

住宅を対象とした通風性能に関する研究
- 室内通風デグリアワーによる通風性能評価手法の提案 -

F06D042A 細野淳美
指導教員 赤林伸一教授

1 研究目的

近年、CO₂などの排出増加に伴う地球温暖化対策を背景にして、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いる。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や評価は重要であると考えられる。そこで、自然エネルギーの有効利用の1つである通風を利用し、室内居住環境を改善させることは、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、通風による効果は、地域による上空風速や気温等の気象条件、建物の周囲状況、建物の形状・窓開口部の大きさや配置・シェルター性能等に大きな影響を受けるが、これらの条件を考慮して通風性能を定量的に評価している例は極めて少ない。

本研究では、戸建住宅モデルを対象として開口条件を変化させた場合及び、集合住宅モデルを対象としてシェルター性能を変化させた場合で通風性能評価を行い、更に、通風で削減可能な冷房用エネルギーを求め、開口条件、シェルター性能等が通風性能に与える影響や、通風を利用することによる冷房負荷削減効果を明らかにすることを目的とする。

2 研究概要

2.1 室内通風デグリアワーの定義 (Cross Ventilation Degree Hour of Indoor: CVDHI)

図1に通風時の室内において人体に影響を及ぼす外的要因を、図2に室内通風デグリアワー (CVDHI) の算出方法の概要を、図3にCVDHIの解析フローを示す。最初に窓閉鎖時(換気回数0.5回/h)のSET*の時間変化を計算する。次にSET*において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室内気流速度と換気回数を与えたSET*を算出し、SET*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、算出された換気回数を与え、気流速度を0.3m/sとした時のSET*を計算し、SET*とSET*との差を非暖房期間の非就寝時(6~23時)で積算した値をCVDHI_Bと定義する。また、SET*とSET*との差を非

暖房期間の非就寝時で積算した値をCVDHI_Pと定義する。CVDHI_BとCVDHI_Pを合計した値をCVDHI_Tと定義する。

定義より、CVDHI_Bは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を示し、CVDHI_Pは通風によって生じる可感気流による体感温度低下の効果を示す。CVDHIは室内に滞在する人体の通風による体感温度等の低下効果を評価する手法である。

2.2 解析条件

表1に戸建住宅モデルのCFD解析条件とシェルター性能を、表2に戸建住宅モデルの解析caseを示す。戸建住宅モデルは日本建築学会標準住宅モデルを用い、開口条件を変化させた21ケースで解析を行う。対象地域は全国842都市である。図4に集合住

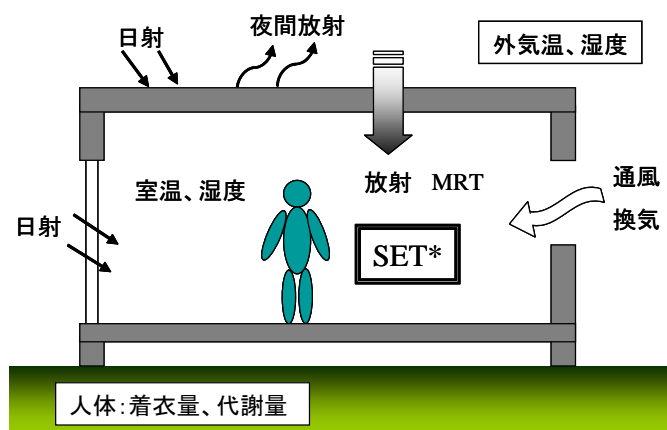


図1 室内において人体に影響を及ぼす外的要因

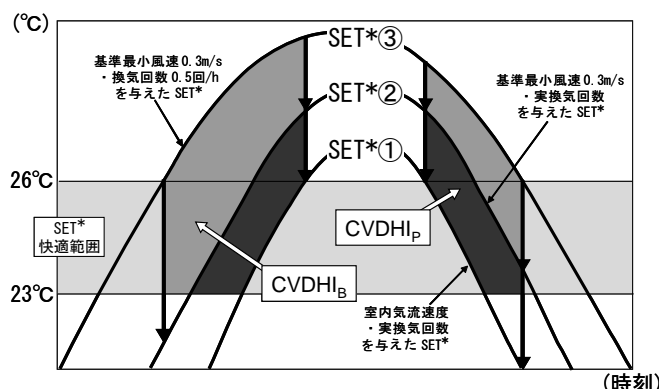


図2 室内通風デグリアワー(CVDHI)の算出方法の概要

宅モデルの外観パースと住戸番号及び平面図を、表3に集合住宅モデルのCFD解析条件とシェルター性能を示す。集合住宅モデルではシェルター性能を変化させて解析を行う。対象地域は全国11都市である。図5に東京、新潟における風向別累積風速^{注1)}を示す。新潟では北北東からの風の頻度が高く、東京では南からの風の頻度が高い。図6に外気温の累積頻度を、図7に風速の累積頻度を示す。東京と比較して新潟では外気温が低い頻度と風速の速い頻度が高い。

