

住宅を対象とした通風性能評価に関する研究  
- シェルター性能を変化させた場合の通風性能に関する研究 -

F08D046C 山口遵  
指導教員 赤林伸一教授

1 研究目的

近年、CO<sub>2</sub>などの排出増加に伴う地球温暖化対策を背景に、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、建物のシェルター性能や発熱負荷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断熱性能、庇の有無を変化させることでシェルター性能を変化させ、室内発熱負荷の有無を考慮した場合の通風性能評価を行う。更に、通風で削減可能な冷房用エネルギーを求め、シェルター性能、室内発熱負荷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 Area:CVDHI)

図1に室内通風デグリアワー (CVDHI) の算出方法の概要を示す。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

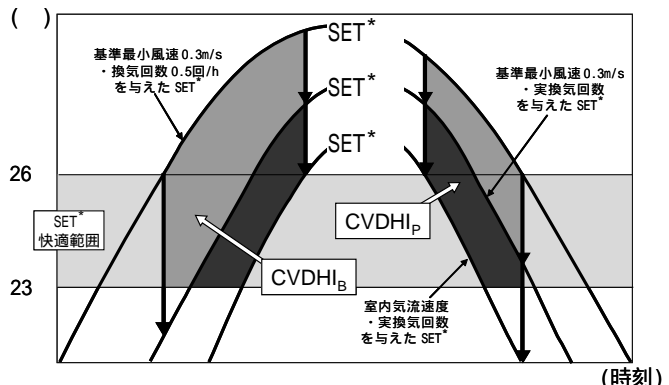


図1 室内通風デグリアワー (CVDHI) の算出方法の概要

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<sub>B</sub>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<sub>P</sub>と定義する。CVDHI<sub>B</sub>とCVDHI<sub>P</sub>を合計した値をCVDHI<sub>T</sub>と定義する。

定義より、CVDHI<sub>B</sub>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

表1 CFD解析条件とcase1-3における断熱性能

建蔽率	0%(周囲に建物がない)	
風向	16風向	
数値解析領域	77(x)×70(y)×41(z)	
室内解析メッシュ	41(x)×34(y)×23(z)	
延べ床面積(m <sup>2</sup> )	112.8	
総開口面積(m <sup>2</sup> )	15.0	
居室部分床面積(m <sup>2</sup> )	69.2	
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	

壁名称	構成材	熱貫流率[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
外壁	石膏ボード・フェノールフォーム・合板・モルタル	0.408
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

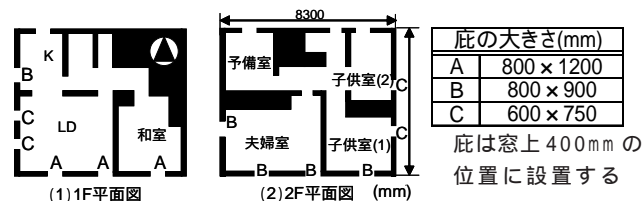


図2 解析対象モデルの平面図

表2 解析caseと解析条件

解析case	窓面への直達日射	庇	室内発熱負荷	case1-3に対する断熱材厚さの割合	熱損失係数 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
case1-1				0倍	7.58
case1-2				1/3倍	3.83
case1-3	有り	無し	無し	1倍	2.73
case1-4				3倍	1.46
case2-1				0倍	7.58
case2-2				1/3倍	3.83
case2-3	無し	無し	無し	1倍	2.73
case2-4				3倍	1.46
case3-1				0倍	7.58
case3-2				1/3倍	3.83
case3-3	有り	有り	無し	1倍	2.73
case3-4				3倍	1.46
case4-1				0倍	7.58
case4-2				1/3倍	3.83
case4-3	有り	無し	有り	1倍	2.73
case4-4				3倍	1.46
case5-1				0倍	7.58
case5-2				1/3倍	3.83
case5-3	有り	有り	有り	1倍	2.73
case5-4				3倍	1.46

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。

## 2.2 解析条件

図2に解析対象モデルの平面図を、表1にCFD解析条件とcase1-3におけるシェルター性能を、表2に解析caseと解析条件を示す。解析対象モデルは日本建築学会標準住宅モデルとする。断熱性能や窓面への直達日射、庇、室内発熱負荷の有無を変化させた計20caseについて解析を行う。対象地域は全国842都市とする。なお、庇は南中時、太陽高度が $60^\circ$ を超える際に窓面への直達日射を完全に遮るものとして設定する。

