

業務用建築物における
自然換気計画
ブックレット

一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構
Institute for Building Environment and Energy Conservation

はじめに

このブックレットは、自立循環プロジェクトフェーズ5（2015～2017年度）「業務用建築物における自然換気に関する検討委員会」における検討結果をまとめたものです。自然通風・換気は、業務用建築において冷房負荷削減、ならびに消費エネルギー削減技術として広く普及し、採用事例も多い技術です。また、自然換気技術に期待される効果を事前に予測し、計画に反映する手法、例えば換気回路網計算や熱気流計算なども実用的な段階に発展し、実務において広く活用されています。

一方、自然換気技術の運用の実態調査からは、必ずしも計画通りに自然換気が実施されず、十分な効果が得られていない事例も多いことが明らかになっています。その原因については既往の文献¹⁾に詳しく記載されていますが、自然換気の計画においては、単に自然換気量や冷房負荷削減量を正確に予測するだけでなく、開口部を開放して外部環境要素を室内に取り入れる際に生じる様々な問題への対策や、これらを含む自然換気の適切な運用に関するマニュアルの整備など、運用時の効果を担保するための計画も重要です。

次に、自然換気の計画では、自然換気経路、具体的には開口部の位置、大きさや形状の計画が重要であることは言うまでもありません。さらに、上述の外部環境要素に対する配慮、すなわち騒音や粉塵などの自然換気阻害要因に対する対策など、自然換気技術の基本的な性能を決定する計画は、建物計画の初期段階で十分検討し、設計に反映する必要があります。計画初期段階の初期段階で適用できる自然換気技術の評価法が重要と言えます。計画初期段階の評価法の役割は、求められる効果、性能を実現するための建築的形態を決定し、システムを選択することです。これは、与条件としての建築的形態やシステムに対する効果を正確に予測する手法とはアプローチが異なり、この観点からは自然換気の評価法が十分に整備されているとは言えません。

以上のような背景から、このブックレットでは、建物の計画初期段階から運用段階に対する自然換気技術の計画法や、初期計画段階における自然換気計画法、運用段階を考慮した自然換気計画の実際を主なテーマとして取り上げました。さらに、資料編では、自然換気的设计要素として重要な風圧係数に関する情報と、開口部の通気特性を実験ならびに数値計算により決定する方法について、委員会で検討した結果を収録しています。

目次

第1章	自然換気計画のプロセス	
	1.1 自然換気の計画フロー	2
第2章	自然換気の基本計画	
	2.1 基本設計段階における建築計画と自然換気計画	6
	2.2 自然換気利用可能性に関する事前検討	8
	2.3 冷房負荷削減のポテンシャル	10
第3章	運用・マネジメントの具体的方法	
	3.1 設計意図の理解	34
	3.2 運用最適化計画	35
	3.3 自然換気の運用阻害要因	37
	3.4 換気口の作動音とメンテナンス	41
	3.5 自然換気許可条件の調整	45
	3.6 空調設備との適切な併用	48
	3.7 自然換気運用の実例	49
参考文献 一覧	参考文献一覧	57
資料編	資料編1 設計用外部風向風速および風圧係数データ	60
	・自然換気計画に活用できる気象データについて	60
	・自然換気計画に活用できる風圧係数データについて	62
	資料編2 自然換気部材の静圧－風量特性の試験方法	65
	執筆者名簿	89

第1章

自然換気計画のプロセス

1.1 自然換気の計画フロー

自然換気の設計では、計画の各段階に応じて様々な情報を収集し、設計内容を検討する必要があります。検討項目は個別の計画に応じて変わりますが、多くの建物に共通して求められる事項があります。図1は、業務用建築物において自然換気利用を計画する際のフローチャートで、自然換気設計の質保証を目的としたISO規格として検討されています。

図の設計プロセスは大きく以下の3つに分類することができます。

◆ 自然換気利用に関する事前検討

図1で、計画のスタート前に実施する項目として挙げられています。計画建物周囲の騒音や粉塵、臭気の発生状況や計画建物に対する影響を評価します。自然換気時の室内環境が、これらの要因によって著しく悪化し、またそれを防ぐ有効な対策が無い場合は、自然換気の利用が不適切であると判断します。これは極めて当たり前の事のように思われますが、実際にはこの段階での検討が不十分なため、運用段階で自然換気が利用されないケースが多く発生しています。

◆ 自然換気の利用条件と運用時の目標に関する検討

自然換気の利用条件は、制御システムの観点からは自然換気利用の可否を判断する制御条件を意味します。一方、居住者の観点からは、どの程度の環境を許容するのかについて、十分な配慮が必要になる項目となります。自然換気利用時は、機械空調時と異なり、一定の温熱環境を維持することは難しくなります。仮に室温の上限、下限や室内風速の上限を設定したとしても、その範囲を一瞬でも超えないようにするのか、あるいはある程度の時間であれば許容できるのか、など、時間軸と合わせて許容条件を設定する必要があります。さらに、開口部近傍と室奥のエリアでは温熱環境が大きく異なる場合も想定され、居住者の室利用形態を勘案しつつ、様々なケースに対して具体的な対策を立てることが重要です。この計画が不十分であると、自然換気利用時に居住者の不満やクレームが発生し、運用が難しくなります。自然換気時の室内温熱環境の目標については、ASHRAEが提唱するアダプティブモデル²⁾が参考になりますが、実際の計画においては上述のようなきめ細かい配慮が必要となります。

次に、自然換気の運用の結果得られる冷房負荷削減量や、エネルギー消費削減量の目標を設定します。これは図1に示す通り、これら効果の推定の結果を受けて実現可能な値を再設定する場合があります。これまでの調査事例から、自然換気が適切に計画された場合、2割程度の冷房負荷削減が期待できるようです。

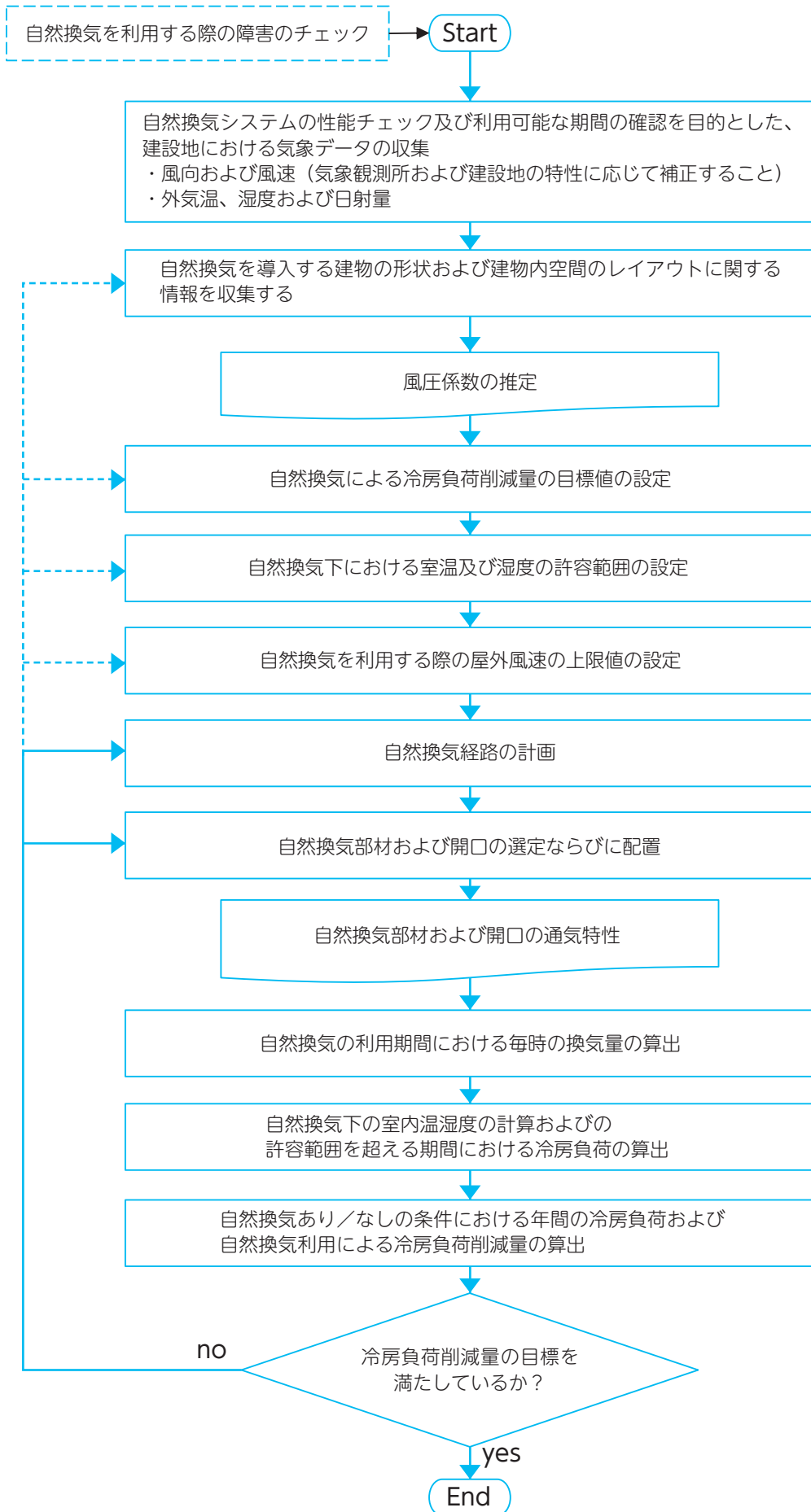
◆ 自然換気の効果に関する検討

設定した自然換気利用条件の下、期間冷房負荷削減量やエネルギー消費量を推定します。自然換気利用時の室内の温熱環境を詳細に検討する際には、熱気流シミュレーションなどを活用します。図1に示すように、効果の推定結果を受けて自然換気経路や開口部の大きさ、形状などを再検討するループを繰り返しますが、推定条件と推定結果の関係がブラックボックスであると、この検討のループを実行することが困難になる、あるいは無駄な作業が増加することになります。推定結果に大きく影響

する条件、要因について、定性的知見、あるいは典型的な事例から把握し、その要因と結果の関係をパラメトリックに検討して因果関係をあらかじめ把握するなど、合理的な方法を模索することが望まれます。

◆ 自然換気の運用計画に関する検討

図1のフローチャートに示す計画範囲に含まれないものの、重要な項目として、設計者から建物管理者への運用計画の伝達があります。運用計画の伝達事項には、自然換気システムと制御に関する詳細な情報に加え、定期的なメンテナンス、更新計画、トラブルへの対処方法などが含まれます。これらの情報はシステムの維持に際し不可欠となる項目ですが、この他にも自然換気計画の意義や、計画の様々な背景などについて居住者と認識を共有することは、継続的な運用を目指すうえで重要となるでしょう。



■ 図1 自然換気的设计フロー

第2章

自然換気の基本計画

2.1 基本設計段階における建築計画と自然換気計画

自然換気計画では、開口部の方位や位置、自然換気経路の決定などが重要な計画項目となり、これらは建築計画と密接な関わりがあります。建築物の外観や形状に影響するこれらの項目は、これ以降の設計段階で大幅に変更することが難しくなるため、基本計画段階での検討が非常に重要です。

◆ 自然換気計画と建築計画の関係

建築の計画段階と、自然換気計画の関係を図 2-1 に示します。具体的な自然換気計画を行う前に、立地条件から自然換気利用の可能性を事前に検討する必要があります。この検討については、2.2 節で述べます。次に、自然換気のための開口の位置や形状、大きさと、それらの開口部を組み合わせたときに形成される自然換気経路の計画を行います。これらの計画は建築形態を決定する要素にもなるので、建築計画と相互に検討することが求められます。

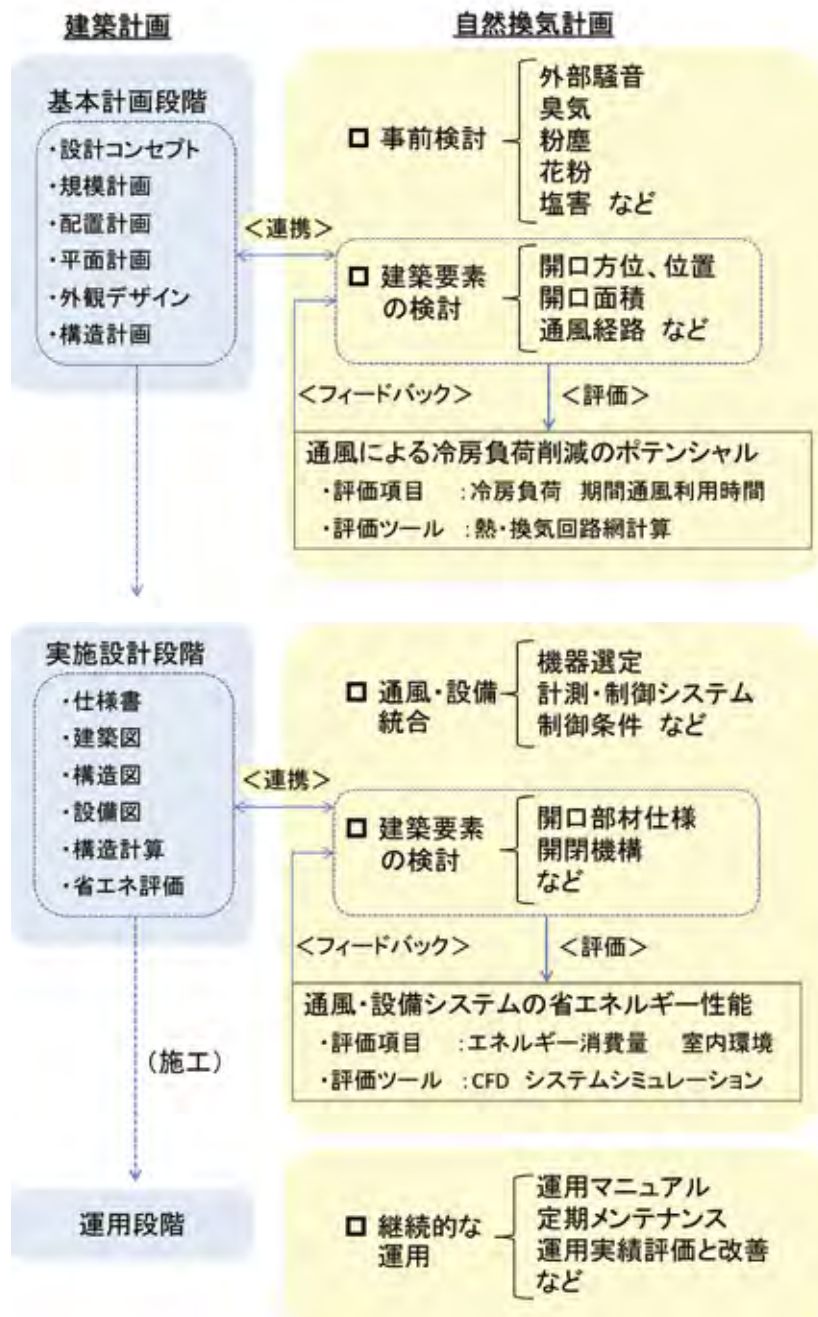
◆ 冷房負荷削減のポテンシャル

計画した開口部や自然換気経路の妥当性は、冷房負荷削減のポテンシャルで定量的に評価します。ここで、冷房負荷の「削減量」とせずに、「ポテンシャル」と書く理由は、図 2-2 に示すように、この段階では評価の入力条件の詳細が決まらないため概算となり、計画建物の最終的な性能ではなく、計画手法の効果の可能性を評価する意味合いが強いためです。つまり、評価の結果をフィードバックしながら計画内容を改善・修正する作業においては評価の簡易性が重要となり、個別の計画条件を反映した詳細な検討よりもむしろ、標準化された手法により大まかな条件に対する典型的な効果を迅速に評価することが有効と言えます。冷房負荷削減のポテンシャルの評価項目や評価ツールについては 2.3 節で述べます。

◆ 実施設計段階と運用段階

実施計画段階では、設備システムと自然換気システムの統合や、自然換気部材の仕様の詳細の決定を行います。この段階でも計画内容の評価と、結果のフィードバック作業を行います。部材や機器、システムの詳細な仕様を基に詳細な計算を行い、最終的な建物の性能を予測・確定することが求められます。評価項目は設備システムを含む年間の省エネルギー効果や室内の温熱環境評価、その評価ツールは気流計算ソフトやシステムシミュレーションを利用することが一般的です。評価は、それぞれの計画に特有の条件を反映した個別評価となります。

最後に、運用段階では、建物管理者への自然換気システムの運用方法の伝達や、継続的なシステムのメンテナンスが重要になります。これらの具体的な内容と方法については、3 章で述べます。



■ 図 2-1 建築計画の段階と自然換気計画の関係

基本計画

評価の目的	評価に求められる性能	評価法の性質
・建築的形態と要素の決定 ・最適な通風手法の選択と計画	・簡易性、柔軟性 ・フィードバックが容易	・概算 ・典型的、標準的

実施設計

評価の目的	評価に求められる性能	評価法の性質
・仕様に基づく効果の推定 ・推定結果に基づく仕様の改善	・推定精度 ・個別の条件が考慮可能	・詳細計算 ・個別評価

■ 図 2-2 評価の適用段階と評価法の性質

2.2 自然換気利用可能性に関する事前検討

論文「自然換気システムの運用実態に関する調査」¹⁾でも指摘されているように、自然換気の阻害要因によって計画された自然換気システムが運用されない例が多く存在します。自然換気は外部の環境を室内に取り入れる環境調整手法のため、外部環境が適切でなければ利用できません。自然換気利用の可能性に影響する要因は様々で、対応や事前の評価が難しい要素も多くあります。基本計画の段階では、可能な限りこれらの影響を定量的に評価し、自然換気システムの実質的な運用を担保することが重要です。

◆ 自然換気の阻害要因

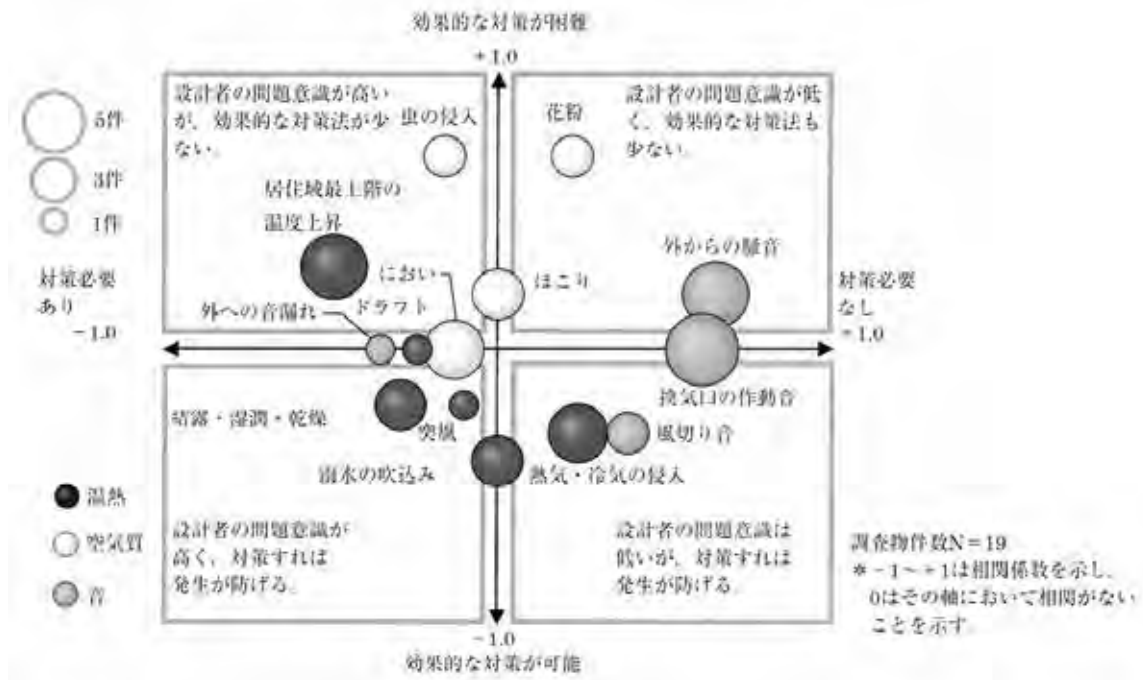
実際の建物において自然換気を運用した場合の苦情、すなわち自然換気の阻害要因は、既往研究「自然換気システムの運用実態に関する調査」¹⁾等によると、そのうち外部環境に関連する項目として騒音や臭気が多いとされており、既往研究¹⁾では調査事例 19 件のうち 5 件が阻害要因により運用を停止しています。これらのことから、自然換気利用の可能性に関する事前の検討、ならびに対策が重要であると言えます（図 2-3）。

◆ 自然換気の阻害要因の定量的な検討方法

外部騒音、および臭気、粉塵、NO_x など有害物質の拡散に関わる項目は、建物に対する影響を定量的に評価することが可能です。例えば有害物質について、東京都では東京都環境局が NO_x や PM_{2.5}、SPM などの大気中の汚染物質の濃度を常時計測し、その値を公表している地点があります (<http://www.taiki.kankyo.metro.tokyo.jp/>)。計画敷地が計測ポイントに近い場合は公表データを参考に建物への影響を検討することができます。しかしデータが公表されている地点は東京都全体でも 47 地点であり、特定の建物に対する影響を検証するために十分な状況とは言えません。

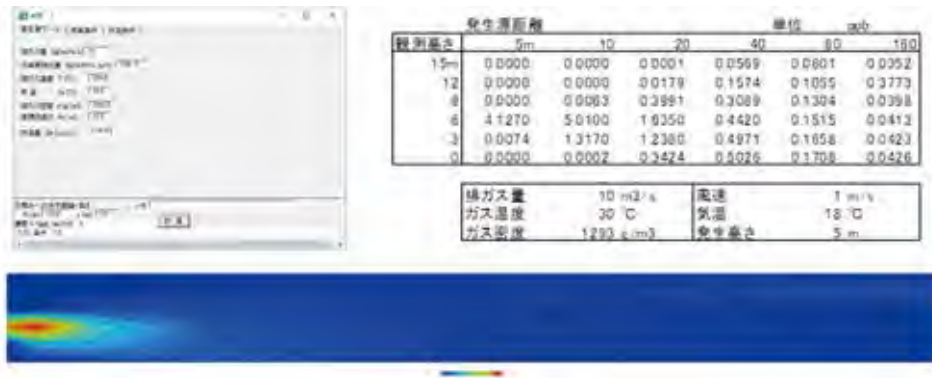
一方、汚染物質や粉塵の拡散は、気流計算ソフトを用いてシミュレーションすることができます。ただし、一般的に計算の実行には多くの時間と労力を要するため、事前検討として適切な手法であるかは個別に判断する必要があります。このような気流計算のほかにも、ADC⁴⁾のような汚染物質の大気拡散計算プログラムがあります（図 2-4）。汚染物質の発生量や、温度、発生源までの距離や高さ、風速のレベルなどを入力すれば、瞬時に汚染物質の濃度計算を行うことができるので、簡易に影響を評価することができます。

事前検討の結果、何らかの対策が必要と判断された場合の対策例は 3 章の建物事例に具体的に示しています。



引用：山本佳嗣ら「自然換気システムの運用実態に関する調査」¹⁾
日本建築学環境系論文集 第619号 2007年

■ 図 2-3 自然換気計画における設計時の対応と実際の苦情との関係



■ 図 2-4 ADC 入力画面と計算結果の例

2.3 冷房負荷削減のポテンシャル

図 2-1 にて示したように、基本計画段階の自然換気計画において、計画の妥当性・有効性を評価する代表的な項目は、冷房負荷削減の可能性や年間の自然換気の利用時間です。これらの項目は、環境工学の知識を基に手計算で概算を行うことも可能であり、これが計算条件と結果の関係が明確であるが故、計算ソフトやツールを用いる場合よりも計画内容の決定に対して有効に作用することもあります。一方で、自然換気量や自然換気時の室温計算は建物規模が大きくなるほど複雑になり、手計算で検討できる範囲には限界が生じます。ここでは、主に簡易な表計算や計算ソフトを用いた評価方法について述べます。

◆ 冷房負荷と自然換気利用時間の計算ツール

自然換気の換気駆動力は風圧力と浮力です。吹き抜けや、同じ空間で高さの異なる開口部が存在する場合、風圧力と浮力が同時に作用し、その結果として自然換気量と室温が決まります。自然換気量と室温を基に、冷房期間の冷房負荷や自然換気利用時間の合計を計算しようとするとき、一般的には換気回路網と熱回路網を連成して解くことになります。このような計算が可能なソフトとして、例えば TRNFlow^{※1} や EnergyPlus^{※2} などがあります。また、任意の温度設定と風圧力を考慮して自然換気量を計算するソフトの例として Ventsim^{※3} (©(独)建築研究所) があります。これらのソフトでは、一般に建物形状、居室の位置関係、壁や窓の材料・物性、内部発熱や在室スケジュールなど、比較的多くの計算条件の入力作業が求められます。基本計画段階で短時間に行う概算のためのツールとして利用するには、あらかじめ典型的な建物を想定した標準モデルを作成しておくなどの工夫が必要となります。

参考 URL :

