔽率 50%、2 F）を示す。有効窓面積率は地域によって異なり、内陸部、山間部では有効窓面積率が 100% 程度と高く、海沿いの地域では

40% 程度と相対的に低い傾向がある。これは、内陸部では風速が遅く、海沿いの地域では速いためと考えられる。

（4） 各プランの比較：図 37 に新潟における各プランの有効窓面積率を示す。プラン A ～ E を比較すると、建蔽率 50% では、プラン D、E がプラン A、B、C と比較して 5 ～ 15% 程度高い。しかし、建蔽率の変化による有効窓面積率の変化と比較してプランの相違による有効窓面積率の変化は小さい。本研究では、基準窓面積率を変化させて CFD 解析を行う際、間仕切り壁の開口面積（900mm × 1800mm）は一定としている。外部風を駆動力とした自然通風量は、通風経路上で最小面積となる開口部の抵抗による影響が相対的に大きいと、最小の開口面積が同じ場合、各プランで通風性能の変化は少ないと考えられる。

本研究による分類方法により、対象建物の平面計画

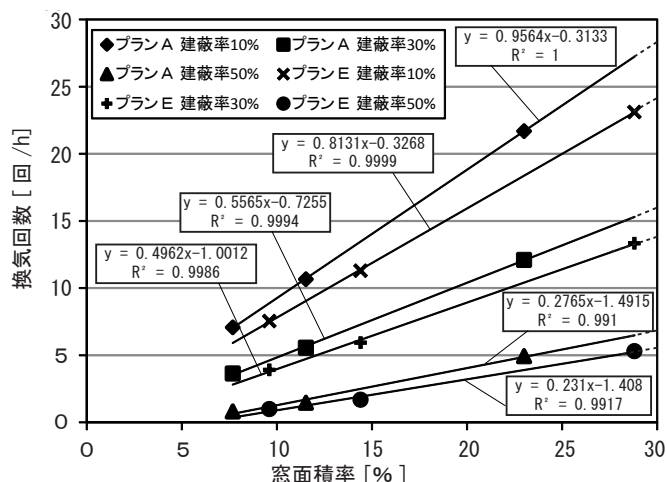


