

IV 空気環境	3 換気と通風の力学（教科書 pp.138～143）
IV 空気環境	6 換気の計画（教科書 pp.153～157）
IV 空気環境	7 通風の計画（教科書 pp.158～161）
IV 空気環境	8 気密性能と換気（教科書 pp.162～164）
IV 空気環境	9 高層建物と煙突効果（教科書 pp.165～166）

1. 今日の目標

- 1) 流れの基礎式を知ろう。
- 2) 風力換気と温度差換気の仕組みを理解しよう。
- 3) 換気風量を計算しよう。
- 4) 換気の方法を知ろう。
- 5) よりよい通風計画のための方策を知ろう。
- 6) 気密性能について知ろう。

2. 流れの基礎式（教科書 pp.138～139）

時間が経っても流量が変化しない定常流の流れの場合、流れの中に、下図のような想像上の管（流管と言う）を設定することができる。

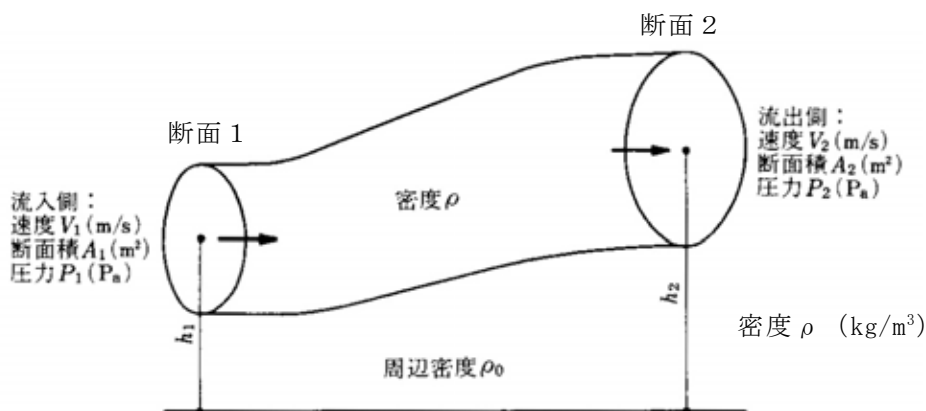


図 連続式とベルヌーイの式の説明（教科書 p.139 の図 3-3）

以下では、この流管について考える。

1) _____ の式

定常状態では、流管に両断面から流入もしくは流出する単位時間当たりの _____ は等しいので、下記の様に見える（記号は、前ページの図の中を参照）。この式を _____ の式と言う。

$$\rho \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho \cdot V_2 \cdot A_2 \quad (1) \text{ (教科書 p. 139 の (3.5) 式)}$$

2) _____ の式

断面 1 と断面 2 の間にある水の持つエネルギーはエネルギー保存の法則から一定で、等しいので、下記の様に見える。

$$\left(\rho \cdot V_1 \cdot A_1\right) \cdot \frac{V_1^2}{2} + \left(\rho \cdot V_1 \cdot A_1\right) \cdot g \cdot h_1 + P_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \left(\rho \cdot V_2 \cdot A_2\right) \cdot \frac{V_2^2}{2} + \left(\rho \cdot V_2 \cdot A_2\right) \cdot g \cdot h_2 + P_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

(2) (教科書 p. 139 の (3.6) 式)

$$\begin{aligned} \rightarrow & \left[\text{_____} \right] + \left[\text{_____} \right] + \\ & \left[\text{_____} \right] = \left[\text{_____} \right] + \\ & \left[\text{_____} \right] + \left[\text{_____} \right] \end{aligned}$$

参考) 高校の物理では、力学的エネルギー保存則として、外力の仕事が 0 の時、

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + m \cdot g \cdot h_B = \text{const}$$

[速度エネルギー] + [位置エネルギー] = [一定]

を使っていたはず。

3) _____ の式

(1)式を用いて(2)式を変形すると下記の様に見える。この式を、完全流体における Bernoulli (1700～1782) の式という。

$$\frac{\rho \cdot V_1^2}{2} + P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = \frac{\rho \cdot V_2^2}{2} + P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 = \text{const} \quad (3) \quad (\text{教科書 p. 139 の (3.7) 式})$$

→ [_____] + [_____] + [_____] = [_____] = 一定

→→エネルギーを圧力で表している (p. 90 以降では、圧力の視点から考えている)。

ただし、実際は、

[動圧1] + [静圧1] + [位置圧1] =

[動圧2] + [静圧2] + [位置圧2] + [_____]

となる。この圧力損失は、_____抵抗と_____抵抗などにより失うエネルギーを圧力に換算したものである (詳細は、教科書 pp. 141～142 の「3.4 ダクト系の圧力損失と圧力分布」などを参照)。

