

戸建住宅における通風性能評価指標に関する研究

F 0 1 G 5 2 2 A 笠原 結樹  
 指導教官 赤林 伸一 教授

1 研究目的

近年、地球温暖化問題を背景にして、住宅などの民生用エネルギーを減少させるために、自然エネルギーの有効利用を考慮した居住環境調整手法が注目されている。寒冷地を中心に普及してきた高气密・高断熱化住宅は、冬季の室内温熱環境の改善、暖房負荷の低減に対してその効果を発揮している。しかし、近年このタイプの住宅が比較的温暖な地域にも建設されるようになり、特に夏季における室内温熱環境の悪化、冷房用エネルギーの大幅な増加が懸念されている。省エネルギー手法の一つである通風を利用することは、居住者の体感温度を低下させることにより冷房の使用率を低下させる効果があり、今後の積極的な利用が望まれる。

ところで通風性能は、地域条件、立地条件、建物形状等に大きく影響され、定量的に評価することは極めて困難である。すなわち、通風性能を定量的に評価するためには、同一住宅モデルが過疎地に立地する場合と市街地に立地する場合や、同一住宅モデルが寒冷地から温暖地へ移動することによって、地域性の違いによる通風性能の変化を評価する事が可能な指標が必要と考えられる。

室内の気流分布に特に影響が大きいと思われる要素は、地域における気象条件(地域指標と定義)、建物周囲の状況(立地指標と定義)、建物の形状・窓の配置等の違い(建物性能指標と定義)の3要素と考えられる。本研究では、最終的にこの3つの指標を使用して総合的通風性能評価指標(図1)を提案することを目的とする。

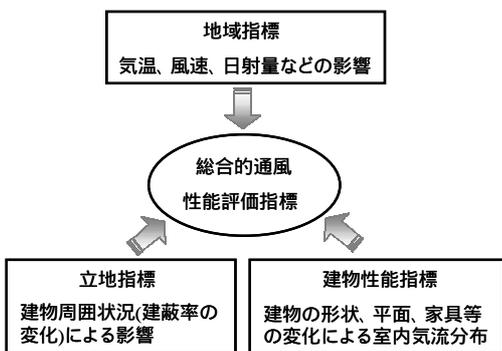


図1 通風性能評価指標の概念

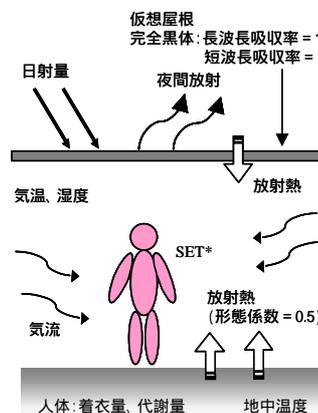


図2 地域評価指標の概念

2 地域指標

2.1 通風デグリアワーの定義 (CVDH: Cross Ventilation Degree Hour)

図2に地域評価指標の概念を示す。本研究では地域評価指標としてSET\*(新標準有効温度)を用いた通風デグリアワー(以下CVDH)を提案する。図3にCVDHの概念を、図4にCVDHの解析フローを示す。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。CVDH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