※ 1 <http://qcd.co.jp/software/trnflow/>

※ 2 <https://energyplus.net/>

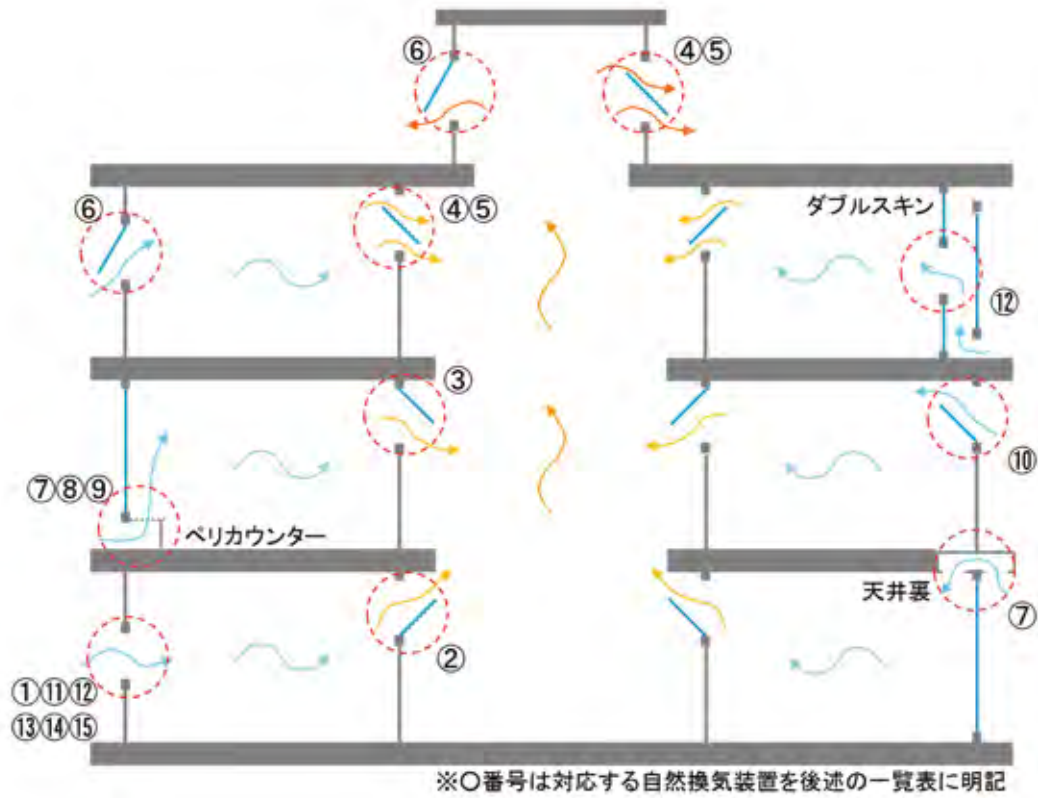
※ 3 <http://www.ae-sol.co.jp/aesol02.html>

◆ 自然換気設計資料

自然換気計画の基本的な資料として、①風況データ、②建物の風圧係数分布、③開口部の通気特性があります。①と②に関しては、これまでの多くの知見やデータを集約し、付録 1 に示すデータベースとして公開されています。③の開口部について、現在市販されている代表的な製品の構造や特徴、用途、通気特性をまとめたものが表 2-1 です。各製品は、付図 1 に示す配置例と対応し、自然換気部材の納まりと断面詳細についても記載しました。また、表の適用事例 I から XII の製品については、自然換気部材が取り付けられた外壁のイメージや、部材の代表的な組み合わせを示しています。

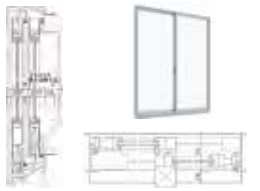
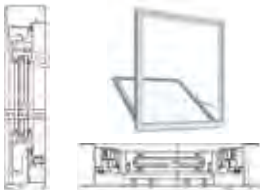
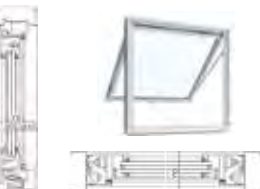





次に、表 2-1 には通気特性として流量係数及び静圧一風量特性が示されています。この値は標準的な値ではありますが、実際の建物に取り付ける自然換気部材は個別に仕様を決定する 경우가多く、僅かな形状の違いでも通気特性が変化する可能性があることには注意を要します。したがって、個別の建物で採用される製品の通気特性を事前に検証することが望ましいのですが、現在規格化された手法

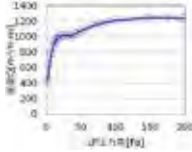
は存在しません。そこで、委員会にて実験による方法と数値計算による方法を検討し、結果を資料編に記載しました。


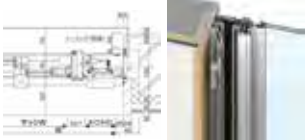
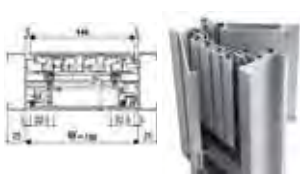


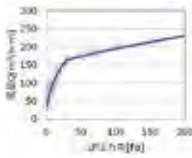
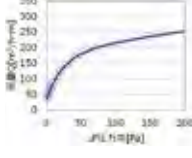
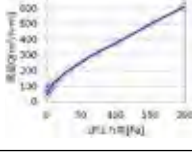
■ 付図 1 自然換気部材の配置例

■ 表 2-1 代表的な自然換気部材

区分		構造	特徴	対象 / 使用用途
一般サッシ	① 一般サッシ (スライディング系)		・一般サッシで安価	低層建築物 / ・手動の自然換気窓として
	② 排煙窓 (外倒し窓)		・排煙窓であるが、換気窓の使用も可能	低層-高層建築物 / ・排煙窓 ・高層建築物のボイド空間への排気口として
	③ 排煙窓 (突き出し窓)		・排煙窓であるが、換気窓の使用も可能	低層-高層建築物 / ・排煙窓 ・高層建築物のボイドエンドの排気口として
専用部材 横型	④ 風力換気窓 (逆流防止)		・無風時は全開 ・風速約1m/sで閉鎖し、逆流を防止	低層-高層建築物 / ・体育館、アトリウムなどの大空間および低中層建築物の排気窓 *高層建築物のボイドへの排気、ボイドエンドの排気口として *排煙窓との兼用可
	⑤ 風力換気窓 (横軸回転窓)		・風の強さにあわせて障子が自然可動 ・逆風の吹込みを抑えることで風に通り道をつくり、建物全体での効率の良い換気を実現	低層-高層建築物 / ・学校やオフィスビルの階段室や吹抜け空間における建物全体での重量換気用の自然換気窓 ・排煙窓仕様の設定あり
	⑥ 風力換気窓 (強風抑制)		・無風時は30°開放 ・風速5m/sで閉鎖し逆流や過換気を防止 ・排煙窓としての機能を備え、45°強制開放が可能	低層-高層建築物 / ・主に非住宅建築物の自然換気用
	⑦ 横型定風量換気装置		・風量制御弁により強風時の過大流入を抑制し、安定した外気導入が可能	低層-高層建築物 / ・開放可能な開口部が設置されない建築物の給排口として (ペリカウンター設置)
	⑧ 横型換気装置 (換気ホッパー)		・雨が入りにくい	低層-中層建築物 / ・開放可能な開口部が設置されない建築物の給排口として (ペリカウンター設置)

給気 / 排気	設置形態		手動 / 自動	部材仕様					部材性能		適用事例	部材仕様、性能における凡例
	CW	サッシ		システム連携	風量制御	逆流防止	ウインドキャッチ	防虫防塵	開放時雨仕舞	通気特性 (α、P-Q 特性)		
給気・排気	○	◎	手動	×	×	×	×	防虫網	×	流量係数 α = 0.63		[設置形態] ・CW (カーテンウォールに組込み) ・サッシ (サッシ連段窓) ◎: 組込み可能 (主に用いられる形態) ○: 組込み可能 [システム連携] ○: 空調等、設備との連携が可能 ×: " 連携が不可能
(給気)・排気	○	◎	手動・自動	○	×	×	×	防虫網	×	流量係数 α = 0.45 (全開開度 80°)		[風量制御] ○: 風量制御機構が組込まれている ×: " 組込まれていない [逆流防止] ○: 流入出何れかの方向性を制御できる ×: " 制御できない
給気・(排気)	○	◎	手動・自動	○	×	×	×	防虫網	○	流量係数 α = 0.45 (全開開度 50°)		[ウインドキャッチ] ・建物の壁面を流れる風をとらえる ○: ウインドキャッチあり ×: " なし [開放時雨仕舞] ・開放時、雨の降り始めに対する防雨性 (システム連携が無い場合) ○: 一定の防雨性あり ×: 防雨性なし
排気	○	◎	手動・自動	○	×	○	×	防虫網	○	流量係数 α = 0.42	(I) (II)	
給気・排気	○	◎	手動・自動	○	×	○	×	防虫網	○	流量係数 α = 0.42	(III)	
給気・排気	○	◎	手動・自動	○	○	○	×	防虫網	○	流量係数 α ≤ 0.23	(IV)	
給気・(排気)	◎	○	手動・自動	○	○	×	×	フィルタ	○	P-Q 特性 	(V) (VI)	
給気・(排気)	◎	○	手動・自動	○	×	×	×	フィルタ	○	流量係数 α = 0.39		※図、写真提供 ①②③④⑦: 三協立山 ⑥⑧: LIXIL ⑤: YKKAP

区分		構造	特徴	対象 / 使用用途	
専用部材	横型	⑨ 横型換気装置 (FIX 窓下枠換気口内蔵)			低層-中層建築物 / ・換気装置を組み込んだFIX窓、すっきりとした開口部の意匠性はそのままに自然換気が可能
		⑩ 横型換気窓 (換気小窓 内倒し型)		・障子を閉めたまま換気が可能 ・複層ガラスに対応 ・換気量と採光面積を確保できる	低層-中層建築物 / ・集合住宅、庁舎、教育施設等でよく用いられる引違い窓に組込む内倒し型の換気小窓
	縦型	⑪ 縦型換気窓 (上下開き窓)		・1面にしか設置できない場合でも、建物の壁面に沿って流れる風をとらえ、外気を導入する ・開口 W = 110mm	低層-高層建築物 / ・集合住宅の個室や小規模の会議室など窓を1面にしか設けられない場合に有効
		⑫ 縦型定風量換気装置		・風路内に設置された風量制御弁により強風時の過大流入を抑制し、安定した外気導入が可能	低層-高層建築物 / ・開口部に連窓して設置される給排気口 ・カーテンウォールへの組み込みも可
		⑬ 縦型定風量換気装置		・建物の壁面を流れる風をとらえ、外気を導入する ・風量制御弁により強風時の過大流入を抑制し、安定した外気導入が可能	低層-高層建築物 / ・片面にしか開口がとれない空間に対し、2対の部材を向きを変えて設置する事により、自然換気が可能 ・カーテンウォールの方立に内蔵
		⑭ 縦型換気装置		・縦型でスリム ・開口高さを殺さない	低層-中層建築物 / ・開口部に連窓して設置される給排気口
		⑮ 縦型換気窓		・縦型でスリム ・内外ともにフラットなファサード ・雨水抑制機能付を設定 (防水性: 99.99%)	低層-高層建築物 / ・非常用進入口やFIX等との連窓で用いる自然換気窓

給気 / 排気	部材仕様								部材性能		備考	
	設置形態		手動 / 自動	システム 連携	風量 制御	逆流 防止	ウインド キャッチ	防虫 防塵	開放時 雨仕舞	通気特性 (α、P-Q 特性)		
	CW	サッシ										
給気・排気	○	○	手動	×	×	×	×	フィルタ	×	流量係数 α=0.07 (換気口長さ 800mm)	[設置形態] ・CW (カーテンウォールに組込み) ・サッシ (サッシ連段窓) ◎: 組込み可能 (主に用いられる形態) ○: 組込み可能 [システム連携] ○: 空調等、設備との連携が可能 ×: " 連携が不可能 [風量制御] ○: 風量制御機構が組込まれている ×: " 組込まれていない [逆流防止] ○: 流入出何れかの方向性を制御できる ×: " 制御できない [ウインドキャッチ] ・建物の壁面を流れる風をとらえる ○: ウインドキャッチあり ×: " なし [開放時雨仕舞] ・開放時、雨の降り始めに対する防雨性 (システム連携が無い場合) ○: 一定の防雨性あり ×: 防雨性なし	
給気・排気	○	◎	手動	×	×	×	×	防虫網	×	流量係数 α=0.18		
給気・排気	○	◎	手動	×	×	×	○	防虫網	×	流量係数 α=0.4		(VII)
給気・排気	○	◎	手動	○	○	×	×	防虫網・フィルタ	○	P-Q 特性 		(VII)
給気・排気	◎	○	手動	○	○	×	○	フィルタ	○	P-Q 特性 		
給気・排気	○	◎	手動	×	×	×	×	フィルタ	○	P-Q 特性 		
給気・排気	×	◎	手動	×	×	×	○	防虫網	○	流量係数 α=0.12 (雨水抑制機能付)		(IX)

※図、写真提供
 ⑫⑬⑭: 三協立山
 ⑪: LIXIL
 ⑨⑩⑮: YKK AP

【適用事例Ⅰ】

④風力換気窓：ボイド排気

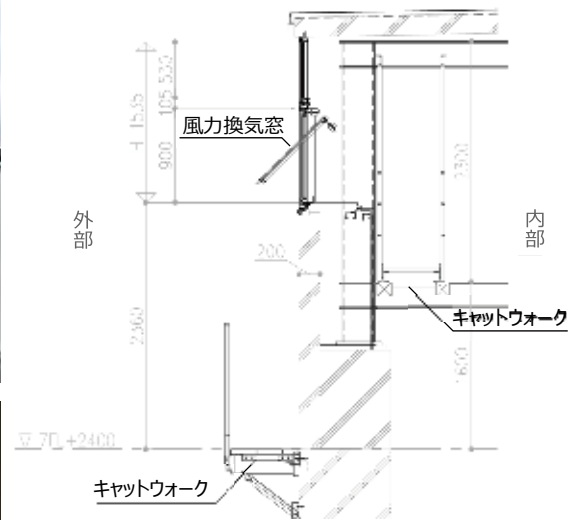


廊下からボイド空間への排気経路として風力換気窓を設置した例。
ボイドから室内への逆流を抑制する。

提供：三協立山

【適用事例Ⅱ】

④風力換気窓：ボイド排気



自然換気装置納まり (たて断面)

吹き抜け頂部に風力換気窓を設置した例。
風向に応じ窓が開閉することにより、
効率の高い排気が可能。

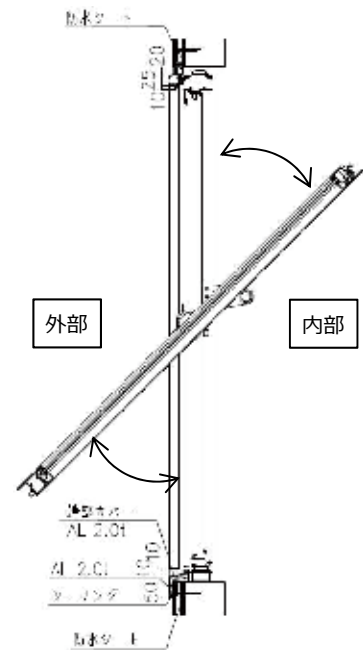
提供：三協立山

【適用事例Ⅲ】

⑤風力換気窓：大空間



大空間の上部に風力換気窓を設置し、
逆流抑制により上部の熱溜まりをスムーズに排気。

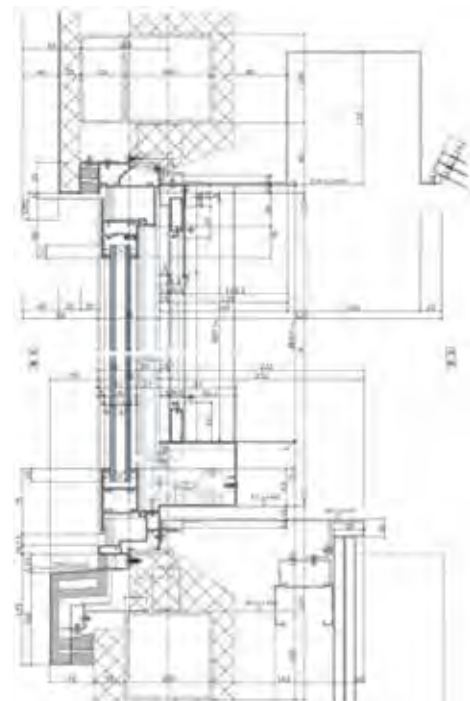


自然換気装置納まり (たて断面)

提供：YKK AP

【適用事例Ⅳ】

⑥風力換気窓：外壁給気



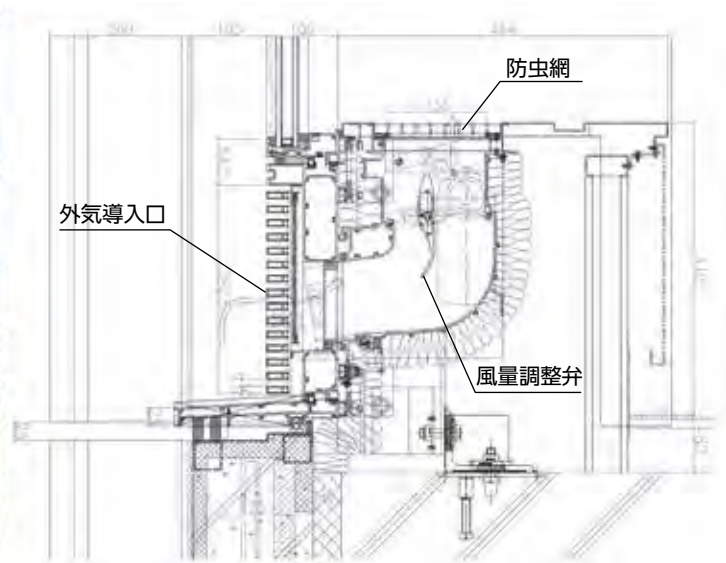
自然換気装置納まり (たて断面)

流入側開口と流出側開口（中央の吹き抜け上部に
設置）に設置し、自然換気量を動的に調整。

提供：LIXIL

【適用事例V】

⑦横型定風量換気装置：ペリカウンターからの外気導入



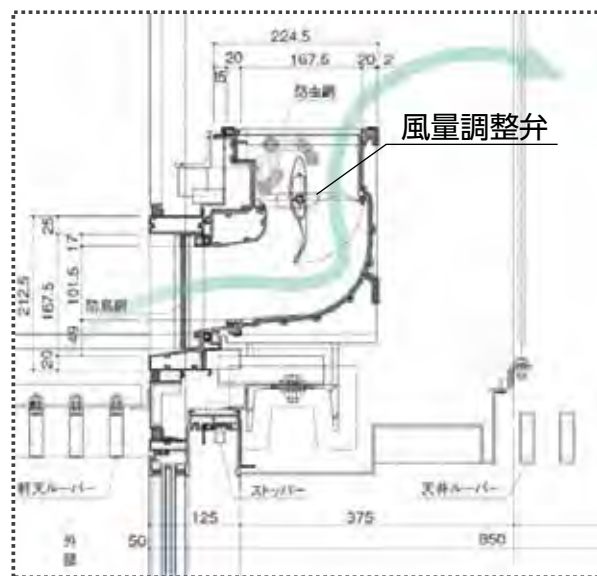
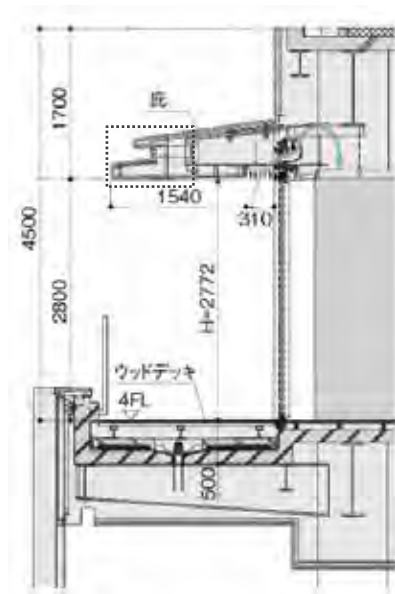
自然換気装置納まり（たて断面）

横型定風量換気装置をペリカウンターに設置した例。
装置本体は各フロアのカーテンウォール下部に
組み込まれている。

提供：三協立山

【適用事例VI】

⑦横型定風量換気装置：天井スリット設置



自然換気装置納まり (たて断面)

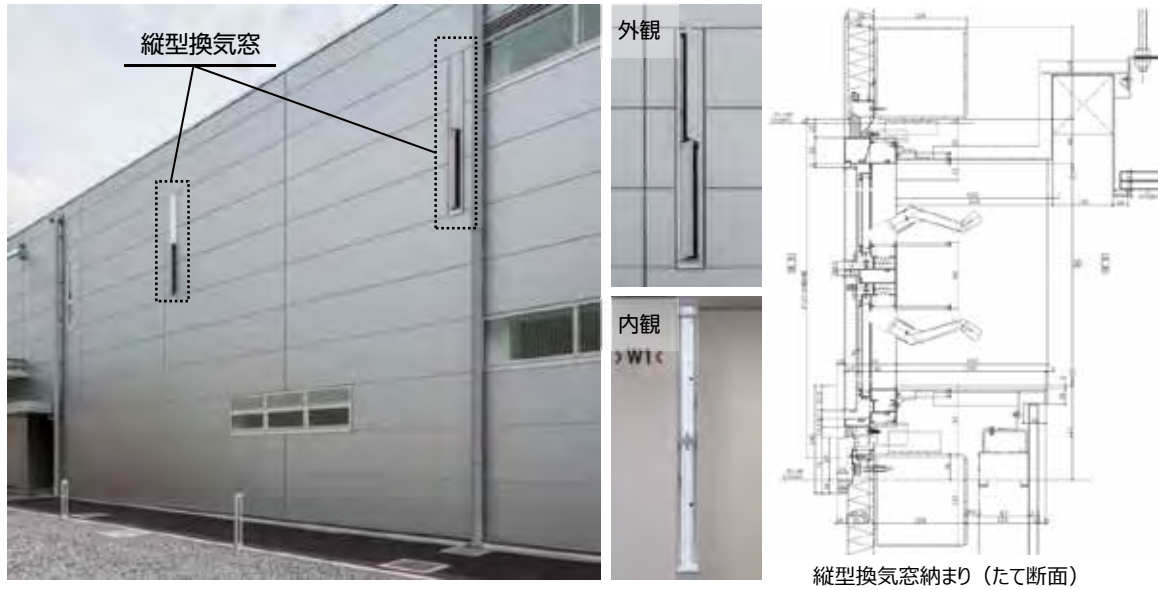
左:フロア全体、上:換気装置

横型定風量換気装置を庇一天井懐に跨いで設置した例。
天井をチャンバーとして室内天井ルーバーより室内に給気。

提供：三協立山

【適用事例Ⅶ】

①縦型換気窓：外壁給気

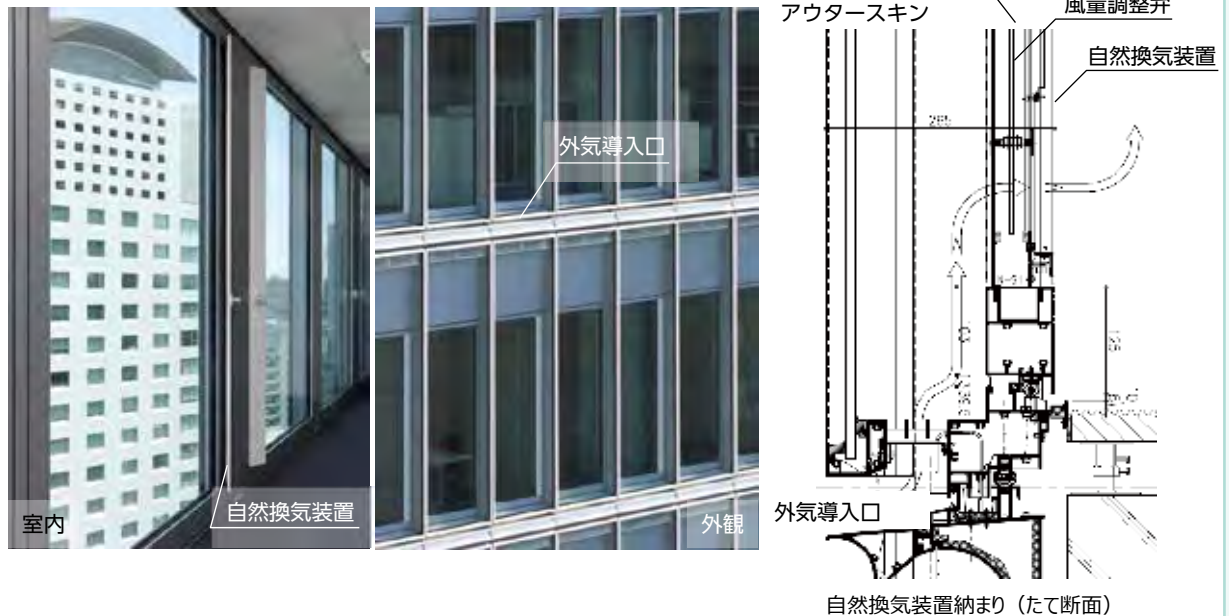


1面にしか設置できない場合でも、建物の壁面に沿って流れる風をとらえて外気を導入。

提供：LIXIL

【適用事例Ⅷ】

②縦型定風量換気装置：ダブルスキン設置

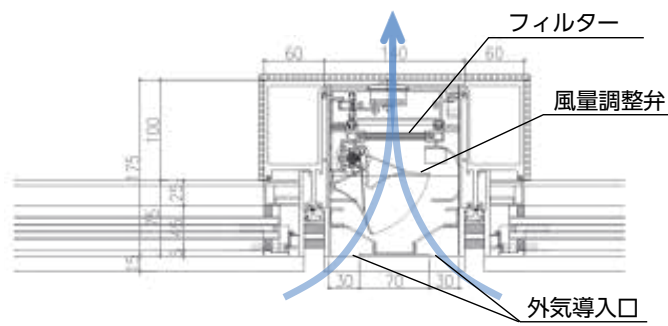


ダブルスキンのインナー側に設置した例。
インナーサッシの方立部に縦型定風量換気装置を設置。

提供：三協立山

【適用事例IX】

⑫縦型定風量換気装置：外壁給気



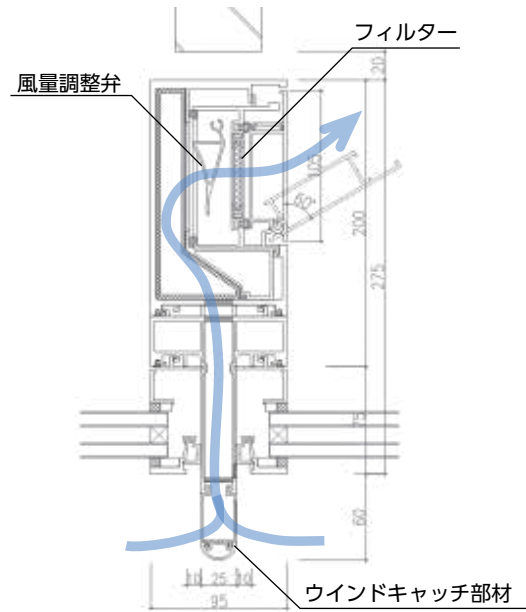
自然換気装置納まり（水平断面）

FIX 窓たて枠に縦型定風量換気装置を設置した例。

提供：三協立山

【適用事例X】

⑬縦型定風量換気装置：外壁給気



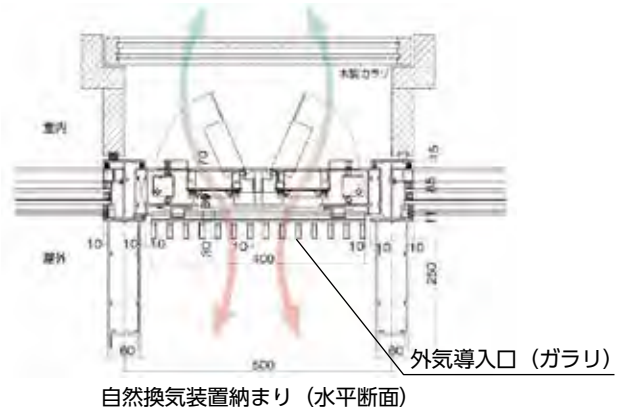
自然換気装置納まり (水平断面)