4) 層流と乱流

_____流：層をなして整然と流れる流れ

_____流：大小様々な渦が入り混じって不規則に流れる流れ

→私たちが目にする流れのほとんどが乱流

→→平滑な壁体表面近傍の温度境界層で、表面に極めて近いところでは、空気の流れは壁面に拘束されて層流となるが、表面から離れると乱流になる。

3. 風力換気（教科書 pp. 140～141）

_____換気：

_____から空気が流入し，_____から空気が流出する現象。風上側（風の当たる側）では，建物の_____から_____に_____がかかり，風下側（風の当たらない側）では，建築物の_____から_____に_____が加わる（教科書 p. 140 の図 3-5 を参照。）。

この時の_____ p_w [Pa] は，（3）式の動圧の項 $\frac{\rho \cdot V^2}{2}$ に比例し，以下のように表される。

なお，この式をニュートンの風圧式と言う。

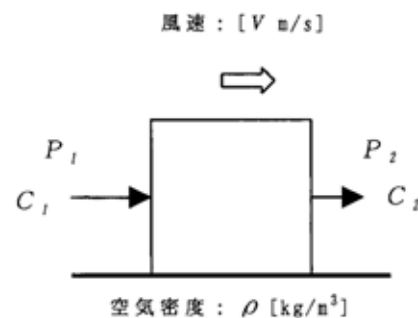
$$p_w = C \cdot \left(\frac{\rho \cdot V_r^2}{2} \right) \quad (4) \text{ (教科書 p. 140 の (3.11) 式)}$$

ここで，

C : _____（実験により決める。次のページの図を参照。出典：参考文献 [1]，p. 74）

ρ : 密度 [kg/m³] (ρ : ロー)

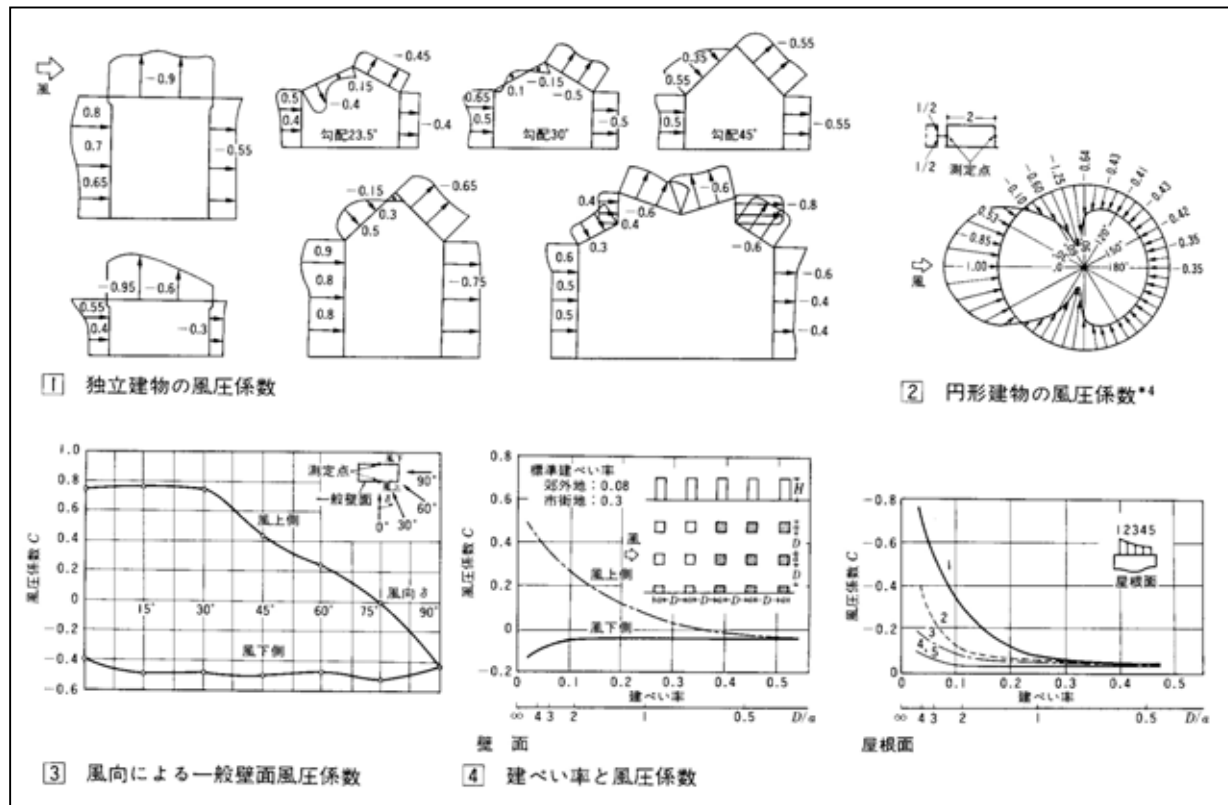
V_r : (建物軒高における上流側の点の) 風速 [m/s]