図3に主要4都市における外気温の累積頻度を、図4に風速の累積頻度を示す。札幌で累積外気温の低い割合が高く、東京、大阪で累積外気温の高い割合が高い。また新潟では累積風速の速い頻度が他の都市に比べて高い。

## 2.3 解析方法

2.3.1 CVDHIの解析方法: 図5にCVDHIの解析フローを示す。はじめに標準k-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<sup>1)</sup>)で算出し、室内風速比と地域の風向、風速から室内の気流分布を、開口部風速と地域の風向、風速から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、日射量と算出された換

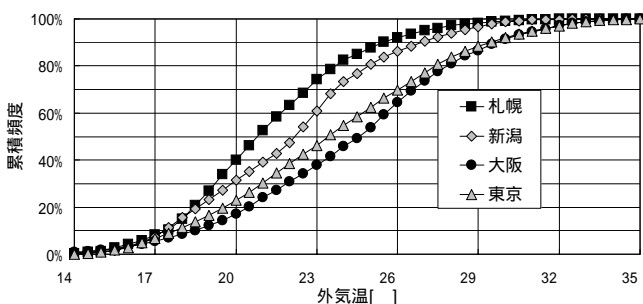


図3 主要4都市における外気温の累積頻度

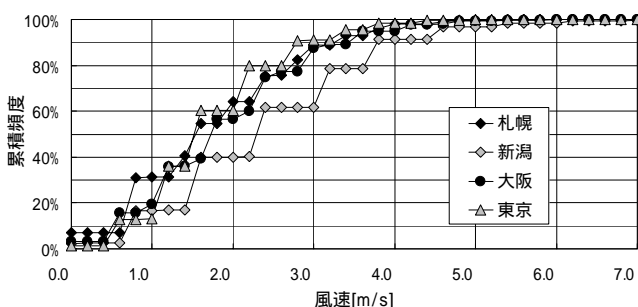


図4 主要4都市における風速の累積頻度

気回数から、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 $1.0\text{Met}$ 、着衣量は7月~9月は $0.5\text{clo}$ 、12月~2月は $1.0\text{clo}$ 、その他の期間は $0.75\text{clo}$ 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: 図6に冷房負荷の解析フローを示す。16風向別の室内風速比分布を標準k-モデルを用いた数値流体解析手法(CFD2000)により算出する。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 $26^\circ\text{C}$ 以上で、通風を行った場合の室内の $SET^*$ が $26^\circ\text{C}$ 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 $26^\circ\text{C}$ として窓を閉鎖した場合の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。

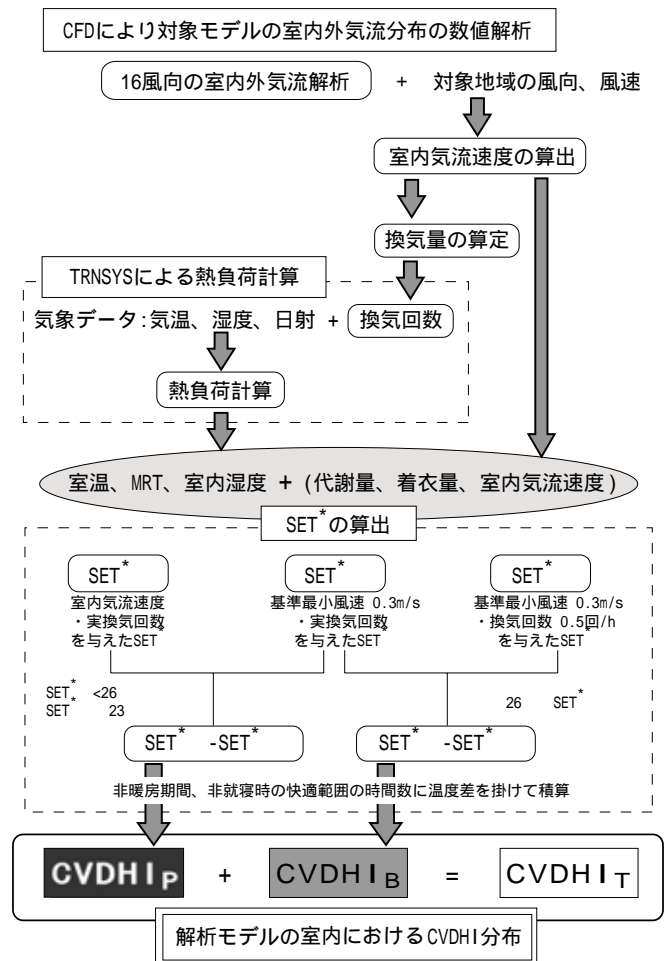


図5 CVDHIの解析フロー

2.3.3 室内発熱負荷の算出方法：生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver2.0 を用いる。設定条件は父、母、子2人の4人家族とし、それぞれの生活パターンから冬期、中間期、夏期の平日、休日における各部屋の時間ごとの室内発熱負荷(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、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7に SCHEDULE で作成した冬期、平日における室内発熱負荷を示す。室内発熱負荷は睡眠時に少なく、起床、活動と共に多くなり、特に調理時、食事時に多い。またLDKは他の部屋に比べ、室内発熱負荷が多い。

