

運用実態調査による
自然換気システムの持続的活用法に関する研究

Sustainable utilization method based on the actual
operation survey for natural ventilation systems

2017年2月

山 本 佳 嗣

Yoshihide YAMAMOTO

運用実態調査による
自然換気システムの持続的活用法に関する研究

Sustainable utilization method based on the actual operation
survey for natural ventilation systems

2017年2月

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

山 本 佳 嗣

Yoshihide YAMAMOTO

運用実態調査による 自然換気システムの持続的活用法に関する研究

目次

第1章 序論

1. 1	研究の背景	1-1
1. 1. 1	業務用建築物における自然換気システムの歴史的変遷	1-1
1. 1. 2	現代における自然換気システムの社会的背景	1-4
1. 1. 3	実務設計・運用における現状と課題	1-9
1. 2	既往の研究	1-12
1. 2. 1	IEA・ANNEXにおける国際的な自然換気研究の動向	1-12
1. 2. 2	自然換気システム設計手法に関する論文	1-16
1. 2. 3	自然換気併用ハイブリッド空調に関する研究	1-17
1. 2. 4	実測調査研究	1-18
1. 2. 5	運用方法・制御方法に関する研究	1-18
1. 2. 6	ソーラーチムニーに関する研究	1-19
1. 2. 7	自然換気口の設計に関する研究	1-19
1. 2. 8	自然換気の潜在的有効性に関する研究	1-19
1. 2. 9	自然換気時の室内快適域に関する研究	1-20
1. 2. 10	現行の自然換気シミュレーションツール概要	1-22
1. 2. 11	既往研究のまとめ	1-23
1. 3	研究の目的	1-24
1. 4	研究の方法	1-25
1. 5	本論文の構成	1-26
1. 6	本論で取り扱う自然換気システムの範囲	1-28
1. 6. 1	換気による冷房システムと本論文で扱う自然換気システム	1-28
1. 6. 2	換気による冷房システムの概要	1-29

第2章 自然換気システムの運用実態と設計意図の把握

2. 1	本章の目的	2-1
------	-------	-----

2. 2	運用実態調査の方法	2-1
2. 3	設計者アンケート・ヒアリング調査	2-2
2. 3. 1	設計者アンケート・ヒアリング調査方法	2-2
2. 3. 2	調査物件の特性	2-6
2. 3. 3	自然換気システム導入理由	2-7
2. 3. 4	設計時に想定した省エネルギー効果	2-8
2. 3. 5	自然換気経路	2-9
2. 3. 6	外気導入方法と換気口制御	2-13
2. 3. 7	外気導入方法と換気口制御方法を決定した理由	2-15
2. 3. 8	自然換気許可条件	2-16
2. 3. 9	制御の区画割	2-18
2. 3. 10	機械空調	2-19
2. 3. 11	自然換気と機械空調の連動	2-20
2. 3. 12	換気口面積	2-22
2. 3. 13	換気口制御	2-23
2. 3. 14	運用上の問題に対する対策	2-25
2. 4	管理者アンケート・ヒアリング調査	2-27
2. 4. 1	調査目的	2-27
2. 4. 2	調査方法	2-28
2. 4. 3	管理者の意識	2-29
2. 5	運用データによる自然換気の活用状況の分析	2-30
2. 5. 1	利用時間の経年変化	2-30
2. 5. 2	苦情に関する実測調査	2-32
2. 5. 3	利用時間が減少した経緯	2-39
2. 6	自然換気の運用阻害要因の分析	2-43
2. 6. 1	換気口の制御法との関連	2-43
2. 6. 2	苦情と設計時の対応との関連	2-44
2. 7	実態調査から得られた持続的活用性向上への知見	2-46
2. 8	持続的活用性向上へのアプローチ	2-49
2. 9	まとめ	2-51

第3章 自然換気口の開放条件

3. 1	本章の目的	3-1
3. 2	実物件における換気口開放条件調査	3-3
3. 2. 1	調査方法	3-3
3. 2. 2	調査結果	3-3
3. 2. 3	運用段階での設定値の変更	3-6
3. 3	換気口開放条件のタイプ分類	3-7
3. 3. 1	換気口開放条件のタイプ分けと考察	3-7
3. 3. 2	建物属性とタイプ分けの相関分析	3-10
3. 3. 3	室温に関する条件	3-11
3. 4	気象データを利用した条件タイプの分析	3-11
3. 4. 1	検討方法	3-11
3. 4. 2	東京（中間期，日中）の外気状態	3-12
3. 4. 3	タイプ別の分析結果	3-15
3. 4. 4	t-h型とt-x型の月別比較	3-17
3. 4. 5	2001～2013年の気象官署測定データとの比較	3-18
3. 4. 6	東京における時間数・平均連続開放時間数の月別変動	3-19
3. 4. 7	設定値の感度分析	3-20
3. 4. 8	外気下限温度の設定	3-22
3. 4. 9	都市別の比較	3-23
3. 5	まとめ	3-25

第4章 計画初期段階における自然換気口及び換気経路の設計法

4. 1	本章の目的	4-1
4. 2	自然換気口に関する前提条件	4-2
4. 2. 1	自然換気口面積の定義	4-2
4. 2. 2	BEST 専門版（1406版）における自然換気計算法の概要	4-3
4. 2. 3	自然換気口の仕様	4-3
4. 2. 4	検討対象とする給気口有効開口面積の範囲	4-6
4. 2. 5	研究フロー	4-7
4. 3	代表日条件による自然換気経路の設計法	4-8
4. 3. 1	検討の流れ	4-8

4. 3. 2	目標換気量の設定	4-8
4. 3. 3	温度差換気の換気経路検討法	4-9
4. 3. 4	吹き抜けの形状・面積に関する検討	4-11
4. 3. 5	各階の給気口有効開口面積	4-12
4. 3. 6	換気経路の計算例	4-13
4. 3. 7	設計用基準外気条件	4-17
4. 4	熱換気回路網計算による計算結果との比較	4-18
4. 4. 1	オフィスモデルにおける設計条件の検証例	4-18
4. 4. 2	表計算ソフトによる定常計算結果	4-19
4. 4. 3	熱換気回路網による非定常計算結果との比較	4-22
4. 5	必要給気口有効開口面積1次予測法	4-23
4. 5. 1	1次予測法の概要	4-23
4. 5. 2	評価モデル	4-26
4. 5. 3	中間期の負荷特性分析	4-28
4. 5. 4	自然換気による処理負荷	4-29
4. 5. 5	給気口有効開口面積と室負荷の関係	4-29
4. 5. 6	給気口有効開口面積の決定	4-31
4. 5. 7	BEST 専門版(1406 版)を用いた1次予測法の精度検証	4-32
4. 5. 8	差異の原因に関する考察	4-34
4. 6	1次予測法を利用した自然換気的设计法	4-35
4. 7	まとめ	4-36

第5章 自然換気併用空調システムの省エネルギー効果

5. 1	本章の目的	5-1
5. 2	自然換気併用空調システムの概要	5-2
5. 2. 1	自然換気併用空調システムの分類	5-2
5. 2. 2	自然換気と機械空調の切り替え制御	5-3
5. 2. 3	自然換気併用ハイブリッド空調システム	5-3
5. 3	併用の問題点	5-5
5. 4	シミュレーション解析による冷房負荷削減効果	5-6
5. 4. 1	開口率制御・ハイブリッド制御の併用による冷房負荷削減効果	5-6
5. 4. 2	室温と換気回数	5-7

5. 4. 3	地域別の室負荷削減効果	5-8
5. 5	シミュレーション解析による省エネルギー効果	5-9
5. 5. 1	モデル概要	5-9
5. 5. 2	中間期の室負荷と空調消費エネルギー分析	5-10
5. 5. 3	自然換気併用ハイブリッド空調の省エネルギー効果	5-12
5. 6	空調機による外気冷房制御との併用	5-14
5. 6. 1	外気冷房制御の特徴	5-14
5. 6. 2	中間期の負荷発生頻度分布	5-16
5. 6. 3	BEMS データ解析による外気冷房制御の実態把握	5-16
5. 6. 4	省エネ効果を最大化するための運転制御フロー	5-20
5. 7	まとめ	5-21

第6章 実物件における提案手法の実践

6. 1	本章の目的	6-1
6. 2	アトリウム空間に導入された自然換気の運用改善事例	6-1
6. 2. 1	建物概要	6-2
6. 2. 2	建築計画	6-3
6. 2. 3	アトリウム空間における自然換気システム	6-6
6. 2. 4	運用阻害要因への対策	6-9
6. 2. 5	採風窓の効果	6-10
6. 2. 6	自然換気運用状況	6-11
6. 2. 7	自然換気による省エネルギー効果	6-12
6. 3	庁舎に導入された自然換気による室内環境制御事例	6-14
6. 3. 1	建物概要	6-14
6. 3. 2	自然換気システム概要	6-15
6. 3. 3	持続的活用法の適用	6-16
6. 3. 4	自然換気時の室温変動	6-19
6. 3. 5	自然換気運用状況	6-20
6. 4	研究所に導入された自然換気事例	6-22
6. 4. 1	建物概要	6-22
6. 4. 2	環境配慮計画の概要	6-23
6. 4. 3	自然換気システム概要	6-23

6. 4. 4	自然換気システム制御法・運用法の検討	6-26
6. 4. 5	運用阻害要因への対策	6-27
6. 4. 6	自然換気運用状況	6-28
6. 5	まとめ	6-28

第7章 総括

7. 1	総括結論	7-1
7. 2	英文要約	7-6

A P P E N D I X

・記号一覧	A-1
・図表一覧	A-2
・設計者アンケート票	A-8
・管理者アンケート票	A-14
・設計者アンケート自由記述欄	A-19
・管理者アンケート自由記述欄	A-22

謝辞

研究業績

第 1 章

序章

第1章

序論

1.1 研究の背景

1.1.1 業務用建築物における自然換気システムの歴史の変遷

自然換気システムは、古くは坑道内に火を焚いて温度差換気を促進した工夫から始まり、建物内の換気を適切に確保することを目的として現代までに様々なシステムが導入されてきた。日本においては京都の町家に見られるように、季節によって開口部の建具を操作して採光・換気を調整してきた。無双窓や引窓のような可動式建具をうまく使いこなすのが日本の文化であり、生活の知恵であった。国外における自然換気システムの歴史的発展に目を向けると、労働者階級の住宅の換気不良が社会問題となったイギリスのヴィクトリア時代において、1850年に以下のような自然換気原則が Walker によって提案されていたことが石原¹⁾により紹介されている。

- (i) 窓は光を入れるが空気を入れず、換気は別に調達せねばならない。
- (ii) 給気口と排気口が共に必要である。
- (iii) 入ってくる空気はドラフトをさけるため温めるべきである。
- (iv) 給気口と排気口はうまく配置されねばならない。
- (v) 換気用開口は恒久的なものでなければならず、一旦閉鎖されるとそのままになってしまう。

この原則は現代の自然換気システムの設計に対しても示唆を与え、特に(v)に関してはこの時代においても自然換気の運用に問題があったことを示しており、大変興味深い。これは、(iii)からも分かるように、冬季も自然換気を行うために寒さによって換気口が閉鎖されることが多かったことが原因と推測される。

19世紀のイギリスにおいて、Walker が提唱した原則が自然換気システムの設計として反映された例は劇場や病院に多く見られる。図 1-1 に劇場 (The Covent Garden Theater, 1818) の断面図を示す²⁾。ボイラーを使って加熱された外気を観客席に供給し、頂部に配置した排気塔から排気するシステムが採用されている。石原の報告¹⁾には、本建物でシャンデリアからの熱を換気駆動力として利用していたとの記載がある。病院の暖房は 19 世紀中期以降に蒸気または温水による中央式が普及し、温水コイルで外気を加熱して浮力による換気駆動力で外気導入を促進する方式が 19 世紀に考案された³⁾。これをカロリファイア方式という。この

方式では、図 1-2 のように窓下に温水コイルを設置して外気を導入し、排気塔から温度差換気を利用して排気するという換気経路がとられた。外気の導入は、直接外壁からではなくピットを経由して供給される方式もあった。カロリファイア方式では換気を確保するために夏でも温水を供給していたとの記録もあり、この時代の建物では人体以外の暖房負荷は小さく、換気駆動力として温度差を確保する工夫が必要であったと思われる。しかし、現代においては高气密・高断熱の建物が多くなり、開口部からの日射負荷や内部発熱によって中間期においてオーバーヒートするリスクが増えてきている。現代では内部発熱の増加により、このような温度差換気が成り立つ可能性が高くなってきていると言える。また、煙突頂部をガラス張りとし、日射熱によって温度差を確保するソーラーチムニー方式も、この原理を利用した現代の自然換気システムとして考案されたものである。

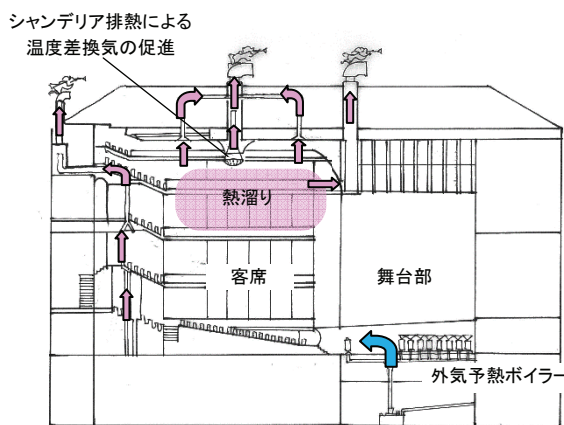


図 1-1 The Covent Garden Theater, 1818²⁾
(文献を参考に筆者にて作成)

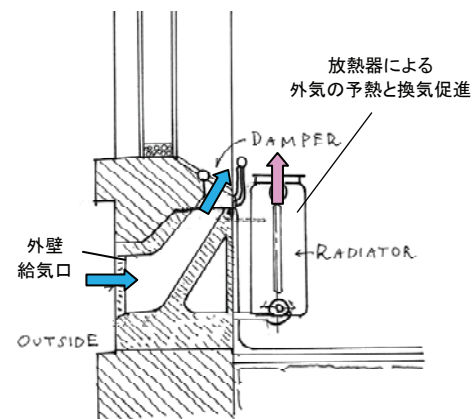


図 1-2 放熱器背部の外気取入口³⁾
(文献を参考に筆者にて作成)

このように、古来より様々な自然換気システムが考案されてきたが、日本においては 20 世紀に入り、高度経済成長による OA 負荷の増大と冷熱源の開発を背景として、窓が開かなくても換気・冷房が可能な機械空調システムが主流となっていった。1968 年に竣工した我が国初の超高層ビルである「霞が関ビル」は、カーテンウォールを用いた固定の窓と全館機械空調方式により実現されている。空調技術の発展により、自動制御された空調機によって空気環境を確保することが可能となったが、一方で個人が換気量を調整することはできなくなってしまった。山中俊夫博士はこれを「個人が自分の好きなように換気をする自由を奪われている」状態と表現している。高度な空調制御が開発された現代においても、空調に関する居住者からのクレームがなくなることはないのは、このような自己調整行動が制限されていることも原因の一つとして考えられる。このような自己調整行動と快適性の関係は、近年研究者や実務者の間でも注目され、ヒューマンファクターというキーワードで研究が進められている。現代ではあらゆる建物において空調設備システムの導入が前提となったが、通風を考慮した建物を設計することは今でも建築設計の原論として大切にされ、空調設備を完備している建

物においても開閉窓を設置する建物は一定以上存在している。さらに、近年においては建築物を取り巻く状況の変化により自然換気システムの導入数が増加し、自然換気に期待する性能も変わりつつある。

現代の建物に自然換気システムが導入されるようになったのは、1980年代にさかんになったアトリウム空間の自然換気と吹抜や中庭を備えた高層ビルにおける自然換気システムの出現がきっかけとなっていると思われる。開放感があるガラス張りの大空間をアトリウムとしてエントランスに配置する建築手法が取り入れられるようになった、図 1-3 のサッポロファクトリー（1993）は冬季のバッファー空間として有効に機能しているが、夏季においてはオーバーヒートする可能性があるため、自然換気を積極的に行い冷涼な札幌の外気を導入して自然冷房を行うシステムが導入された。

高層ビルにおける初期の自然換気システムで代表的な事例としては図 1-4 の新潟県庁舎（1985）がある。中庭を利用した温度差換気、外部風による誘引効果などが熱換気回路網を用いて検討を行った上で各部の設計がされており、光庭としての効果も検証されている。次節では、現代における自然換気システムの社会背景と課題について述べる。

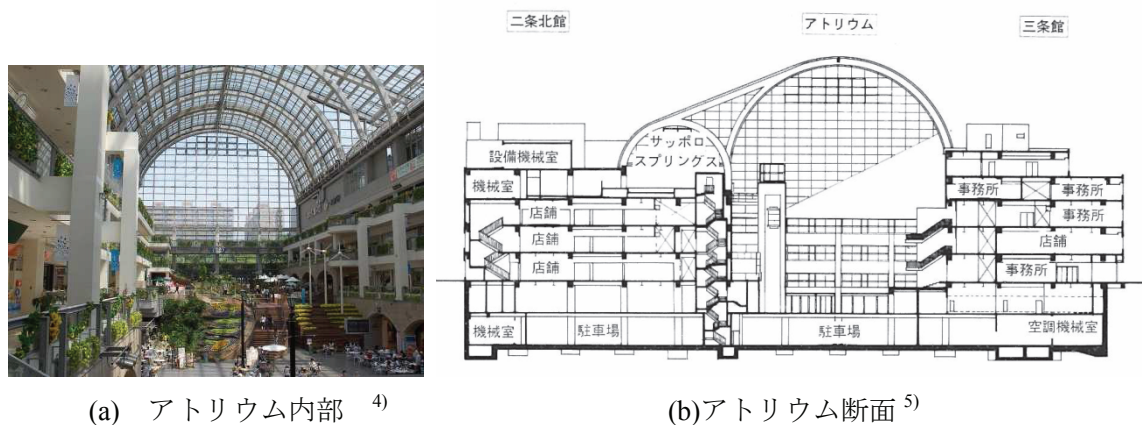


図 1-3 サッポロファクトリーアトリウム（1993年竣工 設計：大成建設）

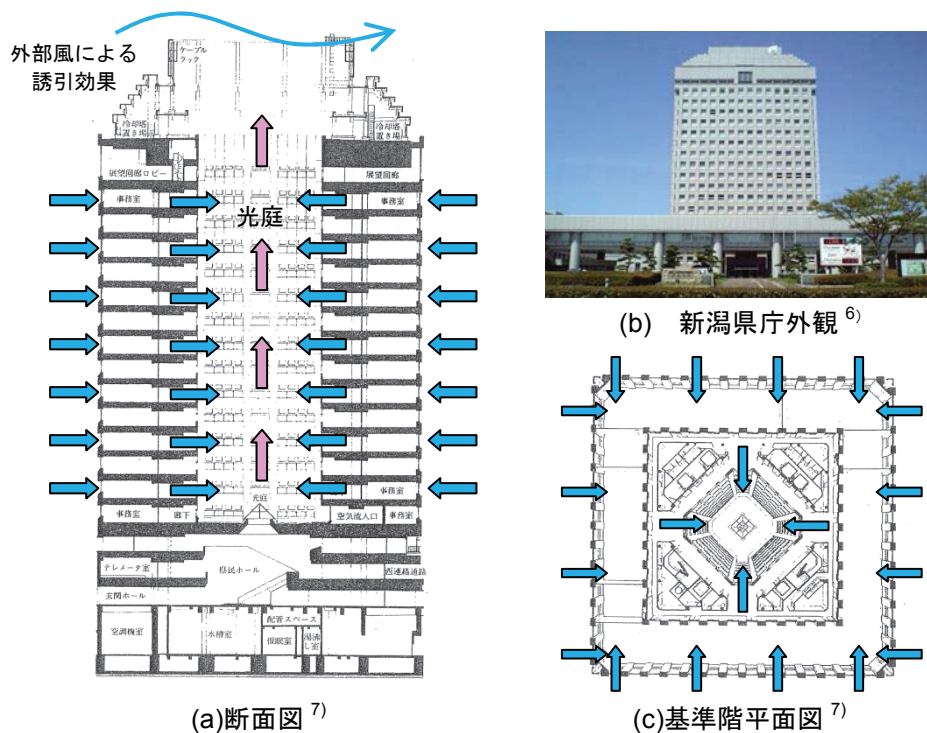


図 1-4 新潟県庁舎（1985 年竣工 設計：日建設計）

1. 1. 2 現代における自然換気システムの社会的背景

[現代の建物における運用阻害要因]

アトリウムや中庭等を利用した高度な自然換気システムが見られるようになって以降、自然換気システムの導入に取り組んだ建物が多く見られるようになった。しかし、全館機械空調を前提とした建物における自然換気システムの運用の難しさも少しずつ明らかとなった。船津⁸⁾は、2003年の雑誌記事にて、自然換気システムをオフィスの3大省エネの一つとしながらも、高度な自然換気システムが導入された物件で運用停止に至った事例があることを示し、運用上の困難さについて解説している。1998年竣工の東京都に建つ超高層建物に自動制御の自然換気システムを導入した事例において、99年度は年間1,000時間以上の自然換気時間数があったが、2年目は約400時間、3,4年目は空調の切り替えのみで利用して100時間まで減っている現状が紹介されている。原因は騒音やドラフトによる居住者からの苦情であった。この他にも1999年竣工の東京都に建つオフィスビル、島根県に建つ公共施設の自然換気においても運用上の問題があることを紹介している。このように、近年においてこのような自然換気システムの運用阻害要因が報告されるようになり、自然換気の効率的で持続的な運用方法を検討する重要性が増してきている。

[省エネルギー手法としての自然換気システムへの期待]

現代において自然換気システムの重要性が増している理由として、3つの背景が挙げられる。第一の背景としては、環境負荷を削減し持続可能な社会の実現を目指す時代背景であ

る。日本においては 2014 年 4 月に「エネルギー基本計画」が閣議決定され、2020 年までに新築公共建築物での Zero Energy Building（以下 ZEB と呼ぶ）建物の実現を目標として掲げている。経済産業省の報告書にある ZEB のイメージを図 1-5 に示す。この中で ZEB を実現する要素技術として自然換気・ナイトパーズ・ハイブリッド空調などが示されており、現代においては空調に対する省エネルギー効果が期待されていることが分かる。

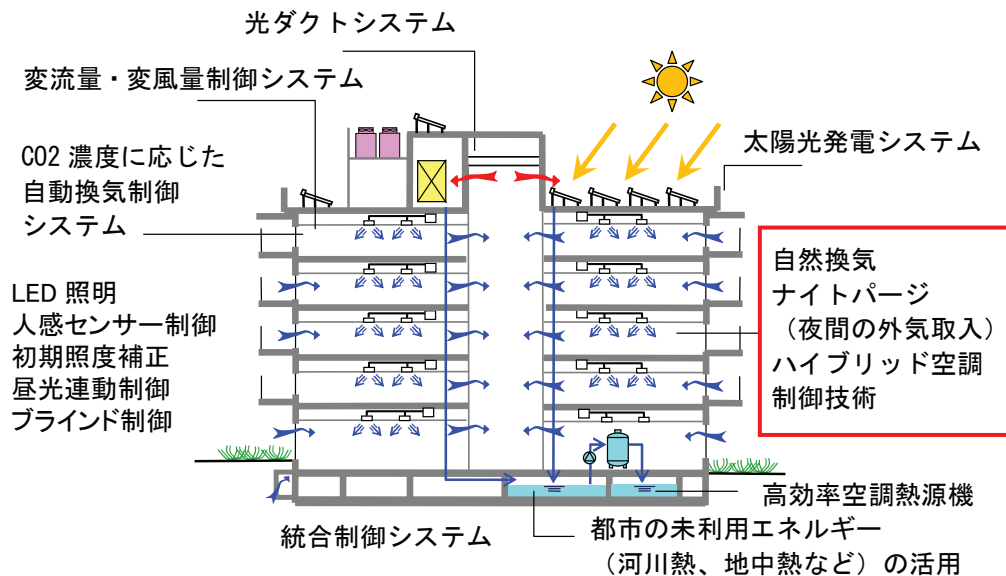


図 1-5 ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)のイメージ⁹⁾
(文献を参考に筆者にて作成)

また、過去 20 年間で複数の建築物の環境性能評価ツールが開発されたが、その多くにおいて自然換気システムの導入が加点項目として評価されている。代表的な環境性能評価ツールと自然換気システムの評価項目を表 1-1 に示す。表より自然換気システムは室内環境の確保と自然エネルギー利用手法として評価されていることが分かる。このように、環境性能評価ツールでは自然換気が評価可能であるが、2016 年現在、建築物省エネルギー法に定められた省エネルギー計算においては自然換気システムを考慮した計算は認められていない。これは自然換気システムの性能が建物特性や設計の巧拙に大きく依存する点と、省エネルギー効果の定量的評価法が整理されていないことが理由として考えられる。省エネルギー効果の定量的評価方法と設計手法が省エネルギー効果に与える影響については、今後の研究により明らかにされることが求められている。

表 1-1 環境配慮建築の評価指標における自然換気（2016年基準）

	LEED ¹⁰⁾	CASBEE ¹¹⁾	トップレベル事業所 ¹²⁾
発祥	アメリカ	日本	日本 東京都
開始	1996年（草案）	2002年（初版）	2008年
普及	世界的に普及	日本国内の自治体での採用が増えている。アジアを中心に国際的に通用する手法	トップレベル認定 34件 (2016年4月)
全体構成	<ol style="list-style-type: none"> 敷地計画 水資源の保全と節水 エネルギーと大気 マテリアルと資源 室内環境 革新的なデザイン 地域特性 	<p><u>Q：環境性能・品質</u></p> <p>Q1 室内環境 Q2 サービス環境 Q3 室外環境（敷地内）</p> <p><u>L：環境負荷</u></p> <p>L1 エネルギー L2 資源・マテリアル L3 敷地外環境</p>	<p>[I. 一般管理事項]</p> <ol style="list-style-type: none"> CO2削減推進体制の整備 図面、管理標準等の整備 主要設備等に関する計測・計量及び記録 エネルギー消費量・CO2排出量の管理 保守・点検の管理 <p>[II. 建物及び設備性能に関する事項]</p> <ol style="list-style-type: none"> 自然エネルギーの利用 建物外皮の省エネルギー性能 設備・制御系の省エネルギー性能 <p>[III. 事業所及び設備の運用に関する事項]</p> <ol style="list-style-type: none"> 運用管理 保守管理
自然換気評価項目	IEQ Credit 2 Increased Ventilation 換気の強化	<p>Q1：室内環境</p> <ol style="list-style-type: none"> 室内環境 換気（換気量、自然換気性能、取入外気への配慮） <p>LR-1：エネルギー</p> <ol style="list-style-type: none"> 自然エネルギー利用 自然エネルギーの直接利 	<p>[II. 建物及び設備性能に関する事項]</p> <ol style="list-style-type: none"> 自然エネルギーの導入 <ol style="list-style-type: none"> 自然通風を利用したシステム導入
自然換気採用の判断基準	居室の自然換気を"Good Practice Guide 237"（1998）または、Application Manual 10：2005, Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings の Fig. 1.18 に示すプロセス・ダイアグラムに従って設計する。	<ul style="list-style-type: none"> 開口面積の確保 自然換気システムの導入 15MJ/㎡年以上の負荷削減 	<p>以下の2点を満たすこと</p> <ul style="list-style-type: none"> 自然換気システムの導入 自然換気による空調停止の実績

また、国土交通省は「住宅・建築物省 CO2 先導事業」として CO2 削減に寄与する先導的な技術が導入されている建築プロジェクトについて、先導的な省 CO2 技術に係る建築構造、建築設備等の整備費用から最大 1/2 までの補助金を交付する制度を設けている。平成 20 年度～24 年度の 5 年間に採択された非住宅建築物のプロジェクト 75 件に対して、提案技術の分類と変遷を纏めた資料¹³⁾が公開されているが、75 物件中 31 物件が通風利用として自然換気システムを導入しており、うち 21 物件が自然換気併用ハイブリッド空調システムを導入している（図 1-6, 7）。以上のように、第一の背景として自然換気システムは CO2 削減、Z E B 化手法の一つとして導入物件が増えており、より実効性のある自然換気システムについての研究が望まれているといえる。

非住宅<建築> ○:一般部門 ●:中小規模建築物部門

	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
平面	熱負荷の抑制に配慮した配置計画	■ペリメータ側への非居室(廊下等)の配置による緩衝空間 ○長岡市シテイホール ○塩野製薬研究棟 ○大林組技研 ■大庇、バルコニー等の設置によるペリメータレス空間 ○明治安田生命ビル		○佐久総合病院	●第二プラザビル
	吹抜空間、シャフト・ダクト空間による通風・採光利用	■通風利用 ○イオン伊丹西 ○渋谷新文化街区 ○丸の内1-4計画 ○八千代銀行 ○京橋3-1地区 ○北里大学病院 ○阿南市新庁舎 ●茅場町計画 ○愛知学院大学 ○大阪駅北地区 ○中之島PJ ■通風利用+ソーラーテームニー ○明治安田生命ビル ○立命館大学衣笠 ●大伝馬ビル ○佐久総合病院 ○立命館中・高校 ■通風+採光利用 ○阿部野橋ビル ○創路優心病院 ○武田薬品研究所 ○獨協大学 ○田町駅東口北地区 ○電算新本社 ●東京ガス平沼ビル ○メディカル・エコタウン ○明治安田生命ビル ○東五反田地区 ○柏の葉キャンパスシティ ○立命館大学衣笠 ○立命館中・高校 ●東京経済大学 ■光ダクト ○イオン伊丹西 ○獨協大学 ○東五反田地区 ○北里大学病院 ○柏の葉キャンパスシティ ○塩野製薬研究棟 ●TODABUILDING青山			
空間	大空間の屋根システム化	■トップライト+ルーバー+通風利用+太陽光発電の一体化 ○長岡市シテイホール ○大林組技研		■トップライト+ルーバー(地場産材)+太陽光発電の一体化 ○阿南市新庁舎 ■トップライト+ルーバー+拡散フィルタの一体化 ○ROKI研究棟	

図 1-6 住宅・建築物省 CO2 先導事業に採択された物件の建築的取り組み(建築)¹³⁾
 (出典: 第11回専門紙記者懇談会資料 住宅・建築物省 CO2 先導事業5年間の技術動向について)

非住宅<設備> ○:一般部門 ●:中小規模建築物部門

	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
空調設備	■ハイブリッド空調(自然換気+空調) ○阿部野橋ビル ○渋谷新文化街区 ○丸の内1-4計画 ○八千代銀行 ○京橋3-1地区 ○立命館大学衣笠 ○佐久総合病院 ○早稲田大学中野 ○西条市新庁舎 ○メディカル・エコタウン ○創路優心病院 ○長岡市シテイホール ○武田薬品研究所 ●ヒューリック雷門ビル ○阿南市新庁舎 ●北電興業ビル ●東京経済大学 ○京都水族館 ○三洋電機加西事業所				
	■潜熱分離空調 ○足利赤十字病院 ○赤坂Kタワー ○大阪駅北地区 ○ささしまライブ ○北里大学病院 ○田町駅東口北地区 ●電算新本社 ●東京ガス平沼ビル ○名駅4-10地区 ○オリエントモト ○獨協大学 ○名古屋三井ビル ○環Ⅱ・Ⅲ街区 ○新潟日報新社 ●茅場町計画 ●物産ビル ○愛知学院大学 ○新情報発信拠点 ○大野記念病院 ○明治安田生命ビル ●大伝馬ビル ●TODABUILDING青山 ○立命館中・高校 ○ミツカン本社地区 ○東京電機大学 ○塩野製薬研究棟 ●三谷産業グループ新社屋 ●尾西信用金庫 ●早稲田高等学院 ●イオン新船橋 ●第二プラザビル				
	■潜熱分離空調+タスクアンビエント空調 ○京橋2-16地区 ○中之島PJ ○柏の葉キャンパスシティ ○ROKI研究棟 ●京橋Tビル				
	■高効率照明+調光制御 ○東京スカイツリー周辺 ○渋谷新文化街区 ○新潟日報新社屋 ●茅場町計画 ○新情報発信拠点 ●イオン新船橋 ■高効率照明+昼光利用制御 ○イオン伊丹西 ○八千代銀行 ○大阪駅北地区 ●三谷産業グループ新社屋 ●北電興業ビル ●京橋Tビル ○メディカル・エコタウン ○ささしまライブ ●中小規模店舗省CO2 ●大伝馬ビル ●TODABUILDING青山 ○立命館中・高校 ○早稲田高等学院 ●尾西信用金庫				
照明設備	■高効率照明+調光制御+昼光利用制御 ○赤坂Kタワー ○武田薬品研究所 ○獨協大学 ○京橋3-1地区 ○環Ⅱ・Ⅲ街区 ○イオン大阪ドーム ●物産ビル ○名駅4-10地区 ○ミツカン本社地区 ○明治安田生命ビル ○東京電機大学 ○埼玉メヂカル・パーク ○立命館大学衣笠 ●大伝馬ビル ●TODABUILDING青山 ○三洋電機加西事業所 ●尾西信用金庫				
	■タスクアンビエント照明 ○京橋2-16地区 ○名古屋三井ビル ○東五反田地区 ○塩野製薬研究棟 ○ROKI研究棟 ●茅場町計画 ○愛知学院大学 ○西条市新庁舎 ●東京経済大学 ●第二プラザビル ■ICタグ等による高機能制御 ○大林組技研 ○北里大学病院 ○柏の葉キャンパスシティ ●茅場町計画				
	LED照明の活用 ○阿南市新庁舎 ●電算新本社				

図 1-7 住宅・建築物省 CO2 先導事業に採択された物件の設備的取り組み(設備)¹³⁾
 (出典: 第11回専門紙記者懇談会資料 住宅・建築物省 CO2 先導事業5年間の技術動向について)

[コミッショニングの重要性]

第二の社会的背景として、建築設備システムに対するコミッショニングの重要性が増してきていることが挙げられる。コミッショニングに関しては米国暖房冷凍空調学会（以下ASHRAEと呼ぶ）では、以下のように定義されている¹⁴⁾。「コミッショニングとは、それぞれのシステムに対して、システムが設計趣旨に合致した性能を発揮するように、設計・施工ならびに機能試験が行われ、運転保守が可能な状態であることを検証する過程のことである。本指針において性能検証は企画段階に始まり、それから設計・施工・始動・受渡し・訓練の各段階を含む建物の全使用期間（ライフ）にわたって適用され得るものである。」

このように、コミッショニングの概念では設計施工段階の性能予測と検証、運用段階での最適化を含んでいる。

1990年の1年間に国内の不動産業（住宅を除く）が国内で排出したCO₂は1050万t-CO₂と推計され、図1-8に示すように、建築関係ライフサイクルCO₂のうち運用に係わる水光熱は全体の38.9%に達している¹⁵⁾。これより建物の運用段階でシステムの最適化を行い、効率的な運用に改善していくことの効果が大きいことが理解できる。100年建築という言葉に代表されるような建物の長寿命化により、建物の運用やシステムの持続的活用の重要性が更に増していると言える。

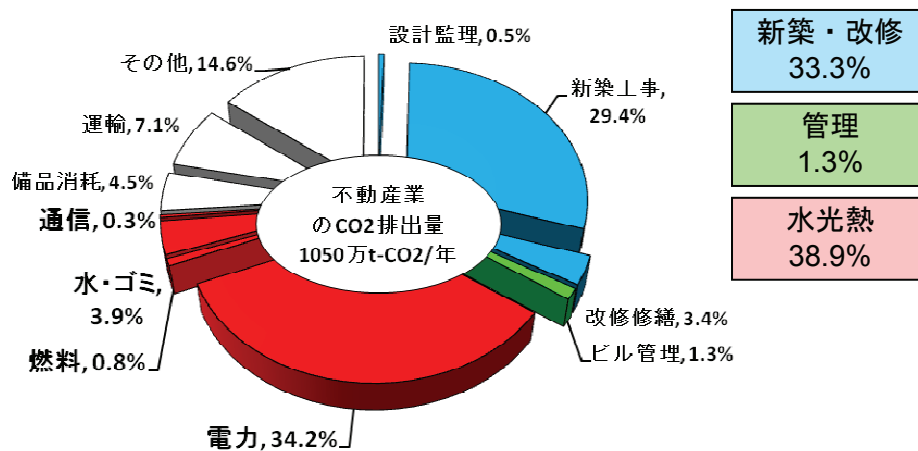


図 1-8 不動産業の年間 CO₂ 排出量に占める建築関連の割合 (1990年の資本形成分を含む国内排出分)¹⁵⁾

[高性能な外皮に対する気密性のコントロール]

第三の社会的背景としては、建物の高气密・高断熱化による冷房負荷の増加や機械換気で負担する換気量の増加が挙げられる。断熱性能が高い建物においては、換気と冷房は建物のエネルギー消費の半分以上を占めると記載している文献¹⁶⁾もある。高气密・高断熱化は、夏季や冬季の空調消費エネルギー削減には有効であるが、中間期においては内部発熱や大開口のガラス窓からの日射熱が室内に蓄積され、オーバーヒートや空調で処理する冷房負荷の増

加が生じる結果となる。これは特にOA負荷などの内部発熱が多いオフィスビルなどで顕著である。ここに気密性を可変する手段として自然換気システムを導入することにより、中間期は積極的な外気導入により冷房負荷を除去することができる。外皮の性能向上やLED照明などの導入によるOA負荷の変化などを加味し、現代の建築物における中間期の負荷の見極めと、それに適合する自然換気システムの設計法について検討が必要であると言える。

1.1.3 実務設計・運用における現状と課題

背景で述べたように、省エネ手法としての期待が高まっている自然換気システムであるが、機械空調による室内環境一定制御を前提とした現代建築に処理されていない外気を導入する自然換気システムを効率的に運用することには難しさがある。近年の環境配慮建築においてもクレームにより自然換気の利用を停止している物件が確認されている。自然換気システムの持続的活用を達成するためには、クレーム等に代表される運用阻害要因を明らかにし、設計・運用上の対策を行う必要がある。

また、自然換気システムの実務上の設計法という観点では、現状でいくつかの課題がある。図 1-9 に建築計画と自然換気システムの設計・運用フローを示す。基本設計段階では自然換気システムを導入するメリットを検討しコンセプトを決定する。しかし、自然換気システムによる省エネルギー効果の算出手法や基本設計時の設計手法が明確になっていないという課題がある。これは、自然換気システムの省エネルギー効果は設計法、運用法に大きく左右されるため個別解となる傾向にあり、省エネルギー効果の定量化及び一般化が困難であることが大きな理由である。

計画初期段階である基本設計時では、建築計画のフローに示すように、建築的な平面・断面プランの基本方針を決定し、各室床面積の決定、建設コストの調整を行う。

基本設計にて各室床面積とプランの基本方針を決定する事から、この段階で自然換気システムに必要な吹抜け面積や配置・形状、換気経路を確保するための各室の配置条件を建築設計と条件として整理する必要がある。また、建設コストの調整、費用対効果算出のためのランニングコスト算出を行うために換気口の個数や制御法の方針を決定し、基本システムを構築することが必要となる。多くの場合、基本設計時の建築プランは流動的であり、建築設計者はプランに対する自然換気性能の確認ではなく、自然換気性能を確保するための建築と条件の提示を設備設計者に求めることから、この段階で CFD や熱換気回路網による詳細シミュレーションを行うことはモデルが定まらないために現実的ではない。対して実施設計にて建築プランが固まった段階においては詳細なシミュレーションによる効果検証を行うことができる。しかし、実施設計段階でのプランの変更は設計の手戻りとなるため、シミュレーションによって明らかとなった最適化を反映できない可能性は高くなる。以上のような実務

設計上の課題に対して、計画初期段階において建築プランが流動的である場合に、根拠をもった最適設計が可能な設計手法が必要である。

運用フェーズにおいては、設計者は設計から施工までの関わり方に比べ、運用に関しては関わりが少ないことが挙げられる。これは、運用段階の設計者の取り組みが契約を伴う業務としてあまり認識されてこなかったことに原因があり、そのため設計者が十分に運用実態を把握していない現状がある。このような状況は、運用段階での不具合を設計にフィードバックする機会が失われていくことにも繋がる。特に自然換気に関しては、運用が管理者や執務者によって成される部分も多く、設計者や運用関係者がシステムの持続的活用法に関して議論する場が必要である。

以上の現状と課題から、現代建築に自然換気システムを持続的に活用していくための手法を検討する必要があり、運用段階でのシステム最適化に関する知見も必要である。また、建築プランという基準モデルが固まった実施設計段階での詳細シミュレーションによる評価以外にも、基本システムの構築が必要な基本設計段階での最適設計ツールとしてのシミュレーションの活用・最適設計手法について検討が必要である。海外においては自然換気設計に関するガイドラインは複数存在しているが、日本という蒸暑地域を考慮したものではなく、気候特性に配慮した設計資料が必要である。

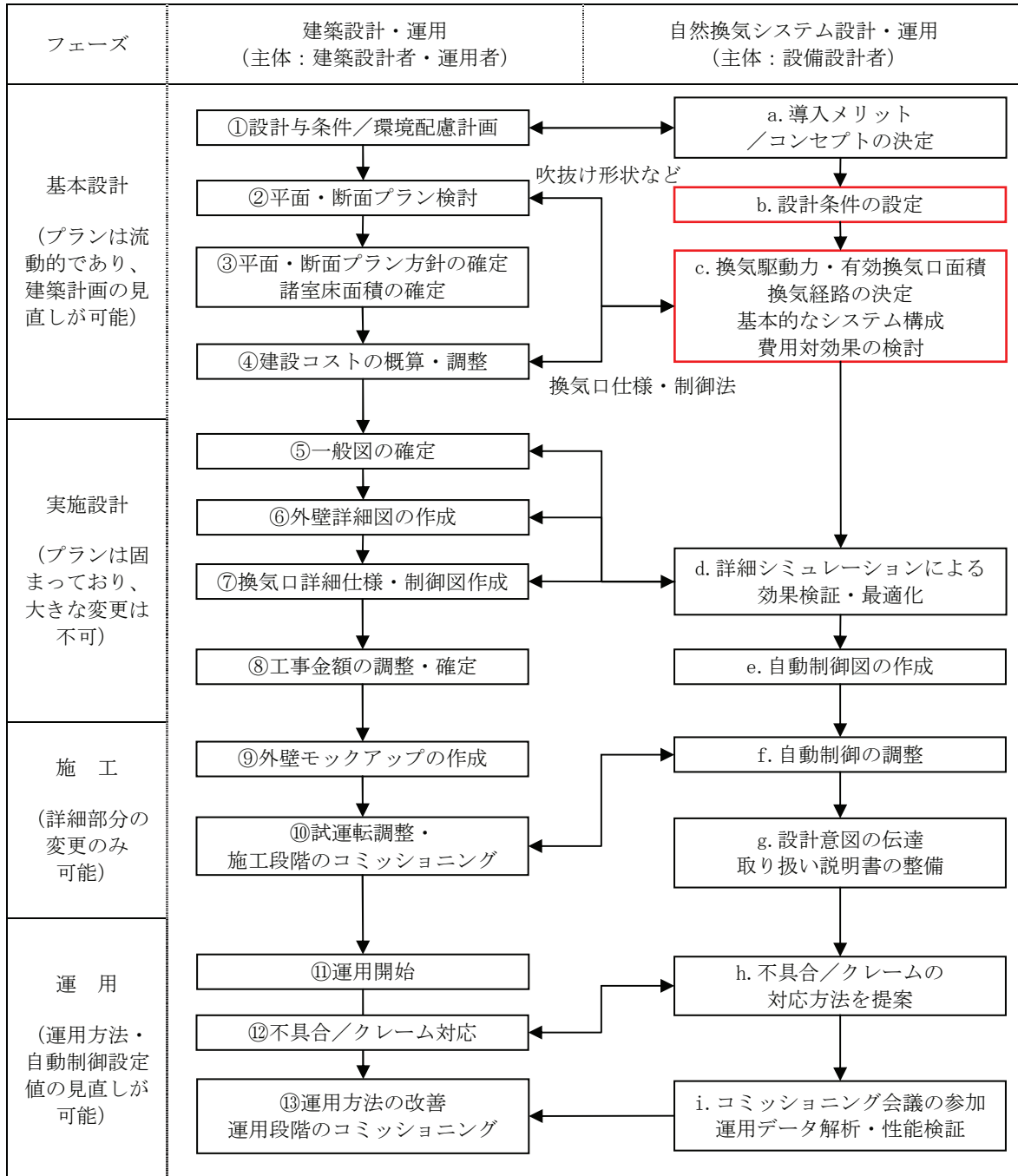


図 1-9 建築設計と自然換気システムの設計・運用フロー

1. 2 既往の研究

本節では、自然換気システム研究における本研究の位置付けを明らかにするため、本論文に関連する既往研究のレビューを行った。

1. 2. 1 IEA・ANNEXにおける国際的な自然換気研究の動向

自然換気に関する国際的な研究動向として、現在までに国際エネルギー機構 IEA (International Energy Agency) に設立された自然換気に関連する国際研究プロジェクト(Annex) について述べる。現在までに自然換気システムに関連する Annex は以下の4つである。

Annex20 (1988-1991) 「Air Flow Patterns within Buildings」

Annex23 (1990-1996) 「Multi Zone Air Flow Modelig(COMIS)」

Annex35 (1998-2002) 「Design of Energy Efficient Hybrid Ventilation (HYBVENT)」

Annex62 (2014-2017) 「Ventilative Cooling」

Annex20 では、「Air Flow Through Large Openings」として、大きな単一開口による換気性状について検討が行われた。単一開口で発生する換気原理として、温度差換気により開口内で流入と流出が同時に行われる場合や、外部風の壁面流により開口部の風圧が時系列で変化することで換気が行われる場合があることなどが示された。Annex23 では熱換気回路網計算を使った多数室換気計算プログラムである「COMIS」が開発された。このプログラムは現在も広く世界中で活用されている。Annex35 では、自然換気を機械換気でアシストするハイブリッド換気の検討が行われ、基本原理、設計上の留意点、制御法、性能予測などに関する各国の最新の研究が纏められた。その最終報告書の日本語版が建築環境・省エネルギー機構より「ハイブリッド換気の原理」¹¹⁾として出版されている。

現在進行中の Annex62 では、nearly-zero energy buildings への自然換気システムの適応を想定し、高性能な断熱・気密性を備えた建築物に対して、オーバーヒーティングを防止し、換気動力の大幅な削減を実現する手法として外気による冷房の可能性について検討している。外気による冷房には空調機を使用した外気冷房やハイブリッド換気も含まれるが、主に自然換気システムに関する検討が進められている。Annex62 の成果は既に State-Of-Art Review¹⁷⁾ として、HP 上で公開されている。以下にその構成と概要を示す。

[Annex62 State-of-the-art Review 概要]

(1) Executive Summary

State-Of-Art Review で述べられている重要なテーマは以下の5点である。

- ・自然換気のポテンシャルと適用可能範囲

- ・ 現行のエネルギー関係の法規制に対する Ventilative Cooling の位置づけ
- ・ 模範的な建物ケーススタディ
- ・ 有効な建築構成要素（換気口など）や制御手法
- ・ 現行の計算法やツール

(2) Potentials and Limitations to Ventilative Cooling

(2)-1. Physical potentials of ventilative cooling in different climates and building types

ここでは、Adaptive model に関する解説や、定常状態での熱平衡式を用いた必要換気量の計算式を紹介している。一例として、Steven ら¹⁸⁾による簡易に必要な換気量を求める式を示す。

$$m_{cool} = \frac{q_i - \sum UA_{wall}(T_i - T_o)}{c_p(T_i - T_o)} \quad \dots\dots(1-1)$$

ここで、

A_{wall}	: 外壁面積	[m ²]
C_p	: 空気比熱	[J/kg · K]
T_i	: 室内温度	[K]
T_o	: 室外温度	[K]
U	: 外壁熱貫流率	[W/m ² · K]
m_{cool}	: 必要換気量	[kg/s]
q_i	: 室負荷と日射負荷の合計	[W]

また、Adaptive model での 80%許容域を用いた場合で外気露点温度 17°C以下を許可条件とした場合の必要換気量の算出方法として、内部発熱密度別の必要換気量とオーバーヒート及び過冷却の日数を指標とした場合のケーススタディ結果を示した。表 1-2 に結果の一例を示す。

表 1-2 内部発熱別の必要換気回数検討結果(ロサンゼルス)¹⁸⁾

Climate suitability statistics for adaptive thermal comfort cases (80% acceptability with 17°C dew point limit)				
Direct cooling				
Combined internal gain	10W/m ²	20W/m ²	40W/m ²	80W/m ²
Los Angeles				
Ventilation rate	1.36ach±0.662	2.71ach±1.32	5.42ach±2.65	10.8ach±5.3
% Effective	93.8	93.8	93.8	93.8
% Too cold	0	0	0	0
% Too hot	0.331	0.331	0.331	0.331
% Too humid	5.67	5.67	5.67	5.67

Artmann ら¹⁹⁾は The daily climatic cooling potential(CCP_d)を以下の式で定義した。

$$CCP_d = \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} m_{d,t}(T_{o(d,t)} - T_{i(d,t)}) \quad \begin{cases} m = 1h \text{ if } T_o - T_i \geq \Delta T_{crit} \\ m = 0 \text{ if } T_o - T_i < \Delta T_{crit} \end{cases} \quad \dots\dots(1-2)$$

ここで、

t _{start}	: ナイトパーズ開始時間	[-]
t _{end}	: ナイトパーズ終了時間	[-]
T _i	: 室内温度	[K]
T _o	: 室外温度	[K]

この式で算出するのは Degree-hours であり、夜間の室内外温度差に時間数をかけたものと定義できる。これは、昼間に蓄熱した冷房負荷を夜間のナイトパーズでどの程度処理できるかのポテンシャルを示したものである。

また、Erik L²⁰⁾は、ロンドンの気象条件において、一般的な機械空調の運用時と比較して、置換換気+ナイトパーズ、VAV+ナイトパーズ、VAV+ハイブリッド空調のそれぞれのケースについて、シミュレーションによりエネルギーコストの削減率を一般化した結果を示している。

(2)-2. Critical Limitations and Barriers to Ventilative Cooling

Ghiaus ら²¹⁾は、9件の学校において、外気における汚染物質 (NO₂, SO₂, CO₂, O₃) の濃度と室内における汚染物質の濃度を実測して、室内濃度/外気濃度の比によって比較した。比較の結果、気密性の高い外壁を持つ学校は濃度比が低い結果となった。これは、外気の汚染濃度が高い場合は外気流入により室内の空気質が悪化するリスクがあることを示すものである。また、Nicol ら²²⁾は、自然換気の阻害要因として、外部騒音を取り上げ、ヨーロッパのオフィスの室内騒音値は 60dB を上限としているため、開放した窓による減音を 10-15dB と想定し、外部騒音は 70dB 以下を自然換気設計の目安として示している。

(2)-3. A review of Indices for long-term evaluation of thermal comfort conditions in buildings

ここでは、自然換気時における許容室温域やオーバーヒーティングリスクの評価指標についての研究結果を述べている。

(3) Ventilative cooling in existing Energy Performance Regulations

ここでは、各国の法規が Ventilative cooling の導入にどのように影響を与えているかを、各国へのアンケート調査にて纏めている。

(4) Exemplary Existing Buildings using Ventilative Cooling

ここでは、ケーススタディとして14カ国から26物件の自然換気事例が紹介されている。事例では自然換気システムとして複数の応用技術が導入されていた、例えば、潜熱蓄熱材(PCM)、蒸発冷却、通風、緑化や水面による冷却作用、煙突効果、クールヒートトレンチ、自然換気ブースターファン、外気を誘引する外皮などである。その他に、ソーラーチムニーとナイトパージを組み合わせた建物も見られた。

(5) Available Building Components and Control Strategies for Ventilative Cooling

ここでは、以下のような換気口やセンサーなどの最新の製品について紹介されている。製品以外にもソーラーチムニーやアトリウム、ダブルスキンなどの換気を促進する建築要素についても整理されている。

- Air flow Guiding Ventilation Components
- Air flow Enhancing Ventilation Components and Building Elements
- Passive Cooling Components and Building Elements
- Actuators
- Sensors

制御方法については自然換気口の手動制御と自動制御について述べられており、手動制御により居住者に換気量の調整手段を与えるべきとする意見がある一方、自動制御では省エネルギー効果の最適化と室内環境の制御が可能であるとの意見があった。また、制御方法については運用段階において管理者、利用者の意見を反映しながら確定すべきであるとの意見もあった。

(6) Existing Methods and Tools

自然換気基本式のバリエーションや各種計算式、自然換気検討用ツール(換気回路網、CFD等)について整理された。また、自然換気的设计について各設計フェーズで取り組むべき内容について提案された。

表 1-3 各設計フェーズでの自然換気設計の検討事項²³⁾

設計フェーズ	基本設計	設計内容の発展	実施設計
目的	デザインソリューションの検討	建築要素のサイズ検討	詳細検討
性能目標指標	冷房デマンド削減 温熱快適性 有効換気回数 ファンが消費する1次エネルギー	最低換気回数 オーバーヒーティング時間数 最大冷暖房負荷 室内許容室温域 PPD 汚染物質の排除	シミュレーションによる建築構成要素の最適化局所不快感

1. 2. 2 自然換気システム設計手法に関する論文

設計の実務に応用可能な自然換気システムの設計に関する研究は、通風理論の研究と比較すると国内では数が少ない。国内における自然換気システムの設計法に関連する研究を以下に示す。

山中(1994)²⁴⁾は、風力換気を時間平均の風圧によって引き起こされる定常通気、単一開口を持つ室において風の乱れによって生じる単一開口通気（脈動と渦の侵入）、開口間の風圧差の時間変動によって引き起こされる脈動通気の三つに分類した。風洞実験及び実測により、アスペクト比 2～4 の矩形建物における任意の位置の風圧係数を算出する式を算出し、高層住宅のベランダの影響などを明らかにした。また、各開口における通常通気量と風の乱れによって生じる一開口通気量を予測するための風の乱れを考慮した通気量予測法の手順を示した。この研究の総括において、より現実に即したシミュレーションに基づいた換気計画のためには重力換気を含み込んだ換気計算法の開発が今後の課題であると述べられている。

甲谷(2003)²⁵⁾は、高層集合住宅のボイド内自然換気計画に関する研究を行い、開口面積、発熱位置、開口の鉛直方向への分散配置がボイドの重力換気性状に及ぼす影響の把握及び全圧損失に基づく通気量計算法の精度検討を行い、上部発熱条件を除いて通気量計算が可能であることを示した。また、上部開口条件、下部開口面積、下部開口配置がボイドの風力換気性状に及ぼす影響を把握した後、通気量計算を行い、計算法の有効性を示した。また、計算精度の向上のためには分流・合流抵抗係数資料の整備が必要であることを示した。

細井ら(2005)²⁶⁾は、有効な通風システムを構築する観点からシステムの基本計画段階で適用可能な設計支援の手法が重要であると述べ、建物の熱容量と断熱性能の差が室温の変動に与える影響に着目して 2 物件の実測値の分析結果から室内外温度差のモデル化を行った。建物の熱容量と断熱性能が室温変動に与える影響について分析を行い、熱容量が大きい場合に外気温の変動に対して室温の変動が小さくなることに関して数値的な範囲を示している。しかし、分析対象が 2 物件であったため、設計時に直接利用できるモデルの作成は今後の課題とされている。

峯岸ら(2010)²⁷⁾は、自然換気システムが導入されたアトリウム空間において火災・避難安全性を確保するための煙制御設計手法を提案した。自然換気が導入された開放性の高いアトリウムでは火災が生じた場合に煙が急拡散してしまう可能性があり、従来は自然換気と遮煙は相反する手法であると考えられてきた。しかし、アトリウム上部の煙溜りの確保及び排気口と避難シャフトの開口面積比の設定により、火災時に避難階に対してアトリウムが負圧になる設計とすることで、自然換気と遮煙の両立を図る手法を提案している。本研究は、自然換気システムが複合的な領域に関連の深いシステムであり、総合的な視点でのシステム設計が必要であることに改めて気付かせるとともに、実務のための有用な設計手法を示している。

以上のような研究に加え、出版されている設計用資料としては日本建築学会より 2013 年に実務者向けの自然換気ハンドブックが出版されている²⁸⁾。また、海外においては各国の学会・研究機関から換気の原理や設計手法に関する情報を纏めた資料が出版されている^{29,30,31)}。

1. 2. 3 自然換気併用ハイブリッド空調に関する研究

自然換気併用ハイブリッド空調に関しては、空調と自然換気を同時に行った場合の室内温熱環境の分布や省エネルギー効果に関する研究がある。張ら(2001)³²⁾は、CFD により自然換気併用ハイブリッド空調時の室内気流、温度分布について分析した。自然換気流入噴流の流れパターンは外気温度が高くなるほど Ar 数が小さくなり、より深く室内へ入り込むことを示した。外気温と室内空気との温度差が大きい場合、流入空気は強い負の浮力により窓側の壁に沿って降下し、室内側に向かって低速で流れる。流入空気の温度が高くなるほどタスク域の平均温度を一定 (26°C) にするための空調風量 (吹き出し温度 19°C) が増し、床近傍での温度勾配が大きくなることを示した。

また、続報³³⁾にてハイブリッド空調時の換気口の配置が空調消費エネルギーに与える影響についてシミュレーションを用いて検討した。天井吹出し・天井吸込み方式では、温度成層がほとんど形成されず、室内は一様拡散に近い温度分布となる。そのため、床吹き出し・天井吸込み方式と比べタスク域空調の効率が低くなり空調投入熱量は 36%増となる。HASP/ACSS による期間エネルギーシミュレーションの結果、空調機ファンとポンプなど搬送動力における省エネルギー効果はあまり見られなかった。この原因として VAV の風量が多もともと最小開度となっているためと考察している。結果としてハイブリッド空調の導入により年間 16%の電力削減が可能となることが示された。

LIM ら(2008)³⁴⁾は、実在する自然換気併用空調を有するオフィス内の温熱・空気環境形成メカニズムを実測によって解明することを目的とし、従来定義されている空気齢や SVE4, CRI3 などの指標をトレーサガス法によって測定する手法を開発した上で実測を行い、天井面に自然換気口を設置し、タスク床吹出口からの居住域空調を併用した場合の室内空気・空調環境形成の構造について検討を行った。

これらの既往の研究の他、ハイブリッド空調に関するガイドライン³⁵⁾が CIBSE (英国建築設備技術者協会) から出版されている。

1. 2. 4 実測調査研究

三坂ら(2001)³⁶⁾は、自然換気・ナイトパーージシステムを導入した事務所ビルにおいて、効果の試算と実測値との比較を行った。中間期の代表日における負荷削減効果を約 65% (自然換気 26.8%・ナイトパーージ 37.7%) と試算したのに対し、実際には自然換気で月別に 4~23%、年間では 5%の負荷削減効果、ナイトパーージでは年間負荷の 37%の削減効果であることを BEMS データにより確認した。

水出ら(2006)³⁷⁾は、自然換気・シーリングファンを併用した事務所ビルでの自然換気時の室内環境と空調負荷削減効果を実測により明らかにした。また HASP/ACLD による年間熱負荷シミュレーションにより自然換気モードで 6%、自然換気+シーリングファンモードで 14%、合計 20%の冷房負荷削減効果と試算した。また、シーリングファンによる自然換気併用ハイブリッド空調システムにおいて、気流感によって快適性を補い自然換気利用時間数を最大化するための自動制御ロジックを示した。

三浦ら(2011)³⁸⁾は、超高層オフィスビルに導入された自然換気併用空調システムに対して実測調査と熱換気回路網によるシミュレーション解析を行った。実測調査により自然換気実行時間は 97.1 日であることを確認し、自然換気が適切に運用されていることを確認した。更にシミュレーション解析により外気温度下限値 15℃での冷房負荷削減効果は 21%であり、外気温度下限値を 12℃に変更することにより 24%に上昇することを示した。ただし、自然換気により室が過剰に冷却されるため暖房処理熱量が増加している結果となった。

安永ら(2013)³⁹⁾は、実在オフィスを対象とした実測及び個別分散空調制御を再現した定常 CFD 解析による性能検証を試み、給気口付近のドラフトの確認や機械空調時の室温分布との比較を行った。自然換気時は機械空調時と比較して室内の温熱環境が不均一になる傾向があることを示唆した。

1. 2. 5 運用方法・制御方法に関する研究

細井ら(2004)⁴⁰⁾は、実際の自然換気物件に対して運用状況の調査と評価を行った。自然換気時の室内快適性に関する調査結果をもとに運用条件を整理し、制御間隔の短縮化 (20 分)、外部風速上限の見直し (開口部に対して正面方向の上限を 3.0m/s、それ以外を 6.0m/s)、外気温度範囲の見直し (23.0~28.5℃)、機械空調モードから自然換気モードへの復帰を促進するためにエンタルピー制御の取り止めなどの改善を行った。23℃以下で不満足 of 申告が出始め、約 21℃まで低下した時点で全体の満足率が 50%に達した。不満申告は風速が強いペリメーターの居住者に不満が集中していた。機械空調のみ行った場合の冷房除去熱量を推定し、実測値との比較を行った結果、2001 年で 30%、2002 年で 37%の冷房除去熱量の削減と評価している。

金ら(2009)⁴¹⁾は、手動で開閉可能な自然換気窓を有する高層オフィスビルにおいて、自然換気窓の実運用状況と執務者の自然換気に対する意識を把握するために実測調査及びアンケ

ート調査を行った。調査の結果、対象物件において換気窓の開放による室内への気流の影響は小さいことを確認し、自然換気窓の運用状況は春季 8%、夏季 4%であり平均開放率が低いことを確認した。アンケート調査結果より、自然換気窓の開閉行為には心理的要因の影響も強いことが確認された。開放については自由に操作可能な「手動制御」が適しており、閉鎖については「外からの侵入」と言った物理的要因に対応出来る構造や容易に閉鎖出来る工夫が必要であると結論づけている。

1. 2. 6 ソーラーチムニーに関する研究

趙ら(2000)⁴²⁾は、北九州の 4 階建校舎に導入されたクールピットとソーラーチムニーを組み合わせた自然換気システムを対象として、ソーラーチムニーの検討を行った。流入口面積と流出口面積との比、ソーラーチムニー断面積の変化と断面の長辺と短辺の比の変化によってソーラーチムニーの空気流れがどのように変化するかを検討した。総流入口と断面積との比、総流出口面積と総流入口面積との比と長辺と短辺との比によって、ソーラーチムニーによってもたらされる換気量は大きく変化することを示した。略算法と CFD シミュレーションの結果を比較した結果、ベルヌーイ式と熱平衡式を利用してソーラーチムニー内のある高さの温度と空気速度を予測できることを明らかにした。また、ソーラーチムニーの基本的性能を検討するための煙突効果の検討手順を示した。

1. 2. 7 自然換気口の設計に関する研究

樋山ら(2005)⁴³⁾は「通風」と「漏気」といった異なる 2 つの概念により、通風開口の大きさや位置を変更した場合の通風量の変化を換気回路網解析で検討するための基礎的な検討を行った。給気口と排気口が比較的近似している場合は、「風上側の開口で発生した噴流がもつ運動エネルギーが、風下側開口を通過する気流の駆動力へ影響を及ぼす」ことを明らかにした。

1. 2. 8 自然換気の潜在的有効性に関する研究

赤林ら(2003)⁴⁴⁾は日本における自然換気の潜在的有効性について検討を行った。最小風速を 0.3m/s とした場合の SET*と各地域の実風速データから求めた SET*の差に時間数を乗ずることで算出する通風デグリアワーを定義し、全国の通風デグリアワー (CVDH) マップを作成して 5 段階によるグレード分けを行った。

海外研究としては、地域差を考慮した自然換気システムの有効性予測手法に関して Natural ventilation potential (以下 NVP と呼ぶ)に関する一連の研究がある。Yang ら(2005)⁴⁵⁾は室内外温度差と外気風速によって外気条件による換気駆動力を NVP として評価している。Luo ら(2007)⁴⁶⁾は Yang のモデルに加え室内温度の変動も考慮した換気駆動力の評価を提案し、Yin ら(2010)⁴⁷⁾は更に外気温度、室内気流、相対湿度も考慮した自然換気時の室内許容温度域を判定条件に採用したモデルを提案している。

1. 2. 9 自然換気時の室内快適域に関する研究

自然換気時の室内快適域に関しては、中野ら(2014)⁴⁸⁾が多くの文献や最新の基準を調査し、以下のようなレビューを行った。中野らの報告によると、環境適応を考慮した温熱環境基準として、ASHRAE55⁴⁹⁾では、主に自然換気（通風）により温熱環境が調整されている空間の熱的快適性を2004年版より導入している de Dear and Brager の adaptive model⁵⁰⁾に基づき、平均外気温に応じた快適作用温度の範囲を90%または80%受容域のいずれかから選択できるようになっている。ただし、この基準を適用するためには、対象となる空間が以下の4条件を満たす必要がある。：①執務者が自由に開閉できる屋外に面した窓がある、②冷房設備がない（暖房設備はあっても良いが、使用時期は適用外）、③執務者の代謝量が1.0～1.3met、④執務者が着衣を自由に調整できる。中野らは、この基準は各国の結果を単一の線形モデルとして導かれている点と社会的文脈要素が加味されていないことから、日本にそのまま当てはまるとは限らないと述べている。また、もう一つの環境適応を考慮した温熱環境基準としてEN15251⁵¹⁾がある。この基準は、Nicolの研究グループが行なった SCATs Project というヨーロッパ地域に限定した自然換気オフィスの実測結果から導かれている。EN15251では、環境に対する期待レベルに応じて表1-4に示すカテゴリI～IVを示している。自然換気ビルの定義はASHRAE 55-2013と概ね一致し、暖房不使用の期間のみを対象としている。自然換気ビルに関するカテゴリI～IIIの推奨範囲を図1-10に示す。EN15251では、推奨範囲の中心である快適温度 T_{comf} は以下の式で表される。

$$T_{comf} = 0.33T_m + 18.8 \quad \dots\dots(1-3)$$

ここで、

$$T_m \quad : \quad \text{移動平均外気温度} \quad [^\circ\text{C}]$$

Category I では $T_{comf} \pm 2^\circ\text{C}$ 、Category II では $T_{comf} \pm 3^\circ\text{C}$ 、Category III では $T_{comf} \pm 4^\circ\text{C}$ を熱的快適域推奨値としている。

表 1-4 EN15251 におけるカテゴリ分け⁵¹⁾

Category	Explanation
I	High level of expectation only used for spaces occupied by very sensitive and fragile persons
II	Normal expectation for new buildings and renovations
III	A moderate expectation (used for existing buildings)
IV	Values outside the criteria for the above categories (only acceptable for a limited periods)

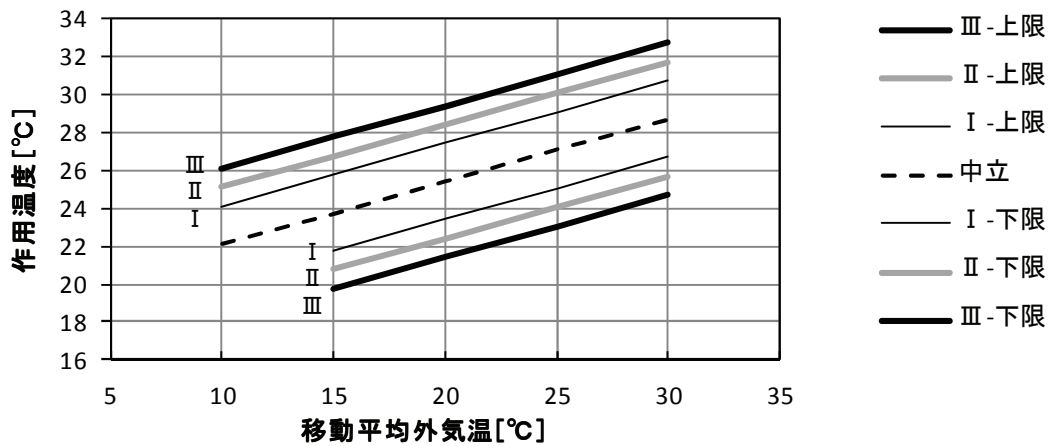


図 1-10 EN15251 の自然換気ビル熱的快適域推奨値⁵¹⁾
(文献を参照し筆者にて作成)

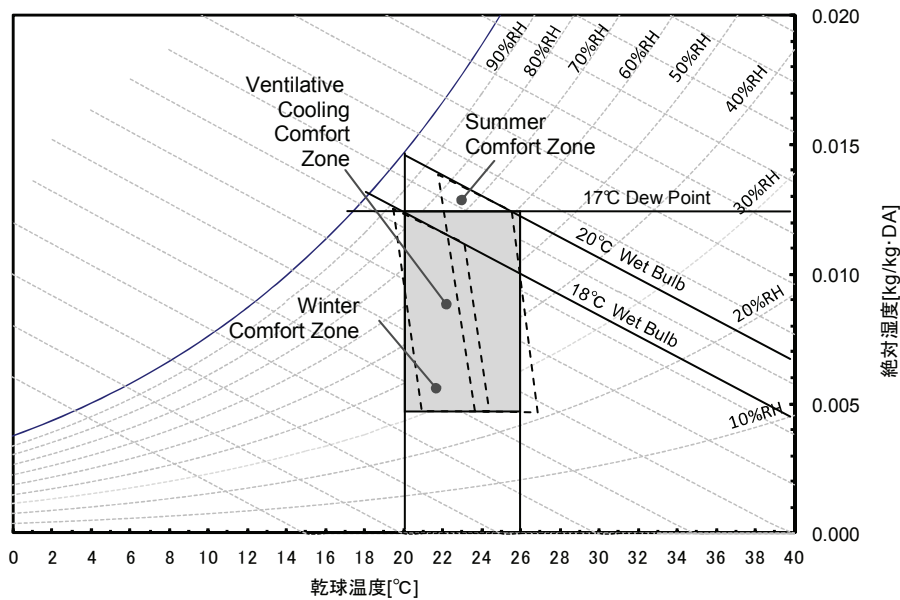


図 1-11 ASHRAE の室内快適域と自然換気時の室内快適範囲の比較³⁰⁾
(文献を参照し筆者にて作成)

Axley³⁰⁾は、自然換気時の快適域を外気導入時の適応範囲と同様とみなし、外気温 20°C以上 26°C以下、露点温度 17°C以下を至適外気範囲と定義している。ナイトページでは外気温 26°C以下、露点温度 17°C以下としている。ただし、adaptive model が適用可能な自然換気ビルにおいて気流を個人で調整できる場合は、快適域の上限温度は 2~5°Cの範囲で変化する可能性があり、湿度の上限も気流の調整により緩和することができると述べている。図 1-11 に ASHRAE の室内快適域と Axley が提唱する自然換気時の室内快適範囲の比較を示す。外気量が多くなると外気状態と室内状態が近くなるため、室内快適域を外気導入条件と一致させることは安全側といえる。しかし、内部発熱等を考慮すれば外気温度の下限値を下げることも可能であると考えられ、自然換気時間数の確保も考慮に入れる必要があるため換気口開放条

件である外気導入条件については検討が必要である。換気口開放条件に関して 3 章で詳しく述べる。

1. 2. 10 現行の自然換気シミュレーションツール概要

自然換気システムに関するシミュレーションツールはさまざまな商用ツールや無償で利用できるツールが存在する。これらのツールを使用すれば、ある建物モデルに対する自然換気量や室温変動などを時間毎に求める事は容易である。しかし、設計ツールとして用いる場合に重要なのは、得られた結果を用いて設計を最適化する手法である。既に存在するシステムモデルの性能評価と新しいシステムの最適設計は目的が異なるため、性能評価として得られた結果を設計に反映する手順が重要となる。

自然換気に関連するシミュレーションツールは多数存在するが、ここでは主要なツールと思われるものに限定して、その概要を述べる。

[換気回路網計算]

建物内の空間や建材を熱性能の情報を持たせた質点（ノード）で代表させ、伝熱や抵抗で繋ぐことで相互の影響を計算し、ベルヌーイの式、熱平衡式及び流量保存式を用いた繰り返し計算により各質点での温度と室圧の状態を求めている。代表的なツールとしては VentSim, Nets がある。簡易な多数室換気の検討が可能であり、計算対象ゾーンを 1 点で代表させるため計算負荷は小さい。年間計算を短時間で実行できるために設計ツールとして広く用いられている。

[CFD (computational fluid dynamics)]

Navier-Stokes 方程式を基本として、詳細な室内気流を分析するときに用いられる。入力条件が複雑であり、各種の設定条件や境界条件の設定に詳しいユーザーに限定される。また詳細な建物モデルが必要となり、作成に時間がかかる。この点に関しては 3 次元 CAD である Building Information Modeling (BIM) と連携した CFD ツールの開発が進められているなど改善が図られている。しかし、CFD を扱うための技術者の専門性や期間評価の難しさなどの問題点は解決していない。このような特徴から CFD に関しては実施設計段階や部分的な詳細、室内の温度・気流分布を検討するためのツールとして適しているといえる。

[BEST 専門版 自然換気計算機能^{52,53}]

建物の熱負荷及び設備システムのエネルギーシミュレーションを連成させて解くことができるツールである。様々な設備システムや特殊な技術もシミュレーションすることが可能である。自然換気の計算には換気基本式を用いており、中性帯の位置や風圧係数は固定条件を用いている。計算条件を固定することによって、システム側の入力項目を少なくしている。しかし、自然換気のスケジュールやゼロエナジーバンド設定、許可条件などに関しては細かい設定が可能であり、自然換気口の開口率制御やハイブリッド空調の検討も可能である。こ

のような特徴を活用し、本論文の4章、5章のシミュレーション解析は BEST 専門版にて行っている。

[換気口面積の簡易検討ツール(Loop DA)]

内部発熱と簡易な建築モデルから必要換気口面積を算出するツールである⁵⁴⁾。NIST (アメリカ国立標準技術研究所) により開発され、2012年にHP上で無償で公開された。換気口の設計に特化したツールである。

1.2.11 既往研究のまとめ

本論文で扱う自然換気システムの既往研究調査を行った。自然換気的设计法に関しては、風力換気に関する研究が山中によって行なわれ、各種設計用資料と設計の手順について示されている。また、甲谷により高層集合住宅の内部ボイドの設計手法が示されている。しかし、集合住宅以外の業務用建物における温度差換気や風力と温度差が同時に作用する場合の設計手法に関する研究は少ないことが判明した。基本計画段階でのシステム検討の重要性が細井らによって指摘されているが、この点に関する研究も現在のところ行われていない。また、運用方法に関しては、金らが実物件において手動の自然換気について運用実態を調査し、運用時間が少ない事やその阻害要因について指摘している。その他、海外のガイドラインにおいても複数の運用阻害要因が存在することが示されている。しかし、複数の物件を対象とした詳細な実態調査や定量的なデータ解析を行った研究は見られなかった。

自然換気併用ハイブリッド空調に関しては張、近本、加藤ら、LIMらにより、CFD解析及び実測調査により精緻な研究が行われており、換気口の配置や空調方式による室内温度分布や気流分布については多くの既往研究がある。その他、自然換気の効果を実測によって調査したものは多く見られたが、建物の仕様や自然換気システムが大きく異なっているため、一般化された効果としては評価されていない。

自然換気ポテンシャルに関しては、赤林らによって研究が行なわれており、設計資料として有用な日本全土を対象とした自然換気ポテンシャルマッピングが作成されている。海外においても自然換気ポテンシャルの評価項目に関して様々な研究が行なわれていることが確認できた。自然換気時の温熱環境に関しては、空調時の快適範囲とは異なることが示されており、ASHRAE Standard 55、EN15251でその範囲が示されていた。しかし、これらの基準は冷房設備がない建物を対象としており、本研究で対象としている冷暖房を完備した自然換気導入建物への直接の適応は難しいと思われた。また、回帰式の算出方法に関して中野らが問題点を指摘しており、日本という蒸暑地域への適用が可能であるかは確認されていないことが判明した。

自然換気システムの検討ツールに関しては、現在は換気回路網、CFDに加え、BEST 専門版などのツール開発も行なわれていることが分かった。また、海外において LOOP-DA とい

う必要換気口面積計算ツールが開発されていた。しかし、必要換気口面積の決定方法や設計へのフィードバック方法については精査が必要であると思われた。

以上のような既往研究を踏まえ、本研究で取り組む課題と研究方法について次節で述べる。

1.3 研究の目的

研究の背景で述べたように、コミッショニングの重要性が増している社会的背景において、環境配慮手法として注目が高まっている自然換気システムの持続的活用法について検討することは重要と考える。また、既往の研究では、自然換気システムの運用阻害要因の存在は指摘されているが、運用実態や阻害要因と設計との関連性を詳細に調査した研究はみられない。自然換気システムの設計に関しては、既往の研究においても基本計画段階でのシステム検討と建築計画への反映についての重要性が指摘されており、各種の簡易設計法が提案されているが、実務に使える一般化された設計手法には至っていない。この点を考慮した、計画初期段階で利用可能な工学的に根拠のある設計手法が必要であると言える。また、国内においては地域別の自然換気ポテンシャルに関する研究は見られるものの、日本という蒸暑地域における自然換気のあり方を研究した例は少ない。よって、計画初期から運用段階の全てのフェーズに関して、蒸暑地域としての日本の気候について配慮する必要があると考えられる。これまで述べた背景と既往研究を踏まえ、本研究では、自然換気システムの運用実態を把握し、問題点を整理した上で、阻害要因により運用を中止されることなく持続的に活用されるための設計法及び運用法の提案を目的とする。また、以下の3点を研究目的に至るための重要なテーマとして設定する。なお、本研究における自然換気システムとは、単なる窓開け換気ではなく、吹き抜けやソーラーチムニーなどの自然換気を促進する仕組みを組み合わせ、自然換気により中間期の空調負荷を低減することを目的として設計されたシステムと定義している。

- 1) 自然換気システムの運用実態と設計意図の把握
- 2) 蒸暑地域において持続的に活用されるための設計法と運用法の提案
- 3) 提案した設計法及び運用法の実務設計におけるケーススタディ

1.4 研究の方法

本研究では、自然換気システムが持続的に活用されるための運用法及び設計法を明らかにするため、アンケート調査やヒアリング調査、BEMS データ解析などを中心とした多くの物件を多方面から調査した運用実態調査を行う。また、建築的要素へのアプローチとして温度差換気を利用した自然換気における必要換気口面積検討法の提案を行う。更に、自然換気併用空調システムの設計用資料の整備として BEST 専門版を用いたシミュレーション解析、実設計物件のケーススタディ分析を行う。

自然換気システムの運用実態調査に関しては実物件を対象とし、設計者と運用管理者に対するヒアリング調査・アンケート調査を行う。特に重要と思われる物件に関しては設計者や運用管理者に対して直接ヒアリングを行い、BEMS データなどの運用データを含む詳細な資料を収集する。更に運用阻害要因が確認された一部の物件に対しては、利用者へのアンケート調査や実測調査を行う。収集した運用データをもとに、設計時の想定と実際の運用の差について分析を行い、運用阻害要因の抽出と設計・運用へのフィードバックについて検討する。次に、設計者アンケート及び文献調査をもとに 42 物件の自然換気口の開放条件を整理して分類化を試みる。蒸暑地域である日本では、外気温度に加え外気露点温度やエンタルピー比較など湿度や潜熱も考慮した複数の判断条件が必要となる。よって、分類化を行った開放条件の各タイプの特徴を把握するため、東京の気象データを用いて、①自然換気時間数、②換気口の平均開放時間としての連続性、③導入する外気の質という 3 つを算出し、各タイプの結果を比較した。具体的には標準年アメダス気象データ（2000 年版）の 1 時間データを用いて、各開放条件時の自然換気時間数や平均連続開放時間数を算出し、導入外気の温湿度状態を分析する。次に、建物で使われている換気口の種類と特徴を把握するため、自然換気口メーカーへのアンケート調査を行い、換気口選択の範囲と運用阻害要因へ繋がる可能性のある特性について整理する。以上の実態調査を踏まえ、計画初期段階における建築的要素の設計に関する検討を行う。計画初期段階において最も必要な情報としては自然換気口の必要面積であると想定し、中間期における室負荷の分布と温度差換気式を代入した熱平衡式から簡易に必要な換気口面積を予測する「1 次予測法」を提案する。1 次予測法における精度検証は建築物総合シミュレーションツール The BEST Program 専門版（以下 BEST 専門版と呼ぶ）を用いて行う。「1 次予測法」を用いて算出した必要換気口面積を設定したモデル建物において BEST 専門版を使用して自然換気による負荷削減効果のケーススタディを行う。また、空調的要素への基本設計法の検討として、BEST 専門版によるシミュレーション解析によって自然換気による空調消費エネルギーの削減量や適した空調システムや制御法について考察する。詳細の研究手法については 2 章以降で述べる。

1.5 本論文の構成

本論文は7章から構成されている。1章では、自然換気を取り巻く社会的背景を確認し、環境配慮手法・ZEB化手法としての自然換気システムへの期待、コミッショニングによる運用最適化の重要性、高气密・高断熱化を背景とした自然換気による中間期の負荷削減効果の可能性などを示した。2章では、自然換気の運用実態の把握を目的として設計者アンケート調査、管理者アンケート調査、ヒアリング調査、実運用データの分析などを行い、自然換気システムの運用情報と設計意図を把握する。それらの実運用情報を分析し、自然換気システムの運用阻害要因を明確にすることを試みる。3章では運用実態調査で明らかになった自然換気口の開放のタイミングと開放判断条件の重要性に対して、アンケート調査と文献調査より自然換気口の開放条件を収集・分類し、日本という蒸暑地域特有の開放条件について示す。また、標準年アメダス気象データ（2000年版）を用いて、開放条件やその設定値の影響について評価を行い、換気窓の開放のタイミングに関して設計上、運用上の指針となる情報を示す。4章では主に換気経路や自然換気口に関して、計画初期段階を想定した設計法の検討を行う。地域別の自然換気の優位性、換気経路の検討手法など、計画初期段階において有用性のある設計資料の作成を試みる。更に必要自然換気口面積に関しては、熱平衡式を利用して簡易に必要な自然換気口面積を予測できる「1次予測法」の提案を行う。5章では、4章で示した建築的要素の設計法を用いてモデル建物を決定し、BEST 専門版におけるシミュレーションを用いて自然換気併用空調システムの特性について検討する。空調機による外気冷房や居住域空調を対象とし、室内環境の維持と自然換気システムの省エネルギー効果を両立させるための設計上の留意点や制御法について明らかにする。6章では筆者が設計・実測に関わった自然換気物件について、運用に配慮した設計やコミッショニング事例を示す。これらの物件は1物件を除いて1章のアンケート調査後に竣工した物件であり、コミッショニングの手法や手動換気口の運用についての最新の実情を示している。7章では総括として、本研究で得られた知見と今後の課題について述べている。

