

ポスト COVID-19 に向けた建築・設備における ウイルス感染症対策と省エネルギーの両立 Ver.1

ポスト COVID-19 における空調・換気・通風計画のあり方検討委員会
住宅・非住宅建築物の省エネルギー・脱炭素・室内環境のための技術体系に関する研究
実証データに基づく技術開発プロジェクト(自立循環プロジェクト) 編

第1章 はじめに	1
1.1 新型コロナウイルスの感染拡大と建築物衛生に関する対応	3
1.2 建築設備に関する資料の必要性	4
1.3 本資料の構成	6
第2章 建築物における新型コロナウイルス感染症に関する知見	7
2.1 厚生労働省	8
2.1.1 「換気の悪い密閉空間」を改善するための対策	8
2.1.2 夏期における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気 ^{2),3)}	9
2.1.3 冬期における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気 ⁴⁾	11
2.1.4 新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について ⁵⁾	12
2.2 日本建築学会	14
2.3 空気調和・衛生工学会	16
2.3.1 エアロゾル伝播による感染症の感染リスク低減策の原則	16
2.3.2 建物用途ごとに推奨される建築設備の運用方法 ¹⁾	16
2.3.3 空調の還気による感染リスクについて	17
2.4 WHO、CDC、REHVA、ASHRAE	18
2.4.1 WHO	18
2.4.2 CDC	18
2.4.3 REHVA ⁷⁾	19
2.4.4 ASHRAE ⁸⁾	20
2.5 接触感染対策に関する関連論文・報告	22
2.5.1 環境表面での生存期間	22
2.5.2 手指衛生及び清掃・消毒の方法と効果	22
2.5.3 実環境におけるウイルス検出と感染リスクの評価	23
2.5.4 接触感染対策	23
2.5.5 まとめ	23
2.6 COVID-19 と湿度の関係に関する関連論文・報告	26
2.7 感染事例から見る換気量の役割	28
2.7.1 換気量と感染確率	28
2.7.2 WHO 推奨の換気量又は換気回数 ²⁾	28
2.7.3 厚生労働省推奨の換気量	29
2.7.4 感染事例から見る換気量の役割	29
2.8 室内空気の攪拌がウイルス感染症対策に与える影響に関する関連論文・報告	31
2.9 薬剤の空間噴霧	33
2.10 ヒトに感染するコロナウイルス HCoV,SARS,MERS,SARS-CoV-2	35
2.10.1 ヒトに感染するコロナウイルス	35
2.10.2 コロナウイルスの分類	35
2.10.3 ウイルスの感染力を表す基本再生産数 R_0	35
2.10.4 今後起きる新たな感染症への備え	37

第3章 オフィスビル 感染拡大時に備えたウイルス感染症対策技術	39
3.1 オフィスビル 感染拡大時の建築物におけるウイルス感染症対策の実態	40
3.1.1 建築物におけるウイルス感染の機序	41
3.1.2 建築物におけるウイルス感染対策がエネルギー消費に与える影響	42
3.1.3 厚生労働科学研究等による室内環境調査データを用いた分析	45
3.1.4 ウイルス感染症対策の実態調査	50
3.2 オフィスビル ウイルス感染症対策技術	70
3.2.1 建築計画による接触感染対策	70
3.2.2 空調設備	73
3.2.3 通風・換気計画	82
3.2.4 個別の対策技術	102
3.2.5 複合的な対策技術	152
第4章 住宅 感染拡大時に備えたウイルス感染症対策技術	159
4.1 住宅 感染拡大時の建築物におけるウイルス感染症対策の実態	160
4.1.1 新型コロナウイルス感染症が生活に与える影響	160
4.1.2 住宅における新型コロナウイルス感染症対策	163
4.1.3 新型コロナウイルス感染症がエネルギー消費に与える影響	168
4.2 住宅 ウイルス感染症対策技術	171
4.2.1 建築計画における接触感染対策	171
4.2.2 通風・換気計画	173
4.2.3 個別の対策技術	195
第5章 おわりに	203
執筆者名簿	205
委員名簿	206

第1章 はじめに

(林基哉)

2019年11月22日に、中国武漢市で「原因不明のウイルス性肺炎」が確認された。WHOは、2020年3月11日にパンデミック相当との認識を示した。2022年3月8日時点についてのWHOの集計では、全世界で4億4千万人超が感染しその約1.3%が死亡し、日本では543万人超が感染しその約0.5%が死亡したとされている。世界の社会、経済、文化に大きな影響をもたらしたこのウイルスは、「ポストコロナ」といわれる時代への変革を引き起こしつつある。

日本では、2020年2月から集団感染が確認されはじめ、2月25日に厚生労働省クラスター対策班が設置され、3月1日に新型コロナウイルスの感染拡大の予防策として、「新型コロナウイルスの集団感染を防ぐために」が公表された。集団感染の共通要因として、換気が悪く、人が密に集まって過ごすような空間、不特定多数の人が接触するおそれが高い場所、が挙げられ、建築物の室内環境対策が緊急となった。

従来、ペッテンコフファー(1818-1901)、ナイチンゲール(1820-1910)、森鷗外(1862-1922)など、医療看護、公衆衛生の視点から、建築物の室内環境の重要性が指摘されてきた。建築分野においては、感染症対策などの利用者の健康維持は最も基本的な要素であると考えられ、設計計画の基礎と位置付けられている。日本では1970年に建築物衛生法が施行され、建築物の室内環境を維持する体制が設けられている¹⁾。これによって、欧米で見られた室内空気環境の悪化による健康影響(シックビル症候群)が抑制された可能性が指摘されている。しかし、これまでの室内環境に関する基準は、社会全体の公衆衛生を維持向上させることを前提に一般的な建築物で実現可能な範囲で定められているため、感染力が強いウイルスを抑制することは意図していない。一方、危険性が高いウイルス等を扱う研究施設や医療施設では、特定の基準に基づいた施設整備と維持管理が求められているが、このような基準を一般的な建築物に適用することは不可能である。2009年に発生した新型インフルエンザ(A/H1N1)の流行を踏まえ、2013年4月13日に新型インフルエンザ等対策措置法が施行された。この法律では、患者数のピークを抑えることで健康被害を最小限にとどめるために、国民、企業、医療、行政等に様々な対応を要請・指示する措置が示されたが、建築物の室内環境に関する基準の検討は行われていなかった。

一方、1970年代の石油危機を契機に省エネルギーの必要性が広く認識され、近年では地球温暖化対策が国際的な重要課題となり、建築物におけるエネルギー消費の削減が必須となっている。建築物衛生法に基づく室内環境の測定結果によると、換気量が不足している建築物が増加しているが、この要因として、省エネルギーのための換気量の抑制が挙げられている。換気量の不足は、室内空気環境を悪化させ様々な健康影響をもたらすと共に、室内でのウイルスへの感染リスクを増加させることになる。このような状況は、省エネルギーと健康維持の両立には新たな対応が必要であることを示している。地球温暖化による生態系の変化、永久凍土の融解が、感染症媒介動物の生態変化、新興ウイルス等の発生・伝搬の要因として挙げられている。地球温暖化対策は、新興再興感染症対策としても重要である。したがって、建築設備分野においては、省エネルギーと感染症対策の両立が緊急の課題である。

本委員会「ポスト COVID-19 における空調・換気・通風計画のあり方検討委員会」は、新型コロナウイルス感染症の感染拡大の中で、建築設備分野における対策に関する最新の情報を取りまとめ、ウイルス感染症への対策を実現するための考え方、新旧の関連技術の利用方

法、建築設備の使い方・維持管理に関する基本的指針を示すことを目的として始められた。本委員会は、研究者、設計者、技術者をはじめとした建築物にける感染症対策と省エネルギー対策の担い手によって構成され、実効性のあるポスト COVID-19 におけるウイルス感染症対策と省エネルギーの両立にむけた情報発信を目指している。本資料は、2021 年度の成果を取りまとめたものであり、2022 年度には更なる科学的知見を収集し、効果的な対策に関する検討を加える。最終的には、ポスト COVID-19 におけるウイルス感染症対策と省エネルギーの両立に関するガイドラインの作成を行う予定である。

■ 語句解説

① 新型コロナウイルス(SARS-CoV-2) :

コロナウイルス科ベータコロナウイルス属の新型コロナウイルス(ベータコロナウイルス属のコロナウイルス。令和2年1月に中華人民共和国から世界保健機関に対して、人に伝染する能力を有することが新たに報告されたものに限る。厚生労働省)

② 新型コロナウイルス感染症(COVID-19) :

新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)による急性呼吸器症候群(厚生労働省)

③ クラスター感染(集団感染) :

「集団発生とは、当面の間接触歴等が明らかとなる 5 人程度の発生を目安とする。」「新型コロナウイルス感染症における患者クラスター(集団)対策について(依頼)」(厚生労働省、令和2年2月26日000619966.pdf (mhlw.go.jp))

④ エアロゾル感染 :

「感染者の口や鼻から、咳、くしゃみ、会話等のときに排出される、ウイルスを含む飛沫又はエアロゾルと呼ばれる更に小さな水分を含んだ状態の粒子を吸入するか、感染者の目や鼻、口に直接的に接触することにより感染する。一般的には1メートル以内の近接した環境において感染するが、エアロゾルは1メートルを超えて空気中にとどまりうることから、長時間滞在しがちな、換気が不十分であったり、混雑した室内では、感染が拡大するリスクがあることが知られている。」

新型コロナウイルスに関するQ&A(一般の方向け)(厚生労働省)、新型コロナウイルスの感染様式(WHO <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>)

参考文献

1. 厚生労働省“建築物における衛生的環境の確保に関する法律(昭和 45 年法律第 20 号)”, 2015.3.20

1.1 新型コロナウイルスの感染拡大と建 築物衛生に関する対応

(林基哉)

日本では、図 1.1.1.1 に示すように新規感染者数が増減を繰り返し、2020 年 4 月、8 月、2021 年 1 月、5 月、8 月にピークを示し、死亡者数は新規感染者数に対応して変化した。新規感染者数、医療提供の状況などを踏まえた緊急事態宣言等による感染対策が行われたことで新規感染者数増加が抑制された結果、このような変化が発生したと考えられる。

新興感染症に対しては、その感染力や重症化リスクなどの感染対策の基礎情報が不明な段階で、対策を進めなければならない。このため、進行する感染事例の分析によって対策を立案し、速やかに実施することが重要である。厚生労働省は 2020 年 2 月 25 日にクラスター対策班を設置して、個別のクラスター感染の拡大抑止を図るとともに、クラスター感染の要因分析を行った。この分析に基づいて、厚生労働省は 3 月 1 日に「新型コロナウイルスの集団感染を防ぐために」を公表した。その中で、換気対策の必要性が示された。その背景には、日本の建築物における換気の全体像が不明であると共に、換気に関する基準を満たさない、場合によっては大幅に換気量が少ない建築物が存在している可能性が否定できないことがある¹⁾。

厚生労働省は、クラスター対策班によるクラスター感染事例の分析、建築物衛生法に係る換気の実態等を踏まえ、2020 年 3 月 30 日に「商業施設等における『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気について」を公表し、建築物衛生法に対応した換気量の確保の徹底と、換気設備の調整や窓開けによる換気量の増加を推奨した。

2020 年 4 月中旬から建築物衛生分野の研究者らによって夏期に向けた換気対策の検討が行われ、国立保健医療科学院のウェブサイトで公表された。5 月 26 日に環境省と厚生労働省は、自治体等に「令和 2 年度の熱中症予防行動について(周知依頼)」を通知し、新型コロナウイルス感染症対策を踏まえた熱中症予防の周知を求めた。また、厚生労働省は有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、推奨される方法を検討し、6 月 17 日に「熱中症予防に留意した『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気について(参考資料)」を公表した。

厚生労働省は、冬期の外気温が低い環境下において、換気の悪い密閉空間の改善と適切な室温及び相対湿度の維持をどのように両立するかについて、有識者の意見を聴取し、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、11 月 27 日に「冬場における『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法」を公表した。

令和 2 年度厚生労働科学研究「新興・再興感染症のリスク評価と危機管理機能の実装のための研究」の一環でクラスター感染が発生した病院に関する空調換気調査が行われた。クラスター感染が発生した病院 9 件を対象に、感染時の換気及びエアロゾル挙動に関する調査を行った。病棟内の広い範囲の患者と医療スタッフが感染した場合とネーザルハイフロー(NHF)等のエアロゾルが発生する医療行為にともなった感染が指摘された場合がある。厚生労働省は、この結果に基づいて 2021 年 4 月 7 日に事務連絡「新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について」を出し、保健所などに対応を求めた。

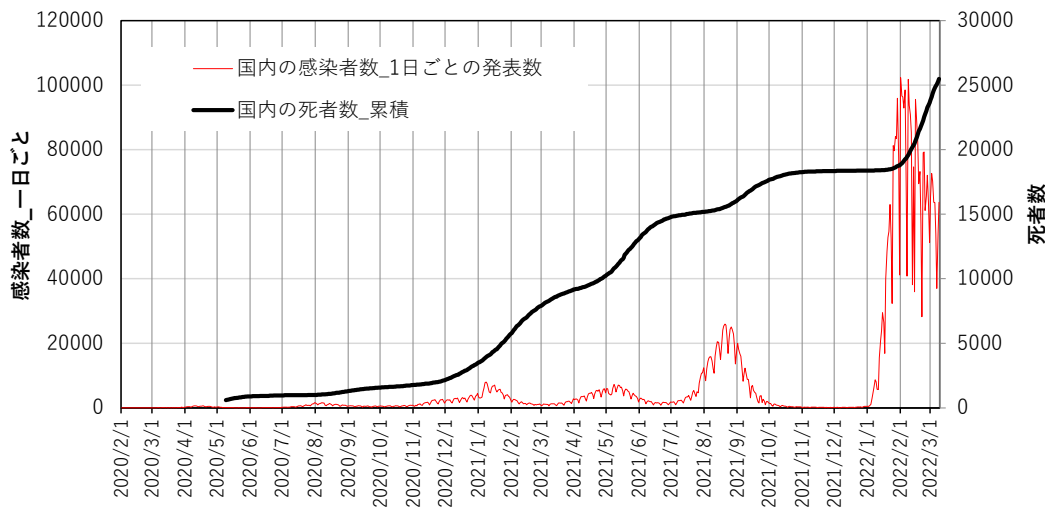


図 1.1.1.1 新型コロナウイルス感染症の新規感染者数と累積死亡者数の推移(厚生労働省)

出典：厚生労働省ホームページ「国内の発生状況」をもとに作成

<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kokunainohasseijoukyou.html>

参考文献

1. 林基哉、金勲、開原典子、小林健一、鍵直樹、柳宇、東賢一、特定建築物における空気環境不適率に関する分析、日本建築学会環境系論文集、2019; 84 (765) :1011-1018.

1.2 建築設備に関する資料の必要性

(林基哉)

新型コロナウイルス感染症の感染拡大によって、ウイルス感染症の社会への影響は非常に大きく、医療分野のみでは対応できないことが明らかになった。現代の人間は、ほとんどの時間を建築物内で過ごすため、ほとんどの感染は室内環境中で発生する。今後の新興再興ウイルスへの備えとしても、建築物の室内環境における対応が不可欠である。

従来、感染経路には接触感染、飛沫感染、空気感染の3つがあるとされている。新型コロナウイルスについては、当初空気感染は否定されていたが、空気感染の可能性が否定できないことが指摘されるに至っている。これは、感染者の咳や発声等に伴う飛沫を近距離で吸引することによる感染ばかりではなく、気流によって移動したウイルスを吸引することによる感染の可能性が指摘されたことによるものである。後者について国内では、「微小飛沫感染」、「エアロゾル感染」と仮に呼ばれている。図 1.2.1.1 に示すように、感染者から放出された飛沫は、その粒径によって挙動が異なり、様々な経路を経て被感染者に到達する。ウイルスは飛沫とともに複数の経路で移動し、被感染者に到達するため、実際のどのような経路が主であるかを特定することは非常に難しい。感染力が強いウイルスの場合には、複数の経路で到達したウイルスで感染が発生することも否定できない。これらの感染機序については、今後さらなる研究が必要であると考えられる。

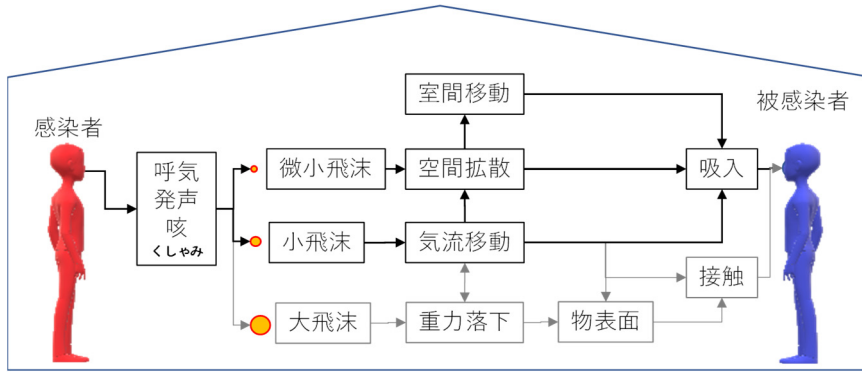


図 1.2.1.1 室内環境中のウイルス感染の機序

建築物の室内環境対策としては、接触感染、飛沫感染、空気感染のそれぞれについて配慮する必要があり、建築計画、建築環境、建築設備、建築材料など、様々な視点での配慮が必要である。例えば、建築計画では、ウイルスを持ち込まない、広げないための間取りや動線、建築環境では、空気環境や温熱環境、建築設備では、空調換気、衛生設備、建築材料では抗ウイルス材など、対策は多くの分野で必要である。図 1.2.1.2 は、建築・設備とその維持管理によって室内空気環境を維持することで、室内空気中に拡散したウイルスの濃度を抑制する機序を示している。感染者からのウイルスの発生量、換気や空気清浄の効果、室内温湿度、マスクの利用、滞在時間等によって、在室者のウイルス吸引量が異なる。ウイルス発生量は感染者の症状や行為によって大きく異なると共に、感染者の存在確率は、市中感染の状況や建物用途などによって異なる。また、感染リスクは、被感染者の抵抗力によっても変わると考えられる。いずれにしても、建築・設備とその維持管理によって形成される室内温熱空気環境が、感染リスクと関連している。このような、感染機序を踏まえた建築・設備とその維持管理の在り方を再考し、新しい感染対策技術の開発、新旧の感染対策技術の効果的な導入の検討が必要である。これらの対策の効率的な組み合わせも重要である。新しい技術の開発、効率的な導入方法の検討、投資効果の推定、実施と効果の検証を進めていく必要がある。このためには、感染症対策の要素技術の基本的評価方法が必要である。本資料の目的は、評価のための基本的枠組みを明らかにすることである。

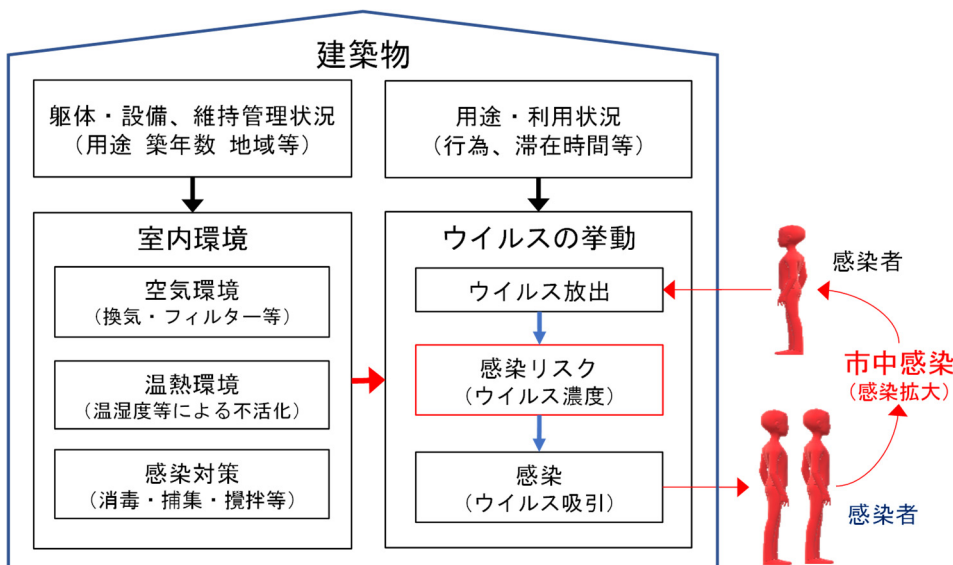


図 1.2.1.2 建築・設備、維持管理と新型コロナウイルス感染症

1.3 本資料の構成

(上野貴広)

本資料では建物や換気・空調における感染対策に関する国内外の知見を共有し、設計、企画、施工、製品開発に関わる実務者に確実に推奨できる具体的方策をまとめていく。

まず第1章では、2019年末から始まった新型コロナウイルス(COVID-19)の世界的な感染拡大について概説するとともに、ウイルス感染症を建物や換気・空調で防ぐという考え方とその必要性を説明する。続く第2章では、新型コロナウイルス感染症と室内環境の関係等に関する国内外の知見について、行政による公表資料や、国内外の学会等による関連論文・報告の紹介から、COVID-19とMERSやSARSとの違いや、COVID-19と湿度や換気量との関係といった情報を提供する。

以降の章はオフィスビルと住宅に分けて執筆している。第3章はオフィスビルを対象とし、まず前半部分で感染拡大時の建築物におけるウイルス感染症対策の考え方について、本委員会で行ったオフィスビルにおける調査内容を記述している。続いて後半部分では、将来の新たなウイルス感染症流行に備えた建物や換気・空調におけるウイルス感染症対策技術として、換気・空調設備、センサー、加湿器などの導入時の留意点や導入例、運用方法についてまとめている。

第4章では住宅について執筆している。まず前半部分で感染拡大時の建築物におけるウイルス感染症対策の考え方について、本委員会で行った全国数千世帯へのアンケート調査内容を記述している。続いて後半部分では、将来の新たなウイルス感染症流行に備えた建物や換気・空調におけるウイルス感染症対策技術として、同線計画や換気・通風計画、全館空調などの計画時の留意点や導入例、運用方法についてまとめている。

第2章 建築物における新型コロナウイルス感染症に関する知見

2.1 厚生労働省

(林基哉)

2.1.1 「換気の悪い密閉空間」を改善するための対策

厚生労働省は、クラスター対策班によるクラスター感染事例の分析、建築物衛生法に係る換気の実態等を踏まえ、2020年3月30日に「商業施設等における『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気について」を公表し、建築物衛生法に対応した換気量の確保の徹底と、換気設備の調整や窓開けによる換気量の増加を推奨した。以下にその概要を示す。

厚生労働省は、新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の「新型コロナウイルス感染症対策の見解」(令和2年3月9日及び3月19日公表)を受けて、「換気の悪い密閉空間」を改善するために、多数の人が利用する商業施設等における換気等の措置について、有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察した。その結果、「換気の悪い密閉空間」はリスク要因の一つに過ぎず、1人あたりの必要換気量を満たすだけで、感染を確実に予防できるということまで文献等で明らかになっていないことを踏まえて、以下の見解を示した。建築物衛生法における空気環境の調整に関する基準に適合する、必要換気量(1人あたり毎時30m³)を満たすことを、「換気が悪い空間」には当てはまらない条件とした。それに基づいて、以下のいずれかの措置を講ずることを商業施設等の事業者に推奨した。

機械換気(空気調和設備、機械換気設備)による方法として、建築物衛生法における特定建築物に該当する商業施設等については、同法に基づく空気環境の調整に関する基準が満たされていることを確認し、満たされていない場合、換気設備の清掃、整備等の維持管理を適切に行うことを求めた。特定建築物に該当しない商業施設等においても、建築物衛生法の考え方に基づく必要換気量(1人あたり毎時30m³)が確保できていることを確認すること、必要換気量が足りない場合は一部屋あたりの在室人数を減らすことで1人あたりの必要換気量を確保することも可能であることを示した。窓の開放による方法について、換気回数を毎時2回以上(30分に一回以上、数分間程度、窓を全開する)とること、空気の流れを作るために複数の窓がある場合には二方向の壁の窓を開放すること、窓が一つしかない場合にはドアを開けること、を推奨した。なお、施設の管理権限者は以上を踏まえて維持管理することに留意することが求められた。なお、特定建築物とは、興行場、百貨店、集会場、遊技場、店舗等の用途に供される延べ床面積が3,000m²以上の建築物等であって、多数の者が使用・利用するものをいう。

3月31日には「新型コロナウイルス感染症の大規模な感染拡大防止に向けた職場における対応について」を通知し、その中でも上記の対応を要請し、4月2日には「特定建築物における空気調和設備等の再点検について」を通知し、改めて換気量確保の徹底を要請した。合わせて、4月3日に商業施設の管理権限者へ向けて「『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法」を公表し、特定建築物と特定建築物以外の建築物における換気対策のガイドを示した¹⁾。

これらの通知等においては、1人あたり必要換気量約30m³を毎時確保することを基本としている。これは、既往の換気設計で確保されるべき換気量の確保を最低条件として示したことを意味する。さらに、クラスター発生の要因である密集への対策を踏まえ、居室単位

必要換気量ではなく1人当たりの必要換気量を確認し、不足する場合には在室者数の制限を求めた。前述の通り新型コロナウイルスの感染を抑制するための必要換気量が明らかになっていない中で、窓開け換気の励行が推奨された。しかし、窓の有無、開口面積や方位など、様々な条件で期待される効果が異なるため、具体的方法の表示は困難であった。

5月4日の新型コロナウイルス感染症対策専門家会議で、「新型コロナウイルスを想定した『新しい生活様式』」が示され、感染防止の3つの基本である①身体的距離の確保、②マスクの着用、③手洗いや、「3密(密集、密接、密閉)」を避ける等の対策をこれまで以上に取り入れた生活様式の実践が求められた。

2.1.2 夏期における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気^{2),3)}

2020年4月中旬から建築物衛生分野の研究者らによって夏期に向けた換気対策の検討が行われた。梅雨時や夏期には、窓の開放によって冷房や除湿の効果が得られなくなり、室内環境が悪化し、熱中症、不眠、カビ・ダニによるアレルギー症状などの健康リスクが高まる可能性がある。このため、夏を前に新たな知見の収集、用途ごとの換気空調対策、熱中症対策を踏まえた感染対策について検討し、5月20日に「新型コロナウイルス感染症予防のための夏期における室内環境対策 建築衛生分野の研究者からの提言」がまとめられ、国立保健医療科学院のウェブサイトで公表された。

この提言では、換気量等の具体的な基準値を示すことが難しい状況の下で、夏期の熱中症対策のために換気量を抑制せざるを得ないことを踏まえ、図2.1.2.1に示すように推奨される空調・換気の対策を示している。

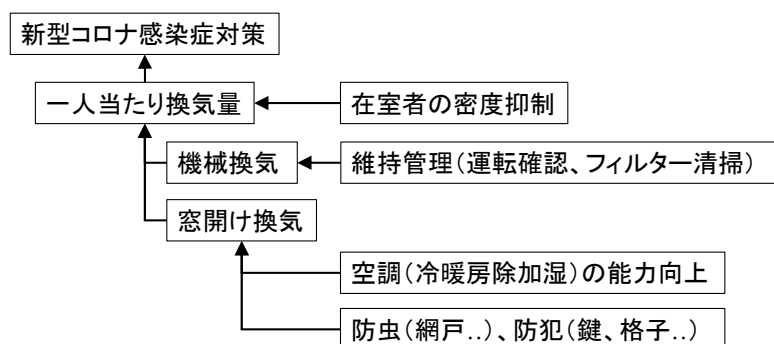


図 2.1.2.1 夏期の新型コロナウイルス感染症対策のための換気

この提言では、以下の結語を示した。

【すべての室内空間について】

- i. 新型コロナウイルスの感染防止のためには、換気の確保が必要である。
- ii. 窓等の開放は換気に有効であり、より大きくより長く開放することが望まれる。
- iii. 夏期には、熱中症対策など健康維持のために冷房が必要である。(冬期には、ヒートショック対策など健康維持のために暖房が必要である。)
- iv. 一般のエアコンでは換気が行えないため、機械換気及び窓等の開放が必要である。
- v. 窓等の開放時には、虫や鼠などの衛生動物に対する対策が必要である。

【空調・換気設備を有する場合】

- vi. 設備の維持点検によって、設計換気量が得られることを確認する。

- vii. 1人当たりの換気量を確保するために、在室人数を制御する。また、在室時間を短くする。
- viii. 空調・換気設備の調整による換気効果の向上、空気清浄器の利用、冬期の加湿器の利用などの対策については、建物用途、空調・換気設備、使用状況に応じた検討が必要である。

5月26日に環境省と厚生労働省は、自治体等に「令和2年度の熱中症予防行動について(周知依頼)」を通知し、新型コロナウイルス感染症対策を踏まえた熱中症予防の周知を求めた。また、厚生労働省は有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、推奨される方法を検討し、6月17日に「熱中症予防に留意した『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気について(参考資料)」を公表した。

換気機能のない冷暖房設備しか設置されていない商業施設等の場合、最高気温が30℃以上の真夏日や、35℃以上の猛暑日のように外気温が高いときは、必要換気量を満たすための換気(30分ごとに1回、数分間窓を全開にする)を行うと、ビル管理法で定める居室内の温度(28℃以下)及び相対湿度(70%以下)の基準を維持できないことが想定されるため、熱中症の発生を防止するために以下に留意して換気等を行う必要があるとした。

居室の温度及び相対湿度を28℃以下及び70%以下に維持できる範囲内で、2方向の窓を常時、できるだけ開けて、連続的に室内に空気を通す。この際、循環式エアコンの温度をできるだけ低く設定する。1方向しか窓がない場合は、ドアを開けるか、天井や壁の高い位置にある窓を追加で開けることを示した。

居室の温度及び相対湿度を28℃以下及び70%以下に維持しようとする、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の空気清浄機を併用することも有効であり、併用に当たっては、空気清浄機は、HEPAフィルターによるろ過式で、かつ、風量が5m³/min程度以上のものを使用すること、人の居場所から10m²(6畳)程度の範囲内に空気清浄機を設置すること、空気のおどみを発生させないように、外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させることに留意することを求めた。

換気機能を持つ空調設備が設置された建築物では、ビル管理法における空気環境の調整に関する基準に適合するように空調設備の外気取り入れ量等を調整することで、必要換気量(1人あたり毎時30m³)を確保し、居室の温度及び相対湿度を28℃以下及び70%以下に維持することを示した。

以上のように、窓を開けて換気する場合の留意点、空気清浄機を併用する際の留意点などが示された。さらに、「新型コロナウイルスに関するQ&A(一般の方向け)」で、本格的な夏の到来の中で、家庭用エアコンと換気についての情報を発信した。熱中症予防にはエアコン等を使用することが必要であることを示すとともに、一般的なエアコンに換気機能がないことへの注意喚起を行った。また、室内の空気が1時間に2回以上入替わるような換気を確保することを推奨するとともに、24時間換気システムなどの機械換気の利用方法を示した。

2.1.3 冬期における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気⁴⁾

厚生労働省は、冬期の外気温が低い環境下において、換気の悪い密閉空間の改善と適切な室温及び相対湿度の維持をどのように両立するかについて、有識者の意見を聴取し、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、その結果を以下のようにまとめた。

換気機能を持つ冷暖房設備や機械換気設備が設置された商業施設等は、機械換気設備等の外気取り入れ量等を調整することで、必要換気量(1人あたり毎時 30m^3)を確保しつつ、居室の温度及び相対湿度を 18°C 以上かつ40%以上に維持する。換気機能を持つ冷暖房設備や機械換気設備が設置されていない商業施設等、又は、機械換気設備等が設けられていても換気量が十分でない商業施設等は、暖房器具を使用しながら窓を開けて、居室の室温 18°C 以上かつ相対湿度40%以上を維持しつつ、適切に換気を行う必要がある。一方向の窓を常時開けて連続的に換気を行うこと、加湿器を併用することも有効であることに留意することを求めた。

居室の温度及び相対湿度を 18°C 以上かつ40%以上に維持しようとする、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の空気清浄機を併用することは換気不足を補うために有効である。併用に当たっては、空気清浄機は、HEPA フィルターによるろ過式で、かつ、風量が $5\text{m}^3/\text{min}$ 程度以上のものを使用すること、人の居場所から 10m^2 (6畳)程度の範囲内に空気清浄機を設置すること、空気のだよみを発生させないように、外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させること、に留意することを求めた。

換気が必要換気量を満たしているかを確認する方法として、室内の二酸化炭素濃度を測定し、その値が 1000ppm を超えないことを監視することも有効である。但し、窓開け換気に加えて空気清浄機を併用する場合、二酸化炭素濃度測定は空気清浄機の効果を評価することができず、適切な評価方法とはならないことを示した。

以上のように、厚生労働省は季節ごとに気象条件に応じた換気対策を推奨してきた。この背景には、我が国の建築物の室内環境に起因する健康リスクの実態がある。1990年代以降に顕在化したシックハウス症候群、化学物質過敏症、建築物衛生法の特定建築物における空気環境基準を満たさない建築物の1999年度以降に見られる増加、事務所ビルにおけるシックビルディング症候群に関する実態が報告されている(厚生労働科学研究「建築物衛生管理基準の検証に関する研究」等)。また、真菌・ダニ等によるアレルギー、室内温度がリスク因子となる高血圧症、脂質異常症、温度差が原因で発症する虚血性心疾患、脳血管疾患等の多様な住居環境に係る健康リスクに関する医学分野の知見の整理が行われている(厚生労働科学研究「健康増進に向けた住宅環境整備のための研究」等)。感染対策のための換気量増大は、室内空気質を向上させる面があるが、温湿度環境を悪化させる場合があるため、換気量には上限が必要である。しかし、感染対策のために必要な換気量が明らかになっていないことから、季節の気象と室内温湿度条件を踏まえた窓開放の方法を示すにとどまっている。

図2.1.3.1に示すように、窓開放による換気は、外部風と内外の温度差の影響を受ける。中間期には、換気量の確保による室内温湿度への影響は小さいが、夏期や冬期には影響が大きい。特に内外の温度差が大きい冬期には、換気量の影響が大きいいため、より安定した換気量を維持できる開放の方法が望まれる。このため、感染拡大初期に推奨された、外部風の影響を受けより換気量が確保できる二方向の開放に代わって、一方向の開放が推奨された。一方向の開放は、外部風の風向風速の影響を受けづらいために、内外の温度差による開放程度の調整によって、比較的安定した換気量が確保できる。また、外気流入による温度低下を防止

するために、窓の近くの放熱器による加温、非使用空間経由の外気導入による温度緩和(2段階換気)を推奨した。

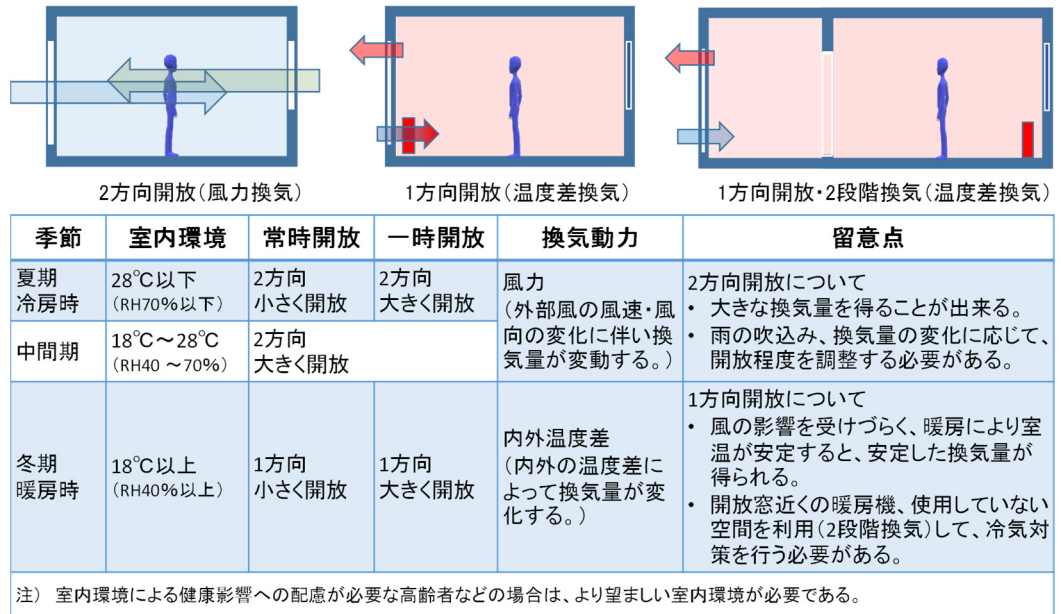


図 2.1.3.1 季節の気象条件を踏まえた換気方法

2.1.4 新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について⁵⁾

令和2年度厚生労働科学研究「新興・再興感染症のリスク評価と危機管理機能の実装のための研究」の一環でクラスター感染が発生した病院に関する空調換気調査が行われた。クラスター感染が発生した病院9件を対象に、感染時の換気及びエアロゾル挙動に関する調査を行った。病棟内の広い範囲の患者と医療スタッフが感染した場合と、ネーザルハイフロー(NHF)等のエアロゾルが発生する医療行為にともなった感染が指摘された場合がある。空調換気設備は、日本医療福祉設備協会発行の病院設備設計ガイドライン等を踏まえて設計施工されている。病室は給気のみの場合と給排気の場合があり、病室気圧は正圧・等圧が多いが一部で陰圧がある。感染起点の病室及び病棟全体の換気等の調査(①空調換気方式・維持管理、②病室気圧、③給排気風量、④出入口・廊下の気流方向)を行った。また、病室空気の流れに関する現場実験(CO₂及びエアロゾルをベッド上で発生させ各所の濃度応答を測定)を行った。この他に、NHFからのエアロゾル発生と拡散等に関する調査が行われた。

多くの事例で出入口は常時開放され、エアロゾルが廊下に流出した。また、病室の換気回数が0.0～1.1(平均0.5)回/hと少なく夜間7時間停止していた事例や、病室給気量は設計値に近いが排気量が少なく定期的に給気が停止した事例があった。調査を通じて以下の問題が指摘された。設備の老朽化、省コスト等のための一時的換気停止によって、換気量が設計値より減少し、感染者から発生したエアロゾルの濃度が上昇した。病室が等圧又は正圧であり、病室出入口の開放によって、感染者から発生したエアロゾルが廊下に流出し他の部屋に流入した。NHFによって、エアロゾルが連続的に発生した。

病室の換気量の確保、気圧管理、出入口開閉に関する配慮が十分に行われていれば、クラスター感染の状況が異なった可能性は否定できない。新型コロナウイルス感染者への治療に際しては、空調換気設備の点検、維持管理及び補修・改善、出入口の開閉の配慮など対策が必要であることが示された。

厚生労働省は、この結果に基づいて2021年4月7日に事務連絡「新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について」を出し、保健所などに以下のように通知し、対応を求めた。

- 1 換気量(給気量や排気量)の不足が、病院内でのクラスター感染の要因となった可能性が否定できないと考えられ、換気量が設計時に対して減少する要因として、換気設備の老朽化や省エネルギー、省コスト等のための換気量調整が挙げられます。
- 2 新型コロナウイルス感染症患者の治療に当たり、換気設備について以下の対応を検討することとして下さい。
 - ① 換気設備の換気量の測定等を行い、適切に機能していることを確認して下さい。
 - ② ①の測定の結果、適切な換気量が確保できていない場合は、フィルター等の清掃や老朽化した換気設備の補修等を行うことにより、換気状況の改善を図れるよう検討を行って下さい。なお、改善を行うまでの対策として、窓開け等により換気を行うことも考えられます。
 - ③ 医療機関等から換気状況の改善方法等について相談があった場合は、必要に応じて、建築物衛生法担当部局と連携を図ってください。

参考文献

1. 厚生労働省、換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法、2020年3月20日、
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>
2. 国立保健医療科学院、日本建築学会、新型コロナウイルス感染症予防のための夏期における室内環境対策、2020年5月20日、
https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/arch/COVID19_summer.pdf、
<http://dx.doi.org/10.1002/2475-8876.12183>
3. 厚生労働省 熱中症予防に留意した「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法、2020年6月17日、<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000640917.pdf>
4. 厚生労働省 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法、2020年11月27日、https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_15102.html
5. 厚生労働省 新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について、2021年4月7日、<https://www.mhlw.go.jp/content/000766517.pdf>

2.2 日本建築学会

(金勲)

ダイヤモンドプリンセス号の集団感染が騒がれ国内でも感染が懸念され始めた流行初期に、空気調和・衛生工学会と協働で緊急会長談話“新型コロナウイルス感染症制御における‘換気’に関して(2020.3.23)”を発表し、感染経路の理解と換気的重要性、また3密に関する解説を行っている。

これ以降、日本建築学会には特別委員会やワーキンググループ(WG)が設置されることになり、換気・空調の運用と管理、衛生器具の管理、建物用途別の考え方などコロナ対策のための議論が行われている。

2020年度から空気環境運営委員会傘下に“感染伝播と空気質WG”と“換気・通風による感染対策WG”が設置され、ウイルス特性や挙動・感染経路と対策、換気対策に関する研究活動や情報収集などを行っている。また、建築計画委員会、環境工学委員会、都市計画委員会、建築社会システム委員会が協働で、社会ニーズに対応した特別調査委員会として“ウイズ/アフターコロナに適応する建築・都市に関する特別調査委員会”を設置して2021年度から2年計画で分野横断的な活動を開始している。

当該学会にCOVID-19に関連した日本建築学会の活動情報(リンク集)¹⁾が設けられ、2021年12月時点で以下のような内容がリンクされている。主に換気に何する内容である。

- ・住宅内にビニールカーテンによる仮設の陰圧室を作り出す方法
- ・レジリエント建築タスクフォース資料
- ・学校における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について
- ・夏季対策の提案
- ・住宅における換気によるウイルス感染対策について
- ・－密閉を避ける－避難所での換気の5つのポイント
- ・建築設備の適切な運用方法について
- ・パーティションによるエアロゾル遮蔽効果について
- ・第30回空気シンポジウム『ウイルスと換気対策』資料
- ・「おうちの換気」ポイントまとめ！換気の専門家にインタビュー①
- ・オフィス・通勤時の感染予防！換気の専門家にインタビュー②
- ・新型コロナ対策に関する分かりやすいQ&A

建築学会は建築物、設備、在室者の行動と生活までを網羅する団体であり、空調・換気や衛生設備に関連するガイダンスやマニュアルは空気調和・衛生工学会で発信している。建築学会としてのマニュアルはまだ出されていないがCOVID-19関連WGや特別調査委員会からの提案が期待される。また、2021年度学術大会ではオーガナイズドセッション「新型コロナと室内環境」を設置し、29編の論文が発表されて。ここでは、エアロゾルやマイクロ飛沫といった空気を介した新型コロナ感染症のリスク評価手法、感染性粒子の挙動、換気経路、感染伝播の予測、換気・空調・フィルター・UVによる対策、空気清浄機の性能評価、置換換気やパーソナル空調など特殊設備による対策などの研究発表があった。

社会発信としては、拡大委員会シンポジウム“新型コロナウイルス感染対策への取り組み(2020.7.29)”、環境工学委員会と建築計画委員会の合同緊急研究会“環境工学と建築計画はコロナの時代にどう協働できるか?(2020.9.10)”を開催している。2021年5月には一般向けのQ&A形式の講演会、9月には空気シンポジウムとして「ウイルスと換気対策」を開催している。

参考文献

1. 日本建築学会、COVID-19に関連した日本建築学会の活動情報(リンク集)、
https://www.aij.or.jp/covid19_info.html

2.3 空気調和・衛生工学会

(柳宇)

2.3.1 エアロゾル伝播による感染症の感染リスク低減策 の原則

- ・感染源の制御はまず重要である。その他：マスクの着用、大声を出さないなど。
- ・滞在時間をなるべく少なくする。リスクのある空間での長居は避ける。
- ・換気量の確保。ここでいう換気量は取り入れ外気量とエアークリーナーや空気清浄機などでろ過された清浄な空気量の合計、すなわち相当換気量である。

2.3.2 建物用途ごとに推奨される建築設備の運用方法¹⁾

・事務所ビル

中央方式空調の場合、取入れ外気量を増やす方向で調整することを原則とし、エアークリーナーに注意して外気給気ファンと排気ファンの風量調整ダンパーの開度を上げ、風量がインバーター制御の場合は給気ファン、排気ファンの電流値、インバーターで回転速度を上げる、外気量自動制御等を外して外気系統の定風量ユニット等の開度を固定とする。

個別方式空調の場合、外調機や全熱交換器の換気量がなるべく大きくなるよう調整する。

換気システムが常時運転していることを確認し、換気を行わない空調単独運転は避ける。また、室内機の循環風量を確保するために自動運転モードとせず、定風量で運転する。また、エアークリーナーの性能が中央式に比べて劣る場合が多く、ろ過による換気量の実質的な増加が難しいので、心配な場合はフィルター式のポータブル空気清浄機の利用や、室内機のエアークリーナーの性能を中性能フィルターにグレードアップする(一般にオプション仕様として用意されている)などを考慮する。

・住宅

感染リスクが低い場合においても、24時間換気設備がある場合は、常時運転する。24時間換気設備がない場合は、浴室やトイレの換気扇を常時運転する。換気口のフィルターのメンテナンスを行う。感染リスクが生じる場合には、換気設備の常時運転に加えて、窓開け換気、空気清浄機、レンジフードの利用などによって、換気量を増やすことが望まれる。

窓開け換気については、室内温熱環境が悪化しないように暖冷房設備を利用し、気象条件(風、雨、雪等)、外部環境(騒音、空気汚染等)を踏まえて、窓開け方法を工夫する必要がある。

・学校

多人数が長時間在室する居室として学校の教室が重要である。ソーシャルディスタンスを取ったうえで十分な換気対策を行う必要がある。一般的にはこのために、通常教室の半分程

度の定員とすることが望ましいが、これが困難な場合はマスク、フェイスシールド、パーティションなどの対策が必要となる。

2.3.3 空調の還気による感染リスクについて

・空調・換気による COVID-19 の拡散はあるのか？

①我が国においても、建築物衛生法を遵守して計画・運用されている建築物においては、換気とフィルターの性能を勘案すれば、人員密度が適切に管理されている限り、空調システムを介した COVID-19 の空間の感染拡大のリスクは極めて低いものと考えられる。但し、ルームエアコン、業務用パッケージ型空調機、ファンコイルユニットに中性能フィルターが備えられていない場合、換気と併用した対策が必要となる²⁾。

参考文献

1. 倉淵隆、柳宇、尾方壮行、大塚雅之、鍵直樹、山本佳嗣、林基哉、田辺新一：新型コロナウイルス感染対策としての空調・衛生設備の運用について。
<http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2021.05.07%20kaite3.pdf>
2. 柳宇、倉淵隆、林基哉、尾方壮行(監修：田辺新一、大塚雅之)：空調・換気による COVID-19 の拡散はあるのか？空気調和・衛生工学分野の専門家からの見解、2020 年 6 月 15 日。
<http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2020.06.15%20covid19v2.pdf>

2.4 WHO、CDC、REHVA、ASHRAE

(柳宇)

2.4.1 WHO

・伝播経路^{1),2),3)}

世界保健機構(WHO)は粒径 $>5-10\mu\text{m}$ の呼吸器系由来のエアロゾルを飛沫(droplet)、乾いた $5\mu\text{m}$ 以下の飛沫を飛沫核(droplet nuclei)とし、飛沫感染は飛沫伝播(droplet transmission)、空気感染は飛沫核伝播(droplet nucleus transmission)によるものと定義している。また、飛沫量の $>99\%$ は1mまでにしか到達せず、1m以上の空中を浮遊することはないことを示しており、医療施設内の患者間に1m以上を離すように推奨している。

2020年7月9日のWHOのブリーフでは、米国ワシントン州の合唱練習、中国広州のレストラン、韓国のフィットネスクラスの集団感染事例から、換気量不足で滞在時間が長い場合はエアロゾル伝播(aerosol transmission)の可能性があると認めている。

現在、WHOはCOVID-19の主な感染経路は飛沫感染であるとしている。その理由として、空中からPCRによるウイルス(copies)を検出される報告が多いが、細胞培養のできるウイルス(viable virus)に関する測定例が不十分であるとしている。また、接触感染に関する証拠が限られるとしている。

・必要最小換気量⁴⁾

- ① 医療施設： $60\text{L/s}\cdot\text{人}$ ($216\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$)、又は6回/h；この換気量が得られない場合はHEPAフィルター付きの空気清浄機を活用する。
- ② 非住宅・住宅： $10\text{L/s}\cdot\text{人}$ ($36\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$)；この換気量が得られない場合MERV14のフィルター付きの空気清浄機を活用する。

2.4.2 CDC

・SARS-CoV-2の伝播様式

2020年10月5日に米国疾病予防管理センター(CDC)から公開されたブリーフでは⁵⁾、COVID-19の主な感染様式は感染性ウイルス含有の呼吸系飛沫へのばく露によるものであるとしている。この飛沫は大きい飛沫と小さい飛沫に分類することができ、大きい飛沫は放出された後に発生源の近傍で数秒から数分程度しか浮遊しない。小さい飛沫は放出後に早く水分が蒸発し、発生源から遠く飛散し、空中で数分から数時間浮遊する。

2021年5月7日の改訂版では⁶⁾、COVID-19の主な感染は、次に示す3つの様式があるとされている。①非常に小さい呼吸器系飛沫とエアロゾル粒子へのばく露、②飛沫による口、鼻、又は眼の粘膜への沈着、③ウイルスが付着した表面に手で接触することにより、間接的にウイルスを含有する呼吸器飛沫による粘膜へのばく露。

・伝播経路

CDCの2020年10月5日のブリーフでは⁵⁾、呼吸器系ウイルスは多様な伝播経路を有する：接触伝播、飛沫伝播、エアボーン伝播。疫学調査の結果では、COVID-19の多くの感染

経路は濃厚接触であり、エアボーン伝播によるものではない。但し、特殊な環境下では、SARS-CoV-2 のエアボーン伝播が起きることがある。

2021年5月7日の改訂版では⁶⁾、ウイルスの吸引(被ばく)は発生源から6フィート(1.8m)よりはるかに遠いところで起こりうる。

2.4.3 REHVA⁷⁾

・伝播経路

COVID-19 及び他の多くの呼吸器系ウイルスでは、3つの伝播経路が支配的である。①くしゃみ、咳、歌、叫び、会話、呼吸の際に放出される飛沫とエアロゾルに関する1~2m範囲での濃厚接触領域と空中伝播の組み合わせである。②長距離の空中伝播(エアロゾルベース)。③手-手、手-表面などの媒介物の接触。典型的な感染経路は図2.4.3.1より表される。

・感染リスク低減のための建物運用に関する実践的な推奨事項

REHVAの2021年4月15日の改訂版(Ver4.1)では、図2.4.3.2に示す15の項目について述べている。

なお、⑧再循環については、流行期間中に基本的に還気経路のダンパーを止めて全外気運転とする。全外気運転で熱負荷処理が難しい場合は、還気経路に高性能フィルターePM₁80%(F8、MERV14相当)を使用する。また⑩ダクトの清掃については、小さい粒子に付着するウイルスが容易に空調・換気ダクトに付着せず、気流によって輸送されること、空調・換気システムは汚染源ではないことから、SARS-CoV-2の対策としてのダクト清掃は実際に効果がないとしている。

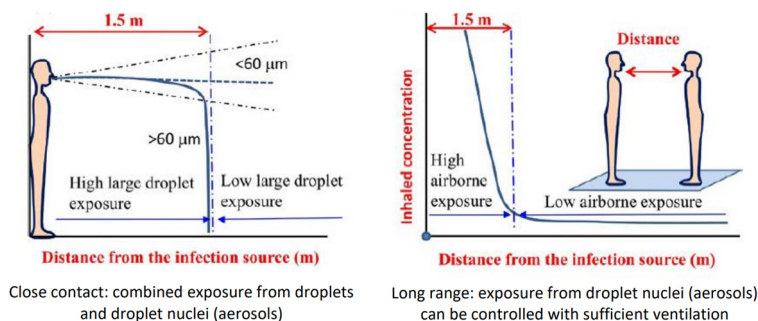


図 2.4.3.1 濃厚接触を組み合わせた飛沫とエアロゾルの伝播(左)と異なり、長距離のエアロゾル伝播(右)においては、希釈換気はウイルス濃度を低く制御できる

出典：Rehva Covid19 Guidance, How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. Version 4.1, pp.5, 2021.
https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4.1_15042021.pdf

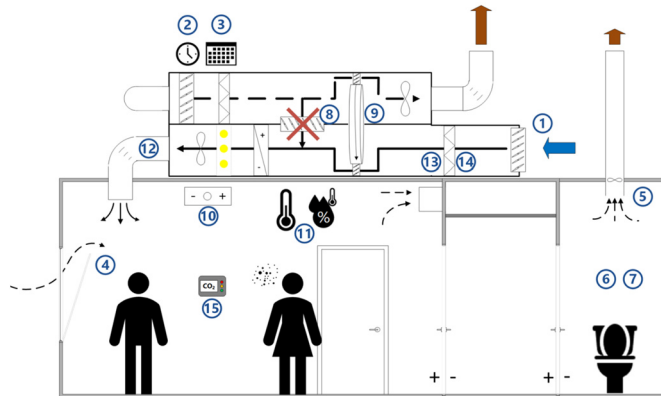


図 2.4.3.2 建物・設備運用に関する REHVA ガイダンスの主な項目

出典：Rehva Covid19 Guidance, How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. Version 4.1, pp.11, 2021.

https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4.1_15042021.pdf

①換気：②換気運転時間：③デマンド制御設定の変更：④窓開け換気：⑤トイレ換気：⑥トイレ内窓開：⑦水洗トイレ：⑧再循環：⑨熱回収装置：⑩ファンコイルとスプリット型空調機：⑪暖房、冷房、及び加湿の可能な設定値：⑫ダクトの清掃：⑬外気処理用エアフィルター：⑭保守管理：⑮室内空気質のモニタリング

2.4.4 ASHRAE⁸⁾

SARS-CoV-2 の空中での伝播に関する声明

SARS-CoV-2 の空中での伝播においては、そのばく露を抑える必要がある。空調・換気システムと建物の運用の適正な変更により、浮遊ウイルスのばく露量を低減することができる。

SARS-CoV-2 伝播を制御するための空調・換気システムの運用に関する声明

空調・換気システムの換気とろ過は SARS-CoV-2 の濃度を低減させることができるため、空気を介した伝播のリスクの低減に寄与する。

空調・換気による感染症対策の推奨項目

レベル A(強く推奨、良いエビデンスあり)：①エアロゾル伝播のハイリスクが確定された場合は前室を有する空気感染隔離室を設置。②感染性エアロゾル粒子濃度の他に、多くの要因が疾患の伝播に寄与するため、ろ過はエアロゾル伝播の全てのリスクを排除するわけではない。

レベル B(推奨、妥当なエビデンスあり)：①UVGI(紫外線による殺菌)：②建物内ゾーンの間の圧力差の制御と気流計画：③相対湿度を 40-60%に維持する。

参考文献

1. World Health Organization (WHO). Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. 09 July 2020
2. World Health Organization (WHO). Infection prevention and control during health care when COVID-19 is suspected: interim guidance. 19 March 2020
3. World Health Organization (WHO). Infection prevention and control during health care when coronavirus disease (COVID-19) is suspected or confirmed. 12 July 2021

4. World Health Organization (WHO). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. 2021
5. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). COVID-19 can sometimes be spread by airborne transmission. Updated Oct. 5, 2020
6. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Scientific Brief: SARS-CoV-2 Transmission. Updated May 7, 2021
7. COVID19 GUIDANCE Version 4.1. How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. April 15, 2021
8. ASHRAE. ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols, Approved by ASHRAE Board of Directors. April 14, 2020, Expires April 14, 2023

2.5 接触感染対策に関する関連論文・報告

(担当：金勲、執筆：東京都立大学 尾方壮行)

接触感染は、病原体が感染者から直接伝播することで発生する直接接触感染と、汚染された物品や環境表面を介して発生する間接触感染に分けられる。建築及び建築設備に関する対策で直接接触感染経路を遮断することはできない。本項では、間接触感染とその対策に関する論文・報告について述べる。

2.5.1 環境表面での生存期間

環境表面における SARS-CoV-2 の生存期間については多くの報告がある^{1), 2), 3), 4), 5), 6)}。典型的な室内環境条件下では、一般的なステンレス、プラスチック、ガラスなどの非多孔質な表面では、72 時間以内に SARS-CoV-2 やその他のコロナウイルスの感染力が 99% 減少する^{1), 2), 3), 4), 6)}。これら平滑な表面では数日から数週間にわたって生存ウイルスが検出される一方で、多孔質な表面では数分から数時間以内に感染性を保ったウイルスが検出されなくなる。多孔質面では孔内の毛細管現象とエアロゾル液滴の蒸発速度が速く、SARS-CoV-2 の不活性化が平滑面と比べ早まるためであると考えられる⁷⁾。しかし、これらの実験では、初期ウイルス量や換気、室内環境条件について、必ずしも実際の条件が反映されていない。また、感染リスクを評価する際には表面から手、手から口、鼻、目へのウイルスの転写率も考慮する必要がある^{8), 9)}。

2.5.2 手指衛生及び清掃・消毒の方法と効果

間接触感染は被感染者自身の手指を介して生じるため、その経路を効果的に遮断するために適切なタイミングの手指衛生は重要な予防策である。手洗いの方法については、水と石けんを用いて手洗いをする場合には 15～30 秒程度かけて行うことで、短い時間で行うよりも多くの病原体が手から取り除けるという報告がある^{10), 11), 12)}。手洗い設備がない状況でも実施できるアルコール消毒剤による手指衛生も有効である。手指衛生を実施すべきタイミングとして、米国疾病予防管理センターは顔を触る前、食事や調理の前、トイレの後、公共の場を離れた後、鼻をかんだ後、咳をした後、くしゃみをした後、マスクを扱った後、病人の世話をした後、おむつ交換の後、動物やペットに触れた後を挙げている¹³⁾。

清掃は、表面に付着した汚染質の量を低減できるが、その効果は清掃手順、方法、使用する洗剤の種類等によって異なる。他の微生物を対象として清掃の効果を評価した研究から、90～99.9%の低減が可能であると考えられている^{14), 15)}。SARS-CoV-2 を物理的に除去することに加え、洗剤に含まれる界面活性剤によってエンベロープ型ウイルスの膜を破壊し、失活化させる可能性がある。製品評価技術基盤機構(NITE)は新型コロナウイルスに対する消毒方法の有効性評価をとりまとめ¹⁶⁾、新型コロナウイルスに有効な界面活性剤が含まれている製品リストを公表している¹⁷⁾。

表面に付着した SARS-CoV-2 の消毒方法については、厚生労働省・経済産業省・消費者庁による特設ページが設けられており、水及び石けんによる洗浄、熱水、アルコール消毒液の

他、NITEによる上述の評価で有効性が確認された塩素系漂白剤、界面活性剤等が推奨されている¹⁸⁾。安全性や有効性を保つため、洗剤や消毒剤はメーカー等のガイダンスにしたがって安全に使用しなければならない。

2.5.3 実環境におけるウイルス検出と感染リスクの評価

医療施設や市中公共物などの環境表面から SARS-CoV-2 RNA を検出した報告^{19),20),21)}は複数あるが、感染性を有する SARS-CoV-2 を検出した事例はほとんどない。Pickering らは米国マサチューセッツ州サマービルにおいて第一の感染波を受ける中 2020 年 4 月から 6 月の期間に屋内外の不特定多数が利用する公共空間の環境表面から SARS-CoV-2 が検出されるかを調査した。測定対象とした手指でよく触れられる表面(高頻度接触面)であるゴミ箱のハンドル、ドアハンドル、横断歩道のボタン、ATM のキーパッドなどの 33 箇所の表面から採取した 348 サンプルのうち、8%の 29 サンプルから微量の SARS-CoV-2 が検出された。表面から検出された SARS-CoV-2 RNA 量及び対象面への人々の接触頻度に基づいて感染リスクを評価した結果、間接接触感染のリスクは低く、エアロゾル粒子を介した感染のリスクや、他の呼吸器感染症の間接接触感染のリスクよりも小さいと報告している²²⁾。

2.5.4 接触感染対策

表面消毒は、感染者が家庭内にいる場合に家庭内での感染拡大を防ぐために有効であることが示されている²³⁾。しかし、SARS-CoV-2 の間接接触感染のリスクは、公共空間や地域社会では直接接触や飛沫感染、空気感染によるリスクに比べて低いとされており^{8),9)}、屋内・屋外を問わず、感染者や感染疑いのある者がいるか定かではない一般の環境で消毒剤を日常的に使用し、環境表面からの SARS-CoV-2 感染を防ぐためのエビデンスはほとんどない。多くの欧州諸国と米国が第 1 波を経験した 2020 年 3 月から 4 月のデータを対象にして行われた非薬理的介入を比較した研究により、建物や設備の共有部の清掃と消毒は最も効果が低いと分類されている²⁴⁾が、これは一般の環境では間接接触感染があまり起きないためであると考えられる。

室内で COVID-19 の感染が疑われたり確認されたりしていない状況では、日常的な清掃を 1 日 1 回以上行い、手でよく触れられる表面(高頻度接触面)を有効な洗剤を用いて清掃することで、比較的低い間接接触感染リスクをさらに低減できる。過去 24 時間以内に屋内で COVID-19 感染疑い例又は確定例が発生した場合には、環境表面に感染性を有するウイルスが存在する可能性があるため、高頻度接触面を消毒する必要がある²⁵⁾。環境表面でのウイルスの生存期間を考慮すると、72 時間後にはあらゆる表面からの間接接触感染リスクは軽微になると考えられる。

2.5.5 まとめ

SARS-CoV-2 は、汚染された表面への接触を介して感染する可能性がある。しかしながら、SARS-CoV-2 の感染拡大は感染性を保ったウイルスを含む飛沫及びエアロゾル粒子への曝露により生じており、環境表面を介した間接接触感染は SARS-CoV-2 の主な伝播経路ではなく、そのリスクは低いと考えられている。間接接触感染のリスクは、マスクの適切な着用、手指衛生の徹底、日常的な清掃を行うことで低減できる。

参考文献

1. J. Biryukov, J. A. Boydston, R. A. Dunning, J. J. Yeager and e. al., "Increasing temperature and relative humidity accelerates inactivation of SARS-CoV-2 on surfaces," *mSphere*, vol. 5, no. 4, pp. e00441-20, 2020.
2. A. Chin, J. Chu, M. Perera, K. Hui, H. L. Yen, M. Chan, M. Peiris and L. Poon, "Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions.," *Lancet Microbe*, vol. 1, p. e10, 2020.
3. A. Kratzel, S. Steiner, D. Todt, P. V'kovski, Y. Brueggemann, J. Steinmann, E. Steinmann, V. Thiel and S. Pfaender, "Temperature-dependent surface stability of SARS-CoV-2," *Journal of Infection*, vol. 81, no. 3, pp. 452-482, 2020.
4. Y. Liu, T. Li, Y. Deng, S. Liu, D. Zhang, H. Li, X. Wang, L. Jia, J. Han, Z. Bei and L. Li, "Stability of SARS-CoV-2 on environmental surfaces and in human excreta," *Journal of Hospital Infection*, vol. 107, pp. 105-107, 2021.
5. S. Riddell, S. Goldie, A. Hill, D. Eagles and T. W. Drew, "The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces," *Virology Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 1-7, 2020.
6. N. van Doremalen, T. Bushmaker, D. H. Morris, M. G. Holbrook, A. Gamble, B. N. Williamson, A. Tamin, J. L. Harcourt, N. J. Thornburg, S. I. Gerber and J. O. Lloyd-Smith, "Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1," *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 16, pp. 1564-1567, 2020.
7. S. Chatterjee, J. S. Murallidharan, A. Agrawal and R. and Bhardwaj, "Why coronavirus survives longer on impermeable than porous surfaces," *Physics of Fluids*, vol. 33, 2021.
8. A. P. Harvey, E. R. Fuhrmeister, M. E. Cantrell, A. K. Pitol, S. J. M, J. E. Powers, M. L. Nadimpalli, T. R. Julian and A. J. Pickering, "Longitudinal monitoring of SARS-CoV-2 RNA on high-touch surfaces in a community setting," *Environmental Science & Technology Letters*, pp. 168-175, 2020.
9. A. K. Pitol and T. R. Julian, "Community transmission of SARS-CoV-2 by fomites: Risks and risk reduction strategies," *Environmental Science and Technology Letters*, 2020.
10. Todd EC, Michaels BS, Smith D, Greig JD, Bartleson CA. Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part 9. Washing and drying of hands to reduce microbial contamination. *J Food Prot.* 2010;73(10):1937-55.
11. Fuls JL, Rodgers ND, Fischler GE, Howard JM, Patel M, Weidner PL, Duran MH. Alternative hand contamination technique to compare the activities of antimicrobial and nonantimicrobial soaps under different test conditions. *Appl Environ Microbiol.* 2008;74(12):3739-44.
12. Jensen D, Danyluk M, Harris L, Schaffner D. Quantifying the effect of hand wash duration, soap use, ground beef debris, and drying methods on the removal of *Enterobacter aerogenes* on hands. *J Food Prot.* 2015 Apr;78(4):685-690.
13. Centers for Disease Control and Prevention. When and How to Wash Your Hands. <https://www.cdc.gov/handwashing/when-how-handwashing.html>
14. L. Delhalle, B. Taminiau, S. Fastrez, A. Fall, M. Ballesteros, S. Burteau and G. Daube, "Evaluation of Enzymatic Cleaning on Food Processing Installations and Food Products Bacterial Microflora," *Frontiers in Microbiology*, p. 1827, 2020.
15. H. Gibson, J. Taylor, K. Hall and J. Holah, "Effectiveness of cleaning techniques used in the food industry in terms of the removal of bacterial biofilms," *Journal of Food Protection*, vol. 87, pp. 41-48, 1999.
16. 製品評価技術基盤機構、新型コロナウイルスに対する消毒方法の有効性評価について最終報告をとりまとめました。～物品への消毒に活用できます～、2021年6月26日、7月7日一部資料差替、 <https://www.nite.go.jp/information/osirase20200626.html>

17. 製品評価技術基盤機構、新型コロナウイルスに有効な界面活性剤が含まれている製品リスト
<https://www.nite.go.jp/information/osirasedetergentlist.html>
18. 厚生労働省・経済産業省・消費者庁、新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について(厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ)、
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html
19. Ryu B-H, Cho Y, Cho O-H et al., Environmental contamination of SARS-CoV-2 during the COVID-19 outbreak in South Korea, *American Journal of Infection Control*, 48(8),875-879, 2020
20. Chia, P.Y., Coleman, K.K., Tan, Y.K. et al. Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital rooms of infected patients. *Nat Commun* 11, 2800 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-16670-2>
21. Yamagishi T et al., Environmental Sampling for Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 During a COVID-19 Outbreak on the Diamond Princess Cruise Ship. *J Infect Dis.* 2020 Sep 1;222(7):1098-1102. doi: 10.1093/infdis/jiaa437.
22. Harvey AP, Fuhrmeister ER, Cantrell ME, Pitol AK, Swarthout JM, Powers JE, Nadimpalli ML, Julian TR, Pickering AJ. Longitudinal Monitoring of SARS-CoV-2 RNA on High-Touch Surfaces in a Community Setting. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2021, 8, 2, 168–175
23. Wang Y, Tian H, Zhang L, Zhang M et al., Reduction of secondary transmission of SARS-CoV-2 in households by face mask use, disinfection and social distancing: a cohort study in Beijing, China, *BMJ Global Health*, vol. 5, no. 5, p. e002794, 2020.
24. Haug N, Geyrhofer L, Londei A et al. Ranking the effectiveness of worldwide COVID-19 government interventions. *Nat Hum Behav* 4, 1303–1312 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41562-020-01009-0>
25. Santarpia JL, Rivera DN, Herrera VL et al., Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care, *Scientific Reports*, 2020, 10, 13892.

2.6 COVID-19 と湿度の関係に関する関

連論文・報告

(鍵直樹)

建築物衛生法(建築物における衛生的環境の確保に関する法律)においては、相対湿度の下限値として40%を採用している。その根拠の一つとして、インフルエンザウイルスの不活性化率が最も高い相対湿度は約40%~60%にあるとの報告¹⁾、感染症患者から排出される飛沫中のインフルエンザウイルスを3時間で不活性化するには、室温18°Cの場合、相対湿度が50%~60%とすることが必要との報告がある²⁾。

空気中における浮遊状態での新型コロナウイルスの不活性化率と相対湿度との関係については、条件によって異なる結果が報告されている。Dabisch et al.³⁾は、新型コロナウイルスの減衰率が、高温(40°C)、多湿(70%)ほど高いことを示している。Smither et al.⁴⁾は、細胞培養培地を使用した新型コロナウイルスの飛沫核と人工唾液を使用した飛沫核について、生存率を調べたところ、T細胞培養培地については、相対湿度40-60%の生存率は68-88%の時より高く、人工唾液の場合は逆の結果となったと報告している。したがって、ウイルスの生存率に対する相対湿度の影響は少なからずあるが、ウイルスを含む飛沫核の成分の影響を受けていたとしている。物体表面における新型コロナウイルスの半減期を比較した研究⁵⁾においては、物体の材質の違い(ステンレス鋼、プラスチック、ニトリル手袋)による有意な違いは認められないが、24°Cにおける半減期は相対湿度が高くなるほど短くなった。また、空間中での飛沫核の湿度による挙動については、Ahlawat et al.⁶⁾により、湿度は蒸発と粒子成長の両方に影響を与えるため、湿度が低い(40%RH以下)乾燥した室内では、空气中を伝播する可能性が、湿度が高い(90%RH以上)条件よりも高いことをレビューしており、室内における低湿度の基準を設定することの意義を述べている。Zhao et al.⁷⁾も同様の傾向を示している。

また、低温及び低湿の環境は、気道の感染症に対する防御機構を調整する上で重要であり、悪影響を与えることも広く知られている⁸⁾。

以上のように、未だCOVID-19における湿度、特に室内環境中における湿度については、十分な知見が得られていない状況である。よって、現場においては、建築物衛生法の基準値を参考に運用することが求められる。

参考文献

1. Schaffer, F.L., Soergel, M.E. & Straube, D.C.: Survival of airborne influenza virus: Effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. Archives of Virology 51: 263-273, 1976
2. 中山幹男、斉藤恵子：インフルエンザウイルスの感染価に及ぼす相対湿度の影響、BMSA 会誌 20(3):77-80, 2009
3. Dabisch P, Schuit M, Herzog A, Beck K, et al.: The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols, Aerosol Science and Technology, 2020, DOI:10.1080/02786826.2020.1829536

4. Smither SJ, Eastaugh LS, Findlay JS, Lever MS.: Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity, *Emerging Microbes & Infections*, 9:1, 1415-1417, 2020
5. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, et al.: Increasing temperature and relative humidity accelerates inactivation of SARS-CoV-2 on surfaces. *mSphere* 5:e00441-20, 2020, DOI: 10.1128/mSphere.00441-20.
6. Ajit Ahlawat, Alfred Wiedensohler, Sumit Kumar Mishra: An Overview on the Role of Relative Humidity in Airborne Transmission of SARS-CoV-2 in Indoor Environments, *Aerosol and Air Quality Research*, 20: 1856–1861, 2020, <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.06.0302>
7. Lei Zhao, Yuhang Qi, Paolo Luzzatto-Fegiz, Yi Cui, and Yangying Zhu: COVID-19: Effects of Environmental Conditions on the Propagation of Respiratory Droplets, *Nano Letter*, 20, 7744-7750, 2020
8. Miyu Moriyama, Walter J. Hugentobler, Akiko Iwasaki: Seasonality of Respiratory Viral Infections, *Annu. Rev. Virol.* 7:83–101, 2020.

