戸建住宅における通風性能評価指標に関する研究

答原 結樹 教授 指導教官 赤林 伸一

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気密・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。

日射量

気温、湿度

気流

図 2



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



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、

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)		
	0.5clo(7~9月)		
着衣量	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		

表1 CVDHの解析条件

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 ~ 2000

h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 にい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 m²(=0.9 × 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	橫浜、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



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_{os}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メังงับ		
窓面積(m ^²)	0.81 (=0.9×0.9)		
(1)外観	(1) (w; 2: A) (x: 7. 8m) (2) メッシュ分割(平面)		

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窓の開 閉したケースと天窓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窓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。

	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4 立地指標のグレード

	ψ.	
表 5	解析条件	

エデルタ		単純住宅モデル		実在住宅モデル			
	天窓閉鎖	天窓開放	天窓閉鎖,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	レ 標準k -	標準k -	標準k -	標準k -	標準k -	標準k -	標準k -
解析風向	16風向	16風向	16風向	16風向	16風向	16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)	$44(x) \times 44(y) \times 25(z)$	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 ^²) 51.8	51.8	51.8	112.8	114.8	112.2	125.0
開口部総 面積(㎡)	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
 天窓の有無 (面積(㎡))	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、天窓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窓閉鎖の case-1 で 0.64、天窓 開放の case-2 で 0.86 となり、天窓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。天窓を閉鎖し側 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、天窓を有する 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(天窓開放)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 11 鉛直気流分布 (実在住宅モデル A, 風向 S)

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
	紀 た ケーフ	0000 F	0000 6	0000 7	
	所们 ワース	case-5	Case-0	case-7	
-	<u>解析9-ス</u> 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[®]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。

解析ケース	地域指標	立地指標	建初性能 指標	總百通風性能 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8 総合通風性能評価指標の例

财务 化合适用性能

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1322 h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