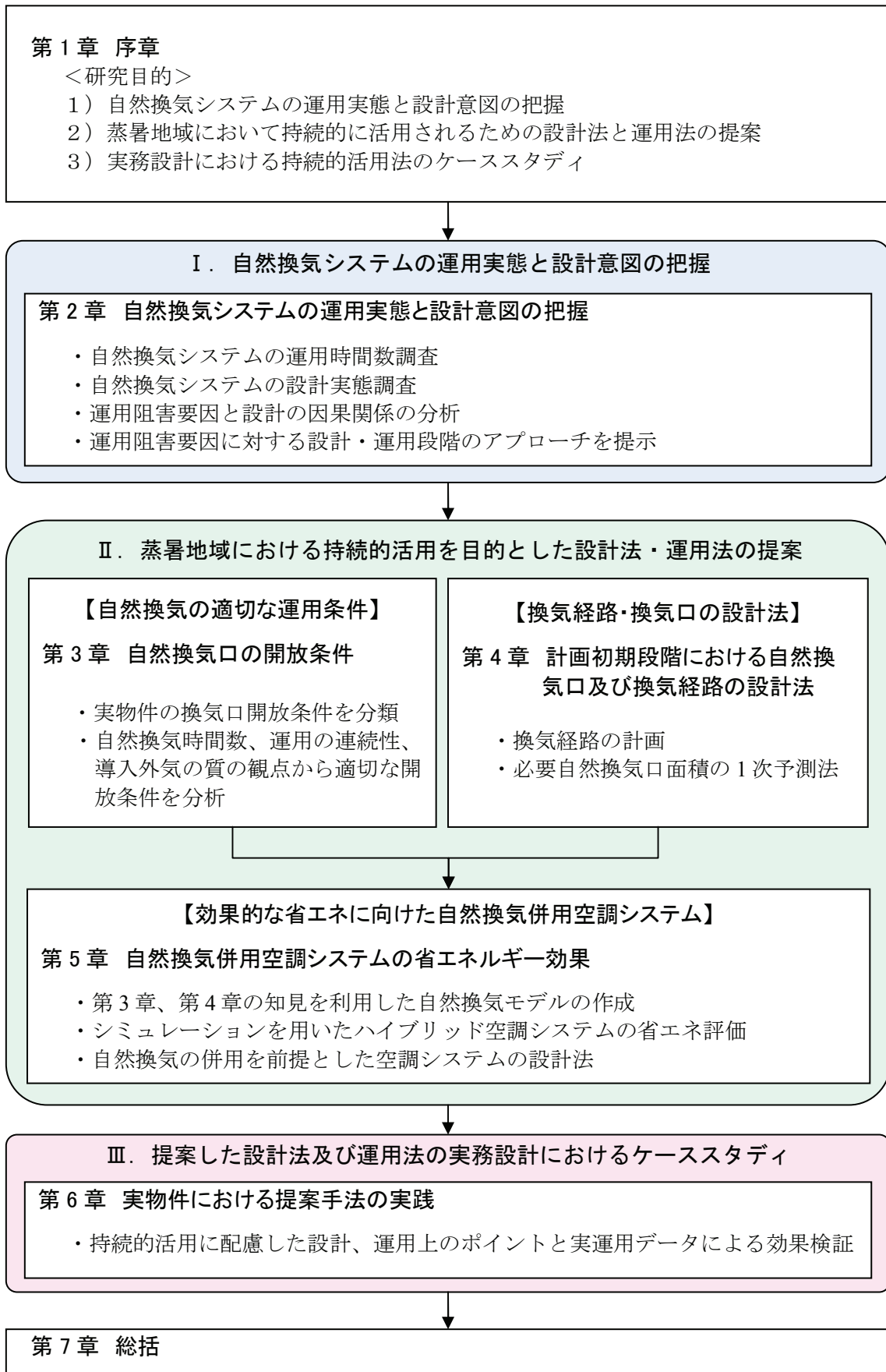


図 1-12 本論文の構成

1.6 本論文で取り扱う自然換気システムの範囲

1.6.1 換気による冷房システムと本論文で扱う自然換気システム

一般的に自然換気といえば、通常の窓開けから最適な外気条件で自動開閉するような高度なシステムまで幅広い範囲を意味するが、本論文では一般の窓開けではなく、吹き抜けや排気窓などを組み合わせることで自然換気駆動力を確保し、自然換気をコントロール可能なように設計された高度な自然換気システムを検討対象とする。また、本論文では空調設備が導入されていることを前提として自然換気と空調システムとの関係性についても検討するため、その検討範囲について整理する必要がある。換気による冷房効果を利用したシステムと各章での対応を表 1-5 に示す。2 章の実態調査及び 3 章の自然換気口の開放条件調査では自然換気システム全体と調査対象とし、4 章・5 章ではシステムを限定して詳細検討を行う。なお、本論文の 4 章以降では、焦点を絞った検討を行うため、温度差換気を主な対象とし、外気風のみを換気駆動力とする風力換気は検討対象としない。

表 1-5 換気による冷房システムと本論文で扱う自然換気システムの対応表

No.	換気による冷房システム	2,3 章 調査 対象	4 章 検討 対象	5 章 検討 対象
1	一般的な窓開け（空調停止）	—	—	—
2	空気質確保を目的とした自然換気システム（空調停止）	○	—	—
3	温熱環境の制御を目的とした自然換気システム（空調停止）	○	○	○
4	WC等の排気ファンによる2種/3種換気システム（空調停止）	—	—	—
5	シーリングファン併用の自然換気システム（空調停止）	○	○	—
6	アシストファン併用の自然換気システム（空調停止）	○	○	—
7	空調機/外調機による送風運転と併用した自然換気システム	○	○	○
8	空調機送風運転+還気混合と併用した自然換気システム	○	—	—
9	放射パネル併用の自然換気システム	○	—	—
10	予冷コイル併用の自然換気システム（空調停止）	—	—	—
11	空調機/外調機による外気処理運転と併用した自然換気システム	○	○	○
12	空調機による居住域空調併用の自然換気システム	○	○	○
13	空調機送風運転と還気混合（自然換気なし）	—	—	—
14	空調機/外調機によるコイル併用の最大外気運転（自然換気なし）	—	—	—
15	データセンター空調など高負荷建物に対する高度な外気利用	—	—	—

○：検討対象とするシステム

1.6.2 換気による冷房システムの概要

表 1-5 で示した換気による冷房システムの概要を以下に示す。ハイブリッド空調の考え方やシステムの詳細は5章で述べる。

(1) 一般的な窓開け

図 1-13 に示すように、開放可能な窓のみを設け、換気駆動力を確保する設計的な工夫を特に行っていない方式。

(2) 空気質確保を目的とした自然換気システム

通常の機械換気を自然換気で代替することを目的としており、比較的少ない換気回数を目標として設計された方式。また、吹き抜けや排気窓などを組み合わせることで自然換気駆動力を確保し、自然換気をコントロール可能なように設計された自然換気システムが導入されている。システム例を図 1-14 に示す。

(3) 温熱環境の制御を目的とした自然換気システム

自然換気によって冷房室負荷を除去し、空調機を停止することを目的とした自然換気システム。本論文で特に重要な検討対象とするシステムである。空気質確保を目的とした場合と比較して、省エネルギー効果は大きい換気量が多く必要となり設計の難易度が高い。システム例としては図 1-14 となる。

(4) WC等の排気ファンによる2種/3種換気システム

外壁に開口部を設け、換気駆動力はファンのみを利用する方式。一般的には機械換気に分類され、2種換気、3種換気と呼ばれる。(図 1-15)

(5) シーリングファン併用の自然換気システム

自然換気中に気流感を増加させることで執務者の快適性に配慮した方式。(図 1-16)

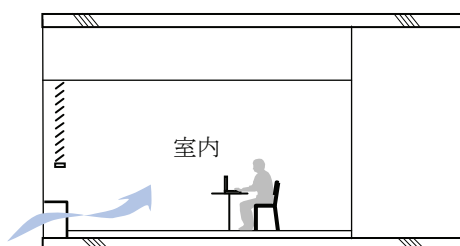


図 1-13 一般的な窓開け

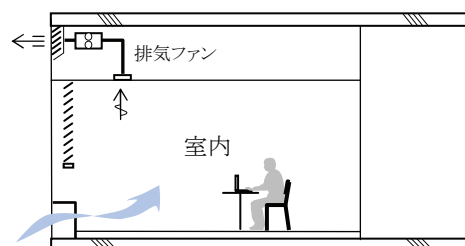


図 1-15 3種換気システム

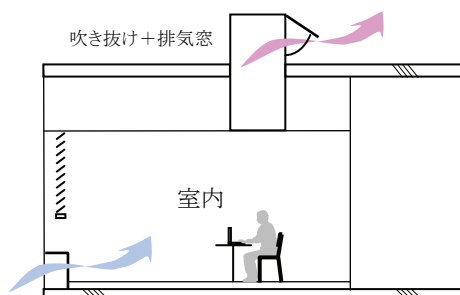


図 1-14 自然換気システム例

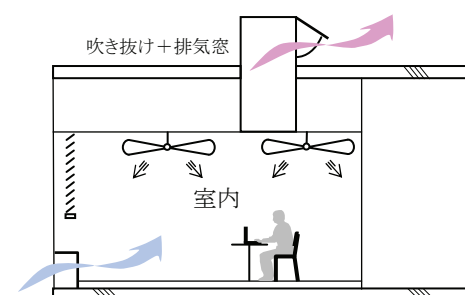


図 1-16 シーリングファン併用

(6) アシストファン併用の自然換気システム

外気の風向・風速の変化によって自然換気駆動力が不足する場合に、アシストファンを併用させて換気駆動力を補助する方式。自然換気経路として利用されているボイドやシャフト内にファンが設置されることが多い。ハイブリッド換気の1種である。(図 1-17)

(7) 空調機／外調機による送風運転と併用した自然換気システム

空調機内のファンを利用して外気を直接室内に導入する送風運転と自然換気を併用した方式。(図 1-18) 空調機のコイルには冷温水を供給しないため熱源の消費エネルギーを削減することが可能であるが、室内外温度差が小さい場合はファンの消費電力が増加する場合もある。

(8) 空調機送風運転+還気混合と併用した自然換気システム

自然換気に加え、空調機内のファンを利用して外気を直接室内に導入するが、吹き出し温度を調整するために一部還気と混合させて吹き出すように制御する方式。(図 1-19) 空調機内のコイルを停止し、熱源の消費エネルギーを削減することが可能である。還気混合は、外気温度が低い場合にコールドドラフトの問題を回避するための制御であり、送風運転時間を最大限確保することで熱源消費エネルギーを最小化することが目的であるが、空調機のファン消費電力が増加する場合がある。

(9) 放射パネル併用の自然換気システム

自然換気のみで処理しきれない負荷を放射空調で処理する方式。(図 1-20) 湿度調整をしていない外気を導入するためパネル面での結露のリスクがある。

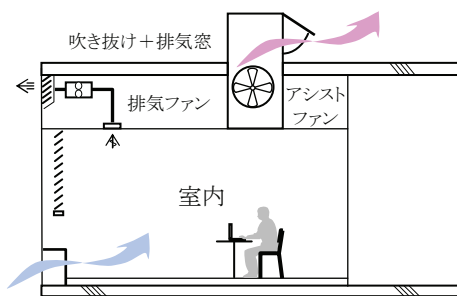


図 1-17 アシストファン併用

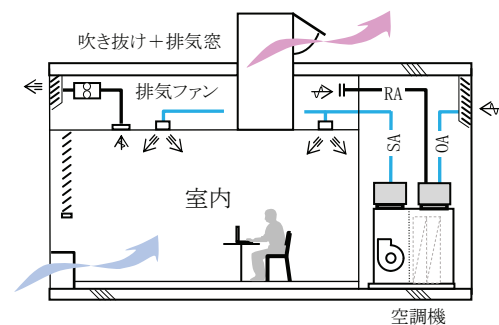


図 1-19 空調機送風運転と還気混合の併用

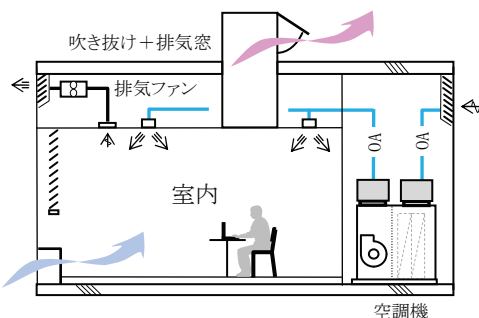


図 1-18 空調機送風運転との併用

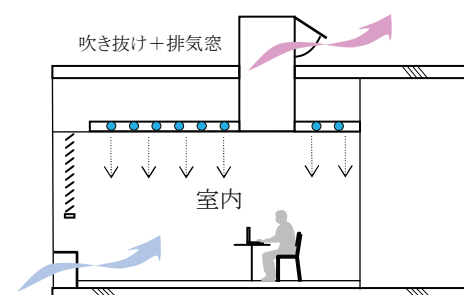


図 1-20 放射パネル併用

(10) 予冷コイル併用の自然換気システム

自然換気の外気導入経路に設けられた予冷コイルにより外気を予冷して室内に導入する方式。(図 1-21) 自然換気駆動力により外気を導入し、予冷コイルには井水などが利用される事例が多い。欧米での採用が多く、国内の事例は比較的少ない。

(11) 空調機/外調機による外気処理運転と併用した自然換気システム

自然換気に加え、外気導入有効時には必要換気量以上の外気量を導入し、コイル等で設定給気温度に調整して送風する外気冷房システムと自然換気を併用した方式。(図 1-22) 一般的に空調機制御における外気冷房制御と呼ばれるものである。

(12) 空調機による居住域空調併用の自然換気システム

大空間やタスクアンビエント空調を導入した空間に対して、居住域のみを空調機にて空調を行い、それ以外の非居住域の熱溜りを自然換気により排気する方式。(図 1-23) アトリウムにおける居住域空調と自然換気の併用が一般的であるが、オフィスの専用部に導入されている事例もある。

(13) 空調機送風運転と還気混合

空調機内のファンを利用して外気を直接室内に導入し、吹き出し温度を調整するために一部還気と混合させて吹き出す方式。(図 1-24) 自然換気は併用しない方式であり、空調機制御における送風運転に加え還気混合制御を行うものである。熱源の消費エネルギーは削減されるが空調機のファン消費電力は増加する。

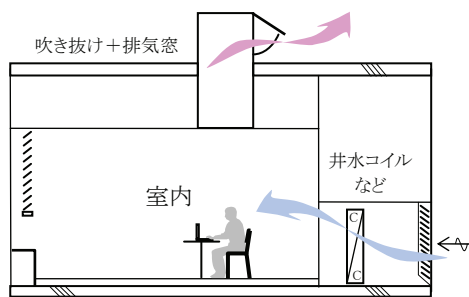


図 1-21 予冷コイル併用

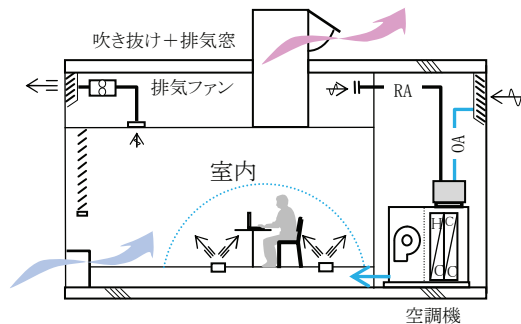


図 1-23 居住域空調との併用

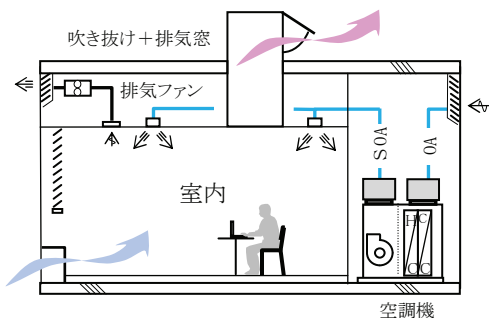


図 1-22 空調機の外気処理運転との併用

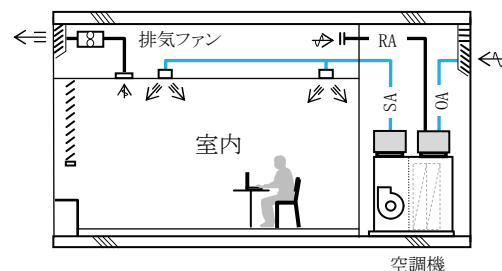


図 1-24 空調機送風運転と還気混合

(14) 空調機／外調機によるコイル併用の最大外気運転

自然換気は行わず、空調機制御における外気冷房制御を行う方式。(図 1-25)

(15) データセンター空調など高負荷建物に対する高度な外気利用

年間冷房で内部発熱が非常に大きいデータセンターなどを対象とし、外気の冷熱ポテンシャルや内部発熱の換気駆動力利用によりサーバー空調の効率を最大化する方式(図 1-26)

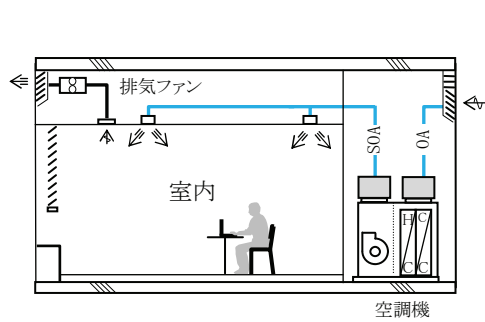


図 1-25 空調機運転

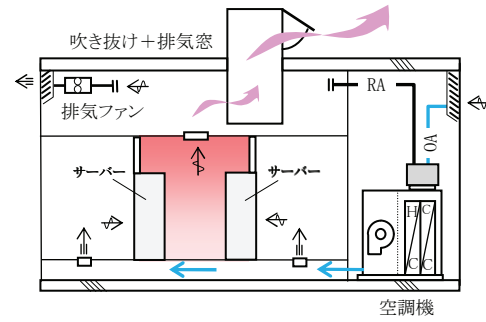


図 1-26 データセンター空調の外気冷房

参考文献

- 1) 石原正雄：環境調整の技術史(2)—環境の技術(1), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 計画系(17), pp.93-96, 1977-05-02
- 2) Robert Bruegmann, Central Heating and Forced Ventilation: Origins and Effects on Architectural Design, Journal of the Society of Architectural Historians, Vol.37 No. 3, pp. 143-160, Oct., 1978.
- 3) 井上宇市：建築設備と私, 丸善出版, pp.136-143, 1989
- 4) 出典：Wikipedia：サッポロファクトリー 2017/1/19
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sapporo_Factory1.JPG?uselang=ja)
- 5) 新建築 1993年6月号, 新建築社 pp.293-298
- 6) 出典：Wikipedia：新潟県庁舎 2017/1/19
(<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%96%B0%E6%BD%9F%E7%9C%8C%E5%BA%81>)
- 7) 牧村, 近藤：高層ビルにおける光庭の建築環境効果, 空気調和・衛生工学会 第60巻第9号, pp.55-67, 1986年9月
- 8) 船津正義：気まぐれな外気を生かす, 日経アーキテクチュア, pp.86-92, 2003.7
- 9) ZEB 実現と展開に関する研究会 ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) の実現と展開について ～2030年でのZEB達成に向けて～, 経済産業省, 平成21年11月, p.20
- 10) USGBC: LEED Reference Guide for Building Design and Construction LEED v4, 2013.11
- 11) 一般社団法人 日本サステナブル建築協会編：建築環境総合性能評価システム CASBEE-新築(簡易版) 評価マニュアル(2010年版), pp.60, 2010
- 12) 東京都環境局：総量削減義務と排出量取引制度における優良特定地球温暖化対策事業所の認定ガイドライン(第一区分事業所 第二計画期間版), pp.94, 2016.4,
- 13) 国立研究開発法人 建築研究所：第11回専門紙記者懇談会資料 住宅・建築物省 CO2 先導事業5年間の技術動向について
- 14) ASHRAE Guideline 1-1996: The HVAC Commissioning Process, 1996.6
- 15) 建物のLCA指針 環境適合設計・環境ラベリング・環境会計への応用に向けて, 日本建築学会, pp.3, 2006.11
- 16) ハイブリッド換気の原理, 建築環境・省エネルギー機構, pp.25, 2003.3
- 17) Maria Kolokotroni, Per Heiselberg, et al. : Ventilative Cooling STATE-OF-THE-ART-REVIEW, IEA-EBC Programme -Annex62 Ventilative Cooling.
- 18) Steven J. Emmerich, Brian Polidoro, James W. Axley. 2011. Impact of adaptive thermal comfort on, climatic suitability of natural ventilation in office buildings. Energy and Buildings 43 (2011) pp.2101-2107.
- 19) Artmann N, H.Manz, P. Heiselberg P, 2007. Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe. Applied Energy, 84(2), pp. 187-201.

- 20) Erik L. Olsen, Qinyan (Yan) Chen. Energy consumption and comfort analysis for different lowenergy cooling systems in a mild climate. *Energy and Buildings* 35 (2003) 561–571.
- 21) C. Ghiaus, Allard, M. Santamouris, C. Georgakis, F. Nicol. Urban environment Influence on natural ventilation potential. *Building and Environment*, 41(4),pp. 395-406, 2006.
- 22) F. Nicol, M. Wilson, The effect of street dimensions and traffic density on the noise level and natural ventilation potential in urban canyons, *Energy and Buildings*, Volume 36, Issue 5, May 2004, pp. 423-434.
- 23) H. J. L. M. L. M. Djunaedy E., "Selecting an appropriate tool for airflow simulation in buildings,"*Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 25, no. 3, pp. 269-278, 2004.
- 24) 山中俊夫, 自然風の乱れを考慮した風力換気計画法に関する研究, 大阪大学博士論文, 1994-02
- 25) 甲谷 寿史, 高層集合住宅のボイド内自然換気計画に関する研究, 大阪大学博士論文, 2003-01
- 26) 細井昭憲, 須永修通, 宮本麻理子, 成田樹昭: 建物の熱性能が自然通風の有効性におよぼす影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 588 号, pp.27-34, 2005-02
- 27) 峯岸良和, 煙突効果の利用と制御・避難安全性から見た開放型アトリウムの設計手法, 早稲田大学博士論文, 2010-02
- 28) 一般社団法人 日本建築学会編 技報堂出版: 実務者のための自然換気設計ハンドブック, 2013.09
- 29) Tommy Kleiven, *Natural Ventilation in Buildings Architectural concepts, consequences and possibilities*, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, History and Technolog, March 2003.
- 30) Axley, J.W. *Application of Natural Ventilation for U.S. Commercial Buildings – Climate Suitability, Design Strategies & Methods, and Modeling Studies*. GCR-01-820, National Institute of Standards and Technology. pp.15, 2001.
- 31) *Natural Ventilation in non-domestic buildings*, CIBSE Applicatin Manual AM10:CIBSE, 2005.
- 32) 張 賢在, 加藤信介ら: オフィスにおける自然換気併用ハイブリッド空調に関する研究 (第 1 報) タスク・アンビエント型ハイブリッド空調方式とその省エネルギー効果に対する外気条件の影響, 空気調和・衛生工学会論文集, No.83(2001-10), pp.81-90
- 33) 張 賢在, 加藤信介ら: オフィスにおける自然換気併用ハイブリッド空調に関する研究 (第 2 報) 各種設定条件が室内環境と期間のエネルギー使用に与える影響, 空気調和・衛生工学会論文集, No.88(2003-1), pp.63-72
- 34) LIM EUNSU, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, 杭瀬真知子, 山際将司, 堀川晋: 自然換気併用空調を有するオフィス室内における温熱・空気環境形成メカニズム, 空気調和・衛生工学会論文集, No.141(2008-12), pp.19-27

- 35) Mixed Mode Ventilation Application Manual AM13 : CIBSE, 2000.
- 36) 三坂育正, 樋口祥明, 高橋紀行, 迫博司, 高井啓明, 半澤久: 自然換気・ナイトパーシシステムを導入した事務所ビルにおける省エネルギー効果の予測と実測評価, 空気調和・衛生工学会論文集, No.82(2001-7), pp.39-48
- 37) 水出喜太郎, 石野久彌, 郡公子, 永田明寛, 長井達夫, 大高一博, 大原千幸: 自然換気・シーリングファンを併用した空調換気システムの制御手法と性能評価に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 604 号, pp.69-76, 2006
- 38) 三浦克弘, 武政祐一, 吉田治典: 自然換気併用空調システムがもたらす空調負荷削減効果と室内環境に与える影響の評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 660 号, pp.159-168, 2011
- 39) 安永龍一, 坂本知也, 白石靖幸, 打川芳恵, 中村靖: オフィスビルにおける自然換気併用空調システムの性能検証: 第 1 報-個別分散空調制御を再現した定常 CFD 解析による検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.193(2013-4), pp.9-17
- 40) 細井昭憲, 成田樹昭, 須永修通: 自然通風の温熱快適性に基づく制御方法と省エネルギー効果, 日本建築学会環境系論文集, 第 577 号, pp.7-12, 2004-03
- 41) 金 政秀, 川口 知真, 田辺 新一: 執務者による自然換気窓の開閉行為に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 643, pp.75-82, 2009
- 42) 趙 晟佑: 校舎建築の自然換気システムにおけるソーラーチムニーの性能予測に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 537 号, pp.37-42, 2000.11
- 43) 樋山恭助, 加藤信介, 高橋岳生, 河野良坪: 開口面積比及び開口位置関係が通風時気流性状に与える影響の分析, 日本建築学会環境系論文集, 第 596 号, pp.21-27, 2005-10
- 44) 赤林 伸一, 佐々木 淑貴, 坂口 淳, 富永 禎秀: 通風性能の定量的評価手法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 568 号, pp.49-56, 2003.6
- 45) L. Yang, G. Zhang, Y. Li, Y. Chen, Investigating potential of natural driving forces for ventilation in four major cities in China. Building and Environment, Volume 40, Issue 6, pp. 738–746, 2005.7.
- 46) Z. Luo, J. Zhao, J. Gao, L. He, Estimating natural-ventilation potential considering both thermal comfort and IAQ issues, Building and Environment, Volume 42, Issue 6, pp.2289–2298, 2007.7
- 47) W. Yin, G. Zhang, W. Yang, X. Wang, Natural ventilation potential model considering solution multiplicity, window opening percentage, air velocity and humidity in China, Building and Environment, Volume 45, Issue 2, pp. 338–344, February 2010.2.
- 48) 中野 淳太, 田辺 新一: 半屋外環境の熱的快適性に関する考察: 一温熱環境適応研究の日本における温熱環境計画への応用とその課題一, 日本建築学会環境系論文集 第 701 号, 597-606, 2014

- 49) ASHRAE : ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE, 2013.
- 50) R.J.de Dear and G.S.Barger, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, 104, 1A, pp.145-167, 1998.
- 51) CEN:EN 15251 Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings – Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lightin and Acoustics, Comite Europe en de Normalisation, 2007.
- 52) 郡 公子, 村上周三, 石野久彌 : 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発 (その 132) 自然換気制御の計算法, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 5 巻 pp9-12, 2014.8
- 53) 郡 公子, 村上周三, 石野久彌 : 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発 (その 158) 解法に応じた自然換気制御の想定法, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.21-24, 2015.8
- 54) Steven Emmerich, William Stuart Dols, Brian J. Polidoro: Application of A Natural Ventilation System Design Tool to A School Building, Conference Paper: SimBuild 2012, Fifth National Conference of IBPSA-USA, At Madison, Wisconsin,

第2章

自然換気システムの運用実態と 設計意図の把握

第2章

自然換気システムの運用実態と設計意図の把握

2.1 本章の目的

研究の背景で述べたように、近年において自然換気システムの運用が停止された事例¹⁾や運用阻害要因の存在が報告されている^{2)~4)}。具体的な運用阻害要因として外気からの粉塵の侵入⁵⁾や外気による室内湿度の変動⁶⁾、九州における降灰⁷⁾の影響などが報告されているが、自然換気システムが導入された建物における運用の難しさについて体系的に調査した研究は見られない。そこで本章では、日本全国の自然換気システム導入建物を対象とし、広くアンケート・ヒアリング調査、実運用データ解析を行くことによって、自然換気システムの設計と運用実態の現状を明らかにすることを目的とする。

2.2 運用実態調査の方法

2章における研究フローを図2-1に示す。自然換気システムの設計の現状を把握するために設備設計者を対象としたアンケート・ヒアリング調査を行い、計72物件の回答を得た。また、運用者の意識や発生した苦情とその対応について把握するために19物件について管理者アンケート・ヒアリング調査・実運用データ解析を行った。更にBEMSデータの解析によって自然換気の運用時間数の経緯を調査し、実際に問題が発生していた物件について騒音実測調査を行った。

運用実態調査は2005年7月から2006年1月末の期間で行い、対象物件については用途・規模などの制限は設けず、自然換気システムが成立している物件を広く調査することで用途・規模・所在地による設計の傾向を把握することとした。なお、ヒアリング・アンケート調査を行った物件については可能な限り現地調査を行った。

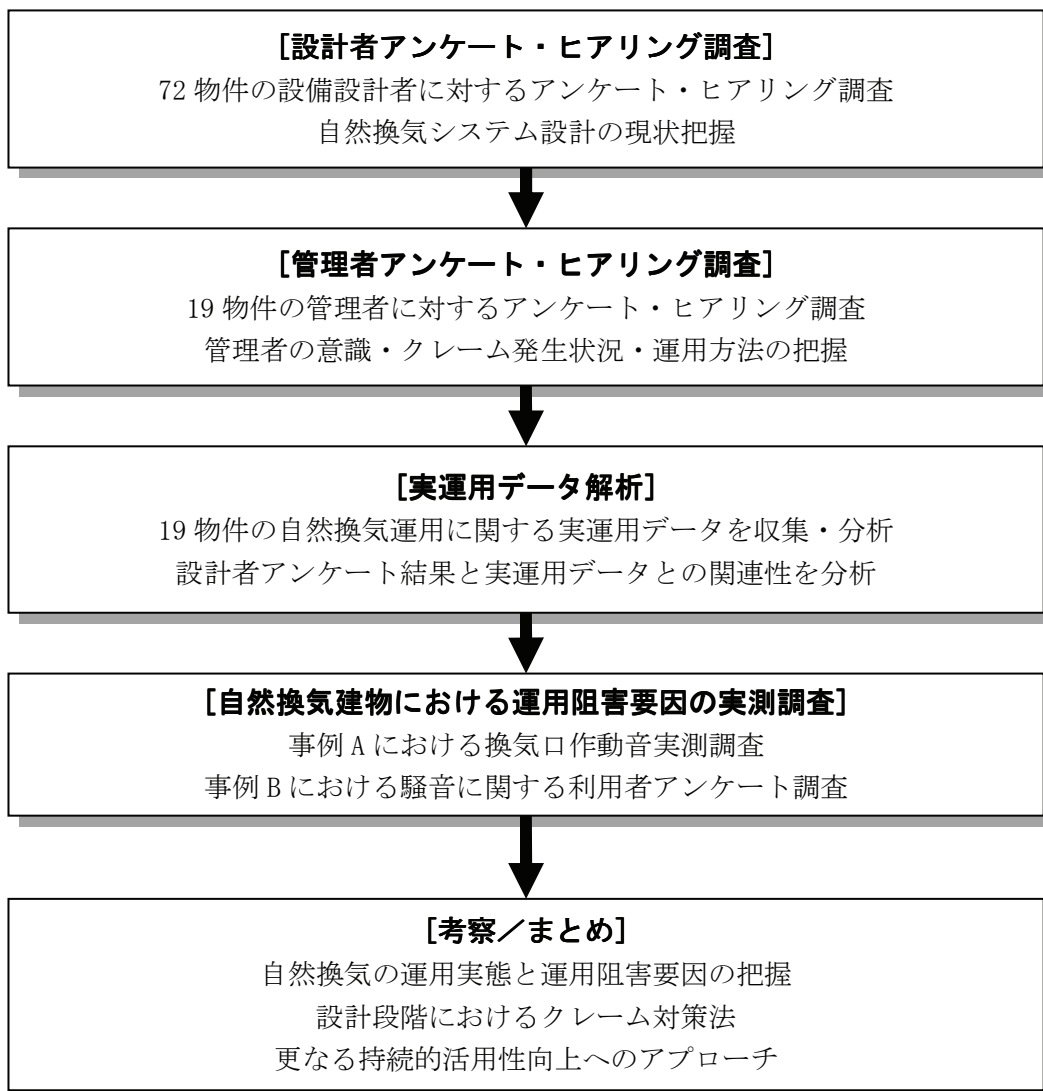


図 2-1 2 章の研究フロー

2. 3 設計者アンケート・ヒアリング調査

2. 3. 1 設計者アンケート・ヒアリング調査方法

設計者アンケート調査は 2005 年 7 月から 12 月末の期間で行った。設計者アンケート票を作成するため、「建物概要」「システム詳細」「設計意図」「運用に対する工夫」「実際の運用」などの調査項目を整理し、著名な自然換気導入建物 18 建物の設備設計者に対してヒアリング調査を行った。ヒアリング結果を基に調査項目の修正・追加等をしたものをアンケート調査票としてまとめた。アンケート調査票の構成について表 2-1 に示す。回答物件数を増やすために回答物件を指定する形式と設備設計者が今までに設計した物件から自ら選択して回答する形式を設けた。次に、雑誌²⁾・論文等から選出した 135 建物の設計者 135 名と、

総合建設業 9 社、設計事務所 5 社に属する設計者 106 名、計 241 名に郵送とメールによる調査を行った。74 名からアンケートを回収し、回収率は 31%であった。そのうち建物が重複したものや本研究で対象とした自然換気システムに該当しない回答を除き、54 建物のデータを得た。その結果、ヒアリングとアンケート調査からデータ数は、計 72 建物となった。

表 2-1 設計者アンケート質問項目

構成	質問項目
I. 建物概要	Q1 物件名
	Q2 建物概要（用途・竣工年・延床面積・階数・所在地）
	Q3 周辺環境
II. 自然換気概要	Q4 自然換気システム導入理由
	Q5 設計時に想定した自然換気の運転時間と省エネルギー効果
	Q6 自然換気システムの換気駆動力
	Q7 自然換気対象空間の用途
	Q8 自然換気対象空間の利用者とその環境意識
	Q9 自然換気の換気経路
III. 外気導入・制御方法	Q10 外気導入方法
	Q11 換気口の開閉機構、制御方法、制御条件
	Q12 制御の区画割
	Q13 換気口の開口面積
	Q14 外気導入・制御方法の採用理由
IV. 機械空調	Q15 空調設備
	Q16 機械空調と自然換気の運用法
V. 問題に対する対策	Q17 運用時に想定される問題に対する対策 （ほこり、夜間の虫の侵入、花粉、雨水の吹き込み、外からの作動騒音、換気口の音、プライバシー、風切り音、突風、ドラフト、換気口からの熱気・冷気の進入、居住域最上階の温度上昇、結露・湿潤・乾燥、外からの におい、制御の手間、メンテナンス、その他）
	Q18 Q17のうち特に重要視した項目
VI. 実際の運用	Q19 現在の運転状況
	Q20 竣工1年目と現在の自然換気運転時間の変化
	Q21 運転時間の増減理由
	Q22 運用後に生じた想定外の問題とそれに対して行った対策
VII. 自由記述	Q23 自然換気的设计・運用に対する意見・感想

アンケート調査によって回答を得た物件概要を表 2-2 に示す。用途はオフィス（自社ビル）・オフィス（テナントビル）・学校・官公庁・研究所・スポーツ施設・病院・商業ビル・住宅・博物館・美術館・ホテル・レジャー施設・その他、に分類を行った。割合としてはオフィス（自社ビル）26.5%、学校 14.7%、官公庁 11.8%、オフィス（テナントビル）10.3%、その他 36.7%であった。オフィスの割合が多い理由としては、オフィスでは暖房負荷に比べ冷房負荷が突出しているため自然換気による自然冷房効果が期待できる点と企業の組織的な環境意識向により導入しやすくなったことが考えられる。テナントビルに関しては居住者の使用法が想定しにくい点と光熱費の関係などから自然換気の導入は難しいとされてきたが、建物の環境性能をビルのブランドとして利用するために自然換気が導入される例が増えてきている。学校はその建物用途からも開閉可能な窓が設置されることも多いが、冷暖房切り替え運転が主であるので冷暖房切り替え期間である中間期の環境維持のため導入される。官公庁はクールビズ・ウォームビズなどを行っている点からも明らかなように環境負荷削減に対して積極的であるため、極力空調機を使用しないことを目的とした自然換気システムが導入されている。大規模スポーツ施設などは自然換気で熱溜りの除去を行うとともに居住域の機械空調を行う例がみられた、大規模な空間の熱溜り除去には自然換気は有効と考えられるが、行われるスポーツによっては競技の妨げになるとの意見もあった。

表 2-2 対象物件概要

No.	物件名	主用途	用途②	竣工年	延床面積(m ²)	地上 []階	地下 []階	所在地
No1.	G 本社ビル	オフィス(自社ビル)		竣工中	10,000	2	1	栃木県
No2.	R 本社ビル	オフィス(自社ビル)		竣工中	16,000	2	0	群馬県
No3.	P 本社ビル	オフィス(自社ビル)		2006	5,000	7	0	東京都
No4.	TB 本社ビル	オフィス(自社ビル)		2006	17,000	6	0	東京都
No5.	T 本社ビル	オフィス(自社ビル)		2004	30,000	7	0	東京都
No6.	K オフィスビル	オフィス(自社ビル)		2004	106,000	41	5	大阪府
No7.	Y オフィスビル	オフィス(自社ビル)	オフィス(テナントビル)	2004	14,000	7	1	香川県
No8.	M 本社ビル	オフィス(自社ビル)		2004	19,000	4	1	千葉県
No9.	S 本社ビル	オフィス(自社ビル)	ホテル	2003	80,000	38	4	東京都
No10.	J 本社ビル	オフィス(自社ビル)		2003	26,000	14	2	東京都
No11.	N 本社ビル	オフィス(自社ビル)	オフィス(テナントビル)	2003	131,000	32	4	東京都
No12.	S 研究所	オフィス(自社ビル)		2003	10,000	6	0	東京都
No13.	KM 本社ビル	オフィス(自社ビル)		2002	9,000	10	1	東京都
No14.	K 本社ビル	オフィス(自社ビル)		1999	5,000	8	2	東京都
No15.	TK オフィスビル	オフィス(自社ビル)		1992	11,000	11	1	福岡県
No16.	SP 本社ビル	オフィス(自社ビル)			43,000	8		東京都
No17.	KA オフィス	オフィス(自社ビル)		2001	470	2	0	埼玉県
No18.	GC 本社ビル	オフィス(自社ビル)		2004	1,100	4		愛知県
No19.	NK 本社ビル	オフィス(自社ビル)		1999	14,300	12	2	東京都
No20.	I オフィスビル	オフィス(テナントビル)		2002	160,000	45	2	東京都
No21.	KK オフィスビル	オフィス(テナントビル)		2002	33,000	19	2	兵庫県
No22.	M オフィスビル	オフィス(テナントビル)		2001	9,000	12	1	香川県
No23.	K 複合施設	オフィス(テナントビル)	商業施設,ホテル,学校	2000	69,000	24	2	山形県
No24.	KN 本社ビル	オフィス(テナントビル)		1999	10,000	4	1	千葉県
No25.	SI オフィスビル	オフィス(テナントビル)		1998	93,000	31	3	東京都
No26.	M オフィスビル	オフィス(テナントビル)		1989	137,000	25	3	東京都
No27.	K 学校	学校		2006	10,000	5	0	東京都
No28.	WRPC 学校	学校		2004	7,000	4	0	埼玉県
No29.	D 学校	学校		2004	27,000	5	1	東京都
No30.	S 学校	学校		2003	35,000	4	0	福岡県早
No31.	都内 某高等学校	学校		2003		5	1	東京都
No32.	KH 学校	学校		2003	42,000	6	0	神奈川県
No33.	N 学校	学校		2002	10,000	7	1	東京都
No34.	私立女子小中高等学校	学校		2001	10,000	4	1	東京都
No35.	K 学校	学校		2001	35,000	4	0	福岡県
No36.	R 学校	学校		1998	52,000	23	3	東京都
No37.	I 庁舎	官公庁		2002	104,000	20	2	石川県
No38.	K 庁舎	官公庁		2001	12,000	4	0	熊本県
No39.	A 複合施設	官公庁	オフィス,ホテル	2000	70,000	24	2	山形県
No40.	F センター	官公庁		2000	7,000	5	0	福島県
No41.	F 研究所	官公庁	オフィス(テナントビル)	1999	24,000	3	1	神奈川県
No42.	T シティホール	官公庁		1998	78,000	21	2	群馬県
No43.	K 庁舎	官公庁		1996	16,000	6	1	静岡県
No44.	M 庁舎	官公庁			4,700	3	0	北海道
No45.	E 研究所	研究所		2006	53,400	7	0	長野県
No46.	IOC 研究所	研究所		2004	8,000	3	0	埼玉県
No47.	K 研究所	研究所		2003	23,000	7	0	東京都
No48.	K 研究所	研究所		2000	7,000	4	0	茨城県
No49.	I 研究所	研究所	博物館	1997	7,000	2	1	神奈川県
No50.	T 研究所	研究所		2003	24,000	6	2	愛知県
No51.	研修所	研修所		1998	6,000	4	0	滋賀県
No52.	A 武道館	スポーツ施設		2003	17,000	2	1	愛媛県
No53.	N 競技場	スポーツ施設		1997	120,000	6	0	愛知県
No54.	O 体育館	スポーツ施設		1996	40,000	3	0	大阪府
No55.	A アリーナ	スポーツ施設		1996	76,000	3	1	
No56.	T 体育館	スポーツ施設		1985	6,100	1	1	東京都
No57.	A 体育館	スポーツ施設		1990	3,600	2	0	北海道
No58.	K 病院	病院		2002	26,000	4	0	宮城県
No59.	T 病院	病院		2003	7,000	2	0	秋田県
No60.	S 複合施設	商業ビル		1993	123,000	5	2	北海道
No61.	某地方百貨店増築	商業ビル						
No62.	H 工場	工場		1995				JAKARTA
No63.	A 集合住宅	住宅		2001	160	5	0	東京都
No64.	S 市民センター	生涯学習施設		2002	4,000	2	0	兵庫県
No65.	AG 水族館	水族館		2004	8,000	4	0	岐阜県
No66.	M 図書館	図書館			2,000	1	1	静岡県
No67.	N 研究所	博物館	研究所	2001	41,000	8	2	東京都
No68.	A ホテル	ホテル		1996	26,000	9	1	宮城県
No69.	S イベントホール	TV局のイベントホール		2000	13,000	2	2	北海道
No70.	BH 集会施設	10(集会施設)		1999	5,000	2	1	島根県
No71.	KW 複合施設	音楽ホール	図書館・フィットネス	1997	11,000	2	1	兵庫県
No72.	展示場	展示場		1999	16,000	3	0	東京都

2.3.2 調査物件の特性

アンケート調査物件の建物特性と全調査物件数に対する各項目の物件数割合を示す。図 2-2 に延床面積の構成、図 2-3 に階数別構成を示す。地上階数については 8F、15F、25F を基準に分類を行った。建物高さ 31m、60m を境に、法律的に防災計画書や構造計画書の評定等が必要とされるためである。階高 4m とすると 8F、15F に相当する。同様に 25F は建物高さの 100m にあたる。25F 以上の物件においては換気口の設計に特に注意を払うとする設備設計者もあった。自然換気駆動力として煙突効果を利用する例は多く、その場合は地上階数の影響が非常に大きい。図 2-4 に用途構成を示す。用途に関してはオフィス・学校・官公庁・研究所の調査数が多く、統計的な分析が可能であると思われる。各用途の延床面/階数の平均値はオフィス 2,667 m²/階、学校 3,780 m²/階、官公庁 3,376 m²/階、研究所 1,927 m²/階、スポーツ施設 1,1621 m²/階であった。オフィスにおいては基準階の床面積は他の物件と比較して大きくないが、地上階数は平均 16 階建てと高層であった。延床面積は建物内の気積に直接関係し必要外気導入量と正の相関を持つ、また延べ床面積に対する外壁面積の割合が小さい物件では換気口の面積が非常に大きなものになるため問題が発生しやすいと推測される。

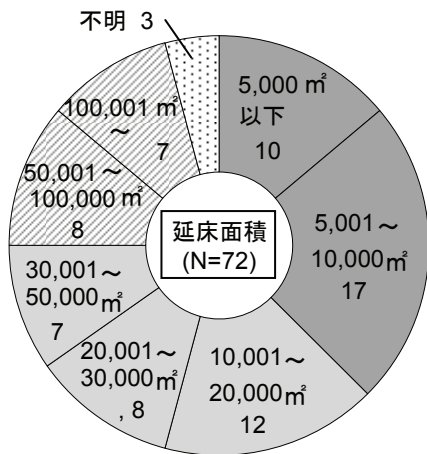


図 2-2 延床面積別建物数

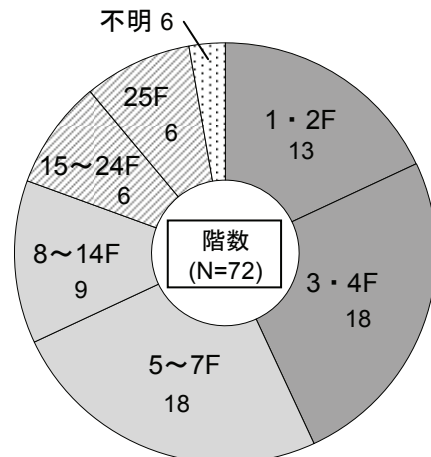


図 2-3 階数別建物数

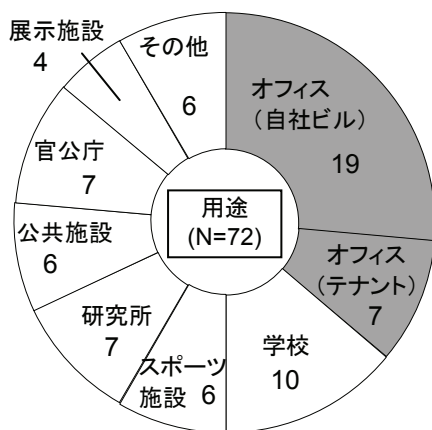


図 2-4 用途別建物数

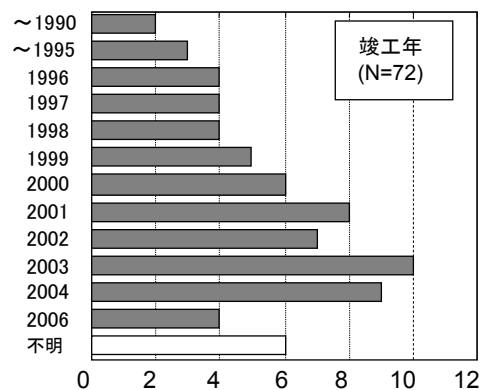


図 2-5 竣工年別建物数

図 2-5 に竣工年の構成を示す。竣工年に関しては最も古いもので 1989 年であり、自然換気システムが日本で本格的に導入され始めてからまだ 20 年余りであることが推測される、また 2002 年以降導入物件は増加しており、環境問題を背景として自然換気システムに対する関心が増していることが読み取れる。表 2-3 に地域別の構成を示す。東京が最も多く 24 件であったが、各地域においても最低 4 件の回答が得られた。

表 2-3 地域別建物数

地域	北海道	東北	関東	東京	北陸・中部	東海	関西	中国・四国	九州	計
建物数	4	5	13	24	4	6	7	5	4	72

2.3.3 自然換気システム導入理由

自然換気システムの導入目的・コンセプトについて設備設計者に質問した結果を図 2-6 に示す。導入目的は省エネルギーと快適性に大きく分類できる。省エネルギー効果の項目に関しては外気冷房による空調熱負荷の削減（30 回答／55 回答中）・換気に係るエネルギーの削減（33 回答／55 回答中）も多いが、設計者が自然換気の省エネルギー効果として最も期待しているのは空調使用時間の低減（41 回答／55 回答中）であることが判明した。自然換気システムの省エネルギー効果は評価する視点が様々あり、どの項目に関して性能検証を行うべきかという議論があるが、このアンケートの結果から自然換気によって空調を使用しなくてもよい期間によって評価されるのが最も妥当ではないかと考えられる。つまり自然換気システムはその運用・活用状況（自然換気使用時間）が重要であるという本研究の趣旨に近い結果を得たと考える。快適性の項目に関しては、通風感による快適性の向上（32 回答／55 回答中）が最も多い。PMV の公式から考えても自然換気によって気流を促進させることによって人の体感温度は大きく下がる。

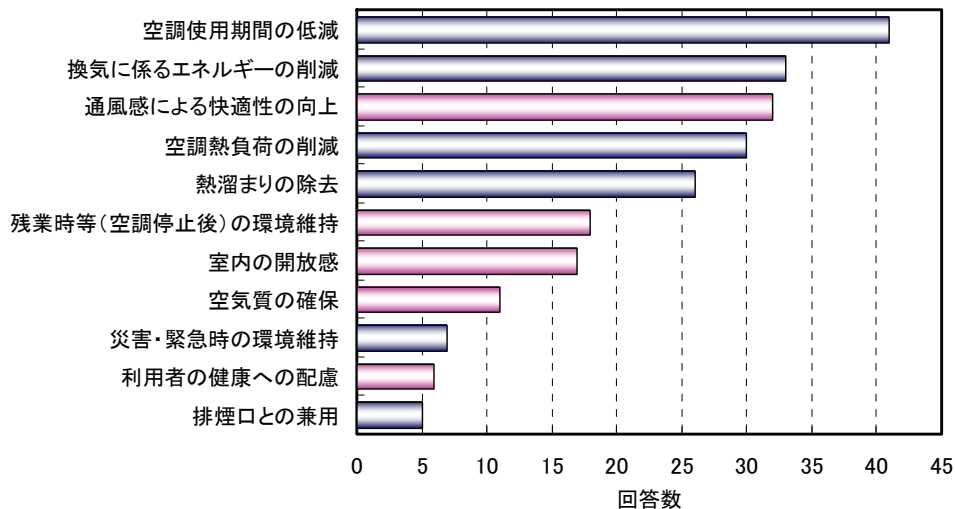


図 2-6 自然換気の導入理由

2.3.4 設計時に想定した省エネルギー効果

自然換気システム設計時に想定した省エネルギー効果を表 2-4 に示す。想定の間年自然換気使用時間は平均 966 時間であった。中間期を 4・5・10・11 月（東京）とし 9:00~18:00 で考えると 1080 時間であり、中間期での使用を想定していることが伺える。

想定した自然換気使用期間を尋ねたところ、設計者は概ね春 3 月上旬~6 月下旬、秋 9 月中旬~11 月下旬と捉えている事が分かった。冬季もオフィスの冷房要求に外気冷房を適用できるとの意見が多かったが、その使用時間に関しては室内発熱に大きく影響を受けるため設計段階での想定使用時間には含んでいないと思われる。

表 2-4 設計時に想定した省エネルギー効果

物件	主用途	所在地	自然換気対象空間	設計時に想定した省エネルギー効果		
				建物の消費 E 削減率 (%)	空調消費 E 削減率 (%)	年間自然換気使用時間
1. T 本社ビル	オフィス (自社ビル)	東京都	専用部 (大部屋タイプ)		2.9	1400
2. P 本社ビル	オフィス (自社ビル)	東京都	専用部 (大部屋タイプ)	3	10	150
3. TB 本社ビル	オフィス (自社ビル)	東京都	専用部 (大部屋タイプ)			200
4. G 本社ビル	オフィス (自社ビル)	栃木県	専用部 (大部屋タイプ)	3	10	300
5. R 本社ビル	オフィス (自社ビル)	群馬県	専用部 (大部屋タイプ)			120
6. SP 本社ビル	オフィス (自社ビル)	東京都	建物全体	5	10	150
7. K 本社ビル	オフィス (自社ビル)	東京都	専用部 (大部屋タイプ)・共用部	9	15	1200
8. K オフィスビル	オフィス (テナントビル)	大阪府	専用部 (大部屋タイプ)	5	10	1300
9. SI オフィスビル	オフィス (テナントビル)	東京都	共用部		0.834	465
10. M オフィスビル	オフィス (テナントビル)	香川県	共用部	3	8.5	500
11. KK オフィスビル	オフィス (テナントビル)	兵庫県	専用部 (大部屋タイプ)		10	400
12. N 研究所	研究所	東京都	専用部・共用部	0.1	3	980
13. K 研究所	研究所	東京都	専用部 (大部屋) で全面積の約 45%	0.4	2	700
14. F 研究所	研究所	神奈川県	専用部 (大部屋タイプ)		20	100
15. S 研究所	研究所	東京都	専用部 (大部屋タイプ)	5	20	860
16. N 学校	学校	東京都	共用部			500
17. S 学校	学校	福岡県	専用部 (大部屋タイプ)・普通教室	3		1400
18. K 庁舎	官公庁	静岡県	共用部・建物全体			500
19. 研修所	研修所	滋賀県	共用部		10	400
20. K 複合施設	複合施設	山形県	専用部 (大部屋タイプ・個室タイプ)		20	700
21. KW 複合施設	複合施設	兵庫県	専用部 (大部屋タイプ)・共用部		14	1000
22. A ホテル	ホテル	宮崎県	共用部	1		1000
23. H 工場	工場	JAKARTA	専用部 (大部屋タイプ)・工場作業場		100	8670
24. N 競技場	スポーツ施設	愛知県	フィールド+スタンド			300
25. A 武道館	スポーツ施設	愛媛県	専用部 (大部屋タイプ)			300
26. K 病院	病院	宮城県	共用部・病室・ナースステーション	3	5	1500
27. M 図書館	図書館	静岡県	前面ガラスのベリメータゾーン			1000
			最大	9.0	100	8670
			中央値	3.0	10	500
			最小	0.1	0.834	100
			平均	3.4	15.1	966.5

<その他>

「中間期の空調運転時間のうち大凡 2 割くらいを想定・夏期の午前、夜間、中間期で半年程度可能」
「換気回数はどの空間を対象にするか違って来る」「アトリウムの自然換気と外気冷房を組み合わせているため、アトリウムの自然換気の換気回数は一定ではない (注) エネルギー削減は外気冷房と併用の削減量・風力換気主体のため自然換気量が変化」「冷房エネルギーの 15%削減」「寒冷地のためおよびイベント内容等により随時」「自然換気利用はイベントによる使い分け」「研究棟 3 号館と 4 号館の使用エネルギー料金で 10.2%削減、空調使用料金で 8.1%削減」「40 m³/H・m²-全空調風量を外気冷房として利用 (オールフレッシュ)」

空調エネルギー削減率については平均 15.1%であった。幅としては 3%～20%の間の回答が多かった。3%というのは中間期での最適外気冷房を行った時の削減率であり 10%以上では空調機の ON/OFF も想定されている。

2.3.5 自然換気経路

調査物件の換気経路について表 2-5～7 に示す。換気経路図は「給気口」「自然換気対象空間」「自然換気駆動力となる空間」「排気口」を給気口から排気口に向かって外気が流れる順番に矢印で結んだものである。換気経路を決定することは換気システムの構成を決定することに繋がるため、自然換気使用時間にも大きな影響があると考え、設計者の想定自然換気使用時間数も併記した。外気風力を換気駆動力としている物件においては、風向の変化に対応するために給気口を複数の方角に配置し換気経路も複数用意されているものが多かった。また、都心密集地など周辺環境に問題がある物件では特定の方角・高さ・場所に給気口を設置すると共に状況の変化に関わらず一定の空気の流れが形成されるような工夫がみられた。

表 2-5 通風経路(1)

物件名	自然換気 使用時間 (設計時想定)	自然換気経路概念図
展示場 延べ床面積 16500㎡ 地上3階 地下0階 東京都		
私立女子小中高等学校 延べ床面積 9,800㎡ 地上4階 地下1階 東京都		
N研究所 延べ床面積 9,800㎡ 地上4階 地下1階 東京都	400時間	
Yオフィスビル 延べ床面積 14000㎡ 地上7階 地下1階 香川県		
研修所 延べ床面積 14,000㎡ 地上7階 地下1階 滋賀県	400時間	
K研究所 延べ床面積 23,200㎡ 地上7階 地下0階 東京都	700時間	
G本社ビル 延べ床面積 10,000㎡ 地上2階 地下1階 栃木県	300時間	
R本社ビル 延べ床面積 16,000㎡ 地上2階 地下0階 群馬県	120時間	
Mオフィスビル 延べ床面積 8,700㎡ 地上12階 地下1階 香川県	500時間	
K複合施設 延べ床面積 69,000㎡ 地上24階 地下2階 山形県	700時間	

表 2-6 通風経路(2)

物件名	自然換気 使用時間 (設計時想定)	自然換気経路概念図
N競技場 延べ床面積 120,000㎡ 地上6階 地下0階 愛知県	300時間	Aのルートは駐車場車路ルート経由となるため、イベント設置時の利用が主体 A:1階給気ガラリ(常時開) → 駐車場車路 → 搬出入口 → フィールドスタンド席 → 換気駆動力 → 中頂部排気口 頂部排気口(遠隔にて開閉) → 屋外 B:2階コンコース給気ガラリ → コンコース→スタンドへのトンネル通路 → フィールドスタンド席
K学校 延べ床面積 9,500㎡ 地上5階 地下0階 東京都		自然換気対象空間: 教室→アトリウム(吹抜けのラウンジ) → 換気駆動力: トップライト → 屋上 窓(手動) / バスタクト(開閉なし) / 換気窓(手動)
T研究所 愛知県		自然換気対象空間: 事務室 → 吹抜け→トップライト → 屋外 南面: ダブルスキン / ガラリ(開閉なし) / 換気口(手動) / 欄間窓(手動) / 換気ファン 1階北側エントランス窓(手動)開放 / 最上階4階南側、北側窓(手動)開放
Fセンター		吹き抜け: 1階窓 → 4階窓
A体育館 地上2階 地下0階		自然換気対象空間: アリーナ → 頂部排気口 → 屋外 1階外壁面: 電動ダンパーによりガラリ開閉 / 電動ダンパーによりガラリ開閉
S研究所 延べ床面積 9,600㎡ 地上6階 地下0階 東京都	860時間	北面外壁ダブルスキン → AHUモード切替による外気冷房モーターダンパー → 自然換気対象空間: 事務室 → 吹抜け→トップライト換気窓 → 屋外 南東面外壁ガラリ / 自動手動切り替えによる開閉
Aホテル 延べ床面積 26,000㎡ 地上9階 地下1階 宮城県	1,000時間	屋外: サッシュ(遠隔操作) → エントランスロビー(アトリウム) → 吹抜け → トップライト(遠隔操作) → 屋上 屋外: クールピット → AHU(全外気運転) → 風抜塔2箇所 → 外壁ダンパー(遠隔操作) → 外部
S市民センター 延べ床面積 4,300㎡ 地上2階 地下0階 兵庫県		屋上: トップライト(手動) 東面: モーターダンパー(自動) → ロビー 休憩スペース 展示スペース ← 西面: モーターダンパー(自動)
KH学校 延べ床面積 42,000㎡ 地上6階 地下0階 神奈川県		手動窓 → 研究室 ↔ 廊下 ↔ 研究室 → 手動窓 → 外部(北東側) 外部(南西側) → 階段室 吹抜け → 廊下 → 研究室 扉(引き戸) 隙間

表 2-7 通風経路(3)

物件概要	自然換気 使用時間 (設計時想定)	自然換気経路概念図
T 本社ビル	1400 時間	建物周囲→ガラリ (換気口 自動) →事務室→ガラリ (換気口 自動) →光庭→屋上
私立女子小中高等学校 延べ床面積 9,800 m ² 地上 4 階 地下 1 階 東京都		(中廊下部分) 教室外壁窓ガラス→廊下側窓→廊下→階段室→階段室頂部排気口 (片廊下部分) 教室外壁窓ガラス→廊下側窓→廊下→廊下窓
K オフィスビル 延べ床面積 106,000 m ² 地上 41 階 地下 5 階 大阪府	1300 時間	→軒天→自然換気パネル→室内チャンバー→自然換気口→事務室→自然換気口
SI オフィスビル 延べ床面積 93,000 m ² 地上 31 階 地下 3 階 東京都	465 時間	1)低層部: 北面 (自動換気口) → 廊下 → 南面 (自動換気口) ※季節により方向逆転 2)高層部: 北面 (自動換気口) →廊下→アトリウム←廊下←南面 (自動換気口) ↓ トップライト (自動) → 外部
E 研究所 地上 7 階 地下 0 階 長野県		換気窓(ランマ)→事務室(研究室)→廊下・吹き抜けアトリウム→トップライト→屋上 ↑ ↓ 自動 換気口(自動)
A 複合施設 延べ床面積 70,000 m ² 地上 24 階 地下 2 階 山形県		→ 事務室 → ボイドコア → 屋上 自然換気窓 (手動) 廊下天井内
TB 本社ビル 延べ床面積 17,000 m ² 地上 6 階 地下 0 階 東京都	200 時間	ガラリ → ロビー → ガラリ 換気口 (自動) 換気口 (自動)
TK オフィスビル 延べ床面積 11,000 m ² 地上 11 階 地下 1 階 福岡県		北面 → 窓 → リフレッシュコーナー → 事務所 → 便所の排気
K 本社ビル 延べ床面積 5,400 m ² 地上 8 階 地下 2 階 東京都	1200 時間	外部 → 事務所 → 外部吹き抜け 外周ガラリ(自動) 換気口(自動) 内部に電動ダンパ
都内 某高等学校 地上 5 階 地下 1 階 東京都		外部ガラリ(常時間) → 対象空間 → ソーラーチムニー → 屋上ハト小屋 給気口(手動開閉ガラリ) (吹き抜け) ガラリ (常時間) 窓の開閉
KW 複合施設 延べ床面積 11,000 m ² 地上 2 階 地下 1 階 兵庫県	1000 時間	ロビー:外気取り入れ窓(自動)→ロビー→トップライト換気窓(自動) 図書館:外気取り入れ窓(手動)→開架閲覧室→トップライト換気窓(自動)
M オフィスビル 延べ床面積 137,000 m ² 地上 25 階 地下 3 階 東京都	500 時間	外壁 → 窓下のスリット → 換気口(手動) → 事務所 → 換気口(給気口と同じ)
T シティホール 延べ床面積 78,000 m ² 地上 21 階 地下 2 階 群馬県		南側外気取り入れ口 → ダンパー → ベリカウンター → 執務室 → ベリカウンター → 補助ファン → ダンパー → 北面外気取入口
M 庁舎 北海道		北玄関 → ホール、待合 → 階段、廊下 → 自然通風塔
K 庁舎 延べ床面積 16,000 m ² 地上 6 階 地下 1 階 静岡県	500 時間	換気窓(手動) → 事務室 → ロビー → アトリウム吹き抜け → ハイサイド窓(電動)
K 研究所 延べ床面積 7,000 m ² 地上 4 階 地下 0 階 茨城県	700 時間	研究室窓、吹き抜け窓、1F、4F の窓(手動開閉)

2.3.6 外気導入方法と換気口制御

調査物件の外気導入方法を表 2-8 に示す。外気取入方法としては換気窓からの直接導入 (34 物件/72 物件中) が最も多く、次にサッシュ/ダンパーを経由しての導入 (20 物件/72 物件中) が多い結果となった。多くの物件において外気の導入方法は一通りではなく換気窓と給気装置を併設している場合などが見られた。換気窓は居住者が操作に慣れており、制御できる満足感を居住者に与えることができる。また換気窓の場合は換気口面積を比較的大きくとることができる利点がある。給気装置は、それ自体に雨水や外部騒音・埃の進入・外気過剰流入を防ぐ性能を持っているため自然換気システムの性能を適切に維持するには有効であると思われる。しかし、居住者からは「開閉時に指が挟まれそう」などの意見があり居住者が操作に不慣れである点が活用の障害となる可能性がある。調査物件の換気口制御方法を表 2-9、図 2-7~2-9 に示す。図で示されている手動制御は「居住者による人力開閉 (窓等)」を表し、遠隔操作は「中央制御盤からの遠隔操作」を表す。結果は完全自動であるものが最も多く、次に居住者による完全手動制御のものとなった。表 2-10 に制御方法と建物特性の関係について示す。給気口と排気口ともに自動制御を採用しているのはオフィスの事例が多くみられ、給気口と排気口ともに手動制御を採用しているのは庁舎・学校・研究所などの事例にみられた。また、給排気口が手動制御の事例は窓開け換気に近い自然換気システムを採用している傾向がみられた。外気導入方法・換気口制御を採用した理由を次節に示す。

表 2-8 制御方法と外気導入方法

		外気導入方法						計
		直接導入	直接導入+サッシュ	サッシュ/ダンパー	サッシュ+バツファア	バツファア	バツファア+直接導入	
給気	手動開閉	19 (26)	2 (3)	4 (6)	0	3 (4)	2 (3)	30 (42)
	遠隔操作	6 (8)	0	3 (4)	0	2 (3)	1 (1)	12 (17)
	自動制御	9 (17)	1 (1)	12 (17)	2 (3)	5 (7)	0	29 (40)
	開放のまま	0	0	1 (1)	0	0	0	1 (1)
	計	34 (47)	3 (4)	20 (28)	2 (3)	10 (14)	3 (4)	72

※表中()は全 72 物件に対する割合[%]を示す

表 2-9 給排気口の組合せ

		排気					計
		手動開閉	遠隔操作	自動制御	開放のまま	機械排気	
給気	手動開閉	14 (19)	7 (10)	4 (6)	4 (6)	1 (1)	30 (42)
	遠隔操作	0	11 (15)	0	0	1 (1)	12 (17)
	自動制御	0	0	28 (39)	1 (1)	0	29 (40)
	開放のまま	0	1 (1)	0	0	0	1 (1)
	計	14 (19)	19 (26)	32 (45)	5 (7)	2 (3)	72

※表中()は全 72 物件に対する割合[%]を示す

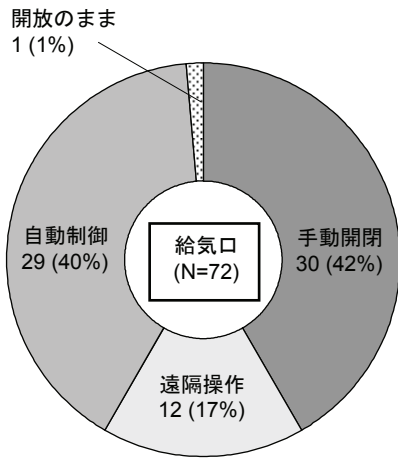


図 2-7 給気口の制御方法

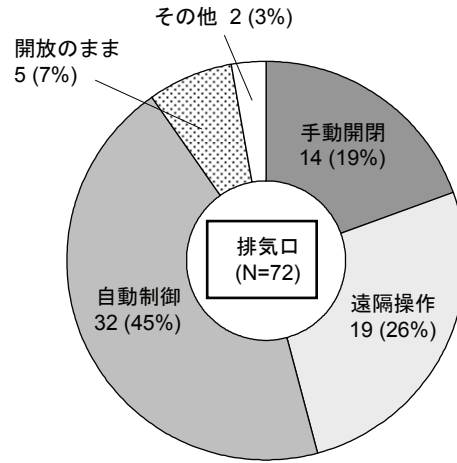


図 2-8 排気口の制御方法

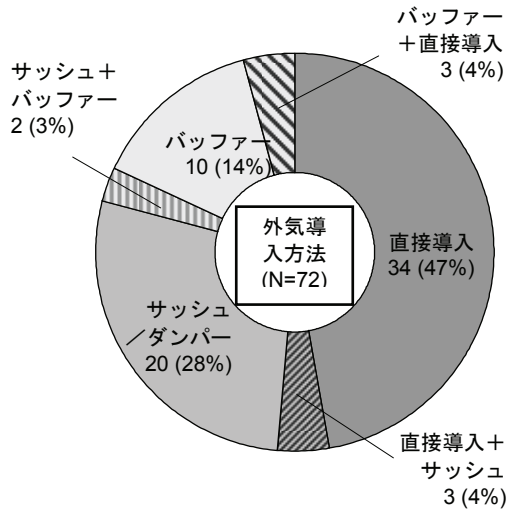


図 2-9 外気導入方法

表 2-10 制御方法と建物特性

換気口制御 (給気口+排気口)	対象空間			建物用途				
	大部屋	個室	共用部のみ	本社ビル	官公庁	学校	研究所	スポーツ施設
手動+手動	7	4	3	2	1	2	4	0
手動+遠隔	3	2	3	0	2	1	0	2
手動+自動	4	1	0	2	0	1	1	0
手動+開放	3	1	0	0	1	3	0	0
遠隔+遠隔	2	2	8	0	0	0	0	4
自動+自動	18	1	9	12	1	3	2	1
その他	1	0	3	3	0	0	0	1

2.3.7 外気導入方法と換気口制御方法を決定した理由

外気導入方法と換気口の制御方法を決定するのは、建物用途・コストなどにも関係してくるが、設計者・施主が自然換気システムにどのような効果を想定したかというシステムのコンセプトに大きく関わっている。

外気導入法と換気口制御方法を決定した理由を図 2-10 に示す。自動制御は理想運転による省エネルギー効果の最大化が大きなコンセプトであり、手動制御は主に居住者の満足度を最大化することがコンセプトであることがわかる。自動制御では空調機と併用運転を行うなど居住者に自然換気を意識させないような自然換気システムを構築しているが、このようなシステムは居住者の勝手な操作によりシステムに不具合を生じることが少ない反面、居住者の室内温熱環境許容幅は空調時と変わらない可能性が高い。更に一度自然換気の使用が停止されると再開されにくいという危険性もある。手動制御は居住者が調整する余地があるため満足度は高くなる、更に自然換気を行っていることが明確である場合には adaptive model に示されるように居住者の温熱環境変動許容幅が緩和される可能性がある。しかし空調を行っている時にも換気口を開けてしまうなど、空調エネルギーの増加に繋がる危険性に加え、大部屋中心の日本のオフィス状況により人間関係が阻害要因となって換気口の開閉が行われなくなる可能性がある。

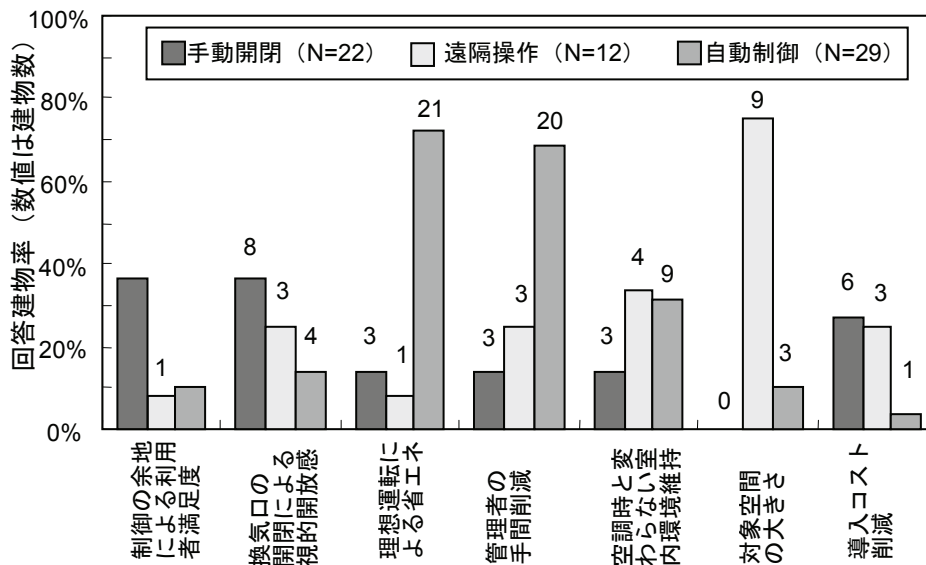


図 2-10 設計時の重要視項目と制御方法（複数回答可）

<その他>

「自然換気を行う事を教育的に利用」「自然換気取入用窓台を日射遮蔽庇効果と兼用」
 「別に開放可能な窓を備えているので、居住者への制御余地も与えている。」「空調時間外の窓開けの替わりとして設けた。」「バトミントン等が airflow を嫌うため、手動制御できるようにした。」「簡単な開閉機構にして管理人の手間を軽減。」「高層建築において居住者が運用できかつ安全な自然換気方法の採用。」「自動制御イニシャルコスト削減。」「全面ガラスで膨大な日射負荷の削減。」

2.3.8 自然換気許可条件

自然換気システムを自動制御するにはその制御条件を決定する必要がある。制御条件の最も基本的な条件である自然換気許可条件は「外気温」「室温」「エンタルピ」「絶対湿度」「露点温度」「外部風速」「粉塵」「降雨」「空調スケジュール」等のパラメータが考えられる。図 2-11 に設計時の自然換気システムの利用想定時間を、図 2-12 に外気温と自然換気許可建物数を示す。4月～6月、9月～11月の利用を想定している物件割合が多く、外気温は15℃～26℃までを自然換気許可としている物件数が多いことが分かった。自然換気の許可条件に関しては第3章で詳しく述べるため、ここでは割愛する。

調査物件に導入されている換気口の最短制御間隔と換気経路の関係を図 2-13 に示す。この制御間隔は換気口の開閉を行った場合次の開閉まで必ず一定時間あけるということを意味する。換気口のハンチング現象を防止する為であるが開閉間隔を長くしすぎると省エネルギー性能が低下するとの考えから制御間隔は10分以下に設定している物件が全調査物件の半分を占めている。自動制御における居住者からの苦情の上位に換気口作動音が挙げられている。そのような物件では換気口制御間隔が短い物件が多いため、換気口制御間隔は省エネルギー性と苦情発生リスクのバランスを考慮して設定することが重要であると思われる。

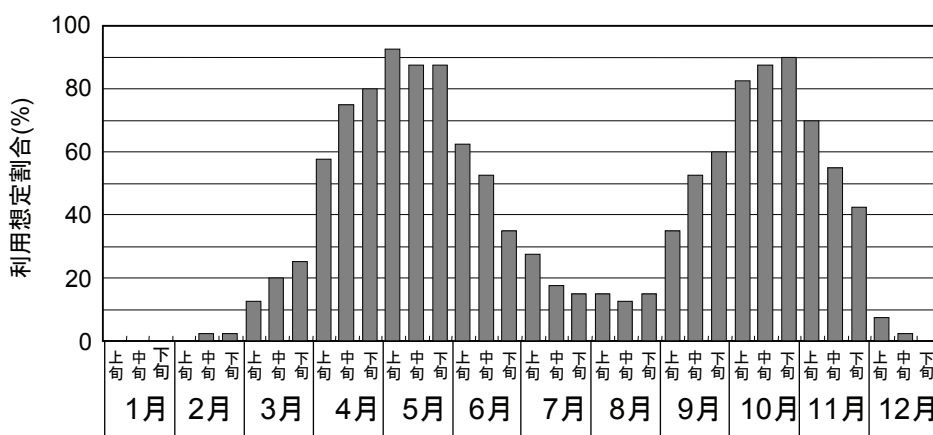


図 2-11 設計時の自然換気システムの利用想定期間

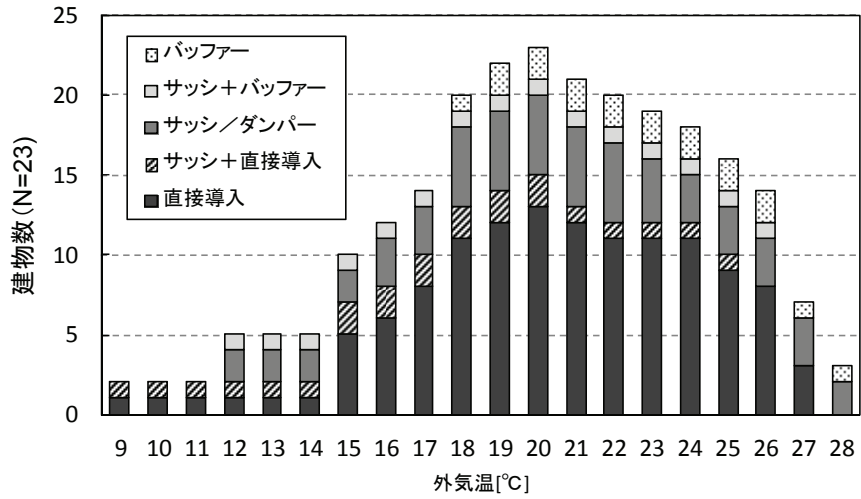


図 2-12 外気温と自然換気許可建物数

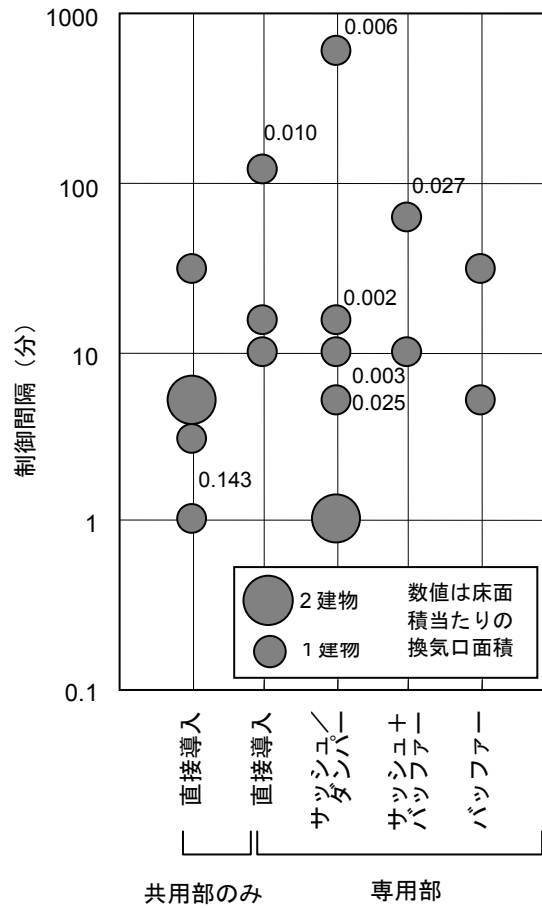


図 2-13 制御間隔と換気経路

2.3.9 制御の区画割

制御区画の区画割を表 2-11 に示す。制御区画とは部分的に自然換気を利用することが可能な最小の範囲（系統・空間）のことを表している。手動制御などは換気口の数だけの制御区画が存在する事となるため自動制御の区画割に限定した。

高層建築などにおいては下階と上階では室内環境や換気駆動力も大きく違うため、状況に応じて個別に制御できることが必要であると考えられる。共用部と専用部の区画が分かれていなかったため、専用部の苦情発生により共用部の自然換気システムも停止せざるを得なかった事例も見られた。反面、制御区画が増えると管理者の手間も増加する可能性があるため両者のバランスが求められる。

表 2-11 制御の区画割

物件名	建物情報				制御の区画割					
	延べ床面積 (㎡)	地上 []階	地下 []階	自然換気対象空間	平面を []分割し制御	各階ごとに制御	専用部と共用部で分割し制御	ペリメータとインテリアで分割し制御	部屋ごとに制御	その他 []の区画割
T本社ビル	30,000	7	0	専用部(大部屋タイプ)	2	0	0	0	0	
展示場	16,000	3	0	展示場大空間	0	0	0	0	0	大空間で一つ
SIオフィスビル	93,000	31	3	共用部	0	0	0	0	0	建物高さ方向に、低層、中層、高層の3ゾーン
S学校	35,000	4	0	専用部(大部屋タイプ)						1区画
I研究所	7,500	2	1	専用部(個室)・共用部	4	0	0	0	0	
Yオフィスビル	14,000	7	1	専用部(大部屋タイプ)	2	1	0	0	0	
S複合施設	120,000	5	2	共用部	2	0	0	0	0	低層、中層、高層の3分割
E研究所		7	0	専用部(大部屋タイプ)・共用部	0	0	0	0	0	空調機ゾーン
TB本社ビル	17,000	6	0	専用部(大部屋タイプ)	0	0	1	0	0	
K研究所	23,000	7	0	専用部(大部屋)で全面積の約45%	4	1	0	0	0	
G本社ビル	10,000	2	1	専用部(大部屋タイプ)	0	0	0	0	0	大部屋事務室全体(2階分)を同時に制御
R本社ビル	16,000	2	0	専用部(大部屋タイプ)	0	0	0	0	0	制御は特に行っていない。(時間外の窓開けの代用)
K庁舎	12,000	4	0	専用部(大部屋タイプ)・共用部	0	0	0	0	0	全体で1区画
WRPC学校	7,000	4	0	専用部(大部屋タイプ)	3	0	1	0	0	
Mオフィスビル	9,000	12	1	共用部	0	0	0	0	0	トリウム空間1区画の制御・制御用温度は上中下の3点
K本社ビル	5,000	8	2	専用部(大部屋タイプ)・共用部	2	0	0	0	0	
KW複合施設	11,000	2	1	専用部(大部屋タイプ)・共用部	0	0	0	0	0	用途(ロビーと開架閲覧室は別空間)
Aホテル	26,000	9	1	共用部	1	0	0	0	0	分割無しの1区画
F研究所	24,000	3	1	専用部(大部屋タイプ)	2	1	0	0	0	
AG水族館	8,000	4	0	専用部(大部屋タイプ)	1	0	0	0	0	
Tシティホール	78,000	21	2	専用部(大部屋タイプ)		1				
N競技場	120,000	6	0	フィールド+スタンド	6					基本は一括
K庁舎	16,000	6	1	建物全体						
S研究所	9,700	6	0	専用部(大部屋タイプ)	10	0	0	0	0	
K病院	26,000	4	0	共用部、病室、ナースステーション	6				1	
KKオフィスビル	33,000	19	2	専用部(大部屋タイプ)	4	1				
A武道館	17,000	2	1	専用部(大部屋タイプ)					1	
N学校	10,000	7	1	共用部						

2.3.10 機械空調

対象物件において採用している熱源方式を表 2-12 に、採用している機械空調設備を図 2-14 に示す。調査対象物件では、中央熱源方式を採用している割合が高い結果となった。これは、自然換気システムを導入している物件は空調グレードも高く、空調機を用いたシステムを採用しているためと考えられる。熱源方式はアンケート項目に含まれていないため機械空調設備の仕様、または文献等の記載により判断した。機械空調設備はアンケートの回答結果を示しており、初期の設計者アンケート調査には機械空調仕様の回答項目がなかったため集計対象は 50 物件となっている。自然換気がその省エネルギー性を発揮するには機械空調との連携が非常に重要であり、ハイブリッド換気・ハイブリッド空調を行う際は自然換気効果を最大化するための連動制御に注意が必要であると思われる。

表 2-12 熱源方式別の物件数 (N=72)

中央熱源方式	個別熱源方式	中央+個別熱源方式	換気のみ	ヒーターのみ	不明
51 件	8 件	3 件	1 件	1 件	8 件

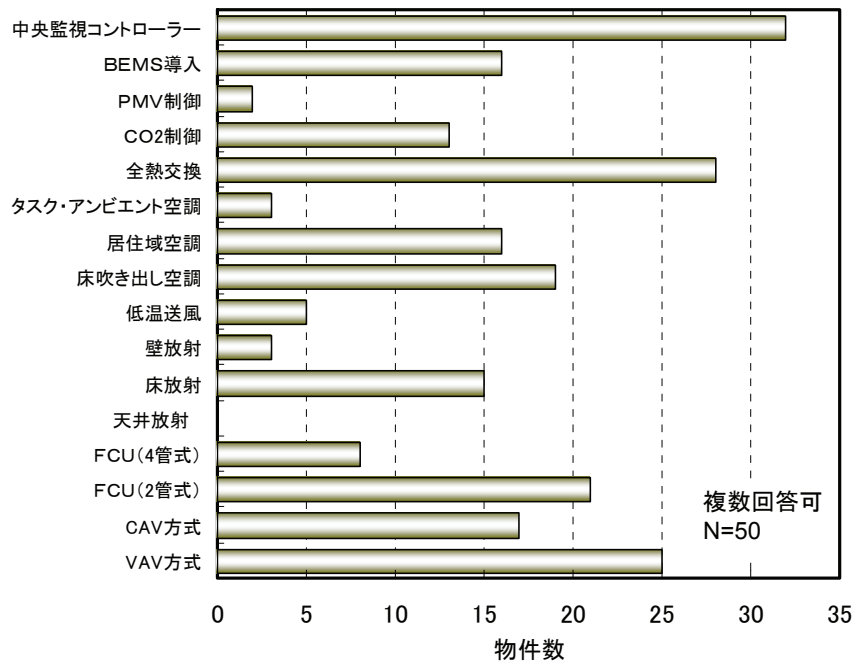


図 2-14 導入された空調システム

<その他>

- 「ペアダクト空調」 「ダブルスキン利用暖房」 「クール・ヒートチューブ」 「氷蓄熱 EHP」 「温水 PH」
- 「GHP」 「エアコン」 「AHU-SET*制御」 「蓄熱型輻射暖房器」 「ウォールスルーH.P」 「在席吹き出し」
- 「外調機」 「パーティション吹出」 「天井パッケージ方式」 「機械空調なし」 「床暖房」 「空冷 HP」

2.3.11 自然換気と機械空調の連動

自然換気と機械換気の切替えとハイブリッド換気の物件割合を用途にまとめたものを図 2-15 に示す。また自然換気（自然冷房）と機械空調の切替えとハイブリッド空調の物件割合を用途別にまとめたものを図 2-16 に示す。ハイブリッド換気は設計者によって捉え方に違いがあり、①外気無風時で自然換気では十分な換気量が得られない場合は補助ファンを連動させる。②自然換気で十分でないときは機械換気に移行し、状態をみて自然換気に戻すなどの切り替えを頻繁に行う。という 2 通りの捉え方が存在している。IEA Annex35 で示されたハイブリッド換気の定義ではハイブリッド換気は自然換気と機械換気モードが時間的に共存しないシステムとされており、自然換気が不十分な機能しか発揮しない折には機械換気を行い、その際に不安定で機械換気に干渉する可能性のある自然換気は停止することを前提としている。これは②に該当する定義であるが①のハイブリッド換気もいくつか事例がみられる。