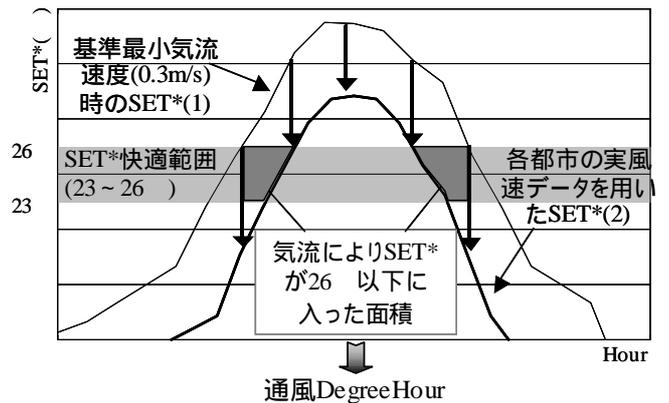


図3 通風デグリアワー(CVDH)の概念

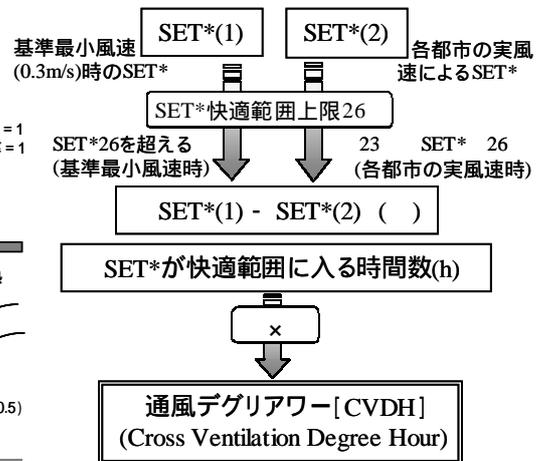


図4 通風デグリアワー(CVDH)の解析フロー

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\* の差 (SET\*(1) - SET\*(2)) を乗じて算出する。すなわち、CVDH 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。

## 2.2 解析条件

表 1 に CVDH 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を用い、全国 842 地点を対象に解析を行う。SET\* 算出に必要な気温、湿度、

表 1 CVDH 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	1 Met
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

気流速度、日射量等は標準年の気象データを使用する。CVDHの算出は非暖房期間の非就寝時を対象とする。非就寝時は、6時から23時と定義する。

## 2.3 解析結果

図 5 に全国の CVDH マップを示す。北から南下するに従い、相対的に CVDH は大きくなる。また、海沿いで大きく、内陸になるに従い小さくなる。北海道でも海沿いの松前では 4792 h、北陸の富来で 4769 h、新潟で 4849 h と CVDH は大きくなっている。これは内陸に比べ、海沿いの都市で風速が速く、通風による体感温度低下の効果が大きいことが原因である。

九州、沖縄における CVDH は特に大きく、九州の福岡で 5474 h、宮崎で 4149 h、沖縄ではほとんどの都市で 9000 h を超えている。これは北海道、東北地方等に比べ非暖房期間が相対的に長いいため、通風の効果が長期間得られることに起因する。

CVDH は各地域の通風による体感温度低下の効果が期待できる外部風のポテンシャルエネルギー量を示している。従って CVDH は非暖房期間の日数及び風速に大きな影響を受ける。

