

# 通風の簡易設計手法構築に向けて

## (通風性状に関する新しい知見と通風計画に関する提案)

環境研究グループ 研究員 西澤 繁毅

### 目次

はじめに
通風環境について
スケール毎の性状について
1) 地域毎の気象条件の整理
2) 建物周辺の気流性状
3) 開口部の性状
4) 室内気流性状
簡易設計手法の展望
まとめ
参考文献

### はじめに

#### 1) 定量的な通風設計手法の必要性

通風は、外部の風という自然エネルギーのみを利用して室温・体感温度を低下させる夏期の有用な環境調整手法であり、通風を有効に利用することで、夏期～中間期の冷房負荷・換気動力を削減して省エネルギーを図ることが可能になると考えられる。通風は、外部風が室内に流入し、建物及び人体から熱を奪って室外へ流出するという単純な手法であり、その定性的な有効性は生活の知恵として経験的に広く認められている。しかし、通風の及ぼす効果は定量的には未解明な部分が多く、効果が不明瞭なまま定性的に設計されているのが現状である。これは、外部風の特徴として風向風速の大きな変化があげられ、それに伴い通風駆動力や室内の気流場が刻々と変化することから、室内温熱環境に及ぼす定量的な効果を把握することが難しく、定量的な評価に基づく通風設計手法が確立されていないためである。この通風効果の定量的な不明瞭さという問題は、都市化・過密化に伴うプライバシー、防犯、騒音、空気質汚染といった諸問題とともに、通風の利用を妨げる一因となっていると考えられる。通風の及ぼす効果を定量的に把握することで、積極的な通風

利用を設計時から採り入れることが可能となり、居住者に通風利用を意識づけることから夏期・中間期の快適性の向上、冷房使用時間の削減が期待される。

#### 2) 建築研究所における通風研究の取り組み

通風に関する研究は、各研究機関で古くから取り組まれており、現在でも実測や実験、数値解析等により検討が進められている。当建築研究所でも、1998年に建設した、実大サイズの模型を設置した通風実験用風洞(図7)での実験をはじめ、実際の建物における実測、換気回路網、CFD解析による数値シミュレーション等を通して、通風環境の定量的な把握を進めている。現在は、基盤研究開発課題「仮想的な領域分割を用いた通風空間の質的評価手法の開発」及び、重点研究課題「エネルギー・資源の自立循環型住宅に係わる普及支援システムの開発」の一部として、通風環境の定量的な設計・評価手法の確立を最終の目標として研究を進めているところである。

### 通風環境について

通風を有効に利用するためには、外部風を建物内部に効果的に導

入する計画が必要になる。通風利用時には開口部を大きく開け放つイメージから、外界から室内までを一体とした連続的な開放空間として通風空間をとらえる向きがあるが、一般にはスケールに応じた特徴によって性状を把握することが行われる(図1)。ここでは、外界、建物周辺、開口部、室内の4レベルに分け、それぞれのレベルを表す特徴について定量的に検討を行っている。外界レベルでは所在地の温湿度、風向風速等の気象条件、建物周辺レベルでは、周辺建物によって複雑に形成される気流が建物外皮に通風の駆動力として作用する風圧を表す風圧係数、開口部レベルでは、開口部の配置・面積等の配置計画や、開口部の風の通りやすさを表す流量係数、室内レベルでは室内気流性状、が代表的な検討対象となる。通風環境では、とカスケード状に外部風の影響を受けることになるため、室内レベルだけで通風の適否を判断することはできず、4つのレベルでの検討が必要となる。

以後、通風環境の4つのレベルでこれまで検討してきた知見を提示し、定量的な評価・設計手法に向けた展望を示す。

### スケール毎の性状について

#### 1) 地域毎の気象条件の整理

通風性の良否は、まず所在地の温湿度、風向風速等の気象条件に大きく左右される。ここでは気象データを整理し、その地域の持つ通風のポテンシャルの算出を試みた結果を示す。分析した気象データには日本建築学会の拡張アメダス気象データ(15年分)を用いている。

#### 風向発生頻度

通風を行う条件を外気温が18~28の範囲と想定し、その範囲での風向風速を整理し、東京とつくばについて、風向の出現頻度と平均風速を示したものが図2である。ここでは、7時~20時の14時間を日中、他の10時間を夜間としている。

東京では、年間の37%の期間で外気温が18~28の範囲に入り、年間の11%で南~南西の風、15%で北~東の風が現れている。よって南北軸に沿った通風経路を考えるのが合理的と判断される。一方、つくばでは、通風条件下では北東~東の風が年間の15%と多く占め、東の風を考慮した計画が重要になると考えられるだろう。

#### 冷房負荷削減ポテンシャル

暖房デGREEデー、冷房デGREEデーと同様の考え方で、通風を使うことで冷房負荷をどれだけ削減可能かという視点からその地域の持つ通風のポテンシャルを算出し評価できれば、通風設計用の資料として有用であると考えられる。ここでは、図3の想定の下で