### 3 解析結果

#### 3.1 断熱性能の変化による比較

##### 3.1.1 CVDHI の算出結果: 図8に case1 における主要

11都市の平均CVDHI<sup>2</sup>を示す。CVDHI<sub>T</sub>は札幌、仙台など北部の都市で小さく、福岡など南部の都市で大きくなる。また、京都や高知など風速の遅い都市でも周辺の都市に比較して小さく、新潟、神戸など風速の速い都市で大きくなる。

また、全ての都市で断熱性能が高くなるにつれ、CVDHI<sub>T</sub>は大きくなり、特にCVDHI<sub>B</sub>が大きくなる。これは断熱性能が高くなるほど、窓閉鎖時の室温が上昇し、窓の開放による排熱効果による温度低下が相対的に大きくなるためと考えられる。またCVDHI<sub>B</sub>に対してCVDHI<sub>P</sub>の割合は小さい。

図10に case1-3における全国のCVDHI<sub>T</sub>マップを示す。CVDHI<sub>T</sub>は北部の都市で小さく、南下するほど大きい。また平均外気温の低くなる山間部でCVDHI<sub>T</sub>が小さく、累積風速の大きい海沿いの都市でCVDHI<sub>T</sub>が大きい。

CVDHI<sub>T</sub>は北海道で2000 h以下、東北地方で3000～

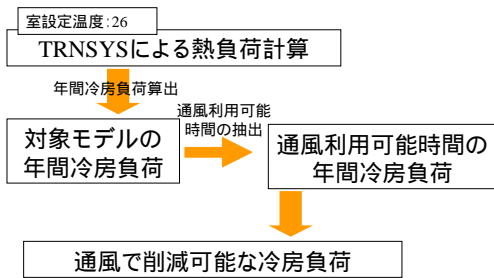


図6 冷房負荷の解析フロー

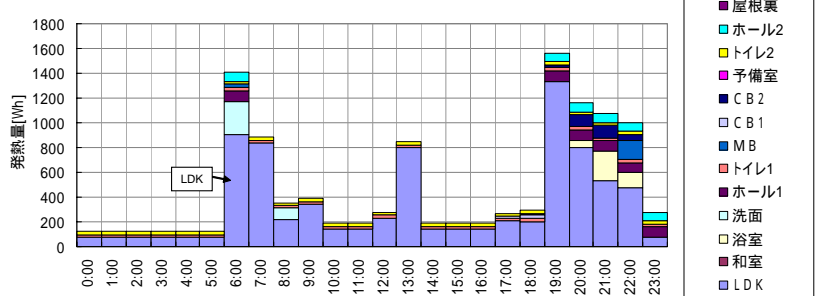


図7 冬期、平日における室内発熱負荷

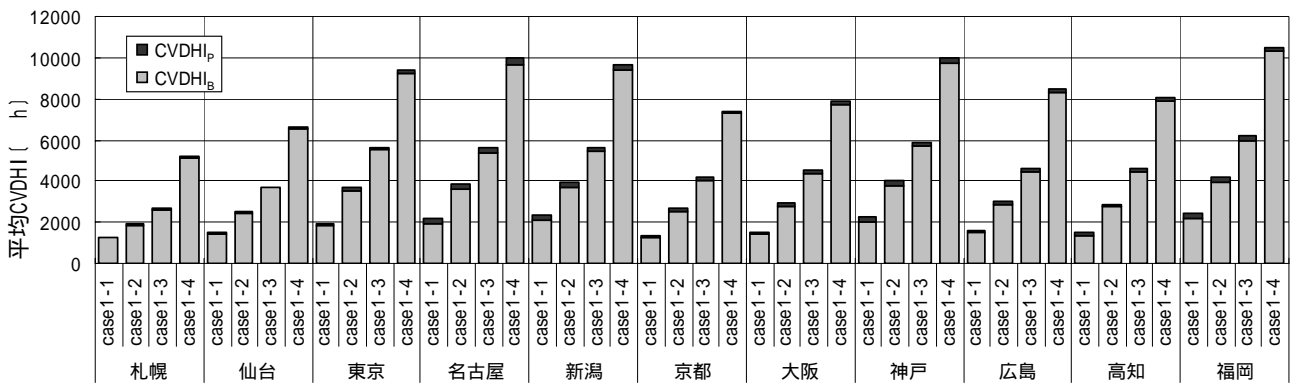


図8 主要11都市の平均CVDHI (case1)