2.3 解析方法

2.3.1 CVDHIの解析方法

はじめに標準k-εモデルを用いたCFD解析により通風時の室内気流分布を計算する。CFD解析は計算負荷が大きいため、気象データを用いた非暖房期間の非定常非等温シミュレーションを行うことは困難である。そのため、対象モデルの16風向の室内風速比分布をCFD解析(等温解析^{注2)})で算出し、室内風速比と地域の風向、風速より室内の気流分布を、開口部風速と地域の風向、風速より対象モデルの換気回数を求める。次に、日本建築学会拡張アメダス気象データ標準年の各地域の気温、湿度、日射量と上記の換気回数から

ら、熱負荷シミュレーションソフトTRNSYSを使用し、SET*の算出に必要な室温、MRT、湿度を計算する。代謝量を1.0Met、着衣量は7月~9月は0.5clo、12月~2月は1.0clo、その他の期間は0.75cloと仮定し、室内のSET*を求める。求められた要素から、CVDHIの定義に従い、CVDHI_P、CVDHI_B、CVDHI_Tを算出し、通風性能を評価する。

2.3.2 冷房負荷削減効果の解析方法

16風向別の室内風速比分布を標準k-εモデルを用いた数値流体解析手法(CFD2000)により算出する。熱負荷シミュレーションソフトTRNSYSにより、対象モデルの室温、MRT、相対湿度を算出する。通風を行わない場合の室内のSET*が26℃以上で、通風を行った場合の室内のSET*が26℃より低い範囲に入る時間帯を通風利用可能時間とする。次に対象モデルの室温設定温度を26℃として年間冷房負荷を算出する。この冷房負荷を元に通風利用可能時間における年間冷房負荷を抽出する。年間冷房負荷から通風利用可能時間における冷房負荷を減じることによって、削減可能な冷房用エネルギーを求め、通風を利用することによる冷房負荷削減効果を明らかにする。

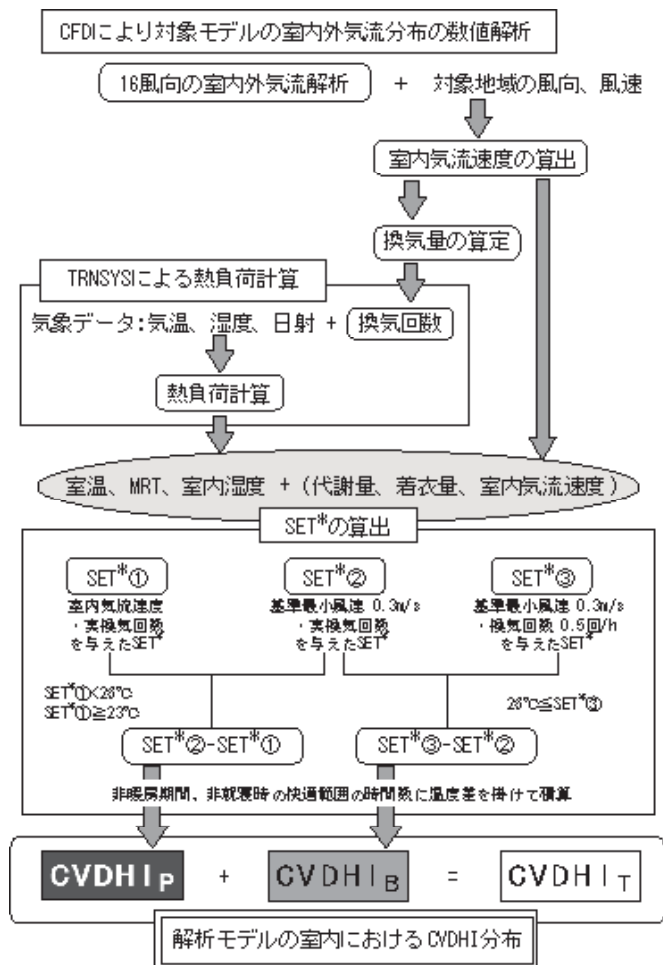
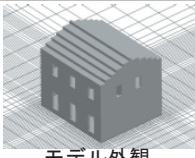
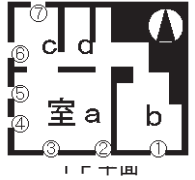



図3 室内通風デグリアワー (CVDHI) の解析フロー

表1 戸建住宅モデルのCFD解析条件とシェルター性能

建設型	0% (周囲に建物がない)		
風向	16風向		
数値解析領域	77(x) × 70(y) × 4(z)		
室内解析メッシュ	41(x) × 34(y) × 23(z)		
延べ床面積(m ²)	112.8		
総開口面積(m ²)	15.0		
居室部分床面積(m ²)	69.2		
境界条件	流入: 1/4噴速 (基準高さ6.5m, 風速3.0m/s)		
境界条件	自由流出		
乱流モデル	標準k-εモデル		
壁名称	構成材	熱貫流率[W/(m ² ·K)]	熱損失係数[W/(m ² ·K)]
外壁	石膏ボード・ネオマフォーム・合板・モルタル	0.408	1.97
屋根	石膏ボード・セルローズファイバー・合板・スレート	0.209	
1F床	合板・グラスウール	0.337	
2F床	カーペット・合板・石膏ボード	1.910	
内壁	石膏ボード	2.287	
窓	ガラス	5.800	