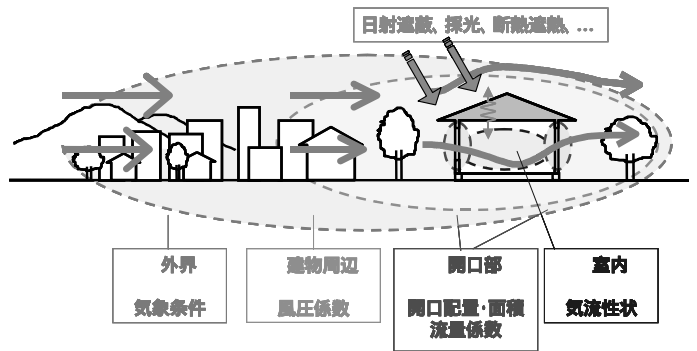


図1 通風環境のスケール

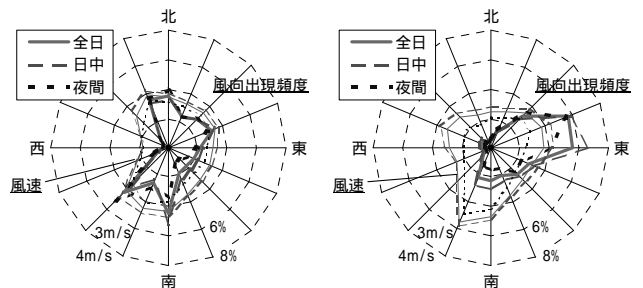
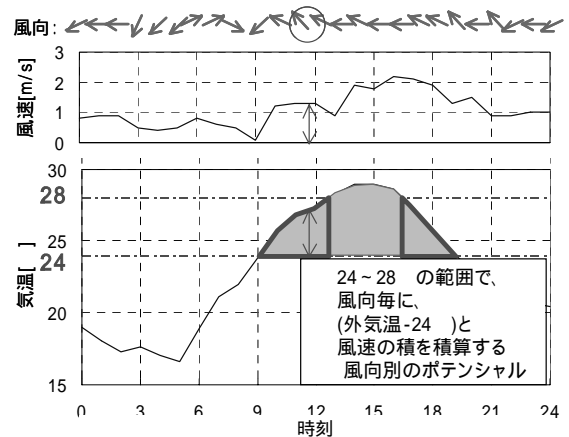


図2 18~28の風向出現頻度(左:東京、右:つくば)



算出にあたっては以下を想定  
a. 28以下で通風利用  
b. 冷房負荷発生基準は外気温24  
c. 外部風速に比例して削減可能な冷房負荷は増大

図3 冷房負荷削減ポテンシャルの算出概念図

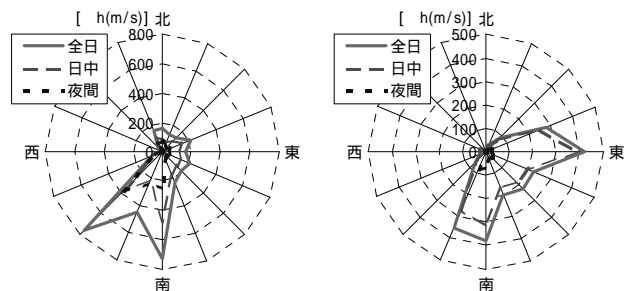


図4 風向別冷房負荷削減ポテンシャル(左:東京、右:つくば)

通風の持つポテンシャルを算出し、図4に東京とつくばについて示す。

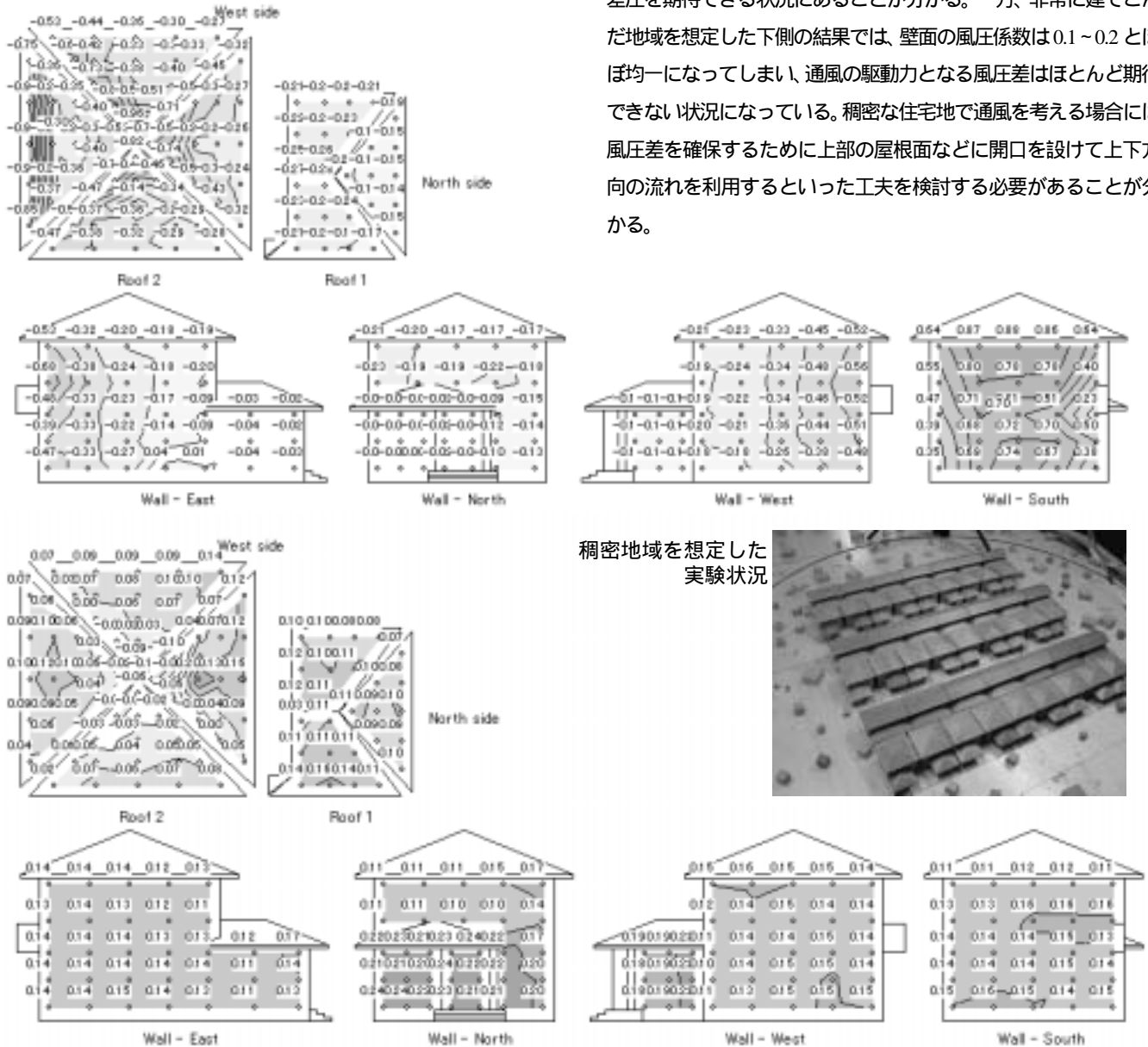
東京では、南～南西の風で最も通風による冷房負荷削減効果が期待できる結果となっており、図2の風向発生頻度とは異なる傾向を示している。また、つくばにおいても南風～東風で強度が高いという図2とは異なる結果を示しており、要素によっては着目する風向を変える必要があることが分かる。