カーテンウォール方立部に縦型定風量換気装置を設置した例。外部には風を捕らえるためのウインドキャッチ部材が設置される。

提供：三協立山

【適用事例XI】

⑭縦型換気装置：外壁給気



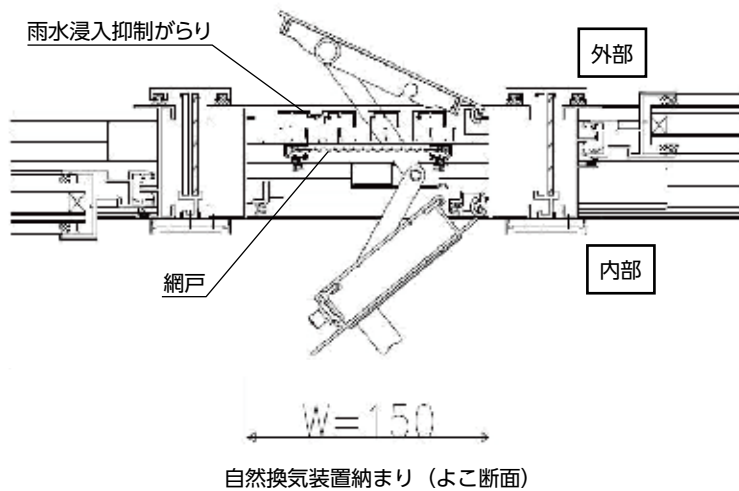
縦型換気装置を壁面に設置した例。

外部側はたてルーバー、室内側は木製ガラリを給気口としている。

提供：三協立山

【適用事例XII】

⑮縦型換気装置：外壁給気



雨水浸入を抑制する事により、
雨天時も不在となる一般教室での換気も可能。

提供：YKK AP

◆ 排熱効率を考慮した冷房負荷と自然換気利用時間の計算方法

このような回路網計算方法には、室温一定や物質の瞬時一様拡散を前提とするため、自然換気経路による排熱効率が考慮されないという問題があります。自然換気量が同じ場合でも、風が天井付近を通過する時と、床面を通過する時、あるいは床から天井をクロスして通過する時など、様々な経路が想定され、それぞれ排熱の効率が大きく異なるため、室温や浮力に差が生じます。この問題は熱・気流シミュレーションを行うことで解決しますが、計算負荷の観点から現状では長期間の計算を実視することは現実的ではありません。

そこで、図 2-5 に示す典型的な自然換気経路を、給排気の形態により A～J に分類し、換気量に応じて変化する排熱効率の特性を計算しました。排熱効率の定義を図 2-6 に示します。排熱効率を用いた自然換気利用時間や冷房負荷削減量の計算フローは図 2-7 になります。まず完全混合を仮定した熱・換気回路網計算を行い (①)、その換気量に応じた排熱効率を考慮して収束計算を行います (①～③)。収束計算の結果、室温が分かるので、室温と室内平均風速の条件から自然換気の可否を判断し、自然換気時間を計算します (④)。最後に自然換気利用時の冷房負荷を期間積算し、冷房負荷削減量を算出します。

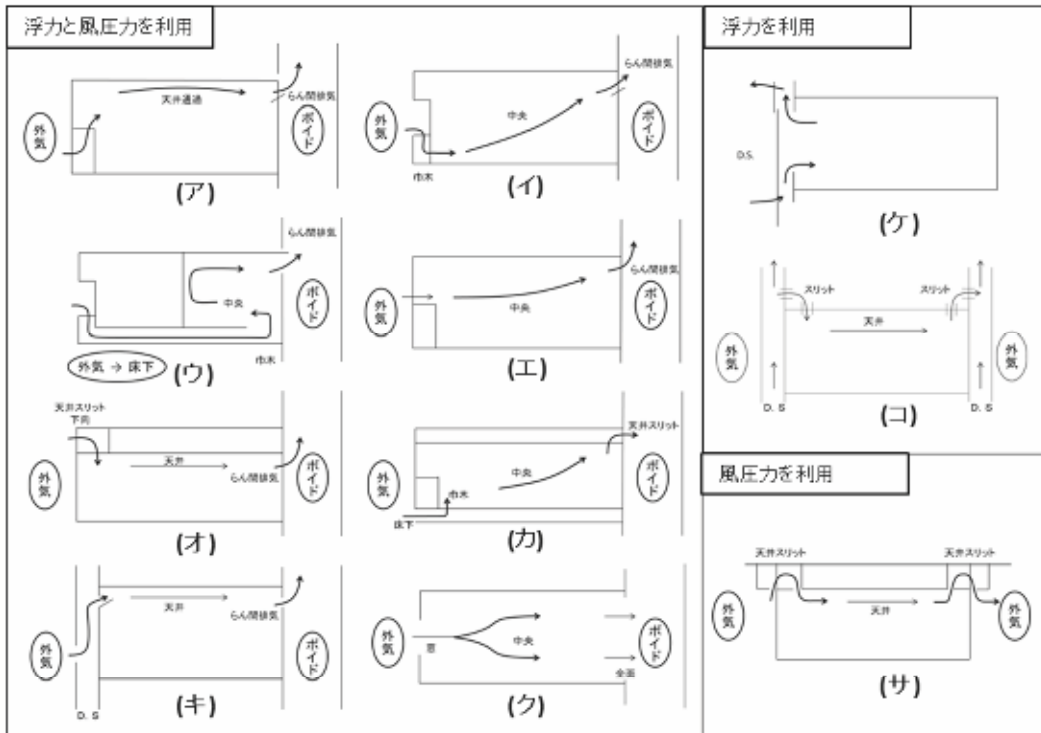
◆ 排熱効率特性

モデル建物法に規定される標準建物に対して、自然換気経路 A～J の排熱効率特性を計算した例を、図 2-8 に示します。排熱効率は換気量に応じて変化し、変化のパターンは 4 つに分類できます。このような特性となる理由は、風量に応じて図 2-8 に示すような自然換気経路の変化が生じるためです。

図 2-9 は、標準建物の室内形状の奥行と天井高さを変化させ、様々な室形状に対して排熱効率特性を計算した結果の例です。図のように、奥行や天井高さで変化のパターンは変わりませんが、排熱効率は全体的に数 10% 変化します。そこで、任意の室形状に対する排熱効率特性の近似式を求めました。結果を図 2-10 に示します。

◆ 期間冷房負荷削減率の試算

このような排熱効率を考慮した方法を用いて、標準建物の冷房負荷削減率の概算を行いました。計算条件と建物平面、断面を表 2-2、図 2-11 に、計算結果を図 2-12 に示します。図のように、自然換気経路によって自然換気による負荷削減効果が大きく変わることが分かります。排熱効率平行型(自然換気経路 C、G、H、I) は導入した外気が天井付近を通過する傾向があり、自然換気量に関わらず安定した特性となりますが、全体的に排熱効率は低くなります。対して右下がり型(自然換気経路 B、D) は、換気量が 10 回/h 以下の場合排熱効率が高く、実際の自然換気量はこの領域に多く存在するため、良好な負荷削減率を達成する結果となりました。このような試算は、短時間で簡易に実行できるので、窓面積や位置の条件を変更した場合の結果などを検討し、基本計画に役立てることが可能です。



■ 図 2-5 典型的自然換気経路

通風時に完全混合を仮定し、微小時間 Δt における室内の熱収支を以下の式で表す。

$$H \cdot \Delta t - Q \cdot C_p \cdot \gamma (\theta - \theta_o) \Delta t = C \cdot \Delta \theta \quad \dots (1)$$

H : 外壁熱貫流、内部発熱など総合した室内熱取得 [W]

Q : 通風量 [m^3/s] C_p : 空気の比熱 [J/kgK]

γ : 空気の密度 [kg/m^3]

θ : 室温 [$^{\circ}\text{C}$] θ_o : 外気温 [$^{\circ}\text{C}$]

C : 空気と躯体の有効熱容量 [J/K]

$t=0$ において $\theta = \theta^*$ として(1)式を θ について解けば、

$$\theta = \frac{H}{Q \cdot C_p \cdot \gamma} + \theta_o - \frac{1}{\delta} e^{-\frac{QC_p\gamma t}{C}} \quad \dots (2)$$

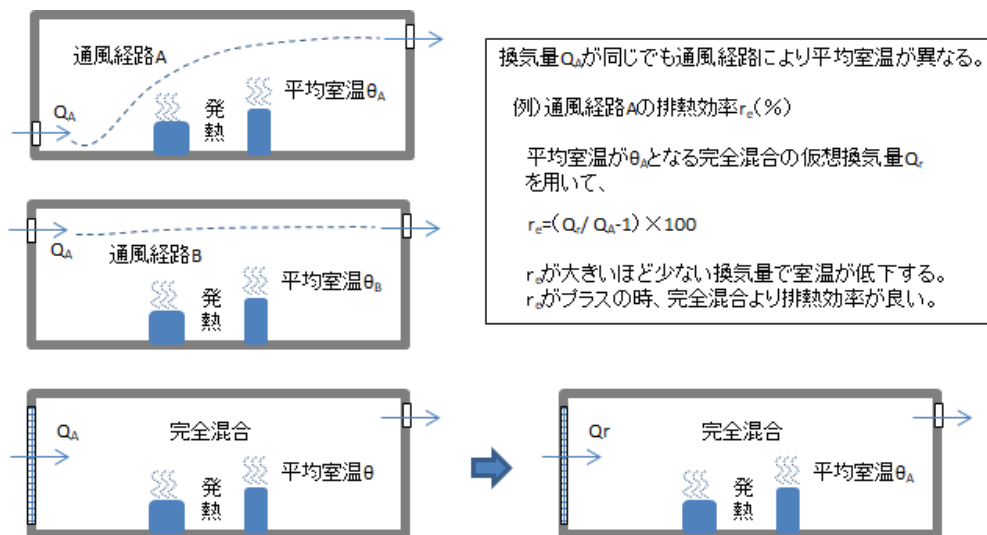
$$\frac{1}{\delta} = \frac{H}{QC_p\gamma} - (\theta^* - \theta)$$

ここで、排熱効率 r_e を考慮した室温（実現室温）を θ_r とする。

(2)式で $\theta = \theta_r$ となる Q を Q_r とする時、 $r_e(\%)$ を、

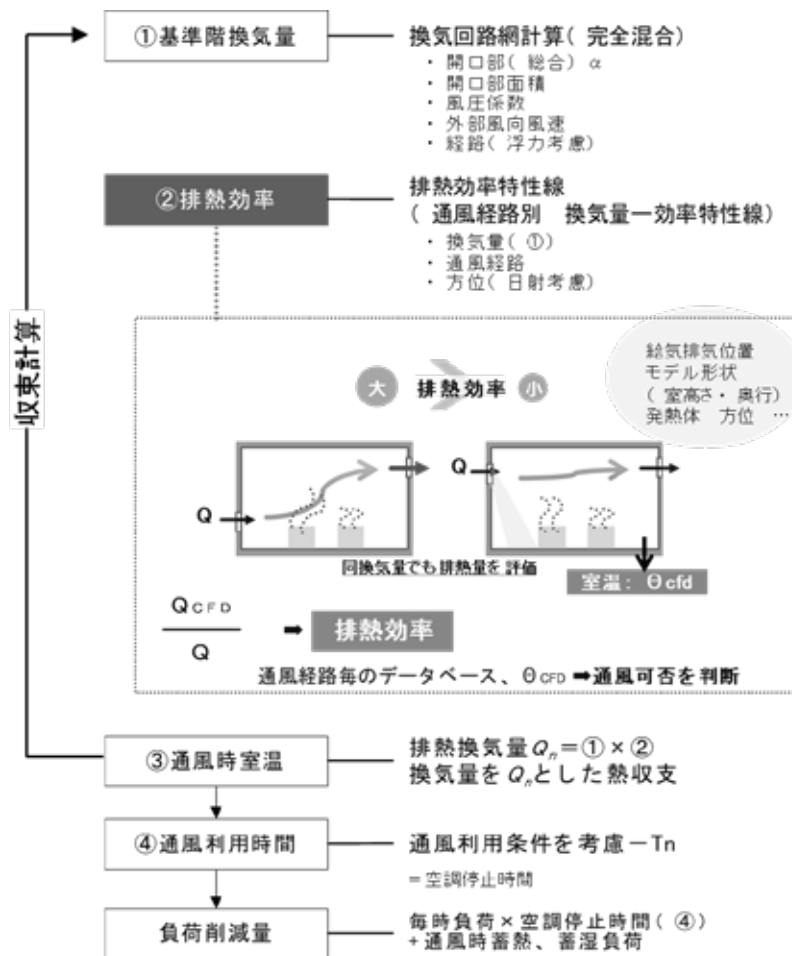
$$r_e = \left(\frac{Q_r}{Q} - 1 \right) \times 100$$

と定義する。



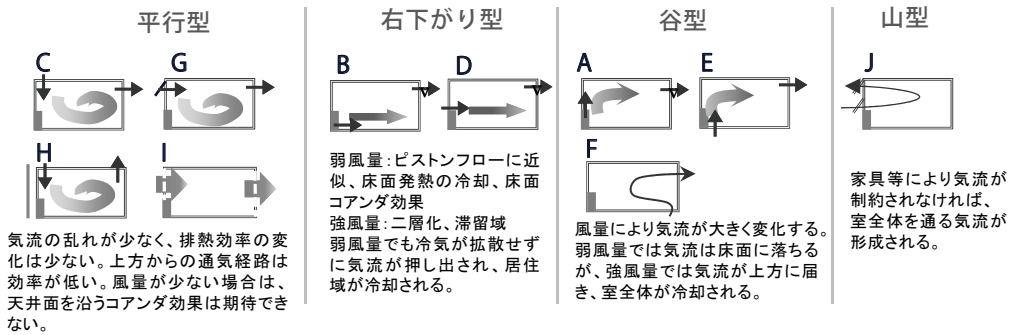
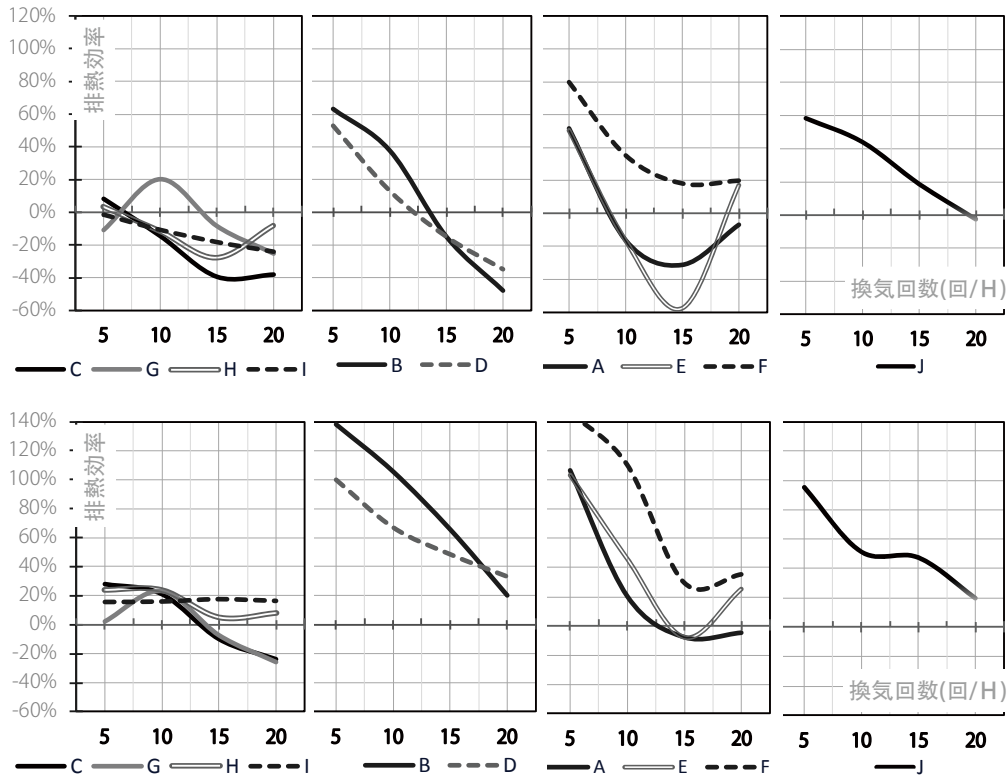
引用：細井昭憲ら「非住宅建築物における自然通風の省エネルギー性能評価法」⁵⁾
 日本建築学会大会学術講演梗概集 2016年

■ 図 2-6 排熱効率の定義およびイメージ



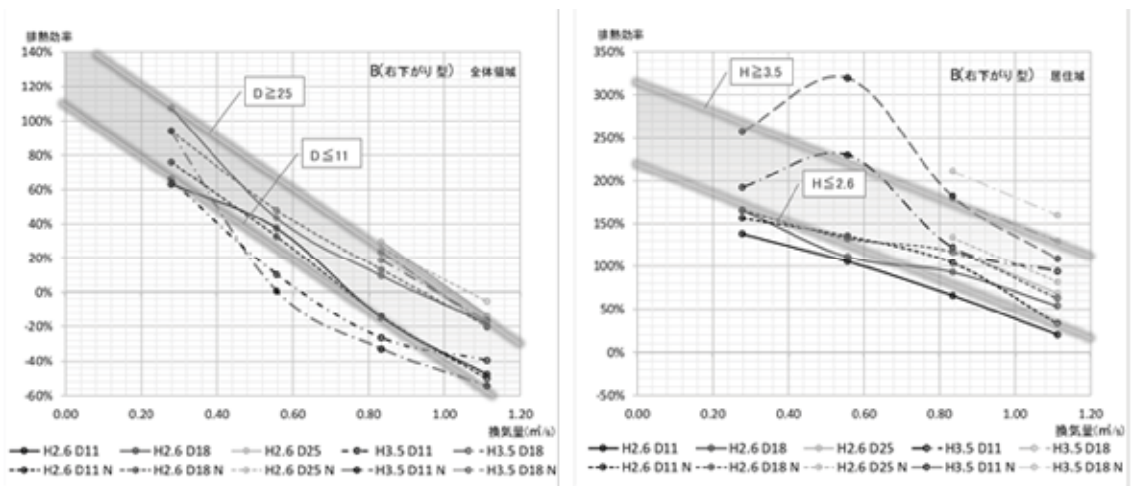
引用：松村聡美ら「自然通風の熱負荷削減性能評価における排熱効率の検討」⁶⁾
 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2016年

■ 図 2-7 排熱効率を用いた自然換気利用時間と負荷削減量の計算フロー



引用：松村聡美ら「自然通風の熱負荷削減性能評価における排熱効率の検討」⁶⁾
 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2016年

■ 図 2-8 排熱効率特性（上段：室全体 下段：居住領域）



■ 図 2-9 室形状を変化させた場合の排熱効率特性の計算例

$$0 \leq Q \leq 1.2 \quad 2.6 \leq H \leq 3.5 \quad 11 \leq D \leq 25 \quad 0 \leq X \leq 12$$

において排熱効率 $Y/100$ [%] は

平行型：全体領域

$$Y = -0.6Q + 0.32$$

平行型：居住域

$$Y = ((24/25)H - (175/108))Q + (5/9)H - (17/18)$$

右下がり型：全体領域

$$Y = -(3/2)Q + (2/70)D + (55/70)$$

右下がり型：居住域

$$Y = -(5/3)Q + (10/9)H - (13/18)$$

谷型：全体領域窓南面

$$Y = -(3/2)Q + (1/91)HD + (27/70)$$

谷型：全体領域窓北面

$$Y = -(3/2)Q + (1/91)HD + (27/70) + 0.1$$

谷型：居住域窓南面

$$Y = (-10/9)H + (17/9)Q + (16/9)H - (163/45)$$

谷型：居住域窓北面

$$Y = -(5/3)H - (10/3)Q + (8/3)H - (89/15)$$

山型：全体領域窓南面

$$Y = -(30/41)Q + (33/41)$$

山型：全体領域窓北面

$$Y = -(30/41)Q + (33/41) + 0.2$$

山型：居住域窓南面

$$Y = (1/20)X - (50/41)Q + (55/41)$$

山型：居住域窓北面

$$Y = (1/20)X - (50/41)Q + (55/41) + 0.3$$

記号

H ：天井高 [m] D ：室奥行 [m] Q ：室幅 7m あたりの換気量 [m^3/s]

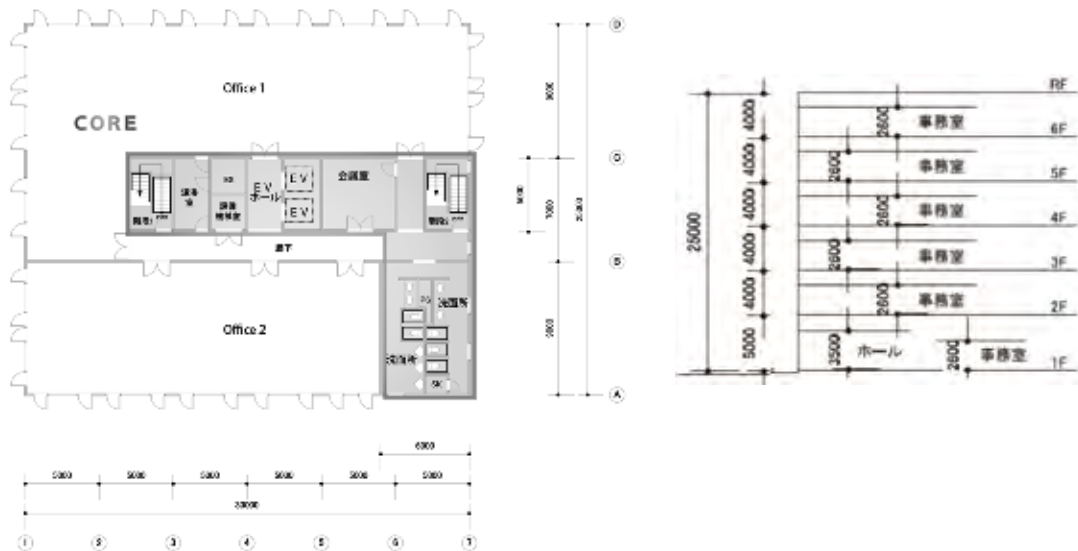
X ：長さ比 [奥行 / 高さ] ※居住域は F.L.+1800 以下の領域とする。

※室幅 W 、換気量 Q_w の時、 $Q = Q_w \times 7/W$

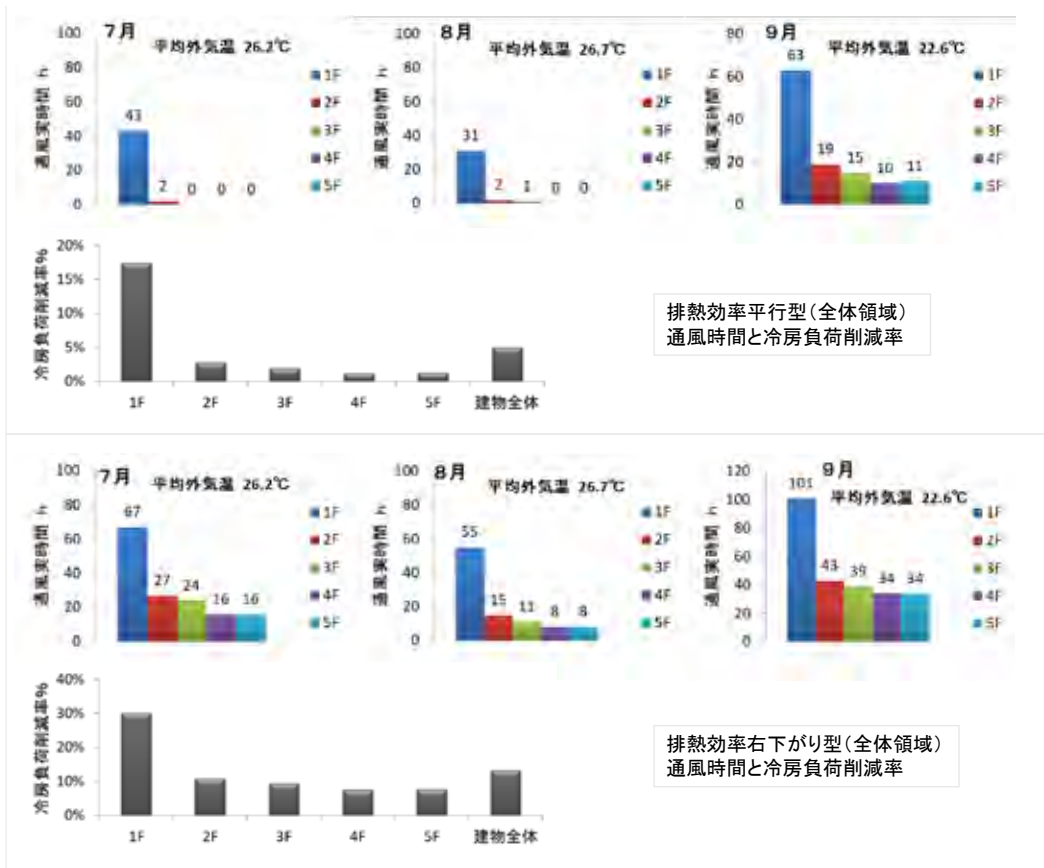
■ 図 2-10 任意の室形状に対する排熱効率の近似式

■ 表 2-2 計算条件

空調	開始	8時
	停止	18時
地域気象条件	東京における2015年7月・8月・9月の気象庁過去データ	
窓	南面窓を設定夏季の通風について検討するため、南面窓を設定	
	南面一面（柱等を考慮し、外壁幅-1）×高さ1.7m = 49.3(m ²)	
開口部	給気：スリット（幅50mm×3列）窓（幅150mm）	
	排気：欄間（幅500mm）を介してアトリウム上部熱だまりから排気	
内部発熱	モデル建物法によって計算した値	
熱貫流率など	性能が、通常～通常以下の部材の熱貫流率	
	窓熱貫流率は並程度の性能の複層ガラスとし、3に設定	
窓 SC	窓は熱線反射ガラスにブラインドが降りているものとし、0.3に設定	
通風利用室温下限	21℃	
通風利用室温上限	28℃	