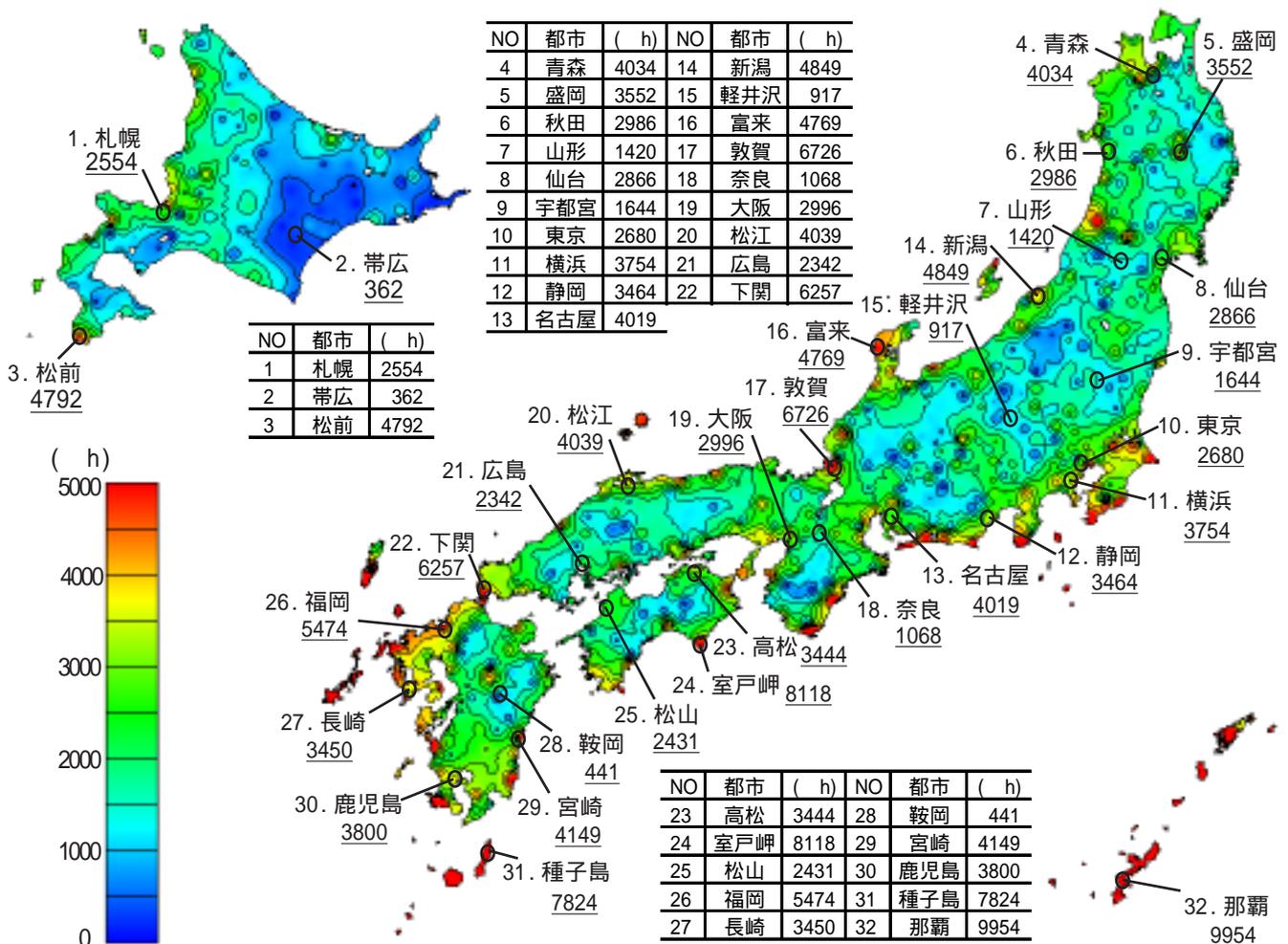


図 5 全国の通風デグリアワー(CVDH)マップ

## 2.4 地域指標の評価グレード

図6にCVDHの頻度分布を示す。CVDHは1000～2000hの都市が最も多く、全体の約3割を占める。表2に地域指標のグレードを示す。Grade1からGrade5まで5段階に分け、評価を行う。表中の都市は図5に示した主要な都市を示し、Grade1の都市は新潟、福岡、那覇等となる。

## 2.5 地域指標のまとめ

CVDHは各地域の通風による体感温度低下の効果を示す指標である。全国のCVDHマップを算出し5段階のグレードに分け評価指標を作成した。

CVDHは北から南の地域、また内陸から平野部、海沿いに行くに従い相対的に大きくなっている。CVDHは非暖房期間の日数、風速の速さに大きな影響を受け、非暖房期間が長い九州、沖縄の都市で特に大きくなる。

## 3 立地指標

住宅の通風性状は隣接建物の影響を強く受ける。本研究では建蔽率が通風性能に及ぼす影響を立地指標と定義する。

そこで、単純な住宅モデルを対象として、通風時の室内外気流分布、通風量を上空の風向、建蔽率をパラメータとして数値流体解析により明らかにし、総合通風性能評価指標の一つである立地条件(建蔽率)の変化に伴う室内気流分布、通風量の変化を定量的に評価することを目的とする。

### 3.1 解析対象

図7に対象とした単純住宅モデルの外観、メッシュ分割(平面)を示す。対象モデルには東西南北の各壁面に $0.81\text{ m}^2 (=0.9 \times 0.9)$ の窓が2ヶ所設置されている。

表2 地域指標のグレード

	CVDH( h)	主要都市の例
Grade1	4500以上	新潟、福岡、那覇等
Grade2	3000～4500未満	横浜、静岡、名古屋等
Grade3	2000～3000未満	札幌、東京、大阪等
Grade4	1000～2000未満	山形、宇都宮、奈良等
Grade5	0～1000未満	帯広、軽井沢、鞍岡等

