

はじめに

古来、日本では夏の蒸し暑さへの対応として、建物に通風を有効利用してきた。京都の桂離宮は、夏の強い日差しを遮るために、軒には深い庇、外壁には十分な障子の開口が設置され、蒸暑気候に対応するための徹底した通風設計、採涼設計が施されている。今改めてこの伝統的な環境調整技術が見直されている。

現在、我が国のエネルギー消費は、民生業務部門が20%を占めている。地球環境問題の深刻化とともに、着実に炭酸ガス排出量を削減するために、建築部門の果たす責務は重い。

自然換気はその換気駆動力によって風力換気と温度差換気に分けられ、窓開口による大量の換気は通風と呼ばれている。自然換気の利用により、建築物の環境負荷低減と室内空気質の向上が図られ、省エネルギーへの有効な技術手段となりうる。環境に配慮した自然換気利用建物が、商業ビルを中心に各地に建設されている。

自然換気の研究は、昭和初期から行われてきた。1930年の建築学会パンフレットでは、「換気と涼房」の題で、涼冷な外気を取り入れ室内を涼しくする視点から、通気路設計と通気路法規が記述されている。順次新たな内容のパンフレットが出版されたが、1957年の設計計画パンフレットの室内気候設計の中では、教室の通風設計が記述され、開口率の重要性が指摘されている。

しかし、1973年の第一次石油危機を契機に1979年に省エネルギー法が制定され、自然風の通り路を考慮しない「閉ざされた空間」の高気密・高断熱の建物が建築されるようになった。その結果、通風換気を行き過ぎて削減した高気密化住宅では、シックハウス症候群や化学物質過敏症の発生を招き、社会的な問題となった。そこで1999年に次世代省エネルギー基準が新設され、閉じる機能と開ける機能の兼備が図られ、自立循環型住宅の設計ガイドラインなどが整備されてきた。

住宅を除く建築物に関しては、2002年に外皮と設備の省エネルギー基準が改正され、日射負荷の低減策としてダブルスキンファサードが着目されている。

海外でも1998年から国際エネルギー機関IEAのプロジェクトAnnex35の場で、ハイブリッド換気による建築物の省エネルギー研究が進められ、大開口における通風力学に対する研究成果は2001年以降、順次報告されている。

この本で皆様にお伝えしたいのは、自然換気は風力と浮力が複雑に絡み合う気流現象で、不安定な外界条件の影響を受けるために、現場実測、室内実験、風洞実験および数値流体解析(CFD)を用いて、現在も自然換気の研究が行われている状況である。つまり、建物内の流れである自然換気経路や気流が通過する開口部面積の設定など、自然換気量を導入して自然換気システムを適切に運用させるための「自然換気利用建物の設計法」は、建築空調設備設計法に比べて、いまだ、はっきりした定量的な設計基準が確立されていない。意匠設計者や設備設計者は経験や事例に基づいて自然換気の設計を行っており、自然換気設計に関する統一的なノウハウを保有していないのが実情である。

東日本大震災による原発事故の結果、今まで以上の省エネルギーが要請されている。また同時に建築物の環境品質の向上も要求されている。この相反する要求条件を達成できる「自然換気による環境調整技術」の確立が求められている。

本書は、建築設計の実務者が、オフィスビル、官公庁建築の基本計画、基本設計や実施設計に利用できる内容として企画され、大学院生・若手研究者も参考にできる内容を盛り込んだ。この出版を契機に、自然換気設計法の構築に向けた動きが加速されることを期待するものである。

2013年7月

日本建築学会

1

自然換気とは



1.1 自然換気を行う目的

自然換気は建物内の環境調整手法として、古くから利用されてきたが、空調システムの発展に伴い、都市部では窓の開かない完全空調のビルが増加してきた。これらの建物は、室内環境を空調によって一定に維持しやすい、都市部の騒音や空気質の問題に対処しやすいなどの長所がある反面、中間期に省エネルギー対策を進めにくい、建物の中にいて自然が感じられないなどの欠点がある。最近では、東日本大震災の影響による大規模停電の際に、窓の開かない建物はBCP（Business Continuity Plan：事業継続計画）立案の観点から問題があると指摘されたことも無視できない。