図 34 換気回数と窓面積率の回帰式及び寄与率（プラン A・E、風向 S、2 F）

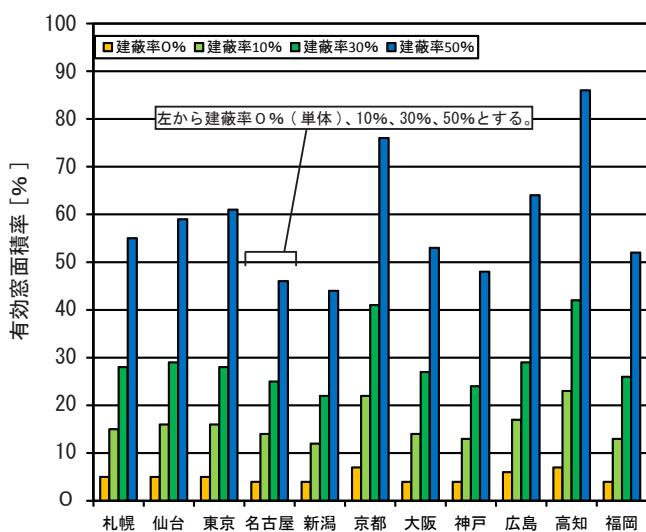


図 35 各建蔽率における 11 都市の有効窓面積率（プラン E、2 F）

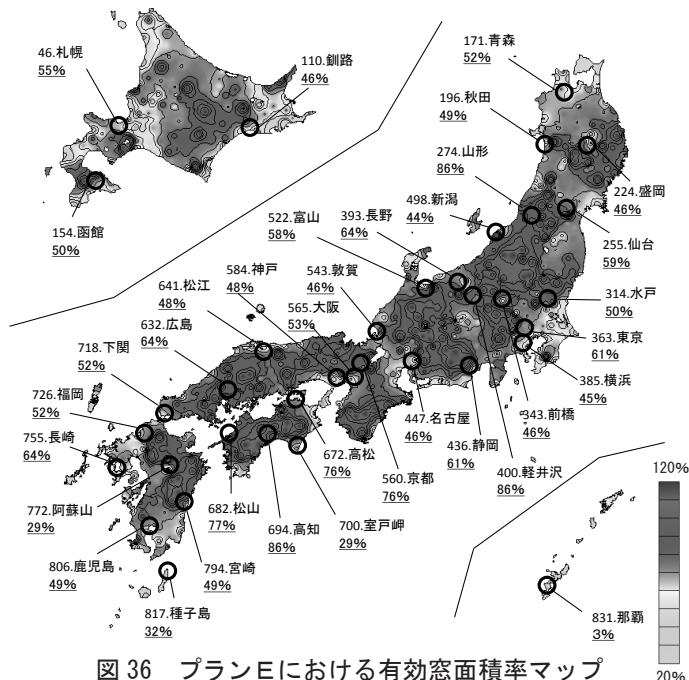


図 36 プラン E における有効窓面積率マップ（建蔽率 50%、2 F）

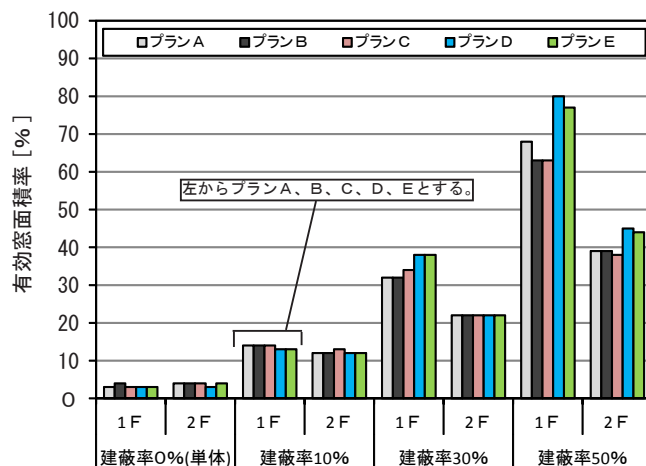


図 37 新潟における各プランの有効窓面積率

を通风経路に注目した各プランに分類し、建物の周辺状況に応じて各建蔽率における各地域の有効窓面積率を外壁開口面積の基準とすることで、比較的簡易・定量的に住宅の通风性能を評価することが可能であると考えられる。

3.5 有効窓面積率の通风性能評価指標としての妥当性の検討

3.5.1 解析方法

(1) 室内通风デグリアワー (CVDHI) の概念

図 38 に室内通风デグリアワー (CVDHI) の概念図を示す。CVDHI の算出方法は、先ず、窓開放 (実換気回数)、実室内気流速度時の SET\* ①、窓開放 (実換気回数)、基