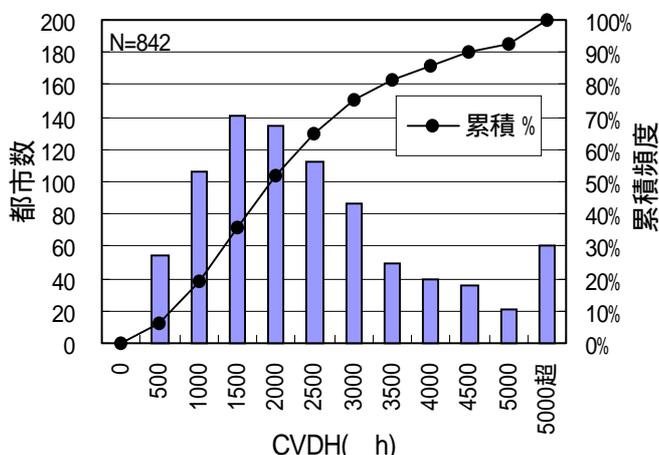


図6 CVDHの頻度分布

## 3.2 解析条件

乱流モデルには標準k-モデルを用いる。解析を行う建蔽率は0, 5, 10, 20, 30, 40%とする。建蔽率0%(単独建物)の流入風の鉛直分布は1/4乗則を仮定し、建蔽率0%以外は、計算領域が周囲に連続していると仮定して周期境界条件を採用し、計算領域最上部で一定風速を与え、流れの駆動力とした。解析風向は、解析対象モデルの対称性から、各建蔽率について風向S(N, E, W), SSW(NNE, ENE, ESE, SSE, SSW, WSW, WNW, NNW), SW(NE, SE, NW)の解析を行う。表3に解析条件を示す。

### 3.3 解析結果(建蔽率変化による通風量比)

図8に風向Sの建蔽率変化による各壁面窓の通風量比を示す。通風量比は風向S建蔽率0%の時の通風量を $Q_{0s}$ とし、各建蔽率の流入、流出風量を $Q_{os}$ で基準化して示す。

通風量比は建蔽率20%で建蔽率0%の約5割、建蔽率40%で建蔽率0%の約2割まで低下する。南側窓のみから流入し北側、東側、西側窓から流出する。

### 3.4 立地指標の評価グレード

図9に建蔽率と平均通風量比の関係を示す。平均通風量比とは各風向(16風向)の通風量比を単純平均したものである。例えば、ある住宅の立地する敷地が面する道路を含めた建蔽率が30%の場合、図9によりその住宅の立地指標は0.31となる。立地指標は対象住宅モデルが、周囲建物群から受ける影響を考慮した通風性能の評価指標となる。

表4に立地指標のグレードを示す。地域指標と同様に、図9に示した平均通風量比をGrade1からGrade5まで5段階に分け、評価を行う。例えば、対象となる住宅の立地する敷地が建蔽率10%の場合、その住宅の立地指標はGrade1となる。

表3 解析条件

乱流モデル	標準k-モデル
建蔽率(%)	0, 5, 10, 20, 30, 40(道路を含む)
風向	S, SSW, SW
室内解析メッシュ	26(x) × 26(y) × 14(z) = 9,464メッシュ
窓面積( $\text{m}^2$ )	0.81 (=0.9 × 0.9)

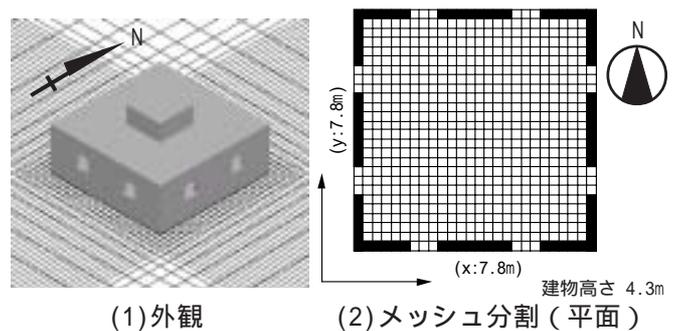


図7 単純住宅モデル

### 3.5 立地指標のまとめ

通風量比は建蔽率 20% では 0% と比較して約 5 割、40% では約 2 割まで減少する。

立地条件の評価指標として、16 風向の通風量比を単純平均した平均通風量比を算出した。建蔽率 0% を 1.00 として、建蔽率 20% では 0.43、40% では 0.19 となる。平均通風量比により 5 段階のグレードに分け立地指標を作成した。ある住宅の立地する敷地が建蔽率 10% の場合、その住宅の立地指標は Grade1 となる。