表2 戸建住宅モデルの解析 case

解析対象モデル	case番号	閉鎖開口
 モデル外観  1F 平面図  2F 平面図 ※○数字は開口位置を示す	case00	なし
	case01	①
	case02	②
	case03	③
	case04	④
	case05	⑤
	case06	⑥
	case07	⑦
	case08	⑧
	case09	⑨
	case10	⑩
	case11	⑪
	case12	⑫
	case13	⑬
	case14	⑭
	case15	⑮
	case16	⑯
	case17	⑰
	case18	⑱
	case19	⑲
case20	⑳	

3 戸建住宅の開口条件と通風性能に関する検討

図8、9に新潟、東京における標準住宅モデル2Fのcase00のCVDHI分布^{注3)}と平均CVDHI^{注4)}を示す。新潟、東京のCVDHI_P、CVDHI_B、CVDHI_T共に、室内気流が速くなる開口部周辺、間仕切り部周辺、通気輪道上でCVDHIの大きい領域が見られる。平均CVDHI_Pは平均CVDHI_Bに比べ5%程度である。新潟は東京に比べ相対的にCVDHIが大きく、平均CVDHI_Tも新潟の方が大きい。新潟では南側に比べ北側の部屋でCVDHI_{P,B}の大きい領域が広がっている。室h(2F北東)に着目すると、新潟では間仕切り部と窓⑭を結ぶ領域でCVDHI_{P,B}が大きくなるが、東京では間仕切り部と窓⑮を結ぶ領域でCVDHI_{P,B}が大きくなる。図5に示す新潟の風向別累積風速では、北北東風の累積風速が大きく、建物の北北東面にある窓⑭から流入し、間仕切り開口部に吹抜けるため、両者を結ぶ領域でCVDHI_{P,B}が大きくなると考えられる。また、東京では南風の累積風速が大きいため、南側の部屋からの風が室hの間仕切り開口部に吹抜け直進し、窓⑮から屋外へ流出するため、この領域でCVDHI_{P,B}が大きくなると考えられる。

図10、11に新潟、東京において窓を部分的に閉鎖し

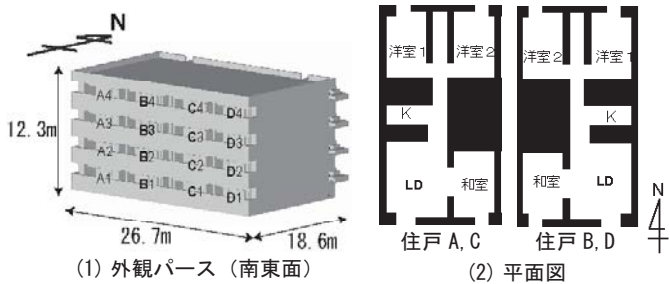


図4 集合住宅モデルの外観パースと住戸番号及び平面図

表3 集合住宅モデルのCFD解析条件とシェルター性能

建設率	0%(周囲に建物がない)	
解析風向数	9風向	
数値解析領域	129(2)×102(y)×58(z)	
室内解析メッシュ	89(2)×62(y)×44(z)	
総延床面積	1793.16㎡ (各住戸のベランダ、共用廊下、共用階段含む、屋上含まない)	
各住戸の開口面積	妻側住戸: 7.02㎡ 内側住戸: 5.40㎡ (窓の開口最大面積)	
各住戸の居室床面積	57.24㎡ (ベランダ含まない)	
境界条件	流入: 1/4積速(基準高25.5m、風速3.0m/s) 自由流出	
乱流モデル	標準k-εモデル	

断熱材なしの構成材			熱貫流率[W/(㎡・K)]
外壁	石膏ボード・コンクリート		3.142
屋根	石膏ボード・コンクリート		2.427
1F床	コンクリート・合板		2.340
スラブ	石膏ボード・コンクリート・合板		2.075
内壁	石膏ボード・コンクリート・石膏ボード		2.682
間仕切り	石膏ボード		4.955
窓	ガラス		5.800

断熱材ありの構成材			熱貫流率[W/(㎡・K)]
外壁	石膏ボード・コンクリート・ポリスチレン・モルタル		0.635
屋根	石膏ボード・コンクリート・ポリスチレン・モルタル		0.454
1F床	ポリスチレン・コンクリート・合板		0.453
スラブ	石膏ボード・コンクリート・合板		2.075
内壁	石膏ボード・コンクリート・石膏ボード		2.682
間仕切り	石膏ボード		4.955
窓	ガラス		5.800