2.7 感染事例から見る換気量の役割

(柳宇)

2.7.1 換気量と感染確率

Wells-Riley モデルは換気量と感染リスク(確率)の関係を表す唯一のモデルである。Wells は、換気量が一定で室内の空気が完全混合な状態の場合、肺結核の空気感染の確率がポアソン分布に従うとしている。また、閉鎖空間では 1quanta の量を各被感染者が吸入した場合に平均的 63.2%($1-e^{-1}$)のヒトが感染するとし、式(1)により感染リスク(確率)が推定可能であるとされている¹⁾。

$$P_I = \frac{C}{S} = 1 - e^{-\frac{Iqt}{Q}} \quad \text{式 1}$$

P_I : 感染確率 [-]
 C : 新たな感染者数 [人]
 S : 感受性宿主数 [人]
 I : 感染者数 [人]
 Q : 換気量 [m^3/h]
 q : 発生量 [quanta/h]
 p : 1 人当たり呼吸量 [$\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{h})$]
 t : 曝露時間 [h]

Wells-Riley モデルの前提は室内完全混合な状態であることや、quanta 値を疫学データ等から求められることから、感染リスクの相対的な評価ができるものの、感染の閾値を表すことができない。すなわち、quanta 値から感染しないための必要換気量を求めることができない。感染するか否かは、感受性宿主のウイルスへの被ばく量と影響(集団の場合は反応)の関係、いわゆる量-影響(反応)関係を知る必要がある。量-反応関係が分かれば、室内空中ウイルスの濃度から求めた曝露量を量-反応関係の閾以下に制御すればよいことになるが、現在はその SARS-CoV-2 に関する量-反応関係がまだわかっていない。

2.7.2 WHO 推奨の換気量又は換気回数²⁾

WHO は COVID-19 の対策に関して、下記に示す建物用途別に換気量又は換気回数を推奨している。

- ① 医療施設：60L/s・人(216 $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$)、又は 6 回/h；この換気量が得られない場合は HEPA フィルター付きの空気清浄機を活用する。
- ② 非住宅・住宅：10L/s・人(36 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$)；この換気量が得られない場合 MERV14 のフィルター付きの空気清浄機を活用する。

COVID-19 対策のための必要換気量を議論する前に、まず各国の換気量基準を満たすべきである。当該国の基準が制定されていない場合、ISO 17772-1:2017 と EN 16798-1:2019 の基準を参照する：カテゴリ II、 $1.5\text{-}2\text{L/s}\cdot\text{m}^2$ ($8\text{-}10\text{L/s}\cdot\text{人}$)($28.8\text{-}36\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$)

2.7.3 厚生労働省推奨の換気量

厚生労働省は、“建築物衛生法における空気環境の調整に関する基準に適合していれば、必要換気量(1人あたり毎時 30m^3)を満たすことになり、「換気が悪い空間」には当てはまらないと考えられる”としている³⁾。この換気量であれば、室内二酸化炭素濃度が建築物衛生法の二酸化炭素濃度管理基準値 1000ppm を満たすことができる。現場では、換気量の測定が難しいため、その代わりに室内二酸化炭素濃度のモニタリングすることによって換気量が確保されているか否かを確認することができる。

2.7.4 感染事例から見る換気役割

表 2.7.4.1 に柳がクラスター発生に関するピアレビューの論文のうち、換気とろ過に言及した論文をレビューした結果を示す。COVID-19 は接触感染による伝播、飛沫感染による伝播、エアロゾル感染による伝播など多様な伝播経路を有していることが分かる。クラスター発生においては、換気装置が運転していなかったことや換気量が不足していることが原因になっている。

表 2.7.4.1 SARS-CoV-2 の集団感染と換気役割

著者	国	研究種類	対象施設	感染者数	感染経路	換気とろ過の役割
Hamner et al. ¹⁾ Miller et al. ²⁾	米国	インタビュー	合唱団 リハーサル	53	エアロゾル 飛沫と接触	不十分な換気、換気量 $0.7\text{or}2.5$ L/s/person ($2.5\text{-}9\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$)
Xu et al. ³⁾	日本	データ収集 ・解析	クルーズ船	197	濃厚接触	十分な換気。空調システムは SARS-CoV-2 伝播に関与しな かった。
Jiang et al. ⁴⁾	中国	疫学解析	デパート	43	接触・飛沫・ エアロゾル	空調システムが設置しておらず、 換気状態が悪い。
Man et al. ⁵⁾	オランダ	フィールド調査	高齢者施設	17	エアロゾル	不十分な換気、フィルターなし
Li et al. ⁶⁾	中国	疫学データと 実験	レストラン	9	エアロゾル	換気量不足。0.56-0.77ACH
Vernez et al. ⁷⁾	スイス	フィールド調査	法廷	5	エアロゾル	リニュアルは重要な役割を果た し、滞在時間 0.5h 以上、換気量 $2\text{-}3/\text{h}$ 低下
Hwang et al. ⁸⁾	韓国	フィールド調査	住宅	9	エアロゾル	不十分な換気
Katellaris et al. ⁹⁾	オースト リア	フィールド調査	礼拝で合唱	12	エアロゾル	不十分な換気、天井と壁の換気装 置が運転されていなかった。ドア と窓が閉じていた。
Günther et al. ¹⁰⁾	ドイツ	フィールド調査	食肉加工工場	1,400	エアロゾル	不十分な作業場の空調は再循環方 式

1. Hamner L, et al. High SARS-CoV-2 Attack rate following exposure at a choir practice -Skagit County, Washington, March 2020. *MMWR*.2020;69:19.
2. Miller SL, et al. Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air*.2021;31:314–323.
3. Xu P, et al. Lack of cross-transmission of SARS-CoV-2 between passenger’s cabins on the Diamond Princess cruise ship. *Build Environ*.2021;198:107839.
4. Jiang G, et al. Aerosol transmission, an indispensable route of COVID-19 spread: case study of a department-store cluster. *Front Environ Sci Eng*.2021;15(3):46.
5. Man P, et al. Outbreak of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in a nursing home associated with aerosol transmission as a result of inadequate ventilation. *Clin Infect Dis*.2021;73:170-171.
6. Li Y, et al. Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *Build Environ*.2021;196:107788.
7. Vernez D, et al. Probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated courtroom. *Indoor Air*.2021;00:1-10.
8. Hwanga SE, et al. Possible aerosol transmission of COVID-19 associated with an outbreak in an apartment in Seoul, South Korea, 2020. *Int J Infect Dis*.2021;104:73-76.
9. Katelaris AL, et al. Epidemiologic Evidence for Airborne Transmission of SARS-CoV-2 during Church Singing, Australia, 2020. *Emerging Infectious Disease*,27(6):1677-1680
10. Günther T et al. : SARS-CoV-2 outbreak investigation in a German meat processing plant, *EMBO Molecular Medicine* 12: e13296.2020.

参考文献

1. Wells WF. Airborne Contagion and Air Hygiene. An Ecological Study of Droplet Infections. Harvard University Press, Cambridge, 1955.
2. World Health Organization (WHO). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. 2021
3. 厚生労働省：商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を果敢するための換気について 2020年 <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000616069.pdf>

2.8 室内空気の攪拌がウイルス感染症対策に与える影響に関する関連論文・報告

(鍵直樹)

室内空気を攪拌することにより、感染のリスクが低減することについては、明確な知見がないのが現状である。WHO においては、密閉された空間において攪拌するとウイルスを拡散させる可能性があるため、窓や扉を開けておくこと、空気の流れを作ることで換気を良くできる可能性が述べられている¹⁾。窓を開けることが条件となっている。

新型コロナウイルスについては、WHO によれば、飛沫感染、接触感染が主な感染経路と説明しており、季節性インフルエンザと同様に空気感染の可能性は低いことを述べている²⁾。しかしながら、空気を介した感染の可能性について、いくつかの事例が報告されている。よって、空気を介してウイルスが伝播することは十分に可能性がある。しかし、感染者から発生する飛沫・飛沫核は、局所的に発生、拡散、移流されるため、室内に一様に分布しておらず、濃度の分布が生じている。よって、局所的に飛沫核粒子の高い場所と薄い場所があることが一般的であり、これが感染にも影響される。

このような感染の事例においては、広州のレストランがある³⁾。ここでは感染者が友人9名と食事をし、そのテーブルの半数の感染が発覚した。さらに隣接するエアコン吹き出しの風下のテーブルにも感染が拡大していた。しかしながら、このエアコンの循環流から外れた位置での感染は確認されなかった。よって、この感染にはエアコンの気流とともに移流した感染者からの飛沫核が、被感染者へ到達したことを示したものであった。しかしながら、このレストランでは換気装置がトイレの換気扇のみ運転され、レストラン客席空間の換気装置は動作せず、換気回数で0.56-0.77回/h程度で、通常の換気量よりも非常に少ないことが感染の原因であったとも指摘されている。

扇風機、サーキュレーターを用いて室内空気を攪拌して、感染リスクを下げることを期待して行われている。この方法には、換気を促進する効果と局所的に濃度が高くなることを防止することの効果を狙ったものと考えられる。

窓を開放して、自然換気を行う際に、開口部に扇風機を行うことで、換気量の違いを検討した結果がある^{4),5)}。扇風機を外気からの空気の流入・流出を促進するように配置することにより、換気量は若干増加する傾向にあるものの、単一の窓のみで換気を行うのではなく、流入経路を確保することが重要であることが述べられている。よって、自然換気を促進するためには、流入・流出する経路をそれぞれの空間で想定する必要がある。

ファンなどによる空気の攪拌は、局所的に濃度の高い空間を排除することは可能であるものの、濃度の低い空間に飛沫核粒子を移流させるため、それまで感染リスクが低かった場所が、高くなる可能性もある。空気の流れを慎重に検討する必要があるため、更なる知見が必要と考えられる。

参考文献

1. World Health Organization: Coronavirus disease (COVID-19): Ventilation and air conditioning, 2021, <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-ventilation-and-air-conditioning>
2. World Health Organization: Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations, 2020
3. Jianyun Lu et al.: COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020, *Emerg Infect Dis.* 2020 Schaffer, F.L., Soergel, M.E. & Straube, D.C.: Survival of airborne influenza virus: Effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. *Archives of Virology* 51: 263-273, 1976
4. 富澤佑介、尾方壮行、竹永めぐみ、落合涼、稲葉愛永、田辺新一：室内環境における新型コロナウイルス感染リスク低減に関する研究 その2:長期・短期曝露による感染リスク評価に基づく教室運営方法の提案、日本建築学会学術大会講演梗概集、1219-1223、2021
5. 小林知広、崔ナレ：大学講義室における第1種機械換気と自然換気の併用及び扇風機による換気促進効果の検証、日本建築学会学術大会講演梗概集、1287-1291、2021

2.9 薬剤の空間噴霧

(金勲)

WHO 及び厚生労働省はいかなる薬剤も人が居る空間に噴霧することは健康への影響が懸念されることから勧めていない。WHO の COVID-19 に係る環境表面の洗浄・消毒(暫定ガイドライン、2020年5月15日)¹⁾は表面消毒のための薬剤噴霧は効果より害が大きいとっており、その文中に空間噴霧による人体への影響があるため勧めないとしている。

また、路上や市場など屋外での空間噴霧や燻蒸も COVID-19 への効果はあんまり期待できない上健康影響が懸念されるため推奨しないとしている。

厚生労働省は特設ページ²⁾にて、WHO と同じ内容を伝えている。消毒剤や、その他ウイルスの量を減少させる物質について、人の眼や皮膚に付着したり、吸い込んだりするおそれのある場所での空間噴霧をおすすめしないとしている。更に、消毒効果を有する濃度の次亜塩素酸水も吸いこむことは推奨できず、空間噴霧は無人の時間帯に行うなど、人が吸入しないよう注意を呼びかけている。また、ウイルスを無毒化することを効能・効果として明示する場合、医薬品・医薬部外品の承認が必要だが、現時点で薬機法上の「消毒剤」としての承認が無く「空間噴霧用の消毒薬」として承認が得られた次亜塩素酸水はない。

空間噴霧としてよく使われている薬剤は次亜塩素酸水、二酸化塩素、オゾン(O₃)などがあり、噴霧方式はスプレー、超音波霧化、燻蒸、商品形態としては据え置き、首掛けタイプなどがある。また、関連製品の中には消費者庁で景品表示法に基づく措置命令を受けているものもあるので要確認である。

これらの製品は室内空気中に基準値以下の低濃度で噴霧することで空気中ウイルスや微生物を不活化すると共に濃度が低いため健康影響がないと謳っている。しかしながら、低濃度での長期曝露による健康影響は明らかになっていない。

最近の研究では、動物実験により低濃度オゾン曝露は健康な肺には問題を起ささないが、何らかの肺疾患や肺機能異常があるヒトには肺胞にダメージを与える³⁾ことも示唆されている。

また、韓国では皮膚や表面消毒用の消毒剤を加湿器殺菌剤として販売したことで1000名以上が死亡する事故が起きており、未だに実際の被害規模は明らかになっていない。これは、経口・経皮・吸入毒性はその濃度に桁違いの差があることを無視したことが招いた大惨事である。

低濃度であっても人が居る空間に化学薬品を含め刺激臭のあるものを空間噴霧することは推奨しないことが重要である。

但し、専門企業のなかには人が居ない環境下で表面や空間を殺菌する技術を提供するサービスがあり、高濃度噴霧による表面と空間の殺菌・除菌を行うことが多い。この場合は、「人がいない」空間で安全管理を徹底した上で作業し、噴霧処理後に洗浄と換気を行ってから安全な状態で引き渡すことが重要である。

参考文献

1. WHO, Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19 (Interim guidance), 2021.5.
2. 厚生労働省、「新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について(厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ)」
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html
3. Kengo Tomita, et al : An Acceptable Concentration (0.1 ppm) of Ozone Exposure Exacerbates Lung Injury in a Mouse Model, American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology, <https://doi.org/10.1165/rcmb.2021-0302LE>, 2021.9, 12pages

2.10 ヒトに感染するコロナウイルス

HCoV,SARS,MERS,SARS-CoV-2

(柳宇)

2.10.1 ヒトに感染するコロナウイルス

図 2.10.1.1 にこれまで発生したヒトに感染するコロナウイルス(Human Coronavirus : HCoV)を示す。20 世紀半ばまでの 750 年間で 4 種類の HCoV が確認された。しかし、この僅かな 20 年間で新たに 3 種類の HCoV が確認されている(SARS、MERS、SARS-CoV-2)。

COVID-19 が終息した後の近い将来に新たな HCoV の発生が懸念されている。

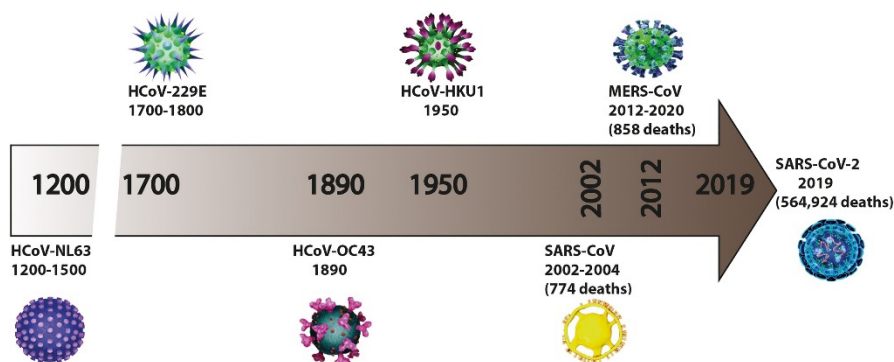


図 2.10.1.1 ヒトに感染するコロナウイルス発生史

出典 : Bchetnia M, et al. The outbreak of the novel severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2): A review of the current global status. Journal of Infection and Public Health, Volume 13, Issue 11, November 2020, pp.1601-1610, <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.07.011>

2.10.2 コロナウイルスの分類

現在、ウイルスは遺伝子塩基配列を基に分類されている。コロナウイルスは、アルファ(Alphacoronavirus)、ベータ(Betacoronavirus)、ガンマ(Gammaparacoronavirus)、デルタ(Deltacoronavirus)の四つのグループに分類されている。図 2.10.1.1 に示すコロナウイルスのうち、HCoV-NL63 と HCoV-229E はアルファグループ、その他の全てはベータグループに分類されている。

2.10.3 ウイルスの感染力を表す基本再生産数 R_0

基本再生産数(R_0 , basic reproduction number)は疫学において、感染症に感染した 1 人の感染者が、まだその感染症の免疫を 1 人も持っておらず、感染症対策を施していない集団に入ったとき平均で何人に直接感染させるかという人数を表す。したがって、 R_0 値は感染症の原因となる病原体そのものの感染力の強さを表すものである。

図 2.10.3.1 に 2021 年 7 月 29 日にアメリカ CDC から公開された SARS、MERS、SARS-CoV-2 の従来株(ancestral strain)とインド由来の変異種デルタ株(Delta variant)、これまで分

かっている他の病原体の R_0 値と致死率を示す。MERS の R_0 値が小さいが致死率が高い。SARS は従来型の SARS-CoV-2 と比較すると R_0 値は同程度であるが致死率が高い。また、従来型の SARS-CoV-2 に比べ、デルタ株の致死率は同程度であるが、 R_0 値が空気感染と言われている水痘と同程度である。デルタ株は日本国内内で発生した第 5 波の主役であった。

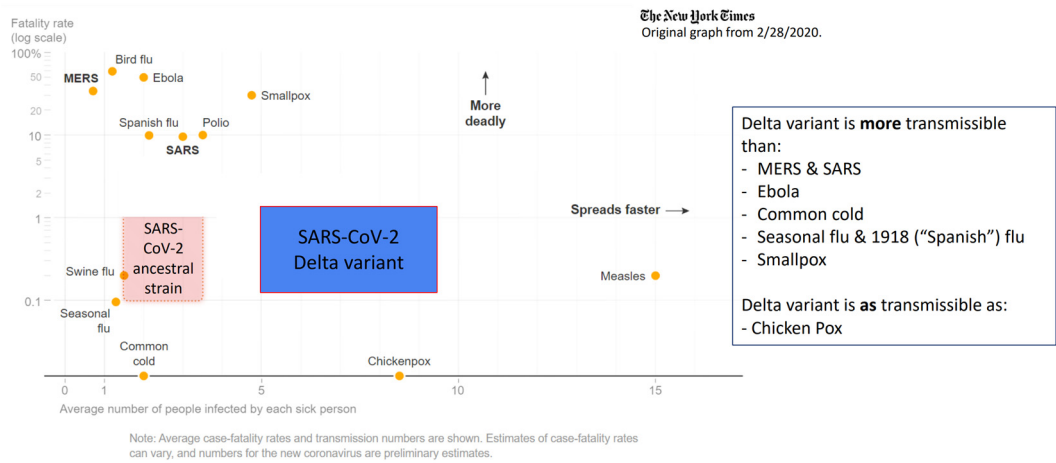


図 2.10.3.1 諸病原体の R_0 値と致死率

出典：Meredith McMorro, MD, MPH Co-lead, Vaccine Effectiveness Team Representing EPI Task Force. Improving communications around vaccine breakthrough and vaccine effectiveness. CDC, July 29, 2021. <https://context-cdn.washingtonpost.com/notes/prod/default/documents/8a726408-07bd-46bd-a945-3af0ae2f3c37/note/57c98604-3b54-44f0-8b44-b148d8f75165>.

HCoV, SARS, MERS, SARS-CoV-2 の比較

表 2.10.3.1 にヒトに感染するコロナウイルスの特徴を示す。工学的な対策においては、感染症の原因となる病原体の伝播経路の対策が最も重要となる。HCoV、SARS-CoV、MERS-CoV、SARS-CoV-2 の何れにおいても多様な伝播経路を有している。したがって、これらの病原体に対して、接触伝播の対策(表面消毒、手指衛生)、飛沫伝播の対策(3密を避ける、マスクの着用、ソーシャルディスタンスの確保)、エアロゾル伝播の対策(換気、ろ過、紫外線消毒)を施すことが重要である。

表 2.10.3.1 ヒトに感染するコロナウイルスの比較

病原体	HCoV-229, HCoV-OC43, HCoV-NL63, HCoV-HKU1 (風邪のコロナ)	SARS(サーズ) 死亡者/感染者	MERS-CoV(マーズ) 死亡者/感染者	SARS-CoV-2 (新型コロナ) 死亡者/感染者
感染症名	風邪	SARS : 重症急性呼吸器症候群	MERS : 中東呼吸器症候群	COVID-19 : 新型 コロナウイルス感染症
発生年	毎年	2002-2003(終息)	2012年-現在	2019年-現在
宿主動物	ヒト	コウモリ	ヒトコブラクダ	コウモリ ²⁾
発生地域	世界中で人類に 蔓延している	中国広東省	アラビア半島とその周辺 地域	中国武漢市。 全世界に感染拡大。
死亡者数 /感染者数	不明/77億	774/8,089	935/2578	480万/2億3千万
主な症状	鼻炎、咳、 上気道炎	咳、高熱、肺炎、 下痢	咳、高熱、肺炎、 腎炎、下痢	咳、高熱、肺炎
重傷者 の特徴	通常は重症化 しない	糖尿病等の慢性疾患、 高齢者	糖尿病等の慢性疾患、 高齢者	糖尿病等の慢性疾患、 高齢者
潜伏期間	数日(不明)	1-10日	2-14日	1-14日
感染経路	エアロゾル ¹⁾ 、 飛沫、接触	エアロゾル ¹⁾ 、 飛沫、接触、便	エアロゾル ¹⁾ 、 飛沫、接触	エアロゾル ¹⁾ 、 飛沫、接触

1) 原文は"咳"であるが、ここではエアロゾルと表現する。

2) 原文"不明"と表現しているが、下記の文献を基に"コウモリ"と表現する。

a) Lu R, et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus:

implications for virus origins and receptor binding. The Lancet 2020.

b) Perlman S. Another decade, another coronavirus. NEJM 382;8,760-762

c) Bolles M, et al. SARS-CoV and emergent coronaviruses: viral determinants of interspecies transmission. Current Opin Virol 2011;1 (6):624-34

出典：国立感染症研究所ホームページ「コロナウイルスとは」をもとに作成(2021年9月30日改訂)

<https://www.niid.go.jp/niid/ja/kansennohanashi/9303-coronavirus.html>

2.10.4 今後起きる新たな感染症への備え

COVID-19の病原体であるSARS-CoV-2の変異が頻繁に起きており、今後どのようなウイルスに変異するかは予測できない。さらに、この20年間で既に3種類のHCoVが発生していることを考えれば、COVID-19が終息したとしても、近い将来に新たなHCoVが発生する可能性がある。“備えがあれば憂いなし”という言葉の如く、今回のパンデミックの研究成果、現場で実用的な対策を系統的に整理し、今後新たな感染症が起きたときに的確かつ迅速に対策を施せることが極めて重要である。

第3章 オフィスビル 感染拡大時に備 えたウイルス感染症対策技術

3.1 オフィスビル 感染拡大時の建築物におけるウイルス感染症対策の実態

(海塩渉)

2020年、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)流行に伴い、オフィスのあり方やオフィスワーカーの働き方に大きな変化が生じた。オフィスでは感染経路に応じた種々の対策が講じられ、主な感染経路とされる飛沫感染の対策として物理的な離隔の確保等が、接触感染対策としてアルコールによる除菌や手洗い等が実施されている。さらに2020年7月に世界保健機関WHOが、2020年10月には米疾病対策センターCDCが空気感染の可能性を認め、建物の換気・空調のあり方に注目が集まっている。その裏付けとして、With COVID-19における換気・空調の運用に関するガイドラインが各国で発行され、その国際比較も行われている¹⁾。ガイドラインの空気感染対策としては、窓開けや換気量の増加、空調の24時間運転等、省エネの観点から不利側となるものも多い。省エネは建築分野の重要課題と位置づけられていることから、長期化するWith COVID-19においては感染対策と省エネのあり方を検証する必要がある。

そこで本節では、With COVID-19のオフィス環境や働き方の実態調査結果に触れ、感染管理や室内環境、エネルギー消費の実態や課題点を明らかにすることを目的とする。本節の流れは、建築物におけるウイルス感染の機序について概説し、厚生労働科学研究等に基づき近年の建築物の空気環境の動向について触れる。その後、2020年11、12月(第3波のピーク到来前)の2週間、18企業の22ビルに対して実施したオフィスワーカーの働き方やオフィスでの感染症対策、設備やその運用に関する実態調査の結果を述べる。併せて、外気導入量とエネルギー消費量の関係について、シミュレーションベースでの検討結果も紹介する。

1. Guo M, Xu P, Xiao T, et al. Review and comparison of HVAC operation guidelines in different countries during the COVID-19 pandemic. Building and Environment. 2021.1,doi:10.1016/j.buildenv.

3.1.1 建築物におけるウイルス感染の機序

(鍵直樹)

一般的に、ウイルスなどの感染経路としては、人と人との接触、表面に付着したウイルスを介した「接触感染」、感染者が咳などで排出した主に1m程度の距離で沈降せずに相手方に到達する飛沫による「飛沫感染」、そしてこの飛沫が乾燥して小さな飛沫核となって空気中に漂い、1m程度以上の距離であっても吸入して感染する「空気感染」に分けることができる。対策としては、「接触感染」については手洗いや表面消毒、接触の機会の軽減、「飛沫感染」についてはマスクなどの発生源の制御、距離を確保すること、そして「空気感染」については空気中に浮遊している飛沫核を除去するため換気が有効であるとされている。なお、感染者から咳・くしゃみで飛沫とともにウイルスが体外に排出され、一般に粒径 $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を飛沫と呼び瞬時に沈降・沈着してしまうもの、飛沫が乾燥して粒径 $5\mu\text{m}$ より小さいものを飛沫核と呼び、長時間浮遊するものである。

空気感染による感染防止のため、空気中に浮遊している飛沫核を空気の流れを用いて移流し、排除、除去するために、空調設備及び通風換気が非常に重要な対策技術・手法となる。建築物に備えられた設備を用いて所定の能力の換気が行われていることが重要であり、もし換気量が足りない場合には、窓開けなどにより通風換気を行うこととなる。

ウイルス感染予防のための必要換気量については、確立したエビデンスは十分でない段階である。この必要換気量としては、非住宅においては建築物における衛生的環境の確保に関する法律(建築物衛生法)における空気環境の調整に関する基準に適合している、すなわち二酸化炭素濃度の基準値である 1000ppm を超過しないような必要換気量(1人あたり毎時 30m^3)を満たすことが、その空間が「換気が悪い空間」には当てはまらなないと、目安として用いているところである。よって、二酸化炭素濃度をモニタリングすることが重要である。また、住宅においては、換気回数 0.5 回/hの換気が確保されていることが目安となるかもしれない。機械換気設備がある建築物においては、まずは確実に設計上の換気のパフォーマンスが確保されているかが重要であると考えられる。機械換気設備により十分な換気が得られない場合には、通風換気により外気を導入し、換気量を確保することとなる。中間期には問題ないが、夏期及び冬期においては、室内の温熱環境も配慮する必要があるため、必要以上の通風換気は避けるべきであると考えられる。

以上は、換気により室内空気にある浮遊しているウイルス粒子を希釈して、呼吸で吸引する量を減らすことの対策である。飛沫核は粒子であるので、エアフィルターにより捕集することが可能である。飛沫核は粒径 $5\mu\text{m}$ 以下のものと定義されているが、知見は少ないもののSARS-CoV-2は空間中に粒径 $1\text{-}4\mu\text{m}$ の範囲で検出されている¹⁾。これは、エアフィルターで十分な性能でろ過することが可能であり、換気の他に空調機に備わっている中性能エアフィルター又は空気清浄機のエアフィルターにより除去することができる。空調の循環量、空気清浄機の風量など、除去することに必要な条件設定は必要となるが、換気を増大させるだけでなく、エアフィルターの効果も期待することが可能と考えられる。また、ウイルスはUVによる殺菌を期待することができ、直接ヒトに照射すると健康に影響(白内障、皮膚がん)を及ぼすため、UVランプの設置位置場所を工夫し、室内上部のみ照射し、そこに入ってくる空気を殺菌する室内上部型UVGIがある。我が国では導入事例が少ないが、空調・換気の補助になるものと考えられる。

参考文献

1. 鍵直樹：新型コロナウイルスの感染経路と空気中での粒径特性、空気清浄、第 58 巻、第 3 号, pp. 130-133, 2020

3.1.2 建築物におけるウイルス感染対策がエネルギー消費に与える影響

(上野貴広)

本節では COVID-19 が民生住宅・非住宅部門のエネルギー消費に与えた影響を記述する。

IEA のレポート¹⁾によると、2020 年は一次エネルギー需要が 4%近く減少したため、世界のエネルギー関連の CO₂ 排出量は 5.8%減少し、第二次世界大戦以降で最大の年間減少率となっている。絶対値で見ると約 2 億トンの CO₂ 排出量減少は、人類の歴史の中で前例がなく、大まかに言えば、欧州連合(EU)の排出量を全世界の総排出量から除外した値と同等である。

国内の建築物におけるエネルギー消費についても様々な報告が公開されている。電力中央研究所は関東圏に居住する約 1.2 万世帯のスマートメータデータの分析から、家庭の電力消費量が前年よりも増加していることを確認している²⁾。2020 年度のガス消費量³⁾については、COVID-19 の流行前と比較して、在宅時間増加による需要増等により住宅の消費が増加している一方で、飲食、ホテル等での営業時間短縮や営業自粛等により非住宅の消費は減少していると報告されている。

参考文献

1. International Energy Agency (IEA), Global Energy Review: CO2 Emissions in 2020, (online), available from < <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>> (参照 2021 年 10 月 18 日)
2. International Energy Agency (IEA), Global Energy Review: CO2 Emissions in 2020, (online), available from < <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>> (参照 2021 年 10 月 18 日)
3. 東京ガス、2021 年 3 月期決算短信〔日本基準〕(連結) (online), available from < <https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20210428-01.pdf>> (参照 2021 年 10 月 18 日)

3.1.2.1 外気導入量がエネルギー消費に及ぼす影響

(上野貴広)

本節では外気導入量の変更がエネルギー消費に及ぼす影響と省エネルギー対策を検討する。

外気導入とエネルギー消費に関する国内既往研究の多くは、中間期等での自然換気導入による省エネ効果の検討であるが、外気導入量の設定変更による空調エネルギー消費への影響に関しても、国内外でいくつか既往研究がある。菊池ら¹⁾の計算では、オフィス空間の外気量を $30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$ から $30.75\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$ に増加させた場合、空調システムの年間エネルギー消費量が6.2%増加している。不破²⁾のオフィスを対象とした検討では、外気導入量を1回/h相当から2回/h相当に増加させた場合、外気負荷が夏期に約2倍、冬期に約3倍増加した。Spencerら³⁾によるカリフォルニア州全体のオフィスを対象にした計算では、最小外気換気率を50%と100%にそれぞれ増加させると、空調・換気エネルギー消費がそれぞれ7.6%と21.6%増加する結果となっている。Hugoら⁴⁾のシミュレーションでは、ヨーロッパの3都市におけるオフィスや学校で、様々な設定で換気量の変化の影響を計算した結果、換気量を $1\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 変更すると、建物に応じて $0.3\sim 0.6\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{年})$ の空調・換気エネルギー消費に影響を与えている。

本節ではさらにオフィスビルを対象に、国内の複数地域において外気導入量の変化によるエネルギー消費量への影響を計算した。計算対象建物の概要を次に示す。こちらの建物はWebプログラムやBESTのサンプルと同様のものである。

表 3.1.2.1 建物の概要

用途	事務所(本社社屋)
場所	東京都千代田区
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造
敷地面積	$5,000\text{m}^2$
階数	地下1階、地上9階、塔屋1階
建築面積	$1,500\text{m}^2$
延床面積	$10,000\text{m}^2$
各階の主要室	9階 食堂・厨房 2階～8階 事務室 1階 事務室、エントランスホール 地階 機械室、中央監視室

表 3.1.2.2 設備の概要

空調	換気	照明	給湯	昇降機
空冷ヒートポンプ ユニット (中央熱源方式)	給気送風機 排気送風機	二重環形蛍光灯	電気温水器 ガス式給湯機	常用：2台 非常用：1台

札幌(2地域)、仙台(4地域)、東京(地域)、那覇(8地域)の4地域において、初期設定の2倍の外気導入と、全外気導入(初期設定の4倍～5倍)を検討した。計算結果の基準エネルギー消費量との比率(BEI)を図3.1.2.1に示す。ほとんどの結果において、外気量の増加は増エネにつながっていた。特に全外気導入を行うと、札幌や東京では初期設定の約1.2倍にエネルギー消費量が増えている。また、空調のエネルギー消費の内訳をみると、全地域で全外気では初期設定から暖房用途のエネルギー消費量が大きく増加となっている。なお、那覇地域にお

いて全外気導入では外気冷房による熱源冷房用途の省エネ効果が、外気量増加による増エネを上回ったため、初期設定よりもエネルギー消費量が減っている。

また全熱交換器(全熱交換効率 65%)を設置して同様の検討を行った。BEI を図 3.1.2.2 に示す。図 3.1.2.1 と比べて、全体的に外気量の増加による増エネが抑えられている。しかし、札幌地域において全外気導入では全熱交換器による増エネ抑制効果が比較的小さくなっているが、考えられる原因の1つとしては、寒冷地域のため冬期の室外と室内の空気温度差が極めて大きく、かつ外気導入量が通常の4~5倍と極めて大きいことでダクト内の風速も大きくなっているため、全熱交換器による熱交換が不十分な外気の導入による暖房負荷削減量の低下が挙げられる。

以上の結果から、暖房負荷の少ない温暖な地域を除いて、外気量の増加は増エネにつながるため、これを抑えるには全熱交換器や高効率暖房熱源といった設備の適切な導入等が有効である。

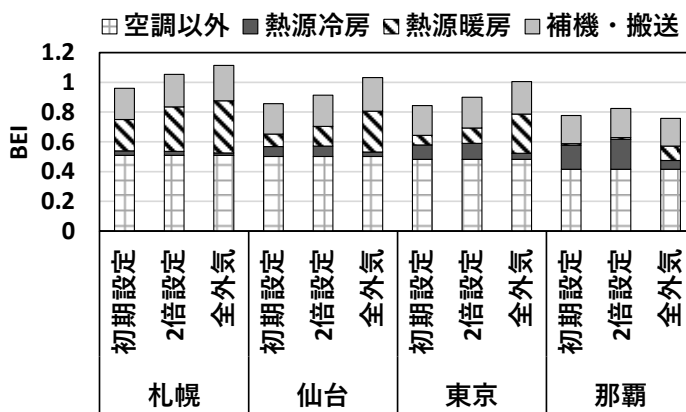


図 3.1.2.1 各計算結果の BEI

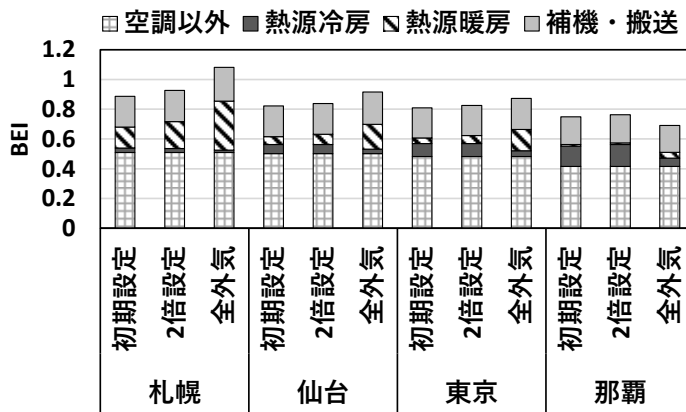


図 3.1.2.2 全熱交換器を設置した各計算結果の BEI

1. 菊世欧啓 他：外気導入量の最適化と年間エネルギー消費量の解析日本建築学会環境計論文集、69 巻 582 号 p.53-60, 2004,8
2. 不徹生：設計実務者からの視点～with コロナの建築設備・BCP～、第 53 回建築設備技術会議、2020,11
3. Spencer M Dutton and William J Fisk : Energy and Indoor air quality implications of alternative minimum ventilation rates in California offices, Building and Environment, Vol.82, p.121-127 , 2014,8
4. Hugo R.R.Santos and Vitor M.S.Leal, Energy vs. ventilation rate in buildings, Energy and Buildings, Vol.54, p.111-121, 2012,8

3.1.3 厚生労働科学研究等による室内環境調査データを用いた分析

(開原典子)

建築物衛生法の特定建築物をはじめ我国の建築物の衛生環境は、様々な要因(建築物及び空調衛生設備の設計における省コスト・省エネルギー技術の導入、維持管理運営における省コスト・省エネルギー等)により変化している。感染拡大時の対応など、建築物の維持管理は一層重要となっており、より効果的な指導等が求められている。

本節では、厚生労働科学研究等によって得られている建築物の室内環境について紹介する。

3.1.3.1 建築物衛生法の環境衛生管理基準とウイルス感染症対策

(開原典子)

(1) 建築物衛生法の概要¹⁾

興行場、百貨店、店舗、事務所、学校等の用に供される建築物で、相当程度の規模を有するものを「特定建築物」と定義し、その特定建築物の所有者、占有者等に対して、「建築物環境衛生管理基準」にしたがって維持管理をすることを義務づけ、厚生労働大臣の免状を持つ「建築物環境衛生管理技術者」にその維持管理の監督に当たらせるとともに、建築物の環境衛生上の維持管理を行う事業者は都道府県知事の登録を受けることができる、ということを中心にしている。特定建築物の所有者等は、その特定建築物が使用されるに至ったときに、その日から1か月以内に、厚生労働省の定める事項を都道府県知事(保健所を設置する市又は特別区にあっては、市長又は区長)に届け出なければならない。

(2) 建築物環境衛生管理基準(空気環境の調整)¹⁾

特定建築物維持管理権原者(特定建築物の所有者、占有者その他の者で当該特定建築物の維持管理について権原を有する者)は、建築物衛生法に規定される「建築物環境衛生管理基準」にしたがって当該特定建築物の維持管理をしなければならない。

特定建築物以外の建築物であっても、多数の者が使用、利用するものについては、建築物環境衛生管理基準にしたがって維持管理をするように努めなければならない(法第4条第3項)こととされており、いわゆる努力義務が課せられている。

表 3.1.3.1 空調設備を設けている場合の空気環境の基準

浮遊粉塵の量	0.15mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有量	100 万分の 10 以下(=10ppm 以下) ※特例として外気がすでに 10ppm 以上ある場合には 20ppm 以下
二酸化炭素の含有量	100 万分の 1000 以下(=1000ppm 以下)
温度	(1) 17°C以上 28°C以下 (2) 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
相対湿度	40%以下 70%以下
気流	0.5m/秒以下
ホルムアルデヒドの量	0.1mg/m ³ 以下(0.08ppm 以下)

出典：厚生労働省ホームページ「建築物環境衛生管理基準について」をもとに作成

<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/index.html>

空気環境の調整において、空調設備(浄化、温度、湿度、流量の調節機能を備えた設備)を設けている場合、居室では、表 3.1.3.1 の基準に適合するように、維持管理しなければならない。

(3) 建築物衛生法 特定建築物におけるウイルス感染症対策の考え方^{2), 3), 4)}

新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の「新型コロナウイルス感染症対策の見解」(令和 2 年 3 月 9 日及び 3 月 19 日公表)によると、これまで集団感染が確認された場所で共通するのは、①換気の悪い密閉空間、②多くの人が密集していた、③近距離(互いに手を伸ばしたら届く距離)での会話や発声が行われたという 3 つの条件が同時に重なった場合であるとしている。²⁾

新型コロナウイルス厚生労働省対策本部では、リスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するため、推奨の換気方法をまとめている。^{3), 4)}

「換気の悪い密閉空間」はリスク要因の一つに過ぎず、1 人あたりの必要換気量を満たすだけで、感染を確実に予防できるということまで文献等で明らかになっているわけではないことに留意する必要がある。²⁾

3.1.3.2 室内空気環境の実態とウイルス感染症のリスク

(開原典子)

(1) 建築物衛生法における空気環境基準不適合率の動向

空気環境の調整において、空調設備(浄化、温度、湿度、流量の調節機能を備えた設備)を設けている場合、居室では、表 3.1.3.1 の基準に概ね適合するように、維持管理しなければならない。浮遊粉塵、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流については、2 か月以内に 1 回、各階ごとに 1 カ所以上適当な居室を選んで、その中央部の床上 75 cm 以上 150 cm 以下の位置で測定し、浮遊粉塵、二酸化炭素、一酸化炭素は算術平均、温度、相対湿度、気流は常に基準に適合しているかで評価する。ホルムアルデヒドは、特定建築物の建築、大規模修繕、大規模模様替の後、建築物の使用を開始した日以後に最初に到来する 6~9 月に 1 回測定する。

図 3.1.3.1 に、行政報告例における特定建築物の届出件数、調査数(報告徴取数と立入検査数の合計)の推移を示す。令和元年度(2019 年)の特定建築物の届け出件数は、46,756 件であ

った。全国すべての自治体で増加し、全国総数は年 750 件程度増加している。一方、調査数には増加傾向が見られず、調査の頻度は低下している状況にある。

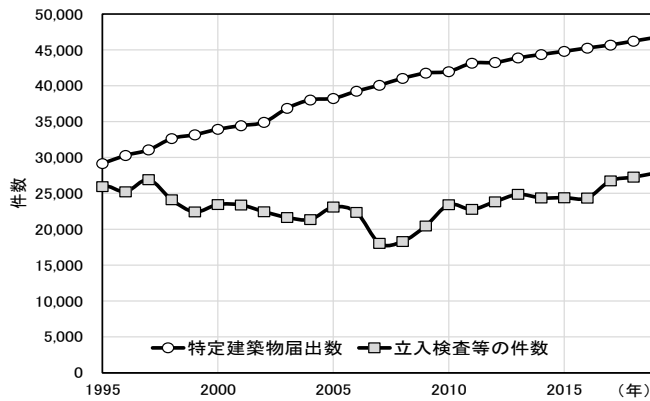


図 3.1.3.1 特定建築物の届出件数と調査数の推移⁸⁾

図 3.1.3.2 に、空気環境の調整 6 項目に関する不適率の推移を示す。令和元年度(2019 年)の場合、相対湿度が 56.6%、温度が 29.5%、二酸化炭素濃度が 26.6%となり、これらの項目(相対湿度、温度、二酸化炭素濃度)は、1999 年度以降、継続的な上昇の傾向がある。また、温度は 2011 年度から 2014 年度に一時的な上昇が見られるが、変化の要因として、1999 年の省エネルギー法改正にともなう換気量、設定温度の調整、個別制御の普及、2011 年の東日本大震災後の節電に伴う設定温度の調整の影響等が挙げられている。

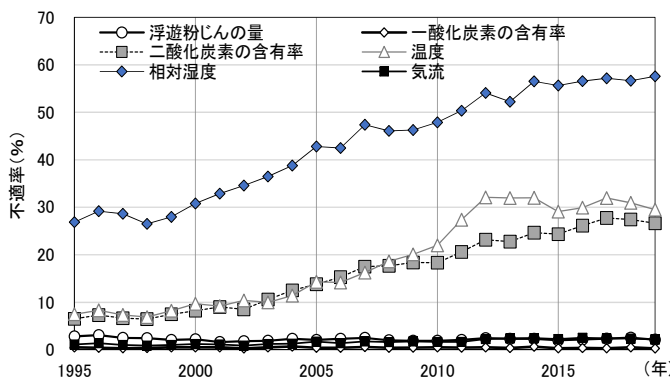


図 3.1.3.2 空気環境の調整 6 項目に関する不適率の推移⁸⁾

(2) ウイルス感染症のリスク^{5), 6), 7), 8)}

これまでに^{5), 6), 7)}、行政報告例、特定建築物数が多い東京都及び大阪府における立入検査データ、二酸化炭素の外気濃度データを用い、行政報告例の特性を踏まえて二酸化炭素濃度の不適率上昇の機序について、分析を行っている。1999 年以降の上昇の要因に、外気濃度上昇、省エネルギー等に伴う換気量の削減、各自治体における報告徴取率の増加がある。それらの影響は持続的に増大しており、今後も不適率の上昇が続くことが予想されている。このように、リスクが上昇している中で 2020 年に新型コロナウイルス感染症の感染拡大となる。

図 3.1.3.3 に、2007 年度から 2017 年度までの全国及び主な自治体の二酸化炭素濃度不適率の推移を示す。ほとんどの都道府県で上昇傾向が見られるが、自治体によって変化の状況が異なる。東京都では 2013 年度以降に低下傾向が見られるが、既往研究⁹⁾によれば東京都(23 区及び多摩地区の 10,000m² 以上の特定建築物)においても、2000 年度から 2009 年度の間外気濃度上昇と共に不適率が 15%程度上昇している。

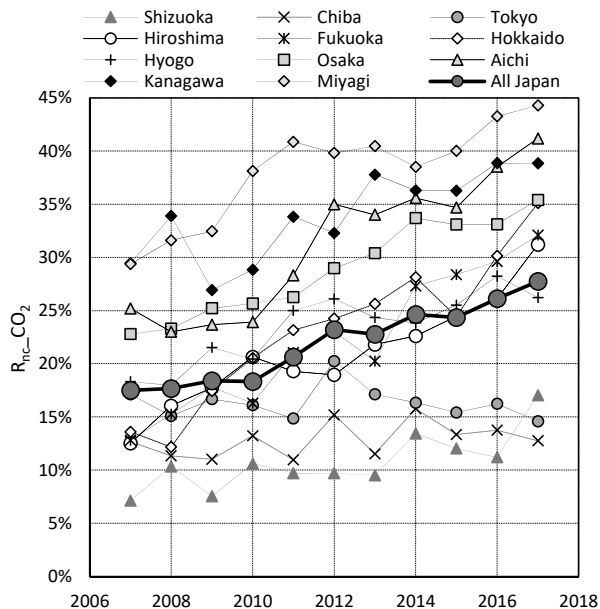


図 3.1.3.3 主な自治体の二酸化炭素濃度不適率(Rnc_CO₂)の推移⁸⁾

図 3.1.3.4 に、気象観測及び既往研究^{8), 10), 11), 12), 13), 14), 15), 16)}における外気の二酸化炭素濃度測定結果を示す。気象庁は、大気中の二酸化炭素濃度を、綾里、南鳥島、与那国島の3ヶ所で観測しているが、それらに差は認められない。また、埼玉県比企郡の堂平山の濃度は、若干高く推移している。首都圏及び名古屋の外気濃度(江東、浦和、新宿、騎西、町田、名古屋中心、名古屋郊外)は、気象庁の大気濃度よりも20~30ppm高く推移している。東京都多摩地区の特定建築物(Specific building)の立入検査時に屋上で測定された外気濃度の年平均値(Tokyo_SB)⁹⁾は、変動を伴ってさらに高く推移している。都市部では、二酸化炭素の発生源が多く、大気よりも高くなるとともに、測定時の気象条件や発生状況によって、ムラと変動が生じるために、郊外での測定よりもばらつきが大きくなっていると考えられる。

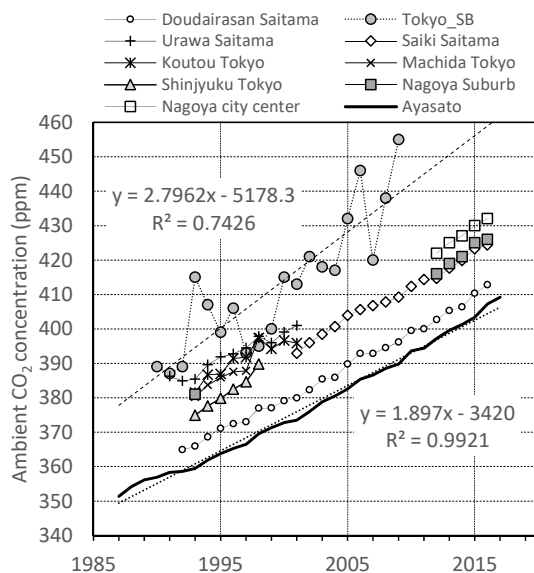


図 3.1.3.4 各地の二酸化炭素濃度⁸⁾

1. 建築物環境衛生管理基準について、厚生労働省、建築物衛生のページ、
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/index.html>(accessed 2021-8-16)
2. 商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について、令和2年3月30日、
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000616069.pdf>(accessed 2021-8-16).

3. 熱中症予防に留意した「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について、令和2年6月17日、<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000640920.pdf>(accessed 2021-8-16).
4. 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について、令和2年11月27日、<https://www.mhlw.go.jp/content/000698866.pdf>(accessed 2021-8-16).
5. 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究」(研究代表者：大澤元毅)平成26～28年度総合研究報告書、2017.
6. 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「建築物環境衛生管理基準の検証に関する研究」(研究代表者：林基哉)平成29～令和元年度総合研究報告書、2020.
7. 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「建築物環境衛生管理基準の検証に関する研究」(研究代表者：小林健一)平成29～令和元年度総合研究報告書、2020.
8. 林基哉、金勲、開原典子、小林健一、鍵直樹、柳宇、東賢一、特定建築物における空気環境不適率に関する分析、日本建築学会環境系論文集2019；84(765)：1011-8.
9. 中川晋也 他、特定建築物における二酸化炭素濃度不適率上昇の原因と対策、東京都健康安全研究センター研究年報 第62号,247-251,2011
10. 国土交通省気象庁ホームページ、二酸化炭素濃度の観測結果
https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2_monthave_ryo.html(accessed 2021-8-16).
11. 埼玉県ホームページ、二酸化炭素濃度の観測結果
<http://www.kankyou.pref.saitama.lg.jp/CO2/co2data.html>(accessed 2021-8-16)
12. 埼玉県ホームページ、埼玉県における二酸化炭素濃度の観測結果について、平成28年度二酸化炭素濃度観測結果、<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0502/nisankatanso.html>(accessed 2021-8-16).
13. 立野英嗣 他、都市大気中の二酸化炭素濃度について、札幌市衛生研究所年報23,pp.84-87,1996
14. 大塚定男 他、神奈川県内の大気中二酸化炭素濃度の現状、神奈川県環境科学センター業務報告2005, pp.73-77, 2005
15. 早福正孝 他、二酸化炭素濃度の地域格差に関する検討、東京都環境科学研究所年報2002,pp.231-236,2002
16. 海老名桜子 他、奈良県東吉野村におけるCO2濃度の動態解析Ⅲ、同志社大学ワールド・ワールド・ビジネス・レビュー 第10巻 地球環境計測特集号,pp.35-53,2009

3.1.4 ウイルス感染症対策の実態調査

3.1.4.1 実態調査の概要

(海塩渉)

新型コロナウイルス流行後の2020年11、12月(第3波のピーク到来前)の2週間、18企業の22オフィスビルに対して働き方や感染症対策、設備やその運用に関する実態調査を実施した^{1),2)}。

(1) アンケート

アンケートは、執務者用と建物管理者用の2種類を用意した。表3.1.4.1に概要を示す。執務者に対しては、Before/With COVID-19の働き方の変化やオフィス・在宅勤務環境について質問した。建物管理者に対しては、建物情報や換気・空調方式、その維持管理について問うた。

表 3.1.4.1 アンケート概要²⁾

対象	分類	主な項目
執務者	個人属性	年代、性別、業務内容、仕事満足度、通勤手段、ヘルスリテラシー(マスク・手洗い・体温測定)
	COVID-19 流行前後の働き方	1週間あたりの日数(職場勤務・オンライン会議・在宅勤務)、作業効率、残業時間
	オフィス環境と在宅勤務環境	環境満足度(光・温熱・空気質・音・空間・IT)、作業のしやすさ、職場でのCOVID-19対策※ COVID-19感染への不安、COVID-19対策満足度
	生活習慣と健康	睡眠(アテネ不眠尺度)、運動(IPAQ Short版)、メンタルヘルス(K6)、労働機能障害(WFun)
管理者	建物情報	所在地、竣工年、構造、階数、延床面積
	換気・空調情報	熱源方式、空調・外気処理方式、換気量、換気量制御、加湿方式、フィルター(循環・外気導入)
	建物維持管理	フィルターメンテナンス、環境モニタリング、クリーニング、建物使用前後の空気の入替え

※各ビルの代表者1名が回答

(2) 環境・人数実測

オフィス環境として温湿度、CO₂濃度、PM_{2.5}質量濃度を測定した。表3.1.4.2に概要を示す。測定箇所は代表者席の机上とした。外気温や外気湿度は、オフィスビルの所在地に最も近い気象台のデータを収集した。屋外のPM_{2.5}濃度は、大気汚染物質広域監視システム(そらまめ君)より取得した。実測中には1時間ごとの窓の開閉状況記入を依頼した。在室人数は、職場の入口付近への人数カウントセンサーの設置、もしくは日誌への記入により把握した。本調査は22ビル中21ビルからの協力が得られた。

表 3.1.4.2 環境・人数実測概要²⁾

項目	測定機器	測定場所	測定間隔
温湿度・ CO ₂ 濃度	TR-76Ui (T&D 社)	代表者席の机上 直射日光・発熱体を避けた位置	5 分間隔
PM _{2.5} 質量濃度	PMT-2500 (光明理化学社)	代表者席の机上 プリンターから離れた位置	1 分間隔
在室人数	MC-A101 (北陽電機社)	職場の入口 高さ 1.0 ± 0.1 m	連続測定
	(日誌への記入)	—	1 時間おき

(3) BEMS 等データ収集

With COVID-19 のエネルギー消費量やオフィス環境を Before COVID-19 の状況と比較するため、BEMS 等が導入されており、空調と電灯コンセントの電力量に分類可能な 4 ビルに対して 2019 年 1 月～2020 年 12 月までのデータ収集を依頼した。

参考文献

1. Umishio W, Kagi N, Asaoka R, Hayashi M, Sawachi T, Ueno T: Work productivity in the office and at home during the COVID-19 pandemic: A cross-sectional analysis of office workers in Japan, *Indoor Air*, 2021, doi:10.1111/ina.12913
2. 海塩渉、鍵直樹、浅岡凌、林基哉、澤地孝男、上野貴広：With COVID-19 下の働き方・オフィス環境・エネルギーの実態調査、日本建築学会大会、2021 年 9 月

3.1.4.2 新型コロナウイルス感染症による働き方の変化

(海塩渉)

(1) 執務者の基本属性

アンケートは916名からの回答を得た(表 3.1.4.3)。男性が4分の3を占め、幅広い年代からの回答が得られた。業務内容は研究・開発が最も多く、設計・技術と合わせた技術系の職員は約3分の2であった。体調は、9割超が普通又は良い側の回答であった。ヘルスリテラシーについて、勤務中にマスクを着用している執務者は9割超であった。出勤時や帰社時に必ず手洗いする者は4分の3、出勤前に必ず体温測定する者は約5割であった。

表 3.1.4.3 調査対象者の基本属性

項目	選択肢	n	(%)
性別	男性	717	(77.2)
	女性	209	(22.8)
年代	30歳未満	172	(18.7)
	30代	237	(25.9)
	40代	204	(22.3)
	50代	250	(27.3)
	60歳以上	53	(5.8)
業務内容	一般事務	60	(6.6)
	総務・経理・人事	35	(3.8)
	資材・調達・購買	5	(0.5)
	経営・企画・計画	76	(8.3)
	研究・開発	513	(56.0)
	設計・技術	107	(11.7)
	営業・販売	72	(7.9)
	生産管理・製造管理	17	(1.9)
	その他	30	(3.3)
体調	良い	381	(41.6)
	やや良い	150	(16.4)
	普通	307	(33.6)
	やや悪い	70	(7.6)
	悪い	7	(0.8)
マスク着用	勤務中と通勤中	681	(74.5)
	勤務中のみ	188	(20.6)
	通勤中のみ	39	(4.3)
	マスク着用なし	6	(0.7)
手洗い	出勤時や帰社時に必ず	703	(77.0)
	ときどき	178	(19.5)
	洗わない	32	(3.5)
体温測定	出勤前に必ず	433	(47.5)
	ときどき	239	(26.2)
	測定しない	240	(26.3)

(2) 執務者の働き方の変化

Before/With COVID-19 の双方での勤務を経験している執務者を抽出するため、現在の職場で1年以上働いている777名を分析対象とした。COVID-19の流行による働き方の変化の状況を図3.1.4.1に示す。週5日職場で勤務する者は9割から5割まで減少し、平均職場勤務日数は4.9→3.9日/週に減少した。一方で、週1日以上在宅勤務をしている者は5%から半数まで増加し、平均在宅勤務日数は0.1→1.1日/週に増加した。週1日以上オンライン会議をする者は約2割から8割まで増加し、平均オンライン会議日数は0.4→2.1日/週に増加した。以上のように、Before COVID-19と比べて在宅勤務の相対的な重要性が高まっているものの、依然として職場での勤務が中心であることが示された。

残業時間と主観作業効率の変化を図3.1.4.2に示す。残業時間が減少する好影響が確認された一方で、主観作業効率が低下するという悪影響も認められた。残業時間が減少する傾向は、所定外労働時間が減少したという国の調査¹⁾と同様の傾向であった。主観作業効率が減少したのは、在宅勤務が進んだものの、在宅勤務環境が仕事に適していなかった可能性がある。

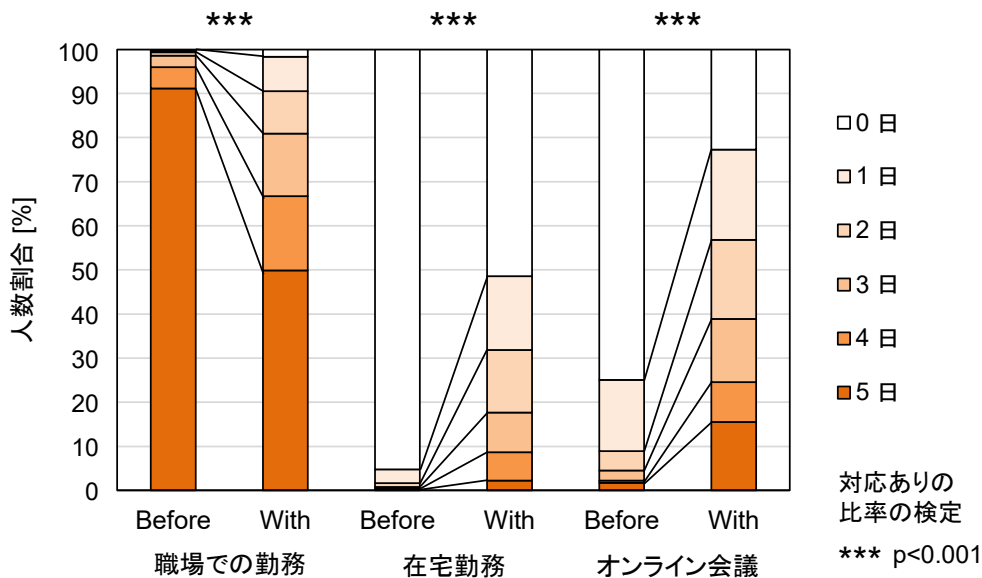


図 3.1.4.1 執務者の働き方の変化

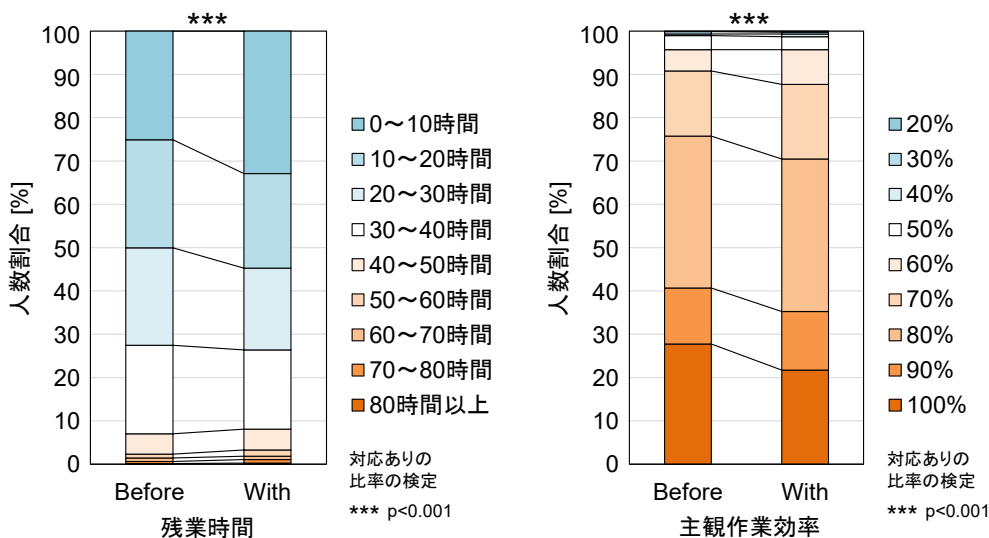


図 3.1.4.2 執務者の残業時間や作業効率の変化

そこで、With COVID-19 下で職場勤務と在宅勤務の双方を週 1 日以上している 432 名の執務者を対象に職場と在宅勤務環境の比較を行った(図 3.1.4.3)。光環境(机の明るさ)や空間(広さやレイアウト)、IT 環境(通信速度や安定性)については、在宅勤務側の不満足割合が有意に高かった。この要因として、光環境については職場のように作業に適した照度が保たれていなかったこと、空間環境については日本の住宅の狭さ故に作業スペースの確保に苦慮したこと、IT 環境についてはオンライン会議等に十分な通信インフラが整っていないことが可能性として挙げられる。一方で温熱環境、空気質(よどみ)、音環境(騒音)は、在宅勤務側の満足割合が高かった。これは、温熱環境については職場と異なり自身で空調コントロールできること、空気質や音環境については家族以外のメンバーが空間にいないことが、一因と考えられる。

また図 3.1.4.4 に職場や在宅勤務での各行為の取り組みやすさを示す。職場と比べて、作業への集中やリラックス、リフレッシュ、創造的活動は自宅の方が取り組みやすいものの、自宅からの業務上のコミュニケーションを「しにくい」「ややしにくい」と回答する執務者は 6 割を超え、これが主観作業効率低下の要因と考えられる。

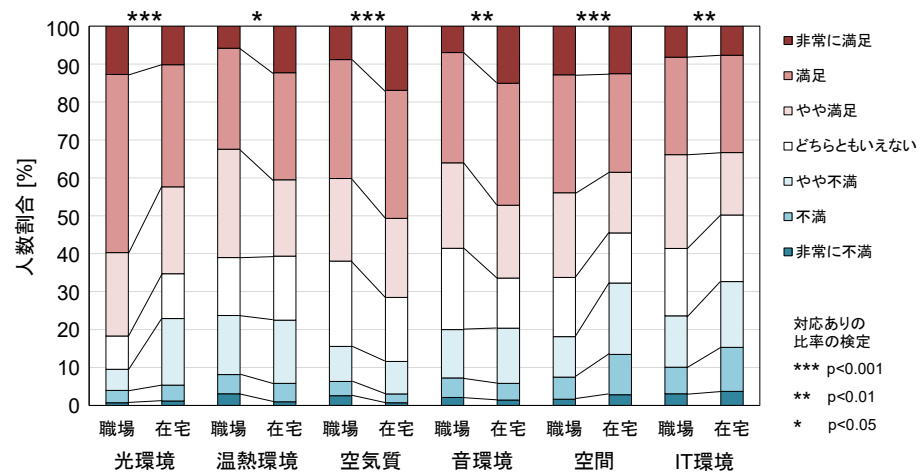


図 3.1.4.3 職場勤務環境と在宅勤務環境の比較

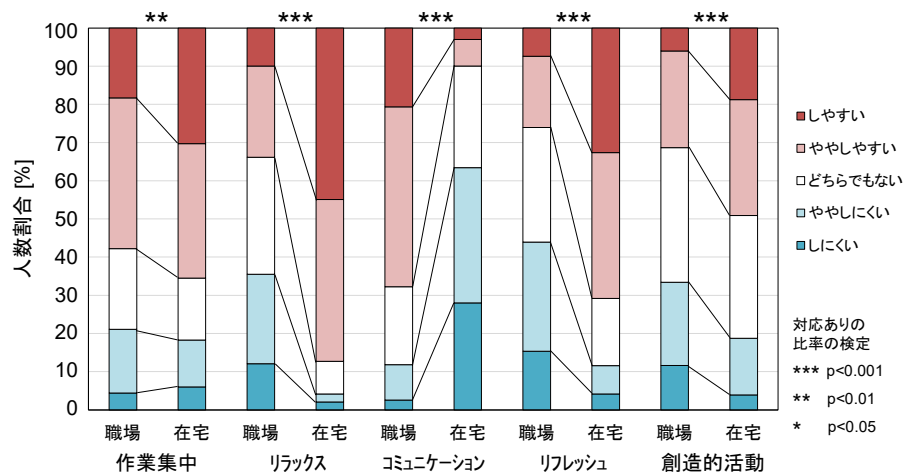


図 3.1.4.4 職場勤務と在宅勤務の各行為の取り組みやすさの比較

参考文献

1. 労働政策研究・研修機構：新型コロナが雇用・就業・失業に与える影響 国内統計：総実労働時間、所定内労働時間、所定外労働時間、2021年8月

3.1.4.3 新型コロナウイルス感染症による建物運用の変化

(海塩渉)

(1) 建物の基本属性

環境・人数実測を行った 21 ビルの建物の運用に関する調査結果を示す¹⁾。時期は 11 月に調査を実施した建物が 12 ビル、12 月に調査を実施した建物が 9 ビルであった。まず、建物管理者から得られた建物の基本属性の回答を表 3.1.4.4 に示す。所在地について北は富山県から南は岡山県まで、竣工年代について 1960 年代から 2010 年代まで、延床面積について 300m²未満から 30,000m²以上まで、様々なバリエーションの建物の調査を実施した。尚、次節で述べるエネルギーデータは 4 ビルから得られた。

表 3.1.4.4 建物の基本属性

調査時期	建物 ID	所在地	竣工年代	延床面積区分 [m ²]	BEMS 等データ
11 月	A	大阪	2010 年代	30,000 以上	○
	B	愛知	1960 年代	30,000 以上	○
	C	東京	1980 年代	2,000 以上 10,000 未満	
	D	埼玉	1990 年代	300 以上 2,000 未満	
	E	神奈川	1980 年代	30,000 以上	
	F	東京	1990 年代	10,000 以上 30,000 未満	
	G	東京	1990 年代	10,000 以上 30,000 未満	
	H	大阪	1990 年代	10,000 以上 30,000 未満	
	I	岐阜	2010 年代	300 以上 2,000 未満	
	J	-	-	-	
	K	京都	1990 年代	30,000 以上	
	L	静岡	2000 年代	2,000 以上 10,000 未満	
	12 月	M	岡山	2010 年代	2,000 以上 10,000 未満
N		東京	2000 年代	30,000 以上	○
O		岡山	1990 年代	300 未満	
P		東京	1980 年代	30,000 以上	
Q		東京	1990 年代	300 以上 2,000 未満	
R		兵庫	1960 年代	30,000 以上	
S		富山	1980 年代	300 以上 2,000 未満	
T		東京	1980 年代	30,000 以上	
U		山口	1990 年代	2,000 以上 10,000 未満	

※ - は情報未開示

続いて設備方式に関する回答を表 3.1.4.5 に示す。熱源方式、空調方式、外気処理方式が中央方式であるオフィスの割合は、それぞれ 44%、31%、59%であった。設計時の換気量が、厚生労働省により推奨されている 30m³/(h・人)以上であるオフィスの割合は約 6 割であった。デマンドに応じて換気量を減らす自動制御を備えるオフィスの割合は約 4 割であったが、実際に使用しているオフィスの割合は約 1 割であった。With COVID-19 では、外気導入量を増やし、CO₂濃度を低く維持することが望ましいとされていることが一因と考えられる。空調設備付属の加湿を行なっているオフィスの割合は約 6 割であった。循環空調用では約 3 割のオフィスが、外気導入部用では約半数のオフィスが、プレフィルター+中・高性能フィルターを使用していた。

表 3.1.4.5 建築設備に関する回答

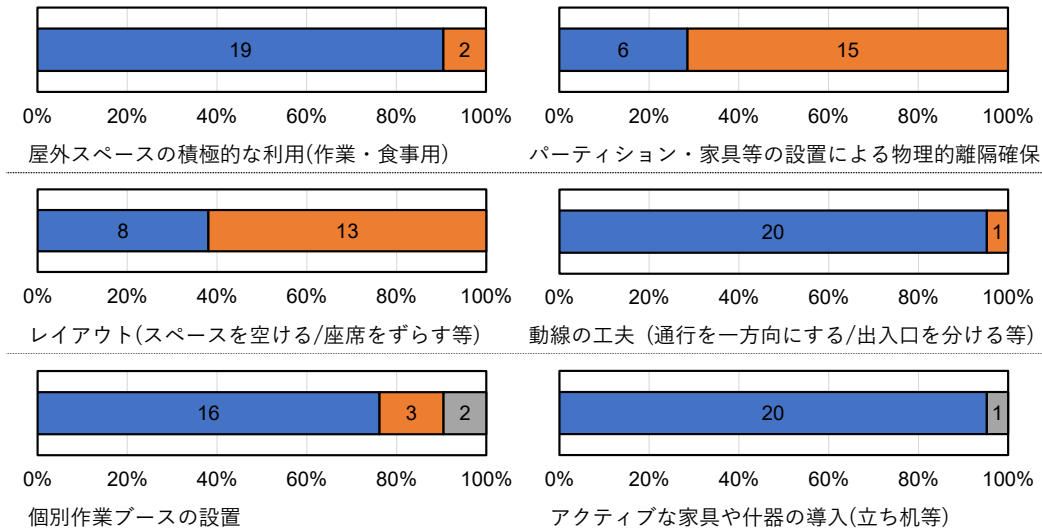
項目	選択肢	n	(%)
熱源方式	個別方式	10	(56)
	中央方式	8	(44)
空調方式	個別方式(ビルマル、PAC、FCU方式)	11	(69)
	中央方式(変风量単一ダクト、床吹き出し空調方式等)	5	(31)
外気処理方式	外気処理なし	4	(24)
	個別方式(HEX、PACへの外気取入れ等)	3	(18)
	中央方式(HEX付空調機、空調機、外気処理空調機)	10	(59)
設計時の換気量	35 m ³ /h ≦ 設計換気量	2	(17)
	30 m ³ /h ≦ 設計換気量 < 35 m ³ /h	5	(41)
	25 m ³ /h ≦ 設計換気量 < 30 m ³ /h	2	(17)
	20 m ³ /h ≦ 設計換気量 < 25 m ³ /h	3	(25)
換気量を減らす	制御なし	11	(58)
	自動制御		
自動制御	換気量を減らす制御があるが、現在使用していない	6	(32)
	換気量を減らす制御があるが、現在使用している	2	(11)
空調設備付属の加湿方式	水加湿	7	(39)
	蒸気加湿	2	(11)
	デシカント加湿	2	(11)
	加湿なし	7	(39)
循環空調用フィルター	プレフィルター	12	(67)
	プレフィルター+中高性能フィルター	6	(33)
外気導入部用フィルター	プレフィルター	9	(53)
	プレフィルター+中高性能フィルター	8	(47)

PAC：パッケージユニット、FCU：ファンコイルユニット、HEX：全熱交換器

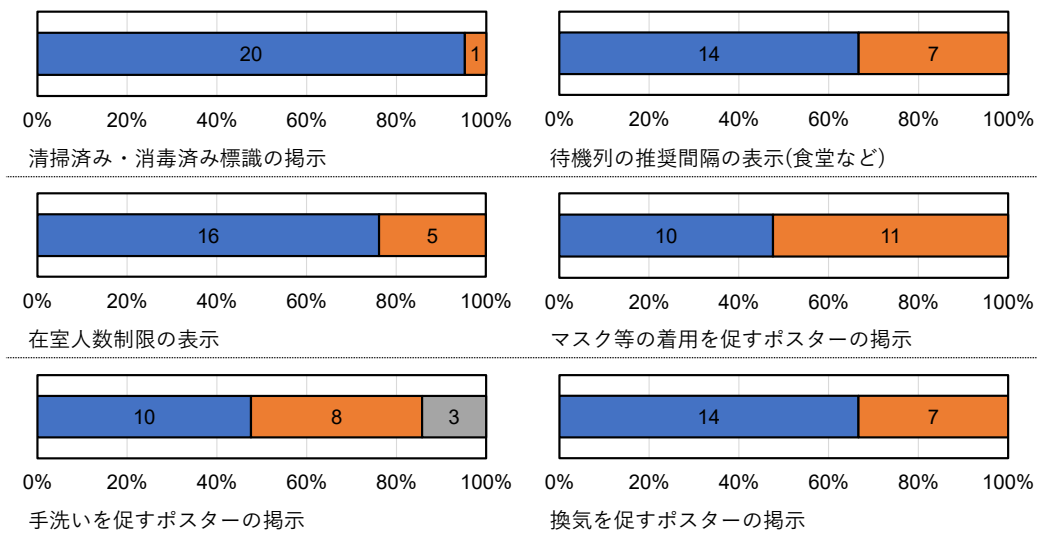
(2) 在室者による感染症対策

建物の代表者 21 名から得た、在室者による感染対策の集計結果を図 3.1.4.5 に示す。建築計画の工夫について実施率の高い項目を見ると、パーティションや家具による物理的な隔離、レイアウトの工夫であり、半数以上の建物で COVID-19 流行中に開始されていた。サインの工夫についてはマスク着用や手洗いといった個人で実施できる項目に関する掲示が目立ち、換気を促すポスターの掲示も約 3 割の建物で確認された。接触感染対策としては、簡易的で取り組みやすい対策の一つであるアルコール消毒液の設置が全ての建物で実施されていた。また、赤外線による非接触体温測定を COVID-19 流行中に開始した建物が約 4 割確認された。空気感染対策として、窓開けによる自然換気を実施しているビルが約半数の 10 ビルであり、うち 7 ビルは COVID-19 流行中に窓開け換気を開始していた。温湿度や CO₂ 濃度のモニタリングをしているビルは 4 件にとどまり、COVID-19 流行中に開始したビルはうち 1 件であった。在室者によるコントロールが難しい CO₂ 濃度の管理は、建物管理者に委ねられており、在室者はほとんど把握していない可能性がある。空気清浄機の利用を COVID-19 流行中に開始した建物は 2 件あり、厚生労働省から公表された、換気の悪い密閉を改善するための空気清浄機に対するアナウンス²⁾等の影響があったものと考えられる。また、IT 環境の強化に力を入れている建物が多く、COVID-19 流行を契機としてオンライン会議用のソフトを導入した企業やコミュニケーションツールを導入した企業が数多く確認された。中でもオンライン会議用のソフトについては、COVID-19 流行以前から導入していた企業を含めると、1 件を除く全てのビルで導入されていた。