ハイブリッド空調に関しても同様の傾向が見られ①タスクアンビエント空調のように全体空調を自然換気で行い、居住域ではパーソナル空調を行う、②自然冷房を基本とし室温が一定温度を超えた場合に一時的・部分的に機械空調に移行する。という 2 通りの捉え方がある。詳細は 5 章を参照のこと。ハイブリッド換気・空調は厳密な室内環境制御を必要とするオフィスビルで多く導入されている。逆に庁舎や学校では冷房と暖房の切替え期において自然換気のみで室内環境を維持しようという意図があるため、事例のほとんどが自然換気と機械換気の使い分けで運転を行っている。ハイブリッド換気・空調のシステム例を以下に示す。

- ・アンダーフロア空調（パーソナル空調）＋自然換気（併用モード）
- ・自然換気＋室温 28℃以上の階のみ空調（共用部）
- ・上部熱溜りを自然換気で除去＋居住域空調（アトリウム）
- ・手動優先換気窓と空調が連動、換気窓開の間は空調機ファンが最小運転（オフィス）
- ・自然換気＋各階エレベーターホール（アトリウム内に設置）の局所冷暖房
- ・自然換気時、機械空調は外気冷房運転

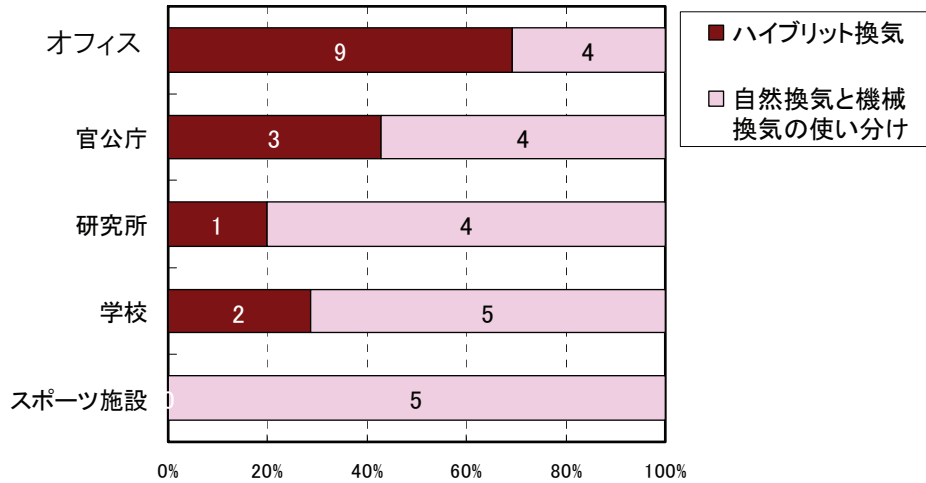


図 2-15 自然換気と機械換気の連動

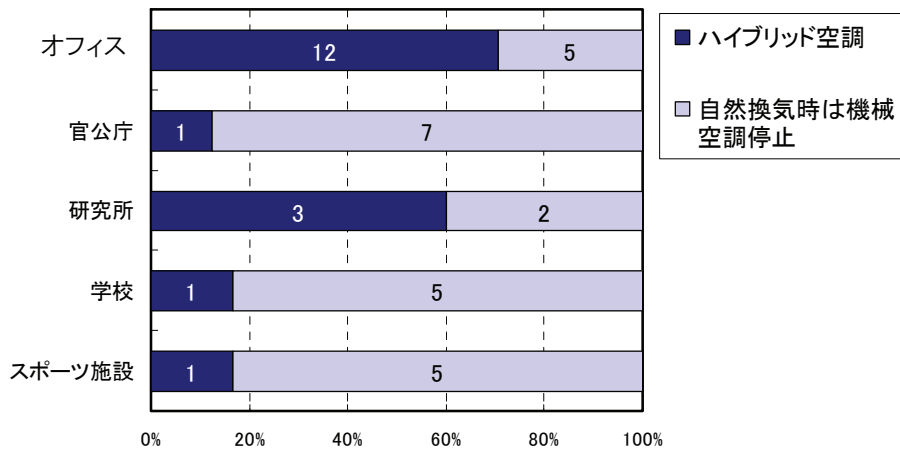


図 2-16 自然換気と機械空調の連動

<その他>

「換気は自然換気のみ」「空調と換気の連動はなし」「自然換気と外気冷房のミックス」「空調と換気の連動はなし」「非空調期間は窓の開閉で自然換気」「換気と暖房は各々独立」「遮光バナー使用時はハイブリッド空調あり」「ダブルスキン利用暖房時のみ」「アリーナ部は自然換気のみ」「手動による窓開閉」「アトリウム内専用の換気設備はなし」

2.3.12 換気口面積

調査物件における換気口総面積と床面積あたりの換気口面積を表 2-13 に示す。換気口面積は一般的には必要換気回数を基に決定される。床面積に対する外壁面積の割合が小さい建物（広い平面を持つ建物）では必要換気回数を確保するために換気口面積が大きくなる。床面積当たりの換気口面積が大きすぎる場合は外部騒音やドラフト等によって換気口付近の居住者から苦情が発生する可能性がある。

表 2-13 換気口面積

物件名	(各換気口面積) × (換気口の数) =[] (㎡) × [] (箇所) =[] (㎡) = (換気口総面積)	床面積あたりの換気口面積 =[] (㎡) / [] (㎡) =約 1 / []
T 本社ビル		1/167
展示場	1.5×17=261	261/16490=1/63
G 本社ビル	0.1×26=2.6	26/1100=1/450
R 本社ビル	0.09×60=5.4	5.4/5000=1/1000
M オフィスビル	12×3=36	36/240=1/7
K 複合施設	0.076×110=8.69	8.69/865=1/100
I オフィスビル	0.032×45=1.44	
K 本社ビル	0.62×20=12.4	12.4/490=1/40
F 研究所	42.5×4=170	170/6742=1/40
M オフィスビル	0.05×44=2.2	2.2/3100=1/143
M 庁舎	2×1=2	
A 体育館	0.832×12=9.98	
A アリーナ	570×2=1140	1140/17000=1/15
S 研究所	36.2×2=72.4	72.4/2560=1/36.6
K 病院	2×32=64	64/6000=1/100
KN 本社ビル	1×47=47	47/2156=1/46
KK オフィスビル	0.75×4=3	3/1000=1/333
A 武道館	3.4×32=109	109/4500=1/40
S 市民センター	0.28×20=5.6	5.6/600=1/107

2.3.13 換気口制御

調査事例に対して「給気口制御」「排気口制御」「外気導入方法」「自然換気対象空間」の項目に関して分類を行った結果を表 2-14 に示す。自然換気システム分類結果を表 2-13 に示す。分類番号については（システム分類番号－対象空間番号）になっており 2-3 ならば（完全自動制御の換気窓－共用部）を意味している。分類は全てで 15 パターンとなった。最も多かったのがバッファースペースを経由した換気口を完全自動制御で制御し、大部屋専用部を自然換気対象空間としている物件であった。次に給気装置を完全自動制御し大部屋専用部を対象空間としている物件であった。

表 2-14 換気口制御と対象空間による分類

物件名	給気口制御	排気口制御	外気導入 (メイン)	番号	対象空間	分類 番号
N 学校	自動制御	自動制御	換気窓	2	3 共用部	2-3
T 本社ビル	自動制御	自動制御	給気装置	4	1 大部屋専用部	4-1
S 本社ビル	自動制御	自動制御	給気装置	4	1 大部屋専用部	4-1
K 本社ビル	自動制御	自動制御	給気装置	4	1 大部屋専用部	4-1
R 学校	自動制御	自動制御	給気装置	4	2 室専用部	4-2
KM 本社ビル	自動制御	自動制御	ダブルスキン	5	1 大部屋専用部	5-1
K オフィスビル	自動制御	自動制御	バッファースペース	5	1 大部屋専用部	5-1
WRPC 学校	自動制御	自動制御	クールピット	5	1 個室専用部 3 共用部	5-1 5-3
N 本社ビル	自動制御	自動制御	バッファースペース	5	1 大部屋専用部	5-1
M 本社ビル	自動制御	自動制御	ダブルスキン	5	1 大部屋専用部	5-1
M オフィスビル	自動制御	自動制御	エントランス	5	3 共用部	5-3
Y オフィスビル	自動制御	開放のまま	給気装置	11	1 大部屋専用部	11-1
K 学校	居住者による人力開閉（窓等） 自動制御	自動制御	換気窓	1	2 個室専用部	1-2
I 研究所	居住者による人力開閉（窓等）	自動制御	換気窓	1	2 個室専用部	1-2
S 学校	居住者による人力開閉（窓等）	自動制御	換気窓	1	1 大部屋専用部	1-1
K 研究所	居住者による人力開閉（窓等）	自動制御	換気窓	1	4 建物全体	1-4
R 研究所	居住者による人力開閉（窓等）	居住者による人力開閉（窓等）	換気窓	3	2 個室専用部	3-2
J 本社ビル	居住者による人力開閉（窓等）	居住者による人力開閉（窓等）	ダブルスキン	6	1 大部屋専用部	6-1
MH オフィスビル	居住者による人力開閉（窓等）	居住者による人力開閉（窓等）	給気装置	7	4 建物全体	7-4
IOC 研究所	居住者による人力開閉（窓等）	管理者による人力開閉（窓等）	換気窓	8	2 個室専用部	8-2
I 庁舎	居住者による人力開閉（窓等）	中央制御盤からの遠隔操作	換気窓	9	1 大部屋専用部	9-1
K 庁舎	管理者による人力開閉（窓等） 中央制御からの遠隔操作	中央制御盤からの遠隔操作	給気装置 換気窓	10	3 共用部	10-3
SI オフィスビル	中央制御盤からの遠隔操作	中央制御盤からの遠隔操作	給気装置	10	3 共用部	10-3

システムの分類と機械空調との連動、自然換気使用時間の変化の関係を表 2-15 に示す。設計者アンケートでは運用に関する質問も行っており、その中の「運用 1 年目と比較した自然換気使用時間の増減」と「増減した理由」の回答結果に関して、システムの分類結果との比較を行いその傾向を解析した。なお「運用 1 年目と比較した自然換気使用時間の増減」について「把握していない」という回答であった物件については除外した。

自然換気使用時間が増えたと回答した物件は（4 物件／23 物件中）、ほぼ同じと回答した物件は（11 物件／23 物件中）、減ったと回答した物件は（8 物件／23 物件中）であった。

完全自動制御の物件では「増えた（2物件／12物件中）」「ほぼ同じ（7物件／12物件中）」「減った（3物件／12物件中）」であり、増えた理由には「施主・管理者の理解」を、減った理由には「外部・換気口作動音」を挙げていた。自動制御では居住者の意思と関係なく換気口が開閉されるので居住者の状況によっては苦情に繋がりやすい可能性がある。給気口が居住者による手動制御である物件では「増えた（1物件／9物件中）」「ほぼ同じ（3物件／9物件）」「減った（5物件／9物件）」であり使用時間が減った物件が多いことが明らかになった。減った理由に関しては「居住者が適切に開閉しない」「ほこりなどの苦情」「管理者の理解が得られない」を挙げていた。手動制御では居住者のシステムに対する理解や環境意識の高さによって使用時間が大きく変わってくると考える。また居住者制御であっても最終的には管理者が閉め忘れ等をチェックするわけであり、管理者への負担が大きいものは使用時間が減る傾向にあると思われる。以上の結果は設計者からの回答を基にした推測であり、自然換気の使用時間が減っていく原因に関しては更なる調査による検証が必要である。調査した72物件中で自然換気使用時間の増減に関して回答を得たのは23物件であり、ほとんどの設計者が「わからない」との回答であった。この点からも自然換気の運用実態について設計者アンケートのみで判断を行うのは不十分である。また、自然換気使用時間の増減の理由から、自然換気の使用は「居住者」「管理者」の視点からも調査を行うことが重要であることが判明した。

表 2-15 システムの分類と自然換気使用時間の増減

物件名	分類番号	機械換気	機械空調	自然換気使用時間			増えた理由・減った理由
				増えた	ほぼ同じ	減った	
N 学校	2-3	切り替え	切り替え	0	1	0	共用部なので
T 本社ビル	4-1	ハイブリッド	ハイブリッド	0	1	0	
S 本社ビル	4-1	ハイブリッド	ハイブリッド	0	1	0	
K 本社ビル	4-1	ハイブリッド	ハイブリッド	0	1	0	
R 学校	4-2	切り替え	切り替え	0	0	1	換気口作動音
KM 本社ビル	5-1	ハイブリッド	ハイブリッド	0	0	1	外部騒音
K オフィスビル	5-1	ハイブリッド	ハイブリッド	0	1	0	
WRPG 学校	5-1 5-3	ハイブリッド	ハイブリッド	0	0	1	換気口作動音
N 本社ビル	5-1	ハイブリッド	ハイブリッド	1	0	0	施主・管理者の理解があるため 4階で寒いと苦情
M 本社ビル	5-1			0	1	0	
M オフィスビル	5-3			0	1	0	
Y オフィスビル	11-1	切り替え	ハイブリッド	1	0	0	
K 学校	1-2	切り替え		0	1	0	手動と自動が連動しているので
I 研究所	1-2	切り替え	切り替え	0	1	0	シックハウス問題より
S 学校	1-1	切り替え	切り替え	1	0	0	気候条件による
K 研究所	1-4	ハイブリッド		0	0	1	ほこり
R 研究所	3-2			0	0	1	居住者の閉め忘れ
J 本社ビル	6-1			0	0	1	居住者制御がうまく働かない
MH オフィスビル	7-4	ハイブリッド	ハイブリッド	0	0	1	管理者等の理解が得られない
IOC 研究所	8-2	切り替え	切り替え	0	0	1	居住者が使わない
I 庁舎	9-1	切り替え	切り替え	0	1	0	
K 庁舎	10-3	切り替え	切り替え	0	1	0	外の臭い
SI オフィスビル	10-3		ハイブリッド	1	0	0	設計者のアドバイスにより 管理者の理解が得られたため

2.3.14 運用上の問題に対する対策

設計者アンケート Q17,18 から、運用段階で想定される問題 16 項目の中で、特に重要視した項目と対策が困難な項目を図 2-17 に示す。重要視した項目としては、「雨水」「制御の手間」の 2 つが他の項目に比べ非常に多い。「花粉」「におい」に関しては重要視したという回答に比べ、対策が困難であるという意見が多い。「突風」「ドラフト」については、問題として比較的重要視されているが、その対策も困難であるという回答が見られる。

設計者アンケート Q17 から、図 2-18 に各問題に対し「フィルター」「サッシ・換気口形状」「自動制御」により対策が可能、「周辺環境」により対策の必要なしと回答のあった建物数を示す。「フィルター」を設置する第一の目的は、虫の進入への対策であり、38 建物で導入されている。ほこりやにおい、花粉への対策としている建物もあるが、細かなフィルターを必要とするため、「圧力損失が大きくなり、自然換気に必要な換気駆動力が十分に確保できない」「除去した進入物が溜まっていくため、清掃の頻度が増えメンテナンスの必要性が高くなる」という指摘があった。

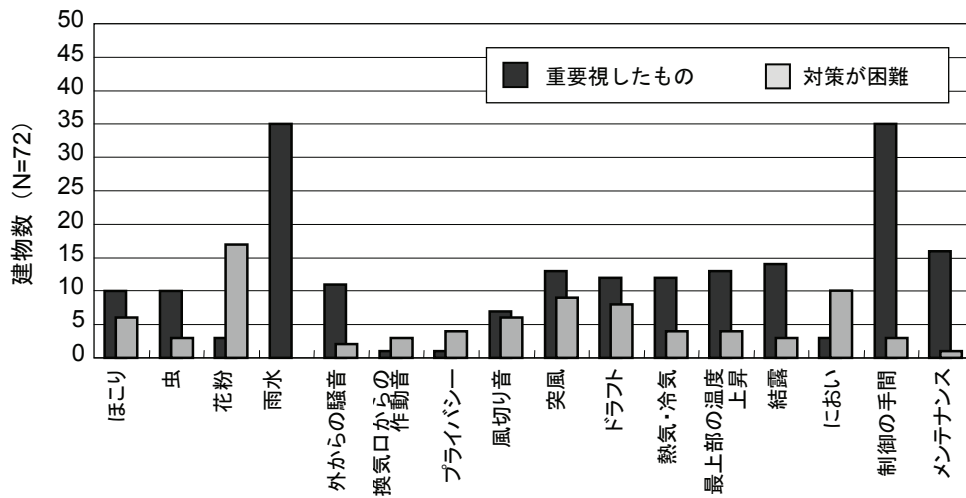


図 2-17 設計時の重要視項目と対応の困難さ（複数回答可）

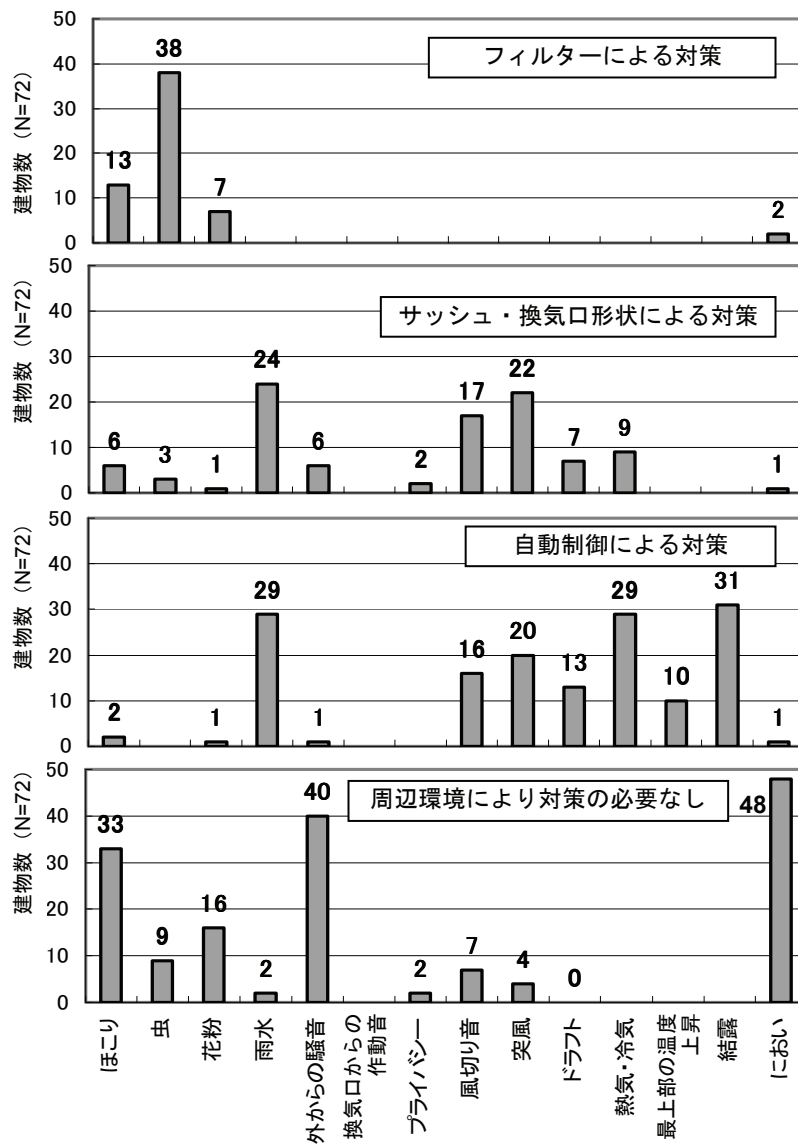


図 2-18 各対策と問題項目

2.4 管理者アンケート・ヒアリング調査

2.4.1 調査目的

自然換気システムに関して設計者アンケート・ヒアリング調査を実施した結果、自然換気システムの採用理由や換気口の制御方法、また運用面で考えられる問題点に対する対策方法が多岐に渡ることがわかった。そして、設計者の考え方に相違があることや各建物の用途や周辺環境、自然換気システムに大きく寄与していることを明らかにした。しかし、運用後に関する質問に対して、運用後1年目以後の利用時間に関しては不明であるという回答が多かった。現状は竣工後1年目に施主や施設管理者に対して取り扱いを説明するに止まり、運用後の長期的なフォローが設計者の実務上は困難であるという意見もヒアリング調査から明らかになった。つまり、設計者が一物件に関与できる時間は必ずしも運用後それほど長くはなく、現状では、施主や施設管理者の理解を得ることや自然換気を活用するという意思があるかどうかは自然換気の運用に大きく関わってくる。自然換気の運用ではこの説明と同意のバランスが現在、うまく取れているかどうかは、両者の内の片側（設計者）の意見のみでは明らかにならず、もう片側（施主、施設管理者）が設計者の提案に同意しながら運用しているかどうか、その意見を聴く必要がある。

実際の運用状態を設計者ヒアリング・アンケート調査から把握することは困難であり、実際の現場で自然換気を運用する施設管理者に対しての調査の必要性が示唆された。そこで設計者からだけでは明らかにならなかった、現在の運用状況の把握、さらには管理者の運用面での満足度を調査することを管理者アンケートの第一の目的とする。

設計者が運用上問題とされる項目を予防するために対策をすることは、経営管理手法に当てはめれば、リスクマネジメントのプロセスの一部であり、方針（対策）の表明である。リスクマネジメントは、その後の対策が正しいかどうかの分析やその評価を明らかにすることが重要になる。その対策が的確であったかどうかを評価するという点で管理者アンケートの重要性は高い。

2.3節で自然換気の運用上問題視される項目に対して設計者がどのような対策を立て、どのような項目を重要視しているか、さらにそれを用途、周辺環境、利用者の属性によって分類することで設計意図を把握した。そこで2.4節ではその対策が有効であったか、その対策が持続的に効果を発揮しているかを調査することを第二の目的としている。

2.4.2 調査方法

アンケート・ヒアリング調査は、設計者アンケート時に管理者アンケートの是非を尋ねた上で管理者へ連絡し、調査への協力について承諾の得られた物件に対して管理者アンケートを実施した。調査方法は施設管理者に直接会い、ヒアリング形式でアンケート用紙の質問項目に回答するか、アンケート用紙を郵送またはメールによって相手に送り、回答後、返信する形式を取った。アンケートのお願いは施主側の運用責任者に対して行ったが、アンケートの対象者は建物の空調や自然換気システムの発停止操作を実際に行っている施設管理者とした。調査期間は2005年10月下旬から2006年1月末とした。

管理者アンケートの構成を表2-16に示す。管理者アンケートは、第一の目的である管理者の運用面に関する理解度や満足度を調査するためにⅠを、第二の目的である現在の運用状況や苦情の発生率を調査するためにⅡ,Ⅲの項目を加えている。回答方法は図2-19に示すように主にチェック形式としたが、感覚的な評価部分である運用面に関しての管理者の満足度を問う項目はスケールバーによる申告形式を取り、その申告理由を自由記述とした。

表 2-16 管理者アンケート質問項目

構成	質問項目
Ⅰ. 管理業務	Q1 管理業務年数とその任期
	Q2 設計者からの運用方法に関する説明の有無とその内容
	Q3 利用者への運用方法に関する説明の有無とその内容
	Q4 前任の管理者からの運用方法に関する説明の有無とその内容
	Q5 運用面に関する管理者の満足度
Ⅱ. 自然換気システムの現在の運転状況	Q6 現在の自然換気の給気口、排気口の開閉制御方法
	Q7 現在の自然換気許可条件
	Q8 竣工後1年目と現在の自然換気運転時間・運転期間
	Q9 現在、自然換気を行っている区画
	Q10 自然換気の使用時間や区画が増えた・減った理由
Ⅲ. 自然換気における利用者からの指摘	Q11 利用者の環境意識
	Q12 利用者からの指摘があった項目とその回数、指摘が特に多かった時期
Ⅳ. 自由記述	Q13 Q12の項目のうち、特に問題となった項目とそれに対する対策方法
	Q14 自然換気の運用に関する意見

<p>Q1 この建物の管理業務を始めて何年目ですか、またその任期をお聞かせ下さい。</p> <p>[] 年目 任期 [] 年</p>
<p>・チェックボックス</p>
<p>Q8 竣工後1年目と現在の自然換気運転時間・運転期間についてお答え下さい。わかる範囲内で結構です。（竣工後2年未満の場合は設計時の想定との比較でお答え下さい。）</p> <p><運転時間></p> <p><input type="checkbox"/>増えた <input type="checkbox"/>ほぼ変わらない <input type="checkbox"/>減った <input type="checkbox"/>わからない</p>

図 2-19 管理者アンケート 調査票抜粋

2.4.3 管理者の意識

管理者の自然換気システムに対する意識を把握するため、各物件の運用に携わっている管理者に対して自然換気システムの満足度申告調査を行った。自然換気システムに関する7項目①換気口の操作②システムの理解③許可条件の変更④メンテナンス⑤苦情対応⑥省エネ維持⑦引継ぎ、に関して「苦勞する (-1)」から「問題なし (+1)」までの10段階評価で申告調査を行った。その結果を図2-20に示す。結果より自然換気システムの運用に関しては概ね満足側の申告であり、自然換気システムの導入が即管理者の負荷に繋が

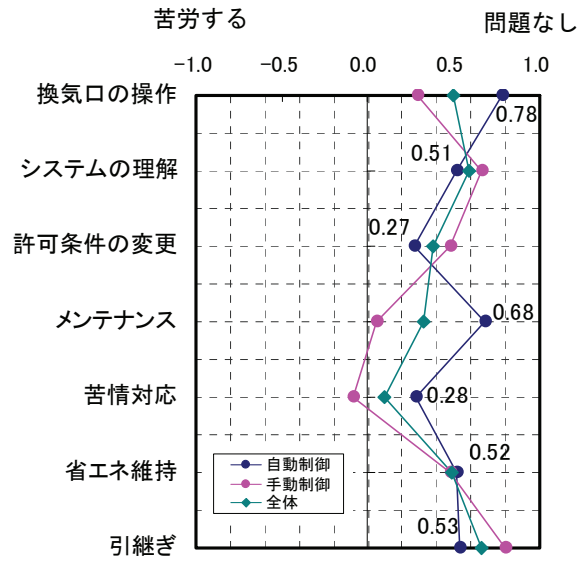


図 2-20 管理者の満足度申告結果

るわけではないことが分かった。しかし、相対的に比較すると苦情対応やメンテナンスに関して満足度が低いことが読み取れる。また、手動制御物件と自動制御物件でそれぞれ申告結果を分析した結果、自動制御では「換気口の操作・メンテナンス」の満足度が高い反面「許可条件の変更」の満足度は低く、手動制御では「システムの理解」の満足度が高い反面「苦情対応・メンテナンス・換気口の操作」の満足度は低い傾向にあることが分かった。主な申告理由を表2-17に示す。申告理由の中で「省エネ維持」に関して省エネ効果がデータ等によって定量的に把握できないため効果が疑問であるという意見が多かった。自然換気の効率的な運用は管理人の理解度に比例すると思われるため、省エネ効果の定量的把握を行う手法の開発が重要であると思われる。

表 2-17 苦情発生時における管理者の対応

	換気口の操作	システムの理解	許可条件の変更	苦情対応	省エネ維持
主な申告理由	南北、上下により制御方法が変わってくるので手間がかかる	複雑な許可条件により自動開閉するので、オペレーターでは開閉の理由がわからない。	パラメータの設定方法については不明	床下・吹き出し口の風を直接受けないように床吹き出し口の向きを変えた	結局空調機も併用しているため、数値的な効果が疑問。
	個々に遠隔操作可能であるが、各ダンパーのグループ制御については設定できない為、操作対象が多くなる。	十分に理解できる。	委託業者にて行っている。	開閉時の作動音に関する苦情があった。	省エネの効果をあげる為には条件設定の調整が必要かと思われる。
	手動操作では、開閉の確認がし辛く、遠隔操作が望ましいと考えられる。		取入条件の把握はOK。	状況の説明と対応策の実施を行った。	省エネ効果をデータで確認出来ない為、疑問は感じる。
	上中下階で温度差が生じる、中階の人口密度が変わるので自動と手動を併用している			突風時に換気口から音がするという苦情があったが対策はできず。	室温の設定温度によっては、中間期の省エネルギーに効果があると思う。

2.5 運用データによる自然換気の活用状況の分析

2.5.1 利用時間の経年変化

設計時に想定した自然換気使用時間と実際の使用時間の経年変化を図 2-21、表 2-18 に示す。設計時の想定時間は、各物件の設備設計者が設計時に検討した値である。実際の使用時間は、建物管理者・オペレーターへのヒアリング・アンケート調査並びに BEMS データより明らかになった値である。図 2-21 より使用時間の中央値は設計時から 1 年目、調査時と運用されるに従って減少傾向にあり、運用 2 年目以降の調査時には設計時想定時間の 58% の使用時間に留まった。物件毎の変動については使用時間が増加している物件は少なく横ばいの物件が多い。減少している物件の中には 1 年目はある程度使用されているにも関わらず、何らかの理由で運用停止に至っている物件が見られた。管理者アンケートから明らかになった主な使用時間の低減理由を表 2-19 に示す。使用時間の低減へと繋がる主な理由は①居住者からの苦情②管理者・使用者の自然換気システムへの理解③自然換気の制御方法の 3 つの要素に分類できる。これら 3 つの要素に関して詳細な検討を行うことで使用時間が確保されるシステムの条件を明らかにした。

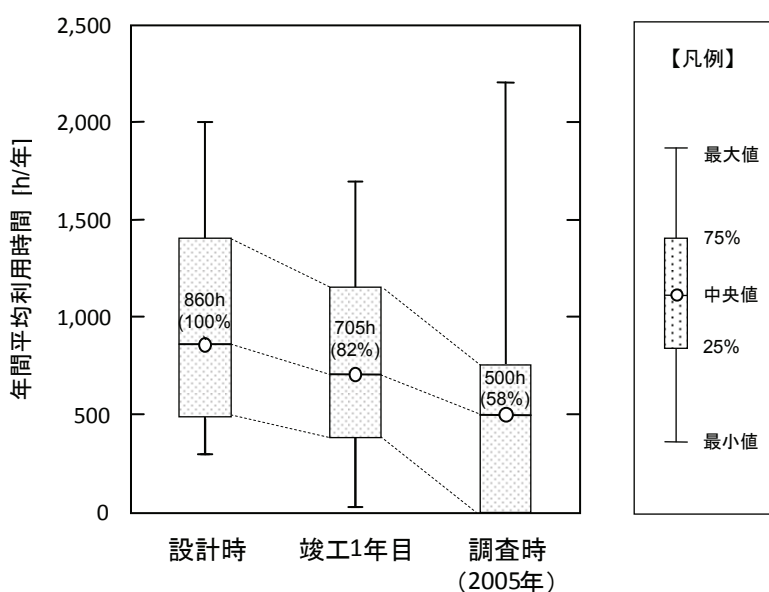


図 2-21 利用時間数の変化

表 2-18 各建物の利用時間変化

事例	用途	設計時	1年目	2005年調査時 (竣工年数)
A	研究所	1700	1700	0 (2年目)
B	オフィス	1400		一部停止 (1年目)
C	病院			夜間停止 (3年目)
D	研究所	700	1000	0 (13年目)
E	オフィス			0 (3年目)
F	研究所			一部停止 (2年目)
G	研究所	980	100	0 (5年目)
H	オフィス			0 (17年目)
I	オフィス	465	35	2207 (8年目)
J	研究所	860	750	750 (3年目)
K	オフィス	1300	1200	1100 (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	2000	1270	100 (8年目)
O	学校	1400	1440	1700 (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	1500	1000	700 (4年目)

表 2-19 自然換気利用時間が低減した理由

事例	用途	利用時間が変化した主な原因
A	研究所	換気口作動音に関する苦情の発生 ①
B	オフィス	換気口作動音に関する苦情の発生 ①
C	病院	夜間の換気口作動音に関する苦情の発生 ①
D	研究所	換気口の開閉に手間がかかりすぎるため利用を停止 ②
E	オフィス	居住者が換気口を開閉すると気密性が確保できない ②
F	研究所	異臭が伝わるという苦情の発生 ① 換気口の開閉に手間がかかる ② 居住者の理解を得られない ③
G	研究所	ほこりの侵入に関する苦情の発生 ① 管理者の理解を得られない ③
H	オフィス	管理者の理解を得られない ③
I	オフィス	管理者の理解を得られた ③

①利用者からの苦情 ②換気口の制御方法 ③自然換気システムへの理解

2.5.2 苦情に関する実測調査

設計者アンケートや管理者アンケートから運用段階を迎えた各物件には様々な問題が発生していることを明らかにしてきた。現在の自然換気の利用状況を把握している設計者は非常に少ないこともわかり、苦情の発生により自然換気の利用を停止せざるを得ない物件もあることが判明した。そのような物件では、自然換気システムの改良や利用方法の工夫などの改善策が求められる。しかし、実際に有効な改善策を実行し、運用を再開できるような物件は極めて稀であり、大抵の物件ではコストや手間の問題から自然換気に何らかの苦情が発生してしまうと利用頻度は大きく減少してしまう。そのような事態を未然に防ぐため、またその問題解決の困難性とその改善の可能性を探っていくためにも各物件での問題点を明らかにしていくことは重要なことであると考ええる。

設計者が運用段階においてもアフターフォローをすることは重要なことではあるが、実際には設計者は次々に仕事を抱えるために実務上それが困難な現状にある。それ故に各物件の運用段階での状況を把握しているのは建築主、管理者、居住者と言え、それらの人が自然換気についてどれだけ理解しているかは自然換気の運用において要となる。しかし、建築主や居住者が自然換気システム導入について納得し、その有効性について理解しながら運用が進めているか不明な点も多い。

以上のような観点から、本節では設計者、管理者アンケートからある程度の現状を把握している3物件について既に発生している、あるいはこれから発生する恐れのある問題について居住者アンケートや実測調査で明らかにし、今後の苦情発生を未然に防ぐため、あるいは運用を改善するために考慮すべき点を明らかにする。

[事例 A 換気口作動音実測調査]

設計者アンケート、管理者アンケートを通して、自然換気導入物件にはそれぞれ様々な問題を抱えていることを明らかにしてきた。中には運用段階で利用者からの苦情が発生し、自然換気の利用が完全に停止してしまった物件も見られた。その一例として換気口作動音が問題となり、現在は運用を停止している大学施設がある。この物件は2005年の運用2年目において、1年目の冬季から春季にかけてその苦情が多発し、運用停止という事態になった。このような換気口作動音の問題は管理者アンケート結果でも数件見られ、特に竣工1年目に問題となりやすい項目である事がわかった。建物を運用する管理者側としては、利用者の居住性を維持することを省エネルギー性よりも重要視し、自然換気を完全停止するに至った。一方、設計者側は一部のみでも自然換気の利用を開始することを提案中である。ここではその問題となった作動音の騒音レベルを図2-22に示す実測対象室を含んだ3ヶ所で測定し、その騒音レベルを定量化することで今後の問題解決への課題を明確にしていくことを目的としている。

(1) 建物概要

この建物は、開放型研究空間や共用施設郡が配置されている南側で、地下のクールピットから最上階トップライトまでの回遊動線に沿って、高低差による煙突効果と外部の風の誘引効果を利用した自然換気システムによる環境制御を行っている。条件内の設定値は現場で変更可能な値であるため、実運転データから現場での設定値を求めた。この建物の自然換気許可条件は外気導入有効（外気エンタルピ<室内エンタルピ かつ 9℃<外気温度<27℃の条件を満たす場合）かつ設定値 14℃<室内温度<設定値 28℃の場合であり、そのような条件を満たすと上部トップライトが開き、自然換気可能な状態となる。また授業が終了した夜間、休日にはナイトページによって、翌日の熱源負荷低減を図っている。その他、空調、暴風雨、閉鎖モードが設定され、それぞれ条件によって完全自動で制御されている。各モードの許可条件をまとめたものを表 2-20 に示す。

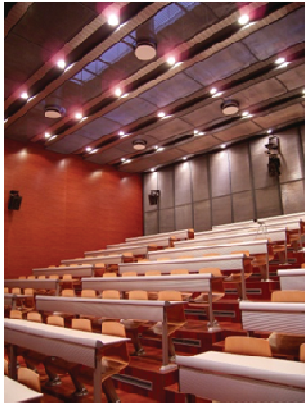


図 2-22 実測対象室

表 2-20 各モードの許可条件

モード	条件	トップライト	空調機
自然換気	外気導入有効 ^(注) かつ 設定値 14℃<室内温度<設定値 28℃	○	×
ナイトページ	時間外（夜間・休日）において 外気導入有効 ^(注) かつ設定値 14℃<室内温度<設定値 28℃	○	×
空調	外気導入無効 または設定値 28℃<室内温度	○	○
暴風雨	降雨時または強風時	×	○
閉鎖	時間外（夜間・休日）において外気導入無効	×	○

(注) 外気冷房有効とは外気エンタルピ<室内エンタルピ かつ 9℃<外気温度<27℃の条件を満たす場合

この大学施設は、授業だけでなく、市民や企業に貸し出しも行っており、利用頻度が高いこともあり、大学だけでなく、市民・企業の方のニーズ、居住者の考え方を重視していることもあり、苦情が発生した場合、その対応としては安全策（自然換気をしない）を取らざる終えない現状がある。トップライトはワイヤー式の機構でそのワイヤーが外れ故障しやすいというメンテナンスが困難である点も管理者ヒアリングより判明した。

問題となったトップライトは図 2-23 に示すように下部のレクチャー1、2、共用部の回遊動線の3つの系統に別れ、1~4階に設置されている各系統のセンサーによって別々に制御される。トップライト開放の様子を図 2-24 に示す。

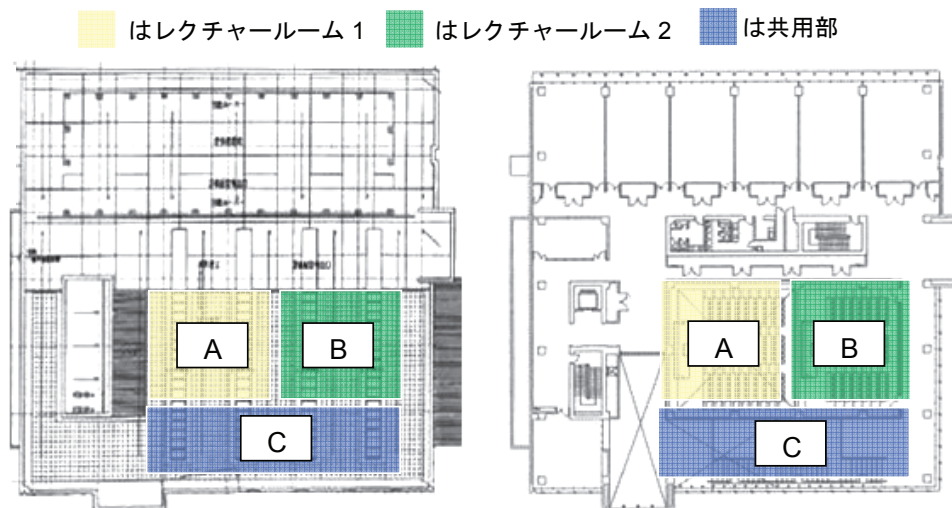


図 2-23 トップライトの制御系統

レクチャールーム上部のトップライトの開閉は授業時間中にも行われ、自然換気が行われていた。しかし、授業中にトップライトの開閉が行われるとその作動音により授業の進行が妨げられるという苦情が 2004 年の秋季から発生し始めた。その後、それまで完全自動制御されていたトップライトの開閉を 3 ヶ月間手動開閉していたが、2005 年の春季にも再び苦情が頻発したためトップライトを完全閉鎖している状況にある。



図 2-24 トップライトの開放状態

トップライトの換気口作動音が、自然換気の運用時間に与えている影響を定量化するために、この建物に導入されている BEMS を解析し、竣工直後から 10 月までの利用時間の推移を調査した。その結果を図 2-25 に示す。竣工から 1 年間の運用実績は 705 時間程度、ナイトパーズを含めれば、1013 時間程度に及ぶことがわかった。しかし、2 年に入った 4、5 月での運用時間は去年を大きく下回る結果となっていることが BEMS からわかった。管理者ヒアリングでは、去年の中間期ごろから既に管理者が手動で操作していたが、2 年目の春で再び苦情が発生したことから、完全閉鎖に移行したことが、この運用時間推移からもはっきり表れていて、5 月中旬以降は、メンテナンス時など自然換気目的以外の開閉を除けば、利用時間は 0 時間のまま 10 月に至っている。

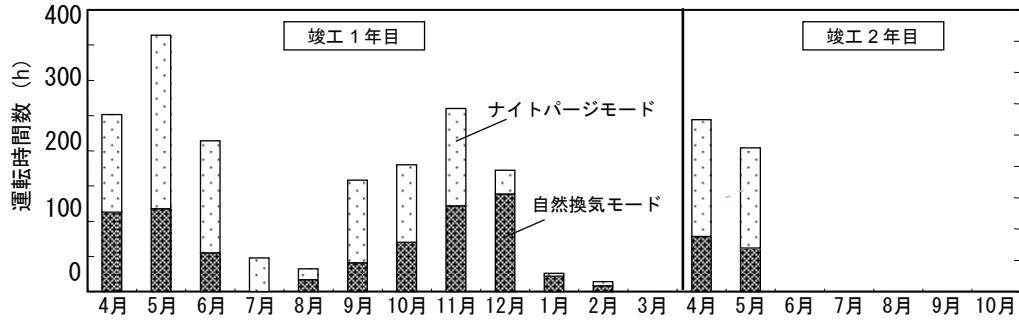


図 2-25 事例 A における自然換気利用時間の月別変化

対象室における騒音の測定結果を図 2-26 に示す。特に閉鎖時に 55dB (A) の騒音値が 30 秒以上継続しており、騒音を無視できない程度の作動音が発生していることがわかった。設計者は専用部のみを閉鎖する対策を行う予定であったが、共用部換気口開閉の際の動作機構が専用部に設置されていることから、現在は対策が困難な状態にある。事例 A における運用状況のまとめを図 2-27 に示す。

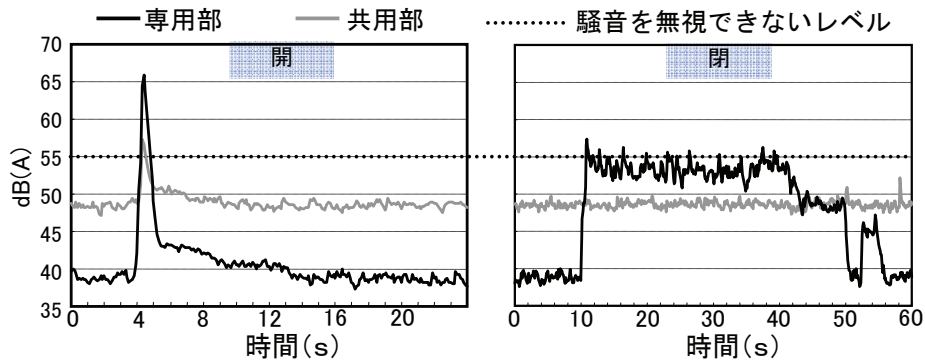


図 2-26 換気口の作動音実測値

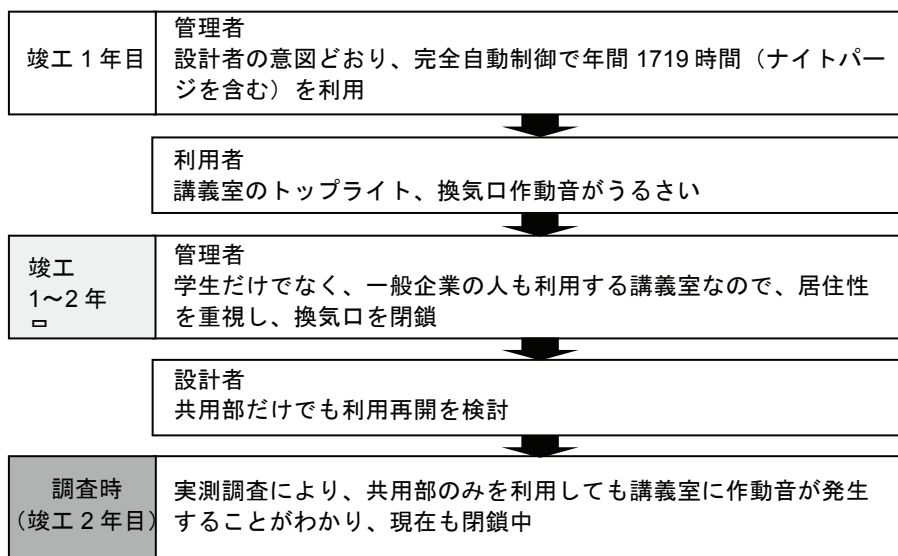


図 2-27 事例 A の自然換気システム運用経過

[事例 B 騒音に対する苦情調査]

管理者アンケートでは換気口の開閉を完全自動としている場合、その作動音が問題となる物件がいくつかで見られた。特にその問題は、運用後の 1、2 年目に発生している物件が見られた。初期の施工不良によって換気口の作動音が発生してしまった物件も見られた。この物件で換気口作動音に関する苦情は 1 年目で 4 回以上発生しており、設計者アンケートでは利用者の許容範囲内という回答との食い違いも見られた。そこで、この物件について換気口作動音がどの程度問題視されているのかを明らかにするために建物の常時利用者を対象にアンケート調査を実施した。

(1) 建物概要

この建物はハイブリッド空調を採用しており、自然換気と空調が併用して利用される。換気方法は 4 つのモードに分かれており、「低温送風モード」、「自然通風モード」、「自然通風＋空調併用モード」、「外気冷房モード」がある。壁面に設けられたガラリを開放し、給気された新鮮外気は事務室を通過して、建物中央に設けられた光庭にガラリを通過して排気されていく。運用当初は寒いという苦情も発生し、温度設定条件を変更している。そこでアンケート調査では、換気口作動音問題以外の問題についての不満についてもアンケート項目に含めた。

(2) アンケート調査項目

アンケートは 3 つの設問で構成されている。表 2-21 にその構成とアンケート回収数を示す。アンケートは 3・4・5・6・7 階の常時利用者を対象とした。質問項目としては自然換気時に気になる音、音以外にも気になること、最後に自然の風を感じるかどうかについて質問した。騒音の問題は、換気口の作動音、外部の騒音、風の音、室内の音に分類し質問した。さらに、その騒音が特に気になる時についての設問を加えた。騒音以外の問題としては苦情が発生した室内温度（暑い）の他に埃や虫、花粉についても質問した。また、回答の方法はアンケート用紙を配布し、回収ボックスで用紙を回収した。アンケートの内容はチェックボックス式とした。

表 2-21 アンケート調査概要

調査日	階	回収数	質問項目
2005 年 8 月上旬	3 階	163	①自然換気時に気になる音は何か。 ②自然換気時、音以外で気になることがあるか。 ③自然の風を感じるかどうか。
	4 階	154	
	5 階	154	
	6 階	173	
	7 階	107	
	計	751	

(3) アンケート調査結果

自然換気時に気になる騒音についてのアンケート結果を図 2-28 に示す。最も回答が多かったのが外の騒音であった。次いで、換気口の作動音についての問題が指摘された。室内の音についての指摘はほとんど見られなかった。外の騒音や換気口作動音の問題の指摘は 3 階の利用者に集中していることがわかった。そのような傾向は騒音以外の問題については見られなかったことから、騒音の問題は一部での利用者に関する不満者率が高いことがわかった。騒音が特に気になる項目については、室内が静かな時、集中したい時、外がうるさい時、のような内外の音環境と心理的な状態も大きく影響していることがわかった。換気窓を開閉時に気になるという指摘も次いで多かったことから、音圧の変化が大きい時が苦情の発生を高めると言える。

その他の項目は各階均等に不満者が発生している。特に自然換気時は自然通風モードであり、空調が停止しているため暑いという指摘が最も多かった。次いで花粉、埃や虫の問題が指摘された。自然の風を感じるかどうかの設問に対しては、感じないという人がほとんどであり、自然換気を行っているのに気づいている人はほとんどいないことがわかった。自由記述においても自然換気をしていたことを知らなかったとい記述も見られたことから自然換気の導入を理解している利用者は非常に少ないと考えられる。感じるという人の内訳を見てみると、3 階利用者の回答が最も多いことが判明した。この割合は換気口作動音を指摘した利用者の割合と類似している。また、暑いという苦情が多いことは、竣工当初の寒いという苦情とは対症的な指摘であり、自然換気の温度許可条件 1 年を通して一定にすることが困難であることが指摘できる。特に窓面の利用者にとって、この設定温度条件によって自然換気が快適なものになるか、不快なものになるかが大きく変わってくるため、窓面の換気口開閉を完全自動制御する時には特に留意するべき点であると言える。

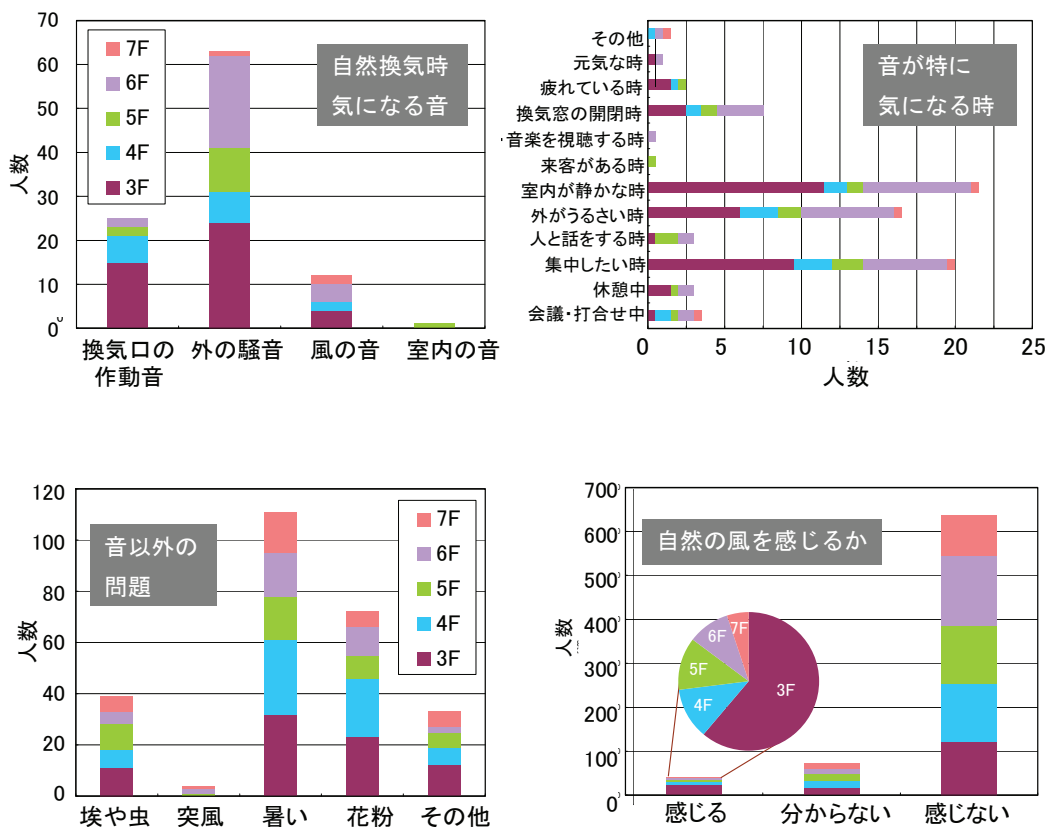


図 2-28 自然換気時の騒音などに関する利用者アンケート結果

(4) 考察

利用者アンケートの結果、換気口作動音の指摘は室内温度や外の騒音に比べて、不満者率はそれほど高くはないことが判明した。しかし、管理者アンケートでの苦情の発生回数が最も多かった。この両者の結果を比較すると自然換気口の作動音問題の不満者発生率はそれほど多くはないものの、一部の居住者が感じる不満度は高く、結果として苦情の発生率が高くなるという結果が考えられる。また、音の問題は心理的な面も大きく関係しているために、その制御が非常に困難であると考えられ、完全自動で制御するためには音の大きさ自体を出来るだけ抑える必要がある。しかしそのような防音処理には、コストの面で不利な点が多いことを考慮すると換気口の開閉を一部居住者に任せるということも一つの有効な手段であると考えられるが、どこまで居住者に開閉を任せればいいかを入念に考慮しなければ、効果的、持続的な運用は難しいと言える。また換気口が自動開閉となる場合は、居住者の意思に関わらず開閉が行われているため、自然の風を感じる機会というのが非常に少ないということがある。自動開閉においても自然換気によって外気が入ってくることを利用者が認識できることも重要であることがアンケート結果より指摘できた。

2.5.3 利用時間が減少した経緯

[事例 C]

事例 C では共用部を自然換気対象空間としているが、夜間において換気口作動音がうるさいという苦情が発生し、夜間のみ自然換気を停止している。

[事例 D]

事例 D では、換気口開閉が管理者による手動で行われる。この建物は、組織として省エネルギーに取り組んでおり、竣工後 1 年目は設計者の年間 700 時間という予想を上回る利用があった。しかし、2 年目以降、換気口の開閉、特に閉鎖時に非常に労力がかかる、また開けたままにすれば雨水が吹き込み、利用者からの苦情が発生しかねないという管理者の見解から、竣工 2 年目ごろから 12 年目を迎える 2005 年まで利用をほぼ停止している。一連の経過を図 2-29 に示す。

[事例 E]

事例 E は地震発生時でも最低限の機能を保持できるように自然換気用に手動開閉の換気口を採用した。しかし、自然換気時に上階が中性帯よりも上となるため、上階に行くほど外気が入りにくいこと、また大空間が一体となった平面のために一部の VAV 風量変化が周辺の温熱環境に悪影響を及ぼす現象が、自然換気併用によって促進される問題が生じた。このため、通常時は窓を閉めたままとなっている。一連の経過を図 2-30 に示す。

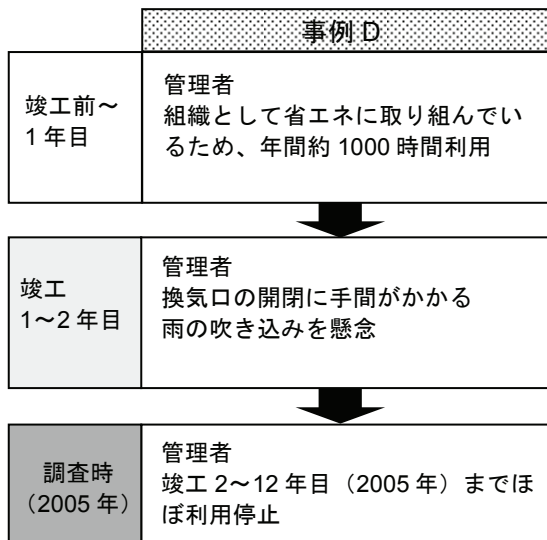


図 2-29 事例 D の自然換気システム運用経過

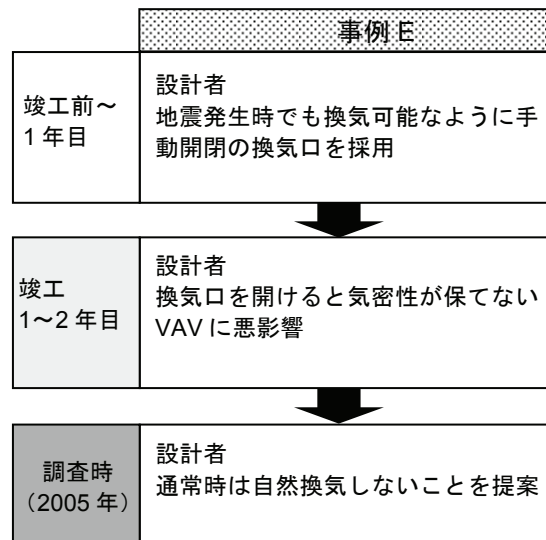


図 2-30 事例 E の自然換気システム運用経過

[事例 F]

事例 F では 2005 年中間期 10 月の 5 日間に渡って図 2-31 のように自然換気に利用される換気窓の開閉状況を調査した。調査の結果換気窓は平均で 86 窓中 49%開放であった。また、専用部において自然換気設備（定風量スリット、窓、ガラリ、ドアの開閉状況）の利用状況について同様に調査したが、自然換気有効な状態（窓側の通常窓または定風量スリットとドア側のドアまたはガラリが同時に開放状態）の時間は積算滞在時間の 5%程度となった。しかし、各部屋の居住者に、自然換気時の室内環境の満足度についてアンケート調査を実施した結果、図 2-32 のように全項目で満足側の回答が見られた。

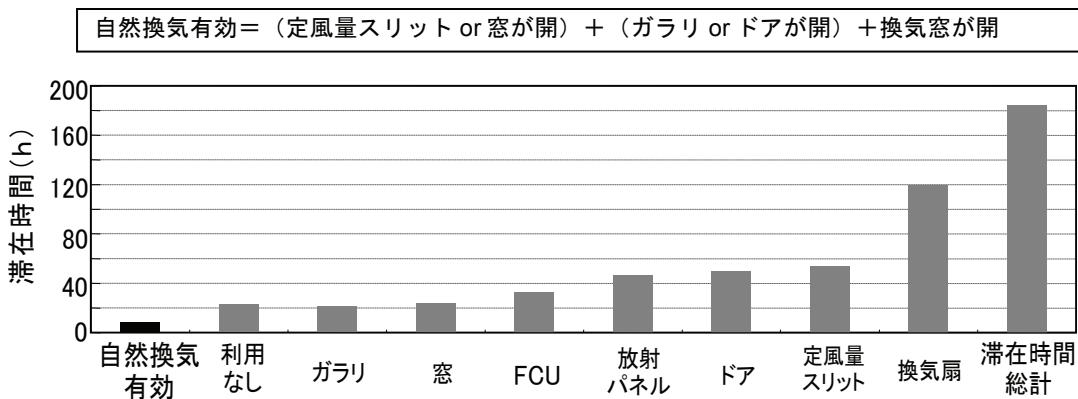


図 2-31 事例 F における各室内設備利用時間

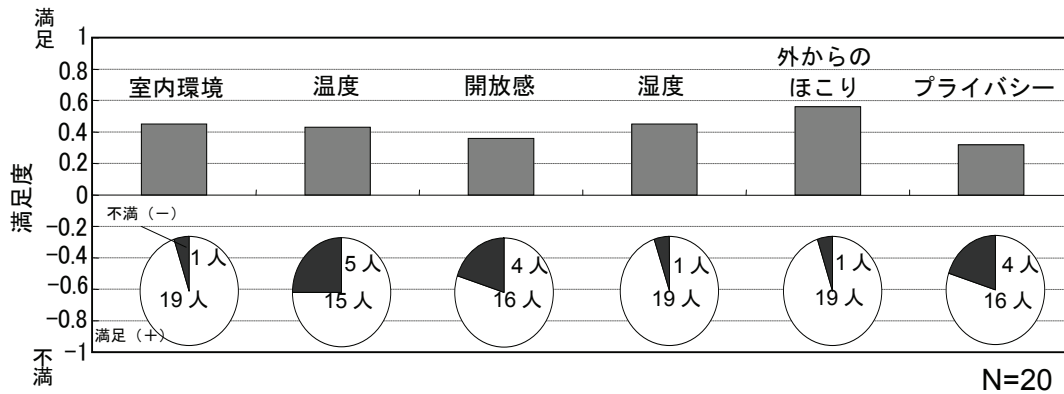


図 2-32 事例 F における自然換気時の室内環境満足度と満足者率

[事例 G]

事例 G では、竣工後 2 年目以降、ほこりの苦情対応として換気口が閉鎖されている。事例 G は竣工 4 年目である事もあり、設計側が管理側と長い間連絡を取っていない状況であった。

[事例 H]

事例 H では壁面に設置された 1000 箇所の換気窓の管理に手間がかかるために管理者が管理・運用を嫌うようになった。また、コンサルタントからの換気窓が開くと空調の効果が得られないという意見によりオーナーは運用を停止した。特に事例 H ではランニングコストがテナント持ちであることも運用停止の一要因となったと考えられる。一連の経過を図 2-33 に示す。

[事例 I]

設計者が運用後、管理側に自然換気運用に関する省エネルギー性を提案することで、竣工 1 年目から利用時間を大幅に増加した事例もある。一連の経過を図 2-34 に示す。設計者アンケートによると、事例 I では竣工 2 年目以降、管理と設計側の話し合いから管理者の理解を得ることができ、図 2-35 に示すように利用時間が大幅に増加した。また、事例 I の管理者に管理業務についての満足度を調査したところ、図 2-36 のように「省エネルギー性を理解して」という申告理由から、全ての項目について満足側の回答であった。一方、Case1 では「省エネルギー効果への疑問」、Case2 では「操作性への不満」が挙げられ、事例 I と比較して満足度の低い回答が見られた。

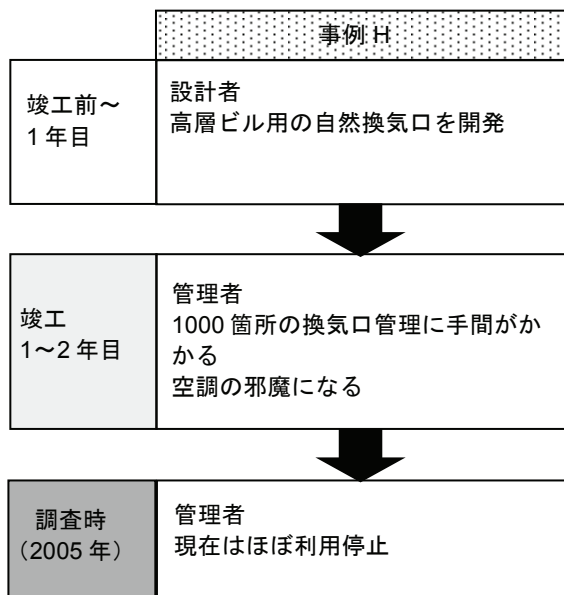


図 2-33 事例 H の自然換気システム運用経過

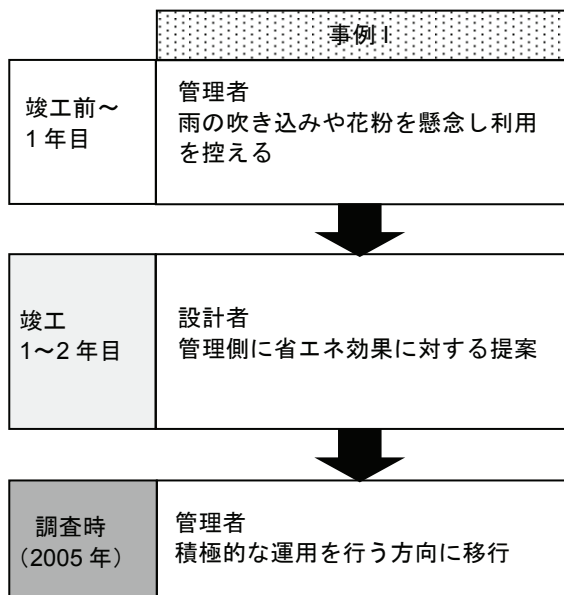


図 2-34 事例 I の自然換気システム運用経過

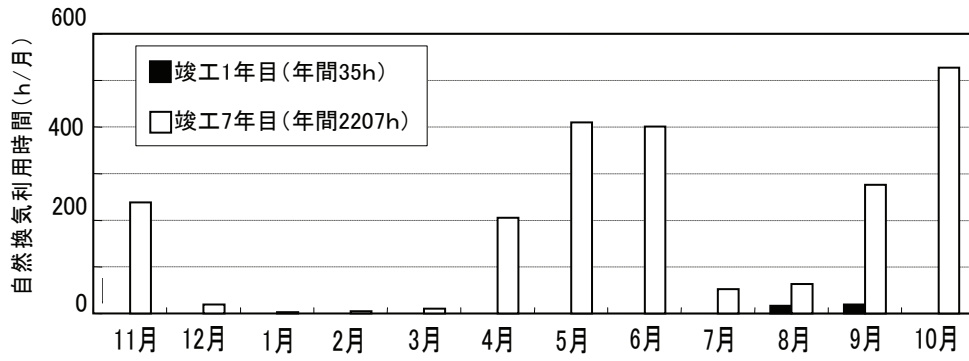


図 2-35 事例 I における竣工 1 年目と調査時の自然換気利用時間

1 換気口の操作 2 システムの理解 3 許可条件の変更 4 メンテナンス 5 苦情対応 6 省エネ維持

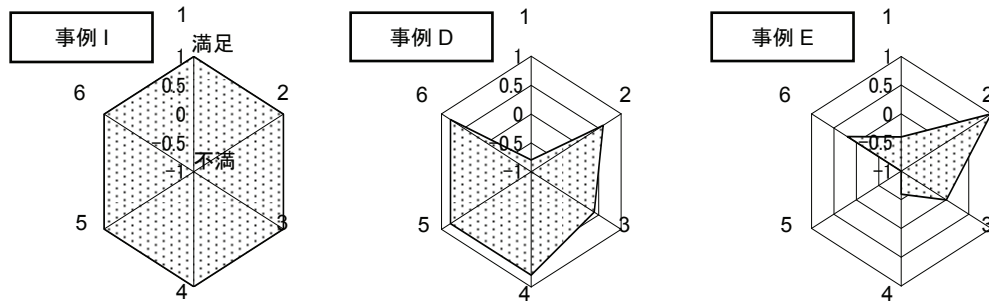


図 2-36 事例 I,D,E における管理業務に関する満足度

2.6 自然換気の運用阻害要因の分析

2.6.1 換気口の制御法との関連

アンケート・ヒアリング調査の分析により、運用阻害要因の内容は換気口の制御方法と関連があることが推測された。外気導入法・給気口制御法・排気口制御法で分類し、該当事例が3物件以上になったものとそれぞれの運用阻害要因について表 2-22 に示す。また、各タイプにおける特徴を以下に示す。

①給気口居住者手動＋排気口自動制御：居住者への働きかけが重要であり、居住者に対して省エネルギー効果が高く快適性が損なわれない制御方法をよく理解させる必要がある。居住者の建物の使い方や環境意識の高さが要点となる。またシステム的には、居住者が自分勝手な開閉を行っても全体への影響が少ないシステムであることも重要であると思われる。

②完全自動：管理者への働きかけが重要であり、システムの運用や苦情対策の多くを管理者が負担するため管理者の理解が重要である。管理者の理解を得るには、システムに関する丁寧な説明と共に自然換気システムの省エネルギー効果を納得させることが必要になる。また、自動制御には特有の苦情（換気口の作動音など）があるため、この点に留意して設計する必要がある。制御区画を把握できる範囲で細分化することも運転停止への対策としては有効であると考えられる。

③給気口居住者手動＋中央監視制御：①の留意点に加え、管理者の手間（閉め忘れ確認等）を軽減させる工夫が必要であり、同時に管理費用対効果のバランスを確認しておくことが重要になる。

④中央監視制御：管理者の省エネルギーに対する意識の向上が不可欠である。また、制御履歴が残らない事が多いので、管理者の引継ぎの際には注意が必要である。

表 2-22 制御方法と持続性能

	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4
	居住者手動 ＋ 自動	完全自動	居住者手動 ＋ 中央監視制御	中央監視制御
外気導入法	換気窓	換気サッシ バッファ空間	換気窓 換気サッシ	換気サッシ
給気口制御法	居住者手動開閉	自動制御	居住者手動開閉	中央制御の遠隔操作
排気口制御法	自動制御	自動制御	中央制御の遠隔操作 または手動制御	中央制御の遠隔操作
調査物件数	4件	11件	5件	3件
持続性に影響を与えた要因	<ul style="list-style-type: none"> ・居住者の環境意識 ・居住者の換気口操作の不慣れ ・居住者からの苦情 	<ul style="list-style-type: none"> ・管理者の省エネルギー意識 ・自然換気システムの省エネルギー効果への疑問 ・居住者からの苦情 	<ul style="list-style-type: none"> ・管理費用対効果のバランスの悪さ ・管理者の負担の大きさ ・居住者からの苦情 	<ul style="list-style-type: none"> ・管理者の度重なる変更、引継ぎ ・居住者からの苦情

2.6.2 苦情と設計時の対応との関連

苦情発生に対して管理者が行った対策を表 2-23 に示す。管理者が行った対策は一部閉鎖や完全閉鎖が 23 物件中 9 物件、さらに対策が困難な物件が 8 物件であった。この結果より、管理者は運用段階での有効な対策の無さや安全側の運用意識によって自然換気使用時間の減少を選択するのが現状であり、設計段階での苦情防止策によって苦情を発生させないことが重要であることが明らかになった。

居住者からの苦情に関しては、設計者アンケートにおいて「設計時の対策の有無とその対策法」、管理者アンケートにおいて「実際に起きた苦情の種類と回数・時期」に関して回答を得た。その回答結果を基に苦情に対する設計者の意識・その対策・実際に起きた苦情に関して相関分析を行った。また、横軸に「設計時の対策の有無」と「実際の苦情発生」の相関係数、縦軸に「設計時の特に重視した対策」と「実際の苦情発生」との相関係数を取り、苦情を分類した相関グラフを図 2-37 に、グラフの読み取り方を図 2-38 に示す。この相関グラフより「換気口作動音」「外からの騒音」については、設計者が特に対策の必要なしと判断したのに対して発生件数が非常に多く、設計者の問題意識は薄い但实际上には苦情に繋がりがやすい項目であることがわかる。

「花粉」「夜間の虫の侵入」については、対策を重視したにも関わらず苦情が発生した物件が多いことが分かった。これらの項目は苦情発生への有効な対策が困難であることを示している。「花粉」が苦情として発生し始めたのが近年であり、有効な対策法に関する今後の研究・開発が必要と思われる。

表 2-23 苦情発生時における管理者の対応

苦情項目	苦情発生時の自然換気システムへの対処
花粉	①花粉時期は閉鎖 ②部分的に閉鎖
ドラフト	①苦情エリア 1 系統を自然換気禁止 ②運転停止
換気口作動音	①運転停止 ②メーカーに修理を依頼
居住域最上階の温度上昇	①共用部の廊下空調を運転
雨水の吹き込み	①運転停止
外部からの臭い	①臭う時期は運転停止 ②一部閉鎖 ③運転停止
結露	①結露シートを貼る ②有効な対策なし

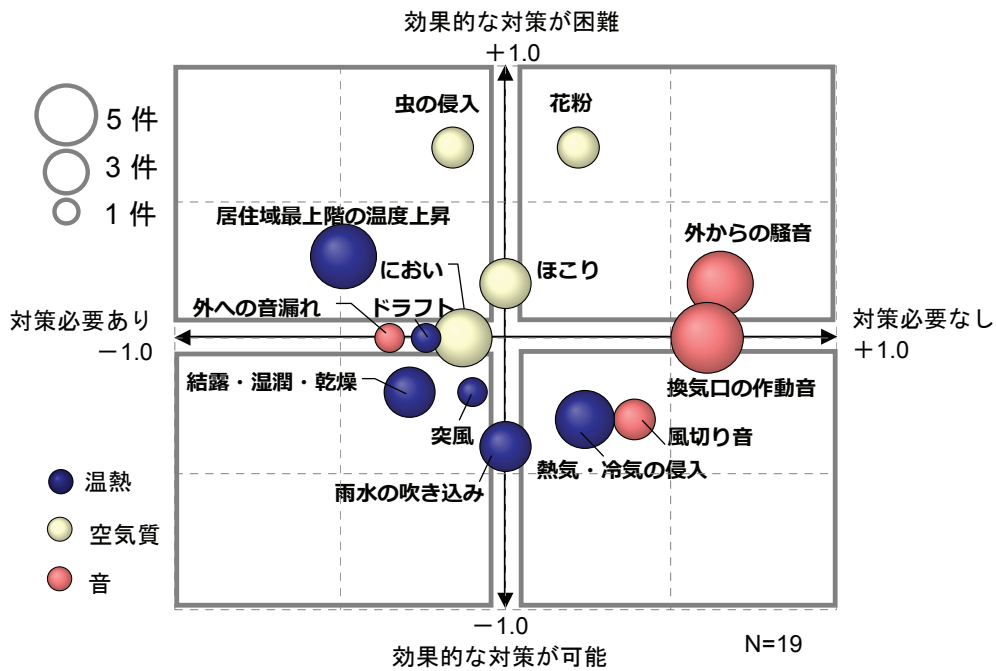
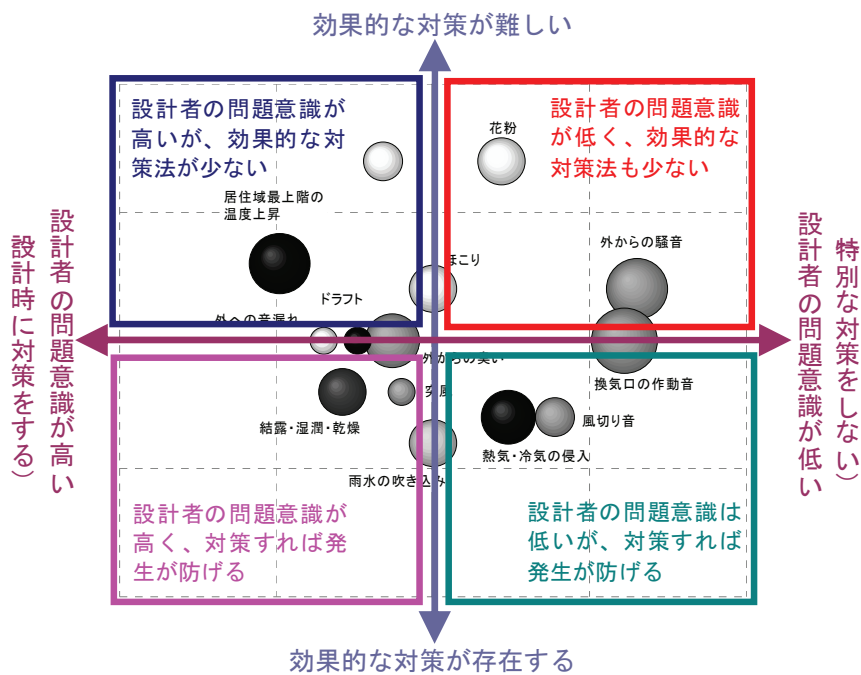


図 2-37 設計時の対策と実際の苦情発生との相関



$$\text{相関係数} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

x_i = 変数1 y_i = 変数2
 \bar{x}, \bar{y} = 相加平均

図 2-38 相関グラフの見方

2.7 実態調査から得られた持続的活用性向上への知見

(1) 設計者アンケート調査

- ・設計者アンケート調査により、建物概要、導入理由、対象空間、換気経路、省エネルギー効果試算、外気導入法と制御法、許可条件、制御の区画割、機械空調との併用、換気口面積、運用時に予想される問題についての設計的対策、実運用の把握、について現状を調査した。
- ・導入理由は「空調使用期間の低減（41 回答/51 回答）」「換気に係るエネルギーの削減（33 回答/51 回答）」「通風感による快適性の向上（32 回答/51 回答）」が多いことが分かった。
- ・省エネルギー効果の予測は、平均すると建物消費 1 次エネルギーの 3.4%、空調消費 1 次エネルギー量の 15.1%の削減であり、換気回数で定義している物件は 5 物件で平均 3.9 回/h であった。
- ・排気窓に関しては自動制御を導入している物件が 32 物件であり、最も多かった。
- ・給気口排気口とも自動制御である完全自動制御にはオフィスの事例多くみられ、完全手動は庁舎・学校・研究所などの事例に多くみられた。
- ・換気口制御方法の決定理由について多かったのは「自動制御の理想運転による省エネルギー効果」「自動制御による管理者の手間軽減」「空調時と変わらない室内環境維持」「通風感の重視」であった。
- ・許可条件の設定については物件毎にばらつきが見られたが、許可条件は自然換気の運用上重要な条件であり、最適な条件について検討が必要と思われた。
- ・官公庁、学校、スポーツ施設では省エネルギー性を重視して自然換気と機械換気の切り替え制御の採用が多い。
- ・オフィス、研究所では室内の快適性を重視したハイブリッド換気・自然換気併用空調の採用が多い。
- ・自動制御における居住者からの苦情の上位に換気口作動音が挙げられている。そのような物件では換気口制御間隔が短い物件が多いため、換気口制御間隔は省エネルギー性と苦情発生のリスクのバランスを考慮して設定することが重要であると思われる。
- ・制御の区画割について、高層建築などにおいては下階と上階では室内環境や換気駆動力も大きく違うため、状況に応じて個別に制御が必要であると考えられる。共用部と専用部の区画が分かれていなかったため、専用部の苦情発生により共用部の自然換気システムも停止せざるを得なかった事例も見られた。反面、制御区画が増えると管理者の手間も増加する可能性があるため両者のバランスが求められる。
- ・調査物件 72 物件中で自然換気使用時間の増減に関して回答を得たのは 23 物件であり、ほとんどの設計者が「わからない」との回答であった。

- ・自動制御では、居住者の意思と関係なく換気口が開閉されるので居住者の状況によっては苦情に繋がりやすい可能性がある。
- ・給気口が居住者による手動制御である物件では使用時間が減った物件が多いことが明らかになった。減った理由に関しては「居住者が適切に開閉しない」「ほこりなどの苦情」「管理者の理解が得られない」を挙げていた。手動制御では居住者のシステムに対する理解や環境意識の高さによって使用時間が大きく変わってくると考えられる。また、居住者制御であっても最終的には管理者が閉め忘れ等をチェックするわけであり、管理者への負担が大きいものは使用時間が減る傾向にあると思われる。
- ・運用上の問題に対する設計上の対策を分析し、設計時の対策をまとめると、①自然換気の導入検討時に周辺環境、用途、使用者の許容範囲を十分考慮しておくこと、②換気口の性能と制御方法を十分に検討し、③極力フィルター、網戸の設置を行うこと、④適切な自然換気の許可条件を設定すること、⑤煙突効果を考慮にいたした換気経路設計や⑥メンテナンス性に配慮することなどが挙げられる。このうち「自然換気の許可条件」は7項目の問題に対する対策に位置付けられており、特に重要な対策と思われた。

表 2-24 阻害要因に対する設計上の対策

阻害要因	設計上の対策 () は回答数
1. ほこり	周辺環境が良好(32) 用途より対策なし(15) 使用者の許容範囲内(12)、 フィルター(11) 、
2. 虫	フィルター・網戸(17) 、夜間の自然換気停止(12)
3. 花粉	周辺環境が良好(17)、使用者の許容範囲内(15)、対策が困難(15)
4. 雨水	建築的な雨仕舞い(29) 、 自然換気の許可条件(24) 、 換気口サッシ性能(13)
5. 外からの騒音	周辺環境が良好(37)、使用者の許容範囲内(12)、用途より対策なし(10)
6. 換気口作動音	作動機構の性能(音が小さい)(19) 、手動制御の採用(14)
7. プライバシー	用途より対策なし(18)、使用者の許容範囲内(15)、 換気口の位置(8)
8. 風切り音	自然換気の許可条件(14) 、 換気口サッシ性能(11) 、 換気口閉鎖時の気密性確保(11) 、 換気口形状(10)
9. 突風	自然換気の許可条件(18) 、 換気口形状(12) 、対策が困難(10)
10. ドラフト	室内への吹き出し位置・角度(14)、対象空間の用途より(12)、 自然換気の許可条件(11)
11. 熱気・冷気の侵入	自然換気の許可条件(23) 、 換気口閉鎖時の気密性を確保(20)
12. 煙突効果による最上部の温度上昇	居住域よりも上に熱溜りができる高さの確保(22)、自然換気のシステムより(12)、 自然換気の許可条件(10)
13. 結露、湿潤、乾燥	自然換気の許可条件(26) 、使用者の許容度が高い(12)
14. におい	周辺環境が良好(43)、対策が困難(11)
15. 制御の手間	フルオートで管理者の手間を軽減(24) 簡単な操作方法によって管理者の手間を軽減(18) 簡単な開閉方法によって居住者の手間を軽減(15)
16. メンテナンス	メンテナンス作業空間の十分な確保(23) 機器取替え容易な納まり(15) 機器の耐用性能(14)

(2) 管理者アンケート調査

- ・管理者に自然換気を運用してもらうには、設計意図の伝達と居住者からの苦情に対する設計的な配慮が必要であることが分かった。
- ・管理者からは自然換気の制御区画分けや開閉状態の確認に関して問題があるがイニシャルコストとのバランスが難しいとの意見があった。
- ・運用の最適化、省エネルギーチューニングが必要との意見があった。竣工当初の自動制御の設定値が適切ではなかった物件が見られた。
- ・利用者の個人差（寒がり、冷気の侵入）による苦情が発生していた。
- ・換気口に関してはメンテナンス（清掃）の手間が気になるとの意見があった。
- ・自動制御では「換気口の操作・メンテナンス」の満足度が高い反面、「許可条件の変更」の満足度は低く、手動制御では「システムの理解」の満足度が高い反面、「苦情対応・メンテナンス・換気口の操作」の満足度は低い傾向にあることが分かった。
- ・申告理由の中で「省エネルギー維持」に関して、省エネルギー効果がデータ等によって定量的に把握できないため効果が疑問であるという意見が多かった。自然換気の効率的な運用は管理人の理解度に比例すると思われるため、省エネルギー効果の定量的把握を行う手法の開発が重要であると思われる。

(3) 運用時間が減った経緯に関する調査

- ・換気口の作動音が運用停止に繋がった物件があり、実測の結果 55dB(A)の騒音が閉鎖時に 30 秒近く継続して発生していることが確認された。
- ・換気口の数が多く、開閉に手間がかかることによって運用を停止した物件があった。
- ・中性帯の問題により熱気が逆流したという物件があった。
- ・VAV との連動、空調設備との併用において問題が発生した物件があった。
- ・雨や花粉を懸念し運用を停止したが、設計者が管理者に対して省エネルギー効果に関する提案をすることで積極的運用に変化した物件があった。

(4) 実際に発生した苦情と設計対応との相関

- ・「居住域最上階の温度上昇」については 5 件の苦情が発生しており、設計者の問題意識が高いが対策困難な項目であった。
- ・「外からの騒音」「換気口の作動音」についても 5 件の苦情が発生しているが、設計者の問題意識が低く、対策困難な項目であった。
- ・「花粉」「夜間の虫の侵入」については、対策を重視したにも関わらず苦情が発生した物件があることが分かった。

(5) 換気口の制御タイプ別の留意点

- ・換気口の制御方式（手動または自動）の選択と運用段階での問題点とは深い関連性があることが明らかになった。
- ・給気口の居住者手動制御の場合は、居住者の環境意識の高さやシステム的には居住者が自分勝手な開閉を行っても全体への影響が少ないシステム（冗長性）であることが重要である。また、管理者の手間（閉め忘れ確認等）を軽減させる工夫が必要であり、同時に管理費用対効果のバランスを確認しておくことが重要となる。
- ・給排気口の自動制御の場合は、システムの運用や苦情対策の多くを管理者が負担するため、管理者の理解が重要である。自動制御特有の苦情（換気口の作動音など）への対策が必要となる。制御区画を把握できる範囲で細分化することも運用停止への対策としては有効となる。しかし、制御区画が増え、複雑になることで管理者の手間が増える可能性があるため配慮が必要となる。
- ・給排気口を中央監視からの発停とする場合は、管理者の省エネルギーに対する意識の向上が不可欠である。また、制御履歴が残らないことが多いため、管理者の引継ぎの際には注意が必要となる。

(6) 居住者からの苦情に対する管理者の対応

- ・苦情発生時における管理者の対応は、ほとんどが自然換気運用の一部または全面的な停止であり、管理者は運用段階での有効な対策の無さや安全側の運用意識によって自然換気使用時間の減少を選択するのが現状であった。

2.8 持続的活用性向上へのアプローチ

持続的活用を実現するためのアプローチとしては、本章における運用実態調査から得られた知見を設計・運用改善に有用な資料として取り纏めた。しかし、以下に示すように問題点は浮き彫りになってきたものの、運用実態調査の分析では明確な解決策が提示できない項目が見られた。これらを「検討を深めるべき課題」とし、図 2-39 に示すように次章以降で検討を進める。

(1) 設計フェーズ

- ・実際に発生した苦情に関しては「換気口作動音」など換気口に関する項目が多く、自然換気のパフォーマンスも換気口の仕様は重要である。よって、換気口に関する適切な設計法についての知見が必要である。
- ・自然換気システムの性能に関する問題点として、換気口の配置や面積の大きさによる「冷気の侵入」、中性帯の位置による「熱気の逆流」などが見られた。これらに対す