以下では、自然換気を導入するメリットとして一般に考えられている項目と、最近注目されているポイントについて解説する。

1.1.1 省エネルギー性

一般的なオフィスでは冷房エネルギーが全消費エネルギーの25%に達し、また図1.1.1に示すように全体の15%近くが、空気搬送と換気に消費されていることがわかっている。これより、中間期や盛夏時にナイトパージを行ったり、中間期の昼間に自然換気を利用して熱源と送風機を停止

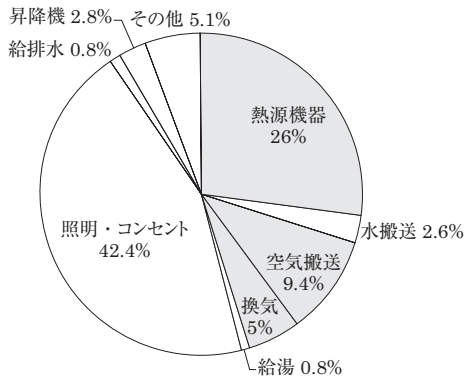


図 1.1.1 オフィスの最終エネルギー消費量¹⁾

できれば、非常に大きな省エネルギー効果が期待できる。

オフィスの省エネルギー推進の決め手として、「高効率照明やライトシェルフ、光ダクトの採用、照度センサーを利用した照明電力の削減」「VAVやVWV方式によるデマンド制御を導入した搬送動力の削減」などが有効とされているが、これらと並び、自然換気の積極的な活用は省エネルギー効果が高い。したがって、建物の省エネルギーを推進するうえで、自然換気の利用は必須の検討項目と言える。

1.1.2 気流環境と温熱環境

地球温暖化防止の観点から官公庁ビルを中心に夏場のクールビズが定着してきた。クールビズはノーネクタイ、ノージャケットなど職場のドレスコードを緩めたうえで、室温を28℃に設定して省エネルギーを推進するものであるが、室温28℃で快適性を維持するための条件をPMV、SET*で評価した結果を図1.1.2に示す。0.7clo（薄手のジャケット+ネクタイ）では気流が1.0m/sでも快適条件とするのは難しいが、0.5cloでは、0.4m/sの気流でPMV = 0.5, SET* = 25.6℃となり、快適範囲に収めることが可能であ

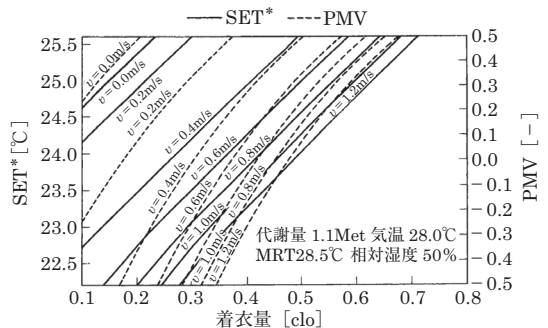


図 1.1.2 着衣量とPMV, SET*²⁾

る。つまり、自然換気を行うオフィスにおいて、この程度の気流を維持することができれば、室内快適性を維持することが可能となる。

1.1.3 自然換気ビルの温熱快適条件

ASHRAEでは、自然換気ビルにおける居住者の温熱快適条件を推定するオプションとして図1.1.3が提示されている。適用条件は、居住者が室内環境改善のために開閉可能な窓があり、空調設備はあってもよいが（空調は行われていないこと）、室内での着衣規制が緩やかであることが条件である。このような条件では、温熱快適条件が外気温度により変化し、その原因は居住者の過去の温熱環境の経験や着衣量の自発的变化、室内環境が主体的に制御できること意識、温熱環境に対する期待などによるとされている。図にはこのような条件で、居住者の代謝量が1.0～1.3Metの条件で80%と90%の居住者が快適と感じる作用温度の範囲が示されている。これは、自然換気ビルとすることによって室内環境条件が大幅に緩和される可能性を示している。

1.1.4 知的生産性

従来、建築室内における外気の取入れは外気負荷の増加を招くことから、空気質が悪化しない範囲で最小限の換気量を確保する方針で計画されてきた。しかし、最近では必要換気量を超えた換気を行うことによる知的生産性の向上が注目されて