建築計画の工夫(■：未実施、■：COVID-19 流行中に開始、■：COVID-19 流行以前から実施)



サインの工夫(■：未実施、■：COVID-19 流行中に開始、■：COVID-19 流行以前から実施)



接触感染対策(■：未実施、■：COVID-19 流行中に開始、■：COVID-19 流行以前から実施)

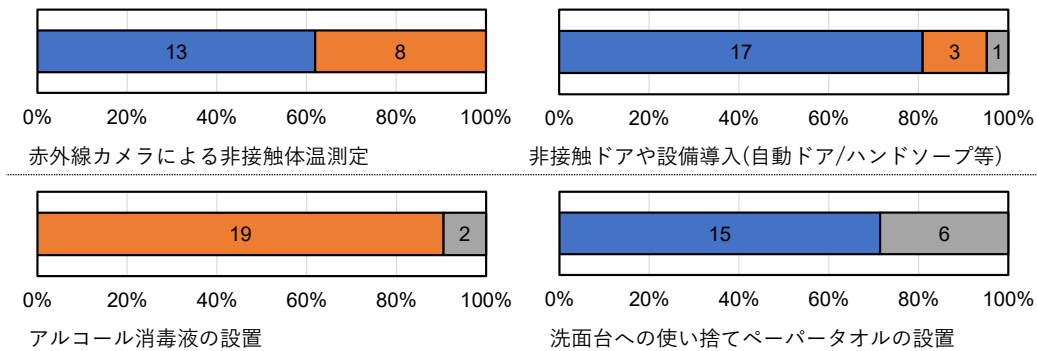


図 3.1.4.5 在室者による感染症対策

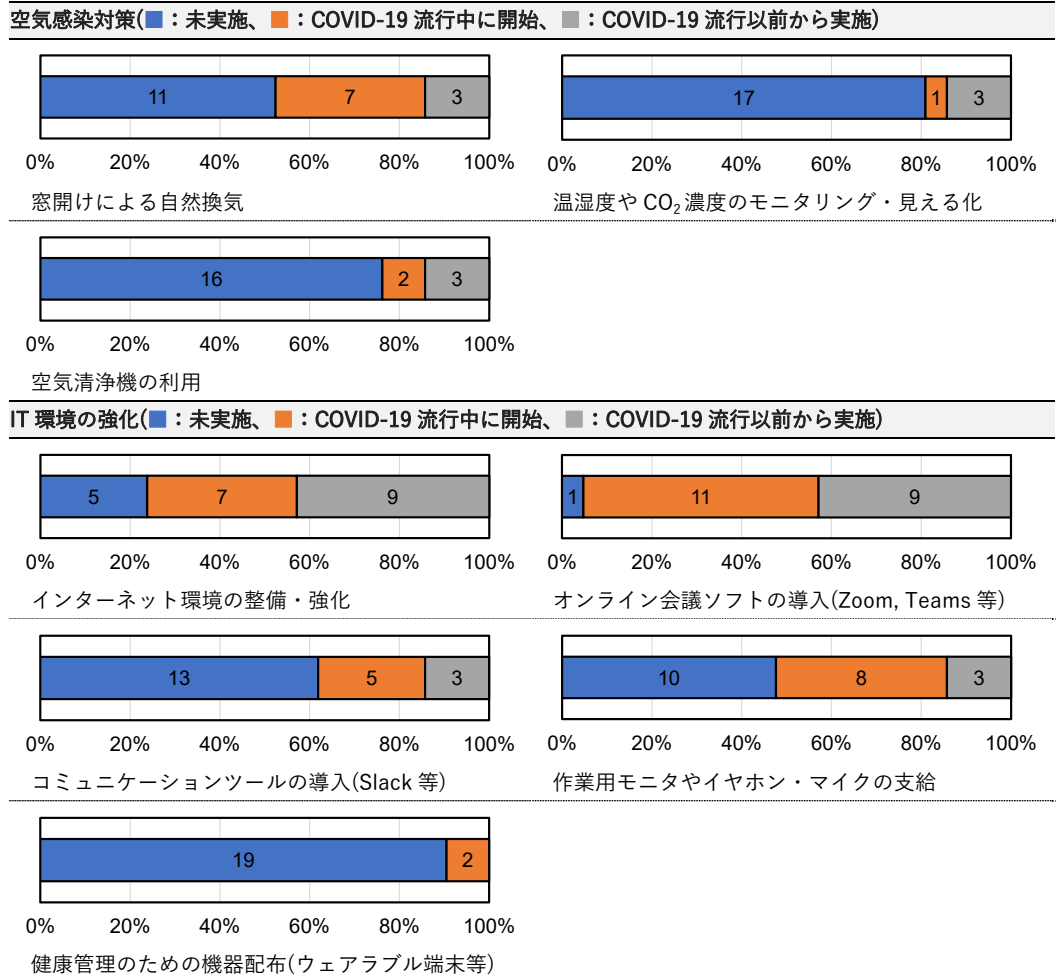


図 3.1.4.5 在室者による感染症対策(続き)

(3) 建物管理者による感染症対策

建物の管理者 21 名から得た、管理者による感染対策の集計結果を図 3.1.4.6、図 3.1.4.7 に示す。なお、未回答は除き集計を行っているため、合計 21 名となっていない点に注意が必要である。まず対策の実施有無(図 3.1.4.6)について、換気量を増加させている建物は半数以上であった。その他圧力バランスの確認を行っている建物も認められた。フィルター廻りの確認・点検は約半数のビルが実施しており、フィルターの交換を行ったビルも 4 割強あった。欧米ではよく利用されている空調システムへの紫外線照射システムを新規で導入した建物はなかった。続いて対策の開始時期(図 3.1.4.7)について、COVID-19 流行中に高頻度接触面への消毒を開始したビルが 6 割超であった。その他、COVID-19 流行中に部屋利用前後の空気の入替えを開始した建物の割合が高かった。しかし、その他の換気システムに関する対策については、COVID-19 流行中に開始したというより、COVID-19 流行以前から実施していたものを継続的に行っている状況であった。温湿度や CO₂ 濃度のモニタリングについては、在室者の対策としては実施率が低かったものの、建物管理者の対策としては 8 割程度実施されていた。

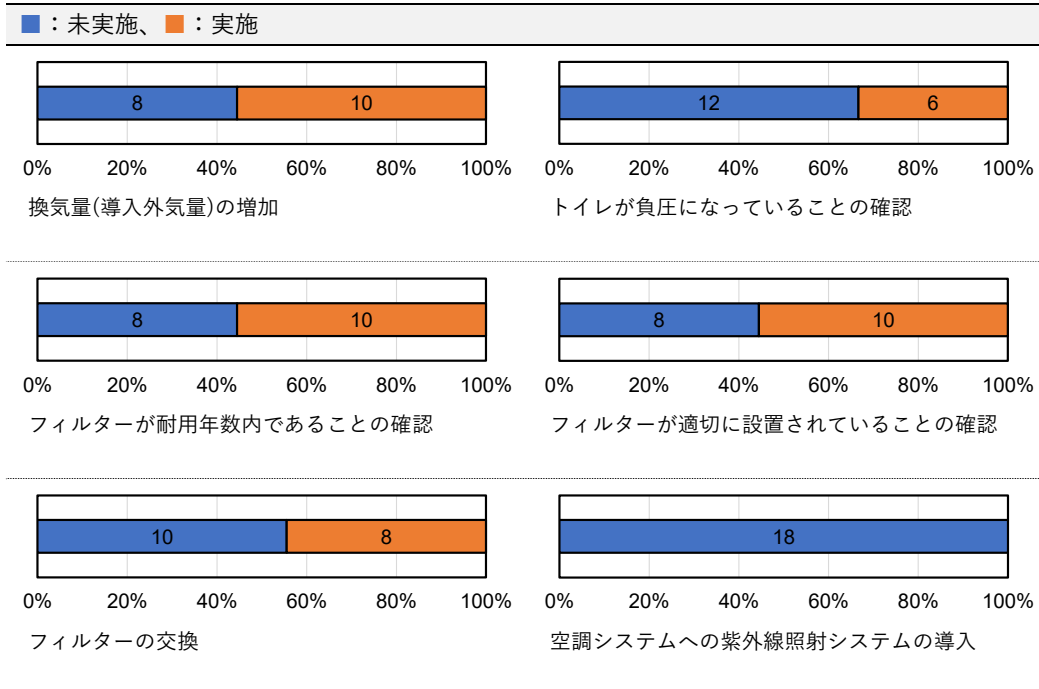


図 3.1.4.6 建物管理者による感染症対策(実施有無)

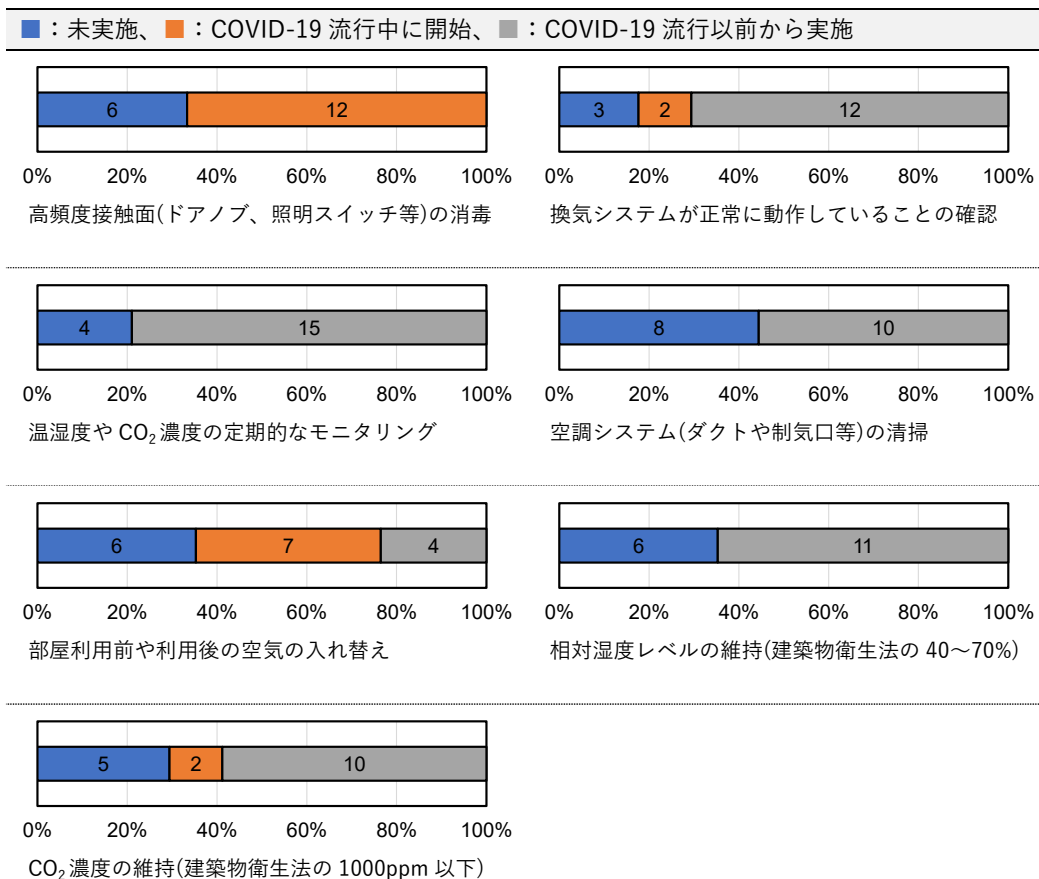


図 3.1.4.7 建物管理者による感染症対策(開始時期)

(4) 建物環境や在室人数への影響(実測結果)

21ビルでの実測から得られた温度、相対湿度、CO₂濃度を図3.1.4.8～図3.1.4.10に示す(網掛部分は建築物環境衛生管理基準)。オフィスの定時を考慮し、平日の09:00～17:00を分析対象とし、箱ひげ図のひげ長が四分位範囲の1.5倍を超える値を外れ値とした。室温は平均24.9℃であり、21ビル全てが空気環境の基準を満たしていた。相対湿度の平均は36.1%で、21ビル中13ビル(約6割)が40%を下回った。CO₂濃度は平均666ppmであり、1つのビルのみ1000ppmを上回っていた。2017年度の特定建築物の空気環境項目の不適合率に関する報告³⁾では、CO₂濃度は約3割が不適であったのに対して、今回の調査では大多数が1000ppmを下回っていたことから、With COVID-19下で換気のあり方が大きく変化している可能性が示唆された。図3.1.4.11にPM_{2.5}質量濃度の実測結果と室内と屋外の濃度比(I/O比)を示す。すべての建物でI/O比が1を下回っているものの、建物間でバラツキが認められた。

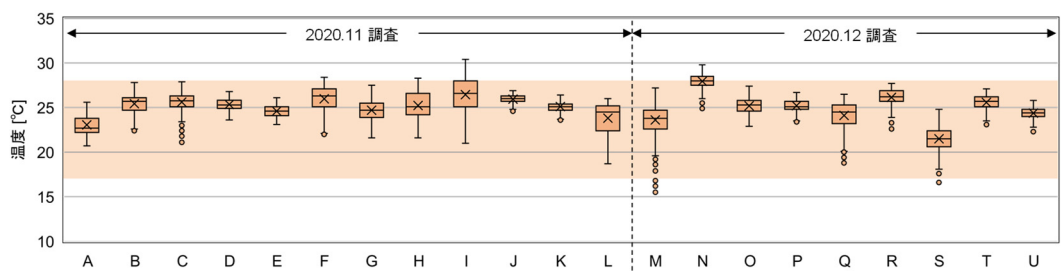


図 3.1.4.8 温度の箱ひげ図(A~UはビルID)

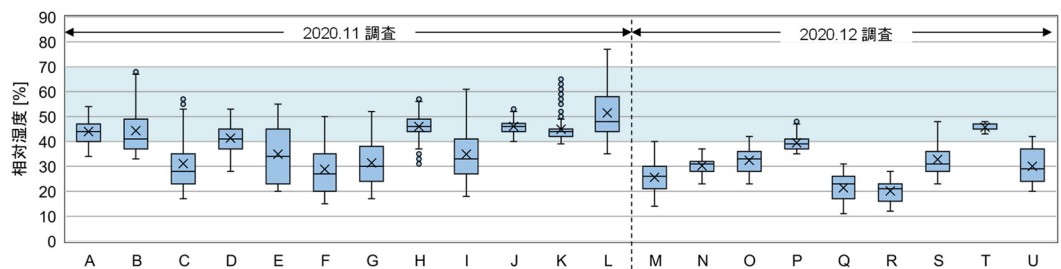


図 3.1.4.9 相対湿度の箱ひげ図(A~UはビルID)

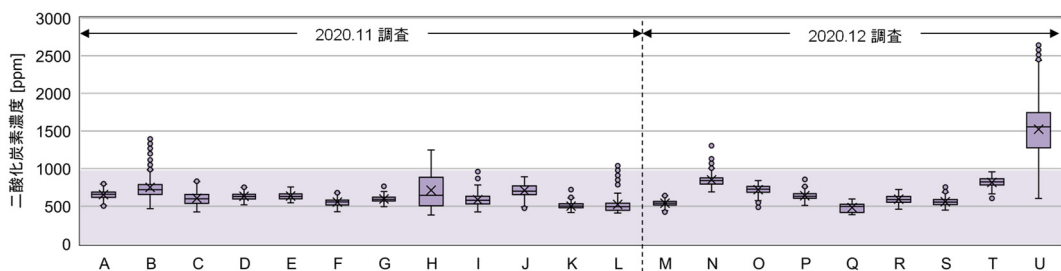


図 3.1.4.10 二酸化炭素濃度の箱ひげ図(A~UはビルID)

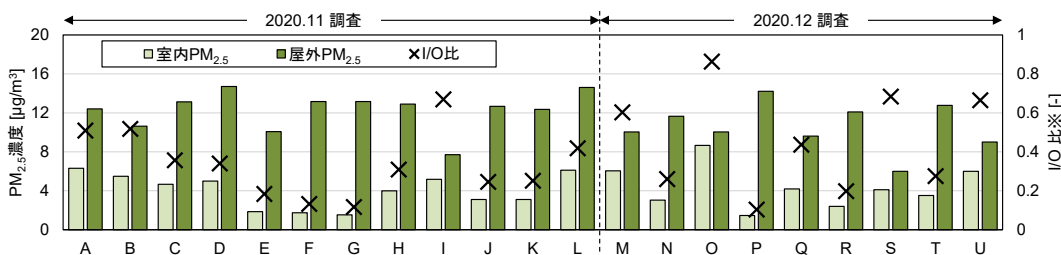


図 3.1.4.11 PM_{2.5}濃度の測定結果とI/O(室内/屋外)比(A~UはビルID)

ここで、空気環境の指標として CO₂ と PM_{2.5} に焦点を当てた分析を行った。空気感染源となるヒトの呼吸器由来の飛沫核は、粒径 5-10μm 未満の割合が大きく PM_{2.5} の粒径範囲と近いこと⁴⁾、また PM_{2.5} がウイルスの輸送源として COVID-19 感染に関与しているとの報告⁵⁾ もあることから CO₂ に加えて PM_{2.5} に着目した。PM_{2.5} は屋外濃度の影響を強く受けることから、I/O(室内濃度/屋外濃度)比を利用して分析した。この値が小さいほど室内の PM_{2.5} 濃度が低く、良好な環境と判断される。

まず、建築設備の方式別に CO₂ 濃度と PM_{2.5} の I/O 比を対応のない t 検定で比較した結果を表 3.1.4.6 に示す。CO₂ 濃度については明確な傾向が得られなかったが、PM_{2.5} の I/O 比には一部有意な項目が認められた。循環空調用のフィルターがプレフィルターのみの場合と比較して、プレ+中高性能フィルターの組み合わせの場合の方が I/O 比が約 2 倍小さかった。熱源・空調方式が個別方式より中央方式の方が I/O 比が小さいという結果については、個別方式より中央方式の方が性能の高いフィルターを導入している割合が高いため、フィルターの影響を反映しているものと推測される。

続いて、建物管理者の維持管理の方法別に CO₂ 濃度と PM_{2.5} の I/O 比を比較した結果を表 3.1.4.7 に示す。CO₂ 濃度については換気システムの動作確認を行っている建物で有意に低く、有意ではないものの CO₂ 濃度のモニタリングを行なっているオフィスの方が約 200ppm 濃度が低かった。一方で換気量の増加を行なったビルとそうでないビルの CO₂ 濃度はほぼ等しかったが、これはそもそも換気量が不足しがちで CO₂ 濃度が高かったビルにおいて換気量の増加を行った可能性がある。PM_{2.5} については、「フィルターがきちんと設置されていることの確認」や「フィルターの交換を行う」など、フィルター廻りのメンテナンスをしているビルで I/O 比が有意に低かった。温湿度や CO₂ 濃度のモニタリングを行なっているビルでも I/O 比が有意に低かったが、これはモニタリングを行なっている建物は中央空調方式が多く、高性能のフィルターを装備していることの影響が現れたものと考えられる。

以上の結果から、建築設備の構えとして高性能なフィルターを有していること、そしてそのフィルターを適切に維持管理していることは室内の PM_{2.5} 濃度の低減に有効であることが実態調査の結果から明らかになった。したがって、PM_{2.5} の粒径範囲と近い飛沫核個数の低減に対しても高性能なフィルターによる循環が有効である可能性がある。

表 3.1.4.6 CO₂ 濃度と PM_{2.5} の I/O 比の比較(建築設備の方式別)

項目	選択肢	n	CO ₂ 濃度 [ppm]		PM _{2.5} I/O 比 [-]	
			平均	p 値	平均	p 値
熱源方式	個別方式	10	716	0.43	0.52	<0.01
	中央方式	8	625		0.25	
空調方式	個別方式	11	713	0.36	0.50	<0.01
	中央方式	5	586		0.21	
外気処理方式	外気処理なし or 個別方式	7	725	0.57	0.46	0.15
	中央方式	10	649		0.33	
設計時の換気量	30 m ³ /h ≧ 設計換気量	7	760	0.60	0.44	0.05
	設計換気量 <30 m ³ /h	5	672		0.23	
換気量を減らす 自動制御	制御なし/現在使用していない	17	670	0.85	0.43	0.23
	現在も使用している	2	705		0.24	
空調設備付属の 加湿方式	加湿あり	11	691	0.81	0.48	0.29
	加湿なし	7	664		0.37	
循環空調用 フィルター	プレフィルター	12	695	0.57	0.47	<0.01
	プレ+中高性能フィルター	6	625		0.22	
外気導入部用 フィルター	プレフィルター	9	612	0.70	0.43	0.14
	プレ+中高性能フィルター	8	632		0.30	

表 3.1.4.7 CO₂濃度とPM_{2.5}のI/O比の比較(建築設備の維持管理別)

項目	選択肢	n	CO ₂ 濃度 [ppm]		PM _{2.5} I/O 比 [-]	
			平均	p 値	平均	p 値
換気量の増加	実施	10	681	0.95	0.43	0.80
	未実施	8	674		0.41	
トイレの負圧確認	実施	6	580	0.22	0.30	0.08
	未実施	12	728		0.48	
フィルターの耐用年数の確認	実施	10	619	0.24	0.31	<0.01
	未実施	8	752		0.56	
フィルターの設置状況の確認	実施	10	619	0.24	0.31	<0.01
	未実施	8	752		0.56	
フィルターの交換	実施	8	613	0.30	0.30	0.03
	未実施	10	731		0.52	
紫外線照射システム導入	実施	0	-	-	-	-
	未実施	18	678		0.42	
高頻度接触面の消毒	実施	12	639	0.33	0.37	0.12
	未実施	6	757		0.53	
換気システムの動作確認	実施	14	618	0.01	0.39	0.10
	未実施	3	986		0.61	
温湿度やCO ₂ 濃度のモニタリング	実施	15	636	0.14	0.34	0.01
	未実施	4	827		0.64	
空調システムの清掃	実施	10	624	0.25	0.37	0.25
	未実施	8	747		0.50	
部屋利用前や利用後の空気の入替え	実施	11	667	0.73	0.43	0.85
	未実施	6	711		0.41	
相対湿度レベルの維持 (建築物衛生法の40~70%)	実施	11	645	0.40	0.33	0.01
	未実施	6	752		0.60	
CO ₂ 濃度の維持 (建築物衛生法の1000ppm以下)	実施	12	645	0.33	0.33	<0.01
	未実施	5	774		0.65	

12ビルの1時間ごとの人数実測(日誌への記入)から得られた、部屋の座席数に対する在室人数の割合(在室率)を図3.1.4.12に示す。平均在室率は35%であり、多くのビルで平均在室率50%以下に抑えられていた。また、時刻別の在室率(休日を除く2週間の同じ時刻の値を平均化したもの)を図3.1.4.13に示す。各ビルのトレンドで特徴的な点として、1日の中での変動がほとんどない点が挙げられる。これは時差出勤の活用や在室人数や出勤率の制限、COVID-19の影響による外出機会の減少等による影響が現れたものと考えられる。

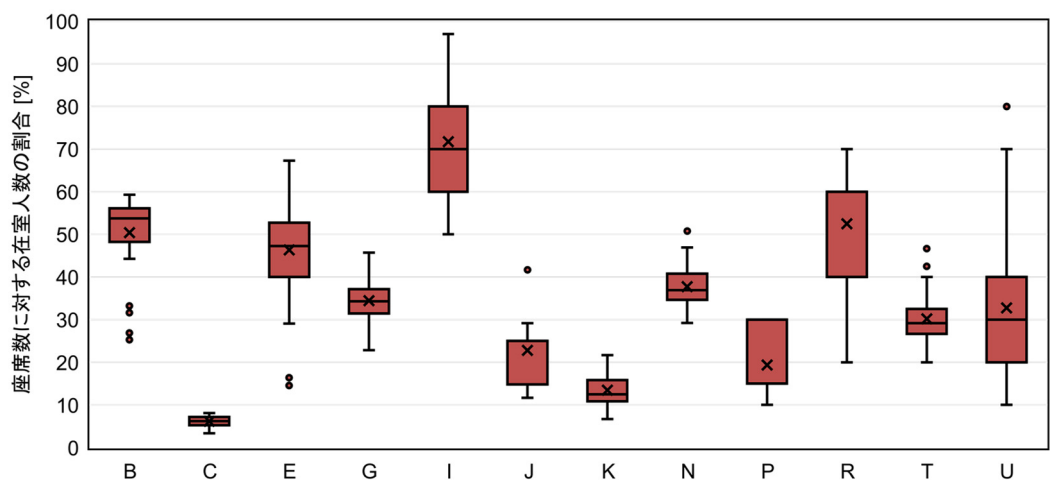


図 3.1.4.12 在室率の箱ひげ図(B~UはビルID)

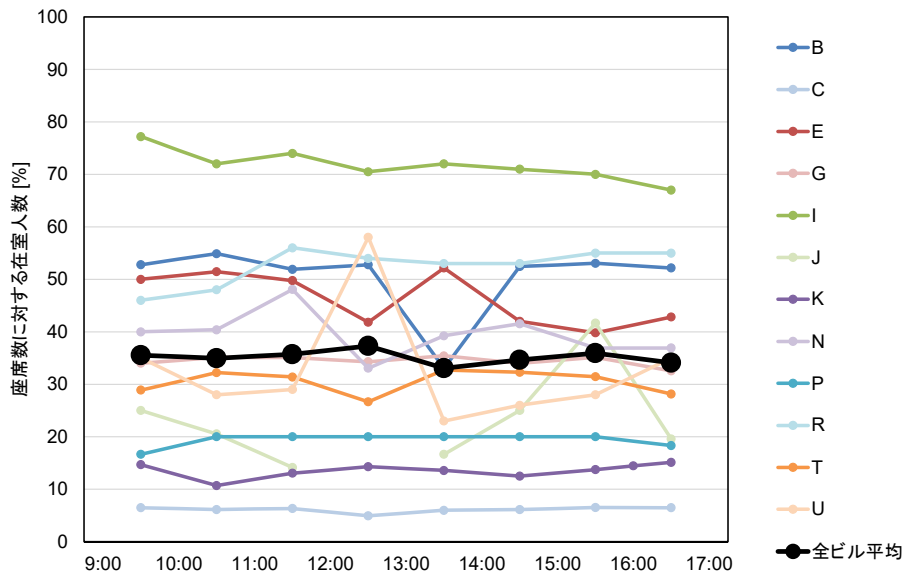


図 3.1.4.13 時刻別の在室率(B~U はビル ID)

参考文献 ※本項目の内容は以下の文献に、追加分析の結果を合わせた内容である。

1. 浅岡凌、海塩渉、鍵直樹、林基哉、澤地孝男、上野貴広：With COVID-19 のオフィスの室内環境実測および空調設備・維持管理の実態調査、空気調和・衛生工学会大会、2021年9月
2. 厚生労働省：熱中症予防に留意した「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について、2020年6月、<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000640913.pdf>(2021年8月18日閲覧)
3. 林基哉、金勲、開原典子、小林健一、鍵直樹、柳宇、東賢一：特定建築物における空気環境不適率に関する分析、日本建築学会環境系論文集、2019年11月
4. Johnson GR, Morawska L, Ristovski ZD, et al. Modality of human expired aerosol size distributions. Journal of Aerosol Science, 2011.12
5. Nor NSM, Yip CW, Ibrahim N, et al. Particle matter (PM2.5) as a potential SARS-CoV-2 carrier. Scientific Reports. 2021.1

3.1.4.4 換気設定の変更が空調エネルギー消費に及ぼす影響

(海塩渉)

(1) COVID-19 流行前後の電力消費量の変化

2019年(Before コロナ)と2020年(After コロナ)の年間の単位面積あたり電力消費量を図3.1.4.14に示す。2020年は、各ビルにおいて緊急事態宣言を受けた閉鎖期間があったにもかかわらず、電力消費量は全ビルで微増であった。また電灯コンセントと空調の要素別に分解すると、全ビルで空調用電力消費量が増加していた。

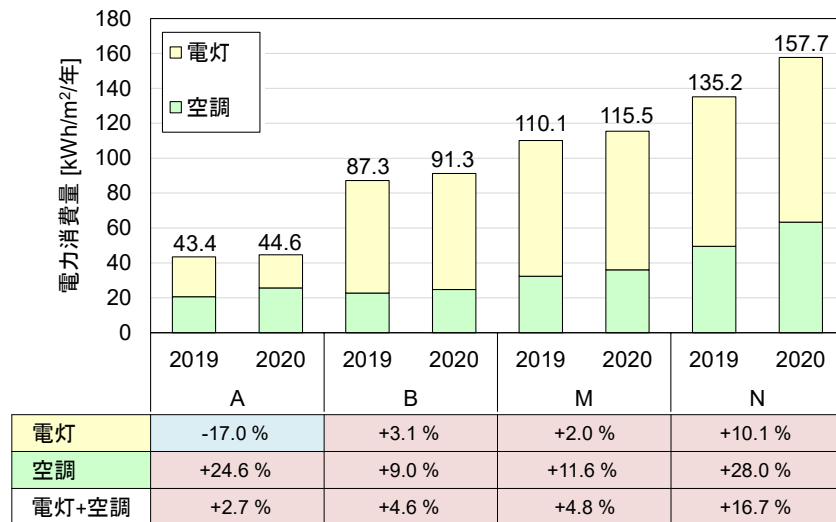


図 3.1.4.14 2019 年と 2020 年の単位面積あたり電力消費量(A, B, M, N はビル ID)

続いて、2019 年と 2020 年の月別電力消費量を比較した結果を図 3.1.4.15 に示す。全てのビルにおいて 4 月と 5 月は、電灯・コンセント用の電力消費量が減少していた。これは第 1 回緊急事態宣言(2020 年 4 月 7 日～5 月 25 日)の影響により、建物の利用が減少した影響にほかならない。一方で、同時期の空調用の電力消費量は増加している建物もあった。これは完全に建物利用者がゼロとならなかったことで、空調を稼働し続ける必要があったためと推察される。第 1 回緊急事態宣言解除後の 6 月以降は、全てのビルにおいて空調用の電力消費が増加傾向であり、特に冬期の増加が顕著であった。12 月は全ビルで前年比+50%以上となっており、ビル B では+127%(前年の 2 倍超)、ビル N にいたっては+230%(前年の 3 倍超)であった。電力消費量に季節性が認められたことから、この原因は導入外気量の増加に伴い空調負荷が増大したものと考えられる。

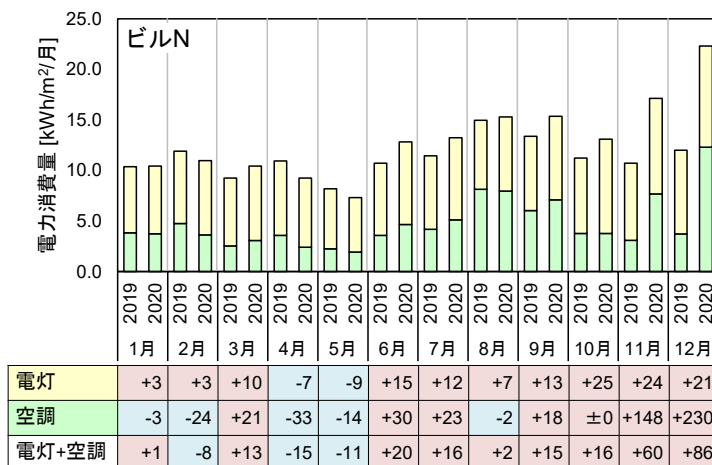
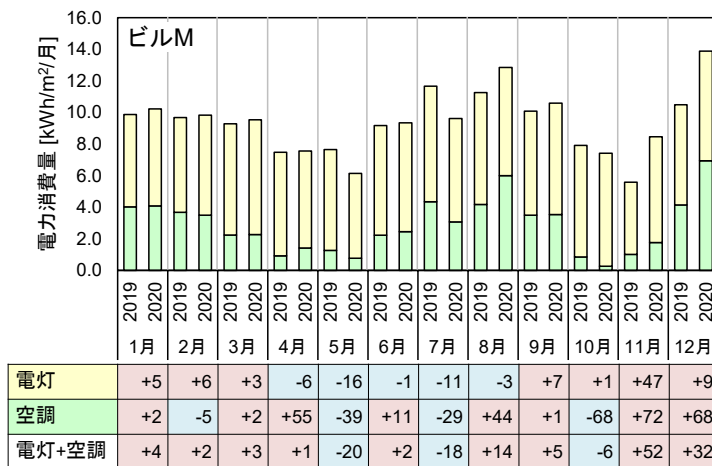
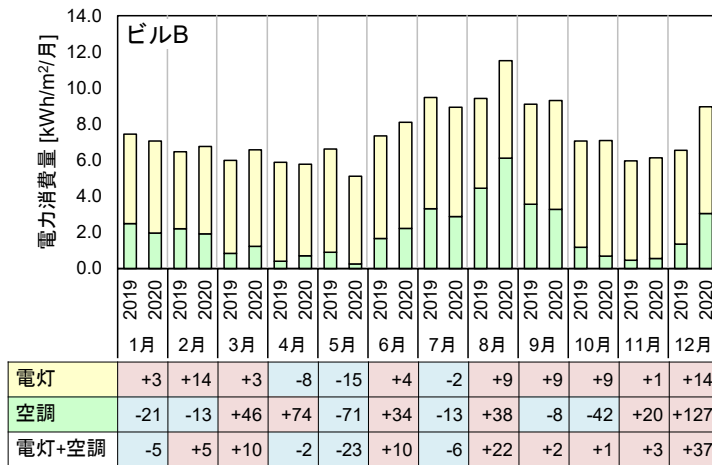
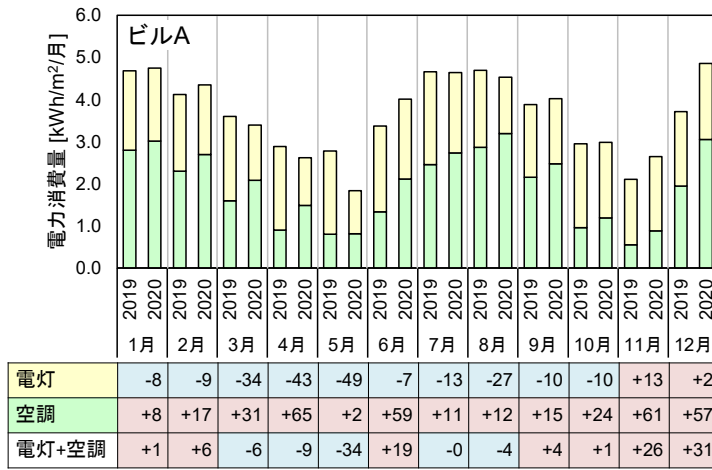


図 3.1.4.15 2019 年と 2020 年の単位面積あたり電力消費量(A, B, M, N はビル ID)

電力消費量増加の原因を探るため、時刻別のデータを受領したAビルについて、2019年と2020年のCO₂濃度、温度のトレンド(各月の約30日分の同じ時刻の値を平均化したもの)を図3.1.4.16, 図3.1.4.17に示す。CO₂濃度は各月・各時刻で一貫して2020年の方が低い値となったが、温度のトレンドは緊急事態宣言の影響を受けている4月を除き、2019年と2020年に差が見られなかった。これよりCOVID-19対策として導入外気量を増加させているが、温度はBefore COVID-19と同程度にコントロールしていることが分かり、空調用電力の増大に繋がった原因の一端と考えられる。

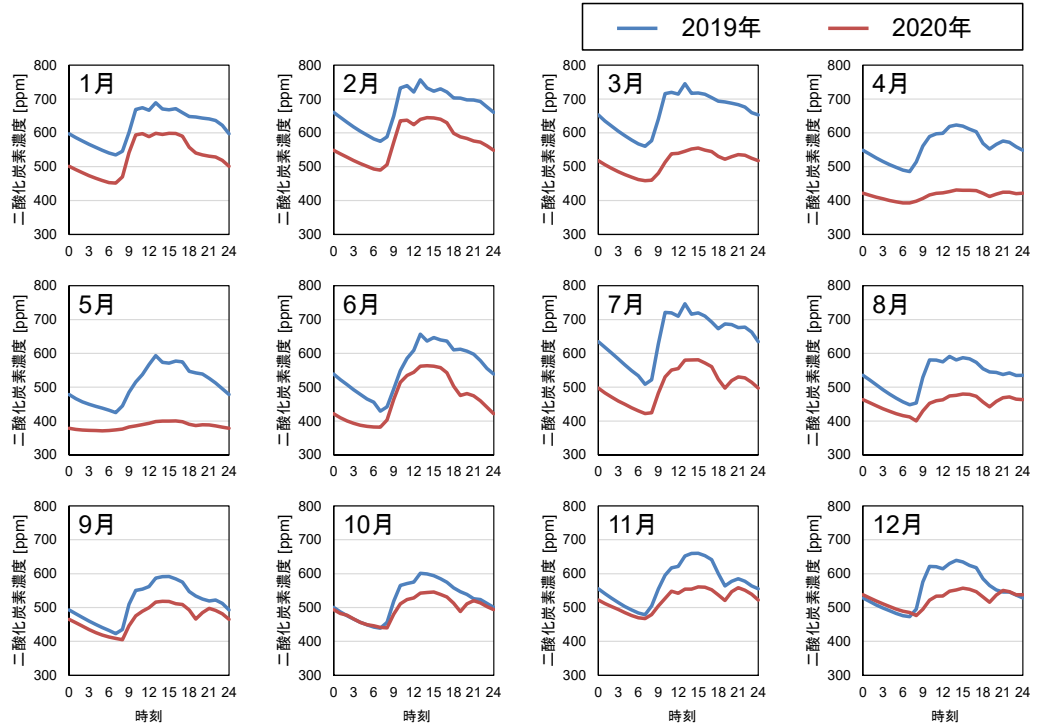


図 3.1.4.16 CO₂濃度の月別・時刻別トレンド(Aビル)

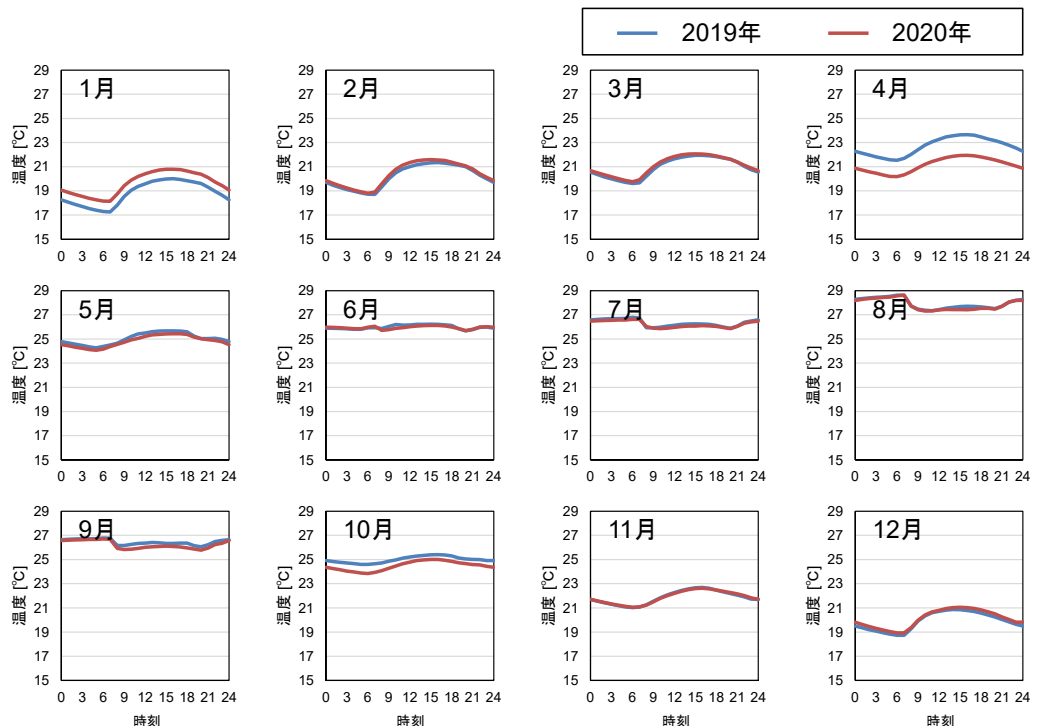


図 3.1.4.17 温度の月別・時刻別トレンド(Aビル)

Aビルの2019年と2020年の空調用電力消費量のトレンドを図3.1.4.18に示す。まず夏期(7,8,9月)の挙動に着目すると、2019年は昼頃にピークに達していた電力消費量が、2020年

は朝 8 時にピーク時間がシフトしていた。この建物では「部屋の利用前や利用後に空気を入れ替えている」という建物管理者からの回答が得られていることから、明け方に導入外気量を増加させたことが外気負荷の増大に繋がり、ピークがシフトしたものと考えられる。また緊急事態宣言以降の初めて迎えた冬期(12月)は、明け方にピークを迎えるトレンド自体は変わらなかったものの、ピークの電力消費量が約 2 倍に膨れ上がっていた。これも導入外気量増加に伴う外気負荷増大の影響であり、今後の空調設計において外気負荷の設定に注意を要する必要性を示している。

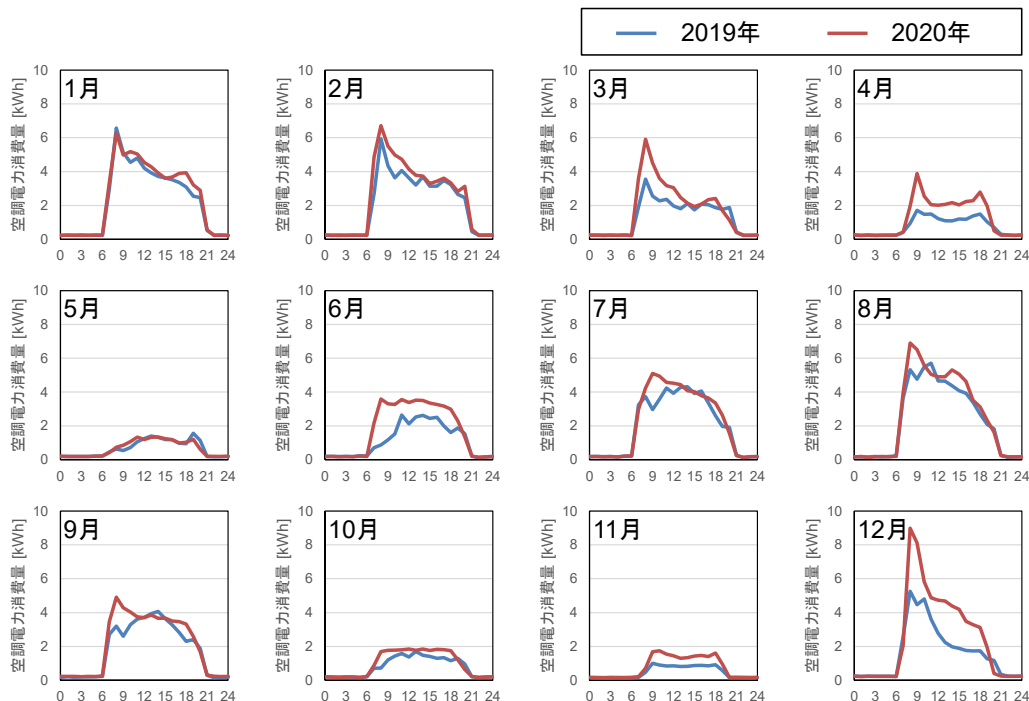


図 3.1.4.18 空調用電力消費量の月別・時刻別トレンド(Aビル)

(2) 換気・空調設備に与える影響

本実態調査から得られた今後の換気・空調設備に対する示唆は以下の通りである。

- ① COVID-19 の流行により、在宅勤務やオンライン会議が急激に増加した。また在室人数の実測調査では平均在室率が約 35%と非常に出社が少なくなっていた。したがって、この働き方の多様化に対応して、部分稼働に柔軟に対応できる設備の構え(空調・換気ゾーニングの細分化や部分負荷効率の高い設備の採用等)がより重要になったと考えられる。
- ② 高性能なフィルターを設けた建物やフィルターの適切な維持管理を行っていた建物で PM_{2.5} の濃度(I/O 比)が低かったことから、フィルターは PM_{2.5} と粒径範囲の近い飛沫核個数の低減にも有効と考えられる。導入外気量を増加させることは CO₂ 濃度低減の面からは有効であるが、特に夏期や冬期といった外気条件の悪い時期は電力消費量の顕著な増加に繋がるため、空調機に設置するフィルター性能向上や空気清浄機を使用した対策も検討する必要がある(本実態調査では 12 月の電力消費量が前年比で 120%増加した)。COVID-19 の流行を受けて、厚生労働省が「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法について夏期¹⁾と冬期²⁾にアナウンスしているが、その中でも空気清浄機の併用について啓発している。また、米国の International WELL Building Institute (IWBI)が開発した WELL Health-Safety Rating においてもフィルターの適切な維持管理が強調されている。そのため、適切な性能のフィルターを介した空気の循環は選択肢の一つと考えられる。

- ③BEMS データの時刻別解析から、夏期の空調負荷のピーク時刻が変化する可能性や冬期の空調負荷のピーク値が顕著に増加する可能性が示された。これは外気負荷増の影響であり、空調設備の負荷計算や機器容量の決定において外気負荷の設定を誤ると能力不足に陥る可能性があるため、注意が必要である。
- ④在室者による対策の中では CO₂ 濃度のモニタリングの実施率は低かったが、建物管理者による対策を見るとモニタリングは適切に実施されており、実測結果では CO₂ 濃度もほとんどのビルで 1000ppm 以下に保たれていた。この在室者と建物管理者のギャップを埋め、ワーカーが安心して働くために、在室者に対する CO₂ 濃度の見える化などの方法を検討する必要がある。

参考文献

1. 厚生労働省：熱中症予防に留意した「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について、2020年6月 <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000640913.pdf>(2021年8月18日閲覧)
2. 厚生労働省：冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法、2020年11月 <https://www.mhlw.go.jp/content/10906000/000698848.pdf>(2021年8月18日閲覧)

3.1.4.5 花粉や PM_{2.5} も考慮したウイルス感染防止対策^{1), 2), 3)}

(林基哉)

花粉や PM_{2.5} 等の外気由来の物質による健康影響が、従来指摘されている。外気中の花粉量は、季節によって大きく変化するとともに、年による変化も大きい。多くの国民が、花粉によるアレルギー症状を発しており、マスクや薬等による対応が従来行われている。外気の PM_{2.5} 濃度は、国内での発生、海外からの流入によって変化しており、現在までは環境省の基準(環境基本法第16条第1項に基づく人の健康の適切な保護を図るために維持されることが望ましい水準、1年平均値 15 μg/m³ 以下かつ1日平均値 35 μg/m³ 以下(平成21年9月設定))を超えることはほとんどなかった。しかし、今後の健康影響に関する知見、外気の PM_{2.5} 濃度上昇の可能性について注視していく必要がある。

花粉は、スギ、ヒノキ、シラカバ、イネ、ブタクサ、カナムグラなど多種の植物から出されている。種類によって放出時期が異なり、例えばスギ、ヒノキは春が中心であり、ブタクサ、カナムグラは秋が中心である。地域差もあり、本州・四国・九州ではスギ、ヒノキの花粉量が多く、北海道ではそれらが少なくシラカバの花粉量が多い。花粉や PM_{2.5} などの外気由来の物質の対策には、室内への侵入防止と室内除去が挙げられる。侵入防止については、人に付着しているものを入口で除去すること、換気のための取入れ外気からのフィルターなどで捕集すること、が挙げられる。室内除去については、可搬式の空気清浄機や空調設備の再循環空気からの捕集など挙げられ、いずれの場合もフィルターや電気集塵などの方法がある。

屋外の PM_{2.5} の発生源は、燃焼(一次生成)と、大気中の化学反応(二次生成)がある。室内空間の PM_{2.5} の由来については、外気侵入と室内発生がある。室内発生については、調理、ろうそく、アロマ、ヘアスプレー、ドライヤー、タバコ煙、ガスストーブなどから、粒径 100nm 以下の超微粒子(ナノ粒子)が発生し、PM_{2.5} の質量の多くを占めている。コピー機やレーザープリンタなどの情報機器からの発生、室内でのオゾンとリモネンや α-ピネンなどテル

ペン類との反応による発生について検討されている。近年の大気中の PM_{2.5} の年平均は、日本の北東部では濃度が低く、南西部では濃度が高い傾向がある。九州地方は大陸からの偏西風などによる越境大気汚染によって濃度が高くなったと考えられている。

ウイルス感染防止のためには、ウイルスを含む浮遊飛沫を換気によって除去するとともに、フィルター等によって捕集することが望まれる。換気量確保のためには窓開け換気が必要な場合があるが、この場合は、上述の外気由来の物質が室内に侵入する可能性がある。したがって、外気由来の物質による健康影響が懸念される場合には、窓開け換気以外の方法が必要になる。具体的には、フィルター等で外気処理ができる換気設備の利用、及びフィルター等による室内除去が必要である。これらの方法は、外気由来の粒子状物質への対策としても有効である。但し、ウイルスを含む浮遊飛沫の粒径(約 0.3~30 μm)は、花粉(20~30 μm)よりも小さいため、フィルターに求められる性能に差があることに注意する必要がある。

参考文献

1. 花粉環境保健マニュアル 2019,2019 年 12 月改定版,環境省,
https://www.env.go.jp/chemi/anzen/kafun/manual/2019_full.pdf
2. 厚生労働科学研究費補助金 健康安全・危機管理対策総合研究事業 中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究 平成 29~令和元年度 総合研究報告書 2020 年 3 月
3. 鍵直樹、柳宇、西村直也：事務所ビルにおける室内浮遊微粒子の特性と PM2.5 濃度の実態調査、日本建築学会技術報告集、第 18 巻、第 39 号、pp. 613-616、2012.6

3.2 オフィスビル ウイルス感染症対策技術

(鍵直樹)

オフィスビルにおける感染対策としては、3つの密の回避など基本的な感染対策となる。建築計画によって接触感染対策として、手指消毒の実施できるような配慮、物理的距離を確保がある。さらに空気感染対策として、空調設備による換気、エアフィルターによる室内空気中の浮遊ウイルスの除去がある。なお、機械換気による換気量が維持できているかを確認するとともに、設備のメンテナンスにより機能が維持できていることを確認することが必要である。また、機械換気により必要とする換気量が不足する場合には、窓開けなどの自然換気を行うことで、不足を補うことは可能である。また、換気やエアフィルター以外にも、UV照射による対策についても条件によっては効果がある。

また、夏期や冬期における冷房期、暖房期においては、室内温度、湿度を適切な範囲に維持することも考慮しなければならない。

3.2.1 建築計画による接触感染対策

(金勲)

3.2.1.1 接触感染の考え方

接触感染は汚染面を触らないことと、自分の顔を触らないことが大前提となる。オフィスにおける接触感染対策としては、3密を避けること、動線計画、抗菌建材の使用及び表面消毒が考えられる。出勤、退勤、昼休みの混雑を如何に分散できるかはエントランスとエレベータ配置及び動線計画による。

接触感染のリスクが高くなると予想される場所は、エントランス、エレベータ、会議室、食堂、休憩室、更衣室、喫煙所、トイレ・洗面所などである¹⁾。

非接触型のボタンやドア、水栓など自動装置を活用することや、多くの人に触る箇所は薬剤を用いた小まめな清拭消毒が有効である。光触媒や抗菌コーティングなども多く市販されており、製品の性能実験結果からは一定の殺菌効果が期待できるが、新型コロナウイルスへの効果が明白でないものも多く、また実空間での分解速度や低減能力、持続性などの実効果をはっきり定めるのは難しい。抗菌、抗ウイルス建具や建材として、壁材、床材、階段部材、手すり、ドア、収納などが販売されており、高齢者福祉施設や病院などに使われている。大手メーカーは微生物やウイルスを用いた性能試験結果を公表しているが、新型コロナウイルスに対する効果を直接証明している訳ではなく、その効果に関しても上述内容と同様である。

表面には清掃や薬剤清拭、UV殺菌などが有効であり、人が頻繁に利用する場所での表面消毒が有効と考えられる。薬剤はアルコール、界面活性剤、次亜塩素酸ナトリウムなどや特定波長のUVが新型コロナウイルスに有効であることが示されている。薬剤は噴霧ではなく清拭で処理し、UVは照射角度や人への健康影響に気をつける必要がある²⁾。

空間噴霧による表面殺菌方法も存在するが、WHO や厚生労働省では噴霧による表面殺菌は濃度的に現実的でないことや人体への健康影響が懸念されるため推奨しないとしている³⁾。高濃度噴霧と特殊処理を行うことで表面と空間を殺菌消毒する技術は、あくまでも専門業者による処理であり、人がいない空間での作業と安全が確保できる後処理を施してからの引き渡しになる。

参考文献

1. 日本産業衛生学会、オフィス業務における新型コロナウイルス感染予防・対策マニュアル、<https://www.sanei.or.jp/images/contents/444/COVID19MANUAL1-OFFICE.PDF>
2. CDC、<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/more/science-and-research/surface-transmission.html>
3. 新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について(厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ) https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html

3.2.1.2 ハンドドライヤー

(担当：金勲、執筆：三菱電機)

第一回目の緊急事態宣言(期間：2020年4月7日～5月25日)の最中、新型コロナウイルス感染症対策専門家会議により、宣言解除以降に求められる具体的な対応等について、提言がまとめられた¹⁾。その提言では、“社会にはさまざまな業種等が存在し、感染リスクはそれぞれ異なることから、業界団体等が主体となり、また、同業種だけでなく他業種の好事例等の共有なども含め、業種ごとに感染拡大を防止するガイドライン等を作成し、現場において、試行錯誤しながら、また創意工夫をしながら実践していただくことを強く求めたい”とあり、業種ごとの感染拡大防止ガイドラインに関する留意点が示された。その中で、感染リスクが比較的高いとされるトイレに関しては、以下の留意点が示された。

(トイレ)(※感染リスクが比較的高いと考えられるため留意する。)

- ・便器内は、通常の清掃が良い。
- ・不特定多数が接触する場所は、清拭消毒を行う。
- ・トイレの蓋を閉めて汚物を流すよう表示する。
- ・ペーパータオルを設置するか、個人用にタオルを準備する。
- ・ハンドドライヤーは止め、共通のタオルは禁止する。

オフィスにおける新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン(以下、ガイドライン)は感染拡大防止と事業活動の継続に向けた企業の取り組み推進のため、関係省庁や専門家の知見を得て、一般社団法人日本経済団体連合会(以下、経団連)により2020年5月14日に策定された。その後、感染症に関するエビデンスの蓄積、関係省庁や専門家の監修の下、2020年12月1日改訂、2021年4月13日再訂、2021年10月14日三訂がなされた²⁾。なお、ガイドラインは、今後も、感染症の動向や専門家の知見、対処方針の改定等を踏まえ、適宜、必要な見直しを行っていくとされている。

再訂版の変更点として、管理されたビル等のトイレでの感染リスクは大きくないことを踏まえ、トイレのハンドドライヤーは利用停止としていた記載を削除し、“便器は通常の清掃で問題ないが、使用頻度の高いときは清掃も1日複数回行うなど、清潔に保つ。“ハンドドライヤー設備は、メンテナンスや清掃等の契約等を確認し、アルコール消毒その他適切な清掃方法により定期的に清掃されていることを確認する”との記載が追記された。三訂版では、清掃方法の記述に関して“アルコール消毒その他”を削除して簡素化されている。

従来のガイドラインでハンドドライヤーを利用停止とした内容の削除の根拠は、専門家からの指摘、水滴やマイクロ飛沫(エアロゾル)による感染リスクについて、複数の実験やシミュレーション³⁾を組合せることで、感染リスクが大きくないと評価していること、また、世界保健機構(WHO)のガイドラインや感染状況が落ち着いている諸外国におけるハンドドライヤーが利用継続や利用推奨が確認されていることを挙げている^{4),5)}。

参考文献

1. 新型コロナウイルス感染症対策 専門家会議の見解等、「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」(2020年5月4日)
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_senmonkakaigi.html>
2. 経団連：新型コロナウイルス感染予防対策ガイドラインの再訂について(2021年4月13日)
新型コロナウイルス感染予防対策ガイドラインの三訂について(2021年10月15日)
<<https://www.keidanren.or.jp/policy/2021/094.html>>
3. 例えば、三菱電機ホームページ(ジェットタオルと新型コロナウイルスの関連について)
<https://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/air/products/jettowel/advantage/detail_04.html>では、感染リスクを Wells-Riley モデルを用いて試算し、一般的な状況におけるハンドドライヤー使用による感染確率は0.01%、手洗い不十分な状態での感染確率は0.87%、オフィスにおける感染確率は6.8%と、ハンドドライヤーの使用による感染確率は他に比べ低いと評価している。
4. 渡辺思明、菅原翔：感染予防と事業継続の両立に向けた経団連の対応(上)、建築設備と配管工事、2021.8 No.799
5. 渡辺思明、菅原翔：感染予防と事業継続の両立に向けた経団連の対応(下)、建築設備と配管工事、2021.9 No.800

3.2.2 空調設備

(澤地孝男)

空調設備(以下「空調設備」)は、室内の温湿度及び空気質を良好に維持するための設備であるが、室内の加熱又は冷却のための部位と外気導入等により室内の空気質を維持するための部位から構成されると言える。様々な種類の空調設備が存在するが、それらはいずれも次のような部位から構成されると考えることができる。

表 3.2.2.1 一般的な空調設備の構成

(ア)	熱源部 (温熱及び冷熱を製造する部分)、
(イ)	搬送部 (熱源で製造された熱を部屋のすぐ近くまで搬送する部分)、
(ウ)	放熱部 (搬送されて来た熱を部屋に放出する部分)、
(エ)	外気取り入れ部 (部屋の喚起のため外気を取り入れて搬送する部分)、
(オ)	制御部 (空調設備の各部分の運転状態を制御する部分)、

このような空調設備のうち、放熱部として室内への温湿度調節された空気の吹き出し口を有し、熱源部から放熱部までの熱の搬送を水と空気を熱媒体として使用する方式を、ここでは中央式空調設備の典型例として取り上げて、感染拡大時に備えたウイルス感染症対策技術としての留意点について考察を行う。

また、放熱部としてコイルを内蔵した室内機を有し、熱源部から放熱部までの熱の搬送を、冷媒を用いて行う方式を扱うこととして、その方式が室内機を設置した室毎に加熱又は冷却を、冷媒流量を調節することによって個別に行えることから個別分散空調設備と称し、同様に感染拡大時に備えたウイルス感染症対策技術としての留意点について考察を行う。

中央式空調設備及び個別分散空調設備の典型的な構成を図 3.2.2.1 に示す。

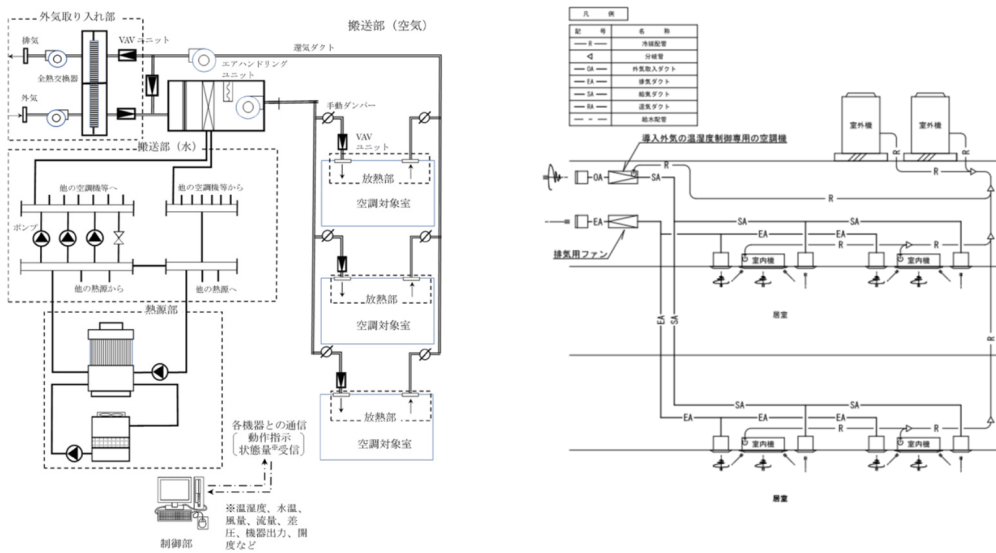


図 3.2.2.1 中央式空調設備の構成(左)及び個別分散空調設備(右)の典型的構成

3.2.2.1 中央式空調設備

(澤地孝男)

図 3.2.2.1(左)に示す中央式空調設備は、熱源から室までの熱の搬送のために水(冷温水)と空気を熱媒体として使用する形式のものである。ここでは、搬送部としての空気調和機と外気取入れ部に着目してウイルス感染症対策上の留意事項を記述することとする。

(1) 空気調和機の温湿度調節機能

図中の空気調和機(エアーハンドリングユニット)では冷温水から空気(室からの還気と導入外気の混合空気)に熱交換がなされ給気温度が調節されるとともに、冷房時にはコイル表面での凝結により除湿、暖房時には加湿器により加湿を行うことができる。

冷房時の除湿の必要量を考慮して冷水温度、コイル能力、冷水流量を設計し、さらに冷水の空調機入口出口温度差を確保できること、変風量制御によって送風機動力に係る省エネを図る場合には給気温度制御は慎重に導入すべきことなど、制御の設計においても十分な配慮が求められる。

(2) 空気調和機の外気導入機能(換気機能)

給気が 100%外気である外調機を除いて、空気調和機及び周辺の構成は図 3.2.2.2 に示すようなものである。この構成図を用いて、空気調和機の外気導入機能について考察する際にポイントとなる要因を列記すると次のようになる。

- ・一般的に、空調対象室の温度制御のため、給気風量を制御する機能(VAV 方式)を有す。
- ・一般的に、空調対象室及びその周辺空間の静圧に影響を有するトイレ等の換気(一般に第 3 種換気)を考慮して、空気調和機を通じた外気取入れ及び排気を行う必要がある。
- ・空気調和機に内蔵又は接続される送風機の種類台数については表 3.2.2.2 のようなパターンがあり得るものの、外気量の確実な確保に配慮して設計を行う必要がある。

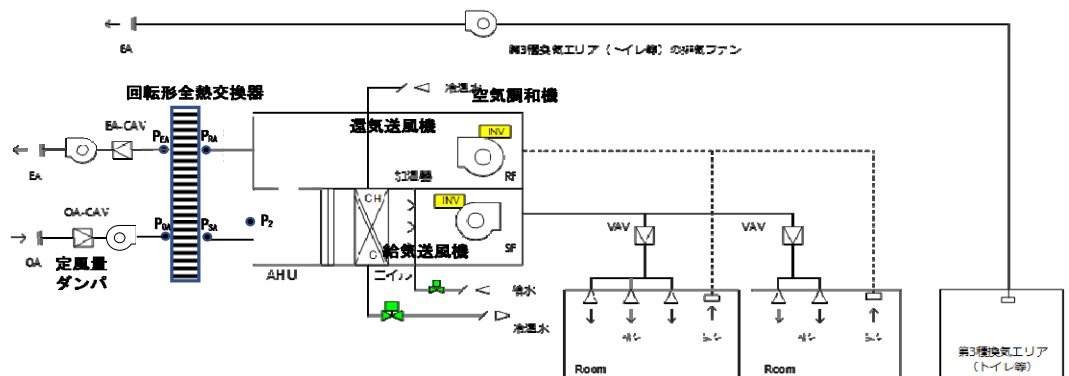


図 3.2.2.2 空気調和機及び周辺の構成(表 3.2.2.2 のパターン 1-1 の例)

表 3.2.2.2 送風機の設置箇所による空調機の種類

パターン	送風機の設置箇所			
	給気	還気	外気	排気
1-1	○	○	○	○
1-2	○	○	×	○
1-3	○	○	○	×
1-4	○	○	×	×
2-1	○	×	○	○
2-2	○	×	×	○
2-3	○	×	○	×
2-4	○	×	×	×

図 3.2.2.2 に例を示すパターン 1-1 の場合、より確実に外気量を制御可能である。また、トイレ等の第 3 種換気による排気量を把握した上で、空調機の排気量及び排気量を制御することによって、空調対象室及びその周辺空間の静圧を適正に維持することが可能である。

図 3.2.2.3 に例を示すパターン 1-4 の場合は、外気ダクトに送風機は無いため、給気送風機により外気を誘導導入する。熱負荷の減少により給気風量が下がったときは、外気 CAV の風量計測値又はダンパー開度に応じて、循環経路にある電動ダンパー(RA-MD)の開度を狭める等の対応を行う。一方、排気は還気送風機により行うが、排気 CAV による制御及び還気送風機の回転数制御によって必要な排気量を実現可能であることが望ましい。というのも、建物の外皮が十分に気密であれば必然的に、排気量 = 外気量 - トイレ等からの排気量、となるが、実際には排気量を制御できない場合には、漏気が発生することとなるためである。

なお、トイレ等からの排気が過大となることは、空調機周りの風量バランスに少なからぬ影響を有するため、換気効率を向上させて排気量を最小限とする、第 1 種換気を採用する、等の対策の検討が重要であると言える。

還気送風機の代わりに排気送風機を用いる場合はパターン 2-2 となる。

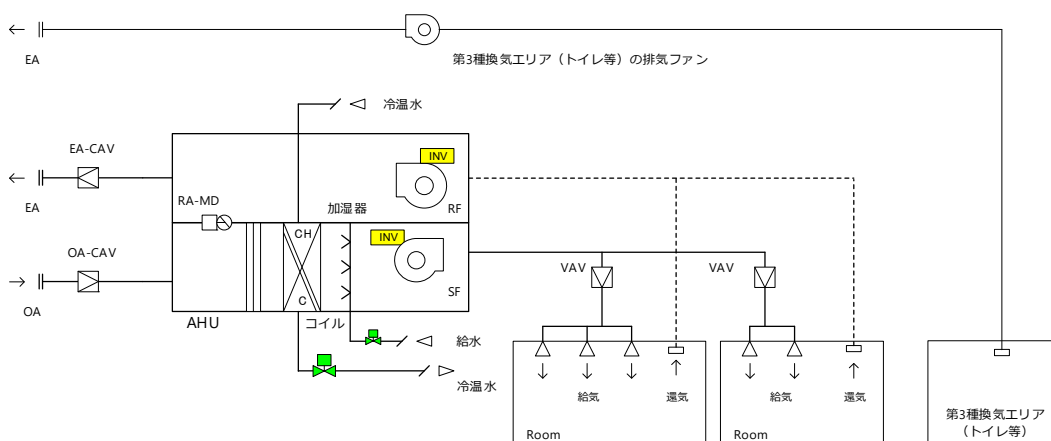


図 3.2.2.3 給気送風機及び還気送風機のみを用いる空調機の例 A(表 3.2.2.2 のパターン 1-4 の例)

図 3.2.2.4 は、パターン 1-4 の別の例であるが、外気及び排気ダクトの風量計測はなされないため、外気及び排気の両経路(空調機内部)に設置された各 1 台の電動ダンパー及び給気経路 - 還気経路間に設置された空調機内部の電動ダンパー(以下では「機内ダンパー」)1 台の開度制御によって外気導入量の制御を行う。外気のダンパーは還気ダクト内 CO₂ 濃度により開度が制御され、同ダンパーの開度が大きい場合であっても外気導入量が不十分と判断された場合に機内ダンパーの開度が絞られる。また、排気のダンパーも CO₂ 濃度によ

り開度が制御される。空気調和機内部の外気経路から給気ダクトに到る部分と、還気ダクトから排気ダクトに到る部分の圧力損失特性は異なるため、各々の部分に設置された電動ダンパーの開度を一致させるだけでは外気及び排気量の関係を適正に維持することは難しいと考えられ、その点を考慮した制御が求められる。

また、図 3.2.2.4 の方式の場合、外気導入量が適性であるか否かは CO₂ 濃度計の計測結果に依存していることから、センサーの定期的な校正が一層求められると言える。

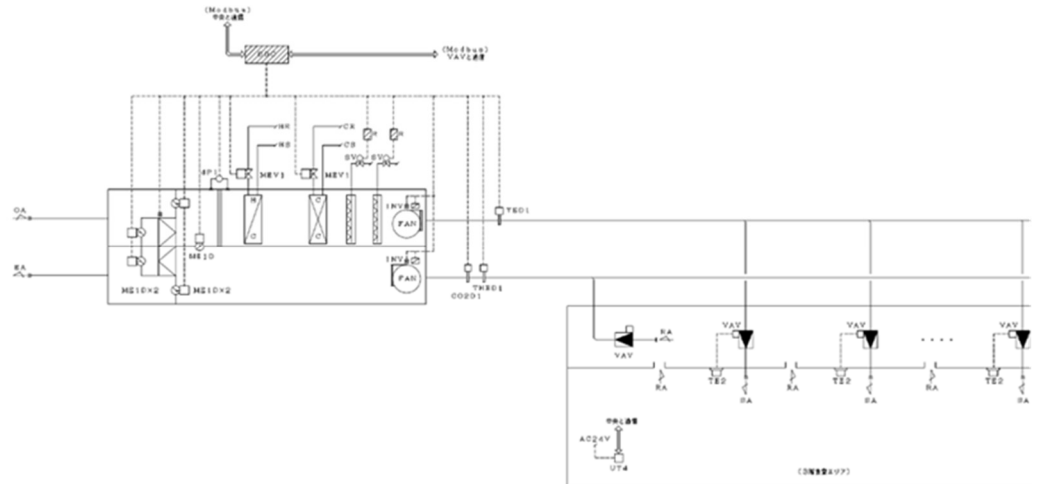


図 3.2.2.4 給気送風機及び還気送風機のみを用いる空気調和機の例 B(表 3.2.2.2 のパターン 1-4 の例)

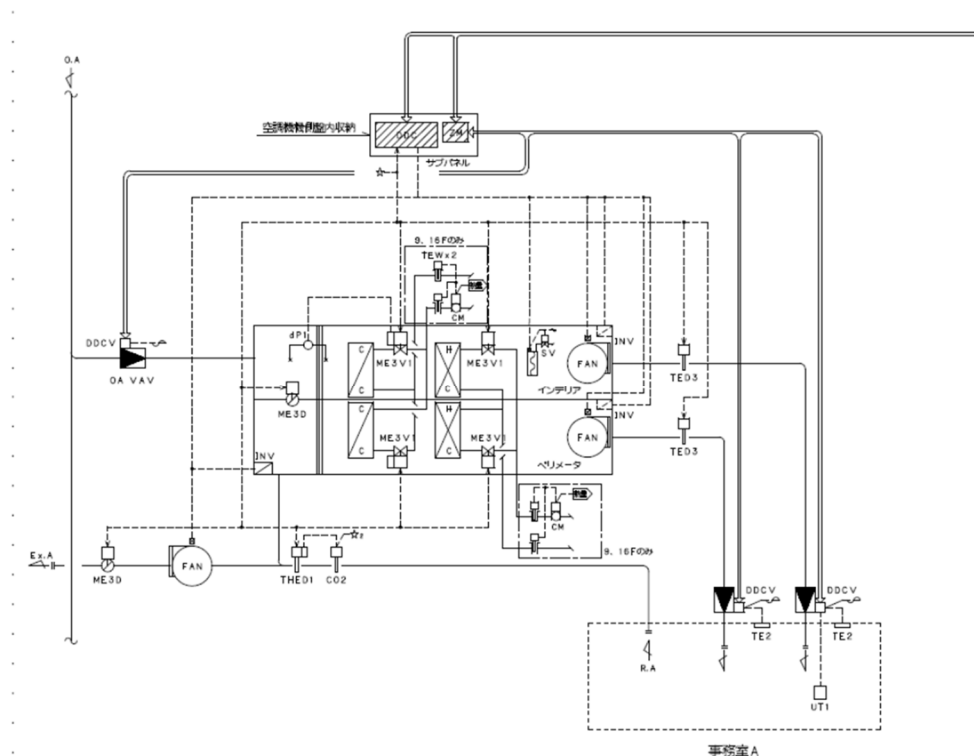


図 3.2.2.5 給気送風機及び排気送風機が設置される空気調和機(表 3.2.2.2 のパターン 2-2 の例)