したがって，風上（地点1）と風下（地点2）の圧力差は，

$$p_{w1} - p_{w2} = \frac{(C_1 - C_2) \cdot \rho \cdot V_r^2}{2} \quad (5) \text{ (教科書 p. 140 の (3.12) 式)}$$

となり，これが風力換気の駆動力となる。



***** ヌ 彳 *****

4. 温度差換気（教科書 pp. 140～141）

_____換気：

室温と外気温に_____があるとき、空気の_____が異なるために、室周壁の内外に_____が生じる。この_____により、室内の方が、屋外よりも温度が高い場合、室の上部では_____から_____に向かって空気が流れ、室の下部では、_____から_____に空気が侵入する現象。

_____換気とも言う。

注) 比重：ある物質の質量と、それと同体積の基準物質の質量との比。普通、基準物質として摂氏4℃の純水をとる。

室内外の圧力差が0となる_____の高さ（この高さでは、例え開口部を開けても換気は行われない。）が、地表面から h_N [m] であるとき、下部の開口部における内外差圧は、外気の密度を ρ_0 として、

$$p_{b1} = (\rho_0 - \rho) \cdot (h_1 - h_N) \cdot g \quad (6) \text{ (教科書 p. 141 の (3.13) 式の変形)}$$

上部の開口部における内外差圧は、

$$p_{b2} = (\rho_0 - \rho) \cdot (h_2 - h_N) \cdot g \quad (7) \text{ (教科書 p. 141 の (3.13) 式の変形)}$$

とかける。

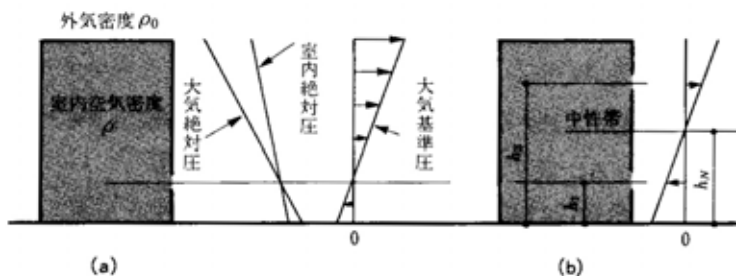


図 内外に温度差のある場合の圧力分布（教科書 p. 140 の図 3-6）

これらの差が、温度差換気の駆動力となる。

$$p_{b2} - p_{b1} = (\rho_0 - \rho) \cdot (h_2 - h_1) \cdot g \quad (8) \text{ (教科書 p. 141 の (3.14) 式)}$$

5. 換気風量の計算（教科書 pp. 142～143）

面積 A [m^2] の開口を通過する空気の流量 Q [m^3/s] は、

$$\underline{\hspace{15em}} \quad (9) \text{ (教科書 p. 142 の (3.22) 式)}$$

ここで、

V : 開口を通過する風速 [m/s]

α : $\underline{\hspace{2em}}$ [単位なし] (普通の開口では, 0.65～0.7 程度)

Δp : 開口前後での圧力差 [Pa]

ρ : 空気の密度 [kg/m^3]

$\alpha \cdot A$: $\underline{\hspace{2em}}$ [m^2] → どれだけ隙間があるかを表す。

→ 誘導の仕方は, 教科書 p. 142 の右側の欄を参照。(3.20) 式の誘導については, (3.17) 式の誘導も参照。

⇨ 風力換気の場合は, (9) 式の Δp に (5) 式を代入すれば良いので,

$$\underline{\hspace{15em}} \quad (10)$$

となり,

温度差換気の場合は, (9) 式の密度 ρ を外気の密度 ρ_0 として, (9) 式の Δp に (8) 式を代入すれば良いので,

$$\underline{\hspace{15em}} \quad (11)$$

となる。

▽開口部の合成

壁面に開口部が複数ある場合は、それらを合成する必要がある。

1) 並列合成

下図の (a) のように、同一壁面内に 2 つ以上の開口部があるときは、壁面を通過する風量はそれぞれの開口を通過する風量の和に等しい。

(12) (教科書 p.143 の (3.29) 式)

2) 直列合成

下図 (b) のように、いくつかの開口部を順次通過するときは、各開口部を通過する質量は等しい。

(13) (教科書 p.143 の (3.28) 式)

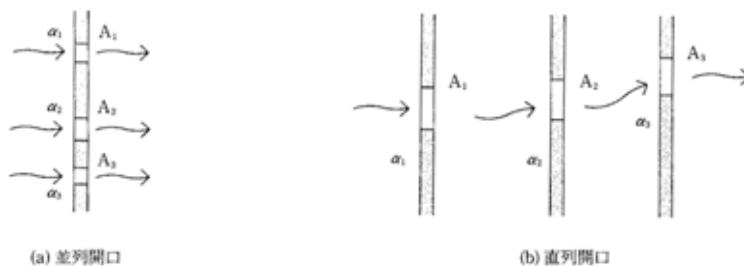


図 開口部の合成 (出典：参考文献 [2], p.69)