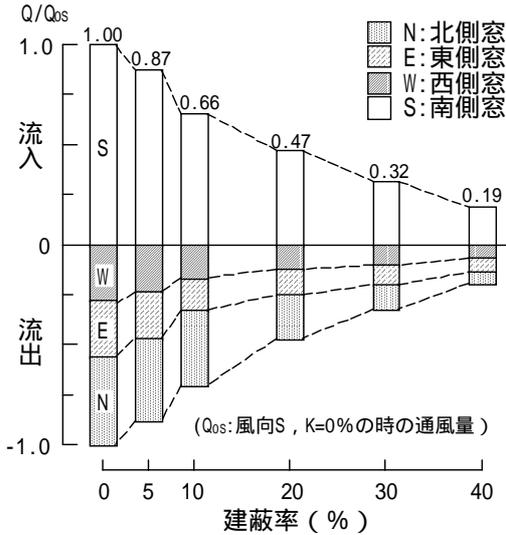


図 8 建蔽率変化による各壁面窓の通風量比 (風向 S)

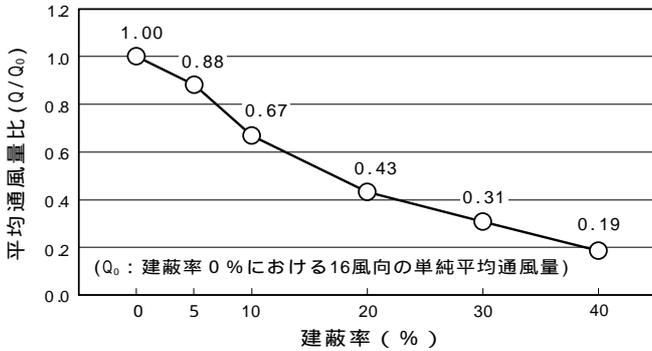


図 9 建蔽率と平均通風量比の関係

## 4 建物性能指標

室内の気流性状は、開口面積・位置、室内の間取り、家具等 (「建物性能」と定義) の影響を受けると考えられる。通風により居住者の体感温度低下の効果を考えるには、これらのパラメータを考慮し、居住空間において体感温度低下に効果的な気流速度を確保できるかを予測する必要がある。

そこで、単純住宅モデル及び実在住宅モデルについて、建物性能が室内の気流性状に与える影響を解析し、総合通風性能評価指標の一指標である建物性能指標を提案することを目的とする。

### 4.1 解析対象モデル

解析対象モデルは前項で示した単純住宅モデル及び実在住宅モデルを対象とする。単純住宅モデルは天窗の開閉したケースと天窗を閉鎖し側窓を半開したモデルの 3 ケース、実在住宅モデルは日本建築学会住宅用標準問題モデルと典型的な 3 つの住宅モデルの 4 ケースの解析を行う。

### 4.2 解析条件

解析手法は前項と同様である。表 5 に解析条件を示す。解析は 16 風向を対象に行う。建蔽率は 0% とし、流入風の鉛直分布は 1/4 乗則を仮定する。

単純住宅モデルでは天窗の開閉及び開口面積をパラメータとして解析を行う。実在住宅モデルにおいては開口部を全て開放し、建付家具を設置した状況で解析を行う。

### 4.3 解析結果

図 10 に実在住宅モデル A の平面メッシュ分割を、図 11 に実在住宅モデル A の鉛直気流分布 (風向 S) を示す。

表 4 立地指標のグレード

	平均通風量比	建蔽率 (%) の例
Grade1	0.60 以上	10
Grade2	0.40 ~ 0.60 未満	20
Grade3	0.30 ~ 0.40 未満	25
Grade4	0.20 ~ 0.30 未満	35
Grade5	0 ~ 0.20 未満	40

