

令和 7 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

空気質部会：空気質・換気基準に関する検討

分担研究者	鍵 直樹	東京科学大学環境・社会理工学院 教授（主査）
研究代表者	本間義規	国立保健医療科学院建築・施設管理研究部 部長（幹事）
分担研究者	東 賢一	近畿大学医学部 教授
分担研究者	大岡龍三	東京大学生産技術研究所 教授
分担研究者	長谷川兼一	秋田県立大学システム科学技術学部 教授
研究協力者	林 基哉	北海道大学大学院工学研究院 客員教授

研究要旨

建築物環境衛生管理基準の設定根拠について、当時の報告書をもとに整理を行い、近年の知見では、二酸化炭素、浮遊粉じん、一酸化炭素、ホルムアルデヒドにおいて、諸外国や国際機関でリスク評価が行われ、ガイドラインが設定されている。さらに室内の微生物汚染や大気中の超微小粒子汚染など、室内環境や大気汚染による健康影響が近年示唆されている。

室内 PM2.5 については、諸外国の指針値を調査し、その発生源と建築物における実態について文献調査を行っている。特定建築物においては、室内発生とともに外気の侵入を考慮する必要があること、WHO の指針値を達成するための対策としては空調機エアフィルタが重要な役割があること、低濃度を基準値と比較するには測定方法に課題があることを述べている。

室内環境、特に室内空気質の総合的な評価について、既往研究のまとめを行い、大気環境で用いられている AQI とともに、室内空気質について考慮している文献の調査を行った。それぞれの提案手法には、長所、短所があり、特定建築物に適用する際には、更なる検討の必要性を述べている。

さらに、換気基準の考え方として、ASHRAE Standard 62.1 のレビューも行った。

1.1 建築物環境衛生管理基準・空気質基準の設定根拠と整理（鍵直樹、本間義規、東賢一、大岡龍三、長谷川兼一、林基哉）

A. 研究目的

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）に規定する建築物環境衛生管理基準については、近年の特定建築物を取り巻く状況は大きく変化し、国際機関では室内空気質ガイドライン等の見直しが行われていることから、厚生労働省では令和 2 年 12 月に建築物衛生に係る有識者で構成する「建築物衛生管理に関する検討会」を立ち上げ、国際基準等を踏まえた建築物環境衛生管理基準の見直し等の検討を行い、一酸化炭素および温度の基準を令和 4 年 4 月に改定した。また、この検討会の報

告書「建築物衛生管理に関する検討会報告書（令和 3 年 7 月）」によれば、一酸化炭素、温度の他に、微小粒子状物質（PM2.5）、二酸化炭素についても検討結果を報告しており、PM2.5 について空気環境の調整の項目に追加する場合は、空気環境の測定方法、具体的な維持管理手法、事業登録制度との整理等が必要であることから、引き続きデータ等を収集すること、二酸化炭素については健康影響を考慮しつつ、建築物衛生法における二酸化炭素濃度の基準値のあり方を引き続き検討するとしている。

本報では、空気環境の測定項目である、温度、相対湿度、気流、二酸化炭素、浮遊粉じん、一酸化炭素、ホルムアルデヒドに関して、これらの環境衛生管理基準を設定するにあたっての経緯や根拠について解説する。さらに、室内

PM2.5 の特徴を述べるとともに、建築物衛生法における空気質に関する環境衛生管理基準の項目（二酸化炭素、一酸化炭素、浮遊粉じん、ホルムアルデヒド）の評価手法について、関連研究のレビューを行った。また、ASHRAE 62.1 を対象に、換気と室内空気質の規格について検討を行った。

B. 建築物環境衛生管理基準の制定根拠

B.1 はじめに

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）（昭和 45 年 4 月 14 日法律第二十号）「第四条第一項」では、「建築物環境衛生管理基準」を規定している。ここでは、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ものは、政令で定める基準に従って当該特定建築物の維持管理をしなければならないと規定されている。

建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行令（建築物衛生法施行令）は、1970 年（昭和 45 年）10 月 12 日に公布されている。その後、幾多の改正を経て、2022 年（令和 4 年）4 月 1 日に改正された施行令（政令第三百四十七号）が、建築物環境衛生管理基準としては最新の内容である。その後の 2025 年（令和 7 年）4 月 16 日に改正がなされたが、建築物環境衛生管理技術者試験の受験手数料が 13,900 円から 17,900 円に増額されたのみの改正である。

建築物衛生法施行令に規定されている建築物環境衛生管理基準において、空気調和設備を設けている場合の空気環境の調整に関する基準は表 1 の通りである。

表 1 建築物環境衛生管理基準

項目	基準
浮遊粉じんの量	0.15mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有率	~~6 ppm-10ppm~~ （厚生労働省令で定める特別の事情がある建築物にあつては、厚生労働省令で定める数値）以下
二酸化炭素の含有率	1000ppm 以下

温度	一 18℃ ~~-17℃~~ 以上 28℃以下 二 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%以上 70%以下
気流	0.5m/秒以下
ホルムアルデヒドの量	0.1mg/m ³ (0.08ppm)以下

* 取り消し文字の部分の基準は 2022 年 4 月 1 日改に正施行

建築物環境衛生管理基準は、空気環境の調整、給水および排水の管理、清掃、ねずみ・昆虫等の防除に関し、環境衛生上良好な状態を維持するために必要な措置について定めている。本基準は建築物内部の人工的な総合環境を網羅した管理基準であり、この管理基準を遵守するため、建築物の所有者は権原者として、管理技術者を選任し、管理項目に沿った維持管理を実施する義務が課せられている。本基準は制定後 50 年以上経過した現在でも維持管理関係者に広く浸透し、衛生規制として重要な役割を担っている。また、対象外施設の維持管理基準やガイドラインとしても広く参考とされ、活用されている。