***** ヌ 毛 *****

6. 換気の計画（教科書 pp. 153～157）

6. 1 換気方式（教科書 pp. 154～155）

- ┌— _____換気：室内外の温度差（_____換気）や風力（_____換気）を利用した換気
└— _____換気（_____換気）：_____を用いて機械的に行う換気

換気方式には、下記の3ないし4種類がある。→教科書 p. 154 の図 6-2 参照。

1) 第1種換気方式（_____+_____）

- ・ _____した換気量。
- ・ 給排気の流量バランスを変えることにより室内圧を_____のどちらにも設定できる。
- ・ 利用範囲は_____。

2) 第2種換気方式（_____のみ）

- ・ 室内が_____。
- ・ 他室からの_____空気の_____を嫌う室や_____空気を必要とする室に適する。
- ・ 例) _____, _____など

注) クリーンルーム：空気中の浮遊物質が決められたレベル以下に管理され、必要に応じて温度、湿度、圧力などの環境条件も管理されている部屋。半導体製造工場名などで用いられる。

3) 第3種換気方式（_____のみ）

- ・ 室内が_____。
- ・ 室内で発生した_____が他室に_____はならない室に適する。
- ・ 例) _____, _____, _____, 有害ガスを発生する工場, 原子炉建屋, SARS（重症急性呼吸器症候群）対策など

4) (第4種換気方式)

自然換気方式だが、排気のための補助機構（ベンチレーターや煙突など）が設けられたもの。換気量は外部風などに影響され、不安定。

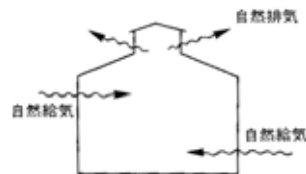


図 第4種換気方式（出典：参考文献 [1]，p. 67）

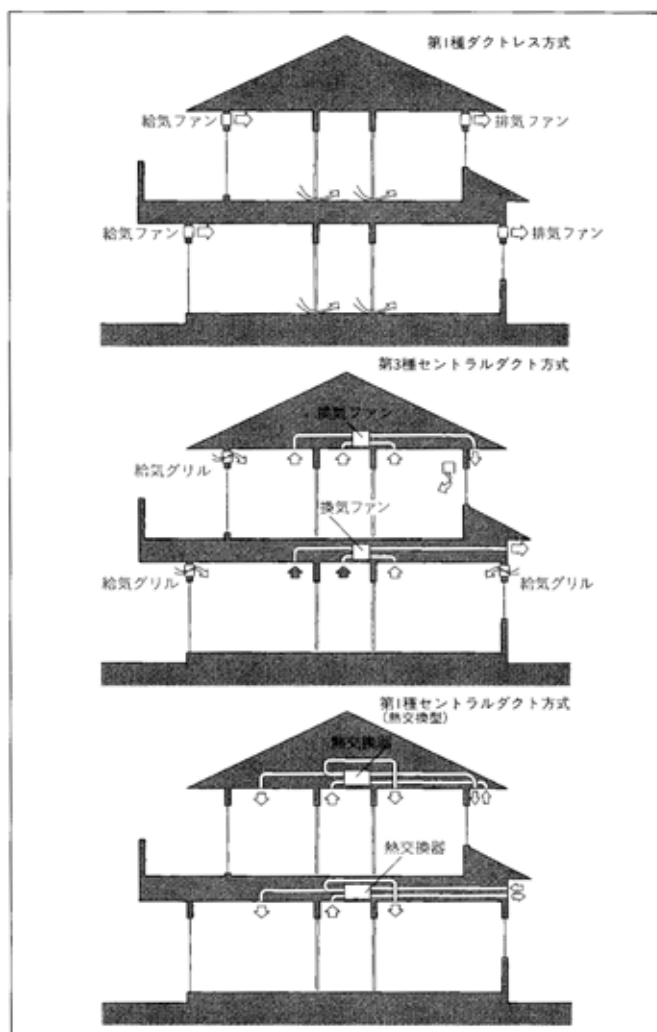


図 換気計画の実例（出典：参考文献 [4]，p. 120）

6. 2 全般換気と局所換気（教科書 pp.155～156）

1) _____換気

- ・室内_____の空気を希釈しながら入れ換える。
- ・使用例) 住宅の_____や事務所ビルの_____など

2) _____換気

- ・_____的に発生する有害ガス，熱，水蒸気，臭気を排出する。
- ・使用例) _____， _____

6. 3 換気計画の実際（教科書 pp.156～157）

1) 住宅（教科書 p.156 の図 6-8 を参照。）

- ・強制吸排気型やセントラルヒーティング方式など排気を室内に出さない暖房器具（_____暖房器具）を使用することが前提。
- 開放型暖房器具を使用すれば，室内空気が汚染される。