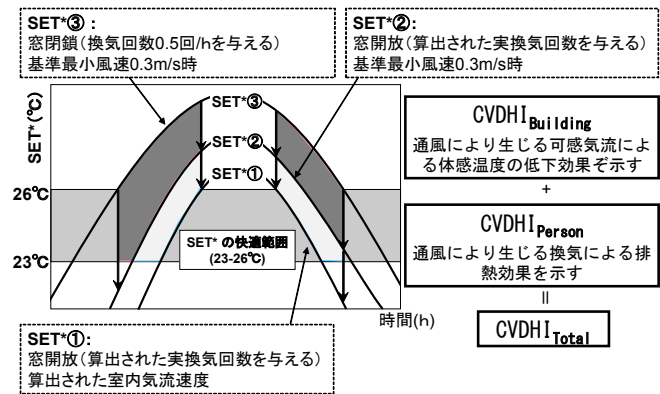


図 38 室内通风デグリアワー (CVDHI) の概念図

表 8 解析条件

解析風向数	16風向	
数値解析領域メッシュ数	$56(x) \times 56(y) \times 37(z) = 116,032$	
室内解析メッシュ数	$30(x) \times 30(y) \times 19(z) = 17,100$	
延床面積[m <sup>2</sup> ]	111.69	
開口部総開放面積[m <sup>2</sup> ]	プランA	$0.9 \times 1.8 \times 16 = 25.9$
	プランE	$0.9 \times 1.8 \times 20 = 32.4$
窓面積率[%]	プランA	11.5
	プランE	14.4
境界条件	流入: 1/4乗則 (基準高さ6.5m、風速3.0m/s) 流出: 自由流出	
乱流モデル	標準k-εモデル (等温)	
熱損失係数[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	プランA	1.98
	プランE	2.11

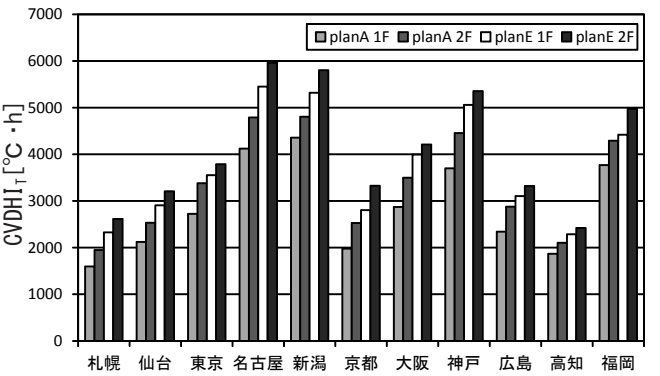


図 39 建蔽率 0% (単体) のプラン A、E における 11 都市の CVDHI<sub>T</sub>

準最小風速 (0.3m/s) 時の SET\* ②、窓閉鎖 (換気回数 0.5 回/h)、基準最小風速 (0.3m/s) 時の SET\* ③を算出する。

次に SET\* ③が快適範囲の上限である 26℃を上回る時刻、及び SET\* ①が 26℃を下回る時間を抽出する。快適範囲の下限値の SET\* を 23℃として、SET\* ①と SET\* ②の差を非暖房期間、非就寝時間で積算した値を CVDHI<sub>P</sub><sup>注 13)</sup>、SET\* ②と SET\* ③の差を非暖房期間、非就寝時間で積算した値を CVDHI<sub>B</sub><sup>注 14)</sup>、CVDHI<sub>P</sub> と CVDHI<sub>B</sub> の和を CVDHI<sub>T</sub> とする。CVDHI<sub>T</sub> は通风によって得られる体感温度の低下を含む室温低下効果を示す指標である。

(2) 室内通风デグリアワー (CVDHI) の算出

解析対象モデルの室内外気流分布の解析は標準 k-ε モデルを用いた等温乱流数値流体解析 (使用コード: CFD2000) により行う。CFD により 16 風向別の室内外風速比を求め、各地域の風向・風速から実室内気流速度及び実換気回数を算出する。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。算出した実換気回数と各地域の気象データから熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により、各室の室温、MRT、相対湿度を算出する。更に、SET\* ①、SET\* ②、SET\* ③を計算し、非暖房期間、非就寝時間において CVDHI<sub>P</sub>、CVDHI<sub>B</sub> を積算し、CVDHI<sub>T</sub> を算出する。CVDHI<sub>T</sub>

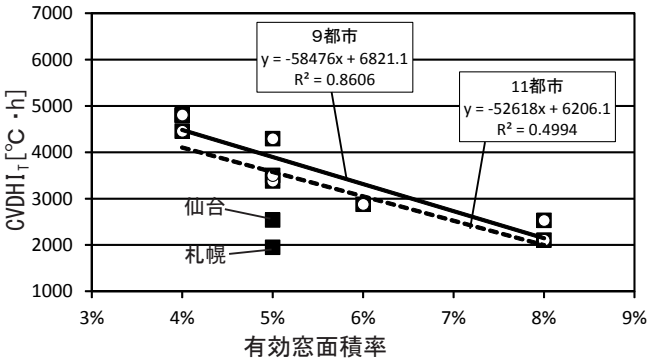


図 40 建蔽率 0% (単体) のプラン A における 有効窓面積率と CVDHI<sub>T</sub> の関係 (2 F)