本報では、空気環境の測定項目である、温度、相対湿度、気流、二酸化炭素、浮遊粉じん、一酸化炭素、ホルムアルデヒドに関して、これらの環境衛生管理基準を設定するにあたっての経緯や根拠について解説する。

B.2 建築物衛生法の設立の背景

1965 年（昭和 40 年）6 月 30 日、厚生大臣の諮問に応じて、(1)環境衛生に係る公害に関する重要事項、(2)水道・清掃施設・下水道の終末処理場その他環境衛生に係る生活環境に関する重要事項、これら 2 項目を調査審議するために「公害審議会」（1967 年 11 月 25 日に生活環境審議会に改名）が発足した¹⁾。この審議会の中に生活環境部会が設置され、「健康的な居住水準の設定について」が 1965 年 9 月 27 日に諮問された（厚生省環第 659 号）。その後、公害審議会の審議過程において、「多人数利用建築物の衛生水準の設定について」があわせて審議され、生活環

境部会は、1966 年 8 月 13 日に上記 2 項目に関する中間答申を公害審議会に提出した²³⁾。

「多人数利用建築物の衛生水準の設定について」の中間答申では、ビルなどの建築物に対する衛生上の設備およびその維持管理についての十分な規制や指導が行われていないことから、多くの問題が生じているので、国民の健康を保持、増進するためには、厚生行政の立場から建築物の環境衛生基準の設定、建築物の維持管理に関する専門技術者制度の創設等について早急に措置する必要があるというものであった⁴⁾。当時、夏期の冷房により消化器系疾患の罹患率が上昇する例がみられること、旧式ビルで冬期暖房中に二酸化炭素濃度が 0.3～0.4%まで上昇する例がみられること、空気調和設備が適切に使用されると粉じん濃度が外気濃度より下回ることが多いことなどが報告されていた。従って、このような背景をもとに、厚生省ではこの問題についての技術的な基礎固めを行うため、昭和 40 年度厚生科学研究補助金により、社団法人空気調和・衛生工学会に研究を委託した⁵⁾。同学会は、建築学、衛生工学、医学などの学者で組織する委員会を立ち上げ、欧米先進諸国の制度等も参考にして研究を進め、1966 年 3 月に「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」(委員長：小林陽太郎 氏)⁶⁾が報告された。これらの準備を経て、1970 年 4 月 14 日に「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」が公布された。

「建築物環境衛生管理基準」は、1970 年 10 月 12 日に公布された「建築物衛生法施行令」の中で規定された。基準値の概念としては、理想値、目標値、推奨値、許容最低限度といった各段階がある⁹⁾。この管理基準は、基準違反に対して直ちに法的措置がとられるものではなく、実現可能な望ましい基準というべきものを示し、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に、遵守するよう要求しているものであって、推奨値的性格の強いものとされている。

B.3 建築物環境衛生管理基準の設定について

建築物環境衛生管理基準の設定にあたっては、「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」

が基盤となっている。この報告書では、ビルディング、すなわち閉鎖された建築物の内部において、最小限 8 時間以上継続的に労働する人体に対し、安全、健康、快適性（選択性）、能率を目的として環境衛生基準が検討されている。そして、空気環境に関わる基準として、温度、相対湿度、気流、換気（二酸化炭素）、塵埃（じんあい）、有害ガス（一酸化炭素、二酸化炭素）について基準が提案された。しかし、建築物環境衛生管理基準は、この報告以降に発表された当時の最新の知見とともに検討されており、特に、一酸化炭素と浮遊粉じんについては、1960 年代の大気汚染での取り組みが参考にされている。また、ホルムアルデヒドの基準値は、2002 年 10 月に追加されており、これらの項目とは背景や経緯が異なっている。温度と一酸化炭素の基準は、世界保健機関（WHO）のガイドラインに基づき 2021 年 12 月に改正された。

建築物環境衛生管理基準に関わる法規等の経緯を表 2 に示す。空気質部会の報告書として、二酸化炭素、浮遊粉じん、一酸化炭素、ホルムアルデヒドの基準値設定について解説する。

表 2 建築物環境衛生管理基準に関わる法規等の経緯

年月日	建築物衛生法関連の法規・報告等	特記事項
1965 年 9 月 27 日	公害審議会に設置された生活環境部会	「健康的な居住水準の設定について」を諮問
1966 年 3 月 31 日	「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」 (厚生省より社団法人空気調和・衛生工学会に委託) 報告書	空気調和、暖冷房、換気、採光照明、騒音防止に関する基準を扱い、環境諸要素の基準値として、目標値、推奨値、許容限度の段階的基準を提案
1966 年 8 月 13 日	公害審議会	「健康的な居住水準の設定」および「多人数利用建築物の衛生水準について」に関する中間答申