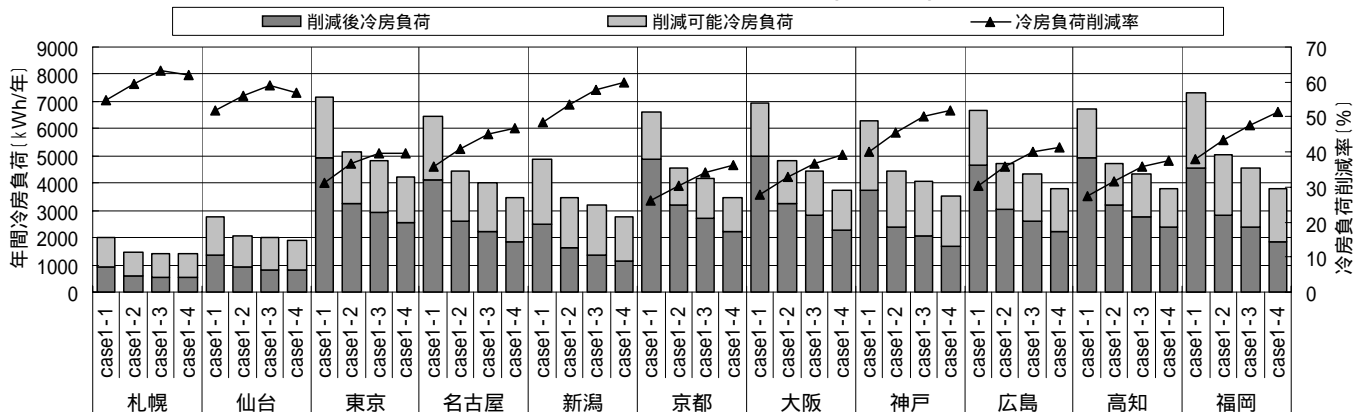


図9 主要11都市の年間冷房負荷及び削減率 (case1)



4000 h、関東、中部、関西、中国地方で4000 ~ 6000 h、四国、九州・沖縄地方で5000 h以上の範囲に分布する。

3.1.2 冷房負荷削減率の算出結果：図9にcase1における主要11都市の年間冷房負荷を示す。いずれの都市でも断熱性能が高くなるにつれ年間冷房負荷は減少し、多くの都市で冷房負荷削減率は大きくなる。これは断熱性能が高くなることで熱損失が小さくなるため、冷房負荷が少なくなったものと考えられる。

札幌、仙台など北部の都市では年間冷房負荷が少なく、冷房負荷削減率は大きい。平均風速が速い新潟では削減可能な冷房負荷が多く、冷房負荷削減率も大きい。また、CVDHI<sub>T</sub>の小さい京都では削減可能な冷房負荷も少なく、冷房負荷削減率も小さい。

3.1.3 CVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係：図11にcase1におけるCVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係を、図12にcase1-3におけるCVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係を示す。断熱性能が高いとCVDHI<sub>T</sub>が大きくなり、冷房負荷は少ない値に分布する。また断熱性能が低いほどCVDHI<sub>T</sub>は小さくなり、冷房負荷は多くなる。CVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係では相関係数は0.78となりCVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷に正の相関が見られる。年間冷房負荷の多い都市ほど、非暖房期間が長くなるため、CVDHI<sub>T</sub>は大きくなる。

### 3.2 直達日射の有無による比較

3.2.1 CVDHIの算出結果：図13にcase2(直達日射無し)における主要5都市の平均CVDHIを示す。case2では断熱性能が高くなるにつれCVDHI<sub>T</sub>が小さくなる。これは窓面への直達日射を除いた場合には、断熱性能が高いほど、窓閉鎖時の室温上昇が起りにくく、室温

が26 未満となる時間が増えるためと考えられる。

case1(直達日射有り)とcase2を比較するといずれの地域、断熱性能でもcase2のCVDHI<sub>T</sub>は小さくなり、特にCVDHI<sub>B</sub>が小さくなる。またcase1に対するcase2の割合は断熱性能が高くなるほど小さくなり、case2-1では25 ~ 40%、case2-2では15%以下、case2-3、2-4では10%以下となる。