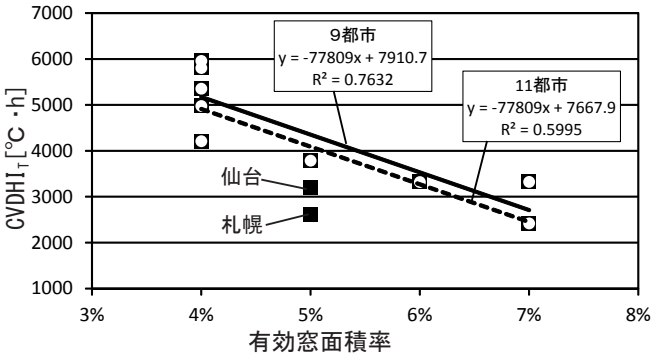


図 41 建蔽率 0% (単体) のプラン E における 有効窓面積率と CVDHI<sub>T</sub> の関係 (2 F)



と有効窓面積率を比較することで、両者の関係を明らかにする。

### (3) 解析条件

表8に解析条件を示す。解析対象は通風性能簡易評価モデルプランA、Eとし、建蔽率0%（単体）とする。対象都市は札幌、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。

### 3.5.2 解析結果

#### (1) CVDHI<sub>T</sub>の算出結果

図39に建蔽率0%のプランA、Eにおける11都市のCVDHI<sub>T</sub>を示す。非暖房期間の短い札幌や仙台ではCVDHI<sub>T</sub>は小さい。又、風速の速い新潟や福岡ではCVDHI<sub>T</sub>は大きく、風速の遅い京都や高知ではCVDHI<sub>T</sub>は小さい。両プランにおいてどの都市でも1FのCVDHI<sub>T</sub>と比較して2FのCVDHI<sub>T</sub>は大きい。これは1Fと比較して2Fの方が上空風の影響を受け、風速が速いためと考えられる。

#### (2) 有効窓面積率とCVDHI<sub>T</sub>の関係

図40に建蔽率0%のプランAにおける有効窓面積率とCVDHI<sub>T</sub>の関係（2F）を、図41に建蔽率0%のプランEにおける有効窓面積率とCVDHI<sub>T</sub>の関係（2F）を示す。有効窓面積率が高い地域程、CVDHI<sub>T</sub>が低い傾向がある。札幌、仙台を除いた非暖房期間の日数が比較的同程度の9都市では回帰式の寄与率が0.76～0.86程度と高く、両者の相関が高い。しかし、11都市では寄与率が0.50～0.60程度と比較的低くなる。これはCVDHI<sub>T</sub>は非暖房期間で積算するのに対し、有効窓面積率は各地域の非暖房期間に対する有効換気回数を満たす相対頻度により算出する為、非暖房期間の時間数が関係しないことが原因と考えられる。非暖房期間が比較的同程度の地域では、CVDHI<sub>T</sub>と有効窓面積率の相関が高いため、有効窓面積率は通風性能評価指標として妥当であると考えられる。

## 4 結論と今後の展望（第4編）

### 4.1 結論

#### 4.1.1 単純戸建住宅モデル

##### (1) 有効換気回数

- ①通風による換気回数が増える程、室温は外気温に近づき、十分に室温が低下する有効換気回数は20回/hとなる。
- ②対象とした建蔽率0%（単体）ではどの都市でも換気回数20回/h以上の相対頻度が90%を超えており、十分な室内環境改善効果が得られていると考えられ、ある程度の開口面積以上では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、非暖房期間における有効換気回数以上の換気回数の相対頻度が7割以上のときに室内環境改善効果が十分得られていると考え、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。

##### (2) 有効窓面積率

- ①建蔽率50%では有効窓面積率は内陸部で40～60%と高く、海沿いの地域で20～30%程度と低い傾向がある。これは内陸部は風速が遅く、海沿いの地域では速いためである。
- ②どの都市でも建蔽率が高くなる程、有効窓面積率は高くなる。