断熱材なし		断熱材あり	
住戸番号	熱損失係数[W/(㎡・K)]	住戸番号	熱損失係数[W/(㎡・K)]
A1 D1	4.41	A1 D1	1.78
B1 C1	3.63	B1 C1	1.42
A2 D2 A3 D3	2.07	A2 D2 A3 D3	1.32
B2 C2 B3 C3	1.29	B2 C2 B3 C3	0.97
A4 D4	4.49	A4 D4	1.78
B4 C4	3.72	B4 C4	1.42

たcase10のCVDHI分布と平均CVDHIを示す。新潟、東京共にすべての窓を開放したcase00(図8(1)、図9(1))と比較して、窓を部分的に閉鎖したcase10(図10(1)、図11(1))の方が平均CVDHI_Pは大きい。窓を部分的に閉鎖したことにより、室内気流速度が増加し、可感気流による体感温度の低下が増加したと考えられる。新潟の平均CVDHI_Tはcase00と比較してcase10の方が大きい。新潟の窓を部分的に閉鎖したcase10のCVDHI_Tの分布(図10(3))の室e(2F南西)に注目すると、窓⑩を閉鎖しているが、その周辺の領域でCVDHI_Tが大きい。これは室eで循環流が発生したため、窓が開放されなくてもこの領域で気流速度が速くなるためであると考えられる。一方、東京でも窓を閉鎖したにも関わらず、平均CVDHI_Tはcase00と比較してcase10で殆ど変化しない。窓を閉鎖しても、効率よく風を取り込むことにより通風性能を向上させることができる。

4 集合住宅における通風性能に関する研究

図12に新潟の断熱材なし、図13に東京の断熱材なし、図14に新潟の断熱材あり、図15に東京の断熱材ありのCVDHI_Tの分布と各階の平均CVDHI_Tを示す。

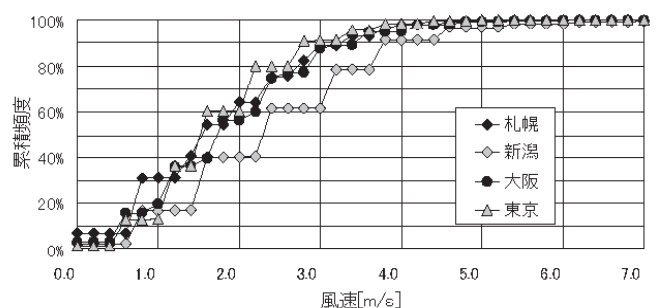
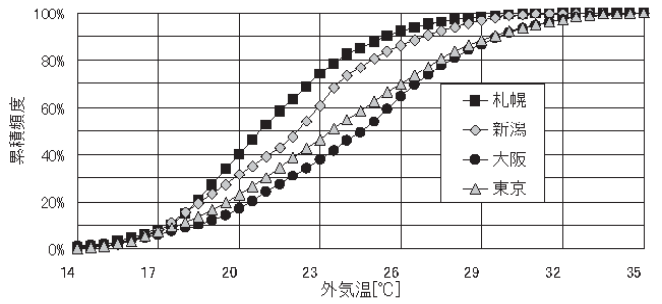
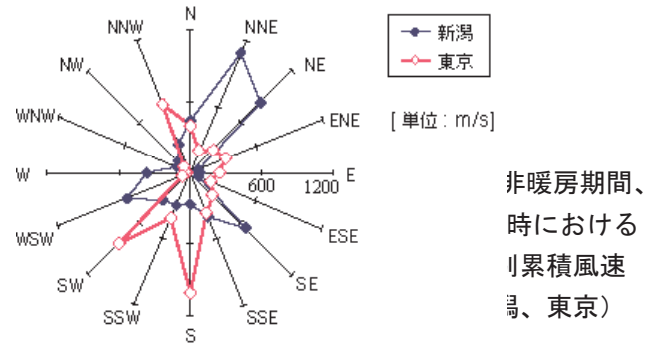


図7 4都市の非暖房期間における風速の累積頻度

新潟、東京共に上階は下階に比べ相対的にCVDHI_Tが大きい。これは上階は下階に比べて風速が速くなることや、上階が日射や外気温の影響を受け易く室温が上昇することなどが原因と考えられる。

新潟では断熱材あり、なし共に妻側住戸（住戸A, D）でCVDHI_Tの大きい領域が広がっている。これは妻側住戸の方が中間住戸（住戸B, C）に比べて日射や外気温の影響を受け、窓閉鎖時のSET*が上昇することが原因と考えられる。また、断熱材ありに比べて、断熱材なしの方がCVDHI_Tが大きい。これは断熱材を使用することにより、窓閉鎖時の室温やMRTの上昇が抑えられたことが原因であり、断熱材の有無が通風性能に影響を与えると考えられる。