## 2) 建物周辺の気流性状

建物に到達する気流は、その周辺の状況に応じて複雑に変化し、

通風性状に大きな影響を与える。一般に、建物周辺の気流状況に影響を受けた通風駆動力は、建物外皮に作用する風圧を基準速度圧で除した風圧係数で評価されるが、この風圧係数分布を予測することは非常に困難であり、縮小模型を用いた風洞実験による測定が行われる。

図5に風圧係数分布の測定結果の一例を示す。2階建の戸建住宅の結果の一部であり、上側は独立状況での、下側は稠密状況(図5写真)での風向：南の結果である。独立状況では、風上側正面にあたる南面で風圧係数が0.7～0.8と大きな正圧を、側面、裏面にあたる西、東、北面では0.1～0.5の負圧を示し、南面 他面で大きな差圧を期待できる状況にあることが分かる。一方、非常に建てこんだ地域を想定した下側の結果では、壁面の風圧係数は0.1～0.2とほぼ均一になってしまい、通風の駆動力となる風圧差はほとんど期待できない状況になっている。稠密な住宅地で通風を考える場合には、風圧差を確保するために上部の屋根面などに開口を設けて上下方向の流れを利用するといった工夫を検討する必要があることが分かる。



稠密地域を想定した  
実験状況



図5 風圧係数分布図(上：独立、下：稠密地域)

### 3) 開口部の性状

#### 開口部配置の検討

換気回路網計算プログラム Ventsim Ver.2.0 を用いて通風量を試算した例を図6に示す。図6は、夜間の通風を意図して、外壁及び室間に欄間開口(高さ 0.3m)を設置した時の通風量を、南風、基準風速 3.0m/s の条件下で算出したものであり、上側は室間の欄間開口も開放したケース、下側は室間は閉じたケースである。

外壁面及び室間の欄間開口を開放した上側のケースでは、1階居間食事室において 38 回/h、2階の3つの個室で 20 回/h 程度の通風量が確保できている。個室の通風量は欄間開口を通過する流速では

0.4m/s 程度にあたり、就寝時に良好な通風環境が確保できる。一方、室間を閉じてしまう下側のケースでは、南北方向の通風が阻害されてしまい、1階居間食事室、2階個室ともに通風量が極端に低下する結果となる。欄間開口を通過する気流も 0.1m/s 以下になり、就寝時に気流感を得ることは難しい状況になる。

