

# 自然換気システムの評価・設計法の開発

環境研究グループ 主任研究員 赤嶺 嘉彦

## 目次

- I はじめに
- II 建築研究所と省エネルギー基準の関係
  - 1) 基準制定の背景と変遷
  - 2) 一次エネルギー消費量による評価
  - 3) エネルギー消費性能の計算方法の整備
- III 自然換気システムの運用実態
- IV 自然換気システムの評価・設計法の開発への取り組み
  - 1) 設計フロー
  - 2) 設計に用いるデータの透明性確保
    - ①風圧係数
    - ②自然換気部材の通気特性
- V おわりに
  - 謝辞
  - 参考文献

## I はじめに

自然換気システムは、外部風や室内外の温度差によって、室内よりも冷涼な外気を取り入れ、室内で発生した熱を排熱することにより、室温調節及び冷房負荷削減を行う技術である。一般に、事務所ビルなどの非住宅建築物は住宅と比べて、OA 機器、照明、人体などからの発熱が多く、冷房負荷が大きくなる傾向があるため、自然換気による省エネルギー効果への期待が高い。図 1 に示すように、国土交通省による「住宅・建築物省 CO2 先導事業」<sup>1)</sup>において採択されたプロジェクトの多くが自然換気システムを採用していることからその期待度が伺える。

一方で、省エネルギー基準に準拠した非住宅建築物のエネルギー消費性能の評価においては、自然換気システムは評価の対象外となっている。その理由として、後述する自然換気システムの運用実態のように、システムが適切に運用されているかが不明確な点などが挙げられるが、最大の理由としては、自然換気システムの設計法が確立していないため、何をどのように評価すべきかが定められていないことにある。これに対し、建築研究所では、自然換気

システムの評価・設計法の開発を行っているところである。

本稿では、建築研究所と省エネルギー基準の関係を示した上で、自然換気システムの評価・設計法の開発の取り組み状況について紹介する。

## II 建築研究所と省エネルギー基準の関係

### 1) 基準制定の背景と変遷

省エネルギー基準とは、建築物の運用時のエネルギー消費量を削減することを目的として定められた一連の告示・省令等をいう。平成 28 年 4 月以前は、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」に基づく告示等をさし、平成 28 年 4 月以降は、「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」及びそれに基づく省令・告示等をさす。

省エネルギー基準の歴史は古く、1970 年代のエネルギーショックに起因して日本のエネルギー安全保障の重要性が高まる中、昭和 54 年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」が制定された。これを受けて昭和 55 年に制定されたのが、非住宅建築物を対