■ 図 2-11 標準建物平面および断面図



■ 図 2-12 自然換気時間と冷房負荷削減量の試算結果

第3章

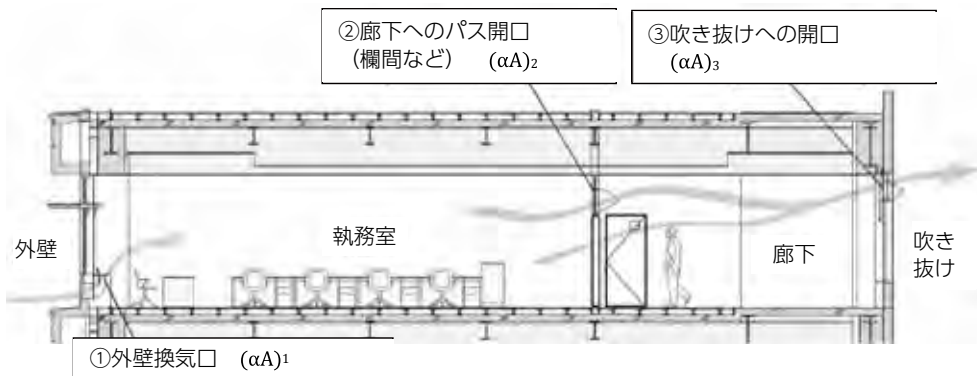
運用・マネジメントの具体的方法

3.1 設計意図の理解

自然換気の適切な運用は、運用者・利用者が自然換気システムの設計意図を把握することから始まります。設計者は、設計意図と季節ごとの自然換気の運用方法についての資料をまとめ、運用管理者に提示することが重要となります。

◆ 自然換気システムの設計意図

自然換気システムを効果的に運用するには、換気経路（風の道）を確保することが重要です。図 3-1 に換気経路の例を示します。自然換気システムは外壁換気口から廊下へのパス開口、吹き抜けへの開口を経由して風が流れるように設計されており、外壁換気口だけの開放では適切に風が流れないことが分かります。図 3-2 ～ 3-4 にあるような換気口を適切に開放するような制御や運用を行う必要があります。



■ 図 3-1 自然換気口の種類



■ 図 3-2 廊下へのパス



■ 図 3-3 吹き抜け排気口



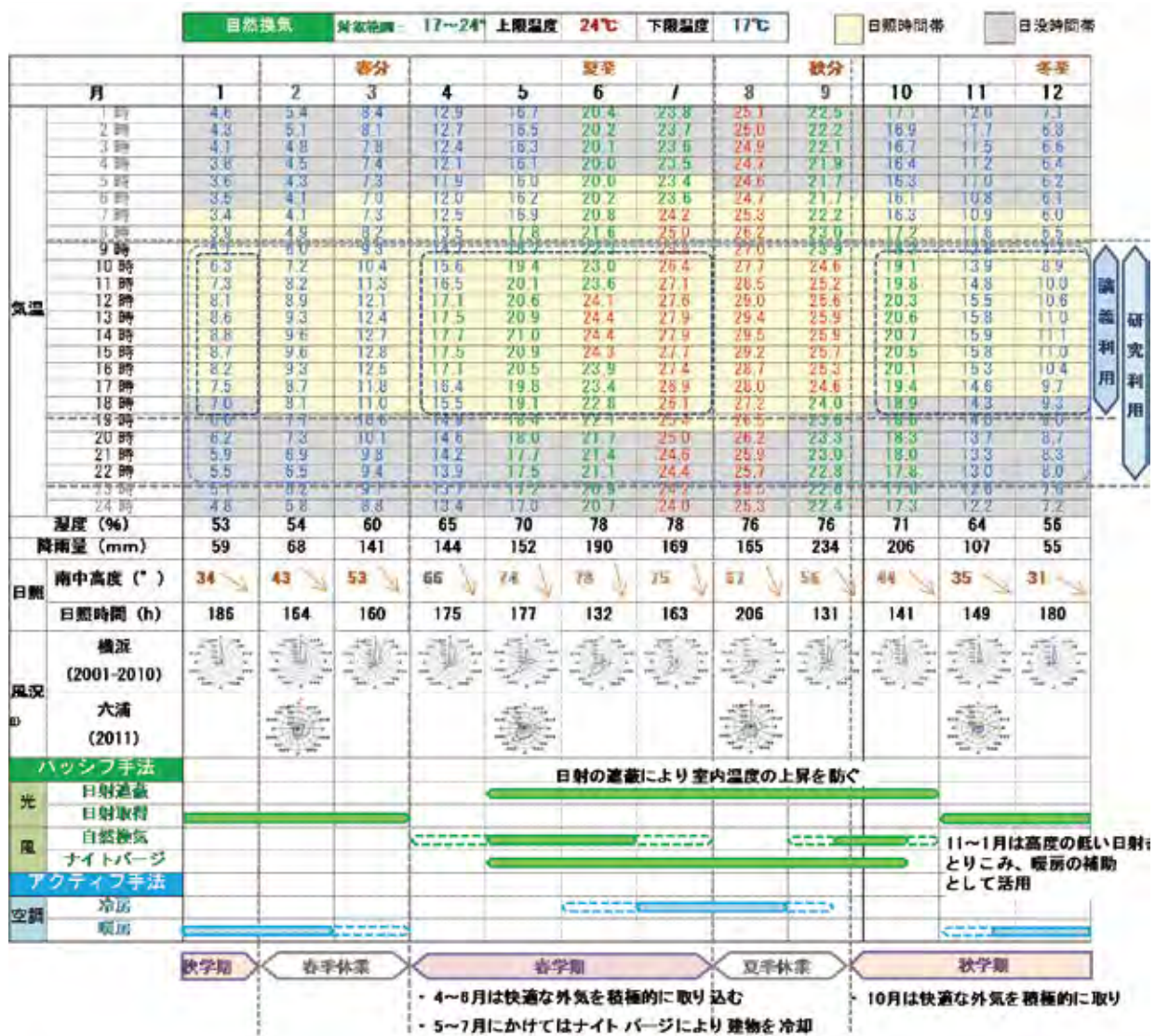
■ 図 3-4 外部への排気口

3.2 運用最適化計画

自然換気システムの設計意図を理解した後は、建物の使い方や空調運用との連動を考慮して運用計画を建てるのが重要です。月別の建物の使い方や外気温の変化、居住者からのクレームなどを運用にフィードバックし、運用を最適化することが必要となります。

◆ 自然換気システムの運用カレンダー

図 3-5 に月ごとの平均外気温、外気風向・風速、建物の使い方などを一覧にし、自然換気などの環境配慮技術をどのように運用すべきかを記載したカレンダー（クライメイトカレンダー）を示します。自然換気の時期を5～6月、9～10月とし、ダブルスキンなどの日射遮蔽手法を活用して負荷を削減した上で、南西の外気風を取り込んで自然換気を行うという計画がこの図から読み取れます。



作成：日本設計 浅井万理成

図 3-5 環境技術の運用カレンダー（クライメイトカレンダー）

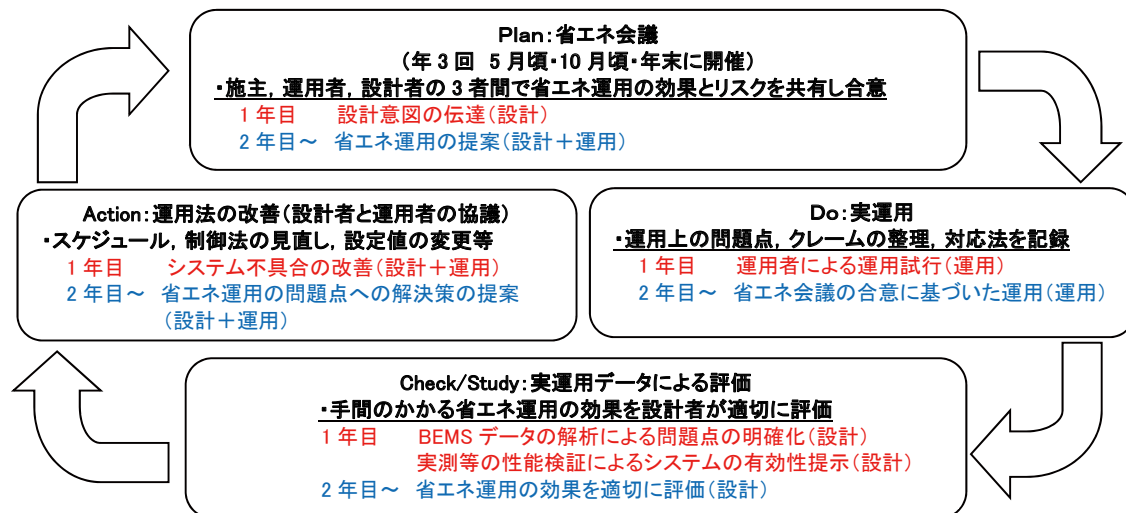
◆ 運用のPDCA サイクル

自然換気システムに限らず、建物の適切な運用を行うには、運用段階でのPDCAサイクルを適切に回していくことが重要となります。実物件で行われた省エネルギー運用のPDCAサイクル例を図3-6に示します。

竣工1年目においては、設計者がシステムの取り扱い説明を行い、システムの設計意図を十分に施主と運用者に伝達しました。その内容をもとに運用者は1年目の運用を行い、建物全体や各室の使われ方に合わせた設備運用を試行錯誤することとなります。この事例では、1年目の運用終了時に施主・設計者・運用者の3者が集まった省エネルギー会議を発足しています。省エネルギー会議は将来の省エネルギー運用方法を提案・議論し、リスクを共有した上で、3者間で合意することが主な目的としています。1年目の省エネルギー会議では、運用者からの運用上の問題点を明確に提示してもらい、その問題点に対しては対応を関係者で考える必要があります。具体的には、スケジュールの調整や設定値の変更、制御方法の変更などです。自然換気の運用には後に述べるような運用阻害要因があり、利用者のクレーム等に配慮しながら省エネルギー運用を行っていく必要があります。

設計者が設計意図通りの運用を押し付けるのではなく、運用上の問題点や建物の使われ方がどのようになっているかについて運用者の報告を理解し、システムの活用と運用上の問題への対策を両立する方法を協議することが重要です。

竣工2年目以降は、BEMSデータを根拠とした運用評価を行うことが重要です。運用の効果を定量的に示すことで、運用者への評価にも繋がります。また、効果を見える化することは、省エネルギー会議における積極的な提案に繋がります。



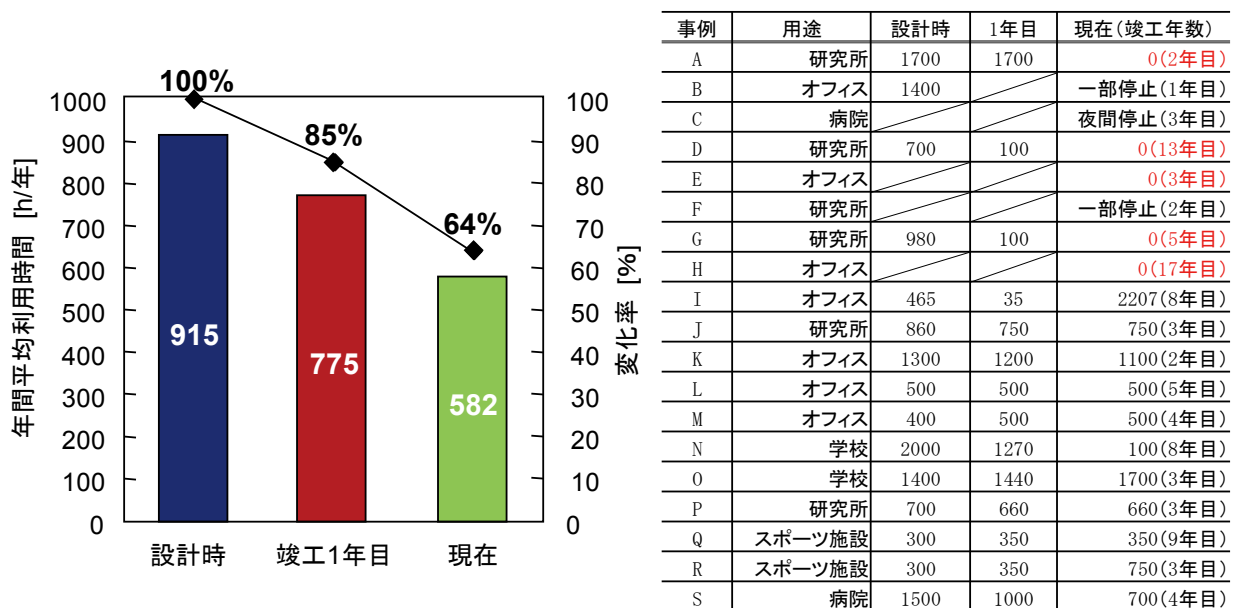
■ 図3-6 省エネルギー運用PDCAサイクル例

3.3 自然換気の運用阻害要因

自然換気・通風は日本では古くから積極的に利用されてきました。しかし、建物を高気密・高断熱化し、空調設備での機械空調することが前提となった現代の建物では、現代ならではの運用の難しさがあります。その内容を理解し、設計と運用の両面で対策を行うことが運用上の大きなポイントとなります。

◆ 運用段階での自然換気時間数の変化

自然換気・通風は日本では古くから積極的に利用されてきました。しかし、建物を高気密・高断熱化し、空調設備での機械空調することが前提となった現代の建物では、機械空調と併用する運用の難しさが発生しています。実際の自然換気建物において、その自然換気の運用時間を「設計時の想定」「竣工1年目」「現在（調査時）」毎に集計した結果を図3-7に示します。設計時の想定から64%の運用に低減している実態が明らかになり、完全に運用を停止している物件も見られました。自然換気により利用者からのクレームが発生し、その対応として運用を停止するという安全側の対策を行ったことが原因です。そのような結果にならないためには、設計段階・運用段階での適切な対応が必要となります。

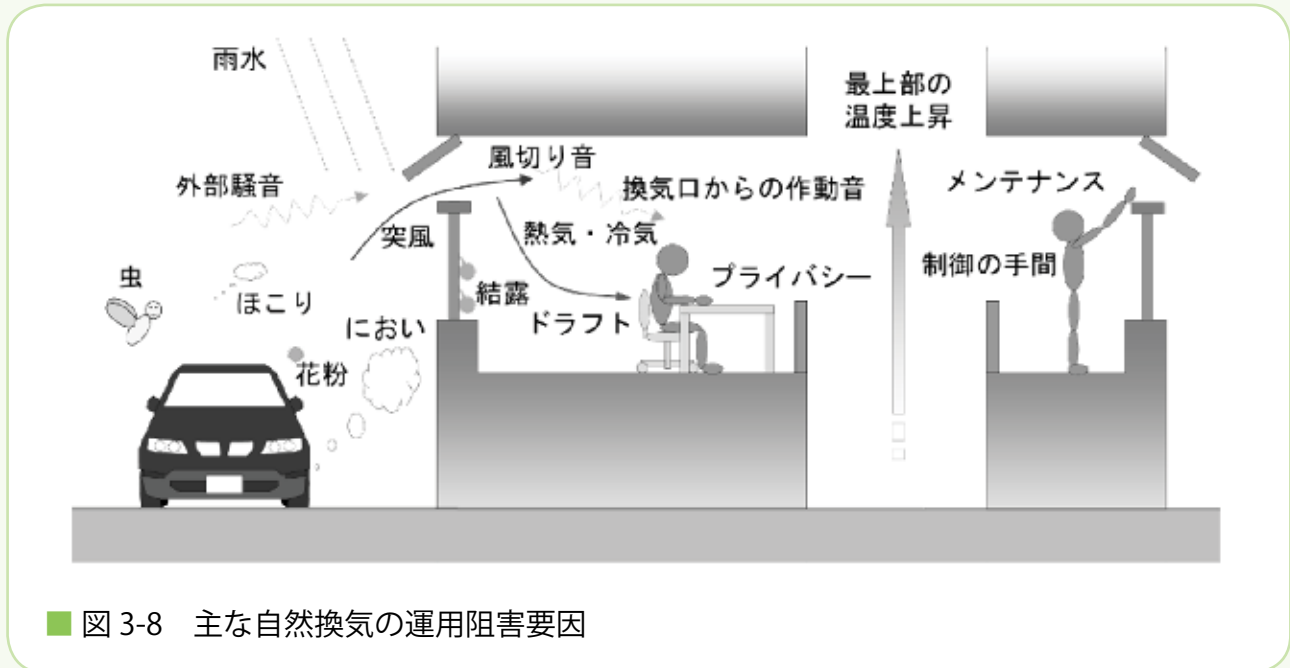


引用：山本 佳嗣ら「自然換気システムの運用実態に関する調査」¹⁾
 日本建築学会環境系論文集 第 619 号 2007 年

■ 図 3-7 自然換気の運用時間の変化

◆ 自然換気の運用阻害要因とその対策

先ほどの運用実態調査から導かれた、主な自然換気の運用阻害要因を図 3-8 に示します。



(1) ほこりの侵入

自然換気口から黄砂や線路からの鉄粉、畑などからの砂埃などが侵入することがあります。周囲にほこりを発生源がないか確認し、発生源近くに換気口を設けないような配慮が必要になります。

(2) 虫

換気口から建物内への鳥や虫の侵入に対策が必要です。特に敷地が自然豊かな場所では、重要です。網戸を設置していない場合は換気口が開けられない可能性が高くなります。網戸の仕様については 3.4 節を参照ください。

(3) 花粉

自然換気に適した春先は花粉が多い時期となっています。花粉の侵入を懸念して換気口を開放しない運用事例が確認されています。花粉の侵入を防止するには換気口内の経路を屈曲形状とするなどの方法が考えられます。フィルターによる防止は圧力損失が大きいため設置が困難です。花粉センサーなどを使って自動制御を行っている事例もあります。

(4) 雨水

換気口の気密性や閉め忘れにより雨水が浸入してしまうことがあります。雨仕舞に配慮した建築的対応や気密性の高い換気口の採用が必要です。閉め忘れによる雨水浸入への対策は降雨センサーによって、降雨を感知した場合に換気口を自動閉鎖する方式がよく用いられています。

(5) 外からの騒音

外からの騒音が気になって自然換気口を閉鎖してしまう場合があります。利用者からは「室内が静かな時」にも外部騒音が気になるとの意見がありました。計画で対応する場合には吸音材を内貼りした換気口を設ける、ダブルスキンやクールピットなどのバッファ空間を經由して導入するなどの手法が考えられます。

(6) 換気口作動音

設計者の問題意識は低いですが、実際にはクレームが発生している項目です。作動音の原因は自動開閉のモーター駆動音です。クレームが発生した事例では 55dB (A) の騒音が発生していました。静穏性が求められる室には駆動音に配慮した換気口を採用することが重要です。詳細は 3.3 節をご参照下さい。

(7) プライバシー／セキュリティ

換気口で外部や他の部屋と繋がることにより、外部からの人の侵入や室内の音が外部に漏れる(クロストーク)が問題になることがあります。防犯に配慮した換気口の形状や設置位置に配慮し、静穏性が求められる部屋には他の室とのパスダクトに消音措置を行うなどの対応が必要です。

(8) 風切り音

気密性の低い換気口による閉鎖時の風切り音の発生や、外部風速が早い場合に風切り音が発生することがあります。外部風速が早い場合は換気口の開度を調整できるようにすることで対応できますが、冬の煙突効果による風切り音は室内のエアバランスの確保と気密性の高い換気口の採用などが対策となります。

(9) 突風

外部風の瞬間的な突風に対しては、定風量装置を備えた換気口の採用などが効果的です。台風などの強風に対しては外部風速センサーによる自動閉鎖など、自然換気許可条件で対応することが考えられます。

(10) ドラフト

自然換気口に近い場所は外気に近い温度になるため、窓際が寒いというクレームが多く発生します。運用段階では、自然換気許可条件で自然換気を許可する外気下限温度を調整するなどが考えられます。設計的には共用部などのバッファ空間を經由して居住域に外気を導入する、換気口を人の近くに配置しない、室内空気と混合するような給気口の工夫などの対応が考えられます。

(11) 熱気・冷気の侵入

気密性の低い換気口の場合、閉鎖時でも隙間から熱気・冷気が侵入することがあります。冬にすきま風を感じるというクレームに繋がった事例もあります。特に、外部ガラリからダクトで直接室内に給気を行う場合、高气密ダンパー等の採用によりすきま風の侵入を防止することが重要です。

(12) 煙突効果による最上部の温度上昇

吹き抜けによる煙突効果を換気駆動力としている場合、上階で吹き抜けから熱気が逆流する場合があります。これに対しては、中性帯の位置を考慮した自然換気経路の設計が重要となります。中性帯より上となる高層部については別の換気経路を設けるなどの配慮が必要です。

(13) 結露、湿潤、乾燥

自然換気を行うことにより、室内の湿度環境が外気の湿度状態の影響を受けることがあります。これに対しては自然換気許可条件の湿度条件を調整することが考えられます。詳細は 3.4 節を参照ください。

(14) におい

計画初期段階から周囲に臭いの発生源がないかの確認が必要です。工場や飲食店舗、隣地の排気口などが考えられます。また、計画建物の排気口と自然換気口との離隔などにも注意が必要です。

(15) 制御の手間

手動制御の自然換気口の数が多い場合は、運用の手間が原因で自然換気が使われなくなることがあります。自動開閉や閉め忘れ防止制御、開放のみ手動とし閉鎖は自動とするなど、運用者の手間に配慮した制御方法を検討する必要があります。

(16) メンテナンス

排気口は吹き抜け頂部などメンテナンスが難しい位置に設置されることがあるため、適切な点検ルートに配慮が必要です。また、網戸や換気口可動部を適切な周期でメンテナンスすることも換気性能を確保する上で重要となります。

■ 3.4 換気口の作動音とメンテナンス

自然換気に関連するメンテナンスとしては、頻繁に開閉を行う換気口のメンテナンスが重要です。可動部に加え、換気口に設置された網戸やフィルターの清掃も有効な開口面積を確保するために重要となります。

◆ 換気口のメンテナンス項目

自然換気口として生産されている換気口の製品の主なメンテナンス項目や頻度を表 3-1、表 3-2 に示します。また、クレームに繋がる可能性が高い換気口作動音についても換気口の種類によって差があります。

■ 表 3-1 自然換気口製品の特徴（給気専用）




分類	A ペリカウンター組込み よこ型スリット換気口	B ペリカウンター組込み よこ型アーム式換気口	C サッシ組込み たて型手動換気口
外観 イメージ			
換気口有効面積の 対応可能範囲例 (メーカーにより異なる)	①：方立スパンが1.8mまで、 換気開口 $W \leq 1,000$ ②： $500 \leq W \leq 1,500$ ③： $500 \leq W \leq 1,500$	カーテンウォール開口に 合わせた開閉装置 ④ $500 \leq W \leq 2,500$, $H \leq 350$ ⑤ $500 \leq W \leq 1,500$, $100 \leq H \leq 250$	⑥： $500 \leq H \leq 2,400$ ⑦： $500 \leq H \leq 1,500$
開口面積 ^{*2} (⑥のみ流量係数 α を見込 んだ有効開口面積)	$W=1,000$ での最大開口 ①： 0.005m^2 ②： 0.06m^2 ③： 0.078m^2	$W = 1,000$ で最大開口 ④： 0.35m^2 ⑤： 0.25m^2	⑥： 0.01672m^2 ($H=2,000$) ⑦： 0.025m^2 ($H=1,500$)
流量係数 α ^{*1} / PQ 特性	①, ②：データなし ③： $\alpha = 0.66$	データなし	⑥： $245.2\text{m}^3/\text{h}$ (10Pa時, $H = 2,000$) ⑦： $165\text{m}^3/\text{h}$ (10Pa時, $H=1,500$)
メンテナンス項目と頻度	基本的にはメンテナンスフリー 目安として1回/10年 推奨は1回/5年点検	基本的にはメンテナンスフリー 目安として1回/10年 推奨は1回/5年点検	網戸の清掃、サッシ表面の汚 れの清掃などを使用条件化で適時 実施
換気口の駆動方式	モーターによる電動開閉 (スイッチ開閉、センサー自動開 閉) モーター1台で単ユニット または2ユニットまで	モーターによる電動開閉 (スイッチ開閉、センサー自動開 閉) モーター1台で単ユニット または2ユニットまで	手動開閉
開閉にかかる時間	開閉閉鎖とも 30秒以下 (メーカーによっては2分半)	開放、閉鎖とも 30秒以下	該当無し
想定動作回数 ※メーカー保証対象外	1万回 (中間期に5回/日)	1万回 (中間期に5回/日)	1万回 (中間期に5回/日)
開閉音	45～50dB以下	45～50dB以下	特になし

※1 ①～⑦の数字は表 2-1「代表的な自然換気部材」に記載の区分を示す。

※2 流量係数 α を考慮しない面積

出典：日本建築学会編『実務者のための自然換気設計ハンドブック』2013年³⁾をもとに作成

■ 表 3-2 自然換気口製品の特徴（給排気用）

分類	D 自然排煙窓	E 換気窓	F 逆流防止機構付き横軸回転窓
外観イメージ	 <p>自然排煙が主用途であるため解放は瞬時に行われ、閉鎖は手動ハンドル巻取りとなる。4連窓の場合閉鎖は1窓ごとになるため、開放角度の調整ができない。</p>	 <p>換気が主用途であり、4連窓であっても同じ角度で開放し角度調整も可能。自然排煙窓として使用する場合は電動式とする必要がある。</p>	
換気口有効面積の対応可能範囲例（メーカーにより異なる）	1窓当り W ≤ 2,000、H ≤ 1,000 程度	1窓当り W ≤ 2,000、H ≤ 900 程度	⑧：横軸回転窓形式で W1.2m × H1.0m 程度 ⑨：サッシ形状による ⑩：700 ≤ W ≤ 1,300 750 ≤ H ≤ 1,100
開口面積 ^{*2}	2.0㎡（1窓）	1.8㎡（1窓）	⑧：1.2㎡（1窓） ⑨：サッシ形状による
流量係数 α / PQ 特性	$\alpha = 0.52$ 程度（45°開放）	$\alpha = 0.52$ 程度（45°開放）	⑧： $\alpha = 0.42$ （45°開放） ⑨： $\alpha = 0.30$ 風の状況により開口が変化 ⑩：データなし
メンテナンス項目と頻度	駆動装置において1万回程度の開閉動作試験を行っているが、ワイヤー・滑車に関しては2,000回～3,000回でメンテナンス/交換を推奨	駆動装置において1万回程度の開閉動作試験を行っているが、ケーブル・滑車に関しては2,000回～3,000回でメンテナンス/交換を推奨	開閉装置、ロック装置、衝撃吸収部品、制御ユニット、回転軸部品の交換（目安として10年に1回、使用環境による）摺動部のクリーニング、グリース（3年毎、使用環境による）
換気口の駆動方式	ワイヤー+滑車による駆動 手動操作はハンドルにて行い、電動操作も可能	ケーブル+ギア巻取り駆動/チェーン駆動 手動操作はハンドルにて行い電動操作も可能 モーター1台で3連程度/チェーン式	換気口2個につき開閉・ロックモーター1個 開放状態では、風の強さに合わせて自然に可動
開閉にかかる時間	開放 15秒 + 閉鎖 120秒 （電動時で4連窓の最長時間）	開放 20秒 + 閉鎖 20秒 （電動時で4連窓の最長時間）	約2分（開閉1往復にて）
想定動作回数 ※製品保証ではない	1万回 （中間期に5回/日）	1万回 （中間期に5回/日）	1～2万回 （10年相当）
開閉音	消音措置をしない場合、 最大 70dB	消音措置をしない場合、 55～70dB	データなし