1970 年 4 月 14 日	「建築物衛生法」公布(昭和45年法律第20号)	
1970 年 10 月 12 日	「建築物衛生法施行令」公布(昭和45年政令第304号)	建築物環境衛生管理基準として「浮遊粉じん」「一酸化炭素」「二酸化炭素」「温度」「相対湿度」「気流」の基準値等を規定
1970 年 10 月 13 日	「建築物衛生法」施行	
1970 年 10 月 13 日	「建築物衛生法施行令」施行	
2002 年 10 月 11 日	「改正建築物衛生法施行令」公布(平成14年政令第309号)	「ホルムアルデヒドの量」の建築物環境衛生管理基準への追加
2021 年 12 月 24 日	「改正建築物衛生法施行令」公布(令和3年厚生労働省令第347号)	温度、一酸化炭素の基準値を改正
2021 年 4 月 1 日	「改正建築物衛生法施行令」施行	

B.3.1 二酸化炭素

1971 年に作成された建築物環境衛生管理技術者講習会テキスト⁴⁾において以下の記述がある、「二酸化炭素濃度は、空気清浄度の1つの指標として、従来より測定されており、また居室では、人の呼気、喫煙、炊事、また調理等により、影響を受けやすい。二酸化炭素自体は、少量であれば人体に有害ではないが、1000ppmを超えると倦怠感、頭痛、耳鳴り、息苦しさ等の症状を訴えるものが多くなり、フリッカー値の低下も著しいこと等により定められたものである。」

「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」の報告書では、二酸化炭素を有害ガスとした場合の基準値として、許容限度 5000ppm、推奨値 1500ppm、目標値 1000ppm が提案されている。また、この報告書では、換気設備の組み合わせに基づき設備等級に応じて定めた二酸化炭素濃度の許容限度が示されている。換気設備の組み合わせが最も簡素な場合は 0.07~0.10% (700~1000ppm)、その組み合わせが増えるに従い、0.10~0.15% (1000~1500ppm)、0.15~0.20% (1500~2000ppm) が許容限度とされている。

1968 年に世界保健機関 (WHO) が公表した「住居の衛生基準に対する生理学的基礎」⁸⁾では、二酸化炭素の基準について次の記載がある。

「最近まで地上の炭酸ガス (二酸化炭素) の作用の研究に2つの判定が用いられていた。その第1は、生理学的研究によると、0.5% (5000ppm) 以上の濃度になると、炭酸ガスは呼吸数をガス交換に必要なレベル以上に増加させ、呼吸系統に付加的な重荷を負わせる。第2は 1881 年に Pettenkofer と Flügge は 0.07~0.1% (700 ~ 1000ppm) を炭酸ガスの許容濃度とみなすと提言した。第2の数値は生理学的な基礎を持っていないが、これは家庭内の空気汚染の間接的な指標としてかなり実数的な数値であると認められた。はなはだ最近まで、この値は室の中の空気の更新に必要な速度を計算するのに用いられたし、また、室内の空気の質を評価して、換気系統の能率を判定するのに用いられてきた。」また、WHO の報告書では、1964 年に Eliseeva が発表した研究を引用し、0.1% (1000ppm) の炭酸ガスの吸入実験によって、呼吸、循環器系、脳の電気活動に変化がみられたと報告している。

従って、二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の設定にあたっては、WHO の報告書で指摘された二酸化炭素の判定基準を考慮しつつ、主に空気清浄度の指標 (換気の評価基準) の判定指標として、二酸化炭素の管理基準を 1000ppm に設定したと考えられる。近年の研究においても、低濃度の二酸化炭素による人体影響が報告されている⁹⁾ (表3)。

表3 二酸化炭素濃度と人体への影響⁹⁾

二酸化炭素濃度 (ppm)	生理変化	精神運動機能	症状	室内基準等
500 以上	pCO ₂ 、心拍数、心拍変動、血圧、末梢血液循環		700 ppm以上でシックビルディング症候群の症状 ^{a)}	
1,000以上		認識能力(意思決定、問題解決等)	学童の喘息症状の増悪 ^{a)}	居住空間における室内空気質指針値
5,000 以上				労働環境基準(8時間加重平均値TWA)
10,000 以上	呼吸数増加、呼吸性アシドーシス、代謝性侵襲(血中Caや尿中糖濃度の低下)、脳血流増加、分時換気量増加			
50,000 以上			めまい、頭痛、混乱、呼吸困難	
100,000 以上			激しい呼吸困難に続き、嘔吐、失見当、高血圧、意識消失	労働環境基準(短時間限界値STEL)

^{a)} 共存する室内汚染物質による影響の可能性が高い

B.3.2 浮遊粉じん

「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」で提案された浮遊粉じんの基準値は、大気塵埃濃度に応じた計数法による室内塵埃濃度が提案されていた。しかし当時、大気汚染に関する問題が社会的に大きくなったことから、1967年に公害対策基本法、1968年に大気汚染防止法が公布され、これらの取り組みの中で、浮遊粉じんも大気汚染物質として取り上げられていた。大気汚染に対しては、厚生省環境衛生局公害部（当時）が中心となって取り組んでいたが、建築物衛生法も厚生省環境衛生局が取り組んでいた。当時、建築物衛生法の検討時期と並行して、大気汚染物質としての浮遊粉じんの目標値や大気環境基準が検討されていた。従って、浮遊粉じんの建築物環境衛生管理基準を設定するにあたっては、大気汚染での取り組みが参考にされたと考えられる。