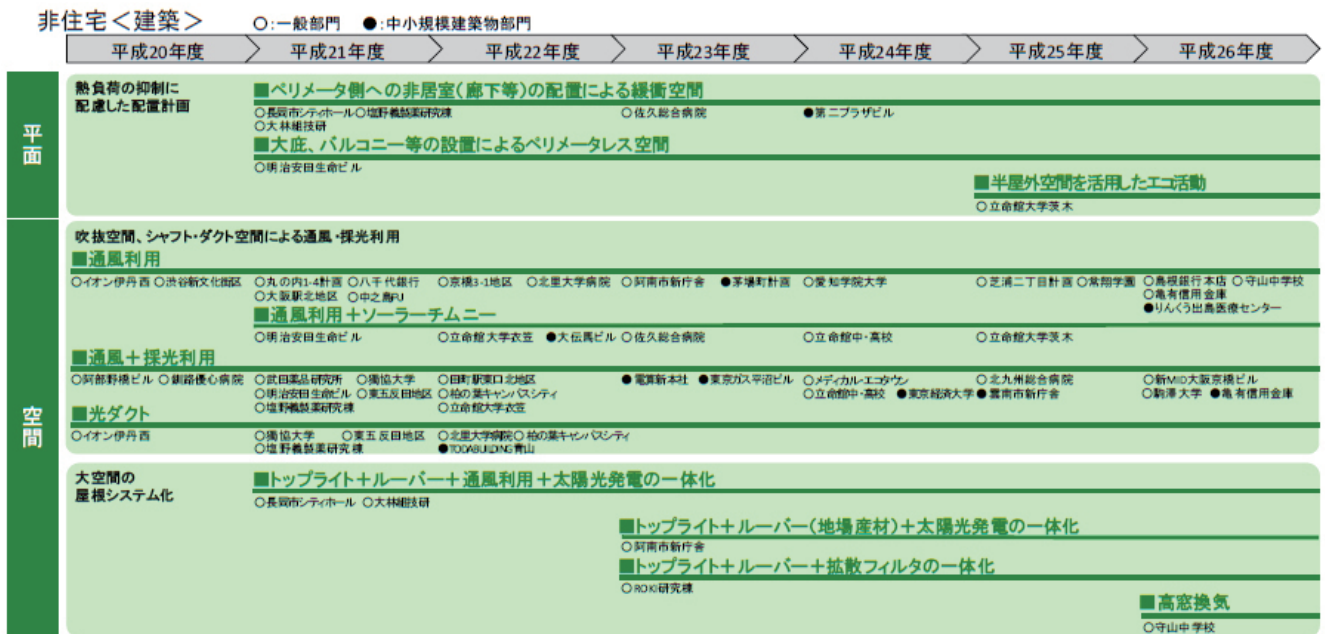


図1 「住宅・建築物省CO<sub>2</sub>先導事業」に採択されたプロジェクトにおける建築面の主な技術・取り組みの変遷<sup>2)</sup>

象とした「建築物に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準」や住宅を対象とした「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」等の告示である。制定当時は「努力義務」と呼ばれ、この基準を満たさないと建てられない等の「義務」ではなく、あくまで基準に沿った建築物を設計・建設することが推奨されるといった拘束力の無いものであった。その後、何度か基準が改正され、「努力義務」であったのが例えば2,000㎡以上の非住宅建築物に対して評価結果の届出を義務化する等、徐々に強化されていった。

その後、建築物のエネルギー消費量の削減を一層推進するために、非住宅建築物で一定規模以上の建築物の省エネルギー基準の適合義務化を含めた「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」が平成27年7月に公布され、この法律を受けて、平成29年4月から、2,000㎡以上の非住宅建築物では、省エネルギー基準に適合することが義務付けられている。

## 2) 一次エネルギー消費量による評価

平成25年以前の省エネルギー基準では、住宅については断熱と日射遮蔽の性能を評価指標としており、暖冷房や給湯などの設備の性能は全く評価されていなかった。非住宅建築物についても断熱と日射遮蔽の性能に関する指標(PAL)に加え、個々の設備機器の性能(効率)は評価されていたものの、建物全体での省エネ性能は評価されていなかった。しかし、設備の省エネ評価が体系的に

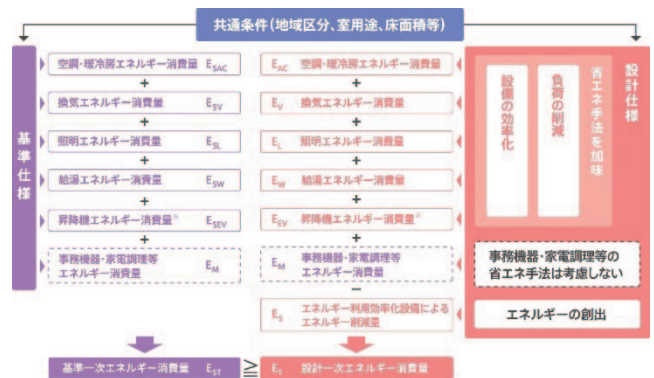


図2 一次エネルギー消費量による評価の枠組み

整備された結果、平成25年の告示改正により、住宅・非住宅建築物ともに、建物全体の一次エネルギー消費量が新たな評価指標とする基準に変更された。

評価方法は、図2に示すように、当該建築物の空調や給湯、照明等の用途ごとに一次エネルギー消費量を計算し、その合計が、別途計算する基準値を下回っていれば良いという枠組みとなっている。設備ごとの合計値での比較であるため、例えば空調によるエネルギー消費量が基準値を上回っていても、照明や給湯など他の用途で消費を削減すれば、合計値が下回る限り基準をクリアできることが特徴的である。