※1 ⑧～⑩の数字は表 2-1「代表的な自然換気部材」に記載の区分を示す。

※2 流量係数 α を考慮しない面積

出典：日本建築学会編『実務者のための自然換気設計ハンドブック』2013年³⁾をもとに作成

◆ 網戸・フィルターの設定と清掃

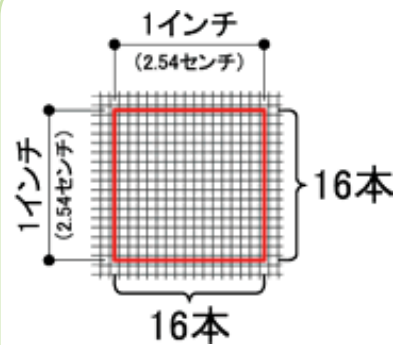
換気口を経由した虫・鳥の侵入防止には換気口に網戸・金網を設置することが有効です。特に自然が豊かな建物で換気口を開放するには網戸の設置は必須となります。家庭用、またはガラリに設置する防虫網の一般的なメッシュ数は16～24メッシュ程度で、メッシュ数が大きいと小さな虫が侵入する可能性が大きく、逆に小さいと目詰まりが起こりやすくなります。換気装置内部で埃溜りになりやすい位置にある網戸は短期間で目詰まりする可能性があり、有効開口面積が大きく減少することに繋がります。換気口は数が多く清掃しにくい場所にある事が多いためメンテナンスに配慮が必要です。換気口に網戸を設置する場合、16メッシュで線径0.3mmの網戸の開口率は約68%となり、圧力損失も発生するためこの点を考慮に入れた開口の計画が重要です。

防虫網におけるメッシュの定義を図3-9に、虫の種類との比較を図3-10に示します。鳥害対策としての防鳥網の場合は3～10メッシュ程度の荒い目を用いますが、虫対策には16メッシュ以上が必要で18メッシュ程度が一般的に用いられます。埃や花粉対策用としてはフィルターを用いる必要がありますが、圧力損失や目詰まりを考慮するとフィルター設置は困難です。設置した事例としては、メンテナンスが簡易なプレフィルター（サランネットフィルター）を外壁換気口に設置している建物があります（表3-3）。

■ 表 3-3 自然換気口で採用される防虫網・フィルターの例

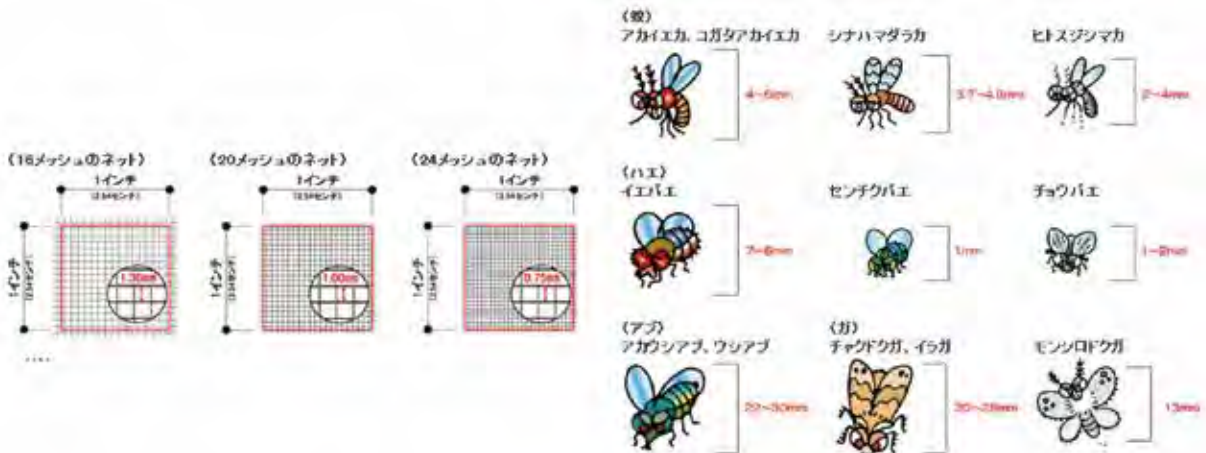
種類	防虫網	フィルタ
構造	 直行メッシュ18～33メッシュ 材質：PP、PE、SUS等	 蜂巢織44/38メッシュ 材質：PP
対象	虫	やや粗大な汚染粒子
風量低下率*	10～15%程度（網を支持する部材の面積比率で異なる）	20～30%程度（織り方で異なる）

*網、フィルタ無しに対する風量の低下割合



16メッシュ＝1インチ（2.54センチ）に網の目が16本

■ 図 3-9 メッシュ数の定義



■ 図 3-10 虫の種類とネットの網目の大きさ

■ 3.5 自然換気許可条件の調整

◆ 換気口開放条件

換気口を自動で開閉させる自然換気システムを採用した場合、その換気口開放条件が重要となります。また、運用阻害要因に対して自然換気許可条件で対応している事例も多くみられます。表 3-4 に国内の自然換気システムで採用されている主な条件を示します。降雨、外部風速、外気温度などは基本的な条件として多くの物件で採用されていることが分かります。

■ 表 3-4 換気口開放条件

換気口開放条件	採用物件数
降雨なし	36
外部風速が設定値以下	35
外気温度が設定範囲内	33
外気エンタルピーが室内エンタルピー未満	21
外気温が室温未満	18
室温が設定範囲内	12
露点温度が設定範囲内	10
相対湿度が設定範囲内	6

引用：山本佳嗣ら「自然換気システムの換気口開放条件に関する研究」⁷⁾
日本建築学会環境系論文集 第 722 号 2016 年

◆ 複合的な自然換気許可条件

換気口を自動で開閉させる自然換気システムを採用した場合、その換気口開放条件が重要となります。実際のシステムでは、単体の条件を組み合わせる自然換気許可条件としています。実際の運用の参考に事例から分類した主な自然換気許可条件を図 3-12 に示します。分類名に用いた記号は、t：外気温度の上下限值、h：室内外エンタルピー比較、x：外気露点温度（絶対湿度）の上下限值、φ：相対湿度の上下限值、Lt：外気温度の下限値を表しています。

(1) t-h 型

外気温の上下限を設定し、外気エンタルピーが室内エンタルピー未満であることを条件とするタイプです。調査では、外気温下限値は 9～25℃、外気温上限値は 15～27℃と設定に幅がありました。このタイプでは外気冷房効果の判断と湿度制御はエンタルピー基準で行っており、外気冷房効果として潜熱も見込んでいることとなります。一般的に採用の多いタイプです。

(2) t-x 型

外気温度の上下限值を設定し、露点温度（絶対湿度）の上下限值または上限値を設定しているタイプです。湿度の制御や結露リスクの軽減を目的とした条件といえます。t-h 型と同様に採用の多いタイプです。

(3) t-h-φ型

外気温度の上下限值または下限値を設定し、エンタルピに加え相対湿度の上下限值または上限値を設定しているタイプです。外気冷房効果に関してはエンタルピで判断し、相対湿度条件により低湿度外気や高湿度外気の導入をカットして湿度制御にも配慮した条件です。

(4) t型

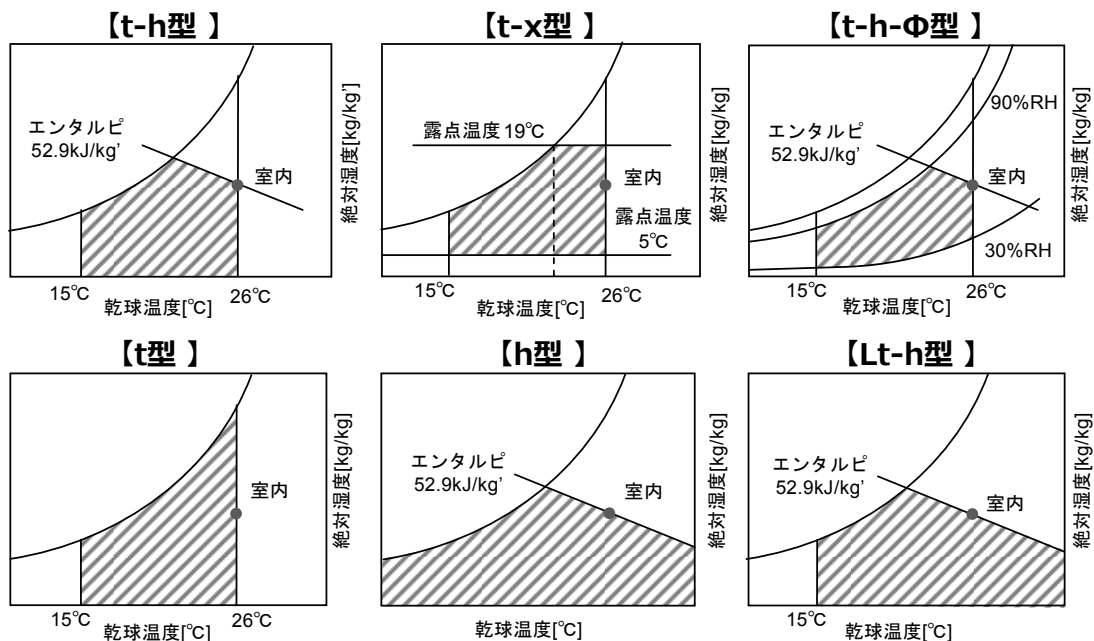
外気温の上下限值のみを設定したタイプです。湿度に関する条件を設けていないため、自然換気の有効時間数はt-h型、t-x型に比べて増加します。自然換気の時間数を増やすことによる省エネルギーを重視したタイプといえます。ただし、湿度に関しては成り行きになるため、室内の湿度環境に対して配慮が必要となります。

(5) h型

室内外エンタルピのみで判断するタイプです。t型と同様に自然換気の時間数を長くとり、室内外エンタルピ条件により外気冷房効果にも配慮した条件です。外気温度の下限値が設定されていないため、低温の外気導入によるコールドドラフト対策等が必要となります。また、室温の上下限值が設定されていない場合には、室内発熱等により室内エンタルピ基準が緩和されると比較的高い温度・湿度の外気も導入されるリスクがあります。

(6) Lt-h型

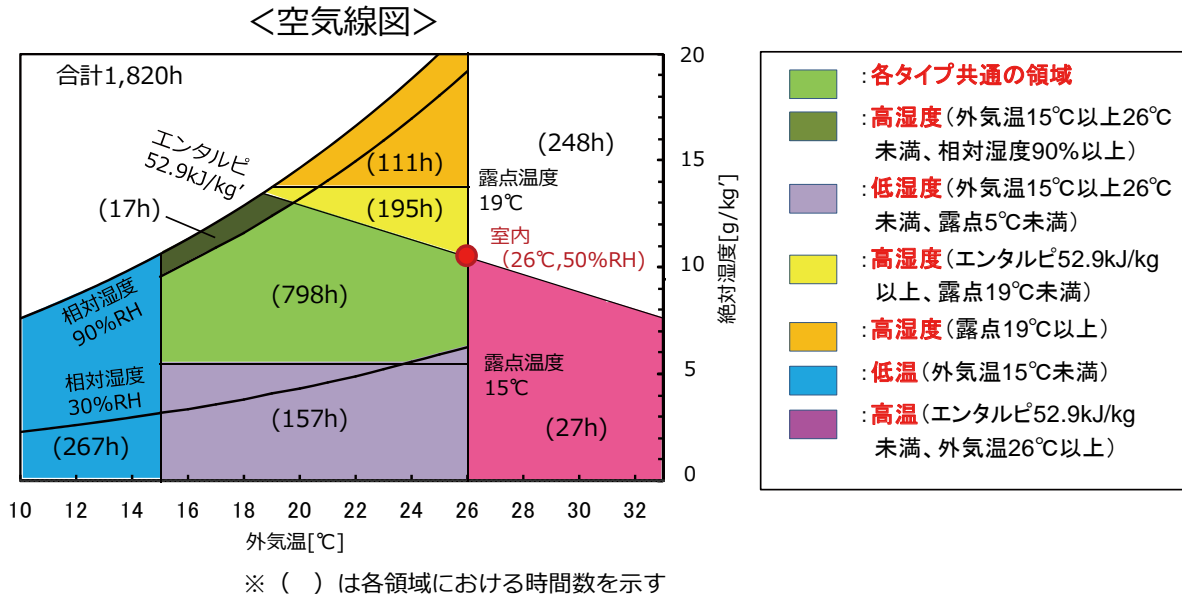
h型に加え、外気温度下限値を設定し、低温外気の導入を禁止したタイプです。外気冷房効果の判断と温度制御はエンタルピ基準で行っています。h型と同様に室内エンタルピを下回る高温の外気が導入されるリスクがあります。



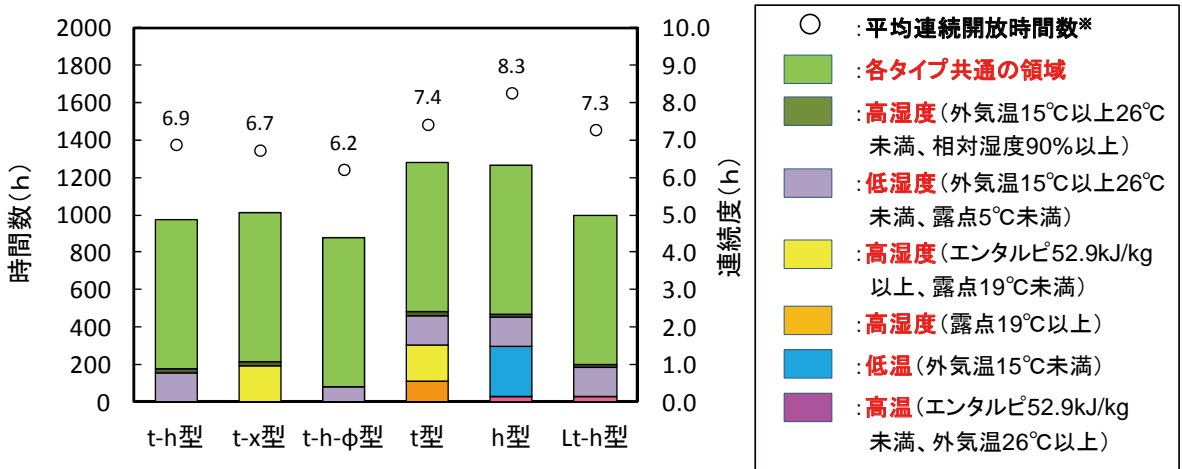
引用：山本佳嗣ら「自然換気システムの換気口開放条件に関する研究」⁷⁾

日本建築学会環境系論文集 第722号 2016年

■ 図 3-12 代表的な自然換気許可条件



■ 図 3-13 空気線図上の中間期の外気状態と時間数 (東京 昼間)



※ 1日のうち換気口が連続して開いている平均時間数

引用：山本佳嗣ら「自然換気システムの換気口開放条件に関する研究」⁷⁾

日本建築学会環境系論文集 第722号 2016年

■ 図 3-14 代表的な自然換気許可条件と自然換気許可時間数・外気の質・平均開放時間数 (東京 昼間)

■ 3.6 空調設備との適切な併用

自然換気と機械空調を併用することにより、自然換気の利用時間数を増やし快適性と省エネルギー性を両立することが可能ですが、併用時の課題もあります。事例調査において明らかとなった空調設備に関する主な課題を以下に挙げます。() は深い関連性があり、対策を行うべき項目を示します。

- 1) 機械空調と自然換気の制御ロジックによっては、機械空調に切り替わると空調優先となりその日のうちには自然換気に復帰しない。(制御法)
- 2) 機械空調による室温一定制御への居住者の慣れにより、自然換気時の室温変動が許容されない場合がある。(居住者の温熱的許容)
- 3) 自然換気のみで室温制御する時間数を増やすためには、一定の室温設定値ではなく空調を行わないゼロエネルギーバンド域を設定する必要がある。(制御法)
- 4) 自然換気量が多い場合は、室内温湿度は外気と同等となるため、外気条件によっては空調吹き出し口等で結露するリスクがある。(換気口開放条件)
- 5) 空調システムで確保されていたエアバランスや室間の圧力差が、自然換気を行うことで崩れる場合がある。(エアバランス計画・制御法)
- 6) 専用部の空調を廊下にパスさせてトイレ等で排気する場合は、専用部が加圧気味に調整されるため、外壁の自然換気給気口から排気される可能性がある。(エアバランス計画・制御法)
- 7) 温度センサーが外気の影響を受けやすい位置にある場合は、空調制御に影響を与える。(温度センサーの設置法)
- 8) 空調機による外気冷房制御と自然換気の適切な使い分けが明らかになっておらず、外気冷房制御が優先される場合がある。(外気冷房特性の把握)
- 9) 自然換気量が大きい場合は、外気条件や室内温湿度設定値によっては空調の暖房運転が発生する。(換気口開放条件)
- 10) 外気条件によっては除湿負荷、加湿負荷が発生する。(換気口開放条件)

■ 3.7 自然換気運用の実例

実際の運用事例 1

自然換気の運用事例として、緑豊かな土地に建設された建物のアトリウムに自然換気を導入した事例を紹介します。

■ 表 3-5 建物概要

計 画 地：神奈川県
用 途：多目的滞在型交流施設
敷地面積：19,548.50 m ²
建築面積：4,619.58 m ²
延べ面積：12,835.78 m ²
構 造：RC 造及 S 造 一部 SRC 造
階 数：地上 5 階
最高高さ：14.97 m
宿泊室数：190 室
主要居室：研修室（大研修室 2 室・中研修室 4 室・小研修室 10 室）
国際会議場（国際会議対応）
食堂、浴室、フィットネスジム等
竣 工 年：2011 年 1 月



建物外観



自然換気対象空間（アトリウム）

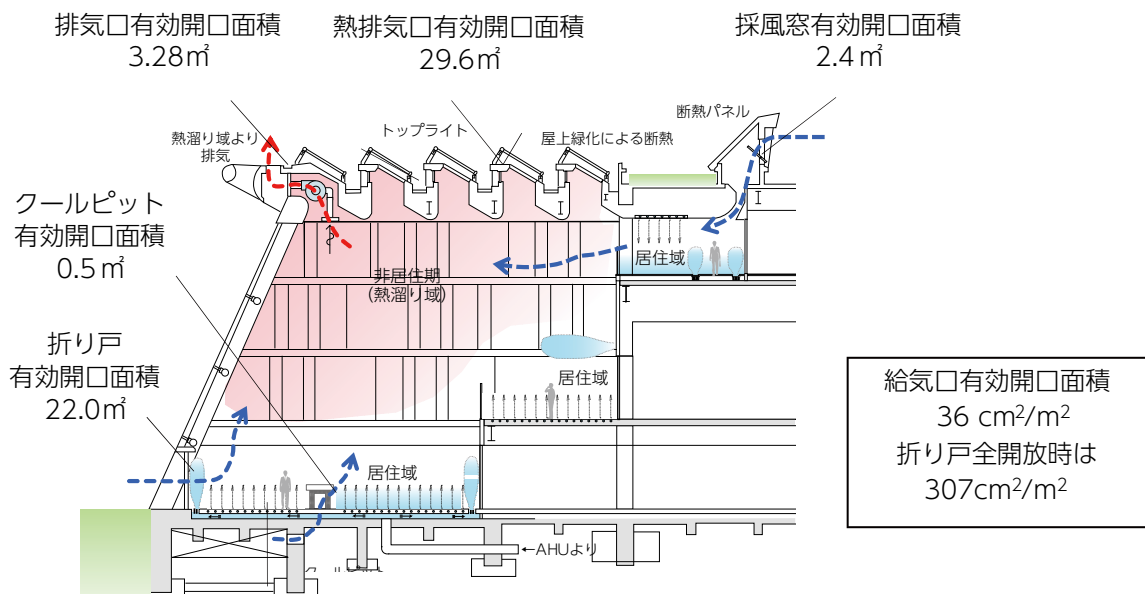
提供：中塚雅晴 NARU 建築写真事務所

■ 表 3-6 設計・運用上の要点

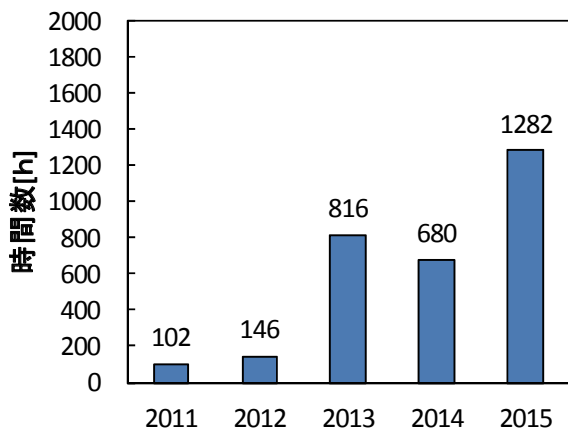
自然換気システム概要	アトリウム空間に対して、クールピットを經由して居住域に給気するルートと、屋上の採風窓から最上階に外気を導入するルートを設置し、アトリウム上部の非居住域から排気するような自然換気経路を計画している。
持続的活用に配慮したポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・採風窓、自然換気窓に網戸を設置 ・排気窓の制御システムを細分化 ・自然換気口開放条件に室温のパラメータも付加 ・リフレッシュとコミュニケーションの場であるアトリウム空間を自然換気対象とし、外部の豊かな自然を感じられる空間とすることで居住者の温熱許容域の緩和を意図 ・運用データの分析を根拠とした管理者への運用改善案の提示

◆ 自然換気システムの概要

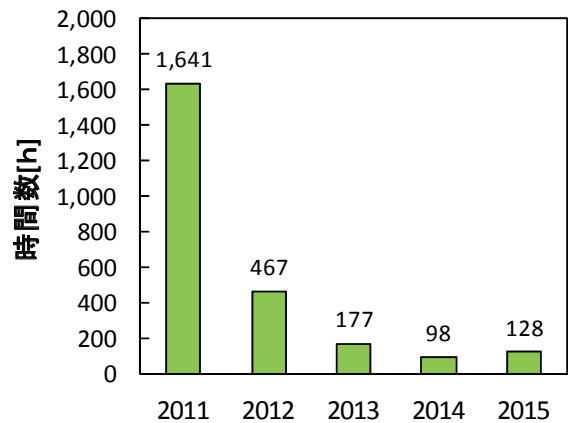
自然換気システムの概念図を図 3-15 に示します。自然換気を行っている時間帯では空調機は運転停止となりますが、自然換気の期間を極力長くするため、天井・壁に設置された放射空調システムと併用可能な計画となっています。4階の居住域には、外部風の圧力を受けやすい位置に外気取り入れ窓を設置しています。この窓により、従来は熱溜まりとなりやすかった大空間の最上階においても、涼しい外気の風を感じられることを期待しています。また、実際の自然換気運用時間数とアトリウム空調機の運転時間数の変化を図 3-16、図 3-17 に示します。竣工後 1、2 年までは自然換気が適切に運用されていませんでしたが、3 年目以降は適切に運用されています。



■ 図 3-15 アトリウム空調・自然換気概念図



■ 図 3-16 自然換気運用時間数の経年変化



■ 図 3-17 アトリウム空調機積算運転時間数 (4～6月、9～11月の積算)

◆ 運用阻害要因への対策

16 項目の阻害要因とその主な対策を基準に、運用阻害要因に対して表 3-6 のような対策を行っています。本施設の特徴として、「自然が豊かである」「海風があり時期によっては外気風が強い」「各階を繋ぐ吹抜け空間としてのアトリウム空間」「ガラス面積が大きいため熱溜りが発生する」などの特徴があり、特に「虫」「換気口作動音」「突風」「煙突効果による最上部の温度上昇」などを重点対策項目としています。

■ 表 3-7 事例 1 における運用阻害要因への対策

阻害要因	重点項目	本事例での対策
1. ほこり		クールピット等を経由し、間接的に導入することによりほこりの侵入を防止。更に湧水マットや排水管を敷設しないなど、クールピット内の空気質確保への対策を行った。
2. 虫	◎	透明性を重視したガラス窓以外には全て網戸を設置
3. 花粉		豊かな自然の中にある施設のため、用途上問題なしと判断。施主に確認。
4. 雨水		クールピットを経由した自然換気口と雨天時にも排気可能な排気口のデザイン。自然換気許可条件に降雨なし条件を採用
5. 外からの騒音		周辺に騒音を発生する施設がなく、極めて静かな周辺環境 採風窓の近傍には設備機器を設置しない計画
6. 換気口作動音	◎	クールピット内に開閉ダンパーを設置、手動のガラス窓を設置 採風窓には作動音に配慮したバランス開放型の自動排気窓を採用
7. プライバシー		アトリウムという共用空間のため問題なしと判断
8. 風切り音		隙間状の開口ではなく、大開口を確保
9. 突風	◎	採風窓以外は外気風の正圧が作用しにくい場所に給気口を配置 自然換気の許可条件にて外部風速の許可条件を 10m/s 以下に設定
10. ドラフト		自然換気の許可条件にて外気の下限温度を 15℃ に設定 熱排気口に開口面積の調整が容易な引き違い窓を採用
11. 熱気・冷気の侵入		ガラス窓は複層ガラスを採用し、気密性の高いサッシを採用 給気口付近に大きな熱気・冷気の発生源がないことを確認
12. 煙突効果による最上部の温度上昇	◎	最上階（4 階）に採風窓を設け、最上部にも直接外気が導入できるように計画し、非居住域に熱溜まりを集めて排気する気流計画 非居住域の排気口を外気風によらず常に負圧となるように設計
13. 結露、湿潤、乾燥		アトリウムという用途上、問題なしと判断 真夏等の判断条件として、許可条件の外気露点温度を 20℃ 以下と設定
14. におい		周辺に臭いの発生源がないことを確認 空調・換気の排気を自然換気給気口付近に設置しない クールピット内の空気環境に配慮し、地下水位の確認、湧水対策、活性炭によりカビの発生等がないように配慮。
15. 制御の手間		制御を自動制御または中央監視発停による電動制御とした 開閉操作が必要なのは 4 系統のため大きな問題はないと判断
16. メンテナンス	◎	高天井部に設置された窓は屋上より容易にメンテナンス可能とした クールピット内ダンパーは空調設備として使われている汎用品とし、耐久性、メンテナンス性、更新性に配慮