東京では断熱材あり、なし共に妻側住戸と中間住戸でCVDHI_Tの差が小さい。これは東京では新潟に比べて、外気温が高い頻度が高く、風速が速い頻度が低いこと

により、妻側住戸で窓開放時にSET*が26℃より大きくなる頻度が高く、そのためCVDHI_Tが小さくなり、中間住戸との差が小さくなったと考えられる。また、断熱材なし、ありを比べても差が小さい。これも窓を開放してもSET*が26℃を下回る頻度が少ないことが原因と考えられる。

5 通風による冷房負荷削減効果に関する検討

5.1 戸建住宅における冷房負荷

図16に戸建住宅のcase00における主要都市の冷房負荷を示す。南の都市は北の都市に比べ、年間冷房負荷は大きく、冷房負荷削減率は低い傾向がある。新潟の年間冷房負荷は1357[kW/年]であり、冷房負荷削減率は48%である。北海道、東北地方では冷房負荷削減率は50%を超える都市が多い。これは北海道、東北地方は相対的に気温が低いため、通風を行った場合に室内のSET*が26℃より低くなる頻度が高いことが原因

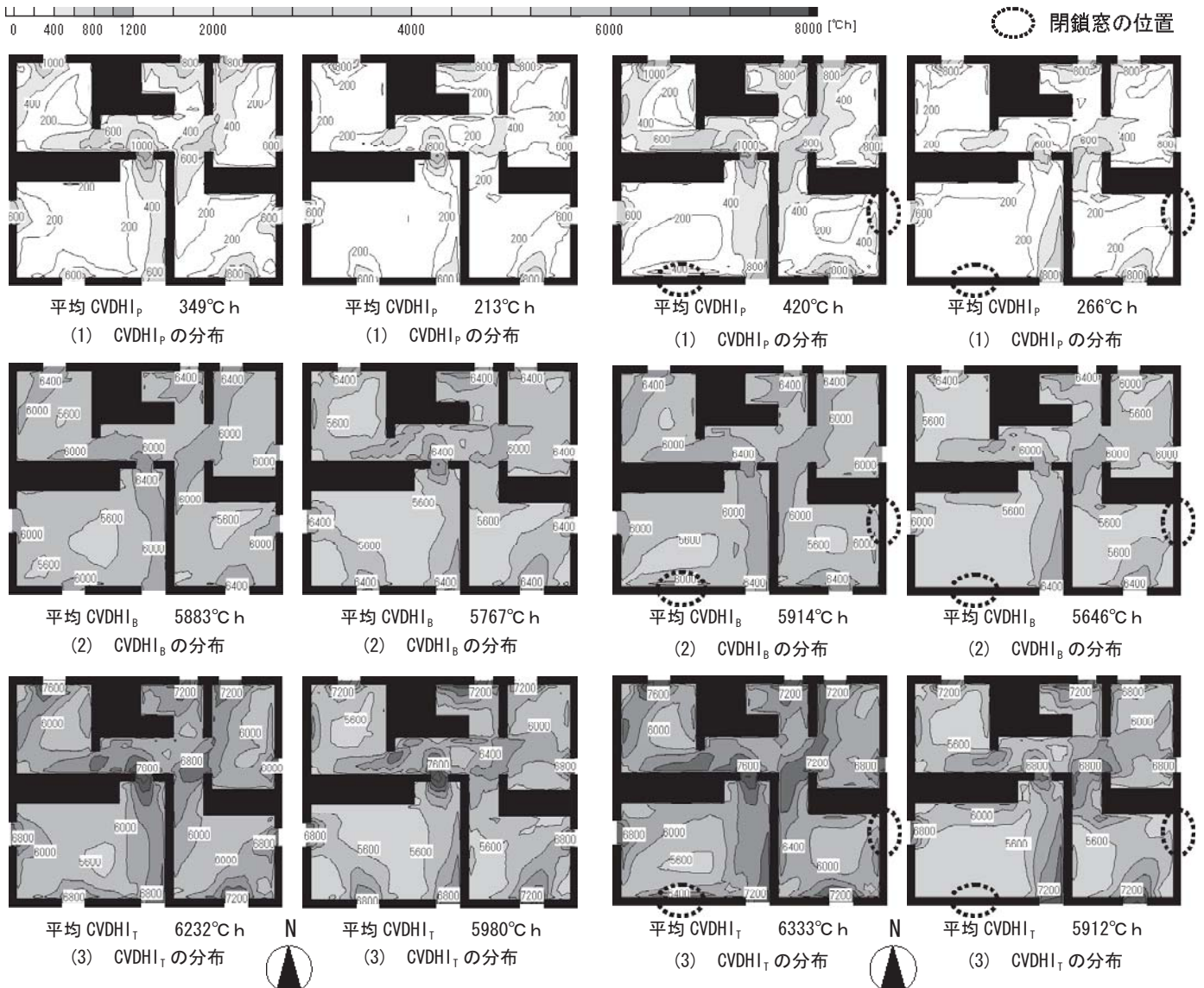


図8 case00のCVDHI分布
(標準住宅モデル2F、新潟)