### 3) エネルギー消費性能の計算方法の整備

建築研究所で実施している建築物の省エネルギーに関する研究の成果の大部分は、省エネルギー基準に基づいた一次エネルギー消費量の計算方法に反映されている。

一次エネルギー消費量の計算方法は、気候条件（外気の温湿度や日射）を踏まえて、設備ごとに1日単位あるいは1時間単位で計算するなど、非常に複雑である。また、民間においては、設備機器自体の高効率化などの技術開発が急ピッチで行われている。

このような事情に柔軟に対応するため、省エネルギー基準の告示では、エネルギー消費性能の評価の基本的枠組みや勘案すべきことなど大枠を定めており、個々の機器の具体的な計算方法は、国交省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所（当時）監修のもと解説書<sup>3)</sup>としてまとめられている（図3）。加えて、省エネ関連の設備の技術開発に対応するべく、最新の評価方法が建築研究所の省エネ基準に関するホームページ<sup>4)</sup>に公開され、随時更新されている（図4）。また、建築研究所の同ホームページ内では、別途、計算プログラム<sup>5)</sup>を公開している（図5）。この計算プログラムを用いれば、計算方法の詳細な中身を知ることなく計算・評価ができ、届け出や申請に必要な計算結果を示す書類も印刷することが可能である。



図3 省エネルギー基準の評価に関する解説書<sup>3)</sup>



図4 建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報<sup>4)</sup>

### III 自然換気システムの運用実態

自然換気システムの運用実態について、山本ら<sup>6)</sup>は、同システムを採用した19の建物を対象として、自然換気の年間利用時間が設計時、竣工1年目、調査時点（平成17年度時点）でどのように変化したか、その変化の理由について詳細な調査を実施している。図6は、19件の平均利用時間の変化を示したものであるが、設計時には915時間/年であったのに対し、竣工1年目は775時間/年（設計時比15%減）、調査時点では582時間/年（同36%減）と、必ずしも設計時の想定どおりに自然換気システムが運用されないことがわかる。

表1は、調査した19件の建物ごとの自然換気システムの利用時間の変化と利用時間が変化した主な原因を示したものである。利用時間が変化した主な原因としては、以下が挙げられている。

- 利用者からの苦情（換気口作動音（A、B、C）、異臭・ほこり（F、G））
- 自然換気の換気口制御（開閉の手間（D、F）、気密性の確保（E））
- 利用者や管理者の自然換気システムへの理解（理解を得られない（F、G、H）、管理者の理解を得られた（I））



図5 エネルギー消費性能計算プログラム<sup>5)</sup>  
（上：非住宅建築物版（標準入力法）、下：住宅版）

表1 自然換気利用時間の設計時の想定と実運用における自然換気利用時間の変化及び変化要因<sup>6)</sup>

建物	用途	設計時	1年目	調査時点 (竣工年数)	利用時間が変化した主な原因 (A~Iのみ)
A	研究所	1,700	1,700	0 (2年目)	・換気口作動音に関する苦情の発生
B	オフィス	1,400		一部停止 (1年目)	・換気口作動音に関する苦情の発生
C	病院			夜間停止 (3年目)	・夜間の換気口作動音に関する苦情の発生
D	研究所	700	1,000	0 (13年目)	・換気口の開閉に手間がかかるため利用を停止
E	オフィス			0 (3年目)	・利用者が換気口を開閉すると気密性が確保できない
F	研究所			一部停止 (2年目)	・異臭が伝わるという苦情の発生 ・換気口の開閉に手間がかかる ・利用者の理解が得られない
G	研究所	980	100	0 (5年目)	・ほこりの侵入に関する苦情の発生 ・管理者の理解が得られない
H	オフィス			0 (17年目)	・管理者の理解が得られない
I	オフィス	465	35	2,207 (8年目)	・管理者の理解を得られた
J	研究所	860	750	750 (3年目)	
K	オフィス	1,300	1,200	1,100 (2年目)	
L	オフィス	500	500	500 (5年目)	
M	オフィス	400	500	500 (4年目)	
N	学校	2,000	1,270	100 (8年目)	
O	学校	1,400	1,440	1,700 (3年目)	
P	研究所	700	660	660 (3年目)	
Q	スポーツ施設	300	350	350 (9年目)	
R	スポーツ施設	300	350	750 (3年目)	
S	病院	1,500	1,000	700 (4年目)	