実際の運用事例 2

2つ目の事例として、庁舎において建物全体で自然換気を行なうことをコンセプトとした建物を紹介します。旧庁舎においても中間期は積極的に空調を停止して自然換気を行うという運用を行っており、このような環境制御の習慣を継承し、積極的に自然換気を行うことで大幅な省エネルギーを達成することをコンセプトとしています。

■ 表 3-8 建物概要

建物名称：K市庁舎
計画地：山梨県
用途：庁舎
敷地面積：8,729 m ²
建築面積：4,392 m ²
延床面積：27,972 m ²
構造：地上：S造、一部SRC造、地下：RC造
階数：地上10階、地下1階、塔屋2階
最高高さ：48.20m
主要居室：事務室、窓口、議場、会議室等
竣工年：2013年3月



建物外観

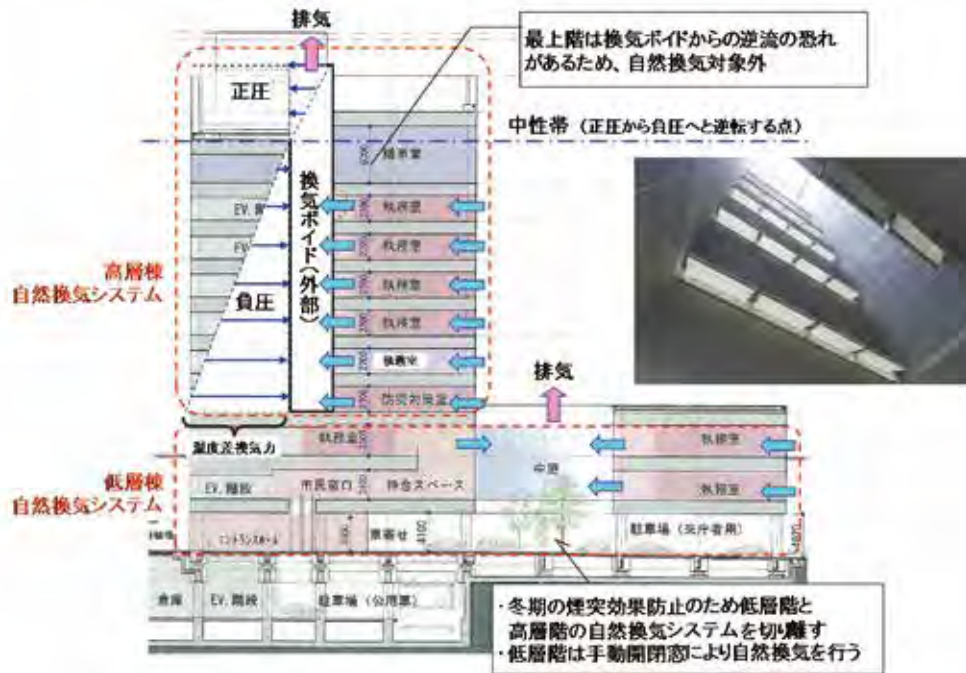
提供：日暮雄一 日暮写真事務所

■ 表 3-9 設計・運用上の要点

自然換気システム概要	<p>低層の窓口業務・共用部と高層の事務室の2系統の自然換気システムを計画し、低層は中庭に排気し、高層は2ヶ所に設置されたボイドに排気している。</p> <p>高層の事務室は、中間期において自然換気有効時は空調が禁止となるため、中間期の大幅な空調エネルギー消費量の削減が期待できる。</p>
持続的活用に配慮したポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・旧庁舎で自然換気(窓開け)を活用して室内環境を制御していた文化を継承 ・引き違いの手動窓により居住者による手動調整が可能 ・換気経路の圧力損失防止のため、自然換気対象室に隣接して排気ボイドを設け、廊下を経由することなく排気が可能となるように計画 ・自動制御により開閉する自然換気窓を目立つ位置に配置、自然換気有効ランプの設置により居住者に窓開閉のタイミングを伝える ・事務室専用部と共用部の自然換気系統の分離

◆ 自然換気システム概要

本建物の自然換気システム概念図を図 3-18、図 3-19 に示します。自然換気口の制御方法としては、自然換気有効判断を中央監視にて行い、この判断を参考として吹き抜けに対する自然換気口の開閉を管理者が実行する方式です。吹き抜けの排気口が開の場合は執務室に設置されている自然換気表示パネルが自然換気表示に切り替わり（青色点灯）、自然換気表示中は空調設備の運転が禁止されます。高層階の換気経路の工夫としては、圧力損失を低減するために執務室に面してボイドを配置することで執務室から直接排気を行う経路としたことです。



■ 図 3-18 自然換気システム概念図 (断面)



■ 図 3-19 自然換気システム概念図 (高層棟)

◆ 運用阻害要因への対策

16 項目の阻害要因とその主な対策を基準に、運用阻害要因に対して表 3-10 のような対策を行っています。本建物の特徴としては、「中間期において自然換気のみで専用部の温熱環境を制御」「給気窓を手動制御にするため、職員に開閉を促進させる仕組み」が考えられ、特に「換気口作動音」「ドラフト」「熱気・冷気の侵入」「煙突効果による最上部の温度上昇」「結露、湿潤、乾燥」などを重点対策項目としています。

■ 表 3-10 事例 2 における運用

阻害要因	重点項目	本事例での対策
1. ほこり		周辺にほこり等の問題がないかを事前に確認
2. 虫		夜間の自然換気停止、網戸・フィルターは設置なし
3. 花粉		旧庁舎においても中間期において自然換気を行なう習慣があったため使用者の許容範囲内と判断
4. 雨水		換気口サッシ性能で対応 自然換気許可条件に降雨なし条件を採用
5. 外からの騒音		周辺に騒音を発生する施設等がないことを事前に確認 屋外に設置される設備機器が換気口の付近に配置されないように配慮
6. 換気口作動音	◎	外壁には手動制御の換気窓を採用 作動音に配慮したバランス開放型の自動排気窓を採用
7. プライバシー		庁舎という用途上、プライバシー性の高い空間が少ない 専用部と共用部の換気経路を独立させクロストークに配慮
8. 風切り音		引き違い窓により換気口閉鎖時の気密性を確保
9. 突風		自然換気の許可条件にて外部風速の許可条件を 7m/s 以下に設定
10. ドラフト	◎	自然換気の許可条件にて外気の下限温度を 18℃に設定 開口面積の調整が容易な引き違い窓を給気窓に採用
11. 熱気・冷気の侵入	◎	引き違い窓により換気口閉鎖時の気密性を確保 吹抜けへの排気窓は逆流防止窓とし、吹抜けからの熱気の侵入・逆流を防止
12. 煙突効果による最上部の温度上昇	◎	中性帯位置のコントロール 吹抜けの外部化（ボイド化）
13. 結露、湿潤、乾燥	◎	自然換気の許可条件にて相対湿度の条件を 40% 以上、70% 以下に設定
14. におい		周辺に臭いの発生源がないことを確認 空調・換気の排気を自然換気給気口付近に設置しない
15. 制御の手間		居住者が容易に開閉できる窓（引き違い窓）の採用 自然換気ランプを執務室に設けることにより窓の開閉を促進する工夫 吹抜けへの排気窓を許可条件により自動開閉し管理の手間を軽減
16. メンテナンス		高天井部に開閉機構を設けない工夫。 手動開閉窓の採用、網戸非設置によるメンテナンスの手間軽減

実際の運用事例 3

3つ目の事例として、研究施設に導入した自然換気システムについて紹介します。クリーンルームを併設した研究施設のオープンワークスペースとエントランスに自然換気が導入されています。

■ 表 3-11 建物概要

計 画 地：茨城県
用 途：研究所
敷地面積：262,497㎡
建築面積：3,474㎡
延床面積：6,271㎡
構 造：鉄骨鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨造)
階 数：地上 3 階
主要居室：クリーンルーム・事務室・ 研究室等
竣 工 年：2013 年 3 月



建物外観



自然換気対象空間
(オープンワークスペース)

■ 表 3-12 設計・運用上の要点

自然換気システム概要	中間期は極力空調を使用しないという施主からの方針により、共用部と 2 階オープンワークスペースに対して十分な自然換気開口を確保 共用部からオープンワークスペースを経由し、複数の排気窓にて排気
持続的活用に配慮したポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・外気は共用部というバッファ空間を経由してオープンワークスペースに導入されるような経路とした。 ・天井放射空調と自然換気を併用する自然換気併用ハイブリッド空調システム ・制御の手間と確実な省エネに配慮し、給気口・排気口は自動制御を採用。共用部からオープンワークスペースへの開口部を手動制御とし、利用者の調整余地を確保。

◆ 運用阻害要因への対策

16 項目の阻害要因とその主な対策を基準に、運用阻害要因に対して表 3-13 のような対策を行っています。本建物の特徴としては、「空調設備を極力稼働させない運用方針」「利用者在室率に変動が大きい」「豊かな自然に囲まれた周辺環境」などであり、重点対策としては「換気口作動音」「ドラフト」「熱気・冷気の侵入」「制御の手間」としています。

■ 表 3-13 事例 3 における運用阻害要因への対策

阻害要因	重点項目	本事例での対策
1. ほこり		周辺にほこり等の問題がないかを事前に確認
2. 虫		夜間の自然換気停止、網戸・フィルターは設置なし
3. 花粉		使用者の許容範囲内と判断。施主へ確認済み。
4. 雨水		換気口サッシ性能で対応、軒下に給気口を設置 自然換気許可条件に降雨なし条件を採用
5. 外からの騒音		周辺に騒音を発生する施設等がないことを事前に確認 屋外に設置される設備機器が換気口の付近に配置されないように配慮
6. 換気口作動音	◎	給気口は共用部に配置し、共用部をバッファースペースとして専用部に外気を導入する経路を確保
7. プライバシー		オープンオフィスのため問題なしと判断
8. 風切り音		換気口閉鎖時の気密性を確保
9. 突風		自然換気の許可条件にて外部風速の許可条件を 10m/s 以下に設定
10. ドラフト	◎	自然換気の許可条件にて外気の下限温度を 15℃ に設定 共用部というバッファースペースを経由しての外気導入
11. 熱気・冷気の侵入	◎	共用部との間仕切り壁に設置された換気口閉鎖時の気密性を確保
12. 煙突効果による最上部の温度上昇		中性帯位置のコントロール 2 階建ての建物のため問題なしと判断
13. 結露、湿潤、乾燥		自然換気の許可条件にて室内エンタルピとの比較条件を追加
14. におい		周辺に臭いの発生源がないことを確認 空調・換気の排気を自然換気給気口付近に設置しない
15. 制御の手間	◎	給気窓と排気窓は自動制御により制御の手間を軽減 共用部から専用部への窓を手動開閉とし、居住者が制御できるように計画した。
16. メンテナンス		開閉機構の駆動部分をメンテナンスできる位置に設置 網戸非設置によるメンテナンスの手間軽減

■ 参考文献一覧

- 1) 自然換気システムの運用実態に関する調査 山本佳嗣ら
日本建築学会環境系論文集 第 619 号 2007 年
- 2) Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference,
Richard de Dear,et.al., FINAL REPORT ASHRAE RP-884, 1997
- 3) 『実務者のための自然換気設計ハンドブック』 日本建築学会編 2013 年
- 4) 大気拡散簡易計算プログラム ADC 鈴木秀男
<https://www.vector.co.jp/soft/win95/edu/se298180.html>
- 5) 非住宅建築物における自然通風の省エネルギー性能評価法 細井昭憲ら
日本建築学会大会学術講演梗概集 2016 年
- 6) 自然通風の熱負荷削減性能評価における排熱効率の検討」 松村聡美ら
空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2016 年
- 7) 自然換気システムの換気口開放条件に関する研究」 山本佳嗣ら
日本建築学会環境系論文集 第 722 号 2016 年



資料編 1 設計用外部風向風速および風圧係数データ

● 自然換気計画に活用できる気象データについて

自然換気計画に利用できる気象データとしては、気象庁の「過去の気象データ・ダウンロード」のページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>(2019年1月時点))から、気象台等で観測された風況をはじめとする気象データを、地点や期間を選んでダウンロードすることが可能です。それ以外にも、消防署等で観測した気象データが公開されている場合もあります。経時データを使用して検討する場合には、建設地近傍の観測地点で観測された気象データを確認することをお勧めします。

自立循環型住宅ホームページ (<https://www.jjj-design.org>) では、住宅の自然風利用のための参考資料として、風況を中心とした気象データを公開しています(図1)。このデータは、日本建築学会編「拡張アメダス気象データ 1981-2000」(2005年発行 <http://www.metds.co.jp>) 所収の20年分の拡張アメダス気象データをもとに作成しており、全国842地点について、月ごとの風配、風速等の風況データをまとめたものです。この公開資料を参考にして、自然換気の計画を進めることも可能です。

いずれのデータを使用する際にも、風速については、計画する建物の高さに合わせた補正が必要になります。自然換気計画時に参照する外部風速を、地表面からの高さ H [m](通常棟高とすることが多い)における風速(参照風速 V_{ref} [m/s])とすると、地上高さ H_{ob} [m]の観測地点で観測された風速 V_{ob} [m/s]から、

$$V_{ref} = \left(\frac{H}{H_{ob}} \right)^{\alpha} V_{ob}$$

で求めることが一般的に行われます。ここで指数 α は、地表面粗度区分^{注1}に応じて、0.1(I)、0.15(II)、0.2(IV)、0.27(IV)とすることが一般的です。また都市部を対象とした1/4乗則から1/4(=0.25)の値が使われることもあります。自立循環型住宅ホームページの公開データの風速値は、既に1/4乗則で戸建住宅軒高相当(地上高さ6.5m)に換算した値($V_{H=6.5m}$ [m/s])となっているため、参照風速 V_{ref} は下式で求める必要があります。

$$V_{ref} = \left(\frac{H}{H_{ob}} \right)^{\alpha} \left(\frac{H_{ob}}{6.5} \right)^{1/4} V_{H=6.5}$$

注1：地表面粗度区分：平成12年5月31日建設省告示第1454号において示されている、地域毎の風の流れ難さを示す区分です。

地点名	東京	地点番号	363
-----	----	------	-----

緯度[°] (北緯)	35.7	経度[°] (東経)	139.8	測定点 標高[m]	6	風速計 高さ[m]	74.5
---------------	------	---------------	-------	--------------	---	--------------	------

●平均風速[m/s]

起居時	就寝時	終日
1.9	1.5	1.7

※図2中の6月～9月の平均値

目次へ戻る

●開口面設置に適した方位の判定表

方位	北	北北東	北東	東北東	東	東南東	南東	南南東	南	南南西	南西	西南西	西	西北西	北西	北北西	
風上	起居時	△	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	○	△	×	×	×	△
	就寝時	◎	◎	◎	○	△	△	△	△	○	○	○	△	△	×	△	○
風下	起居時	◎	◎	○	△	×	×	×	△	△	○	○	○	○	○	○	◎
	就寝時	○	○	○	△	△	×	△	△	◎	◎	◎	○	△	△	△	△

※判断基準: 図1中の[6月-9月]データで、40%以上で◎、30%~40%で○、20~30%で△、20%未満で×

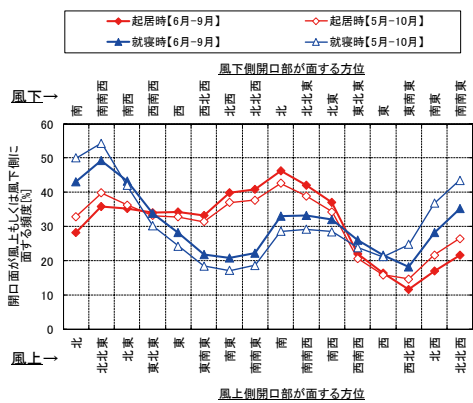


図1 開口部が風上側、風下側に面する頻度

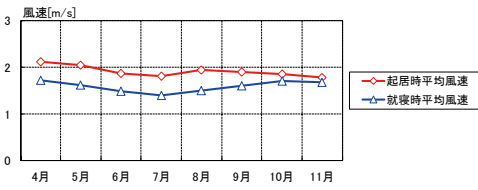


図2 平均風速

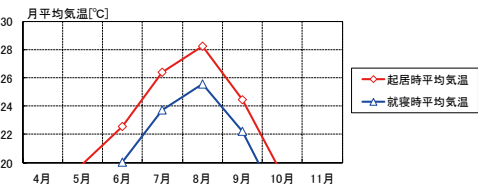


図3 平均気温

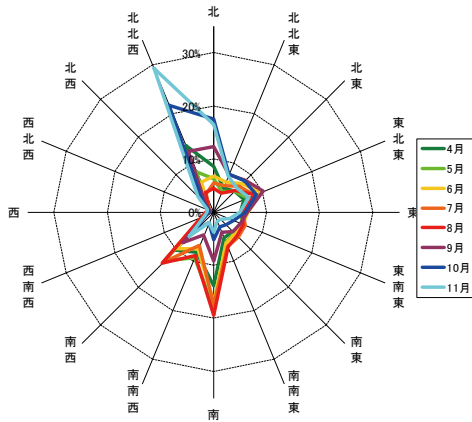


図4a 月別風配図(起居時)

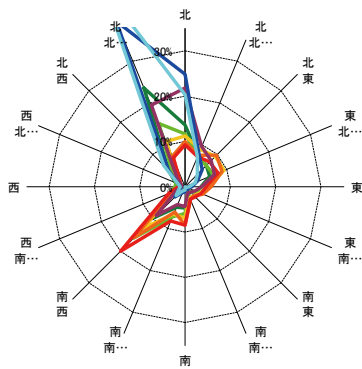


図4b 月別風配図(就寝時)

月毎気象データ数表

	4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		
	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	
平均気温[°C]	15.6	12.5	19.9	16.8	22.6	20.0	26.4	23.7	28.2	25.6	24.4	22.2	19.2	16.7	14.0	11.4	
平均相対湿度[%]	57	68	61	73	69	80	71	82	68	80	69	79	62	72	56	65	
平均風速[m/s]	2.1	1.7	2.0	1.6	1.9	1.5	1.8	1.4	1.9	1.5	1.9	1.6	1.8	1.7	1.8	1.7	
風向	最頻	南	北北西	南	南西	南	南西	南	南西	南	南西	北北西	北	北北西	北北西	北北西	北北西
	次点	北北西	北	南西	北北西	南西	北	南西	北	南西	北	北	北北西	北	北	北	北
	次々点	南西	南西	南南西	北	東北東	北北西	東北東	北東	南南西	南	東北東	北北東	東北東	北北東	北北東	北北東
	10%	10%	9%	12%	10%	11%	8%	10%	9%	8%	10%	10%	9%	8%	7%	7%	

※本データは、社団法人日本建築学会編「拡張アメダス気象データ 1981-2000」(2005年発行、http://www.metds.co.jp/)所収の拡張アメダス気象データ(20年分)をもとに作成しております。
 ※本データは、自立循環型住宅設計ガイドライン 3.1章「自然風の利用(・制御)」の参考資料としてのみ利用できます。本データは、日本建築学会環境工学会建築設備運営委員会設計気象データ小委員会ならびに株式会社気象データシステムから、自立循環型住宅設計ガイドラインWebページ(www.jjj-design.org)内に限って公開の許諾を得たものです。転載や他用途での使用はご遠慮ください。
 ※本データ作成にあたり、起居時は7時~22時、就寝時は23時~6時としています。
 ※本データの使用方法ならびに作成方法の詳細は、自立循環型住宅設計ガイドライン3.1章「自然風の利用(・制御)」、本pdfファイル2~3ページをご確認ください。

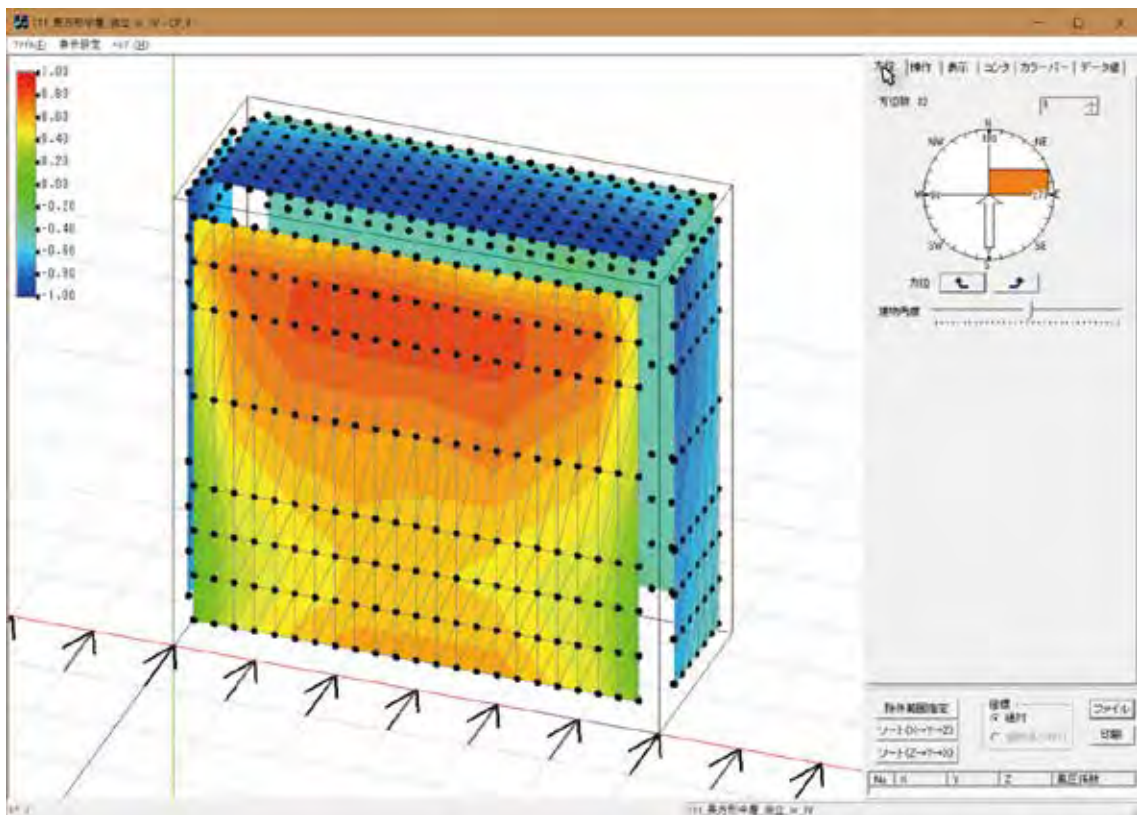
■ 図1 自立循環型住宅ホームページ内で公開している気象データの例 (東京)

● 自然換気計画に活用できる風圧係数データについて

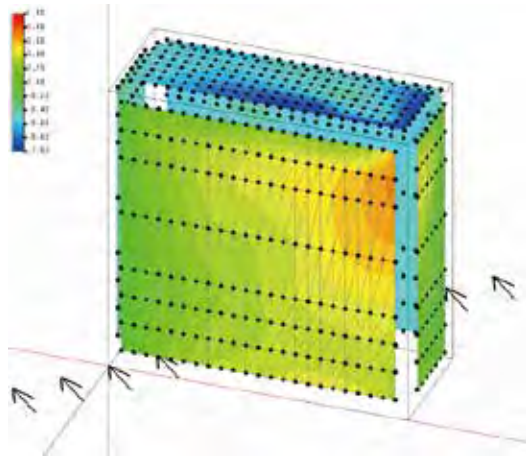
丸田榮藏日本大学元教授の研究室が風洞実験により得た風圧係数分布データベースを、ビューワソフト CP-X とともに、自立循環型住宅ホームページ (<https://www.jjj-design.org>) 内で公開しています。

データベースには、長方形平面や特殊平面形状 (L、+、コ、口、Y、H、へ型) の低層 (15m)、中層 (30m)、高層 (45m) の建物や、体育館や工場を想定した屋根形状の異なる建物、平面や屋根形状の異なる住宅などの風圧係数分布が収録されています (図 2、図 3)。また、長方形平面形状の建物については、隣接建物がある場合の分布 (図 4) も確認できます。

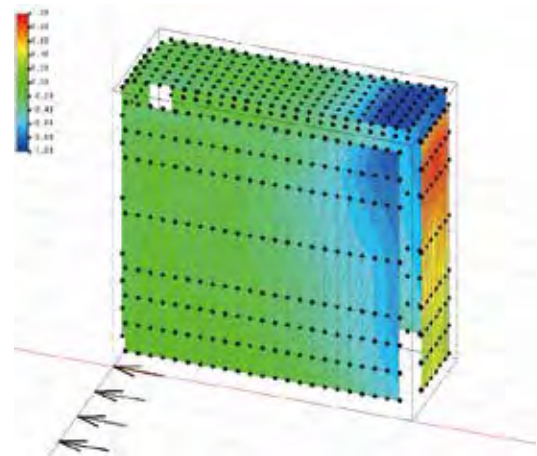
自然換気を計画する建物と類似の形状の建物の風圧係数分布を確認することで、換気回路網計算で自然換気量を計算する際の風圧の境界条件を定めることができます。CP-X では、給気口、排気口位置を指定することで、風圧係数値を抽出することを可能としています。



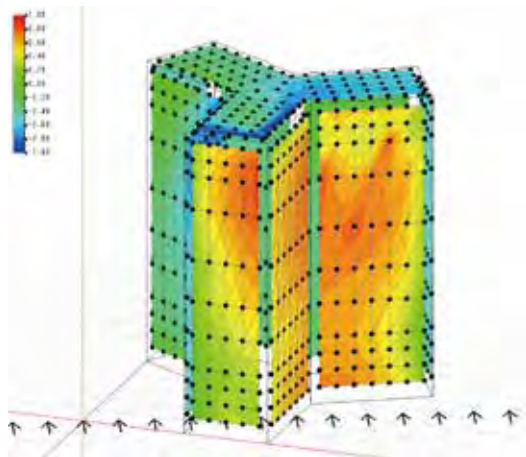
■ 図 2 CP-X に表示した「長方形平面、中層、独立建物」の風向「南」における風圧係数分布