3.2.2 冷房負荷削減率の算出結果：図14にcase2における主要5都市の年間冷房負荷を示す。年間冷房負荷は断熱性能が高くなるほど少なくなる。また冷房負荷削減率は20 ~ 35%となり、断熱性能が高くなるほど、削減率は小さくなる。

3.2.3 CVDHIと冷房負荷の関係：図15にcase2における平均CVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係を示す。CVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係ではCVDHI<sub>T</sub>の大きな都市ほど冷房負荷が多くなる傾向があり、正の相関が見られる。また断熱性能が高くなるほどCVDHI<sub>T</sub>、冷房負荷は少ない値に分布する。

### 3.3 庇の有無による比較

3.3.1 CVDHIの算出結果：図16にcase3(庇有り)における主要5都市の平均CVDHIを示す。断熱性能が高くなるほど、ほとんどの地域でCVDHI<sub>T</sub>は大きくなる。またcase1(庇無し)に対する割合は断熱性能が高くなるほど小さくなり、case3-1では60 ~ 70%、case3-2では30 ~ 65%、case3-3、case3-4では20 ~ 30%程度となる。

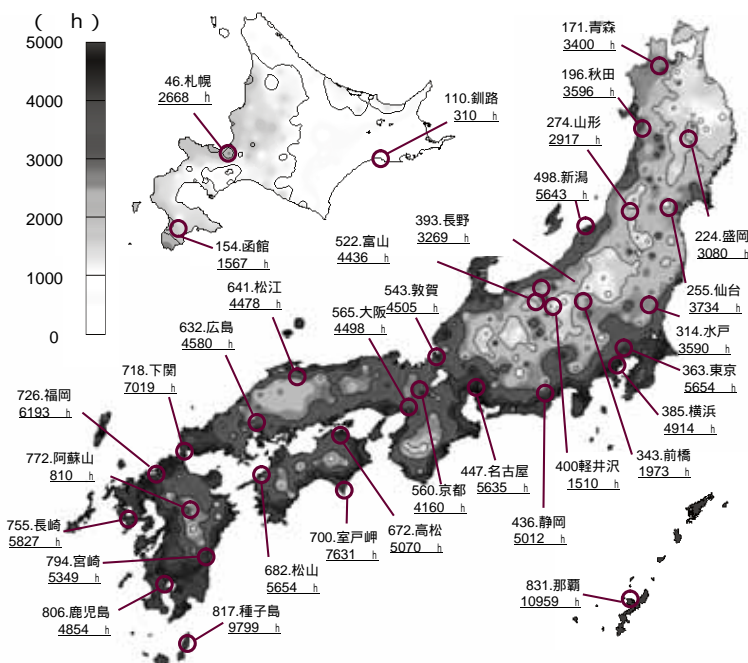


図10 全国のCVDHI<sub>T</sub>マップ (case1-3)

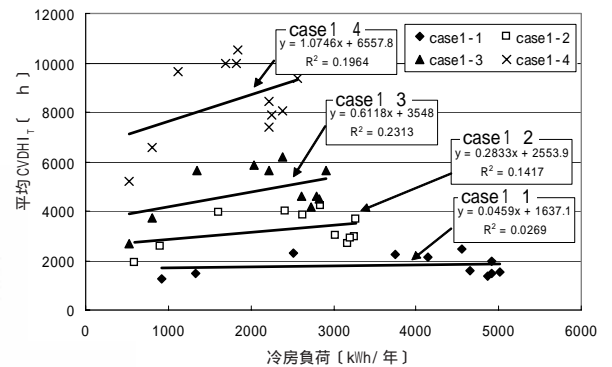


図11 CVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係 (case1)

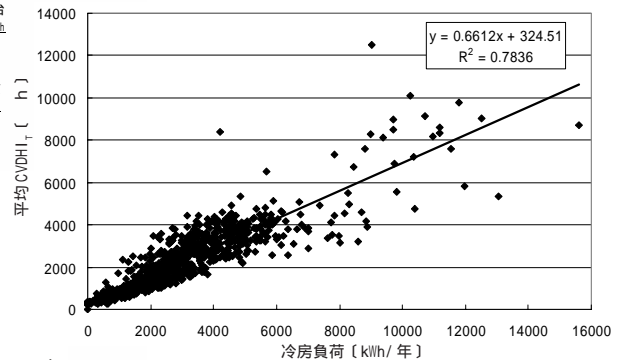


図12 CVDHI<sub>T</sub>と冷房負荷の関係(case1-3)