ほとんどの建物が、設計時に想定した自然換気利用時間が運用段階では減少しているなかで、管理者の理解を得られた建物 I については、設計時の 465 時間/年に対して竣工後 8 年目の調査時点では 2,207 時間/年と大幅に増加している。この例から見ても、自然換気システムをしっかりと運用するためには、管理者や利用者に自然換気システムの設計意図や運用方法を理解してもらうことが極めて重要であることがわかる。

このように、自然換気システムの設計においては、開口部を開閉し、外気を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などの整備なども必要となる。

#### IV 自然換気システムの評価・設計法の開発への取り組み

##### 1) 設計フロー

自然換気的设计においては、自然換気経路、具体的には開口部（自然換気部材）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ない。加えて、敷地周辺の状況を事前に把握し、自然換気を阻害する要因（例えば、異臭・ほこりなど）への対策、さらには、さらには、先に記したように、建物運用段階を見据えた自然換気システムの運用方法等の情報整備が重要となる。

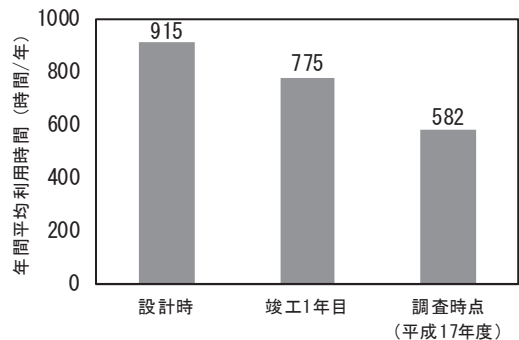


図6 自然換気システムの平均利用時間の変化<sup>6)</sup>

ここでは、冷房負荷を削減するための自動開閉制御を行う自然換気システムを対象として、図7のような設計フローを想定して設計法の検討を行っている。自然換気システムの設計を開始する前に、敷地周辺の状況を事前に把握し、自然換気を利用する際の障害の有無を確認し、障害が有る場合はその対策を踏まえておくことが必須である。これは、一見、当たり前のことではあるが、上述の実態調査のように、この検討が不十分なために自然換気の利用を停止する恐れがあり、極めて重要な手順である。