浮遊粉じんの建築物環境衛生管理基準が規定された建築物衛生法施行令（1970年10月12日）以前では、公害防止計画策定の基本指針として、浮遊粉じんの目標値(1)年間を通じて24時間平均値 0.15mg/Nm³ 以下の日数 50%以上、(2)同 0.3 mg/Nm³ 以下の日数 95%以上が 1969年5月27日に設定されている。これらの数値は、公害防止計画策定研究会から提案された24時間測定値の50%値が0.1～0.15mg/Nm³、24時間測定値の95%値が0.2～0.3mg/Nm³を踏まえ、当時の大気汚染の実態を考慮して採用されたものであった。公害防止計画策定研究会からの提案値は、日本における特異性閉塞性呼吸器疾患の疫学調査に基づくものであった。また、この基本

方針（案）に関する参考資料は、1969年（昭和44年）5月に厚生省環境衛生局公害部がとりまとめており、当時の諸外国における浮遊粉じんの基準も参考にされている。建築物衛生法の制定に対しては、厚生省環境衛生局が取り組んでいたことから、建築物衛生法における浮遊粉じんの環境衛生管理基準は、公害防止計画策定の基本指針における浮遊粉じんの目標値が採用されたと考えるのが妥当であると考えられる。

この後の1970年1月20日、生活環境審議会公害部会に浮遊ふんじん環境基準専門委員会が発足し、1970年12月25日には浮遊粒子状物質の環境基準に関する専門委員会の報告がなされている¹⁰⁾。この報告書では、浮遊粒子状物質の環境基準として「(1)連続する24時間の平均1時間値 100 μg/m³ (0.1mg/m³) 以下、(2)1時間値 200 μg/m³ (0.2mg/m³) 以下であって両条件を常に満足すること」が提案されている。この環境基準の設定根拠は以下の通りであった。

- (1) 浮遊粒子状物質の濃度が 600 μg/m³ (1200~300 μg/m³) となると視程は 2km 以下となり、地域住民の中に不快、不健康感を訴えるものが増加する。また交通事故発生増加に留意せねばならないとされている。150 μg/m³ (300~75 μg/m³) となると視程は 8km 以下となり、有視界飛行は困難となるとされている。
- (2) 年平均値（24時間値）100 μg/m³ の地区での非特異的非伝染性呼吸器症状（例えば慢性気管支炎症状）の有症率がそれ以下の地区に比べ増加がみられる。
- (3) 年平均値（24時間値）100 μg/m³ の地区に居住する学童の気道抵抗の増加がみられる。
- (4) 24時間平均値 150 μg/m³、1時間平均値 300 μg/m³ の状態が出現すると病弱者、老人の死亡率が増加する。
- (5) 米国における研究によれば年平均値 80 μg/m³ から 100 μg/m³ に増加すると全死亡率の上昇がみられた。
- (6) 英国における研究によれば年平均値 140 μg/m³ から 60 μg/m³ に改善されたとき地域の「たん」の排出量の著明な減少がみられた。

1971 年に作成された厚生大臣指定建築物環境衛生管理技術者講習会テキスト⁴⁾によると、以下の記述がある。「浮遊粉じんとは、その化学性を考慮することなく、また生成過程を問わず粒径が 10 ミクロン (μ) 以下の粒子状物質としているのは大気汚染防止法と同じである。一中略一。浮遊粉じんの人体への影響は著しいものがあり特に呼吸器系に対しては直接的であり、かつ、人に与える不快感、非特異的非伝染性呼吸器症状の有症率あるいは死亡率、または病理所見などを検討し、基準値を $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以下としたものである。」ここで記載されている症状は、上述の浮遊粒子状物質の環境基準の設定根拠で報告された症状と同じである。

浮遊粉じん環境基準専門委員会は、浮遊粒子状物質の環境基準として、24 時間の平均 1 時間値 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.1\text{mg}/\text{m}^3$) 以下を提案し、この数値が環境基準となった。建築物衛生法の環境衛生管理基準においては、公害防止計画策定研究会から提案された 24 時間測定値の 50% 値のうち、当時の特定建築物の実態を考慮して、 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ を採用したと考えられる。

大気中の浮遊粉じんは、粒径が小さい微小粒子ほど肺胞などの気道の奥深くまで侵入し、そこに沈着する割合が大きく、健康に対する影響がより大きいと考えられている。従って、 $10\mu\text{m}$ よりもさらに小さい粒径の粒子 ($\text{PM}_{2.5}$) に焦点があてられており、日本でも環境基準が 2009 年に設定されている。WHO が最新の空気質ガイドラインを設定しており、 $\text{PM}_{2.5}$ の空気質ガイドラインは 24 時間平均値で $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年間平均値で $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ である¹¹⁾。

日本の建築物衛生法が適用される特定建築物では、従来、環境たばこ煙が室内での主要な粉じんの污染源であった。しかしながら、分煙化の推進や喫煙率の減少にともない、浮遊粉じんの基準値超過率は大幅に減少し、この 10 年間は 2~3% 程度となっている。浮遊粉じんについては、室内の浮遊粉じんの形状、粒径、化学組成等の性状や挙動の把握を行い、再検討することが適当であると考えられる。また、生物由来の浮遊粉じんであるバイオエアロゾルに関しても、健康影響との関係が示唆されていることから、建築物における汚染状況と健康影響に関

する実態を把握し、適切な措置を検討する必要があると考えられる。

B.3.3 一酸化炭素

「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」の報告書で提案された一酸化炭素の基準値は、推奨値 20ppm、目標値 10ppm であった。これらの値は一酸化炭素を有害ガスとして評価したものである。一方、一酸化炭素も大気汚染物質として、当時の最新の知見をもとに 1960 年代に大気環境基準が検討されていた。従って、建築物環境衛生管理基準を設定するにあたっては、大気汚染での取り組みが参考にされたと考えられる。