3.3.2 冷房負荷削減率の算出結果：図 17 に case3 における主要都市の年間冷房負荷を示す。年間冷房負荷は断熱性能が高くなるほど少なくなり、冷房負荷削減率は大きくなる。また年間冷房負荷の少ない札幌、新潟では他の都市と比較して冷房負荷削減率が大きい。

case1 と比較するといずれの地域、断熱性能でも年間冷房負荷は少なくなり、年間で 1000 ~ 3000kWh 程度削減できる。これは底を設置したことにより室温上昇が抑えられるため、冷房負荷が少なくなったものと考えられる。

3.3.3 CVDHI と冷房負荷の関係：図 18 に case3 における平均 CVDHI<sub>T</sub> と冷房負荷の関係を示す。CVDHI<sub>T</sub> と冷房負荷の関係では CVDHI<sub>T</sub> の大きな都市ほど冷房負荷が多くなる傾向があり、正の相関が見られる。また断熱性能が高くなるほど CVDHI<sub>T</sub> が大きくなり、冷房負荷が少なくなる。

### 3.4 室内発熱負荷の有無による比較

3.4.1 CVDHI の算出結果：図 19 に新潟における CVDHI を、図 20、21 に case4、5 の主要 5 都市における CVDHI を示す。case1(室内発熱負荷無し)と比較すると、case4(室内発熱負荷有り)の CVDHI が大きい。これは室内発熱負荷を加えたことで、閉鎖窓時に室温上昇が起こるためと考えられる。また case1 では全ての case において、1F よりも 2F の CVDHI が大きい。case4 では断熱性能が高くなるほど 1F の CVDHI の増加量が大きく、case4-3、4-4 では 2F より 1F の CVDHI が大きくなる。これは 1F の室内発熱負荷が多いことや断熱性能が高くなるほど室内発熱負荷の影響を受けやすいためと考えられる。

全ての地域で断熱性能が高くなるほど CVDHI が大きくなる。また case1 に対する割合は断熱性能が高くなるほど大きくなり、case4-1 では 1.1 倍、case4-2、4-3 では 1.3 倍、case4-4 では 1.5 倍程度となる。

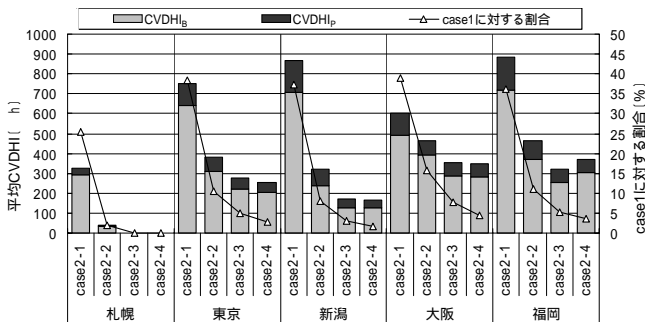


図 13 主要 5 都市の平均 CVDHI ( case 2 )

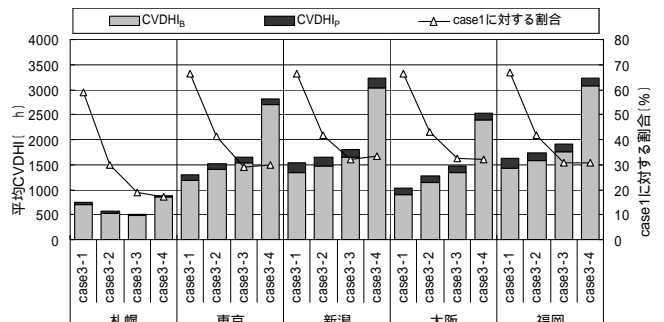


図 16 主要 5 都市の平均 CVDHI ( case 3 )

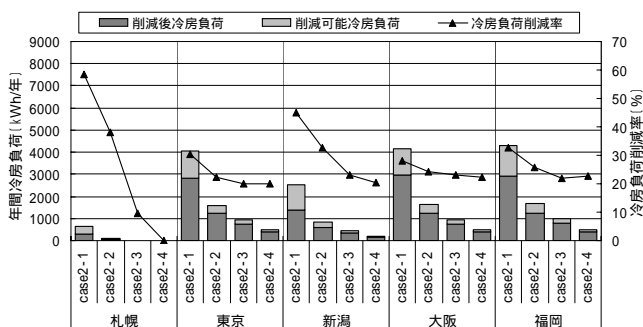


図 14 主要 5 都市の年間冷房負荷及び削減率 ( case 2 )