建物運用段階を含め、自然換気の運用阻害要因とその対策例を表2にまとめた。

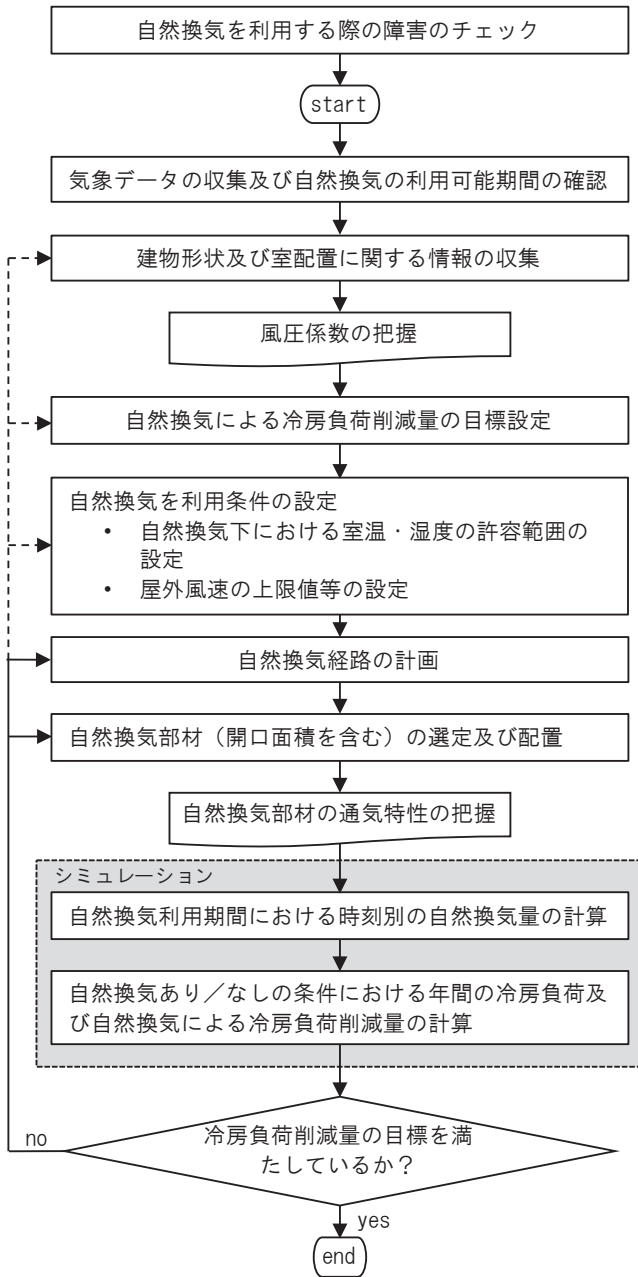


図7 自然換気システムの設計フロー

## 2) 設計に用いるデータの透明性確保

自然換気は、図7に示すように、開口部（自然換気部材）ごとに作用する風圧力の差と室内外の温度差（浮力）が駆動力となって生じる。その風量の計算にあたっては、外部気象（風向・風速、温度、湿度）の他、建物に作用する風圧力（風圧係数）と開口部（自然換気部材）の通気特性が必要になる。そのため、これらは、自然換気

表2 自然換気の運用阻害要因とその対策例

阻害要因	対策例
ほこり	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ほこりの発生源が特定できる場合は、その近くに換気口を設けない。</li> <li>● 防塵フィルターの採用（ただし、通気抵抗が大きくなる）。</li> <li>● 粉塵センサーを利用した換気口の開閉制御の導入。</li> </ul>
花粉	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 換気口内の経路を屈曲形状とする。</li> <li>● 花粉センサーを利用した換気口の開閉制御の導入。</li> <li>● 花粉の多い期間の自然換気利用は見込まない。</li> </ul>
虫・鳥	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 防虫網・防鳥網の設置</li> </ul>
におい	<ul style="list-style-type: none"> <li>● においの発生源が特定できる場合は、その近くに換気口を設けない。</li> </ul>
雨水	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 換気口周辺の雨仕舞に配慮した建築的工夫。</li> <li>● 水密性を確保した換気口の採用。</li> <li>● 降雨センサーを利用した換気口自動閉鎖制御の導入。</li> </ul>
外部騒音	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 吸音材を内蔵した換気口の採用。</li> <li>● ダブルスキンやピットなどのバッファ空間を経由した給気経路の確保。</li> </ul>
換気口作動音	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 作動音の原因は自動開閉のモーター駆動音なので、静穏性が求められる室には、駆動音の小さい換気口を採用。</li> </ul>
風切り音	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 気密性を確保した換気口の採用。</li> <li>● 外部風速が速い場合に開度が調整できる換気口の採用。</li> <li>● 冬期の煙突効果による風切り音に対して室内のエアバランスの確保。</li> </ul>
突風	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 定風量装置を備えた換気口の採用。</li> <li>● 外部風速センサーによる自動閉鎖制御の導入。</li> </ul>
ドラフト	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自然換気を行う際の外気下限温度の調整。</li> <li>● 共用部などのバッファ空間を経由した給気経路の確保。</li> <li>● 換気口を人の近くに配置しない。</li> </ul>
煙突効果による建物上部の温度上昇	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 吹抜け等の煙突効果を換気駆動力としている場合、上層部で熱気が室へ逆流する場合があるため、中性帯より上となる場合は別の換気経路を設ける。</li> </ul>
湿度・乾燥	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自然換気を行う際の外気条件（温度・湿度）の調整。</li> </ul>
開閉の手間	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自動開閉制御、閉め忘れ防止制御、手動開放・自動閉鎖とする制御などの採用。</li> </ul>
メンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 点検ルート・スペースの確保。</li> <li>● 防虫網・防鳥網、換気可動部のメンテナンス計画の策定。</li> </ul>