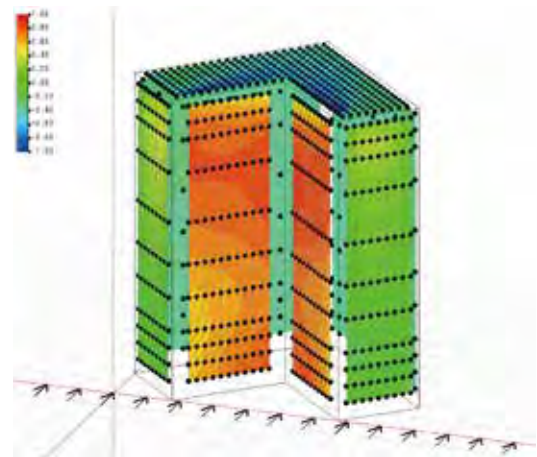
a) 長方形平面, 中層, 独立建物, 風向南東



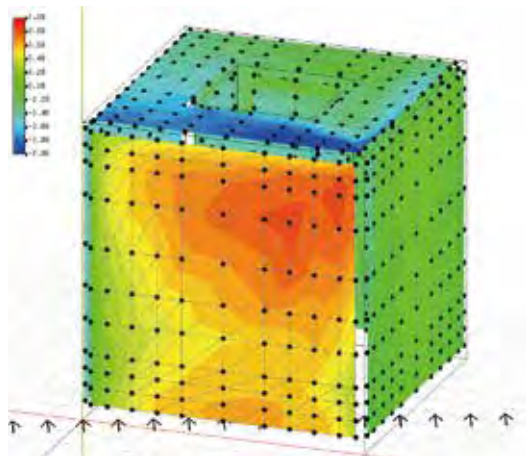
b) 長方形平面, 中層, 独立建物, 風向東



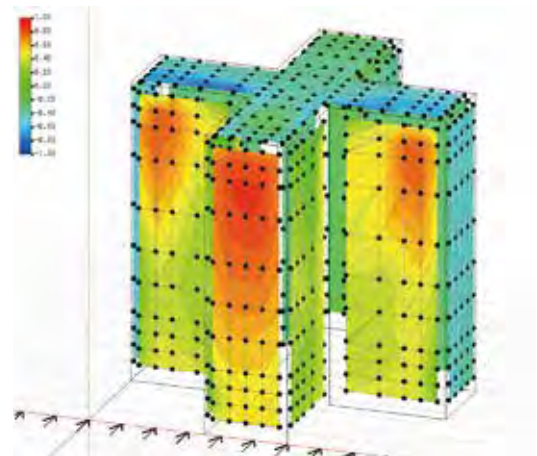
c) Y型平面, 高層, 独立建物, 風向南南東



d) L型平面, 高層, 独立建物, 風向南

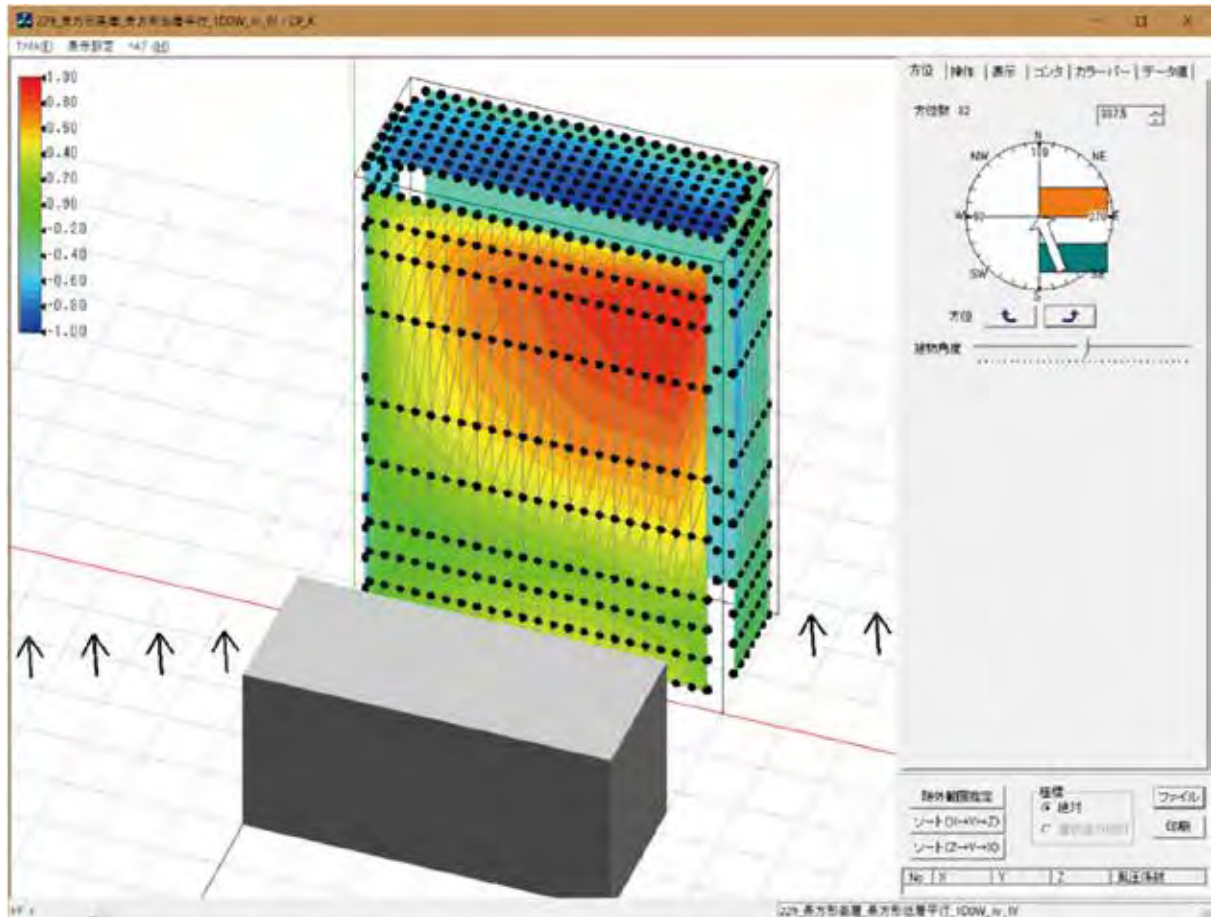


e) 口型平面, 高層, 独立建物, 風向南南東



f) +型平面, 高層, 独立建物, 風向南

■ 図3 CP-Xによる風圧係数分布の表示例



■ 図4 長方形平面の高層建物の風上側に低層の隣接建物がある場合の例

資料編 2 自然換気部材の静圧－風量特性の試験方法

建築物における自然換気利用の省エネ効果算出において、建築物で使用される自然換気部材^{注2}の風量－静圧特性は計算上不可欠な情報です。しかし自然換気部材の風量－静圧特性を求める方法を明確に示したものはなく、一般的に送風機や機械換気で使用する自然給気口等の端末部材^{注3}の風量－静圧特性を求める実験的方法が用いられているのが現状です。この方法は、ISO 5801: Industrial fans - Performance testing using standardized airways (同 JIS B 8330: 送風機の試験及び検査方法) や JIS C 9603 換気扇等、国内外で複数の規格で定められています。これらの規格では、送風機、流量測定部および、空気槽を組合せた装置が規定されており、使用する空気槽について、評価部材の径やそれに相当する寸法を基準にチャンバーの断面積、奥行寸法等を制限するとともに、チャンバー内風速分布等に閾値を設けています。これは空気槽内が均一な静圧場で、かつ動圧が消散し、測定静圧が空気槽内の全圧とほぼ同等であることを担保するためだと考えられます。しかしこれらの条件は各々の規格で統一されたものではありません。一方で自然換気部材は自然給排気口等の端末部材に比べると有効開口面積が大きく、上記で示したチャンバーに対する制限事項を満足できない場合もあり得ます。そこで、既往規格を参照しつつ、評価時のチャンバー内の圧力場が適正となる計測条件を明確にし、自然換気部材における静圧－風量特性の評価方法を作成しました。加えて、流体数値計算により自然換気部材の静圧－風量特性を評価する方法も作成しました。

注2：自然換気部材とは、建築物の外皮や、室内間仕切り壁に組み込まれる自然換気を目的として使用される部材を言い、一般的にカーテンウォールやサッシに組み込まれます。図 a に自然換気部材の例を示します。



注 3：機械換気で使用する自然給気口等の端末部材の例を図 b に示します。



外部フード



自然給気口

■ 図 b 機械換気で使用する自然給気口等の端末部材の例

提供：パナソニック

目 次

1 適用範囲	68
2 引用規格	68
3 用語の定義	68
4 実験室における試験方法	69
5 数値解析による試験方法	77
6 参考文献	83

自然換気部材の静圧 - 風量特性の試験方法

1 適用範囲

この規格は、建築物で使用される自然換気部材の静圧 - 風量特性を求めるための、実験室における試験方法及び数値解析による試験方法について規定する。

2 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによってこの規格の一部を構成する。これらの引用規格はその最新版（追補を含む）を適用する。

- ISO 5167: Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full (同 JIS Z 8762-1~4: 円形管路の絞り機構による流量測定方法)
- ISO 5801: Industrial fans - Performance testing using standardized airways (同 JIS B 8330: 送風機の試験及び検査方法)
- ANSI/AMCA210(ASHRAE51): Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating
- JIS A 1513: 建具の性能試験方法通則

3 用語の定義

3.1 自然換気

風力および温度差を駆動力とする換気

3.2 自然換気部材

3.3、3.4 に示す自然換気装置及び開口部材の総称

3.3 自然換気装置

自然換気を行う際の給気口及び排気口に用いる専用装置

3.4 開口部材

自然換気を行う際の給気口及び排気口に用いる開口部（サッシ）

3.5 定風量自然換気装置

建物内外の圧力差等の自然の動力により風量の上限を調節することができる自然換気装置

3.6 電動制御自然換気装置

電動により開度を可変でき、風量を制御する事ができる自然換気装置

3.7 試験対象部材

静圧－風量特性を評価する対象となる自然換気部材

3.8 リファレンス部材

その静圧－風量特性が既知である自然換気部材

3.9 防鳥網

鳥の侵入を妨げるために自然換気部材の通気経路内に設置された目の粗い網

3.10 防虫網

虫の侵入を妨げるために自然換気部材の通気経路内に設置された目の細かい網

3.11 フィルタ

大気中の粉塵の侵入を妨げるために自然換気部材の通気経路内に設置された濾過材

3.12 差圧、 $\Delta P(\text{Pa})$

自然換気部材を境界とした空気槽前後の静圧差

3.13 有効開口面積、 $A_e(\text{cm}^2)$

静圧－風量特性から推定される圧力損失を考慮した自然換気に有効な面積

3.14 メッシュの成長率

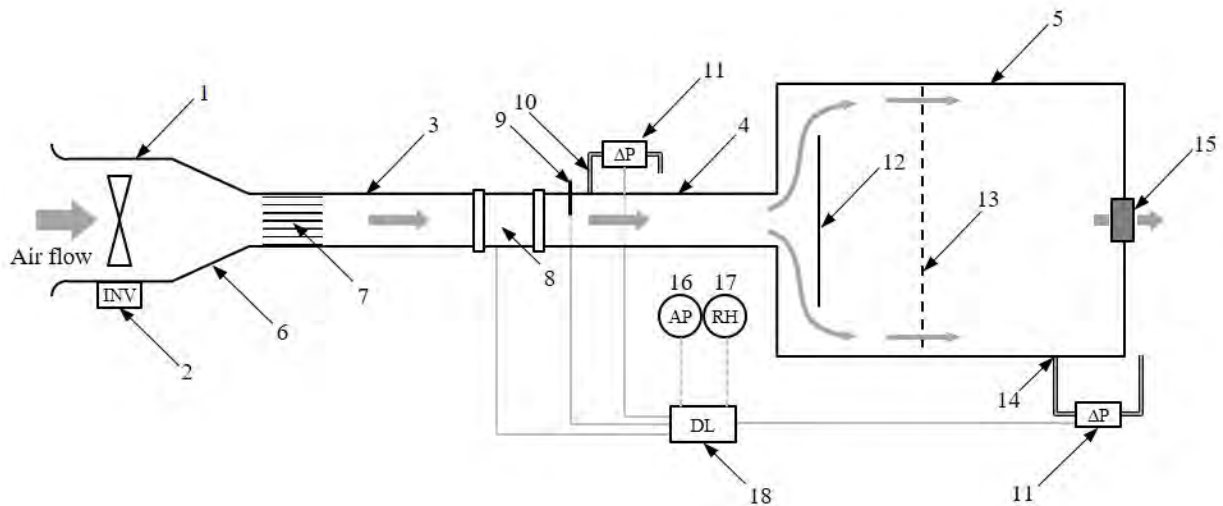
細かいメッシュから粗いメッシュへの寸法の変化率

4 実験室における試験方法

この章では、実験室における自然換気部材の静圧－風量特性の試験方法について説明する。

4.1 試験装置の構成

試験装置の構成を図 1 に示す。装置は送風機、流量測定部及び空気槽等から構成され、試験対象部材に対して加圧することが可能なものとする。なお、本試験方法は空気槽内が正圧となる方法に限定する。



ただし、

- | | |
|---------------------|--------------|
| 1 送風機 | 10 静圧孔（測定管部） |
| 2 流量調整装置 | 11 差圧計 |
| 3 風上側測定管 | 12 緩衝板 |
| 4 風下側測定管 | 13 整流網 |
| 5 空気槽 | 14 静圧孔（空気槽部） |
| 6 接続管（レデューサ、ディフューザ） | 15 試験対象部材 |
| 7 整流格子 | 16 大気圧計 |
| 8 流量測定装置 | 17 湿度計 |
| 9 温度計（測定管部） | 18 データ収集装置 |

■ 図 1 試験装置の構成

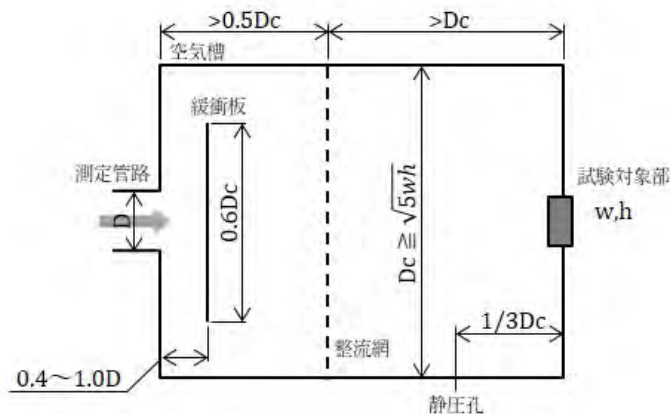
4.1.1 送風機

送風機は、試験対象部材の両側に必要な圧力差を発生させる能力を有するものを使用する。また、インバータ、ダンパ等、試験中の圧力調整が容易である流量調整装置を使用すること。

4.1.2 空気槽

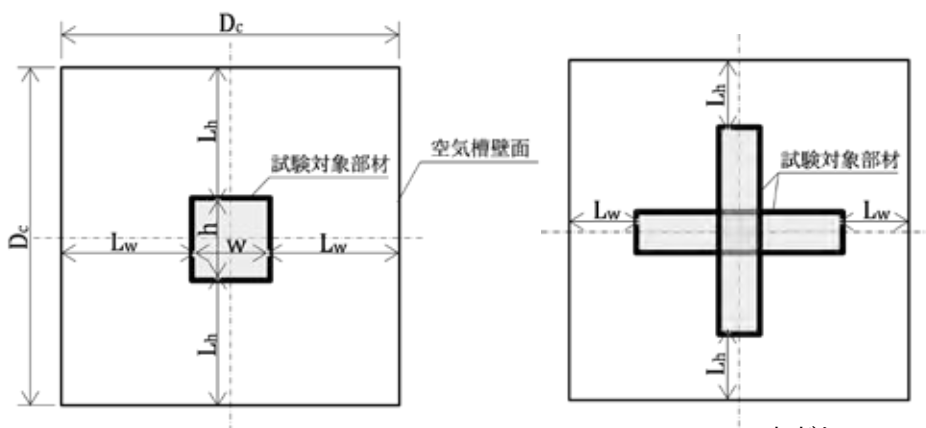
空気槽は図 2 に示す形状の物を使用する。また、その他の要件を以下に記す。

- ・ 空気槽の断面は 1 辺を D_c とする正方形の断面であること。また、空気槽の気流に直行する断面積は試験対象部材の内法寸法の積の 5 倍以上になるようにする。
- ・ 空気槽内の平均風速は 2m/s 以下であること。
- ・ 空気槽は十分に気密であり、わずかな風圧変動があっても揺れない強固な構造であること（気密性確認方法の参考：ANSI/AMCA210(ASHRAE51)）。
- ・ 試験対象部材は図 3 に示すように、空気槽内の気流に平行な各壁表面から 0.3m 以上離して設置すること。



ただし、
 D_c ：空気槽 1 辺の長さ
 D ：測定管路直径
 w ：試験対象部材の内法幅
 h ：試験対象部材の内法高さ

■ 図 2 空気槽



ただし、
 L_w, L_h ：空気槽壁面から試験対象部材までの最小距離 $\geq 0.3m$

■ 図 3 試験対象部材の設置位置

4.1.3 流量測定装置

通気量は ISO 5107-1 ~ ISO 5107-4 で規定される差圧式流量測定器具を使用すること。
 ただし、同等もしくはそれ以上の性能を有する流量測定装置（例：超音波流量計）を使用する場合はこの限りではない。

4.1.4 静圧孔

測定管及び空気槽に設置する静圧孔は以下の通りとする。

- 測定管に設ける静圧孔は ISO 5801 に準ずる。
- 空気槽に設ける静圧孔の大きさは $\phi 5mm$ 以下とし、試験対象部材取り付け面から $1/3D_c$ 離れた空気槽のいずれかの面の中央に設置する。

4.1.5 差圧計

測定管、空気槽の各々で使用する差圧計は以下の要件を満足すること。

- 差圧計は測定管、空気槽の各々の測定圧力に応じたレンジに対応したものを使用する。
(一般的に、測定管は 1kPa、空気槽は 500Pa 程度の微差圧計を用いる)。
- 差圧計の分解能は 0.1Pa 以下、誤差は 0.1% F.S. 以下の精度を目安とする。
- 差圧計の一端は静圧孔に接続し、もう一方は大気解放とする。

4.1.6 接続管

送風機と測定管の径が異なる場合は、ISO 5801 で規定される接続管（レデューサもしくはディフューザ）を用いて接続する。

4.1.7 風上側、風下側測定管

測定管は滑らかな内面を持つ円形断面で真直な管を使用すること。また、各測定管は 4.1.2 で使用する流量測定装置に応じて必要な長さをそれぞれ確保すること。

4.1.8 整流格子

測定管に設置する整流格子は、ISO 5801 で規定される整流格子に準ずる。

4.1.9 緩衝板

空気槽内に設置する緩衝板は、測定管が接続される面から $0.4 \sim 1.0D$ の距離を持って設置する。また、緩衝板の一辺の長さは $0.6D_c$ とする。

4.1.10 整流網

空気槽内に設置する整流網は、ISO 5801 で規定される整流網に準ずる。

4.1.11 温度計

温度計は 0.5°C 以下の分解能を有し、測定時の温度範囲に対応したものを使用する。また、流量測定に影響しない様に、下流側に設置する。

4.1.12 大気圧計

大気圧の測定には、フォルトン気圧計または 0.5hPa 以下の分解能を有する大気圧計を使用する。

4.1.13 湿度計

湿度の測定には、乾湿球湿度計または同等の精度を有するものを使用する。

4.1.14 データ収集装置

データ収集装置は、各測定データをほぼ同時に収集可能なデータロガー等を用いる。

4.2 試験方法

試験は 4.1 で示した試験装置に試験対象部材を設置し、送風機を運転して空気槽内を段階的に加圧する。試験対象部材に差圧を与えた時の差圧及び風量を測定し、静圧－風量特性を得る。なお、建物に設置された自然換気部材を通過する気流は一方通行ではなく、外界の条件に応じて屋外から室内（以下「流入方向」）および室内から屋外（以下「流出方向」）へとランダムに発生する。そのため流入および流出方向の両方について静圧－風量特性を測定する必要がある。これらの特性は同一の空気槽を用い、試験対象部材の表裏を反転して測定しなければならない。

4.2.1 試験環境

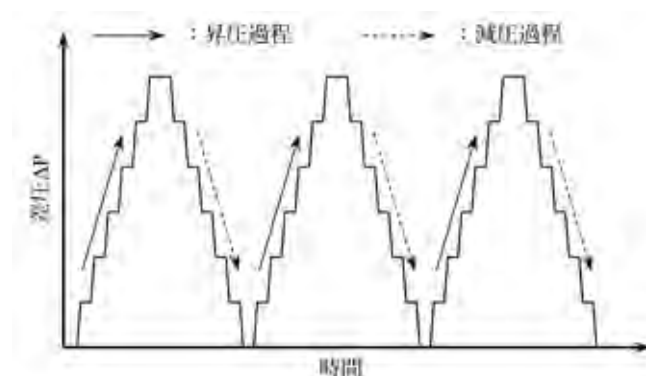
試験の環境は、JIS A 1513（建具の性能試験方法通則）で定める標準状態（温度 5 ～ 35℃、相対湿度 45 ～ 85%、気圧 860 ～ 1060hPa）を目安とする。なお、測定中は実験室内の温度、湿度、大気圧等の情報を記録しておくこと。

4.2.2 試験対象部材の設置

試験対象部材の空気槽への取り付けは、隙間が無い様に気密に取り付けること。なお、空気槽と試験対象部材に空間がある場合は、木枠等を用いて設置する。

4.2.3 測定プロセス

1 回の測定は昇圧過程と減圧過程で構成され、流入方向および流出方向のそれぞれについてこれを行う。昇圧、減圧過程ではそれぞれ階段状に圧力を上げ下げする（図 4）。この時の差圧の各ステップは、原則測定範囲内でほぼ均等になるように設定し、各ステップの測定は、差圧及び風量が十分に安定するのを確認した後に行うこと。なお測定回数は 3 回以上が望ましい。



■ 図 4 測定プロセス

4.2.4 差圧の設定

試験における差圧は、最大 250Pa 程度とするが、実際の使用状態を考慮し^{注3} 測定時の最大差圧を設定してもよい。ただし、定風量換気装置については、その機能が有効にはたらく範囲を考慮して、最大差圧を設定すること。

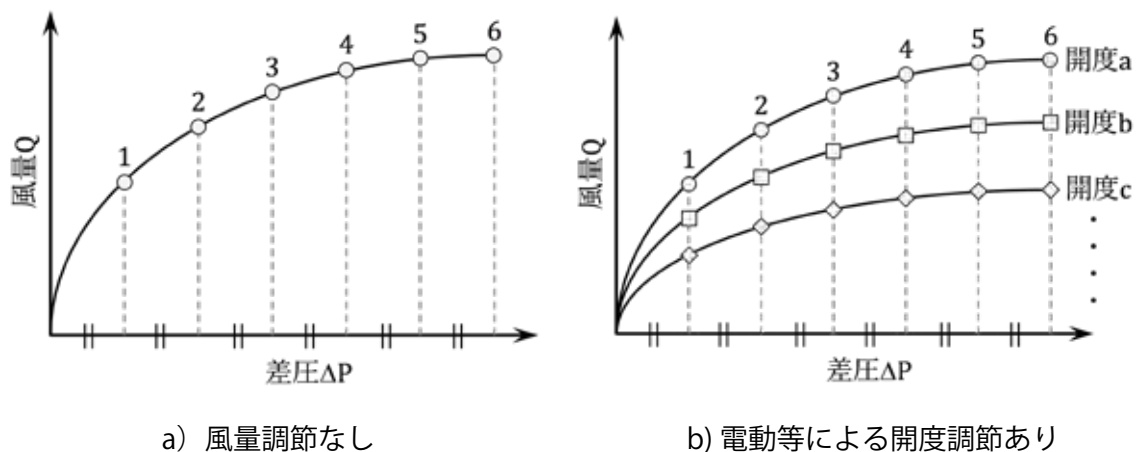
注3：例えば、一般的に有効開口面積が大きい開口部材では、数 Pa の差圧であっても流入時の風速が大きくなり、室内環境を乱すことになる。このような状況では、開口部材を閉鎖することは明白であり、それ以上の風速となる大きい差圧でデータを測定する必要はないと判断する。

4.2.5 測定中における差圧のステップ

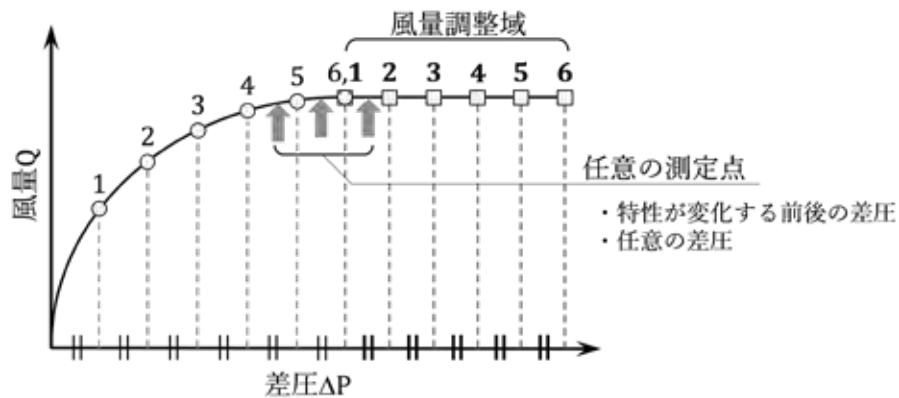
測定時の差圧のステップは自然換気部材の分類により下記のように設定する。

- ・ 風量調節機構のない自然換気部材
- ・ 電動制御自然換気装置
- ・ 定風量自然換気装置

風量調節機構のない自然換気部材の場合は、定めた最大差圧の範囲内で測定水準を 6 点以上設ける (図 5.1, a)。電動制御自然換気装置の場合は、使用する開度ごとに定めた最大差圧の範囲内で測定水準を 6 点以上設ける (図 5.1, b)。定風量自然換気装置の場合は、風量調節機構が機能しない範囲、機能する範囲でそれぞれ 6 点以上の測定水準を設けるとともに、特性が変化する前後の差圧で数点、任意の測定点を設ける^{*注4} (図 5.2,c)。ただし、両範囲の変曲点は共通の 1 点とする。