表 5 解析条件

モデル名	単純住宅モデル			実在住宅モデル			
	天窗閉鎖	天窗開放	天窗閉鎖、側窓半開	標準問題モデル	実在住宅モデルA	実在住宅モデルB	実在住宅モデルC
解析ケース	case-1	case-2	case-3	case-4	case-5	case-6	case-7
乱流モデル	標準k-						
解析風向	16風向						
室内解析メッシュ	26(x) × 26(y) × 14(z)	26(x) × 26(y) × 14(z)	44(x) × 44(y) × 25(z)	41(x) × 34(y) × 25(z)	35(x) × 45(y) × 28(z)	53(x) × 35(y) × 26(z)	66(x) × 45(y) × 27(z)
延べ床面積 (m <sup>2</sup> )	51.8	51.8	51.8	112.8	114.8	112.2	125.0
開口部総面積 (m <sup>2</sup> )	6.5	6.5	3.2	15.0	12.2	13.7	18.7
開口率 (%)	12.5	12.5	6.3	13.3	10.6	12.2	14.9
天窗の有無 (面積 (m <sup>2</sup> ))	無	有 (3.2)	無	無	有 (1.2)	無	無

図中の数字は基準高さ6.5mの風速を基準風速とする風速比を表す。1F, 2Fの南窓から流入した外気はリビングから吹抜けを通り、天窗から流出する通気輪道を形成している。また、1F北側のキッチンは風速比0.1以下の比較的遅い気流分布となっている。これは建付家具により、南側のリビングからの流入外気が遮られること、流入した外気の主流方向に対面する開口が無いこと等が原因と考えられる。

#### 4.4 建物性能指標の評価グレード

図12に各解析対象モデルにおいて16風向の風速を単純平均した風速の累積頻度を示す。本研究では“建物性能”を評価する尺度として、居住域における風速が0.3m/s以上の容積比を基準として評価を行う。ただし、居住域とは座位から立位の居住域付近である床上高さ0.5~1.5mとする。表6に居住域に対する平均風速0.3m/s以上の容積比を示す。

単純住宅モデルでは天窗閉鎖のcase-1で0.64、天窗開放のcase-2で0.86となり、天窗の効果により平均風速0.3m/s以上の容積比は大きくなる。天窗を閉鎖し側窓を半開したモデルのcase-3は0.10となり、開口率が

半減することで平均風速0.3m/s以上の容積比は大幅に減少する。

標準問題モデルのcase-4は0.62、実在住宅モデルAのcase-5は開口率が4ケースの中で最も小さい10.6%であるが、南側、北側に開口部が多いことや、天窗を有するため0.52となる。建物性能は開口位置・面積、間取りに大きな影響を受けており、これらの要素を考慮し、評価を行う必要がある。

表7に建物性能指標のグレードを示す。地域指標、立地指標と同様に、表6に示した居住域に対する平均風速0.3m/s以上の容積比をGrade1からGrade5まで5段階に分け、評価を行う。例えば、case-2(天窗開放)がGrade1、case-5(実在住宅モデルA)がGrade3となる。

#### 4.5 建物性能指標のまとめ

各対象モデルの解析結果から、開口の位置、面積の違いにより室内風速は異なり、建物性能が室内風速に及ぼす影響は大きいと考えられる。

居住域に対する平均風速0.3m/s以上の容積比を用いて5段階のグレードに分け、建物性能指標の評価指

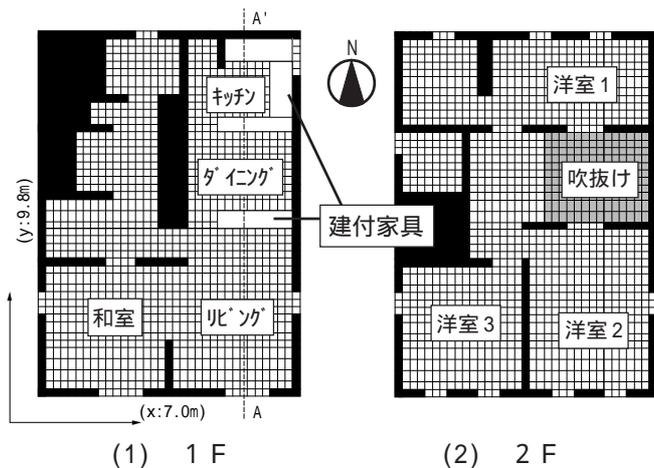


図10 メッシュ分割 (実在住宅モデルA, 平面)