以上のように、通風量の検討は、換気回路網計算プログラムを用いることで比較的容易に行うことができる。

#### 開口部の流量係数

室内に風をスムーズに取り込むためには、開口部の抵抗が小さい

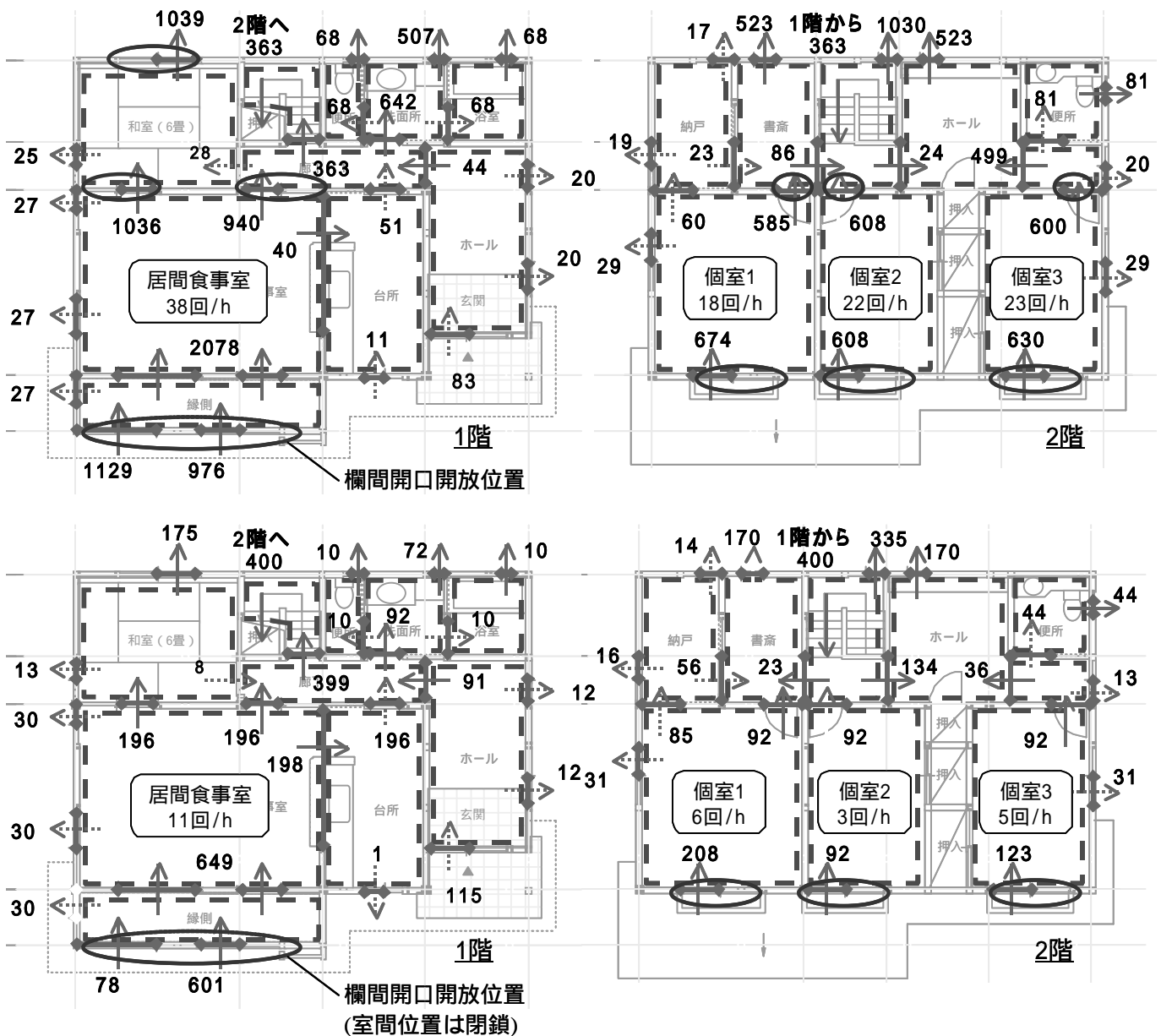


図6 通風量計算結果(上：欄間開放、下：室間閉鎖、通風量の単位は $m^3/h$ )

ことが望まれる。開口部の抵抗は一般に流量係数で評価される。流量係数は、開口部を通過する風の通りやすさを示す係数であり、実開口面積のうち、どの程度の面積が通風に有効であるかの比として表される。以下、実大開口部を設置した通風実験用風洞での実験結果を示す。

建築研究所通風実験用風洞(図7)には、幅5.4m×奥行5.4m×高さ3mの実大建物モデルが設置され、通風環境の実験を進めている。これまでに、建物モデル対角位置に幅860mm×高さ1,740mmの開口を設けたケースを中心に、三次元超音波風速計(Kaijo DA-600 他)や微差圧計(MKS Baratron)を用いて風速分布や風圧分布を詳細に測定し、室内外の気流性状を把握している<sup>1),2)</sup>。

通常の換気・通風計算では、流量係数は一定値として扱われる(通常の開口部で0.6程度)。しかし、以前から開口近傍の気流性状により流量係数が変化するとされており、換気・通風量計算時の誤差の一要因となっていた。実大モデルを用いた一連の研究<sup>1),3)</sup>で検討した結果、開口面を通過する風向が流量係数を変化させる最大の要因となっていることが判ってきている。

流量係数  $\alpha$  は次式で表される。

$$\alpha = \frac{|Q|}{A\sqrt{2(P_w - P_i)/\rho}} = \frac{|Q|}{AV\sqrt{C_{pw} - C_{pi}}}$$

ここで、 $Q$  は通過流量[m<sup>3</sup>/s]、 $A$  は開口面積[m<sup>2</sup>]、 $P$  は圧力[Pa]、 $C_p$  は風圧係数[-](添字 w:外表面、i:室内)、 $V$  は基準風速(=3.0m/s)である。測定では開口面内48点の通過風速を測定し、面積積分することで通過風量を算定し、壁面圧力を開口閉鎖時の開口位置での壁面風圧、室内圧力を床面圧力で代表させて算定する。