図 3.2.2.5 は、パターン 2-2 の例であり、給気側と外気側に VAV ユニットが設置されている。また、このシステムの特徴として、インテリア用とペリメータ用の空気調和機が隣合わせて製作されており、外気はインテリア用空気調和機のみを導入され、還気はペリメータ用

空気調和機に入るとともに、両空気調和機間の隔壁に設置された「還気電動ダンパー」(ME3D)を介してインテリア用空気調和機にも入っている。排気送風機は外気量に比例して回転数が補正されるようになっているが、VAV制御のため変化する給気量には連動しておらず、建物外皮の気密性に依存して、外気量－共用部排気量に相当する風量が排気されることが計画されている。また、空調対象室からの還気量から排気送風機による排気量を除いた風量がペリメータ用空気調和機に入ることが計画されているが、そのためには還気ダクトの圧力損失が十分小さくなければならない。

(3) 空気調和機の空気清浄機能

また、各種のフィルターを内蔵することによってウイルスを含有するエアロゾルや粉塵などの空気汚染物質の除去を行うこともできる。空気調和機には一般に、粗塵用エアフィルター及び中性能エアフィルターが設置される。前者は粒径が5 μ m以上の粒子の除去に、後者は5 μ mより小さい粒子に対して中程度の粒子捕集率をもつとされている¹⁾。

表 3.2.2.3 に或る中性能フィルターの捕集率及び圧力損失を示す。捕集率が高い中性能フィルターは使用開始時から圧力損失が比較的大きく、捕集率の低いものに比して運転時間とともに圧力損失の増加速度が速い¹⁾ことを念頭に置いた上で、より高い捕集率のフィルターの採用を検討する必要がある。

表 3.2.2.3 空気調和機に設置される中性能フィルター性能の例

フィルター	JIS B 9908:2001 の 平均比色法捕集率	単位面積当たりの風量	圧力損失	
			初期	最終(3000～4500 時間運 転後)
A	90%以上	9030m ³ /h/m ²	90Pa	300Pa
B	65%以上	9030m ³ /h/m ²	70Pa	300Pa

(4) 空気調和機に関する省エネルギー上の留意点

空気調和機に関する省エネルギーを、送風機の運転のための消費電力と外気導入量制御による空調負荷に着目して論を進めることとする。

送風機の消費電力の多寡に影響を有する要因としては、機外圧力損失(空調機外部のダクト系による圧力損失)及び機内圧力損失(空調機内部のコイル、フィルター、加湿器等による圧力損失)、送風機及び電動機システム(電動機、伝動ベルト類、インバーター)のエネルギー効率、竣工前の風量調整方法、を挙げることができる。

設計から竣工までの段階順に考えると、留意点は表 3.2.2.4 のように整理することができよう。

表 3.2.2.4 空気調和機に係る消費電力削減のための留意点(ウイルス感染症対策への配慮事項を含む)

段階	留意点	備考
設計	<ul style="list-style-type: none"> ・最終的に決定された建物や室の形状・寸法、外皮仕様にに基づき設備設計を行う。その際、外皮の気密性を確保するための対策を確認する。 ・空気調和機が分担する室が複数である場合は使用条件の極力均一な室を各空気調和機の分担室とする。 ・空気調和機が分担する室の最大熱負荷計算を行い、給気量を決定する。その際、特に窓際領域の暖房時の上下温度分布均一化のために必要となる風量を考慮する。(5~8回/時が一つの目安)。 ・各室の必要外気導入量を決定する。在室者1人当たりの量、在室者密度、ウイルス感染症対策のための余裕度等を考慮する。 ・空気調和機等の主要機器及びダクト系の配置を決定し、その上でダクト系各部材の仕様及び寸法を決定する。 ・圧力損失計算は各部の正確な摩擦損失係数・圧力損失係数を用い行う。 ・空気清浄のためのフィルター類の仕様を選定した上で、負荷処理能力より選定されたコイルの仕様を含めて機内圧力損失を計算する。 ・変風量制御、CO₂濃度制御のいずれも採用しない場合は、竣工後に外気導入量に影響を及ぼす要因としては、フィルター類の目詰まりによる機内静圧の増加等が考えられるが、それらに配慮した上で初期調整における手動ダンパーの開度調整の履行、外気送風機等の送風機の追加設置、外気量及び排気量の制御の導入の要否などを決定する。 ・変風量制御を採用する場合には、いわゆる「要求風量制御」を基本とする。各 VAV ユニットに関する最小風量は、当該室の必要外気導入量に考慮して決定する。空調負荷が異なる複数室を含む場合、最小風量は必要外気導入量と同一とせず、余裕を持たせることも検討する。 ・CO₂濃度制御を採用する場合には、CO₂濃度センサーの精度・交換周期に配慮しつつ、外気送風機等の送風機の設置、風量センサーの精度・交換周期・設置位置、各送風機の回転数の制御の内容と方法についての要求条件を決定する。 	
実施設計 /施工	<ul style="list-style-type: none"> ・吹出口等・ダクト・空調機・その他の送風機・全熱交換器等の配置を確定する。 ・初期調整及び竣工後における調整に必要な計量器やセンサーの設置場所を関して決定するとともに、初期調整(機能性能試験1)の計画を立てる。 ・ダクト系の気密性を確保できるように部材の選定と施工を行う。 	
初期調整	<ul style="list-style-type: none"> ・空気調和機が分担する室の給気量がバランス良く確保されるよう、外気導入量・排気量・還気量が適正な範囲となるように各部の手動ダンパーの開度調節を行う。 ・空気調和機に係る各送風機の回転数を、風量測定値を確認しつつインバーターにより調整する。 ・変風量制御又はCO₂濃度制御を採用する場合には、各制御が適正に機能していることを確認する。 	

(5) 既存空調機に対する外気導入量増加及び空気清浄機能追加のための対策の可能性

空気調和設備の設計から建設までの段階には、役割の異なる複数の社が関与しているのが通常であるため、既存空調機周りの対策については、その計画立案から契約、施工までに行うには相当程度の困難が伴うものと予想される。仮に対策を施した後にクレームが顕在化したときの対応策など、複雑な問題も絡むであろう。その点を踏まえつつ、ここでは現実的な解としてどのようなものが存在するのか考察を加えることとする。

既存の空気調和機に対して調整を行って外気導入量を増強又は空気清浄機能(フィルター類の増強等)を追加するための対策を検討するとすれば、まずは対象となる空気調和設備の全体構成の確認、部品の機器特性の確認、制御パラメータの確認、各部の風量や温湿度調節機能の現状に関するデータの収集など、事前に準備すべきことがある。その準備に当たっては、設備施工と計装工事を担当する社が中心となって、設計及び建物全体の施工を担当した社と調整の上で準備に着手することが必要であろう。

準備を着手したからと言っても、対策を実施して効果を得ることができるとは限らず、途中で断念すべきことも起こり得よう。今後は、簡単な初期調査によって、どのような構造の空調設備であれば比較的簡単に対策を行うことができるのか、経験を蓄積しておく必要があるかもしれない。

1) 外気導入量増加に資する要因

外気導入量に関係する送風機に回転数制御機能があり、調整の結果として最大回転数から減じた状態で運転されている場合は、インバーターの周波数上限までは送風機能を増強できる可能性がある。その際には、複数の送風機間の風量バランスにも配慮を行う。

また、ダクト上のマニュアルダンパーの開度減によって風量調整が図られている場合には、開度を大きくすることで送風機能を増強できる可能性がある。空気調和機に設置されている全熱交換器による圧力損失が、バイパス用の風路に比して大きい場合には、省エネルギー的には不利とはなるものの、一時的にバイパス回路を通じて外気取入れ及び排気を行う方法も考えられる。

室温調整のため VAV 制御が施されている場合に、各 VAV ユニットの最小風量設定値を上げることで、各室への給気量、ひいては外気導入量を増強できる可能性がある。給気風量の増加によって温度調節に問題が生じる部屋がある場合には、給気温度の設定値に関する工夫も必要になろう。また、外気取入れ部に VAV 又は CAV ユニットが設置されている場合には、それらの風量設定値を上げるにより外気取入れ量を増加させることができよう。

建物全体への外気導入量は、空気調和機周辺の排気量のみならず、トイレや機械室等共用部分の排気送風機の影響も受ける。それらの排気送風機に風量増加の余地があるのであれば、それを実行する方法も考えられる。但し、暖冷房が必要な時期には廊下やトイレなどの温熱環境の低下を生じる可能性がある。

2) 空気清浄機能追加に資する要因

空気調和機に内蔵されるフィルター、特に中性能フィルターで微細な粒子の除去性能に優れたものは、室内の循環風量を増加させることで空気の通過頻度が増加し捕集率を向上させることができる。したがって、風量を増加させることは省エネルギーには反するものの、緊急の対応として、空気調和機の還気－給気間の温度差を小さくして(通常よりも給気温度を冷房時には高めに、暖房時は低めに設定する)循環風量を上げてフィルターによる捕集量を上げることが考えられる。

また、フィルターを粒子除去性能のより高いものに交換することも一法ではないかと考えられる。検討の際には、空気調和機の給気風量の計測、給気送風機の出力の確認、既存フィルターの両側差圧の確認などを行って、フィルターの交換後も当初の設計風量が維持可能であるかどうかを確認する必要がある。

(6) 空気調和機に設置される全熱交換器の排気移行率の抑制

図 3.2.2.1(左)や図 3.2.2.2 のように、全熱交換器が空気調和機に設置される場合には、送風機の配置によって排気移行率(排気されるべき空気が導入される外気に混入する比率)が増加することがあり得るため、送風機の配置についても配慮が求められる。

3.2.2.2 個別分散空調設備(VRF システム)

(澤地孝男)

図 3.2.2.1(右)に示す個別分散空調設備は、VRF システム又はビルマルチエアコンなどと呼称される室外機と室内機及び冷媒配管からなる部分と、外気導入(換気)用送風機(図の場合は第 1 種換気)及びダクト系からなる部分で構成されている。

VRF システムの室外機は圧縮機・熱交換器(空気熱源の場合は外気と冷媒間の熱交換を行う)・各種の弁等から構成されている。室内機は熱交換器(冷媒と室内空気間の熱交換を行う)・送風機・各種の弁・フィルター等から構成される。

外気導入用設備は、外気送風機・排気送風機・全熱交換器・フィルター類・加湿器等から構成される。非住宅建築物の場合、ここに全熱交換換気ユニットが使用されることがある。

ここでは、VRF システムの室内機及び外気導入設備に着目してウイルス感染症対策上の留意事項を記述することとする。

(1) VRF システムの室内機

室内機自体には外気導入機能はなく、全熱交換換気ユニット(「3.2.4.6 熱交換換気システム(p.119)」参照)と合わせたシステムとして、外気導入機能を有することとなる。冷媒を室内機と同様に直膨コイルを内蔵した全熱交換換気ユニットに供給して、温湿度調節機能を持たせることもある。

VRF システムの室内機は、熱源からの熱搬送は冷媒によって行い、空気との間の熱交換器を空調対象室の直近に置くことで空気搬送時の圧力損失を抑え、送風機のエネルギー消費量を削減することが可能となっている。表 3.2.2.5 は、室内機の代表機種(天井カセット形 4 方向吹出しの主要機種)に関する定格能力と送風機消費電力の関係であるが、風路の圧力損失が小さいため比消費電力は極めて小さく、空気搬送システム成績係数は極めて大きい値を示している。

表 3.2.2.5 VRF システムの室内機の 1 台当たりの冷房能力と送風機消費電力の例(4 方向吹出しの代表機種)

社名	定格能力(冷房)	消費電力	比消費電力(SFP) 平均値	空気搬送システム成績係数 (ATF*)平均値
A 社	2.8~16.0kW	20~137W	0.037W/(m ³ /h)	158
B 社	2.8~16.0kW	20~110W	0.032W/(m ³ /h)	180
C 社	2.8~16.0kW	20~130W	0.034W/(m ³ /h)	158

室内機には、中性能フィルター(比色法捕集率 65%又は 90%)を設置することが可能な機種もある。また、電気集塵方式により中性能フィルターと同程度以上の微小粒子の除去性能を有する装置を設置することが可能な機種もある。

(2) 外気導入設備

個別分散空調設備のための外気導入設備としては、全熱交換機ユニット(「3.2.4.6 熱交換機システム(p.119)」参照)又は外調機(外気を温湿度調整して室内に給気する機器)が用いられることが多い。両者のいずれをも使用するケースもある。

(3) 既存の個別分散空調設備に対する外気導入量増加及び空気清浄機能追加のための対策の可能性

(1)の末尾で述べたように室内機には、微小粒子の除去性能を有する中性能フィルターや電気集塵機を設置することができるため、後付けが可能であればそれが一つの選択肢となる。設置場所が確保できるのであれば単独で空気清浄機を室内に設置することも選択肢となり得る。

全熱交換機ユニットなどの外気導入量増加に関しては、本体内部のスイッチ類の設定状態及び取扱説明書の記載を確認し、より風量の多い設定が存在するのであれば、設定の変更によって外気導入量の増加が可能となる。当然のことであるが、フィルター類の清掃状態を確認して、不十分であれば清掃を行うことで外気導入量の回復が期待できる。

参考文献

1. 空気調和衛生工学便覧第14版、2.機器・材料編、空気調和衛生工学会、2010年4月

3.2.3 通風・換気計画

(金勲)

オフィスにおける換気は、中央式空調や個別式空調に関わらず空調と連動している場合は空調運転と同時に稼働される。個別式空調では空調とは独立している換気もあり、この場合は別途運用が必要となる。

現時点で空調システムによる伝搬感染が報告された例はないが¹⁾、ダイヤモンドプリンセス号や中国レストラン、韓国のコールセンターの大規模感染事例では空気感染を疑っている声もある。

新型コロナウイルスの感染経路としての空気感染は限定的に認められているもののまだ議論が続いている。一方、新型コロナやインフルエンザは飛沫やエアロゾル(飛沫核)によって感染源が排出されることは明らかである。

空気感染の媒体はエアロゾル(飛沫核)が考えられるが、感染価が大きいのは比較的粒径の大きな粒子と考えられていることから、換気による稀釈・排出はもちろん空調機フィルターによる除去も有効と認識されている。中央式空調は還気(レタン)があるがその分全風量が大きく、中性能フィルターが設置されることから室内空間からエアロゾル(粒子)を速やかに取り除いてエアフィルターへ搬送・除去できる。個別空調の外気処理機(OHU)や熱交換器(HEX)はオールフレッシュ(all fresh air)方式であり給気量＝排気量であるため還気による再汚染の心配は無いが、全風量が少なく室内空間から汚染質を排出する能力は中央式より小さいことには注意が必要である。また、個別式の室内機(パッケージエアコン：PAC)には粗じんフィルターが装着されているものの、新型コロナウイルスの感染性エアロゾルを除去できるフィルターは備わっていない。ただ、PACにも中性能以上のフィルターを装着できる製品やアタッチメントが販売されている。

空調は外乱の影響を受けずに室内環境を制御するためのものであり、窓やドアを解放した状態で運用することは想定していない。また中央式と個別式は空調設計の概念と能力が異なる。中央式にも全外気運転ができる方式もあり、個別式にも外気導入方式はOHU、HEXや第1種換気、最も単純な第3種換気など様々な組み合わせがある。

空調設計時に想定していない内容の運用や許容能力を超えた無理な運転は室内温湿度環境の悪化、騒音、機器トラブルや故障に繋がるため、施設の管理技術者や設計・施工業者などの専門家と相談する必要がある。

参考文献

1. CDC, Ventilation FAQs - Can COVID-19 be transmitted through HVAC (ventilation) systems? <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation.html>

3.2.3.1 外気導入のための建築設備計画・設計

(担当：金勲、執筆：日建設計 田中宏昌・日建設計総合研究所 高橋直樹)

オフィスにおける外気導入のための建築設備計画について、従来の考え方に加えて、COVID-19の感染拡大を受けて、新たな感染防止の観点を加えた外気導入のための建築・設備計画について、各方式の特徴と要点を以下にまとめる。

(1) 換気方式

建物内に外気を導入する方法として、機械換気と自然換気の2種類の方法がある。機械換気方式を採用し、必要最小限の外気量を確実に確保する方法が一般的であるが、機械換気に加えて自然換気を併用する方式(ハイブリッド方式)により、省エネルギーに加えて、感染対策や停電時におけるBCP対策として、必要換気量+ α の換気量を確保するシステムが今後望まれる。

機械換気：安定した換気量を得ることが可能。フィルター等を付加して空気の清浄化や温湿度調節機器を付加して温湿度を調節して室内に外気を導入することができる。また、全熱交換器を設置して、熱回収して空調負荷を減らすことが可能である。搬送動力が必要となるため、省エネルギーの観点から、できるだけ機器やダクト等における抵抗が過大にならないように配慮が必要である。

自然換気：風力もしくは、温度差に起因する重力によって、2つの開口に生じる圧力差によって室内に外気を導入する換気手法である。屋外の条件によって圧力差の条件が時々刻々変動するため、外気導入量が不安定となる。また、温度の調整を経ずに直接室内に外気が供給されるため、外気条件によっては室内温湿度環境が不快になる、室内温度のばらつきが大きくなるなどの懸念がある。室内の自然換気の開口は、手動による方法と自動による方法がある。オフィス内部は、年間を通して人員や機器等からの発熱があるため、室内温度よりも低い外気を適正な換気量で取り入れることができると、省エネルギーとなる。また、動力が不要となるため、停電時などにおいても外気が取り入れることが可能であり、レジリエンス性が高い換気方式であるといえる。

(2) 外気導入位置

外気導入位置は、建築計画にも大きく関わるため、計画初期段階に決める必要がある。ビルの必要外気をまとめて取り入れるセントラル方式と、各階から取り入れる各階方式に大別できる。執務者の感染防止及び健康の観点からは、できるだけ多くの新鮮な外気を室内に取り入れできるようにすることが望ましく、建物毎の周囲環境も考慮に入れながら、導入位置を決めることが必要となる。

セントラル方式：屋上もしくは、中間階に設けた設備階よりビル全体の外気を一括して取り入れて、執務室の各所に外気を供給する。外気取入れ位置にて、外調機を設置して温湿度を調整して供給する場合が多い。省エネルギーのために、外調機は複数台設置するか、給気ファンによるインバーター制御により、室内のCO₂濃度により各所への供給外気量を可変できるようにすることが望まれる。

各階方式：各階の外壁面に設置したガラリより外気を導入する。機械室コアが、外壁近くにある場合は、外気導入用のガラリを確保しやすいが、機械室コアが中央に配置された所謂

センターコア方式の場合は、建物中央部にボイドと呼ぶ吹き抜けを設置するなどして、外気供給ルートを確認することが望ましい。外壁から外気を導入する場合は、車からの排気ガスの影響や、周囲建物からの排気の影響等に十分配慮が必要である。各階から外気を取り入れる本方式は、比較的多くの外気導入がしやすい方式であり、空調機方式を採用する場合は、省エネルギー及び感染防止の観点から、必要外気量に加えて、より多くの外気量を取り入れられるようにガラリ及び外気導入ダクトに余裕を持たせて計画することが望まれる。

(3) 外気処理システム

機械換気方式の場合、外気の温度と湿度を調整する、いわゆる外気処理を行って執務室に外気を供給するのが一般的である。外気処理の方法としては、外気のみを外気処理する外調機方式と、室内レタン空気と外気を混合して、その後温度と湿度を調整する空調機方式がある。温度調整には、冷温水もしくは、冷媒を使った方式が用いられる。湿度調整は、オフィスの場合は加湿のみを行い、除湿は行わずに冷却による成り行きで除湿が行われるのが一般的である。また、省エネルギーの観点から、外調機又は空調機に全熱交換器を組み合わせる室内からの排気を熱回収する方法や、外調機として全熱交換器を単独で設置する場合がある。

いずれの方式においても、加湿に関しては、ウイルス感染予防の観点から、設計空気条件において確実に設定湿度以上となるような加湿能力を備える加湿器の選定と制御システムの組み込みが重要である。全熱交換器においては、排気が外気側に移流しないように給排気ファンの設置位置に工夫を凝らすなどの対策が望ましい。

外調機方式：外調機にて外気を温度及び湿度調整を行い、執務室に供給する方式。外気導入量は、必要最小限の外気量を設定する場合が多い。換気性能を向上させるために、自然換気方式を併用して、必要に応じて外気導入量が増やせるようにしておくことが望ましい。内部発熱及び外皮負荷に対しては、循環空調機としてパッケージエアコン等の個別空調と組み合わせる場合が多い。外気処理された空気を、循環空調機のレタンと混合させて空調空気を供給する場合があるが、冬期においては、内部発熱により循環空調機が冷房要求されている場合は、外気処理された空気が除湿されてしまい、室内湿度が低下してしまう可能性があることに留意が必要である。

空調機方式：室内レタン空気と外気を混合して、温度湿度を調節した空気を室内に供給する。空調ゾーニングに応じたきめ細かな温度制御を行うために、ゾーンごとに VAV を設置して、室内負荷に応じて送風量を可変させて制御する場合が多い。この場合、あくまで空調負荷に応じて外気を含んだ空気量が制御されるため、場合によってはゾーンごとに外気導入の過不足が発生する可能性がある。制御エリア、特に外気量を適正に制御したいゾーンに CO₂ センサーを設置し、設定した CO₂ 濃度になるように外気量を制御することが望ましい。また、このように空調機方式の場合は、外気とレタン空気の割合を可変させることができるため、省エネルギー及び感染防止の観点から、外気導入量に余裕を持たせて外気冷房や、緊急時に外気が増やせるように計画しておくことが望ましい。また、レタン空気を空調機に戻して、再循環させる方式のため、個別分散方式と比べて、レタン空気が各所に拡散することになるため、パンデミック下においては、高性能フィルターへの取り換えが可能ないようにスペースを確保しておくなどの配慮が望ましい。

(4) 室内への外気の吹出し方法

換気計画において、外気を室内に導入する吹き出し口の位置と、室内空気を排出する排気口の位置の計画は、その部屋の換気性能に大きく影響を及ぼすため非常に重要である。人から人への空気感染を防止するという観点からは、さらに換気経路をできるだけ短くすることにも十分配慮が必要である。均一な温度環境を実現するためにも、吹き出し口及び吸い込み口をできるだけ分散して多く設置することがいずれの方式においても重要である。

天井吹き出し方式：最も一般的な方式である。吹き出し口と吸い込み口が同じ面にあるので、それぞれが近接して吹き出した空気がそのままショートカットして排出されないように配慮が必要である。特に、送風温度によって冷房された空気は拡がりやすく、暖房された空気は、上部に溜まりやすいので、冷房、暖房時の吹き出し口の気流性状についても検討が必要である。

床吹き出し方式：主に、OA 機器等の配線ルートである二重床(フリーアクセスフロア)を利用した床下チャンバーに空調機からの気流を流し、床に設置された床吹き出しユニットから吹き出す方式である。各ユニットを調整することにより、風量・風向の個別制御が可能となる。人や機器からの発熱により発生する気流(プルーム)と外気を含む空調空気の気流が同一方向となるため、人から発生したウイルスを含むエアロゾルを速やかに周囲に拡散させないで、吸い込み口まで空気を運ぶことができるため、感染予防に適した空調システムであるといえる。

(5) 導入事例

1) Aビル

都心に立つ商業、オフィス、ホール等の大規模複合施設。本紙面では、街区の中のタワーA内のテナントオフィスについて事例紹介する。先進の省エネルギー技術を導入しており、特に超高層ビルでは採用が難しい自然換気システムを導入していることが特徴である。オフィス基準階は、センターコア形式を採用しており、1フロア当たりの執務面積は約 2600m² となっており、6分割のテナント割を想定している。

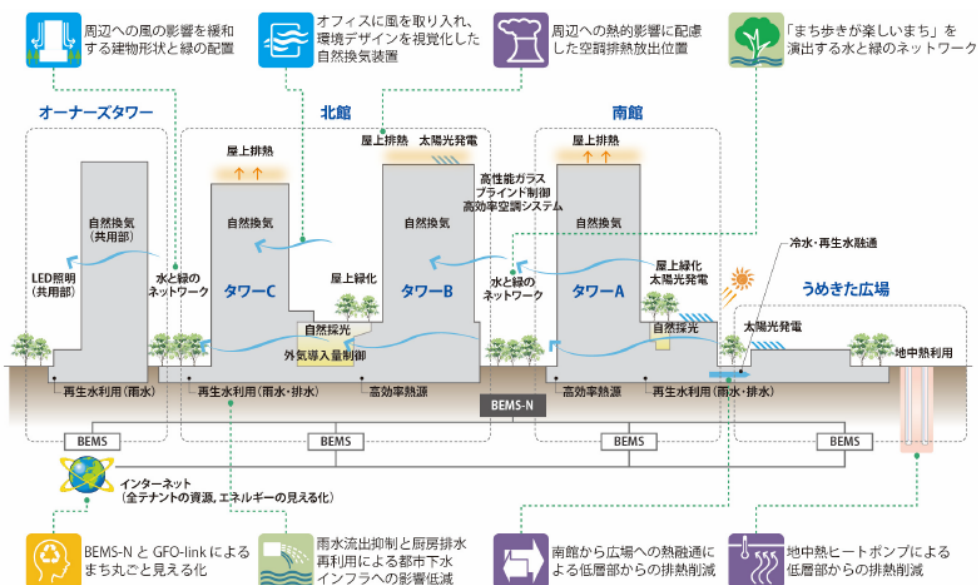


表 3.2.3.1 空調換気システム概要

1)換気方式	2)外気導入位置	3)外気処理システム	4)吹出方式
機械換気・自然換気併用ハイブリッド方式	外調機；屋上+中間階 空調機(外気冷房用)； 各階外壁	外調機システム(空調機による外気冷房併用可能)	天井吹き出し

(a) 換気方式

機械換気方式と自然換気方式を併用するハイブリッド方式を採用している。自然換気は、風力換気方式を採用している。風力換気は、風力によって生じる2面の圧力差を換気の駆動力とする方式であるが、テナント区画により2面の開口が取れない場合や、風上で圧力差が取れない場合にも換気が行えるように、アシストファンによる第3種換気ができるようにしている。図 3.2.3.3 に空調換気モード時の CO₂濃度頻度分布と自然換気及びハイブリッド空調時の換気回数を示す。これより、ハイブリッド空調時においては、自然換気とほぼ同様の換気回数を得られるため、自然換気と同程度の CO₂濃度を維持しながら、空調併用により快適な室内空間が実現できることがわかる。

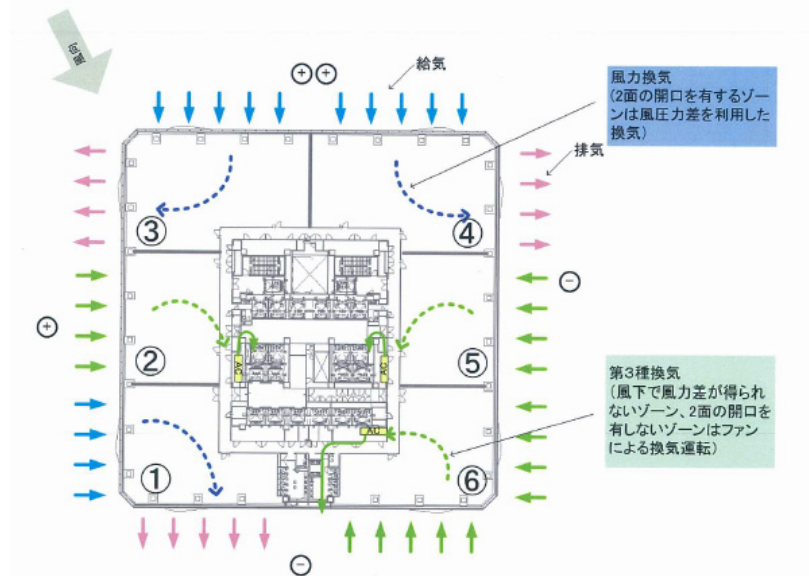
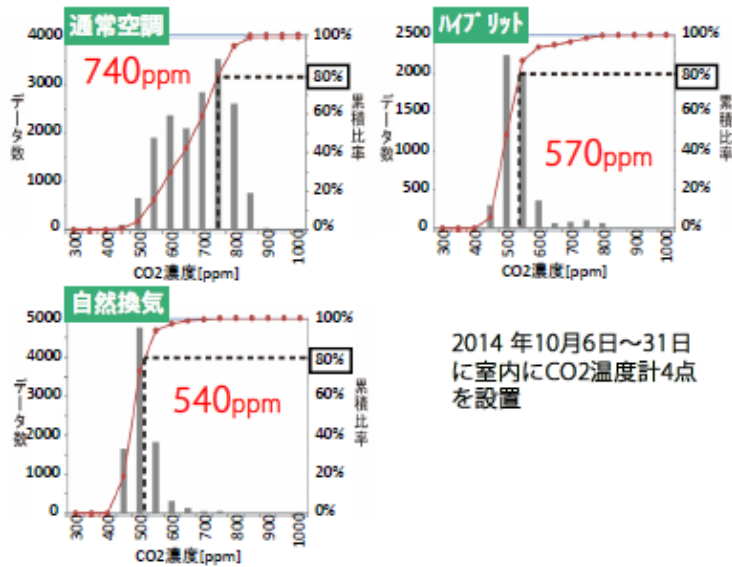


図 3.2.3.2 テナント分割時の自然換気のお考え方



2014年10月6日～31日
に室内にCO2温度計4点を
を設置

-1.6	-2.4	-0.4	0.5
-1.3	-1.4	-0.4	0.8
-1.2	自然換気		0.7
-1.2	-1.1	1.0	0.6
-0.3		1.4	
-0.2	0.0	0.9	1.2
-0.1	0.6	1.5	1.3

風向：東北東 [°C]
平均換気回数：1.5回/h
内外温度差：8.9°C

-0.4	0.3	0.6	1.2
0.2	-0.4	0.9	1.1
-0.7	ハイブリッド空調		0.8
-1.0	-0.7	1.1	1.0
-0.7		1.0	
-1.4	-0.9	0.2	-0.5
-1.4	-1.4	-0.2	0.4

風向：北西 [°C]
平均換気回数：1.9回/h
内外温度差：11.2°C

図 3.2.3.3 空調換気モード時の CO₂ 濃度頻度分布(上)、自然換気及びハイブリッド空調時の換気回数(下)

(b) 外気導入位置

外気取り入れは、本事例では、屋上及び中間階からまとめて外気導入をおこなうセントラル方式を採用した。各系統の処理外気は、VAVを設置し室内CO₂濃度により外気量を可変できるようにしている。セントラル外調機は、複数台設置し、必要外気量に応じた台数+ファンインバーター制御により省エネルギーを図っている。

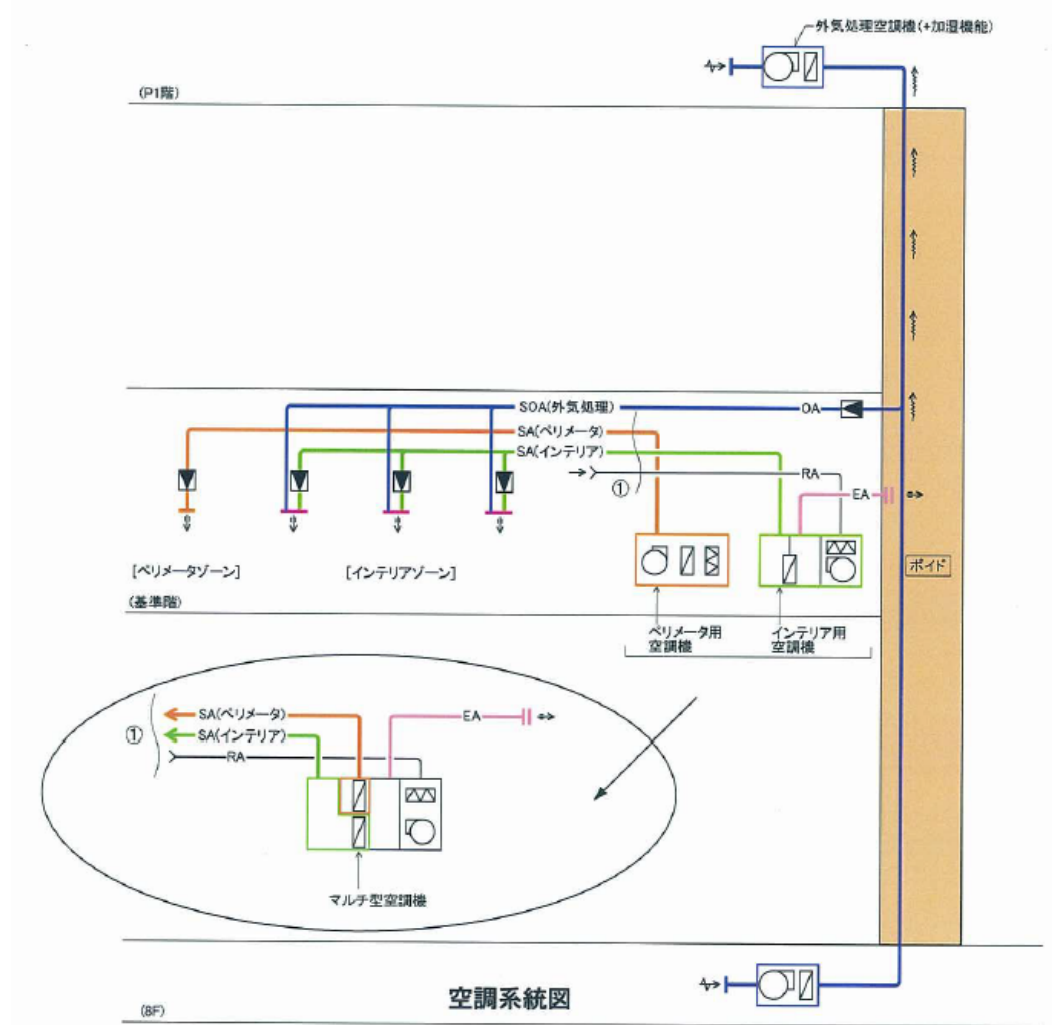


図 3.2.3.4 外気導入概念図

(c) 外気処理システム

外気処理方式は、セントラル熱源(冷水・温水)を利用した外調機方式を採用した。加湿は気化式加湿方式を採用している。外調機の最大外気導入量は、執務面積当たり $6\text{CMH}/\text{m}^2$ (人員密度 $0.2\text{人}/\text{m}^2 \times 30\text{CMH}/\text{人}$) となっており、概ね室内の CO_2 濃度 1000ppm が達成できるように設定した。さらに、省エネルギーとして外壁側から各階空調機に $11\text{CMH}/\text{m}^2$ 分の外気導入ができるようにして、中間期など外気エンタルピーが室内よりも低いときに外気を積極的に導入できるようにしている。さらに昼間に溜まった熱を夜間に換気により屋外に放出するナイトパーズモードも備えている。各モードは、テナント自らが自然換気と空調を選択して運転できるようにしている。空調運転を選択した際には、外気条件によって、通常空調、外気冷房、ハイブリッド空調を自動で切り替えできるようにした。

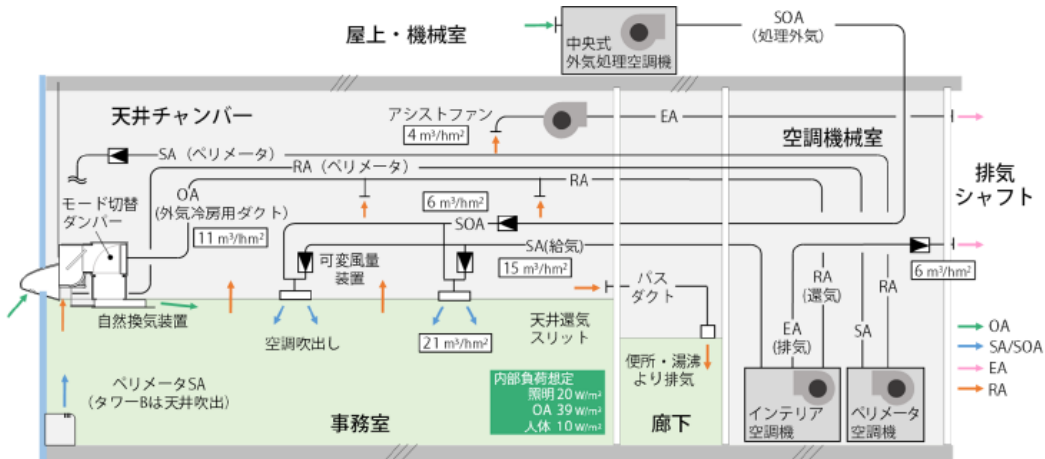


図 3.2.3.5 空調換気システム概念図

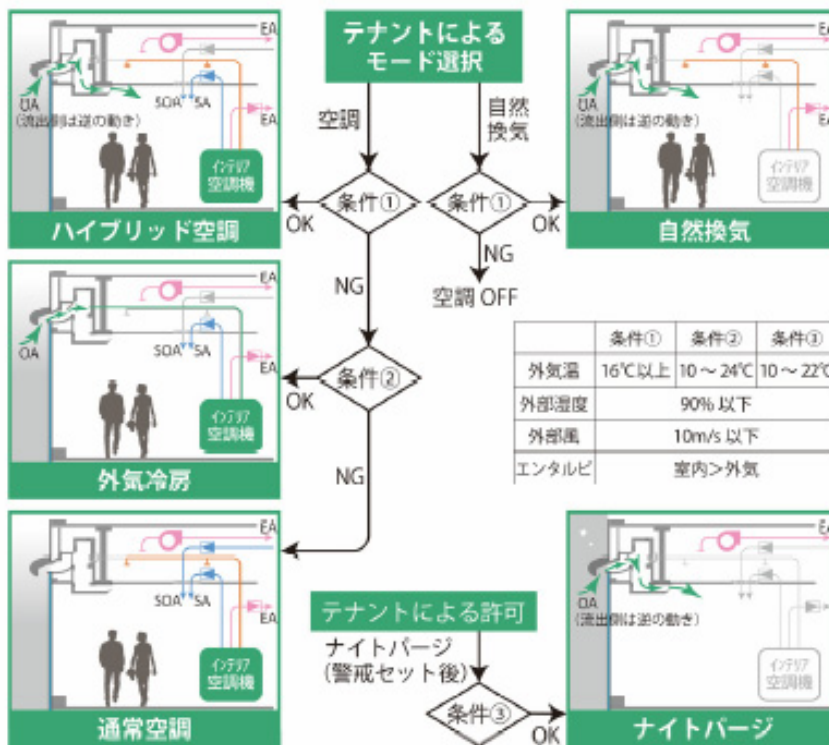


図 3.2.3.6 空調換気モード概念図

(d) 吹き出し方式

吹き出し方式は、天井吹き出し方式を採用している。

2) Bビル

郊外に立つ空調機器メーカーの研究所施設。実験ゾーンと執務ゾーンの2つのゾーンが明確に区分されている。執務ゾーンは、ZEBの達成を目指しており、空調機器メーカーの最先端の省エネ機器を導入し、さらにこれらの機器と自然エネルギーを組み合わせて究極の省エネルギーを目指しているのが特徴である。主な執務ゾーンは、60m×60mの無柱フロア2層があり、コミュニケーションスペースとして2層の中間フロアを中央部に設けているのが特徴として挙げられる。

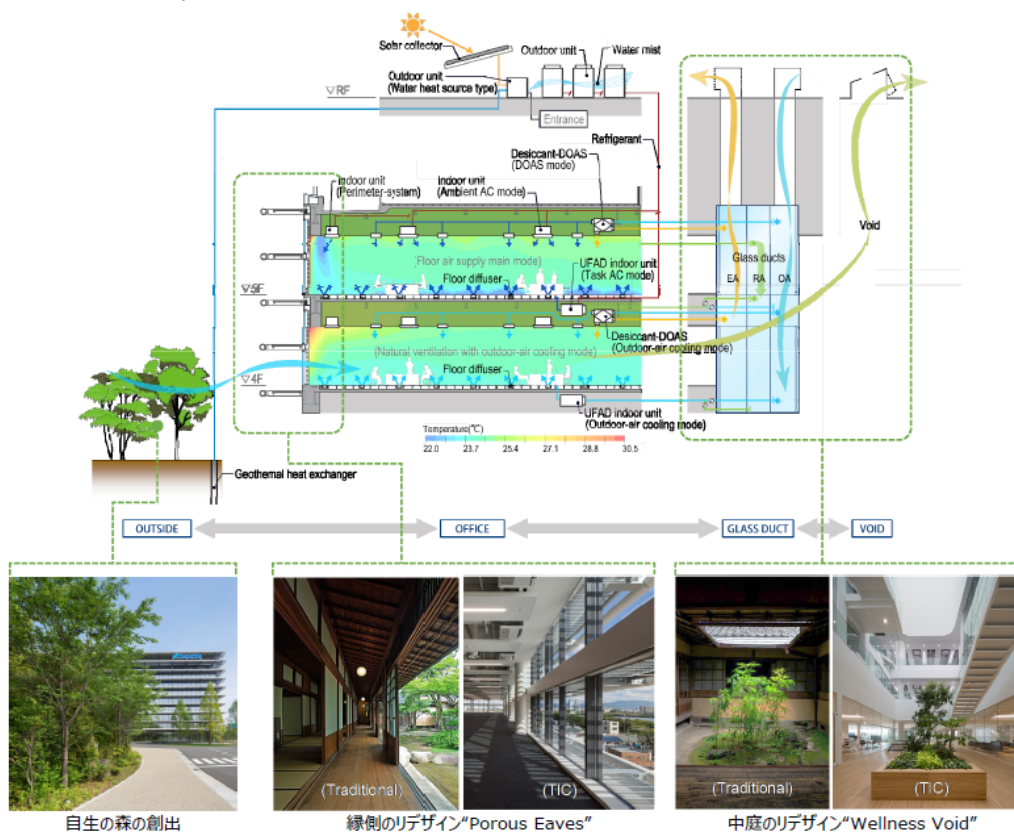


図 3.2.3.7 施設的环境配慮概念図

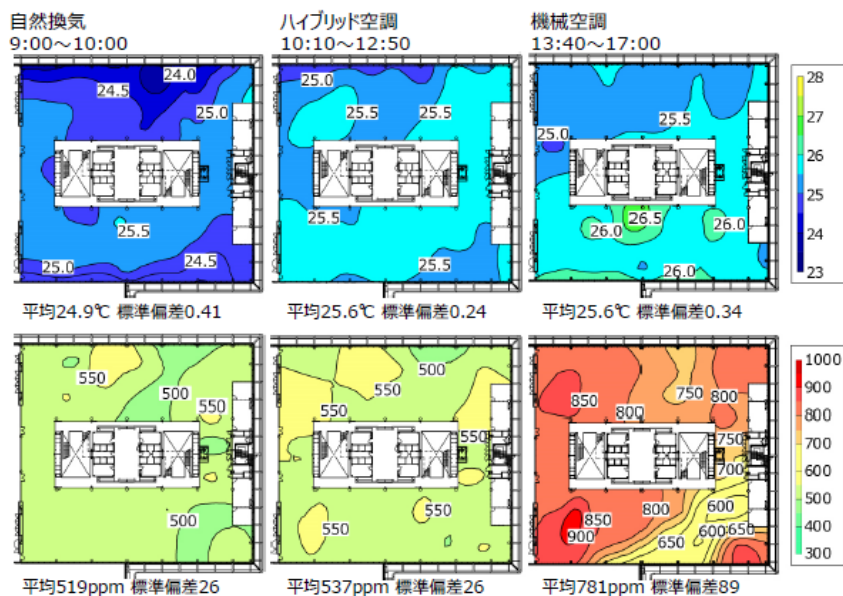
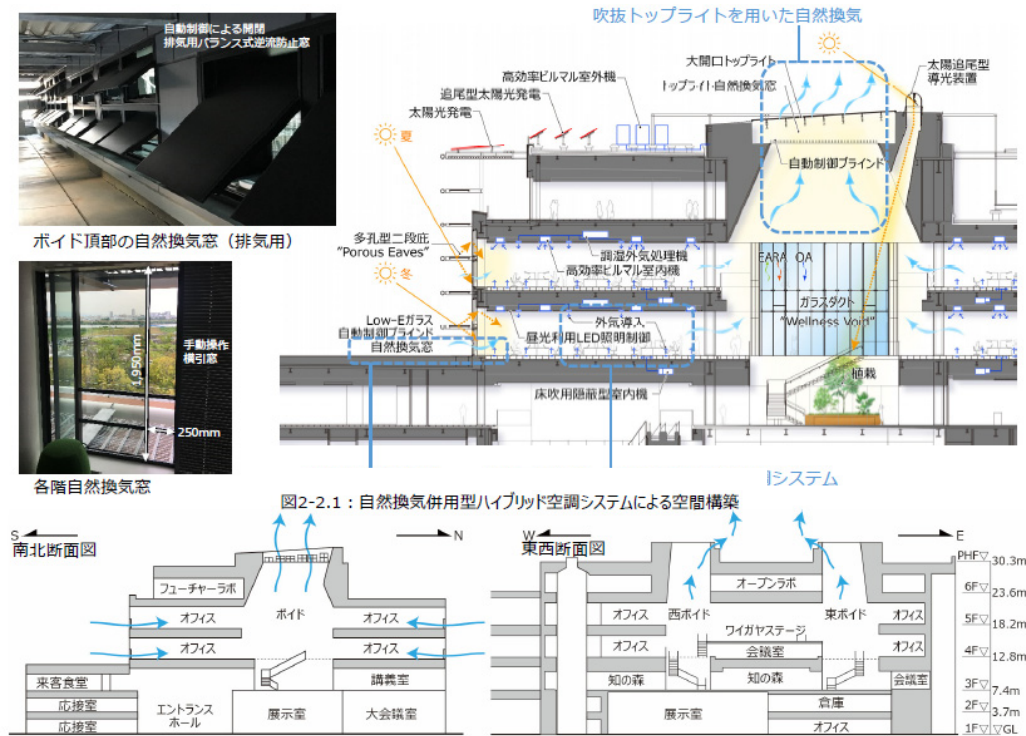
表 3.2.3.2 空調換気システム概要

1)換気方式	2)外気導入位置	3)外気処理システム	4)吹き出し方式
機械換気・自然換気併用ハイブリッド方式	外調機；屋上(ガラスダクトにより各階に供給)	外調機システム(ヒートポンプ型調湿外気処理機)	天井吹き出し(外気) 天井カセットエアコン(循環空気) 床吹き出し(タスク空調)

(a) 換気方式

換気方式は、機械換気と自然換気を併用したハイブリッド方式を採用している。平面的に大きなフットプリントを有する居室であることから、風力換気を利用した水平換気のみだと、外気の取り入れ付近と排出付近とで大きく温度が異なる可能性がある。そこで、建物屋上中央部のボイド頂部に排気用自然換気窓を設けて、外壁面から給気し、建物頂部から排気する空気の流れを作らした。

図 3.2.3.9 に、各運転モードにおける温度と CO₂濃度分布を示す。ハイブリッド空調モードにおいては、自然換気と同程度の低い CO₂濃度を実現しつつ、室内温度としては、空調モードと同程度の温度分布を実現できていることがわかる。



(b) 外気導入位置

外気導入位置は、平面的に非常に奥行きが深いプランであったために、建物中央部に所謂二つ目の外装(第二のエンベロープ)があると見立てて、光と風を導く大開口のトップライトと吹き抜け(ポイド)を設けた。外気導入も、この建物中央部から集中的に取り入れることが、最もダクト延長短くできるために、建物中央部にガラスダクトと呼ぶ外気導入排気ルートを設置した。この給排気ルートは、建物中央部を通るために、研究者の視線を遮らないように、ガラスでダクトを制作した。(ガラスダクト)

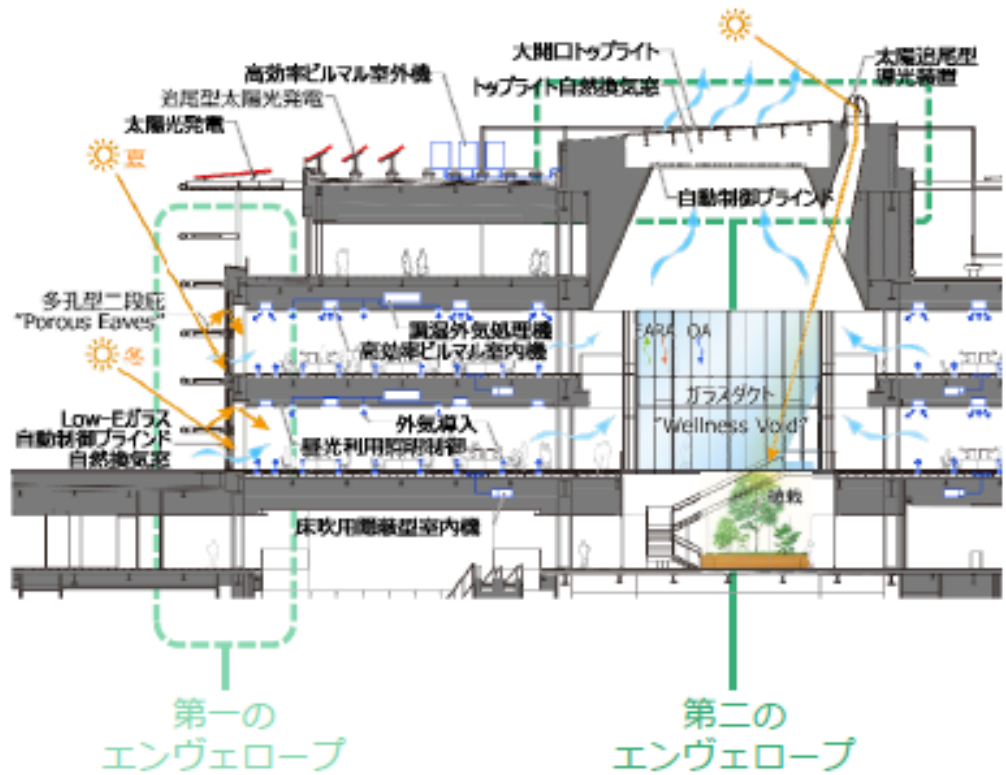


図 3.2.3.10 建物への光と風の導入の考え方

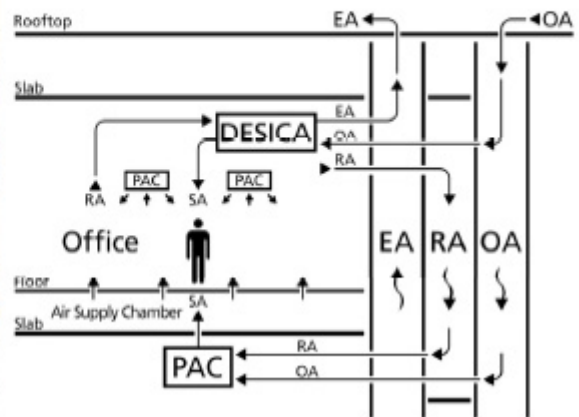


図 3.2.3.11 ガラスダクト(左)、給排気システム概念図(下)

(c) 外気処理システム

外気処理は、調湿型ヒートポンプ外気処理機を使った個別外調機システムを採用した。室内 CO₂ 濃度によって、外調機の風量制御及び台数制御を組み合わせる導入外気を人員密度に合わせて可変できるようにした。空調換気システムは、自然換気、外気冷房、機械換気+空調モードを備え、パッシブ手法とアクティブ手法をシームレスで自動切換を行う、快適性と省エネルギー性を追求したシステムを導入している。最初に自然換気有効時は、空調を停止し、手動開放窓を開けて、自然換気を行う。自然換気のみでは温度が上昇する場合は、調湿外気処理機と床吹き室内機による外気冷房を追加、さらに偏在する負荷には、天井カセットエアコンがアシスト冷房を行う。さらに温度上昇、又は自然換気有効条件外になると機械空調モードに移行し、適切に制御する。

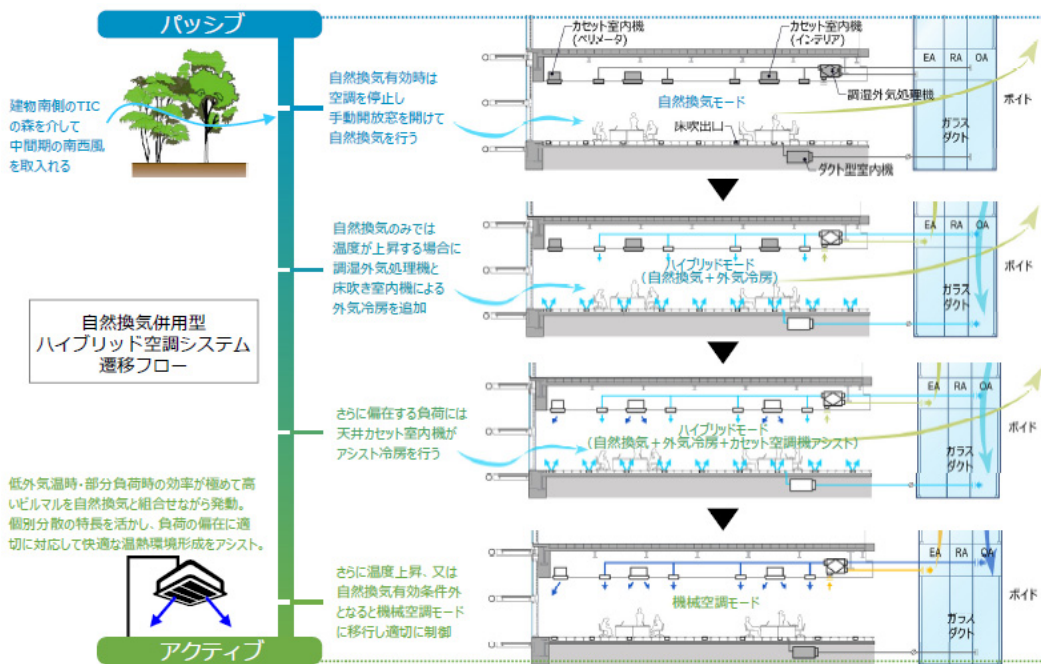


図 3.2.3.12 空調換気システム概念図

(d) 吹き出し方式

調湿外気処理機は、天井吹き出しとし、外気冷房又はタスク空調は、床吹き出しとしている。

3.2.3.2 それぞれ必要な換気量

(担当：金勲、執筆：三菱電機 高田勝)

オフィスビル内には、執務室のように人が定期的存在する場所の他、会議室や共用スペース、などの非定期的に人が存在する場所、及びそれらに付帯する廊下、トイレ、更衣室や物品庫などが存在する。以下に日本国内の法規その他による換気量や換気方式に関する記載をまとめる。

表 3.2.3.3 日本国内のオフィスビルの換気量に関する法規・規定

法規・文献名	換気量に関する規定内容														
建築基準法	<p>建築基準法施工令(以下“令”)に下記規定あり</p> <p>○自然換気設備(令百二十九条の二の五) 給気口及び排気口の有効開口面積、取り付け位置や構造が定められている</p> <p>○機械換気設備(令第二十条の二、三、八) 換気量が次の①～③を満たすこと</p> <p>①(令第20条の2)次の有効換気量以上であること。</p> $V = \frac{20Af}{N}$ $\left\{ \begin{array}{l} V : \text{有効換気量}[\text{m}^3/\text{時}] \\ Af : S - 20s[\text{m}^2] \\ S : \text{居室の床面積}[\text{m}^2] \\ s : \text{有効換気面積}[\text{m}^2] \\ N : \text{実況に応じた1人あたりの占有面積}[\text{m}^2] \\ N = S/n \\ n : \text{居室の収容人員} \end{array} \right.$ <p>※但し、特定建築物の居室における計算でN > 3の場合はN = 3 その他建築物の居室の計算でN > 10の場合はN = 10とすること。</p> <p>②換気設備のホルムアルデヒドに関する技術基準(令20条の8) 次の(a),(b)いずれかの必要有効換気量以上であること。</p> <p>(a) $V_r = n \cdot A \cdot h$ [機械換気設備] $\left\{ \begin{array}{l} V_r : \text{必要有効換気量}[\text{m}^3/\text{時}] \\ n : \text{住宅等の居室にあっては} 0.5 \\ \quad \text{その他の居室にあっては} 0.3 \\ A : \text{居室の床面積}[\text{m}^2] \\ h : \text{居室の天井の高さ}[\text{m}] \end{array} \right.$</p> <p>(b) 略[空気を浄化して供給する方式の機会換気設備]</p> <p>【備考】1つの換気設備が二つ以上の居室の換気を行う場合、その換気設備の換気能力は、居室それぞれの必要有効換気量の合計以上とすること。</p> <p>③(令第20条の3、昭45建告第1826号)火気使用室に設ける機会換気設備の有効換気量は以下を満たすこと。</p> $V = NkQ$ $\left\{ \begin{array}{l} V : \text{有効換気量}[\text{m}^3/\text{時}] \\ N : \text{次の値を使用する} \\ 40 \cdots \text{煙突・排気フード無し} \\ \quad \text{(令第20条の3第2項イ(4))の場合} \\ 2 \cdots \text{火を使用する設備又は器具に煙突を設ける} \\ \quad \text{(令第20条の3第2項イ(6))の場合} \\ 30 \cdots \text{火を使用する設備又は器具の近くに排気} \\ \quad \text{フードを有する排気筒を設ける(令第20条} \\ \quad \text{の3第2項イ(6))の場合で、換気設備の構} \\ \quad \text{造方法を定める件(昭45建告第1826号)の} \\ \quad \text{第三の四のイの(イ)の(i)~(iii)に該当す} \\ \quad \text{る排気フードを有するもの} \\ 20 \cdots \text{火を使用する設備又は器具の近くに排気} \\ \quad \text{フードを有する排気筒を設ける(令第20条} \\ \quad \text{の3第2項イ(6))の場合で、換気設備の構} \\ \quad \text{造方法を定める件(昭45建告第1826号)の} \\ \quad \text{第三の四のイの(ロ)の(i)~(iii)に該当す} \\ \quad \text{る排気フードを有するもの} \\ k : \text{探知燃焼量あたりの理論排ガス量(下表参照)} \\ Q : \text{実況に応じた燃料消費量} \end{array} \right.$ <p>○中央管理式の空気調和設備*(令129条の2の6等)</p> <p>◎有効換気量 $V \geq \frac{20Af}{N}$ [m³/時] 但し、$Af = S$(居室の床面積) [m²] N : 実況に応じた1人あたりの占有面積 (10をこえるときは10とする。)</p> <p>※空気を浄化し、その温度、湿度及び流量を調節して供給(排出を含む)をすることができる設備</p> <p>○その他の換気設備 二酸化炭素の濃度を1000ppm以下、一酸化炭素の濃度を10ppm以下に保つ換気ができること</p>														
建築物衛生法	<p>対象：特定建築物(=特定用途に供される延面積の合計が3000m²以上、学校は延面積8000m²以上)</p> <p>内容：次の空気環境基準に適合するよう規定*(建築物における衛生的環境確保に関する法律施工令2条)</p> <table border="1"> <tr> <td>浮遊粉塵量</td> <td>空気1m³につき0.15mg以下</td> </tr> <tr> <td>CO含有率</td> <td>10ppm(厚生労働省令で定める特別の事情がある建物にあっては厚生労働省令で定める数値)以下</td> </tr> <tr> <td>CO₂含有率</td> <td>1000ppm以下</td> </tr> <tr> <td>温度</td> <td>1)17°C~28°C 2)室内温度を外気温度より低くするときは、その差を著しくしないこと。</td> </tr> <tr> <td>相対湿度</td> <td>40%~70%</td> </tr> <tr> <td>気流</td> <td>0.5m/sec以下</td> </tr> <tr> <td>ホルムアルデヒドの値</td> <td>空気1m³につき0.1mg/m³(0.08ppm)以下</td> </tr> </table> <p>※目標の環境基準はあるが、直接的な換気量の規定はない</p>	浮遊粉塵量	空気1m ³ につき0.15mg以下	CO含有率	10ppm(厚生労働省令で定める特別の事情がある建物にあっては厚生労働省令で定める数値)以下	CO ₂ 含有率	1000ppm以下	温度	1)17°C~28°C 2)室内温度を外気温度より低くするときは、その差を著しくしないこと。	相対湿度	40%~70%	気流	0.5m/sec以下	ホルムアルデヒドの値	空気1m ³ につき0.1mg/m ³ (0.08ppm)以下
浮遊粉塵量	空気1m ³ につき0.15mg以下														
CO含有率	10ppm(厚生労働省令で定める特別の事情がある建物にあっては厚生労働省令で定める数値)以下														
CO ₂ 含有率	1000ppm以下														
温度	1)17°C~28°C 2)室内温度を外気温度より低くするときは、その差を著しくしないこと。														
相対湿度	40%~70%														
気流	0.5m/sec以下														
ホルムアルデヒドの値	空気1m ³ につき0.1mg/m ³ (0.08ppm)以下														
労働安全衛生法	<p>事務所衛生基準規則 第3条 労働者が執務する事務所の換気等について</p> <p>・外気に向かって直接開放することのできる開口部分の面積を床面積の1/20以上とするか、換気設備を設ける</p>														

	・一酸化炭素濃度を 50ppm 以下、二酸化炭素濃度を 5000ppm 以下とする。
建築設備設計 基準(茶本)	第4編第4章第3節 3-1 ・機械換気方式の場合：居室の1人当たりの外気量 30m ³ /h ・無窓居室の場合：外気量は1m ² 当たり 2m ³ /hを下回らない ・トイレ 5～15回/h、コピー室など 10回/h、更衣室、書庫・物品庫など 5回/h
空気調和衛生 工学会規格	SHASE S102-2011 換気規準・同解説 ・空気汚染の総合的指標としてCO ₂ を採用し、建築物衛生法の基準(居室内CO ₂ 濃度 1000ppm以下)を満たすための必要換気量として、30m ³ /h/人が示されている(外気CO ₂ 濃度 350ppm、事務作業程度の極軽作業時)。
特定建築物に おける建築確 認時審査のた めのガイドラ イン	

※その他換気量に関する規定として、学校は学校保健安全法、病院は病院空調マニュアル(HEAS-02-2013)などがあるが、オフィスビルが対象であるため今回は割愛する。

3.2.3.3 空調機や吹き出し口からの風量及びエアバランス

(担当：金勲、執筆：ダイダン 鳥越順之)

(1) 各方式における共通事項

- ・外気導入量は、外気導入ダクトのサイズや送排風機の能力の範囲で増加が可能
- ・温調が必要な季節では、外気導入量の増加に伴い熱負荷も増加するため、室内温熱環境の悪化や消費エネルギーの増加になる

少し上記について詳しく解説すると、図 3.2.3.13 に示す最も単純な中央式空調方式では、RA ダンパーを全閉、EA ダンパーを全開にすることで外気量を 1,500m³/h から 12,000m³/h に増やすことができるように見える。但し、現実的には OA ダクト内風速が 4.6m/s から 37m/s に増加し、基準圧力も 1Pa/m から 60Pa/m に増加するため全く現実的ではない。ダクト内風速を 10m/s 以下に抑えれば、このケースでは設計外気量の 2 倍に相当する 3,000m³/h 程度が上限となる。また、外気量を 2 倍とすることで、外気の熱負荷処理能力は床面積 1m² 当たり約 15W 増加することになる。

(2) 各制御方式別の留意点

1) 定風量制御方式

風量調整ダンパー(VD)にて RA 風量を絞ることで外気取込量を増加させることができる。また外気導入ダクトに定風量装置(CAV)が設置されている場合は、設定変更が必要になる。

小規模な建物では、外気量 = トイレや湯沸室排気量としている場合が多いため、エアバランスが崩れる(排気量を増やすことができなため外気量 > 排気量となる)ことが懸念される。但し、多少であれば室内が陽圧になることは大きな問題にはならないと考えられる。

2) 変風量制御

OA ファン、RA ファンのインバーター、VD、CAV 等を調整することで外気量を増加させることができる。CAV の種類によっては、設計風量以上に増やせない場合もあるので注意が必要である。(図 3.2.3.14 参照)

室内の熱負荷が少なく SA 風量が絞られた状況であっても、最少外気量(法定外気量の場合が多い)は確保されるが、循環風量が減少することでフィルター濾過による相当外気量が大きく減少するので感染対策上は好ましくない。(可能な場合は、中央監視等で定風量制御に変更する、もしくは SA 風量の下限設定値を上方に修正することが望まれる。)

3) 外気冷房制御

感染対策上は有効な方式で可能な限り実施されることが好ましいが、温暖化の影響等で適用できる時期(時間)が少なくなっていることが懸念される。室内温熱環境の悪化が許容できる範囲内であることが前提となるが、外気冷房への切り替え条件を緩和することを検討する必要がある。具体的には、外気のエンタルピーが、室内のエンタルピー以下といった外気冷房判断を条件から外すといったことを検討する。

4) CO₂制御

室内 CO₂濃度が設定値以下(通常 900ppm 程度)の場合は、外気量が絞られてしまうので、感染対策上は外気風量を減ずることは好ましくないため、CO₂制御を停止して常に最大外気量となるようにすることが望ましい。

(3) その他の留意点

1) 全熱交換器の風量設定について

強運転・弱運転といった2段階に風量切り替えできる機種が多いので、弱運転に設定されている場合は換気風量を増やすことができる。強弱運転の風量比は2倍から10%程度とメーカーや機種によって異なる。一般的には、多少の余裕を見て設計風量を決定する機会が多いので、強運転時の風量で選定し、通常は弱運転で運用していることが想像されるので多くの場合風量アップが可能と考えられる。

全量排気している場合は問題ないが、排気の一部を余剰排気としてトイレや倉庫への給気としている場合はエアバランスが崩れる恐れがある(廊下やトイレが陽圧になる)ので注意が必要。(図 3.2.3.15 参照)

2) 外気を直接導入している場合の風量アップ

第1種又は第3種換気で直接外気を導入しているケースも稀にみられるが、この場合は送排風機器の風量切り替え機能やインバーターの設置の有無に左右される。また、外気を増やすと当然のことながら室内の温熱環境に影響を与える。(冷暖房能力に余裕があっても、外気の吹出口周辺は局所的に温熱環境が悪化する)

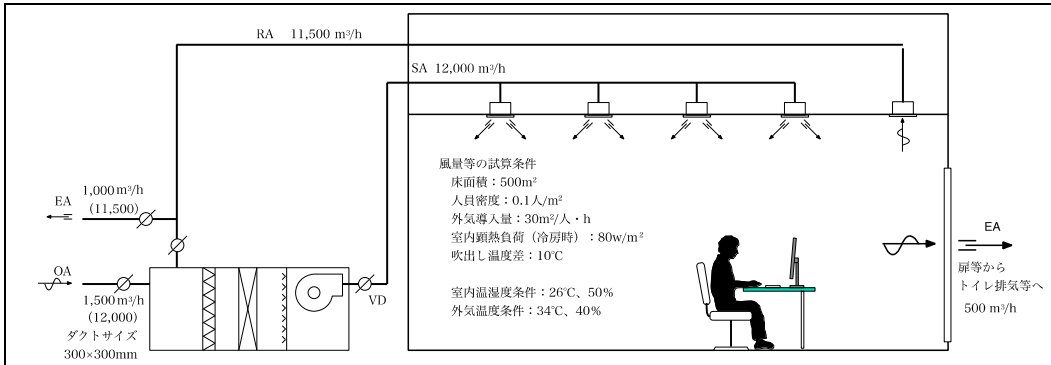
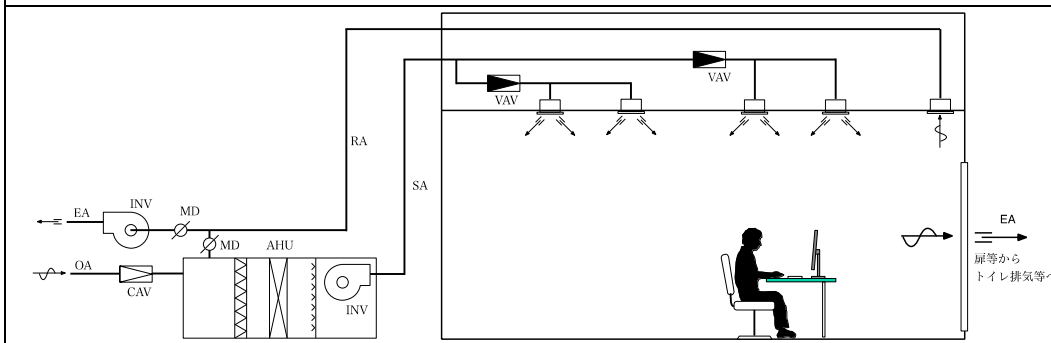
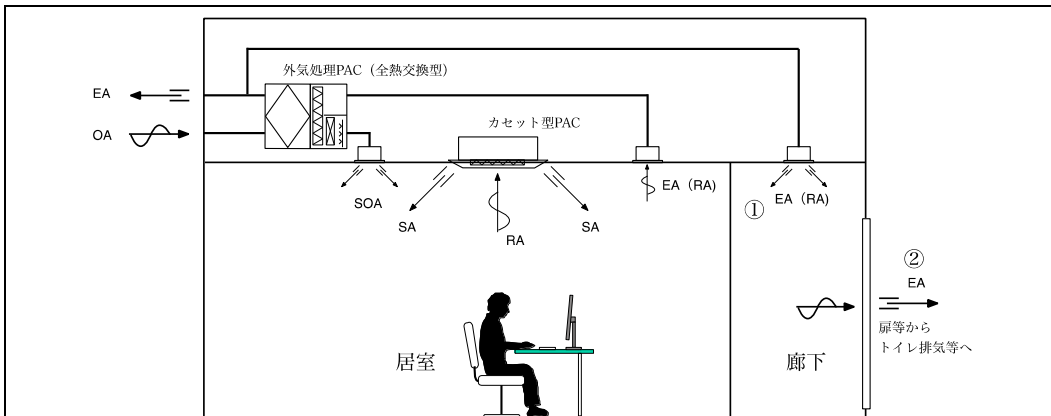


図 3.2.3.13 定風量制御の例



OA用のCAVの上限値が変更できない機種では、制御を切って手動で全開にする等の処置が必要

図 3.2.3.14 変風量方式の例



全熱交換器の風量をアップすると①の風量も増えるが、②の風量は変わらないので廊下が陽圧になる(①の風量を調整できる機構があれば問題なし)

図 3.2.3.15 個別空調方式の例

3.2.3.4 ウイルス感染症対策技術に関する中央式空調と個別分散型空調の違い

(担当：金勲、執筆：三機工業 新村浩一・ダイキン工業 松井伸樹)

(1) 中央式空調

1) 空調方式

中央式空調は比較的大きな面積を処理できる空調機(AHU)を有し、還気を取って室内空気を循環することが特徴である。空調方式は、図 3.2.3.16 に示すように還気と外気を同じ空調機で処理する方式や、外気処理専用の外調機(OHU)を併設する方式、熱負荷傾向が異なる建物外周部付近にファンコイルユニット(FCU)を加える方式等がある。

空調機は空気を冷温水コイルにより調温(冷却、加熱)し、冷却コイルや加湿器により調湿(除湿、加湿)し、フィルターにより清浄化する。個別式空調と比べ一般的に、高度な空気調和を可能にする。また、ファン能力やコイル能力、加湿方法、清浄化グレード、全熱交換器の組み合わせが任意に選定できるため、室の規模や用途及び設計思想に柔軟に対応し易いことも利点となっている。