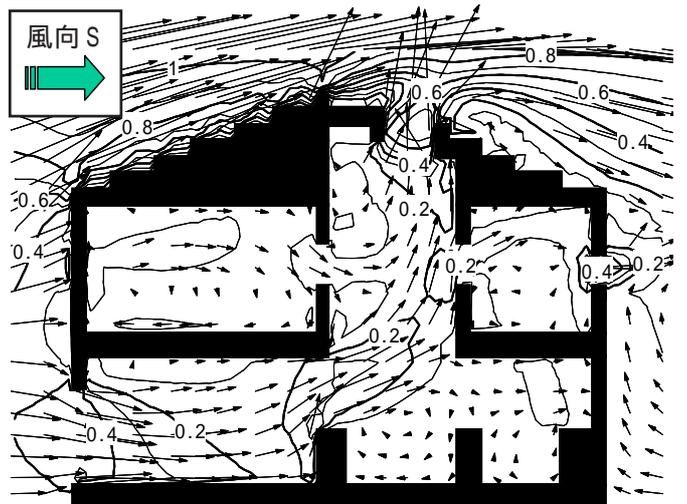


図11 鉛直気流分布 (実在住宅モデルA, 風向S)

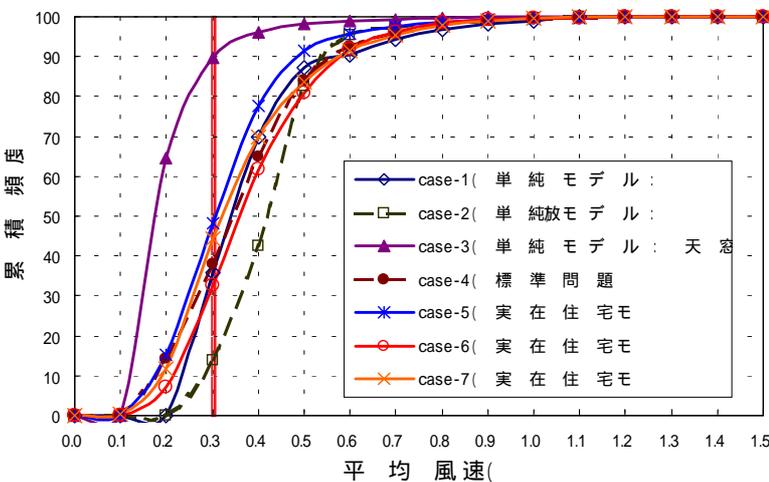


図12 平均風速の累積頻度

表6 平均風速0.3m/s以上の容積比

解析ケース	case-1	case-2	case-3	case-4
風速0.3m/s以上の割合	0.64	0.86	0.10	0.62
解析ケース	case-5	case-6	case-7	
風速0.3m/s以上の割合	0.52	0.68	0.56	

表7 建物性能指標のグレード

	風速0.3m/s以上の割合	解析ケースの例
Grade1	0.8以上	case-2
Grade2	0.6~0.8未満	case-1,4,6
Grade3	0.4~0.6未満	case-5,7
Grade4	0.2~0.4未満	-
Grade5	0~0.2未満	case-3

標を作成した。単純住宅モデルのcase-2(天窓開放)がGrade1となる。

## 5 総合通風性能評価指標の提案

本項では地域指標、立地指標、建物性能指標の3指標を統合した総合通風性能評価指標の提案を行う。

### 5.1 評価方法

3指標のグレードを単純平均したものを総合通風性能評価指標のグレードとする。最高値でGrade1.0、最低値でGrade5.0とし、値が小さいほど通風性能が良いことを示す。

### 5.2 総合通風性能評価指標の評価

表8に総合通風性能評価指標の例を示す。case-1~3が東京、case-4~7が新潟に建てられていると仮定する。立地指標はどのケースも建蔽率30%の敷地と仮定する。

総合通風性能評価指標はcase-4とcase-6が最も通風性能が良くGrade2.0、また最も通風性能が悪くなるのはcase-3でGrade3.7となる。

### 5.3 総合通風性能評価指標の検証

検証には、単純住宅モデルの3ケースを対象に室内におけるCVDHの分布を算出する。CVDHの分布は地域指標同様、CFD解析結果と対象地域の気象データ等からSET<sup>®</sup>算出に必要な要素を求め作成する。室内CVDHの分布は対象モデルごとに詳細なシミュレーションを行っているため、通風性能の評価指標として信頼性が高いと考えられる。