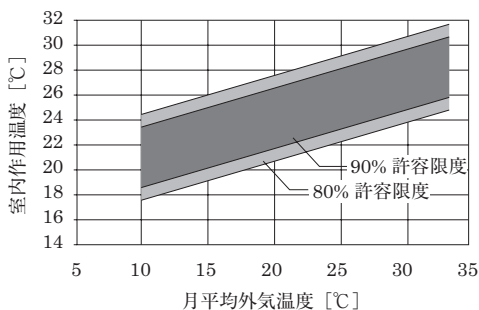


図 1.1.3 自然換気室における快適条件³⁾

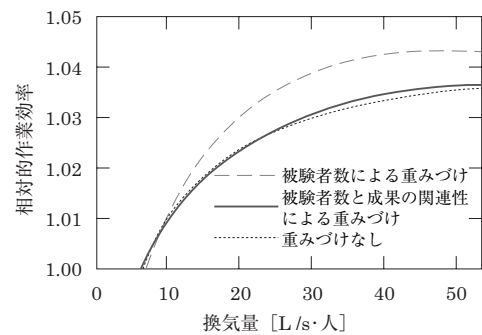


図 1.1.4 換気量と成績の関係⁴⁾

いる。

図 1.1.4 は換気量を変えた実験室における模擬事務作業と、実際のコールセンターでの対話時間から、作業効率と換気量の関係を示したものである。図によれば、換気量を倍増するとおよそ 1.5% 作業効率が改善すること、作業効率の改善は換気量が少ないときのほうが大きい、40L/s・人(144m³/h・人)を超えても改善すること、などが示されている。ちなみに日本での必要換気量(20～35m³/h・人)は図中 5.6～9.7L/s・人に対応する。自然換気によって大量の換気を取り入れることが、ワーカーの生産性向上につながる可能性を示すものである。

《参考引用文献》

- 1) 一般財団法人 省エネルギーセンター ホームページ
- 2) 石野久彌, 大熊涼子: COOL BIZ の室内温熱環境, 空気調和・衛生工学, 第 80 巻第 7 号, 2006
- 3) ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 2004
- 4) REHVA guidebook No.6, Indoor Climate and Productivity in Offices, REHVA, 2006

1.2 自然換気の原理

自然換気はその換気駆動力によって温度差換気と風力換気に分けられる。また、自然換気量はその換気駆動力と圧力損失のバランスによって決定される。以下ではその原理について概説する。

1.2.1 温度差換気

(1) 高さによる気圧の変化

図 1.2.1 に示すように、断面積 S [m²] の容器が密度 ρ [kg/m³] の液体で、高さ h [m] まで満たされた状態で、液体に作用する圧力 P [Pa] を考える。底面から高さ z [m] では、それより上部にある液体が、下部の液体に重力： $\rho g (h-z) S$ [N] を及ぼし、この地点の圧力による力： PS [N] が釣り合っている。これより圧力は次式で表される。

$$P(z) = \rho gh - \rho gz \quad (1.2.1)$$

式 (1.2.1) の右辺第一項は底面に作用する圧力を表しているの、これを P_0 [Pa] とおけば、

$$P(z) = P_0 - \rho gz \quad (1.2.2)$$

となる。つまり、液体に作用する圧力の高さによ

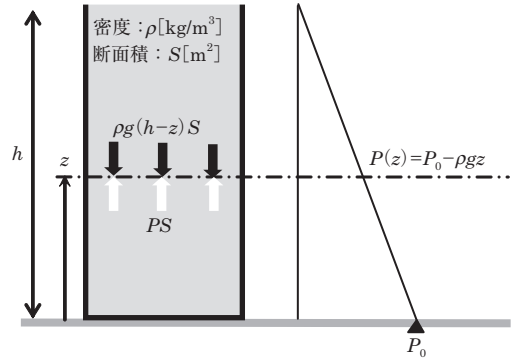


図 1.2.1 高さによる圧力の変化

る変化は密度によって決まる。

液体を気体に置き換えれば、気圧の高さによる変化も同様に説明できる。つまり基準となる高さの圧力を P_0 [Pa] とすれば、それより z [m] 高い地点の圧力は式 (1.2.2) で表すことができる。これは、大気圧の場合も、室圧の場合も同じである。