一酸化炭素に係る環境基準の設定については、1969 年 (昭和 44 年) 1 月以来、厚生大臣の諮問機関である生活環境審議会に、そのための専門委員会を設けて検討が進められ、委員会は 1969 年 9 月 11 日に生活環境審議会に対して一酸化炭素の環境基準に関する報告を行った。その後、生活環境審議会は、1969 年 12 月 22 日、厚生大臣に対し、一酸化炭素に係る環境基準について答申を行なった。厚生省は、この答申を基に政府原案を作成し、関係各省の意見を調整した後、1970 (昭和 45 年) 2 月 16 日に中央公害対策審議会の下承を得た。そして 1970 年 2 月 20 日、公害対策会議及び閣議において、一酸化炭素の環境基準を決定した¹²⁾。一酸化炭素の環境基準としては、(1) 連続する 8 時間における 1 時間値の平均 20ppm 以下、(2) 連続する 24 時間における 1 時間値の平均 10ppm のいずれをも満たすものでなければならぬとされた。一酸化炭素 (CO) の環境基準設定の根拠に関する専門委員会の報告を表 4 に示す。

表 4 一酸化炭素の環境基準設定の根拠¹²⁾

項目	概要
人の健康と福祉に及ぼす影響	(1) CO は血液中のヘモグロビン (CO 血球素) と結びつきその結合力が酸素より 240 倍強いいため、CO 血球素の本来の酸素運搬の機能が阻害される。
	(2) CO が生体内のある種の酸素と結合、または反応することによって生

	理機能障害が起こる。
	(3) 自然的に体内で一酸化炭素ヘモグロビン (COHb) がごく少量であるが生成される。これは空気中に CO がない場合、スムーズに外へ呼吸とともに放出されるが、CO がある場合その肺胞からの解離が阻害される。
重要な人への影響とその汚染条件	(1) 内因性 CO (自然的に体内で発生する CO) の肺胞での解離を阻害することなく、完全に生理学的に解離を円滑に進行させるためには、吸入空気の CO 濃度は 5ppm を下回ることが望ましい。 (2) 喫煙・暖房・厨房、および大気汚染における CO の汚染などから吸収された CO をすみやかに体外へ排除するためには、環境大気中の CO は可及的に低濃度でなければならない。たとえば、1 時間値の平均 CO 濃度 20ppm の空気を、8 時間の間呼吸して COHb が増加した人の COHb 量が、もとの値までに回復するためには、1 時間値 5ppm 程度のところに、少なくとも 8 時間以上いることが必要である。この状態を 1 時間値の 24 時間平均値に換算すると 10ppm 程度となる。 (3) 時間識別能力の低下は、COHb 量が 2% に達するとあらわれてくる。たとえば、24 時間、CO に汚染された空気を呼吸する場合には、COHb 量を 2% 以下に維持するためには、CO 濃度の 1 時間値の 24 時間平均は 10ppm 以下でなければならないことになる。また、1 時間だけ CO に汚染された空気を呼吸する場合には、1 時間値 55ppm 以下であることが望ましい。 (4) 心筋梗塞発作患者には、1 時間値の 24 時間平均濃度 10ppm の CO 汚染が数日間つづくと、CO による悪影響があらわれる。 (5) COHb 量が 5% に達すると、精神神経機能が低下すること、貧血者、重要臓器の循環障害者の死期が早まることがみとめられている。この COHb 量 5% は、30ppm 8 時間で生

じる。

一酸化炭素に係る環境基準の設定については、1969 年 1 月から一酸化炭素環境基準専門委員会で検討が進められ、1969 年 9 月 11 日にこの委員会は、一酸化炭素の環境基準として、(1) 連続する 8 時間における 1 時間値の平均 20ppm 以下、(2) 連続する 24 時間における 1 時間値の平均 10ppm 以下のいずれも満たすことと報告している。建築物衛生法施行令は 1970 年 10 月 12 日に公布されており、それ以前に基準値の検討が実施されていたと考えられる。一酸化炭素環境基準専門委員会は、一酸化炭素の健康影響を考慮すると、5ppm 以下が望ましいとも報告している。従って、建築物環境衛生管理基準としては、一酸化炭素の環境基準の 24 時間における 1 時間値の平均 10ppm を採用したものと考えられる。

その後、WHO 欧州事務局が室内空気質ガイドラインを 2010 年に公表し、一酸化炭素の 24 時間平均のガイドラインとして 6 ppm を勧告した¹³⁾。このガイドラインは、一酸化炭素への長期間曝露によって、感覚運動能力の変化、認識能力への影響、感情や精神への影響、循環器系への影響、低体重児出生などとの関連が報告されてきたことによる。このことを受けて、建築物環境衛生管理基準が 2021 年 12 月に 6 ppm 以下に改正された。なお、WHO は、2021 年に空気質ガイドラインを改正し、一酸化炭素の 24 時間平均値として 3.4 ppm を勧告した¹¹⁾。この改正は、心筋梗塞による入院や死亡率の上昇に基づいている。

B.3.4 ホルムアルデヒド

室内空気中のホルムアルデヒドの量については、世界保健機関欧州地域事務局の空気質ガイドライン等において、短期間の吸入暴露による鼻咽頭粘膜への刺激作用を考慮し、その指針値は「30 分間の平均値で 0.1mg/m³」と定められている^{14,15)}。本改正においても、同指針値を考慮し、ホルムアルデヒドの量に関する基準の設定が行われた¹⁶⁾。WHO の最新の室内空気質ガイドラインにおいても、30 分間の平均値で 0.1mg/m³ が維持されている¹³⁾。この評価では発