2) 事務所ビル

- ・床吹き出し空調システムによる上向き換気方式や_____方式などが，換気効率の高い方式として注目されている。
- _____：室内空気の積極的な混合を避けるため，居住域で発生した汚染質を室上部から排出する方式。

7. 通風（教科書 pp. 158～161）

通風は、____季の_____技術として古来より用いられてきた。
_____に気流を導くことにより、_____温度を低下させ、さらに日射などによ
る_____, 室内で生じる_____・_____負荷を速やかに_____に排出できる。

また、夜間に窓を開放して_____を行うナイトパーズ等も利用されている。

→配付資料 p. 100～101（出典：参考文献 [3], pp. 32～33）を参照。

8. 気密性能（教科書 pp. 162～164）

気密性能

・その建物がどの程度_____であるか、またはどの程度_____があるかを示す建物性能の一
つ。

・隙間の_____ $\alpha \cdot A$ （配付資料 93 も参照）で表すことが多い。

→教科書 p. 163 の表 8-1 を参照。

・室内温度差、外部風向風速が一定であれば、換気量は気密性能に_____する。

9. 煙突効果（教科書 pp. 165～166）

_____ :

周囲空気より温度の高い空気の柱（＝煙突）があると、両者の空気の重さ（比重量）の差によ
り、浮力が生じ、高温空気は上昇し、周囲の低温空気は煙突の下の開口から引き込まれて燃焼を
助ける。この浮力によって生じる建物内外の圧力差や空気の流れを煙突効果と呼ぶ。煙突効果の
応用例としては、高温工場や温室の自然換気がある。

10. 参考文献（[]内は、熊本県立大学附属図書館所蔵情報）

- [1] 『建築環境工学用教材 環境編 第3版』（日本建築学会，日本建築学会（丸善），1995年2月，¥1,845+税，ISBN：4-8189-0442-2）〔開架2，525.1||N 77，0000236338〕
- [2] 『初めての建築環境』（〈建築のテキスト〉編集員会編，学芸出版社，1996年11月，¥2,800+税，ISBN：4-7615-2162-7）〔開架2，525.1||Ke 41，0000216584，0000216585，0000216586〕
- [3] 『建築設計資料集成 総合編』（日本建築学会編著，丸善，2001年6月，¥23,000+税，ISBN：4-621-04828-7）〔開架2，525.1||Ke 41，0000275269〕
- [4] 『ディテール 158号（2003秋季号）』（彰国社，2003年10月，¥2,143+税，雑誌）〔所蔵なし〕

11. 参考 URL

- [1] 講義資料のダウンロード
<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~m-tsuji/kougi.html/genron.html/setubigen.html>

（注）「IV 空気環境」の中の以下の項目は、時間の都合上、省略せざるを得ないので、各自で勉強しておくこと。

「IV 空気環境 5 室内の温度分布（教科書 pp.148～152）」

「IV 空気環境 10 風環境（教科書 pp.167～168）」

▽次回の講義予定

- V 音環境 1 快適な音環境の形成（教科書 pp.170～171）
- V 音環境 2 物理音響学の基礎（教科書 pp.172～173）
- V 音環境 3 聴覚と音の生理・心理（教科書 pp.174～176）
- V 音環境 4 音の伝搬（教科書 pp.177～179）

032 室環境と設備：通風 Indoor Environment and Building Equipment: Cross-Ventilation

section 1
構築環境
室内環境と設備
建築の構造
インペローブ

通風計画[1]～[3]

通風とは、外に面する風上と風下の開口を大きく開放して外の風を取り込み、室内の開仕切り、家具などの配置を工夫して人のいる場所や必要な空間に風を通すことである。換気と比較して室内に取り込む空気量ははるかに多いため、以下のような効果を得ることができる。

- 室内にこもった熱、湿気、汚染などを速やかに取り除く。
- 小屋裏では屋根面からの日射取得熱を、床下では地面からの湿気を除去する。
- 身体からの対流と蒸発による放熱を促進して体感温度を下げる。
- 乱れが大きく不規則に変動する可感気流によって持続的に涼感が得られる。

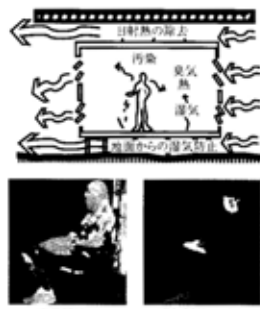
土地の風の吹き方を知る[4]