(2) 単一開口の場合の圧力分布

図 1.2.2 に示す室内空気が一様温度で、外気温より高い室を考える。このとき室内空気の密度は外気密度より低くなる ($\rho_0 > \rho_i$ 、以下では図中

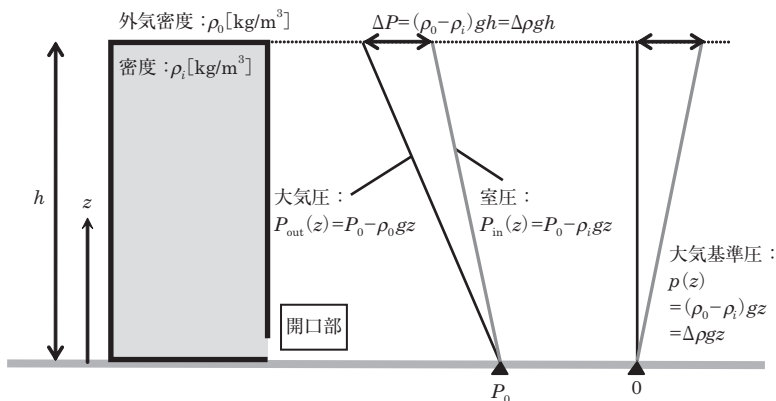


図 1.2.2 単一開口の室の圧力分布

の記号を用いる)。

この室の床面高さに小さい開口部を開けると、圧力の高い側から低い側に向かって空気の流れが生じるが、やがて内外の圧力差はなくなり、空気の流れも止まる。このとき、室床面の圧力は外気圧と等しく P_0 [Pa] となる。

ただし、内外の圧力が等しいのは床面のみ（傾きの異なる直線は1点のみで交わる）で、室上部に行けばいくほど、室圧の低下が小さいので、相対的に室圧のほうが高くなる。

大気基準圧とは室圧と同じ高さの大気圧からの圧力差で表したものであるが、室の大気基準圧は床面で 0 [Pa]、天井面で最大となり、 $\Delta\rho gh$ [Pa] となる。

(3) 複数開口の場合の圧力分布

さらに室天井高さに開口部を設けた場合の圧力分布を図 1.2.3 に示す。上部は正圧であったから室空気が外に向かって流出する。このため、室圧は低下し、下部の開口からは外気が流入する。室内は暖房状態にあるため、この空気の出入りによって、室温が変化しなかったとすると、室空気の密度は変わらない。このため、室圧は図中の点線から左に平行移動し、室内床面の圧力 P_i [Pa] は外気圧 P_0 [Pa] より低くなる。圧力の変化は下部から流入する換気量と上部から流出する換気量がバランスしたところで安定する。ただし、床面では外から中へ ΔP_1 [Pa] の、天井面では中

から外へ ΔP_2 [Pa] の圧力差、すなわち換気の駆動力がついているので、室温が変化しない限りこの換気は持続する。この換気駆動力はもともと温度差による密度差に基づく圧力である図 1.2.2 の $\Delta P = \Delta\rho gh$ を流入流出開口部に、それぞれ分け与えたものと考えることができる。なお、シャルルの法則を用いれば、室温を絶対温度で表して T_i [K]、内外温度差を ΔT [K] とおいて、温度差換気駆動力を次のように表すことができる。

$$\Delta P = \Delta\rho gh = \frac{\rho_0 g \Delta T h}{T_i} \quad (1.2.3)$$

式 (1.2.3) より温度差による換気駆動力を大きくするには、なるべく内外温度差 ΔT [K] を大きく、開口高さの差 h [m] を大きくすることが有効である。