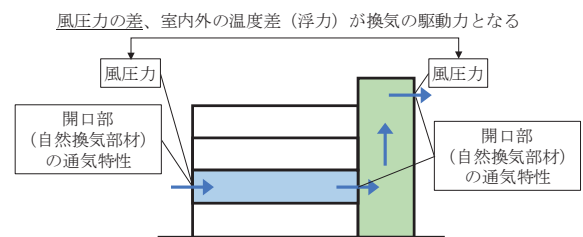


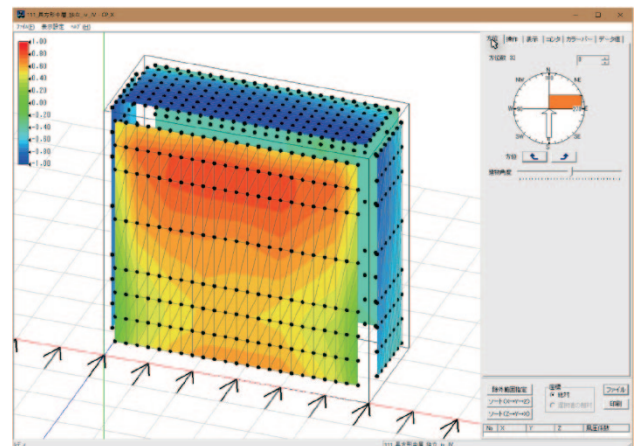
図8 自然換気メカニズム

システムの省エネルギー効果を評価する際には、極めて重要なデータとなり、どのような根拠によるものであるかなどの透明性が求められる。その観点から、風圧係数、自然換気部材の通気特性に関するデータの整備状況について以下に示す。

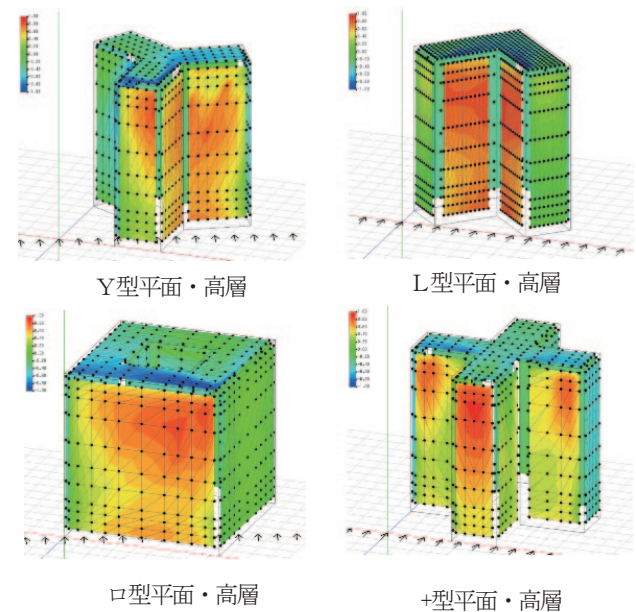
### ① 風圧係数

建物表面の平均風圧係数は、自然換気による風量を算定するための境界条件として必要となる情報の1つであり、自然換気システムの可能性に始まる基本計画段階から、開口部（窓、換気部材等）、通気経路の設計段階までの検討に欠かせない。しかし、風洞実験などにより、個別に風圧係数データの取得を取得することは容易ではなく、学会等の設計資料集や学术论文等に風圧係数の分布が示されているものの、十分とは言えない状況であった。

これに対し、過去に建築研究所を中心として実施した風洞実験による各種建物形状の平均風圧係数データの取りまとめを行っている。その成果は、建築研究資料<sup>7)</sup>として公開するとともに、データベースはデータ管理プログラム（以下、CP-X）とともに自立循環プロジェクトのホームページ<sup>8)</sup>から無償でダウンロードすることができる。データベースには、長方形平面や特殊な平面計上（Y、L、ロ、+、コ、H、へ型）の低層（15m）、中層（30m）、高層（45m）の建物、体育館や工場を想定した屋根形状の異なる建物や戸建住宅の他、長方形平面の建物については、隣接建物がある場合の平均風圧係数分布が収められている。また、CP-Xを用いることで、平均風圧係数の分布を閲覧するとともに、任意の点の平均風圧係数値を抽出することが可能となっている。（図9）。



CP-X 表示画面の例（長方形平面・中層）



ロ型平面・高層                      +型平面・高層

図9 平均風圧係数データベース（CP-X）の例

### ② 自然換気部材の通気特性

オフィスビルなどでは、自然換気を通常の「窓」で行うと、風による書類の飛散などの執務上に問題が生じるため、専用の自然換気部材が用いられることが多い。図10にペリカウンターなどに設置される自然換気部材の例を示す。このように一般的な窓と比べて、非常に複雑な機構を持つため、その通気特性（P-Q特性、自然換気部材に作用する圧力差Pと風量Qの関係）をメーカーなどから入手する必要がある。ここで課題となるのが、自然換気部材の通気特性の試験方法に関するJIS等の規格がないことである。そこで、チャンバー法による試験方法と数値流体解析（CFD）による解析方法の開発を行っている。