#### 4.1.2 標準住宅モデル

##### (1) 有効換気回数

- ①通風による換気回数が増える程、室温は外気温に近づき、十分に室温が低下する換気回数は20回/hとなる。
- ②換気によって得られる平均室内外温度差を基に、今回対象とした建物モデルで室温と外気温の差が1℃未満、1℃、2℃、3℃、4℃以上となる換気回数20、10、4、2、0.5回/hを其々の有効換気回数として通風性能評価Grade①～Grade⑤の5段階に分類し、戸建住宅の通風性能を評価する。

##### (2) 有効窓面積率（Grade①：有効換気回数20回/h）

- ①建蔽率50%では有効窓面積率が海沿いの地域で80～90%と低い傾向があるが、内陸部などの地域では140%を超える地域が多くなる。
- ②どの都市でも建蔽率が高くなる程、有効窓面積率は高くなる。
- ③建蔽率10%では有効窓面積率が30～50%程度と実現性のある値となるが、建蔽率30、50%では有効窓面積率は地域によって100%を超える。建蔽率50%では有効窓面積率が140%を超える地域が多く、実現性に乏しい値である。

##### (3) 有効窓面積率（Grade②：有効換気回数10回/h）

- ①建蔽率50%では有効窓面積率は内陸部で70%程度と高く、海沿いの地域で50～60%程度と相対的に低い傾向がある。
- ②通風性能評価Grade①の場合と比較すると、有効窓面積率は実現性のある値となる。

#### 4.1.3 通風性能簡易評価モデル

##### (1) 通風性能簡易評価モデルの作成

- ①平面計画は各階において通風性能に影響を及ぼす間仕切り壁の数、中間室外壁の開口の有無、室間の開口の繋がり方の3要素で類型化を行う。
- ②平面計画はプランAからプランEの5つと通風に影響

を及ぼす間仕切り壁が存在しないパターン（単純住宅モデル）の計6つに分類することが可能と考えられる。

- ③平面計画の類型化により通風性能簡易評価モデルを作成する。外壁の開口は一般的な窓の開放面積である  $0.81 \text{ m}^2$  として各室に4箇所ずつ、プランD、Eでは中間室に2箇所ずつ設ける。間仕切り壁の開口は  $1.62 \text{ m}^2$  とする。

#### （2） 建蔽率0%（単体）を対象とした解析結果

- ①各階における各室の平均室内外温度差の相違は、平均室内外温度差が  $1^\circ\text{C}$  程度となる窓面積率4%又は5%の場合においても  $0.2 \sim 0.6^\circ\text{C}$  程度と少ない。
- ②通風量が十分な場合、各階における各室の平均室内外温度差の相違は少なく、通風性能評価は各階で行うことが可能であると考えられる。
- ③どのプランでも新潟や福岡などの風速の速い地域では有効窓面積率は4～5%程度と比較的低く、京都や高知などの風速の遅い地域では有効窓面積率は7～8%程度と比較的高い傾向がある。
- ④プランの相違による有効窓面積率の変化は、どの地域でも1%程度であり、建蔽率0%（単体）モデルの場合は、どの地域でもプランによって有効窓面積率の差は少ないと考えられる。

#### （3） 建蔽率10%、30%、50%を対象とした解析結果

- ①有効窓面積率は新潟や福岡等の風速の速い地域では、相対的に低く、京都や高知等の風速の遅い地域では高い。
- ②建蔽率の変化による有効窓面積率の変化と比較してプランの相違による有効窓面積率の変化は小さい。
- ③戸建住宅における通風性能では、外壁開口条件及び間仕切り壁開口位置による平面計画の相違と比較して、通風経路上の最小開口面積の方が通風性能に与える影響が相対的に大きいと考えられる。
- ④本研究による分類方法により、対象建物の平面計画を通風経路に着目した各プランに分類し、有効窓面積率を基準とすることで、比較的簡易・定量的に住宅の通風性能評価することが可能であると考えられる。