るアプローチとして、設計段階における必要換気口面積や換気経路の決定法に関する知見が必要であると思われる。

- ・自然換気と空調システムの連動に問題がある物件が見られた。更にハイブリッド空調が導入された物件では、管理者より自然換気と空調を併用するため省エネルギー性に疑問があるとの意見もあり、室内環境と省エネルギー性を両立する自然換気併用空調システムについての検討が必要であると思われる。
- ・運用阻害要因には設計による対応も可能であるが、阻害要因の解決に対する管理者・利用者の積極的な協力が必須である。管理者・利用者のモチベーションを維持するには、設計コンセプトである「空調使用期間の低減」「換気に係るエネルギーの削減」「通風感による快適性の向上」が高いレベルで実現されていることが重要となる。よって、これらの設計コンセプトを実現するための設計上のポイントを整理する必要がある。

(2) 運用フェーズ

- ・許可条件に関しては運用上重要な条件であるにもかかわらず、物件毎に多様性があり、竣工当初の設定値が適切でなかった事例も見られた。運用段階のコミッショニングの参考となる資料として、適切な自然換気口の開放条件に関する知見が必要である。

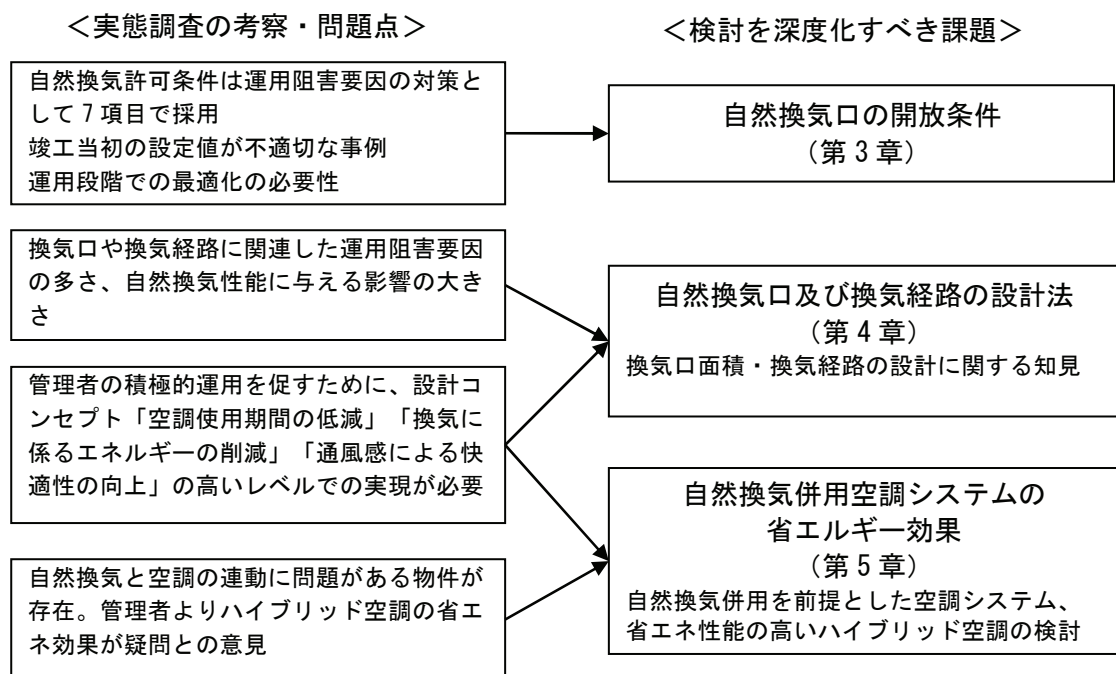


図 2-39 実態調査の考察と検討課題の関係

2.9 まとめ

運用実態調査によって、国内における自然換気設計と運用実態について把握した。

自然換気平均使用時間は設計時から竣工1年目、運用2年目以降と運用されるに従って減少傾向にあり、運用2年目以降では設計時想定58%の使用時間に留まった。

ほこり、虫の侵入など運用段階で苦情に繋がる恐れのある16項目の運用阻害要因を整理し、設計時の主な対策と実際の苦情発生件数を調査した。主な対策としては換気口の性能、制御法、フィルター、自然換気許可条件、煙突効果を考慮した換気経路設計、メンテナンス性への配慮などが明らかになり、自然換気の導入検討段階で周辺環境、用途、使用者の許容範囲を十分考慮することも重要であると思われた。

設計仕様と実際発生した苦情との相関分析により、「外からの騒音」「換気口の作動音」については、設計者の問題意識が低く、対策困難であるが実際には5件の苦情が発生している項目であることが明らかになった。

管理者アンケートでは、管理の手間と苦情対応の方法についての意見が多く、自然換気口の制御法の違いによって、運用段階の課題や苦情発生の種類が異なることが明らかとなった。例えば、給気口が居住者手動制御の場合は、居住者の環境意識の高さやシステマ的には居住者が自分勝手な開閉を行っても全体への影響が少ないシステム（冗長性）であることが重要である。また、管理者の手間（閉め忘れ確認等）を軽減させる工夫と同時に管理費用対効果のバランスを確認しておくことが重要となる。給排気口が自動制御の場合は、システムの運用や苦情対策の多くを管理者が負担するため、管理者の理解が重要である。自動制御特有の苦情（換気口の作動音など）への対策が必要となる。制御区画を把握できる範囲で細分化することも運用停止への対策としては有効となるが、制御区画が増え、複雑になることで管理者の手間が増える可能性があるため配慮が必要となる。

管理者の満足度を調査した結果、概ね満足側の申告であったが、自動制御では「換気口の操作・メンテナンス」の満足度が高い反面、「許可条件の変更」の満足度は低く、手動制御では「システムの理解」の満足度が高い反面、「苦情対応・メンテナンス・換気口の操作」の満足度は低い傾向にあることが分かった。申告理由の中で「省エネ維持」に関して、省エネルギー効果がデータ等によって定量的に把握できないため効果が疑問であるという意見が多かった。自然換気の効率的な運用は管理人の理解度に比例すると思われるため、省エネルギー効果の定量的把握を行う手法の開発が重要であると思われる。

管理者アンケート、利用時間が減少した経緯の調査、ヒアリング調査により、16項目以外の新たな運用阻害要因が明らかとなった。管理者からは、自然換気が機械空調に与える影響、気密性が損なわれる、自然換気の制御区画分けや開閉状態の確認に関して問題がある、運用の最適化、省エネチューニングが必要などの意見があった。設計者ヒアリング調査においても竣工1年目には、運用スケジュールや制御条件の調整を行っている物件が多かった。

苦情発生時における管理者の対応は、ほとんどが自然換気運用の一部または全面的な停止であり、管理者は運用段階での有効な対策の無さや安全側の運用意識によって自然換気使用時間の減少を選択するのが現状であった。

利用者の個人差（寒がり、冷気の侵入）による苦情が発生していたとの報告もあり、設計者が利用者の許容範囲内と判断した場合でも個人差により苦情が発生する可能性は十分にある。苦情が発生した区画のみ自然換気を停止できるようにするなど、システム的なフレキシビリティを高めることも必要である。

以上の調査結果を踏まえ、持続的活用性の向上のために検討を深めるべき課題を設定した。自然換気許可条件が多くの阻害要因への対策として採用されており、かつ運用段階でチューニングが必要となっている現状から、運用阻害要因への対策と省エネルギー性を両立させるための許可条件について具体的な検討が必要である。また、各階での自然換気性能を確保と苦情対応という 2 つの理由から、煙突効果（温度差換気）による熱気の逆流等に配慮した自然換気経路の設計法を示すことも重要である。さらに管理者の積極的運用を促すためには、設計コンセプトである省エネルギー性を最大化する空調システムの検討が必要となる。これらの課題について次章以降で詳細の検討を行った。

参考文献

- 1) 船津正義：気まぐれな外気を生かす，日経アーキテクチュア，pp.86-92，2003.7
- 2) 村上周三他：実例に学ぶ CASBEE，日経 BP，2005.9
- 3) 大高一博：風をとらえる，LIVE ENERGY，No.56-59
- 4) 金 政秀，川口 知真，田辺 新一：執務者による自然換気窓の開閉行為に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第 643,pp.75-82，2009
- 5) 宮崎竹二，檜崎正也：自然換気の室内における粉塵及び金属の性状，日本建築学会環境系論文集，第 432 号，pp.35-44，1992
- 6) 村田 さやか，福島 明，本間 義規：湿度感知制御型換気口を利用した自然換気に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，2002，pp.1045-1046，2002-06-30
- 7) 恒吉 主格，出口 清孝，井上 一二三，橋口 智志：降灰時の自然換気システムに関する研究：居室モデルによる実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 D，pp.835-836，1988
- 8) 久木野 志保，後藤 伴延，甲谷 寿史，山本 佳嗣，倉淵 隆，大場 正昭：官公庁建物における自然換気利用実態調査，日本建築学会中国支部研究報告集，32 巻，pp.415-1_415-4，2009

第 3 章

自然換気口の開放条件

第3章

自然換気口の開放条件

3.1 本章の目的

本章では、国内で採用されている自然換気口の開放条件を整理し、開放条件が自然換気性能に与える影響を明らかにすることを目的とする。

運用実態調査^{1),2)}の結果、自然換気の運用時間は設計時想定から実際に運用されると減少する事例があり、様々な運用阻害要因があることが判明した。また、外気の状態によって自然換気の有効無効を判断し、換気口の開閉や利用者への情報提示を行なっている多くの事例があることが明らかとなった。しかし、その判断条件は物件により様々であり、設計者の個別の検討により設定されていると推定された。これまで自然換気口の開放条件を実測調査研究により提示しているものはあるが、適切な条件について総括的に検討された研究はほとんどない。開放条件は自然換気を有益に利用するために極めて重要な条件であり、条件設定とその影響に関しての検討を行うことは重要である。

海外においては自然換気の有効性について *adaptive model* に基づく室内許容温度域による判断³⁾や *degree hours*、外部風向風速、煙突効果の換気駆動力、外部騒音、外気の汚染度などの複合的な指標による判断⁴⁾などが提案されている。また、地域差を考慮した自然換気システムの有効性予測手法に関して *Natural ventilation potential (NVP)* に関する一連の研究がある。Yang ら⁵⁾は室内外温度差と外気風速によって外気条件による換気駆動力を *NVP* として評価している。Luo ら⁶⁾は Yang のモデルに加え室内温度の変動も考慮した換気駆動力の評価を提案し、Yin ら⁷⁾は更に外気温度、室内気流、相対湿度も考慮した自然換気時の室内許容温度域を判定条件に採用したモデルを提案している。このように自然換気の有効性を高める複数の判断条件が提案されているが、統一的結論は必ずしも得られていない。また、これらの指標は自然換気のポテンシャル評価が目的であり、自然換気を運用するための最適な換気口開放条件を検討したものではない。そこで本章では、自然換気システムの持続的活用を目的とし、設計者へのヒアリング調査、文献調査によって、複数の自然換気物件で実際に運用されている換気口開放条件の整理と分類を行った。また、「自然換気利用時間数」「1日における利用時間の連続性」「導入外気の質」という3つの視点から、標準年拡張アメダス気象データ（以下標準年 EA 気象データ）を用いて条件や設定値の分析を行った。本章では、調査物件の所在地で最も多かった「東京」の気象データを中心に評価をしたが、地域別の傾向を把握するため各地の気象データとの比較も行った。標準年 EA 気象データは現時点での最新である 2000 年のデータを使用しているが、今後の設計に反映するためには直近の気象デー

タでの傾向も把握する必要がある。そこで、EA 気象データとはデータの取り扱いに違いがある事を踏まえた上で、気象官署で測定された 2001～2013 年の 1 時間データ⁸⁾と標準年 EA 気象データを用いた場合の結果について比較を行った。

図 3-1 に東京、NY、ウィーンのクリモグラフを示す。東京はNYやウィーンと比較して中間期から夏季にかけて高温多湿であることが分かる。また、図 3-2 に東京における旬別の平年値を示す。4月や 11 月は大きく外気温湿度が変化する月であり、自然換気の開始時期を見極める必要があることが分かる。

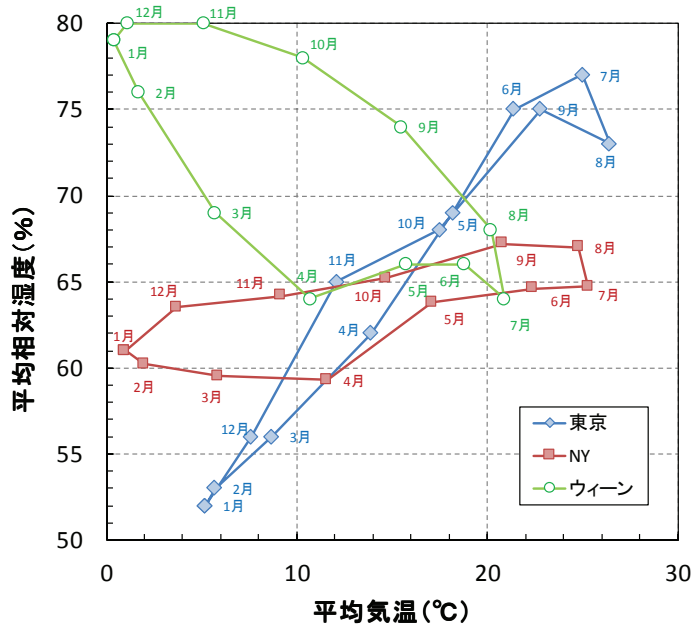


図 3-1 月別平年値によるクリモグラフ

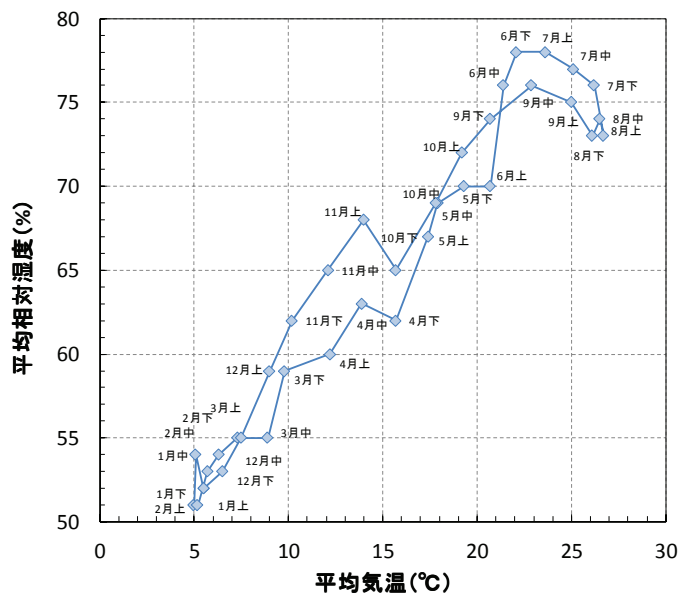


図 3-2 旬別平年値によるクリモグラフ (東京)

3.2 実物件における換気口開放条件調査

3.2.1 調査方法

自然換気を導入した建物において換気口を自動制御する事を目的として設定された換気口開放条件（自然換気許可条件）の実態調査を行った。調査方法は①設計者アンケート調査、②2006～2013年の建築学会大会梗概集の文献調査^{9)~13)}、③2006～2013年の空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集の文献調査^{14)~22)}である。設計者アンケートでは換気口を自動制御している物件における換気口開放条件について、選択肢の中から採用している条件を選択し、設定値を記入してもらう方式とした。また、項目以外の条件がある場合は「その他」に記入してもらう方法としている。外気冷房の有無、外気露点温度と相対湿度の設定値についてはアンケート内容に含まれておらず、文献調査の結果のみ記入している。ハイブリッド空調に関してはアンケート項目には含まれているが、文献調査に関しては明示している物件のみ「あり」としている。また、本調査での換気口開放条件は、自然換気を行うために換気口の開放を許可する条件であり、外気冷房の許可条件やハイブリッド空調への切替え条件は調査対象としていない。詳細のアンケート方法に関しては2章に示している。

3.2.2 調査結果

調査結果を表 3-1,3-2 に示す。合計 42 物件の換気口開放条件が得られた。内訳は①の設計者アンケート調査で 28 物件、②の文献調査で 5 物件、③の文献調査で 9 物件であった。所在地の地域区分は北海道 1 件、東北 2 件、関東 23 件、中部 7 件、関西 5 件、四国 2 件、九州 2 件であった。用途区分は自社オフィスビル 9 件、テナントオフィスビル 7 件、学校 4 件、官公庁 5 件、研究所 6 件、複合施設 4 件、ホール 3 件、病院 1 件、ホテル 1 件、水族館 1 件、展示場 1 件であった。地域区分は関東、用途はオフィスビル・官公庁・研究所などの事務室用途の割合が多く、北海道や病院、ホテルなどの用途についてはデータ数が少ない。

表 3-1 許可条件の文献・アンケート調査結果(1)

物件 No.	調査方法	<建物概要>					<自然換気 換気口開放条件>																			
		竣工年	所在地	延べ床面積 (㎡)	地上 []階	地下 []階	用途	外気冷房の有無	ハイブリッド空調の有無	外気温 下限値 [°C]	外気温 上限値 [°C]	室温 下限値 [°C]	室温 上限値 [°C]	外気露点温度 下限値 [°C]	外気露点温度 上限値 [°C]	相対湿度 下限値 [%]	相対湿度 上限値 [%]	外気温が室温未満	露点温度が設定範囲内	外気エンタルピーが室内エンタルピー未満	外部風速が設定値以下	降雨なし	粉塵なし			
1	①	1998	東京	93,000	31	3	オフィス(テナントビル)	●	12	23																
2	①	1999	神奈川	24,000	3	1	研究所		17	26		30														
3	①	2002	東京	10,000	7	1	学校		25	室温																
4	①	2003	東京	23,000	7	0	研究所	●	15	20	20	26														
5	①	2003	東京	9,700	6	0	研究所	●	12	26	20	28														
6	①	2004	大阪	14,000	7	1	オフィス(自社ビル)	●	18	27																
7	①	2004	埼玉	7,000	4	0	学校	●	9	27	14	28														
8	①	2004	岐阜	8,000	4	0	水族館	●	18	27																
9	①	2006	東京	17,000	6	0	オフィス(自社ビル)	●	19	21	24	26														
10	①	2001	香川	9,000	12	1	オフィス(テナントビル)	●	17	26	17	28														
11	①	2006	長野	53,400	7	0	研究所	●	18	室温	20	28														
12	②	2006	中部	53,400	7	0	研究所	●	●	16	室温	24		5	19.5											
13	②	2013	東京	16,900	17	1	学校(大学院)			15	25				15											
14	③	2008	東京	10,200	5	1	オフィス(自社ビル)	●	●	15	26				室内露点											
15	③	2009	神奈川	92,100	22	2	オフィス(自社ビル)		●	15	室温				19											
16	③	2010	東京	26,000	4	1	官公庁	●	●	10	室温			5	13											
17	①	-	栃木	10,000	2	1	オフィス(自社ビル)		●	16	28															
18	③	2013	長野	9,600	5	0	オフィス(自社ビル)	●	●	18	室温				19											
19	②	2005	埼玉	71,400	5	0	物流施設・事務所	●		5	16				20	90										
20	②	2013	大阪	295,000	38	3	オフィス(テナントビル)	●	●	10	20				90											
21	②	2013	大阪	187,800	38	3	オフィス(テナントビル)	●	●	設定					90											
22	③	2011	群馬	32,400	6	1	オフィス、図書館、診療所			18		24			30	80										
23	①	1993	北海道	120,000	5	2	商業ビル	●	●	15	25	25	25													
24	①	1996	宮崎	26,000	9	1	ホテル			15	27															
25	①	1997	兵庫	11,000	2	1	音楽ホール・図書館			20	26															
26	①	1999	東京	5,000	8	2	オフィス(自社ビル)	●	●	18	室温	22	28													
27	①	2002	宮城	26,000	4	0	病院	●	●	15	20	17	22													
28	①	2003	福岡	35,000	4	0	学校			15	26															
29	③	2007	栃木	98,000	15	2	官公庁	●		18																
30	①	1997	愛知	120,000	6	0	スポーツ施設																			
31	①	1997	神奈川	7,500	2	1	研究所																			
32	①	2004	東京	30,000	7	0	オフィス(自社ビル)	●																		
33	②	2005	岩手	46,100	9	1	図書館、ホール			13																
34	③	2011	東京	104,000	27	5	オフィス(テナントビル)	●		17																
35	②	2012	東京	7,700	10	1	オフィス(テナントビル)	●	●	18	26				80											
36	①	1996	静岡	16,000	6	1	官公庁																			
37	①	1998	群馬	78,000	21	2	官公庁																			
38	①	1999	東京	16,000	3	0	展示場	●																		
39	①	2001	静岡	12,000	4	0	官公庁	●																		
40	①	2002	兵庫	33,000	19	2	オフィス(テナントビル)	●	●	12	22															
41	①	2003	愛媛	17,000	2	1	スポーツ施設	●																		
42	①	-	群馬	16,000	2	0	オフィス(自社ビル)																			
平均値										15	24	21	27	5	17	25	86									
物件数								10	25	33	28	11	10	2	6	2	5	18	10	21	35	36	2			

1) 表中の●はありを示す。

2) 参考文献で「アンケート」と記載した物件の条件は設計者アンケート結果による。

表 3-2 許可条件の文献・アンケート調査結果(2)

物件 No.	調査方法	＜建物概要＞					＜自然換気 換気口開放条件＞				参考文献	
		竣工年	所在地	延べ床面積 (㎡)	地上 []階	地下 []階	用途	空調開始時間	空調停止時間	その他		許可条件タイプ
1	①	1998	東京	93,000	31	3	オフィス(テナントビル)	0:00	0:00	24時間運転	t-h	アンケート
2	①	1999	神奈川	24,000		3	1 研究所	8:00	19:00		t-h	アンケート
3	①	2002	東京	10,000		7	1 学校	9:00	17:30		t-h	アンケート
4	①	2003	東京	23,000		7	0 研究所	9:00	18:00		t-h	アンケート
5	①	2003	東京	9,700		6	0 研究所	8:00	18:00		t-h	アンケート
6	①	2004	大阪	14,000		7	1 オフィス(自社ビル)				t-h	アンケート
7	①	2004	埼玉	7,000		4	0 学校	9:00	18:00		t-h	アンケート
8	①	2004	岐阜	8,000		4	0 水族館				t-h	アンケート
9	①	2006	東京	17,000		6	0 オフィス(自社ビル)	9:00	18:00		t-h	アンケート
10	①	2001	香川	9,000		12	1 オフィス(テナントビル)	8:00	21:00		t-x	アンケート
11	①	2006	長野	53,400		7	0 研究所	8:00	18:00		t-x	アンケート
12	②	2006	中部	53,400		7	0 研究所	6:00	22:00	外気風15m/s以下, 換気口閉鎖は室温20℃以下	t-x	文献11)
13	②	2013	東京	16,900		17	1 学校(大学院)	7:00	23:00	外気風15m/s以下	t-x	文献13)
14	③	2008	東京	10,200		5	1 オフィス(自社ビル)			外気風10m/s以下, 輻射パネル表面温度	t-x	文献18)
15	③	2009	神奈川	92,100		22	2 オフィス(自社ビル)			外気風10m/s以下	t-x	文献19)
16	③	2010	東京	26,000		4	1 官公庁			外気風5m/s以下, ナイトバージ中心	t-x	文献20)
17	①	-	栃木	10,000		2	1 オフィス(自社ビル)	8:00	18:00		t-x	アンケート
18	③	2013	長野	9,600		5	0 オフィス(自社ビル)			外気風10m/s以下	t-x	文献14)
19	②	2005	埼玉	71,400		5	0 物流施設・事務所	8:30	17:10		t-h-φ	文献9)
20	②	2013	大阪	295,000		38	3 オフィス(テナントビル)			外気風15m/s以下, 外気温度は選択可能	t-h-φ	文献15)
21	②	2013	大阪	187,800		38	3 オフィス(テナントビル)			外気風15m/s以下, 最低外気温度は選択可能	t-h-φ	文献16)
22	③	2011	群馬	32,400		6	1 オフィス、図書館、診療所				t-h-φ	文献21)
23	①	1993	北海道	120,000		5	2 商業ビル	10:00	23:00	冬期は暖房併用	t	アンケート
24	①	1996	宮崎	26,000		9	1 ホテル	7:00	20:00	季節で運用	t	アンケート
25	①	1997	兵庫	11,000		2	1 音楽ホール・図書館			外気風5m/s以下	t	アンケート
26	①	1999	東京	5,000		8	2 オフィス(自社ビル)				t	アンケート
27	①	2002	宮城	26,000		4	0 病院	7:00	21:00		t	アンケート
28	①	2003	福岡	35,000		4	0 学校	-	-		t	アンケート
29	③	2007	栃木	98,000		15	2 官公庁			外気風15m/s以下 外気エンタルピー67kJ/kg(27℃, 70%)未滿	t	文献17)
30	①	1997	愛知	120,000		6	0 スポーツ施設				h	アンケート
31	①	1997	神奈川	7,500		2	1 研究所				h	アンケート
32	①	2004	東京	30,000		7	0 オフィス(自社ビル)	0:00	0:00	24時間空調	h	アンケート
33	②	2005	岩手	46,100		9	1 図書館、ホール			外気風10m/s以下	Lt-h	文献10)
34	③	2011	東京	104,000		27	5 オフィス(テナントビル)			外気風15m/s以下	Lt-h	文献22)
35	②	2012	東京	7,700		10	1 オフィス(テナントビル)			外気風15m/s以下	-	文献12)
36	①	1996	静岡	16,000		6	1 官公庁	8:00	18:00	中間期は自然換気のみ	-	アンケート
37	①	1998	群馬	78,000		21	2 官公庁			夜間	-	アンケート
38	①	1999	東京	16,000		3	0 展示場	9:00	21:00	手動が多い	-	アンケート
39	①	2001	静岡	12,000		4	0 官公庁			スケジュール	-	アンケート
40	①	2002	兵庫	33,000		19	2 オフィス(テナントビル)	8:00	20:00	相対湿度	-	アンケート
41	①	2003	愛媛	17,000		2	1 スポーツ施設	随時		40℃≤上部室温	-	アンケート
42	①	-	群馬	16,000		2	0 オフィス(自社ビル)				-	アンケート
							平均値					
							物件数					

1) 表中の●はありを示す。

2) 参考文献で「アンケート」と記載した物件の条件は設計者アンケート結果による。

表 3-3 に採用された各開放条件と採用物件数を示す。最終的な換気口の開放は複数の条件で判断されている。開放条件として採用が多かったのは、降雨なし（36 物件）、外部風速が設定値以下（35 物件）、外気温度が設定範囲内（33 物件）、外気エンタルピーが室内エンタルピー未満（21 物件）であった。外気温の上下限值に関しては、下限値の平均は 15℃、上限値の平均は 24℃であった。室温の上下限值に関しては、下限値の平均は 21℃、上限値の平均は 26℃であった。外気風速の設定値については設定値の記載があった 12 物件のうち 15m/s 以下が 7 物件、10m/s 以下が 4 物件、5m/s 以下が 1 物件であった。

表 3-3 換気口開放条件と採用物件数

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

3. 2. 3 運用段階での設定値の変更

表 3-1, 2 に示した条件設定値に関しては、運用段階で変更があった場合は変更後の値を記入している。表 3-4 に設定値の変更を行った物件とその内容を示す。運用段階では外気温度の変更、外気露点温度の変更、室温の変更などが行われていた。

表 3-4 運用段階での設定値の変更

物件No.	設計時の設定値	運用段階での変更値
1	15℃ ≤ 外気温 ≤ 26℃	12℃ ≤ 外気温 ≤ 23℃
10	15℃ ≤ 外気温 ≤ 24℃ 15℃ ≤ 室温 ≤ 28℃	17℃ ≤ 外気温 ≤ 26℃ 17℃ ≤ 室温 ≤ 28℃
18	外気露点温度 < 15℃	外気露点温度 < 19℃
26	16℃ ≤ 外気温 ≤ 室温 22℃ ≤ 室温 ≤ 27℃	18℃ ≤ 外気温 ≤ 室温 22℃ ≤ 室温 ≤ 28℃
40	12℃ ≤ 外気温 ≤ 24℃	12℃ ≤ 外気温 ≤ 22℃

3.3 換気口開放条件のタイプ分類

3.3.1 換気口開放条件のタイプ分けと考察

アンケート調査・文献調査の結果から換気口開放条件のタイプ分けを行った。開放の判断は複数の条件を採用しているため、本論文では特に外気温湿度、室内外エンタルピー条件の採用による分類を行い、同一のものが2物件以上のものをタイプ分けした。図3-3にタイプ分類と基準条件の設定値を示す。条件は6タイプに分類され、調査結果より各タイプの基準となる設定値を決定した。なお、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 ：外気温度の下限值を表している。

(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をt-h型と定義した。42物件中9物件がt-h型に分類された。外気温下限値は9～25℃、外気温上限値は15～27℃と設定に幅があった。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。

(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をt-x型と定義した。42物件中9物件がt-x型に分類された。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る。

(3) t-h- ϕ 型

外気温度の上下限值または下限値を設定し、エンタルピー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をt-h- ϕ 型と定義した。42物件中4物件がt-h- ϕ 型に分類された。外気冷房効果に関してはエンタルピーで判断し、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ある。

(4) t 型

外気温の上下限值のみを設定したタイプをt型と定義した。42物件中7物件がt型に分類された。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型に比べて増加する。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る。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る。

(5) h 型

室内外エンタルピーのみで判断するタイプをh型と定義した。42物件中3物件がh型に分類された。t型と同様に自然換気の時間数を長くとり、室内外エンタルピー条件により外気冷房効果にも配慮した条件である。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る。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ー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る。

(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を Lt-h 型と定義した。42 物件中 2 物件が Lt-h 型に分類された。外気冷房効果の判断と温度制御はエンタルピー基準で行っている。h 型と同様に室内エンタルピーを下回る高温の外気が導入されるリスクがある。

(7) 各タイプの基準条件

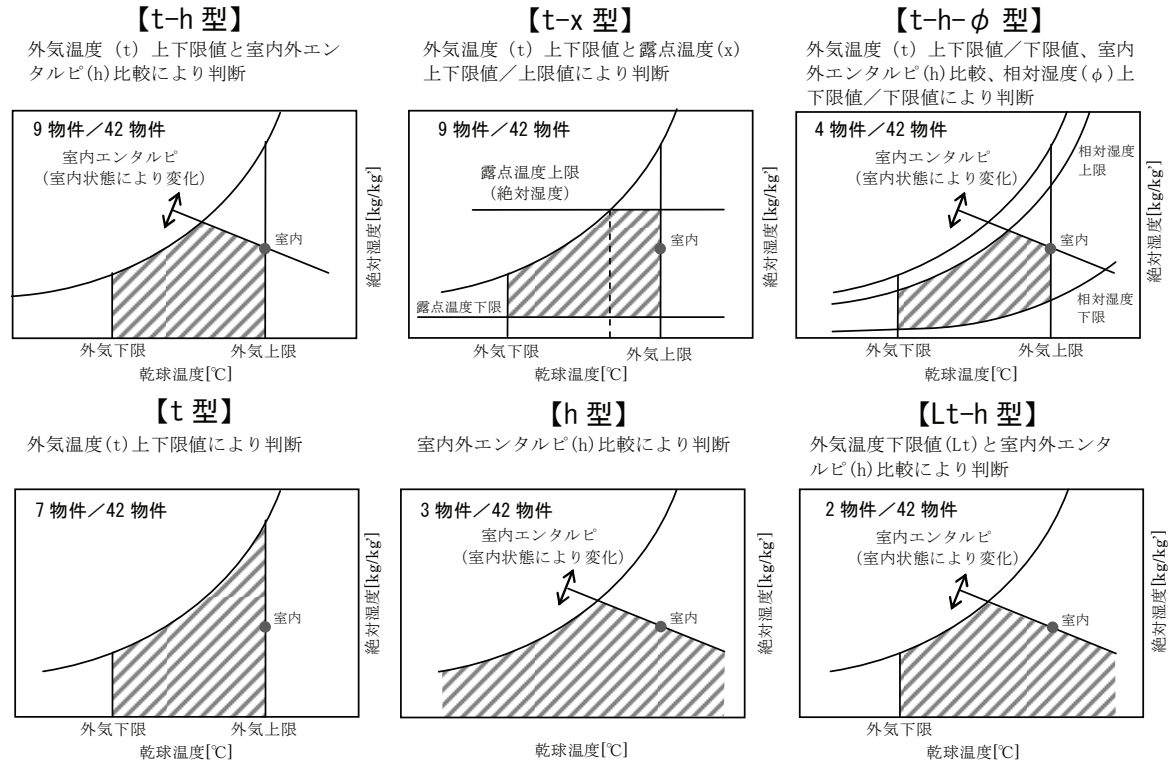
基準条件としての設定値については、物件調査の平均値または採用物件数の多かった値で決定をしたが、その妥当性について EA 気象データを用いた感度分析によって確認し、自然換気の時間数・導入される外気の温湿度状態・換気口の日における平均連続開放時間数を評価指標として妥当な設定値を決定した。EA 気象データを用いた感度分析については後述の 3.4.3 節、3.4.7 節を参照のこと。

外気温に関しては、下限値は物件調査の平均値 15°C としているが、18°C に設定している物件も見られたため後述の 3.4.8 節の検討により自然換気時間数の点で有利な 15°C とした。

エンタルピー基準に関しては、物件調査の条件では室内外エンタルピーの比較によって判断しているが、室内エンタルピーは室内の温湿度状態によって変動する。よって、夏季の一般的な室内設定温湿度である 26°C,50%RH のエンタルピー 52.9kJ/kg とした。

外気露点温度基準に関しては、物件調査で設定値を得られたのが 6 物件のみであったため、下限は 2 物件で採用されていた 5°C を採用した。下限値に関しては設定していない物件が 4 物件あったが露点温度 5°C は 24°C,30%RH と同等であり、露点温度 5°C 以下は低湿度であることが明らかなため室内環境に配慮して露点温度 5°C を採用した。上限値は 2 物件で採用された露点温度 19°C をとした。夏季の一般的な室内設定温湿度である 26°C,50%RH の露点温度 15°C も考えられるが、後述の 3.4.7 節での感度分析より、自然換気時間数に配慮して 19°C とした。

相対湿度に関しては、設定値が得られたのが 5 物件であり、下限値に関しては設定なし 3 件、20%RH が 1 件、30%RH が 1 件であった。よって、露点温度下限値と同様に室内の湿度環境に配慮して 30%RH とした。下限値が 20%RH,10%RH の場合については後述の 3.4.7 節にて感度分析を行っている。



■ 基準条件としての設定値

	基準条件設定値
t-h型	15°C ≤ 外気温 < 26°C エンタルピ 52.9kJ/kg'未満
t-x型	15°C ≤ 外気温 < 26°C 5°C ≤ 露点温度 < 19°C
t-h-φ型	15°C ≤ 外気温 < 26°C 30%RH ≤ 相対湿度 < 90%RH エンタルピ 52.9kJ/kg'未満
t型	15°C ≤ 外気温 < 26°C
h型	エンタルピ 52.9kJ/kg'未満
Lt-h型	15°C ≤ 外気温 エンタルピ 52.9kJ/kg'未満

■ 基準条件の設定根拠

< 外気温度 >

下限値は物件調査の平均値15°Cとし、上限値は冷房設定温度26°Cとした。

< エンタルピ基準 >

目標室内エンタルピとして26°C、50%RHのエンタルピ52.9kJ/kg'とした。

< 外気露点温度 >

下限値は物件調査の平均値5°Cとし、上限値は複数物件で設定された19°Cとした。

< 相対湿度 >

東京の中間期では20%RH以下の時間数は少ないため、下限値は室内環境にも配慮し30%RHとした。上限値は3物件で設定された90%RHとした。

図 3-3 換気口開放条件のタイプ分類

3.3.2 建物属性とタイプ分けの相関分析

建物の属性により、採用されている換気口開放条件タイプに傾向が見られるかを確認するため、竣工年、主用途、所在地、床面積に関して換気口開放条件の分析を行った。結果を図3-4に示す。(a)竣工年別の分析では2006年以降でt-x型の採用が多い傾向が見られた。また、1995～2000年の物件ではt型、h型などのシンプルな条件タイプの導入が多かった。(b)用途別の分析ではt-h-φ型がオフィスビル（テナントビル）で採用が多い傾向にあった。官公庁で多い「その他」の条件とは外部風速や降雨のみを条件としているものが該当している。(c)所在地別の分析では、h型は温暖な関東、中部に限定されており、北海道、九州はt型のみ採用であることが分かった。また、関東はt-h型とt-x型がほぼ同数で大部分を占めていた。(d)床面積別の分析では、床面積10,000㎡以上30,000㎡未満の物件数が多く、t-h型、t-x型、t型の採用が多い傾向があった。

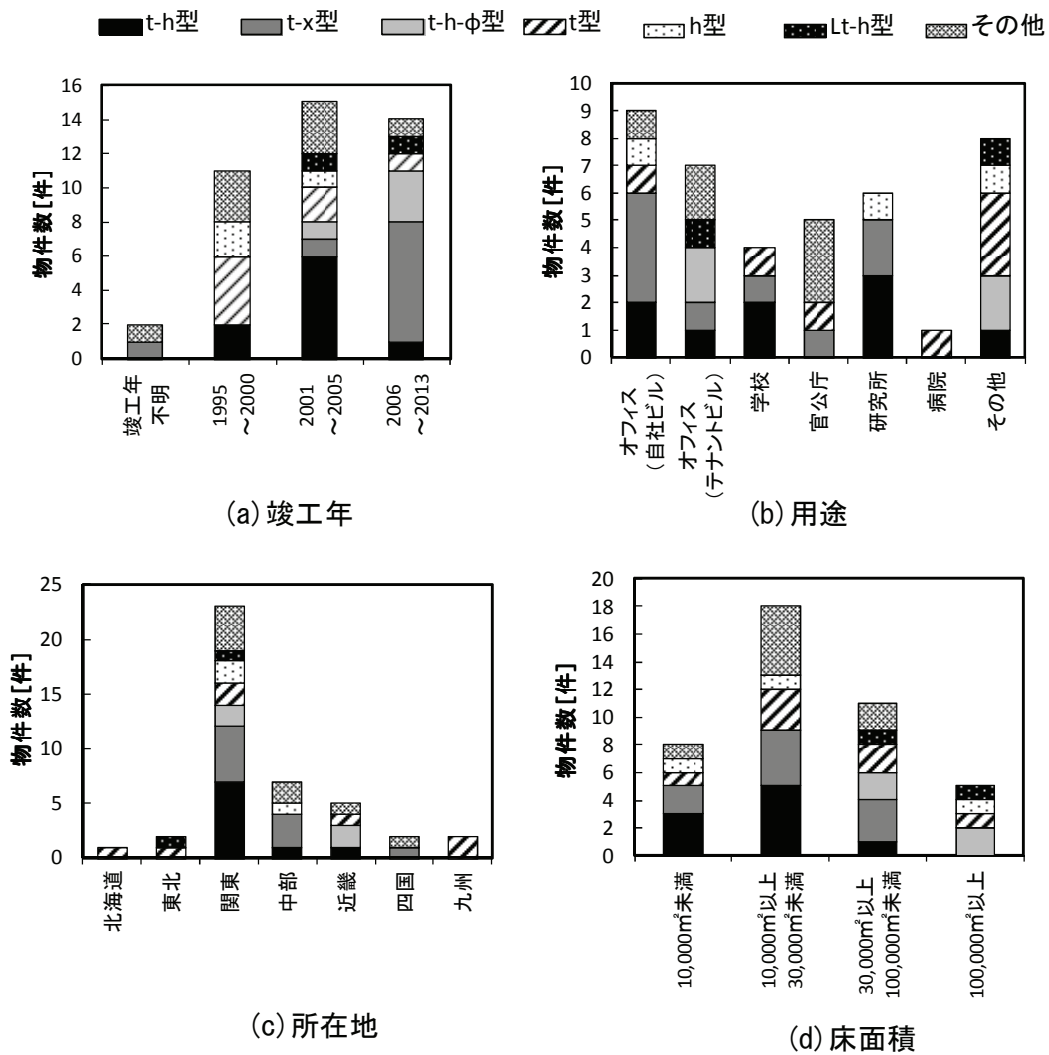


図3-4 建物属性と採用タイプ数の相関分析

3.3.3 室温に関する条件

外気状態以外に、室温の設定範囲を条件としている物件が 42 物件中 11 物件存在した。これは、エンタルピの条件では自然換気による外気冷房効果が認められる場合でも、室温が設定範囲外となった場合に機械空調に切り替えるための条件である。オフィス、研究所、学校、商業ビル、病院の用途での採用が多く、用途的に省エネルギーと室内温熱環境の両立が求められるためと考えられる。海外においては室温を自然換気制御の主たる指標とする提案³⁾があり、自然換気時の許容室内環境に関して多くの研究^{23,24)}がなされている。しかし、許容室温での判断は、換気口面積、換気駆動力、冷房設備の有無、内部発熱などの条件を考慮に入れる必要があり、物件毎に結果も異なる。よって、本論文では最大限に自然換気を活用した場合を前提として外気状態を指標として整理を行った。

3.4 気象データを利用した条件タイプの分析

3.4.1 検討方法

事例調査により導かれた 6 タイプの換気口開放条件の特徴を把握するため、標準年 EA 気象データ（東京）²⁵⁾の中間期における 1 時間データを用いて各タイプの①自然換気利用時間数、②連続して自然換気が行なわれる時間数を指標とした平均連続開放時間数、③導入する外気の質（温度・湿度状態）の 3 点を評価した。表 3-5 に検討のための前提条件を示す。1 日あたりの連続換気口開放時間数の平均値を「平均連続開放時間数」と定義した。これは、換気口開放条件の設定によって発生する 1 日における部分的な換気口閉鎖状態が自然換気の運用に与える影響を評価するものである。運用の手間や居住者の環境適応の観点から、自然換気の連続利用時間は長いことが有利であり、1 日のうちで自然換気と機械空調が交互に行われるような間欠空調の状態は省エネルギーの面からも好ましくない。換気口の頻繁な開閉は利用者のクレームに繋がる恐れもある。平均連続開放時間数は日中の運用時間と同じ 10 時間になるのが理想であるが、現実的な判断基準としては、1 日の過半において連続的に自然換気を行い、外気エンタルピがピークになる時間帯を含むことが望ましいと考えた。外気エンタルピが高い状態にて機械空調に切替えた場合、冷房や除湿により室内エンタルピを低下させるため、その後の時間帯では自然換気に復帰しない可能性が高い。また、一定に制御された空調環境から自然換気による成り行き環境への切替えは利用者の不満に繋がる恐れもある。よって、朝の 9:00 から自然換気を開始し、外気温がピークとなる 14:00 を含んだ日中の過半の時間数で自然換気を連続的に行うことが運用上好ましい状態と想定した。この場合、中間期の日中の評価では平均連続開放時間数が最低 6 時間以上必要になるため、目標となる平均連続開放時間数は 6 時間とした。

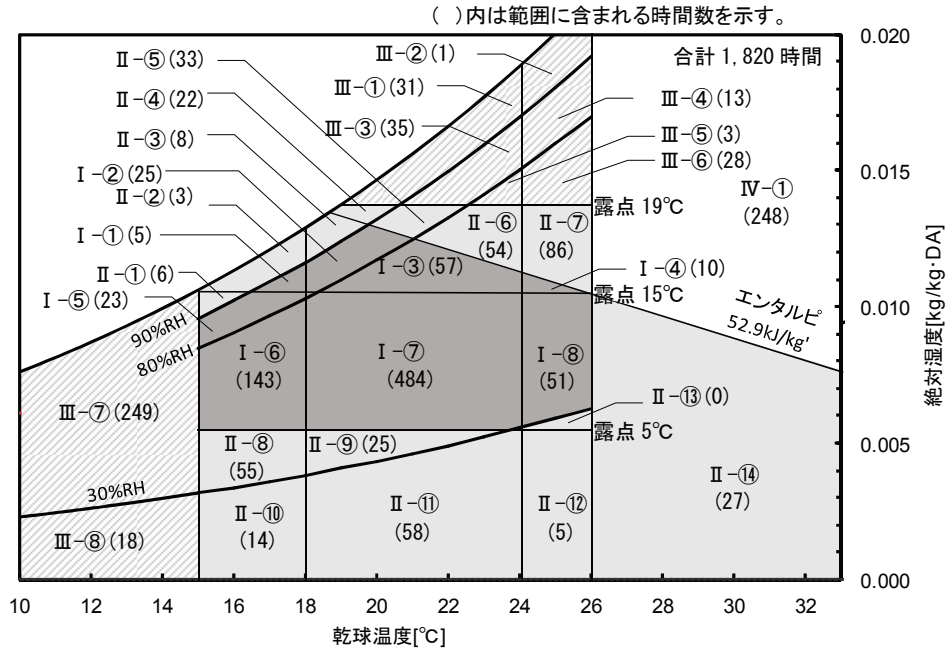
表 3-5 検討の前提条件

<p>■ 検討期間と時間帯 本論文では、検討対象期間である中間期を4月～6月及び9月～11月と設定した。日中は9:00～18:00と定義し、10時間分のデータを用いている。</p> <p>■ 1日あたりの平均連続開放時間数の定義 1日において連続的に換気口が開放された時間数の平均値と定義する。右に計算例を示す。</p> <p>■ その他条件 本検討では降雨・強風・粉塵・室内温湿度の変化は見込まない。</p>	<p>■ 1日あたりの平均連続開放時間数の計算例</p> <p>例1 平均連続開放時間数 6h</p> <p>例2 平均連続開放時間数 3h</p>
---	--

3. 4. 2 東京(中間期, 日中)の外気状態

空気線図において各タイプの基準条件等に囲まれた領域と時間数を図 3-5 に示す。図中には各領域を表すゾーン記号と括弧内に領域内の時間数を示している。この図により基準条件での外気状態の内訳や、その他の条件における時間数を試算することが可能である。

中間期の日中の総時間数である 1,820 時間に対して全てのタイプに共通の領域 (I-①～⑧) の時間数は 798 時間であり、総時間数の 43.8%であった。さらに、外気温 15℃以上 26℃未満で相対湿度 30%未満の低湿度域 (II-⑩～⑬) の時間数は 77 時間発生しており、降雨時も含んだ相対湿度 80%以上の高湿度域 (I-①,②,⑤、II-①～⑤) は 125 時間発生していた。h 型のリスクとなる 26℃以上の高温域かつエンタルピ 52.9kJ/kg'以下の領域 (II-⑭) の時間数は 27 時間であり、総時間数の 1.5%であった。外気温 15℃以下の低温域は 267 時間であり、総時間数の 14.6%であった。月別の外気状態を空気線図にプロットした結果を図 3-6 に示す。5 月と 10 月は全てのタイプに共通の領域 (I-①～⑧) に含まれる時間数が多い。4 月、11 月は多くの時間が外気温 18℃未満であり、15℃未満の時間数も多く発生する。つまり外気下限温度設定により自然換気時間数が大きく変わることが予想される。9 月は 26℃以上の時間数が多く、自然換気時間数が少なく冷却効果も少ないことが予想される。



＜凡例＞

図3において I～IV のローマ数字は、以下の分類を示す記号であり ①～⑭の数字は更に設定値で分割された各ゾーンを表す記号である。各ゾーンに分割するラインは、基準条件の設定値と外気下限18°C、露点温度15°C、相対湿度80%RHを採用している。

() 内の数字は中間期の日中において範囲に含まれる時間数を示す。

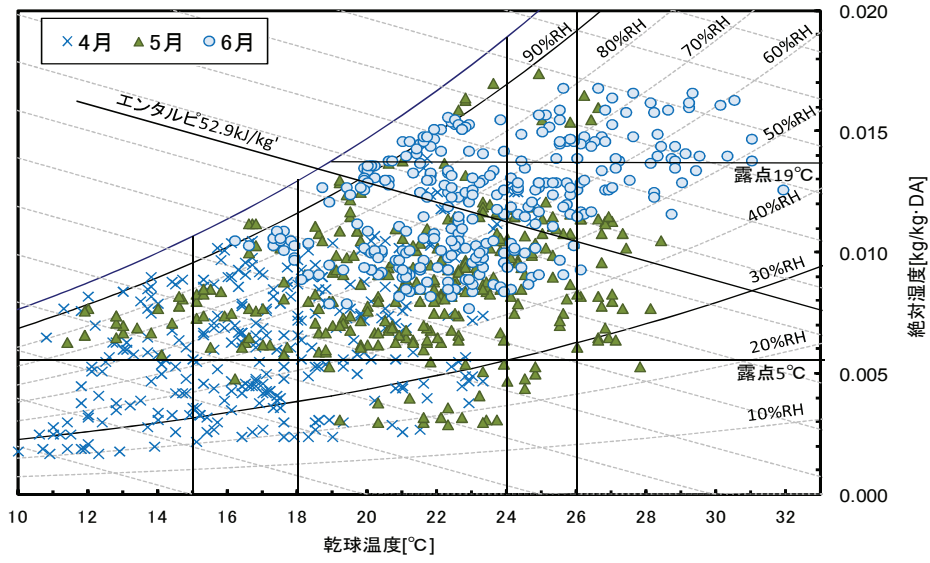
【ローマ数字の凡例】

- I : 全ての許可条件タイプに共通する範囲
- II : 2～5つの許可条件タイプに共通する範囲
- III : 1つの許可条件タイプのみ適合する範囲
- IV : 適合するタイプのない範囲

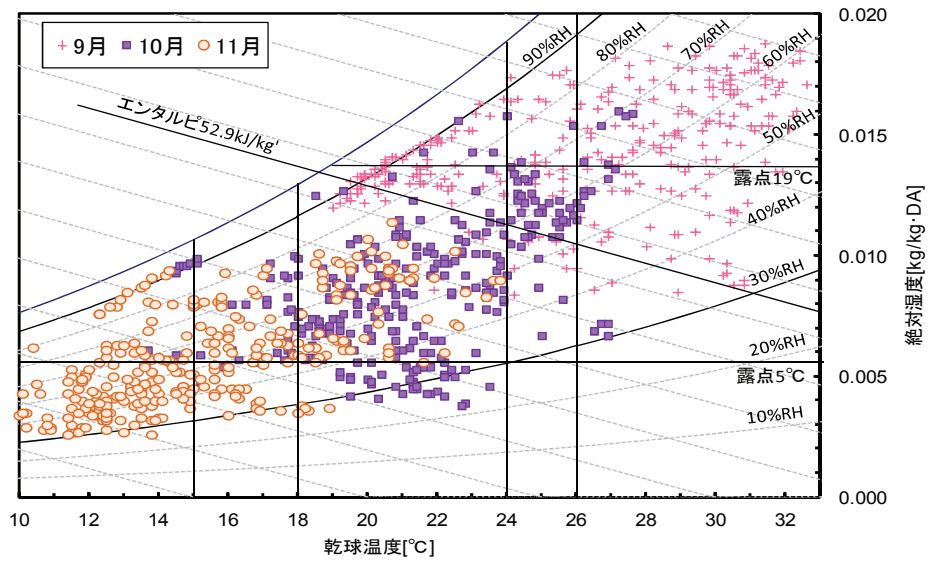
【各ゾーンに適合する換気口開放条件タイプ】

- I-①～⑧ : 全タイプ共通の範囲
- II-①～③ : t-h-φ型以外の5タイプ共通の範囲
- II-④～⑦ : t-x型、t型の2タイプ共通の範囲
- II-⑧～⑨ : t-x型以外の5タイプ共通範囲
- II-⑩～⑬ : t-h型、t型、h型、Lt-h型の4タイプ共通の範囲
- II-⑭ : h型、Lt-h型の2タイプ共通の範囲
- III-①～⑥ : t型のみ適合する範囲
- III-⑦～⑧ : h型のみ適合する範囲
- IV-① : 適合するタイプなし

図 3-5 空気線図における条件領域と時間数 (東京,日中)



(a) 4月～6月



(b) 9月～11月

図 3-6 空気線図上での外気状態 (東京,日中)

(EA 気象データ標準年 東京データ²⁵⁾を用いて作成)

3.4.3 タイプ別の分析結果

タイプ別の特徴を把握するため、前述の3つの視点により標準条件における各タイプを評価した。結果を図3-7に示す。換気口開放時間数は972~1,278時間で、日中の総時間数1,820時間の53~70%であることが分かった。時間数はt型、h型、Lt-h型の順に多い傾向にあり、t-h型とt-x型はほぼ同じ、t-h-φ型が最も時間数が少ない結果となった。平均連続開放時間数に関しては、各タイプの基準条件における日中の平均連続開放時間数は最高値10時間に対して6.2~8.3時間であり、基準条件では全てのタイプにおいて目標値である平均連続開放時間数6時間以上が確保されていることが確認された。タイプ別の特徴としてはh型が最も平均連続開放時間数が長く、t-h-φ型が最も短い。複数の条件では時間数、平均連続開放時間数ともに短くなる傾向にあった。

導入する外気の質に関しては、h型には15°C未満の低温領域が267時間含まれ、t型には露点温度19°C以上の高湿度領域が111時間含まれる。t型とh型は時間数に大きな差はないが平均連続開放時間数は0.9時間の差があり、低温外気を有効とする事による平均連続開放時間数への寄与が認められた。

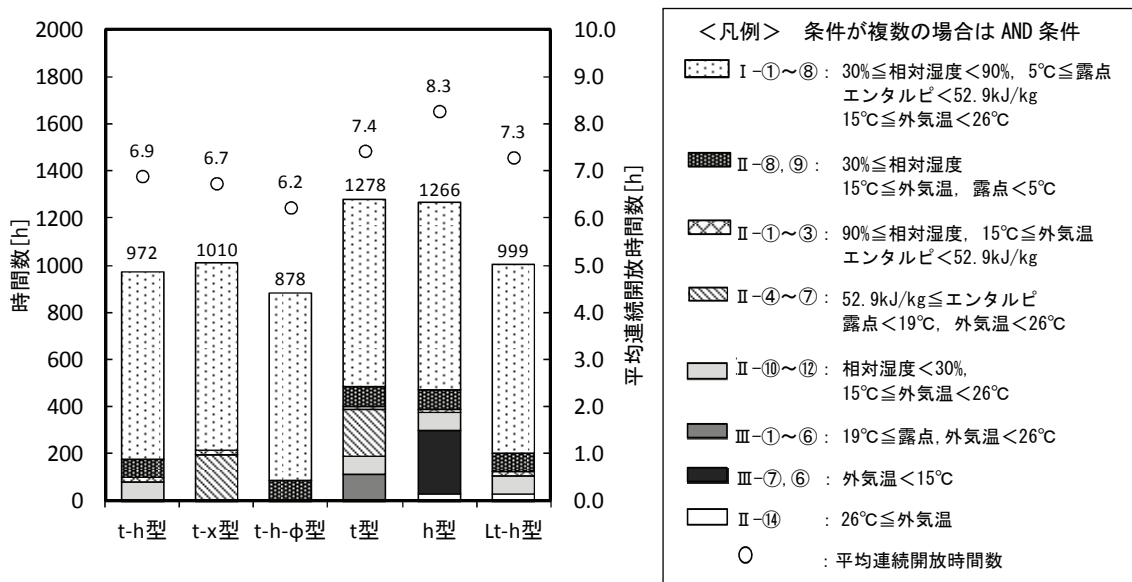


図3-7 タイプ別時間数と平均連続開放時間数 (東京, 日中)

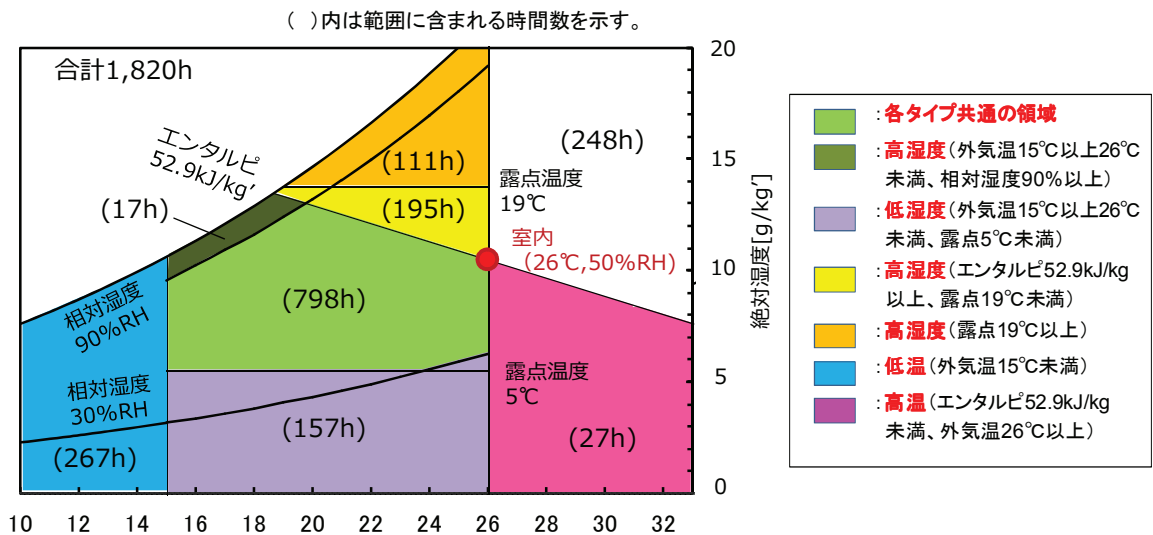


図 3-8 空気線図における条件領域と時間数の色分け図 (東京,日中)

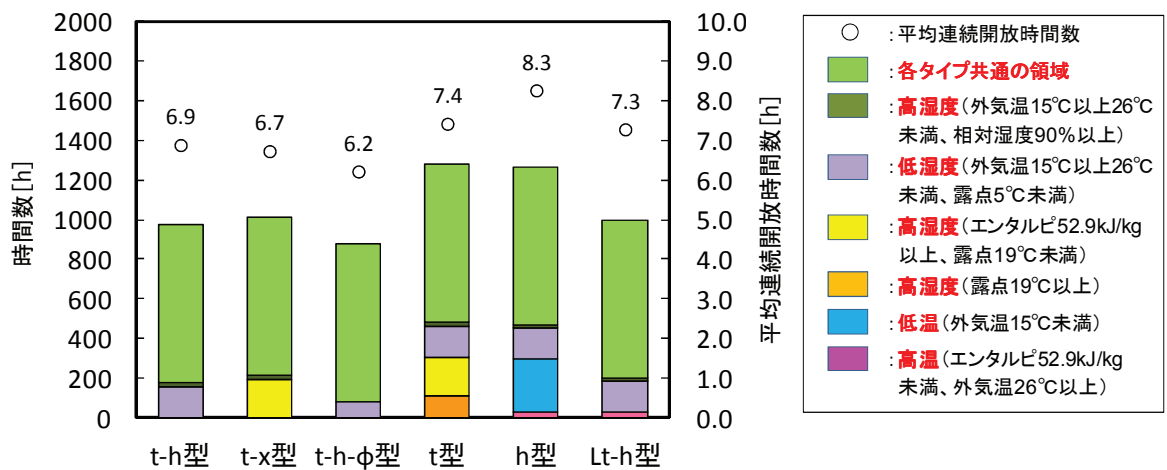
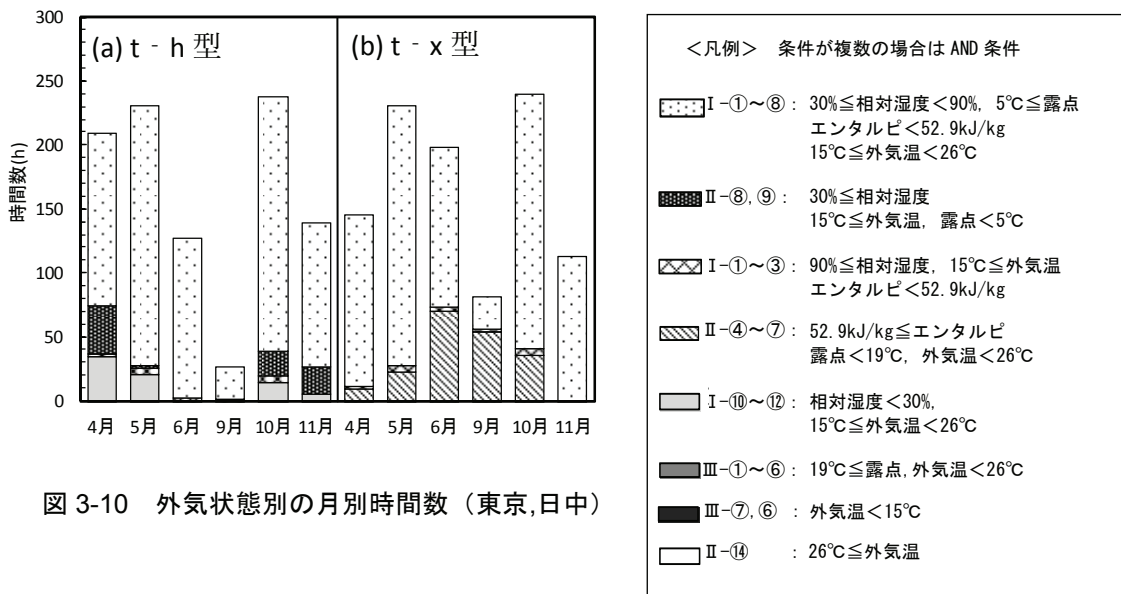


図 3-9 タイプ別時間数と平均連続開放時間数の色分け図 (東京,日中)

3.4.4 t-h型とt-x型の月別比較

t-h型とt-x型は時間数、平均連続開放時間数ともにほぼ同等であったが、湿度の条件が異なるため月別では差異が生じる可能性がある。そこでt-h型とt-x型の月別の時間数と外気状態を比較した。結果を図3-10に示す。t-h型は4月、11月において露点温度5度未満の領域(II-⑧,⑨、II-⑩~⑫)によってt-x型より時間数が増えている事が分かった。t-x型は6月、9月、10月においてエンタルピ設定値と露点温度19度未満の領域(II-④~⑦)によってt-h型より時間数が増えている事が分かった。t-h型は4月、11月の比較的低温、低湿度な外気を導入し、t-x型は6月、9月の比較的高温、高湿度な外気を導入する事で時間数と平均連続開放時間数が増加していることが明らかとなった。



3. 4. 5 2001～2013 年の気象官署測定データとの比較

標準年 EA 気象データ（2000 年版,東京）は 1991～2000 年までの EA 気象データから作成されており²⁵⁾、2000 年までの気象データの傾向を分析することは可能である。しかし、地球温暖化の影響も考えられるため、今後の設計・運用に反映するためには直近の気象データでの傾向も把握する必要がある。そこで、気象官署の 2001～2013 年の測定データ⁸⁾（東京）を用いて、標準年 EA 気象データでの検討結果との比較を行った。比較結果を図 3-11 に、年別の変動を図 3-12 に示す。時間数、平均連続開放時間数ともに気象庁データの平均値と標準年 EA 気象データとの誤差は全てのタイプで 10%以下であることが分かった。ただし、t-h 型と t-x 型の時間数は逆転しており、2001 年以降では t-h 型の時間数が上回る傾向にあるが、差は微少であり、ほぼ同等であることが分かった。t-h 型と t-x 型の平均連続開放時間数は EA 気象データでは差が 0.2 時間であるが、気象官署データでは 1.0 時間程度の差となり、平均連続開放時間数に差が出ている。以上の検討により、一部で差が見られるが、2000 年版標準年 EA 気象データの分析で近年の傾向も評価できることが確認された。

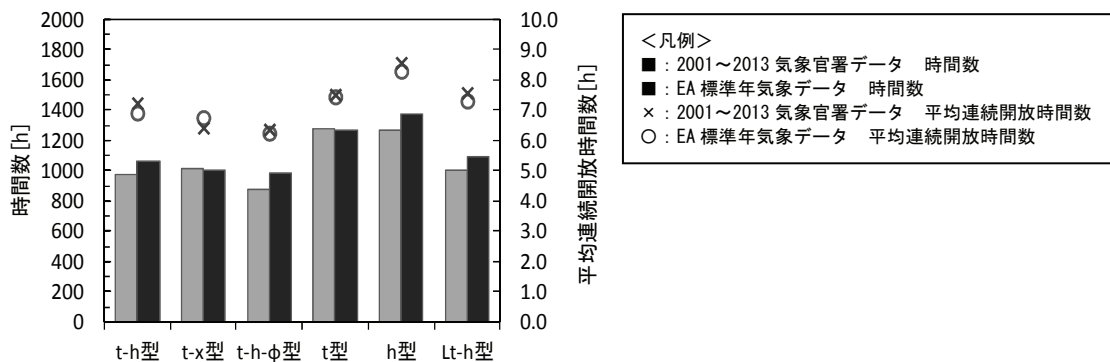


図 3-11 標準年と気象官署平均データの比較

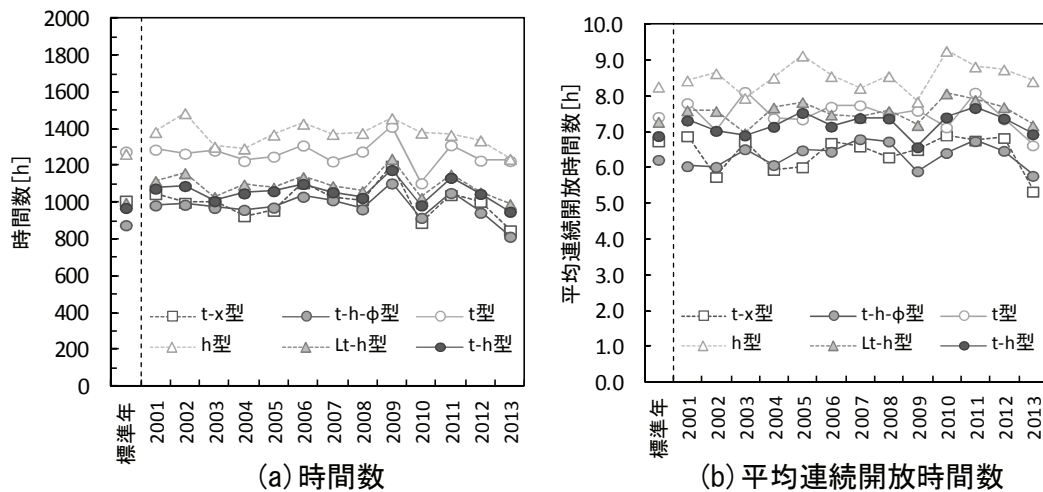


図 3-12 標準年と気象官署 2001～2013 年データの比較

3.4.6 東京における時間数・平均連続開放時間数の月別変動

各タイプにおける月別の特徴を確認するために、各タイプの月別換気口開放時間数と平均連続開放時間数を比較した。換気口開放時間数を図 3-13 に、平均連続開放時間数を図 3-14 に示す。各タイプとも 5 月と 10 月の時間数が多く、平均連続開放時間数も高い事が分かる。外気が比較的高温多湿な 6 月、9 月はエンタルピ上限の影響が強く働き、t-h 型、t-h-φ 型、h 型、Lt-h 型は時間数が少なくなる。11 月は h 型を除き時間数は少ないが平均連続開放時間数は比較的高い結果となった。h 型は外気の下限温度設定がないため 4 月、11 月ではほぼ全ての時間で換気口の開放を許可している。

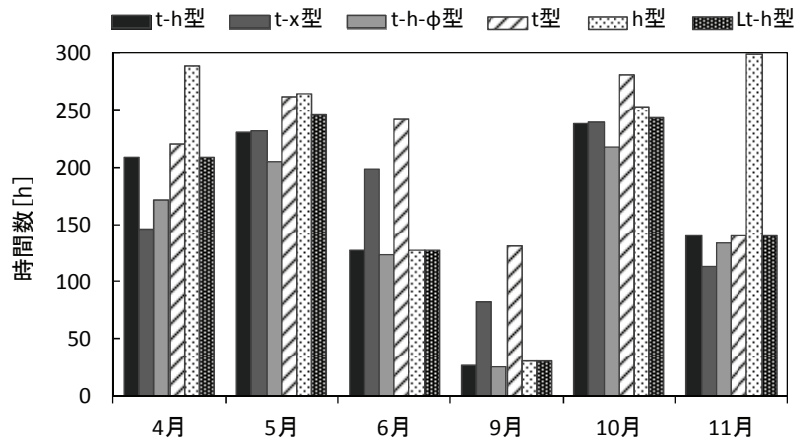


図 3-13 月別時間数（東京，日中）

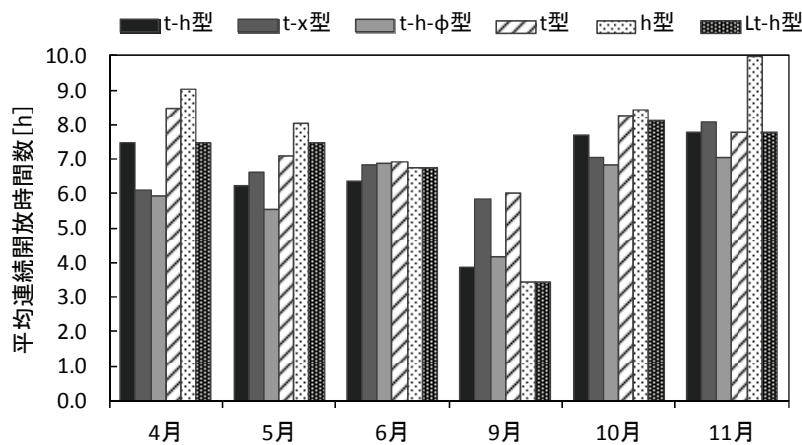


図 3-14 月別平均連続開放時間数（東京，日中）

3. 4. 7 設定値の感度分析

条件における設定値を変化させた場合の時間数、平均連続開放時間数への影響を検討した。日中の結果を図 3-15、夜間の結果を図 3-16 に示す。t-h 型では外気下限温度を基準の 15°C から 18°C に変更する事により、基準条件と比較して 25.6% にあたる 249 時間低減する結果となった。また、平均連続開放時間数も 6.9 時間から 5.8 時間と 1.1 時間低減しており、目標となる 6 時間を下回っている。外気温度上限を 26°C から 27°C に変更した場合は、基準条件と比較して 2% にあたる 19 時間増加した。外気温度上限を 24°C に変更した場合は基準条件と比較して 6.8% にあたる 66 時間低減した。また、平均連続開放時間数も 6.9 時間から 6.3 時間と 0.6 時間低減した。よって、検討したケースの中では外気下限温度を 18°C に変更するケースが最も影響が大きい結果となった。

t-x 型では露点温度上限を 19°C から 15°C に変更した場合、基準条件と比較して 30% にあたる 303 時間低減する結果となった。平均連続開放時間数も 6.7 時間から 5.6 時間と 1.1 時間低減している。よって、露点温度の設定は時間数、平均連続開放時間数ともに影響が大きいことが分かった。

t-h-φ 型では相対湿度の上限値を 90% から 80%、70% に変更すると時間数は低減していくが、平均連続開放時間数の低減率は小さい結果となった。相対湿度下限値を 30% から 20% に変更する事で時間数、平均連続開放時間数の増加が見られた。日中と夜間の結果を比較すると、夜間は相対湿度の上限値設定の影響が非常に大きい。これは 1 日の中での絶対湿度の変化が小さいのに対して、相対湿度は外気温度による変化が大きく、相対湿度 70% 以上の時間数は外気温度の低い夜間から朝方 (19 : 00 ~ 8 : 00) に多く発生するためである。

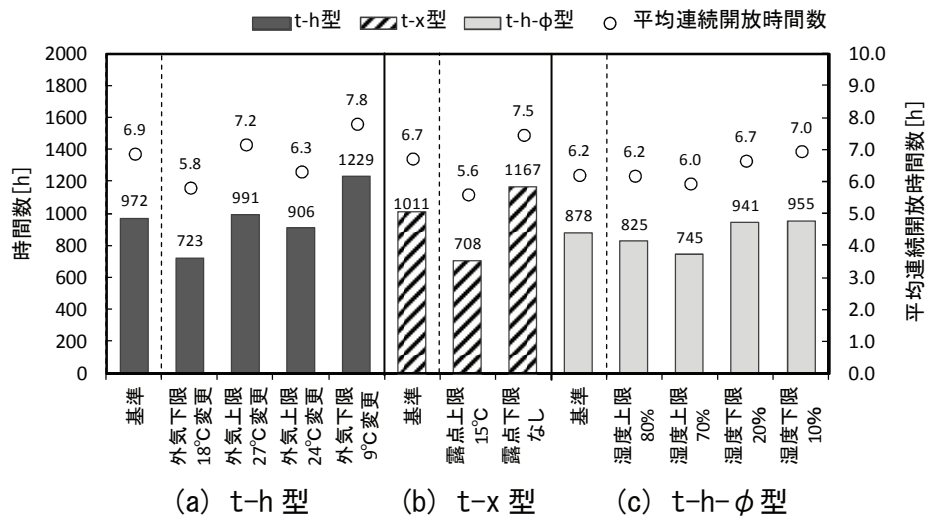


図 3-15 設定値の変更による影響（東京，日中）

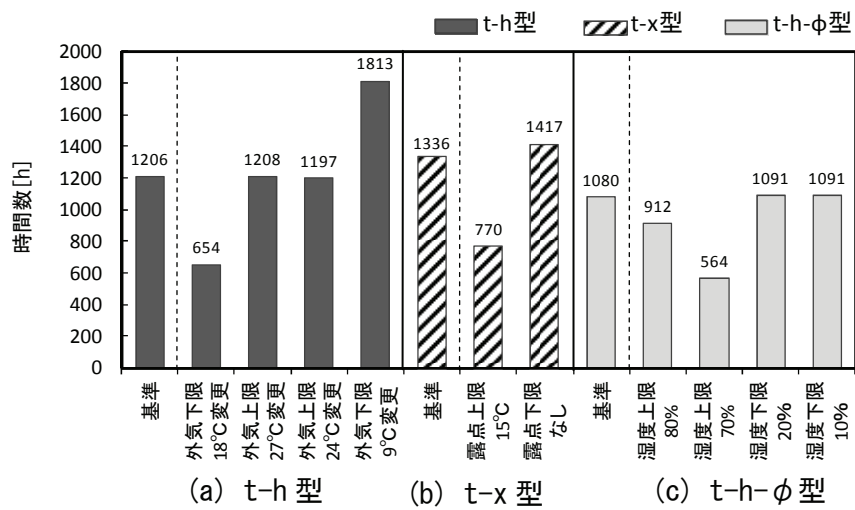


図 3-16 設定値の変更による影響（東京，夜間 19 : 00~8:00）

3.4.8 外気下限温度の設定

設定値の感度分析により、外気下限温度を 15℃から 18℃に変更したケースで時間数、平均連続開放時間数ともに影響が大きい事が判明した。影響の詳細を把握するため、外気下限温度の設定値 15℃と 18℃の月別の比較を行った。結果を図 3-17, 18 に示す。4月上旬～中旬と 11月下旬に大きな差があり、18℃設定では換気口開放時間数が少なくなる結果となった。自然換気の利用時間や省エネルギーという観点では 15℃設定が有利であるが、15℃を下限とした場合はコールドドラフト等への配慮が必要となる。

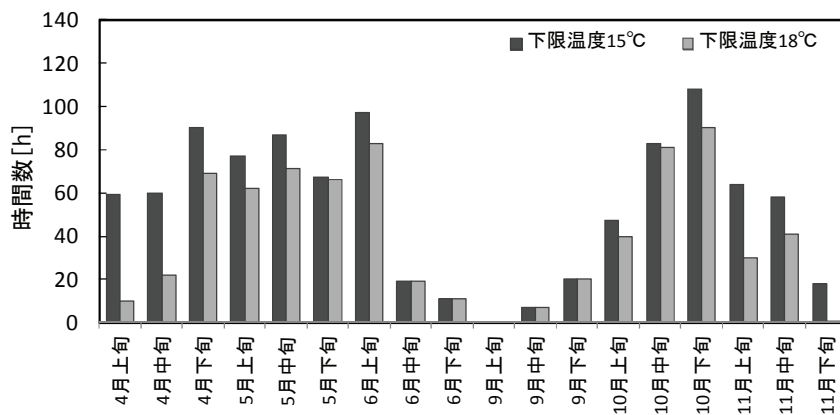


図 3-17 t-h型における外気温下限温度と時間数

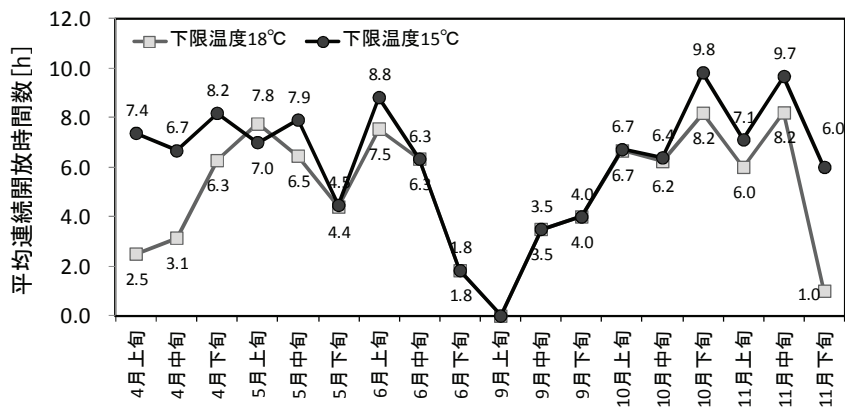


図 3-18 t-h型における外気温下限温度と平均連続開放時間数

3.4.9 都市別の比較

地域による差を確認するため、東京も含めた 20 都市の気象データを用いて解析を行った。分析対象とした都市は北海道 1 件、東北 2 件、関東 5 件、中部 4 件、関西 2 件、中国 1 件、四国 1 件、九州 3 件、沖縄 1 件である。中間期における都市別の換気口開放時間数を図 3-19 に、平均連続開放時間数を図 3-20 に示す。各都市の時間数を比較すると、札幌と沖縄が他の都市に比べて時間数が少ない結果となった。

札幌は中間期に外気が 15℃を下回る時間が多いため、外気温度下限値のない h 型を除き、時間数が大幅に少なくなっている。ただし、7、8 月に 300 時間以上の開放時間数が発生している。那覇は高温多湿の外気状態のため中間期の評価では時間数が大幅に少なくなっている。札幌、沖縄以外の都市では、松本、熊本を除き合計時間数には大きな差は見られないが、温暖な中国、四国、那覇を除く九州地方で時間数が増える傾向があった。月別の時間数には地域による差が見られ、冷涼な気候である東北地方は 4 月、11 月の時間数が少なく 5 月、6 月、9 月の時間数が多い、温暖な九州地方は 4 月、11 月の時間数が多い傾向がある。

各タイプ間の差異も地域により変化がみられ、その分析により各都市の気候の違いを読み取ることができる。たとえば h 型と Lt-h 型の差が大きい札幌、青森、仙台、松本、新潟などの地域は外気下限温度によって時間数が少なくなっていると判断できる。また、t 型より h 型の時間数が少ない広島、高知、九州などの地域は、低温が少なく、高湿度の外気状態が他の地域より多い傾向にあることが分かる。h 型以外の条件タイプでは、温暖地である九州地方の時間数が多い傾向にあり、中間期においては下限外気温度の影響が大きいことが分かった。

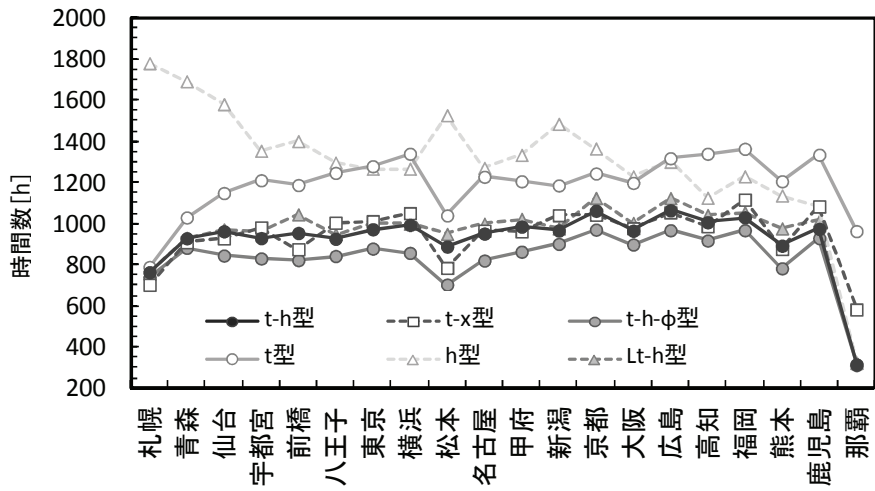


図 3-19 都市別の換気口開放時間数 (口中)

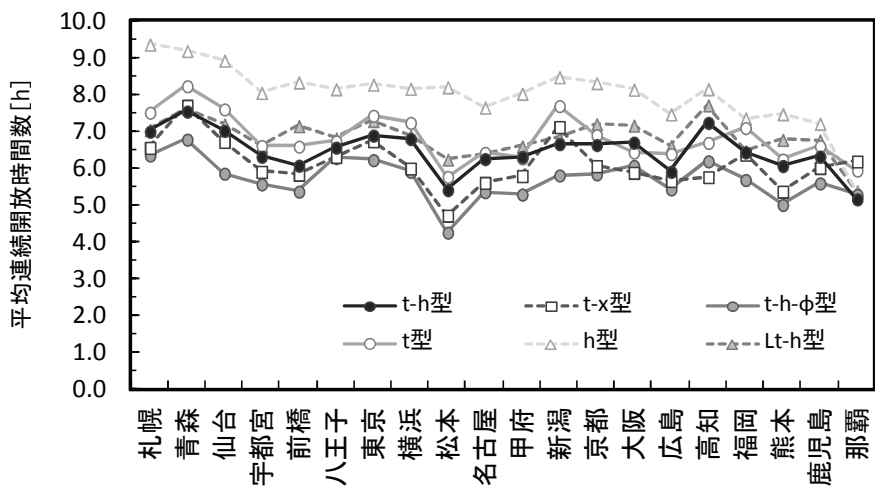


図 3-20 都市別の平均連続開放時間数 (口中)

3.5 まとめ

本章では、自然換気システムにおける換気口開放条件に関して、28 物件の設計者アンケート調査と 14 物件の文献調査により、合計 42 物件の調査を行った。調査した換気口開放条件を分類し、各タイプにおける基準条件を見出した。更に「自然換気利用時間数」「導入外気の質」「平均連続開放時間数」を評価指標として標準年 EA 気象データ（2000 年版東京）による各タイプの特性分析を行った。

以下に本章で得た主な知見を述べる。

- 1) 日本における自然換気の換気口開放条件は、外気温度・室内温度・室内外エンタルピー比較・外気露点温度・相対湿度・外気風速・降雨などを判断条件として採用しており、複数の条件を組み合わせた事例が多い事が分かった。
- 2) 調査結果の分析により、t-h 型、t-x 型、t-h-φ 型、t 型、h 型、Lt-h 型の 6 タイプの換気口開放条件に分類した。
- 3) 調査結果と標準年 EA 気象データ（東京）を用いた分析より、以下のように各タイプの基準条件を見出した。
 - ①t-h 型 : $15^{\circ}\text{C} \leq \text{外気温} < 26^{\circ}\text{C}$ 、外気エンタルピー $< 52.9\text{kJ/kg}'$
 - ②t-x 型 : $15^{\circ}\text{C} \leq \text{外気温} < 26^{\circ}\text{C}$ 、 $5^{\circ}\text{C} \leq \text{露点温度} < 19^{\circ}\text{C}$
 - ③t-h-φ 型 : $15^{\circ}\text{C} \leq \text{外気温} < 26^{\circ}\text{C}$ 、 $30\%RH \leq \text{相対湿度} < 90\%RH$
外気エンタルピー $< 52.9\text{kJ/kg}'$
 - ④t 型 : $15^{\circ}\text{C} \leq \text{外気温} < 26^{\circ}\text{C}$
 - ⑤h 型 : 外気エンタルピー $< 52.9\text{kJ/kg}'$
 - ⑥Lt-h 型 : $15^{\circ}\text{C} \leq \text{外気温}$ 、外気エンタルピー $< 52.9\text{kJ/kg}'$
- 4) 基準条件では中間期の日中における各タイプの自然換気時間数は 1,820 時間中 972~1,278 時間であり、日中の平均連続開放時間数は最高値 10 時間に対して 6.2~8.3 時間であった。基準条件は各タイプとも目標となる平均連続開放時間数 6 時間以上が確保されている事を確認した。
- 5) 標準年 EA 気象データ（東京）を用いた分析により、各タイプにおける導入する外気の質の違いと、平均連続開放時間数と時間数に対する設定値変更の影響度を明らかにした。特に外気下限温度や露点温度に関する設定値の変更は影響が大きいことが判明した。
- 6) 外気下限温度の設定を基準条件である 15°C から 18°C に変更した場合、4 月上旬および中旬と 11 月は換気口が開放される時間数は極めて少なくなる結果となった。また、平均連続開放時間数も目標とする 6.0 時間を下回った。地域による傾向としては、冷涼な気候である北海道、東北などの地域では外気温度下限値の影響が大きく、下限温度を上げると