図8に、単純矩形形状(幅860mm×高さ1,740mm、壁厚100mm)の流量係数を開口面の風向 $\theta_{xyz}$ (図9で定義)で示す。開口面に垂直に流入する時に流量係数が大きく(抵抗が小さく)、開口面に平行になるほど( $\theta_{xyz}=90^\circ$ に近づくほど)流量係数が小さくなる(抵抗が大きくなる)傾向を示している。しかし、流入側は図中に挿入した余弦曲線に比較的良く一致している反面、流出側( $\theta_{xyz}=90^\circ \sim 180^\circ$ )ではばらつきが大きいという違いがあり、風向以外の変化要因の存在が示唆されている。流出側は流出した気流による影響があるものと考えられ、今後検討を重ねる予定である。

市販されている引違窓サッシ(図10、腰窓:幅1.69m×高さ1.17m)で測定した流量係数の水平面風向 $\theta_{xy}$ による変化を示す(図11)。矩形開口と同様の傾向を示すものの、流入時( $\theta_{xy}=-90^\circ \sim 90^\circ$ )に非対称な変化を示す。これは、窓サッシの形状の非対称性によるものと考えられる。すなわち、流入角 $\theta_{xy}<0^\circ$ ではサッシ枠A(図10)が抵抗として働き、流入角 $\theta_{xy}>0^\circ$ では2枚の障子端部の段差Bが抵抗を小さ

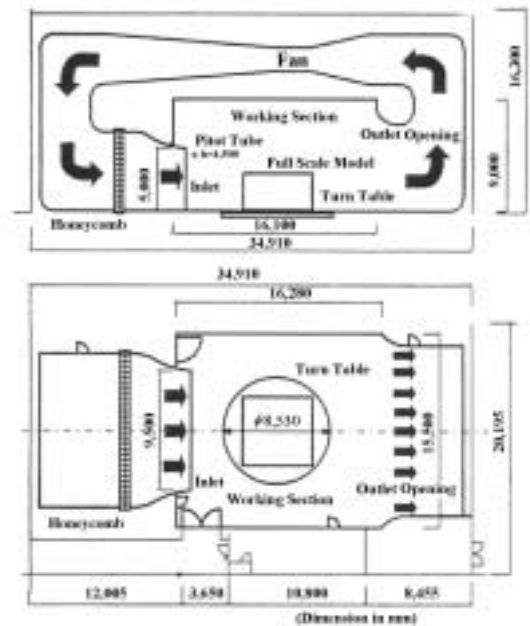


図7 通風実験用風洞概略図(上:断面、下:平面)

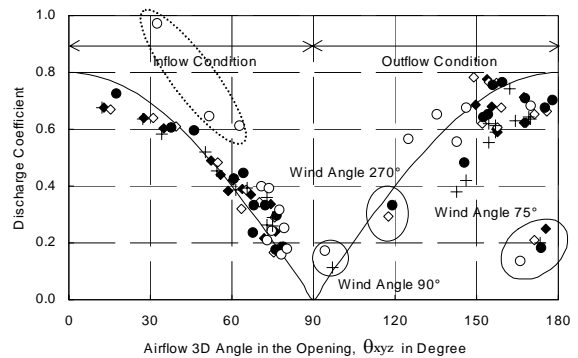


図8 矩形開口の流量係数と流入角度 $\theta_{xyz}$

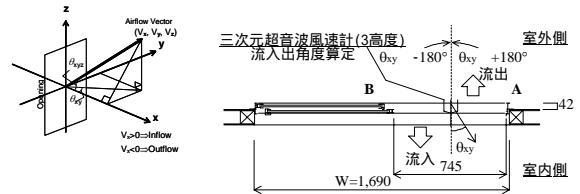


図9 流入角度

図10 引違窓サッシ

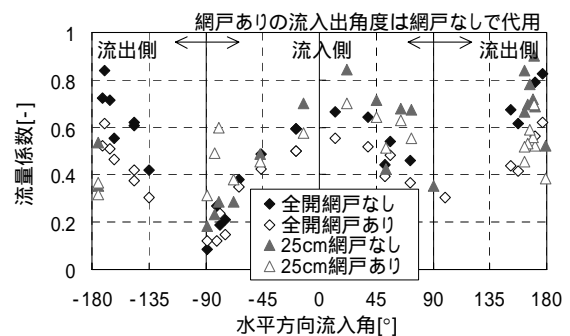


図11 引違窓サッシの流量係数

くすると考えられる。

#### 4) 室内気流性状

通風空間では、流速の速い領域(通風輪道、主流域等と呼ぶ)と、その周辺の流速の比較的遅い領域が現れ、気流速のむらが非常に大きな空間になっている。通風時に最も重要となる人の快適性(涼感)

は気流速による影響が非常に大きい。一方、建物全体から熱を除去する排熱に関しては、通風による室内の混合性状が大きく影響を及ぼすことになる。通風実験風洞に設置した実大モデルでは、これまでに気流速分布の測定、可視化実験、トレーサガス減衰法による濃度測定を行っている<sup>1),4)</sup>。