■ 図 5.1 差圧のステップ 1



c) 風量調節機構あり

■ 図 5.2 差圧のステップ 2

注 4：風量調整が機能しない範囲においても、差圧増加に伴い特性が微小に変化する場合がある。静圧－風量特性式の算出精度を高めるため、任意の測定点を設ける。

4.2.6 測定データの収集条件

測定データの収集は、サンプリング速度 1s、サンプル回数 60 回（差圧 1 ステップ）を目安とし行う。なお、サンプルデータを算術平均したものを 1 データとして扱うものとする。

4.2.7 風量の算出

測定された風量は式 (1) を用いて 20℃、1 気圧の標準状態に換算すること。

$$Q_{std} = Q_m \cdot \frac{293.15}{T_m} \cdot \frac{P_a + (P_D / 100)}{1013.25} \quad (1)$$

ただし、

Q_{std} ：基準化された風量 (m^3/h)

Q_m ：測定された風量 (m^3/h)

T_m ：測定管内の空気温度 (K)

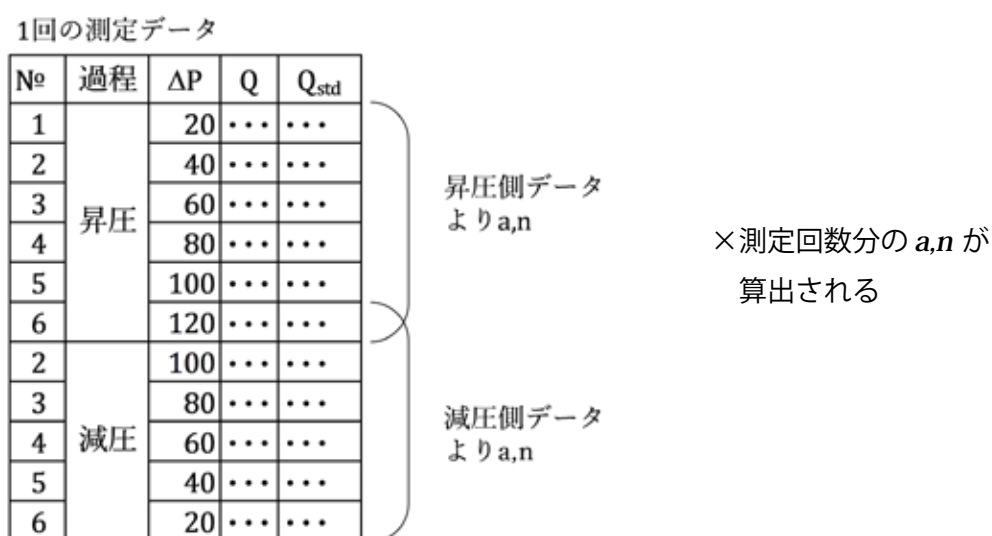
P_a ：測定時の大気圧 (hPa)

P_D ：測定管内圧力 (大気圧基準) (Pa)

4.3 静圧-風量特性式の算出

測定した差圧 ΔP と基準化された風量 Q_{std} から、式 (2) を用いて最小二乗法によって回帰させ、特性値 a と n を算出する。ただし、測定プロセスにおいて昇圧、減圧の過程を複数回繰り返すため、1 試験において特性値 a, n は複数個算出されることとなる (図 6)。よって、算出した全ての a, n をそれぞれ算術平均した値を、最終的な試験対象部材の特性値とする。なお、定風量自然量換気装置の場合、 a, n の算出は風量調整が機能しない範囲のデータを対象とし、風量調整が機能する範囲については風量 Q_{std} の平均値、最大値及び最小値を示す。

$$Q_{std} = a \cdot \Delta P^n \quad (2)$$



■ 図 6 特性値 a, n の算出結果

4.4 試験結果の記録

報告書には以下の項目を記載する。

- ・ 報告書の作成日、試験期間
- ・ 報告書の作成者の所属、氏名
- ・ 対象部材の名称及び、構造等がわかる図面
- ・ 試験装置の概要
- ・ 試験環境 (気温、気圧、湿度)
- ・ 静圧差と風量の関係 (グラフ、表)
- ・ 特性値 a, n
- ・ 流量調整時の風量 Q_{std} の平均値、最大値及び、最小値 (風量調整機構がある場合のみ)

5 数値解析による試験方法

この章では、自然換気部材を数値解析によって評価する方法について説明する。

5.1 リファレンス部材の選定

試験対象部材を評価する際には、これと同時に解くリファレンス部材を選定する。リファレンス部材は試験対象部材に類似するものを選定する。リファレンス部材の形状データ（空気槽を含む）および通気特性は自立循環型住宅ホームページ (<https://www.jjj-design.org>) を参照のこと。（現在はペリカウンタ設置型の Type A が用意されている）

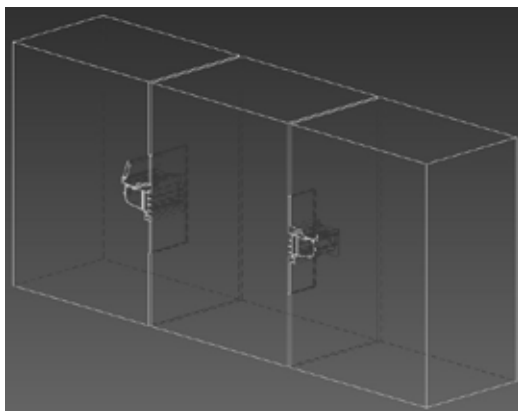
Table 1 – 自然換気口の分類

	形状	
Type A（ペリカウンタ設置型 -1）		

5.2 解析領域の作成

評価に用いる解析領域は、以下の要件を満たすこと。

- 3つの空気槽を直列に配置し、中央を高圧室、両端を低圧室とする。
- 7.2でダウンロードしたリファレンス部材の形状データは換気部材の他2つの空気槽も併せて作成されている。高圧室となる空気槽のリファレンス部材と正対する位置に、試験対象部材および低圧室を設置する。
- 評価対象部材は全体をモデル化すること。2次元解析は認めない。
- ただし、ある面で対象となる形状である場合は、計算の安定化のために対称面で半分に分割してもよい。



■ 図7 リファレンス部材と評価対象部材を合成したモデル

5.3 計算プログラムの要件

数値解析に用いるプログラムは、以下の要件を満たすこと。

- ・ 非構造メッシュで解析領域を分割できること。
- ・ 乱流モデルは RANS、LES および DES とする。
- ・ RANS は $k-\epsilon$ 系、 $k-\omega$ 系のいずれかとする。
- ・ $k-\epsilon$ 系の乱流モデルを選択する場合、速度勾配が急激に変化する箇所、および淀み点における計算精度の低下を補正するモデルを採用すること。
- ・ $k-\omega$ 系の乱流モデルを選択する場合、自由流れの領域における計算精度の低下を補正するモデルを採用すること。

5.4 解析領域のメッシュ分割に係る要件

解析領域をメッシュ分割する際は以下の要件を満たすこと。また、評価対象部材とリファレンス部材でメッシュ分割の方法に大きな差異がないようにすること。

- ・ 互いに接していない 2 つの面に挟まれた空間は、面の間を少なくとも 3 以上に分割すること。
- ・ $k-\epsilon$ 系の乱流モデルを採用し、かつ標準壁関数を使用する場合、解析領域全体における Wall Y Plus は 30 ~ 300 の範囲となるようにメッシュを作成すること。
- ・ $k-\epsilon$ 系の乱流モデルを採用し、粘性底層および遷移域に対応できる壁面近傍処理のモデルを使用する場合は Wall Y Plus は 0 ~ 300 の範囲となるようにメッシュを作成すること。
- ・ $k-\omega$ 系の乱流モデルを採用する場合、解析領域全体における Wall Y Plus が 1 以下となるようにメッシュ分割を実施すること。
- ・ 速度勾配の急激な変化が予測される箇所のメッシュの作成に十分留意すること。
- ・ メッシュの成長率は、壁近傍の 10 層までは 1.2 とする。それ以降は 1.5 としてもよい。

5.5 境界条件の設定方法

5.5.1 流入境界条件

- ・ 流入境界条件は圧力で設定し、使用するリファレンス部材に応じて少なくとも表 1 に定める圧力を設定すること。
- ・ 流入境界条件は高圧室の、以下に掲げる面を除く全ての面に設置する。
 - リファレンス部材を設置した面
 - 試験対象部材を設置した面
 - 対称面
- ・ 気体は 20°C の空気とし、等温条件とすること（浮力を発生させないこと）。

■ 表 1 流入境界条件に設定する圧力 (Pa)

	1	2	3	4	5
Type A	5.10	10.6	19.8	30.8	41.0

5.5.2 流出境界条件

- 出境界条件は、リファレンス部材および試験対象部材から流出した気流が直接衝突しない位置に設定すること。
- 流出境界条件は圧力で設定し、大気解放条件（すなわち 0Pa）とすること。
- 流出境界条件において低圧室への流入が発生しないように、境界の大きさを検討すること。
- 流出境界条件において低圧室への流入が発生していないことを、解析後に確認すること。

5.5.3 壁面境界条件

- リファレンス部材、試験対象部材を含む壁面には選択する乱流モデルの特性に応じて適切な壁面境界条件を設定すること。
- 計算の安定化のために対称面でモデルを半分に分割した場合は、分割した面に slip 境界または対称境界、鏡面境界を設定すること。

5.6 計算の妥当性の確認

計算が正しく行われたかを判断するため、以下の項目について確認する。なお「圧力差」は流入境界条件における設定圧力と流出境界条件における設定圧力の差を指す。

- k- ϵ 系の乱流モデルを使用し、壁近傍処理に標準壁関数を用いた場合は、解析領域における Wall Y Plus が 30 ~ 300 の範囲であること。
- k- ϵ 系の乱流モデルを使用し、粘性底層及び遷移域、対数域に対応できる壁近傍処理方法を選択した場合は、解析領域における wall Y plus が 300 以下であること。
- k- ω 系の乱流モデルを使用した場合は、解析領域における wall Y plus が 1 以下であること。
- リファレンス部材における通気量の計算結果が表 2 に示す範囲であること。
- 反復計算の残差が表 3 の数値以下となっていること。
-

■ 表 2 リファレンス部材における通気量の範囲

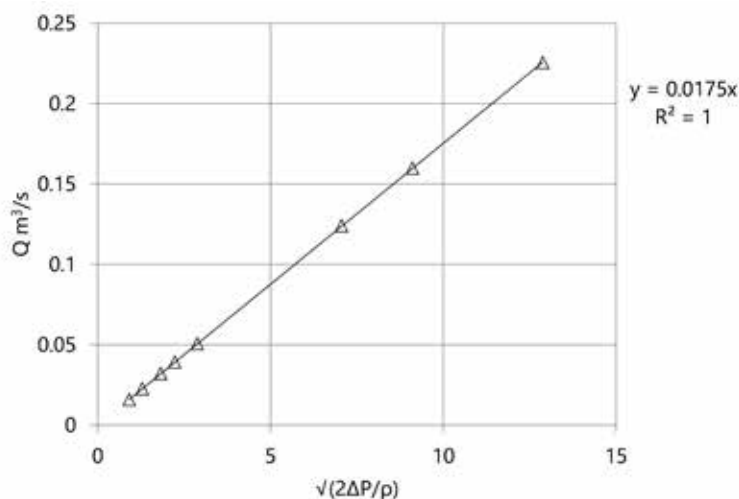
	圧力差 (Pa)	許容される通気量の範囲 (m ³ /h)	試験値 (参考) (m ³ /h)
Type A	5.10	314.5 以上 347.6 以下	331.0
	10.6	451.5 以上 499.1 以下	475.3
	19.8	611.8 以上 676.2 以下	644.0
	30.8	761.9 以上 842.1 以下	802.0
	41.0	880.1 以上 972.8 以下	926.4

■ 表 3 反復計算における残差

	残差
連続性	10^{-3}
主流成分	10^{-3}
主流に直交する水平成分	10^{-3}
主流に直交する鉛直成分	10^{-3}
k	10^{-3}
ε または ω	10^{-3}

5.7 有効開口面積の計算

計算より得られた圧力差と通気量の関係より有効開口面積を算出する。有効開口面積は、圧力差の 2 倍を空気の密度で除したものの平方根を横軸に、1 秒あたりの通気量を縦軸にとった散布図の、原点を通る回帰直線の傾きとして求められる。



有効開口面積 = 0.0175 m^2

■ 図 8 有効開口面積の求め方

5.8 計算結果の記録

報告書には以下の項目を記載する。なお計算条件、リファレンス部材における計算精度の確認、試験対象部材の通気特性および Wall Y Plus の表示については表 4～表 7 を参考に作成すること。

- ・ 報告書の作成日
- ・ 報告書の作成者の所属、氏名
- ・ 使用したソフトウェア（メッシュャ、ソルバ）の名称とバージョン
- ・ 選択したリファレンス部材のタイプ
- ・ 流路における最小幅とその付近におけるメッシュ（セル）サイズ
- ・ メッシュ（セル）サイズの成長率
- ・ 要素数
- ・ 流入境界条件（位置、設定値）
- ・ 流出境界条件（位置、設定値）

- その他の境界条件
- 乱流モデル
- 壁近傍処理の方法
- 計算終了時の残差
- 内外差圧と通気量の関係（リファレンス部材、評価対象部材を一つの表にする）
- Wall Y plus（コンター図）

■ 表4 計算条件

ソフトウェア		xxxxxxxxxx	
計算アルゴリズム		Coupled	
乱流モデル		Realizable k-e	
差分スキーム	u, v, w	Upwind	
	k, ε	Upwind	
境界条件	解析領域	流入	Pressure
		流出	Pressure
		床	Enhanced Wall Treatment
		天井	Enhanced Wall Treatment
	側壁	Enhanced Wall Treatment	
換気部材の表面		Enhanced Wall Treatment	
メッシュ構造		非構造格子	
メッシュ（またはコントロールボリューム）数		Approx. 20,000	
防鳥網、防虫網のモデリング		Geometry model	
最小メッシュサイズ	高圧室	0.01	
	換気部材内	0.005	
	低圧室	0.01	

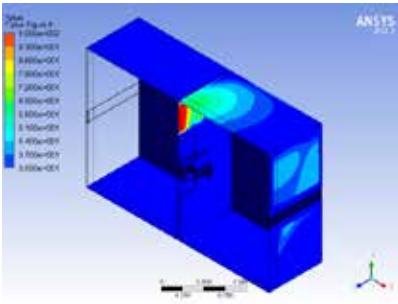
■ 表5 リファレンス部材における計算結果

リファレンス部材	圧力差 (Pa)	通気量 (m ³ /h)	
		許容される範囲	計算結果
Type A	5.10	314.5 以上 347.6 以下	
	10.6	451.5 以上 499.1 以下	
	19.8	611.8 以上 676.2 以下	
	30.8	761.9 以上 842.1 以下	
	41.0	880.1 以上 972.8 以下	

■ 表 6 試験対象部材における計算結果

流入境界条件 (Pa)	流出境界条件 (Pa)	通気量 (m ³ /h)
5.10	0	計算結果を記入する
10.6		
19.8		
30.8		
41.0		

■ 表 7 Wall Y Plus の一覧

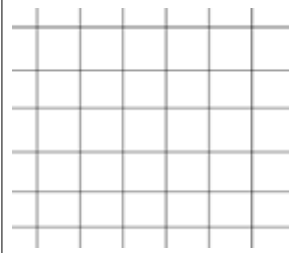
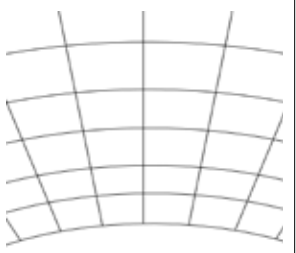
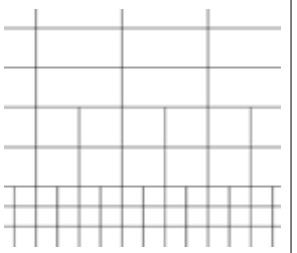
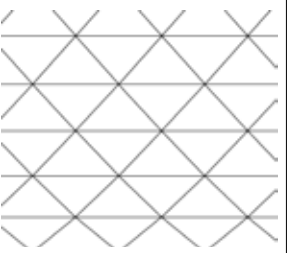
流入境界条件 (Pa)	リファレンス部材	試験対象部材
5.10		<p>左の例のように、Wall Y Plus の計算結果のコンター図を貼り付ける。解析領域全体で計算要件を満たしていることが確認できる図を貼り付けること。</p>
10.6		
19.8		
30.8		
41.0		

6 参考文献

- 1) EN13141-1: Ventilation for buildings — Performance testing of components/products for residential ventilation — Part 1: Externally and internally mounted air transfer devices
- 2) ANSI/AMCA210(ASHRAE51): Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating
- 3) Nordtest method NT VVS 091: VENTILATION: VENTS FOR DIRECT SUPPLY OF OUTDOOR AIR CAPACITY RATING
- 4) JIS C 9603: 換気扇 付属書 1 風量測定方法
- 5) JIS A 1513: 建具の性能試験方法通則
- 6) JSTM L 6201: 換気ガラルの通気性試験方法
- 7) 「住宅用ダクト換気システム設計法の信頼性向上に関する研究 第1報」 澤地孝男ら
空気調和・衛生工学会論文集 144号 2009年

コラム ～構造型の直交格子を使用した場合のCFD解析～

自然換気部材の通気特性を数値解析によって試験する方法では、直交格子以外の非構造型格子を使用することを求めています。形状の再現性などから非構造型格子を使用することが望ましいですが、一方で構造型格子を用いた数値解析も実務では多く利用されています。ここでは代表的な構造型格子である構造型の直交格子を当該試験に用いることが困難である理由、および構造型の直交格子を用いた場合の解析精度について紹介します。

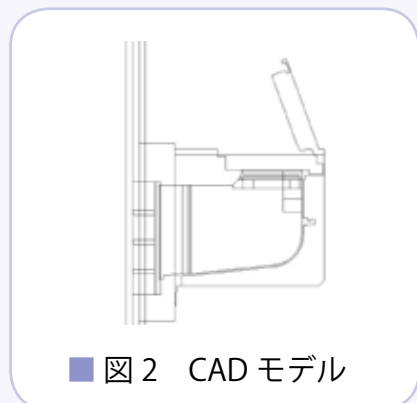
構造型格子の例		非構造型格子の例	
直交格子	境界適合格子	直交格子	テトラメッシュ
			

■ 図1 解析空間の分割（格子）の例

1. 構造型の直交格子による解析が困難である理由

(1) モデル形状の再現性

構造型の直交格子は直交する格子線で解析領域を分割するため、斜めの面や曲面が階段状にモデル化されます。このため複雑な形状を持つ換気部材の形状を精度良く再現することが、非構造型格子と比較して困難となります。階段状に近似された傾斜部および曲面部では流路の抵抗（圧力損失）が実際よりも増加し、解析精度が低下しやすいと考えられます（図2、図3）。最近ではカットセルや重合格子、ブロック構造格子など、複雑な形状を再現できるメッシュ生成機能が計算ソフトウェアに搭載されている場合もありますが、扱いは解析者の経験やスキルに依存します。



(2) メッシュ生成

計算精度と計算安定性を保つためには、一般的にメッシュのアスペクト比（縦横比）を1：10以下とすることが望ましいです。階段状に近似された部分における圧力損失を小さくするためにはメッシュの間隔を極力小さくすることが良いと考えられますが、全体的に均等かつ細かいメッシュを作成すると、メッシュ数が多くなり計算時間が膨大となってしまいます。一方、精度が求められる器具近傍のみに局所的に細かいメッシュを用いると、その他の解析領域でメッシュのアスペクト比が大きくなりやすくなります。精度を確保するためには経験と試行錯誤が必要です。

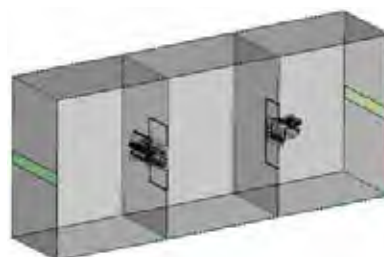
2. 構造型の直交格子による解析精度

構造型の直交格子を用いた例として、図4に示す解析領域における通気性能の計算結果を、メッシュ数の異なるケース（表1）で比較して示します。なお解析メッシュについては、概ね下記に基づいて作成しました。

- ・ 器具開口面積がメッシュにより変化しないこと
- ・ 隣接するメッシュサイズの成長率が2倍以下であること
- ・ アスペクト比は器具近傍では1：5以下、それ以外の空気槽部では1：10以下とする

■ 表1 メッシュ数

ケース名	メッシュ数
Case1	約 250 万
Case2	約 700 万

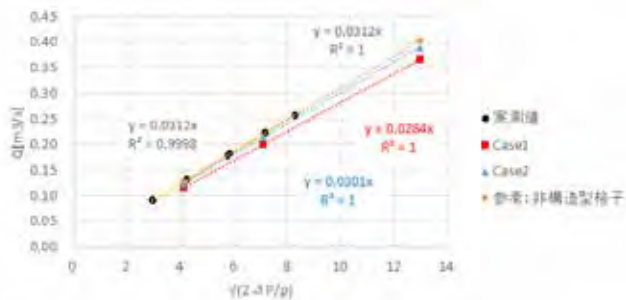


■ 図4 解析に用いた CAD モデル

(1) 解析結果

解析結果の例として、リファレンス部材（左側）における差圧と流量の関係を図5に、有効開口面積の計算値を表2に示します。前述の2ケースの他、空気槽試験による実測値および非構造型格子を用いた計算値も併せて示しています。比較の結果、下記の傾向を確認しました。

- ・ 実測との誤差は Case1 が約 9%、Case2 が約 3% であった。
- ・ 構造格子はメッシュにより結果が異なるため、メッシュ依存性が高いと言える。
- ・ 非構造型格子と比較して、構造型格子は風量が小さくなる傾向にある。



■ 図5 差圧と流量の関係

■ 表2 有効開口面積の計算結果

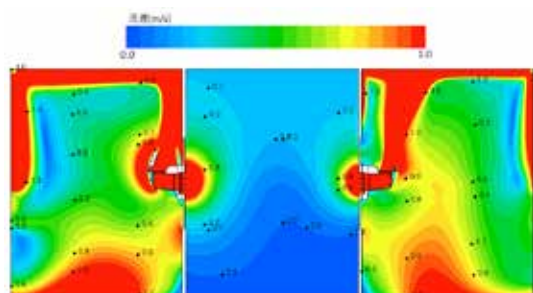
ケース名	近似式	R ²
実測値	y=0.0312x	0.9998
Case1	y=0.0284x	1
Case2	y=0.0301x	1
非構造型格子	y=0.0312x	1

(2) 収束安定性

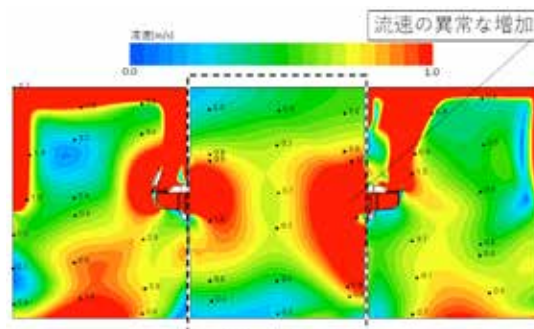
Case1、2は計算が収束した例ですが、メッシュの質が悪いと計算が収束しない場合もあります。Case2をベースに自然換気部材近傍のメッシュのみを細かくしたものをCase3としました。Case2およびCase3のメッシュ数を表3に示します。Case3はCase2よりメッシュが細かくなっているにもかかわらず、計算が収束しませんでした。換気部材中央を通る断面における気流速度分布（図6、図7）を見ると、Case3では流入側の空気槽で流速が異常に増加し、流れが安定していない様子を確認できます。これは換気部材周辺のみメッシュを細かくしたために、換気部材近傍以外はアスペクト比が大きく、メッシュの質が悪くなったことに起因すると考えられます。このようにメッシュ数を多くしても計算精度が悪化することもあるため、解析結果について十分に確認することが重要です。

■ 表3 メッシュ数

ケース名	メッシュ数
Case2	約 700 万
Case3	約 1450 万



■ 図6 Case2 流速分布



■ 図7 Case3 流速分布

3. まとめ

自然換気部材の通気特性について構造型の直交格子を用いて解析した場合、正しい計算が実行できれば実測値に近い結果を得ることができるものの、非構造型格子と比較して計算精度が低下しやすく、収束安定性も悪くなることが確認されたため、現時点では構造型の直交格子を対象としないこととしました。

一方、常用する気流計算ソフトの機能的制約から、非構造型格子によるモデル化が不可能で、やむを得ず構造型格子を用いる場合の結果について、確認すべきポイントの例を示します。

- 残差（非構造型格子と共通）
- 流速や圧力分布において、数値の異常な増加や不自然な流れが発生していないか
- さらにメッシュ密度を変えたケースでの解析を行い、結果がメッシュ密度に依存しないこと

業務用建築物における自然換気計画ブックレット

執筆者名簿（所属は 2018 年 3 月現在）

住宅・建築における省エネルギー性能の評価手法の開発研究

— 自立循環プロジェクトフェーズ 5 —

業務用建築物における自然換気に関する検討委員会

細井 昭憲／日本女子大学

西澤 繁毅／国立研究開発法人建築研究所

高橋 泰雄／三協立山株式会社 三協アルミ社

土志田 卓／新菱冷熱工業株式会社

山本 佳嗣／株式会社日本設計

野中 俊宏／株式会社 LIXIL

直井 康二／YKK AP 株式会社

業務用建築物における自然換気計画ブックレット

2019年2月27日 第1版発行

- 本書の内容、および図版につきましては、下記委員会及び関連の多くの執筆者・企業・団体等の協力を得て製作しており、内容は国内外問わず著作権により保護されております。
- 本書の内容（図版・考え方含め）を引用される場合には、必ず事前に下記宛にご連絡くださいますようお願い申し上げます。
無断使用はお断りします。使用許可の際には使用にあたっての表記等を決めさせていただいております。内容が正しく伝わるように事前確認のご理解とご協力をお願いいたします。
- 図版につきましては、一次著作権者との調整により必ずしもご期待に添えない場合もございます。
- 転載許可に関する手続き方法、当財団共通の注意及び引用についての問い合わせ先は <http://www.ibec.or.jp/tosyo/copyright.html> をご覧ください。

発行：一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構
〒102-0083 東京都千代田区麹町 3-5-1 全共連ビル麹町館 2F
TEL. 03-3222-6681（代表）FAX. 03-3222-6696
ホームページ <http://www.ibec.or.jp>
自立循環型住宅ホームページ <https://www.jjj-design.org/>

デザイン・制作：株式会社創基