風は非常に局地性が強く、また、時間的な変動が激しいので、敷地の主風向や風速を次の条件から確認しておく、季節ごとの気圧配置

- 夏・冬の気圧配置による季節風
- 立地・地形による海陸風や山谷風
- 昼・夜間における海岸都市の海陸風と内陸盆地の山谷風の吹き方、都市化の程度による風速鉛直分布
- 市街地と郊外地の建物などの粗さにより、風速の鉛直分布は異なる。
- 周囲建物の建蔽率や高さ
- 敷地周囲の建物の条件により、風向・風速や壁面風圧は大きく異なる。
- 風速データの観測・解析方法
- 風の測定機器および観測時間により平均風速が、データの読み取り時間間隔により風速変動の大きさが異なる。

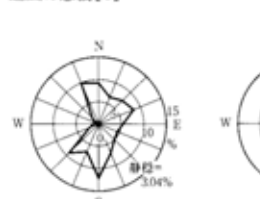
室内に風を導く工夫[5]

- 外の風を取り込む
- 風の入口と出口を考える。
- 風下開口を風上と同等または大きく開放する。
- 主風向と主風向の振れを把握する。
- 植栽配置や袖壁などを設けて室内に風を取り込む。
- 風を冷却しながら室内に導く
- 蒸発冷却：屋根散水、外断熱外皮蒸発、植物による蒸散などを活用する。
- 地中冷熱：接地床、地下室、土間床、クールチェンブなどを活用する。
- 床下冷気：床下地盤に接して冷却された空気を室内に取り込む。
- 夜間冷気：欄間、格子など開口を工夫して夜間の冷気を導入し、躯体を冷却して夜間外気の冷熱を蓄熱する。
- 風を発生させる
- 十分な日射遮蔽を行った上で室内外の温度差などを利用して気流を起こし、その空気のゆらぎにより涼感を得る。
- 建物上下にある開口や吹抜けの煙突効果を利用する。
- 水分の蒸発に基づく局所的な冷却により生じる対流を利用する。
- 建物両側の空間の冷却力、日射遮蔽の相違などに基づく温度差によって生じる弱い圧力差を利用する。

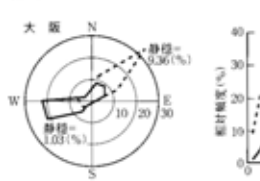


通風開始前 通風開始20分後
通風開始前に36℃であった顔面や手足は、通風後20分で33～34℃に冷却される。

通風の意義[1]



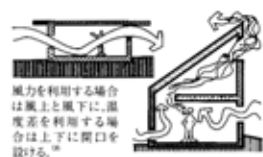
全日の風配 時間帯別風配
東京における夏季季(日平均気温≥20℃、5月下旬～10月初旬)は、大洋から大陸に吹き込む季節風と海陸風が良く発達する。風向を時間帯別すると、卓越風向がより明確になる。季節風と海風の風向が一致する時間帯の風速は、陸寄りの風が吹く時間帯に比較して1.5倍程度大きい。



夏季季の大阪(5月中旬～10月初旬)と福岡(5月中旬～10月中旬)における時間帯別風配と風速頻度分布
大阪:実観は13:00～18:00、観測は3:00～8:00のデータ、福岡:実観は12:00～18:00、観測は24:00～6:00のデータ

- 土地の風の吹き方を知る
- 室内に風を導く工夫
- 通風輸送の確保
- 風の流れを確かめる
- 湿熱と省エネの効果の確認

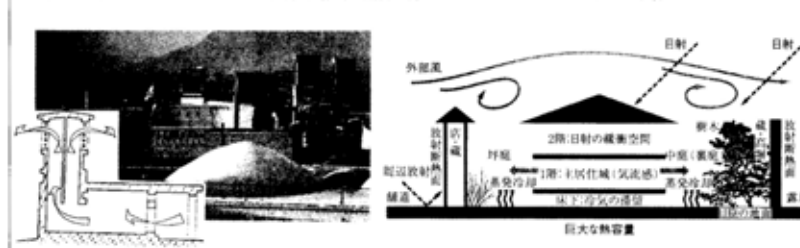
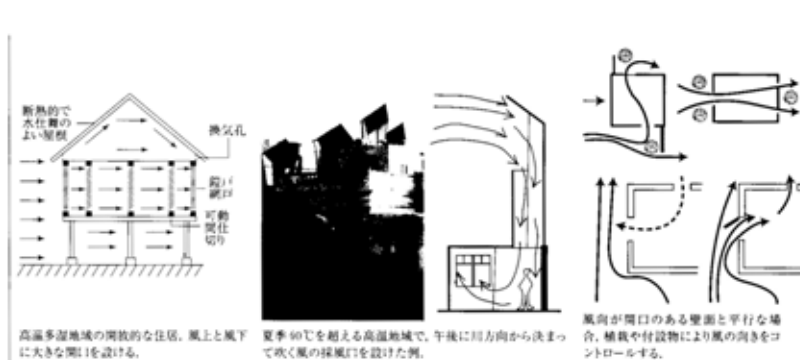
通風計画の流れ[2]