チャンバー法による試験装置の構成を図11に試験の様子を図12に示す。試験方法の開発にあたっては、関連する国内外の規格を参照しつつ、チャンバー寸法と試験対象部材の寸法の関係（試験

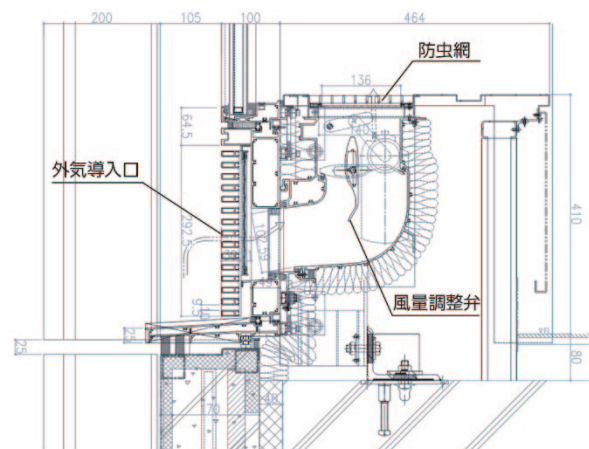
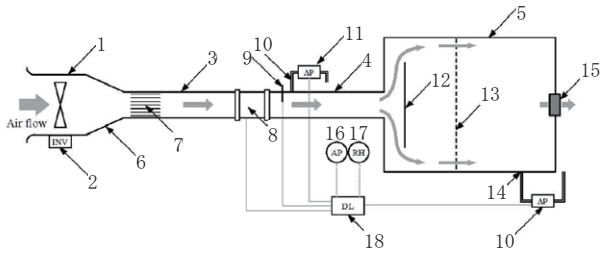


図10 自然換気部材の例（たて断面）

可能範囲の確認) やチャンバー内の圧力を測定する位置などについて検討を行っている。



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

図11 試験装置の構成



図12 チャンバー試験の様子

CFDによる解析方法については、先ず、試験結果をCFD解析で再現できるかの検討から開始した。その検討の一例として、CFDの解析概要を図13にその解析結果と試験結果の比較を図14に示す。適切な設定を行うことで、試験結果を概ね再現できることがわかる。一方で、乱流モデル、計算格子の生成方法、境界条件の設定などによって解析結果が異なることから、図15のように、試験により特性が既知の部材(リファレンス)と未知の部材(評価対象)を同時に解析し、リファレンスが試験結果と一致していれば、解析対象も正しい結果が得られたものとする方法の開発を進めている。開発にあたっては、主に以下の点について要件を整理しているところである。

- 乱流モデルの要件
- 計算格子の形状及び格子生成に関する要件
- 境界条件の設定方法 (流入・流境界の条件、壁面境界の条件、対称面で分割する際の境界条件など) に関する要件

- 3次元流体解析ソフト (STAR-CCM)
- Realizable  $k-\epsilon$  2層モデル
- 定常解析
- 理想気体 (空気温度20°C)
- 壁面は全てno-slip
- 計算格子数: 約1,000万