がん影響や慢性疾患も考慮されており、このガイドラインによって、長期曝露による肺機能への影響、鼻咽頭がんや骨髄性白血病の発症も防止できるとしている¹³⁾。

C. 室内 PM2.5 の基準制定に向けて

C.1 PM2.5 の基準値、指針値

室内における粒子状物質の基準としては、先にも述べられているように、建築物衛生法においては粒径 10 μm 以下の浮遊粉じんが対象となっている。現在の建築物においては、たばこ煙による濃度の上昇は見られず、浮遊粉じん濃度の不適率（不適合となる建築物の割合）についても低い値で推移している。大気環境においては、ディーゼル排ガスなどの微小粒子が健康影響で問題となり、微小粒子状物質（粒径 2.5 μm の粒子を 50%の割合で分離できる分級装置を用いて、より粒径の大きい粒子を除去した後）に採取される粒子（PM2.5）に係わる環境基準として、2009 年に、1 年平均値 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、かつ 1 日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることが制定された。

室内においては、日本には基準値、指針値はない。WHO においては、大気及び室内についても、年平均値が 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、24 時間平均値が 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることとしている。米国 EPA においても、室内の指針として、年平均値が 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から引き下げられ、24 時間平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっている。

表 5 主な PM2.5 濃度の基準値・指針値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

国・機関	年平均	24 時間平均
大気環境基準 (日本)	15	35
WHO (2021)	5	15
EPA (米国)	9	35
EU	10	25

C.2 室内 PM2.5 の現状と対策・課題

室内における微粒子の発生源については、大気の侵入に加え、大気と同様に室内での燃焼によって発生することが知られている。従来から指摘されている発生源として、調理、ろうそく、

アロマ、ヘアースプレー・ドライヤー、タバコ煙、ガスストーブなどが、室内空気中の実測又はチャンバーを用いた発生試験により確認されている^{17,18)}。これらから発生した粒子には粒径 100 nm 以下の超微粒子（ナノ粒子）が含まれている。更に、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¹⁹⁾もある。

室内における粒子状物質の発生源は多岐にわたり、また発生した粒子も 10 nm から 10 μm の広範囲の粒径に渡っていること、これらが建築物衛生法の建築物環境衛生管理基準値となる粒径 10 μm 以下の浮遊粉じんのみならず、大気環境基準の PM2.5 に該当するような粒径の粒子も従来から建築物室内には含まれている。上述した室内の微粒子の発生源としては、住宅室内においてみられるものが多く、事務所などの特定建築物においては、たばこ煙や燃焼器具などの強力な発生源が少ない状況であることから、外気からの侵入が室内 PM2.5 濃度の基盤となっていると考えられる。

特定建築物となる事務所建築物において室内と外気の PM2.5 濃度を測定した例がある²⁰⁾。図 1 建物の各室内における PM2.5 濃度及び室内と外気濃度の比を表す I/O 比を示す。今回の測定箇所においては、PM2.5 濃度が 0.002～0.03 mg/m^3 程度となり、大気の基準値の「1 日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下」を下回る結果となった。I/O 比については、0.1 から 1.2 の範囲の値となった。O05 については、他の建物とは異なり、室内での在室者及び来訪者が多いことから、室内での発生量が多いことが要因と考えられる。O08 については、個別空調建物であり、外気からの侵入が大きいことによるものと考えられる。一方、I/O 比の低い T05、T17、O03、O05、O06 の空調機は中央方式であり、空調機に設置されているエアフィルタにより、外気及び室内の粉じんを除去していることが考えられる。以上のように、室内 PM2.5 濃度については、室内での発生源がある場合、また外気からの侵入により、その濃度が高くなる可能性がある。特に建物により濃度、I/O 比が同様の傾向を示していることから、外気からの侵入、外調機等の特性によるものが考えられる²¹⁾。建築物においては、現在室内の発生は決して多くないものの、大気か

らの影響も受け、WHO の指針値と比較すると濃度が高い建物も存在する。室内の PM_{2.5} の対策としては、通常の室内汚染物質と同様に、室内に入れない、室内で発生させない、発生したら速やかに除去することが基本となる。発生した微粒子の除去には、外気処理及び還気空気の浮遊粉じん浄化のために、エアフィルタが装着されていることが濃度の低下に寄与できるものと考えられる。

基準値、測定値共に質量濃度として表現されている。健康影響については質量濃度で検討され基準値が示され、測定方法としてもサンプルの質量を計測するもの又は同様の値を表示する相対濃度計が用いられている。しかし、超微粒子など微小粒子は、粗大の粒子よりも格段に質量が小さく、質量濃度で表現することが難しくなる。計測方法としても微粒子の質量を測定するよりも、散乱光などを検出して計数することが容易で、個数濃度での評価の方が都合がよい。健康影響の評価の元となる個数濃度による測定例が少ないため、個数濃度で表現された基準値はないため馴染みはないが、測定機器の低価格化、簡便性などからデータが揃ってくれば、個数濃度での評価が有効になるかもしれない。