図12~図14に風向0°、図15~17に風向45°の室内気流性状を示す。図12、15はモデル頂部から撮影した可視化画像(平面、床上1,190mm)であり、図13、16は気流分布と局所換気効率 $\epsilon_p$ を重ねて示した図である。局所換気効率 $\epsilon_p$ はトレーサガス減衰法によって求まる局所空気齢 $\tau_p$ [s]と名目換気時間 $\tau_n$ [s]の比であり( $\epsilon_p = \tau_n / \tau_p$ )、 $\epsilon_p$ が大きい点ほど流入した外気が速く到達することを示す指標である。図14、17は室内平均濃度減衰と各点(図13、16)の濃度減衰過程を示す。

風向0°は、通風量が8,200m<sup>3</sup>/h(換気回数120回/h)と大きく、開口Aから開口Bへの通風輪道が顕著に表れるケースの一つである。このケースでは、輪道上の点b、c、d(図13)では流速が大きいが、点gのような輪道から離れた場所では風速は小さくなる。また、流入空気の混合状況を表す局所換気効率(図8)及び濃度減衰過程(図9)からも、空間内の混合状態に大きな偏りが生じていることが分かる。

風向45°は、通風量が7,000m<sup>3</sup>/h(換気回数100回/h)で風向0°より小さく、開口Aからの流入気流がモデル中央の柱壁に衝突し2つに分かれる流れを示すケースである(図15、16)。このケースでは、偏りの小

さな混合状況になっており(図16、17)、平均空気交換効率 $\eta$ が1.37と部屋全体で押出流れの様相を示し、換気量の多い風向0°より効果的に排出される結果となっている。

各風向の室内気流性状を検討した結果、通風輪道の明確な条件ほど室内の混合状況に偏りが生じること(図18)、気流速分布を空間全体で見ると混合状況ほどの偏りは生じないこと(図19)を確認し

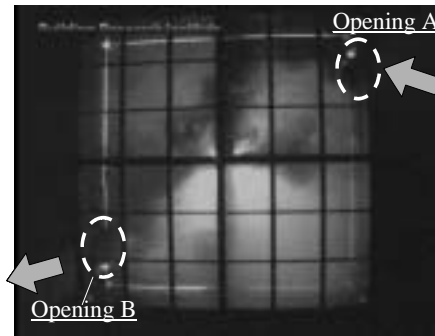


図12 可視化画像(風向0°)

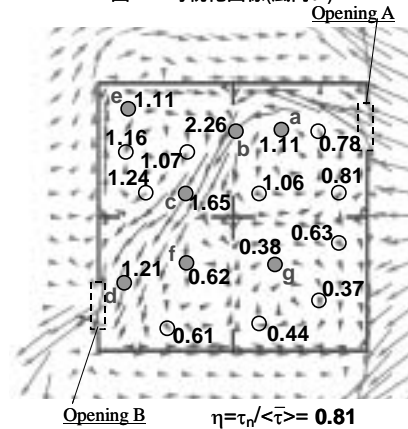


図13 気流分布と局所換気効率 $\epsilon_p$ (風向0°)

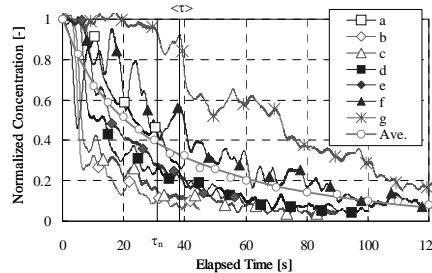


図14 濃度減衰(風向0°)

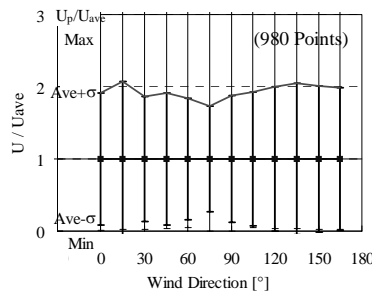


図18 平均風速で規準化した室内風速分布

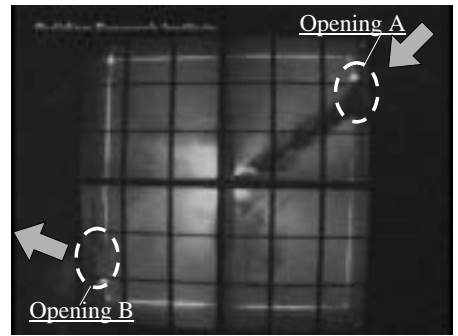


図15 可視化画像(風向45°)

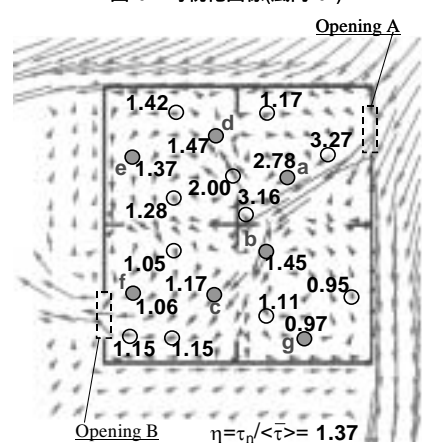


図16 気流分布と局所換気効率 $\epsilon_p$ (風向45°)

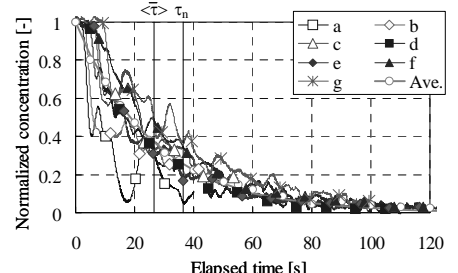


図17 濃度減衰(風向45°)