中間期の時間数が大幅に減少する。よって、導入外気の質としては室内の過冷却に対する配慮が必要となるが、全国的な共通条件としては15°Cが適していると考えられる。

- 7) 基準条件による特徴を比較した結果、t型、h型は時間数や平均連続開放時間数は他のタイプと比較して有利であるが、15°C以下の低温外気や26°C以上の高温外気も導入している時間があった。t-h-φ型は6タイプの中で最も導入外気の質に配慮した条件といえるが、時間数や平均連続開放時間数は最も少なくなった。t-h型とt-x型については、導入外気の質や換気口が開放される時期に若干の違いがあるが、時間数や平均連続開放時間数はほぼ同等の結果であった。t-h型とt-x型はどちらも最も採用事例が多いタイプであるが、21物件で採用されている室内外エンタルピー比較がt-h型の条件に含まれることから、t-h型が最も基本的な条件タイプと考えられる。
- 8) 地域による自然換気利用時間数と平均連続開放時間数の違いを検討した結果、外気下限温度設定の影響によって、中間期では温暖な中国地方・那覇を除く九州地方などが有利となり、北海道や東北などの冷涼な地域は不利になる傾向が明らかとなった。また、地域により有利となる条件タイプが変化するため、その選択には地域性も考慮する必要があることが分かった。

参考文献

- 1) 鈴木宏昌, 山本佳嗣, 久保木真俊, 田辺新一: 持続的活用に向けた自然換気システムに関する研究 その1.設計意図に関する調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.609-610, 2006.9
- 2) 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, 2007.9
- 3) Natural Ventilation in non-domestic buildings, CIBSE Application Manual AM10: CIBSE, pp. 35, 2005.3
- 4) Christian Ghiaus and Francis Allard, Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design, pp.201-208, 2005
- 5) L. Yang, G. Zhang, Y. Li, Y. Chen, Investigating potential of natural driving forces for ventilation in four major cities in China. Building and Environment, Volume 40, Issue 6, pp. 738-746, 2005.7
- 6) Z. Luo, J. Zhao, J. Gao, L. He, Estimating natural-ventilation potential considering both thermal comfort and IAQ issues, Building and Environment, Volume 42, Issue 6, pp.2289-2298, 2007.7
- 7) W. Yin, G. Zhang, W. Yang, X. Wang, Natural ventilation potential model considering solution multiplicity, window opening percentage, air velocity and humidity in China, Building and Environment, Volume 45, Issue 2, pp. 338-344, February 2010.2
- 8) 気象庁ホームページ: 過去の気象データ 東京 2001~2013年 (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>) (参照 2015.1.10)
- 9) 齋藤寛徳, 西川豊宏, 佐藤栄志, 小垣喬, 大橋一正, 長南裕一, 萩原啓太: 大規模物流施設における省エネルギーシステムの実測調査, 第4報 自然換気システムの運用実態と省エネルギー効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.1285-1286, 2008.9
- 10) 久保木真俊, 大王丸健太, 鈴木宏昌, 山本佳嗣, 北原知治, 柳井崇, 安宅智洋, 田辺新一: 寒冷地に建つアトリウムとダブルスキnfアサードを持つ複合施設の環境性能評価, その2 アトリウム空間の温熱環境調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.1339-1340, 2007.8
- 11) 吉川佳江, 野々瀬恵司, 松島孝幸, 野部達夫, 飯塚宏: 先端研究所における環境・省エネルギー技術の評価, その3 同時多点風速計測による自然簡易システムの実測評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.1373-1374, 2007.8
- 12) 長谷川巖, 甲谷寿史, 相良和伸, 山中俊夫, 桃井良尚, 落合奈津子: 太陽熱・ファン併用型シャフトを有するテナントオフィスビルの自然換気に関する研究, その1 自然換気システムの特徴と自然換気運用状況, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.717-718, 2013.8

- 13) 大草智之, 加治屋亮一, 片岡えり, 宮坂裕美子: ダブルスキンを利用した自然換気システムの実測評価, 第2報 春期及び秋期の実測結果比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.567-568, 2014.9
- 14) 伊藤浩士, 三山毅, 長谷川巖, 宿谷昌則: 井水を利用した放射冷暖房システムのエクセルギー評価に関する研究, (その3)放射冷暖房時の自然エクセルギー利用実績, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第3巻, pp.449-452, 2014.9
- 15) 田辺慎吾, 山中俊夫, 甲谷寿史, 大森啓充, 田中規敏, 高山眞, 相良和伸, 桃井良尚, 和田一樹, 田中俊祐: 高層オフィスビルにおける風力・重力換気併用型の自然換気に関する研究 その3 自然換気計画の概要及び自然換気口の性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.711-712, 2013.8
- 16) 後藤悠, 田中宏昌, 近本智行, 土屋貴史: 風力換気システムを有する超高層ビルの自然換気性能に関する研究 その1 各空調制御モード時の換気性能および室温分布, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.795-798, 2014.9
- 17) 山本佳嗣, 竹部友久, 星野聡基, 海藤俊介, 岡建雄, 横尾昇剛: 環境配慮型庁舎における環境性能評価, (第2報)自然換気に関する計画概要と予測及び導入効果に関する基礎的実測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp593-596, 2008.8
- 18) 染谷博行, 迫博司, 高橋幹雄, 田中幸治: 放射環境を考慮したオフィス空調に関する研究 (第2報) 空調制御の計画と検証, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp425-428, 2009.9
- 19) 田中宏治, 芝原崇慶, 黒木友裕, 菊池卓郎, 岩田雅之, 桑原亮一: 高層オフィスビルのパッシブな環境制御機能に関する研究 (第1報) 自然換気システムの計画, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp1383-1386, 2010.9
- 20) 中澤大, 石神哲史, 三浦寿幸, 村江行忠, 篠田文彦: 環境に配慮した市庁舎に関する調査研究 (第1報) 建物概要とエネルギー使用の実態, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp285-288, 2013.9
- 21) 鈴木庸平, 横井睦巳, 関根賢太郎: トップライトを持つ吹抜け空間における省エネルギー空調システムの検証 (その1) システム概要と暖房および自然換気の実測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp1983-1986, 2012.9
- 22) 田中規敏, 和田一樹, 左勝旭, 廣田聡史, 武藤友香, 石井義章, 田辺新一: 環境配慮技術を導入した都市型高層テナントオフィスビルの運用実績と環境評価 (第4報) 運用時における自然換気の実測評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp361-364, 2013.9
- 23) R.J.de Dear and G.S.Barger, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, 104, 1A, pp.145-167, 1998

- 24) Su Xing, Zhang Xu, Gao Jun, Evaluation method of natural ventilation system based on thermal comfort in China. *Energy Buildings*;41(1), pp.67-70, 2009
- 25) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ, 2000.1

第4章

計画初期段階における 自然換気口及び換気経路の設計法

第4章

計画初期段階における自然換気口及び換気経路の設計法

4.1 本章の目的

運用実態調査により自然換気的主要な導入コンセプトが「空調使用時間の低減による省エネルギー」と「快適性」であることが明らかになり、快適性を維持しながら自然換気のみで室内環境を制御するシステムの設計が求められていることが示唆された。また、室内温熱環境に配慮してハイブリッド空調を採用している物件が多いことも明らかになった。この結果を踏まえ、本章では持続的活用を目的とした自然換気システムにおける建築的要素の設計法について検討する。

自然換気システムは図 4-1 に示すように換気駆動力と換気経路によって大きく 3 つに分類できる。本章では、温度差換気を換気駆動力としたシャフト型自然換気システムを対象とし、基本性能・目標性能を決定する手法及び建築計画に関わる条件を整理する手法を提案する。実務で一般的に用いられている手順や仕様に沿った設計手法を提案するため、設計者アンケートおよび文献調査の結果を参考にした。また、提案する設計法によって決定した自然換気口および自然換気経路の仕様をモデル化し、熱換気回路網計算により解析を行った。熱換気回路網計算の結果と設計法で前提とした自然換気システムの目標性能を比較し、その差異を確認した。

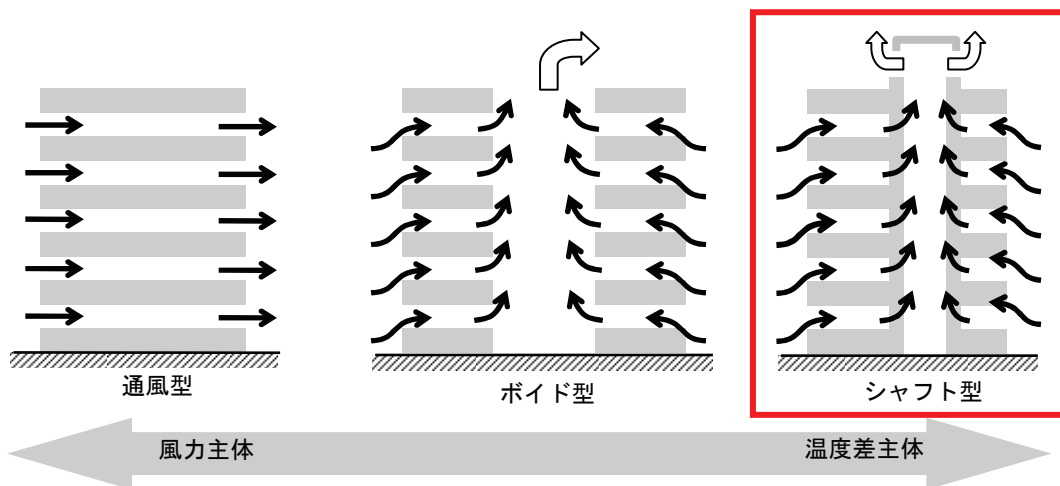


図 4-1 自然換気システムの分類例¹⁾

4.2 自然換気口に関する前提条件

4.2.1 自然換気口面積の定義

本章で取り扱う自然換気口を図 4-2 に示す。外壁の換気口と執務室から廊下への開口、廊下から吹き抜けへの開口の 3 ヶ所があると想定し、全て同じ開口面積と想定した。

よって、直列合成の式と $(\alpha A)_1=(\alpha A)_2=(\alpha A)_3$ の条件より、式(4-1)のように外壁換気口の有効開口面積を 3 の平方根で割ったものを用いることとした。以上より、本論文では自然換気口面積を外壁換気口から吹き抜けに至るまでの換気経路にある開口を直列合成した給気側の総合有効開口面積として定義し、以下、給気口有効開口面積と表現する。また、単位は自然換気対象床面積 [㎡] あたりの給気口有効開口面積 [cm²] である [cm²/m²] を用いる。なお、本論文では自然換気対象床面積は執務室床面積としている。

$$(\alpha A)_{1+2+3} = \frac{(\alpha A)_1}{\sqrt{3}} = \frac{(\alpha A)_2}{\sqrt{3}} = \frac{(\alpha A)_3}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots(4-1)$$

ここで、

A : 換気口有効開口面積 [m²]

α : 流量係数 [-]

添え字は換気口の数を示す。

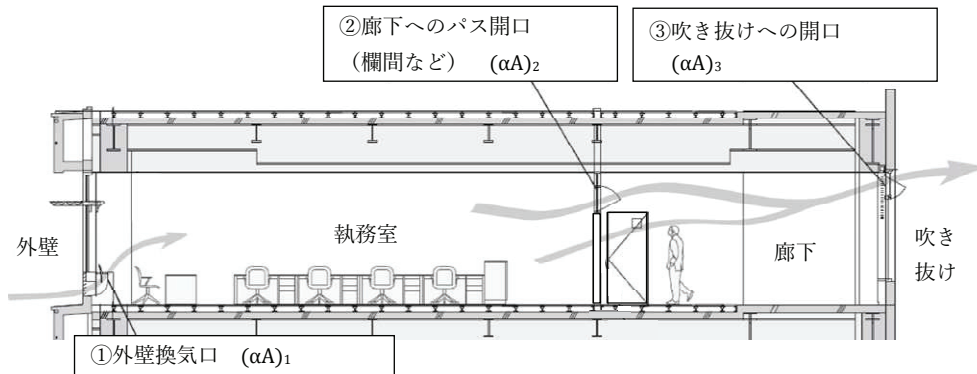


図 4-2 自然換気口の種類

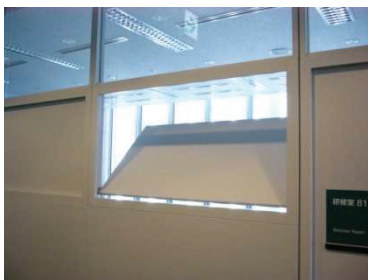


図 4-3 廊下へのパス



図 4-4 吹き抜け排気口



図 4-5 外部への排気口

4.2.2 BEST 専門版(1406 版)における自然換気計算法の概要

建築物総合エネルギーシミュレーションツールである BEST 専門版(1406 版)における自然換気計算法の概要を示す。BEST 専門版では温度差換気基本式において対象室の室温を吹き抜け内温度とし、中性帯位置を建物高さの $2/3$ の位置にあると想定した計算を行っている。入力値である給気口有効開口面積 αA の考え方を 4 階建ての吹き抜けを持つ建物を例として図 4-6 に示す。BEST 専門版では、風力換気検討用として外壁の方位別に開口を設定できるが、外壁換気口やパス、吹き抜けへの開口など、直列合成が必要な場合は、合成した値を入力することが必要となる。更に多数室間の流量保存式は解かない前提としている。また、排気口の情報は入力しないため、中性帯と給気口の高低差 $h_{NPL}-h_i$ と給気口有効開口面積から温度差を利用した自然換気量を求めている。詳細は文献 1),2)を参照のこと。

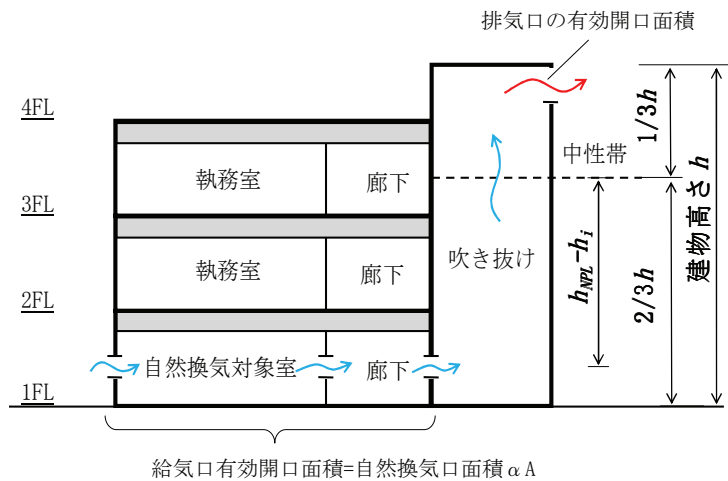


図 4-6 BEST 専門版における開口面積と中性帯の考え方

4.2.3 自然換気口の仕様

自然換気口の検討に先立ち、具体的な仕様に関して、サッシメーカー、自然換気口メーカーにアンケート調査及びヒアリング調査（2012 年 12 月 調査）を行った。結果を使用用途、駆動方式によって分類したものを表 4-1, 2 に示す。電動の駆動方式を採用する場合は、開閉時の騒音と騒音継続時間（開閉時間）も確認し、静穏性を要求される空間に設置する場合は消音措置を検討することが重要となる。表中の換気口は、 $B < A < C < D, E, F$ の順に大きな開口面積を確保することが可能である。

表 4-1 自然換気口製品の特徴（給気専用）³⁾

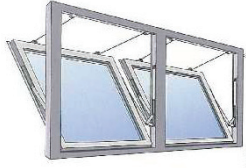


分類	A ペリカウンター組込み よこ型スリット換気口	B ペリカウンター組込み よこ型アーム式換気口	C サッシ組込み たて型手動換気口
外観 イメージ	 <p>提供：三協立山（株）</p>  <p>提供：（株）豊和</p>	 <p>提供：オイレス ECO（株）</p>  <p>提供：（株）豊和</p>	 <p>提供：YKK AP（株）</p>  <p>提供：（株）豊和</p>
換気口有効面積の 対応可能範囲例 （メーカーにより異なる）	<p>①：方立スパンが 1.8m まで、換気開口 W ≤ 1,000</p> <p>②：500 ≤ W ≤ 1,500</p> <p>③：500 ≤ W ≤ 1,500</p>	カーテンウォール開口に合わせた開閉装置 ④ 500 ≤ W ≤ 2500, H ≤ 350 ⑤ 500 ≤ W ≤ 1,500, 100 ≤ H ≤ 250	⑥：フルハイト ^{※2} に対応、ただし、換気開口自体は H = 2.4m まで。 ⑦：500 ≤ H ≤ 1,500
開口面積 ^{※3} （⑥のみ α を見込んだ有効開口面積）	W = 1,000 での最大開口 ①：0.005 m ² ②：0.06 m ² ③：0.078 m ²	W = 1,000 で最大開口 ④：0.35 m ² ⑤：0.25 m ²	⑥：0.004375 m ² (H = 2,000) ⑦：0.025 m ² (H = 1,500)
流量係数 α ^{※1} /PQ 特性	①, ②：データなし ③：α = 0.66	データなし	⑥：64.2m ³ /h (10Pa 時, H = 2,000) ⑦：165m ³ /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	フィルター部の清掃、サッシ表面の汚れの清掃などを使用条件下で適時実施
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 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の数字は事例を示す。

※2 フルハイト・・・外壁において床面から天井面付近までほぼガラスであること。

※3 流量係数 α を考慮しない面積

表 4-2 自然換気口製品の特徴（給排気用）³⁾

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>提供：オイレス ECO（株）</p> <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>提供：オイレス ECO（株）</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>	 <p>提供：三協立山（株）</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 \leq 2,000、H \leq 1,000程度	1窓当り W \leq 2,000、H \leq 900程度	⑧：横軸回転窓形式で W1.2m \times H1.0m程度 ⑨：サッシ形状による ⑩：700 \leq W \leq 1,300 750 \leq H \leq 1,100
開口面積 ^{※2}	2.0 m ² （1窓）	1.8 m ² （1窓）	⑧：1.2 m 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 \sim 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 \sim 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 \sim 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 \sim 70dB	データなし

※1 ⑧ \sim ⑩の数字は事例を示す。

※2 流量係数 α を考慮しない面積

4. 2. 4 検討対象とする給気口有効開口面積の範囲

表 4-3 にメーカーへのヒアリング調査から求めた外壁換気口の開口面積と CASBEE の基準⁴⁾、更にそれらを給気口有効開口面積に換算した値を示す。CASBEE を除く外壁換気口面積は外壁幅 1.8m に設置する場合に製作可能な最大開口面積をヒアリングしたものであり、(α 含む)と記載があるもの以外は流量係数 α を考慮しない開口面積である。

この表より、本章では給気口有効開口面積 $2\sim 130\text{cm}^2/\text{m}^2$ を検討対象範囲とした。

表 4-3 検討対象とする給気口有効開口面積の範囲

換気口方式	①外壁換気口 面積	②流量係数 α	③給気口 有効開口面積	①②の 出典
サッシ組込み スリット型換気口 (2 台)	0.0044m ² /台 (α 含む)	—	2.3cm ² /m ²	表 4-1
ペリカウンター組込み 横型スリット換気口(1 台)	0.078 m ² /台	$\alpha=0.66$	23.0cm ² /m ²	表 4-1
ペリカウンター組込み 横型アーム式換気口(1 台)	0.35 m ² /台	$\alpha=0.6$ と想定	55.0cm ² /m ²	表 4-1
自然換気窓(1 台)	1.2 m ² /台	$\alpha=0.42$	132.0cm ² /m ²	表 4-1
CASBEE Q1.4.2.2 レベル 4 相当	50cm ² /m ²	—	28.9cm ² /m ²	文献 4)
CASBEE Q1.4.2.2 レベル 5 相当	100cm ² /m ²	—	57.8cm ² /m ²	文献 4)

注 床面積は外壁幅 1.8m×奥行き 12.3m=22.14 m²を使用

4.2.5 研究フロー

4章における研究フローを図4-7に示す。前述のように4章では計画初期段階において簡易に換気口面積や換気経路を検討するための設計手法を提案することを目的としている。設計法の検討は2段階に分けて行った。設計条件として中間期の代表日の条件（処理すべき冷房負荷、室内設定温度、外気温度）を設定し、それらの条件から必要換気量を求めることからスタートするのが代表日条件による換気経路の設計法である。ただし、代表日の条件で決定した換気経路が中間期全体において最適であるとは限らないという課題が残るため、その点に着目した検討法として必要給気口面積1次予測法の提案を行った。

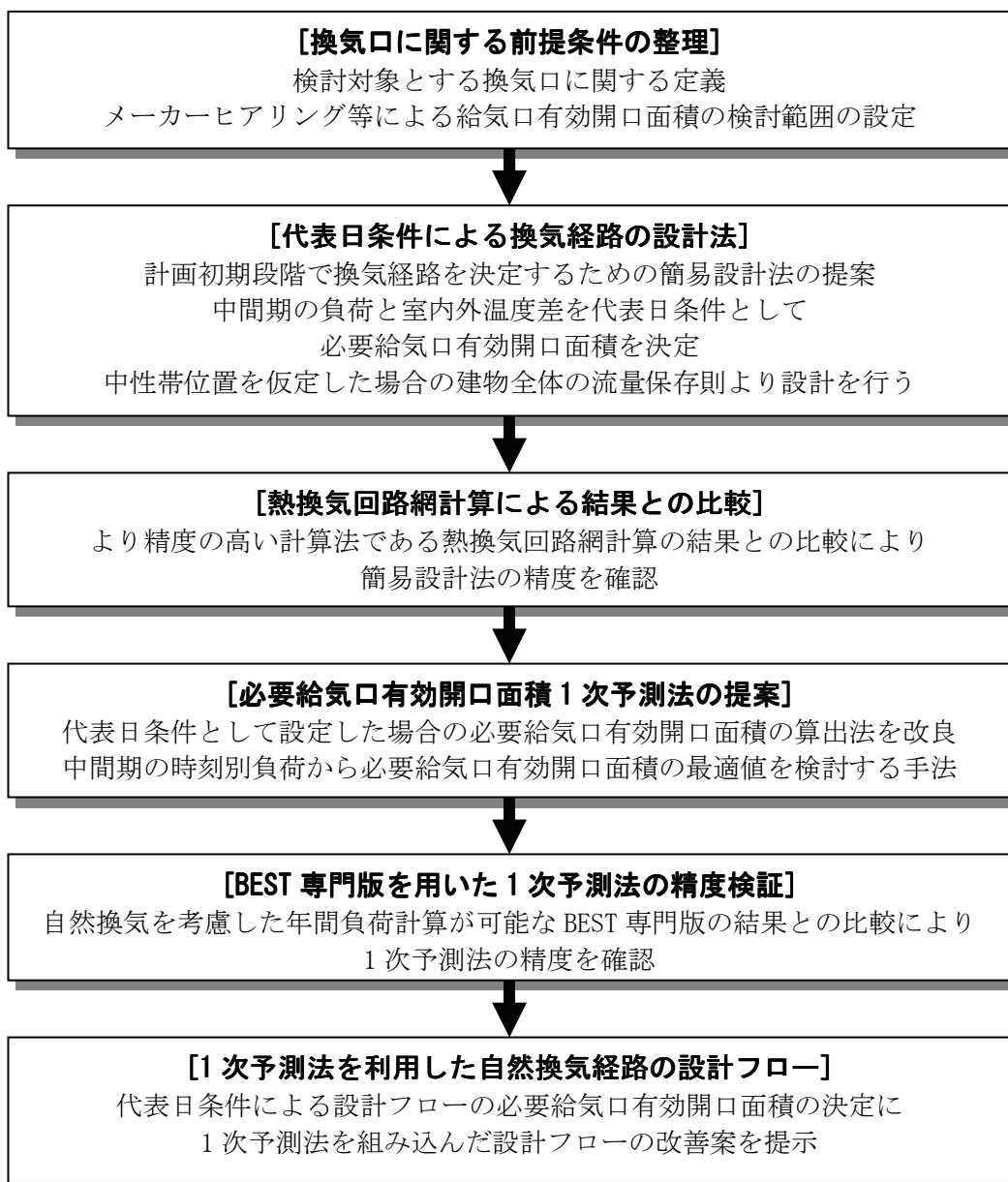


図4-7 4章の研究フロー

4.3 代表日条件による自然換気経路の設計法

4.3.1 検討の流れ

自然換気システムの設計において換気口面積、通風経路を適切に確保するには、計画初期段階での建築計画への反映が望ましい。また、詳細な自然換気シミュレーションを行い、その結果を適切に評価し、システムの最適化を行うためには事前にシステムの目標性能を明確にしておく必要がある。本節では建築計画が固まっていない計画初期段階において、中間期に自然換気のみで室温を制御することを目的とした自然換気システムの基本性能・目標性能を決定する手法及び自然換気経路の基本設計法を提案する。基本設計法の検討手順を図 4-7 に示す。以下、各項目における検討内容の詳細について述べる。

4.3.2 目標換気量の設定

目標換気量は空気質確保や BCP 対策など、自然換気システムを導入する目的によって異なるが、本章では中間期に自然換気のみで室内を冷房することを目的とした場合を想定している。目標換気量は自然換気を行う時間帯の平均空調負荷と目標とする室内設定温度と外気温度の差、温度差が発生する積算時間数の関係から決定する方法とした。

目標換気量は以下の式(4-2)より算出する。

$$Q = \frac{H}{0.33(t_i - t_o)} \quad \dots\dots(4-2)$$

ここで、

Q	: 必要換気量	[m ³ /h・m ²]
H	: 自然換気対象期間の平均空調負荷	[W/m ²]
t_i	: 目標室内設定温度	[°C]
t_o	: 外気温度	[°C]

式中の平均負荷とは、内部発熱、人体負荷、日射負荷等を含む自然換気によって処理する冷房負荷であり、1日のピークではなく自然換気時間帯の平均負荷である。ピーク負荷で決定した場合は、ピーク時間帯以外では必要量以上の換気が行なわれる可能性がある。よって、必要給気口有効開口面積を最小化するために平均負荷を用いることとした。

年間気象データ（拡張アメダス東京 標準年）を使用した目標換気量設定チャートを図 4-8 に示す。このチャートでは対象とする計画の空調負荷、室内外最大温度差、自然換気時間数を設計者が設定することで必要換気量を算出する。例えば設定温度 26°Cとの温度差が 5°C以上の外気（21°C以下）までを利用し、平均負荷 30W/m²の負荷を処理する場合の必要換気量は 18.8m³/h・m²となり、温度差 5~12°Cとなる外気温度の発生時間は、昼間（8:00~19:00）

で 1,044 時間/年、夜間も含めると 2,253 時間/年を目標条件として決定する。図 4-8 における積算時間は表 4-4 の条件を全て満たす時間数を積算している。図 4-8 と後述の 4.5.3 節の中間期の負荷分析の結果より、東京における代表日条件としては外気温度 t_o は 21°C、空調負荷 H は 30W/m² 程度が目安となる。

表 4-4 自然換気有効の判断条件

有効条件	備考
15°C < 外気温	24°C 50%の露点温度
外気温 < 26°C	室内設定温度
26°C 50%のエンタルピ以下	室内エンタルピ
絶対湿度 0.0029kg/kg' 以上	低湿度の外気カット (露点温度-3°C)

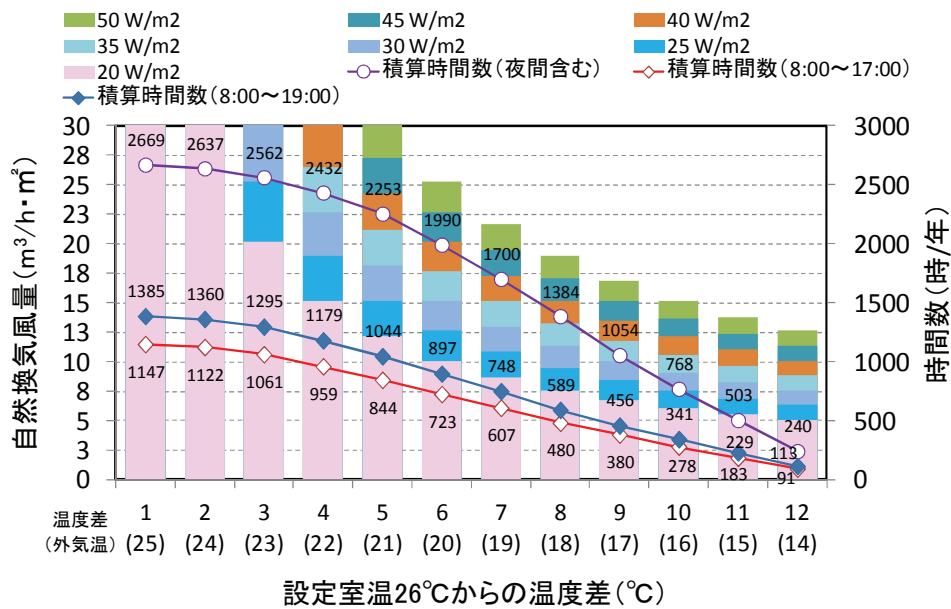


図 4-8 目標換気量設定チャート

4.3.3 温度差換気の換気経路検討法

多数室モデルでの自然換気量や中性帯を求める場合、換気基本式、流量保存式を満たす値を求めるために繰り返し計算を行う必要があり、いくつかの計算法が示されている。ただし、比較的単純なモデルにおいて、通風経路や必要換気量、中性帯位置を設計上の理想的な状態に想定し、それを満たす必要給気口有効開口面積を手計算レベルで簡易に求める事は可能である。よって、設計法としては後者の手法を採用する事とした。つまり設計的に対応する条件を加えることで多数室換気を単純化し、換気基本式を解いて給気口有効開口面積を求める方法とした。以下に、各階の自然換気風量が同等になるような各階面積を求める計算手順を示す。

各階における給気口有効開口面積 $(\alpha A)_{in}$ は、既に設計条件として内外温度差と必要換気量を求めているため、中性帯からの高低差により求める事ができる。中性帯高さは設計の目標とする高さに設定するが、連立式を満たす解が存在するために排気口高さ h_{out} の 2/3 程度の位置が目安となる。なお、中性帯以上の室への逆流は逆流防止ダンパーの設置等により設計的に防止する事とし、室内温度と排気口からの排気温度は同じと想定する。以上の条件と式(4-3)により、各フロアの必要給気口有効開口面積を算出する。

$$Q_i = (\alpha A)_i \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\rho g (h_{NPL} - h_i) \frac{\Delta T}{T_i} \right)} = const \quad \dots\dots(4-3)$$

その上で式(4-4)により各フロアからの給気量の合計と排気口からの排気量が等しくなると想定し、式(4-5)により各階の給気口有効開口面積 $(\alpha A)_i$ と排気口有効開口面積 $(\alpha A)_{out}$ を求める。ただし、式(4-5)においては給気と排気の温度の違いによる比重差は考慮しない。

$$\sum_{i=1}^n Q_i = Q_{out} \quad \dots\dots(4-4)$$

$$\sum_{i=1}^n (\alpha A)_i \sqrt{h_{NPL} - h_i} = (\alpha A)_{out} \sqrt{h_{out} - h_{NPL}} \quad \dots\dots(4-5)$$

また、中性帯を想定位置より上にするため、式(4-6)のように排気口有効開口面積が各フロアの給気口有効開口面積の合計以上となるように $(\alpha A)_{out}$ を計画する。

$$\sum_{i=1}^n (\alpha A)_i \leq (\alpha A)_{out} \quad \dots\dots(4-6)$$

ここで、

Q_i	: 各階の必要換気量	[m ³ /s]
T_i	: 室内温度	[K]
ΔT	: 室内外温度差	[K]
h_{NPL}	: 地上面から中性帯までの高さ	[m]
h_i	: 地上面から各階の換気口までの高さ	[m]
h_{out}	: 地上面から排気口までの高さ	[m]
$(\alpha A)_i$: 各階の給気口有効開口面積	[m ²]
$(\alpha A)_{out}$: 排気口有効開口面積	[m ²]
ρ	: 空気密度	[kg/m ³]

添え字 (i : 階、n : 中性帯以下の給気側となるフロア数)

4.3.4 吹き抜けの形状・面積に関する検討

通常、吹き抜け等の大きな換気経路における圧力損失は小さいと想定し、計算に含めないことが多いが、吹き抜け部分の面積をどの程度確保すべきかは建築計画上大きな問題になる。よって、温度差換気駆動力に対する吹き抜け部分での圧力損失の影響を確認しておくことは重要となる。前出のモデルビルにおいて、吹き抜け部分での圧力損失を検討したものを図4-9に示す。ここでは圧力損失により換気駆動力が減ると想定し、局部抵抗は直管抵抗と同等と見込んだ上で合流抵抗は無視している。

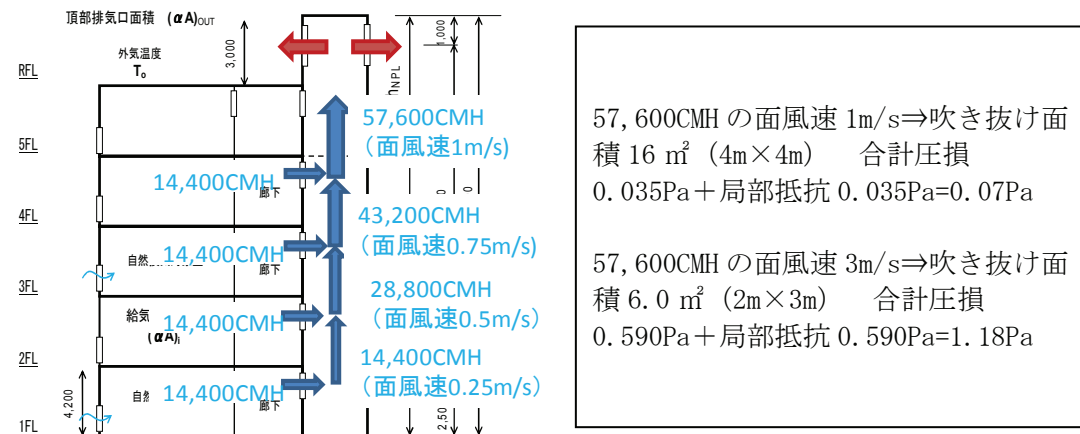


図4-9 吹き抜け部分を通る自然換気量と面風速

中性帯からの高低差が 20.5m で室内外温度差 5℃ の場合の煙突効果の駆動力は約 6.6Pa となる。駆動力 6.6Pa に対して面風速 1m/s では圧力損失が 0.07Pa となり 1% 程度の影響であるのに対し、面風速 3m/s では 1.18Pa となり約 18% となる。実際にはこれらの圧力損失により自然換気量が減少するため繰り返し計算により換気駆動力と経路全体の圧力損失が釣り合うような自然換気量となる。以上の試算では、面風速 3m/s では吹き抜けの圧力損失が自然換気量に与える影響が大きいことが想定され、吹き抜けの圧力損失を検討から省略するためには面風速を 1m/s 以下に抑えることが目安となる。

換気基本式における吹き抜け部の圧力損失の関係を式で表現したものを式(4-7)に示す。吹き抜け部の圧力損失は流量係数に含めることもできるが、各階からの複数の換気経路が存在するため、吹き抜けの温度差換気駆動力が低下する形で表現している。この式中では直管抵抗のみを考慮しているが、場合によっては局部抵抗や合流抵抗も見込む必要があり、吹き抜け形状の最適化を行うためには各部の抵抗に関する資料が必要となる。熱換気回路網計算を行う場合も、吹き抜けの圧力損失の設定により結果に大きな影響がある。各部の抵抗に関する資料は計画初期段階では得られないことが多いため、直管抵抗による圧力損失を目安とし

て形状を決定することも考えられる。基本的には換気口での圧力損失に対して無視できる程度まで低減することが望ましい。

$$Q_i = (\alpha A)_i \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\rho g (h_{NPL} - h_i) \frac{\Delta T}{T_i} - \frac{\lambda L}{d v^2} \right)} \quad \dots\dots(4-7)$$

ここで、

- L : 吹き抜け流路長さ [m]
- Q_i : 各階の必要換気量 [m³/s]
- $(\alpha A)_i$: 各階の給気口総合有効開口面積 [m²]
- $(\alpha A)_{out}$: 排気口総合有効開口面積 [m²]
- d : 吹き抜け断面の直径 [m]
- v : 吹き抜け断面の平均面風速 [m/s]
- λ : 吹き抜け内壁面の摩擦係数 [-]

4. 3. 5 各階の給気口有効開口面積

換気基本式を用いて換気量を算出する場合、直列合成の式を用いて給気口有効開口面積を求める。4.4 節における標準オフィスモデルにおける必要給気口有効開口面積 $(\alpha A)_i$ を表 4-5 に示す。必要面積が最大となる 4F での床面積に対する給気口有効開口面積の割合は 1.27% (127cm²/m²) となり、自然換気窓程度 (130cm²/m²) の換気口装置が必要となる。

表 4-5 標準オフィスモデルでの各階の給気口有効開口面積 αA の算出

設計条件	ピーク外気温度	21 °C	室内温度	26 °C
	対象床面積	720 m ²	目標換気原単位	20 m ³ /h・m ²
	平均負荷	31 W/m ²	目標換気量	14400 m ³ /h・フロア

エアバランス表	No.	開口	風量	$h_{NPL}-h_i$	α	αA
			m ³ /h	m	m ²	m ²
	1	1F 給気口	+14,400	16.75	0.65	$(\alpha A)_1= 1.72$
	2	2F 給気口	+14,400	12.55	0.65	$(\alpha A)_2= 1.98$
	3	3F 給気口	+14,400	8.35	0.65	$(\alpha A)_3= 2.43$
	4	4F 給気口	+14,400	4.15	0.65	$(\alpha A)_4= 3.45$
	5	5F 給気口	-	-0.05	-	$(\alpha A)_5= -$
6	RF 排気口	-57,600	-3.75	0.65	$(\alpha A)_6= 14.52$	

↑	↑	↑	↑
風量収支 チェック	中性帯との 高低差	流量係数	各階の 給気口有効開口面積 排気口有効開口面積

4.3.6 換気経路の計算例

4.3.2～4.3.5節で述べた設計法の検討フロー及び計算例を示す。本節では温度差換気（図4-12, 13）に加え、風力のみが作用して各階で完結する場合の風力換気についても示す。（図4-10, 11）

（1）風力換気を利用した自然換気経路の検討フロー

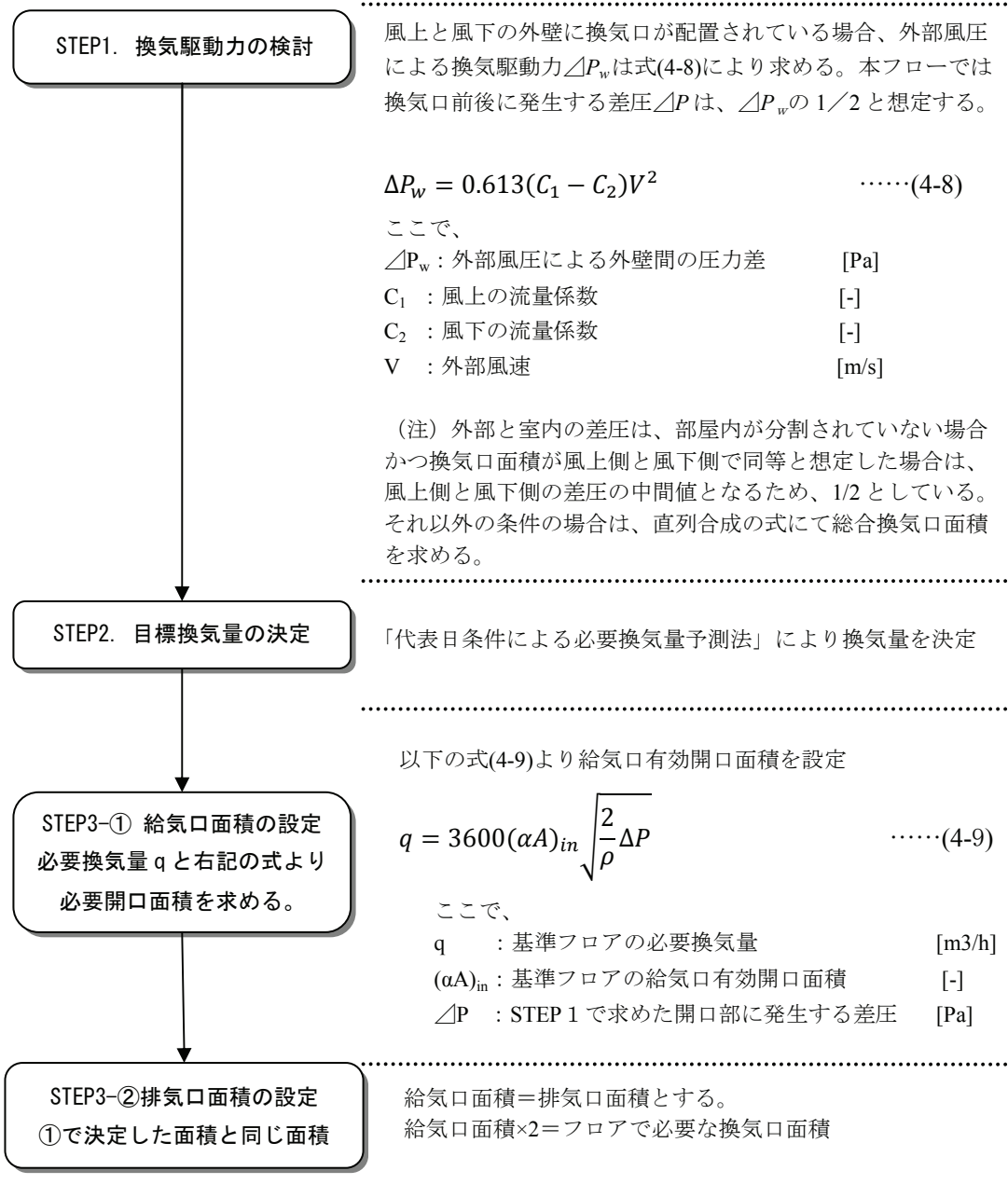
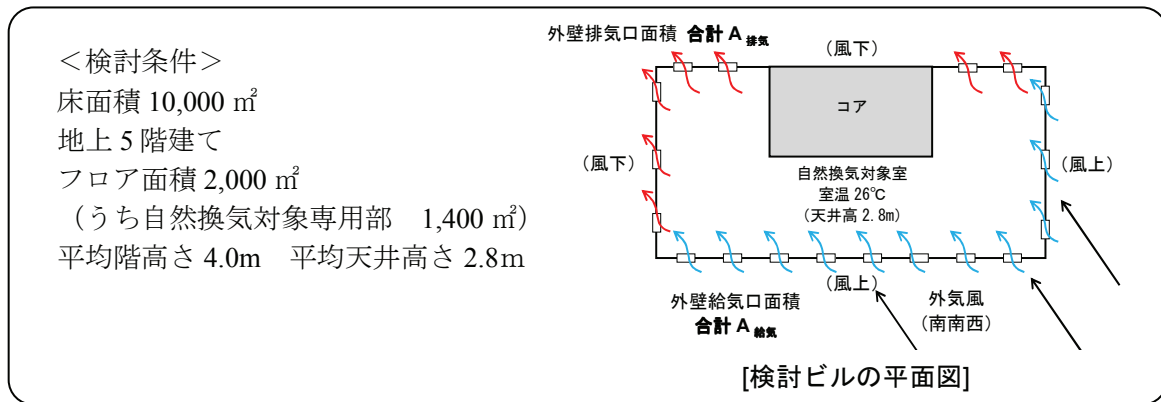


図 4-10 風力換気を利用した自然換気経路検討フロー

(2) 風力換気時の計算例



STEP1. 換気駆動力の計算

- ①敷地における中間期の卓越風、平均風速を確認する。
→東京では北北西/南南東 平均風速 3.2m/s、建物高さが低いので外気風補正は行わない。
- ②建物のレイアウトより外壁に発生する風上側・風下側の風圧係数を推定
→風上側 0.8、風下側 -0.4 と想定。
- ③換気駆動力を計算
→ $\Delta P_w = (C_1 - C_2) \times 0.613 \times V^2$ より
 $(0.8 - (-0.4)) \times 0.613 \times (3.2)^2 = 7.53$ (Pa)

STEP2. 目標換気量の設定

- 自然換気による室温制御を目的とし、目標換気回数 5 回/h と設定する。
→フロアの必要換気量は床面積 1,400 m² × 天井高 2.8m × 5 回/h = 19,600m³/h

STEP3. 給排気口の開口面積を設定

以下の式より必要給気口面積を計算

$$q = 3600(\alpha A)_{in} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad \dots\dots(4-9 \text{ 再掲})$$

ここで、

- q : 基準フロアの必要換気量 19,600m³/h
- α : 0.42
- ΔP : STEP 1 で求めた換気駆動力 P_w の 1/2 = 3.76Pa

よって、必要給気口面積 A_{給気} = 5.23 m² 分の換気口を風上側に配置する。
必要排気口面積も同等の面積が必要のため A_{排気} = 5.23 m² 分の換気口を風下側に配置する。

図 4-11 風力換気時の自然換気経路検討例

(3) 温度差換気を利用した自然換気経路の検討フロー

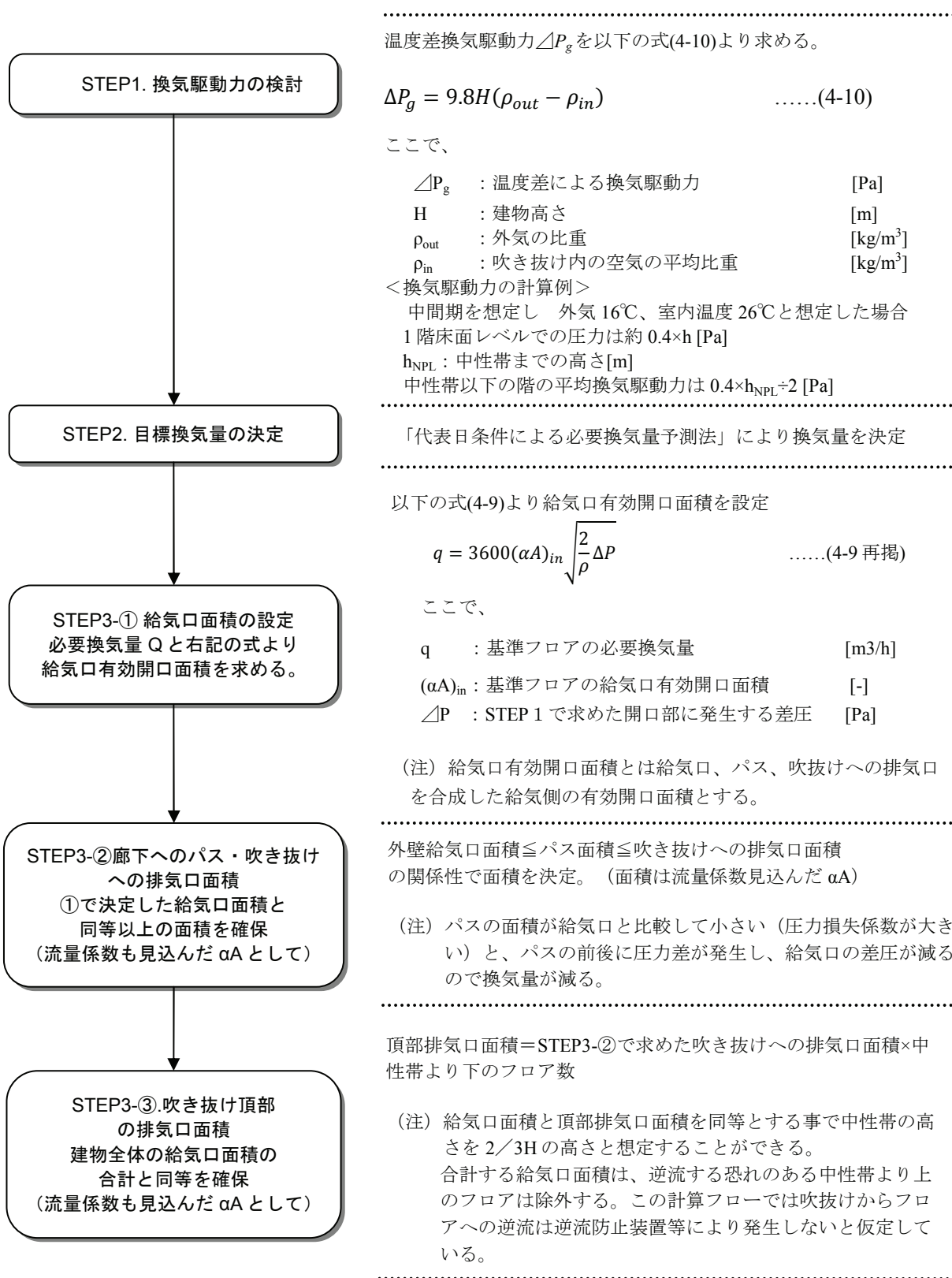
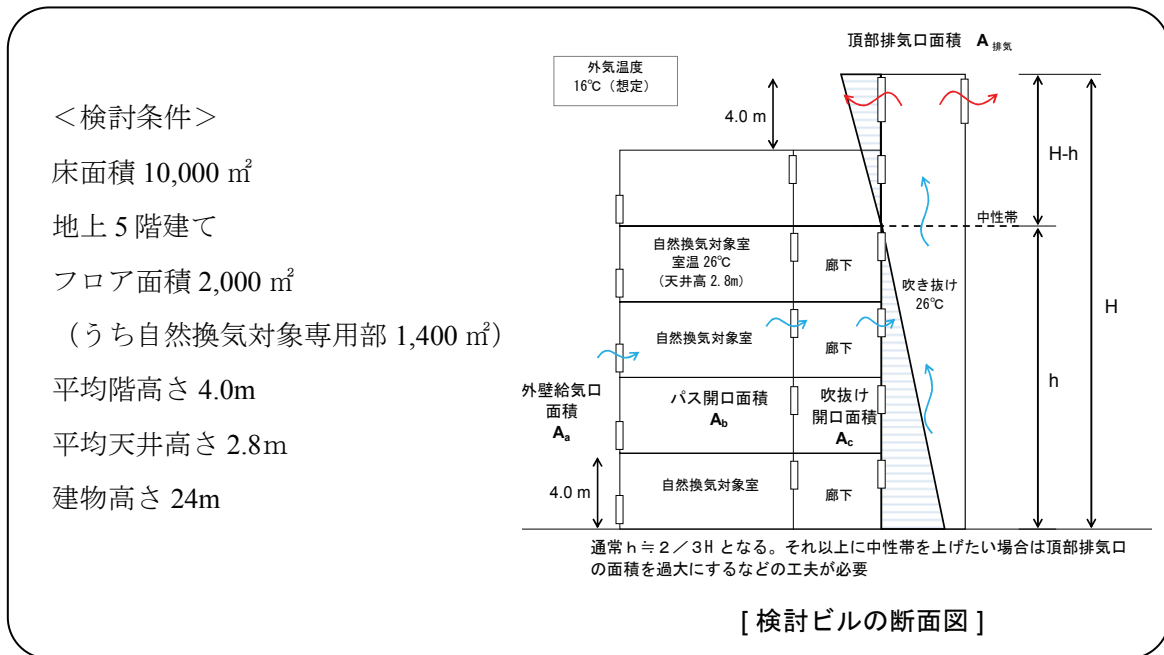


図 4-12 温度差換気を利用した自然換気経路検討フロー

(4) 温度差換気時の換気口面積計算例



STEP1. 換気駆動力の計算

中間層を想定し外気温 16℃、室温 26℃

建物高さ 24m より 換気駆動力は $0.4 \times H = 0.4 \times 24m \times 2/3 = 6.4$ (Pa)

1 階では 6.4Pa だが中性帯では 0Pa のため、平均は 3.2Pa となる。

STEP 2. 目標換気量の設定

自然換気による室温制御を目的とし、目標換気回数 5 回/h と設定する。

→フロアの必要換気量は床面積 1,400 m² × 天井高 2.8m × 5 回/h = 19,600m³/h

STEP 3. 給排気口の開口面積を設定

以下の式より必要給気口面積を計算

$$q = 3600\alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad \dots\dots(4-9 \text{ 再掲})$$

ここで、

q : 基準フロアの必要換気量 19,600m³/h

α : 流量係数 0.66

ΔP : STEP 1 で求めた平均換気駆動力 3.2Pa

よって、必要な外壁の給気口面積は 6.27 m²、パス、吹き抜けへの排気も同じ面積確保する必要があるため 6.27 m²

吹き抜け頂部排気口の必要開口面積を計算

頂部排気口面積 = STEP3-②で求めた吹き抜けへの排気口面積 × 中性帯より下のフロア数で計算する。

中性帯より下のフロアは 4 フロアなので $A_{\text{排気}} = 6.27 \text{ m}^2 \times 4 \text{ フロア} = 25.1 \text{ m}^2$ 以上

図 4-13 温度差換気時の自然換気経路検討例

4.3.7 設計用基準外気条件

拡張アメダスデータ東京（標準年）⁵⁾の中間期データ（4～6月,10,11月）を用いて、日中のピーク外気温度別に外気パターンを作成した。自然換気のみで室内環境制御を行うピーク外気温度を21℃と設定した場合、図4-14の外気21℃パターンを使用する。その時の中間期全体のカバー率は表4-6より42%となる。

図4-15に1日の積算外気温度の発生頻度を示す。カバー率は設計用外気条件が図4-15において全体の何%の位置にあるかを示しており。室内外温度差で検討する場合には日積算外気温度が大きなものほど冷却効果は不利となるため、設計用基準外気パターンがそれ以下の積算外気温度の日を代表するものとした。

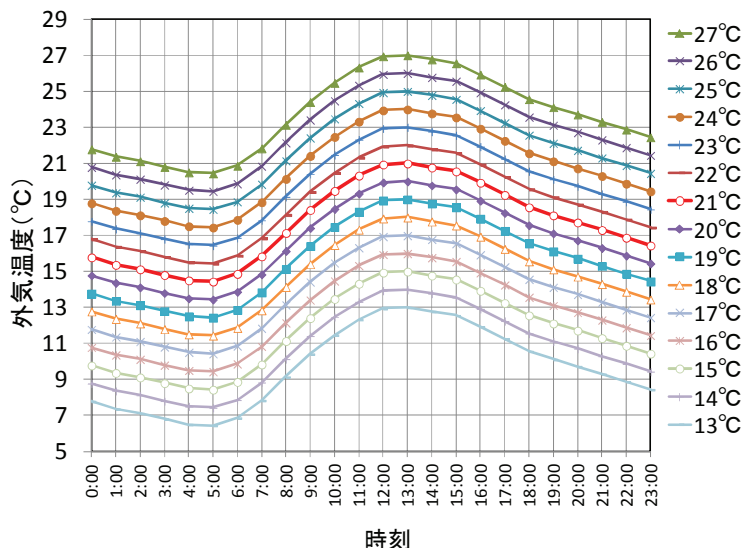


表 4-6 カバー率

中間期カバー率	
27℃	93 %
26℃	87 %
25℃	81 %
24℃	73 %
23℃	64 %
22℃	54 %
21℃	42 %
20℃	35 %
19℃	33 %
18℃	24 %
17℃	18 %
16℃	14 %
15℃	10 %
14℃	5 %
13℃以下	2 %

図 4-14 設計用基準外気パターン（東京）

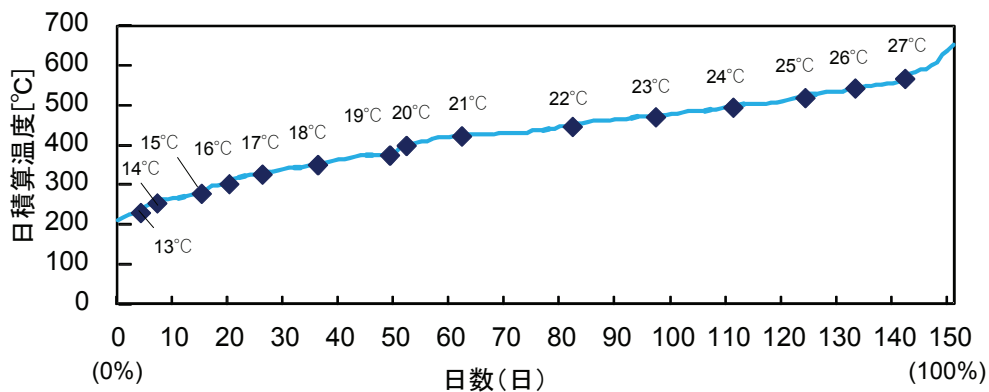


図 4-15 中間期における日積算外気温度発生頻度（東京）

4. 4 熱換気回路網計算による計算結果との比較

4. 4. 1 オフィスモデルにおける設計条件の検証例

前節までは自然換気基本式を基にした換気経路の設計手法について述べたが、本節では設計法の妥当性の確認を行う。検討方法としては、熱換気回路網計算ソフト NETS^(6,7)を用いた結果との比較を行った。NETS は住宅の次世代省エネ基準の評価に対する国土交通大臣の特別評価方法認定プログラムである⁸⁾。

フロア平面図を図 4-16、モデルの建物断面図を図 4-17、ペリメータ断面詳細図を図 4-18、内部発熱のパターンを図 4-19 に示す。換気駆動力は温度差換気のみが作用する場合とした。また、表 4-7 にモデルの設定条件を示す。自然換気利用時間は 8:00~19:00 とし、日射負荷は見込まない条件とした。

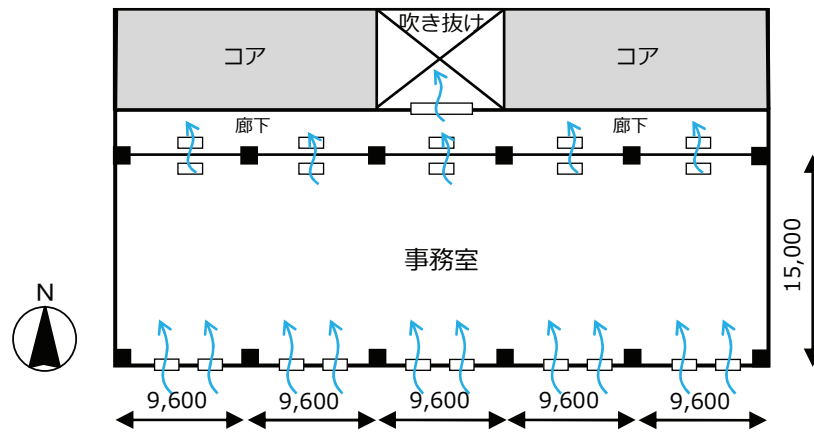


図 4-16 フロア平面

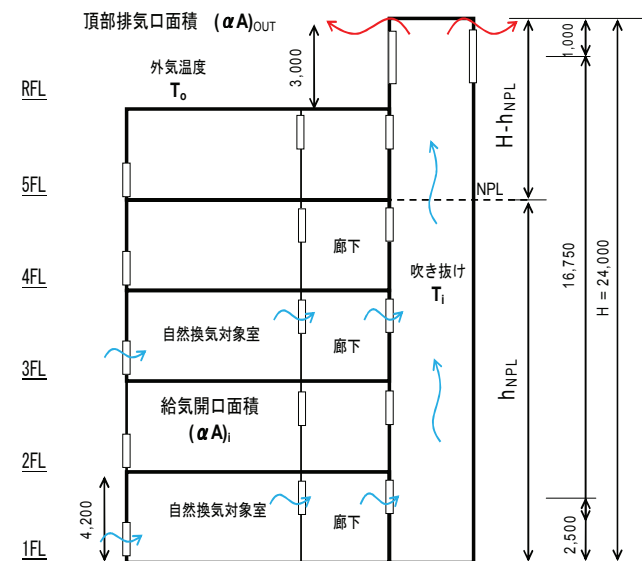


図 4-17 建物断面図

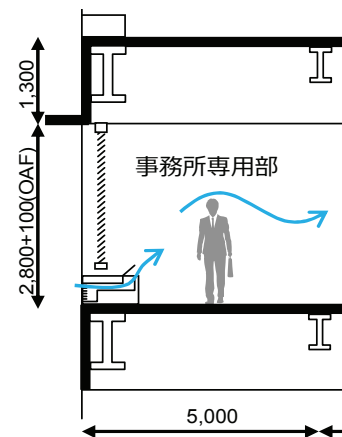


図 4-18 断面詳細

表 4-7 標準オフィスモデル条件⁹⁾

気象	東京 標準年データ (拡張アメダス気象データ 1981-2000)	
ガラス種類	Low-ε グリーン (銀2層) + 透明 ガラス厚さ 8mm、空気層厚さ 6mm	
ブラインド	中間色ブラインド	
壁体材料	外壁	スチレン発泡板 0.025、普通コンクリート 0.15、モルタル 0.02、タイル 0.08[m]
	内壁	モルタル 0.025、普通コンクリート 0.15、モルタル 0.025[m]
	床	カーペット類 0.006、普通コンクリート 0.022、非密閉空気層、普通コンクリート 0.15、非密閉空気層、石膏板 0.009、石綿吸音板 0.012[m]
家具	15J/lit・K (顕熱)	
内部発熱 平均 30.9W/m ² (8:00~19:00)	照明	20W/m ²
	人体	0.15 人/m ²
	機器	15W/m ²

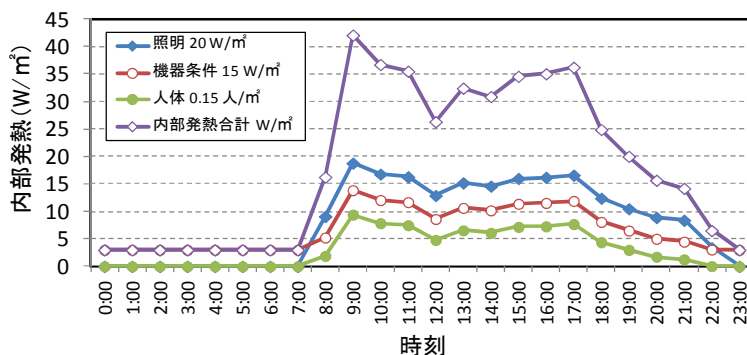


図 4-19 標準オフィスモデル内部発熱パターン⁸⁾

4.4.2 表計算ソフトによる定常計算結果

最初に簡易な方法として表計算ソフト (EXCEL-VBA) を用いて定常計算での室温変動を検討した。計算間隔は 1 分間隔とし、換気量は室内外温度差より計算する方法とした。また、空気の熱容量には家具の熱容量も見込むものとした。

計算方法としては、1 分間隔で定常熱平衡式を解く方法とし、自然換気量は 1 分前の室内外温度差から自然換気量を求め、内部発熱と自然換気による冷却効果によって室内に取得する熱量を算出した。算出した熱量による躯体の熱容量に対しての上昇温度を求め、1 分前の室温に加える形で室温を求める方法とした。なお、1 日単位の計算を行っており、計算スタートである 0:00 の室温と計算終了の 24:00 の室温が同値になるまで繰り返し計算を行っている。また、内部発熱に関しては正時を頂点とした 1 分間隔の二等辺三角波¹⁰⁾に変換して与え

ている。本計算方法では、まず単室の熱平衡式¹⁰⁾を応用して室温上昇を求めるが、時間ステップ間隔を1分と短くすることで式(4-11)のように時間ステップ n での室温を用いて次ステップ $n+1$ の室温変動を求める式とした。

$$d\theta_{i,n+1} = \frac{H_i - \overline{KS}(\theta_{i,n} - \theta_o)}{C} dt \quad \dots\dots(4-11)$$

ただし、総合熱貫流率 \overline{KS} については簡易計算として壁面の熱貫流は無視し、式(4-12)のように換気による熱貫流のみとした。

$$\overline{KS} = C_p \rho V \quad \dots\dots(4-12)$$

また、換気量 V は温度差換気による換気量とし、時間ステップ n での室温 $\theta_{i,n}$ と外気との温度差 $\Delta\theta$ から式(4-13)によって求めている。

$$V = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\rho g (h_{NPL} - h_i) \frac{\Delta\theta}{\theta_{i,n}} \right)} \quad \dots\dots(4-13)$$

ここで、

C	: 熱容量	[J/K]
H_i	: 内部発熱	[W]
\overline{KS}	: 総合熱貫流率	[W/K]
$\theta_{i,n}$: 計算ステップ n での室内温度	[K]
$\Delta\theta$: 室内外温度差	[K]
V	: 換気量	[m ³ /s]
g	: 重力加速度	[m/s ²]
h_{NPL}	: 地上面から中性帯までの高さ	[m]
αA	: 給気口有効開口面積	[m ²]
ρ	: 空気密度	[kg/m ³]

このような表計算ソフトによる定常計算結果として、21℃の基準外気パターンを用いた場合の室温変動を図 4-20 に示す。また、自然換気量を図 4-21 に示す。8:00～19:00 の自然換気利用時間において最高室温は 25.2℃であり室温設定値の 26℃以下となった。また、平均換気風量は 19.1 m³/h・m² であり、必要換気量として設定した 20m³/h・m² と比較すると誤差は 4.5%であった。他の基準外気パターンに変更した場合の室温変動を図 4-22 に示す。22℃パ

ターンでは日中に室温 26℃を超えたが、8:00~13:00 までは 26℃以下に抑えられていた。日室温変動は基本設計時に設定した温度差 5℃差を確保するために外気温度の変動に追従して変化していることが想定される。また、室温は約 2℃の変動があり、温度差換気の換気量の時間変動率は 14%で、平均的には基本設計時の目標換気量と近い値となることを確認した。

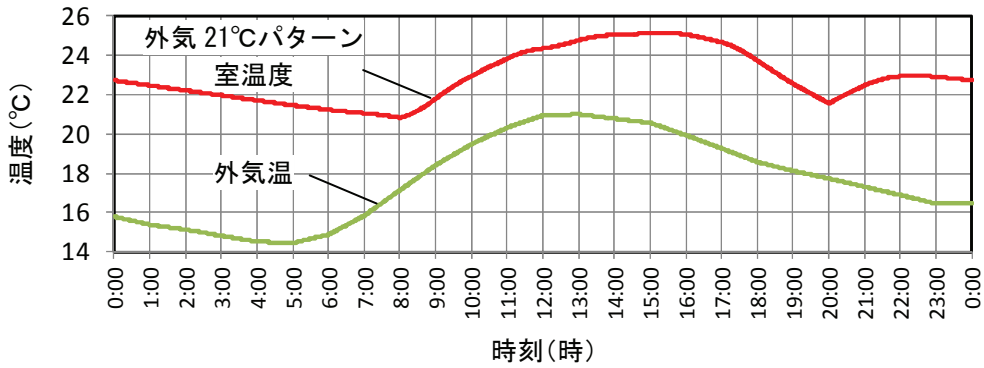


図 4-20 外気 21℃パターン（基準ケース）での室温変動

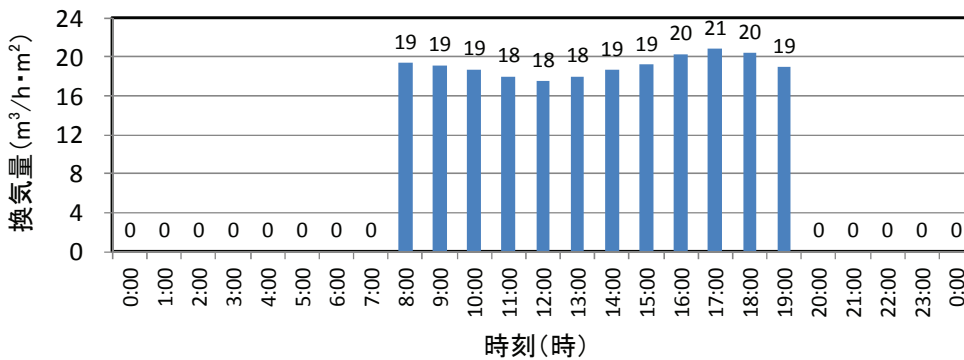


図 4-21 外気 21℃パターン（基準ケース）での換気量変動

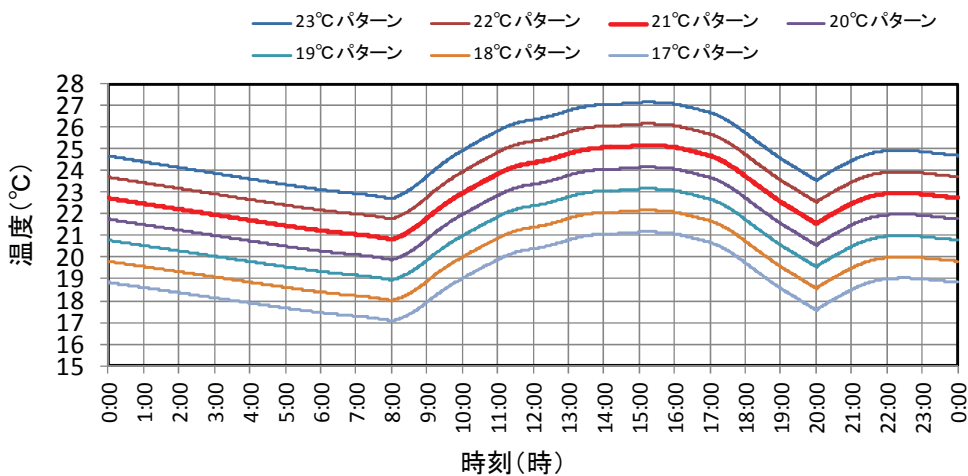


図 4-22 設計用外気パターン別の室温変動結果

4. 4. 3 熱換気回路網による非定常計算結果との比較

熱換気回路網にて同一条件にてモデルを作成し、基本設計法との誤差を確認した。熱換気回路網では 10 分間隔の非定常計算を行った。基準外気 21℃パターンとほぼ同じ外気条件の日 (4/29) での計算結果を図 4-23, 24 に示す。最高室温は 24.6℃であり定常計算より低い値となったが、変動パターンは概ね同一であった。平均換気風量は 19.2 m³/h・m²であり、基本設計での目標値との誤差は 4%であった。また、1～4F までの換気量の差は小さく、各階での給気口有効開口面積の選定が適切であった事が分かった。熱換気回路網計算との比較結果を表 4-8 に示す。

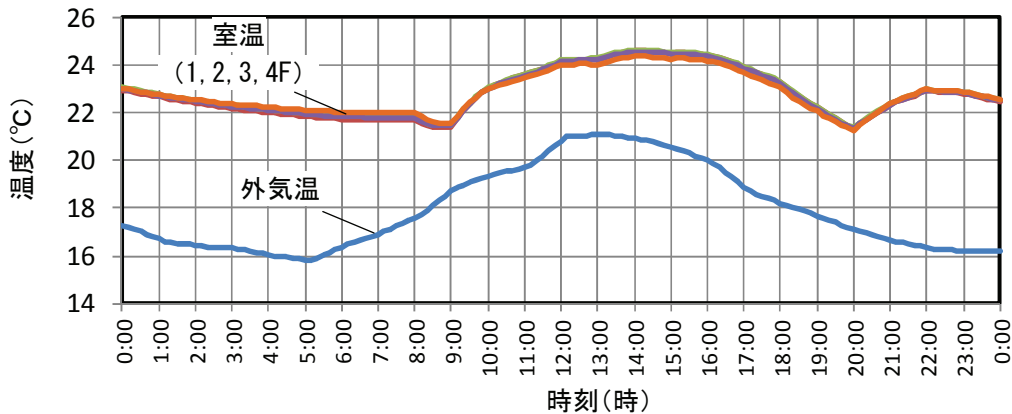


図 4-23 熱換気回路網での室温計算結果

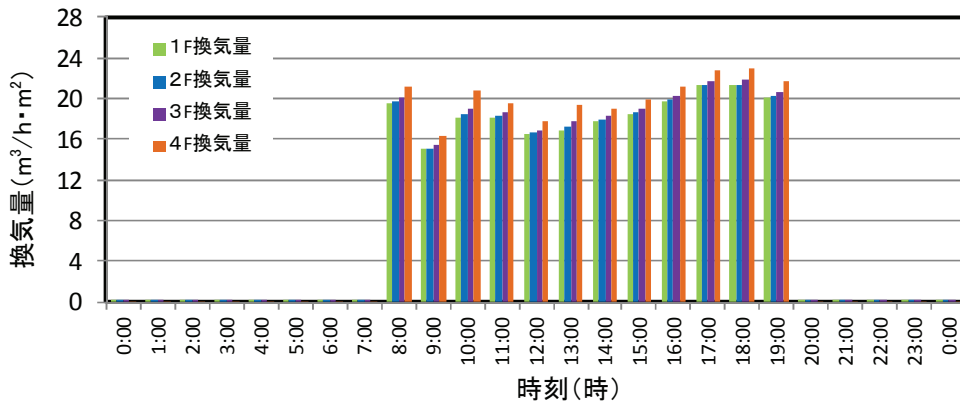


図 4-24 熱換気回路網での換気量計算結果

表 4-8 熱換気回路網計算との比較

	設計値	簡易計算	熱換気回路網計算
計算方法	—	定常計算	非定常計算
外気条件	外気 21℃ パターン	外気 21℃ パターン	拡張アメダス東京 標準年 (4/29)
ピーク室温	26℃以下	25.2℃	24.6℃
平均換気量	20m ³ /h・m ²	19.1m ³ /h・m ²	19.2m ³ /h・m ²

4.5 必要給気口有効開口面積 1次予測法

4.5.1 1次予測法の概要

4.3.2節で述べた必要換気量予測法は中間期における代表的な室内外温度と室負荷を想定し、必要換気量を決定する方法である。しかし、温度差や室負荷は時々刻々と変化するため、代表日の値で決定した必要換気量が中間期全体に対して最適であるとは限らないという課題が残る。そこで、中間期全体に対する影響を考慮して、時刻別の室負荷と自然換気による冷却効果によって必要給気口有効開口面積を求める手法を考案した。必要給気口有効開口面積の検討に関しては、中間期の代表的な室負荷や室内外温度差を固定して算出する方法ではなく、時刻別の負荷分布からチャートを利用して算出する方法とした。最適な値は、シミュレーション解析を繰り返すことにより求めることも可能であるが、チャートを用いることによって結果と影響要因の因果関係が分かりやすいという利点があり、コンセプトを固める計画初期段階の検討としては適している。本節では、このような簡易予測手法を「1次予測法」と名付けたが、建築計画が固まっていない計画初期段階では1次予測法によって給気口有効開口面積を決定し、具体的な建築計画が決定した段階でBEST 専門版、熱換気回路網、CFDなどの詳細なシミュレーション検討を行うことを想定している。

以下に本節で提案する1次予測法の概要を述べる。自然換気時において、室負荷と外気冷房としての自然換気による処理負荷が等しく、定常状態になっていると仮定すると、一般的な熱平衡式から式(4-14)が成り立つ。ただし、単室かつ室温が外気温より高い場合とする。

$$H_{is} - \sum UA\Delta\theta = C_p\rho V\Delta\theta \quad \dots\dots(4-14)$$

式(4-14)の右辺にある換気量 V に式(4-13 再掲)のシャルルの法則を用いた温度差換気式を代入すると式(4-15)となる。

$$V = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\rho g (h_{NPL} - h_i) \frac{\Delta\theta}{\theta_i} \right)} \quad \dots\dots(4-13 \text{ 再掲})$$

$$H_{is} - \sum UA_{wall}\Delta\theta = C_p\rho\Delta\theta\alpha A \sqrt{2g(h_{NPL} - h_i) \frac{\Delta\theta}{\theta_i}} \quad \dots\dots(4-15)$$

ここで、

A_{wall}	: 外壁面積	[m ²]
C_p	: 空気比熱	[J/kg・K]
H_{is}	: 単位床面積あたりの内部発熱及び日射負荷	[W/m ²]

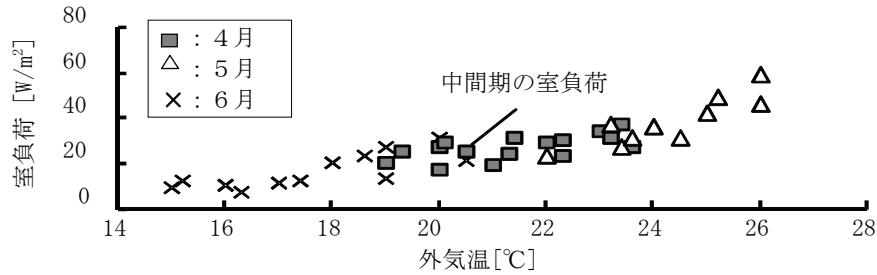
U	: 外皮熱貫流率	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$
V	: 換気量	$[\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2]$
g	: 重力加速度	$[\text{m}/\text{s}^2]$
h_{NPL}	: 地上面から中性帯までの高さ	$[\text{m}]$
αA	: 単位床面積あたりの給気口有効開口面積	$[\text{m}^2/\text{m}^2]$
ρ	: 空気密度	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
ρ_o	: 外気の空気密度	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
θ_i	: 室内温度	$[\text{K}]$
$\Delta\theta$: 室内外温度差	$[\text{K}]$

式(4-15)の右辺は温度差を利用した自然換気量と室内外温度差から求めた自然換気による処理負荷を示しており、室温 θ_i が許容域内であれば自然換気による室温制御が成り立っていることになる。なお、本節では式(4-15)の左辺に負荷計算結果を用いるため、右辺の $\Delta\theta$ が室内外温度であるのに対し、左辺の $\Delta\theta$ は負荷計算用の設定室温と外気温との差となる。外皮の熱貫流は内部発熱、日射負荷に対して小さいため、この差による結果への影響は小さいと考えた。表 4-9 に 1 次予測法の検討手順を示す。自然換気許可時の冷房室負荷（以下室負荷）を抽出し、許容室温域に入る自然換気時間数が最大となる給気口有効開口面積を求める方法である。

表-4-9 給気口有効開口面積の1次予測手法検討手順

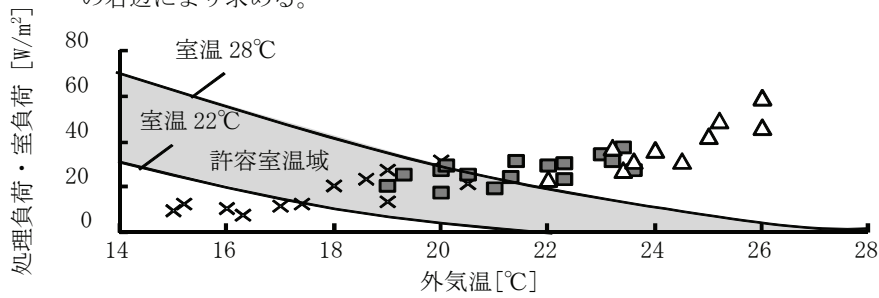
(a) 自然換気許可時間における室負荷をプロット

- ・ 検討対象モデルに対してBEST 専門版により年間負荷計算を行い、許可条件と拡張アメダス EA 気象データを用いて自然換気許可時の室負荷を抽出



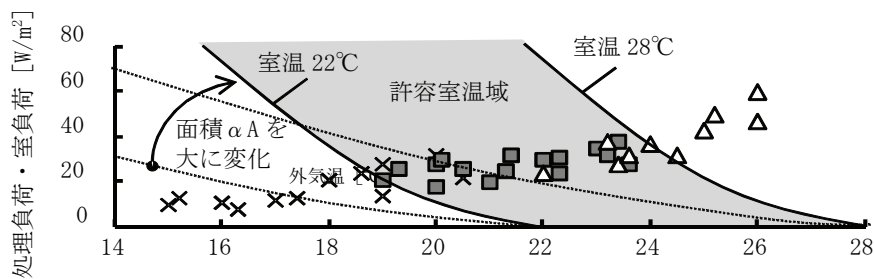
(b) 許容室温域を設定し、自然換気による処理負荷を求める

- ・ ここでは、許容室温域を 22~28°C と設定
- ・ 給気口有効開口面積 αA は仮に設定し、自然換気による処理負荷を式(4-12)の右辺により求める。



(c) 自然換気時間数が最大となる給気口有効開口面積 αA を求める。

- ・ (b) で仮設定した αA を変化させ、許容室温域に含まれる室負荷の時間数が最大となる αA を求める。



各都市の評価期間設定と許容室温の設定を表 4-10 に示す。評価期間は省エネ法の中間期設定を参考に平均外気温度を考慮して決定した。自然換気時の室負荷を抽出するための自然換気許可条件を表 4-11 に示す。許可条件は 3 章で分類された t-x 型の許可条件を参考にした。

表 4-10 評価期間と許容室温

		札幌	東京・福岡	那覇
許容 室温	22～24℃	5, 10 月	4, 11 月	—
	22～26℃	6, 9 月	5, 10 月	12 月
	22～28℃	7, 8 月	6, 9 月	4, 5, 10, 11 月
評価対象		平日 9:00～18:00		

表 4-11 自然換気許可条件

外気温	15℃以上、26℃未満
室温	許容室温域内
湿度	露点温度 19℃未満、相対湿度 99%未満
その他	外気風 10m/s 以下

4. 5. 2 評価モデル

モデルは滝沢¹⁰⁾によるオフィス用標準問題を用いた。図 4-25 にモデルビルの平面図、表 4-12 にモデルビル基準条件を示す。用途はオープンで利用されるオフィスビルとし、解析対象は 2 階の南側執務室とした。建物高さは 42m、中性帯から対象室の高低差を 20m と設定した。平日の空調時間は 9:00～22:00 であるが、自然換気の評価は昼間の 9:00～18:00 とした。週休 2 日制で正月などの特別休暇も見込むスケジュールとしている。内部発熱等の負荷パターンを図 4-26 に示す。

モデルビルにおける中間期の負荷の傾向を把握するため、発熱条件と外皮性能を変化させた場合の負荷特性分析を行った。内部発熱条件を表 4-13 に示す。発熱条件は基準条件、省エネ法の基準建物条件、LED 照明を前提とした低発熱オフィス条件の 3 ケースを想定している。開口部条件を表 4-14 に示す。開口部は省エネ法の基準建物条件とフルハイトの開口で断熱性の高い Low-ε ガラスを採用した条件、フルハイトの開口で日射遮蔽性能の高い熱線反射ガラスを採用した条件の 3 ケースを想定した。

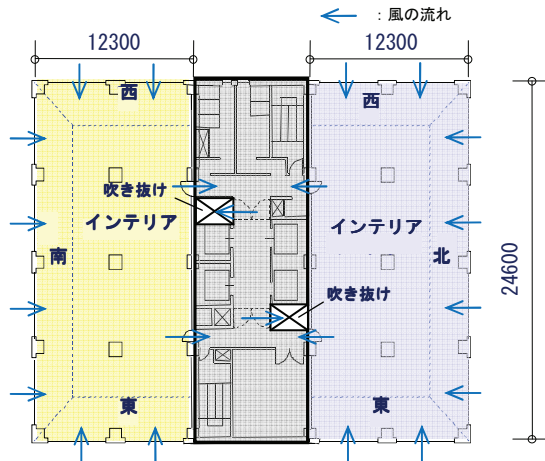


図 4-25 標準オフィスモデル対象室平面図¹¹⁾

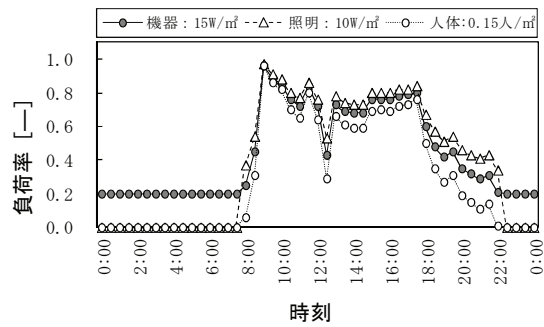


図 4-26 負荷パターン

表 4-12 モデルビル基準条件

建築概要	用途：オフィス、規模：地上10階 建物高さ42m、階高4.2m、天井高2.8m		
ブラインド	中間色ブラインド		
壁体	外壁	せっこうボード0.008、非密閉中空層、スチレン発泡板(1,2地域：0.005、3~7地域：0.025、8地域：なし)、普通コンクリート0.15、モルタル0.002、タイル0.008[m]	
	内壁	モルタル0.025、普通コンクリート0.15、モルタル0.025[m]	
	床	カーペット類0.006、普通コンクリート0.022、非密閉空気層、普通コンクリート0.15、非密閉空気層、せっこうボード0.009、石綿吸音板0.012[m]	
家具	15J/lit・K (顕熱)		
気象	拡張アメダス気象データ 標準年		