図9 case00のCVDHI分布
(標準住宅モデル2F、東京)

図10 case10のCVDHI分布
(標準住宅モデル2F、新潟)

図11 case10のCVDHI分布
(標準住宅モデル2F、東京)

と考えられる。東北地方でも内陸の山形市では冷房負荷削減率が35%である。これは海沿いの都市に比べ内陸の都市では風速が遅く、通風による冷房負荷削減効果が小さいことが原因と考えられる。東京の年間冷房負荷は2054[kW/年]であり、冷房負荷削減率は30%である。軽井沢、草津、阿蘇山等の山間部では年間冷房負荷が小さく、冷房負荷削減率が高い。これは北海道、東北地方と同様で、山間部では相対的に気温が低いことが原因と考えられる。

5.2 集合住宅における冷房負荷

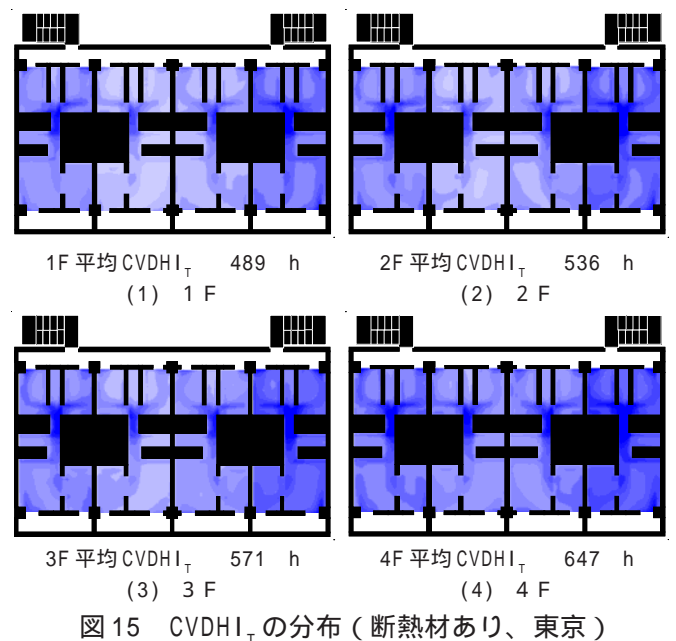
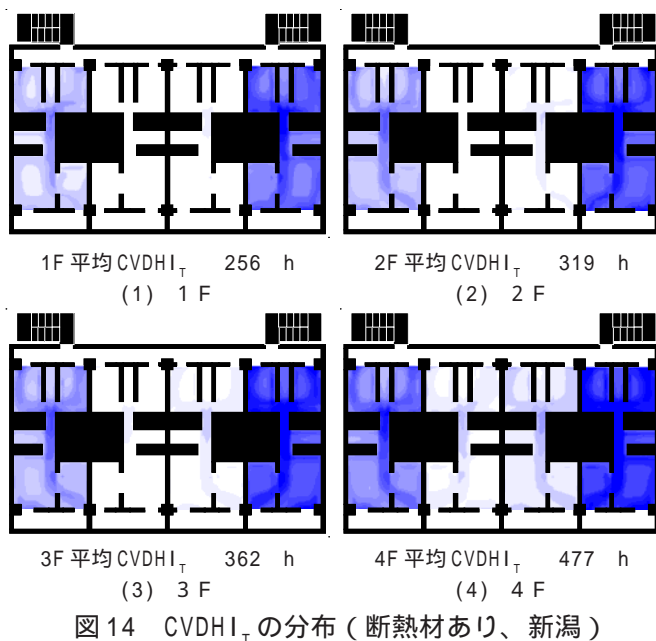
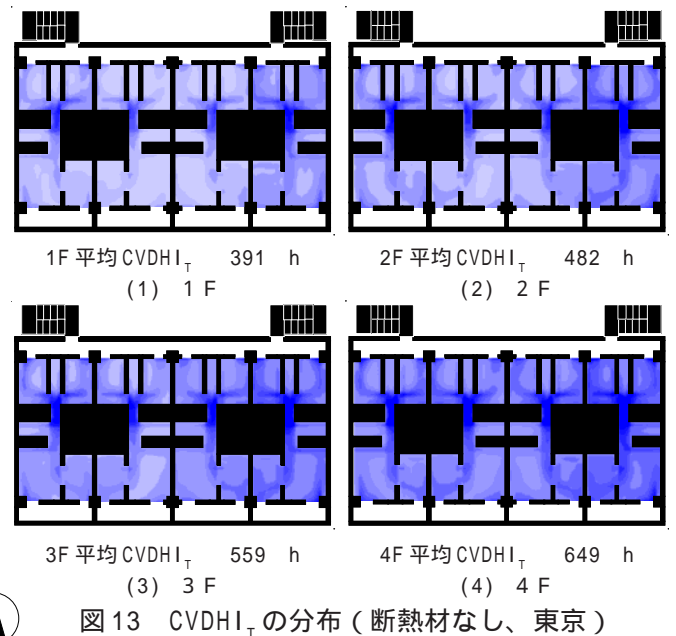
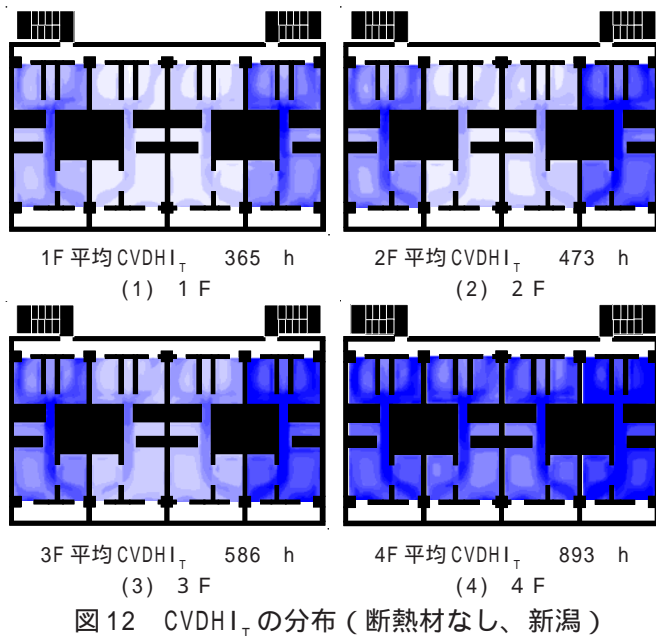
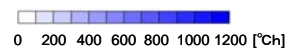
図17に新潟の断熱材なし、図18に東京の断熱材なし、図19に新潟の断熱材あり、図20に東京の断熱材ありのときの集合住宅の冷房負荷を示す。