1.2.2 風力換気

(1) 基準風速

建物に風が吹き付けると、大気圧に風圧力が加算されて作用する。風圧力 P_w [Pa] は、基準風速 U [m/s] と風圧係数 C を用いて式 (1.2.4) で表される。

$$P_w = C \cdot \frac{1}{2} \rho_0 U^2 \quad (1.2.4)$$

つまり、風圧力は基準風速の二乗に比例して増加する。基準風速は建物軒高さにおいて建物に接近してくる気流速度を用いることになっている。

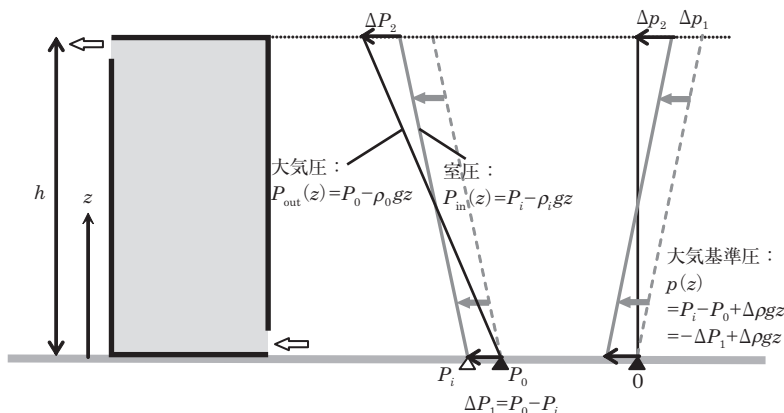


図 1.2.3 二開口の室の圧力分布

2

計画フローと
チェックリスト



2.1 自然換気計画の要点

2.1.1 はじめに

建物における換気駆動力として機械力を用いず、専ら自然の力に頼る方法を総称して自然換気と呼ぶ。自然換気には、風力を駆動力とする風力換気と内外温度差を駆動力とする温度差換気（または重力換気）がある。風力換気は、屋外風の影響で建物の風上側の自然換気口に発生するプラスの圧力（正圧）と風下の自然換気口に発生するマイナスの圧力（負圧）により生じる圧力差を駆動力とする自然換気である。一方、温度差換気は暖かい空気が冷たい空気よりも軽く浮力により上昇する原理を利用した自然換気である。通常は建物内の温度よりも外気温度が低い場合に、建物下部の開口部から外気を導入し、建物上部の開口部から室内空気を排出する方法を取る。

このように自然換気は原理的には大きく風力換気と温度差換気に分けられるが、実際には両者が混在したものが多い。自然換気の中でも、積極的に換気量・気流速度を大きくした場合を通風と呼ぶことがある。また、機械換気（または空調）と自然換気を混在させた方法としてハイブリッド換気がある（自然換気併用冷房と呼ぶこともある）。さらに、外気温度が低くなる夜間に自然換気を行うことで建物の躯体や家具などを冷却しておき、それらの持つ熱容量を利用して昼間の冷房負荷を低減する方法は、夜間換気またはナイトページと呼ばれている。

ファンの機械力により一定の換気量を確保する機械換気と比較して、自然換気の場合は外気温度や屋外風向・風速などの外界気象条件に応じて換気量が変動する。例えば、風力換気による自然換気量は屋外風速に比例し、温度差換気による自然換気量は内外温度差と複数の自然換気口の高さの

差の双方の平方根に比例する。したがって、温度差換気は一般に建物高さ（または天井高さ）が大きい建物や吹抜けを持つ建物において効果的であると考えられる。また、自然換気の場合は、換気口面積を大きく取ることで、機械換気よりもはるかに多くの換気量を確保することが可能となる場合がある。ただし、換気量が多過ぎると居住者にとって「コールドドラフト」と呼ばれる不快で冷たい気流が発生する危険性があるため、換気量と温熱環境のバランスを取ることが重要である。自然換気による冷却熱量については、自然換気量と内外温度差に比例するため、外界気象条件に応じて変動し、制御が難しい点にも注意する必要がある。

一般的に自然換気を行う場合には、気象条件や立地・建物条件により換気量が大きく異なる可能性があることなどから、計画時に十分な検討を行う必要がある。特に自然換気を導入する場合には、省エネルギーと温熱環境がトレードオフの関係になることが多いため、これらを両立させることが重要となることが多い。自然換気を有効に活用するためには、自然換気を持つこれらの特徴をよく理解したうえで計画する必要がある。

このように自然換気には計画上注意すべき点が多いにも関わらず、これまで自然換気の計画法について体系的にまとめられた資料はほとんどなかったと言える。以下では、自然換気の計画フローを示し、各フェーズにおいて実施すべきことや注意すべきことの要点をまとめるとともに、自然換気計画時におけるチェックリストを示す。なお、本節では各フェーズにおいて実施すべきことの概要のみを示し、詳細については後述の各章において記述することとする。