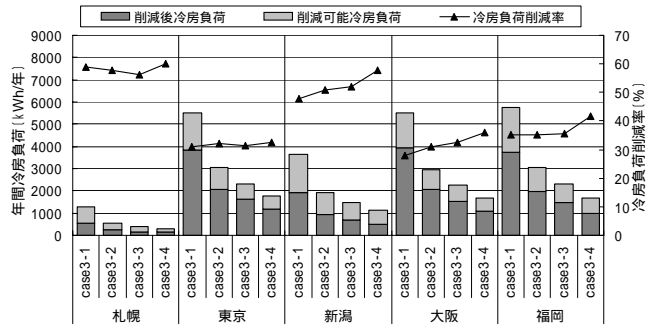


図 17 主要 5 都市の年間冷房負荷及び削減率 ( case 3 )

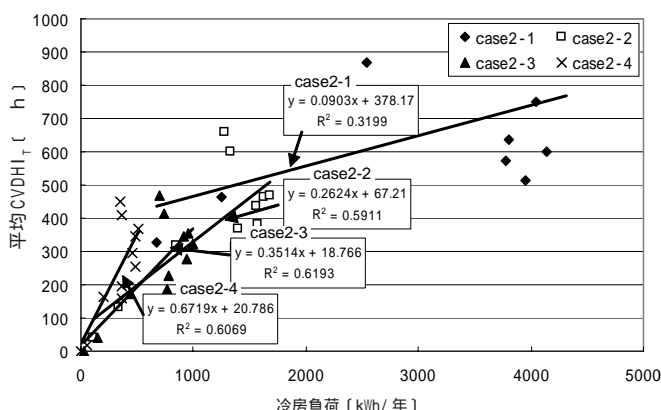


図 15 CVDHI<sub>T</sub> と冷房負荷の関係 ( case 2 )

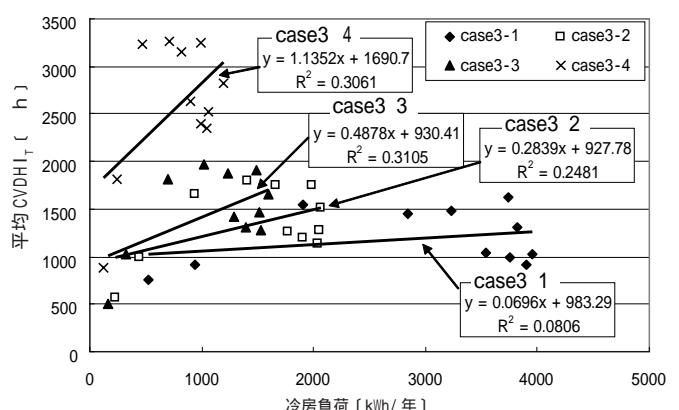


図 18 CVDHI<sub>T</sub> と冷房負荷の関係 ( case 3 )

庇を設けた場合でも同様に、case 2 と比較して case5 で CVDHI<sub>T</sub> が増加し、その増加率は断熱性能が高くなるほど大きくなる。

3.4.2 冷房負荷削減率の算出結果：図 22、23 に case4、5 における主要 5 都市の年間冷房負荷を示す。年間冷房負荷は case4 では case1 に比べ、500 ~ 2000kWh 増加する。また case4-1 に比べ case4-2 で冷房負荷は減少するが、それ以上断熱性能が高くなって冷房負荷は減少しない。これは断熱性能が高くなるほど室内発熱負荷の影響を受けやすくなるためと考えられる。

また case5 では case4 よりも 1000 ~ 2000kWh 小さくなり、室内発熱負荷を加えても、庇を設けることで年間冷房負荷は少なくなる。

#### 4 まとめ

##### 4.1 断熱性能の変化

断熱性能を向上させると、CVDHI<sub>T</sub> は大きくなり、特に CVDHI<sub>B</sub> が大きくなる。また冷房負荷削減率は大きく、年間冷房負荷は少なくなり、通風性能、冷房負荷削減効果は向上する。