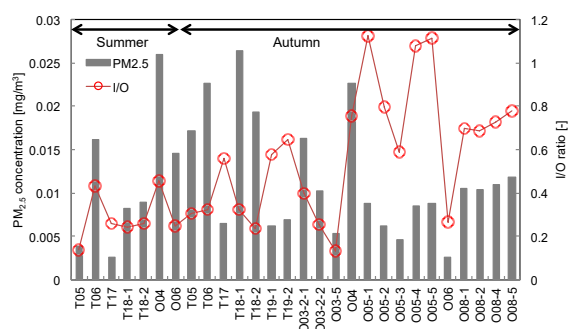


図1 各室の PM_{2.5}濃度と I/O 比

D. 室内空気質の総合評価

D.1 大気質指数 AQI

大気環境における空気の汚染度を一般の人にも分かりやすく数値化した指標として、米国 EPA において、表 6 のように 0～500 の数値と 6 段階の色分けにより表示しているものであり、この指標を参考に表 7 のように各国が異なる指標として適用している。

表 6 AQI のレベル分け

AQI Basics for Ozone and Particle Pollution			
Daily AQI Color	Levels of Concern	Values of Index	Description of Air Quality
Green	Good	0 to 50	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Yellow	Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.
Orange	Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.
Red	Unhealthy	151 to 200	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Purple	Very Unhealthy	201 to 300	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.
Maroon	Hazardous	301 and higher	Health warning of emergency conditions: everyone is more likely to be affected.

表 7 各国の AQI

国	指標の名称	特徴
アメリカ	US-AQI	世界で最も普及している基準。0～500 の数値で評価し、6 色で色分け。
中国	Chinese AQI	汚染レベルが高い状況に合わせた独自のしきい値を設定。
インド	National AQI	独自の 6 段階評価。
欧州(EU)	European AQI	欧州環境庁 (EEA) が運用。個別の物質ごとの状況を重視。
韓国	CAI (Comprehensive Air-quality Index)	0～500 の数値で、4 段階 (Good, Normal, Bad, Very Bad) に色分け。
イギリス	DAQI (Daily Air Quality Index)	1～10 の「10 段階」で表示。
カナダ	AQHI (Air Quality Health Index)	1～10+ の数値で、大気汚染による「健

		康リスク」に特化。
--	--	-----------

EPA による AQI の大気の評価項目は、大気汚染物質であり、基準値が存在する CO、NO₂、O₃、SO₂、PM10、PM2.5 を対象に、表 8 の各汚染物質の濃度閾値を用いて、下記の式により各汚染質の汚染指数 I_p を計算し、一番高い値がその場所の AQI とされる。

表 8 AQI の指標区分の境界値

These Breakpoints...							...equal this AQI	...and this category
O ₃ (ppm) 8-hour	O ₃ (ppm) 1-hour ¹	PM _{2.5} (μg/m ³) 24-hour	PM ₁₀ (μg/m ³) 24-hour	CO (ppm) 8-hour	SO ₂ (ppb) 1-hour	NO ₂ (ppb) 1-hour	AQI	
0.000 - 0.054	-	0.0 - 12.0	0 - 54	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Good
0.055 - 0.070	-	12.1 - 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Moderate
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	(55.5 - 150.4) ²	255 - 354	12.5 - 15.4	(186 - 304) ²	361 - 649	151 - 200	Unhealthy
0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	(150.5 - 250.4) ²	355 - 424	15.5 - 30.4	(305 - 604) ²	650 - 1249	201 - 300	Very unhealthy
(¹)	0.405 - 0.504	(250.5 - 350.4) ²	425 - 504	30.5 - 40.4	(605 - 804) ²	1250 - 1649	301 - 400	Hazardous
(¹)	0.505 - 0.604	(350.5 - 500.4) ²	505 - 604	40.5 - 50.4	(805 - 1004) ²	1650 - 2049	401 - 500	Hazardous

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BC_{Lo}) + I_{Lo}$$

C_p : 測定値

BP_{Lo} : 表中での C 値が当てはまる濃度区間の下限値

BP_{Hi} : 表中での C 値が当てはまる濃度区間の上限値

I_{Lo} : 表中での C 値が当てはまる指数区間の下限値

I_{Hi} : 表中での C 値が当てはまる指数区間の上限値

D.2 室内空気質への適用

室内空気質について、大気の AQI のような指標については様々な提案はされていたが、まだ特定の指標はない。室内空気質の評価については、単なる汚染物質の濃度と基準値との比較だけではなく、複合的な汚染物質の影響・健康リスク、主観的満足度、快適性、温熱環境との統合などの課題が考えられる。既往研究²²⁾において、表 9 に示す様々な手法の室内用の AQI (IAQI) について検討を行っている。多くの IAQI は、平均濃度を曝露限界値(ELV)で除して