表 4-13 内部発熱条件

	人員 [人/m ²]	照明 [W/m ²]	機器 [W/m ²]	備考
発熱条件1	0.15	10	15	基準
発熱条件2	0.1	16.3	12	省エネ法
発熱条件3	0.1	8	9	LED採用

表 4-14 外皮条件 (開口部)

	開口率	ガラス種類	庇
開口 a	40%	透明単版 (8mm ブラインド標準)	なし
開口 b	60%	日射遮蔽型 Low-ε 透明複層 (8mm+A6mm)	なし
開口 c	60%	高性能熱反 (シルバー)	なし

4. 5. 3 中間期の負荷特性分析

BEST 専門版(1406 版)による負荷計算結果を図 4-27 に示す。ケース名は表 4-13,14 における「発熱条件+開口条件+地域」を表している。負の値は暖房負荷を示し、負荷計算の冷房負荷には外気負荷は含まれていない。全てのケースにおいて中間期に発生する室負荷の 75% は $60\text{W}/\text{m}^2$ 以下に含まれており、条件 3c 東京ではピーク負荷 $77\text{W}/\text{m}^2$ に対して中央値 $7\text{W}/\text{m}^2$ であった。開口条件の中では熱線反射ガラスによって日射負荷を削減した条件が最も室負荷削減効果が高かった。内部発熱の最も少ない発熱条件 3 のケースでは、中央値が低い値となるが暖房負荷も増えている。この結果により、近年の内部発熱の減少や外皮性能を考慮し、設計条件となる中間期の負荷を適切に見込むことが必要であることが示唆された。東京においては冷房負荷に限定した室負荷の中央値は $14\sim 31\text{W}/\text{m}^2$ となったため、 $30\text{W}/\text{m}^2$ 程度を対象負荷とすることが適切と考えられる。

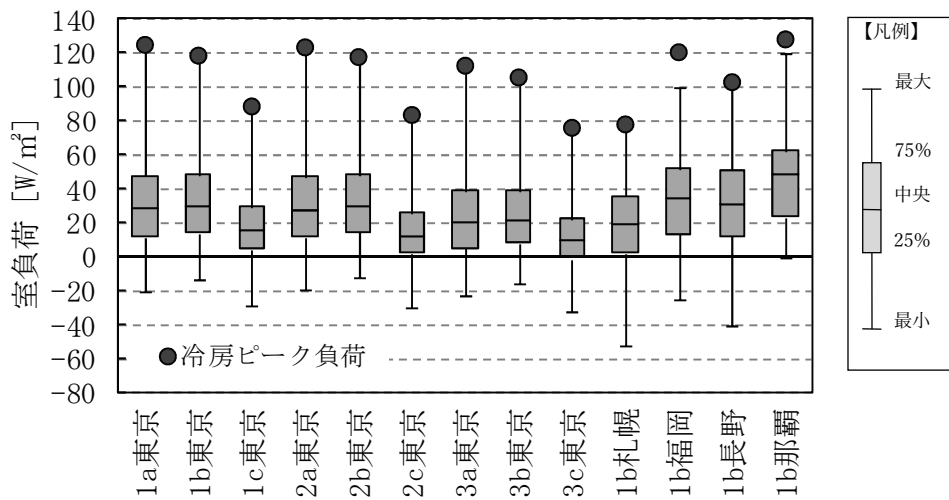


図 4-27 年間冷房ピーク負荷と中間期の室負荷

4.5.4 自然換気による処理負荷

1次予測法の計算例として、給気口有効開口面積 αA を固定し室内温度 θ_i を変化させたグラフを図 4-28 に、室内温度 θ_i を固定し給気口有効開口面積 αA を変化させたグラフを図 4-29 に示す。図 4-28 のように許容室温域を下限室温 22°C、上限室温 28°C と設定すると、その上下限値で囲まれた範囲が自然換気によって許容室温域に制御可能な範囲といえる。室温 28°C 以上の領域はハイブリッド空調や空調設備による冷房への切り換えが必要であり、室温 22°C 以下は開口を絞る開口率制御や暖房への切り換えが必要となる。図 4-29 に示すように給気口有効開口面積 αA を変化させるとグラフの傾きが変化し、 αA が大きくなると換気回数や処理負荷の変化率も大きくなる。図 4-28,4-29 より中性帯からの高低差を 20m と想定した場合、 $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以上の給気口有効開口面積を設ければ外気温 23°C 以下で $30\text{W}/\text{m}^2$ 程度の室負荷の処理が可能であると予想できる。

4.5.5 給気口有効開口面積と室負荷の関係

室負荷分布と給気口有効開口面積を変化させた場合の自然換気による処理負荷を図 4-30 に示す。ここでは、ペリメータとインテリアの室負荷を平均化したフロア平均値を用いている。ペリメータでは日射の影響により負荷のばらつきが大きい、インテリアはほぼ一定であり、フロア平均では大部分が $60\text{W}/\text{m}^2$ 以下に分布する。図 4-30 のグラフに関する考察を以下に示す。

- 1) 中間期の室負荷分布の範囲に対して、固定された給気口有効開口面積では全ての中間期負荷をカバーすることは困難であることが分かる。よって、自然換気許可時の負荷分布を考慮して自然換気時の許容室温域内に多くの室負荷が含まれるような給気口有効開口面積を求めることが重要となる。
- 2) 換気口を十分に大きく確保し、下限温度を下回らないように開口率を調整する制御（以下、開口率制御）を行うと室負荷に応じた給気口有効開口面積が選択されるため、大幅に自然換気時間数が増加する可能性がある。
- 3) 給気口有効開口面積が小さい場合は外気温度が低い領域の室負荷が許容室温域に含まれるが、面積が大きくなると許容室温に近い外気温の領域に移動する。
- 4) 給気口有効開口面積小では、許容室温域における処理負荷の上下限値の範囲が狭いため、室負荷の変動に対する室温の変動幅が大きい。また、自然換気許可条件の下限外気温設定を上げていくと低負荷の時間帯が除外されるため自然換気時間数が減ると予想される。
- 5) 給気口有効開口面積小では、室温 28°C 以上の領域に室負荷が多く分布するため、自然換気で処理できない負荷を空調で処理するハイブリッド空調の効果が大きく、給気口有効開口面積が大きくなるにつれ開口率制御の効果が大きくなると予想される。

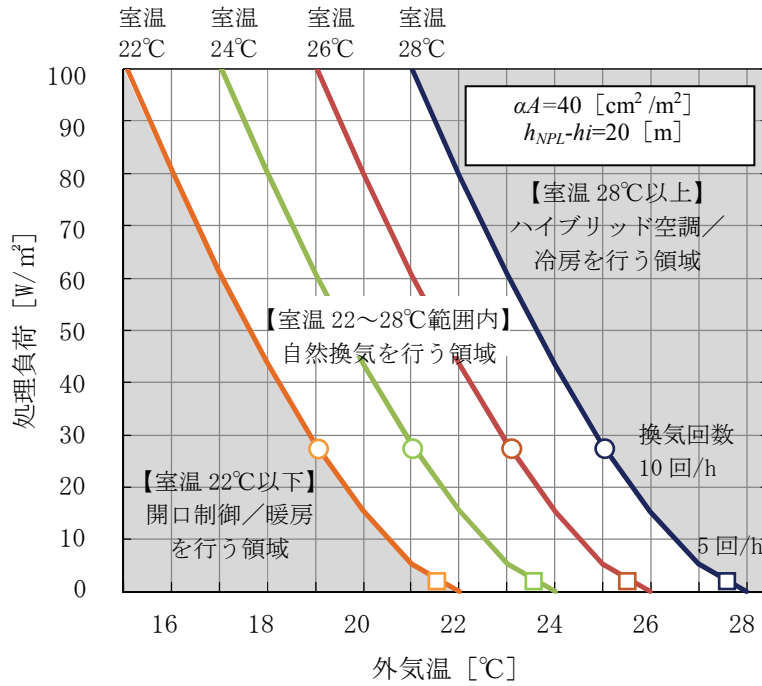


図 4-28 室温・外気温度別の自然換気処理負荷 ($\alpha A = 40 cm^2/m^2$)

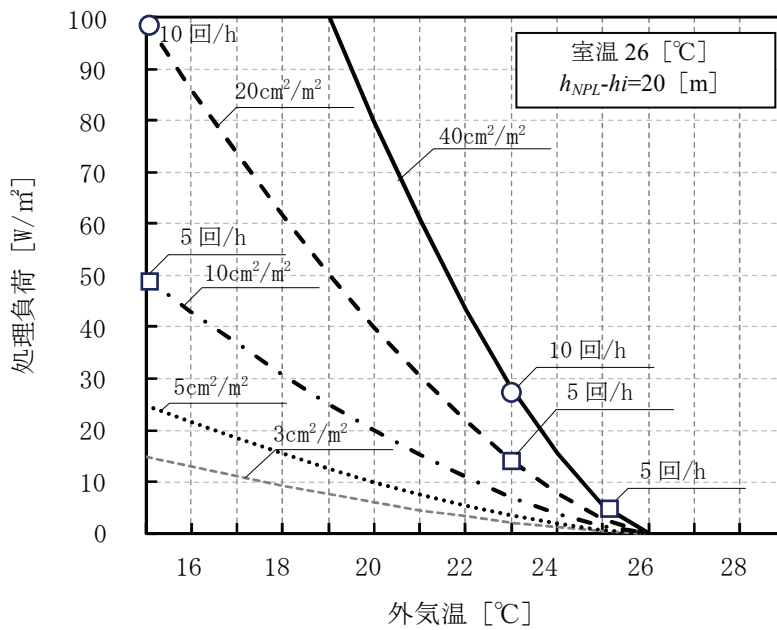


図 4-29 αA ・外気温度別の自然換気処理負荷 (室温 26°C)

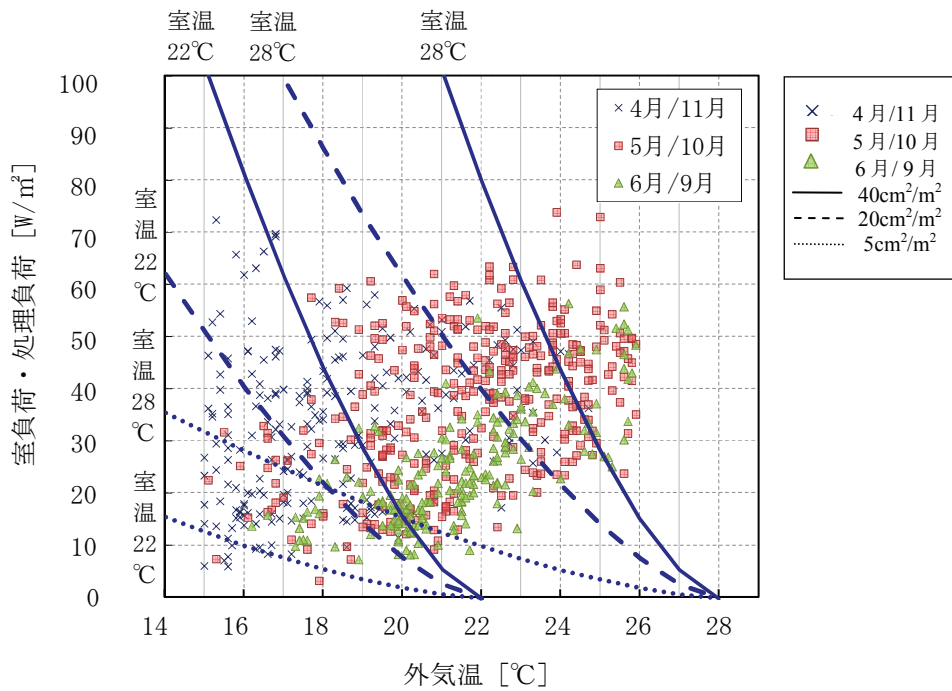


図 4-30 自然換気許可時の負荷分布と冷却効果 (1b 東京)

4.5.6 給気口有効開口面積の決定

1次予測法を用いた給気口有効開口面積別の自然換気時間数を図 4-31 に示す。低負荷に分布が多い札幌は $25\text{cm}^2/\text{m}^2$ でピークとなり、それ以上では徐々に自然換気時間数が減っていく傾向にある。それに対して、高負荷に分布が多い那覇や福岡は給気口有効開口面積を大きくするほど自然換気時間数が増えていく傾向にある。東京はその中間の特性を持ち、 $25\text{cm}^2/\text{m}^2$ 程度までは自然換気時間数が増加するが、それ以降の増減は少ない。給気口有効開口面積が小さい場合に自然換気時間数が少ないのは、図 4-30 から読み取れるように、室温下限値と上限値でカバーできる負荷の範囲が狭くなるためである。逆に給気口有効開口面積が大きくなると自然換気時間数が減る原因は、許容室温の上限が 28°C に対して、自然換気許可条件により外気温 26°C 以上の高負荷の時間帯は除外されているためである。札幌のようにピーク値が発生する場合は最適な給気口有効開口面積が明確となるが、東京などの場合は選択に幅があるため、建築計画上の合理性や自然換気を優先する時期・温度帯も考慮して決定する必要がある。以上を踏まえ、本章では 1 次予測法による給気口有効開口面積を札幌 $25\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、東京 $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、那覇・福岡 $100\text{cm}^2/\text{m}^2$ とした。

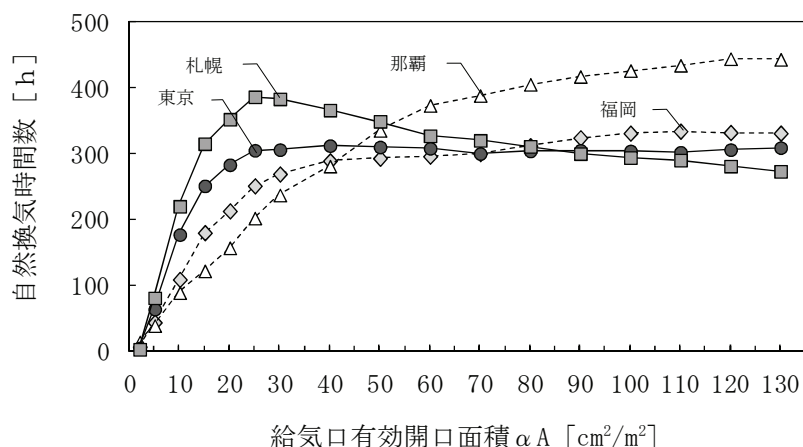


図 4-31 1次予測法による自然換気時間数

4.5.7 BEST 専門版(1406 版)を用いた 1 次予測法の精度検証

1次予測法の精度検証のため、BEST 専門版(1406 版)でのシミュレーション結果との比較を行った。比較は自然換気時間数の変化に特徴があった札幌と東京に対して行った。月別の自然換気時間数の比較を図 4-32,33 に、中間期合計の自然換気時間数の比較を図 4-34,35 に示す。月別の自然換気時間数は 1 次予測法よりシミュレーション結果の方が多いが、両手法とも同様の傾向であることが確認された。東京では給気口有効開口面積が小さい 2~15cm²/m² の範囲ではシミュレーション結果との差異がみられるが、25cm²/m² 以上では、誤差は 11%未満であった。札幌では両手法とも自然換気時間数がピークとなる給気口有効開口面積は 25cm²/m² であり、それ以上での誤差は小さかった。以上の検証により、一部で差異が見られるが、計画初期の予測法としては十分な精度があることが確認できた。

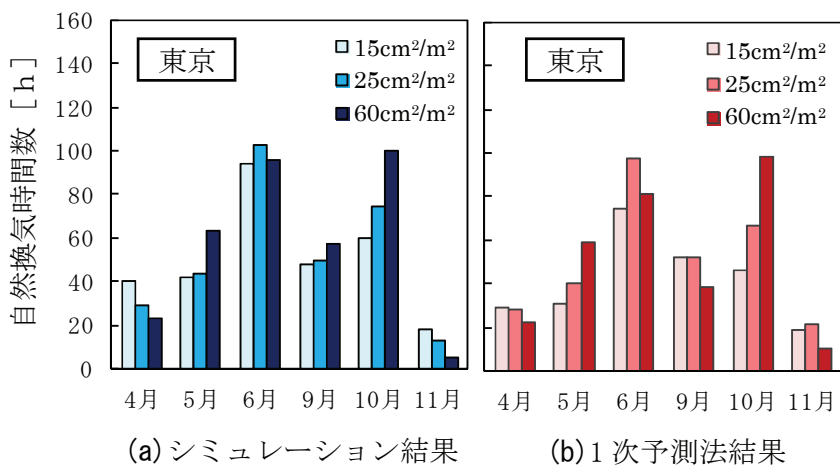


図 4-32 検討手法の月別結果比較(東京)

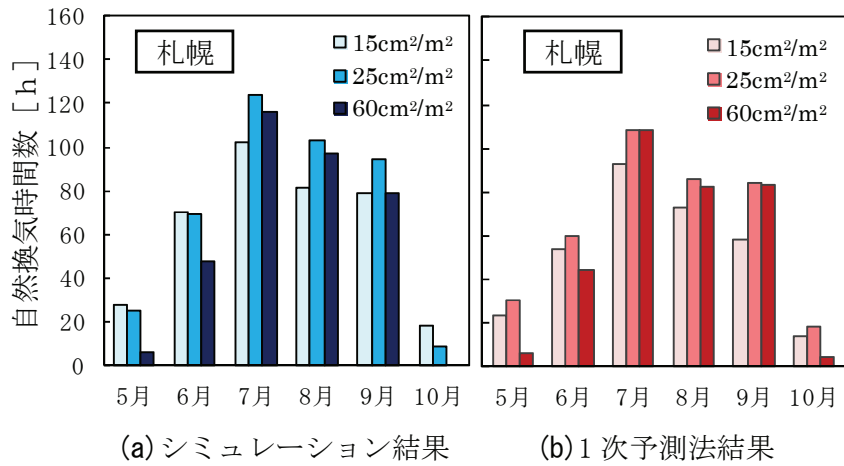


図 4-33 検討手法の月別結果比較（札幌）

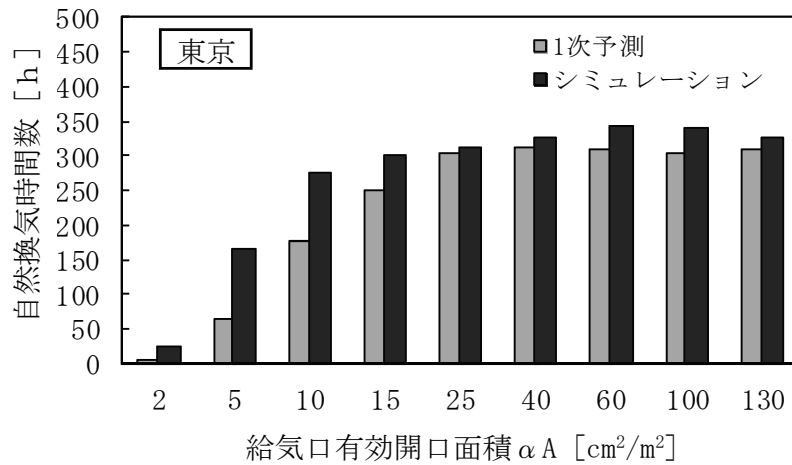


図 4-34 検討手法の結果比較（東京）

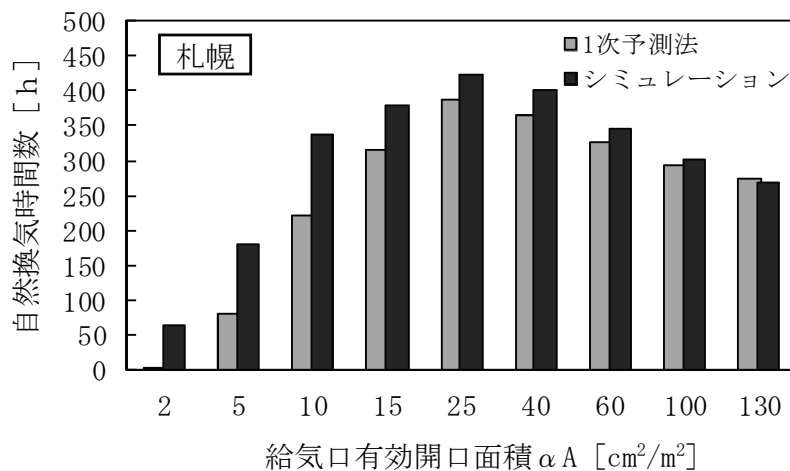


図 4-35 検討手法の結果比較（札幌）

4.5.8 差異の原因に関する考察

差異の原因としては、1次予測法が定常状態を仮定して熱容量を考慮していないのに対し、BEST 専門版（1406 版）によるシミュレーションでは熱容量を考慮した非定常計算を行っているなど、計算方法の違いが考えられる。図 4-36 に 6 月 2 日における室温を示す。グラフでは 1 次予測法と BEST の基準条件の結果に加え、家具の熱容量を 15 J/lit・K から 0.2 J/lit・K まで極端に減らした場合の結果も示している。1 次予測法では、12 時から 14 時までは定常状態の室温が 28°C を超えているため、自然換気不可と判断されている。それに対して BEST の基準条件では室温が 28°C を下回っているため、自然換気可能と判断されている。しかし、家具の熱容量を減らした場合は 12 時から 14 時までの室温は上限室温 28°C になる。これは、前日までの影響から空調開始時（10 時）の段階で室温に差があることも原因の一つであるが、蓄熱容量が減少したことにより室温の変動幅が大きくなったためと考えられる。更に家具の熱容量を最低限の 0.1 J/lit・K で計算した場合、自然換気時間数は 189 時間となり、1 次予測法での自然換気時間数 167 時間に近づく結果となった。熱容量の影響は換気口が小さく自然換気量が少ない場合に影響が大きかった。よって、換気口が小さい範囲の差異の主な原因は熱容量によるものと考えられる。予測精度という観点では、熱容量を考慮した BEST の計算結果の方が精度が高いと言えるが、熱容量の設定により結果が大きく変わるため、適切な設定が重要である。

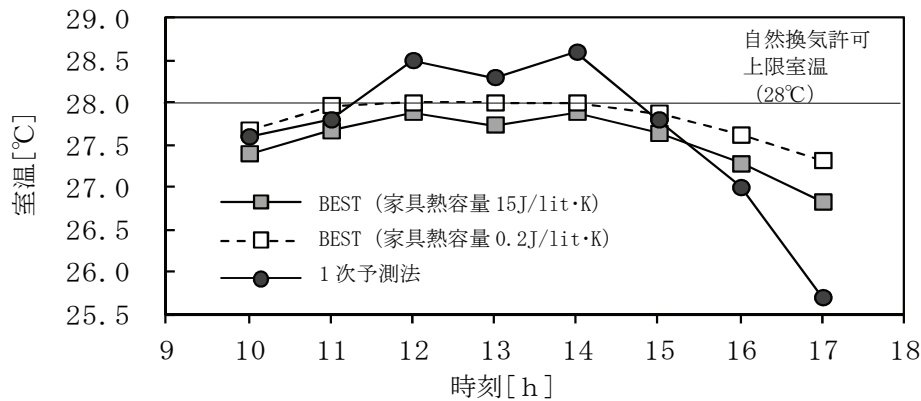


図 4-36 自然換気時間数への熱容量の影響
(6 月 2 日 給気口有効開口面積 $\alpha A = 10\text{cm}^2/\text{m}^2$)

4.6 1次予測法を利用した自然換気経路の設計法

本章で提案した自然換気口及び換気経路の設計法の全体構成を図4-37に示す。この図では必要給気口有効開口面積1次予測法を利用した場合の自然換気経路の設計法を主にしている。1次予測法を利用する場合、まず自然換気対象室に対して必要給気口有効開口面積1次予測法を適用し、換気基本式における給気口有効開口面積と中性帯からの高低差の係数 ($\alpha A \sqrt{(h_{NPL} - h_i)}$) を求める。次に自然換気対象室の配置から外壁の換気口から吹き抜け頂部への排気口に至る気流の流れを設定し、中性帯の位置を決定する。この段階で必要給気口有効開口面積を求めることができる。また、開口部以外の吹抜け等の圧力損失について、それが無視できる範囲であるかを確認し、圧力損失として換気基本式に反映するか必要に応じて吹抜け形状の見直しを行う。換気経路と中性帯位置、各室の給気口有効開口面積が決定した段階で、エアバランス表を作成し、給気量に釣り合う排気口有効開口面積を決定する。最後に外壁の各方位における風圧係数を設定し、各室の給気口有効開口面積を風力換気を考慮して面積配分して配置する。風力換気による効果を確認する場合は、卓越風向と平均風速にて温度差換気と風力換気が同時に作用した場合の換気量を求める。特に注意を要するのは、温度差換気と風力換気が同時に作用する場合に中性帯の位置が大きく変動し、吹抜けからの

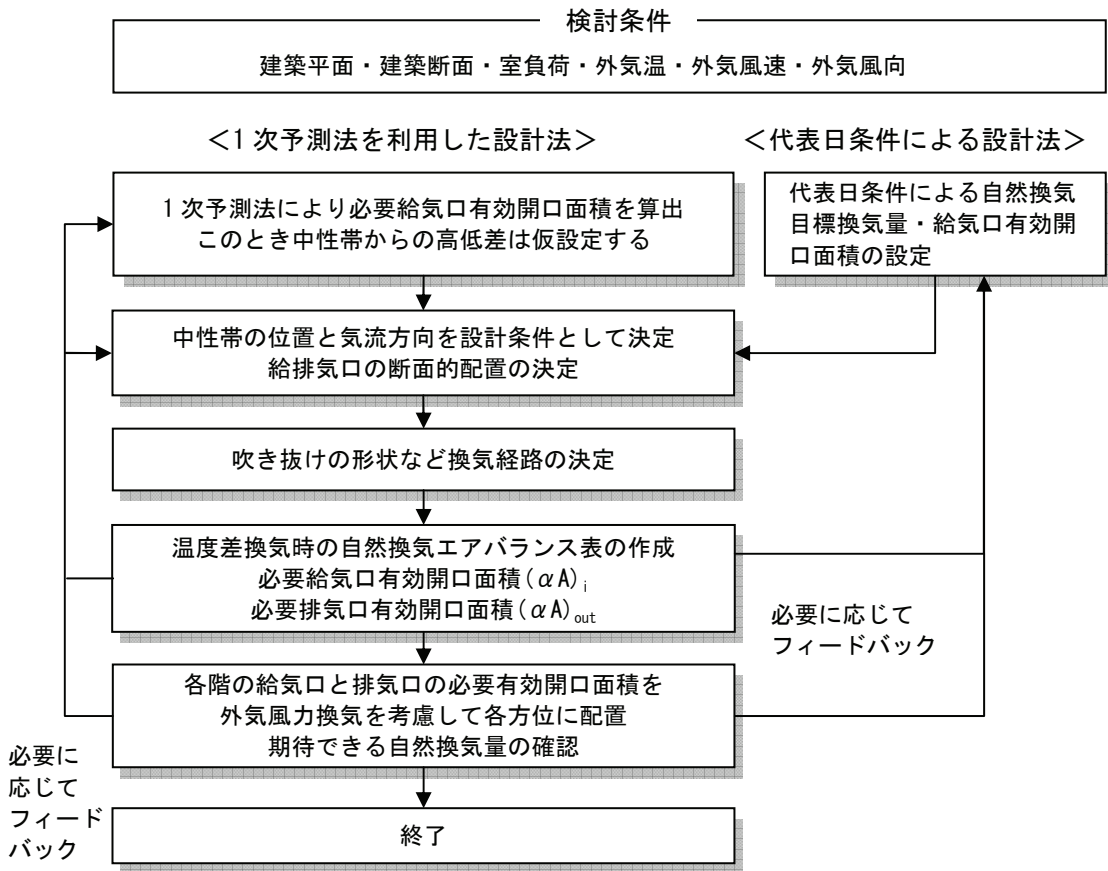


図4-37 計画初期段階における換気口・換気経路の設計法の構成

逆流が発生する可能性である。逆流が予測される場合で逆流防止窓の採用などを計画しない場合は、熱換気回路網計算や室圧仮定法等により多数室換気計算を解いて確認をする必要がある。

4.7 まとめ

本章では運用阻害要因と関連の深い自然換気口の選定時の留意点や有効給気口面積の選定法を提案した。また、計画初期段階の建築的要素の設計法として設計条件、換気口面積、換気経路の設計法を提案した。基本設計法については、一般的なシミュレーションソフトである熱換気回路網計算及び BEST 専門版(1406 版)の結果との比較を行い、単純なオフィスモデルにおいては同様の計算結果が得られることを確認した。検討の過程で得られた知見を以下に述べる。

- 1) 計画初期段階における度差換気を主体とした自然換気経路と自然換気口の設計法を提案した。
- 2) 自然換気口必要面積の選定については2つの方法を提案した。第1の方法として、中間期の代表日条件（負荷・温度差）から必要換気量を求めた上で、建物全体のエアバランスを求め、各給排気口の面積を決定していく方法を提案した。しかし、この方法は簡易的な手法であり、代表日条件で決定した換気口面積が中間期全体に対して最適であるとは限らないため、別途詳細シミュレーション等で確認する必要があるという課題が残る。この課題に対する第2の方法として、中間期の負荷を時刻別に計算し、温度差換気による外気冷却効果と室負荷が釣り合う室温を定常時の熱平衡式を求める事によって、室温が快適域に入る時間数を求める方法を提案した。これを給気口有効開口面積の1次予測法と名付けた。1次予測法では自然換気を行う中間期全体の室負荷に対して、許容室温域に入る時間数を算出して決定する手法であるため、自然換気を行なう期間全体に対する最適化が可能となる。
- 3) 1次予測法と BEST 専門版(1406 版)の計算結果との比較を行った。その結果、換気口の給気口有効開口面積が $25\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下の場合には誤差が認められるが、それ以上では誤差が小さいことを確認した。換気口が小さい範囲での誤差の原因は、建物の熱容量の影響が大きいと予想された。
- 4) 設計法の精度確認のため熱換気回路網との結果の比較を行った。必要有効給気口面積1次予測法と組み合わせた建築的要素の基本設計法は、詳細が決定していない基本計画段階において中間期全体における室負荷と室内環境を考慮しながら自然換気時間数の最大化を目標として換気口面積と換気経路を決定する手法であり、一般的で詳細なシミュレーションとの結果を比較することで誤差の範囲を明らかにした。吹き抜けから各室への逆

流がなく、各室の外壁換気口から排気口への1方向の流れが形成されるような単純なオフィスモデルにおいては、換気量、室温の誤差は10%以下であった。

- 5) 設計用資料の提示を目的として自然換気口のメーカーヒアリング調査を行い、運用阻害要因であるメンテナンス・騒音などの項目に関して各換気口の特性を整理した。
- 6) 文献調査・換気口実例調査により給気口有効開口面積としては2~130cm²/m²が実物件として採用が多い範囲であることを示した。
- 7) 自然換気システムの設計条件となる中間期の室負荷を分析し、気候・外皮性能・内部発熱条件を変化させた場合の負荷性状を確認した。中間期の負荷は変動幅が大きい中央値は冷房ピーク負荷よりはるかに小さく、東京では30W/m²程度であった。
- 8) 給気口有効開口面積の決定には自然換気時間数、室負荷削減効果に加え、自然換気時の外気温度域、室内温熱環境、換気回数などを考慮する必要性を示した。
- 9) 1次予測法の検討チャートより中間期の負荷の全てを許容温度域に納めることは困難であることを示し、開口率制御、ハイブリッド空調により自然換気時間数が大幅に向上する可能性を示した。

参考文献

- 1) 郡 公子, 村上周三, 石野久彌: 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その132) 自然換気制御の計算法, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第5巻 pp9-12, 2014.8
- 2) 郡 公子, 村上周三, 石野久彌: 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その158) 解法に応じた自然換気制御の想定法, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.21-24, 2015.8
- 3) 一般社団法人 日本建築学会編 技報堂出版: 実務者のための自然換気設計ハンドブック, pp.60-61
- 4) 一般社団法人 日本サステナブル建築協会編: 建築環境総合性能評価システム CASBEE-新築(簡易版) 評価マニュアル(2010年版), pp.60
- 5) 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ, 2000.1
- 6) 奥山博康: 熱・換気回路網モデル計算プログラム NETS の検証, IBPSA-Japan 講演論文集, ISSN1347-4391, pp.15-22, 2002
- 7) 奥山博康, 建築物の熱回路網モデルに関する理論的研究, 早稲田大学博士号学位論文, 1987年12月
- 8) 清水建設 HP 2017/2/1 (http://www.shimz.co.jp/news_release/2002/506.html)
- 9) BEST コンソーシアム: 1から学ぶBEST 実践講習会, p. II-2.1-5, 2009

- 10) 田中俊六, 武田仁, 岩田利枝, 土屋喬雄, 寺尾道仁, 秋元孝之: 最新建築環境工学[改訂4版], 井上書院, pp.221,234, 2014.2
- 11) 滝沢博: 標準問題の提案 (オフィス用標準問題), 第15回熱シンポジウムテキスト, pp.35-42, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会, 1985

第5章

自然換気併用空調システムの 省エネルギー効果

第5章 自然換気併用空調システムの省エネルギー効果

5.1 本章の目的

本章では運用阻害要因に配慮した上で自然換気導入コンセプトである省エネを達成するための手法を検討する。運用者・利用者の運用モチベーションを維持するためには運用阻害要因を除くのみでは不十分であり、省エネルギーに対して実効性のある自然換気システムとその制御方法の構築が重要である。

運用実態調査では、VAV センサーの不具合やエアバランスの問題など、自然換気の導入が空調設備システムの不具合に繋がる事例が確認された。これらの問題を解決し、持続的活用性を向上させるためには自然換気の併用が空調システムに与える影響を明確にする必要がある。しかし、建物毎に多様な空調システムが導入されており、自然換気システムと組み合わせると膨大な組み合わせが考えられるため、一般化された議論が難しく、現在のところ十分な知見は得られていない。一方、自然換気の持続的活用性を高めるには、管理者・利用者のモチベーションを向上させる必要があり、設計コンセプトである「空調使用期間の低減」「換気に係るエネルギーの削減」「通風感による快適性の向上」が高いレベルで実現されていることが重要である。しかし、自然換気は建物の気密性を低下させていると捉えることもでき、運用方法によっては空調エネルギーの浪費に繋がる可能性もある。

自然換気と機械空調を完全に切り替えて運用することが可能な場合は、確実な省エネルギーとなるが快適性、自然換気量の確保などが課題となる。一方、自然換気と機械空調を同時に行い、不安定な自然換気駆動力を最低限の空調消費エネルギーで補助するような工夫がある。これはハイブリッド換気と呼ばれ、多くの研究や建物への導入がなされている。しかし、その省エネ効果を空調消費エネルギー削減量として評価した研究は少なく、実効性のあるシステムの設計法に関する知見が不足していると言える。

以上の背景より、本章では、省エネ効果と快適性を実現させるための自然換気併用空調システムの特性を明らかにすることを目的とし、外気冷房などを利用した機械空調システムとハイブリッド換気を初めとした自然換気併用空調システムの定性的な比較検討を行う。さらに建築物総合シミュレーションツール the BEST-program（以下 BEST）を用いて省エネルギー効果を定量的に評価する。

5.2 自然換気併用空調システムの概要

5.2.1 自然換気併用空調システムの分類

本論文で取り扱う自然換気システム及び自然換気併用空調システムの範囲は1章で既に述べているが、ここでは自然換気併用空調システムの具体的なシステムや期待する効果について述べる。まず、本章では自然換気併用空調を以下の2つの制御方式で大きく区別する。

(I) 自然換気と機械空調を完全に切り替える

(II) 自然換気と機械空調を同時に行う

(I) は、自然換気時は機械空調を停止し、ある条件で機械空調に切り替える方法である。

(II) は一般的にはハイブリッド換気と呼ばれるものであるが、本論文では「温熱環境の制御を目的とした自然換気システム」を検討対象としているため、温熱快適性という観点を加えた「自然換気併用ハイブリッド空調システム」として定義する。ハイブリッド換気と同様に、自然換気システムの欠点を補い、省エネ性・快適性という長所を最大限享受するために機械空調によって最低限のエネルギーでアシストするシステムである。

自然換気併用空調システムの分類を図5-1に示す。自然換気併用ハイブリッド空調は2章の事例調査、3章の文献調査より機械力で補う対象によって細分類した。具体的なシステムに関しては5.2.3節で述べる。

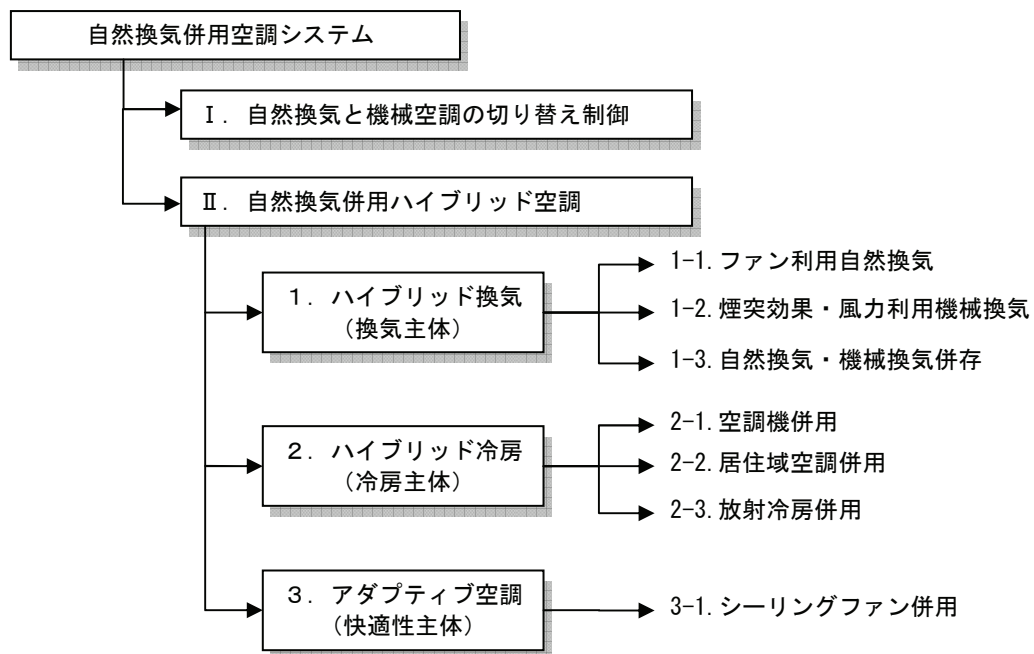


図5-1 自然換気併用空調システムの分類

5.2.2 自然換気と機械空調の切り替え制御

自然換気と機械空調の切り替え制御は庁舎等での導入が多く見られる。自然換気時には機械空調を停止することから大きな省エネルギーとなるが、室内温熱環境の確保に関して課題がある。また、自然換気と機械空調を切り替える条件が適切でない場合は、1日の中で自然換気と機械空調が複数回切り替わったり、逆に機械空調に切り替わった後は自然換気に復帰しないなどの恐れがある。設計時のポイントは自然換気のみで室内温熱環境を制御することを目的とした給気口有効開口面積の決定、換気口開放条件、空調との切り替え条件、外皮性能の向上や熱容量の確保など負荷変動を抑えるための建築的対応である。

5.2.3 自然換気併用ハイブリッド空調システム

自然換気併用ハイブリッド空調システムを図 5-2 に示す。室内と外気のエンタルピーを比較して、外気の冷却効果が認められる場合に換気口を開放する条件としている場合、自然換気では機械空調に切り替わると、空調による室温一定制御となるため、再び自然換気に切り替えることは困難となる。それに対してハイブリッド空調は、一時的な冷房負荷処理や換気量の不足を補い、自然換気に近い室内環境に維持する事で、連続的に双方向の切替を可能にするシステムと言える。このようなシステムにより自然換気的时间数・快適性を最大化することを目的としている。

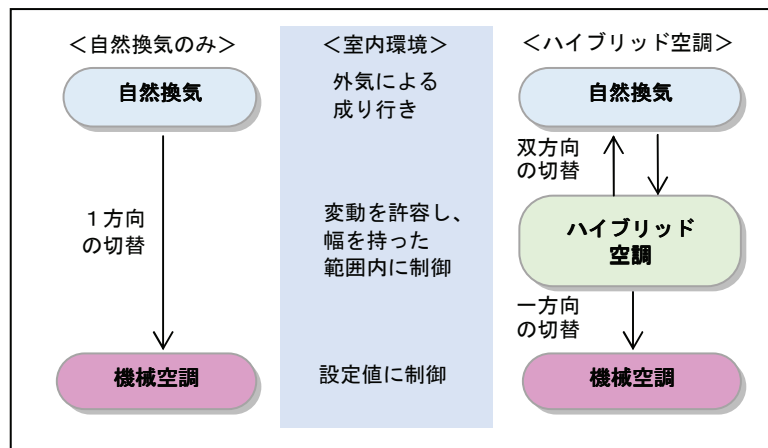


図 5-2 自然換気併用ハイブリッド空調の概念¹⁾

自然換気併用ハイブリッド空調は図 5-1 で示したように、大きくは換気駆動力のアシストを目的としたハイブリッド換気、自然換気による冷却効果のアシストを目的としたハイブリッド冷房、利用者の温熱許容域の緩和を目的としたアダプティブ空調の3つに分類できる。この分類に加え、システム方式により細分類を行ったものを表 5-1, 5-2 に示す。ここでは自然換気併用ハイブリッド空調の概要と特徴、導入に適した条件、代表事例について整理した。また、ハイブリッド換気の細分類については ANNEX35 の成果報告書²⁾を参照した。

表 5-1 ハイブリット換気 システム比較¹⁾

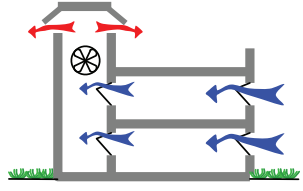
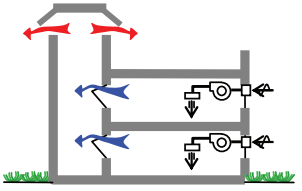
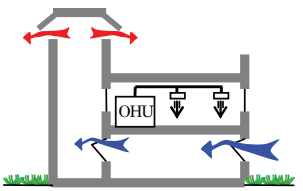
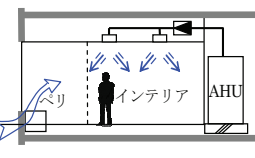
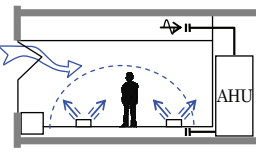
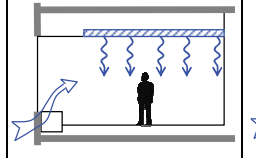
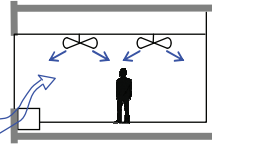
		1-1 ファン利用自然換気	1-2 煙突効果・風力利用機械換気	1-3 自然換気・機械換気併存
概念図				
概要		排気シャフト内に軸流ファンを設置し、換気駆動力をアシストする。	トイレの排気ファンや空調機の全外気モードを主体とし、自然換気の駆動力はアシストとして働く。	自然換気量が不足するゾーンのみ機械換気に切り替える。また季節により自然換気と機械換気を切り替える。
特徴		自然換気時と同じ換気経路で建物全体の換気量をアシストする方法である。軸流ファンの騒音や内部抵抗、動力に関して配慮が必要。	ゾーン毎に設置されたファンによって室毎の換気量のアシストが可能。自然換気時の換気経路とは別経路による機械換気であり、排気シャフトからの逆流や風の流れの変化に配慮が必要。	各室の条件に合わせた選択には、自然換気システムの系統分けの細分化が必要となる。部分的に機械換気を行なった場合、給気口と排気口の面積比が変化して自然換気量に影響する。
適した条件	目的	換気駆動力の変動に対して一定の換気量を確保	機械換気の給排気経路において自然換気駆動力を利用	季節や時間帯によって負荷が大きく変動する用途や気候に対応
	自然換気方式	温度差換気主体	機械換気主体	—
	その他	集約された自然換気用の排気シャフトをもつ場合	活用できる排気ファンや空調機・外調機が設置されている場合	
代表事例		ヒューリック本社ビル	奄美病院 白河 DC	多数存在する

表 5-2 ハイブリッド冷房・アダプティブ空調 システム比較¹⁾

		2-1 空調機併用	2-2 居住域空調併用	2-3 放射冷房併用	3 シーリングファン併用
概念図					
概要		空調機による補助冷房や全外気送風と自然換気を併用。	アンビエント域は自然換気を行ない、機械空調によりタスク域を制御する。	放射により補助冷房を行う。	シーリングファン等により気流感を増加させて快適性を確保する。
特徴		室内の温度ムラや湿度制御への対応が可能。自然換気時の VAV センサーへの影響や吹出口の結露等への配慮が必要。	アンビエント空調用の自然換気口の位置とタスク空調用の空調吹出口の位置関係の検討が必要。	放射環境の制御により、許容室温の緩和にも寄与する。天井放射パネルでは結露への配慮が必要。	気流感と快適性に関して検討が必要。
適した条件	空調負荷	負荷密度及び変動が大	負荷密度及び変動が大	負荷密度及び変動が小	負荷密度及び変動が小
	天井高	事務室程度	高天井 (アトリウムなども含む)	事務室程度	事務室～高天井
	室の奥行	深い	深い (床吹き空調は 20m 程度まで)	浅い	浅い
	湿度制御	ある程度制御が必要	ある程度制御が必要	成り行きが許容される (結露への配慮は必要)	成り行きが許容される
	その他	大部屋	タスク空調が支配的な場合	中～小部屋	室内温湿度の許容範囲が広く、省エネ重視の用途
代表事例		竹中工務店東京本社	日産自動車グローバル本社 NEXUS HAYAMA	電算本社ビル IOC 本庄早稲田	堺ガスビル

5.3 併用の問題点

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機械空調の使用を最小限にすることで快適性と省エネルギー性を両立することが目的であるが、併用時の問題点も明らかになっている。空調設備に関する主な問題点を以下に挙げる。（ ）は深い関連性があり、対策を行うべき項目を示す。

- 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を併用した場合の効果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）

深い関連性のある項目は、「機械空調・自然換気の制御法」、「自然換気時の居住者の温熱許容域」、「換気口開放条件」、「エアバランス計画」、「温度センサーの設置法」、「外気冷房特性の把握」などが挙げられる。居住者の温熱的許容に関しては、様々な既往研究が存在し、継続して温熱的許容域について解明が進められている。換気口開放条件は3章で取り扱った問題であり、3章の知見を利用して最適化を行うことが対策となる。その他の項目に関しては、具体的な対策方針が不明な項目であるため、本章にて取り扱う主要なテーマとしている。

5.4 シミュレーション解析による冷房負荷削減効果

4.5.2 節の評価モデルに対して BEST 専門版(1602 版)の自然換気計算機能を用いてシミュレーション解析を行った。

5.4.1 開口率制御・ハイブリッド制御の併用による冷房負荷削減効果

自然換気と開口率制御・ハイブリッド空調を併用した場合の検討を行った。自然換気による処理負荷を図 5-3 に自然換気時間数を図 5-4 に示す。グラフでは自然換気のみで処理した負荷及び自然換気時間数を積み上げており、凡例の「自然換気」は開口率が 100%でハイブリッド空調を行っていない場合と定義している。図 5-3, 4 よりハイブリッド空調は給気口有効開口面積が 2~25cm²/m²で効果が大きく、開口率制御は 25cm²/m²以上で効果が大きくなるのが分かる。これは処理負荷、自然換気時間数とも同様の傾向であった。開口率制御やハイブリッド空調を併用した場合、中間期の合計室負荷 179MJ/m²年に対し、処理負荷は 2cm²/m²で 14 MJ/m²年、130cm²/m²で 147MJ/m²年であり、給気口有効開口面積により大きく変動することが分かった。また、「自然換気」のみでは 1~54MJ/m²年であった。

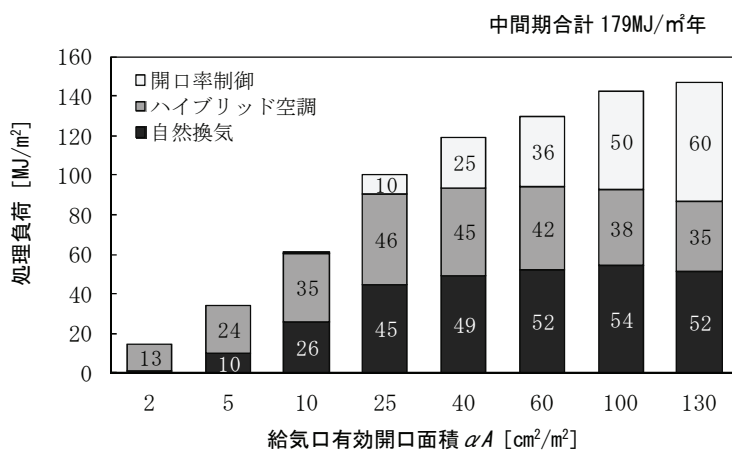


図 5-3 開口率制御・ハイブリッド空調の負荷削減効果

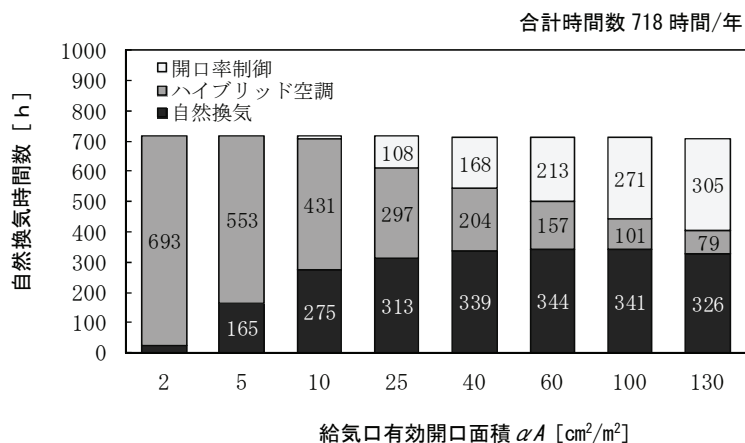


図 5-4 開口率制御・ハイブリッド空調併用時の時間数

5.4.2 室温と換気回数

外気温度と室温の関係を図 5-5 に示す。自然換気時室温は給気口有効開口面積 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ では外気温が $15\sim 23^\circ\text{C}$ で室温が許容室温内に分布しているが、 $130\text{cm}^2/\text{m}^2$ では外気温が $21\sim 26^\circ\text{C}$ の範囲で分布している。つまり、給気口有効開口面積が小さい場合は外気温が低い状態で許容室温域となるため外気温と室温の差が大きくなり、給気口有効開口面積が大きい場合は外気温と室温の差が小さくなる。これにより、換気口が小さい場合は、換気口付近の居住者からのクレームが多いコールドドラフト対策として導入位置や室内空気との混合に配慮し、換気口が大きい場合は外気下限温度を 18°C 以上など高めに設定することが考えられる。次に、給気口有効開口面積と平均換気回数の関係を図 5-6 に示す。平均換気回数は給気口有効開口面積 $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以上では 10 回/h 換気を超えるため、室内に対する過剰な気流に配慮が必要となることが分かる。以上より、室温制御を目標とした場合、本モデルの条件において自然換気のみでは $25\sim 40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、ハイブリッド空調併用では $2\sim 40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、開口率制御が可能な場合は $25\sim 130\text{cm}^2/\text{m}^2$ が適切な選定範囲であると判断できる。

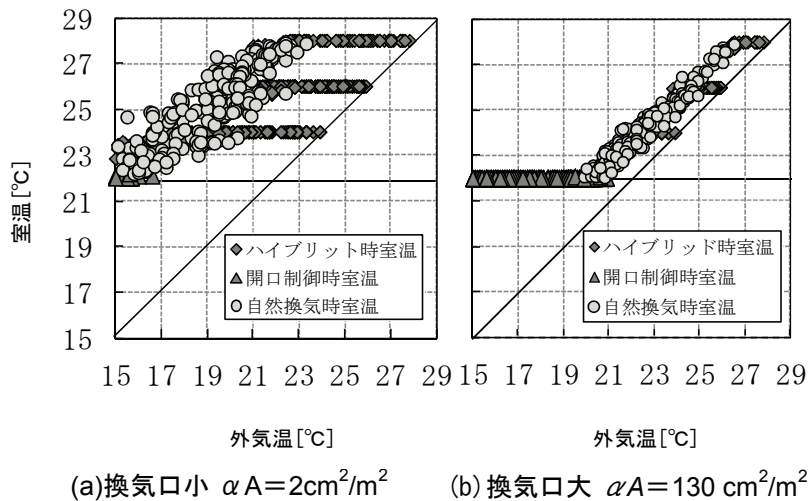


図 5-5 外気温度と室温分布の関係

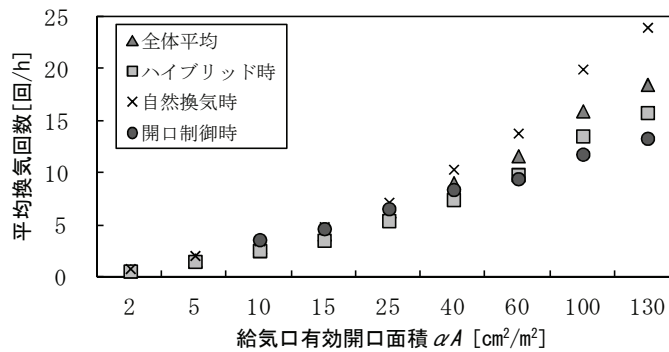


図 5-6 給気口有効開口面積と平均換気回数

5. 4. 3 地域別の室負荷削減効果

20都市の標準年EA気象データ（2000年版）を用いて自然換気による室負荷削減効果を評価した。設定条件を表5-3、各都市の平均外気温を図5-7、期間室負荷を図5-8、自然換気時間数を図5-9、自然換気による処理負荷を図5-10に示す。給気口有効開口面積は中間期平均気温が15℃以下の都市では25cm²/m²とし、20℃以上で100cm²/m²、それ以外を40cm²/m²とした。開口率制御やハイブリッド空調を含む自然換気時間数の合計は602~778時間であり、高知・福岡などが多かった。開口率制御やハイブリッド空調を行わない場合の自然換気時間数は204~428時間であり、那覇・札幌の時間数が多かった。処理負荷に関しては自然換気のみで35~85MJ/m²年であり、開口率制御やハイブリッド空調を併用した場合は93~155MJ/m²年であった。

表 5-3 設定条件

給気口有効開口面積	25cm ² /m ² ：札幌、青森、仙台、長野 100cm ² /m ² ：鹿児島、那覇 40cm ² /m ² ：上記以外の都市
中間期	5~7,8~10月：札幌、青森 4,5,10~12月：那覇 4~6,9~11月：上記以外の都市
その他	内部発熱、躯体仕様等条件は表-5~7における1b札幌/東京/那覇の条件とした 評価対象は平日9:00~18:00

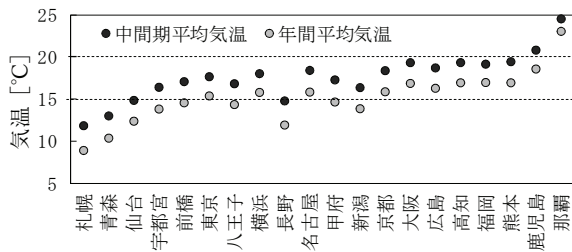


図 5-7 都市別の平均外気温

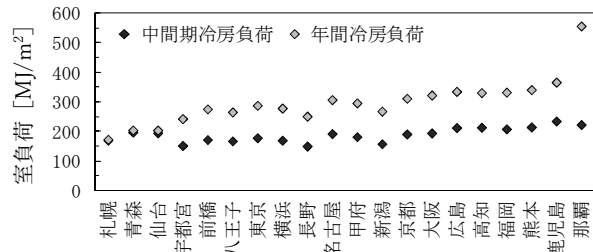


図 5-8 都市別の期間室負荷

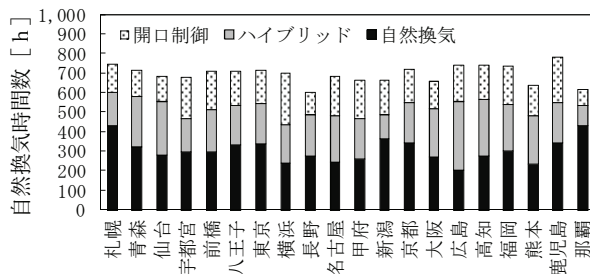


図 5-9 地域による自然換気時間数の違い

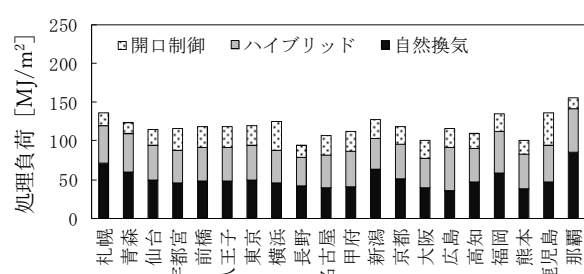


図 5-10 地域による室負荷削減効果の違い

5.5 シミュレーション解析による省エネルギー効果

5.5.1 モデル概要

空調システム概念図を図5-11に示す。熱源は空冷ヒートポンプチラーとし、2次ポンプは1台でインバータ制御とした。2次側はインテリア、ペリメータそれぞれに専用の空調機を設定し、インテリアに外気を導入している。

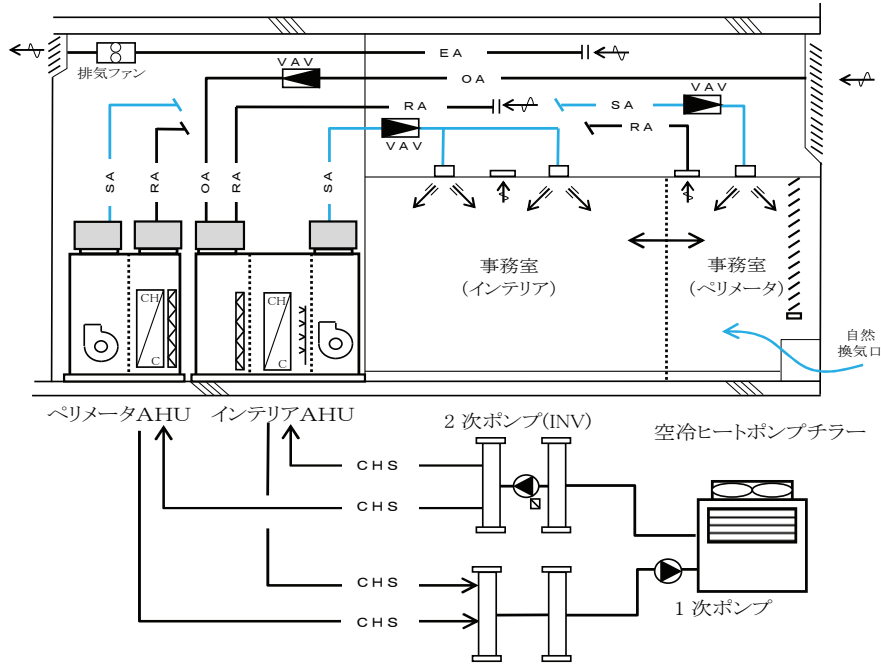


図 5-11 空調システム概念図

表 5-4 主要機器表

機器	仕様
熱源	空気熱源ヒートポンプ/スクロール/インバータ 冷却能力 55kW 加熱能力 55kW (冷水 7℃、温水 40℃) 消費電力 13.5kW 1次ポンプ/60L/min
2次ポンプ	流量 80L/min、渦巻きポンプ、揚程 200kPa 推定末端圧インバータ制御、高効率インバータ制御 (10~50Hz) 冷水温度 7℃、温水温度 45℃、往還温度差 10℃、配管圧力損失 0.4kPa/m
インテリア AHU	2管式/VAV方式、冷却能力 17kW、冷房吹出温度 16℃、暖房吹出温度 28℃、コイル列数 8列、冷温水流量 23L/min、外気量 680m ³ /h、給気風量 4,200m ³ /h (最小 630m ³ /h)、機外静圧 400Pa 還気風量 3,600m ³ /h、機外静圧 300Pa プラグファン (標準)、ダクト圧力損失 1Pa/m、
ペリメータ AHU	4管式/VAV方式、冷却能力 59kW、冷房吹出温度 16℃、暖房吹出温度 28℃、コイル列数 8列、冷温水流量 32L/min、外気なし、給気風量 6,400m ³ /h (最小 1,000m ³ /h)、機外静圧 400Pa 還気風量 6,000m ³ /h、機外静圧 300Pa プラグファン (標準)、ダクト圧力損失 1Pa/m
VAV	インテリア系統×1台 (630~4,200m ³ /h) ペリメータ系統×1台 (1,000~6,400m ³ /h)
排気ファン	風量 630m ³ /h、機外静圧 250Pa、シロッコ片吸込み、電動機標準

最低外気量は建築基準法上の最低風量として $630\text{m}^3/\text{h}$ とし、AHU の風量は温度差 10°C とピーク冷房負荷より算出して設定している。インテリア給気風量は外気量 $630\text{m}^3/\text{h}$ を下限値とした。また、ペリメータ給気風量の下限值は VAV 制御下限を 15% と仮定し、 $1,000\text{m}^3/\text{h}$ とした。その他の設定条件を表 5-4 に示す。

5. 5. 2 中間期の室負荷と空調消費エネルギー分析

(1) 月別の負荷と空調消費エネルギーの傾向

モデルの熱負荷特性及び空調システムのエネルギー消費特性を解析した。図 5-12 に月別の室負荷の原単位を示す。オフィス用途であり内部発熱が多いため、年間を通して冷房負荷が発生していることが確認できる。評価対象とする空調システムにおいて、CAV 制御とした場合の月別の空調消費エネルギー原単位を図 5-13 に示す。

熱源の消費エネルギーは季節により大きく変動するが、搬送動力はほぼ一定の消費エネルギー量であった。4,5,10 月などの中間期でも熱源の消費エネルギーが比較的多いことが確認された。年間の冷房室負荷と CAV 制御時の空調消費エネルギー割合を図 5-14 に示す。年間の冷房負荷に対する中間期の割合は 31% であり、年間空調消費エネルギーに対する中間期の割合は CAV 制御で 34% であった。

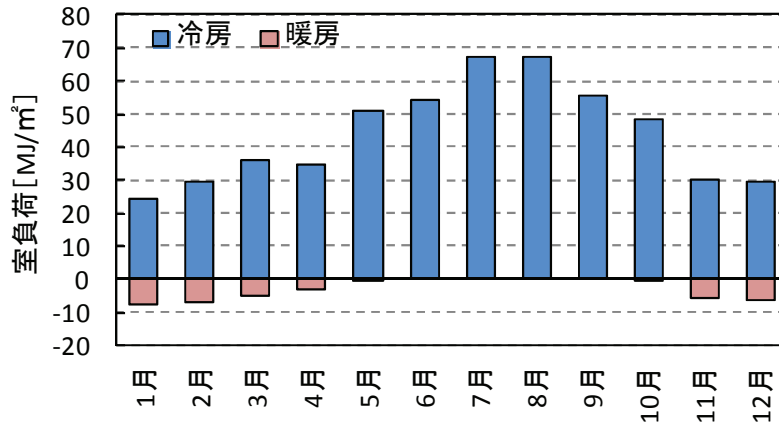


図 5-12 月別室負荷原単位

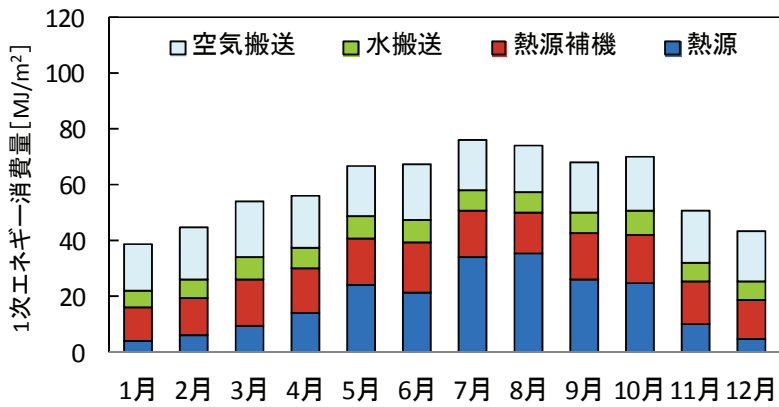


図 5-13 月別空調消費エネルギー(CAV+外冷なし)

□ 冬季(1~3月,12月) ■ 中間期(4,5,10,11月) ■ 夏季(6~9月)

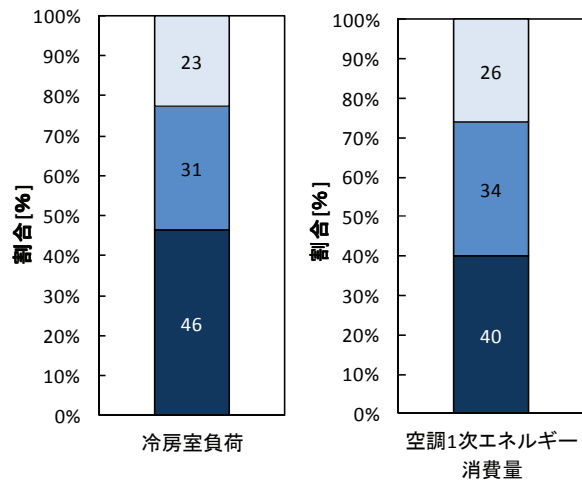


図 5-14 年間冷房室負荷と空調消費エネルギー

5. 5. 3 自然換気併用ハイブリッド空調の省エネルギー効果

(1) 空調 1 次エネルギー消費量削減効果

シミュレーションにより、自然換気を併用したハイブリッド空調による空調 1 次エネルギー削減量を算出した。図 5-15 に自然換気併用時の 4 月～11 月において冷房で消費した 1 次エネルギー量を示す。表 5-5 に各検討ケースの概要を示す。空調設備のみで冷房を行った場合を基準とし、自然換気を併用した場合は 10.7～14.2%の省エネルギー効果であった。基準モデルにおける給気口有効開口面積 $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ に対して給気口有効開口面積を変化させた場合は、面積が大きくなるに従い省エネルギー効果が向上する結果となった。外気下限温度の変更は、自然換気時間数と負荷削減効果の両方に影響を与えるため、1 次エネルギー削減量に対する影響も大きい。ただし、外気下限 15°C から 13°C に変更することによる削減率の変化は 0.8%であり、コールドドラフトのリスクを考慮するとメリットは小さいと言える。 18°C に変更することによる削減率の変化は 2.1%であり、安全側の設定値の変更による省エネルギー効果への影響としては大きいと言える。このような自然換気による空調 1 次エネルギー削減効果は負荷の削減に比例して消費エネルギーが低下しないという空調設備システムの部分負荷特性が大きく関係している可能性が考えられる。

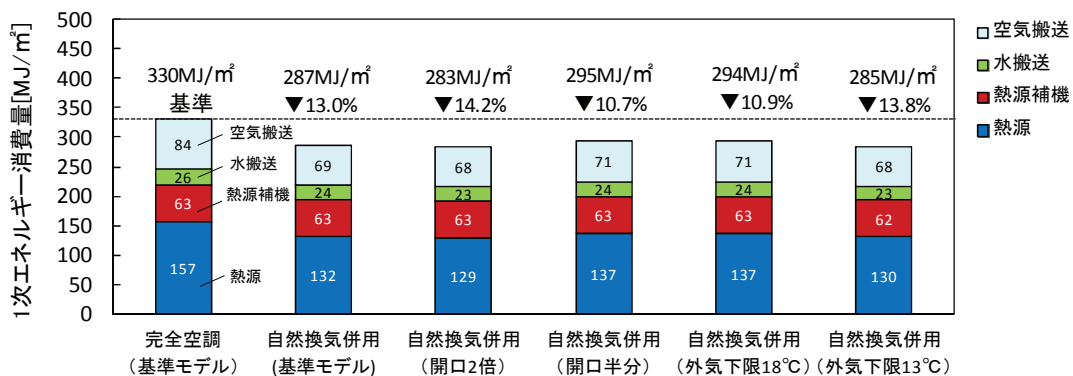


図 5-15 自然換気による空調 1 次エネルギー消費量削減効果

表 5-5 検討ケース概要

ケース名	概要
完全空調 (基準モデル)	空調設備のみで冷房を行った場合
自然換気併用 (基準モデル)	自然換気併用、給気口有効開口面積： $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 15°C
自然換気併用 (開口 2 倍)	自然換気併用、給気口有効開口面積： $80\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 15°C
自然換気併用 (開口半分)	自然換気併用、給気口有効開口面積： $20\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 15°C
自然換気併用 (外気下限 18°C)	自然換気併用、給気口有効開口面積： $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 18°C
自然換気併用 (外気下限 13°C)	自然換気併用、給気口有効開口面積： $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 13°C

自然換気併用（基準モデル）における設備系統別の削減効果を図 5-16 に、月別の削減効果を図 5-17 に示す。自然換気併用ハイブリッド空調は熱源と空気搬送に対する削減効果が大きい。月別の効果については、冷房負荷の傾向と同様に外気温との関連が見られ、平均外気温の低い4月,5月,10月の削減効果が大きいことが確認された。

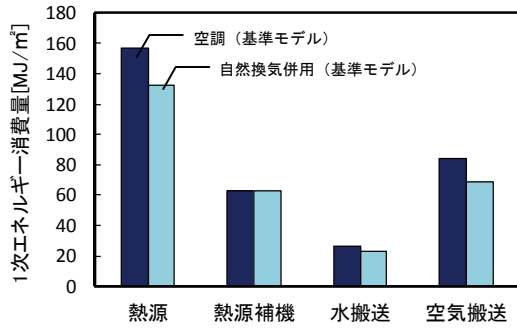


図 5-16 設備系統別の削減効果

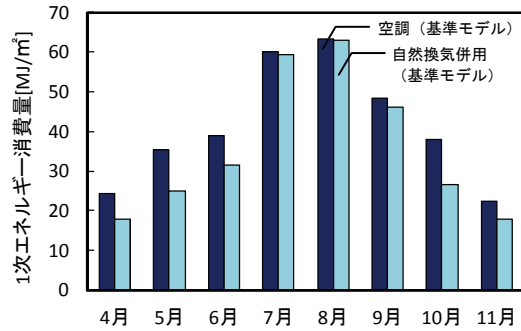
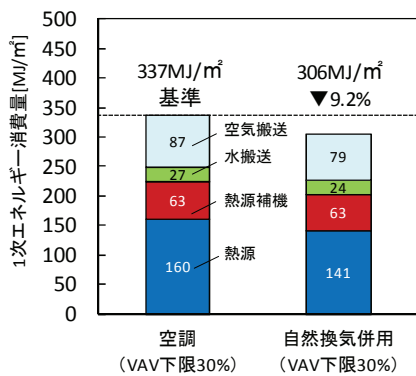


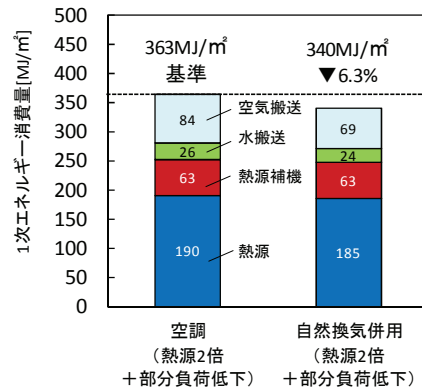
図 5-17 月別の削減効果

(2) 空調システムの部分負荷特性が自然換気による省エネルギー効果に与える影響

基準モデルに対して、空調システムの部分負荷特性を変化させた場合の影響を確認した。図 5-18 に(a)VAV 風量下限値を 15%から 30%に変更させた場合と(b)熱源容量をピーク負荷の2倍かつ 25%以下の低負荷時の入力値を一定にした場合の結果を示す。基準モデルでの自然換気の消費エネルギー削減率 13%を基準とすると、VAV 風量下限値の変更により 9.2%、熱源の部分負荷効率低下により 6.3%と自然換気による消費エネルギー削減率の低下が見られた。この結果は、自然換気による冷房負荷削減により低負荷域が多くなるため、空調システムの部分負荷効率によって省エネルギー効果が変わることを示している。よって、自然換気併用ハイブリッド空調による省エネルギー効果を向上させるためには、放射空調などの補助冷房装置の設置や空調機を同一系統に複数台設置して台数制御するなど、部分負荷効率の高い空調システムの構築が必要であることが明らかとなった。また、部分負荷を減らすという観点から外皮性能の向上によってピーク負荷を抑えることも効果があると考えられる。



(a) VAV 下限値高め (30%設定)



(b) 熱源部分負荷効率が低い場合

図 5-18 空調システム特性と自然換気による省エネルギー効果との関係

5.6 空調機による外気冷房制御との併用

5.6.1 外気冷房制御の特徴

空調機制御における外気冷房とは、空調機のコイル負荷を最小化するように外気を最適に導入する制御である。自然換気と外気冷房は中間期の空調消費エネルギーを削減するための手法として、多くの採用事例があり、両手法とも外気による冷却効果を利用したものである。これらは一般的な知られた省エネルギー手法であるが、自然換気と外気冷房の特性の違いについては明確にされていない。図 5-19 に空気線図上での外気冷房制御の概念図を示す。空調機の給気温度は室内温湿度設定値（26℃, 50%RH）を実現するために図中④の 16℃, 90%RH 程度に設定されていることが多い。図中①のように外気冷房有効時に外気温が 16～26℃の範囲内にある場合は、コイル通過風量における外気の割合を増やすことでコイル負荷を削減する事が可能である。つまり、図中③を最低外気量と還気との混合点とすると、外気冷房で外気量を増やした場合は③'のように混合点が移動し、給気吹出状態とのエンタルピー差は小さくなる。しかし、空調機の給気温度制御により図中④の給気吹出の状態までコイルで処理を行うため、全外気運転でも最低限のコイル負荷は発生することになる。ただし、外気が 16℃以下の場合は、外気量を調整すること図中④の状態に近づけることが可能である。

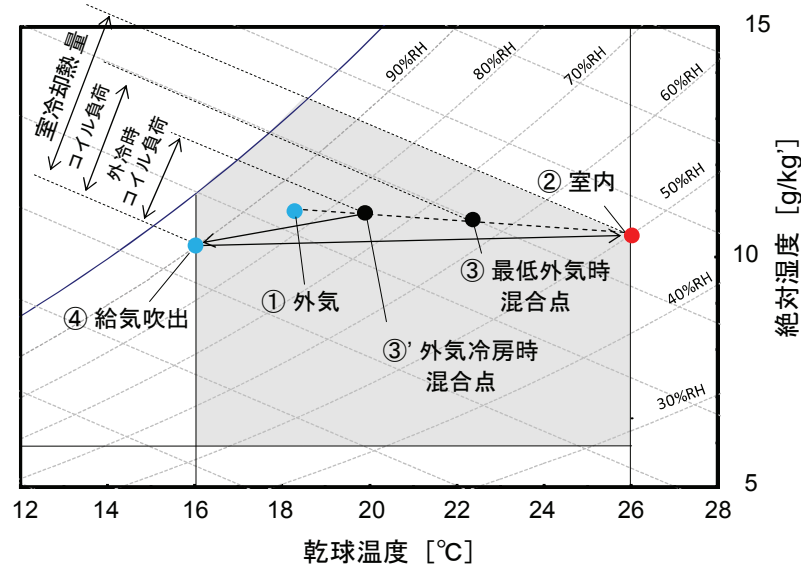


図 5-19 空気線図による外気冷房制御概念図

外気冷房制御においては、このような外気冷房時のコイル処理熱量と給気温度の関係以外にも VAV 制御との関係に注意が必要である。室内のピーク冷房負荷を $100\text{W}/\text{m}^2$ とし、ピーク冷房負荷かつ 16°C 吹き出し ($\Delta t=10^\circ\text{C}$) で給気風量を決定した場合の外気冷房風量との関係を図 5-20 に示す。この図では設計外気量は $6\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ($0.2\text{人}/\text{m}^2\times 30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$) とし、外気冷房風量を仮に $10\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ としている。室負荷に応じた VAV 制御により給気風量が絞られると、室負荷が $33\text{W}/\text{m}^2$ を下回った段階で SA 風量は $10\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 以下になり、外気冷房風量は必然的に制限されてしまう。このような VAV 制御によって中間期や冬季などの低負荷時には、外気冷房風量を多く確保した場合でも制限されてしまうことが分かる。また、通常 VAV の最低風量は設計外気量を下限とすることが多く、この場合 $6\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ を下回らないように設定されている。よって $20\text{W}/\text{m}^2$ を下回る領域では給気温度 16°C で送風すると過冷却になるため、ロードリセット制御により給気温度を上げて送風することになる。この状態では搬送動力としては効率が悪く、除湿も十分ではない。以上より、空調機で VAV 制御を行う場合は、給気温度を 16°C として室内温湿度を設定値に制御し、VAV 制御により搬送動力を最小化することを優先させるため、外気冷房での外気導入量はある程度制限されてしまうと予想される。これに対して自然換気では、設定室温に近い外気温 $18\sim 26^\circ\text{C}$ で自然換気駆動力による大量の換気を行うことにより、ファン動力やコイル処理熱量を増やすことなくある程度の室温に制御することが可能である。

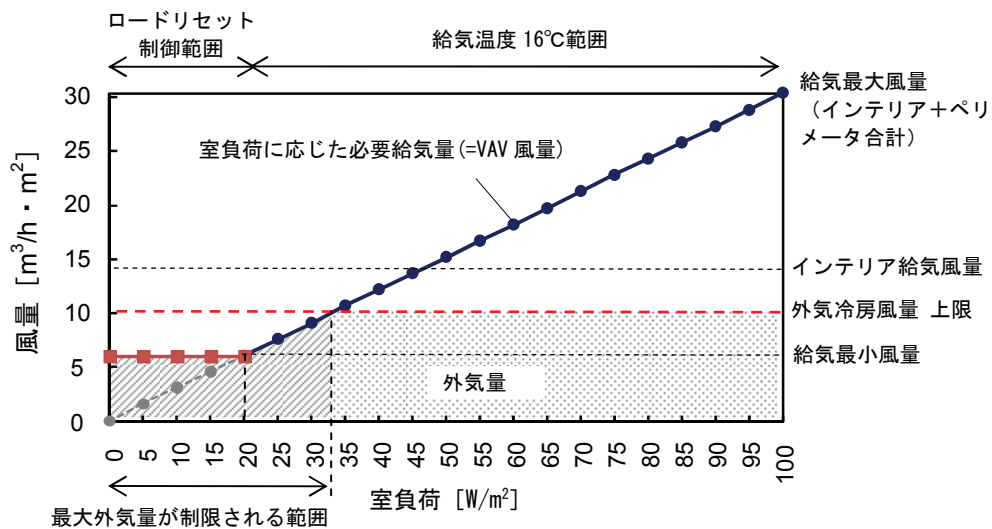


図 5-20 VAV 制御と外気冷房風量の関係

5. 6. 2 中間期の負荷発生頻度分布

本モデルにおいて VAV 制御により給気風量が削減される時間数を確認するため、外気冷房有効時の室負荷を抽出して、図 5-21 の負荷発生頻度分布を作成した。図より、室負荷 $40\text{W}/\text{m}^2$ 以下の低負荷域が全時間数の 60% を占めることが分かる。室負荷 $40\text{W}/\text{m}^2$ は 10°C 差送風時では $12\text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ となり、外気冷房時間数の 60% はそれ以下の風量に絞られて運転されると予想される。特に冬季の冷房室負荷はほぼ $30\text{W}/\text{m}^2$ 以下に集まっており、最低外気量で送風する時間数もあるため、外気冷房の最大風量は $10\text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ で十分であることが分かる。

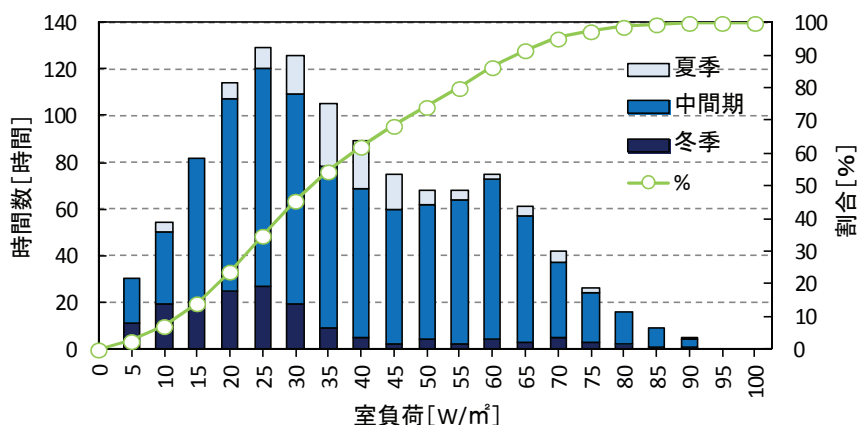


図 5-21 外気冷房有効時の室負荷発生頻度

5. 6. 3 BEMS データ解析による外気冷房制御の実態把握

ここまで述べた外気冷房の特性について、実際の事例における BEMS データの解析結果を示す。某研修所の大研修室に導入された空調システムを図 5-22, 23 に、中間期における外気冷房の運用データを図 5-24~29 示す。外気冷房制御が稼動している時間帯では、給気ファンのインバータ周波数は定格値 70Hz に対して 20Hz であり、最小風量に近い運転であることが分かる。また、5月11日などの給気温度より外気温度が低い場合は外気冷房によりコイル処理熱量は発生していないが、5月20~21日などの給気温度より外気温度が高い場合は、外気が 20°C 程度であってもコイル処理により 18°C まで給気温度を下げていることが確認できる。以上の結果より、中間期での外気冷房は給気風量が絞られることにより限定的となり、給気温度設定値に制御するために少なからずコイル処理熱量が必要となることが分かる。コイル処理熱量を最小化するために、外気冷房時には外気冷房風量の最大値まではコイル 2 方弁操作を禁止する、または給気温度のゼロエネルギーバンド制御を行うことも考えられるが、給気温度が成り行きとなるため VAV の PID 制御に与える影響について十分な考慮が必要となる。