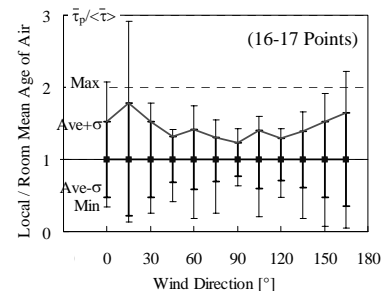


図19 室平均空気齢で規準化した局所空気齢分布

ている。

図20は、CFD解析の濃度減衰の計算結果から、流入空気の移動拡散の状況を経時的に示した図である。風向0°(図20左側)では、右上の開口から流入した空気が(1s)、壁と袖壁に衝突して向きを変え(2s)、流出開口に向け直線的に移動し(4s、6s)、流出開口に到達した後に、室内に拡がっていく様子(12s、30s)を三次元的に把握することができる。また、風向45°(図20右側)では、室内に流入した空気が(1s)、室中心の柱に衝突して(2s)左右に大きく拡がり(3s、6s)、袖壁に沿って部屋全体に拡がっていく流れが形成されている(10s、20s)様子を把握することができる。このようにCFD解析の結果を活用して通風空間の流れの構造を把握することが可能である。

図21は、実験の室平均濃度減衰結果をもとに、風向0°、45°において室内の空気の移動拡散をマクロにとらえた図である。むらの大きな通風空間を流入空気の到達の速い領域と、遅い領域に仮想的に二分し、その2つの領域間を移動する空気移動量を算定している。図21では、室内を2:8と5:5に分割した時の空気移動量を表しており、流入空気がスムーズに流出する風向0°では、全体の2割の流入空気の到達しやすい空間(領域1:  $V_1=0.2V$ )を過半の流入空気が通過し(図21-1a)、半分の空間(領域2:  $V_2=0.5V$ )には2割の空気しか侵入しないことが分かる(図21-1b)。一方、風向45°では、空間(領域1)の容積が  $V_1=0.2V$  の時に2割強(図21-2a)、 $V_1=0.5V$  の時には5割強(図21-2b)の流入空気が領域1から流出しており、風向0°と比べて、室内が通風により大きく攪拌されている状況が示されている。

### 簡易設計手法の展望

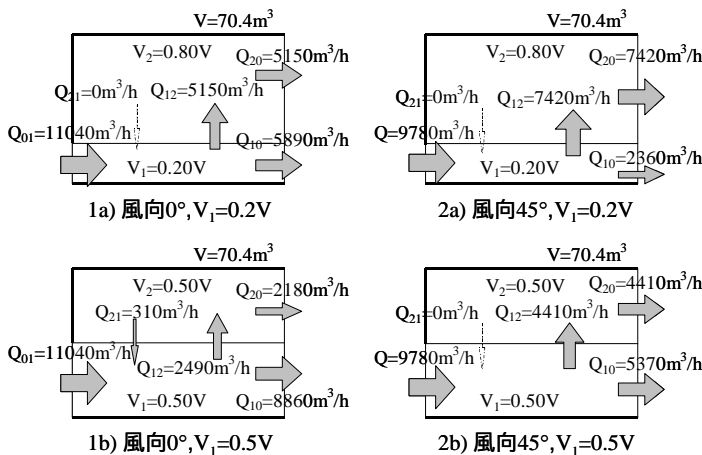


図21 空気移動のマクロ的な状況(左:風向0°、右:風向45°)