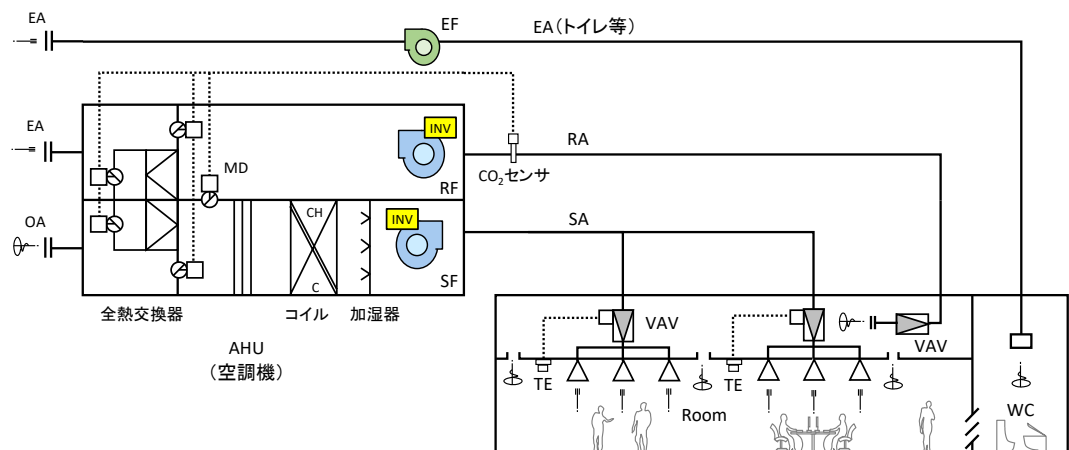


図 3.2.3.16 中央式空調の例

2) 外気導入と循環空気

外気導入は、室内空気質を保つために一定風量が供給できるよう容量設計される。運用では定格風量とせずに、居室のCO₂濃度を計測し、一定値になるよう制御して省エネルギーを図ることが多い。規模が小さい場合は、CAVなどで定風量とする設計もある。また、厨房や実験室等の特殊用途では、室の風量バランスを乱さないよう、差圧や排気機器の運転状態により制御する設計もある。会議室など小部屋に分かれた系統を1台の空調機で処理する場合には、このCO₂濃度のセンシング方法に留意する必要がある。濃度が最大の室でも、一定値以下が担保できるようなシステム構成が好ましい。また、導入外気には室内温熱環境を乱さない程度の熱処理が必要となり、掛かるエネルギーはかなり大きなものとなる。

空調機の給気風量は一般的に、顕熱負荷とコイル入口出口温度差により決定される。この給気風量から排気を除いた分が再循環する。図 3.2.3.16 の場合、再循環空気は前述の導入外

気と混合され、処理される。この循環空気が SARS-CoV-2 の室内への拡散に及ぼす影響としては、空調はフィルターによるろ過を提供するので、むしろ抑制する側に寄与する。この考え方は、ASHRAE も SHASE も提唱している。

循環空気の風量制御は、空調エリア毎に設置された VAV により行われ、対象エリアの温度が設定値になるように調整されるのが一般的である。空調機からの給気量は、接続される VAV の要求風量の合計値となるよう、又は吐出圧力が一定値になるよう、ファンインバーターにより制御される。なお、小規模や特殊用途の場合には、定風量運転やその他の制御も採られる。

留意点としては、部分負荷となり VAV 風量が低下した時に、外気導入量が確保できるような設計が必要である。具体的には、ファン回転数が低下しファン静圧が低下すると、外気の吸引力や排気の吐出力が低下するので、モータダンパーで循環経路に抵抗を付けたり、外気ファンや排気ファンを別途に設けたりして対応することが考えられる。外気量を計測監視するために、風量計を設置すること、MD ではなく VAV や CAV で制御することも有効と考えられる。

排気は、トイレや給湯室などの第 3 種換気による排気その他、導入外気とのエアバランスに必要な分を循環ダクト系統から分岐して取る。この排気の熱を再利用するために、全熱交換器を用いて導入外気側に移行させて、省エネルギーを図ることも多く実施されている。

3) フィルター性能

空調機には一般的に、前段のプレフィルター(粗塵フィルター)と後段の中性能フィルターが組み込まれる。日本の比色法 90%の中性能フィルターは、米国 ASHRAE で規定される MERV13 に相当する。SARS-CoV-2 の除去率については、フィルターの粒径別捕集効率とインフルエンザの粒径別構成比から求められ、SHASE より 78%と提案されている。高性能フィルター(HEPA)の採用については、インフルエンザが対象ではあるが試算がされており、感染リスクの低減効果に対してファン電力やフィルターの増加費用が大きく、費用対効果としては不利とされている¹⁾。一方で、粗塵フィルターと比べた場合、中性能フィルターの費用対効果は格段に高い。

参考文献

1. Brent Stephens : HVAC filtration and the Wells-Riley approach to assessing risks of infectious airborne diseases, 2012.5

4) COVID-19 対策としての実例の紹介

既存システムの運用面での対応としては、CO₂による外気量制御を行っている場合、設定濃度を 1000ppm から下げること、容易に外気量を増やすことができる。例えば 700ppm とすることで、外気濃度が 400ppm の場合には、従来の 2 倍量が導入できることになる。但し、空調機の調温能力や調湿能力には限界があるので、設計ピーク時に近い熱負荷条件下では、室内温湿度が不快となりうる。テレワークなどで在室人員や室内負荷が減っている場合や、余裕のある設計がなされた場合には、この問題は顕在化し難い。

また、継続使用に伴ってフィルターの目詰まりや外気導入経路の目詰まりが生じる。これらにより風量が初期状態から低下していないか確認し、必要に応じて交換や清掃を行うことは重要である。

既存システムの改修として、空調機やダクト系統に紫外線殺菌照射(UVGI)を組み込み易いことも、中央式空調の利点と考えられる。

(2) 個別式空調

5) 空調方式

個別式空調は、ビル用マルチエアコンに代表される冷媒を循環して空調を行うパッケージ型の空調機を設置することが特徴である。空調方式は、図 3.2.3.17 に示すように天井埋め込み型カセットに代表される室内機を対象となる空調ゾーン毎に分散設置して空調を行い、外気導入の為に全熱交換器や外気処理器を別途設置する方式が一般的である。但し、天井リターン方式などのように天井埋込みダクトと外気導入設備を組み合わせ設置することによって、室内側に外気と給気を混合して送風する方式が存在する。

個別分散空調の長所・短所を下記に示す。

<長所>

- ・ゾーン毎に室内機が分散設置されていることから会議室などの分割した空調ゾーンが多く存在する場合の対応が容易である。
- ・冷媒を直接流通する方式を採用しているため、水に一度熱交換しないことから原理的には熱効率的に有利。特に冷房時の低温度差空調(顕熱処理空調)に適している。
- ・制御や試運転機能が機器内に組み込まれているため、設計・施工・試運転工数が小さく現場毎での人為的なミスによる性能差は小さい。
- ・外気と循環空気が分離されているので、外気量をゾーン毎に自由に制御できる。

<短所>

- ・パッケージ化されたシステムであるため、用途及び設計思想に柔軟に対応することが困難。
- ・室内機が専有部に分散設置されているため、室内機の保守・メンテの手間がかかる。
- ・換気装置を別置きするため、設計時に換気・調湿の機能を設計時に十分に考慮されていない場合がある。

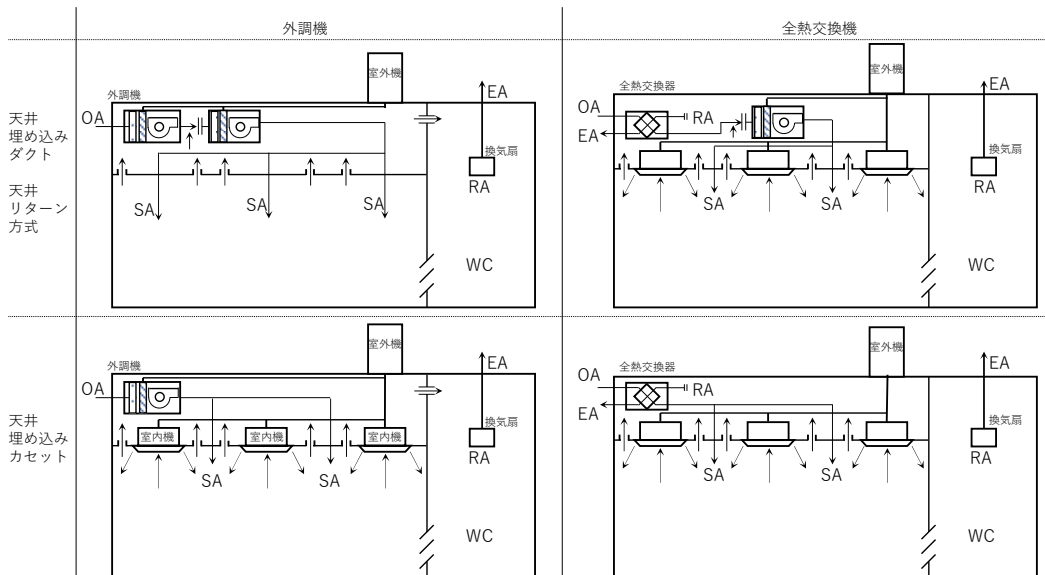


図 3.2.3.17 個別式空調の例

6) 外気導入

個別空調の場合、外気導入は別置きの全熱交換器又は外気処理器などの換気設備を設置することが一般的である。換気設備の選定は、機器の P-Q 特性図を参考に、設計時の風量を満たすことのできる換気装置を選定する。近年では、CO₂ センサーをオプションで接続し、ゾーン毎に CO₂ 濃度を計測し、一定値になるように制御することも可能である。風量調整は、機器毎に保有しているファンタップ(特強、強、弱など)によって調整するものが大半であるが、近年、風量検出機能を内蔵し、風量一定制御を実現できる機器も存在している。風量検出機能を備えている場合、目詰まりによるフィルター圧力損失増大に応じてファン回転数を増大し、換気風量を担保することが可能となる。

風量一定機能を保有していない換気装置を設置する場合の留意点としては、試運転時に設計風量を確保できているかどうかを現地計測し、適正風量がえられていない場合は VD の調整やダクト経路の見直しなどを実施する必要がある。また、フィルター目詰まりによる風量低下を防ぐためには、定期的なフィルターメンテの実施又は風量一定制御機能を保有した機種を選定を行う必要がある。また、天井リターン方式を採用する場合においては、外気導入量を確保するためには空調機の循環風量を常時確保するための現地設定(ダクト直結設定)を実施する必要がある。

全熱交換器のように、給気、排気を実施する換気機器においては室内のエアバランスに留意して給気、排気風量を設定する必要がある。一般的には、雑排気(トイレなど)を考慮して給気風量を排気風量よりも多めに設定する必要性があり、機器の保有する現地設定又は VD の調整によってこれを実現する。

7) フィルターによる濾過

個別式空調機には、オプション品として下記のようなフィルターが存在する。

表 3.2.3.4 個別式空調(オプションフィルター)例

性能	圧損(初期)	圧損(終期)
比色法 65%	34Pa	98Pa
比色法 90%	34Pa	98Pa



図 3.2.3.18 オプションフィルターチャンバ・フィルター(提供：ダイキン工業)

近年の論文では、COVID-19 のエアロゾルの乾燥時の粒度分布は比較的大きく、最も寄与度が高い粒子径は 3~4 μ m といわれていることからオプションフィルター設置の効果は大きいものとする。また、継続使用に伴ってフィルターが目詰まりが生じることは中央式空調と同様であり、定期点検を実施し、必要に応じて交換や清掃を行うことは重要である。

3.2.4 個別の対策技術

(上野貴広)

本節ではオフィスビルを対象として、ウイルス感染症対策技術の導入効果等について記述している。また各技術の導入・施工時の留意点や実際の導入例についても紹介する。

取り上げている技術としては、自然換気や置換換気といった換気手法から、全熱交換器や VAV システム、CO₂ センサー空調設備、また空気清浄機のような比較的導入が容易な機器まで含まれている。

3.2.4.1 自然換気

(山本佳嗣)

ウイルス感染症対策として室内における十分な換気を確保することは重要であり、大量の外気を導入する手法として自然換気システムは有効な手段の一つである。しかし、自然換気は外気風や室内外温度差により換気量の変動し、機械換気によって制御された室内圧力やエアバランスを乱すこともある。換気経路によっては、建物内へのウイルス拡散に繋がることも考えられるため、配慮が必要である。また、中間期などの外気の状態が良い場合には積極的に自然換気を行うことにより換気量の確保と省エネルギーを両立することが可能であるが、夏期や冬期においては室内温熱環境の悪化や空調エネルギーの増加に繋がることがある。自然換気システムに期待する効果等について関東圏の設備設計者に対して行ったアンケート結果について表 3.2.4.1 に示す。自然換気に適した季節は 4 月~6 月、9 月~11 月、年間運用時間数の中間値は 500 時間との回答であった。

表 3.2.4.1 設計者が想定した自然換気性能

建物全体の省エネ効果	空調に対する省エネ効果	自然換気の年間運用時間数	自然換気に適した季節
0.1~9.0%	0.83~100%	100~8670 時間	4 月~6 月
中間値 3.0%	中間値 10%	中間値 500 時間	9 月~11 月
平均値 3.4%	平均値 15.1%	平均 966 時間	

(1) 自然換気に適した建物用途

オフィスに対しては、通常時の換気量の確保に留まらず、災害時の換気手段としても自然換気を用いることが可能となる。高層ビルなどにおいては、外壁の開口部面積を確保することが難しい場合があり、期待される換気量が少なくなることがあるため注意を要する。そのような場合は、空調機の外気冷房や換気ファンなどによるハイブリッド換気の活用が効果的となる。庁舎においては、中間期の冷房手段として自然換気を用いることが多く、庇等での日射遮蔽に加え、引き違い窓などの大開口を確保している事例も多い。教育施設は人員密度が高く、変動が大きい用途であり、機械換気では不足する場合も考えられるため、自然換気窓による換気量の確保は有効である。病院においては病室の換気量を確保する手段としては有効であるが、外気風圧が陰圧室などの室圧管理室へ与える影響などを考えなくてはならない。

(2) 自然換気駆動力を考慮した平面・断面計画

自然換気建物を設計する場合、建築計画とシステム計画の段階に大きく分けられる。建築計画のポイントは換気駆動力の原理を利用した平面・断面計画を行うことである。自然換気の駆動力は煙突効果と呼ばれる換気口の高さの差と室内外の温度差(空気の密度差)を利用する「温度差換気」と外気の風圧を利用する「風力換気」に大きく分類できる。温度差換気は風力換気に比べて量は少ないが安定している良さがある。換気駆動力を大きくするためには給排気口の高低差を大きくすると良い。図 3.2.4.1 に「温度差換気」での室内圧力の分布例を示す。「温度差換気」においては建物の下部より冷たい空気が建物内に流入し、建物の上部より暖かい空気が外部に流出する。よってその間に流入も流出もしない中性帯が存在する。吹き抜けから逆流しないためには中性帯の位置が居室より上にある必要がある。下層階の空気が吹き抜けを介して上層階に逆流する場合は、ウイルス拡散にも繋がる恐れがあるため、中性帯の予測と逆流を防止する工夫を行う必要がある。排気経路としての吹き抜けを上層階と下層階で物理的に分けるような事例もある。

「風力換気」を利用する場合は、図 3.2.4.2 に示すように外壁に発生する風圧分布を予測して設計する事が重要である。予測する方法は風洞実験、文献、数値流体力学(CFD)シミュレーションなどがある。正圧を受ける外壁に給気口を設け、負圧となる外壁に排気口を設けることにより換気量は増加するが、換気経路が長い場合には排気口付近の室内空気は空気質が悪化する場合があるため、室内レイアウトとの関係にも配慮するべきである。

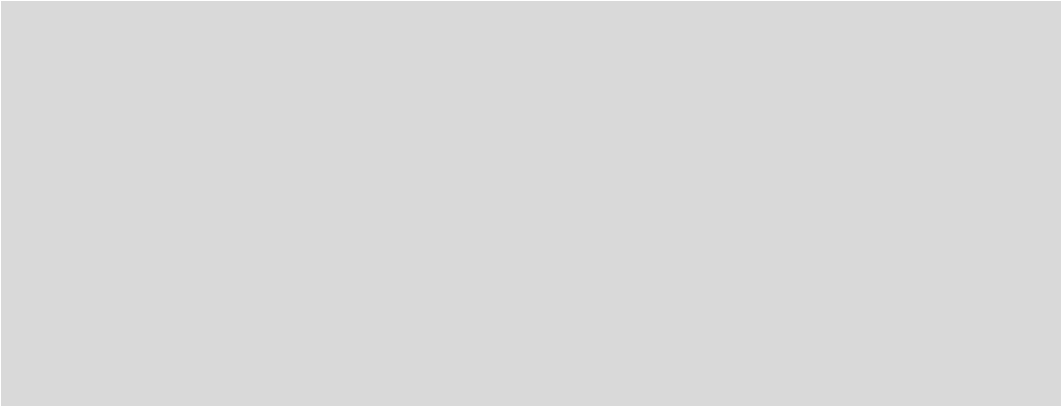


図 3.2.4.1 温度差換気時の室内圧力

図 3.2.4.2 外部風による風圧分布

(Natural Ventilation in non-domestic buildings,CIBSE Application Manual AM10:CIBSE)

(3) 換気口の配置

図 3.2.4.2 から分かるように、外部風の影響を考えると自然換気を促進するためには同一面に開口を設けるのみでは不十分である。風の流れを意識して給気口と排気口を対角に設ける事が原則であるが、やむをえず同一面に開口を設ける場合は、縦長の開口や横軸回転窓とするなど給気口と排気口の設置高さの差を確保することが必要となる。また換気口の設置位置と自然換気に適した部屋の奥行きについて、図 3.2.4.3 に示すような目安がある。図 3.2.4.4 の場合で天井高さを 2.8m と想定すると、室の適正な奥行きは 14m 程度までとなる。これは海外の環境配慮ビルの奥行きが 15m 以下に抑えられている理由の一つである。また、間仕切り工事によって自然換気の経路が阻害されないような工夫が必要であり、1 面での換気経路もしくはパスタクト等による換気経路の確保などが考えられる。

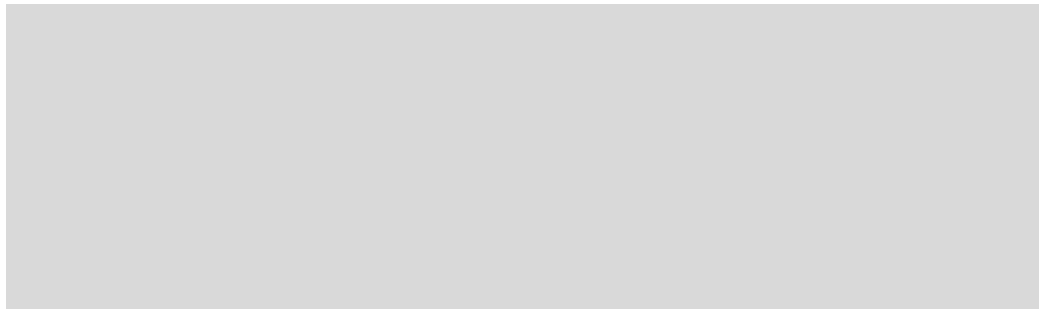


図 3.2.4.3 同一面で上下に開口を設けた場合の奥行き 図 3.2.4.4 給気口と排気口を対角に設けた場合の奥行き
(Natural Ventilation in non-domestic buildings, CIBSE Application Manual AM10: CIBSE)

(4) 外部からの騒音対策

自然換気口に起因する運用上のクレームは多く、管理の手間にも関わる部分であるため換気口の選定と配置は特に配慮して決定されるべきである。都市部の場合、換気口の開放により外部の騒音が気になるというクレームが発生する事もある。換気口内にグラスウールで消音措置を行った換気口の例を図 3.2.4.5 に示す。表 3.2.4.2 に示すように換気口開放時の室内騒音値を測定した結果、外部が 65dB(A) の時でも室内は 50dB(A) 以下であり、減音効果が確認されている。

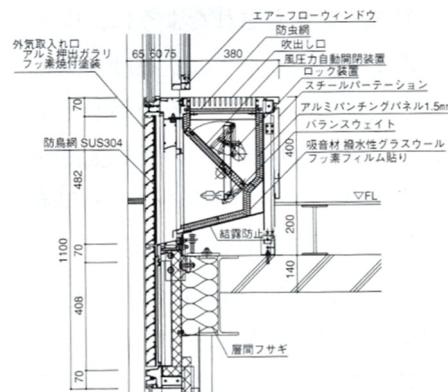


図 3.2.4.5 消音措置を行った換気口例

(出典：設備と管理 2013 年 8 月号 自然換気の使いこなし術, pp57-66, オーム社)

表 3.2.4.2 消音措置を行った場合の室内騒音

測定時刻	8:50	12:30
換気口閉鎖時	47dB(A)	46dB(A)
換気口開放時	48dB(A)	50dB(A)
突出し窓開放時	61dB(A)	62dB(A)
外部(地上)	66dB(A)	65dB(A)

(出典：設備と管理 2013 年 8 月号 自然換気の使いこなし術, pp57-66, オーム社)

(5) 自然換気システム導入事例

雲南市役所新庁舎(設計：日本設計、用途：庁舎、竣工：2015 年 8 月)

島根県雲南市に建てられた市役所であり、ZEB 庁舎を目指して設計された事例である。図 3.2.4.6 に外観を示す。本建物の一次エネルギー消費原単位は 414MJ/m²・年(実績値)であり、Nearly ZEB を達成している。このような ZEB 庁舎を実現するために、自然換気システムが中間期に活用されている。図 3.2.4.7 に自然換気システムの概念図を、図 3.2.4.8 に平面的な風の流れを示す。1～3 階はセンターボイドを経由して頂部から排気する温度差換気と風力換気を併用し、逆流する恐れのある 4、5 階はセンターボイドに対して閉鎖し、光庭を利用した風力換気としている。換気口の制御については自然換気許可条件によりセンターボイド頂部換気口を自動制御し、執務室に設置された自然換気ダンパーは自動制御に加え、中央監視により遠隔開閉、スイッチによる現地開閉も可能となっている。また、引き違い窓を人が手動で開閉して環境調整を行うこともできる(図 3.2.4.9、図 3.2.4.10)。本建物ではこのように 2 種類の給気口を設けていることが特徴的である。本システムでは、自然換気ダンパーは自動制御に加えて遠隔操作で管理者が運用し、雨天時や夜間であっても管理者の判断で自然換気時間数を長くするような運用も行っている。



図 3.2.4.6 雲南市庁舎外観

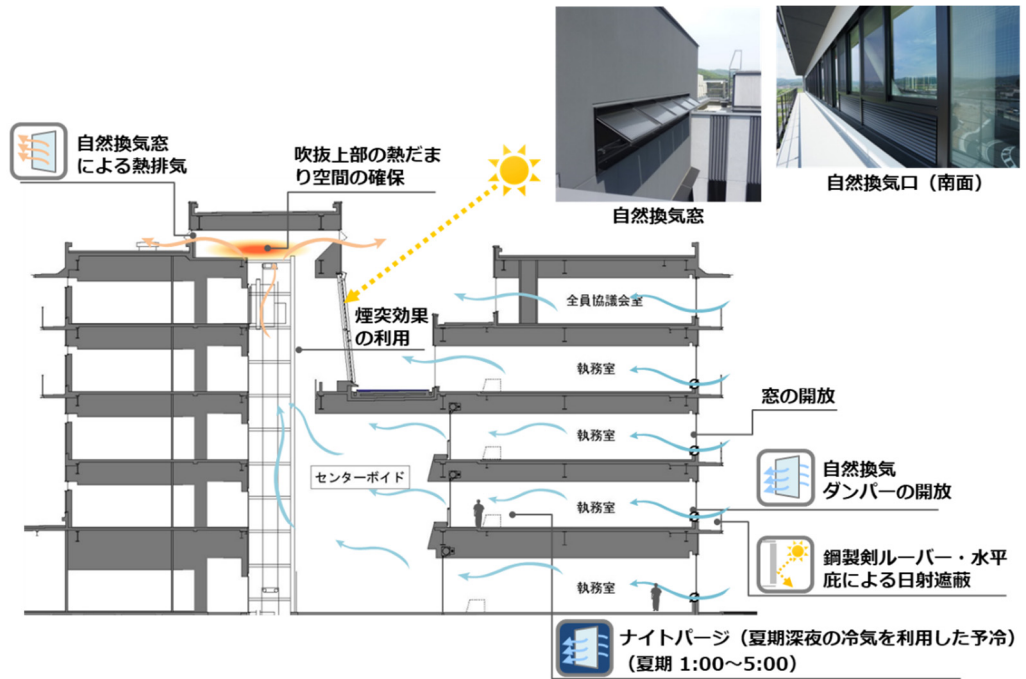


図 3.2.4.7 自然換気システム概念図

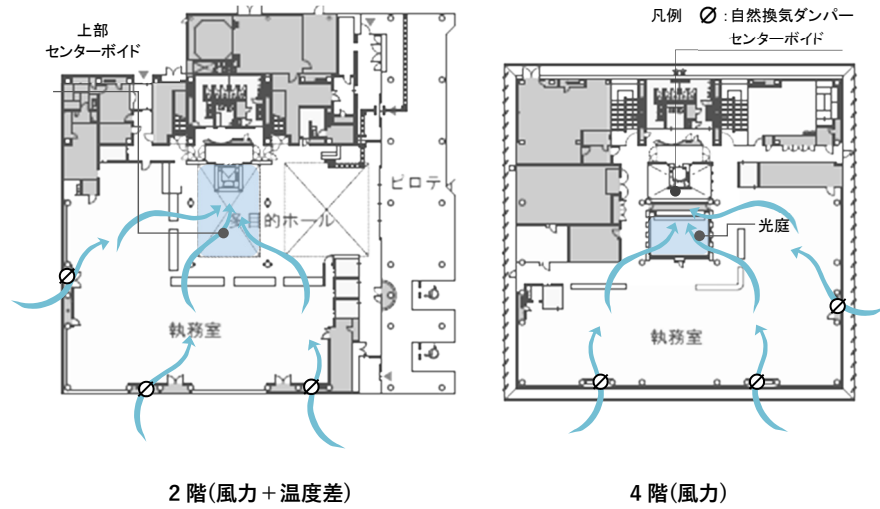


図 3.2.4.8 自然換気ダンパーの配置と風の流れ



図 3.2.4.9 自然換気窓とダンパー付換気口

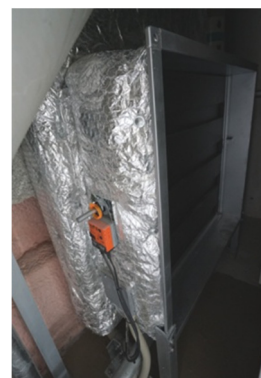


図 3.2.4.10 換気ダンパー

(6) 自然換気システムの運用上の留意点

自然換気の運用は、外部からの騒音やコールドドラフトなどの運用阻害要因に対する配慮が必要であるが、換気口の開閉を判断する自然換気許可条件を適切に設定することがクレーム防止のためには重要となる。自然換気許可条件の一例を以下に示す。

<許可条件の例>

以下の条件を全て満たす場合に自然換気窓の開放を許可

- ・ 外気温度 \leq 室内代表温度 $\leq 28^{\circ}\text{C}$
- ・ $15^{\circ}\text{C} \leq$ 外気温度 $\leq 26^{\circ}\text{C}$
- ・ 外気エンタルピー $\leq 52.8\text{kJ/kg(DA)}$ (温度 26°C ・相対湿度 50%時のエンタルピー)
- ・ 降雨なし、外部風速 10m/s 以下

多くの場合、許可条件の設定値は中央監視もしくは制御盤にて変更可能であるため、運用状況に応じて調整することができる。設定値の中で外気の下限温度は空調吹出温度を基準として $16^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$ 程度とする場合が多いが、室内と外気の温度差が取り入れた場合の冷却効果となることから、省エネの観点からはクレームが発生しない範囲で緩和することが効果的となる。但し、換気口が居住者の近傍にある場合はクレームの原因となる事例も多く見られる。外気エンタルピーの条件については露点温度下限設定とすることも多いが、どちらも自然換気を導入することで除湿/加湿のエネルギーが増加することを防止する条件である。



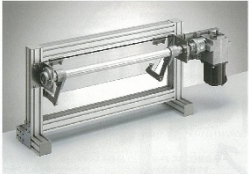
以上の条件は換気口の開閉を中央監視からの手動発停によって行う場合にも参考となる。給気口が居住者の手動操作で開閉される場合は、自然換気が有効な時間帯を居住者に知らせる手段を持つとよい。例えば自然換気有効時にランプで知らせるものや自然換気システムの運用状態について表示する装置を設置する事例もある。(図 3.2.4.11)これ以外にも館内アナウンスや排気窓の開閉状態で知らせる手段もある。



図 3.2.4.11 自然換気(ハイブリッド換気)有効ランプ

電動による開閉を前提とした駆動部を持つ一般的な換気口の特徴を表 3.2.4.3 に示す。イニシャルコストを抑える場合や既存建物で自然換気を行う場合、自然排煙口を利用され場合が多いが、メンテナンスや開閉時間、開閉音に懸念がある。カーテンウォール組込み型の自然換気口は、専用の換気口であるため開閉音や頻繁な開閉に対しては配慮された製品であるが、カーテンウォールの制約があり換気口面積が比較的小さいため数が多くなり管理の手間が発生する。同時にイニシャルコストも高くなる傾向にある。また、専用部に設置されるため専用部内でのメンテナンスが必要になる。

表 3.2.4.3 電動開閉機構を持つ一般的な自然換気口の特徴とメンテナンス

	1. 自然排煙窓	2. 換気窓	3. カーテンウォール組込型自然換気口
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 手動操作はハンドルにて行い、電動操作も可能	ギアによる軸回転駆動 又は手動によるダンパー操作
外観図			
騒音値	70dB 程度(消音措置なし)	70dB 程度(消音措置なし)	50dB 程度
開閉時間	開放 15 秒+閉鎖 120 秒 (4 連窓の最長時間)	開放 20 秒+閉鎖 20 秒	開放、閉鎖とも 30 秒以下
メンテナンス	メーカーでは駆動装置において 1 万回程度の開閉動作試験を行っているが、ワイヤー・滑車に関しては 2,000 回～3,000 回でメンテナンス/交換を推奨	同左	メーカーでは駆動装置において 1 万回程度の開閉動作試験を行っている。不具合がなければ駆動部の定期的な交換は不要

3.2.4.2 置換換気

(山本佳嗣)

(1) 置換換気

室内の空気を攪拌し汚染濃度を平均化した空気を排出する混合換気に対して、より換気効率の高い方式として置換換気が挙げられる。置換換気とは居住域である室下部に対して低温の外気を微風速(0.5m/s 以下)で吹き出すことにより意図的に温度成層を形成し、室内発熱等により汚染された空気を天井付近に上昇させて排気することで効率的に換気を行うものである。置換換気の原理を図 3.2.4.12 に示す。置換換気方式をうまく利用することにより、感染対策として陽性者から発生する感染性エアロゾルを速やかに上部の非居住域に移動させ、局所的に排気することが可能となる。換気方式の違いによる効率の差を表 3.2.4.4 に示す。基準化居住域濃度が小さいほど換気効率が良い。図からも分かるように、置換換気は冷房時の換気効率は良いが暖房時には換気効率が悪くなる場合もあるため注意が必要である。

置換換気では、室内の空気を攪拌させないように、居住域付近から微風速(0.5m/s)でやや低い温度の給気を行うため、専用の吹出口の採用が必要になる。また、吹出口からの風速を抑えるために吹出口が大きくなる傾向にあり、吹出口を設置できる場所が壁などに限定される。また、気流の流れに配慮した吹出口配置を行う必要がある。

置換換気方式は効率の良い換気方式として活用が期待されるが、設計における注意点も多く、吹出風量が少ない場合は呼吸域まで新鮮空気が到達しない場合もあることに注意が必要である。また、既に述べたように置換換気は暖房時に換気効率が悪くなる傾向にあり、室内発熱が多い冷房主体の用途に向いているという傾向がある。

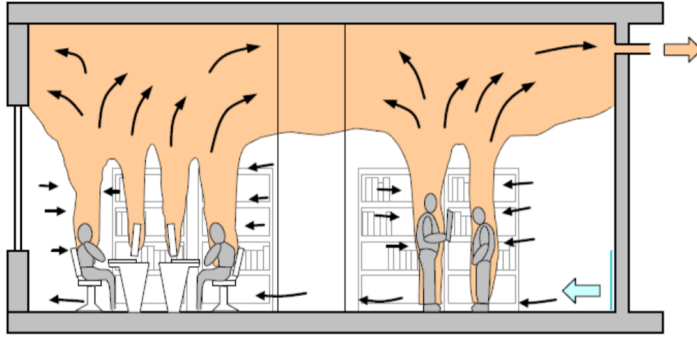


図 3.2.4.12 置換換気の原理

引用：ZEB 設計ガイドライン ZEB Read・中規模事務所編

表 3.2.4.4 換気方式及び吹出し温度差による基準化居住濃度の参考値(抜粋)
(空気調和・衛生工学会、SHASE-S102-2011 換気基準・同解説、2012年2月3日)

混合換気		置換換気	
供給空気と居住域空気の温度差： $t_s - t_i$ [°C]	基準化居住域濃度 C_n	供給空気と居住域空気の温度差： $t_s - t_i$ [°C]	基準化居住域濃度 C_n
<0	1.0~1.1	<0	0.7~0.8
0~2	1.1	0~2	1.1~1.4
2~5	1.25	>2	1.4~5.0
>5	1.4~2.5		

(2) 床吹出空調

置換換気に似たシステムとして、居住域を積極的に空調する床吹出空調システムがある。置換換気と異なる点は、床面に設けられた床吹出口から旋回流で室内に気流を吹き出す方式となっており、室内の空気と素早く混合するような工夫がなされている点である。上部の熱溜りなどが居住域に下降しないように気流によって居住域に対して積極的に空調を行っている。床吹出空調の概念図を図 3.2.4.13 に示す。平面的にも気流は拡散するが、床から天井面に向けた気流となり、感染源となる陽性者からの感染性エアロゾルを天井面に移動させる効果が期待できる。温熱環境・感染制御の面からも床吹出口と利用者の平面的距離に関しては配慮が必要であり、ドラフト防止の観点から人体周辺で 0.15m/s 以下の気流となるように設計を行うべきである。

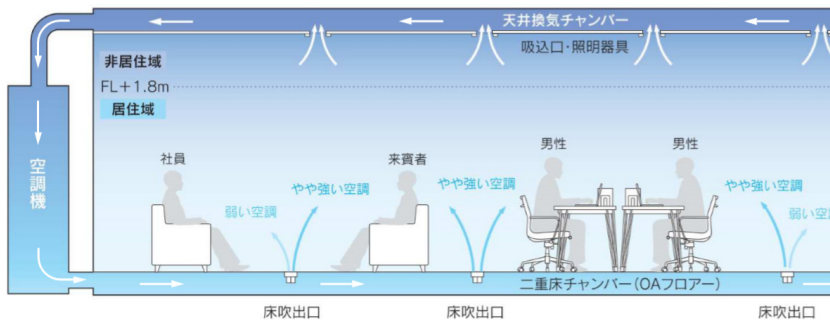


図 3.2.4.13 床吹出空調概念図 (出典：空研工業ホームページ)

3.2.4.3 在室者に依頼する感染症対策

(海塩渉)

建物レベルの対策(換気、物理的隔離等)や組織の制度面の対策(在宅勤務や時差出勤の推奨等)はもちろん、在室者レベルで取り組む対策も感染リスク低減の上で極めて重要である。厚生労働省は、「新しい生活様式の実践例」として、個人レベルで取り組むことができる具体的な感染対策について取り上げている¹⁾。また、アメリカの国立労働安全衛生研究所 NIOSH の提唱する「Hierarchy of controls」²⁾を COVID-19 制御に適用した事例においても(図 3.2.4.14)、個人レベルの対策について触れている。本項ではその対策項目について取り上げる。

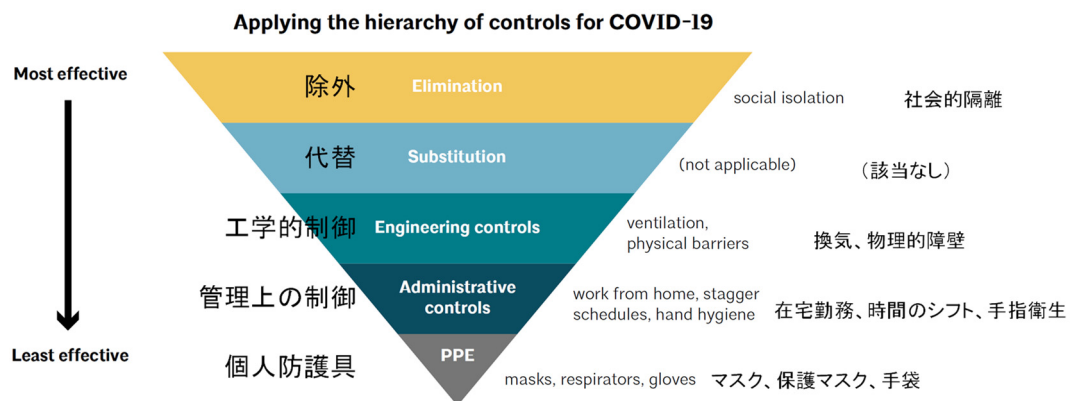


図 3.2.4.14 COVID-19 制御の階層構造

(1) 三密の回避

日本では新型コロナウイルス感染症(COVID-19)流行初期から、3つの密(密閉・密集・密接)を避けるよう発信があり、在室者が取り組むべき基本的な事項である。このうち、換気の悪い密閉空間を避けるために、窓開け等のこまめな換気も推奨される。但し、夏季や冬季は室内環境への配慮も同時に行う必要がある。

(2) マスクの着用・咳エチケット

マスクの着用は感染防止のためにも、感染拡大防止のためにも重要な対策と言える。マスクは正しく着用ができていないとその効果が大きく減少することから、厚生労働省は正しいマスクの着用方法について、リーフレット²⁾や動画を通じて啓発している。また、マスクがない時の咳エチケットも併せて紹介している。

マスクの種類によって吐き出し・吸込み飛沫量が異なることも、最近のシミュレーション・実験ベースの研究から明らかにされ、不織布マスクの効果が高いことが知られている⁴⁾。

(3) 手洗い・手指衛生

手洗いは厚生労働省の基本的感染対策の一つとされ、マスクの着用と同様に、正しい手洗いの方法について、リーフレット³⁾や動画で啓発している。水と石けんによる手洗いを基本としているが、手指消毒薬の使用も可とし、まめな手洗い・手指消毒を推奨している。

(4) 体調のセルフモニタリング

体調のセルフモニタリングも感染拡大防止のために個人で取り組むべき重要な項目である。毎朝の体温測定、健康チェックやウェアラブル端末を利用した継続モニタリング、建物入口における非接触体温測定など、自身の体調についてのデータを得る機会が増えているため、発熱又は風邪の症状がある場合は無理せず自宅で療養する等、データに基づく適切な行動が求められる。

参考文献

1. 厚生労働省：「新しい生活様式」の実践例、2020年6月
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000641743.pdf>(2021年11月2日閲覧)
2. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)：Hierarchy of Controls, 2015年1月 <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>(2021年11月2日閲覧)
3. 厚生労働省：感染症対策へのご協力をお願いします、
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000634132.pdf>(2021年11月2日閲覧)
4. 豊橋技術科学大学：国立大学法人豊橋技術科学大学 Press Release, 2020年10月
<https://www.tut.ac.jp/docs/201015kisyakaiken.pdf> (2021年11月2日閲覧)

3.2.4.4 エアーフィルター・ダクト清掃

(柳宇)

(1) エアーフィルター

1) 捕集原理

エアーフィルターは主として、粒子が大きいほど効果が大きくなる慣性衝突、粒子が小さいほど効果が大きくなる拡散、及び遮り、静電気、重力沈降のメカニズムにより、ろ材近傍の浮遊粒子を捕集するが、0.2 μ m 前後の粒子に対する総合的な捕集率が最も低い。

2) エアーフィルターの捕集性能

表 3.2.4.5 に粒径別浮遊粒子に対するエアーフィルターの捕集率を示す。表中に塗りつぶしている箇所は一般にオフィスビル等の空調機(エアハンドリングユニット、AHU)に使用される中性能フィルターである。一方、パッケージ型空調機には一般に標準仕様として質量法 50%程度のフィルター(MERV1 相当)が備えられているが、中には中性能までグレードアップすることができる機種もある。感染症流行期間中にグレードアップすることが有効な対策になる。これまで、SARS-CoV-2 の粒径に関していくつかの測定結果が報告されている。ここではウイルスの copy 数が多い測定結果の粒径分布(<1 μ m ND ; 1-4 μ m 1384 RNA copies/ m^3 (40%) ; >4 μ m 2000 RNA copies/ m^3 (60%))を用いて試算すると、MERV14 のフィルターのシングルパスの捕集率は 93%になる(=40% \times 90%+60% \times 95%=93%)。AHU を備えた中央式空調では、一般に室内からの還気が取り入れ外気の 2 倍(4 回/h)以上であるた

め、15分間ごと還気中の SARS-CoV-2 の濃度は 1/10 に低下する。仮に室内に新たな発生がなければ、30 分後の室内濃度は初期の 1/100 の計算になる。フィルターによるろ過効果が大いことが分かる。

表 3.2.4.5 粒径別最小捕集率報告値(MERVs)と比色法の捕集率

3) 相当換気量の考え方

エアフィルターの捕集率を 90%と仮定すると、エアフィルターを通過した空気中の 90%は清浄な空気に相当する(図 3.2.4.15)。この清浄な空気の量を相当換気量という。また、その相当換気量を室容積で割った値を相当換気回数(equivalent air changes per hour)ともいう。空気清浄機の場合、相当換気量を CADR(clean air delivery rate、清浄空気供給量)という場合がある。

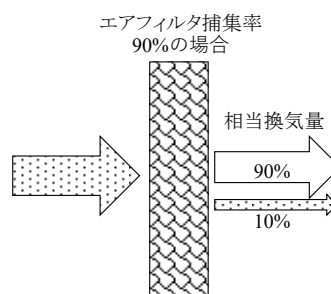


図 3.2.4.15 粒子状物質に対する相当換気の考え方

(2) ダクト清掃

1) 給気ダクト内粒子状物質の付着量

ダクト内に付着する粒子の量は年数を重ねるに従い多くなる。その量はダクトの用途、立地条件、室内の使用状況、空気清浄装置の捕集性能などによって異なる。図 3.2.4.16 に JADCA(日本空調システムクリーニング協会)による経過年数(築年数又は前回ダクト清掃からの経過年数)の異なる 53 ビルの給気ダクト内堆積塵量の測定結果を示す¹⁾。45g/m²を超える

ビルはなかった。これは、一定の量以上になるとダクト内の気流によって堆積塵が飛散するためであると考えられる。

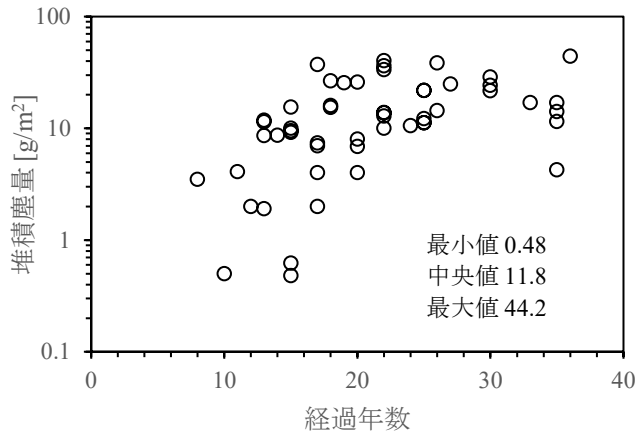


図 3.2.4.16 給気ダクト内堆積粒子状物質の経年変化

(出典：空調システム診断士 日本空調システムクリーニング協会 2010)

2) ダクト清掃時の粒子状物質の飛散

ダクト清掃には各種の清掃治具や多機能ロボットを使って空気圧によりダクト内に堆積した粉塵を剥離し、送風機又は集塵機の搬送空気により集塵するなど様々な工法がある²⁾。図 3.2.4.17 にダクト清掃前、清掃時、清掃後の室内粒径別浮遊粒子濃度の変化を示す³⁾。清掃時に粒径別浮遊粒子濃度は顕著に上昇することが分かる。その堆積粒子にウイルスなどの微生物が含まれる場合、作業者が被ばくを受けるリスクが高くなる。したがって、感染症の流行期間においては清掃時に高性能な防護具を着用する必要がある。

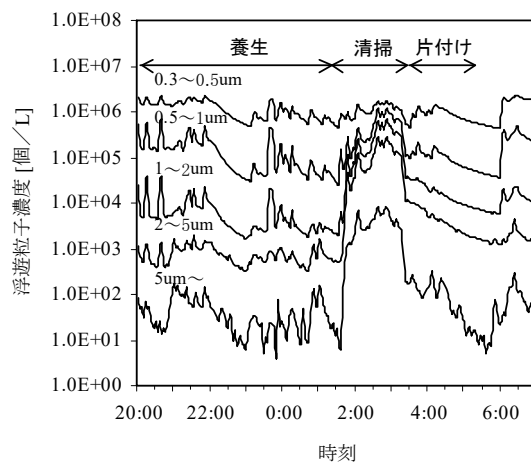


図 3.2.4.17 ダクト清掃時の室内浮遊粒子粒径別濃度の変化

1) 感染流行期間中におけるダクト清掃の必要性の考え方

REHVA は小さい粒子に付着するウイルスが容易に空調・換気ダクトに付着せず、気流によって輸送されること、空調・換気システムは汚染源ではないことから、SARS-CoV-2 の対策としてのダクト清掃は実際に効果がないとしている⁴⁾。

参考文献

1. 柳宇：空調システム診断士、JADCA 発行、2010
2. JADCA <https://www.jadca.jp/story/skill.html> (閲覧日:2021年11月15日)
3. 柳宇、三浦邦夫、入江建久、池田耕一：空調用ダクト内付着粒子状物質の挙動と制御に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.86, pp.97-105, 2002
4. REHVA. COVID-19 guidance V4.1 20210415.

3.2.4.5 加湿器

(柳宇)

(1) 湿度とウイルスの活性

インフルエンザウイルスに関しては、低湿度環境中でその生存率が高いことが分かっている。また、相対湿度が低い場合と高い場合の何れにおいてもインフルエンザウイルスのリカバリー率(生存率)が高いことが報告されている(図 3.2.4.18)¹⁾。日本の建築物衛生法では、室内相対湿度の管理基準値として 40-70%が定められている。

SARS-CoV-2 の活性については²⁾、実験レベルで温度(24~35°C)、相対湿度(20~80%)が高ければ物体表面の SARS-CoV-2 の活性が下がることが報告されている³⁾。エアロゾル状態でのウイルスの気中での活性については、これまで異なる結果が報告されている。

日光を遮断した環境(紫外線による不活化の影響を避けるため)における 20°Cの室内での SARS-CoV-2 の不活性化率が、相対湿度が 70%のときに有意に高くなることが報告されている一方⁴⁾、人工唾液を使用したエアロゾルでは、細胞培養(TCM :Tissue culture media)を用いた結果、相対湿度 40-60%の不活性化率が 68-88%の時より高い結果が報告されている⁵⁾。

室内温湿度は SARS-CoV-2 の伝搬距離に大きな影響を及ぼす。気中では、低温高湿環境に比べ、高温低湿環境中の飛沫飛散距離は 3 倍以上長いことが報告されている。また、高温低湿環境中の飛沫が速く乾燥し、多くのエアロゾル粒子が生成される。それがエアロゾルクラウド(aerosol particle cloud)となる場合、遠くまで飛散し長時間にわたって気中を浮遊する⁶⁾。また、60%に比べ、40%の環境における SARS-CoV-2 の伝播距離が長いとの報告がある⁷⁾。

ASHRAE は相対湿度 40-60%を推奨している(レベル B：推奨)妥当なエビデンスある。

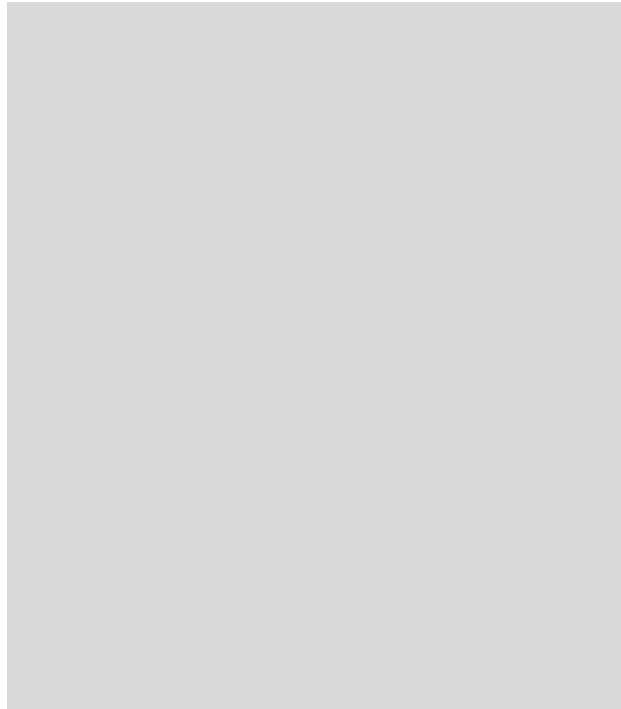




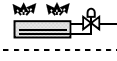




図 3.2.4.18 インフルエンザウイルスのリカバリー率における相対湿度の影響

(2) 加湿器の種類と原理

加湿方式は通風気化式加湿(吸水性エレメントに水でぬらして、空気との接触で水を気化させる方式)、蒸気加湿(ヒーターで蒸気を作り出し、その蒸気を吹出し、空気と混合させる方式)、水噴霧加湿(ノズルから霧状の水を吹出し、空気と混合させる方式)の3種類に大別される。これまで加湿器における微生物汚染の問題は主として、細菌による汚染の問題であり、その代表例は高熱放線菌やレジオネラ属菌である。ウイルスは加湿器内で増殖することはないため、ここでいう加湿に関する問題は加湿量が十分であるかどうかに限る。

表 3.2.4.6 に代表的な加湿器の構造と加湿原理を示す⁸⁾。現在最も多く使用されているのは気化方式である。加湿器メーカーの出荷ベースと東京都の環境監視調査の結果では、気化式加湿器は全体の90%以上を占めることが分かっている。

表 3.2.4.6 代表的な加湿器の構造と加湿原理

	加湿方式	基本構造	原理
気化方式	滴下式		水の滴下により加湿材をぬらして通風気化
	回転式		加湿材を回転させ、水槽でぬらして通風気化
蒸気吹出し方式	スプレーノズル式		ボイラからの飽和蒸気をノズルにより気流中に放出
	過熱蒸気式		飽和蒸気を加熱蒸気に変えて気流中に放出
	電熱式		電気ヒーターで水を蒸気に変えて気流中に放出
	電極式		電極により水を蒸気に変えて放出
水噴霧方式	スプレーノズル式		ポンプの加圧で水をノズルより気流中に放出
	超音波式		超音波振動子により水を霧化
	遠心噴霧式		遠心力により水を霧化

(出典：レジオネラ症防止指針(第4版)、p.55～65、p.86～88、日本建築衛生管理教育センター)

(3) 冬期低湿度の原因

柳らは⁹⁾、統計情報センターで公表されている本全国 47 都道府県及び 62 政令市の特定建築物立ち入り検査結果を用い、特定建築物(興行場、百貨店、店舗、事務所、学校、旅館、その他)の空気環境について行った解析の結果、平成 10 年から相対湿度の不適率(管理基準値を満たしていない建物の割合)が上昇し続けていることが明らかになった。なお、このデータは衛生関係諸法規の施行に伴う各都道府県、保健所設置市、特別区における建築物衛生の実態を把握することを目的とし、厚生労働省が毎年集計を行っているものである。また、東京都の立ち入り時の測定結果では、冬期の低湿度の問題の原因は加湿不足であることが明らかになっている⁹⁾。

図 3.2.4.19 に湿り空気線図上の加湿の状態変化を示す。蒸気加湿は最も高湿度が得られるが、現在一般環境中ではほとんど使用されていない。水噴霧加湿と気化式加湿は等湿球温度線に沿って飽和曲線に近づくが、加湿前の空気温度はその加湿量に大きな影響を与える。現在一般環境においては水噴霧加湿もほとんど使用されていないため、ここでは気化式加湿における注意事項について述べる。

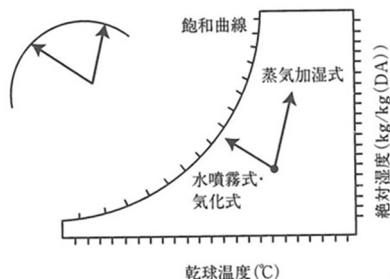


図 3.2.4.19 加湿による湿り空気の状態変化

(出典：改訂 特定建築物における建築確認時審査のためのガイドライン、

図 1-13、日本建築衛生管理教育センター)

(4) 気化式加湿における注意事項¹⁰⁾

ビルの空調では加湿が難しいのは以下のケースが考えられる。

- ① 加湿対象の空気温度が低すぎるケース。これはとくに外調機での加湿を行う場合よくみられる。図 3.2.4.20 に示しているように、外気温度が低い時、空気がすぐ飽和点に達してしまい、ほとんど加湿ができない。この問題を解決するには、低い温度の空気を温水コイルやヒーター等で加熱し、空気温度をある程度上昇した後に加湿する必要がある。
- ② 室内空気温度が設計温度より高く設定されるケース。例えば、暖房期の室内温湿度を 22°C、45%との条件(図 3.2.4.20 の⑤)で加湿器容量の設計が行われるが、実際に室内温度が 25°Cで運用されれば、相対湿度が 37.5%になってしまう(図 3.2.4.20 の⑥)。この問題を解決するには、室内温度を高く設定しないこと(ウォームビズの励行)や、設計の段階で加湿器の容量をある程度多く見積る必要がある。

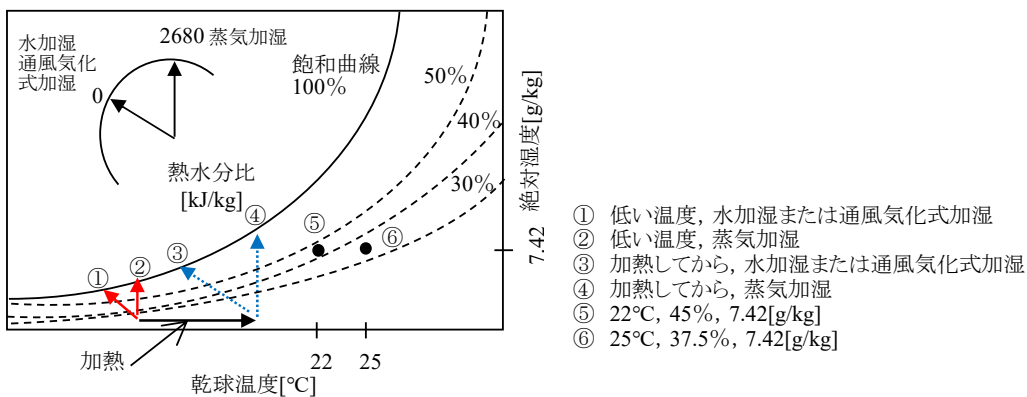


図 3.2.4.20 加湿時の湿り空気の状態

(出典：ここが知りたい建築の？と！，日本建築学会編 pp.110-113，2006，技報堂出版)

- ③ 人為的に加湿量を減らすケース。よく聞かれるのは、“加湿すると臭いによる苦情が出たため、加湿を止めた”などである。加湿器のこまめな衛生管理が重要である。
- ④ 冬季冷房運転における加湿器の飽和効率不足。
- ⑤ その他、保守点検などの日常の管理を怠り、加湿器の性能を十分に発揮できないケースもある。例えば、通風気化式の吸水材は使用時間が多くなれば、スケール成分が溜まり、吸水材の目詰りに伴う加湿面積の減少などに起因する加湿効率の低下がある。気化式のみならず、日常の維持管理が重要だ。一方、加湿器が衛生的な状態に保たれないと、“加湿器病”といった微生物に起因する健康障害を引き起こすことがある。

(5) 感染拡大時における湿度管理の方策

- ① 外皮の断熱性能の向上や適切な風量の維持による温度分布の均一化に配慮した設計を行う。
- ② ウォームピズを励行し、相対湿度を 40%以上に維持するために室内設定温度を 22°Cに下げる。
- ③ 可能な場合、加湿の前に加熱する。
- ④ 上記③ができない場合、室内に加湿器(天井埋め込み型、床置き型)を設置する。
- ⑤ こまめに点検し、衛生管理を怠らない。

参考文献

1. Schaffer FL, et al. Survival of Airborne Influenza Virus: Effects of Propagating Host, Relative Humidity, and Composition of Spray Fluids. *Archives of Virology* 51, 263-273, 1976.
2. 倉淵隆、柳宇、尾方壮行、大塚雅之、鍵直樹、山本佳嗣、林基哉、田辺新一：新型コロナウイルス感染対策としての空調・衛生設備の運用について。空気調和・衛生工学会新型コロナウイルス対策特別委員会、2021年4月1日。 <http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2021.05.07%20kaite3.pdf>
3. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, Ferris A, Miller D, Weaver W, Zeitouni NE, Phillips A, Freeburger D, Hooper I, Ratnesar-Shumate S, Yolitz J, Krause M, Williams G, Dawson DG, Herzog A, Dabisch P, Wahl V, Hevey MC, Altamura LA. Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *American Society for Microbiology*. 2020; 5(4): e00441-20. <https://msphere.asm.org/content/5/4/e00441-20>
4. Dabisch P, Schuit M, Herzog A, Beck K, et al, 2020. The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols, *Aerosol Science and Technology*, <https://doi.org/doi:10.1080/02786826.2020.1829536>
5. Smither SJ, Eastaugh LS, Findlay JS, Lever MS, 2020. Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity, *Emerging Microbes & Infections*, 9:1, 1415-1417. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1777906>
6. Zhao L, Qi YH, Luzzatto-Fegiz P, Cui Y, and Zhu YY, 2020. *Nano Lett.* 2020, 20, 7744 – 7750. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03331>
7. Rosti ME, Olivieri S, Cavaiola M, Seminara A, Mazzino A, 2020. Fluid dynamics of COVID-19 airborne infection suggests urgent data for a scientific design of social distancing. *Nature research, Scientific Reports*, (2020) 10:22426. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80078-7>
8. 柳宇：レジオネラ防止指針(第4版)。pp.56-65, pp.86-88、ビル管理教育センター出版、2017
9. 柳宇、他：平成26年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)分担研究報告書、2015年
10. 柳宇：ビルの加湿はなぜ難しい。ここがしりたい 建築の？と！ 技報堂出版、pp.110-113、2006

3.2.4.6 熱交換換気システム

(澤地孝男)

(1) 対象とする技術・手法

熱交換換気システムとは、建物を換気する(外気導入をする)に際して、外気と還気の間での顕熱(温度)又は全熱(エンタルピー)の交換により、熱回収を行うことによって、空調負荷のうちの換気負荷を削減することを目的とするもので、空気間で熱交換を行う熱交換部を含む一連のシステムのことである。

我が国で使用される熱交換部は、全熱交換が主流であるが、顕熱交換(温度のみを交換し、湿度は交換しない熱交換)も存在する。熱交換部の形式としては、静止形と回転形の2種類が主であり、静止形は主として2台の送風機と熱交換部が一体化された熱交換換気ユニットとして製品化されており、回転形の熱交換部の場合は、空気調和機及び外気取入れ用又は排気用の送風機と組み合わされて使用される。

住宅用としては熱交換換気ユニットが主に使用され、非住宅においては個別分散空調方式の場合には熱交換換気ユニットが、中央式空調の場合には回転形が主に使用されていると言える。

本資料では、住宅及び非住宅で使用される、静止形及び回転形の全熱交換器を含む換気システムを対象とする。代表的な熱交換換気システムの構成を図3.2.4.21及び図3.2.4.22に示す。

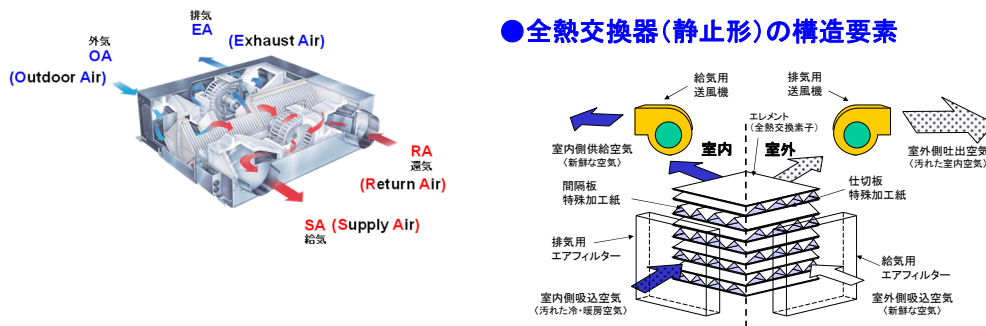


図 3.2.4.21 熱交換換気ユニット(静止形)の構成

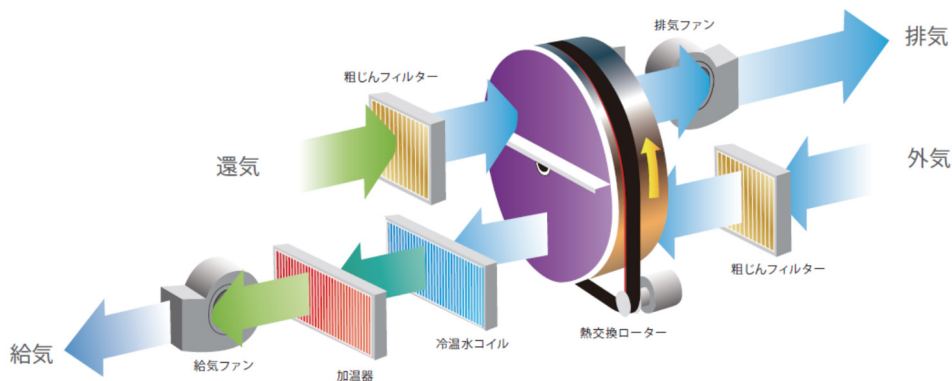


図 3.2.4.22 回転形全熱交換器を含む空調機システムの構成(提供：西部技研)

(2) 性能・機能の評価指標

熱交換換気システムの性能・機能は主として次のような指標で評価される。

- ・換気量
- ・熱交換効率
- ・消費電力

以下では、各指標について解説する。

1) 換気量

ここで「換気量」の定義としては、熱交換換気システムが動作することによって、対象となる室内空間に供給される外気導入量とする。一方で、熱交換換気システムを出入りする空気には、外気、給気、還気、排気の4種類が存在する(以下、各々「OA」「SA」「RA」「EA」と略すことがある。図3.2.4.23)。



図 3.2.4.23 熱交換換気システムを出入りする空気の名称

対象となる室内空間の外気導入量は、給気及び還気の量の他に、空間に隣接するトイレなどの機械換気設備の排気量にも影響を受けることがある。その他に外皮を通じて、空調設備による加減圧、外部風や煙突効果に起因して生じる漏気も関係するが、ここでは機械換気に起因する外気導入量に限定して考えることにする。

熱交換換気システムが外気導入量の確保に貢献する上で最も重要であるのが、給気量だと言えるが、熱交換換気の場合、その全てが外気であるとは限らない。熱交換部の周辺において、流入する還気の一部が外気の流れに漏入する、あるいは、熱交換換気ユニット周囲の空間の空気が同ユニット内部に漏入することが起こり得る。給気に含まれる外気の量及び割合は、「有効換気量」及び「有効換気量率」と称され、熱交換換気システムの総合的な気密度を評価するための指標として参考とされる。

熱交換換気ユニットについては、有効換気量率が高い製品ほど、給気に占める外気の割合が多く、送風機がより効率的に外気導入の役割を果たし得ると言える。また、還気に汚染強度の強い空気が含まれる場合(例えばトイレからも還気をとる場合には、有効換気量率の高い製品の使用によって居室への悪影響を防止することが可能となる。ユニットの外殻及び内部の部品接合部に隙間が少なく、また施工時や地震時などに部材の変形が少なく強固な製品ほど有効換気量率が高いと言うことができ、より高い数値の製品が推奨される。強固に作られた製品は重量が大きい傾向があるが、機器の信頼性を維持する上でやむを得ない場合もある。

回転形熱交換器の場合、単体として有効換気量率を評価することは適当ではなく、外気、給気、還気、排気各経路の圧力(静圧)の高低の関係に影響を与える、特に送風機の配置など

が、有効換気量率に影響を及ぼす。次のような静圧の高低関係を維持することで有効換気量率を高めることが可能である。また、静圧の制御に加えて、「パージセクター」と呼ばれる還気の給気への混入を抑制する部品を使用する方法も考えられる。回転形熱交換器のカタログや技術資料に記載された有効換気量率が意味を持つのは、熱交換効率の試験実施時の条件としてであり、熱交換効率値の解釈及び補正を行う場合においてである。

外気の入口の静圧 > 排気の出口の静圧

給気の出口の静圧 > 還気の入口の静圧

なお、実際の外気導入量は下式のように、給気量に設置された条件における有効換気量率を乗じたものとなるため、有効換気量率の低い場合には給気量を割り引いて換気効果を評価しなければならない。

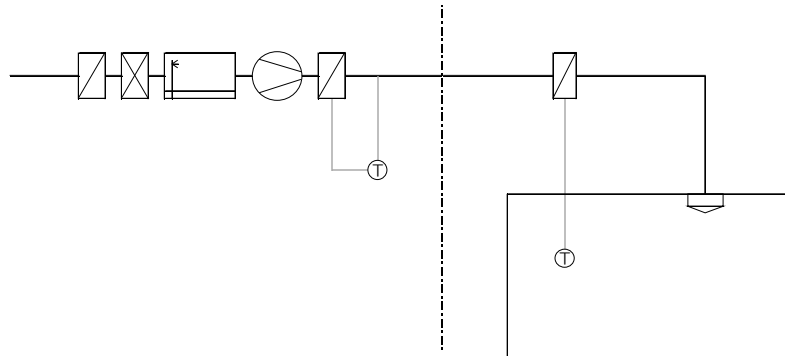
実際の外気導入量 = 給気量 × 有効換気量率

但し、COVID-19 などのウイルス感染防止の観点から室内の換気を実際に行おうとする場合に、実際に建物に設置された状態における有効換気量率をどの程度気にすべきかの判断は柔軟に考える必要があると言える。外気導入が確保されることで室内の汚染物質濃度は確実に低減されるわけであり、室内から排出した空気を再び室内に戻すことを許容しないのであれば、室内のある場所から他の場所への空気の移動も避けねばならないことになってしまう。そうした空気の移動や還流が COVID-19 などのウイルス感染防止の観点から絶対的に回避すべきものであるとの考え方は、強制対流式空調が多用されていないヨーロッパでは聞かれるものの、その正しさに関する根拠にはあいまいな部分があると言える。

トピックス

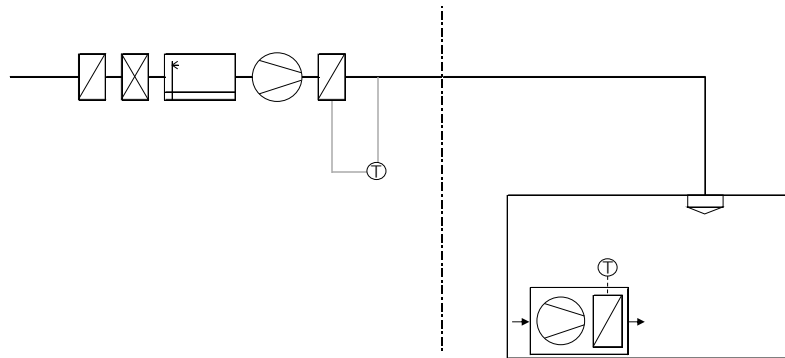
ドイツ及びスイスの規格における空気調和機に関する記載

(1)ドイツの省エネルギー基準のためのエネルギー消費量計算法規格(DIN V 18599-7:2016)における空気調和機(ドイツ語で Raumlufttechnische、略称 RLT)による暖冷房方式の種類を説明した表(表 5)からの一部抜粋



DIN V 18599 を基に本トピックス著者が作成

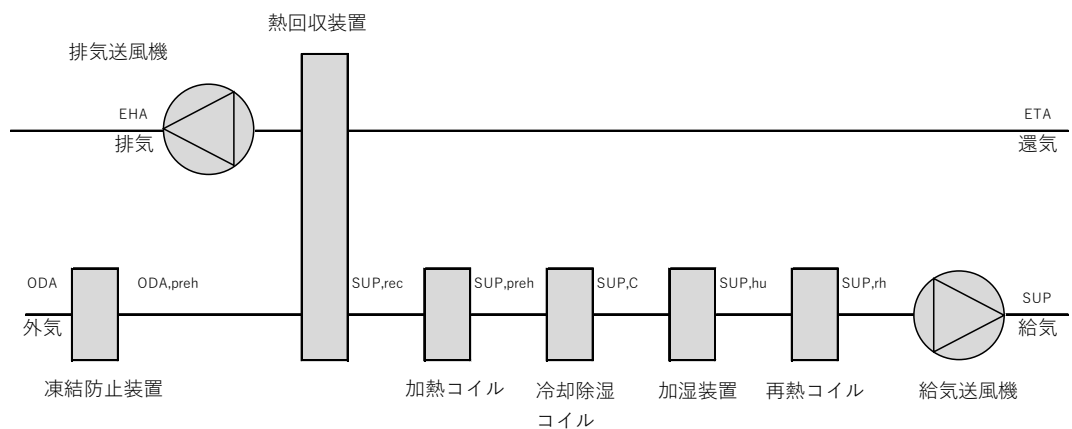
図の左が外気(図には表記がないが「再循環空気を含む」とされている)の予熱及び冷却コイル・再熱コイルを有す空気調和機、右が各室の室温制御を行う再熱コイル



DIN V 18599 を基に本トピックス著者が作成

図の左が外気(同様に、再循環空気を含む)の予熱及び冷却コイル・再熱コイルを有す空気調和機、右の室内にあるのが各室の室温制御のための誘因ユニット、ファンコイル又は温風暖房機、及び循環送風機

(2)スイスの省エネルギー基準のためのエネルギー消費量計算法規格(SIA 2044:2011 及び SIA 382/2:2011)における空気調和機に関する記述



SIA 2044:2011 を基に本トピックス著者が作成

上図には再循環空気及びダクトの記載はないが、一般的には還気を外気と混ぜて空調後に給気する方式も用いられている。但し、以下のような記述が見られる(SIA 382/2)ように、我

が国に比べて冷房負荷の小さいスイスでは再循環空気を熱媒として利用する空調システムは一般的ではないようである。

「熱媒としての空気は非効率であり(そのための空気搬送に)多くのエネルギーを必要とする。そのため、衛生上必要な空気量を上回る空気を機械搬送することは避けるべきである。冷房のための空気方式システムは、在室者による内部発熱が主な冷房負荷の発生源である場合にのみ有用である。」

2) 熱交換効率

熱交換効率は熱交換換気システムの熱回収効果に関する指標で、顕熱に関するものを温度交換効率又は顕熱交換効率と呼び、顕熱と潜熱を合わせた全熱に関するものを全熱交換効率又はエンタルピー交換効率と呼ぶ。

熱交換効率は試験結果を基に次式で求められるが、屋内外の温湿度条件によって変わるため、我が国では表 3.2.4.7 のような条件(冬の低湿度、夏の高湿度を反映した条件)が使用されている。

$$\varepsilon = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_3} \times 100 \quad \text{式 1}$$

ε は、全熱交換効率又は温度交換効率(%)、 x は、エンタルピー(J/kg)又は乾球温度(°C)、1、2、3の数字は計測位置を示し、順に外気、給気、還気を意味する。

表 3.2.4.7 全熱交換器の熱交換効率の試験条件(温湿度)単位: °C

		冷房条件	暖房条件
屋外	乾球温度	35	5
	湿球温度 (相対湿度%)	31 (75)	3 (72)
屋内	乾球温度	27	20
	湿球温度 (相対湿度%)	20 (52)	15 (63)

※JIS B 8639:2017 により規定された条件

熱交換効率は、同じ熱交換部であっても、給気量の大きさ、及び給気量と還気量の比率によって変わる。給気量が大きいかほど熱交換効率は小さく、給気量の還気量に対する比率(風量比)が大きいかほど熱交換効率は小さくなる。また、熱交換効率を試験した条件における有効換気量率が大きいほど、即ち還気の給気への混入が少ないほど、熱交換効率は小さく測定される。したがって、熱交換換気システムの熱回収効果の善し悪しを判断する際には、熱交換効率の値のみではなく、試験条件としての給気量、風量比及び有効換気量率についても確認する必要があると言える。JIS や諸外国の試験規格においては、トレーサーガスを用いた有効換気量率の試験方法が規定されている。

給気量及び風量比の影響については、メーカーが提供する技術資料に含まれる図を参考にすることができ、有効換気量率の影響については次式によって熱交換効率を補正することが可能である。

$$\eta' = \eta - \left(\frac{100}{e} - 1 \right) (100 - \eta) \quad \text{式 2}$$

η 及び η' は、熱交換効率(%)の試験値及び試験時の有効換気量率で補正した有効換気量率100%の条件に補正後の熱交換効率(%)、 e は有効換気量率(%)である。