風力を利用する場合は風上と風下に、温度差を利用する場合は上下に開口を設ける。¹⁰⁾
風の通らない部分
開口や開仕切りの位置により室内の風速分布は変化する。通風の効果が左右される。

通風計画要素の概念[3]

土地の風の吹き方¹⁰⁾ [4]⇒環境編⑤：我が国大都市の風の特性



高温多湿地域の開放的な住居。風上と風下に大きな開口を設ける。
夏季40℃を超える高温地域で、午後には川方向から決まって吹く風の採風口を設けた例。
風向が開口のある壁面と平行な場合、植栽や付設物により風の向きをコントロールする。

室内に風を導く工夫¹⁰⁾ [5]⇒環境編⑤：各種採風の例



日射で塔が熱せられ、室内の暖かい空気が上昇し、涼しい空気が引き込まれる。高温乾燥地域で換気塔を備え、家の中に風道を作っている例。
植栽や水面を有して低温域を形成する二つの中庭の空間がレイアウトの違によって生じる圧力差を利用し、室内に風を発生させる。深い軒庇、縦や高層によって日射を遮蔽している京都の町家。¹¹⁾

通風輪道の確保 [6]

人が作業し生活する場所で効果的な通風を得るため、以下の検討を行う。
平面図による検討
風上開口から流入した風は流出開口に向かって流れ、その間に通風輪道が形成する。輪道に沿う空間には弱い2次の流れが生じる。したがって、開け切りをフレキシブルにしておき、効果的な輪道が形成する。

多居室を通る場合の検討

風上室から連続して通風輪道が生じ、2次気流が派生する場合など、複雑な検討が必要となる。

断面図による検討

人は、日常、椅子、横臥などの状態で室内の比較的低い位置で生活しており、床面から人の背丈までの通風輪道を断面図によって検討する必要がある。

風の流れを確かめる [7]

通風計画は、経験や勘に頼る場合が少なくない。しかし、通風時の風の流れを確かめることは、設計手法を発展させていくために重要である。

室内風速と外部基準風速との比(通風率)の分布を以下の方法によって検討する。

- 乱流数値シミュレーション
 - 風洞模型実験
- 都心部などで周囲の条件が複雑な場合、どちらの方法も手間は掛かるが、両者の結果は比較的良好に一致する。

通風効果と省エネルギー効果の確認 [8]

地域の気象データなどを使用し、通風時の温熱感覚に関する被験者実験および総合温熱環境指標の計算結果を判断材料として、通風による温熱効果と省エネルギー効果を検討する。

風だけを通す工夫 [9]

通風計画と同時にプライバシーの確保、日射遮蔽、騒音、雨水の侵入防除などの工夫を行う。

- 視線を防ぐ工夫
- 騒音を防ぐ工夫
- 雨水を防ぐ工夫
- 日射を防ぐ工夫

01: 渡野貞美: 住宅のバンプタワーリング, p.30, 森北出版 (1991)
 02: 渡野貞美: 夏季の海陸風を対象とする気象データの統計解析, 日本建築学会計画系論文報告集, No.389, p.28(1988)
 03: 日建設計: 風と建物, FACT-6, p.22(1992)
 04: 渡野貞美, 中村洋: 建築環境工学, p.298, 森北出版 (1996)
 05: 河平他4名: 場所細分割メッシュ法による通風時の室内気流分布に関する数値シミュレーション, 日本建築学会計画系論文報告集, No.456, p.17(1994)
 06: Q.ZHANG, et al.: ENERGY SAVINGS OF APARTMENT HOUSES BY NATURAL VENTILATION, 日本建築学会計画系論文報告集, No.381, p.1(1987)
 07: 石井昭夫他3名: サーマグラムの見られる自然通風の冷却効果, 日本電子ニュース, Vol.26, No.1, p.12(1986)
 08: 建築文化財館, 自然エネルギー建築のデザイン, pp.94-109, 朝日社 (1982)
 09: 渡野貞美: 断面断面の断熱性, 民間の自然エネルギー技術, 朝日社 (1999)
 10: デザイン 116号 (1993)
 11: 日本建築学会編: 概観 日本の建築, 東京, 新建築社 (1987)