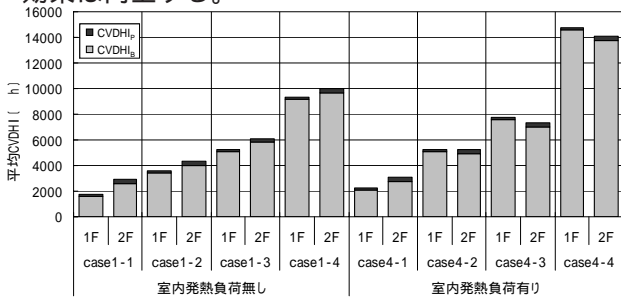


図 19 新潟における平均 CVDHI

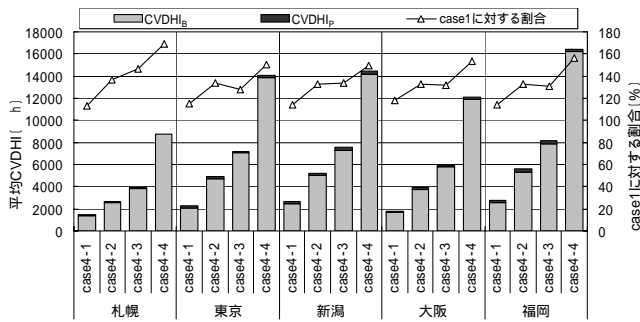


図 20 主要 5 都市の平均 CVDHI (case 4)

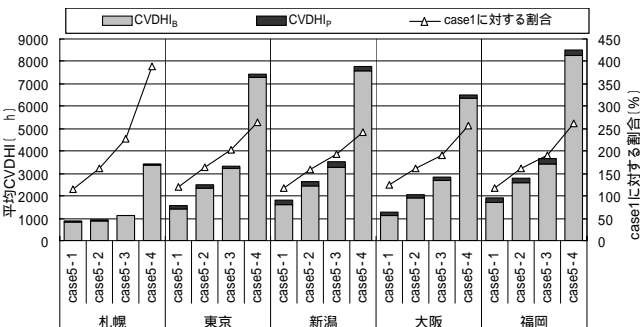


図 21 主要 5 都市の平均 CVDHI (case 5)

断熱性能に関わらず、北部の都市で CVDHI<sub>T</sub> が小さく、南下するほど大きくなる。また、海沿いの都市で CVDHI<sub>T</sub> が大きい。

CVDHI<sub>T</sub> が大きな都市ほど、年間冷房負荷は多くなる。

##### 4.2 日射と庇の関係

窓面への直達日射を全て遮ることで CVDHI<sub>T</sub>、年間冷房負荷は少なくなる。

窓面への直達日射を全て遮った場合に、断熱性能を向上させると、CVDHI<sub>T</sub>、年間冷房負荷、冷房負荷削減率は小さくなる。

庇を設けることで CVDHI<sub>T</sub>、年間冷房負荷は少なくなる。

庇を設けた場合、断熱性能を向上させると CVDHI<sub>T</sub>、冷房負荷削減率は大きく、年間冷房負荷は少なくなる。

##### 4.3 室内発熱負荷

室内発熱負荷を加えると、CVDHI<sub>T</sub>、年間冷房負荷は大きくなる。また、断熱性能が高くと室内発熱負荷の影響を受け、CVDHI<sub>T</sub>、年間冷房負荷は増大する。

通風性能、冷房負荷は断熱性能、日射条件や庇、室内発熱負荷の影響を受けることが確認された。

- 1) 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。
- 2) 平均 CVDHI は床上 0.5 ~ 1.5m の空間 (居住域) 平均の値である。

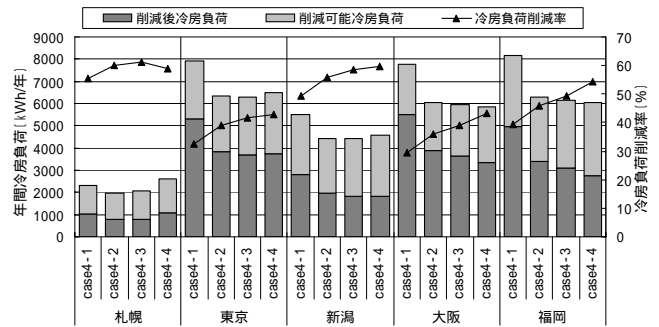


図 22 主要 5 都市の年間冷房負荷及び削減率 (case 4)

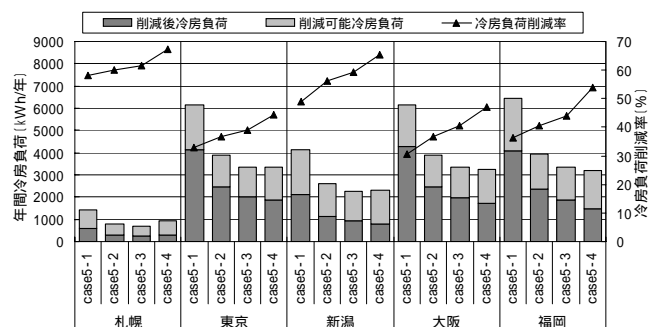


図 23 主要 5 都市の年間冷房負荷及び削減率 (case 5)