3) 消費電力

(a) 電力を必要とする部品

主として静止形の熱交換部を内蔵した熱交換換気ユニットの場合は、一般に、内蔵された送風機及び制御装置の合計の消費電力が表示されている。

住宅用の熱交換換気ユニットの送風機駆動に関わるエネルギー効率は、消費電力を給気量又は還気量で除した値、即ち比消費電力(単位は $W/(m^3/h)$)で評価されている。ちなみに、建築物省エネ法では、比消費電力 $0.3 W/(m^3/h)$ が全般換気設備のエネルギー消費量基準値に相当する。基準値の策定当初(2013年)は第3種換気(排気セントラル換気システム)の平均的な効率として0.3を定めたが、現在では直流電動機などの高効率電動機の普及が進み、熱交換換気システムの中でも基準値レベルの比消費電力の製品が登場している。

非住宅においても個別分散空調方式では熱交換換気ユニットが換気設備として使用されることが少なくないので(1台当たりの風量は住宅用よりも大きいものが用いられる)、カタログに表示されている消費電力と風量の値から比消費電力を計算し、エネルギー効率の善し悪しの目安とすることは可能であり、推奨される。但し、住宅用と異なり熱交換換気ユニットの機外静圧が大きく異なる場合が多いため、その場合には後述する送風機効率(風量×静圧÷消費電力)での比較が可能である。

非住宅の中央式空調用の熱交換換気システムに関わる消費電力としては、図3.2.4.24にその周辺構成を示すが、給気送風機に加えて還気送風機、図には表示していませんが設置される場合には外気取入れ用送風機及び排気用送風機の消費電力が主たるものとなる。熱交換部を回転させるための電動機の消費電力もあるが、送風機のそれに比べれば小さいと言える。

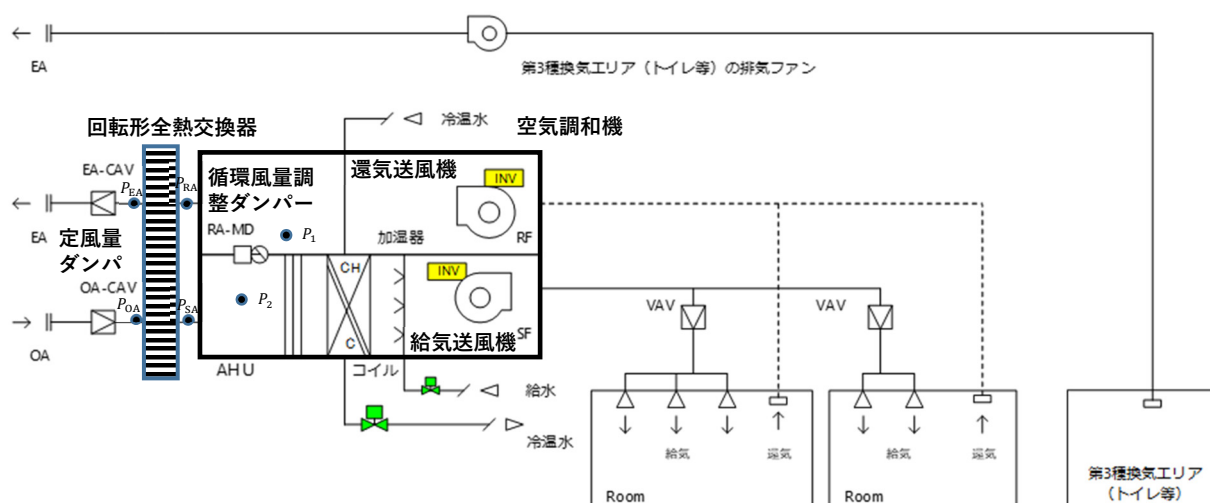


図 3.2.4.24 中央式空調の空気調和機及び全熱交換器周辺の機器構成例

(「機性能試験1手順書 VAV 空調システム編案」建築設備の省エネ性能維持を目的とした設計・初期調整・試験手法の実用化推進委員会における構成図を基に作成)

(b) 空気調和機の風量設計

図3.2.4.24のような空調システムにおいて、設計給気量は処理すべき室頭熱負荷(貫流、日射、内部発熱に係る負荷)及び、設計給気温度と室内の設定温度との差から求められており、

設計還気量は本来、トイレ等からの排気量を設計給気量から差し引いて求められるべきものである。

外気導入量の設計値は、居室の在室人員及び1人当たりの必要換気量(30m³/h/人とされることが多い)によって決められるが、トイレ等からの排気量について考慮する場合には、空調機経由の排気量はその分低減されることになる。

省エネルギーに配慮した空調システムの場合は、居室の空調負荷の変化に応じて給気量を低減して給気送風機及び還気送風機の消費電力を節約する制御(VAV制御)がなされているが、給気量が低減された場合であっても外気量を確保するためには、給気量の最低必要値を確保するための機器の配置と適切な制御がなされていなければならない。例えば、空調機システムの図3.2.4.24に示したような外気ダクト及び排気ダクトの定風量ダンパー等の風量制御用のダンパーの無い場合、循環風量調整ダンパーの調整がなされていない場合は、安定して外気量を確保することが困難なことも生じる。

このような特徴を有す空気調和機の場合、設計結果としての給気量、還気量、外気量、排気量を確実に実現するためには、以下のような手順を経る必要があると考えられ、そのためにはシステムが組み上がった後に、空調機周辺に限ると、4)インバーターの出力調整、5)気取入れ及び排気ダクトの定風量ダンパーの機能確認、6)循環風量調整ダンパーの開度調整、及びそれらを行う際に必要となる風量測定を行う必要があると言える。

4) インバーターの出力調整

給気送風機は、機外静圧(ダクト等の圧力損失)及び機内静圧(空調機内部のフィルターやコイルに起因する圧力損失)の計算に基づき選定されているが、圧力損失は安全をみて大きめに算定され、送風機や電動機は段階的に設定された機種の中から選定するため、多くの場合、組み立て後の給気量は設計値を上回ることになり、インバーターによる電動機の出力調整を行って設計風量となるような調整が必要となる。

還気送風機については、給気送風機を補助する役割と、排気、外気、循環の流れを確保する役割があると言える。建物外皮に存在する想定外の隙間によって、給気された空気が漏出し、還気量が確保されないようなことのないように設置されるものと解釈することができる。

5) 外気取入れ及び排気ダクトの定風量ダンパーの機能確認

外気量を設計値に合わせる上で、外気取入れダクトに定風量ダンパーを設けることは効果がある。排気ダクトの定風量ダンパーも同様である。これらが正常に動作して、設計風量条件において想定通りの外気量及び排気量が確保されていることを、風量測定によって確認する必要があると言える。また、VAV制御を採用した場合には、給気量の変動によらず、外気量及び排気量が安定して確保されていることの確認が必要となる。

6) 循環風量調整ダンパーの開度調整

循環風量調整ダンパーの開度によって、還気送風機を通過した空気のうち、排気ダクトに流れる空気と給気送風機に流れる空気の比率が変化する。全熱交換器を通過して排気される風量を設計値に一致させるためには、定風量ダンパーの前後静圧差を十分に確保する必要があるため、循環風量調整ダンパーの開度調整が重要となる。

但し、図 3.2.4.24 に黒丸で示した、全熱交換器前後の各部分の静圧 P_{OA} 、 P_{SA} 、 P_{RA} 、 P_{EA} が全熱交換器の有効換気量率を維持して、還気及び排気から給気及び外気への混入をある程度防止する工夫も場合によっては必要になる。

(3) 設計上の留意事項

設計には基本設計と、詳細にわたり決める実施設計があるが、ここでは両者を含めて留意事項をまとめる。

熱交換換気システムの基本設計においては、最初に、熱交換換気ユニットを用いるか、中央式空調として空気調和機と回転形全熱交換機の組み合わせとするかを決める必要がある。住宅の場合には、熱交換換気ユニットとするか、あるいは熱交換機能のない換気方式とするかの選択になる。

複数の換気システムを建物に設置する必要がある場合には、各換気システムが担当する室内空間を整理した上で、各換気システムが分担すべき必要換気量を決定し、換気ユニット、空調機、全熱交換器、給気口や還気口の位置決めをする必要がある。

次に、ダクトなどの部材の断面寸法を仮決めするとともに、空調機を用いる場合には内蔵する冷温水コイル、フィルター等の仕様を決め、それら及び必要換気量に基づいて、送風機の選定が必要となる。空調機に内蔵するフィルターにより除去できる汚染物質もかわるため、ウイルス感染症対策に配慮する場合には、慎重に選択を行う必要がある(別項にてウイルス対策のためのフィルターについて解説が必要)。換気ユニットの場合には、ダクト等の圧力損失特性と、ユニットとしての風量－機外静圧の特性曲線に基づいて、熱交換換気ユニットの機種選定を行う必要がある。

図 3.2.4.24 に示す中央式空調の場合には、設計段階において各部の風量を正確に推定することは容易ではなく、施工の最終段階における機能性能試験(送風機などが動くことなどの単純な確認ではなく、枝ダクト間の風量バランスの確保、送風機風量の調整、制御による正常動作の確認などを指す)を前提とした、構成機器部材製品の選定、ダクト経路上における位置の選定、風量測定位置や方法の決定を行う必要がある。風量測定の精度を満足なものとするためには、ダクトの直管部の確保やセンサーの挿入口に関する施工者への指示を明確にしておくことが不可欠である。

(4) 施工上の留意事項

熱交換換気ユニットの場合は、ユニットの中に送風機や熱交換部が予め収められ、全体として試験がなされているため、施工時に注意すべき点としては熱交換換気ユニットの外部に関することが中心となる。ダクトの接続が確実になされているか、ダクトの潰れがないか、不適切な位置の屋外端末(清掃が不可能な高所など)に防虫網が設置されていないか、ユニット内部のフィルターや熱交換部の清掃が容易なように適切な位置に点検口が設けられているか、などである。

空気調和機に併設される回転形全熱交換器の場合には、点検、清掃、部品の交換の作業が行えるような周囲スペースの確保が必要となる。

(5) 維持管理上の留意事項

全熱交換器の耐用年数の目安としては、13～15年とされている。全熱交換器単体と熱交換換気ユニットとで、保守・点検の項目は異なるが、各項目の点検周期や交換周期については参考文献1を参照してほしい。

(6) 全熱交換換気ユニットに関する送風機効率の改善の進展

熱交換換気ユニットの空気搬送効率が比消費電力や送風機効率で評価可能なことは前述した。同機種は通常は顕熱交換のものは限られていて多くは全熱交換を行う。市場には比較的風量の小さい住宅用と大きい業務用があるが、建築物省エネルギー法が整備されて以降、それらの空気搬送効率には明らかな改善が見られる。

代表的な製造者A社及びB社が2010年度に販売していた製品と、2021年度のものと比較した結果を表3.2.4.8及び表3.2.4.9に示す。主としてDC(直流)モーターの採用により、効率(送風機の仕事率を消費電力で除した比率)については、業務用について著しい向上が見られる(約60%及び約52%)。住宅用についても効率は約1.13倍及び約1.06倍に向上している。単位換気量当たりの消費電力(比消費電力)については、A社の業務用を除き低減が見られる。A社の業務用については、機外静圧差が増加(より圧力損失の大きい状況が想定されている)したため、比消費電力が増加したものである。

表 3.2.4.8 A 社 2010 年度カタログと 2021 年度カタログの比較

2010 年度カタログ掲載製品の数値					
住宅用(10 機種)			業務用(13 機種)		
給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)	給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)
85~200	33~82	32~142	150~2000	69~925	55~145
効率の平均値		比消費電力の平均値	効率の平均値		比消費電力の平均値
0.055		0.41	0.057		0.48
2021 年度カタログ掲載製品の数値					
住宅用(14 機種)			業務用(22 機種)		
給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)	給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)
90~250	27~84	45~142	150~2000	69~1160	57~320
効率の平均値		比消費電力の平均値	効率の平均値		比消費電力の平均値
0.062		0.40	0.091		0.55
改善量	効率	約 13%向上	改善量	効率	約 60%向上
	比消費電力	約 3%減少		比消費電力	約 15%増加

表 3.2.4.9 B 社 2010 年度カタログと 2021 年度カタログの比較

2010 年度カタログ掲載製品の数値					
住宅用(9 機種)			業務用(19 機種)		
給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)	給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)
75~180	28~70	50~145	150~2100	67~1450	40~220
効率の平均値		比消費電力の平均値	効率の平均値		比消費電力の平均値
0.068		0.39	0.067		0.48
2021 年度カタログ掲載製品の数値					
住宅用(13 機種)			業務用(12 機種)		
給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)	給気風量 (m ³ /h)	消費電力 (W)	機外静圧差 (Pa)
89~300	29~131	44.3~209	150~1000	48~490	20~230
効率の平均値		比消費電力の平均値	効率の平均値		比消費電力の平均値
0.072		0.37	0.094		0.40
改善量	効率	約 6%向上	改善量	効率	約 52%向上
	比消費電力	約 4%減少		比消費電力	約 10%減少

参考文献

1. 全熱交換器を長く安心してお使いいただくために、定期的な保守・点検のおすすめ、日本冷凍空調工業会、全熱交換器委員会、2008 年 1 月、
https://www.jraia.or.jp/product/exchanger/pdf/zennetsu_all.pdf

3.2.4.7 ハイブリッド換気

(山本佳嗣)

ここではハイブリッド換気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、自然換気併用ハイブリッド空調システムを以下の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)はハイブリッド換気と呼ばれるものであり、自然換気システムの欠点を補い、省エネルギー・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 3.2.4.25 に示す。

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ることになる、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。

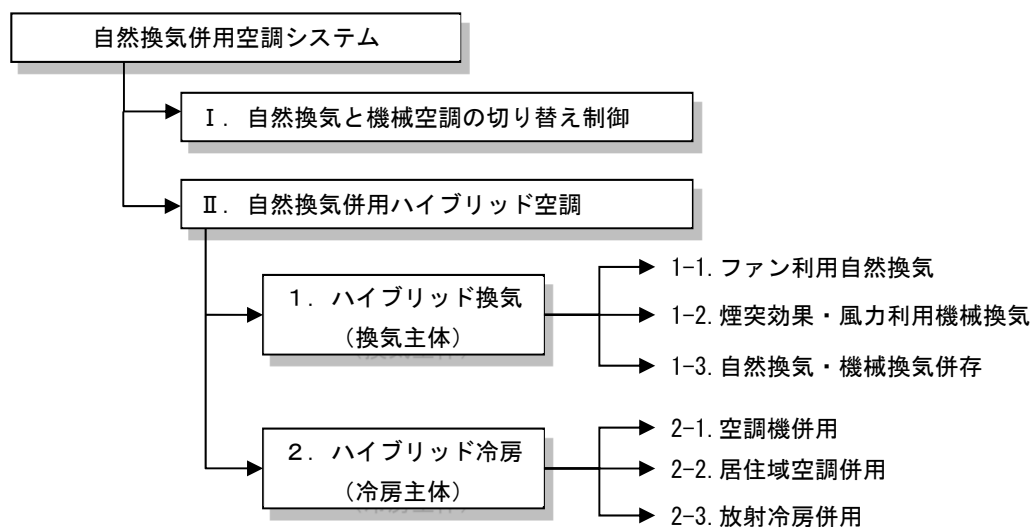


図 3.2.4.25 自然換気併用空調システムの分類

(出典：見る・使う・学ぶ 新世代の環境建築システム, pp.48-51,
技報堂出版, 日本建築学会編, 2016.6)

自然換気併用ハイブリッド空調は図 3.2.4.25 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 3.2.4.10、表 3.2.4.11 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「ハイブリッド換気の原理(発行：建築環境・省エネルギー機構)」を参照している。

表 3.2.4.10 ハイブリッド換気 システム比較

		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

(出典：見る・使う・学ぶ 新世代の環境建築システム， p.48-51， 技報堂出版， 日本建築学会編， 2016.6)

表 3.2.4.11 ハイブリッド冷房・アダプティブ空調 システム比較

	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
	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
	室の奥行	深い	深い(床吹空調は20m程度まで)	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)
	その他	大部屋	タスク空調が支配的な場合	中～小部屋
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

(出典：見る・使う・学ぶ 新世代の環境建築システム, p.48-51, 技報堂出版, 日本建築学会編, 2016.6)

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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 自然換気量が多い場合は、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)

7) 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。

3.2.4.8 パーソナル空調(タスク空調)

(山本佳嗣)

感染対策として人の呼吸域付近の空気清浄度を向上させることは効果的な手法として考えられる。タスクアンビエント空調は全体空間(アンビエント)の空調と居住域周りの空間(タスク)の空調を分離し、省エネと快適性を両立しようとするものである。具体的には、居住者専用のタスク吹出口によって個人の特性に合わせた空調調整を行うことによって快適性を確保し、省エネのためアンビエントの空調は緩和する。タスク空調はパーソナル空調とも呼び、図 3.2.4.27 に示すようなパーティション一体型の個別調整できる吹出口や卓上扇風機、風向風量が調整可能な床吹出口などが例として挙げられる。近年ではクールチェアや放射パネルを組み込んだデスクなどが開発されている。

感染対策としては外気が含まれた清浄な空気を居住者の呼吸域付近に供給する個別調整型の吹出口などが考えられる。しかし、居住者に陽性者が含まれている場合を考慮すると、感染性エアロゾルを室内に拡散させないために気流速度や風向に配慮が必要であり、平面的に拡散を促すような気流は避けるのが望ましい。

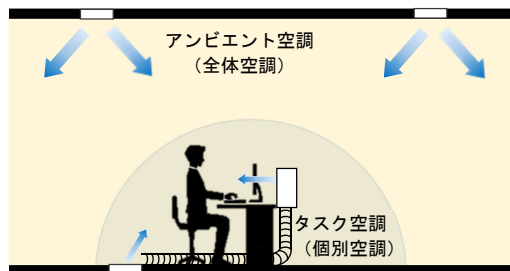


図 3.2.4.26 タスクアンビエント空調概念図



図 3.2.4.27 タスク吹出口の例

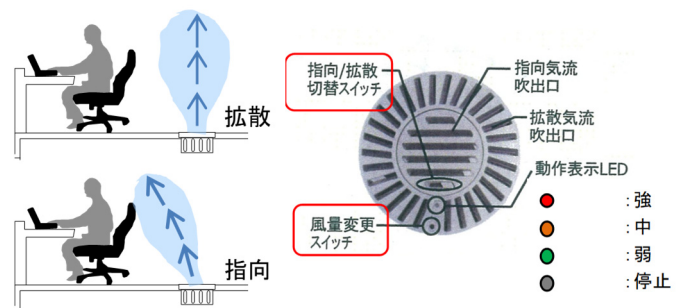
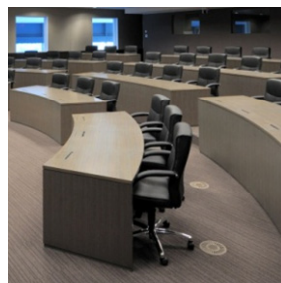


図 3.2.4.28 風向風量調整型床吹出口の例

3.2.4.9 VAV

(柳宇)

(1) 変風量制御方式(VAV、Variable Air Volume system)の原理と種類

VAV は空調対象空間の熱負荷の変動や偏在に応じて給気温度を一定にして送風量を調整することによって室内温度を設定値に維持するための装置である。送風量の調整は VAV ユニットの開度信号、又は風速センサーで演算した風量信号により、空調機のファンをインバーター制御する。VAV は部分負荷運転時に送風量を絞ることによって省エネルギーが図れる装置であり、現在、中央方式の事務所ビルではほとんど VAV を採用している。VAV ユニットの例を図 3.2.4.29-図 3.2.4.31 に示す¹⁾。

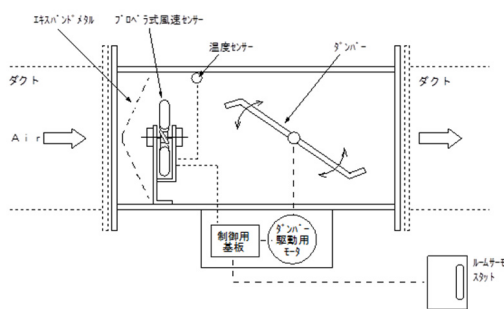


図 3.2.4.29 スロットル型ユニット

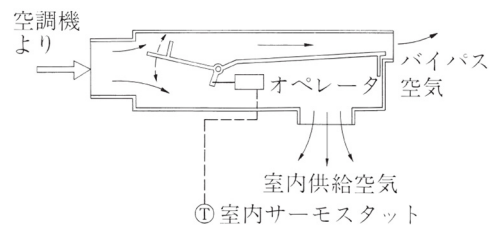
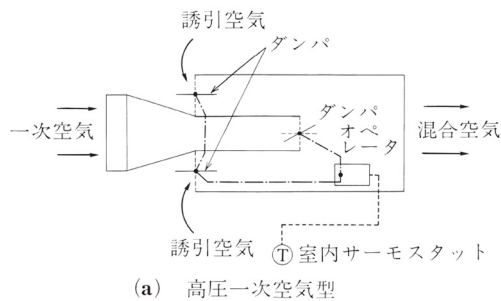
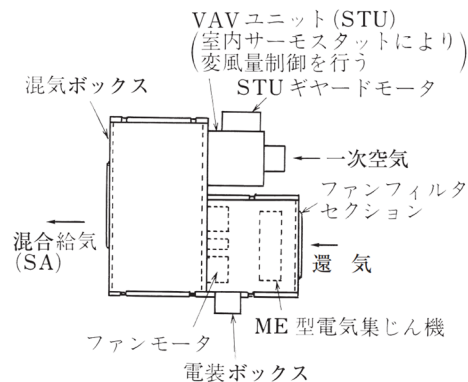


図 3.2.4.30 バイパス型ユニット



(a) 高压一次空気型



(b) ファンパワーユニット型

図 3.2.4.31 誘引型ユニット

(2) VAV ユニット選定の注意点

- ・設計風量に合った機種を選定する。
- ・風量の計測下限値の特性に関する下限風量がある。あまり大きな機種を選定すると、風量制御範囲が狭くなる。
- ・下限風量以下の部分負荷運転時には、給気温度を緩和して冷え過ぎを防止する(ロードリセット制御)。

(3) 感染拡大時の対応

感染症の感染拡大時には、換気量(取り入れ外気量)と相当換気量(フィルターにろ過された清浄な風量)の確保が重要である。したがって、感染拡大時は送風量を確保することを原則とし、VAV 制御を外すか、VAV による風量制御を最小限に行う。また、CO₂センサーによる制御の場合、CO₂濃度の設定値を外気濃度レベルまでに下げて、常時に最大風量が得られるようにする。

参考文献

1. 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学便覧、第 14 版、(3)空気調和設備設計、p.18, p.22, 2010 年

3.2.4.10 CO₂ センサー

(柳宇)

(1) CO₂ センサーによる換気量制御の目的

オフィスビル等室内の主な炭酸ガスの発生源は在室者である。定常状態で、在室者 1 人当たりの炭酸ガスの排出量を 18L/h、外気中 CO₂濃度を 400ppm と仮定すれば、室内 CO₂濃度を建築物衛生法の管理基準値 1000ppm 以下に維持するための必要換気量は 30m³/(h・人)以上になる。

$$Q = \frac{M}{(C - C_o)} = \frac{18000\text{mL}/(p \cdot h)}{(1000\text{ppm} - 400\text{ppm})} = 30\text{m}^3/(h \cdot p) \quad \text{式 1}$$

CO₂センサーによる換気量の制御は、在室者数が少なくなった場合、その分の換気量を減らすことによって省エネルギーを図るためであり、現在省エネルギーのツールとして多く採用されている。

(2) CO₂ センサーの測定原理

CO₂センサーは一般に非分散型赤外線吸収法(別名 NDIR 法、Non Dispersive Infra-Red)の原理を利用している。非対称 2 原子分子のガス状物質は一般的に赤外領域に吸収帯を持つ一方、空気の主成分である N₂、O₂、Ar はその性質がない。NDIR 法はこの原理を利用している。

(3) CO₂ センサーの種類・設置箇所・留意点

CO₂センサーは室内設置型とダクト挿入型がある。室内設置型の例として図 3.2.4.32 にアズビル社の CO₂センサーを示す。濃度制御アプリケーションを内蔵した Infilex VC が、室内用 CO₂濃度・温度センサーにて検知した CO₂濃度と室内温度をもとに、VAV ユニットの風量を制御する。

ダクト挿入型の例として図 3.2.4.33 に VERIS 社のセンサーを示す。実務的には、CO₂センサーの選定は計装工事業者が行うケースが多い。



Infiflex VC



壁取付タイプ



天井取付タイプ

内用 CO₂ 濃度・温度センサー

図 3.2.4.32 室内設置型 CO₂ センサー

参照元：アズビルホームページ (<https://www.azbil.com/jp/news/150729.html>)



図 3.2.4.33 ダクト挿入型 CO₂ センサー

参照元：EDI Japan ホームページ (https://www.edijapan.co.jp/wp-content/uploads/v20_cdl.pdf)

CO₂ センサーを室内 CO₂ 平均濃度の代表点に設置することが望ましい。一般に室内中央・吸い込み口近傍(室内設置型)、又は還気ダクト中(ダクト挿入型)に CO₂ センサーが設置される。設置箇所の CO₂ 濃度の分布特徴から、下記の点に留意する必要がある。

・室内設置型

給気口付近など平均濃度より低いと考えられる箇所に設置することを避ける。

・ダクト挿入型

還気ダクト中に設置されるが、ダクトの系統を考慮して設置する必要がある。

図 3.2.4.34 にその設置箇所の例を示す。建築物衛生法では、居室内の CO₂ 濃度を 2 か月以内毎に 1 回測定することになっている。従って、換気系統が同系統の室のうち、最も過密と考えられる室にセンサーをつけることが適切だと考えられる(図 3.2.4.34 の A)。普段使用していない会議室などの還気ダクト内(図 3.2.4.34 の B)やその還気と執務室からの還気が合流した後の還気ダクト中(図 3.2.4.34 の C)に設置した場合、会議室が使用されない時間帯は室内濃度より低い濃度が検知され、その結果執務室の換気量の確保が難しくなる。

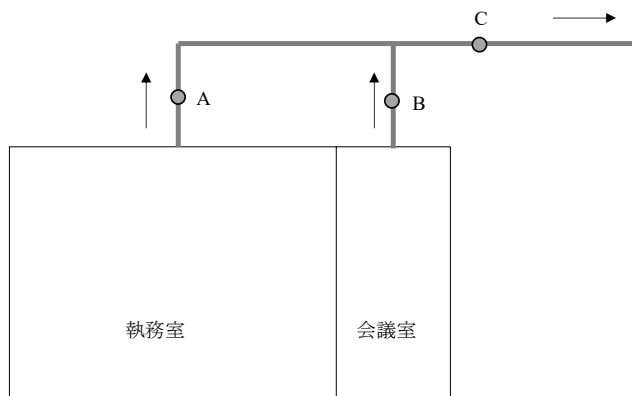


図 3.2.4.34 ダクト挿入型 CO₂ センサー設置箇所の良し悪し

(4) CO₂センサーの精度管理

経年劣化などにより CO₂センサーの精度が落ち、正確的に測定することができなくなるため、定期的にセンサーを校正する必要がある。校正にゼロガス(純窒素ガス)とスパンガス(窒素ベースの CO₂混合ガス)を用いる必要がある。校正を容易にできるセンサーを設置することが望ましい。校正ができないセンサーや、ゼロガスによるゼロ点のみ校正ができるセンサーでは正確に CO₂濃度を検知することができない。

(5) 感染拡大時における CO₂センサーの運用

【換気の制御センサーとしての運用】

感染拡大時は、換気量を最大限に増やすことが原則である。したがって、CO₂濃度のセットポイントを外気濃度と同じレベルに設定すれば、常に最大換気量が得られるようになる。

【室内換気量のモニタリングとしての運用】

厚生労働省は“推奨される換気の方法として、建築物衛生法における空気環境の調整に関する基準に適合していれば、必要換気量(1人当たり毎時 30m³)を満たすことになり、「換気の悪い空間」に当てはまらなないと考えられる。”としている。前述した通り、1人当たり毎時 30m³を満たすことは室内 CO₂濃度が建築物衛生法の管理基準値 1000ppm を満たすことに等しい。換気量の測定が難しいため、その代わりに CO₂濃度をモニタリングすることによって換気状況の確認ができる。COVID-19 の流行期間中に室内設置型の CO₂濃度計が室内換気量のモニタとして活用されている。

(6) SARS-CoV-2 感染リスクを低減するための CO₂濃度に関するアクションリミット値

表 3.2.4.12 に SARS-CoV-2 感染リスクを低減するための CO₂濃度に関するアクションリミット値を示す。日本の厚生労働省は前述した通り、建築物衛生法との関連で、室内濃度について 1000ppm を推奨している。REHVA は学校の教室においてパンデミック期間時に教室内の濃度上限値を 800ppm としている。それを超えると、窓開け換気を行いように推奨している。英国政府の緊急時科学助言グループ(SAGE)は、エアロゾル発生活動のある空間は、CO₂濃度を 800 ppm を目標にする必要がある。アメリカ CDC は、CO₂濃度を 800 ppm 以下に維持できない空間には、HEPA フィルター付きポータブル空気清浄機の利用を検討する必要があることを推奨している。

前述した条件を用い、室内 CO₂濃度 800ppm 以下を満たすための必要換気量は 45m³/(h・人)になり、厚生労働省推奨の 30m³/(h・人)の 1.5 倍になる。

$$Q = \frac{M}{(C - C_o)} = \frac{18000\text{mL}/(p \cdot h)}{(800\text{ppm} - 400\text{ppm})} = 45\text{m}^3/(h \cdot p) \quad \text{式 1}$$

表 3.2.4.12 SARS-CoV-2 感染リスクを低減するための CO₂ 濃度に関するアクションリミット

出典	文書タイプ	内容概要	CO ₂ 濃度に関する アクションリミット
厚生労働省	リーフレット	建築物衛生法における空気環境の調整に関する基準に適合していれば、必要換気量(一人あたり毎時 30m ³)を満たすことになり、「換気が悪い空間」には当てはまらなると考えられる。	CO ₂ 濃度を 1000ppm 以下を満たしていない場合、窓開け換気、HEPA フィルター付きの空気清浄機の活用を推奨している。
REHVA ¹⁾	ガイダンス	学校内に CO ₂ 検知器を設置し、生徒や教師が空気、質を確認する。特に歌うなどの活動中に窓を開けることを推奨する。	パンデミック期間中、CO ₂ 濃度インジケータのデフォルト設定を一時的に変更することを推奨する。 800ppm : オレンジ色 1000ppm : 赤色
UK SAGE ²⁾	公衆衛生 ガイダンス	CO ₂ モニタを使用して、換気の悪い空間を特定し、改善のための優先順位を付ける。CO ₂ 濃度が低いからといって、低い在室率または大空間において必ずしも十分な換気が行われているとは限らないことに注意を要する。CO ₂ が COVID-19 リスクの直接の指標として使用できるという考えを拒否する。	CO ₂ 濃度が 1500ppm を超える空間の改善は優先すべきである。エアロゾル発生行動のある空間においては、CO ₂ 濃度の目標値を 800ppm 以下にする必要がある
CDC ³⁾	公衆衛生 ガイダンス	ロギング機能付きのポータブル CO ₂ センサーを使用して室内空間をモニタリングする。	800ppm 以下に維持できない空間においては、ポータブル空気清浄機の利用を検討する必要がある。

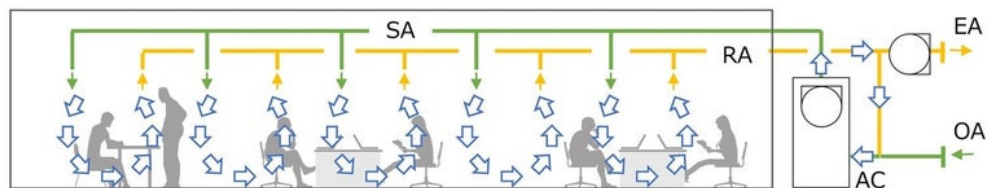
1. Federation of European Heating Ventilation and Air Conditioning Associations.COVID-19 ventilation and building services guidance for school personnel. Ixelles, Belgium: REHVA; 2020. Available from:https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID19_guidance_document_School_guidance_25112020.pdf.
2. UK Scientific Advisory Group for Emergencies Environmental Modelling Group (SAGE-EMP). Role of ventilation in controlling SARS-CoV-2 transmission. London, UK: SAGE-EMP; 2020. Available from:
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/928720/S0789_EMG_Role_of_Ventilation_in_Controlling_SARS7CoV-2_Transmission.pdf.
3. US Centers for Disease Control and Prevention. Ventilation in buildings. Atlanta, GA: U.S. Department of Health & Human Services; 2021 Mar 23. Available from:
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation.html>.

3.2.4.11 全外気空調

(山本佳嗣)

REHVA 等の欧州の学会では、空気を介した感染拡大防止の観点から、空調機における室内空気の循環系統(還気系統)を停止し、全外気空調を実施することを推奨している。しかし、一般的なオフィスの人員密度 0.2 人/m² 時の必要換気量は 4~6CMH/m² であるが、冷房に必要な給気量は冷房負荷を 100W/m² とすると床面積あたり 30CMH/m² 程度となる。室内発熱の多いオフィスビルにおいて全外気空調を実現するためには必要換気量の 5 倍程度の外気導入量を確保する必要がある、エネルギーの増加や空調機の冷暖房能力、加湿能力の点からも困難である。蒸暑地域である我が国においては、外気の潜熱負荷割合が大きいため、更に全外気空調の導入を難しくしている。

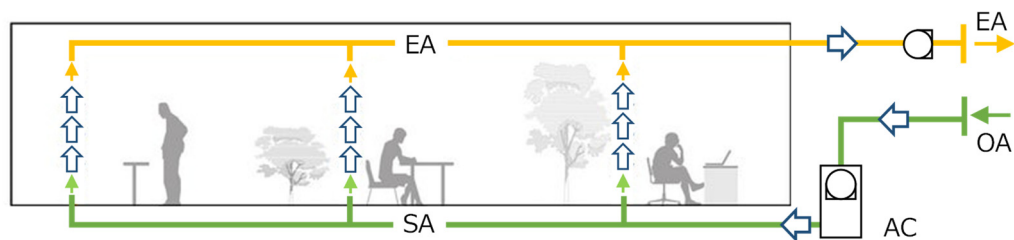
感染対策として日本における全外気空調が検討された事例を図 3.2.4.35、図 3.2.4.36 に示す。これはシステム検討段階のものであるが、内部の発熱や人員密度などの設計条件の見直しに加え、床から天井、又は天井から床に向けた一方向の気流によって全外気空調を実現しようというものである。床から外気を供給する場合は、置換換気に近い方式となる。室内空気の循環系統がないことにより、高性能フィルターを空調機内に設置する必要がなくなるというメリットもある。また、導入外気量が増加することによる感染リスク低減も期待できる。しかし、全外気空調を実現するためには、事例で示すような抜本的な設計条件の見直し、空調システムの工夫が必要となる。



人員密度	1000m ² 当たり 150 人
室内発熱	従来一般(パソコン、照明など)
給気風量	循環回数 7.0 回/h+新鮮外気 1.5 回/h

図 3.2.4.35 従来空調(天井吹出・天井吸込)

提供：日建設計ホームページ <https://note.com/nikken/n/n25d4b530f369>



人員密度	1000m ² 当たり 100 人
室内発熱	従来一般×50%(DasS も考慮)
給気風量	循環回数 0 回/h+新鮮外気 3.0 回/h

図 3.2.4.36 全外気空調の例 かけ流し空調(天井吹出・床吸込 or 床吹出・天井吸込)

提供：日建設計ホームページを一部改変 <https://note.com/nikken/n/n25d4b530f369>

3.2.4.12 空気清浄機

(林基哉)

空気清浄機は、ウイルスを含む浮遊飛沫を捕集することで、ウイルスの気中濃度を低下させ、感染リスクを抑制する効果を持つと考えられている。新型コロナウイルスの大きさは0.1 μm 程度であるため、それ以上の大きさの浮遊飛沫にはウイルスが含まれている可能性がある。しかし、ウイルスの感染力が粒径とどのような関係があるかは明確になっていない。したがって、0.1 μm 程度の浮遊飛沫を除去できることが必要とされている。

空気清浄機による浮遊飛沫の除去効果は、フィルター方式や電気集塵方式などの方式によって異なるとともに、空間規模や機器容量によって異なる。したがって、これらを踏まえて空気清浄機を利用する必要がある。また、可搬式の空気清浄機と空調換気設備に組み込まれた場合の間には、浮遊飛沫の除去効果や感染リスク抑制の効果が異なることに留意する必要がある。

移動式の空気清浄機に関し、厚生労働省は HEPA フィルターを備えた可搬式空気清浄機を利用するよう、以下のようにまとめている¹⁾。

米国熱冷凍空調学会(ASHRAE(2020))²⁾は、非医療設備における感染性エアロゾルに対応した空調設備の検討にあたっては、外気取り入れ量を増加することを第一に推奨しつつ、HEPA フィルター等を備えた移動式の空気清浄機について、清浄空気供給率(CADR)に適切に配慮した上で、通常の換気装置に追加して使用することを考慮すべきとしている(ASHRAE(2020))²⁾ p.10)。

欧州空調協会連合会(REHVA(2020))は、外気取り入れ量の増加の方がより効果的であることを強調しつつ、新型コロナウイルス感染症に対応した換気のための移動式の空気清浄機の使用について、HEPA フィルターを備えた空気清浄機については、換気と同程度の粉塵除去効果があるとし、静電気フィルターを備えた空気清浄機についても同様の効果があるとしている。なお、それ以外の方式の空気清浄機については、効果が不十分であるとしている。また、空気清浄機の気流は狭い範囲(通常 10 m^2 程度)でしか効果がないとし、空気清浄機を使用する場合は、呼吸域に近接した場所に設置することを推奨している(REHVA(2020))³⁾ p.6)。

CDC(2003)は、医療施設における移動式の HEPA フィルターユニットについて、①全体換気がない部屋における一時的な換気、②換気装置が適切な風量を提供できない場合の補強、③空気の流れの効率性の向上を図る場合には、使用できるとしている。但し、その有効性は、部屋の構造、家具等の配置、ユニットの設置位置、吸排気口の位置等に依存するとしている(CDC(2003))⁴⁾ p.30)。

西村(2011)は、市販されている HEPA フィルター付きとそれ以外の 4 種類の空気清浄機のインフルエンザウイルス除去性能を実験によって検証した。これによると、インフルエンザウイルスを散布した容積 14.4 m^3 のチャンバー内で空気清浄機を作動させ、経過時間ごとにサンプリングした空気中の活性ウイルス量を測定した結果、HEPA フィルター付きの空気清浄機については、風量に応じ、10 分後の活性ウイルス量は顕著に減少(10 分後の低減率は、2.5 m^3/min で 10^{-2} 、5.1 m^3/min で 10^{-4} 、8.3 m^3/min で検出限界以下)したとしている。一方、HEPA フィルター付き以外の空気清浄機は、HEPA フィルター付きのものウイルス減少効果に遠く及ばなかったとしている⁵⁾。

Qian ら(2010)は、模擬の隔離病室(床面積 40.2 m^2 、天井高 2.7m)に毎分 8.9 m^3 の風量をもつ 1 台の移動式 HEPA フィルターユニットを設置し、その効果を検証した。これによると、

フルパワーで運転したときには良好な空気の流れを作り出し、換気回数も毎時 2.5～5.6 回に達したが、風量を落とす(6.1～1.5m³/h)と、空気がよどむ箇所が発生したとしている(Qian ら(2010))⁶⁾。

厚生労働省は以上の確認を行い、空気清浄機は HEPA フィルターによるろ過式で、かつ、風量が 5 m³/min 程度以上のものを使用すること、人の居場所から 10m²(6 畳)の範囲内に空気清浄機を設置すること、空気の淀みを発生させないように、外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させること、を留意点として示した⁷⁾。室内空間におけるエアロゾルの除去効果は、フィルターの捕集率のみで決まるのではなく、風量、効果が及ぶ範囲の影響を受けるため、上記のように捕集率が高い HEPA フィルターを推奨すること以外の留意点を示す必要があった。原理的には、捕集率が低い場合でも風量が多いと、エアロゾルの除去効果が得られるため、捕集率のみを条件とすることは適切ではない。

空調換気設備に組込まれたフィルター等の効果についても、捕集率と風量の双方を考慮して効果を表現することが適切である。フィルター等によるエアロゾルの除去効果を換気による除去効果 V(m³/h)に対応させると、以下のように示すことができる。なお、R は「エアロゾルに関する相当換気量」と呼ぶことができる。

$$RA \cdot F(\text{m}^3/\text{h})$$

ここに、A：フィルター風量(m³/h)、F：フィルター捕集率(0～1)

フィルター等による除去効果は、換気による除去効果と同様に、空間内での気流分布の影響を受ける。空間内に淀みがあると、その部分のエアロゾルの除去が遅くなるために、空間内のエアロゾル除去効果が低下する。可搬式の空気清浄機の場合には給気位置と排気位置が非常に近いためにショートサーキットが発生し、空間内に淀みが生じやすい。このために、空気清浄機には適応可能な容積及び面積が規定されており、それを踏まえて利用する必要がある。空調換気設備に組込まれたフィルター等の場合には、空調換気の効果を持続するために、空間への給気口と排気口が離れていることが多く、上記のようなショートサーキットが発生しづらい。これらの空間内での捕集の効率は、空間内の気流に影響する様々な要因(空調換気設備、空気清浄機の機能、室の利用状況、発生源の状態など)の影響を受けるため、定量的な評価や予測が難しく、現在においても研究課題の一つとなっている。

この他に留意すべき点は、空気清浄にともなう騒音である。上式に示すように、風量が多い方が除去効果は高くなるが、同時にファンなどによって騒音レベルが高くなる傾向がある。就寝時など静かな環境が必要な時間にも使用するためには、フィルターの空気抵抗を抑えてファンの負担を下げたり、フィルターを空調換気設備に組込み消音ダクトなどを用いて騒音の伝搬を抑えたりすることで、室内の騒音レベルを下げるのが望まれる。空気抵抗を抑えて捕集する方法として、電気集塵などの物理的フィルターを用いない方法が挙げられる。

参考文献

1. 厚生労働省「熱中症予防に留意した「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について」参考資料、令和 2 年 6 月 17 日
2. ASHRAE (2020) ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols. Approved by ASHRAE Board of Directors, April 14, 2020
3. REHVA (2020) REHVA COVID-19 guidance document, April 3, 2020. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations.
4. CDC (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Morbidity and Mortality Weekly Report, 52 (RR-10).

5. 西村秀一(2011)高性能の空中浮遊インフルエンザウイルス不活化を謳う市販各種電気製品の性能評価 感染症学雑誌 第85巻第5号 pp.537-539
6. Qian H, Li Y, Sun H, Nielsen PV, Huang X, Zheng X (2010) Particle removal efficiency of the portable HEPA air cleaner in a simulated hospital ward. Build. Simul. Vol. 3, No.3 pp.215-224
7. 厚生労働省 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法、2020年11月27日、https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_15102.html

3.2.4.13 UV 等による殺菌処理

(柳宇)

(1) 紫外線(UV)とは

紫外線が1801年にドイツの物理学者ヨハン・ヴィルヘルム・リッターによって発見された。Wells 最初に感染拡大の抑制に UVGI(Ultraviolet Germicidal Irradiation、紫外線殺菌照射)による空気殺菌を試みた¹⁾。紫外線(UV: Ultraviolet)は波長によって UV-A(400-315nm)、UV-B(315-280nm)、UV-C(280-100nm)に分類される。なお、光医学、光生物学などの分野では紫外線の波長は次のように通常適用されている。UV-A: 320~400nm、UV-B: 290~320nm、UV-C: 100~290nm。

(2) UVGI の原理

生物の DNA(デオキシリボ核酸)の吸収スペクトルは 250nm(UVC 波長領域)近辺に存在しており、ウイルスや細菌などに紫外線(UVC)を照射すると、DNA の損傷が起き複製ができなくなる。UVC による殺菌作用はこの原理を利用している。なお、SARS-CoV-2 のような RNA(リボ核酸)ウイルスの場合、紫外線にばく露されると塩基配列の中のウラシル二量体が形成され、複製機能が喪失する^{2), 3)}。

(3) UVGI の性能

図 3.2.4.37 に Sharp が黄色ブドウ球菌を用いた実験の結果を示す^{4), 5)}。多くの微生物は式 1 に示す通り、UVC にばく露されるとその生存率は 2 段階の減衰不活曲線(Inactivation curves)を示す。1 次減衰の速度は速く、これは主として損傷によるものである。2 次減衰の速度が比較的遅いのは微生物が抵抗性を示すためである。現在、一般的に式(2)に示す一次減衰式が用いられている。

$$S = F e^{-k_f I t} + (1 - F) e^{-k_s I t} \quad \text{式 1}$$

- S: 生存率(-)
- k_f : 1 次殺菌係数(m²/J)
- k_s : 2 次殺菌係数(m²/J)
- I: 紫外線強度
- t: 照射時間(s)
- F: 1 次減衰の占める割合(-)

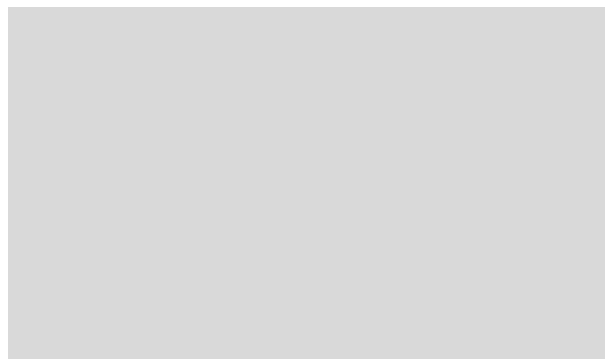


図 3.2.4.37 紫外線による黄色ブドウ球菌の殺菌特性

$$S = e^{-kIt}$$

式 2

k : 殺菌係数(m^2/J)

UVGI の有効性から、WHO⁶⁾、CDC⁷⁾、REHVA⁸⁾、ASHRAE⁹⁾、空気調和・衛生工学会¹⁰⁾などが推奨している。また、2020年4月に改訂された Well Building Standard において、COVID-19 関連で空気関連の微生物対策項目に紫外線殺菌が追加されている¹¹⁾。表 3.2.4.13 にコロナウイルスに 2 対する紫外線照射強度を示す¹²⁾。前述した通り、紫外線による殺菌の性能は紫外線の強度 $I(W/m^2)$ と照射時間 $t(s)$ の積 $It(J)$ によって決まるため、空間殺菌よりは照射時間が十分に得られる表面殺菌の方は効果が得られやすい。

表 3.2.4.13 コロナウイルスに対する UV 照射強度



(4) UVGI の導入事例

【事例 1：表面殺菌】

図 3.2.4.38 に某食品工場の空調機に紫外線ランプの設置例を示す¹³⁾。当該食品工場は 24 時間操業を行っていたため、空調機の運転時間と同様に紫外線ランプも 24 時間点灯した。設置直前(4月7日)の 1 回と設置後の 4 回にわたり、気化式加湿器エレメント表面の付着細菌・真菌と加湿器上流と下流側の細菌・真菌の測定を行った。図 3.2.4.39 に紫外線照射前後の加湿器表面の状態、図 3.2.4.40 に浮遊細菌・真菌の測定結果を示す。付着微生物については、紫外線ランプ設置前のエレメント表面には数え切れないほど(TMTC : Too many to count)付着しており、紫外線照射によって付着細菌が徐々に減少した。この結果は図 3.2.4.39 に示す紫外線照射前後のエレメント表面状態の比較からも明白である。なお、5月の連休期間中は紫外線ランプが点灯していなかったため(空調も運転していなかった)、連休明けの 5月7日

の付着細菌量が多くなっていたと推察される。一方、付着真菌はいったん顕著に減少した後、に一定量まで上昇した。浮遊微生物については、紫外線ランプ設置前には細菌の加湿器エレメントからの飛散が認められたが、紫外線ランプ点灯後飛散が抑えられるようになった。

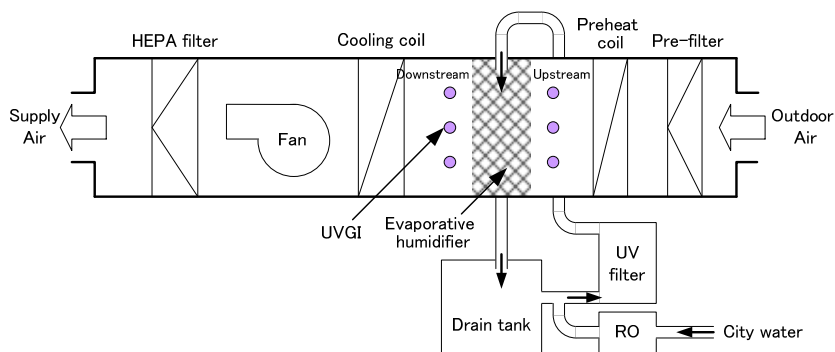


図 3.2.4.38 空調機内紫外線ランプの設置例：表面殺菌



図 3.2.4.39 紫外線照射前後のエレメント表面の様子

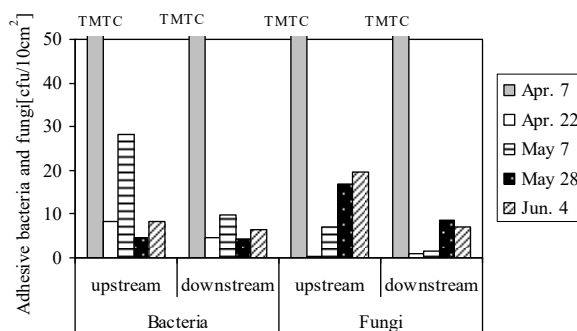


図 3.2.4.40 エレメント表面付着微生物

【事例 2：空間殺菌】

室内空間殺菌としてアップルーム方式がある。図 3.2.4.41 に病院の設置例を示す。その効果は 80%の結核菌を殺菌ができ、24 回/h の換気回数に相当すると報告されている¹⁴⁾。

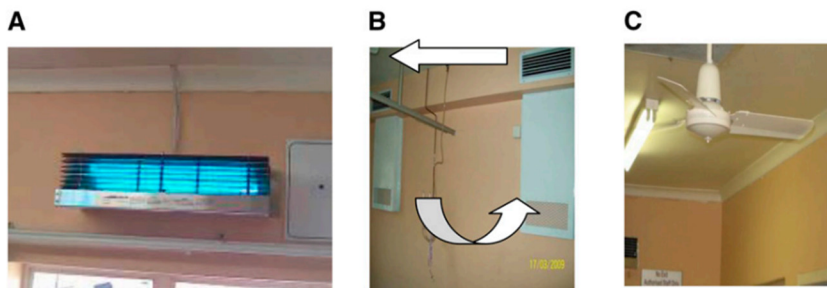


図 3.2.4.41 アップルームの設置例：空間殺菌

(A)壁取付紫外線殺菌装置、(B)室内換気装置、及び(C)実験中に使用されている天井パドルファン。Aの写真は、紫外線保護ゴーグルを着用して撮影されたものである。これは、紫外線殺菌照射ランプに近距離で短時間直接さらされても、角膜の炎症を引き起こす可能性があるためである。Bの矢印は空気の流れを示している。

参考文献

1. Wells WF. Air Disinfection in Day School. *American Journal of Public Health*, Vol.33, pp.1436-1444, 1943.
2. 柳宇：紫外線殺菌の過去・現在・未来、空気清浄、第51巻、第3号、pp.4-9、2013.
3. 柳宇：エアフィルタ、空気清浄機、紫外線照射殺菌(UVGI)、ビルと環境、No.173, pp.18-24, 2021.
4. Sharp G. The effects on ultraviolet light on bacteria suspended in air, *Journal of Bacteriology* 39(5): 535-547 1940.
5. Kowalski WJ and Bahnfleth WP. "UVGI Design Basics for Air and Surface Disinfection", *Heating/Piping/AirConditioning, HVAC Engineering*, pp.100-110, 2000.
6. WHO Guideline. *Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings*. 2009. ISBN 978 92 4 154785 7
7. CDC. *Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities*. 2003, Updated: July 2019
8. How to operate and use building services in order to prevent the spread of the coronavirus disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in workplaces. *REHVA COVID-19 guidance document*, March 17, 2020
9. ASHRAE: *ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols*, Approved by ASHRAE Board of Directors, April 14, 2020
10. 2020 International WELL Building Institute pbc. *STRATEGIES FROM THE WELL BUILDING STANDARD TO SUPPORT IN THE FIGHT AGAINST COVID-19*.
11. 空気調和・衛生工学会：新型コロナウイルス感染対策としての空調・衛生設備の運用について、2021年4月1日、
<http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2021.05.07%20kaite3.pdf>
12. Wiktorczyk-Kapischke N, et al. SARS-CoV-2 in the environment—Non-droplet spreading routes. *Science of The Total Environment* Volume 770 (2021) 145260.
13. Sung M, Kato K, Yanagi U, Kim M, Harada M, Disinfection performance of ultraviolet germicidal irradiation systems for the microbial contamination on an evaporative humidifier, *HVAC&R RESEARCH*, 17/ 1, pp.22-30, 2011
14. Mphaphlele et al. Institutional tuberculosis transmission controlled trial of upper room ultraviolet air disinfection: a basis for new dosing guidelines. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 192(4): 477-484, 2015.

3.2.4.14 国際紫外線協会の UV 設計マニュアル

(柳宇)

2005年にカナダに本部のある国際紫外線協会から“インダクト内 UVGI 空気殺菌システムの設計と設置ガイドライン(Guideline for Design and Installation of UVGI In-Duct Air Disinfection system、IUVA Draft Guideline IUVA-G03A-2005)の暫定版が公表された。その構成は下記の通りである。なお、その後の正式版は公開されていない¹⁾。

- 1.0 Introduction
- 1.1 Purpose and Scope
- 2.0 UVGI In-duct System Installation Guidelines
- 2.1 Location of UV Lamps
- 2.2 Location of Ballasts
- 2.3 Operating Conditions
 - 2.3.1 Normal Operating Conditions
 - 2.3.2 Outside Air Conditions
 - 2.3.3 Heating Coils
 - 2.3.4 Moisture and Relative Humidity
- 2.4 Wiring and Electrical Connections
- 2.5 Control Systems
 - 2.5.1 Full Time Operation
 - 2.5.2 Part Time Operation
- 2.6 Shutoff Switches
- 2.7 Warning Signs and Safety Training
- 2.8 UV Exposure of AHU Components
- 2.9 Using Reflective Materials
- 3.0 UVGI Application Notes
- 3.1 Commercial Buildings
- 3.2 Schools
- 3.3 Residential Homes and Apartments
- 3.5 Health Care Facilities
- 4.0 References & Bibliography
- Appendix A: Checklist for UVGI Design and Installation

NOTE: This draft guideline is issued to IUVA members and associates for comments as of May 13, 2005. The current contents are incomplete and do not necessarily represent any consensus viewpoints and it is not to be released to non-members without IUVA permission. Upon completion of the review and comment process the subcommittee will issue a draft of this guideline for public comment. Comments are due by 10-10-2005 and should be sent to drkowalski@psu.edu.

参考文献

1. Bahnfleth WP, Kowalski WJ, and Freihaut J. STANDARD AND GUIDELINE REQUIREMENTS FOR UVGI AIR TREATMENT SYSTEMS. Proceedings: Indoor Air 2005. Pp.3464-3468. 2005

3.2.4.15 UVGI と空気清浄機の組み合わせに関する各国の研究

(柳宇)

(1) 空気清浄機の役割

室内換気量が不十分な場合、空気清浄機を使用することによって不足分の換気量を補うことができ、WHO、CDC、REHVA、空気調和・衛生工学会など多くの機関が推奨している。空気清浄機の風量を $q(\text{m}^3/\text{h})$ 、捕集率を $\eta(-)$ とすれば、相当換気量は $q\eta$ (CADR とも呼ぶ。CADR : Clean Air Delivery Rate、清浄空気供給量)、相対換気回数は $q\eta/V$ になる。ここで、 $V(\text{m}^3)$ は対象室の容積である。

(2) UVGI と空気清浄機の組み合わせの種類

UVGI と空気清浄機の組み合わせの場合、HEPA フィルターを用いることが多い。その設置例はポータブルの空気清浄機(図 3.2.4.42)¹⁾と天井や壁に据え付けるタイプがある(図 3.2.4.43)²⁾。

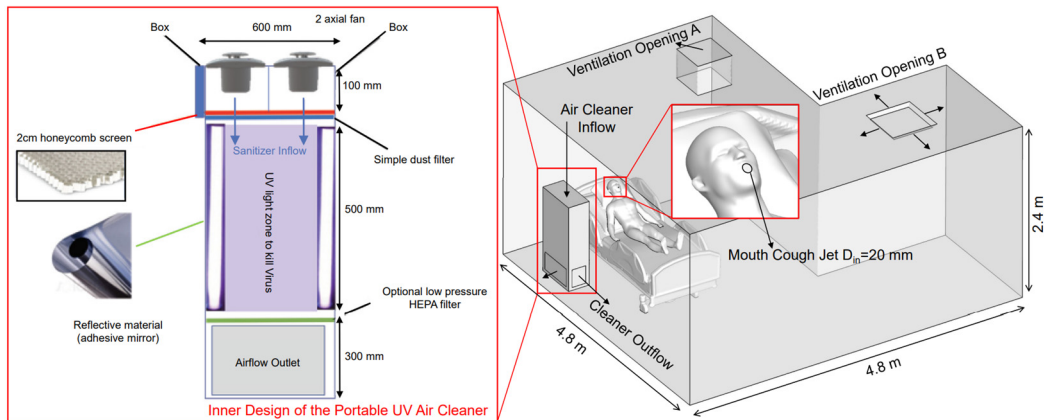


図 3.2.4.42 病室内の COVID-19 患者のためのポータブル UV 空気清浄機の設計方法

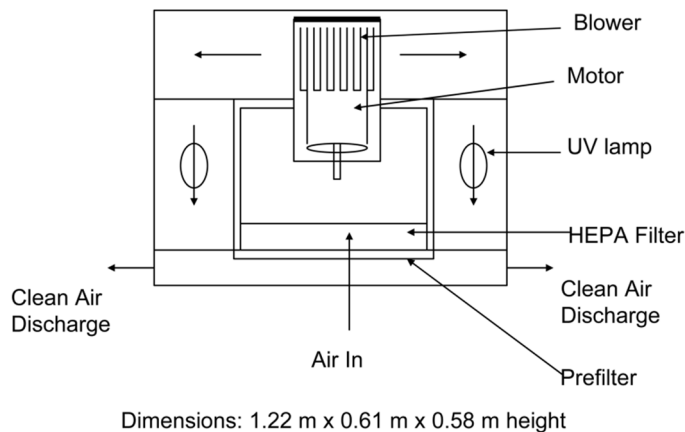


図 3.2.4.43 天井取付 HEPA と UV ランプ付きの空気清浄機

(3) UVGI 付き空気清浄機の実際の浄化性能

Green らは、UVGI を備えた室内空気清浄機は、空中浮遊病原体の 99%以上を不活化するのに効果的であると報告した³⁾。Kujundzic は、HEPA と UVGI を組み合わせた天井取り付けタイプの空気清浄機によって室内プールの室空气中の細菌濃度を 12~76%に低減したと報告した²⁾。Feng らは、咳から放出される 20 μ m 以下の飛沫は室内気流によって拡散し UV 付きの空気清浄機でより効果的にろ過できると報告している¹⁾。

(4) UVGI 付き空気清浄機設置の注意点⁴⁾

- ・ UVGI ライトを使用する室内空気清浄機は、有害な UV 放射に人をさらさないようにする必要がある。また、アクセスドアを開くと、UVGI ライトは自動的にオフになるようにする。
- ・ ユニットの電源がオフになっている、又はプラグが抜かれている場合に鳴るように、ユニット内アラームをプログラムする必要がある。
- ・ 紫外線による劣化を考慮し、ユニットには、頑丈なコードと病院グレードのプラグが装備される必要がある。

- ・ユニット内の HEPA フィルターは、単独にテストし、真の HEPA フィルター性能を有することを確認する必要がある。
- ・フィルターの周りにリークがあってはならない。
- ・感染性粒子による影響を最小限に抑えるために、排気ファンを HEPA フィルターの下流に配置する必要がある。
- ・ポータブル装置は、移動中又は静止しているときは物理的に安定していて、それ以外の場合は持ち運びが簡単である必要がある。

参考文献

1. Feng Y, et al. Assessing the Filtration Effectiveness of a Portable Ultraviolet Air Cleaner on Airborne SARS-CoV-2 Laden Droplets in a Patient Room: A Numerical Study. *Aerosol and Air Quality Research*. 21(5), 2021.
2. Kujundzic E, et al. Effects of Ceiling Mounted HEPA UV Air Filters on Airborne Bacteria Concentrations in an Indoor Therapy Pool Building. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 55(2):210-218, 2005
3. Green CF, et al. The use of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) in disinfection of airborne bacteria. *Environ Eng Policy*. 3: 101-107, 2002.
4. The Medical Advisory Secretariat Ministry of Health and Long-Term Care (CANADA). Air Cleaning Technologies, An Evidence-Based Analysis. 2005.

3.2.4.16 電気集塵機

(鍵直樹)

空気中の浮遊粉塵の除去については、空調機及び空気清浄機に利用されているものはフィルターによるろ過式である。フィルターの捕集原理は、慣性力、さえぎり、拡散、重力、静電気力である。比較的粗大な粒子は、慣性力、さえぎり、重力により捕集され、微小粒子は、拡散、静電気力により捕集が行われる。よってこれらの効果が最小限になる粒径が 0.2 μm 程度にあり、これよりも大きな粒子、小さな粒子の捕集効率は良い。クリーンルームには、この最も捕集効率の悪い粒径であっても、99.97%の捕集効率を有するフィルターに HEPA フィルターが用いられている。しかし、このフィルターは圧力損失が大きく、フィルターに空気を通過させるためには多くのエネルギーを必要とし、強力なファンが必要となる。よって、オフィスビルなどで用いられる空調機には、中性能フィルターが用いられる。一方家庭用の空気清浄機においては、HEPA フィルターが用いられることがある。しかしながら、これはフィルター繊維を予め帯電させて、静電気力によりフィルターの圧力損失は少なくても、高効率に微小粒子を捕集できるようにしたものである。しかしながら、オイルミストなどを捕集するとフィルター繊維上の帯電が消失し、捕集効率が落ちる。

このような欠点を補うために、電力により静電気力を発生させ、空気の粉塵を荷電し、空気と分離するものに電気集塵がある¹⁾。粒子が帯電することで、電荷に作用する静電気力を受けることとなり、集塵部に捕集するもので、圧力損失が少ないのが特徴である。

一般に電気集塵機は、荷電部と捕集部の 2 段式となっており、1 段目の荷電部は、高電圧を印加した電極で放電をさせ、発生するイオンと浮遊粒子を衝突させ、イオンの荷電を粒子に移行させる。対向する接地電極は平板、円筒形などがある。2 段目の集塵部は、高電圧をかけ、帯電した粒子を電界のクーロン力によって帯電の極性と反対の極性の電極に捕集させる。平行平板の極性を交互に配置することもある。平行平板の間を空気が通過することで、

荷電した粒子は平板に捕集されるが、空気は平板に沿って通過するため、圧力損失が少ない。

電気集塵機は、その捕集機構から微小粒子の捕集を得意とし、経時的な捕集性能の劣化が少なく、安定して捕集することが可能である。また、大風量にも適しており、オフィスなどの建築物の空調機に採用されることが多い。なお、捕集部の洗浄により捕集効率を比較的簡単に維持することが可能である。また、圧力損失が少ないため、送風エネルギーの低減、送風騒音の低下につながる。一方、高圧電源が必要であるため、安全性の観点から制御を厳格に行うことが重要である。

電気集塵機の規格として、JEM1178²⁾があり、基本的な安全性と集塵性能の測定方法を規定している。安全性についてはその他に電気用品安全法(PSE)の適合基準に合致した構造・材料・試験を行っている。また集塵性能については、家庭用の空気清浄機としてJEM1467³⁾、主に業務用としてJACA No. 50-2016⁴⁾があるので、フィルター式の空気清浄機と同様に性能試験が行うことができる。

荷電部においては、放電を行っているためオゾンの発生が問題となる場合がある。高濃度のオゾンの吸引は、呼吸器等への悪影響が懸念される。電気集塵機からの出口濃度がある一定濃度を超えないように配慮している清浄機、放電を制御することや別の荷電方法を用いるような清浄機も開発されている。

参考文献

1. 永吉健太郎：家庭用空気清浄機の微粒子除去技術及び電気集じんの概要と研究動向、室内環境、23, 2, 151-160, 2020
2. 日本電機工業会：JEM1178：電気式空気清浄装置、1975
3. 日本電機工業会：JEM1467：家庭用空気清浄機、2015
4. 日本空気清浄協会：JACA No. 50-2016 空気清浄機の性能評価指針、2016

3.2.4.17 ダブルスキン・エアフローウィンドウ

(山本佳嗣)

感染症対策により積極的換気を行った場合、外気負荷が増加することが予想される。その対策の一つとして、ダブルスキン・エアフローウィンドウシステムにより日射熱を回収し、外気を予暖することによって外気負荷を低減する手法について紹介する。ダブルスキンは2枚のガラスとそれに挟まれたブラインド、換気口、支持材で構成された外装システムである。構成例を図3.2.4.44に示す。一般的な外装ではガラスよりブラインドが室内側にあることが多いが、ブラインドに吸収された熱は再放熱によって室内の負荷になる。しかし、ダブルスキンでは外側ガラスと内側ガラスの間にブラインドを配置することで、キャビティ内に再放熱を行い、自然換気によって外部に排熱される。このような外ブラインド効果による日射遮蔽性能の高さが特徴的であり、特に太陽高度の低い東西面ではその優位性が強調される。また、冬期は自然換気口を閉鎖することによって、キャビティを外部との熱的バッファ空間とし、断熱性能を高める事も可能である。ダブルスキンは換気口を開閉することで日射遮蔽性能と断熱性能を変化させる季節応答型ファサードであると言える。図3.2.4.45に冬期における自然換気口閉鎖時のダブルスキン内温度を示す。日射負荷により冬期においてもダブルスキン内温度は高温になることが分かる。よって、ダブルスキンの内部を換気経路として外気を導入することにより、外気予熱効果が期待できる。但し、ダブルスキン内温度が外気と同等となった場合は、本来のファサードシステムとしての断熱性能が確保できないことになるため通過させる外気量の上限について検討が必要である。

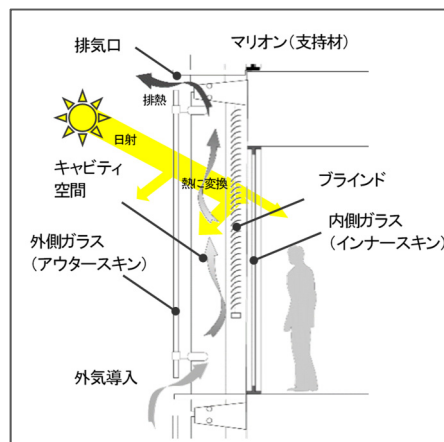


図 3.2.4.44 ダブルスキンの構成

(出典：見る・使う・学ぶ 環境建築, p.78-81, オーム社, 日本建築学会編, 2011.5.26)

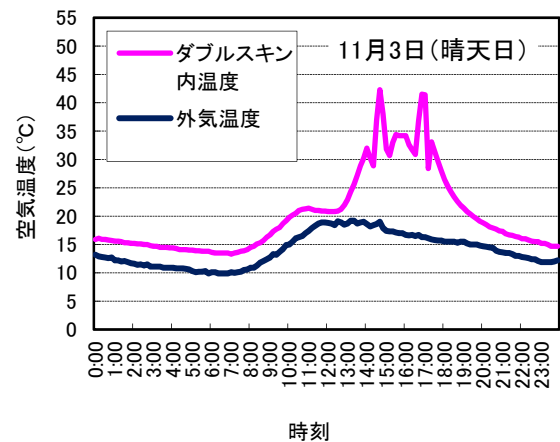
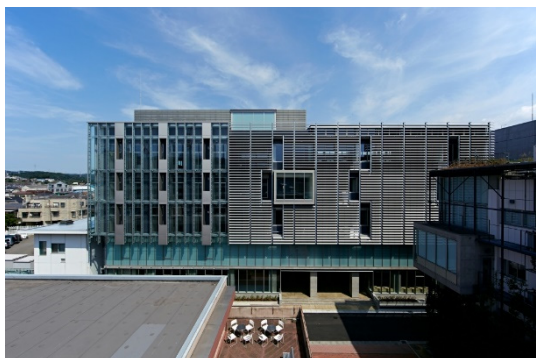


図 3.2.4.45 ダブルスキン内温度

ダブルスキンを利用した外気予熱のシステム例を図3.2.4.46に示す。全熱交換器の外気取り入れ口と排気口を季節によって切り替え、冬期はダブルスキンを経由して外気を導入することにより外気負荷を低減することを意図している。

このようなダブルスキンに対して、排気ファンを用いて2重ガラス内に室内空気を通過させる方式をエアフローウィンドウと呼ぶ。冬期は2重ガラス内を経由した空気を空調機に戻すことにより熱を回収することが可能となり省エネに繋がるが、夏期においては逆に空調機に戻すことにより冷水コイルの冷却負荷が増えることになるため、外気導入量と外部への

排気量がバランスすることが望ましい。よって、感染症対策により外気導入量を増加させた場合、夏期においてはエアフローウィンドウからの直接排気量を増加させると良い。



撮影：鳥村鋼一

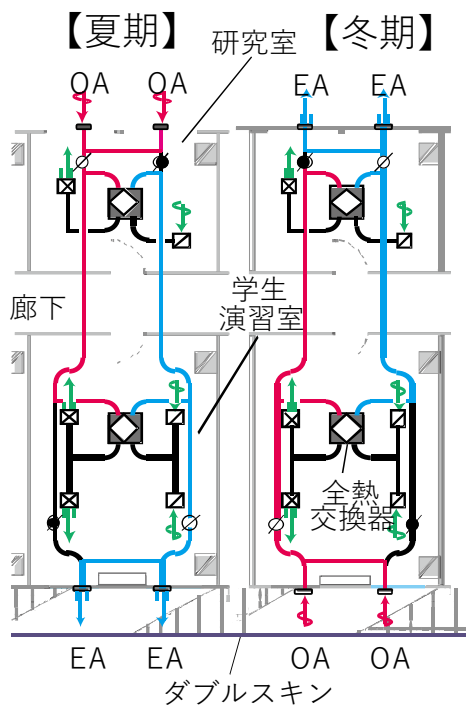


図 3.2.4.46 ダブルスキンを経由した外気導入例(関東学院大学 5 号館)

(2) 中央熱源式空調機における高性能なフィルターへの交換

中央熱源式の空調方式を採用している建物において、空調機(エアハンドリングユニット)による空調が行われている場合は、室内のエアロゾル濃度を低減するために空調機内のフィルター性能を向上させる対応が考えられる。特に室内空気の循環量(還気量)が多い場合は、外気導入による換気に加え、フィルターによるエアロゾルや粉塵の除去を積極的に行うべきである。空調機に導入されるフィルターの種類を図 3.2.5.2 に示す。一般的には粗塵フィルターと中性能フィルターの組み合わせにより外気と室内の粉塵を除去するが、後述のように中性能フィルターにも性能に差があるため、感染拡大時にはより性能の高いフィルターに取り換えることが考えられる。しかし、性能の高いフィルターは目が細かく、室内の発塵量によっては早期に目詰まりが起こり、給気風量低減に繋がる可能性もあるため、除去効率と給気風量の確保、メンテナンス等のバランスを考慮することが必要になる。表 3.2.5.1 にフィルター別の補修効率と特徴について示す。小さな粒径 $0.3\mu\text{m}$ の補修効率が 99%以上となる HEPA フィルターは空気清浄機やクリーンルーム用の空調機に採用される超高性能フィルターであり、通常のコールド空調機にはファンの能力的にもフィルターサイズの点でも設置することは難しい。一般のコールド空調機においては中高性能フィルターにおいて、既に設置されているフィルターから小さな粒子に対する補修効率の高いフィルターに変更することなどが対応として考えられる。将来的な設計のポイントとしては通常時と非常時でフィルターの変更が可能な空調機の採用などが考えられる。



図 3.2.5.2 空調機用各種フィルター

(出典：ビット エアフィルター製品一覧 <http://www.bch.co.jp/products.html>)