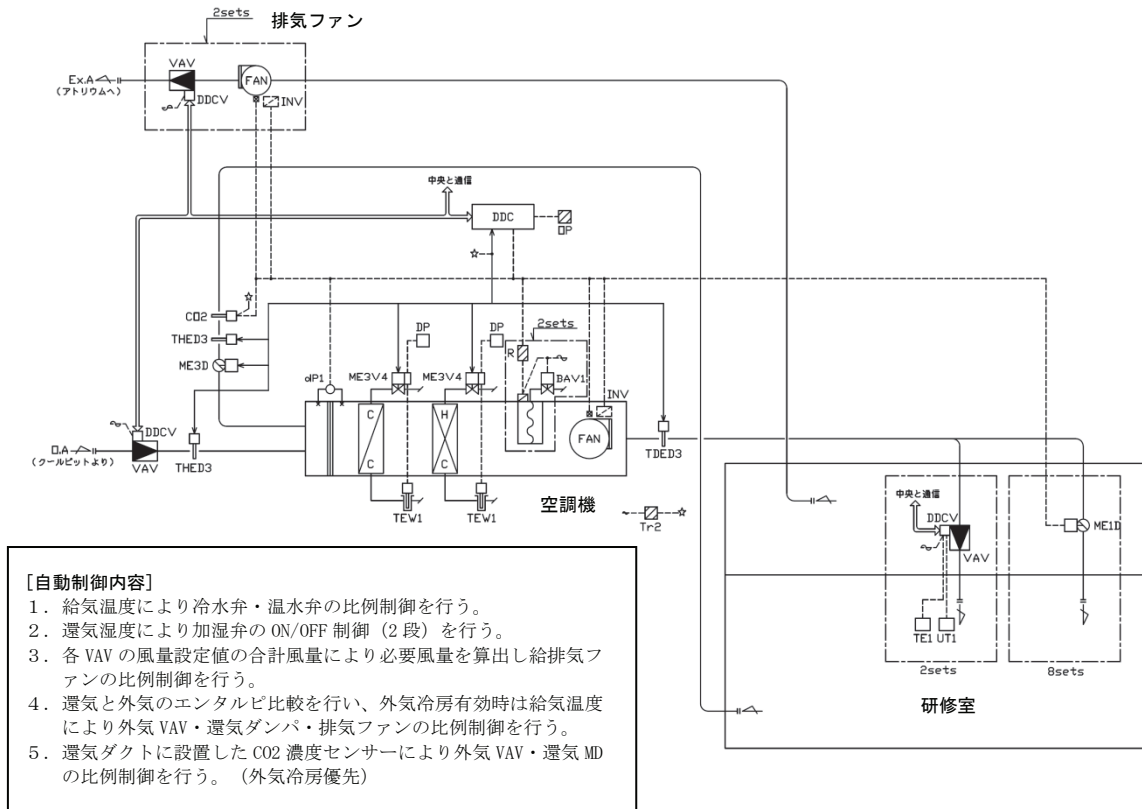


図 5-22 解析対象とした空調システム図

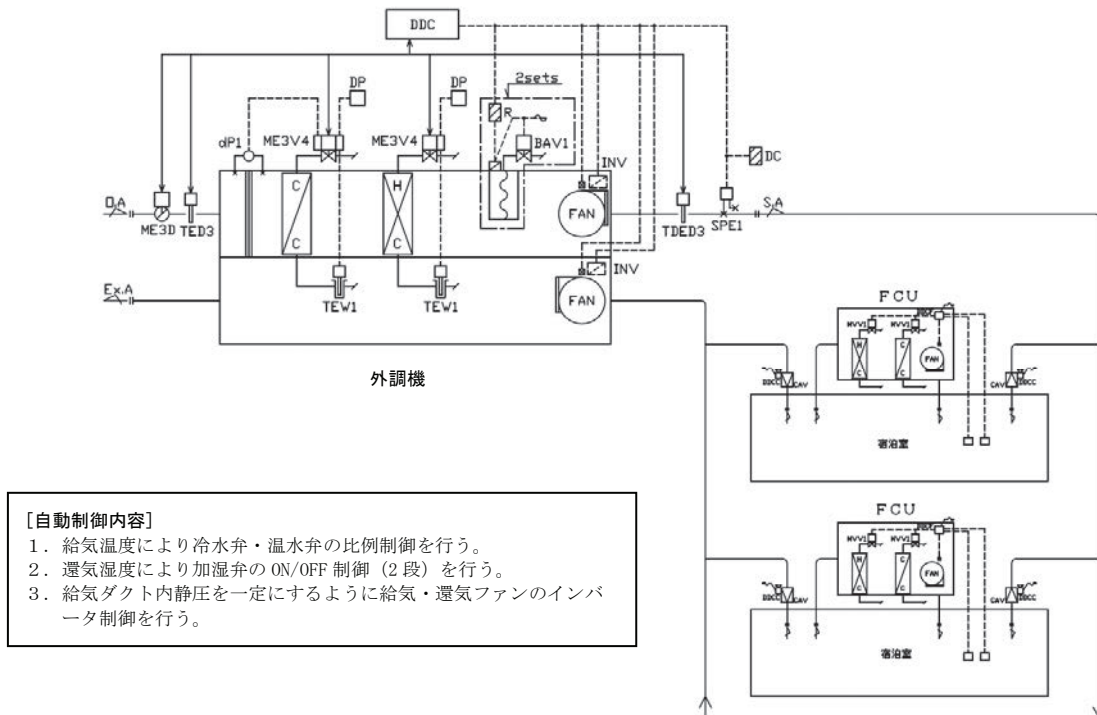


図 5-23 解析対象とした外調機システム図

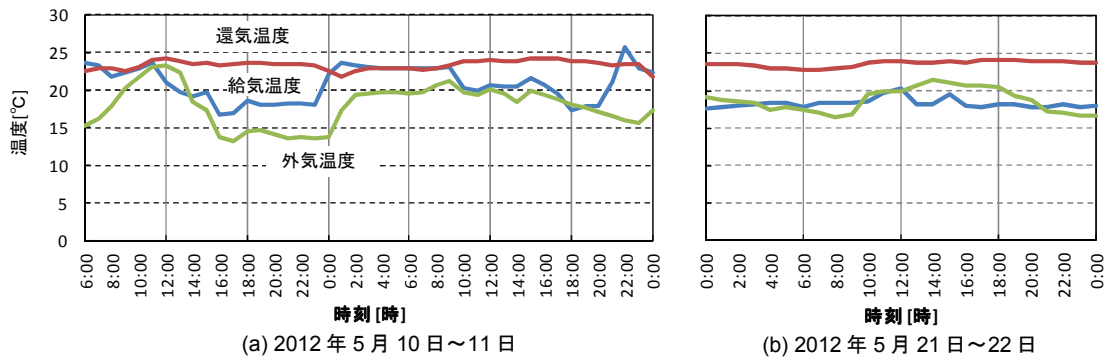


図 5-24 外気冷房時の室温・外気温・給気温度

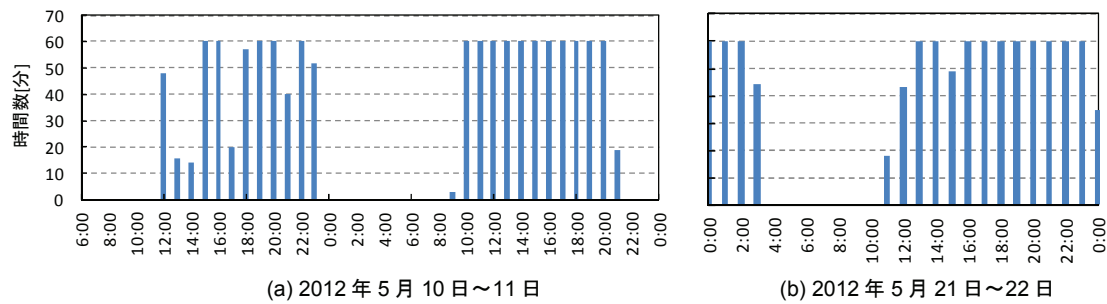


図 5-25 外気冷房制御の稼働時間数

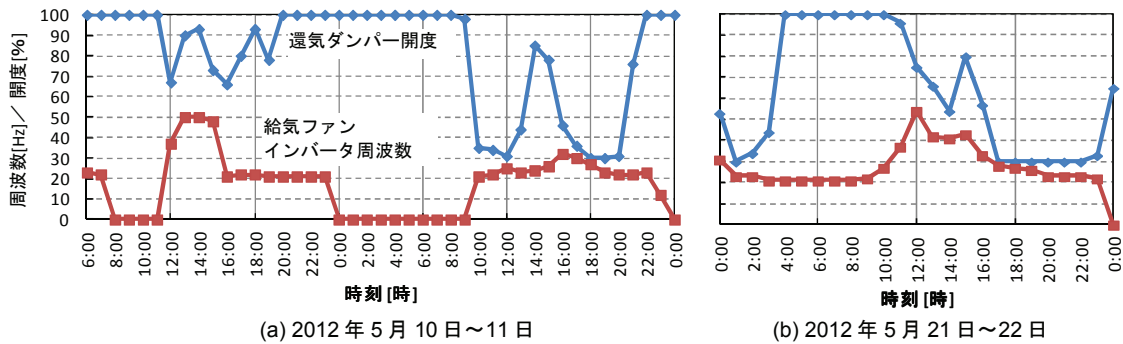


図 5-26 給気ファンのインバータ周波数と還気ダンパー開度

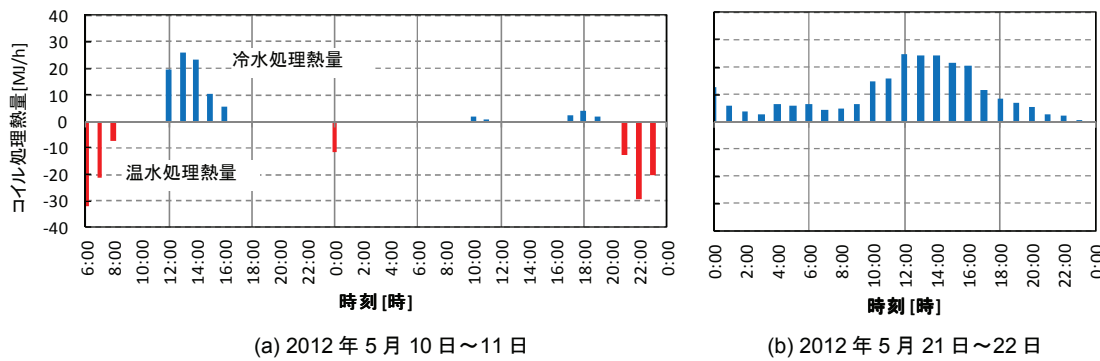
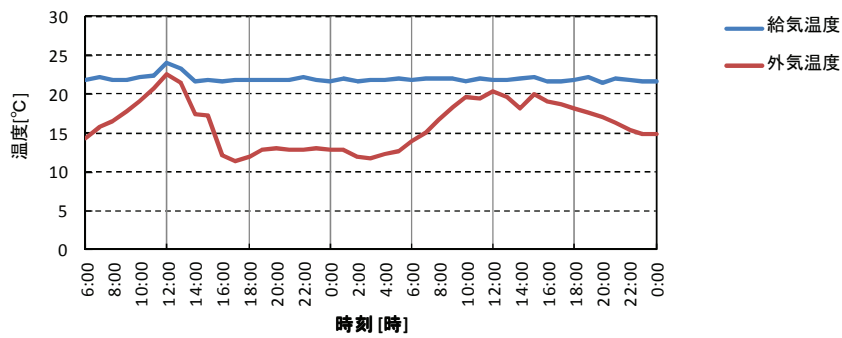
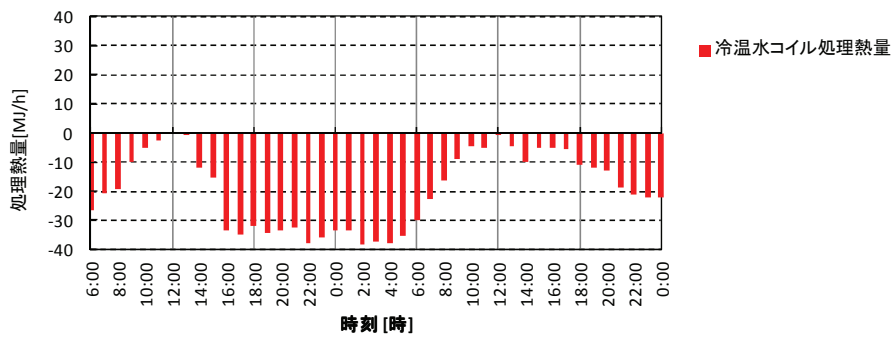


図 5-27 コイル処理熱量

図 5-28, 29 に中間期における外調機の運転データを示す。中間期において 12~20℃程度の外気温度の幅であっても給気温度が 22℃設定にされているため温水コイルにて加熱をしていることが確認できる。本システムは複数の宿泊室に対して集約された外調機より外気を供給しているため室内が冷房負荷か暖房負荷によらず給気温度を一定に設定している。しかし、室内が冷房であった場合は外気を加熱した後に室内で冷房を行うことになり、混合ロスが発生する。このように、中間期においては冷暖房が混在することにより空調機や外調機の省エネルギー運用が難しいという面があり、中間期の外気負荷自体は小さいと認識されているがシステムの効率が悪くなる場合がある。これは複雑な自動制御を組むことによって回避することも可能であるが、自然換気や単純な外気送風を活用することで空調機や熱源を停止するというシンプルな解決策も考えられる。



2012年5月10日~11日
 図 5-28 外気温度と外調機の給気温度



2012年5月10日~11日
 図 5-29 外調機の冷温水コイル処理熱量

5. 6. 4 省エネ効果を最大化するための運転制御フロー

以上の検討結果を踏まえ、外気冷房と自然換気を併用する場合の空調モードと切換え条件について考察した。図 5-30 に運転モード例を示す。この図は自然換気を優先的に活用することを前提とした。まず、省エネルギーを最大化するために空調を停止して自然換気を行い、室温に近い外気を大量に導入することで室温を制御する。次に室内の温度分布の悪化や室温上昇を切換え条件として空調機による最小送風運転を併用する。更に室温が上昇する場合は、空調機による送風量を増やしていくか、コイルを使用した通常の 16℃送風運転にて VAV 制御と外気冷房を併用するかを選択することになるが、この選択に関しては前者の搬送動力の増と後者の熱源動力の増を比較して判断する必要がある。更に外気温が 15℃を下回るなど自然換気許可条件を外れる場合は、自然換気を停止し、外気冷房も含めた空調機による制御を行う。以上のような運転モードにより自然換気と外気冷房併用による省エネ効果が最大化できると考えられる。

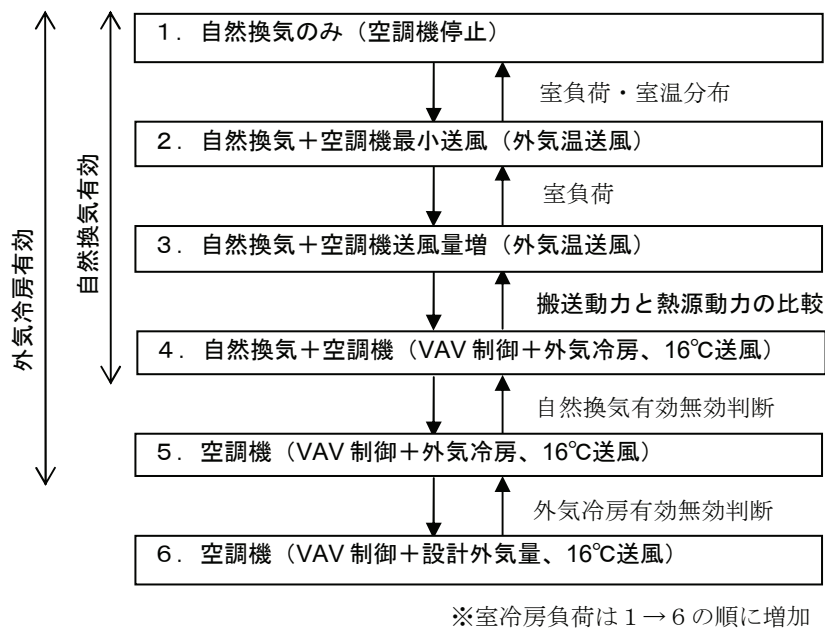


図 5-30 外気冷房と自然換気併用時の運転モード例

5.7 まとめ

本章では運用阻害要因に配慮した上で自然換気導入コンセプトである「空調使用時間の低減」「換気に係るエネルギーの削減」などの省エネ性を高いレベルで実現するための空調システムと制御条件について検討を行った。本章で得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 自然換気と機械空調を併用する場合の問題点として「機械空調・自然換気の制御法」「自然換気時と機械空調時の許容温度域の違い」「換気口開放条件との整合」「エアバランスの変化」「温度センサーへの影響」「外気冷房との適切な併用」などを示した。
- 2) 自然換気と機械空調を同時に行うハイブリッド空調を系統化して分類し、その特徴を整理した。
- 3) 換気口面積に応じた開口率制御、ハイブリッド空調の効果を定量的に示し、換気口が小さい場合はハイブリッド空調が有効であり、換気口が大きい場合は開口率制御が有効であることを示した。このような制御を導入しない場合、給気口有効開口面積を増加させることにより1～54MJ/m²年の冷房負荷削減効果となるのに対し、開口率制御やハイブリッド空調を併用した場合は14～147MJ/m²年に増加する結果となった。
- 4) 得られた知見から、地域により最適な給気口有効開口面積、自然換気期間を設定した場合の検討を行なった。自然換気による処理負荷は35～85MJ/m²年であり、地域による差異を明らかにした。
- 5) シミュレーションにより中央熱源方式の空調システムにおいて自然換気を導入した場合の省エネ効果と外気冷房と自然換気を併用した場合の省エネ効果を評価した。

参考文献

- 1) 山本佳嗣、星野聡基：見る・使う・学ぶ 新世代の環境建築システム，技報堂出版 日本建築学会編，「ハイブリッド空調 使う」pp.48-51，2016.6，
- 2) 建築環境・省エネルギー機構：ハイブリッド換気の原理，. アネックス 35 研究委員会

第6章

実物件における 提案手法の実践

第6章 実物件における提案手法の実践

6.1 本章の目的

5章までは運用実態調査及びシミュレーションにより、自然換気システムの運用実態を明らかにし、運用阻害要因への対策、省エネ性を確保するための空調システムについて提案した。本章では、実物件の設計での有効性や問題点について確認することを目的とし、筆者が設計に関係した実物件を対象に5章までで提案した設計・運用手法の実践を行う。手法の有効性は、運用段階のBEMSデータの解析により自然換気の利用時間数により確認する。

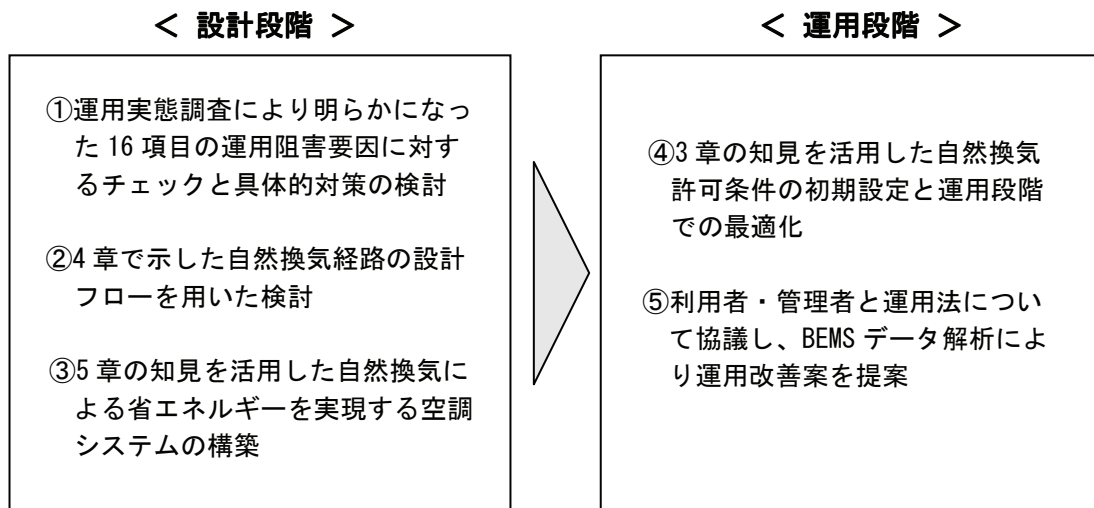


図 6-1 実物件での実践内容

6.2 アトリウム空間に導入された自然換気の運用改善事例

1つ目の事例として、神奈川県緑豊かな敷地に建設された長期滞在型研修施設におけるアトリウム空間に導入された自然換気システムの設計を行った。本施設はアトリウム空間を研修中のリフレッシュスペース、コミュニケーションスペースとして活用し、周囲の豊かな自然を建物内で感じることができる空間作りをコンセプトとしている。また、研修の稼働率の変動に対して、共用部は常に一定の環境制御が必要になるため、共用部は極力自然換気による環境制御を行い、空調消費エネルギーを削減する事を目指した。

6.2.1 建物概要

建物概要を表 6-1、本施設における持続的活用性向上への取組みと実測検証項目を表 6-2 に示す。

表 6-1 建物概要

建物名称：	N 研修所	
計 画 地：	神奈川県三浦郡葉山町	
用 途：	多目的滞在型交流施設	建物外観
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：	14.97m	
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 17 日	
設 備 設 計 者：	（株）日本設計 山本佳嗣・佐々木真人	
施 工：	清水建設（株） 機械：関東冷機（株） 電気：（株）きんでん	
		自然換気対象空間（アトリウム）

表 6-2 設計・運用上の要点と実測検証項目

自然換気システム概要	アトリウム空間に対して、クールピットを経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 ・排気窓の制御系統を細分化 ・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
実測検証項目	<ul style="list-style-type: none"> ・中間期において機械空調中心の運用から自然換気中心の運用への運用改善の過程とその効果 ・最上階に外気を導入する採風窓の効果検証 ・自然換気による省エネルギー効果

6.2.2 建築計画

本建物は長期滞在を伴う研修施設として計画された。この施設の特徴から宿泊施設と研修施設は、明確なゾーニングが可能でありながらも、有機的な関係が持てる配置計画を目指しており、東西に宿泊施設を集約し、中央の研修棟を挟み込む配置計画としている。190室全ての宿泊室から眺望を確保し、かつ隣地の建物からの富士山・山並への眺望を妨げない配置が条件とされていた。図6-2に建物配置図を示す。施設の中心に位置する場所には、施設利用者の交流を促す空間としてアトリウムラウンジを提案した。研修室とホワイエとしての機能を持つラウンジをステップ状に配置した吹抜空間であり、北面の斜めガラス開口とトップライトを組み合わせた開放的で眺望にすぐれた一体的な空間である。

図6-3に各階平面図を示す。研修部門は、大（最大200名）・中（60名）・小（20名）と多様な規模のセミナールームが用意されており、その他、同時通訳機能を持つ国際会議場では、役員・幹部クラスの経営会議、海外グループ会社とのTV会議利用等が可能な仕様となっている。部門や職種、役職も様々な施設利用者が、各研修室、会議室の前に配置された一体的なラウンジ空間を共有することにより、日常性を超えた新しい形式の交流が創出されるよう、空間のつながり、環境の創出が図られている。また、施設の各所にカフェテリア、大浴場、フィットネスジムなどの厚生施設も配置されており、研修後の緊張から休息へと緩やかに切り替わるよう配慮がされている。

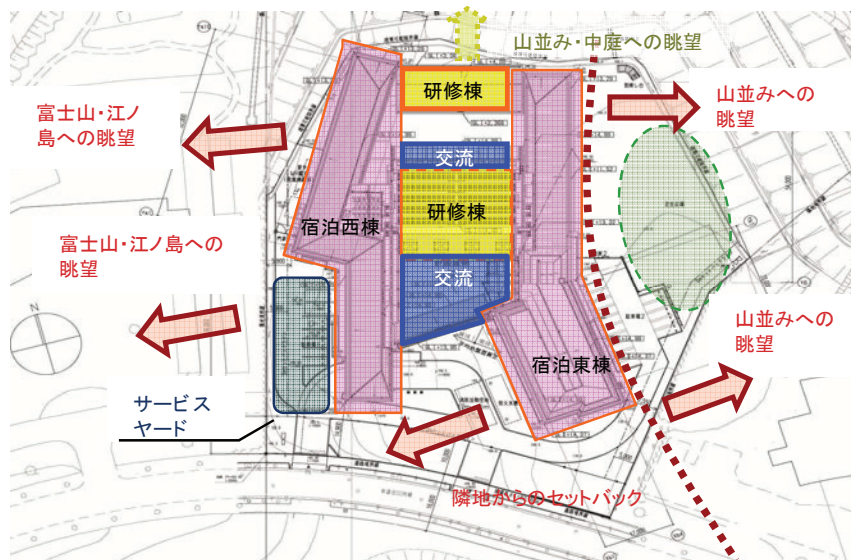


図 6-2 建物配置図

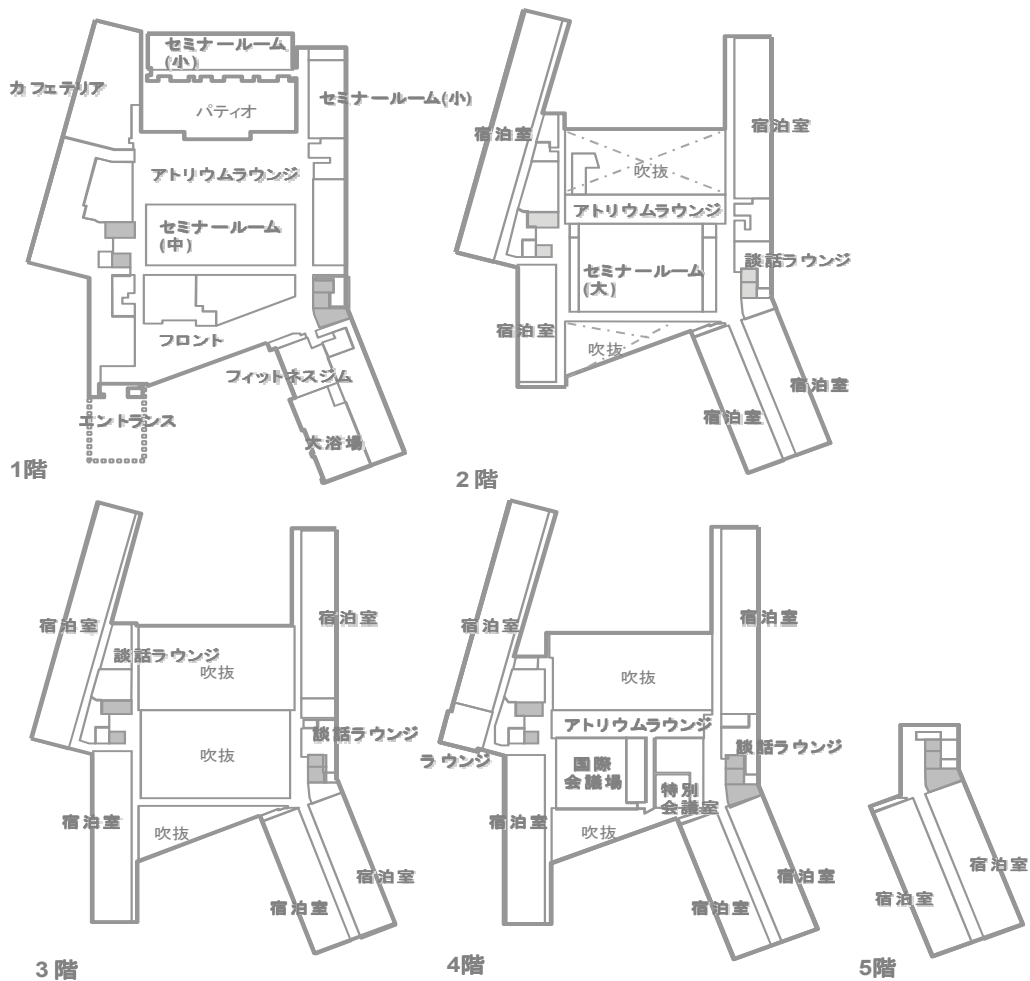


図 6-3 各階平面図

空調設備計画概要を表 6-3 に示す。水蓄熱槽を持つ中央熱源方式を採用し、研修室に関しては空調機または外調機+FCU 方式により高品質な空調空間を目指している。エントランス・アトリウムは共用部かつ大空間であり、太陽熱をエネルギー源とした床冷暖房、中間期の自然換気、床吹き出しによる居住域空調により効率的に居住域の温熱環境を確保する計画としている。

表 6-3 空調設備計画概要

室名	空調方式
小研修室	外調機+FCU 方式
中研修室	空調機方式
大研修室	空調機方式
国際会議室	天井放射+床吹き出し空調機方式
宿泊室	外調機+FCU 方式
エントランス	床冷暖房+床吹き出し空調機方式
アトリウム	放射空調+空調機方式

建物の東西断面を図 6-4 に南北断面を図 6-5 に示す。東西に配置された宿泊室に対して研修室は中央部に配置されており、研修室と宿泊室を繋ぐ空間としてアトリウムラウンジがある。研修所は断面的に階段状に配置されており、各階にラウンジを設けて上下方向の空間のつながりを確保している。アトリウムラウンジは、研修の間のリフレッシュや研修者間のコミュニケーションを誘発することを主目的としており、外部の豊かな自然に対して開かれた開放的な空間として計画されている。アトリウムラウンジは外部の豊かな自然を感じられることを意図して自然換気を積極的に行なうことを考え、折れ戸を開放することにより半屋外空間とすることも可能としている。



図 6-4 建物断面図(東西断面)

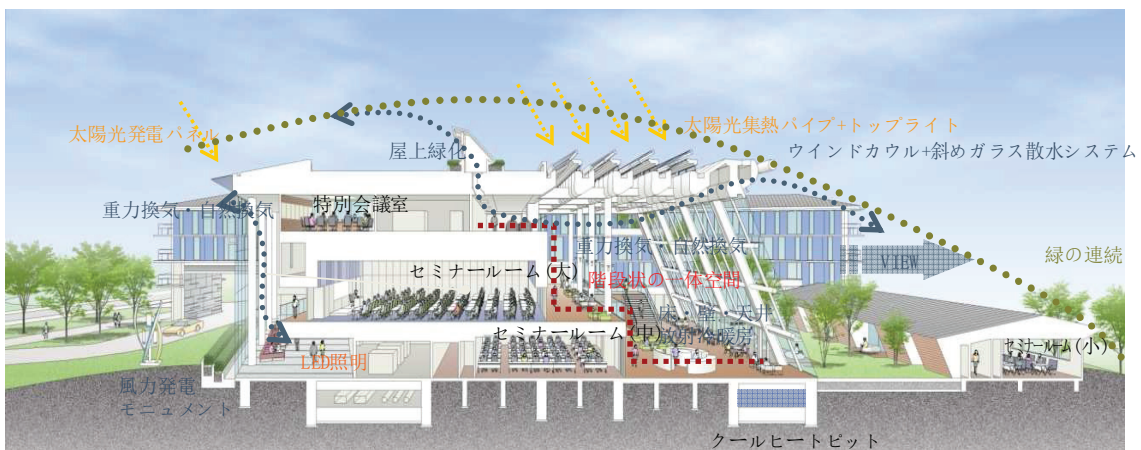


図 6-5 建物断面図(南北断面)

6. 2. 3 アトリウム空間における自然換気システム

アトリウムラウンジは、研修者の交流を促進する空間として計画された。研修室の稼働は月によって大きな変動があるのに対して、アトリウム空間などの共用部は年間を通して環境を制御する必要がある。つまり、稼働率が下がる時期は共用部の消費エネルギーの占める割合が大きくなる傾向にある。そこで本計画では、研修者の交流を促進する共用部環境をローエネルギーで維持していく事をコンセプトの一つとしている。中間期は自然換気により半屋外のような気持ち良い空間とし、夏季・冬季は居住域空調による効率的な空調とすることで年間を通じた快適な交流空間を実現する事を目的とした。

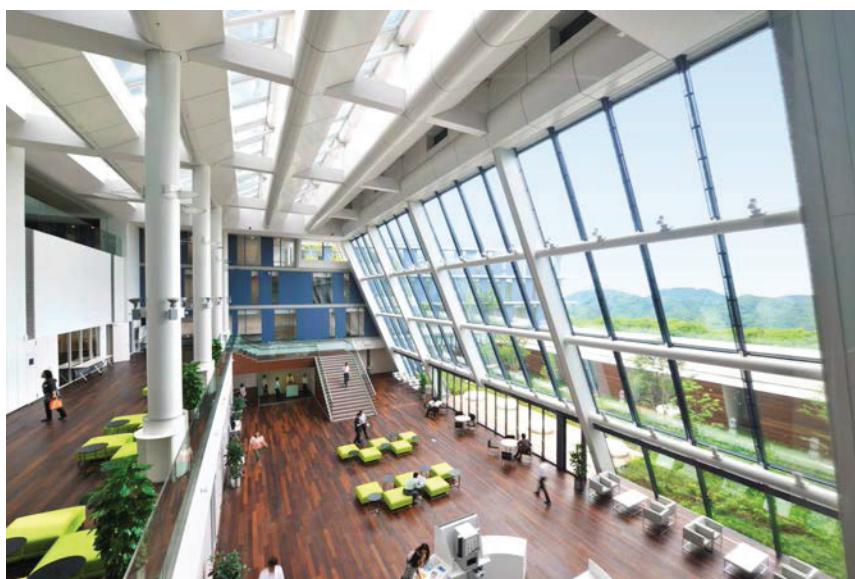


図 6-6 アトリウム空間

(1) 自然換気の制御方法

自然換気が有効な時間帯には、アトリウム上部の排気口と 1 階に設けた外気取り入れ口が自動で開放され自然換気を行うシステムとなっている。表 6-4 に自然換気許可条件を示す。本建物では露点温度の制御条件は組み込まれているが、設定としては外気露点温度は高め（20℃）に設定し、室内外エンタルピー比較を中心とした t-h 型の許可条件を採用している。

表 6-4 自然換気許可条件

エンタルピー比較	・外気エンタルピー<室内エンタルピー
外気温度	・外気温度 \geq 外気温度下限値（10℃）
露点温度	・外気露点温度 \leq 外気露点温度上限値（20℃）
室内温度	・空間室内温度（1~4 階）の最小値 \geq 外気温度
外部風速・降雨	・風速<10m/s 以下かつ降雨なし
その他	・空調機が冷房設定時

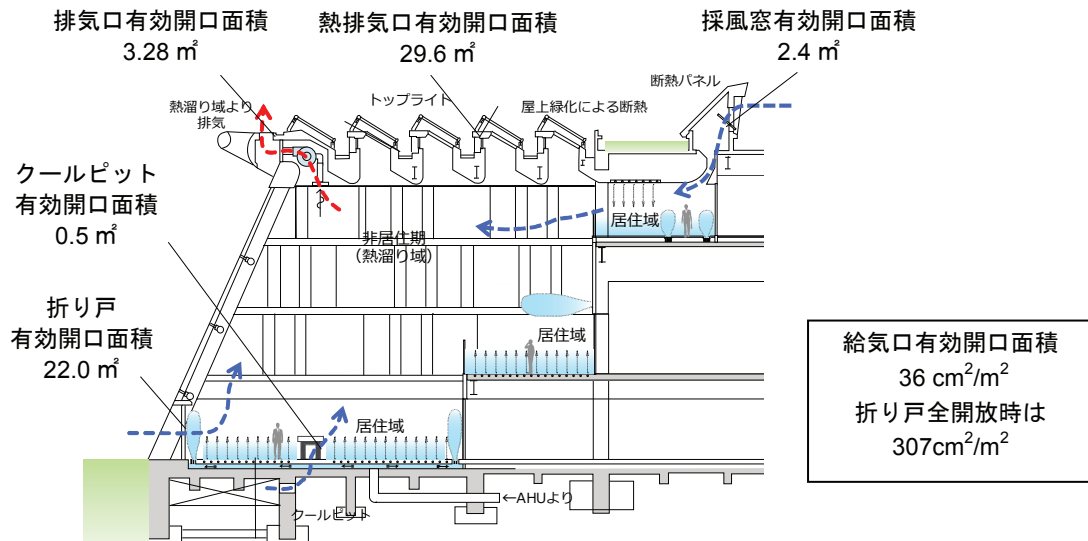


図 6-7 アトリウム空調・自然換気概念図

自然換気システムの概念図を図 6-7 に示す。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るが、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る。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た。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る。

(2) 自然換気を促進する換気口のデザイン

自然換気を促進する工夫として、外部に直接開く開口以外に、図 6-8 のようなクールピットを経由してキオスクや階段蹴上部分から外気が供給されるような経路を設定した。ガラス面近傍だけでなく人が集まる場所に直接自然の風を供給でき、虫が多い時期など直接窓を開けられない場合でも自然換気を行う事が可能となっている。



(a) キオスクカウンター

(b) 階段

図 6-8 建築一体型給気口

また、排気口に関しては、外部風向によらず常に強い負圧を維持するようなデザインとした。原理的な形状は H 型煙突であり、降雨対策を行った屋根面開口を設置し、風の通り抜けによるベンチュリー効果の利用をしている。図 6-9～12 に換気口の配置、姿図、負圧を得るための原理を示す。

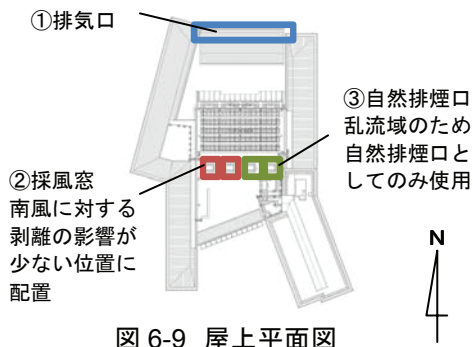


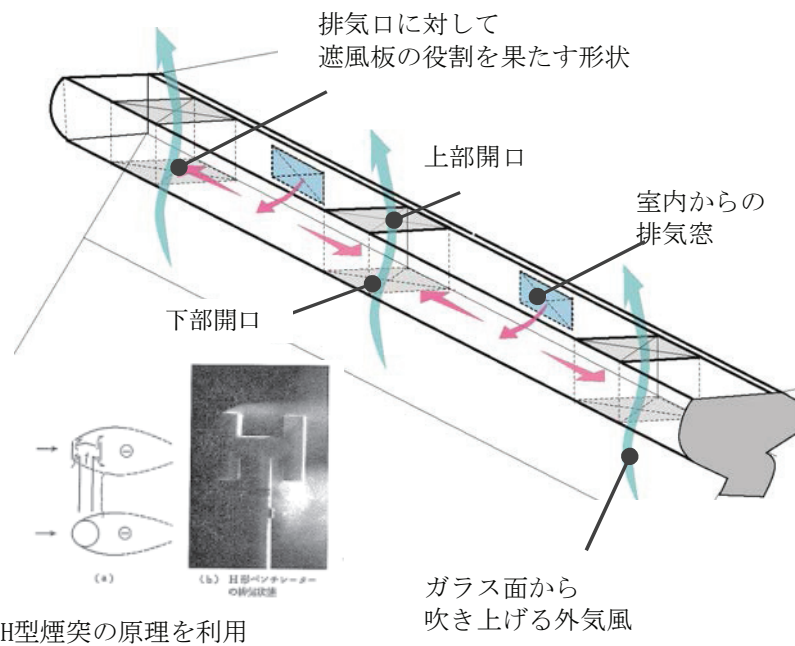
図 6-9 屋上平面図



図 6-10 排気口



図 6-11 採風窓



出典：石原正雄：建築換気設計、朝倉書店、1969年

図 6-12 換気を誘引する排気口の形状

6.2.4 運用阻害要因への対策

4章で示した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6-5のような対策を行った。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た。

表6-5 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。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

6.2.5 採風窓の効果

4階の採風窓は、最上階の熱環境が悪化しやすいことに対する新しいアプローチであるが、空間全体として採風窓は最上部に配置されており、煙突状に働く可能性もある。また、一般的に屋上面は壁面からの外気風の剥離により乱流域となり、負圧となりやすいため、採風窓から適切に外気が導入されない可能性もある。設計段階では現地調査により、南からの海からの風が強く吹いていることを確認し、CFD や工事段階での検討を重ねた上で設計を行った。これらの検討を通し、給気側として働く可能性がある位置を特定した上で窓が配置されている。運用段階の検証として、図 6-13 に採風窓を開けて自然換気を行っていた5月のアトリウム各階居住域の温度変動と外気温を示す。図より、自然換気を行なっている場合の室内温度は 22°C~26°Cで推移しており、南風で外気風速 2.5m/s 以上の場合のみ 4階換気口からも外気が流入していることが確認された。現地においても外気の導入が体感され、相当量の外気が導入されていることが確認されている。

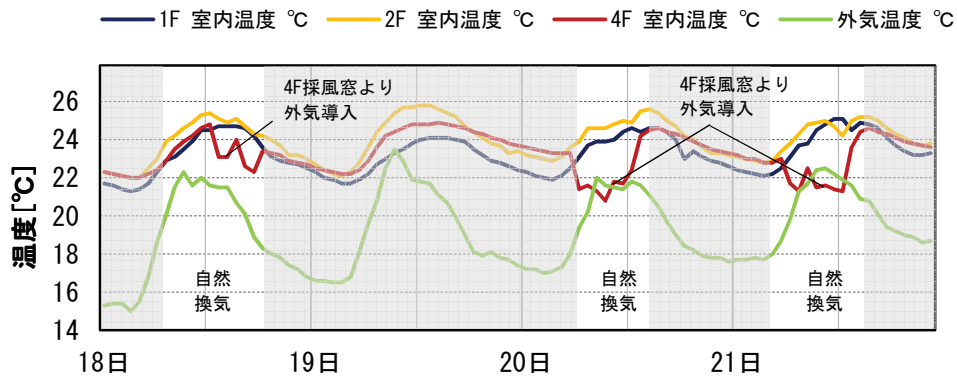


図 6-13 4F 自然換気時のアトリウム室内温度と外気温

6.2.6 自然換気運用状況

BEMS データの分析により、本建物における自然換気の利用時間数の経年変化を確認した。自然換気利用時間数はクールピットダンパーの開放時間とした。図 6-14 に自然換気利用時間数の月別変化を示す。また、図 6-15 に年別の変化、図 6-16 にアトリウム用の空調機の稼働時間数の変化を示す。本建物は 2011 年に竣工しているが、竣工 1 年目は安全側の運用としてアトリウムも含めた室内は、中間期も含め空調設備中心の温熱環境制御が行われ、自然換気の運用は控えられていた。それに対し、設計者である筆者が、施主、管理者による省エネルギー会議にて自然換気の活用を提案した。2 年目にアトリウムにおける空調設備運転の最適化を行い、空調機運転時間の大幅な削減を行った。3 年目の 5 月より、自然換気の積極運用を開始し、施主・管理者とも室内環境が快適域に保たれることを確認した。4 階における採風窓は、空調の冷風とは違った自然の風が感じられ、空調時より快適であるとの施主からの意見があった。

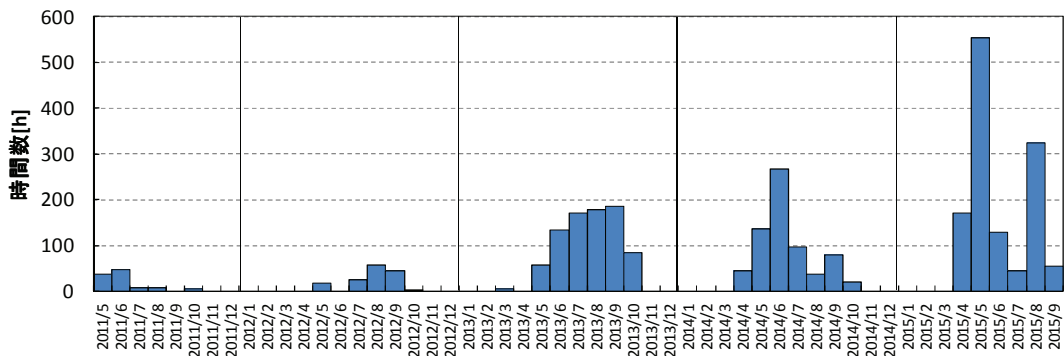


図 6-14 自然換気時間数(クールピットダンパー開放時間)

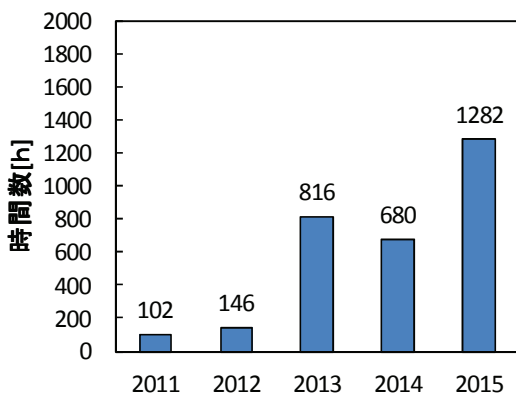


図 6-15 自然換気時間数の経年変化
(クールピットダンパー開放時間)

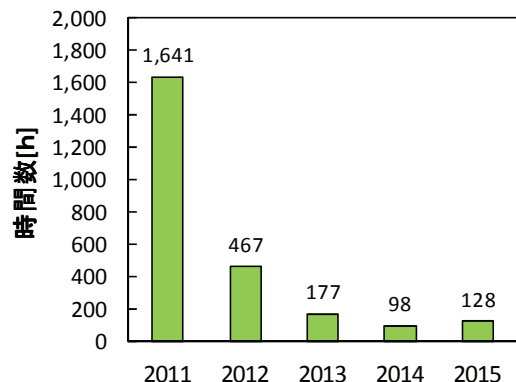


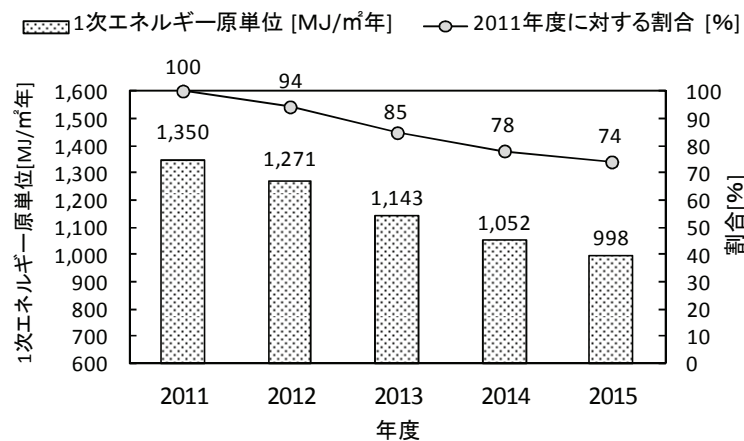
図 6-16 アトリウム空調機積算運転時間数
(4~6 月、9~11 月の積算)

竣工当初、自然換気が運用されなかったのは管理者の「空調設備による温熱環境制御が確実である」という判断と、自然換気システムの省エネルギー効果に関する不安が原因であった。省エネルギー会議での運用方針に関する議論や、自然換気時の室内環境の体感、設計者による省エネルギー効果の検証結果の提示などを通して、自然換気の積極的運用が実現した。更に重要であったのは、自然換気許可条件により自動的に開閉する制御について、建物の使われ方やスケジュールを反映させた運用としたいとの要望があり、朝方 2 時間の手動による自然換気や、換気窓の開放を管理者の判断によって部分的にするなど、設計者と管理者が自然換気システムの運用方法について協議し合意の上、運用を行ったことである。

設計意図としては全ての換気窓を全開にした状態を理想としているが、実際の運用では一時的、部分的に閉鎖したい窓も発生する。よって、換気窓の操作系統は可能な限り細かくしておくことが重要であると考えられる。実際に、運用実態調査においても共用部と専用部を同一系統にしていたことが原因で、全ての自然換気利用を停止する事例が確認されている。

6. 2. 7 自然換気による省エネルギー効果

建物全体の 1 次エネルギー消費量原単位を図 6-17 に、年間給湯量の推移を図 6-18 に示す。本建物は長期滞在型研修施設であり、ホテルに近い用途として給湯量で建物稼働率を推定できる。年間給湯量は 2011 年度から 2015 年度に向けて増加しているため、稼働率は上昇していると推測される。それに対して、1 次消費エネルギー原単位は減少傾向にあり、省エネルギー運用が大きな効果を上げていることが確認された。アトリウム空調機のファン消費電力とコイル熱量から中間期のアトリウム空調 1 次エネルギー消費量を算出した。



※ 1 次エネルギー換算値：電気 9.76MJ/kWh、都市ガス 45MJ/m³

図 6-17 建物全体の 1 次エネルギー消費原単位の推移

結果を図 6-19 示す。また、機械空調中心の環境制御であった 2011 年度、2012 年度と比較して、2013 年度以降の自然換気中心の環境制御に変更したことによる省エネルギー効果を表 6-6 に示す。2012 年度を基準とした自然換気による省エネルギー効果は、建物全体の 0.3～

0.6%となった。削減率が少ない理由としては、建物全体における中間期のアトリウム空調が占めるエネルギー割合が 0.12~1.48%と小さいことが挙げられる。これは、本建物は給湯負荷が大きいためボイラー等の 1 次エネルギー消費割合の影響が大きい、アトリウムは太陽熱を利用した冷暖房を行っており、空調負荷が最小化されていることが原因である。

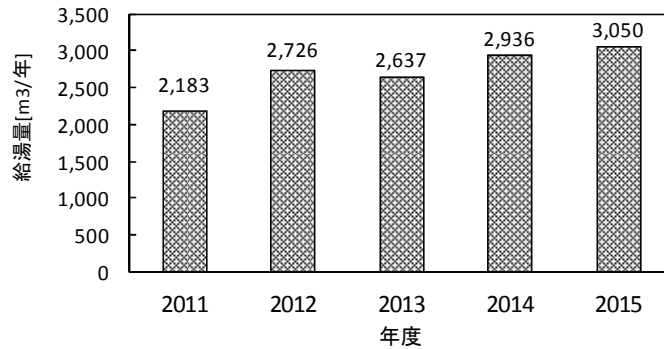


図 6-18 年間給湯量の推移

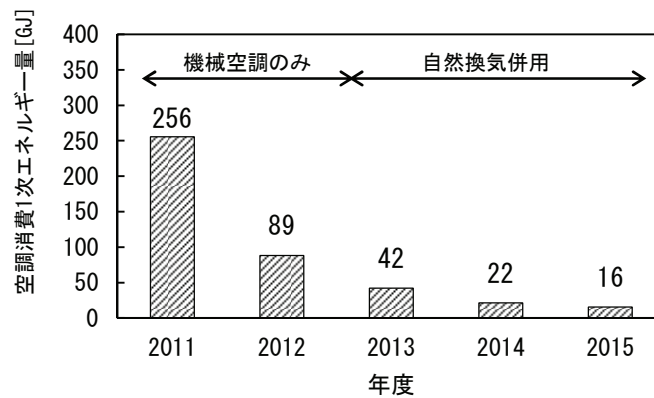


図 6-19 中間期のアトリウム空調消費 1 次エネルギー量の推移

表 6-6 自然換気による省エネルギー効果

		2011 年度	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度
①	建物全体の消費 1 次エネルギー量	GJ/年	17,328	16,317	14,673	13,505
②	アトリウム空調機の消費 1 次エネルギー量 (中間期: 4~6 月、9~11 月)	GJ/年	256	89	42	22
③	建物全体に対するアトリウム空調の割合	%	1.48	0.54	0.29	0.16
④	自然換気による消費 1 次エネルギー削減率 ※2012 年の 89GJ/年を空調時の基準とし (89-②)/(①+89-②) × 100 で算出	%			-0.3	-0.5

6.3 庁舎に導入された自然換気による室内環境制御事例

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において、提案した設計法の一部を実践した。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いた。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た。

6.3.1 建物概要

建物概要を表 6-7、本施設における持続的活用性向上への取組みと実測検証項目を表 6-8 に示す。

表 6-7 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	
設備設計者：	(株) 日本設計 〈基本設計〉 榎木 学・山本 佳嗣・流田 倫代 〈実施設計〉 榎木 学・小見山 堤子・流田 倫代	
施工：	竹中工務店	

表 6-8 設計・運用上の要点と実測検証項目

自然換気システム概要	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。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。
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
実測検証項目	<ul style="list-style-type: none"> ・自然換気のみで環境制御した場合の室内温熱環境 ・自然換気口開放条件と時間数の関係

6.3.2 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 6-20,21 に示す。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。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る（青色点灯）。自然換気表示中は空調設備の運転が禁止される。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ある。

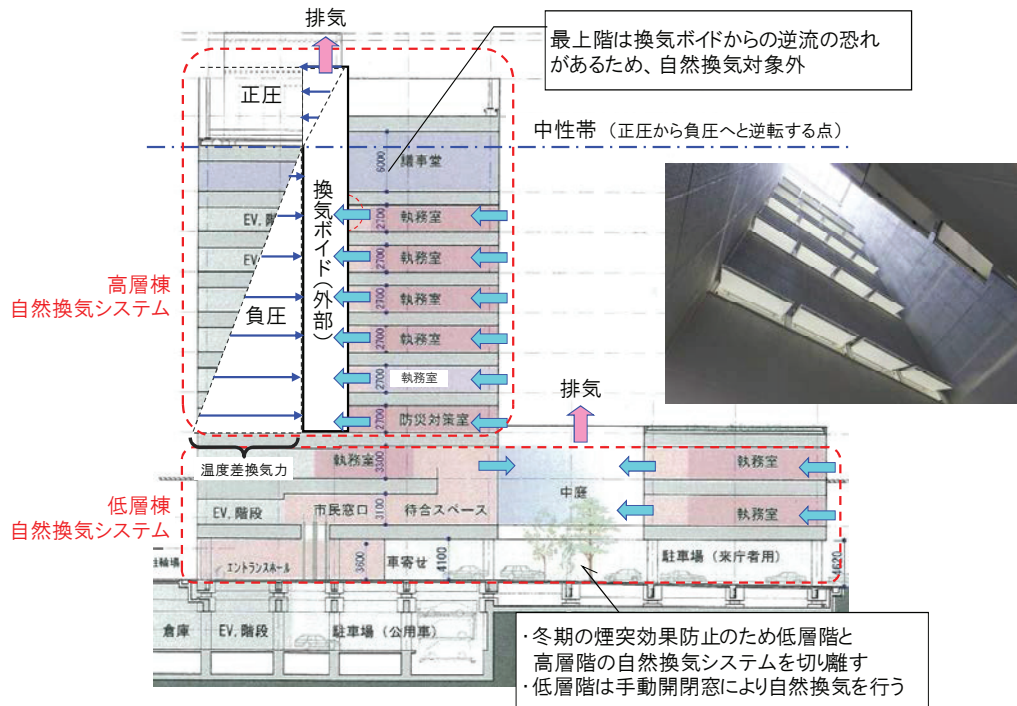


図 6-20 自然換気システム概念図(断面)

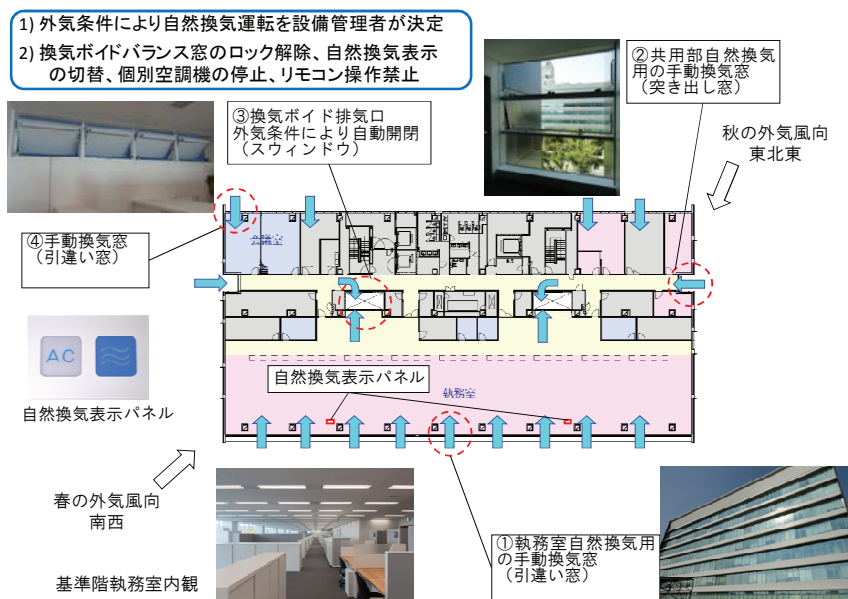


図 6-21 自然換気システム概念図(高層棟)

6.3.3 持続的活用法の適用

(1) 自然換気経路の検討

自然換気によって室内温熱環境を制御する場合に、引き違い窓をどの程度開放することが適正であるかを検討した。換気基本式を利用した換気量試算（エアバランス表）を表 6-9 に示す。1フロアにおいて 10cm の窓開けを 18 ヶ所（1 スパン 2 ヶ所）行った場合、無風時の換気回数は平均 6.5 回/h となる。この場合、室内処理負荷は約 29 W/m²となり、室内発熱を処理することが可能な換気回数といえる。以下に表 6-9 に至るまでの計算手順を示す。

<外壁給気口面積>

南側外壁の引き違い窓を開放した場合の外壁給気口面積（ αA ）を以下のように想定する。

10cm の窓開けを 18 ヶ所（1 スパン 2 ヶ所）行った場合

$H2.5m \times W0.1m \times \text{流量係数 } \alpha : 0.65 \times 18 \text{ ヶ所} = 2.97 \text{ m}^2/\text{フロア}$

これは吹き抜け排気口面積と同等の開放条件である。

<吹き抜け排気口面積>

執務室側に設置されている吹き抜け排気口面積（ αA ）は以下となる。

$\text{排気口面積} = H0.8m \times W1.1m \times \text{流量係数 } \alpha : 0.42 \times \text{換気口 } 8 \text{ ヶ所} / \text{フロア} = 2.96 \text{ m}^2/\text{フロア}$

<吹き抜けの面積>

屋根部がないボイド形状のため平面図より $W2.385m \times L5.25m \times 2 \text{ ヶ所} \approx 25 \text{ m}^2$

<中性帯の位置>

各階からの給気量と換気ボイド頂部からの排気量が同等とすると、換気基本式および各階換気口の面積、換気ボイド頂部排気口の面積より、10 階に中性帯があると仮定し中性帯の高さを仮設定する。

<換気量>

換気基本式および、外壁給気口面積と吹き抜け排気口面積を合成した総合実効面積より、各階の換気量を算定。各階からの給気量の合計値と換気ボイド頂部からの排気量がほぼ同等となるよう、中性帯の高さを換気ボイド頂部から 3.72m の位置に再設定。これにより算定された換気量から各階換気回数を算定し、その平均値を平均換気回数とする。

表 6-9 10cm の外壁窓開けを行った場合の自然換気量試算結果

ケース1: 室内外温度差5℃、外壁給気口2.96㎡

ピーク外気温度	21℃	室内温度	26℃
対象床面積	936.5 m ² /707	平均換気量原単位	17.6 m ³ /h・m ²
処理負荷	29.1 W/m ²		m ³ /h・707

No.	開口	外壁給気口		吹き抜け排気口		総合実効面積			
		風量 m ³ /h	換気回数 回/h	$h_{NPL}-h_i$ m	α m ²	αA m ²	α m ²	αA m ²	
1	4F 給気口	+21,717	8.6	25.46	0.65	(αA) ₄₌ 2.96	0.42	(αA) ₄₌ 2.96	(αA) ₄₌ 2.09
2	5F 給気口	+19,938	7.9	21.46	0.65	(αA) ₅₌ 2.96	0.42	(αA) ₅₌ 2.96	(αA) ₅₌ 2.09
3	6F 給気口	+18,010	7.1	17.51	0.65	(αA) ₆₌ 2.96	0.42	(αA) ₆₌ 2.96	(αA) ₆₌ 2.09
4	7F 給気口	+15,849	6.3	13.56	0.65	(αA) ₇₌ 2.96	0.42	(αA) ₇₌ 2.96	(αA) ₇₌ 2.09
5	8F 給気口	+13,342	5.3	9.61	0.65	(αA) ₈₌ 2.96	0.42	(αA) ₈₌ 2.96	(αA) ₈₌ 2.09
6	9F 給気口	+10,239	4.1	5.66	0.65	(αA) ₉₌ 2.96	0.42	(αA) ₉₌ 2.96	(αA) ₉₌ 2.09
7	10F 給気口	—	—	—	—	—	—	—	—
8	RF 排気口	-99,085	-	-3.72	-	-	-	-	(αA) ₁₁₌ 25.00
	給気量合計	+99,094	6.5						

(2) 自然換気システム制御法・省エネルギーを達成するための空調システム

本建物では、自然換気時には空調を停止するという制御を導入した。表 6-10 に各モードの概要を示す。空調を停止することで確実な省エネルギーとなるが、自然換気時に室内の温熱環境が快適域内に保たれるかが問題となる。よって、竣工当初の許可条件としては 40% ≤ 外気相対湿度 ≤ 70%、2.5℃ ≤ 外気露点温度 ≤ 15℃などの比較的厳しい条件を採用した。

表 6-10 事例 2 自然換気モード概要

	自然換気モード				空調モード			
概要	外気が自然換気有効時は吹抜けへの排気窓を自動開放する。PAC 空調機は使用禁止とし、外調機は CO2 制御により最小風量とし、自然換気により室内環境制御を行う。				外気が自然換気有効でない場合は、吹き抜けの排気口を閉鎖し、空調にて室内環境制御を行う。			
状態	給気窓 (手動)	開放	吹抜けへの排気窓 (自動)	開放	給気窓 (手動)	閉鎖	吹抜けへの排気窓 (自動)	閉鎖
	ビルマル空調	禁止	外調機	運転	ビルマル空調	運転	外調機	運転
概念図								
切替条件	<p>< 自然換気モードへの切替条件 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 15℃ ≤ 外気温 ≤ 26℃ かつ 降雨なし、外部風速 7m/s 以下 2.5℃ ≤ 外気露点温度 ≤ 15℃ 				<ul style="list-style-type: none"> 外気エンタルピ ≤ 室内エンタルピ 40% ≤ 相対湿度 ≤ 70% 			

(3)運用阻害要因への対策

4章で示した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6-11のような対策を行った。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た。

表 6-11 事例 2 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		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15℃に設定 開口面積の調整が容易な引き違い窓を吹き抜け部の排気窓に採用
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 吹き抜けへの排気窓は逆流防止窓とし、吹き抜けからの熱気の侵入・逆流
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 吹き抜けの外部化（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
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

6.3.4 自然換気時の室温変動

2013年における自然換気時の外気温と室温変動を図6-22に示す。最高外気温が20℃である10月31日は、室内温度が24℃～27℃で推移している。最高外気温が25℃付近である10月4日においても26℃～27℃で推移している。それに対して、許可条件外において管理者による運転が行われていた10月8日においては、最高外気温が28℃を超えているため、室内も29℃近くまで上昇している。この日に関しては自然換気による省エネルギーは達成されているが、室内温熱環境は悪化しており、執務者の快適性は損なわれていると想定される。図6-23に10月中において日中自然換気が行われた日の室温変動を示す。24℃～26℃に制御されている日も多く存在するが、許可条件外にて運用されてる日は28℃を超える日も存在した。

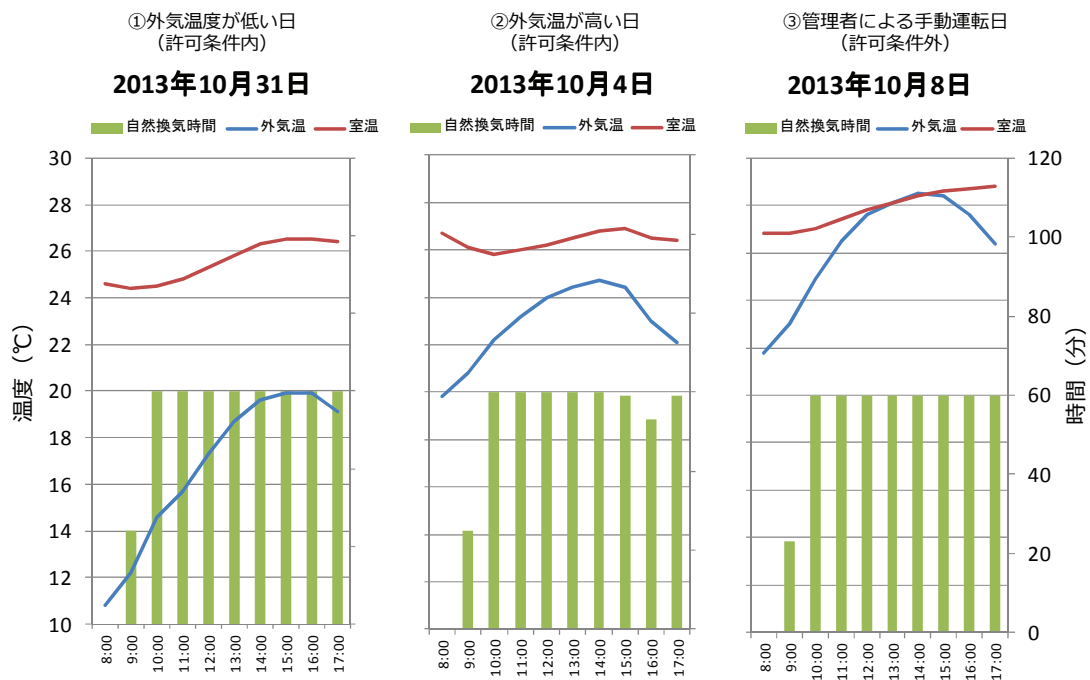


図 6-22 自然換気時の外気温と室温

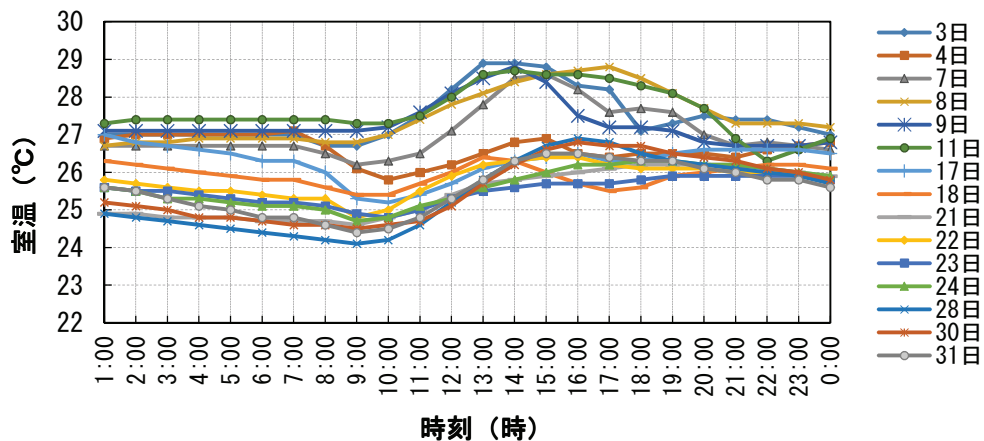


図 6-23 自然換気時の室温(2013年10月)

6.3.5 自然換気運用状況

2013年度の自然換気運用実績に関して、月別積算時間を図6-24、各階の自然換気時間を表6-12に示す。建物が本格稼動となった2013年5月から11月までの合計時間数は4Fの吹抜けへと繋がる自然換気口の開放時間数を対象とすると536時間であり、各階で大きなばらつきは見られなかった。以上の結果より、各階において中間期は自然換気が運用されていることを確認した。

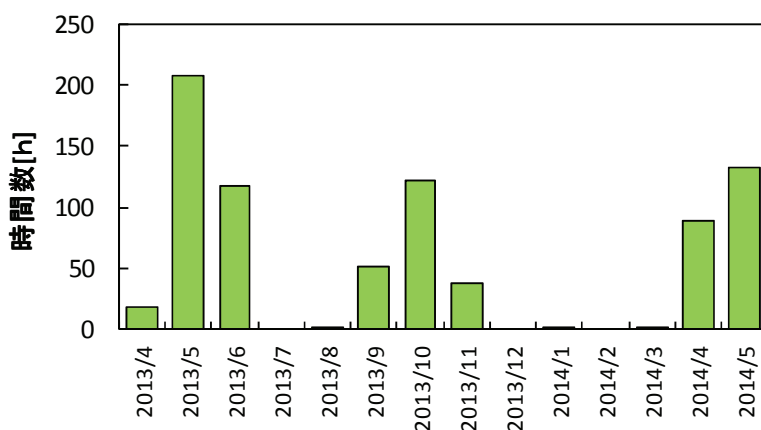


図6-24 自然換気時間数

表6-12 各階の自然換気時間数

	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
4F 自然換気口北面	2	19	206	118	0	0	52	122	38	1	0	0	1	90	133
4F 自然換気口南面	2	19	202	112	0	1	52	122	38	1	0	0	1	90	133
5F 自然換気口北面	3	19	209	118	0	0	52	122	32	1	0	0	539	720	695
5F 自然換気口南面	3	19	210	118	0	1	52	122	32	1	0	0	1	90	133
6F 自然換気口南面	2	18	208	118	0	83	322	122	38	1	0	0	1	89	133
7F 自然換気口北面	3	18	206	118	0	0	52	122	38	1	0	0	1	89	133
7F 自然換気口南面	3	18	206	118	0	1	52	122	277	1	1	0	1	89	133
8F 自然換気口北面	185	17	197	117	0	0	52	320	38	1	0	0	1	89	133
8F 自然換気口南面	185	17	198	117	0	1	52	122	38	1	0	0	1	89	133
9F 自然換気口北面	3	16	204	117	0	0	52	122	43	1	0	0	1	89	133
9F 自然換気口南面	3	16	204	117	0	1	52	122	42	1	0	0	1	89	133

※灰色セル部は計測不具合である可能性が高い

本建物においては、中間期において積極的に自然換気が活用され、空調が停止されているため大幅な省エネルギーが実現されていると考えられる。しかし、問題点としては許可条件によって吹抜けへの換気窓が自動開閉される制御が組み立てていたが、管理者がそれを使用せず手動にて自然換気モードへの切り替えを行っていた点である。この原因として、室内温熱環境の確保のため許可条件を厳しくしすぎたため、管理者が自然換気に適した外気条件と判断した場合でも自然換気が許可されなかったことが明らかになった。図6-25に本計画におい

て採用した許可条件を外れる時間帯（禁止時間）について、条件別にその時間数を示す。湿度の許可条件として設定した $40\% \leq \text{外気相対湿度} \leq 70\%$ 、 $2.5^\circ\text{C} \leq \text{外気露点温度} \leq 15^\circ\text{C}$ を外れる割合が多く、この2項目の設定条件が厳しすぎると考えられた。この結果を受け、許可条件の見直しについて実施設計者より管理者に提案を行っている。3章でも示したように、許可条件は厳しくすることにより室内環境へのリスクは低減できるが、積極的運用を行う場合には適切な運用指標とならない場合がある。また、頻繁に開閉が行われクレームに繋がる恐れもあるため、許可条件の設定には導入外気の温湿度状態と省エネルギー効果のバランスに配慮する必要がある。よって、許可条件については、3章で決定した基準条件をベースに管理者と協議・同意を経て設計時の条件を見直すことが重要となる。

本建物では、施主より手動引き違い窓の最適な開放面積等の運用アドバイスを求められており、換気経路に関する設計検討資料等の提出を行って設計意図の伝達に努めている。

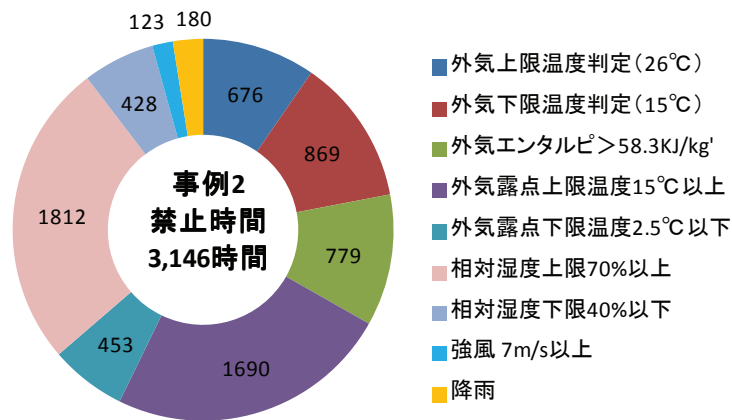


図 6-25 K市庁舎 条件別の自然換気禁止時間数

6.4 研究所に導入された自然換気事例

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提案した設計法の実践を行った。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を対象として自然換気による環境制御を行う計画とした。

6.4.1 建物概要

建物概要を表 6-13、本施設における持続的活用性向上への取組みと実測検証項目を表 6-14 に示す。

表 6-13 建物概要

建物名称： 某ナノテクノロジー研究施設

計 画 地： 茨城県つくば市

用 途： 研究所

敷 地 面 積： 262,497 m²

建 築 面 積： 3,474 m²

延 床 面 積： 6,271 m²

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

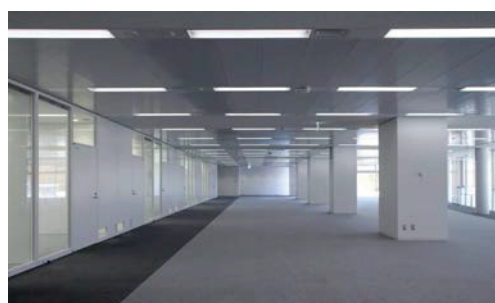
竣 工 年： 2013年3月

設 備 設 計 者： (株)日本設計
山本佳嗣・古谷政秀

施 工： 戸田建設(株)



建物外観



自然換気対象空間
(オープンワークスペース)

表 6-14 設計・運用上の要点と実測検証項目

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。
実測検証項目	・研究所という用途上、BEMSデータの入手困難

6.4.2 環境配慮計画の概要

本建物における環境配慮計画の概要を図 6-26 に示す。研究施設でありながらも、先端的な環境配慮技術の採用により環境性能の高い建築を実現することを求められた。クリーンルーム内はドラフトチャンバーと高速 VAV の連動による外気量可変制御等の設備的な省エネルギー技術を導入に加え、外気の負荷を削減するためにクールヒートピットを経由した外気導入等を行っている。共用部は自然エネルギーを利用した環境制御が求められ、エントランスは自然換気での温熱環境制御を主体とし、地中熱ヒートポンプによる床暖房以外の空調設備は設置しない計画とした。基礎杭を利用した地中熱ヒートポンプシステムは、本建物の自然エネルギー利用として主要な取り組みの一つであり、共用部の床暖房以外にオープンワークスペースにおける天井放射冷暖房に利用されている。後述のように、オープンワークスペースにはビル用マルチ空調機も設置されているが、人感センサーにより執務者不在には強制停止する制御が組み込まれている。

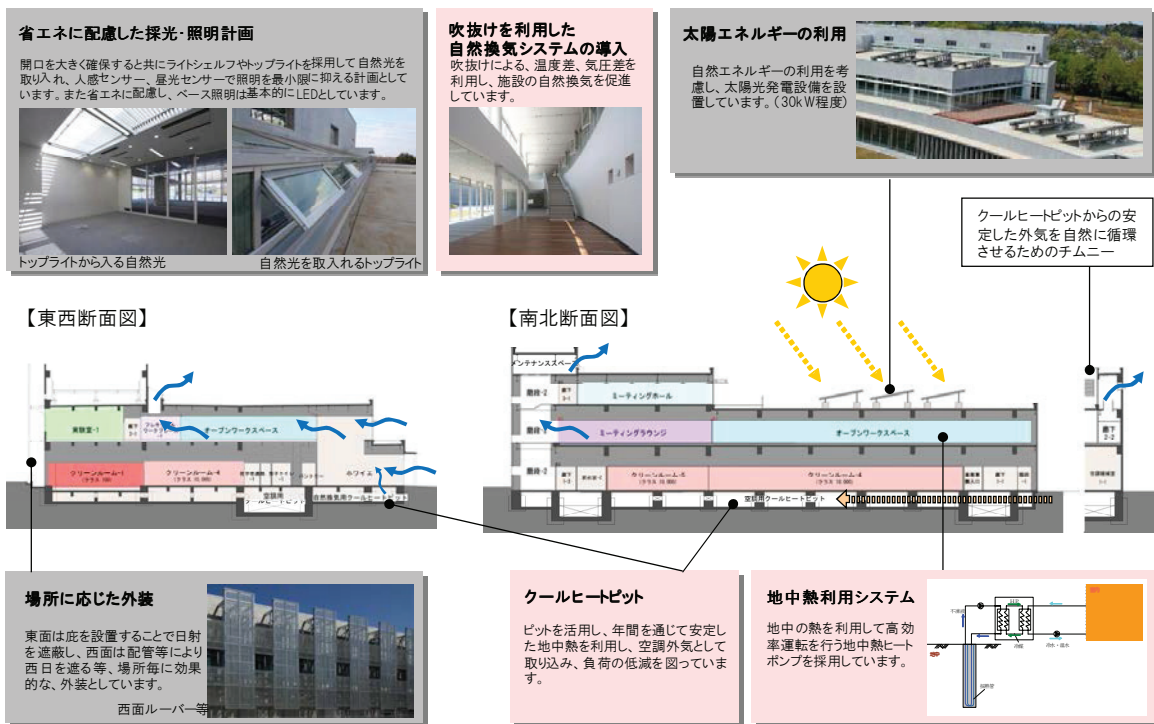


図 6-26 事例 3 における環境配慮計画

6.4.3 自然換気システム概要

断面的な風の流れを図 6-27,28 に、平面的な自然換気経路と対象室を図 6-29 に示す。自然換気の許可条件によって自動制御されたエントランスの窓より外気が導入され、共用部を経由して 2 階のオープンワークスペースに到達し、北・中央・南とバランスよく配置された排

気窓より排気される。本建物においては、共用部をバッファー空間として利用し、低温の外気を導入する場合も、共用部にて予熱されてから専用部に供給することによって、急激な室内環境の悪化を防止している。エントランス上部の温熱環境が悪化した場合の閉鎖や、オープンワークスペースの利用者の環境調整行動を可能とするため、共用部とオープンワークスペースを仕切るガラス窓に手動開閉窓を設置した。

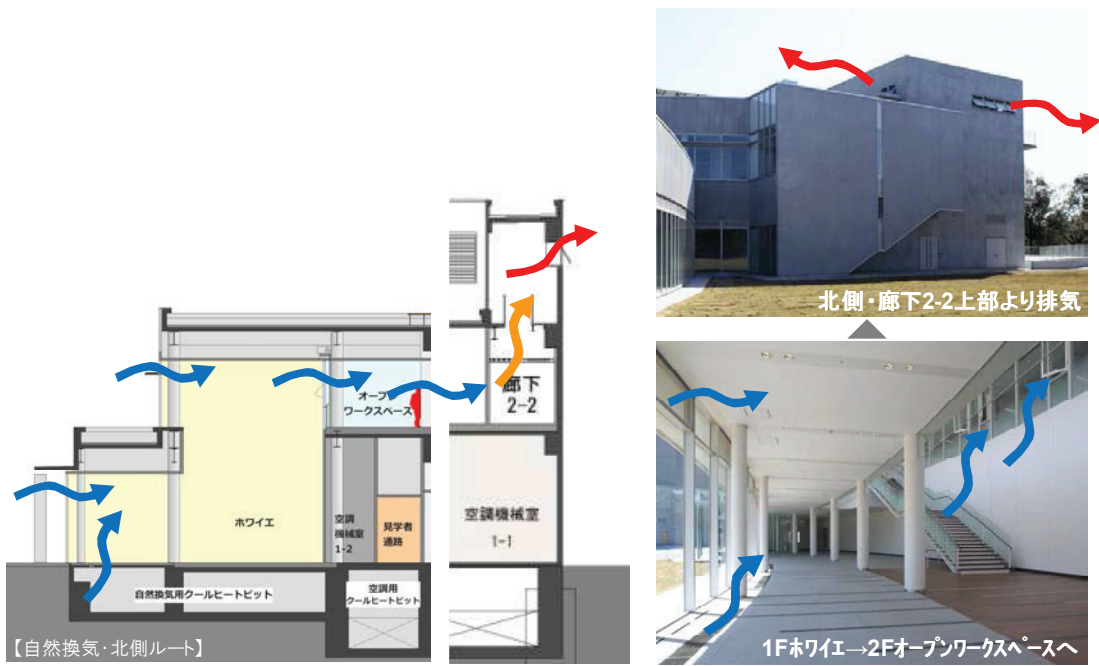


図 6-27 北側 自然換気断面ルート

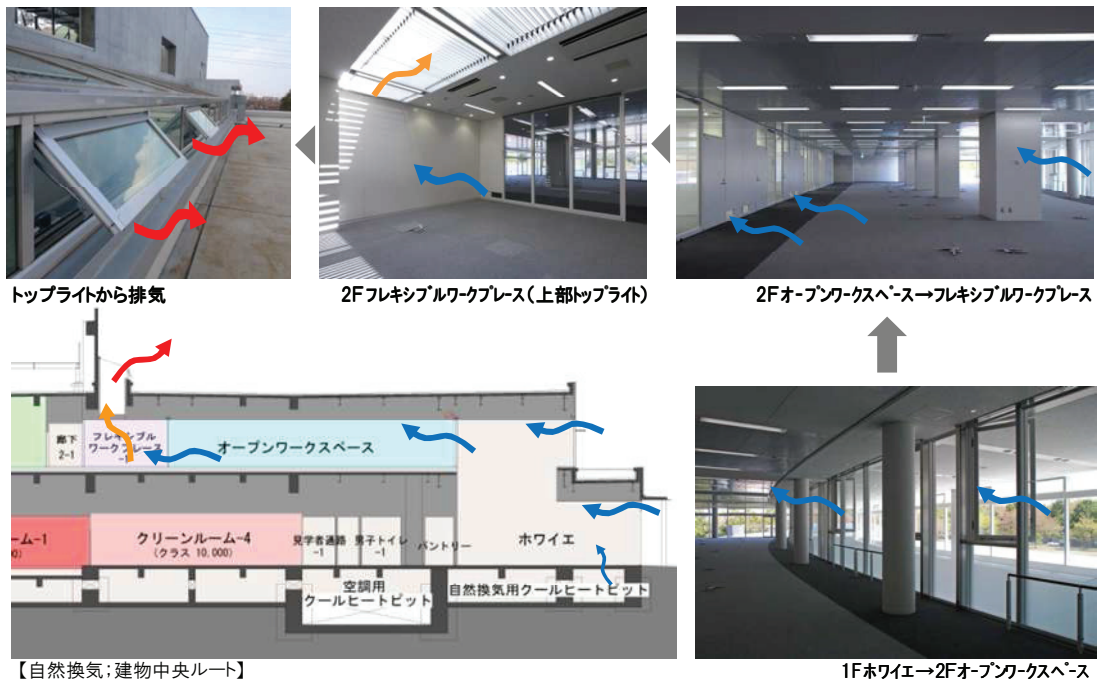
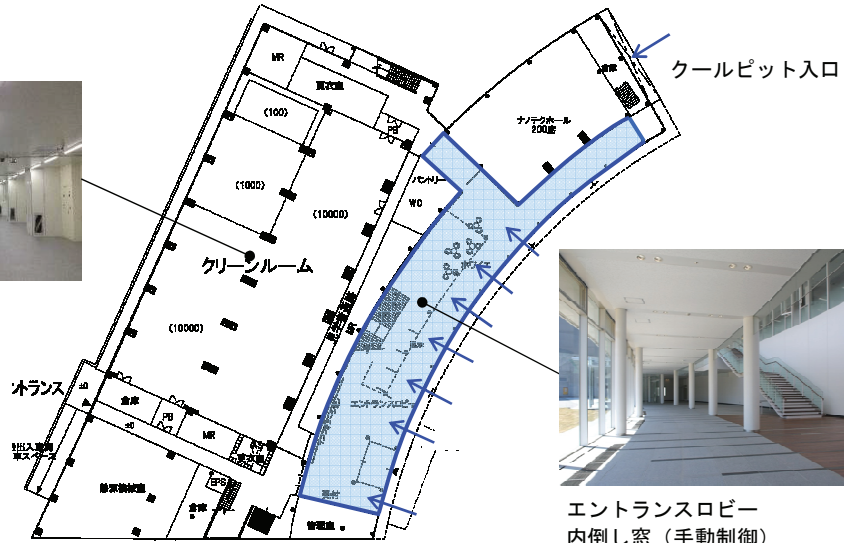


図 6-28 建物中央 自然換気断面ルート

【1F 平面図】



クリーンルーム

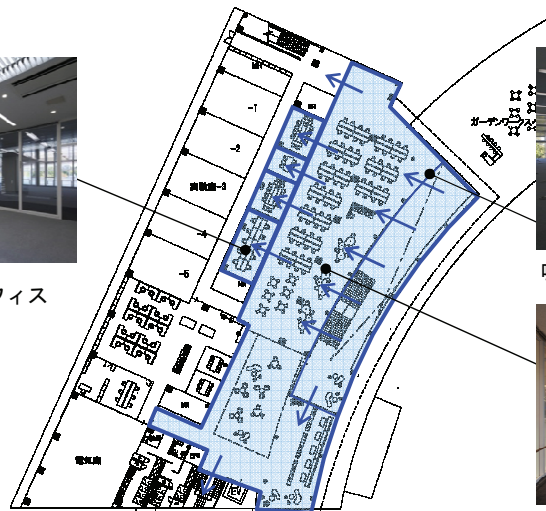


エントランスロビー
内倒し窓（手動制御）

【2F 平面図】



タッチダウンオフィス

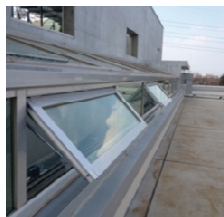


吹抜けをつなぐ窓（手動制御）

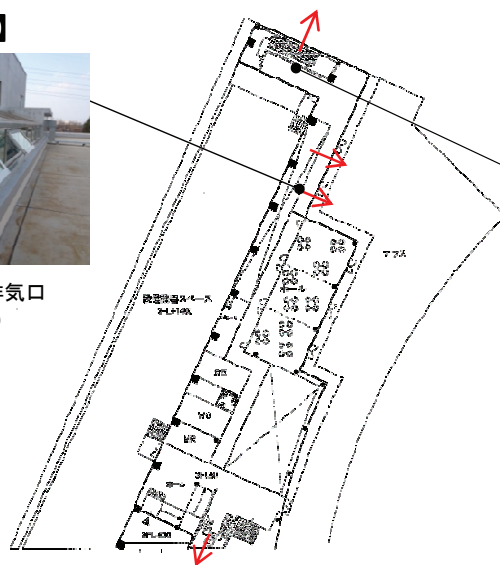


オープンワークスペース

【3F 平面図】



トップライト排気口
（自動制御）



階段上部排気口（自動制御）

■ : 自然換気対象室



図 6-29 自然換気経路と対象室

6.4.4 自然換気システム制御法・運用法の検討

エントランスにおいては、自然換気による冷房を主体することで空調エネルギー消費量を大幅に削減する計画とした。また、オープンワークスペースにおいては、利用者の稼働率が時刻により大きく変動する可能性があり、日中に使われていない日も発生することが予想されていた。よって、人感センサーによるビル用マルチ空調機の自動停止制御を採用し、空調使用時間の最小化を図った。利用者が少数の場合でも空間全体の温熱環境を過度に悪化させないように地中熱ヒートポンプから供給される冷温水を利用した天井放射冷暖房と自然換気を利用して温熱環境制御を行う計画とした。図 6-30 に空調概念図を、表 6-15 に自然換気モード概要を示す。