#### 4.1.5 室内通風デグリアワー（CVDHI）と有効窓面積率の関係

- ①非暖房期間の短い札幌や仙台では  $\text{CVDHI}_T$  は小さい。
- ②風速の速い新潟や福岡では  $\text{CVDHI}_T$  は比較的大きく、風速の遅い京都や高知では  $\text{CVDHI}_T$  は小さい。
- ③比較的風速の速い2Fでは、1Fと比較して  $\text{CVDHI}_T$  が大きくなる。
- ④非暖房期間の時間数が比較的同程度の地域では有効窓面積率と  $\text{CVDHI}_T$  の相関が高く、有効窓面積率は通

風性能評価指標として妥当であると考えられる。

#### 4.2 今後の展望

本研究では、単純戸建住宅モデルと日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象に換気回数と室温の関係を解析し、有効換気回数を定義した。有効換気回数を満たす有効窓面積率を算出し、全国842地域における通風を十分得るために必要な窓面積率の算出を行った。更に、実在の戸建住宅の平面計画を類型化してモデル化し、5パターンの通風性能簡易評価モデルを作成した。各室の室温と通風量の関係を解析し、通風量が十分得られる場合、通風性能評価は各階で行うことが可能であることを明らかにした。室内通風デグリアワー（CVDHI）の算出結果から、換気による排熱効果に着目し、通風性能評価指標の一つである有効窓面積率を使用して、通風性能簡易評価モデルを対象に建蔽率の変化による各プランの通風性能評価を行い、各建蔽率における平面計画と通風性能の関係を明らかにした。詳細な通風性能評価指標の一つである室内通風デグリアワーと有効窓面積率の関係を解析し、有効窓面積率の通風性能評価指標としての妥当性の検討を行った。本研究による分類方法により、対象建物の平面計画を各プランに分類し、建物の周辺状況に応じて各建蔽率における各地域の有効窓面積率を開口面積の基準として参照することで、比較的簡易・定量的に通風性能評価することが可能であると考えられる。

今後の展望としては、現段階の解析手法では各戸建住宅モデルにおいて通風時の定常状態における気流性状の解析結果を基に通風性能評価を行っており、本来、瞬時的な変化を伴う自然通風の変動成分の定量的評価は行っていない。しかし、非定常な風向・風速の変動を含めた変動風は実際の通風効果に大きく影響を及ぼすことが考えられ、変動風を定量的に評価することは建築物の通風性能の定量的な評価手法及び通風の有効利用法を構築、検討する上では、極めて重要であると考えられる。近年では住宅の開口部に通風・換気促進装置としてのガイドベーンを設置し、積極的に住戸間を通り抜ける風を取り込むための設置方法の検討が行われつつある。しかし、この方法ではガイドベーンの設置位置によっては逆に換気量が低減される場合があり、今後、ガイドベーン設置方法による換気量の定量的評価が必要である。

又、これまでの温冷感評価指標、快適感評価指標は定常気流を対象としている。変動気流を平均化し、定常評価指標に当てはめた算出結果は、実際の自然通風の感覚と乖離している可能性があると考えられる。より実体験

に近い住宅の通風性能の定量的な評価手法や設計資料の作成が必要であると考えられる。

更に、外部風を主な駆動力とする自然通風においては、対象建物の立地条件が通風性能に大きく影響を及ぼし、実際の住宅の通風性能を評価する上では、対象建物の平面計画だけでなく、建蔽率を始めとした立地条件の評価が重要であると考えられる。現在は数値流体解析において、連続した住宅団地を対象にほぼ等間隔に配置した建物モデルにおいて建蔽率を変更して解析を行っている。しかし、実際の住宅団地内には公園や広場などの空き地が複数存在していること及び、対象建物は隣家と不等間隔に配置されることが考えられ、より実際に近い立地条件の評価を行うためには、建蔽率だけではなく、より具体的な評価指標として、対象建物外壁と隣接建物外壁との間隔等のモデル化を行い、評価指標として導入を検討する必要があると考えられる。