表 3.2.5.1 フィルターの補修効率と特徴

種類	効率	用途
ULPA フィルター	定格風量で粒径が $0.15\mu\text{m}$ の粒子に対して 99.9995%以上の粒子捕集率をもち、かつ初期圧力損失が 245Pa 以下の性能を持つエアフィルター(JIS Z 8122)	半導体工場等の清浄度の高いクリーンルーム、手術室、医学・製薬・食品などのバイオクリーンルーム、発電所
HEPA フィルター	定格風量で粒径が $0.3\mu\text{m}$ の粒子に対して 99.97%以上の粒子捕集率をもち、かつ初期圧力損失が 245Pa 以下の性能を持つエアフィルター(JIS Z 8122)	
中高性能フィルター	様々な形式があるが、折込み型は比色法 65~95%(旧 JIS)の性能を持つ。比色法 65%の中性能フィルターは一般的な空調機によく用いられる。	空調機(AHU)の室内空気循環用
粗塵フィルター	様々な形式があるが、パネル型は質量法 60~80%(JIS B 9908-3)の性能を持ち、外気に含まれる粒径の大きな粉塵を除去するなど、プレフィルターとしても用いられる。空調機では粗塵フィルターと中性能フィルターを併用することが多い。	空調全般

WHO は、COVID-19 対策として MERV14 以上のフィルターの採用を推奨している。表 3.2.5.2 に MERV 規格と旧 JIS 規格の対応表を示す。MERV14 とは比色法 95%のフィルターが対応していることが分かる。比色法は現行 JIS(JIS B 9908:2001)では規定されていないが、比色法での性能表記のあるフィルターも多いため、ここでは比色法にて表記している。表 3.2.5.3 に公共建築における空調機フィルターの仕様を示す。中性能フィルターに求められる平均捕集効率は粒径 $0.4\mu\text{m}$ で 40%、 $0.7\mu\text{m}$ で 50%とされており、比色法 95%の性能には至らない。現代の事務所用途においては室内での喫煙を想定しないため、室内粉塵発生源が少なく、フィルターの性能を過剰に上げる必要はない。一方で感染リスク低減の観点からは更に粒径 $0.4\mu\text{m}$ の捕集効率が低いフィルターに変更することは有効であると考えられる。

表 3.2.5.2 ASHRAE と JIS 規格の捕集率の比較(表中の数値はクラスにおける捕集率下限を示す、単位%)

ASHRAE52.2	JIS B 9908 : 2018			グループ	JIS B 9908 : 2011(非エレクトレット)				同 : 2001		
	ePM ₁ ,min	ePM _{2.5} ,min	ePM ₁₀		E(0.4)	E(0.7)	E(2.5)	E(4.0)	E(質量)	E(比色)	
MERV	除電後		初期除電後平均		初期				平均	平均	
1				初期質量 捕集率					< 65		
2										65	
3										70	
4										75	
5									10	80	
6									25	80	
7									40	90	40
8								20	60	90	40
9								35	65		50
10			45					60	75		50
11		36	55	PM ₁₀ 捕集率		30	70	80		60	
12		49	65	PM _{2.5} 捕集率	20	50	85	90		75	
13	49	61	73	PM ₁ 捕集率	40	60	88	90		90	
14	72	78	85		65	80	92	95		95	
15	81	84	88		80	85	92	95		98	
16	92	93	94		90	95	95	95		-	

(出典：大垣豊「各国の一般換気用エアフィルターの規格における捕集率の比較に関する指針(JACA No.53)」『空気清浄』56 巻 1 号 日本空気清浄協会)

表 3.2.5.3 公共建築工事標準仕様書における折込み形エアフィルターのパフォーマンス(平均捕集効率)

形式	中性能		高性能		HEPA	
	標準形	薄形	標準形	薄形	標準形	薄形
厚さ(mm以下)	300	150	300	150	300	150
面風速(m/s)	2.5	2.5	2.5	2.5	1.38	0.76
初期圧力損失(Pa以下)	140	100	170	130	245	
粒子捕集率(%以上)						
0.3 μm	-	-	-	-	99.97	
0.4 μm	40	40	70	70	-	
0.7 μm	50	50	80	80	-	
単位面積当たりの試験粉塵供給量(g/m ² 以上)	880	350	720	280	-	
試験方法	形式 2 に対する試験方法		形式 2 に対する試験方法		形式 1 に対する試験方法	

(出典：国土交通省大臣官房官庁営繕部 公共建築工事標準仕様書(機械設備工事編)平成 31 年版)

図 3.2.5.3 は同一サイズの中性能フィルターにおける比色法 65%(初期圧損 70Pa)と 90%(初期圧損 95Pa)の粒径別捕集率の関係と空調機へのフィルター設置状況を示す。

給気風量の低減は室内温熱環境の悪化に繋がるため、フィルター交換時は風量の低減の影響を確認する必要がある。

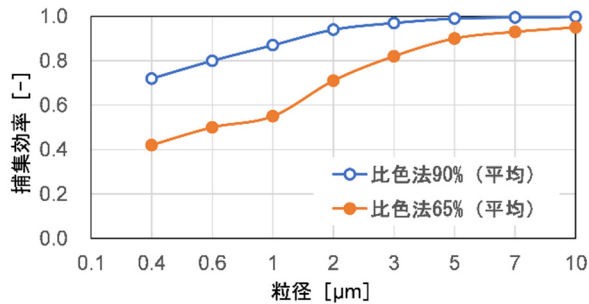
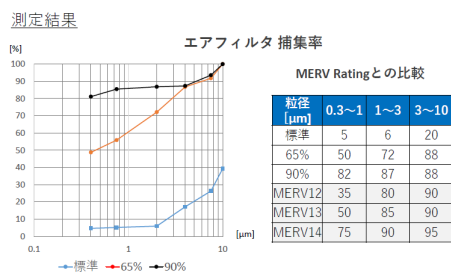


図 3.2.5.3 空調機 中性能フィルター粒径別補修効率(AIJB 用フィロプリーツ SVM 型)

(3) 個別熱源空調方式における高性能なフィルターへの交換

小中規模オフィスや商業店舗等での導入が多い個別熱源空調方式においても室内機のフィルターによるエアロゾル・粉塵の捕集はリスク低減が期待できる。一般的な床置き空気清浄機と比べて風量も大きく、室内に設置される台数も多いため、フィルター変更の効果は大きい。図 3.2.5.4 にビル用マルチ PAC の天井カセット型において、オプション品である中性能フィルターへ変更した場合の捕集効率と給気風量の変化について文献値を示す。ビル用マルチ PAC は風量を調整できる機能を持ち、中性能フィルターに変更する際に給気風量を調整することができる。図 3.2.5.5 に示すような手順にて既存の室内機に中性能フィルターを設置することが可能である。

■ 性能向上エアフィルタの捕集率



■ 性能向上エアフィルタによる風量の低下

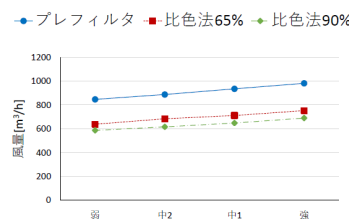


図 3.2.5.4 ビル用マルチ PAC 室内機のフィルター変更による捕集率・風量の変化

(引用文献：古澤、倉淵他：活動に伴う飛沫発生量とその捕集効率に関する研究

日本建築学会大会学術講演梗概集 2021 年)

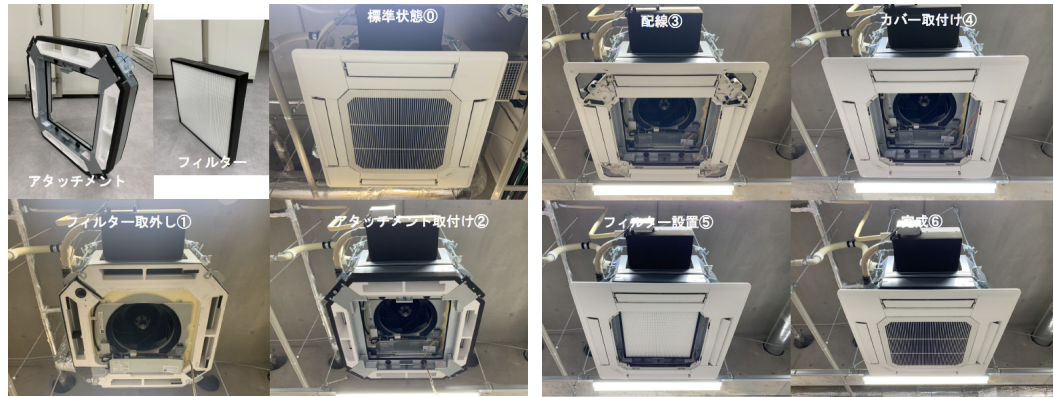


図 3.2.5.5 ビル用マルチ PAC 室内機の中性能フィルター設置手順

(引用文献：古澤、倉淵他：活動に伴う飛沫発生量とその捕集効率に関する研究
日本建築学会大会学術講演梗概集 2021 年)

(4) フィルターによるエアロゾル除去効果の予測

フィルターによる効果を予測するためには、粒径別除去効率を用いて相当換気量に換算し確認する方法が考えられる。感染性エアロゾルに関する室内発生量と許容室内濃度は現段階では確定的な値が存在しないため、除去性能で比較する方法が分かりやすい。対象室におけるエアロゾルの除去性能を表したものを実効換気量と呼び、以下の式より求められる。

$$\text{実効換気量 } Q = Q_{OA} + Q_{fltr} + Q_{de} + Q_{inact} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{式 1}$$

Q_{OA} : 換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

Q_{fltr} : エアフィルターへのろ過効果による相当換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

Q_{de} : 重力沈降による除去に関する相当換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

Q_{inact} : 不活化効果の換気量換算量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

また、 Q_{fltr} を求める式(2)は以下となる。

$$Q_{fltr} = \eta Q_r \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{式 2}$$

Q_{fltr} : エアフィルターへのろ過効果による相当換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

Q_r : フィルターを通過する室内空気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

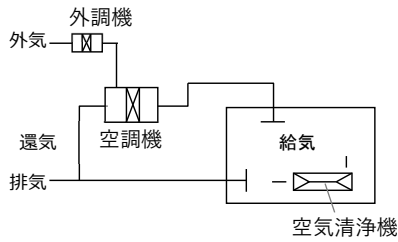
η : 粒径別の粉塵(エアロゾル)除去効率 $[-]$

ここでいう相当換気量とは、換気による導入する外気に感染性エアロゾルが含まれないもの想定し、エアロゾル粒子の除去量に関してフィルターによる除去量と等しい換気量を示しているものである。これは全ての点で実際の換気と同等の除去性能であると評価するものではなく、ある粒径のエアロゾル粒子除去量を換気量に換算したものと理解すべきである。

フィルターはエアロゾル粒径によって除去効率が異なるため、粒径別に相当換気量も変化する。一方で、外気導入による換気では全ての粒径のエロゾルに対して除去効果が期待されるため、換気の確保を第一に考えるべきである。

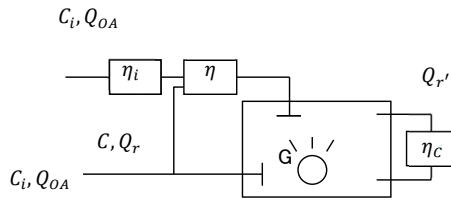
空調システムにおける実効換気量 Q の計算例を以下に示す。この計算は、例えば室内 CO_2 濃度を 800ppm 以下とするための換気量($45\text{m}^3/\text{h}$ 人程度)を実効換気量で目指す場合などに用いるとよい。

<実効換気量 Q の計算例>



左図のシステムにおける感染性エアロゾル除去を対象とした実効換気量は以下になる。但し、感染性エアロゾルは室内で発生し、外気には含まれないと仮定し、重力沈降・不活化による効果は見込まない。

$$Q = Q_{OA} + \eta Q_r + \eta_c Q_{r'} \quad \text{式 3}$$



感染性エアロゾル粒子は外気に含まれないと仮定しているため、ここでは外気処理用フィルターの除去効率 η_i は用いていない。

Q_r や $Q_{r'}$ は実状に近い風量を用いることが望ましく、例えば空調機方式であればVAVの設定下限風量から外気量を除いた風量、空気清浄機では実際の運転風量(中風量など)を用いると良い。VAVの下限風量は選定条件や運用時の設定により異なる。不明な場合は設計最大風量の30%が目安となる。参考のためVAV選定表を図3.2.5.6に示す。

<凡例>

- Q_{OA} : 外気導入量(m³/h)
- Q_r : 空調機フィルターへの還気量(m³/h)
- $Q_{r'}$: 空気清浄機の風量(m³/h)
- η : メインフィルターの除塵効率
- η_i : 外気処理用フィルターの除塵効率
- η_c : 空気清浄機の除塵効率

丸型

型番	型番選定風量範囲							
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500 (CMH)
150*	65	400	630					
200	110	340	800	1130				
250	180	530	1300	1760				
300	250	760	1900	2540				
350	350	1040	2600	3460				

図 3.2.5.6 丸形 VAV 選定表の例(水色が選定可能範囲、黄色が選定後の風量調整可能範囲を示す)

(引用文献: 空研工業カタログ https://www.kuchogiken.co.jp/pdf/catalog_7032.pdf)

空調機の循環風量や外気導入量は、設計図書・空調機の仕様書・室内粉塵計算書などから確認することができる。室内粉塵計算書は建築物衛生法における特定建築物を設計する際に作成されることが多く、室ごとの循環風量や外気導入量、採用されているフィルター性能などが記載されている。表 3.2.5.4 に粉塵計算書の例を示す。全ての建物に整備されている計算書ではないが、整備されている場合は必要な情報が一覧で整理されているため有用な情報源となる。

表 3.2.5.4 室内粉塵計算書の例

系統	室名	床面積 Af (m ²)	密度 1/N (人/m ²)	定員 Qi (人)	外気量 Qr (m ³ /h)	循環風量		室内 発塵量 (mg/(人・h))	室内 発塵量 (mg/h)	外気 フィルタ- 効率(仮設定) η_l	室内機 必要除塵効率 η_c	設計 フィルタ-効率		室内粉塵 濃度 C mg/m ³	判定
						1人当たりの Qr' (m ³ /h)	発塵量 (mg/(人・h))					外気処理 DOP 法	循環 比色法		
AHU-4E-in	事務室 1	841.5	0.20	168	3,360	19,196	5	840	0.65	0.16	65%	65%	0.060	OK	
AHU-5E-in	事務室 1・2	495.8	0.20	99	3,100	12,426	5	495	0.65	0.07	65%	65%	0.054	OK	
AHU-6E-in	事務室 1	641.4	0.20	128	2,650	16,570	5	640	0.65	0.13	65%	65%	0.054	OK	
ACP-1-1-3	打合せ室	15.0	0.40	6	150	330	5	30	0.65	0.26	65%	65%	0.087	OK	
FCU-8A	会議室大 1	48.36	0.50	24	600	2,120	5	120	0.65	0.16	65%	65%	0.071	OK	
FCU-8A	会議室大 2	43.07	0.50	22	530	2,190	5	110	0.65	0.15	65%	65%	0.066	OK	

第4章 住宅 感染拡大時に備えたウイルス感染症対策技術

4.1 住宅 感染拡大時の建築物におけるウイルス感染症対策の実態

(菊田弘輝)

COVID-19 の新規陽性者数が急増した第 5 波(2021 年 8 月中旬以降にピーク)の際、病床が逼迫したことで、入院できずやむなく自宅療養せざるを得ない状況が続いた。当時、全国で 13.5 万人(2021 年 9 月 1 日時点)が自宅で療養し、ウイルスの感染経路となる接触感染、飛沫感染、空気感染(エアロゾル感染)への対応が為された。

Wells-Riley 感染確率モデルでも明らかのように、家庭内感染を完全に回避することは難しく、知らない間に家族に感染が広がるケース、自宅療養者の対応で家族に感染が広がるケースが想定される。仮に症状から感染者と疑わしき同居者が発生した場合、第一に接触機会を減らすことが大切である。しかし、エアロゾル感染を前提とした隔離の難しさは否めず、緊急時において同居者が住宅内の換気・気流性状を意識することは非常に難しい。

そこで、感染拡大時の建築物におけるウイルス感染症対策の実態を把握するため、住宅を対象とした独自のアンケート調査結果¹⁾及び各社のアンケート調査結果をもとに、①COVID-19 が生活に与える影響、②住宅における COVID-19 対策、③COVID-19 がエネルギー消費に与える影響について報告する。

なお、独自のアンケートとは、住宅における住まい方と居住環境、居住者の健康状態の関係を明らかにするため、全国 8 都道府県(北海道、秋田県、宮城県、東京都、大阪府、高知県、長崎県、沖縄県)の戸建・集合住宅に住む居住者(20 代、30 代、40 代、50 代、60 代)を対象に、WEB アンケート調査を行い、約 2,000 件の回答を得た。質問項目は、回答者属性、住宅属性、設備、知識・情報、住宅問題、住まい方、COVID-19 に分かれ、全 50 問程度で構成されている。

アンケートは 2 回行われ、具体的には 2020 年 12 月に実施した 2020 年 4 月から 2020 年 8 月における実態(以下、2020 年夏期)、2021 年 9 月実施した 2020 年 10 月から 2021 年 2 月における実態(以下、2021 年冬期)である。本節では独自のアンケートで調査した COVID-19 に関連する項目を中心に取り扱う。

4.1.1 新型コロナウイルス感染症が生活に与える影響

COVID-19 の感染拡大によって在宅勤務を導入する企業や休校措置をとる学校が増加し、居住者の生活に大きな変化をもたらした。本項では、そのような新しい生活様式に関連し、①COVID-19 が生活に与える影響について報告する。

4.1.1.1 在宅勤務の導入

図 4.1.1.1 に全国と東京都 23 区の在宅勤務の実施頻度²⁾を示す。これまで 1 割程度であった全国の在宅勤務の実施頻度に対し、政府による初の緊急事態宣言が発令された直後の 2020 年 5 月において 3 割程度に上昇した。2 度目の緊急事態宣言の発令直前の 2020 年 12 月では一旦減少したものの、3 度目の緊急事態宣言が発令された 2021 年 4～5 月では再び 3 割程度に上昇し、2021 年 9～10 月においても同じ水準であった。

一方、東京都 23 区でみると、全国に比べて高い水準となっており、4 度目の緊急事態宣言が発令された 2021 年 9～10 月では 5 割以上で在宅勤務が実施されていた。2021 年 8 月の東京都の新規陽性者数がピークで約 6,000 人まで上昇し、急激に減少に転じたものの、在宅勤務の実施頻度は維持されていた。

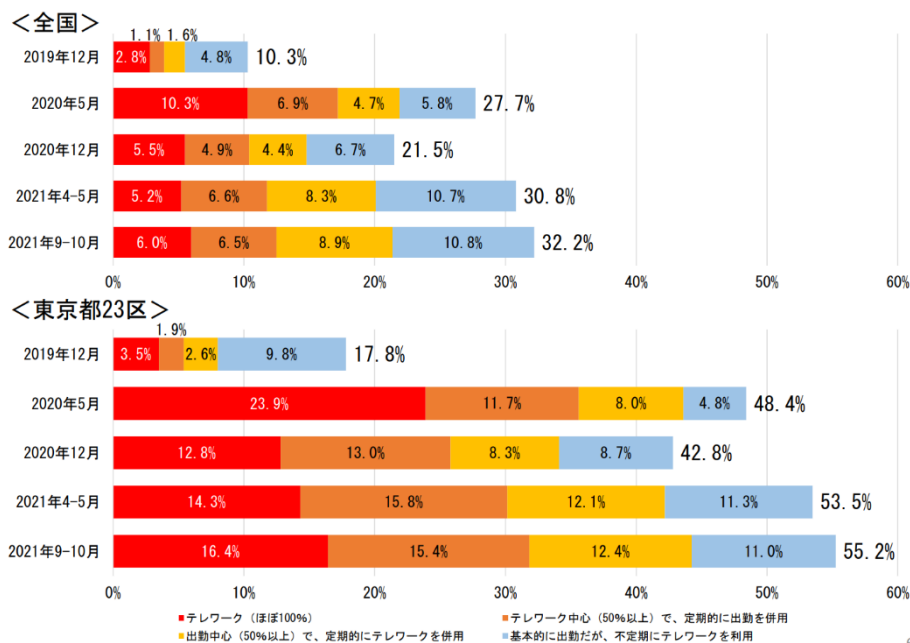


図 4.1.1.1 全国と東京都 23 区の在宅勤務の実施頻度

図 4.1.1.2 と図 4.1.1.3 に在宅勤務経験の有無と感染拡大以降の働き方³⁾を示す。74.0%と多くの方が初めて在宅勤務を体験していた。また、「在宅勤務」は半数程度で実施され、他にも「通勤ラッシュを避けた時差通勤」や「オンライン会議」等、多様な働き方が実施されていた。

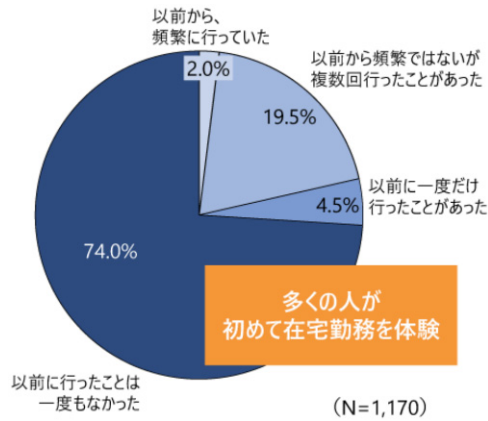


図 4.1.1.2 新型コロナウイルス感染拡大以降の在宅勤務実施者における以前の在宅勤務経験の有無(30-40 歳代の子どもの持つ男性)

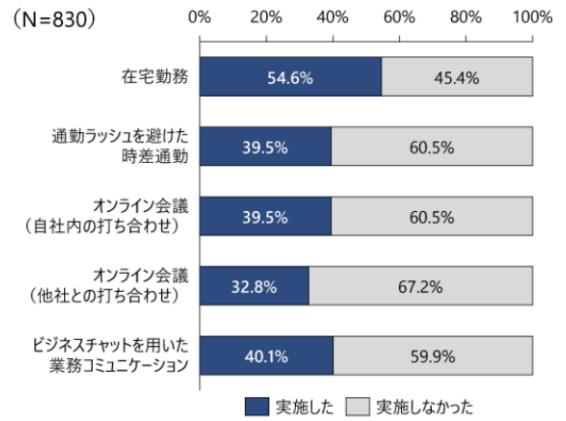


図 4.1.1.3 新型コロナウイルス感染拡大以降に実施した働き方(30-40 歳代の子どもの持つ男性)

4.1.1.2 在宅時間・人数の変化

図 4.1.1.4 に感染拡大前後における生活の変化³を示す。「仕事全般にかかる時間」については、35.0%が「減った」と回答し、「生活全般(家事や育児など)にかかる時間」や「同居する家族(子ども)と過ごす時間や頻度」については、57.3~78.4%が「増えた」と回答した。このことから、COVID-19 の感染拡大前に比べて在宅時間が増加したと考えられる。

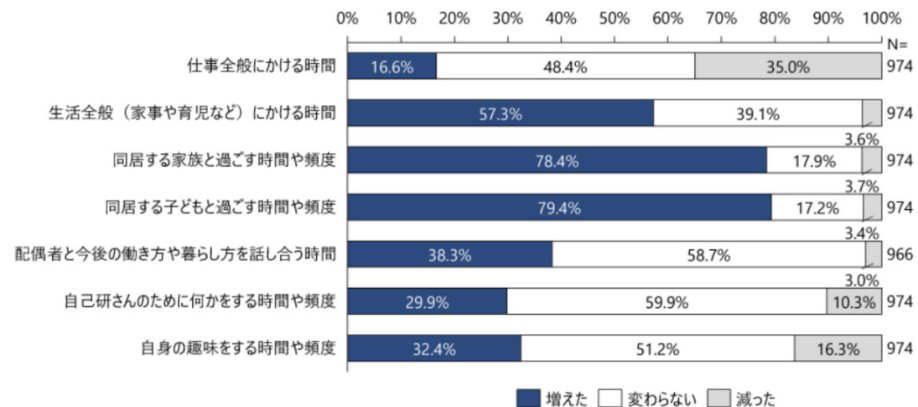


図 4.1.1.4 新型コロナウイルス感染拡大の前後での変化(30-40 歳代中学生以下の子どもの持つ男性・在宅勤務実施者)

図 4.1.1.5 に平均在宅人数・時間増加の推移を示す。なお、全て日平均で整理しており、前年同月との比較を行った。政府による緊急事態宣言が初めて発令された 2020 年 4 月においては、在宅人数の増加が一世帯当たり 1.03 人であり、在宅時間の増加は 1 人当たり 2.70 時間であった。つまり、4 人家族の場合、10.80(=2.70×4)時間に相当することを意味する。

一方、COVID-19 の感染拡大以降、初めて迎えた夏期の 2020 年 8 月では、在宅人数・時間ともに 4 月に比べて低下しており、在宅人数の増加が一世帯当たり 0.81 人、在宅時間の増加は 1 人当たり 2.13 時間であった。これは 2020 年 5 月末に緊急事態宣言が解除されたことで、在宅勤務を緩和する企業に加え、休校を解除する学校が増加したことが要因であると考えられる。

また、一般的に感染症が流行しやすい冬期の2021年2月では、在宅時間・人数ともさらに減少したものの、2度目の緊急事態宣言の影響を受けたことで、在宅人数の増加が一世帯当たり0.70人、在宅時間の増加は1人当たり2.00時間であった。

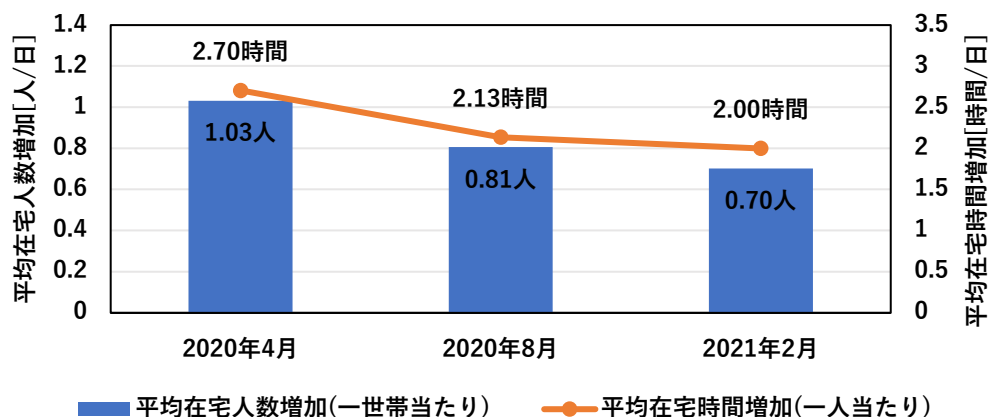


図 4.1.1.5 平均在宅人数・時間増加の推移(2020年夏期、2021年冬期)

参考文献

- 川崎嵩、菊田弘輝、林基哉、阪東美智子、長谷川兼一、澤地孝男：新型コロナウイルス感染下における居住リテラシーに関するWEB調査 その1 春期及び夏期の調査結果
日本建築学会北海道支部、2021年6月
- 内閣府：第4回 新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・行動の変化に関する調査 2021年11月 全国10,128人を対象とし、性別・年齢階級別(10歳毎)、地域別(7区分)に割り当てている。<https://www5.cao.go.jp/keizai2/wellbeing/covid/index.html>
- 野村総合研究所：新型コロナウイルス感染症拡大に伴う在宅勤務等に関する調査 2020年6月 30~40歳代の子どもを持つ男性を対象としている。
<https://www.nri.com/jp/keyword/proposal/20200617>

4.1.2 住宅における新型コロナウイルス感染症対策

COVID-19の影響を受け、居住者が住宅で過ごす時間は以前より増加していた。本項では、居住者のCOVID-19に対する意識や行動の変化に関連し、②住宅におけるCOVID-19対策について報告する。

4.1.2.1 主な対策

図4.1.2.1に夏期における年代別の感染症対策(複数回答、2020年夏期)、図4.1.2.2に冬期における年代別の感染症対策を示す。各年代で「手洗い・うがいをしている」と回答した居住者はいずれも9割を超えており、一般的な対策として年代を問わず広く認知され、実践されていた。また、半数程度が「換気量を増やしている」、3割程度が「空気清浄機を使用している」と回答し、接触感染、飛沫感染だけでなくエアロゾル感染に対する意識もみられた。

一方、「消毒剤を使って室内を清掃している」においては、他の年代に比べて20代がやや高かった。なお、COVID-19の感染状況が日々変化していく中で、基本的な感染症対策の傾向は夏期と冬期で概ね共通していた。

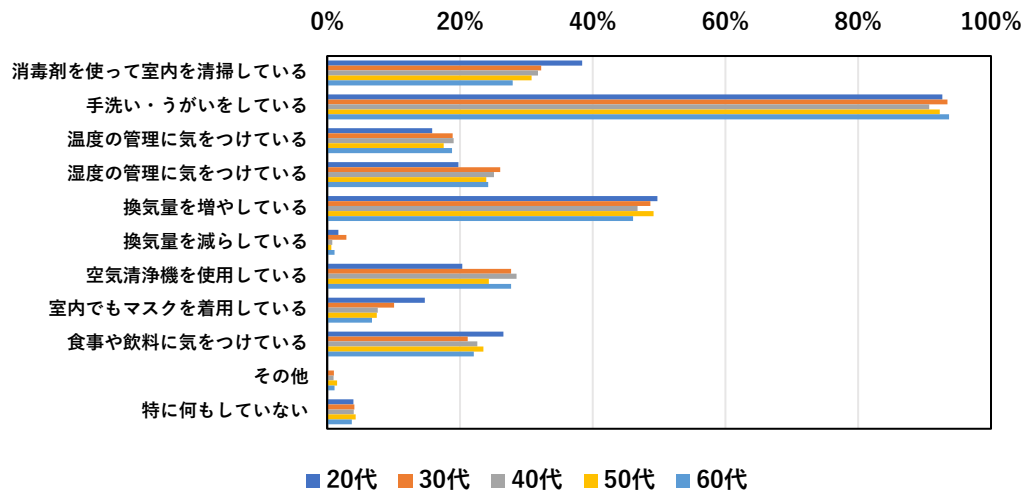


図 4.1.2.1 夏期における年代別の感染症対策(複数回答、2020年夏期)

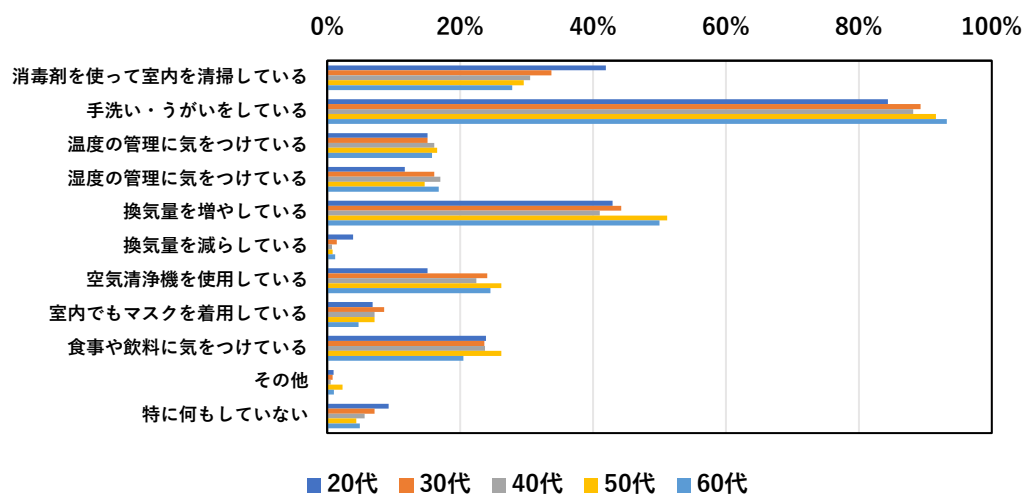


図 4.1.2.2 冬期における年代別の感染症対策(複数回答、2021年冬期)

4.1.2.2 夏期の換気対策

住宅における換気対策として、窓の開放による換気が挙げられる。厚生労働省¹⁾は夏期の窓の開放による換気の方法として、居室の温度を 28℃以下、相対湿度を 70%以下に維持できる範囲内で、2方向の窓の常時開放を示している。

年代別の感染症対策(図 4.1.2.1)において、「換気量を増やしている」と回答した居住者に対して、換気量の増やし方を尋ねた(図 4.1.2.3)。なお、「定期的に」とは1時間に1回ほど数分間程度の開放を指す。その結果、「常に2方向以上の窓を開けるよう心がけていた」との回答が4割以上を占めており、窓の開放による積極的な換気対策が行われていた。

そこで、エアコン運転時(運転モードは問わない)の窓の開放についてさらに尋ねた(図 4.1.3.3)。「常に窓を開けるように心がけていた」が2割程度、「定期的に開けていた」が4割以上であったことを踏まえると、エアコン運転時においても家庭内での感染リスクに配慮していたといえる。

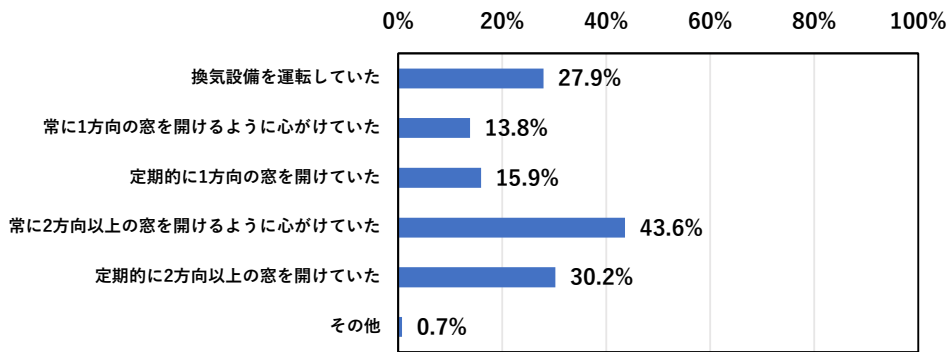


図 4.1.2.3 換気量の増やし方(複数回答、2020年夏期)

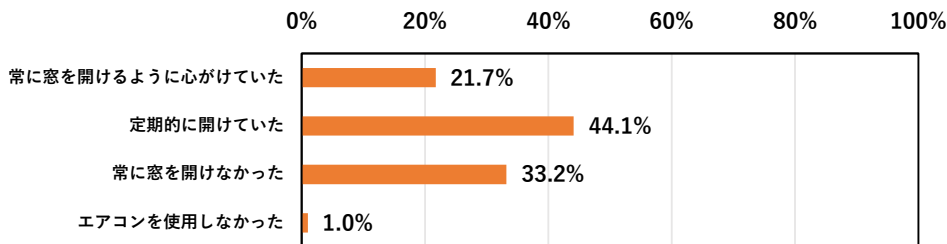


図 4.1.2.4 エアコン運転時の窓の開放(2020年夏期)

4.1.2.3 冬期の換気対策

厚生労働省²⁾は冬期の窓の開放による換気の方法として、居室の温度を18℃以上、相対湿度を40%以上に維持できる範囲内で、1方向の窓の常時開放を示している。

夏期と同様に、年代別の感染症対策(図 4.1.2.2)において、「換気量を増やしている」と回答した居住者に対して、換気量の増やし方を尋ねた(図 4.1.2.5)。その結果、「常に2方向以上の窓を開けるよう心がけていた」、「定期的に2方向以上の窓を開けていた」との回答がそれぞれ3割以上を占めており、1方向に限らず2方向以上の窓の開放による積極的な換気対策が行われていた。また、全体的に夏期に比べて冬期の方が上昇しており、COVID-19の感染拡大に対する意識と行動の変化の表れであると考えられる。

続いて、暖房運転時の窓の開放についてさらに尋ねた(図 4.1.2.6)。通常、暖房しながら窓の開放を行うことは限られているが、「定期的に開けていた」が夏期よりも多い5割以上であったことから、居室の温度に十分に配慮しながら、こまめに換気を行っていたと考えられる。

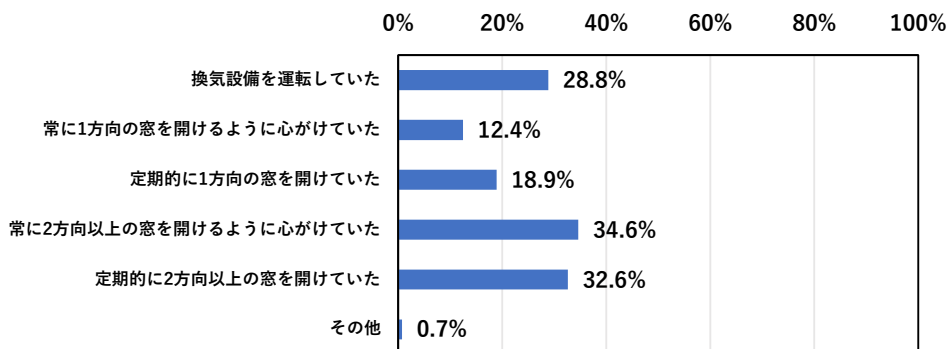


図 4.1.2.5 換気量の増やし方(複数回答、2021年冬期)

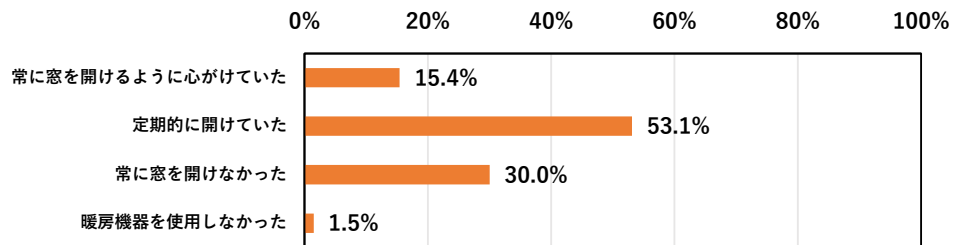


図 4.1.2.6 暖房運転時の窓の開放(2021年冬期)

4.1.2.4 換気・空調設備の清掃

図 4.1.2.7 に換気設備(給気口・排気口、但しキッチンレンジフードは除く)の清掃頻度を示す。その結果、最も多かった回答は「清掃したことがない」で4分の1程度を占めており、換気設備に対する清掃の意識が低かった。「半年に1~2回」、「年に1~2回」、「年に1回未満」はいずれも2割前後であり、COVID-19の感染拡大以降でも換気設備の清掃頻度が少ない状況に置かれていた。換気量を増やすための方法として、換気設備の風量変更だけでなく清掃の重要性³⁾を正しく認識してもらう必要がある。

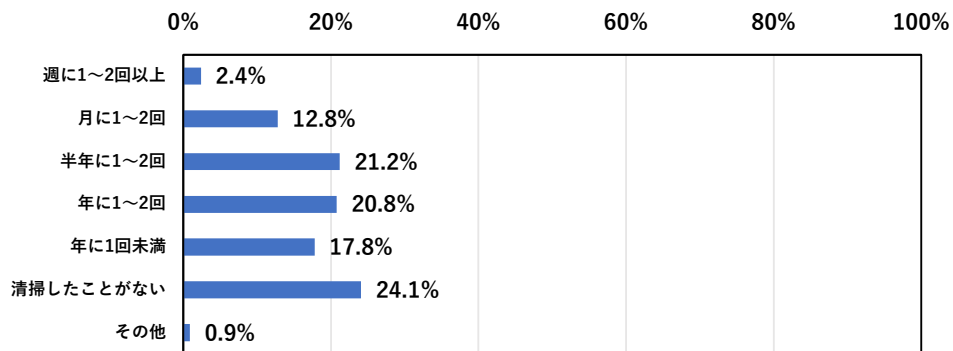


図 4.1.2.7 換気設備の清掃頻度(2020年夏期)

図 4.1.2.8 にエアコン(フィルター)・空気清浄機の清掃頻度を示す。なお、エアコンにおいては、「清掃機能がついている」の回答分(12.9%)を除いている。その結果、換気設備(図 4.1.2.7)に比べて清掃頻度は多く、特に空気清浄機に対する清掃の意識が高かった。

エアコンで最も多かった回答は「半年に1~2回程度」であり、冷房と暖房を切り替える時期(4~5月、9~10月頃)に清掃を行っていると考えられる。空気清浄機で最も多かった回答は「月に1~2回程度」、「半年に1~2回程度」でいずれも3割程度であり、「週に1~2回以上」も1割程度であった。それに対し、「年に1回未満」、「清掃したことがない」はエアコン・空気清浄機ともに1割未満であった。

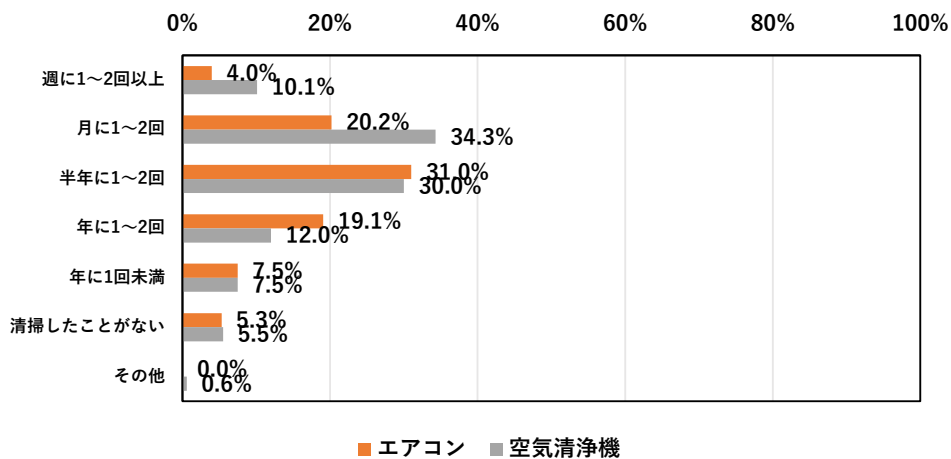


図 4.1.2.8 エアコン・空気清浄機の清掃頻度(2020 年夏期)

参考文献

1. 厚生労働省：熱中症予防に留意した「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法
2020 年 6 月 <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000640920.pdf>
2. 厚生労働省：冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法
2020 年 11 月 <https://www.mhlw.go.jp/content/10906000/000698849.pdf>
3. 建築環境・省エネルギー機構：住宅用機械換気設備の計画と性能評価 2016 年 9 月

4.1.3 新型コロナウイルス感染症がエネルギー消費に与える影響

COVID-19 の感染拡大によって居住者の在宅時間が増加したことで、住宅におけるエネルギー消費量とともに光熱費(特に電力料金)の増加が予想される。本項では、在宅勤務や換気対策等に関連し、COVID-19 がエネルギー消費に与える影響について報告する。

4.1.3.1 エネルギー消費量の推移

図 4.1.3.1 に住宅形態別の電気料金(平均値)の推移を示す。いずれの時期においても、集合住宅に比べて戸建住宅の電気料金が大きく、その差は 3,000~4,000 円前後であった。各年度の比較では、2019 年度に比べて 2020 年度の電気料金が上昇しており、4 月と 8 月が 2,000 円以上、2 月は数百円程度であった。これは在宅勤務等による在宅時間の増加によって電力使用量が増加したことが予想される。

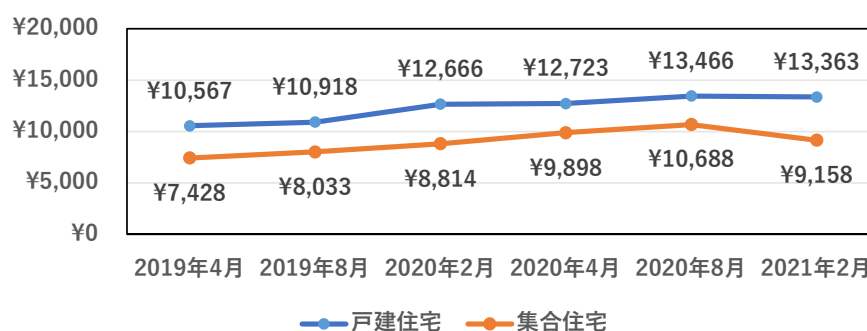


図 4.1.3.1 住宅形態別の電気料金(平均値)推移(2020 年夏期、2021 年冬期)

参考までに、光熱費ではなく図 4.1.3.2、図 4.1.3.3 に夏期と冬期における家庭のエネルギー消費量(電気・ガス・灯油の合計)の同年同期比較¹⁾を示す。

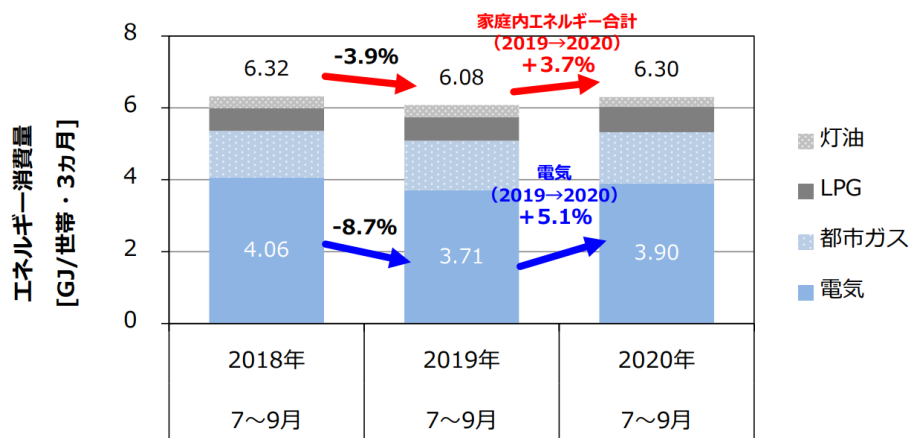


図 4.1.3.2 夏期における家庭のエネルギー消費量(電気・ガス・灯油の合計)の前年同期比較

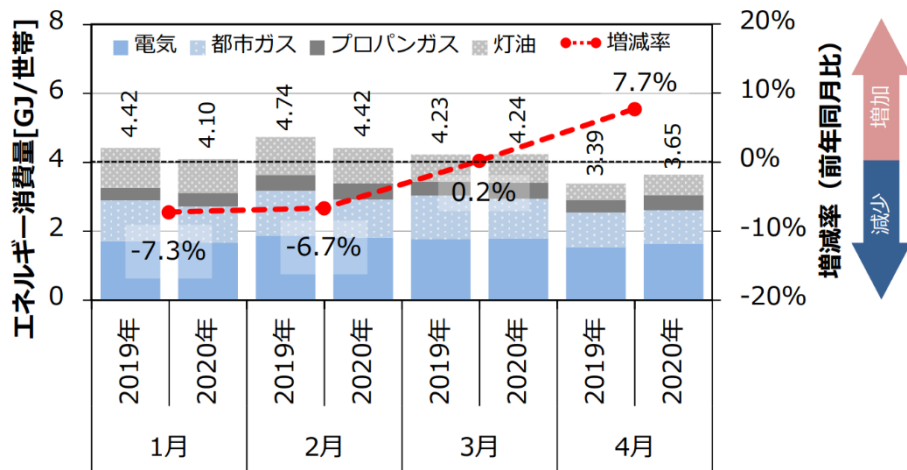


図 4.1.3.3 冬期における家庭のエネルギー消費量(電気・ガス・灯油の合計)の前年同期比較

また、全国を対象としていないが、スマートメータデータを活用した知見(2021年7月、電力中央研究所)、HEMSデータを活用した知見(2021年7月、旭化成ホームズ)について URL と概要を以下に示す。

<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/discussion/download/21002dp.pdf?v2>

9 都県(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県、静岡県(東部のみ))の 11,925 世帯が対象

→年間電力需要(2020年3月~2021年2月)は約 150kWh(約 4%)増加し、日中から夜にかけての需要増が顕著であり、特に平日の変化が大きかった。

<https://www.asahi-kasei.co.jp/file.jsp?id=851257>

9 都府県(埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、愛知県、京都府、大阪府、兵庫県、福岡県)の PV 搭載の戸建住宅 2,427 棟が対象

→2020年2月以降、年間電力消費量は 9.7%プラス、月別で最も増加したのは 2021年1月、行動変容に伴う 2019年比の 1日あたりの増加量は、約 3kWh と見積もられる。

参考文献

1. 住環境計画研究所：新型コロナウイルス(COVID-19)の感染拡大及びその防止に伴う家庭のエネルギー消費への影響分析(第一報・第三報) 2020年6月・11月
<http://www.jyuri.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2020/06/79f0a3c0aeb29dbf494e68734d461a0d-1.pdf>
https://www.jyuri.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2020/11/201127_JYURI-report.pdf

4.1.3.2 在宅勤務とエネルギー消費量の関係

住宅形態別の電気料金(平均値)推移(図 4.1.3.1)を踏まえて、電気料金変化の主な理由を尋ねた(図 4.1.3.4)。9 割以上が電力使用量の変化を認識しており、「生活家電の使用時間」が最も多かったことを考慮すると、在宅勤務だけではなく行動制限等といった外出を控える傾向が高まったことが影響した可能性がある。

一方、「照明の点灯時間」に比べて「冷暖房機器の使用時間」が少なかったが、特に窓の開放による冷暖房機器の運転方法の変化についてさらに尋ねた(図 4.1.3.5、図 4.1.3.6)。3 割程度が「エアコンの運転時間が以前より増加した」、2 割程度が「暖房機器の運転時間が以前より増加した」と回答しており、在宅時間が長くなったことに加え、換気量を増やしながらか冷暖房を行う必要があったため、居室の温湿度管理の点で運転方法の変化が生じていた。

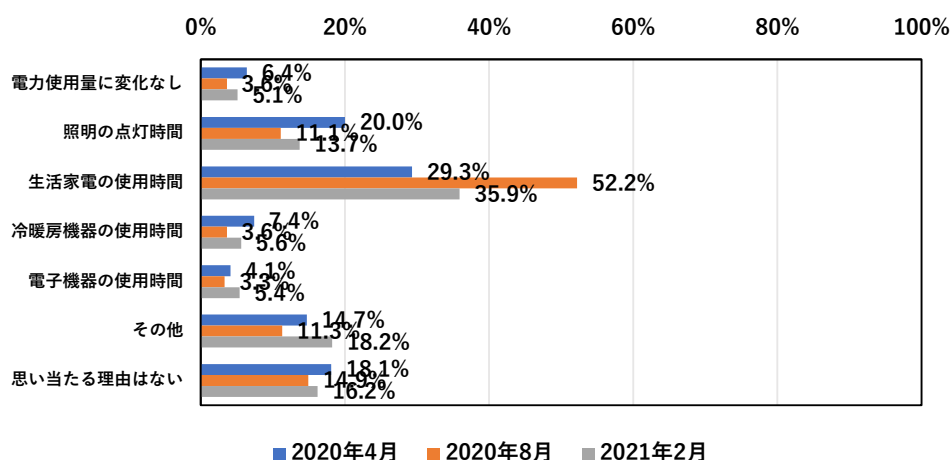


図 4.1.3.4 電気料金変化の主な理由(2020 年夏期、2021 年冬期)

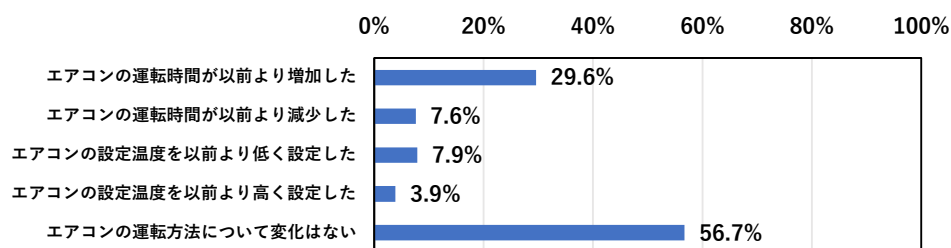


図 4.1.3.5 窓の開放によるエアコンの運転方法の変化(複数回答、2020 年夏期)

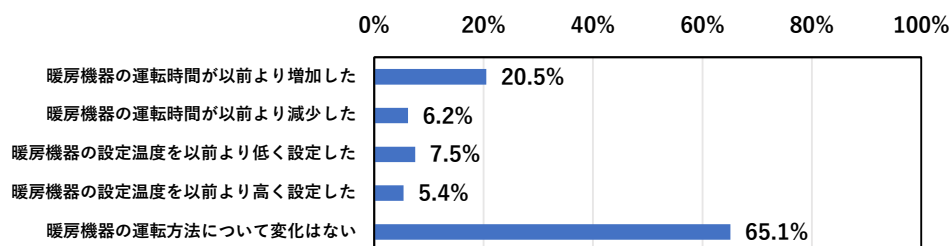


図 4.1.3.6 窓の開放による暖房機器の運転方法の変化(複数回答、2021 年冬期)

4.2 住宅 ウイルス感染症対策技術

(鍵直樹)

住宅における感染対策としては、まずは家庭外での感染を防ぐことが最も重要である。家庭外で感染した後、無症状の時期に同居者と接近、食事などで感染がひき起こることが考えられ、感染を防ぐことが非住宅と比べても特に難しい。また、非住宅と同様に家庭内で常に感染を想定して予防策を取り続けることは容易ではない。

住宅においても家庭内感染を防止するためには、3つの密の回避など基本的な感染対策となる。家庭外での感染対策、帰宅時の手指衛生に加えて、特別な感染対策を付加する必要はないと考えられる。換気については、機械換気設備があれば、設計当初の通り適切に運転していることが必要で、定期的な換気設備のメンテナンスを行うことで、換気量を維持し続けることが重要となる。また、機械換気設備のない住宅等では自然換気が必要になることとなるが、夏期や冬期においては、室内温度、湿度を適切な範囲に維持することも考慮しなければならない。

4.2.1 建築計画における接触感染対策

4.2.1.1 動線計画

(担当：金勲、執筆：ヤマト住建 入口泰尚)

住宅におけるウイルス感染症対策として居室空間に有害な物質を持ち込まないよう外部からの帰宅動線を考慮することが重要となる。帰宅後の基本感染対策としては手洗い・消毒、外出着の脱衣さらには洗濯、そして人込みが多い場所からの帰宅の際にはシャワーを浴びることが厚生労働省からも推奨されている。そこで動線計画において玄関から外出着用のクローク、洗面、脱衣室及び浴室を衛生区画として食・住区画と分離し、直接アクセスできる経路とする配慮が必要となる。

まずCASE1は玄関からシューズクロークを通り直ぐに手洗いできるように洗面を設けた例である。シューズクロークを少し大きくとることで外出着を収納することができる。(図4.2.1.1、図4.2.1.2)

次にCASE2は玄関・シューズクロークから洗面室・脱衣室を通り居室に入室できる動線とした例である。動線上の扉を引き戸とし、開けた状態にすることで手洗い、脱衣が非接触にて行うことができる。



図 4.2.1.1 CASE1 実例プラン



図 4.2.1.2 CASE1 玄関横に洗面を設置し直ぐにアクセスできる例

さらに CASE3 はシューズクロークの他に上着だけでなくバックや宅配の荷物等置けるよう洗面室までの動線途中に大きめのクロゼットを設けた例である。クロゼットの先に洗面脱衣室・浴室を配置し直線的にひとつの動線上にまとめたプランである。(図 4.2.1.4、図 4.2.1.5)

またこのように衛生区画を分離することで、当該区画を換気計画にて負圧に保つことで感染物質の拡散防止にも有効とすることができる。



図 4.2.1.3 CASE2 実例プラン

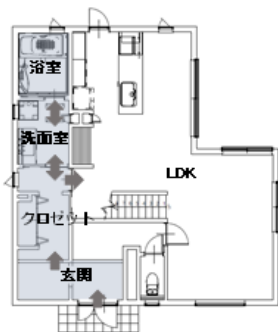


図 4.2.1.4 CASE3 実例プラン



図 4.2.1.5 CASE3 玄関～クロゼット～洗面～浴室を直線的動線でまとめた例

4.2.1.2 抗菌・抗ウイルス建材

(金勲)

接触感染は発生源をなるべく減らすことと汚染面を触らないこと、また自分の顔を触らないことが大前提となる。住宅は家族構成員と個人の領域であり、接触感染対策としては動線計画、抗菌建材の使用や表面消毒が考えられる。室内での動線計画の例は前節で説明した。

住宅は家族同士が触れ合う場所であるため密接な接触、各種表面の共有、同空間での長時間滞在など 3 密で言われる全ての要素が揃う可能性がある。そのため、住宅内では接触感染対策を取りにくく、中でも特に住宅内で接触感染のリスクが高くなると予想される場所は、食堂、居間、更衣室・洗面所、浴室、トイレなどである。

住宅全体に非接触型の自動装置を導入することは現実的ではないが、玄関洗面の水栓はセンサー式にすることや、頻繁に触る箇所は薬剤を用いた小まめな清拭消毒が有効と考えられる。

光触媒や抗菌コーティングをはじめ、抗菌、抗ウイルス建具や建材として壁材、床材、階段部材、手すり、ドア、収納などが販売されている。抗菌・抗ウイルス建材は高齢者福祉施設や病院などを中心に使われている。大手メーカーは微生物やウイルスを用いた性能試験結果を公表しているが、新型コロナウイルスに対する効果を直接証明している訳ではなく、その効果に関しても上述内容と同様である。また、製品の性能実験結果からは一定の殺菌効果が期待できるが、新型コロナウイルスへの効果が明白でないものも多く、実空間での不活化・低減速度、持続性能などの実効果をはっきり定めるのは難しい。

表面には清掃や薬剤清拭、UV 殺菌などが有効であり、人が頻繁に利用する場所での表面消毒が有効である。薬剤はアルコール、界面活性剤、次亜塩素酸ナトリウム、次亜塩素酸水など、そして特定波長の UV が新型コロナウイルスに有効であることが示されている。薬剤は

噴霧ではなく清拭で処理する。UV 装置は照射角度や人への健康影響に気をつける必要があるが²⁾、日本国内で住宅用 UV 装置はまだ希である。

空間噴霧による表面殺菌方法も存在するが、WHO や厚生労働省では噴霧による表面殺菌は濃度的に現実的でないことや人体への健康影響が懸念されるため推奨しないとしている³⁾。高濃度噴霧と特殊処理を行うことで表面と空間を殺菌消毒する技術は、あくまでも専門業者による処理であり、人がいない空間での作業と安全が確保できる後処理を施してからの引き渡しになる。

参考文献

1. 日本産業衛生学会、オフィス業務における新型コロナウイルス感染予防・対策マニュアル、<https://www.sanei.or.jp/images/contents/444/COVID19MANUAL1-OFFICE.PDF>
2. CDC、<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/more/science-and-research/surface-transmission.html>
3. 新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について(厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ)https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html

4.2.2 通風・換気計画

(担当：金勲、執筆：積水ハウス 梅野徹也)

不特定多数が利用する商業施設などの一般建築と異なり、住宅では居住者が主な利用者であり、感染症対策の主な対象者である。対象が限定される反面、生活する上で居住者同士の接触を避けることが難しいことから、居住者の中にウイルス感染者が含まれるかどうかによって、感染症対策の考え方を変える必要がある。

居住者に感染者がいない平常時は、外部からのウイルス侵入を防ぎ、生活空間の空気を清浄に維持することが求められる。外部から住宅内へウイルスが侵入する経路として帰宅者によるウイルスの持ち込みが考えられ、玄関がウイルスの持ち込まれる可能性の高い空間である。玄関から住宅内に侵入したウイルスが、居住者が滞在する LDK などの生活空間まで広がらないよう、生活空間を風上(正圧)、玄関、廊下などを風下(負圧)として空気が流れるように換気システムの給気口、排気口を配置する換気ゾーニングに配慮した設計が重要となる(図 4.2.2.1)。帰宅後すぐに手洗いや着替えができるよう、洗面コーナーや収納を玄関付近に設置することも、帰宅時に外部から持ち込まれたウイルスが生活空間へ侵入するリスクを低減につながる。

居住者のいずれかがウイルスに感染し住宅内に滞在する場合は、感染者と非感染者の生活動線を区分するとともに、感染者が滞在する空間が風下(負圧)となるよう、平常時とは換気ゾーニングを変更する必要がある。感染者の隔離を想定した居室に隣接して洗面コーナーを設けるなど感染者の行動範囲をできる限り制限したうえで、住宅全体の換気とは別系統の換気設備を設置するなど、隔離空間の空気が生活空間に広がらないよう確実に排気することが望ましい。

来客時など室内に多人数が在室する場合、その中に感染者が含まれている可能性を考えると、生活空間において平常時より多くの換気量を確保し、ウイルスなどの汚染物質の濃度を低く維持することが求められる。在室者の数に応じて居住者自ら換気量を調節できることが望ましく、換気システムの操作スイッチの配置に配慮することに加え、空気清浄機によってウイルス濃度を直接低減することも対策として考えられる。

いずれの場合も、ウイルスの発生、侵入の恐れがある空間を負圧、清浄な空気環境を維持したい生活空間を正圧に保つための換気経路を制御しやすいこと、熱交換によって換気量を増やした際にも熱損失増加を抑えられることから、換気方式は第1種熱交換換気が推奨される。

窓開放による通風は多くの外気導入を期待できるとともに、感染者の状況によって通風量を調整しやすいことから、有効な感染症対策である。その一方、外部風速によって外気導入量が大きく変わることで、外部風向によっては換気ゾーニングの計画とは異なる室間換気が生じてしまい、汚染物質が逆流する可能性がある点に注意が必要である。冬季及び夏季は快適性や冷暖房負荷の問題も生じる。換気ゾーニングについて居住者の理解を得たうえで、中間期などに限って活用する対策と考えるべきであろう。

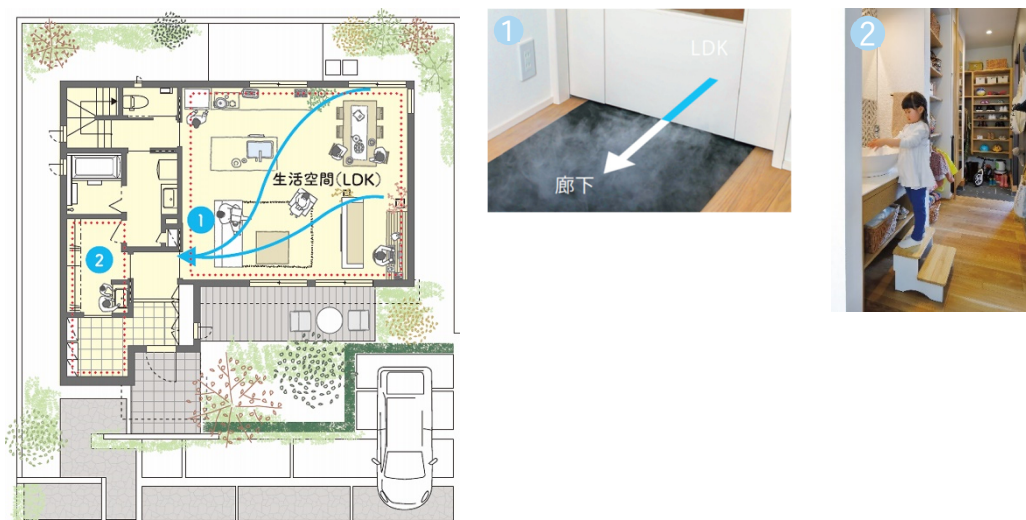


図 4.2.2.1 換気ゾーニングの例

(引用：積水ハウスホームページ)

<https://www.sekisuihouse.co.jp/kodate/feature/technology/smart-ecs/>, 2021年9月30日閲覧)

4.2.2.1 外気導入のための建築計画・設計

(担当：金勲、執筆：ミサワホーム 中島雄介)

感染拡大時には外部から住宅内へウイルスが持ち込まれるリスクが上昇する。また家族に感染の疑いがある方がいる場合には住宅内で感染するリスクが高く、感染防止対策の一つとして換気が励行されている¹⁾。換気は室内の汚れた空気を排出し新鮮な外気を取り入れることにより、室内空気の清浄度を維持することが最大の目的である。換気の方法として、風や室内外の温度差による圧力差を利用した「自然換気」、ファンによって生じる圧力差を利用した「機械換気」が挙げられる。

ここでは感染拡大時に備えた建築計画・設計として、安定した換気量を得ることができる機械換気設備を活用した換気ゾーニングの考えを紹介する。住宅内に持ち込まれるウイルスを生活空間に広げないための対策、感染者が自宅療養する場合に住宅内での感染リスクを下げるための対策を示す。

(1) 換気ゾーニング^{2), 3)}

感染症対策における「ゾーニング」とは、主に医療施設に取り入れられる設計手法であるが、ここでは理解を高めるためゾーニングの用語をそのまま用いる。感染者の部屋でウイルスが多く汚染度が高い区域(レッドゾーン)、非感染区域(グリーンゾーン)、2つの区域の中間に位置する区域(イエローゾーン)に区分けし、上流の清浄な区域から下流の汚染された区域へ向けて空気が流れるように計画することで院内感染等を防止している。医療施設のイエローゾーンはレッドゾーンとグリーンゾーンが直接接することが無いようにする措置だが、住宅の空間設計で同様のバッファゾーンを設定することは現実的ではない。そこで、住宅におけるレッドゾーン、イエローゾーン、グリーンゾーンを新たに定義し、現実性のある方法として提案する。

まず「住宅のグリーンゾーン」は医療施設同様、非感染者のみが利用する空間とする。「住宅のイエローゾーン」は感染者が長く(15分以上)滞在しない空間と定義し、玄関・ホール・階段、感染者が利用するトイレ・洗面所が該当する。「住宅のレッドゾーン」は感染者が長く(15分以上)滞在する空間及び感染者専用の空間と定義し、自宅療養部屋、感染者専用トイレが該当する。

1) 住宅内に侵入するウイルスへの備え

外部から住宅内へのウイルスの侵入経路として、居住者が帰宅時にウイルスを持ち込むことが想定される。そこで帰宅後に利用する玄関やシューズクローク、玄関から洗面所に至るまでに通る空間をイエローゾーンに区分けする。感染者が長く(15分以上)滞在する洗面所はレッドゾーンとする。レッドゾーンに局所換気設備を設けることで素早くウイルスを排出し、リビング等の生活空間へのウイルス侵入を防ぐ。人感センサーやタイマー機能付きの換気設備であれば帰宅時に自動で作動し一定時間経過後に停止するため、過換気による温熱環境の悪化も防ぐことができる。作動時間は一般病室の機械換気設備の設計基準⁴⁾を参考に、対象空間の気積に対して換気量が2回となる時間運転することを提案する。

洗面台を玄関ホールに設けることや玄関から洗面所までの動線を短くすることはレッドゾーン・イエローゾーンの範囲が小さくなりグリーンゾーンの範囲拡大につながることから、設計時に配慮することが望ましい(図 4.2.2.2)。

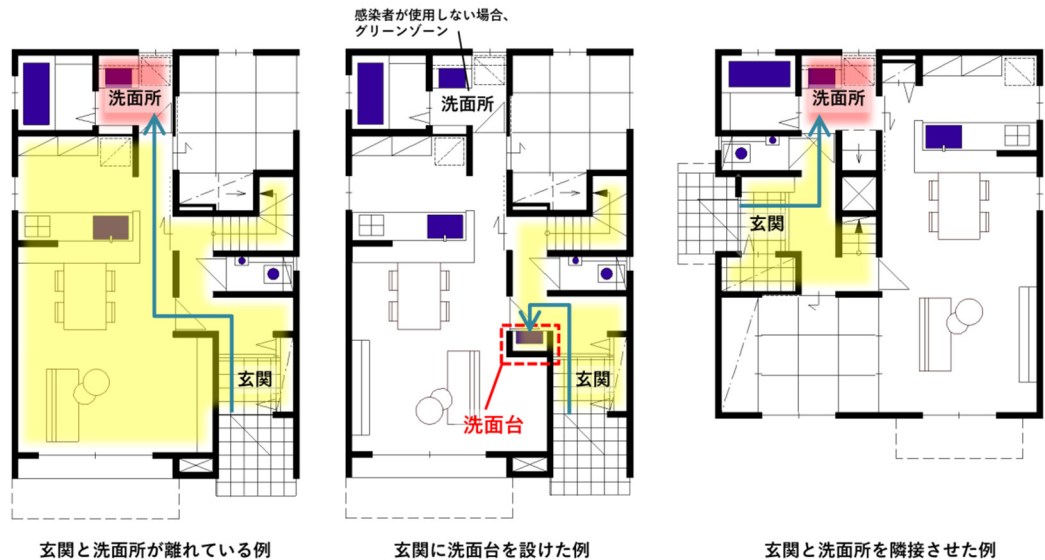


図 4.2.2.2 玄関・洗面所の換気ゾーニングの例

2) 同居家族の自宅療養時への備え

感染者が自宅療養する場合、感染者が療養する空間(レッドゾーン)から非感染者のみが生活する空間(グリーンゾーン)に空気が流入しないことが重要である。感染拡大時の療養室利用を想定した個室は、室内空気の浮力により1階の空気が2階に流入する可能性があることを考慮し、2階建ての住宅の場合は2階に計画することが望ましい。2階の共用トイレを個室に隣接して設けることで、自宅療養時には感染者専用トイレ(レッドゾーン)とすることができる。個室に予め局所換気設備を設置した場合、自宅療養時は連続運転により個室内の空気が直接屋外に排出され、廊下や他の部屋への空気流入を防ぐ。

感染者と非感染者が共用で使用することが想定される浴室・洗面所や、療養室からそれらの部屋までの動線(イエローゾーン)は感染リスクが高い空間となる(図 4.2.2.3)。自宅療養時には浴室・洗面所の換気設備を常時運転することで、上流であるグリーンゾーンへの空気流入を防ぐ。

イエローゾーンへの直接給気はせず、排気(セントラル換気の排気を含む)のみとする。レッドゾーンでは常時排気を行い、負圧を保つことで、周囲の部屋に空気が流れないようにする。自宅療養部屋にも新鮮な外気を取り入れることが望ましいため、レッドゾーンの負圧状態が維持できるような給気と排気を行う。給気口が無い場合には、数センチの窓開けを行う。

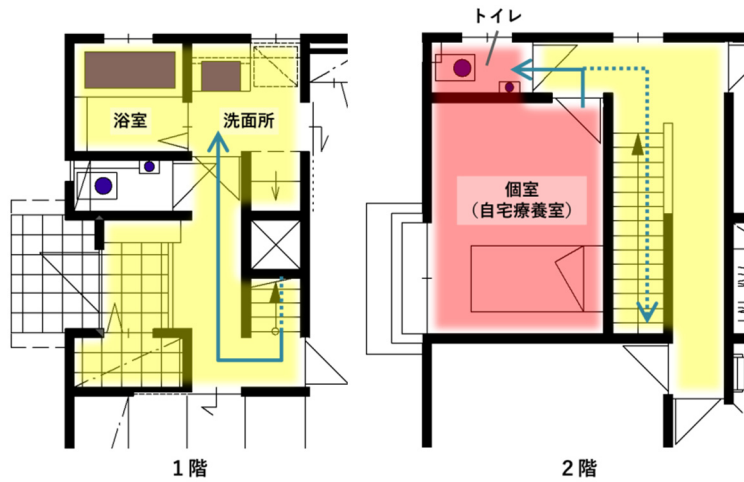


図 4.2.2.3 自宅療養室の換気ゾーニングの例

なお、本換気計画は空気感染を防ぐことを目的としたものであり、本換気方式を取り入れても、接触感染、飛沫感染を防ぐ効果は無い。非常時のマスク着用、手洗い、イエローゾーンを中心とした除菌を平行して行うことが重要である。

(2) 導入事例

平常時は書斎や趣味の部屋として、非常時は自宅療養室としての利用を想定して設計された個室(マルチプレイス)の事例を紹介する⁵⁾。

この事例では、2階の一般の居室には第1種セントラル換気システムを設けているが、各居室の排気はドアのアンダーカット等を経由して廊下や水廻りの共用空間に流入し、セントラル換気本体にリターンする計画になっている。そこでマルチプレイスにはセントラル換気とは独立した24時間換気設備を設けることで、他の部屋への空気の流入を防ぐ計画とした。

2階のトイレ、洗面はマルチプレイスに隣接して設けている。平常時は共用で使用し、自宅療養時は感染者専用(レッドゾーン)となることを想定している。

自宅療養時にはトイレの局所換気(第3種換気)を連続運転することで、トイレ、洗面のレッドゾーンを負圧に保つ。ホールと洗面の間には隠し建具を設け、平常時は開放している建具を自宅療養時に閉めることで、他の部屋へ空気が流れないように計画されている。

マルチプレイスへの入口には非接触自動ドアを採用した。家族が看病する場面でドアノブなどに触れずに出入りすることが可能となり、接触感染対策にも配慮されている。

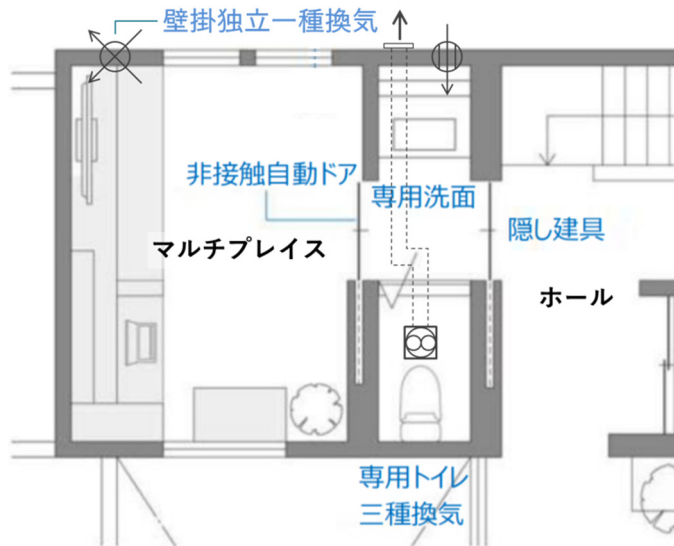


図 4.2.2.4 療養室利用に備えた個室の設計事例

(3) 既存住宅の対応

新築住宅の場合、前述のマルチプレイスのような感染対策を設計段階で計画することが望ましいが、既存住宅の場合には困難である。次善の策を以下に示す。

- ① レッドゾーンと位置付ける部屋に局所換気扇(パイプファン、単室熱交換型換気扇等)が付いている場合、局所換気扇を常時 ON にする。
- ② セントラル換気の SA 口がある場合、窓を数センチ開け、給気が窓を通して排気されるようにすることで、他の空間への移流を防ぐ。窓が対角にある場合には、両方開けることが望ましい。
- ③ 療養室(レッドゾーン)入口のアンダーカットはふさぐことが望ましいが、難しい場合、療養室につながるホール(イエローゾーン)の窓を開けるか、ホールの排気扇で排出する。
- ④ グリーンゾーンの窓は開けず、風圧によって万一療養室から一時的にホール(イエローゾーン)に空気が流れても、ホールから排出されることを担保し、グリーンゾーンへの流入は防ぐ。

※台所レンジフードは排気量が多いため、運転時にはレッドゾーン(イエローゾーン)からグリーンゾーンに空気が逆流する恐れがある。レンジフード付近の窓や給気口を開けて稼働させることにより、給気量と排気量のバランスを確保することが重要である。レンジフードを 24 時間換気として使用している場合も同様である。

- ⑤ 家電品の空気清浄機を療養室等に備える。

参考文献

1. 厚生労働省、新型コロナウイルスに関する Q&A(一般の方向け)、1. 緊急事態宣言と政府の方針、「問 6 換気について、一般家庭ではどのような工夫をしたらよいでしょうか。」
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryou/dengue_fever_qa_00001.html (2021 年 11 月 2 日閲覧)
2. 日本建築学会、住宅における換気によるウイルス感染対策について
http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/House_vent_1.pdf (2021 年 11 月 2 日閲覧)

3. 空気調和・衛生工学会、新型コロナウイルス感染症の家庭内感染を防ぐための換気設備等の運用を含めた対策の考え方について <http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2021.02.12%20kateinai.pdf> (2021年11月2日閲覧)
4. 日本医療福祉設備協会、病院設備設計ガイドライン(空調設備編)HEAS-02-2013
5. ミサワホームホームページ、持続可能な未来につながるコンセプト住宅が完成 Green Infrastructure Model
https://www.misawa.co.jp/corporate/news_release/2021/0709/release.pdf (2021年11月2日閲覧)

4.2.2.2 住宅で必要な換気量

(1) 必要換気量

(担当：金勲、執筆：積水ハウス 梅野徹也)

厚生労働省が商業施設等に推奨しているとおり、建築物衛生法で規定された特定建築物に該当する商業施設等において CO₂ の室内濃度基準 1000ppm 以下を満たす条件としての換気量である 1 人あたり 30m³/h は、ウイルス感染症対策に必要な換気量の目安である。住宅においても、想定される居住人数をもとに 1 人あたり 30m³/h の換気量を住宅全体で確保することが、感染症対策に必要な換気量と考えることができる。

一方、住宅では全ての居室において 0.5 回/h の機械換気設備を設置することが建築基準法で定められている。

例えば居室の床面積 100m²、天井高さ 2.5m、居住者 4 の住宅の場合、建築基準法の 0.5 回/h 換気の換気量は 125m³ に対し、1 人あたり 30m³/h の換気量は 120m³/h とほぼ等しい値となる。居住者 1 人あたり約 24m² 以上の居室面積があれば、建築基準法で求められる換気量が建築物衛生法で推奨される必要換気量を上回る計算となる。多くの住宅において 0.5 回/h を想定した現在の換気設計を大きく変えることなく、居住人数に応じた必要換気量を住宅全体で確保できると試算される。

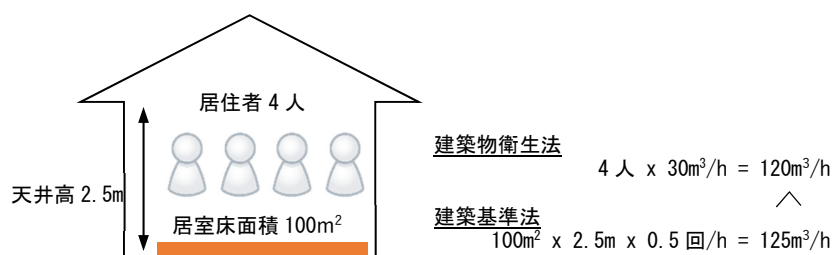


図 4.2.2.5 必要換気量の試算

但しこの試算は全ての居室を合わせた住宅全体での換気量であり、個々の居室について必要換気量を満たせない場合も多く発生するであろう。リビングなど入室者の多い居室では、1 人あたり 30m³/h の換気量を確保するために 0.5 回/h を大きく超える換気量が必要となる時間帯も十分に考えられる。入室者が多い時間を想定して多くの換気量を常時維持することは換気量過多となるため、快適性、省エネルギー性の観点から避けるべきであり、入室者数に応じて特定の居室の換気量を増減できることが望ましい。CO₂ 濃度などをセンシングして換

気量を制御するデマンド換気^{1),2)}は、ウイルス感染症対策としての換気設計において重要な技術である。

住宅におけるウイルス感染症対策として必要換気量の確保が重要となる一方、換気による顕熱負荷、潜熱負荷の増加は室内環境の低下を招き、快適性や省エネルギー性を損なう恐れがある。換気量を増やしても熱負荷の増加を抑える熱交換換気や、換気量の増やすことなく室内のウイルス濃度を低減する空気清浄機を採用するなどの配慮が求められる。

参考文献

1. 柳宇、鍵直樹、東賢一、金勲、志摩輝治、大澤元毅、二酸化炭素濃度によるデマンド換気量制御建物の室内環境に関する調査研究 第1報 2015年夏期の調査結果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.17-20, 2016.
2. 菊田弘輝、福家智大、水野敬太、林基哉、金勲、デマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の実態調査 その1 調査概要と給気予熱評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.115-116, 2017.