新潟、東京共に、妻側住戸と最上階の住戸で年間冷

房負荷が大きくなる傾向がある。これは妻側住戸と最上階の住戸は日射や外気温の影響を受け、窓閉鎖時の室温が高くなることが原因と考えられる。

新潟では断熱材あり、なし共に冷房負荷削減率が妻側住戸で高く、中間住戸で低くなる傾向がある。また、新潟の断熱材なしでは最上階の中間住戸の冷房負荷削減率は高い。

東京では断熱材あり、なし共に妻側住戸と中間住戸で、冷房負荷削減率の差が新潟と比較して少ない。これは東京では妻側住戸は、通風を行った場合の室内のSET*が26より大きくなる頻度が高く、通風を利用できない時間が多いため、妻側住戸の冷房負荷削減率が低くなったことが原因と考えられる。



6 結論

6.1 戸建住宅の開口条件と通風性能

- (1) 新潟と東京の平均 $CVDHI_p$ は平均 $CVDHI_B$ に比較して5%程であり、可感気流による体感温度低下効果よりも、通風による排熱効果の方が大幅に大きい。
- (2) 窓を部分的に閉鎖した case10 では、case00 に比べて、平均 $CVDHI_T$ は東京では殆ど変化せず、新潟では大きくなる。開口数を減らしても、効率よく風を取り込むことにより通風性能が変化しないことが確認された。

6.2 集合住宅の通風性能

- (1) 新潟、東京共に上階は下階に比べて相対的に $CVDHI_T$ が大きい。
- (2) 新潟では断熱材あり、なし共に妻側住戸で $CVDHI_T$ の高い領域が広がっている。東京では断熱材あり、なし共に妻側住戸と中間住戸で $CVDHI_T$ の差が小さい。
- (3) 新潟では断熱材ありに比べて、断熱材なしの方が

$CVDHI_T$ が大きい。これにより断熱材の有無が通風性能に影響を与えることが確認された。

6.3 通風による冷房負荷削減効果

- (1) 南の都市は北の都市に比べ、年間冷房負荷が大きく、冷房負荷削減率は低い傾向がある。
- (2) 冷房負荷削減率は沿岸部で高く、内陸部で低くなる傾向があり、また、平野部に比べ山間部で高くなる傾向がある。
- (3) 新潟、東京共に、妻側住戸と最上階の住戸で年間冷房負荷が大きくなる傾向がある。
- (4) 新潟では断熱材あり、なし共に冷房負荷削減率が妻側住戸で高く、中間住戸で低くなる傾向があり、東京では断熱材あり、なし共に妻側住戸と中間住戸で、冷房負荷削減率の差は少ない。