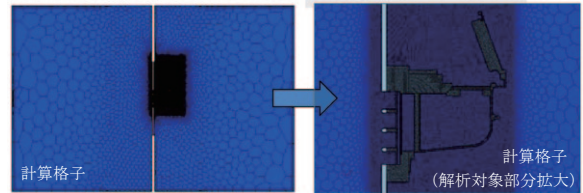


図13 解析概要

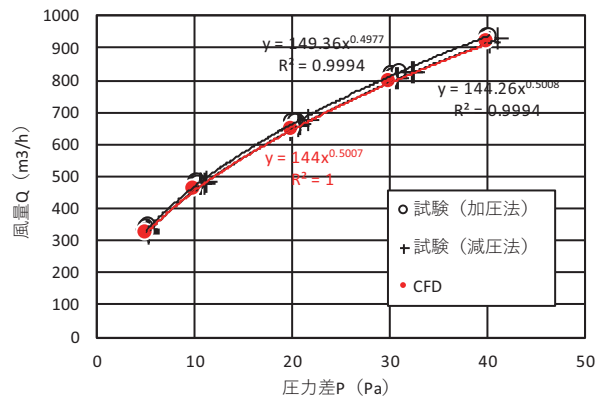


図14 解析結果と試験結果の比較

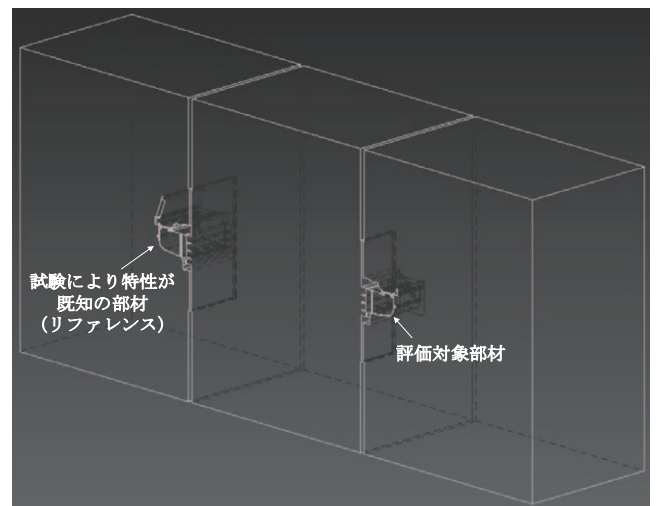


図15 リファレンスと評価対象部材を同時に解析するモデル

## V おわりに

本稿では、自然換気システムの評価・設計法の開発の取り組み状況について紹介した。なお、自然換気システムの設計法は、国際的にも関心が高く、2016年9月にベルリンで開催されたISO/TC205/WG2<sup>9)</sup>に新規に「Design process of Natural Ventilation for reducing cooling demand in non-residential buildings (非住宅建築物における冷房負荷削減のための自然換気設計)」を提案し、各国の賛同を得て、2017年から検討を開始している(プロジェクトリーダー:建築研究所・赤嶺)。

## 謝辞

本稿に示す自然換気システムの評価・設計法に関する検討は、国土交通省国土技術政策総合研究所、一般財団法人建築環境・省エネルギー機構、建築研究所との共同研究における「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—自立循環型住宅開発プロジェクトフェーズ5—(平成27年度～平成29年度)」に設置された「業務用建築物における自然換気に関する検討委員会(委員長:細井明憲・日本女子大学准教授)」において検討されたものである。

## 参考文献等

- 1) 国立研究開発法人建築研究所「住宅・建築物省CO2先導事業」:<https://www.kenken.go.jp/shouco2/past/past.html>
- 2) 西澤繁毅、高橋良香、羽原宏美、青笹健、桑沢保夫、山海敏弘:住宅・建築物省CO2先導事業全般部門(平成25年度～26年度)における採択事例の評価分析、建築研究資料、No.181、2017年4月
- 3) 監修 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所(当時)、編集 平成25年住宅・建築物の省エネルギー基準解説書編集委員会:平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 I 非住宅建築物、II 住宅
- 4) 国立研究開発法人建築研究所「建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報」:  
<https://www.kenken.go.jp/becc/index.html>
- 5) 省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能計算プログラム  
非住宅建築物版:<https://building.app.lowenergy.jp/>  
住宅版:<https://house.app.lowenergy.jp/>
- 6) 山本佳嗣、久保木真俊、鈴木 宏昌、田辺 新一:自然換気シ

ステムの運用実態に関する調査、日本建築学会環境系論文集、第619号、pp.9-16、2007年9月

- 7) 丸田榮藏、澤地孝男、佐藤健一、高橋泰雄、西澤繁毅:建築物の自然換気設計のための風圧係数データベース、建築研究資料、No.189、2018年9月
- 8) 自立循環プロジェクトホームページ、風圧係数データベース+風圧係数データ管理プログラムCP-X:  
<https://www.jjj-design.org/program/cp-x/>
- 9) ISO/TC205:Building environment design  
WG2:Design of energy-efficient buildings