(2) 局所換気設備による換気回数計算例

(担当：金勲、執筆：パナソニックエコシステムズ 林義秀)

新型コロナウイルス感染症のリスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法として、厚生労働省では次のいずれかの方法を推奨している。

- ①機械換気設備による方法：ビル管理法の考え方に基づく必要換気量(1人あたり 30m³/h)の確保
- ②窓の開放による方法：換気回数を毎時2回以上(30分に1回以上、数分間程度、窓を全開)とする

これは多人数の人が利用する商業施設等に対するものであり、そのまま住宅に適用できるかどうかについては定かではないが、一つの目安にはなる。

- ①機械換気設備による方法(1人あたり 30m³/h)は、4人家族を想定すれば、必要な換気風量は120m³/hになるので、自立循環型住宅設計ガイドライン 標準プラン(延べ床面積：120.08m²、気積：288.192m³)に当てはめると、シックハウス対策の常時換気設備で0.5回/hの換気(換気風量 144.096m³/h)を行うことで賄うことが可能であると考えられる。

また、5人家族とした場合は、若干、換気風量が不足するが、トイレなど小風量の局所換気設備を同時運転することで、必要換気量を確保できる可能性が高い。

- ②窓の開放は、住宅の立地条件などもあり一律に実施することはできない。それに代わる方法として、各所に分散する局所換気設備を使うことが考えられる。その場合の換気回数の試算(例)は表の通りとなる。

一般に換気扇を設置する台所、浴室、トイレ、洗面所の換気扇の風量(ダクト等の圧力損失を考慮した実風量)の合計は、567~604m³/h、換気回数で、1.97~2.10回/hとなり、仮にこれらの局所換気設備を同時かつ最大風量で運転すれば、およそ2回/h相当の換気風量を応急的に確保できることが見て取れる。

但し、昨今の気密性の高い住宅でこれらの局所換気設備を同時運転した場合は、給気不足による影響(十分に換気が出来ない、ドアが重たくなるなど)が想定されるので、一時的に窓開けを併用するなどにより、排気風量に見合った給気を確保することが必要である。

表 4.2.2.1 局所換気設備による換気回数

室名	局所換気設備	最大風量 (m ³ /h)	使用ノッチ	換気回数 (回/h)	備考
台所	レンジフード (FY-60DWD4-S) 	420 ①	強	1.46	換気回数は、自立循環型住宅設計ガイドライン標準プラン(一般モデル)の住宅に設置を想定し算出 延べ床面積：120.08m ² 平均天井高さ：2.4m 気積：288.192m ³
浴室	浴室換気乾燥機 (FY-13UG7E) 	155 ②	強	0.54	
	天井埋込換気扇 (FY-24JDK8/83) 	150 ③	急速	0.52	
トイレ	パイプファン (FY-08PFR9VD) 	49 ④	強	0.17	
	天井埋込換気扇 (FY-17CD8V) 	90 ⑤	強	0.31	
洗面所	天井埋込換気扇 (FY-17CD8V) 	90 ⑥	強	0.31	
小計	最大風量 計	709~755	--	2.46~2.62	(①+③+④+⑥)~(①+②+⑤+⑥)
	ダクト等の圧損を考慮した想定風	567~604	--	1.97~2.10	最大風量の20%減
ダイニング	天井埋込換気扇 (FY-32JDE8/83) 	430 ⑦	急速	1.49	
	インテリア形換気扇 (FY-25EE5/43) 	714 ⑧	--	2.48	
ダイニングを含む合計	最大風量 計	1139~1469	--	3.95~5.10	(.....+⑦)~(.....+⑧)
	ダクト等の圧損を考慮した実風	911~1175	--	3.16~4.08	最大風量の20%減

4.2.2.3 住宅の局所換気による全般換気設計への影響

(担当：金勲、執筆：ミサワホーム総合研究所 湯浅惇)

住宅の全般換気は CO₂、水蒸気、臭い、VOC 等の排出や希釈を目的としており、SARS-CoV-2 に代表される伝染性の強いウイルスによる家庭内感染対策までも対象としたわけではない。今般の COVID-19 に限らず感染力の強いウイルス疾患が多発するようになることを想定し、住宅の換気の在り方として見直す部分もあると考えられる。

機械換気システムによる換気設計はあくまでもそのシステム単体での計画で、他の局所換気システム等と併用した場合の影響などは必ずしも考慮されていないケースが多い。局所換気の運転や窓開けによっては住宅内の換気経路が乱れ、4.2.2.1(1) 換気ゾーニング^{2),3)}(p.175)にあるイエローゾーンやレッドゾーンのゾーニングにも影響が出てしまうことも予想される。

この章では、24 時間換気システムと局所換気の代表例であるレンジフードを併用した場合の住宅内の換気バランスの変化を明らかにし、換気設計時の参考として示す。

(1) シミュレーション概要

シミュレーションでは換気回路網計算ソフト「VentSim」を使用した。図 4.2.2.6 に想定した住宅の平面プランを示す。木造 2 階建て、延べ床面積 118.41m²。

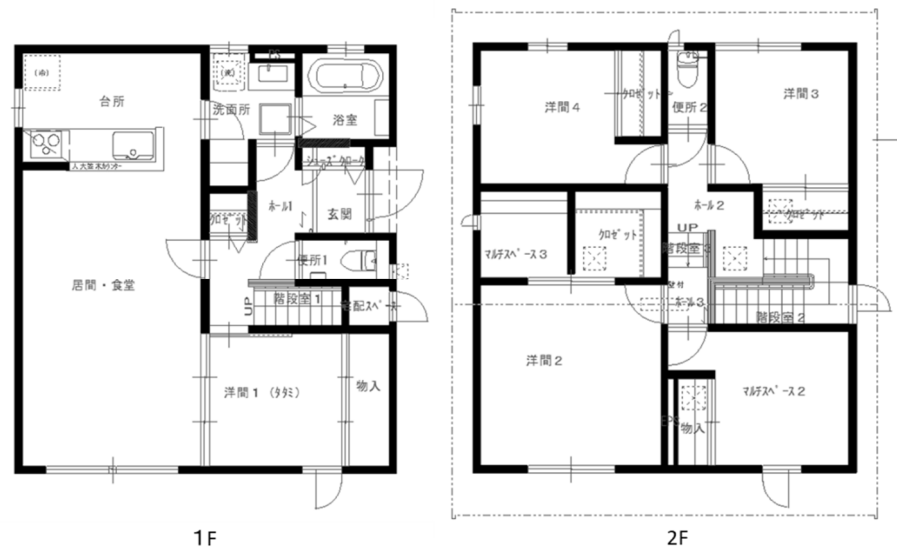


図 4.2.2.6 建物平面図

計算上の仮定は次のようにする。

- ・各間仕切り建具はアンダーカットを想定して、それぞれ $\alpha A=48\text{cm}^2$ を仮定。
- ・24 時間換気システムは 1F と 2F それぞれに 1 台ずつ設置。
- ・換気ファンは代表的な A 社の P-Q 特性を 4 点入力し近似曲線化(第 1 種の場合には給排それぞれ入力)。
- ・内外温度差はないものとする。
- ・レンジフードの風量は B 社の仕様書を参考に「中」レベルにて設定。

(2) 24 時間換気システムのための風量バランス

図 4.2.2.7 に 24 時間換気システムのみを運転している場合の風量バランスを示す。

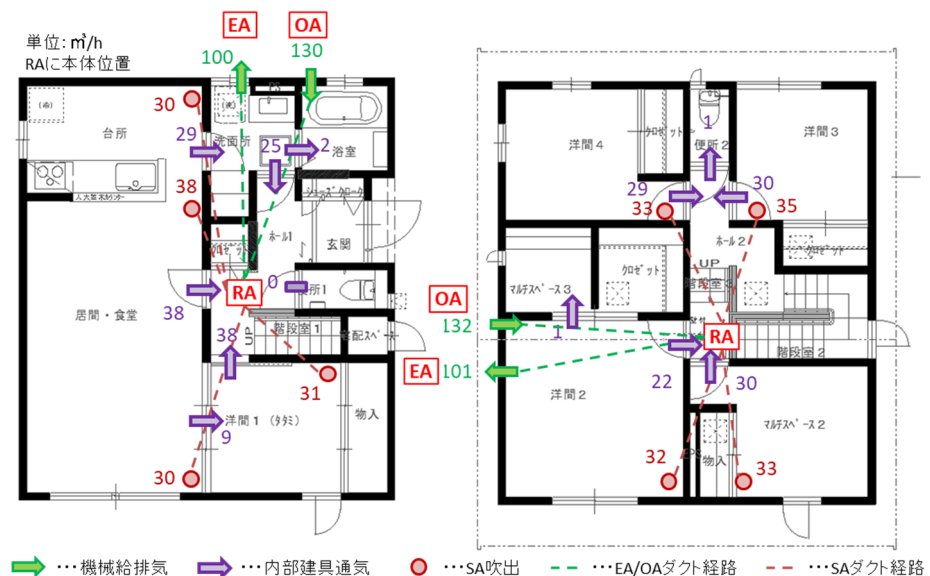


図 4.2.2.7 24 時間換気システムのための風量バランス

24時間換気システムのみの場合では、給気口(SA)の吹き出しから還気口(RA)に向かうように空気が流れていることがわかる。

また、浴室やトイレの空気の流れも居室側に漏れることもなく、想定通りの換気経路となっていることがわかる。

(3) レンジフード(排気のみ)+自然給気口を併用した場合の風量バランス

図 4.2.2.8 に 24 時間換気システムにレンジフード(排気のみ)と自然給気口(台所給気口)を併用した場合の風量バランスを示す。

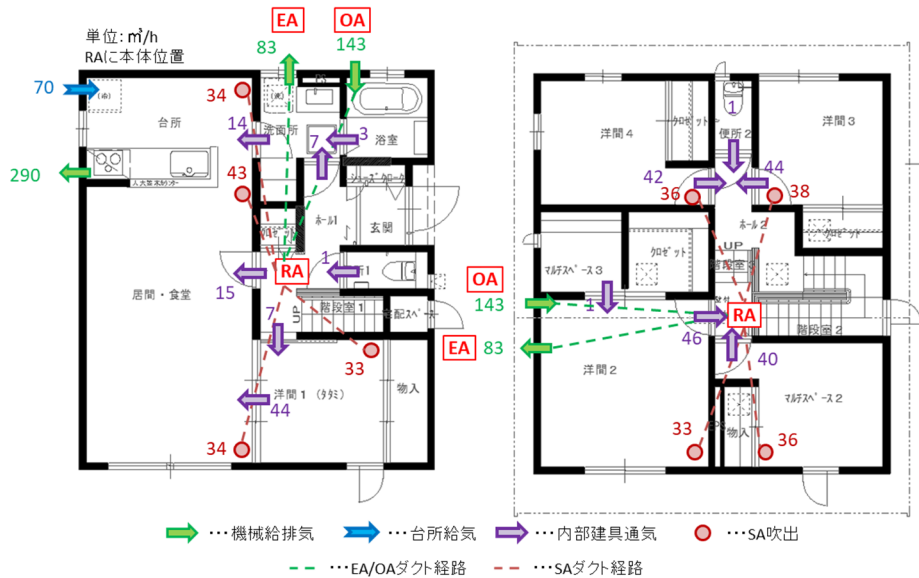


図 4.2.2.8 レンジフード(排気のみ)+台所給気口を併用した場合の風量バランス

レンジフード(排気のみ)と台所給気口を併用した場合では、排気量が台所給気口からの給気量に対して大きいため、居間・食堂のドアにおける空気の流れが逆転し、レンジフードに引っ張られている。同様に浴室やトイレからの空気も引っ張っていて、住宅内の換気経路が乱れてしまっている。

(4) 同時給排型レンジフードを併用した場合の風量バランス

図 4.2.2.9 に 24 時間換気システムに同時給排型レンジフードを併用した場合の風量バランスを示す。

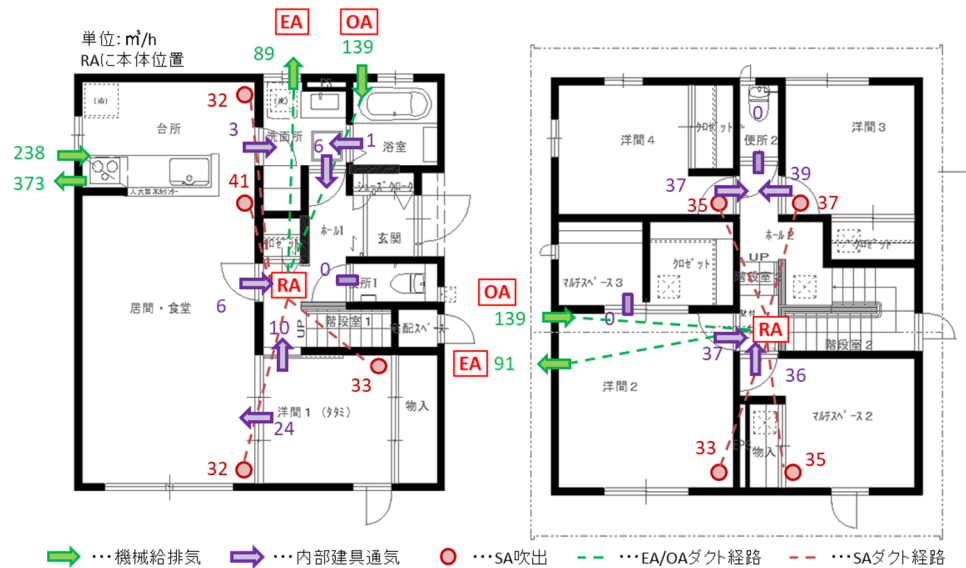


図 4.2.2.9 同時給排型レンジフードを併用した場合の風量バランス

同時給排型レンジフードを併用した場合にはレンジフードで給排気を行いつつも、24 時間換気システムのみの場合と同様に、RA への空気の流れが維持できている。

今回のシミュレーションから、局所換気(レンジフード)による住宅全体への換気計画への影響を把握することができた。実際に 1 棟 1 棟シミュレーションにて換気計画を設計することは現実的ではないが、少なくともレンジフードにおいては同時給排型の方が排気のみの場合と比べ影響が少ないということが風量からも改めて示されていることから、実際の設計時においても同時給排気型を採用することが望ましい。

4.2.2.4 換気設備

(山本佳嗣)

(1) 感染拡大時の換気対策のポイント

住宅における換気対策のポイントを図 4.2.2.10 に示す。通常時は 24 時間換気の適切な運用が最重要となる。感染拡大時において換気による対策を強化する場合には、レンジフード等の換気設備による換気の増強、窓開け換気との併用、空気清浄機の設置、室内温熱環境に配慮した換気量の調整や 2 段階換気の実施などがポイントとなる。また、家族の感染が疑われる場合には家庭内感染対策として、動線の分離や自宅療養室の空気を直接排気するような配慮も必要となる。このようなポイントを纏めた住宅における「建物の感染対策チェックリスト(住宅版)」が日本サステナブル建築協会から公開(https://www.jsbc.or.jp/research-study/files/swh/Infection-control_checklist.pdf)されているため、参照すると良い。

- ①24 時換気設備のメンテナンスと適切な稼働を実施する。→4.2.2.4. (3) (p.186)
- ②台所のレンジフードや浴室の換気ファンの強運転などにより換気を増強する。
→4.2.2.4. (4) (p.186)
- ③3 種換気を採用している住宅については、窓開放時にはできるだけ各居室で同様の窓開放状態を維持し、居室から共用部の排気ファンに向けた換気の流れを乱さないようにする。→4.2.2.4. (3) (p.186),(4) (p.186)
- ④夏期と冬期においては窓開口面積の調整やエアコン等と併用した換気を実施し、室内温熱環境にも配慮する。→4.2.2.4. (8) (p.188)
- ⑤厳寒期においては、使っていない部屋に外気を導入し、暖房器具等で予暖を行ってから対象室に外気を供給するような換気経路の確保(2 段階換気)なども有効である。→4.2.2.4. (8) (p.188)
- ⑥換気量が不足する場合は HEPA フィルター等の高性能フィルターを搭載した風量 5m³/分以上の空気清浄機を併用する。→4.2.3.2 (p.196)
- ⑦空気の淀みがないように窓開けの位置等に配慮し、扇風機やサーキュレーターを用いて空気の淀み部に外気を供給し、換気効率を向上させる。
→4.2.2.4. (4) (p.186)
- ⑧家族の感染が疑われる場合は、専用の自宅療養室を設定し、家族との動線の分離、自宅療養室の空気が共用部や家族の居室に流入しないように配慮する。
→4.2.2.4. (9) (p.189)

図 4.2.2.10 住宅における換気対策のポイント (※→は 4.2.2.4 内の参照先を示す)

(2) 住宅の換気設備における最低換気回数と風の流れ

2003 年以降に竣工した住宅においては、シックハウス対策として居室の換気回数 0.5 回/h が確保される 24 時間換気システムが導入されている。換気方式に関しては様々な方式があるが、住宅においては図 4.2.2.11 のような第 3 種換気による換気が一般的である。しかし、気密性能の低い住宅では意図したように風が流れない可能性がある。特に排気ファンに近い部分の窓や開口が空いている場合は、居室の給気口からの外気流入量が低減する可能性も考えられるため、居室の窓を開けることで外気導入量を確保する必要が発生する。感染拡大時において、トイレが共用の場合はトイレからの空気の逆流を防止するためのもトイレの窓は開けず、排気ファンのみを稼働させることが推奨されている¹⁾。

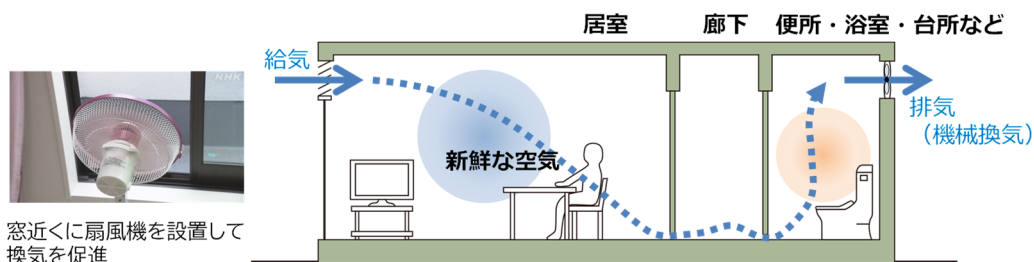


図 4.2.2.11 住宅における第 3 種換気の空気の流れ

(引用文献(一部改変)：空気調和・衛生工学会：設備技術者育成のためのデジタル教材)

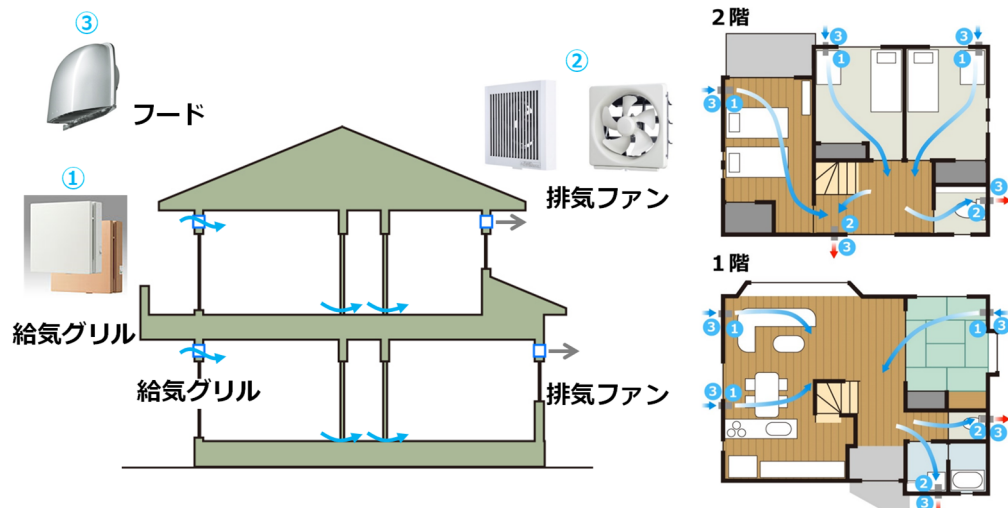


図 4.2.2.12 住宅内における換気の流れ(第3種換気)

(引用文献(一部改変)：空気調和・衛生工学会：設備技術者育成のためのデジタル教材)

(3) 24 時間換気設備の運用と窓開け換気

住宅の換気において重要なポイントは、24 時間換気のメンテナンスと確実な運転の実施である。さらに、日本建築学会にて公開された資料では、それぞれの居室に対して対角線上にある2か所の窓や扉を常時5~15cm開けることにより自然換気を促進することが推奨されている²⁾。窓開けについては商業施設を中心に1時間に2回窓を開けるなどの運用も推奨されているが、窓閉鎖時に室内の空気質が悪化していくため、空気質の観点では常時の開放が望ましい。3種換気の住宅において1室のみ窓を全開にしている場合、住宅内のエアータンクにより他の居室の換気量が減少する可能性もある。よって、換気を計画的に行うためには、各居室において可能な限り同様の窓開放状態を維持することが好ましいと言える。

参考資料

1. 空気調和・衛生工学会：新型コロナウイルス感染対策としての空調設備を中心とした設備の運用について(改訂二版) [http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2020.09.07%20covid19%20kaitei%20\(2\).pdf](http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2020.09.07%20covid19%20kaitei%20(2).pdf) (2020年9月7日)
2. 日本建築学会：住宅における換気によるウイルス感染対策について http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/House_vent_1.pdf (2020年8月19日)

(4) その他の換気設備の併用

台所のレンジフードや浴室の排気ファンの強運転などを積極的に利用することにより住宅内の換気量を増強できる。また、換気設備の活用は窓開けと比較して悪天候でも換気ができるというメリットがある。また、1面開口の居室における換気効率向上や空気の淀み部の解消のために扇風機やサーキュレーションを活用することも有効である。

(5) 風量測定

(澤地孝男)

換気設備の設計風量が確保されていることを確認するには、現場での風量測定が必要である。風量測定を行うことで、換気量不足や施工不良の早期発見、対処が可能となる。

(a) タイミング

換気システム設置後

(b) 測定方法の例

①フード式風量計(図 4.2.2.13)

②K ファクター(図 4.2.2.14)

(c) 確認するポイント

①必要換気量を満たしているか

②設計風量に対し風量バランスが崩れていないか

(d) 問題と対処

①必要換気量が出ていない場合

→ダクトのつなぎミス・抜け・潰れを確認

防火ダンパーが作動していないか確認

チャッキダンパーの向きを確認

必要があれば換気システムのファン動力を上げる

②必要換気量は満足しているが、バランスが悪い場合

→開度調整可能な室内グリルで調整

③設計風量に対して過剰な場合

→換気システムのファン動力を落とす

開度調整可能な室内グリルで調整

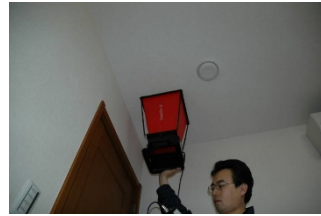


図 4.2.2.13 フード式風量計の例



図 4.2.2.14 Kファクターの例

(6) 維持管理上の留意事項

全熱交換器の耐用年数の目安としては、13～15年とされている。全熱交換器単体と熱交換換気ユニットとで、保守・点検の項目は異なるが、各項目の点検周期や交換周期については参考文献1を参照してほしい。

参考文献

1. 全熱交換器を長く安心してお使いいただくために、定期的な保守・点検のおすすめ、日本冷凍空調工業会、全熱交換器委員会、2008年1月
https://www.jraia.or.jp/product/exchanger/pdf/zennetsu_all.pdf

(7) ユーザーによる保守を考慮したフィルター設置条件

外気清浄用(花粉、PM2.5 対応等)、熱交換素子・ファン・ダクトの汚染防止などを目的に、フィルターを搭載した換気ユニットがありますが、フィルターの目詰まりにより、換気風量が低下してしまえば換気本来の目的(汚染空気・湿気の排出)が果たせなくなるため、日常のフィルターメンテナンスが欠かせない。

ここでは、保守を考慮した設置条件の例として、脚立を使うことなく、手の届く位置にフィルター等メンテ部位を設置した事例を紹介する。

出典：住宅用機械換気設備の計画と性能評価(建築環境・省エネルギー機構)



図 4.2.2.15 床下点検口設置型フィルターボックスの事例(提供：積水化学工業)

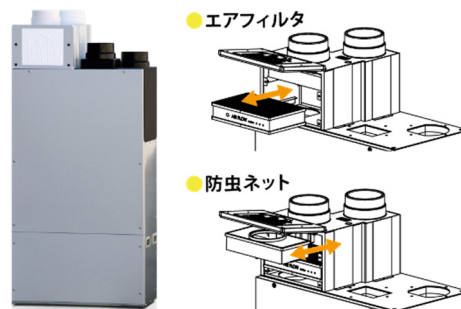


図 4.2.2.16 床置き型ユニットの事例 2(提供：東プレ)

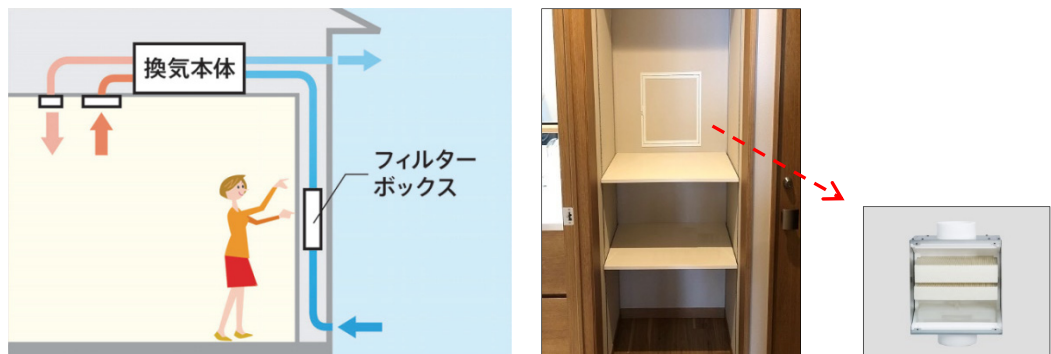


図 4.2.2.17 壁設置の事例(提供：ミサワホーム)

(8) 室内空気質の確保と温熱環境・省エネルギーとの両立

(山本佳嗣)

感染対策として換気量を増加させることによって空調消費エネルギーの増加、室内温熱環境の悪化による真夏の熱中症や真冬のヒートショックなどのリスクを上昇させる可能性も考えられる。そのため、温熱環境の悪化などに応じて換気量を調整することが必要となる。室内温熱環境の判断は室内の暑さ指数(WBGT：Wet-bulb Globe Temperature：湿球黒球温度)により行うことが好ましい¹⁾、目安として、室温 28℃・相対湿度 75%、室温 30℃・相対湿

度 65%などが嚴重警戒域の境界に相当する。冬期の暖房時についても換気設備が無い場合は、室温が 18°C以上^{2),3)}を確保できる範囲で窓を開けて換気をすることが推奨されている。

冬期における外気導入については、直接人のいる部屋に外気を導入するのではなく、別の部屋に外気を導入し暖房器具等で予暖を行ってから各部屋に外気を供給するような方法(2段階換気⁴⁾)も有効である。この場合、人のいる部屋に外気が導入されるような風の流りに配慮する。

また、省エネルギーの観点からは、全熱交換器などを設置し、外気負荷を低減しながら換気量を増加させることも有効である。熱交換器を内蔵するため、壁付の全熱交換器は排気ファンと比較して大型で設置スペースが必要になる。全熱交換器はエレメント等のメンテナンスを十分に行うことが重要である。

(9) 陽性患者が自宅療養する場合の家庭内感染対策

住宅内で陽性患者とその家族と一緒に生活をせざるを得ない場合には、接触感染・飛沫感染のリスクを低減するために、感染者が自宅療養するゾーン(自宅療養室)と家族のいる清浄ゾーンを空間的・動線的に分離することが重要となる。更にエアロゾルによる感染リスクを低減するためには、十分な換気の確保と自宅療養室を簡易的に陰圧化することが考えられる⁵⁾。全館空調方式については「(3) COVID-19 などの感染者が発生した場合の対処方法(p.199)」を参照ください。

療養室の近くにトイレがあり自宅療養者専用とできる場合は、トイレの排気ファンを用いて陰圧室を形成することが考えられる(図 4.2.2.18)。トイレを専用とすることにより、家族との動線を明確に分離することができ、トイレや共用部での接触感染や飛沫感染のリスクを低減することにも繋がる。この方法は住宅内に 2 か所のトイレが必要になり、平面プランによっては形成が難しい。その場合は後述の排気ファンを追加設置する方法などが考えられる。

運用上の注意点としては、自宅療養室を窓開けにより積極的に換気する際には外気風の吹込みによって部屋の空気が清浄ゾーンに逆流することを防ぐために、自然換気時は部屋の扉は閉めておくことが必要となる。更に扉下部の隙間(アンダーカット)をテープ等でふさいでおくことや、なるべく 2 方向の窓を開けて部屋の中で風が通り抜けるようにすることが重要である。(図 4.2.2.19)。

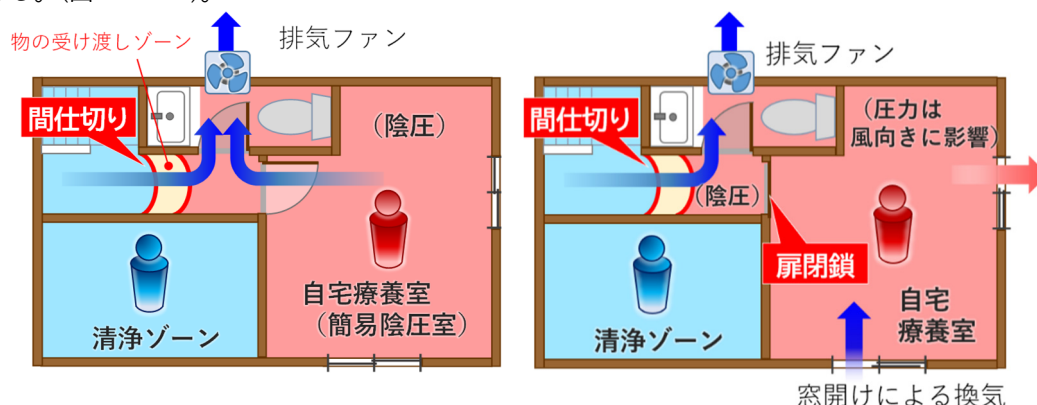


図 4.2.2.18 トイレの排気ファンを利用する方法

図 4.2.2.19 自宅療養室の窓開け換気時

居室の 24 時間換気対策として、換気設備のない居室には外気を直接取り込むための給気口が設置されている。この給気口を利用してパイプ用排気ファンを設置し、間仕切りと組み合わせで陰圧化する方法も考えられる(図 4.2.2.20)。平面プランの制約が少ないのが利点である

が、トイレは家族と共用となるため接触感染・飛沫感染のリスクが想定される。自然給気口の室内側カバーが壁と一体化されている場合は無理に取り外すことは避けて工務店等へ相談するとよい。

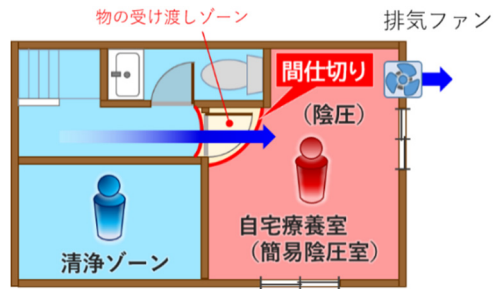


図 4.2.2.20 給気口を利用して排気ファンを追加する方法

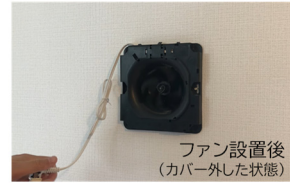


図 4.2.2.21 自宅療養室への排気ファンの追加例⁵⁾

参考資料

1. 日本建築学会：住宅における換気によるウイルス感染対策について
http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/House_vent_1.pdf (2020年8月19日)
2. WHO Housing and health guidelines, World Health Organization 2018
3. Public Health England, Protecting and improving the nation's health, Minimum home temperature thresholds for health for winter. A systematic literature review, Oct.2014
4. 厚生労働省：冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法
<https://www.mhlw.go.jp/content/000698868.pdf> (2020年11月27日)
5. 日本建築学会：住宅内にビニールカーテンによる仮設の陰圧室を作り出す方法
<http://www.arch.t-kougei.ac.jp/yoyamamoto/wp/wp-content/uploads/2020/05/nr0529.pdf> (2020年5月27日)

4.2.2.5 通風設計

(澤地孝男)

(1) 本節の内容

厚生労働省が2020年4月に公表した「『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法」では、「推奨される換気の方法」として「①機械換気による方法」とともに「②窓の開放による方法」が挙げられ、下記の2項が記載されている¹⁾。

- 換気回数を毎時2回以上(30分に1回以上、数分間程度、窓を全開する)とすること。
- 空気の流れを作るため、複数の窓がある場合、二方向の壁の窓を開放すること。窓が一つしかない場合はドアを開けること。

また、冬に迫った同年11月に公表した「冬場における『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法」では、「①窓の開放による方法」として、下記の2項が記載されている²⁾。

- 居室の温度及び相対湿度を18°C以上かつ40%以上に維持できる範囲内で、暖房器具を使用しながら、一方向の窓を常時開けて、連続的に換気を行うこと。
- 居室の温度及び相対湿度を18°C以上かつ40%以上に維持しようとする、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の空気清浄機を併用すること。

冬の方法としては、換気量が多くなると温熱環境の維持が困難になるため、二方向の窓ではなく、一方向の窓による温度差換気を推奨しており、温熱環境の制約を受けにくい季節においては、二方向の窓を開けて短時間に多量の換気を行うことが推奨されている。それも通風のひとつの活用方法と言えるが、従来の通風は冷涼な温熱環境を得ることを主目的としたものであり、ウイルスの希釈や排出のための換気を目的とする場合とはかなり異なるものと言える。

本節では、冒頭の厚生労働省による情報提供において記載されている、二方向の窓を開放して換気を行う場合を想定し、風圧力の適切な想定方法や必要な開放面積について情報を整理することとする。

(2) 通風の原理

図4.2.2.22に通風の原理を示す。開口面積(厳密には、空気の流れの形で決まる「有効開口面積」)が A_1 と A_2 の2つの開口があり、各々の開口の風圧係数 C_1 と C_2 が推測できる場合、屋外風速 V 、作用風圧 P_1 と P_2 、及び通風量 Q の関係を図中に示す。

風圧係数の差が大きい場合、屋外風速が大きい場合、開口面積が大きい場合に、通風量は大きくなる。

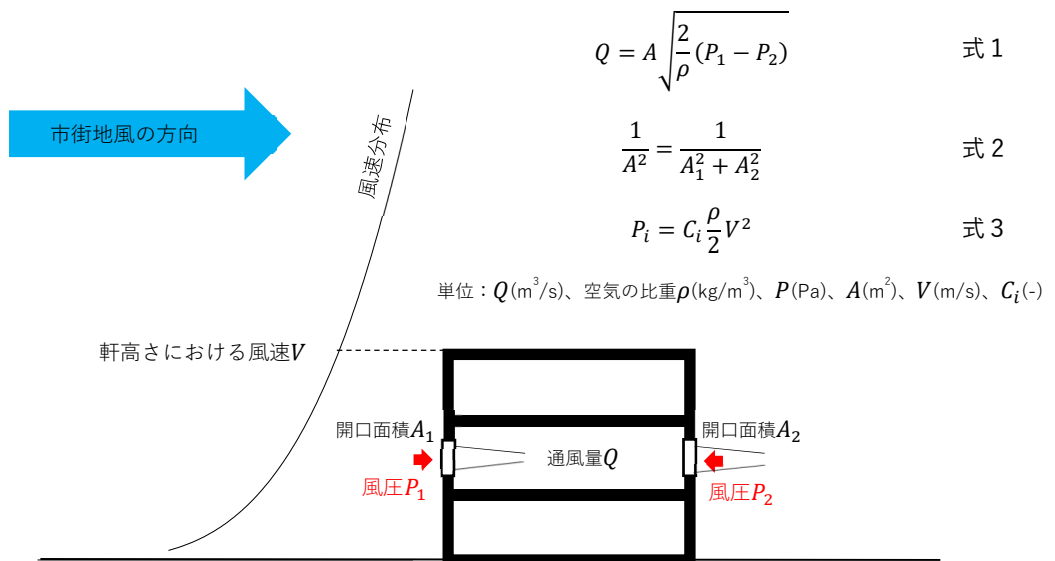


図 4.2.2.22 通風の原理

(3) 開口部に作用する風圧及び開口面積について

ある方位から外部風が吹いているとき、風速(建物の軒高の位置での風速)と建物各部の風圧の関係は、図 4.2.2.22 中の式 3 のような関係がある。式中の係数 C_i は「風圧係数」と呼ばれるもので、風洞模型実験や流体数値計算により求めることが可能である³⁾。

風向、2カ所の開口部に作用する風圧係数の差、及び風速を推定できれば、2カ所の開口部に作用する風圧の差を求めることができ、その後は図中の式 1 を用いて通風量を求めることができる。

省エネルギー基準のための通風量評価の前提条件としては表 4.2.2.2 に示すものが使用される。風速については様々な地域の風速を参考に、風圧係数差については風洞模型実験³⁾の結果を参考とし、安全側の条件(通風量を少なめに評価する側の条件)として定められている。いずれも住宅における通風の冷房負荷削減効果を評価する目的で定められたものではあるが、非住宅において適用することに問題はないと考えられる。

表 4.2.2.2 通風量算出時に使用が推奨される風速及び風圧係数差⁴⁾

住宅種別	参照風速 V_{ref}	風圧係数差 ΔC_p
戸建住宅及び 2 階建以下の共同住宅住戸	1.5	0.05
3 階建以上 5 階建以下の共同住宅住戸	1.8	0.3
6 階建以上の共同住宅住戸	2.0	

なお、通風量の計算に用いる開口部の開口面積としては、実開口面積ではなく、実開口面積に「流量係数」を乗じた面積を使用する。流量係数の値としては、引き違い窓で網戸が有る場合は 0.55 程度、無い場合は 0.63 程度とするのが適切と考えられる⁵⁾。

(4) 2 回/h の換気回数を得るための開口面積と開放時間

ここまでの知見を総合すると、間仕切壁などで仕切られていないひとつの部屋に設置された 2 つの開口を開けて通風を得る場合には、その通風量 Q は下式となる。

$$Q = AV\sqrt{C_1 - C_2} \quad \text{式 4}$$

部屋の床面積を $F(\text{m}^2)$ 、天井高を $H(\text{m})$ 、1時間毎に t 分窓を開けるとすると、換気回数 N は下式となる。

$$N = \frac{60tAV\sqrt{C_1 - C_2}}{FH} \quad \text{式 5}$$

なお、 A は2つの開口の合成開口面積のため、2つの開口の面積が等しいとした場合、図4.2.2.22の式2などから、各開口の必要面積が求まる。また、その値を流量係数(例えば0.55)で除すことにより実際の開口面積の必要値を求めることができる。

戸建住宅、2階建以下の共同住宅住戸又は2階建以下の非住宅建築物の場合

表4.2.2.2に基づいて、風速及び風圧係数差を各々、1.5m/s及び0.05とすると、換気回数は下式となり、この式より換気回数2回/hを達成するための窓開け時間(分)と開口面積に関する条件を求めることができる。

$$N = 20 \frac{tA}{FH} \quad \text{式 6}$$

3階建て以上5階建て以下の共同住宅又は非住宅建築物の場合

表4.2.2.2に基づいて、風速及び風圧係数差を各々、1.8m/s及び0.3とすると、換気回数は下式となり、この式より換気回数2回を達成するための窓開け時間(分)と開口面積に関する条件を求めることができる。

$$N = 60 \frac{tA}{FH} \quad \text{式 7}$$

但し、共同住宅等でひとつの部屋に2つの開口が無い場合には、間仕切ドアや欄間などを介して2つの開口を用いた通風を行う必要が生じる。仮に、2つの開口1と2の間にドア等の開口が2つ(各々の有効開口面積を A_3 と A_4 とする)存在したとすると、合成開口面積は式2に代えて次式とする必要がある。

$$\frac{1}{A^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \frac{1}{A_4^2} \quad \text{式 8}$$

(例題)

2階建て戸建住宅の1階の居間(床面積 25m^2 、天井高 2.5m)で異なる方位に2カ所の引き違い窓(網戸付き、高さ 2m と 1m の窓)があるとき、いずれも同じ幅、継続して開放しておくとするれば何センチ幅開放することで通風によって2回の換気回数を得られるか。室内と屋外の間に温度差はないとする。

式6に $N=2$ 、 $t=60$ 、 $F=25$ 、 $H=2.5$ を代入すると、 $A=0.104$ となる。開放幅を $x(\text{m})$ とすると、2つの窓の開口面積は各々、 $A_1 = 0.55 \times 2x$ 、 $A_2 = 0.55 \times x$ 、となり、式2に基づく次式を解き、必要な開放幅が約20センチであることがわかる。

$$\frac{1}{(0.104)^2} = \frac{1}{(0.55 \times 2x)^2} + \frac{1}{(0.55 \times x)^2}$$

$$\therefore x = 0.21(\text{m})$$

(5) 冬場における単一開口を用いた温度差換気

室内外に温度差があると一カ所の窓を開けただけで換気が行われる。図 4.2.2.23 は、窓の縦寸法が 2m で、室温を 18°C 一定とした場合の、換気量と外気温の関係窓の開放幅 W 毎に示した図である。換気量は 1 人当たりの必要換気量の目安である $30\text{m}^3/\text{h}$ の倍数で示している。在室人数に応じて外気温条件によって必要とされる窓の開放幅を読み取ることが可能である。例えば、在室者が 3 人で外気温が 5°C の場合においては、 0.06m 、即ち 6cm 程度この窓を開けることで必要な換気量が得られることがわかる。

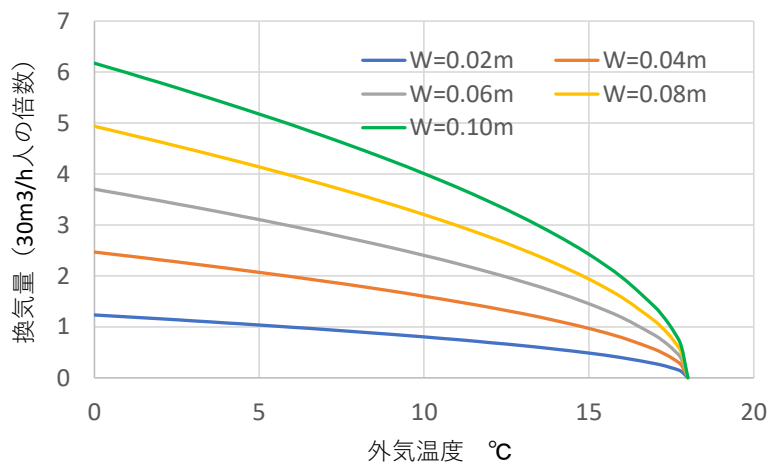


図 4.2.2.23 高さ 2m の窓を幅 $W\text{m}$ 開けたときの外気温と換気量の関係(室温 18°C)

なお、このように換気を行う場合、室温(18°C)及び相対湿度(例えば 40%)を維持するため、暖房設備を使用し、加湿を行う必要が生じる。参考までに、上述の在室者が 3 人、外気温 5°C (相対湿度を 50%と仮定)の場合では、約 400W 及び $180\text{g}/\text{h}$ の加温加湿が必要となる。

参考資料

1. 「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法、厚生労働省、2020 年 4 月 3 日、<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf> (2021 年 11 月 18 日ダウンロード)
2. 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法、厚生労働省、2020 年 11 月 27 日、https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_15102.html (2021 年 11 月 18 日ダウンロード)
3. 建築物の自然換気設計のための風圧係数データベース、建築研究資料第 189 号、建築研究所、2018 年 8 月、<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/189/all.pdf> (2021 年 11 月 19 日ダウンロード)
4. 平成 28 年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報(住宅)、2. エネルギー消費性能の算定方法、第三章暖冷房負荷と外皮性能、第一節全般、付録 C 通風を確保する措置の有無の判定、国立研究開発法人建築研究所、2012 年 11 月、https://www.kenken.go.jp/becc/documents/house/3-1_210826_v14.pdf (2021 年 11 月 20 日ダウンロード)
5. 自立循環型住宅への設計ガイドライン 温暖地版、3.1 自然風の利用・制御、建築環境・省エネルギー機構、2015 年 8 月

4.2.3 個別の対策技術

(上野貴広)

本節では住宅を対象として、ウイルス感染症対策技術の導入効果等について記述している。また各技術の導入・施工時の留意点や実際の導入例等についても紹介する。

取り上げている技術としては、加湿器、空気清浄機、全館空調などである。

4.2.3.1 加湿器

(柳宇)

(1) 冬期加湿の必要性

3.2.4.5 加湿器(p.114)に述べた通り、低湿度環境はインフルエンザウイルスや SARS-CoV-2 の生存率が高くなる恐れがあるため、低湿度の冬期においては加湿が必要である。

(2) 住宅用加湿器の種類と加湿原理

住宅用加湿器には、図 4.2.3.1 に示す種類がある。気化式は、フィルターに含まれている水分の蒸発によって加湿を行うものである。蒸気加湿は、ヒーターで加熱した水蒸気で加湿する方式である。超音波式加湿は、超音波振動子の振動による水の霧化による加湿方式である。






ハイブリッド式 (気化式×温風気化式)	ハイブリッド式 (超音波式×加熱式)	気化式	スチーム式	超音波式
 <p>水を含んだフィルターに風または温風をあてて加湿。</p>	 <p>水またはヒーターで加熱した水に細かい振動を与え、霧状にして空気中に噴霧して加湿。</p>	 <p>水を含んだフィルターに風をあてて加湿。</p>	 <p>水をヒーターで加熱した水蒸気で加湿。</p>	 <p>水に細かい振動を与え、霧状にして空気中に噴霧し加湿。</p>

図 4.2.3.1 住宅用加湿器の種類と加湿原理

(提供：Dainichi ホームページ <https://www.dainichi-net.co.jp/products/humidifier>)

(3) 加湿の衛生管理

ウイルスは加湿器内で増殖することはないため、ここでは加湿器における細菌汚染の問題について述べる。上記の何れの加湿方式は水をためるタンクが必要であり、そのタンクの衛生管理が重要である。スチーム式は、水が十分に加熱されているため比較的衛生的である。気化式については、これまでこの方式における微生物汚染の実態に関する研究成果が発表されており、気化式エレメントでの微生物汚染が時間の経過とともに顕著になることが明らかになっている^{1),2),3)}。超音波方式については、筆者らが行ったオフィスビルに設置されたポータブル超音波加湿器に関する菌叢解析の結果では、超音波加湿器の振動子の汚染により、加湿器内と付近の空中から同属の細菌(*Acinetobacter*, *Methylobacterium*, *Mycoplana*)が検出され、しかも加湿器近傍の空中の浮遊細菌濃度が顕著に高かった⁴⁾。*Acinetobacter*属細菌は多剤耐性菌を含むことが知られている。*Methylobacterium*属細菌は、浴室に見られるピンク色の細菌であり、バイオフィルムを形成する細菌である。この結果から加湿器の衛生管理が重要であることが強く示唆された。

参考文献

1. 松本重裕：気化式加湿器の実態調査、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.357-356、1993年
2. 勝井則明、他：気化式加湿器の微生物汚染に関する実験的研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.37-44、1996年
3. 柳宇：気化式加湿器における微生物汚染の対策方法、空気清浄第50巻 第5号 pp.18-23、2012年
4. 柳宇：厚生労働分担研究報告書－中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究(H29-健危-一般-007)、2018年

4.2.3.2 空気清浄機

(山本佳嗣)

夏期・冬期において、室内温熱環境の悪化の問題から換気を十分に確保することができない場合は、空気清浄機を併用することが有効である。空気清浄機については、図4.2.3.2に示すような留意点[※]が示されている。HEPA フィルターによるろ過式で風量が毎分5m³程度以上のものを10m²程度の範囲内に設置することが推奨されている。

空気清浄機を併用する際の留意点

- ◆ 空気清浄機は、HEPAフィルターによるろ過式で、かつ、風量が毎分5m³程度以上のものを使用すること。
- ◆ 人の居場所から10m²(6畳)程度の範囲内に空気清浄機を設置すること。
- ◆ 空気のだよみを発生させないように、外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させること[※]。
※ 間仕切り等を設置する場合は、空気の流れを妨げない方向や高さとするか、間仕切り等の間に空気清浄機を設置するなど、空気がよどまないようにしてください。

厚生労働省 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法
<https://www.mhlw.go.jp/content/10906000/000698848.pdf>

図4.2.3.2 空気清浄機を併用する際の留意点

4.2.3.3 全館空調

(澤地孝男)

(1) 住宅用の全館空調の概要

住宅のための全館空調は、建物外皮の高断熱高气密化が始まった1990年代から、枠組み壁工法住宅を中心に普及が始まり、現在ではより多数の住宅生産者及び空調機器メーカーが参入するようになった。逆に言えば、低い断熱性の家屋では光熱費が高騰するため実用性が乏しく、低い気密性の家(相当隙間面積 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ 程度以下であることが要件と言われる)では給気された部屋の静圧が高まり著しい漏気と熱損失が生じ問題が生じてしまう。したがって、全館空調の採用においては建物外皮を高断熱高气密化することが前提条件となると言える。

図4.2.3.3に戸建住宅用の全館空調システムの構成を示す。この例では空気調和機(図4.2.3.4)は1台のみで(1階中央部分)、そこで還気(ドアアンダーカット等から廊下・階段室経由で空気調和機に還る空気)と外気(通常は全熱交換換気ユニットにより予熱予冷される)が温湿度調整され、ダクトにより各居室に送られる。

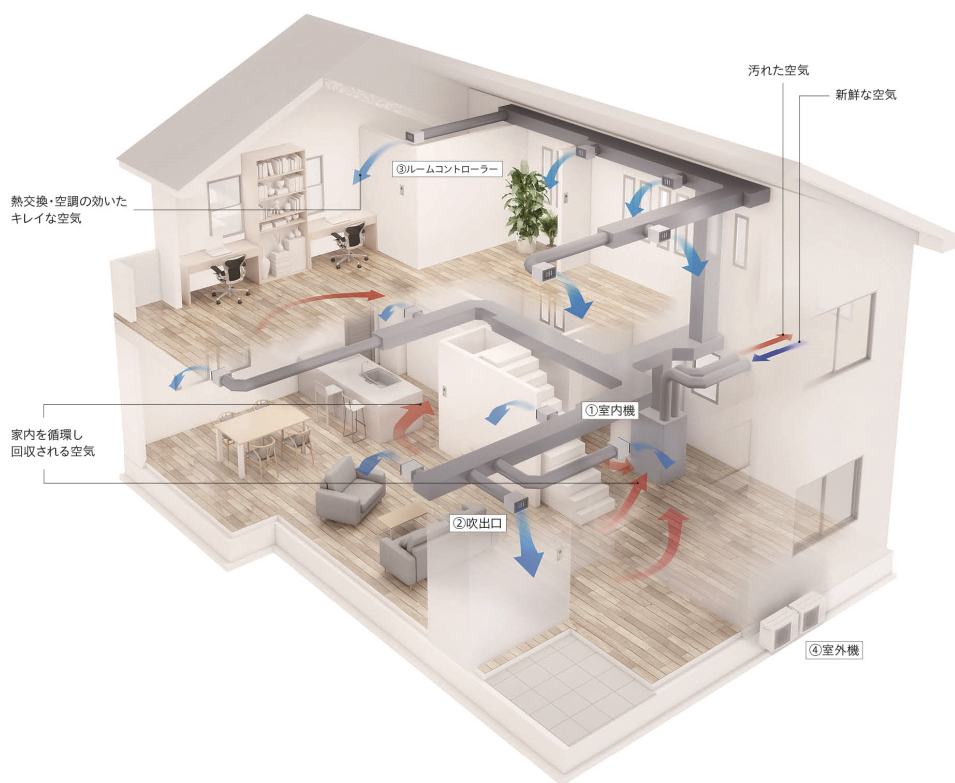


図 4.2.3.3 戸建住宅用の全館空調の例(提供：三菱地所ホーム)



図 4.2.3.4 空調機本体(右側が全熱交換器ユニット)

(提供：三菱地所ホーム)

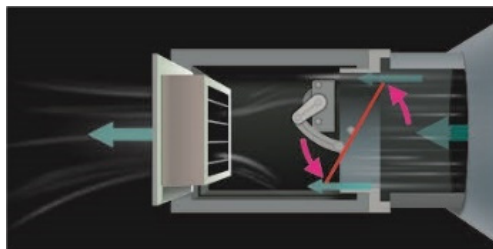
温度調整を各室毎に行う場合には、各室吹出口付近に風量可変とするための自動制御ダンパーを設ける必要がある(図 4.2.3.5)。そうではなく、全体として温度調整を行う場合には、代表箇所に置かれた温度センサーが示す値と設定温度との関係を見て空調機からの吹出風量等を自動制御する。



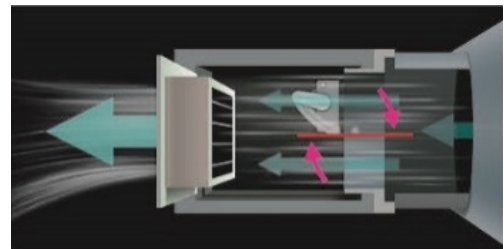
各室の VAV ユニット用リモコン



各室への換気口



VAV ユニット断面図(閉に近い状態)



VAV ユニット断面図(全開に近い状態)

図 4.2.3.5 全館空調設備の例(提供：三菱地所ホーム)

(2) 全館空調の利点と留意点

ここで述べる全館空調の利点は、住宅の建設者が設備と躯体を統合的に設計施工することの上に生じるものと言える。これまでの全館空調の成功事例では、全館空調の特長を理解した建設者がダクトの経路や設備本体の設置場所を確保する、外皮性能を確保して熱源の容量を適正化する、あるいは施主との間に維持管理契約を結びことによって、長期間にわたって高性能を維持するなどが履行されている。

また、多くの全館空調では、設備本体は床置きとされ(図 4.2.3.4 はその一例)、フィルター等の清掃や交換が容易となっている。

こうした良好な事例においては、住宅内部全体で温度ストレスが無く、良好な空気環境が作られ、光熱費を適正なものに抑えることが実現している。また、ゼロエネルギー住宅(暖冷房、換気、給湯、照明のエネルギー消費が太陽光発電の発電分によりキャンセルされる住宅)とすることも十分に可能となる。

一方で、留意点としては、冒頭に述べた設備と外皮の統合的な設計施工がなされない場合には、漏気による熱損失の増大とエネルギーの浪費や、各室の温度調節の不具合などが生じる恐れが生じる。また、維持管理を履行しない場合には、換気や空調能力の低下が生じることも考えられる。

(3) COVID-19 などの感染者が発生した場合の対処方法

「(9) 陽性患者が自宅療養する場合の家庭内感染対策(p.189)」に対処方法がまとめられているが、全館空調方式で居住者に感染者が発生した場合には、いずれかの個室(寝室)に滞在してもらい、その部屋に関しては窓をわずかに開放することで、部屋→廊下→設備本体→住宅全体の循環経路に対して、その部屋の空気を還さない方法も一考に値する。その場合には、ドアアンダーカットなどの還気経路を塞ぐなどの追加的措置も考慮に値する。

また、本体に設置するフィルターを中高性能フィルターとすることで、ウイルスを含むエアロゾルの除去に効果を上げることも可能と考えられる。

4.2.3.4 シャッター

(山本佳嗣)

密集市街地の住宅においては、防犯上の問題やプライバシーの問題により窓の開放が難しいこともある。そのような場合の手段として、換気機能を備えたシャッターについて紹介する。図 4.2.3.6 に示すものは換気機能が付加された住宅用シャッターの例である。外ルーバー状になっているものもあり、日中に日射遮蔽用のルーバーとしても同時に機能する製品もある。これらのものを活用することにより、特に中間期等においては積極的な窓開け換気を推進することが可能となる。

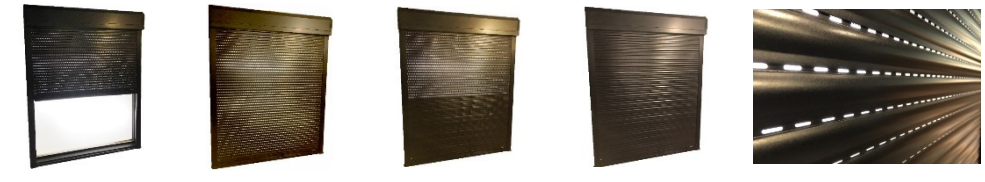
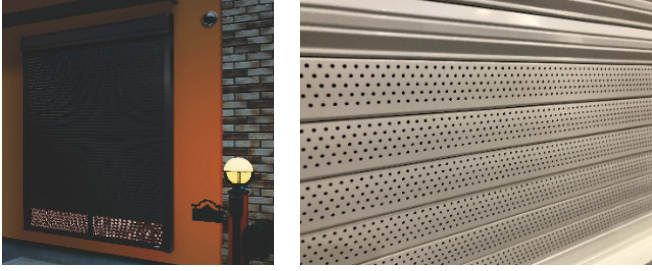
外付ブラインド	
外観	
内観	
概要	(角度可変によって)日射遮蔽しながら換気・通風が可能 (ルーバーによって)外部からの視線カットしながら、換気・通風が可能 (全閉でも)微量の通気性を確保するため、防犯・防雨に配慮しながら換気が可能
スリット式窓シャッター	
外観	 <p style="text-align: center;"> シャッター半開 スリット全開 スリット半開 スリット全閉 </p>
概要	シャッター半開(途中で止めて)、すだれ使い スリット全開で、換気・通風が可能 スリット半開で、プライバシー確保しながら換気・通風が可能 (全閉でも)微量の通気性を確保するため、防犯・防雨に配慮しながら換気が可能

図 4.2.3.6 換気機能が付加された住宅用シャッターの例-1(提供：文化シャッター／オイレス ECO)

パンチングスラット窓シャッター	
外観	
概要	<p>シャッター半開(途中で止めて)、すだれ使い 全閉(下部パンチングによって)プライバシー確保しながら換気・通風が可能</p>

ルーバー式雨戸・ルーバー式面格子	
外観	
概要	<p>(角度可変によって)日射遮蔽しながら、換気・通気が可能 (ルーバーによって)外部からの視線カットしながら、換気・通気が可能 (全閉でも)微量の通気性を確保するため、防犯・防雨に配慮しながら換気が可能</p>

図 4.2.3.7 換気機能が付加された住宅用シャッターの例-2(提供：文化シャッター／不二サッシ)

参考文献

1. 鳥海ら：5. 住宅における換気によるウイルス感染対策について、日本建築学会、
http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/House_vent_1.pdf
2. 日本建築学会、新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して/「換気」に関する
 Q&A、2020年3月30日、<https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200330.pdf>
3. 「新型コロナウイルス感染症予防のための夏期における室内環境対策」、建築衛生分野の研
 究者からの報告、2020年5月20日、
https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/arch/COVID19_summer.pdf
4. WHO Housing and health guidelines, World Health Organization 2018
5. SDGs スマートウェルネス住宅研究企画委員会「建物の感染対策チェックリスト(住宅版)」
https://www.jsbc.or.jp/research-study/files/swh/Infection-control_checklist.pdf

第5章 おわりに

(林基哉)

本篇は、「ポスト COVID-19 に向けた建築・設備におけるウイルス感染症対策と省エネルギーの両立」に関する 2021 年度におけるの最新情報を収集整理したものである。COVID-19 は、発生から 2 年を超えた現在においても変異株の発生と感染拡大、医療体制の切迫、経済損失など、様々な社会不安をもたらしている。建築・設備における対応は、感染力と感染に伴う被害の想定によって検討される必要があるが、現時点ではこれらの想定を具体化することは非常に難しい。適切な想定に基づいて、建築物の用途を踏まえて、既存建築物における応急的措置、新築改築時における設計基準を明らかにする必要がある。一方、感染症対策の基本である、換気量の増加、在室人数の抑制は、エネルギー消費の増加をもたらす可能性がある。温暖化が新たな感染症の発生と拡大に関連するとの指摘がある中、省エネルギーと感染症対策の両立は、今後の建築設備の重要課題である。本篇では、COVID-19 に関する国内外の知見、オフィスビルと住宅における感染症対策の実態と、空調換気、空気清浄などの対策について示している。時々刻々、感染症に関する新たな知見が得られると共に、対策技術の開発と普及が進んでいる。新たな知見を加えて、本篇を刷新することを計画している。

ポスト COVID-19 に向けた建築・設備におけるウイルス感染症対策と省エネルギーの両立
執筆者名簿(所属は 2022 年 3 月現在)

林 基 哉	/	北海道大学	
上野 貴 広	/	国立研究開発法人建築研究所	
澤地 孝 男	/	一般財団法人日本建築センター	
柳 宇	/	工学院大学	
鍵 直 樹	/	東京工業大学	
菊田 弘 輝	/	北海道大学	
金 勲	/	国立保健医療科学院	
開原 典 子	/	国立保健医療科学院	
海 塩 涉	/	東京工業大学	
山本 佳 嗣	/	東京工芸大学	
尾方 壮 行	/	東京都立大学	
新村 浩 一	/	三機工業株式会社	
梅野 徹 也	/	積水ハウス株式会社	
松井 伸 樹	/	ダイキン工業株式会社	
鳥越 順 之	/	ダイダン株式会社	
高橋 直 樹	/	株式会社日建設計総合研究所	
田中 宏 昌	/	株式会社日建設計	
宮内 啓 輔	/	株式会社日本設計	
林 義 秀	/	パナソニックエコシステムズ株式会社	
中島 雄 介	/	ミサワホーム株式会社	
湯 浅 惇	/	株式会社ミサワホーム総合研究所	
高 田 勝	/	三菱電機株式会社	
小林 章 樹	/	三菱電機株式会社	
入口 泰 尚	/	ヤマト住建株式会社	
三箇山 茜	/	大建工業株式会社	情報提供・協力
森本 晋 平	/	東プレ株式会社	情報提供・協力
橋本 俊 彦	/	パナソニックエコシステムズ株式会社	情報提供・協力
奥 正 治	/	文化シヤッター株式会社	情報提供・協力

【謝辞】

本資料の作成にあたり、上記執筆者をはじめとして「住宅・非住宅建築物の省エネルギー・脱炭素・室内環境のための技術体系に関する研究 実証データに基づく技術開発プロジェクト (フェーズ7) ポスト COVID-19 における空調・換気・通風計画のあり方検討委員会(委員長 林基哉 北海道大学教授)」に参画する学識者の皆様、企業の皆様からの情報提供や貴重なご意見およびご協力を頂戴しましたことに感謝申し上げます。

**住宅・非住宅建築物の省エネルギー・脱炭素・室内環境のための技術体系に関する研究
実証データに基づく技術開発プロジェクト(自立循環プロジェクト)
ポスト COVID-19 における空調・換気・通風計画のあり方検討委員会
委員名簿(2022年3月現在)**

委員長	北海道大学	林 基 哉
幹事	国立研究開発法人建築研究所	桑 沢 保 夫
幹事	国立研究開発法人建築研究所	上 野 貴 広
委員	一般財団法人日本建築センター	澤 地 孝 男
委員	工学院大学	柳 宇
委員	東京工業大学	鍵 直 樹
委員	北海道大学	菊 田 弘 輝
委員	国立保健医療科学院	金 勲
委員	国立保健医療科学院	開 原 典 子
委員	東京工業大学	海 塩 涉
委員	東京工芸大学	山 本 佳 嗣
委員	東京大学大学院	前 真 之
委員	旭化成ホームズ株式会社	吉 田 和 史
委員	OMソーラー株式会社	中 村 正 吾
委員	大阪ガス株式会社	田 中 敏 英
委員	関西電力株式会社	川 上 将 史
委員	三機工業株式会社	新 村 浩 一
委員	三協立山株式会社 三協アルミ社	高 橋 泰 雄
委員	住友林業株式会社	北 原 祐 司
委員	株式会社西部技研	永 嶋 幸 次
委員	積水化学工業株式会社	朝 桐 大 介
委員	積水ハウス株式会社	梅 野 徹 也
委員	ダイキン工業株式会社	松 井 伸 樹
委員	大建工業株式会社	三 箇 山 茜
委員	ダイダン株式会社	古 川 悠
委員	中部電力ミライズ株式会社	早 川 慶
委員	株式会社長府製作所	鍵 山 智 也
委員	東京ガス株式会社	東 郷 悟 史
委員	東プレ株式会社	森 本 晋 平
委員	株式会社日建設計総合研究所	高 橋 直 樹
委員	株式会社日本設計	宮 内 啓 輔
委員	パナソニックエコシステムズ株式会社	林 義 秀
委員	文化シャッター株式会社	鶴 見 幸 恵
委員	ミサワホーム株式会社	湯 浅 惇
委員	三菱電機株式会社	高 田 勝
委員	ヤマト住建株式会社	入 口 泰 尚
委員	YKK AP 株式会社	直 井 康 二
	東京工業大学	浅 岡 凌
事務局	一般財団法人建築環境・省エネルギー機構	青 木 正 諭
事務局	一般財団法人建築環境・省エネルギー機構	鈴 木 基 之
事務局	一般財団法人建築環境・省エネルギー機構	今 井 聡 子

ポスト COVID-19 に向けた建築・設備における ウイルス感染症対策と省エネルギーの両立 Ver.1

2022年3月22日 第1版発行

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

発行：一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構
建築省エネルギー部

〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-8-9 HB 平河町ビル

TEL. 03-3222-6681(代表)FAX. 03-3222-6696

ホームページ <https://www.ibec.or.jp/>

自立循環プロジェクトホームページ <https://www.jjj-design.org/>