表8 総合通風性能評価指標の例

解析ケース	地域指標	立地指標	建物性能指標	総合通風性能評価指標
case-1	Grade3 (東京と仮定)	Grade3 (k=30%と仮定)	Grade2	Grade2.7
case-2	Grade3 (東京と仮定)	Grade3 (k=30%と仮定)	Grade1	Grade2.3
case-3	Grade3 (東京と仮定)	Grade3 (k=30%と仮定)	Grade5	Grade3.7
case-4	Grade1 (新潟と仮定)	Grade3 (k=30%と仮定)	Grade2	Grade2.0
case-5	Grade1 (新潟と仮定)	Grade3 (k=30%と仮定)	Grade3	Grade2.3
case-6	Grade1 (新潟と仮定)	Grade3 (k=30%と仮定)	Grade2	Grade2.0
case-7	Grade1 (新潟と仮定)	Grade3 (k=30%と仮定)	Grade3	Grade2.3

表9 室内CVDHの居住域平均値

モデル名	居住域平均CVDH (h)
単純住宅モデル (東京, 天窓閉鎖)	514
単純住宅モデル (東京, 天窓開放)	678
単純住宅モデル (東京, 天窓閉鎖, 側窓半開)	123
単純住宅モデル (新潟, 天窓閉鎖)	944
単純住宅モデル (新潟, 天窓開放)	1322
単純住宅モデル (新潟, 天窓閉鎖, 側窓半開)	291

表9に東京、新潟における室内CVDHの居住域平均値を示す。風速等の気象条件から新潟に立地し天窓を開放したモデルが最も居住域平均CVDHの値が大きく1322hとなる。

図13に単純住宅モデルを対象にして、3つの指標から求めた総合通風性能評価指標と居住域平均CVDHの相関関係を示す。相関係数は0.85となり、両指標の相関関係は比較的高いといえる。

### 5.4 まとめ

戸建住宅の通風性能を定量的に評価するための指標として、地域指標、立地指標、建物性能指標の3指標を用いて総合通風性能評価指標の提案を行った。単純住宅モデルを対象に、3指標による総合通風性能評価指標と居住域平均CVDHとの相関関係を示した。相関係数は0.85となり、総合通風性能評価指標は簡易的に通風性能を評価できる有効な指標であると考えられる。

## 6 結論

- (1)地域指標として通風デグリアワー(CVDH)を提案し、全国のCVDHマップを作成し5段階によりグレード分けを行った。
- (2)立地指標として単純住宅モデルを対象に建蔽率変化による平均通風量比を算出し、5段階のグレード分けを行った。
- (3)建物性能指標として建物性能が室内気流性状に及ぼす影響を解析し、居住域に対する平均風速0.3m/s以上の容積比を用いて5段階のグレード分けを行った。
- (4)地域指標、立地指標、建物性能指標の3指標を単純平均した総合通風性能評価指標を提案した。また、単純住宅モデルを対象に3指標から算出した総合通風性能評価指標と居住域平均CVDHの相関関係から、総合通風性能評価指標が通風性能を評価するのに有効な指標であることを確認した。

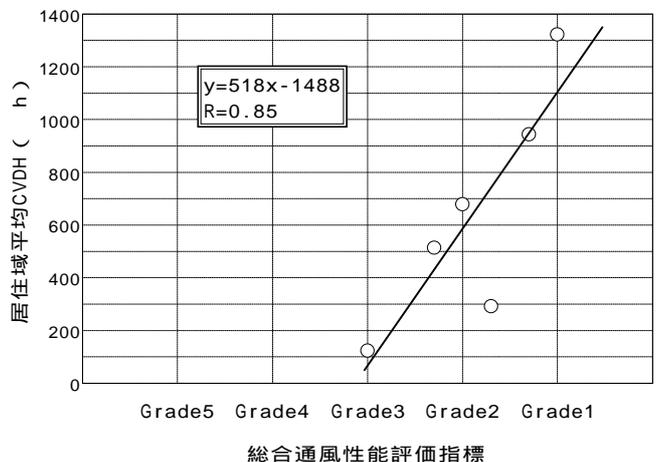


図13 総合通風性能評価指標と居住域平均CVDHの関係