2.1.2 自然換気の計画フロー

フェーズで実施すべきことがある。自然換気の計画フロー例を図 2.1.1 に示す。以下ではそれぞれのフェーズにおいて実施すべきこと、注意すべきことの概要を説明する。

自然換気を計画するに当たっては、設計の各

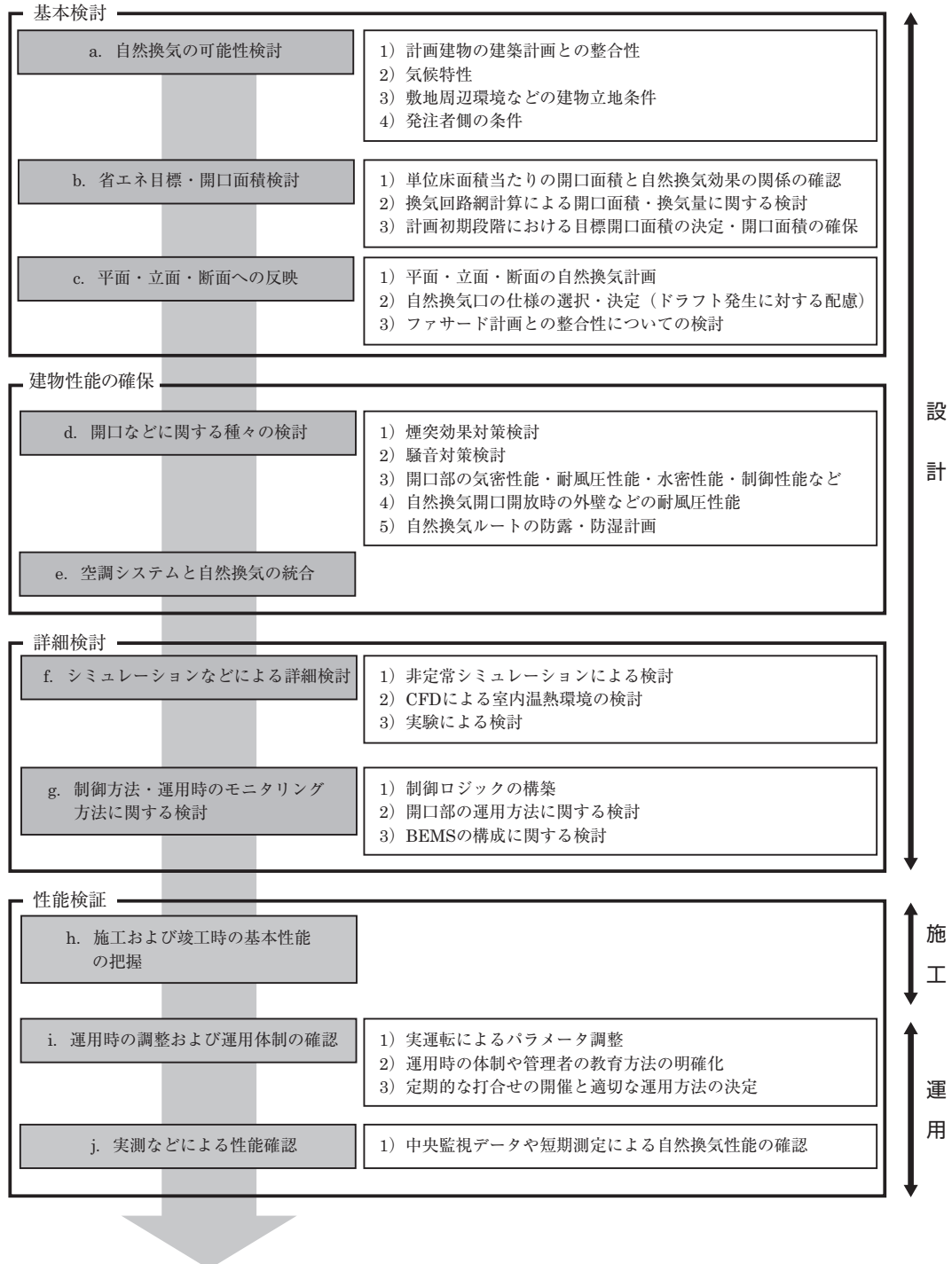


図 2.1.1 自然換気の計画フロー例

【基本検討】

a. 自然換気の可能性検討

(本書の 4.1 と 4.2 に対応)