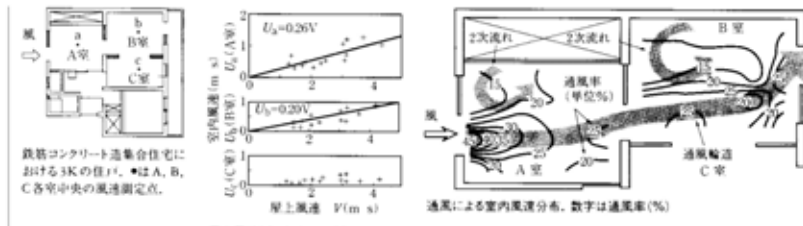
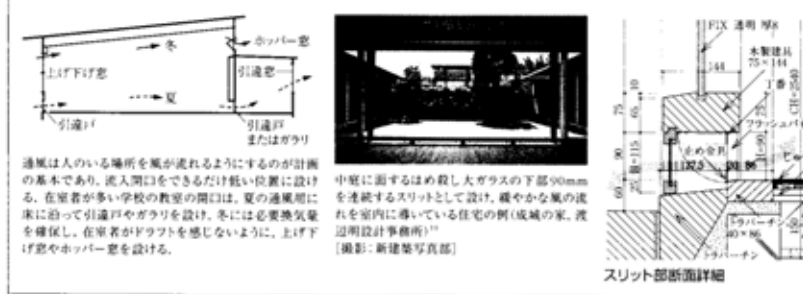
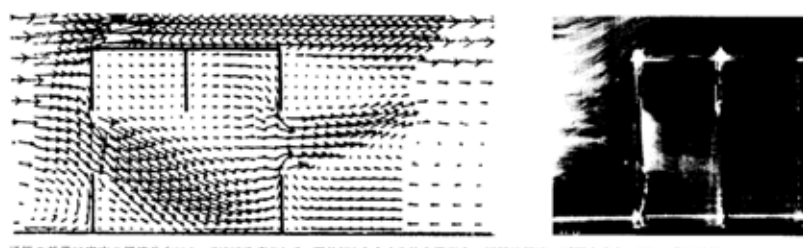


図3 鉄筋コンクリート集合住宅における3Kの住戸。●はA, B, C各室中央の風速測定点。
屋上風速Vと室内風速Uの関係
風は風上開口と風下開口を結ぶ線に沿って通風輪道を生じる。そこでの風速は外部の風速に比例し、通風率(=室内風速/外部風速)は一定となる。しかし、開け切り開口で遮る他の通風輪道からはずれる家の風速は、外部の風速に関係なく非常に弱い。通風時の風速分布は複雑であり、通風輪道の風は同じ室内の隣接空間に2次気流を派生させる。



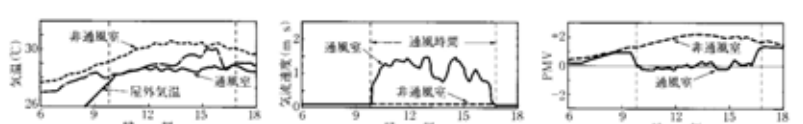
スリット部断面詳細
スリット部断面詳細

通風輪道の確保 [6] ⇨ 環境編 ⇨ 通風計画・設計諸例



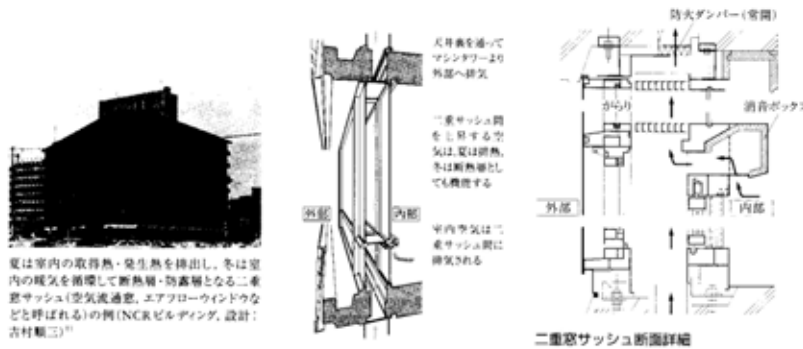
通風の効果は室内の風速分布によっては決定される。開け切りを有する独立模型内の通風時風速の断面内分布に関し、乱流数値シミュレーションによる風速ベクトル分布と風洞模型実験により可視化したものを比較すると、両者の気流パターンはよく一致している。

風の流れを確かめる [7] ⇨ 環境編 ⇨ 室内気流数値計算プログラム



室内の気温、相対湿度、気流速度および両面温度などの温熱環境要素と着衣量、作業強度などの人体側の条件が分かれば、総合的な温熱環境指標PMVの算出が可能となる。夏季の昼中、鉄筋コンクリート造の2住戸の一方が通風、他方が閉鎖状態の場合の3室(図3)に示される3K造3K住戸の平面図参照)の気温、気流速度などを測定し、夏の通常着衣で静穏安静時のPMVを計算すると、非通風時のPMVが+2程度(暑い)であるのに対し、通風時のPMVは0(暑くも寒くもない)に改善され、冷房の必要がなくなる。

通風効果と省エネルギー効果の確認 [8] ⇨ 環境編 ⇨ 通風の温熱・省エネルギー効果の計算例



二重窓サッシ断面詳細
二重窓サッシ断面詳細

風だけを通す工夫 [9] ⇨ 環境編 ⇨ 具体的な事例