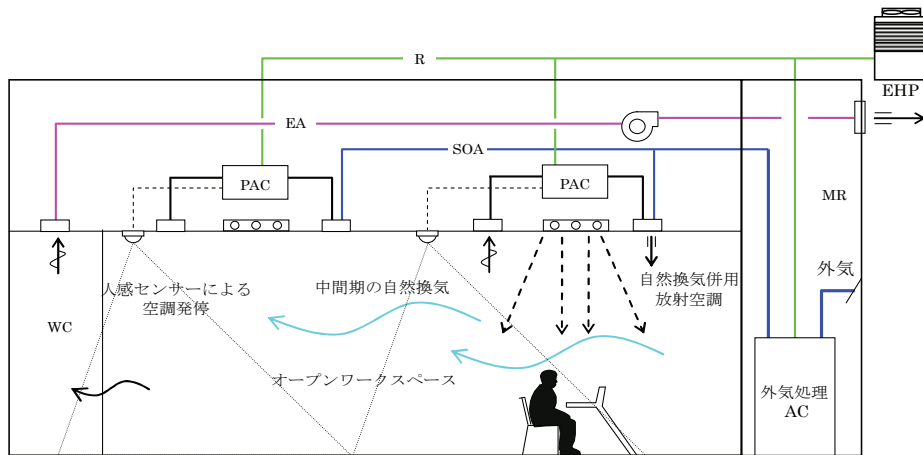


図 6-30 オープンワークスペース空調概念図

表 6-15 事例 3 自然換気モード概要

	自然換気モード				空調モード			
概要	外気が自然換気有効時は給気窓・換気ダンパーとトップライト排気口を自動開放する。自然換気+放射空調にて室内環境を制御する。				外気が自然換気有効でない場合は、吹き抜きの排気口を閉鎖し、空調にて室内環境制御を行う。			
状態	①給気口(手動)	開放	②頂部排気口(自動)	開放	①給気口(手動)	閉鎖	②頂部排気口(自動)	閉鎖
	③ビルマル空調	停止	④放射空調	運転	③ビルマル空調	運転	④放射空調	運転
概念図								
自然換気許可条件	t-h 型を採用し、設定値は以下とした ・15℃ ≤ 外気温 ≤ 26℃ かつ ・降雨なし、外部風速 10m/s 以下 ・PAC 空調不使用時				・外気エンタルピー ≤ 室内エンタルピー ・自然換気時の室温が 29 度以下			

6.4.5 運用阻害要因への対策

4章で示した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6-16のような対策を行った。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」とした。

表6-16 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°Cに設定 共用部というバッファースペースを經由しての外気導入
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

6.4.6 自然換気運用状況

本建物ではナノテクノロジーに関する研究施設という特性上、機密性が高く、竣工後の運用に設計者が関与できない問題があった。よって、BEMS データ等による運転実績の分析も不可であった。このような施設は他にも存在すると思われ、設計者が運用に関与できない物件において管理者が設計意図を正しく理解し、適切な運用に導く工夫が必要と考える。例えば詳細な取り扱い説明書の整備や竣工時の説明会の開催、中央監視画面上で適切な運用方法が理解できるような画面構成等である。本建物では、施主側の設備管理者が設計段階から関与しており、基本設計・実施設計の説明を通して設計意図は十分に伝達されていると考えている。設備管理者からの意見により制御内容を決定した項目等もあり、設計段階から設備管理者の意見を反映できたという意味では、適切なコミッシング手順を踏んで設計を行った物件と言える。

6.5 まとめ

本章では筆者が設計に関係した実物件を対象として、持続的活用法の適用に関するケーススタディを行った。その結果、2つの事例においては持続的活用法の適用によって実運用で自然換気時間数が確保できることが確認された。その一方、運用段階でのチューニングの必要性など、新たな知見が明らかとなった。

- 1) 事例 1 ではアトリウム空間への自然換気導入を行い、運用段階での省エネ効果と室内環境の改善効果を運用者に対して明確に示すことによって自然換気稼働時間を増加させた。
- 2) 事例 2 では庁舎という用途と自然換気を積極的に利用する慣習利用して、自然換気時に空調を停止する制御を導入した。大開口を設置し圧力損失の少ない換気経路設計を行った。また、自然換気ランプにより適切な運用を促す工夫を行った。その結果、536 時間/年の自然換気時間数が確認された。
- 3) 実物件の設計に持続的活用法を適用する場合の新たな課題として、運用段階のコミッシングの重要性が再確認され、運用スケジュールの管理者との調整の必要性、運用段階での省エネ性検証の難しさなどが明らかになった。

第7章 総括

第7章 総括

7.1 総括結論

本論文は、吹き抜けやソーラーチムニーなどの自然換気を促進する仕組みを組み合わせた高度な自然換気システムを対象とし、阻害要因により運用を中止されることなく持続的に活用されるための設計法及び運用法の提案を目的としている。

持続可能な社会の実現を目指す時代背景から、自然換気システムは Zero Energy Building (ZEB)化技術の一つとして多くの環境配慮建築において採用されている。また、Business Continuity Plan (BCP) 対策としての期待も高まっている。日本では古来より自然換気を積極的に利用してきたが、空調設備による一定の環境制御を前提とした現代建物において、処理されていない外気を積極的に導入する自然換気システムを効率的に運用することには難しさがある。既往の研究では、自然換気システムにおける運用阻害要因の存在は指摘されているが、運用実態と運用阻害要因の関連性などについて詳細に調査した研究はみられない。さらにシステム最適化手法としてコミッショニングの重要性が注目されつつあり、環境配慮手法として注目が高まっている自然換気システムの最適化を図り、運用段階全体を通して適切に利用される手法について検討することは重要な意義がある。

以上の背景を踏まえ、本論文では自然換気システムの詳細な運用実態の把握・分析から有効な設計法及び運用法を導き出すことを試みた。手法の検討にはシミュレーション解析を活用し、最終的には申請者が設計に関わった3件の自然換気建物において提案手法の一部を実践することにより、その有効性を確認した。

本論文は7章で構成されており、各章の内容を以下に示す。

第1章では、本研究の目的・背景および既往の研究について述べ、本研究の範囲および意義を明らかにした。

第2章では、自然換気の運用実態の把握を目的として、設備設計者を対象としたアンケート・ヒアリング調査を行い、計72物件の回答を得た。また、19物件について管理者アンケート・ヒアリング調査・実運用データ解析を行った。設計者アンケート・ヒアリング調査では、建物概要、自然換気システム概要、設計意図、運用への意識や設計上の工夫などを調査し、国内における自然換気システム設計の現状を整理した。管理者アンケート・ヒアリング調査では、システムに対する管理者の満足度、実際に発生した苦情とその対応などを調査した。管理者からは管理の手間と苦情対応についての意見が多く、自然換気口の制御法の違いによって運用上の問題点や苦情の内容が異なる傾向があった。自然換気システムに対する管

理者満足度は全体としては満足側の申告であったが、自然換気口が自動開閉される物件では許可条件が変更できないことへの満足度が低く、手動開閉される物件では苦情対応・メンテナンス・換気口操作の手間の満足度が低い傾向が見られた。また、運用の手間に対して省エネルギー効果が不明確であるとの意見もあり、自然換気システムの省エネルギー効果が明確に検証されていない点もクレーム発生時に消極的対応となる理由であると考えられた。

建物の Building Energy Management System (BEMS) より取得した実運用データ分析により、自然換気利用時間数は設計時から竣工 1 年目、運用 2 年目以降と運用されるに従って減少傾向にあり、運用 2 年目以降では設計時に想定した使用時間の 58%に留まっている現状が判明した。9 物件について詳細なヒアリング調査や騒音値の実測調査により自然換気の運用時間が少なくなるまでの経緯を整理した。さらに「ほこり」「虫の侵入」など、運用段階で苦情に繋がる恐れのある 16 項目の運用阻害要因を整理し、設計時の主な対策と実際の苦情発生件数の関係を分析した。設計時の対策としては適切な自然換気許可条件が最も多く、その他に換気口の性能・制御法・フィルター・煙突効果を考慮した換気経路設計などの対策が採用されていた。設計者の苦情に対する問題意識と実際発生した苦情との関連を分析した結果、「外からの騒音」「換気口の作動音」などについては、設計者の問題意識が低い但实际上には苦情が発生していることが明らかとなった。

以上の実態調査と分析により、自然換気システムにおける設計と運用の実態を明らかにし、16 項目の運用阻害要因についてその対策法を示した。また、持続的活用性向上への検討課題として、適切な自然換気許可条件・温度差換気を考慮した適切な自然換気経路の設計・空調設備との連動による省エネルギー性の確保の 3 点があることを明らかにした。

第 3 章では、換気口の開放条件にあたる自然換気許可条件に関して、その適切な条件設定を示すことを目的に 42 物件の事例調査と分析を行った。事例調査により国内では外気温に加え、湿度に配慮した条件が多く物件で採用されていることが判明した。また、外気温の上下限值(t)・外気温の下限値(Lt)・外気露点温度上下限值(x)・室内外エンタルピー比較(h)・外気の相対湿度の上下限值(ϕ)などの採用条件の組み合わせによって t-h 型、t-x 型、t-h- ϕ 型、t 型、h 型、Lt-h 型の 6 つの自然換気許可条件に分類できることが分かった。

6 つの自然換気許可条件の特徴を明らかにするため、東京の年間気象データを用いて「自然換気利用時間数」、外気の温湿度状態としての「導入外気の質」、1 日あたりの換気口が開放されてから閉鎖されるまでの平均時間である「平均連続開放時間数」の 3 項目を算出し、結果の比較を行った。複数の条件と安全側の設定値を採用することにより導入外気の質は向上するが、自然換気利用時間数や低下する関係があり、その逆の関係も確認された。そこで、平均連続開放時間数が 6 時間以上確保され、自然換気時間数と外気の質にも配慮した適

切な設定値を求めるために設定値の感度解析を行い、分類を行った6つの自然換気許可条件について基準となる設定値を示した。

第4章では、自然換気口を中心とした自然換気経路について、運用阻害要因への対策と自然換気性能の確保を目的とした設計手法の検討を行った。運用実態調査により運用阻害要因として温度差換気時の逆流の問題があることが判明しており、本章では温度差換気を主体とした自然換気システムを検討対象とした。本章で扱う換気口面積は、外壁に設置される自然換気口と専用部から共用部への開口部、共用部から吹抜けへの開口部の3ヶ所を合成した給気口有効開口面積として定義した。吹抜けを有するモデル建物において、設計的に中性帯の位置を仮定して各階の給気口有効開口面積を求め、エアバランス表から必要排気口有効開口面積を求める設計フローを提案した。この設計フローの精度確認として、多数室換気計算が可能な熱換気回路網シミュレーションとの結果比較を行った。比較の結果、給気口から排気口へと至る一方向の気流の流れが明らかな建物モデルにおいては、室温・換気量の誤差は小さいことを確認した。また、必要給気口有効開口面積の予測法（以下、1次予測法と呼ぶ）を提案した。1次予測法は定常時の熱平衡式に温度差換気の基本式を代入し、自然換気対象期間の時刻別の冷房負荷を温度差換気の外気冷房で処理可能な時間数を求めることによって必要給気口有効開口面積を検討する手法である。この手法を用いた検討により、単一の給気口有効開口面積で中間期の冷房室負荷の全てを許容温度域に納めることは困難であることを示した。この対策として開口率制御、ハイブリッド空調を採用することによって自然換気時間数が大幅に向上する可能性を示した。

第5章では、自然換気と機械換気・空調の関係に着目し、機械換気・空調システムが自然換気の省エネルギー性能に与える影響を明らかにするためにエネルギーシミュレーション解析を行った。まず、自然換気と機械換気・空調の連携手法を整理し、自然換気併用時の空調制御法・自然換気時と空調時の許容室温域の違い・自然換気許可条件との整合・エアバランスの乱れ・温度センサーへの影響・外気冷房との適切な併用などに関する知見が不足していることがわかった。

エネルギーシミュレーション解析では、中央熱源方式における自然換気併用ハイブリッド空調の省エネルギー効果を定量的に評価した。標準オフィスモデルに関して自然換気による冷房負荷の削減率と消費エネルギーの削減率を算出した結果、両者の間には大きな差があることが分かった。この原因として、熱源補機などの一定量で発生する消費エネルギーの存在に加え、自然換気による低負荷の発生時間の増加に対応して空調システムの部分負荷時の効率が低下するために、冷房負荷削減率に比例したエネルギー削減率とならないことを明らかにした。この結果より、自然換気併用ハイブリッド空調ではこれまでよりも部分負荷効率の

高い空調システムが必要であることがわかった。また、更なる省エネルギー達成のためには自然換気時に空調システムを停止する切り替え制御が有効であることが提案された。

第 6 章では申請者が設計に関与した 3 物件に対して、本研究で提案した設計手法・運用手法を実践した。研修所に導入された事例では提案した設計手法を活用し、最上階の温度上昇に対する採風窓の設置や非居住域に排気を誘引する換気口のデザインなどを行い、運用段階でのコミッショニングにも取り組むことによって適切な運用を実現した。また、庁舎に導入された事例では年間 536 時間の適切な自然換気利用が確認された。これらの結果から、本研究で提案した設計手法・運用手法が実物件においても有効であることを示した。

第 7 章では各章の研究結果を総括した。

以上のように、本論文では、自然換気システムの持続的活用を目的とし、詳細な運用実態調査より問題点及び課題を明らかにすることによって、持続的に活用されるための設計法・運用法を導き出した。本論文で提案した設計法及び運用法の要点を以下に示す。

- 1) 本論文で明らかにした 16 項目の運用阻害要因に対する設計的対策を行う。主な対策法としては、自然換気許可条件、網戸、換気口の仕様、換気口の制御法、煙突効果を考慮した換気経路の決定などである。特に注意を要する運用阻害要因は、外からの騒音や換気口作動音であり、55dB(A)の換気口作動音で運用停止に至った事例が確認された。
- 2) 16 項目の運用阻害要因のうち、本論文の実践例で示したように、バッファー空間の経路や採風窓などの外気導入経路の工夫も有効である。
- 3) 換気口制御法に特有の問題点に対策を行う。手動制御では居住者の判断による開閉の影響や管理の手間に配慮が必要であり、自動制御では換気口作動音など、自動制御特有の苦情への対応、制御区画の細分化などが必要である。
- 4) 自然換気システムの重要な運用条件である適切な自然換気口の開放条件（自然換気許可条件）を選択する。一般的な条件としては、t-h 型、t-x 型、t-h-φ 型、t 型、h 型、Lt-h 型の 6 つがあり、本論文で提案した基準条件としての設定値をベースに、地域や物件特有の状況に応じて最適化を図る。
- 5) 計画初期段階において、本論文で提案した代表日条件法や 1 次予測法の手順により必要な換気口有効開口面積を検討し、適切な中性帯の位置となるような換気経路を決定する。1 次予測法での検討では、東京において給気口有効開口面積 $25\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以上が確保すべき目安となる。

- 6) 東京において、給気口有効開口面積が $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以上確保できる場合は外気温度等に応じた開口率制御の導入が有効であり、 $25\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下では自然換気併用ハイブリッド空調の導入が有効である。
- 7) 自然換気による省エネルギーを実現するためには、部分負荷性能の高い自然換気併用ハイブリッド空調システムを構築するか、自然換気と機械空調の切り替え制御を導入する。自然換気ハイブリッド空調システムでは、空調機による外気冷房を活用するなど、複数の運転モードを設けて段階的に自然換気と機械空調を切り替えるなどの工夫が必要である。
- 8) 運用段階においては自然換気性能の検証とコミッショニングの実施が重要である。管理者と運用方法について協議し、物件の状況に応じた自然換気許可条件や制御方法の調整を行う。

本論文では、自然換気システムが現代の建物で運用される難しさを様々な角度から確認してきた。研究を通して明らかになったのは、自動制御が発展してきた現代のインテリジェントビルにおいても、管理者・利用者などの「人」が主体となって運用を行うという仕組みはまだ変わっていないということである。自動制御を過信することなく、建物運用に関連する「人」を中心としたシステムの最適化が重要であると考えている。

最後に、本論文の成果が現代に適した新しい自然換気システムの実現に繋がり、実際の建物で適切に運用されることを願って、本研究の結びとしたい。

7. 2 英文要約

Sustainable utilization method based on the actual operation survey for natural ventilation systems

Yoshihide YAMAMOTO

This thesis described a sustainable utilization method for advanced natural ventilation systems combined with components, such as voids or solar chimneys, to promote effective natural ventilation. Natural ventilation has the potential to save energy in the intermediate seasons by reducing the cooling load and ventilation power consumption. As a means to realize a sustainable and resilient society, and as a strategy for zero-energy building (ZEB) and business continuity planning (BCP), natural ventilation systems have attracted increased attention. Natural ventilation building design is now experiencing more widespread application, even for large office buildings.

In Japan, natural ventilation has been used actively since ancient times. However, it has been found that the sustainable utilization of natural ventilation in modern buildings with mechanical air-conditioning systems poses certain challenges. In certain cases, the use of natural ventilation has caused operational problems resulting in reduced energy saving performance. These problems may be caused by inappropriate control or system design. Previous studies have pointed out the existence of operational barriers to the sustainable utilization of natural ventilation, but up to now, a detailed fact-finding survey of natural ventilation has not been carried out. Furthermore, because commissioning is gaining attention as a system optimization method, it is important to optimize natural ventilation systems as an environmentally conscious method. With these considerations, the aim of this thesis is to determine the design and operation methods for the sustainable utilization of natural ventilation based on surveys of actual operation. Finally, the author put into practice the design and operation methods proposed in this thesis for the actual design projects of three buildings.

This thesis consists of seven chapters, and the content of each chapter is described below.

In Chapter 1, the definition of the studied natural ventilation systems and the outline of the thesis were provided.

Chapter 2 described the results of a questionnaire survey and an interview survey conducted on MEP designers of existing naturally ventilated buildings to ascertain the actual operating conditions. In the survey, questionnaires were collected from a total of 72 buildings. In addition, a questionnaire survey for facility operators, interview survey, and actual operational data analysis were conducted on 19 buildings. The questionnaire consisted of questions on the building outline, system overview, design intention, understanding of the operation, and ideas to change the current state of the design of natural ventilation systems in Japan. The results of the questionnaire survey on facility operators provided details on the level of satisfaction of the facility operators with the natural ventilation systems, as well as claims regarding issues that had arisen and the resulting proceedings. There were many opinions from facility operators concerning management issues and the proceedings of claims that had arisen. In addition, there were tendencies for the operational problems and claims to differ depending on the method of control of natural ventilation openings. On the whole, the facility operators were satisfied with the natural ventilation systems. However, for the buildings in which the natural ventilation openings were automatically controlled, the degree of satisfaction with the variability of conditions for operating the ventilator was low. Furthermore, there was a tendency for the degree of satisfaction with claims handling, maintenance, and resolution of ventilator operation issues to be low. In addition, some facility operators were unclear as to the energy conservation benefits of the natural ventilation systems. Therefore, the fact that the energy saving benefits of the natural ventilation systems were not made clear seemed to cause negative responses to the claims.

According to the actual operational data from the building energy management systems (BEMS), the operating time of the natural ventilation systems tended to decrease during the first and second years of operation after their installation. During the second and subsequent years of operations, the operating time of the natural ventilation systems remained at 58% of the operating time assumed at the design phase.

A detailed hearing survey and measurement of noise levels were conducted on nine buildings. A total of 16 barriers to the sustainable utilization of natural ventilation, such as “dust” and “invasion of insects,” came up from the results of the survey. The relationship between the countermeasure and the actual number of claims generated was clarified. The application of appropriate natural ventilation permission conditions was the most common countermeasure at the design phase, and measures such as the ventilation route design considering the chimney effect, ventilation opening performance, control method, and filtering were adopted. As a result of analyzing the relationship between the awareness of the designers regarding

potential claims and actual generated claims, it was clear that the designers had a low awareness of “noise from the outside” and “operating sound of the ventilation opening,” but that these claims actually occurred.

In Chapter 3, the criteria of outdoor conditions for operating natural ventilation openings was studied. To achieve both energy savings and a comfortable indoor thermal environment, it is important to determine criteria for outdoor air conditions for introducing natural ventilation. In this chapter, the criteria for switching to natural ventilation was investigated for 42 buildings. Six different schemes were considered, labeled [t-h], [t-x], [t-h-φ], [t], [h], and [Lt-h]. Each scheme was evaluated using reference weather data on the basis of three criteria: 1) total operating time, 2) average number of ventilator continuous opening hours per day, and 3) the quality of the outdoor air supply. For the six schemes tested, the total operating time varied from 972 to 1,278 h, and average number of ventilator opening hours per day was between 6.2 and 8.3 h. Comparison of the calculation results with those based on data from the Japan Meteorological Agency from 2001 to 2013 revealed no significant differences in the total operating time or continuity. With regard to the trigger conditions, for the [t-x] scheme, changing the lowest outdoor temperature from 18 to 15°C, had a significant effect, as did changing the highest dew point from 19 to 15°C for the [t-h-φ] scheme. It was also found that the trigger condition for the relative humidity affected the total operating time during the night. In order to study regional differences, a further analysis was conducted using reference weather data for 20 cities in Japan. This revealed that the total operating time for Sapporo and Okinawa was shorter than for other cities.

In Chapter 4, the influence of the natural-ventilation opening area on the energy-saving performance of the natural ventilation system was described. Furthermore, methods for determining the required opening area from the adaptive room temperature range as well as the mid-season load characteristics using the heat balance equation are proposed.

A proposal was made for a pre-estimate method using the ventilation opening area heat balance equation, and a simulation analysis using the BEST program was conducted. In determining the required opening area, the analysis results indicated the importance of the natural ventilation operating hours, load reduction, indoor thermal environment, and introduction of the outdoor air temperature. The BEST program simulation results indicated that the total operating hours of the natural ventilation system ranged from 602 to 782 h. The natural ventilation system heat-load removal rate was from 35 to 85 MJ/m².

The simulation results indicated the influence of the control method and system design on the total operating hours and heat-load removal rate of the natural ventilation system. In conclusion, a control method for natural and hybrid ventilation systems taking into account the natural ventilation opening area and operational issues arising from the use of natural and hybrid ventilation systems are presented.

In Chapter 5, the simulation of the energy-saving performance of buoyancy-driven natural and hybrid ventilation systems was described, as well as design methods to achieve effective energy saving without the occurrence of operational problems. In Japan, many existing naturally ventilated buildings have a hybrid ventilation system for energy saving as well as providing a comfortable room thermal environment by supplementing the cooling of natural ventilation with that of air conditioners. However, the appropriate design method of hybrid ventilation systems has not been clarified.

The simulation analysis of natural and hybrid ventilation systems was conducted using the BEST program. As for the standard office model, the reduction rate of the cooling load and energy consumption by natural ventilation were calculated, and the results showed that there was a significant difference between these. The main reason for this difference appears to be the low efficiency of the air conditioning system at partial cooling heat load. Therefore, it was found that in order to achieve further energy saving, it is effective to use an air conditioning system with a higher partial load efficiency, or to make the control stop the air conditioning system during natural ventilation.

In Chapter 6, the author put into practice the design and operation methods proposed in this thesis for the actual design projects of three buildings. There was a case where appropriate operation was carried out by commissioning meeting which the designer, the owner and the facility operator attended, and the importance of commissioning in the operation stage was reconfirmed.

In Chapter 7, the conclusions of this thesis were described.

APPENDIX

■記号一覧

A	: 換気口有効開口面積	[m ²]
A_{wall}	: 外壁面積	[m ²]
C	: 熱容量	[J/K]
C_p	: 空気比熱	[J/kg · K]
H	: 自然換気対象期間の平均空調負荷	[W/m ²]
H_i	: 内部発熱	[W]
H_{is}	: 単位床面積あたりの内部発熱及び日射負荷	[W/m ²]
\overline{KS}	: 総合熱貫流率	[W/K]
Q	: 必要換気量	[m ³ /h · m ²]
Q_i	: 各階の必要換気量	[m ³ /s]
T_i	: 室内温度	[K]
T_o	: 室外温度	[K]
T_m	: 移動平均外気温度	[°C]
T_{comf}	: 快適温度	[°C]
ΔT	: 室内外温度差	[K]
U	: 外壁熱貫流率	[W/m ² · K]
V	: 換気量	[m ³ /s · m ²]
L	: 吹き抜け流路長さ	[m]
g	: 重力加速度	[m/s ²]
h_{NPL}	: 地上面から中性帯までの高さ	[m]
h_i	: 地上面から各階の換気口までの高さ	[m]
h_{out}	: 地上面から排気口までの高さ	[m]
m_{cool}	: 必要換気量	[kg/s]
q_i	: 室負荷と日射負荷の合計	[W]
t_{start}	: ナイトページ開始時間	[-]
t_{end}	: ナイトページ終了時間	[-]
t_i	: 目標室内設定温度	[°C]
t_o	: 外気温度	[°C]
d	: 吹き抜け断面の直径	[m]
v	: 吹き抜け断面の平均面風速	[m/s]
α	: 流量係数	[-]
αA	: 給気口有効開口面積	[m ²]
$(\alpha A)_i$: 各階の給気口有効開口面積	[m ²]
$(\alpha A)_{out}$: 排気口有効開口面積	[m ²]
θ_i	: 室内温度	[K]
$\Delta\theta$: 室内外温度差	[K]
λ	: 吹き抜け内壁面の摩擦係数	[-]
ρ	: 空気密度	[kg/m ³]
ρ_o	: 外気の空気密度	[kg/m ³]
<添え字>		
i	: 階	
n	: 中性帯以下の給気側となるフロア数	

■図表一覧

第1章

- 図 1-1 The Covent Garden Theater,1818
- 図 1-2 放熱器背部の外気取入口
- 図 1-3 サッポロファクトリーアトリウム (1993年竣工 設計:大成建設)
- 図 1-4 新潟県庁舎 (1985年竣工 設計:日建設計)
- 図 1-5 ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)のイメージ
- 図 1-6 住宅・建築物省 CO2 先導事業に採択された物件の建築的取り組み (建築)
- 図 1-7 住宅・建築物省 CO2 先導事業に採択された物件の建築的取り組み (設備)
- 図 1-8 不動産業の年間 CO2 排出量に占める建築関連の割合 (1990年の資本形成成分を含む国内排出分)
- 図 1-9 建築設計と自然換気システムの設計・運用フロー
- 図 1-10 EN15251 の自然換気ビル熱的快適域推奨値
- 図 1-11 ASHRAE の室内快適域と自然換気時の室内快適範囲の比較
- 図 1-12 本論文の構成
- 図 1-13 一般的な窓開け
- 図 1-14 自然換気システム例
- 図 1-15 3種換気システム
- 図 1-16 シーリングファン併用
- 図 1-17 アシストファン併用
- 図 1-18 空調機送風運転との併用
- 図 1-19 空調機送風運転と還気混合の併用
- 図 1-20 放射パネル併用
- 図 1-21 予冷コイル併用
- 図 1-22 空調機の外気処理運転との併用
- 図 1-23 居住域空調との併用
- 図 1-24 空調機送風運転と還気混合
- 図 1-25 空調機運転
- 図 1-26 データセンター空調の外気冷房

- 表 1-1 環境配慮建築の評価指標における自然換気 (2016年基準)
- 表 1-2 内部発熱別の必要換気回数検討結果 (ロサンゼルス)
- 表 1-3 各設計フェーズでの自然換気設計の検討事項
- 表 1-4 EN15251におけるカテゴリ分け
- 表 1-5 換気による冷房システムと本論文で扱う自然換気システムの対応表

第2章

- 図 2-1 2章の研究フロー
- 図 2-2 延床面積別建物数
- 図 2-3 階数別建物数
- 図 2-4 用途別建物数
- 図 2-5 竣工年別建物数
- 図 2-6 自然換気の導入理由
- 図 2-7 給気口の制御方法
- 図 2-8 排気口の制御方法
- 図 2-9 外気導入方法
- 図 2-10 設計時の重要視項目と制御方法 (複数回答可)
- 図 2-11 設計時の自然換気システムの利用想定期間
- 図 2-12 外気温と自然換気許可建物数

- 図 2-13 制御間隔と換気経路
- 図 2-14 導入された空調システム
- 図 2-15 自然換気と機械換気の連動
- 図 2-16 自然換気と機械空調の連動
- 図 2-17 設計時の重要視項目と対応の困難さ（複数回答可）
- 図 2-18 各対策と問題項目
- 図 2-19 管理者アンケート 調査票抜粋
- 図 2-20 管理者の満足度申告結果
- 図 2-21 平均利用時間の変化
- 図 2-22 実測対象室
- 図 2-23 トップライトの制御系統
- 図 2-24 トップライトの開放状態
- 図 2-25 事例 A における自然換気利用時間の月別変化
- 図 2-26 換気口の作動音実測値
- 図 2-27 事例 A の自然換気システム運用経過
- 図 2-28 自然換気時の騒音などに関する利用者アンケート結果
- 図 2-29 事例 D の自然換気システム運用経過
- 図 2-30 事例 E の自然換気システム運用経過
- 図 2-31 事例 F における各室内設備利用時間
- 図 2-32 事例 F における自然換気時の室内環境満足度と満足者率
- 図 2-33 事例 H の自然換気システム運用経過
- 図 2-34 事例 I の自然換気システム運用経過
- 図 2-35 事例 I における竣工 1 年目と現在の自然換気利用時間
- 図 2-36 事例 I,D,E における管理業務に関する満足度
- 図 2-37 設計時の対策と実際の苦情発生の相関
- 図 2-38 相関グラフの見方
- 図 2-39 実態調査の考察と検討課題の関係

- 表 2-1 設計者アンケート質問項目
- 表 2-2 対象物件概要
- 表 2-3 地域別建物数
- 表 2-4 設計時に想定した省エネルギー効果
- 表 2-5 通風経路(1)
- 表 2-6 通風経路(2)
- 表 2-7 通風経路(3)
- 表 2-8 制御方法と外気導入方法
- 表 2-9 給排気口の組合せ
- 表 2-10 制御方法と建物特性
- 表 2-11 制御の区画割
- 表 2-12 熱源方式別の物件数（N=72）
- 表 2-13 換気口面積
- 表 2-14 換気口制御と対象空間による分類
- 表 2-15 システムの分類と自然換気使用時間の増減
- 表 2-16 管理者アンケート質問項目
- 表 2-17 苦情発生時における管理者の対応
- 表 2-18 各建物の利用時間変化
- 表 2-19 自然換気利用時間が低減した理由
- 表 2-20 各モードの許可条件
- 表 2-21 アンケート調査概要
- 表 2-22 制御方法と持続性能
- 表 2-23 苦情発生時における管理者の対応
- 表 2-24 阻害要因に対する設計上の対策

第3章

- 図 3-1 月別平年値によるクリモグラフ
- 図 3-2 旬別平年値によるクリモグラフ (東京)
- 図 3-3 換気口開放条件のタイプ分類
- 図 3-4 建物属性と採用タイプ数の相関分析
- 図 3-5 空気線図における条件領域と時間数 (東京,日中)
- 図 3-6 空気線図上での外気状態 (東京,日中)
- 図 3-7 タイプ別時間数と連続度 (東京,日中)
- 図 3-8 空気線図における条件領域と時間数の色分け図 (東京,日中)
- 図 3-9 タイプ別時間数と連続度の色分け図 (東京,日中)
- 図 3-10 外気状態別の月別時間数 (東京,日中)
- 図 3-11 標準年と気象官署平均データの比較
- 図 3-12 標準年と気象官署 2001~2013 年データの比較
- 図 3-13 月別時間数 (東京, 日中)
- 図 3-14 月別連続度 (東京, 日中)
- 図 3-15 設定値の変更による影響 (東京, 日中)
- 図 3-16 設定値の変更による影響 (東京, 夜間 19:00~8:00)
- 図 3-17 t-h 型における外気温下限温度と時間数
- 図 3-18 t-h 型における外気温下限温度と連続度
- 図 3-19 都市別の換気口開放時間数 (日中)
- 図 3-20 都市別の連続度 (日中)

- 表 3-1 許可条件の文献・アンケート調査結果(1)
- 表 3-2 許可条件の文献・アンケート調査結果(2)
- 表 3-3 換気口開放条件と採用物件数
- 表 3-4 運用段階での設定値の変更
- 表 3-5 検討の前提条件

第4章

- 図 4-1 自然換気システムの分類例
- 図 4-2 自然換気口の種類
- 図 4-3 廊下へのパス
- 図 4-4 吹き抜け排気口
- 図 4-5 外部への排気口
- 図 4-6 BEST 専門版における開口面積と中性帯の考え方
- 図 4-7 4 章の研究フロー
- 図 4-8 目標換気量設定チャート
- 図 4-9 吹き抜け部分を通過する自然換気量と面風速
- 図 4-10 風力換気を利用した自然換気経路検討フロー
- 図 4-11 風力換気時の自然換気経路検討例
- 図 4-12 温度差換気を利用した自然換気経路検討フロー
- 図 4-13 温度差換気時の自然換気経路検討例
- 図 4-14 設計用基準外気パターン (東京)
- 図 4-15 中間期における日積算外気温発生頻度 (東京)
- 図 4-16 フロア平面図
- 図 4-17 建物断面図
- 図 4-18 断面詳細
- 図 4-19 標準オフィスモデル内部発熱パターン
- 図 4-20 外気 21℃パターン (基準ケース) での室温変動
- 図 4-21 外気 21℃パターン (基準ケース) での換気量変動
- 図 4-22 設計用外気パターン別の室温変動結果

- 図 4-23 熱換気回路網での室温計算結果
- 図 4-24 熱換気回路網での換気量計算結果
- 図 4-25 標準オフィスモデル対象室平面図
- 図 4-26 負荷パターン
- 図 4-27 年間冷房ピーク負荷と中間期の室負荷
- 図 4-28 室温・外気温度別の自然換気処理負荷 ($\alpha A=40\text{cm}^2/\text{m}^2$)
- 図 4-29 αA ・外気温度別の自然換気処理負荷 (室温 26°C)
- 図 4-30 自然換気許可時の負荷分布と冷却効果 (1b 東京)
- 図 4-31 1次予測法による自然換気時間数
- 図 4-32 検討手法の月別結果比較 (東京)
- 図 4-33 検討手法の月別結果比較 (札幌)
- 図 4-34 検討手法の結果比較 (東京)
- 図 4-35 検討手法の結果比較 (札幌)
- 図 4-36 自然換気時間数への熱容量の影響
- 図 4-37 計画初期段階における換気口・換気経路の設計法の構成

- 表 4-1 自然換気口製品の特徴 (給気専用)
- 表 4-2 自然換気口製品の特徴 (給排気用)
- 表 4-3 検討対象とする給気口有効開口面積の範囲
- 表 4-4 自然換気有効の判断条件
- 表 4-5 標準オフィスモデルでの各階の給気口有効開口面積 αA の算出
- 表 4-6 カバー率
- 表 4-7 標準オフィスモデル条件
- 表 4-8 熱換気回路網計算との比較
- 表 4-9 給気口有効開口面積の1次予測手法検討手順
- 表 4-10 評価期間と許容室温
- 表 4-11 自然換気許可条件
- 表 4-12 モデルビル基準条件
- 表 4-13 内部発熱条件
- 表 4-14 外皮条件 (開口部)

第5章

- 図 5-1 自然換気併用空調システムの分類
- 図 5-2 自然換気併用ハイブリッド空調の概念
- 図 5-3 開口率制御・ハイブリッド空調の負荷削減効果
- 図 5-4 開口率制御・ハイブリッド空調併用時の時間数
- 図 5-5 外気温度と室温分布の関係
- 図 5-6 給気口有効開口面積と平均換気回数
- 図 5-7 都市別の平均外気温
- 図 5-8 都市別の期間室負荷
- 図 5-9 地域による自然換気時間数の違い
- 図 5-10 地域による室負荷削減効果の違い
- 図 5-11 空調システム概念図
- 図 5-12 月別室負荷原単位
- 図 5-13 月別空調消費エネルギー(CAV+外冷なし)
- 図 5-14 年間冷房室負荷と空調消費エネルギー
- 図 5-15 自然換気による空調1次エネルギー消費量削減効果
- 図 5-16 設備系統別の削減効果
- 図 5-17 月別の削減効果
- 図 5-18 空調システム特性と自然換気による省エネルギー効果との関係
- 図 5-19 空気線図による外気冷房制御概念図
- 図 5-20 VAV制御と外気冷房風量の関係

- 図 5-21 外気冷房有効時の室負荷発生頻度
- 図 5-22 解析対象とした空調システム図
- 図 5-23 解析対象とした外調機システム図
- 図 5-24 外気冷房時の室温・外気温・給気温度
- 図 5-25 外気冷房制御の稼動時間数
- 図 5-26 給気ファンのインバータ周波数と還気ダンパー開度
- 図 5-27 コイル処理熱量
- 図 5-28 外気温と外調機の給気温度
- 図 5-29 外調機の冷温水コイル処理熱量
- 図 5-30 外気冷房と自然換気併用時の運転モード例

- 表 5-1 ハイブリッド換気 システム比較
- 表 5-2 ハイブリッド冷房・アダプティブ空調 システム比較
- 表 5-3 設定条件
- 表 5-4 主要機器表
- 表 5-5 検討ケース概要

第6章

- 図 6-1 実物件での実践内容
- 図 6-2 建物配置図
- 図 6-3 各階平面図
- 図 6-4 建物断面図（東西断面）
- 図 6-5 建物断面図（南北断面）
- 図 6-6 アトリウム空間
- 図 6-7 アトリウム空調・自然換気概念図
- 図 6-8 建築一体型給気口
- 図 6-9 屋上平面図
- 図 6-10 排気口
- 図 6-11 採風窓
- 図 6-12 換気を誘引する排気口の形状
- 図 6-13 4F 自然換気時のアトリウム室内温度と外気温
- 図 6-14 自然換気時間数（クールピットダンパー開放時間）
- 図 6-15 自然換気時間数の経年変化（クールピットダンパー開放時間）
- 図 6-16 アトリウム空調機積算運転時間数（4～6月、9～11月の積算）
- 図 6-17 建物全体の1次エネルギー消費原単位の推移
- 図 6-18 年間給湯量の推移
- 図 6-19 中間期のアトリウム空調消費1次エネルギー量の推移
- 図 6-20 自然換気システム概念図（断面）
- 図 6-21 自然換気システム概念図（高層棟）
- 図 6-22 自然換気時の外気温と室温
- 図 6-23 自然換気時の室温(2013年10月)
- 図 6-24 自然換気時間数
- 図 6-25 K市庁舎 条件別の自然換気禁止時間数
- 図 6-26 事例3における環境配慮計画
- 図 6-27 北側 自然換気断面ルート
- 図 6-28 建物中央 自然換気断面ルート
- 図 6-29 自然換気経路と対象室
- 図 6-30 オープンワークスペース空調概念図

- 表 6-1 建物概要
- 表 6-2 設計・運用上の要点と実測検証項目
- 表 6-3 空調設備計画概要

- 表 6-4 自然換気許可条件
- 表 6-5 事例 1 における運用阻害要因への対策
- 表 6-6 自然換気による省エネルギー効果
- 表 6-7 建物概要
- 表 6-8 設計・運用上の要点と実測検証項目
- 表 6-9 10cm の外壁窓開けを行った場合の自然換気量試算結果
- 表 6-10 事例 2 自然換気モード概要
- 表 6-11 事例 2 における運用阻害要因への対策
- 表 6-12 各階の自然換気時間数
- 表 6-13 建物概要
- 表 6-14 設計・運用上の要点と実測検証項目
- 表 6-15 事例 3 自然換気モード概要
- 表 6-16 事例 3 における運用阻害要因への対策

■ 設計者アンケート票

自然換気に関するアンケート

早稲田大学理工学部建築学科田辺研究室

このアンケートは、設計段階における自然換気の運用に対する意識を調査し、今後の自然換気システムの利用改善に向けたものです。一般的な意見ではなく、実際に第一線でご活躍されている設計者の皆様の率直なご意見を記入頂きますようお願い致します。

なお、お答え頂いたデータは統計的に処理され、本調査以外の目的には一切使用することはありません。また、機密を厳守し、個人や企業、建物が特定できるようなデータを公表することはありません。ご多忙のところ誠に恐縮ですが、ご協力くださいますようお願い申し上げます。

以下の質問について、例に示すように分かるような形で、チェックボックスにチェックを入れて下さい。

<記入例1 (黒に変換する)>

Q この建物は自然換気を導入していますか？

- 自然換気を導入している
 自然換気を導入していない

<記入例2 (フォントの色を変える)>

Q この建物は自然換気を導入していますか？

- 自然換気を導入している
 自然換気を導入していない

I. 自然換気導入物件の概要について

Q1 ご自身が設計された自然換気を導入した建物を一つ選び、以降その建物についてお答え下さい。

物件名
(仮名称でも可)

(※この建物の自然換気システムに関する資料を頂くことが可能であればお願い致します。)

Q2 建物の情報についてお答え下さい。(不都合がある場合は物件が特定できない範囲でお願いします。)

用途	<input type="checkbox"/> オフィス (自社ビル)	<input type="checkbox"/> オフィス (テナントビル)	<input type="checkbox"/> 商業ビル	<input type="checkbox"/> 官公庁	<input type="checkbox"/> ホテル	
	<input type="checkbox"/> 学校	<input type="checkbox"/> 研究所	<input type="checkbox"/> 美術館・博物館	<input type="checkbox"/> 病院	<input type="checkbox"/> スポーツ施設	<input type="checkbox"/> その他[]
規模	延べ床[]m ²	地下[]階	地上[]階			
竣工	[]年	所在地	[]			

Q3 この建物の周辺環境は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。(複数回答可)

- 車等の通りが多い 自然が豊か 卓越風が吹く 空気がきれい
 周りは静か ビルに囲まれている 水辺の近く ほこりっぽい
 その他[]

II. 自然換気システムについて

Q4 自然換気システムを導入した理由・目的は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。(複数回答可)

- 空調使用期間の低減 空気質の確保 換気に係るエネルギーの削減
 室内の開放感 熱溜まりの除去 残業時等(空調停止後)の環境維持
 通風感による快適性の向上 空調熱負荷の削減 利用者の健康への配慮
 その他[]

Q5 設計時に想定した自然換気の省エネルギー効果と使用時間・使用期間について、分かる範囲内でお答えください。

- ・建物全体の使用エネルギーの []%削減 ・空調負荷[]%削減
・自然換気使用時間 年間[]時間を想定
・運転期間(想定) 春 []月(□上旬 □中旬 □下旬) ~ []月(□上旬 □中旬 □下旬)
秋 []月(□上旬 □中旬 □下旬) ~ []月(□上旬 □中旬 □下旬)
・その他[]

Q12 自動制御の場合、自然換気制御の許可条件（換気口開放条件）について設計時と現在のものをお答え下さい。＜現在の制御条件＞については変更した項目のみご記入ください。

<p>＜設計時の許可条件＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・制御間隔 []分ごと ・温度 []℃≤外気温≤[]℃ []℃≤室温≤[]℃ □外気温<室温 □露点温度 □外部エンタルピー<内部エンタルピー □外部風速 □降雨 □粉塵 ・空調時間帯（例 8:00～18:00）[] ・その他[] 	<p>＜現在の許可条件（変更した項目のみ）＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・制御間隔 []分ごと ・温度 []℃≤外気温≤[]℃ []℃≤室温≤[]℃ □外気温<室温 □露点温度 □外部エンタルピー<内部エンタルピー □外部風速 □降雨 □粉塵 ・空調時間帯（例 8:00～18:00）[] ・その他[]
---	--

Q13 自然換気に関する制御の区画割は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をご選択下さい。（複数選択可）

- 平面を [] 分割し制御 各階ごとに制御 専用部と共用部で分割し制御
 ペリメータとインテリアで分割し制御 部屋ごとに制御
 その他 [] の区画割

Q14 Q10～13のような外気導入・制御方法を採用した理由は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。（複数回答可）

- 換気口の開閉が見えることによる視覚的開放感 自動制御による管理者の手間軽減
 通風感の重視 居住者が換気口に触れられないことによる危険防止
 居住者に制御の余地を与えることによる満足感 空調時と変わらない室内環境維持
 自動制御の理想運転による省エネ効果 その他 []

IV. 空調機との兼ね合いについて

Q15 この建物に導入された機械空調は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。（複数回答可）

- VAV方式 CAV方式 FCU（2管式） FCU（4管式） 天井放射 床放射 壁放射
 床吹き出し空調 タスク・アンビエント空調 居住域空調 CO₂制御 低温送風 全熱交換
 PMV制御 BEMS導入 中央監視コントローラー導入 その他 []

Q16 機械空調と自然換気の運用法は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をご選択下さい。

- 換気 → ハイブリッド換気（自然換気と機械換気の併用） 自然換気と機械換気の使い分け
 その他 []
 冷暖房 → ハイブリッド空調（自然換気と機械空調の併用） 自然換気時は機械空調停止
 その他 []

V. 自然換気運用における問題について

Q17 自然換気の運用で想定される問題についてお聞きします。

各問題に対して、設計段階での対策の有無とその理由・対策の内容をお答えください。

項目番号	問題	①各項目の問題に対策がある場合 対策の内容を選択して下さい。（複数回答可）	②特別な対策なしの場合 その理由を選択して下さい。
1	ほこり	<input type="checkbox"/> フィルター <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> 換気口形状 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 夜間の自然換気停止 <input type="checkbox"/> その他 []	<input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 使用者の許容範囲内 <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他 []
2	夜間の虫の侵入	<input type="checkbox"/> フィルター <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> 夜間の自然換気停止 <input type="checkbox"/> 換気口形状 <input type="checkbox"/> その他 []	<input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 使用者の許容範囲内 <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他 []
3	花粉	<input type="checkbox"/> フィルター <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 換気口形状 <input type="checkbox"/> 花粉時期は自然換気停止 <input type="checkbox"/> その他 []	<input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 使用者の許容範囲内 <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他 []

項目番号	問題	①各項目の問題に対策がある場合 対策の内容を選択して下さい。	②特別な対策なしの場合 その理由を選択して下さい。
4	雨水の吹き込み	<input type="checkbox"/> 建築的な雨仕舞い <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口形状 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
5	外からの騒音	<input type="checkbox"/> サイレンサー（消音器） <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 換気口形状 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 使用者の許容範囲内 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
6	換気口の作動音	<input type="checkbox"/> 開閉が少ない制御 <input type="checkbox"/> 作動部の防音 <input type="checkbox"/> 作動機構の性能（音が小さい） <input type="checkbox"/> 換気口を居住者付近に設置しない <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 手動制御であるから <input type="checkbox"/> 使用者の許容範囲内 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
7	対象空間の プライバシー	<input type="checkbox"/> 換気口の位置 <input type="checkbox"/> ガラリを設置 <input type="checkbox"/> 対象空間の平面形状 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 使用者の許容範囲内 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
8	風切り音	<input type="checkbox"/> 室内外差圧コントロール <input type="checkbox"/> 換気口形状 <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 換気口閉鎖時の気密性の確保 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
9	突風	<input type="checkbox"/> 換気口形状 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> CFDによる検討済 <input type="checkbox"/> 室内への吹出し位置・角度 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
10	ドラフト	<input type="checkbox"/> CFDによる検討済 <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 室内への吹出し位置・角度 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
11	換気口からの 熱気・冷気の侵入	<input type="checkbox"/> 換気口閉鎖時の気密性を確保 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
12	煙突効果による 居住域上階の 温度上昇	<input type="checkbox"/> CFDによる検討済 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 居住域よりも上に熱溜りができる高さの確保 <input type="checkbox"/> ファンによる強制排気 <input type="checkbox"/> 空調機の併用 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 自然換気のシステムより <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
13	結露、湿潤、 乾燥	<input type="checkbox"/> 除湿・加湿機との併用 <input type="checkbox"/> 炭などによる調湿 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 最上部の断熱性能 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 使用者の許容度が高い <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
14	外からのにおい	<input type="checkbox"/> フィルター <input type="checkbox"/> バッファー経由 <input type="checkbox"/> 換気口サッシ性能 <input type="checkbox"/> 炭などによる脱臭 <input type="checkbox"/> 自然換気の許可条件 <input type="checkbox"/> 消臭機器 <input type="checkbox"/> 給気口の位置 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 周辺環境が良好 <input type="checkbox"/> 使用者の許容度が高い <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> 対象空間の用途より <input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
15	制御の手間（人の 手がかかる・プロ グラムが複雑）	<input type="checkbox"/> 簡単な開閉方法によって居住者の手間を軽減 <input type="checkbox"/> 簡単な操作方法によって管理者の手間を軽減 <input type="checkbox"/> フルオートで管理者の手間を軽減 <input type="checkbox"/> 居住者制御で管理者の手間を軽減 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]
16	メンテナンス （性能維持・清掃 が困難）	<input type="checkbox"/> 機器の耐用性能 <input type="checkbox"/> 機器取換え容易な収まり <input type="checkbox"/> メンテナンス作業空間の十分な確保 <input type="checkbox"/> その他[]	<input type="checkbox"/> 対策が困難 <input type="checkbox"/> その他[]

Q18 Q17の項目のうち、特に重要視していたものはどれですか？項目番号をご記入下さい。

①[] ②[] ③[] ④[] ⑤[]

VI. 実際の運用について

Q19 自然換気の現在の運転状況は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。
(複数回答可)

設計時に想定していた自然換気対象区画の[]%の区画で運転している
中間期は自然換気可能なとき常に運転している ナイトパージのみ 夜間の停止
花粉時期の運転停止 運転停止 その他[]

Q20 竣工後1年目と現在の自然換気運転時間・運転期間についてお答え下さい。わかる範囲内で結構です。
(竣工後2年未満の場合は設計時の想定との比較でお答え下さい。)

<運転時間>

増えた ほぼ変わらない 減った わからない
1年目 約[]時間 現在 約[]時間
(不都合がある場合には次の項目からご選択下さい。)
1年目 ～100時間 ～200時間 ～500時間 ～1000時間 1000時間～
現在 ～100時間 ～200時間 ～500時間 ～1000時間 1000時間～

<運転期間>

1年目 (春) []月[]旬～[]月[]旬 (秋) []月[]旬～[]月[]旬
現在 (春) []月[]旬～[]月[]旬 (秋) []月[]旬～[]月[]旬

Q21 自然換気使用時間が増えた・減った理由次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。
(複数回答可)

<増えた理由>

居住者からの意見によって調整を行ったため 居住者の省エネ意識向上のため
居住者への説明を行ったため 居住者の慣れ 気象条件の変化
管理者への説明を行ったため 管理者の慣れ 許可条件の緩和
建物の使用状況が変化したため 建物運用の最適化のために調節したため
わからない その他[]

<減った理由>

居住者からの意見によって許可条件を変更したため
居住者からの意見によって開閉頻度を変更したため
居住者からの意見によって自然換気対象空間を減らしたため
自然換気に対する居住者の理解度が十分でないため
管理者の引継ぎがうまくいかなかったため
管理者が自ら調整を行ったため 設計意図とは違った使用がされているため
建物の使用状況が変化したため 建物運用の最適化のために調節したため
わからない その他[]

Q21 設計段階で想定していなかった問題が運用後に生じた場合、それはどのような問題でしたか。また、その問題に対してどんな対策を行いましたか？(自由記述)

問題とその対策

Ⅶ. 自由記述とお願い

Q22 自然換気的设计や運用、または本アンケートに関してご意見・ご感想などをご自由にご記入下さい。

Q23 私共は調査・研究を更に深めるため、本物件の管理者様へも簡単なアンケートをさせていただきたいと考えております。手続き・連絡等を行い、問題ないよう十分配慮致します。
お忙しい中恐縮ですが、管理者様をご紹介頂けませんでしょうか。 Yes No

Q24 本アンケートの回答内容に関して、詳しくお聞きしたい場合、
メール等でご質問させていただいてよろしいでしょうか。 Yes No

Q25 差し支えなければご連絡先を教えてください。
E-mail アドレス[] 電話番号[]

以上で質問は終わりです、ご協力ありがとうございました。
アンケートに関するお問い合わせは、山本・久保木・鈴木までお願い申し上げます。

〒169-8555
東京都新宿区大久保 3-4-1 55 号館 S 棟 9F・901
早稲田大学理工学部建築学科 田辺新一研究室
M2 山本 佳嗣 (yoyamamoto@tanabe.arch.waseda.ac.jp)
B4 久保木 真俊 (kuboki@tanabe.arch.waseda.jp)
B4 鈴木 宏昌 (hsuzuki@tanabe.arch.waseda.jp)
Tel:03-5286-3125 / FAX:03-3202-3494

差し支えない範囲で結構ですので、御名前・貴社名などをご記入ください。
なお、ご希望の方には、本アンケートの集計結果を郵送させていただきます。

貴社名 [] 部署名・役職 []
ご回答者名 [] 電話番号 []

アンケート集計結果の送付を (希望する 希望しない)

■ 管理者アンケート票

自然換換気に関するアンケート

早稲田大学理工学部建築学科田辺研究室

このアンケートは、自然換気システムの運用状況を調査し、今後の自然換気システムの利用改善に向けたものです。一般論ではなく、実際に建物を管理されている皆様の率直なご意見をご記入頂きますようお願い致します。
 なお、お答え頂いたデータは統計的に処理され、本調査以外の目的には一切使用することはありません。また、機密を厳守し、個人や企業、建物が特定できるようなデータを公表することはありません。

ご多忙のところ誠に恐縮ですが、ご協力くださいますようお願い申し上げます。

(※この建物の自然換気システムに関する資料を頂くことが可能であればお願い致します。)

以下の質問について、例に示すように分かるような形で、チェックボックスにチェックを入れて下さい。

<記入例1 (黒に変換する)>

Q この建物は自然換気を導入していますか？

- 自然換気を導入している
 自然換気を導入していない

<記入例2 (フォントの色を変える)>

Q この建物は自然換気を導入していますか？

- 自然換気を導入している
 自然換気を導入していない

I. 管理業務について

Q1 この建物の管理業務を始めて何年目ですか、またその任期をお聞かせ下さい。

[] 年目 任期 [] 年

Q2-1 設計者の方から自然換気システムの運用について説明がありましたか。(複数回答可)

- 直接説明を受けた 説明会があった マニュアルを渡された 説明を受けていない
 その他[]

Q2-2 それはどのような内容でしたか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。(複数回答可)

- 設計意図 操作の方法 制御条件 制御条件の変更方法 換気経路
 省エネ効果 その他[]

Q3-1 利用者の方に自然換気システムの運用について説明を行いましたか？(複数回答可)

- 直接説明を行った 説明会を行った マニュアルを渡した 説明を行っていない
 その他[]

Q3-2 それはどのような内容でしたか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。(複数回答可)

- 設計意図 操作の方法 制御条件 制御条件の変更方法 換気経路
 省エネ効果 その他[]

Q4-1 前任の管理者がいた方にお聞きます。

前任の管理者の方から自然換気システムの運用について、説明がありましたか。(複数回答可)

- 直接説明を受けた 説明会があった マニュアルを渡された 説明を受けていない
 その他[]


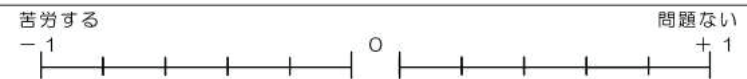
Q4-2 それはどのような内容でしたか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。(複数回答可)

- 設計意図 操作の方法 制御条件 制御条件の変更方法 換気経路
 省エネ効果 その他[]

Q5 自然換気システム運用の中で下記の項目について、ご自身の満足度をお答え下さい。

回答はスケールバーに一箇所、斜線をご記入下さい。

(記入例) 

項目	満足度
換気口の開閉操作	
自然換気システムの理解	

Q9 現在、自然換気を行っている区画についてお答え下さい。（複数選択可）

Q9-1 現在、自然換気を行っている区画は設計時に想定されていた自然換気対象空間全体の何%ですか？
設計時に想定していた自然換気対象区画の[]%の区画で自然換気を行っている。

Q9-2 現在、自然換気を行っている区画の用途は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をご選択下さい。
（複数回答可）

- 休憩スペース 事務室 食堂 教室 研究室 店舗
 展示スペース ロビー 運動場 その他[]

Q10 自然換気の使用時間や区画が増えた・減った理由は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべて
ご選択下さい。（複数回答可）

<増えた理由>

- 利用者からの意見によって調整を行ったため 利用者の省エネ意識向上のため
 利用者への説明を行ったため 利用者の慣れ 気象条件の変化
 設計者から説明を受けたため 管理業務の慣れ 許可条件の緩和
 建物の使用状況が変化したため 建物運用の最適化のために調節したため
 わからない その他[]

<減った理由>

- 利用者からの意見によって許可条件を変更したため
 利用者からの意見によって開閉頻度を変更したため
 利用者からの意見によって自然換気対象空間を減らしたため
 自然換気について利用者の理解度が十分でないため
 排煙用・緊急時にしか利用していないから
 制御方法が複雑だから 開閉操作が大変だから
 建物の使用状況が変化したため 建物運用の最適化のために調節したため
 わからない その他[]

Ⅲ. 自然換気における利用者からの指摘について

Q11 利用者の環境意識は次のうちどれですか？ 当てはまる項目をすべてご選択下さい。（複数回答可）

- 組織として省エネに取り組んでいる 建物の使い方をよく知っている 環境意識が高い
 以前も自然換気導入建物を利用していた 建築に関する知識がある わからない

Q12 自然換気の運用上想定される利用者からの指摘についてお聞きします。

各項目に対して、利用者からの指摘があった回数とその指摘が特に多かった時期をお答えください。

項目番号	項目	利用者からの指摘があった回数	利用者からの指摘が特に多かった時期
1	ほこり	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
2	夜間の虫の侵入	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
3	花粉	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
4	雨水の吹き込み	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
5	外からの騒音	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
6	換気口の作動音	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上

項目番号	項目	利用者からの指摘があった回数	利用者からの指摘が特に多かった時期
7	外への音漏れ (プライバシー)	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
8	風切り音	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
9	突風	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
10	ドラフト (不快な風)	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
11	換気口からの 熱気・冷気の侵入	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
12	居住域最上階の 温度上昇	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
13	結露、湿潤、 乾燥	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
14	外からのにおい	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上
15	その他 []	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 1回 <input type="checkbox"/> 2、3回 <input type="checkbox"/> 4回以上	<input type="checkbox"/> 特になし <input type="checkbox"/> 竣工後1年目 <input type="checkbox"/> 2、3年目 <input type="checkbox"/> 4年目以上

Q13 Q12の項目のうち、特に問題となった項目の番号を挙げ、それに対する対策方法をご選択下さい。

項目番号	対策方法		
[]	<input type="checkbox"/> 夜間のみ運転 <input type="checkbox"/> 自然換気対象空間の縮小 <input type="checkbox"/> 運転停止	<input type="checkbox"/> 夜間の停止 <input type="checkbox"/> 換気口製品の改良 <input type="checkbox"/> 利用者への説明	<input type="checkbox"/> 自然換気許可条件の変更 <input type="checkbox"/> 花粉時期の運転停止 <input type="checkbox"/> その他[]
[]	<input type="checkbox"/> 夜間のみ運転 <input type="checkbox"/> 自然換気対象空間の縮小 <input type="checkbox"/> 運転停止	<input type="checkbox"/> 夜間の停止 <input type="checkbox"/> 換気口製品の改良 <input type="checkbox"/> 利用者への説明	<input type="checkbox"/> 自然換気許可条件の変更 <input type="checkbox"/> 花粉時期の運転停止 <input type="checkbox"/> その他[]
[]	<input type="checkbox"/> 夜間のみ運転 <input type="checkbox"/> 自然換気対象空間の縮小 <input type="checkbox"/> 運転停止	<input type="checkbox"/> 夜間の停止 <input type="checkbox"/> 換気口製品の改良 <input type="checkbox"/> 利用者への説明	<input type="checkbox"/> 自然換気許可条件の変更 <input type="checkbox"/> 花粉時期の運転停止 <input type="checkbox"/> その他[]
[]	<input type="checkbox"/> 夜間のみ運転 <input type="checkbox"/> 自然換気対象空間の縮小 <input type="checkbox"/> 運転停止	<input type="checkbox"/> 夜間の停止 <input type="checkbox"/> 換気口製品の改良 <input type="checkbox"/> 利用者への説明	<input type="checkbox"/> 自然換気許可条件の変更 <input type="checkbox"/> 花粉時期の運転停止 <input type="checkbox"/> その他[]

IV. 自由記述

Q14 自然換気の運用、または本アンケートに関してご意見・ご感想などをご自由にご記入下さい。

Q15 本アンケートの回答内容に関して、詳しくお聞きしたい場合、
メール等でご質問させていただいてよろしいでしょうか。 Yes No

Q16 差し支えなければご連絡先を教えてくださいませんか。
E-mail アドレス[] 電話番号[]

以上で質問は終わりです、ご協力ありがとうございました。
アンケートに関するお問い合わせは、山本・久保木・鈴木までお願い申し上げます。

〒169-8555
東京都新宿区大久保 3-4-1 55 号館 S 棟 9F・901
早稲田大学理工学部建築学科 田辺新一研究室
M2 山本 佳嗣 (yoyamamoto@tanabe.arch.waseda.ac.jp)
B4 久保木 真俊 (kuboki@tanabe.arch.waseda.jp)
B4 鈴木 宏昌 (hsuzuki@tanabe.arch.waseda.jp)
Tel:03-5286-3125 / FAX:03-3202-3494

差し支えない範囲で結構ですので、御名前・貴社名などをご記入ください。
なお、ご希望の方には、本アンケートの集計結果を郵送させていただきます。

貴社名 [] 部署名・役職 []
ご回答者名 [] 電話番号 []

アンケート集計結果の送付を (希望する 希望しない)

■設計者アンケート自由記述

・運用段階で取り扱い説明をするだけでは難しく、長期的なフォローが重要であるが実際設計者が行うとなると実務上困難である。オーナーの理解協力が不可欠である。自然換気活用のオーナーの強い意思を誘導することが重要。

・省エネルギーと居住域環境とのバランス、兼ね合いで施主側がどちらに重きを置くかによって自然換気のウェイトが変わってくる。

・小中高の学校で、最近暑い寒いという空調をつける習慣ができてきている生徒に、自然換気の有効性を教育するという事で、自動制御でなく高窓換気等、積極的に自然換気を考慮しているという程度です。

・アンケートだけでなく、可能な限り多くの建物を訪問調査する必要があると思います。

・対象とした建物は、建物管理者の省エネ意識が高く、当初は、雨の侵入（降雨センサ感知とダンパ閉鎖のタイムラグ）や花粉を懸念されていましたが、共用廊下という室用途でもあり、積極的な運用を行う方向に移行しました。（竣工後2年目程度から）設計では、一部、各階での水平方向の換気経路を想定した風力換気を期待していましたが、竣工後の実測では、超高層ビル特有の煙突効果が支配的な結果となりました。従って、中性帯より上は排気方向のみとなります。このあたりが、通常のオフィスビルでは課題であり、各階均等に換気の効果を得たい場合は、中性帯位置を押し上げる工夫が必要と思います。

・記入には結構時間がかかりましたが、建物の管理状況などを再確認できて有用でした。

「ホコリの侵入が多くて使用していない」という現状には落胆しましたが、一般のお客様を入れる集客施設ゆえ、致し方ないところだと思います。自然環境に大きく左右される自然換気システムは、管理者と居住者が同じ組織に属する自社ビルではない場合、使用する際の強制力が働かず、少しでも問題があると使用を中止してしまう傾向にあると思います。

・下記を質問しては如何でしょうか。

「自然換気を行っている同エリアに外気冷房も可能となっているかどうか。」など

「換気回数」「当設計者が今回の物件までに何回自然換気的设计を行ったか。」

「自然換気用開口面積について（面積、面積算出方法）」

・今回は10年以上前に竣工した複合施設でありアトリウムはイベント広場、飲食店舗、施設のランドマーク等の多目的に使用されている。各階の回遊廊下の設置、イベント対応のための大規模改修を行っているが現在も中間期、夏期と自然換気が有効に活かされている。冷涼な外気の地域特性にもよる。

・私のフィールドである関西は特に高温多湿で、機械的システムを導入するとPAYしない場合が多いため事例が少ないです。

・担当のトップの方が自然エネルギー〔特に通風〕に詳しく、毎日風向計にて卓越風を計測されていました。工場ですがレンガ造り+通風のみです。当地は雨がよく降りますので、緑地による蒸発冷却とレンガの吸湿、自然通風を組み合わせました。冷房はありませんがなかなか好評でした。

・小規模建築ながら、建築主の環境志向が高く導入したが、イニシャル費用に対する効果がどの程度になるか予想しづらい。特に外気の通風力を利用しているため効果予想がつかみづらい。

・自然換気はいかに長時間利用してもらえるかが重要だと思います。そのためには自動制御で行うことも有効と考え本案件ではシステムを構築しました。

・自然換気口は、建物ファサードや、室内の窓廻り空間のデザインに影響しやすいため、デザインと省エネ性能などを総合的に判断する必要があり難しい。自然換気口自体の運用は、自動が良いか手動が良いかは建物用途によると思うが、事務所であれば自動でなければ実際にはほとんど動作させられないと思う。

・官公庁の建物では冷暖房の期間がはっきり決まっているので自然換気は有効では。管理者はリスク回避のために自然換気を停止して空調運転に変更するのだろう。

・都心で採用する場合には、換気口からの騒音を低減することが求められます。また、花粉症の人は、自然換気に対して拒絶反応があります。そのあたりを、コストをかけずにうまく解決する方法を見いだす必要があると感じています。今回の案件においては、アトリウムの自然換気を利用し、オフィスの外気冷房を行っていますが、オフィスの外気冷房に対しては、アトリウムがバッファー空間となり、その問題を解決しました。

・自然換気の運用状態は、テナントビルであるため運用段階での把握が難しい。本計画では、自然換気窓がある部屋が、学校、公共施設、民間オフィス、ホテルとさまざまであったため、居住者の意図しない状態で開閉しないよう給気側は自動制御によらず、敢えてマニュアル、ローテク仕様とした。学校や公共施設等では、各管理者の理解もあり積極的に自然換気窓を活用している他、高層階のホテルも換気窓が開くことをアピールしている。

・大空間（アトリウム）と一般居室、工場等と事務所では、その対策運用方法が違ってくると思います。用途別に対応を分類した方が良いのではないかと思います。

・超高層ビルでユーザー開放した自然換気口で、突風や雨の侵入を防ぐ必要があり、外壁構成により換気口面積を制限する必要があったが、ビルに自然換気（窓）を取り入れることは、エネルギーの面だけでなく人に開放感を与えるなどとてもよいことと考える。

・施主、使用者（実際の居住者を含めて）が、自然換気を併用することでの設計条件の緩和を受け入れないのが一般的であり、完全空調空間を確保した上で、中間期に、付加的且つ補助的意味合いが、実際は大きいと思われる。その場合、一定規模以上の建物でないと、対費用効果から導入は非常に難しい。ユーザーが、換気の基本である窓開けをこまめにする意識があれば、非常に有効と思うが、都心では、騒音・粉塵（花粉）など、対処すべき問題が多く、なかなか採用できないのが現状。自然換気を利用して快適性が変わらない空間ができればいいが、対費用効果からすると、現状では非常に困難。冷暖房が当然の現代人にある程度の我慢（室内環境のゆらぎ）を許容するような社会にならなければ・・・。

・自然換気は、室内条件の許容範囲の大きいところがかつ、大空間のようなところでの採用が最も効果的と考える。

・100mm/hの雨で、室内に雨が吹きこむ直前に自動閉鎖する換気口（実験で確認）をつくり、特許もとったが、管理者の理解を得られず、ほとんど使用されないのは残念であった。1000箇所は多すぎるのかもしれない。

・〇〇は、本来の自然換気とは言えません。自動制御を行うナイトパーズに主体を置きナイトパーズ用の小容量補助ファンまでつけています。元々、ナイトパーズによる蓄励行かを得るために設計しましたが、夏のピーク時には、外気温度も高いため、空調負荷の削減効果はほとんどなしでした。あくまで、中間期の使用エネルギーの低減という位置付けです。

・竣工後昼間開放できる小窓をつけるべきとの批判もありましたが、風の強い高層建築で建物使用者が自然換気と空調をうまくバランスさせて運転できるかは、わたしには分かりません。低層建築であれば、窓を普通に開閉できるので問題はないのですが・・・

・質問にもあったが、春、秋の温度条件の良い時期と花粉症の時期の発生が重なることに悩んでいる

・外気冷房について、その有効期間拡大のためには、温度やエンタルピーだけでなく、冬季の室内湿度の条件緩和が必要。逆に、いかに湿度コントロールを行うかが、大きな課題であると言える。

・今後とも採用を検討していきたいと思います。特にありません。

・粉塵や花粉などの自然換気時の障害について今後重要視していきたい。管理者側への意識の徹底（啓蒙）←これは施主の協力も必要不可欠。一方、電車にも「空気清浄機」が実装され始めている日本において、「大気汚染度」も考慮した計画も行わないと難しいかもしれない。＜AHUにフィルターを介して外気を入れないと空気が汚いということ。＞学生しか出来ない（企業では難しい）このようなフラットなアンケートは、回答企業にとってもメリットがあり良い発想だと思う。

・自然換気は室内条件の許容範囲の大きいところであつ大空間のようなところでの採用が最も効果的と考える。

・本件では自然換気を一般のサッシの開閉で行った経緯があるので、あまり研究のご参考にはなりえないのではないかと思います。

(2) 管理者アンケート自由記述

- ・利用者（在室者）の個人差（寒がり、冷気の侵入をいやがる）による苦情がある。
- ・当物件は外気を外壁ダブルスキンから導入しているため、下階と上階では温度差が生じる。
- ・コストの問題がありますが、自然換気許可条件、制御は各階毎がベスト、又は低層、中層、高層のグループ分けがベターと考えます。（K 本社ビル管理者）

- ・手動操作では、開閉の確認がし辛く、遠隔操作が望ましいと考えられるが、そのための費用対効果を考慮すると現状とならざるを得ない。本システムは雨水対策に難点があり、且つ手動操作も円滑なシステム運用を阻害している。（R 研究所管理者）
- ・自然換気の運用に関して、外部委託しているので管理者としては恥ずかしい限りであるが、くわしいことはよくわかっておりません。
設計のコンセプトは単純明快なシステムであり、おもしろいと思います。ただ、これを一般企業で行うにはインシヤルコストがかかりすぎるのではないかと思います。（ソーラーチムニなどの大がかりな設備が必要）（K 学校施設課）
- ・当館の換気システムは「スウィンドウ」を採用しており、夜間に館内の熱気を排出することにより、省エネ効果を上げていると思われる。（K 庁舎管理者）
- ・メンテナンスは1年に1回（春）行っている。3年目に換気口のジョイント部分が壊れ、全館部品交換を行った。床吹き出し空調であるが、女性が寒いとの苦情があった。突風状態の時に換気口から音がするという苦情があったが対策はできなかった。自然換気は、本当に省エネ効果があるかどうかデータから読み取れないので、効果には疑問が残る。（KH 本社ビル）
- ・運用に関しては、お客様の理解が必要と感じている
- ・室温の設定温度によっては、中間期においての空調熱源エネルギーはかなり抑えることができるものと感じている。
- ・お客様（利用者）から埃に関する指摘は特にないが、メンテナンス（清掃）において指摘のあがる部分である
- ・利用する自然状況によっては、室内を汚損する原因となるので、注意が必要（I 研究所）
- ・外気導入により「寒い」というクレームがあった。（M 本社ビル）
- ・自動制御設定値が適正でなかった。→設定変更を行った。（Y オフィスビル）

謝 辞

本研究を進めるにあたり、早稲田大学教授 田邊新一先生には、研究室に所属していた学生時代より、大学卒業後において設計事務所での設計という立場で設備設計に関わるようになった現在まで、長年にわたるご指導とご鞭撻を賜りました。自然換気の運用という研究テーマに12年間にわたって取り組み、ここに学位論文として取り纏めることができたのは、研究室時代から続く先生の大きな導きによるものです。深く感謝申し上げます。

早稲田大学教授 長谷見雄二先生、高口洋人先生には、ご多忙のなか本論文の審査の労をお取りくださり、有益かつ丁寧なご指導を頂きました。心より御礼申し上げます。審査会における先生方との質疑応答は、私にとって大きな財産となりました。

首都大学東京名誉教授 石野久彌先生、宇都宮大学教授 郡公子先生には先生方が開発された最新の自然換気計算機能を優先して使っていただくなど、第4章、第5章の内容に関して多大なるご支援とご指導を頂きました。また、委員会活動を通して、論文の纏め方から研究に対する姿勢、考え方に至るまで、私の研究活動の礎となる多くの有益なご教示を頂きました。深く感謝致します。

本論文の第4章のシミュレーション検討および第5章の内容は、東京大学名誉教授 村上周三先生を委員長とするBESTコンソーシアムにおけるBEST専門版統合化WG 建築SWGの活動成果の一部が骨子となっております。さらに、第4章の計画初期段階の換気経路の設計法に関しては、大阪大学 甲谷寿史先生を主査とする日本建築学会 自然換気・通風WGでの活動から多くの影響を受けました。両委員会の皆様より多大なるご支援を頂きましたことをここに記します。

私の研究の中核をなすのは2章の実態調査であり、実務家の皆様から回答頂きましたアンケート結果の分析です。大変手間のかかるアンケート調査に快く対応頂き、真摯に回答頂きました実務家の皆様に改めて感謝致します。また、2章の内容においては、大学在籍時の共同研究者である、当時早稲田大学理工学部 久保木真俊氏、鈴木宏昌氏（現日建設計）らに多大なる助力を得ました。

本論文は大学という研究の場から始まり、設計事務所という実務の場に立場を変えながら完成を目指したものです。このようなことが可能であったのは、上司・同僚の皆様から業務に対する指導と研究への理解を頂いたことによります。特に6章の実設計物件は古谷政秀氏、棚木学氏、佐々木真人氏、小見山堤子氏、流田倫代氏（日本設計）との共同設計によるものです。チームでの設計業務を通して設備設計者として重要な多くのことを学ばせて頂きました。部門長である柳井崇博士には、多くの業務がある中で、私の博士論文への挑戦について快諾頂きました。私が本研究を学位論文として取り纏めることを決意したのは、柳井博士が日常業務をこなしながら博士号を取得されたことがきっかけであり、入社当初より設計実務と研究活動を常に両立する姿に多大なる影響を受けました。

最後に、3人の子育てを引き受け、私の研究活動を様々な面から支えてくれた妻、常に私の心の支えである3人の子供、そして両親に心より感謝します。

2017年2月
山本 佳嗣

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 山本 佳嗣 印

(2016年 11月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○論文	温度差を利用した自然換気及びハイブリッド空調の省エネ効果に関する研究 第1報—必要自然換気口面積の1次予測法の提案とシミュレーション解析による影響評価, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 233, pp. 1-10, 2016. 8, <u>山本 佳嗣</u> , 村上 周三, 石野 久彌, 郡 公子
○論文	自然換気システムの換気口開放条件に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 722 号, pp. 375-384, 2016. 4, <u>山本 佳嗣</u> , 田辺 新一
○論文	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. 9, <u>山本 佳嗣</u> , 久保木 真俊, 鈴木 宏昌, 田辺 新一
著書 (共著)	見る・使う・学ぶ 新世代の環境建築システム, 技報堂出版 日本建築学会編, 「ハイブリッド空調 使う」 pp. 48-51, 2016. 6, 赤司泰義, 石野久彌, <u>山本佳嗣</u> , 星野聡基, その他 36 名
著書 (共著)	実務者のための自然換気設計ハンドブック, 技報堂出版 日本建築学会編, 4.1 節, 4.3.4 節, 4.4 節, pp. 36-40, 50-65, 2013. 8, 倉渕隆, 甲谷寿史, 山中俊夫, <u>山本佳嗣</u> その他 11 名
講演	外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発 (その 174) 連成計算による自然換気・外気冷房の省エネ効果検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 25-28, 2016. 9, <u>山本 佳嗣</u> , 村上周三, 石野久彌, 郡公子, 品川浩一
講演	建築エネルギー・環境シミュレーションツール「BEST」の開発：第 64 報 自然換気・外気冷房の連成計算, 建築学会大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学 II, pp. 967-968, 2016-09-04, <u>山本 佳嗣</u> , 村上 周三, 石野 久彌, 郡 公子, 品川 浩一
講演	建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発：第 54 報 自然換気計算機能を用いた自然換気利用法と効果に関する検討, 建築学会大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学 II, pp. 967-968, 2015-09-04, 山本 佳嗣, 村上 周三, 石野 久彌, 郡 公子, 品川 浩一
講演	外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発 (その 159) 自然換気計算機能を用いた自然換気システムの省エネ効果に関する検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 25-28, 2015. 8, <u>山本 佳嗣</u> , 村上周三, 石野久彌, 郡公子, 品川浩一
講演	Seminar 26 Ongoing Energy Performance of Multi-Use Solar Heating and Cooling Systems for Environmentally Conscious Accommodation Facilities in Japan, ASHRAE 2014 Winter Conference in New York, <u>Yoshihide Yamamoto</u> and Masato Sasaki

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	計画初期段階における自然換気システム基本設計法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 選抜梗概, pp. 791-794, 2014. 9, <u>山本 佳嗣</u>
講演	シンポジウム「実務者のための自然換気設計 ～ 理論、基本設計、詳細設計から実践まで」, 日本建築学会, 2013. 10. 8, 大場正昭, 甲谷寿史, 武政祐一, <u>山本佳嗣</u> , 庄司 研, 多賀 洋, 坂口武司, 安田健一, 堀川 晋, 倉渕 隆, 山中俊夫, 岩橋祐之
講演	自然換気システムの持続的活用に関する研究 第1報 自然換気システムの分類および設計意図の調査, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 1397-1400, 2006-09-05 鈴木 宏昌, 久保木 真俊, <u>山本 佳嗣</u> , 安宅 智洋, 北田 真, 渡邊 賢太郎, 田辺 新一
講演	自然換気システムの持続的活用に関する研究 第2報 自然換気システムの運用状況調査, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 1393-1396, 2006-09-05 久保木 真俊, 鈴木 宏昌, <u>山本 佳嗣</u> , 安宅 智洋, 北田 真, 渡邊 賢太郎, 田辺 新一
講演	自然換気システムの持続的活用に関する研究 第3報 自然換気システムの持続的活用による省エネ効果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 1401-1404, 2006-09-05 <u>山本 佳嗣</u> , 田辺 新一, 鈴木 宏昌, 久保木 真俊, 安宅 智洋, 北田 真, 渡邊 賢太郎
講演	持続的活用に向けた自然換気システムに関する研究 その3. 自然換気システムの持続的活用による省エネ効果, 建築学会大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学 II, pp613-614, 2006-07-31, <u>山本 佳嗣</u> , 久保木 真俊, 鈴木 宏昌, 安宅 智洋, 北田 真, 渡邊 賢太郎, 田辺 新一
講演	建築系環境・情報マネジメントに関する研究 その9 自然換気システムの実測調査概要と LCM システムによる長期実測結果, 建築学会大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学 II, pp. 1321-1322, 2005-07-31, <u>山本 佳嗣</u> , 北田 真, 田辺 新一, 市川 卓也, 水越 英一郎
その他 (著書 ・共著)	見る・使う・学ぶ 環境建築, オーム社 日本建築学会編, 2011. 5. 26, pp. 78-81 ダブルスキン「使う」, 石野久彌, 郡公子, 長井達夫, 羽山広文, 佐々木真人, <u>山本 佳嗣</u> , その他 31 名
その他 (講演)	シンポジウム 新世代の環境建築システム ーデザイン論と技術論, 日本建築学会, 2016. 6. 3, 「ハイブリッド空調」, 浦木 拓也, 山崎 敏幸, 安田 孝, 水出 喜太郎, 佐々木 真人, 白鳥 泰宏, 土屋 哲夫, 篠原 奈緒子, 永田 明寛, <u>山本 佳嗣</u> , 左 勝旭, 羽山 広文, 室 淳二郎, 長井 達夫, 赤司 泰義, 関根 雅文
その他 (講演)	シンポジウム 新設計条件適応空調システム ーZEB (ゼロ・エネルギービル) 時代の空調設計条件とは一, 空気調和・衛生工学会, 2015. 11. 10, 「自然換気・ハイブリッド空調の設計条件」, 田辺 新一, 中野 淳太, 小野島 一, 野部 達夫, <u>山本 佳嗣</u> , 秋元 孝之, 鞆 飼 真成, 岡崎 俊春, 堀川 晋, 安田 健一, 織間 正行, 角 晴輝, 亀谷 茂樹

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
その他 (講演)	熱回収ヒートポンプを利用した次世代居住域空調システムの検討（その1）システム概要と CFD による検討結果，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2015，第 3 巻 pp477-480， <u>山本 佳嗣</u> ，杉本 遼太
その他 (講演)	外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発，（その 135）超高層オフィスビルの基本設計における BEST の適用，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2014，第 5 巻 pp21-24， <u>山本 佳嗣</u> ，村上 周三，石野 久彌，郡 公子，品川 浩一
その他 (講演)	Ongoing Energy Performance Assessment of Multi-Use Solar Heating and Cooling Systems for Environmentally Conscious Accommodation Facility, GRAND RENEWABLE ENERGY 2014 Proceedings 27 August, 2014 0-Th-8-6, <u>Yoshihide Yamamoto</u> and Masato Sasaki
その他 (講演)	第 44 回セミナー ZEB の最新動向と要素技術，空気調和衛生工学会，2014. 2. 26，自然換気，黒本 英智，川瀬 貴晴， <u>山本 佳嗣</u> ，左 勝旭，高橋 満博，伊藤 剛
その他 (講演)	滞在型研修施設における再生可能エネルギー利用に関する研究，消費エネルギー傾向と太陽熱利用システムの実測結果，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，745-748，2012-08-20， <u>山本 佳嗣</u> ，佐々木 真人
その他 (講演)	環境配慮型庁舎における環境性能評価（第 2 報）自然換気に関する計画概要と予測及び導入効果に関する基礎的実測，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，593-596，2008-08-08， <u>山本 佳嗣</u> ，海藤 俊介，竹部 友久，岡 建雄，星野 聡基，横尾 昇剛
その他 (記事)	寒冷地に建つアトリウムとダブルスキんファザードを持つ複合施設の環境性能評価 第 2 報 ダブルスキんファザードの日射遮蔽性能・熱収支，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp. 2253-2256，2007-08-24， <u>山本 佳嗣</u> ，北原 知治，柳井 崇，田辺 新一，久保木 真俊，鈴木 宏昌，大王丸 健太
その他 (講演)	寒冷地に建つアトリウムとダブルスキんファザードを持つ複合施設の環境性能評価 その 5. BEMS データの解析による環境負荷削減効果の検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp1345-1346，2007-07-31， <u>山本 佳嗣</u> ，大王丸 健太，久保木 真俊，鈴木 宏昌，北原 知治，柳井 崇，安宅 智洋，田辺 新一
その他 (講演)	空調設備におけるファクター4 の研究 その 2 機器性能向上による環境負荷削減効果の検討，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp1733-1737，2005. 8， <u>山本 佳嗣</u> ，田辺 新一，梅主 洋一郎，杉原 義文，加用 現空，安宅 智洋
その他 (記事)	建築設備士 参議院新議員会館，建築設備技術者協会，pp. 2-8，2013 年 11 月号， <u>山本 佳嗣</u> ，大塚 淳，石井 秀典
その他 (記事)	設備と管理 自然換気の使いこなし術，オーム社，pp57-66，2013 年 8 月号， <u>山本 佳嗣</u> ，田辺 新一