計画のごく初期の段階においては、まず自然換気の可能性を検討する必要がある。この段階で考慮すべき主な項目は以下のようなものである。

1) 計画建物の建築計画との整合性

建物の用途・目的、建築計画の内容や想定される運用方法などを確認し、自然換気の適用が妥当かどうか見極める。また、自然換気を導入する場合には、どのような方法が適当か大まかに検討しておく（例えば温度差換気型なのか通風換気型なのか、手動制御か自動制御かなど）。

2) 気候特性（外気温湿度、自然換気可能時間）

建物計画地の気候の地域特性を考慮する。例えば、外気温湿度・外気湿度に基づく年間の自然換気可能時間の確認などを行う。

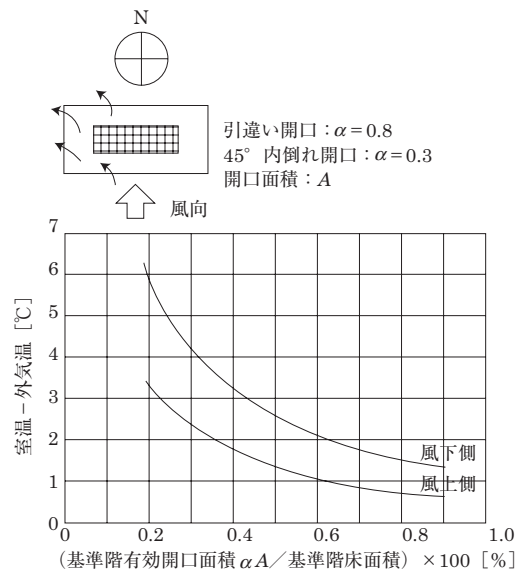
3) 敷地周辺環境などの建物立地条件（騒音、屋外空気質、塩害・花粉の影響などを含む）

敷地周辺の環境、騒音の大きさ（鉄道・交通騒音など）、屋外空気質（NO_x、粉塵など）、周辺建物の影響（風環境、汚染質発生、臭気発生など）などの検討を行う。また、海に近い場合には塩害の影響を調査する。スギやヒノキなどの花粉が飛散する時期については、その影響を防ぐのは難しいことが多いが、飛散時期・影響度合い・対策法についても考慮することが望ましい。また、具体的には自然換気口での対策となるか、虫や鳥の侵入に対する考慮も必要となる。

4) 発注者側の条件（要望・関心・コストなど）

現実的には、発注者の関心の高さや要望による優先順位とコスト的観点からの検討も必要である。

これらを踏まえたうえで自然換気の可能性に対する結論を出し、自然換気コンセプト・自然換気ルート（外気導入方法）を決定する。



*縦軸は空調なしの条件で室温が外気温からどの程度上昇するか換気回路網計算で試算した結果である。有効開口面積が床面積の0.5～1.0%程度あると自然換気が効果的であることがわかる。

図 2.1.2 有効開口面積と自然換気効果の関係¹⁾

b. 省エネ目標・開口面積検討（4.3 に対応）

自然換気の可能性検討の結果、自然換気を導入する場合、次のステップで自然換気による省エネルギー目標を設定し、開口面積について検討する必要がある。具体的には以下のような検討を実施する。

1) 単位床面積当たりの開口面積と自然換気効果の関係の確認（4.3 に対応）

図 2.1.2 に単位床面積当たりの自然換気開口面積割合（有効開口面積）と自然換気効果の関係を示す。開口面積が大きいほど自然換気の効果が大きいために自然換気を用いる場合の開口面積の目安としては、有効開口面積ベースで床面積の0.5～1.0%程度以上あることが望ましいと考えられる。

2) 換気回路網計算による開口面積・換気量に関する検討（4.3 と 5.2 に対応）

この時点で換気回路網計算を実施し、開口位置や開口面積を仮定したときの大まかな自然換気量を推定することが望ましい。換気回路網計算のモ