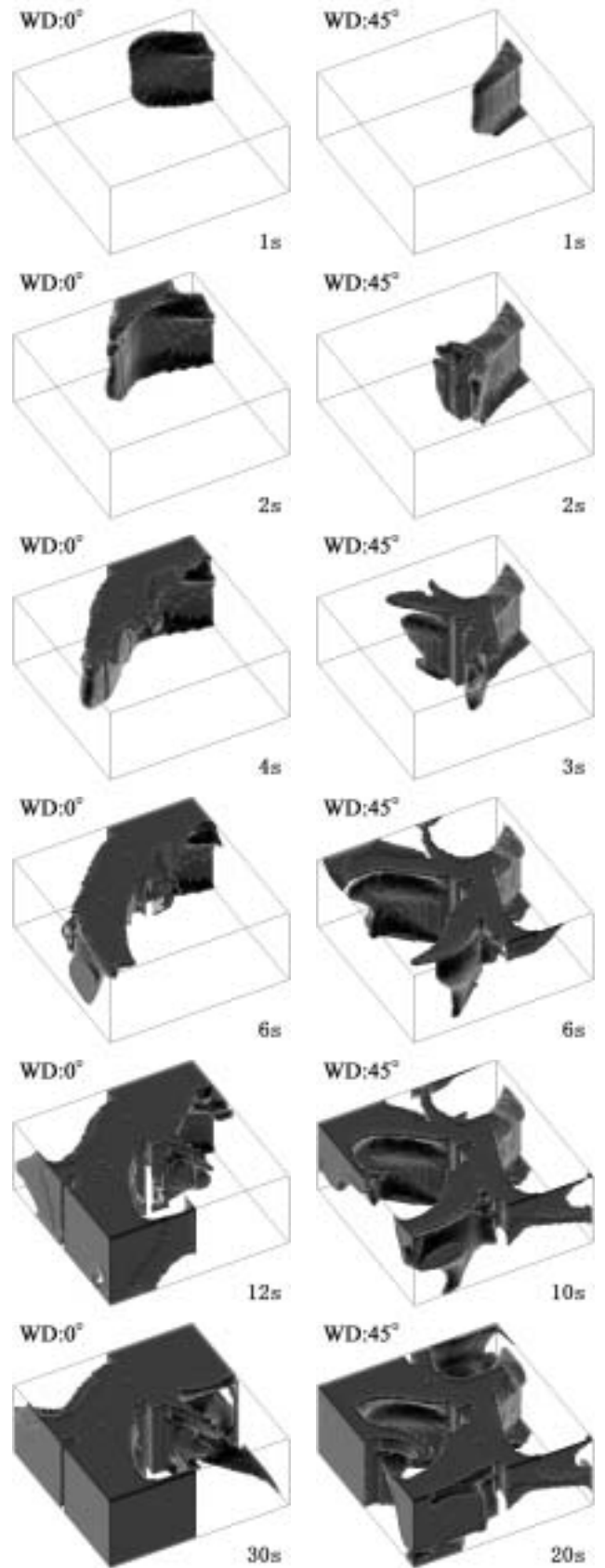


図20 流入空気の移動拡散状況(左:風向0°、右:風向45°)

これまでに、外界、建物周辺、開口部、室内の4レベルで行った検討結果について示してきた。通風環境の各レベルでの定量的な検討は引き続き進めていく必要があるが、今後は、把握した性状に基づいた通風空間の評価・設計手法を組み立てていく必要がある。通風利用を積極的に促進していくためには、簡便に通風の快適性や省エネルギー性を評価し、設計に活用できる手法が必要であり、そのためには、各レベル間の関係性について検討を進めていく必要がある。現在、図21に示すような枠組で、各レベルの定量的な評価から快適性・省エネルギー性を判断できる簡易通風評価手法を構築することを検討しているところであり、今後は各レベルの評価尺度の検討とともに、各レベル間をつなぐ関係性の検討をすすめる、最終的に通風の快適感や省エネルギー性を評価できる手法を構築することを考えている。

21, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1999-2004

2) T. Sawachi et al., "Wind Pressure and Airflow in a Full-scale Building Model under Cross Ventilation", The International Journal of Ventilation, vol.2, No.4, pp.343-358, March 2004

3) T. Sawachi et al., "Predictability of the Discharge Coefficient for Inflow and Outflow Openings in Cross Ventilation", Proceedings of Roomvent2004, September 2004

4) S. Nishizawa et al., "Examination of the Space with Cross Ventilation by Tracer Gas Technique and Zoning Concept of the Space with Unevenness", Proceedings of Roomvent2004, September 2004

5) S. Nishizawa et al., "A Wind Tunnel Full-Scale Building Model Comparison between Experimental and CFD Results Based on the Standard k-ε Turbulence Representation", International Journal of Ventilation Vol.2 No.4, pp.419-430, 2004.3

6) 西澤他：流れの時間スケールを考慮した換気・通風空間のむらの評価指標とマクロモデルへの展開，日本建築学会環境系論文集，pp.29-36，2004.2

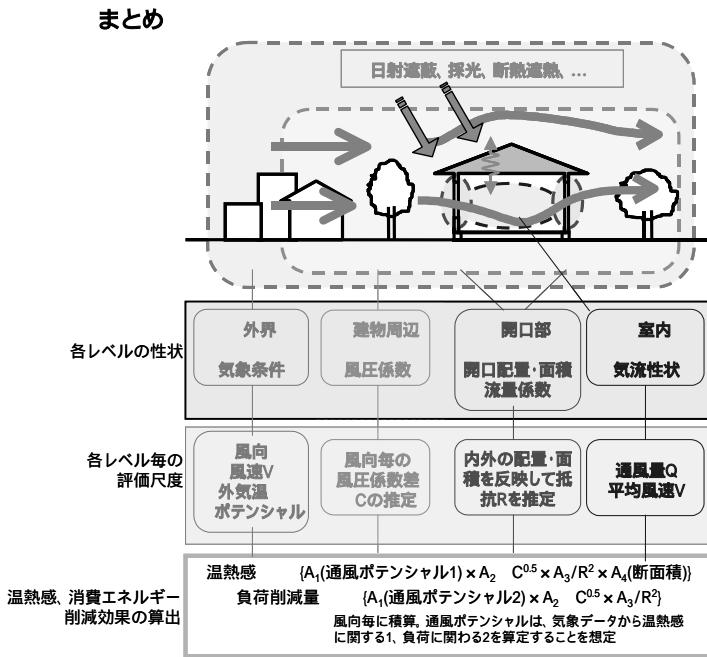


図22 簡易評価・設計手法の枠組

本報告では、通風空間の定量的な評価・設計手法の確立を目指して建築研究所で進めている通風環境の検討結果を、外界、建物周辺、開口部、室内の4レベルに分けて示した。また、現在検討している通風空間の簡易評価・設計手法の枠組について紹介した。今後は、引き続き通風環境の各レベルの定量的な検討を進めていくとともに、簡易評価・設計手法の構築を進める。

参考文献

1) 澤地他：住宅の通風設計および性能評価に関する研究 その1～