注1) 風向別累積風速は非暖房期間に各風向の風速を累積したものである。
 注2) 室内外気流のCFD解析は等温の条件で行っている。通常、室内外には温度差が生じていると考えられるが、窓を開放し、通風を行っている場合には、極端な温度差は生じていないと仮定している。
 注3) $CVDHI$ 分布は床上0.5~1.5mの平均値の分布である。
 注4) 平均 $CVDHI$ は床上0.5~1.5mの空間(居住域)平均の値である。

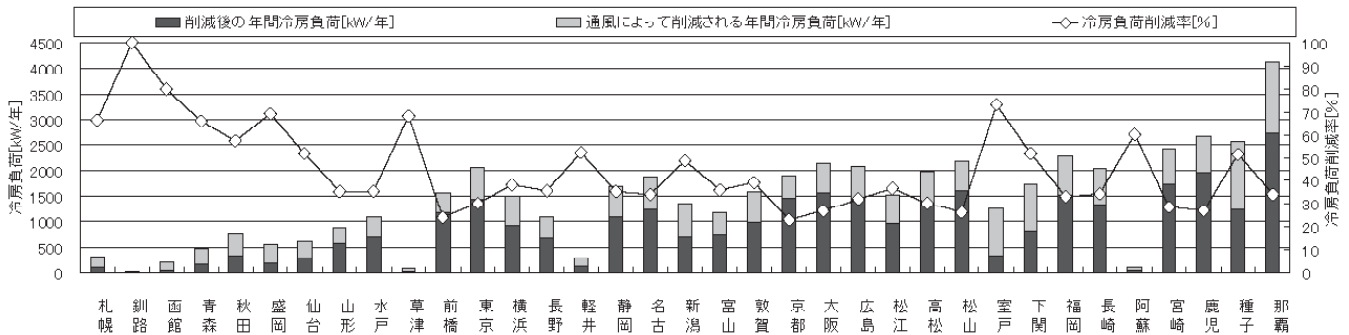


図16 戸建住宅 (case00) における主要都市の冷房負荷

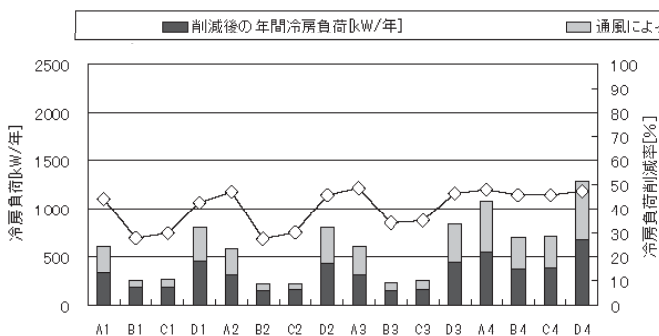


図17 集合住宅の冷房負荷 (断熱材なし、新潟)

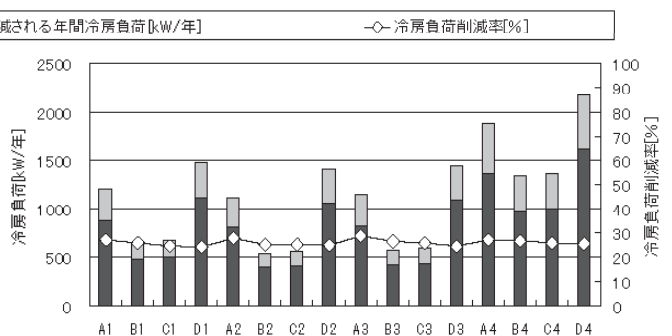


図18 集合住宅の冷房負荷 (断熱材なし、東京)

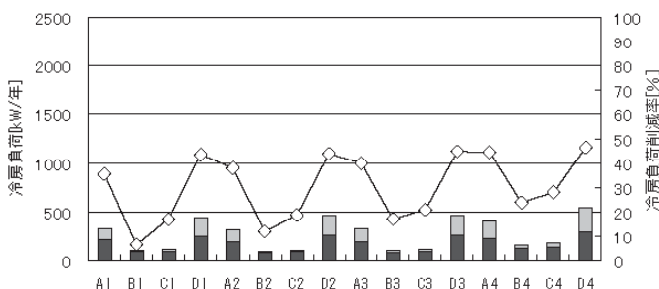


図19 集合住宅の冷房負荷 (断熱材あり、新潟)

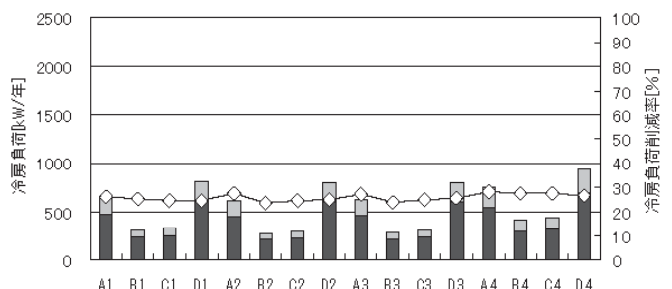


図20 集合住宅の冷房負荷 (断熱材あり、東京)