住宅の通風性能をより実体感的に評価を行うためには、数多くの課題があり、これらの課題を総合的に検討し、評価することで自然通風の有効利用方法、通風設計資料を作成することが期待される。

**注釈**

- 注1) 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。
- 注2) 本研究での建蔽率は、敷地面積に対する建築面積の割合でなく、道路の面積を含めたグロス建蔽率を用いている。
- 注3) 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。
- 注4) 開口部風速比の算出式は以下の通りである。

$$c = \frac{\bar{U}}{V} \quad [-] \quad \dots (1)$$

C:開口部風速比 [-]

$\bar{U}$ :開口面の直交方向の流速の平均値 [m/s]

V:軒高 (6.5m) の基準風速 (=3.0m/s) [m/s]

- 注5) SCHEDULE は空気調和衛生工学会「住宅の消費エネルギー計算法委員会」によって作成されたものである。
- 注6) 日平均室内外温度差の解析では予備解析として単純戸建住宅モデル・建蔽率0%・窓面積率19%の窓開放時（実換気回数）と窓閉鎖時（換気回数0.5回/h）の室温に関する解析を行っている。新潟と東京の解析結果によると、日平均外気温が最高の日（新潟：7月23日、東京：7月25日）において窓開放時の室内外温度差は新潟、東京ともに1℃未満であり、このことから換気回数20回/h程度の通風量の場合、自然通風による排熱効果は地域による差は少ないと考えている。
- 注7) 単純戸建住宅モデルの場合は建物①～④があるが、回帰式で殆ど差がないため、代表的なものとして建物①を示した。
- 注8) 建物単体と建物の周囲を建物が取り囲む場合では通風量は大きく変わる。建蔽率と通風量の関係については参考文献6)で報告している。
- 注9) 建蔽率10、30、50%があるが、数値解析領域メッシュを各建蔽率に合わせて境界条件を周遊させているため、建物は1戸しかないので、回帰式も各建蔽率・各風向で1つしかない。
- 注10) 大和ハウス工業 <http://www.daiwahouse.co.jp/>  
積水ハウス <http://www.sekisuihouse.co.jp/>  
住友林業 <http://sfc.jp/>  
セキスイハイム <http://www.sekisuiheim.com/>  
ミサワホーム [http://www.misawa.co.jp/index\\_h.html](http://www.misawa.co.jp/index_h.html)  
旭化成ホームズ <http://www.asahi-kasei.co.jp/j-koho/index.html/>  
パナホーム <http://www.panahome.jp/>
- 注11) 室温の算出においてのみ解析を行う。
- 注12) 非就寝時:24時から6時までを就寝時、それ以外の時間を非就寝時とする。
- 注13) CVDHI<sub>p</sub>は通風により生じる可換気流による体感温度の低下効果を示す。
- 注14) CVDHI<sub>h</sub>は通風により生じる換気による排熱効果を示す。
- 注15) 各地域の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。

**参考文献**

- 文1) 赤林・坂口・細野・久保 「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その15、16」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007年
- 文2) 赤林・坂口・山口 「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その17」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008年
- 文3) 赤林・坂口・細野・佐藤・久保 「室内気流分布を考慮した通風性能評価に関する研究」、日本建築学会環境系論文集No.633、pp.1261-1266、2008年
- 文4) 赤林・坂口・山口・川崎 「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その18～19」 日本建築学会北陸支部研究報告集、2009年
- 文5) 赤坂裕・二宮秀典他：日本建築学会拡張アメダス気象データ、日本建築学会、1999.12
- 文6) 赤林・佐々木・坂口・富永「通風性能の定量的評価手法に関する研究」、日本建築学会環境系論文集、No.568、pp.49-56、2003.6
- 文7) 新潟日報社 ハウジング新潟2000、2001、2002、2003、2011
- 文8) 赤林・坂口・有波・佐藤「戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究その23、24」 日本建築学会大会学術講演梗概集、2011年