いる形式となっており、汚染物質ごとのサブ指数を計算し、それらを集約して 1 つの総合指数を計算している。

表 9 各 IAQI の一覧

Index	Equation	Reference
IAPI	$I_{API} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \left(\frac{1}{L_i} \sum_{j=1}^{L_i} \left(\frac{C_{ij} - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \right) \right) \times 10$ (1) where L_i is the number of level-3 groups, L , the number of level-2 groups in each level-3 group, K , the number of level-1 pollutant variables in each level-2 group and max and min are the measured maximum and minimum concentrations of the BASE study (Girman et al., 1995), respectively.	Safuoglu and Moschandreas (2003)
LHVP	$I_0 = \frac{CO}{CO_{ELV}} + \frac{CO_2}{CO_{2,ELV}} + \frac{DIB}{DIB_{ELV}}$ (2) where $[CO]$ and $[CO_2]$ are carbon monoxide and dioxide concentration (ppm) respectively and $[DIB]$ is the total airborne bacteria concentration (cfu/m ³).	Castanet (1998)
CLIM 2000	$I_{CLIM2000} = \frac{1}{4} \left(\frac{CO}{CO_{ELV}} + \frac{CO_2}{CO_{2,ELV}} + \frac{NO_2}{NO_{2,ELV}} + \frac{HCHO}{HCHO_{ELV}} \right)$ (3) where $[NO_2]$ and $[HCHO]$ represent the concentration of nitrogen dioxide and formaldehyde respectively; concentrations are expressed in mg/m ³ .	
BILGA	$I_{BILGA} = \begin{cases} \max \left(\frac{E_{mean}^p - ELV_p^c}{ELV_p^c - ELV_p^a} \right), & \text{if } E_{mean}^p < 0 \\ \max \left(\frac{E_{mean}^p - ELV_p^a}{ELV_p^c} \right), & \text{if } E_{mean}^p \geq 0 \end{cases}$ (4) where E_{mean}^p is the mean exposure to pollutant p over the period of time T and ELV_p^c and ELV_p^a are the Exposure Limit Values for chronic and acute effects.	
GAPI	$GAPI = \sum_i W_i C_i$ (5) where C_i is the concentration of pollutant i and W_i is the impact weight coefficient of pollutant i	Cariou and Guillot (2005)
IEI Taiwan	$GAPI = \sum_i S_i W_i$ (6) where S_i is the score of category x and W_i is the impact weight coefficient of category x	Chiang and Lai (2002)
Quad-BBC	$I_{Quad-BBC} = \sum_{p=1}^P \frac{C_p}{C_{p,ELV}}$ (7) where p is the number of pollutants in the group and obs is the measured concentration.	Quad-BBC (2012)
DALY	$DALY_{disease} = YLD_{disease} + YLD_{disability}$ (8) where $YLD_{disease}$ are Years of Life Lost due to premature death from the disease and $YLD_{disability}$ are Years of Life Disability, weighted from 0 to 1 depending on disease severity.	Logue et al. (2011)

上述の計算手法については、大まかに 4 種類に分けることができ、①合計・平均型、②最大値型、③特定の数式型、④ブレイクポイント濃度を使ったスコア型となる。①合計・平均型については、測定値を基準値で割った方法で項目数を除するものもあり、全ての項目を同じ重要度としている。②最大値型では、BILGA の様に、全項目のサブ指数の最大値を計算に取り入れ、一番成績が悪い汚染質濃度のみ計算している。③特定の数式型では、曝露限界値(ELV)に基づかず、それぞれの汚染質の値をリターンする特定の式に基づいている。またはそれを合計したものである。④ブレイクポイント濃度を使ったスコア型については、各汚染物質に対して濃度の範囲(ブレイクポイント)に応じたスコアを割り当てる方法となっている。最終的に、カテゴリごとのスコアを重み付きで合計して総合スコアを算出する。それぞれには、利点・欠点があり、利点としては基準値と測定値があれば AQI のように簡便で評価できることがあるが、室内空気汚染物質ごとでリスクが異なるもののそれを評価しきれていない場合もある。

以上のような検討に加え、様々な IAQI について提案がされ、住宅を含めた建築物における室内汚染物質の濃度を用いて検討が行われている。

る²³⁻²⁵⁾。さらに温熱環境の項目として PMV を考慮した指標も検討がされている²⁶⁾。空気質と温熱環境との重みづけを如何に行うかが議論の余地を残すが、今後の空気環境を総合的に評価する上で重要な検討項目となっている。

E. まとめ

建築物環境衛生管理基準の設定は、1966 年に報告された厚生科学研究「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」が基盤となっており、二酸化炭素についても同様ではあるが、1968 年に WHO が公表した「住居の衛生基準に対する生理学的基礎」の報告書も考慮されていると考えられた。浮遊粉じんと一酸化炭素については、大気汚染における取り組みが関与している。浮遊粉じんについては、公害防止計画策定の基本指針、一酸化炭素については、大気環境基準を設定する際に各々の研究会や専門委員会で提案された数値が参考にされたと考えられる。ホルムアルデヒドの建築物環境衛生管理基準は、WHO 欧州が公表した空気質ガイドラインが考慮されている。近年の知見では、二酸化炭素、浮遊粉じん、一酸化炭素、ホルムアルデヒドにおいて、諸外国や国際機関でリスク評価が行われ、ガイドラインが設定されている。さらに室内の微生物汚染や大気中の超微小粒子汚染など、室内環境や大気汚染による健康影響が近年示唆されている。このような状況を鑑みれば、建築物の利用者の健康を維持増進するためにも、建築物における空気環境の維持管理の重要性はさらに高まっている。従って、建築物環境衛生管理基準の果たす役割は極めて大きく、今後のさらなる発展が期待される。

室内 PM2.5 については、諸外国の指針値を調査し、その発生源と建築物における実態について文献調査を行った。特定建築物においては、室内発生とともに外気の侵入を考慮する必要があり、WHO の指針値を達成するための対策としては空調機エアフィルタが重要な役割があること、測定方法に課題があることを述べた。

室内環境、特に室内空気質の総合的な評価について、既往研究のまとめを行い、大気環境で用いられている AQI とともに、室内空気質について考慮している文献の調査を行った。それぞ

れの提案手法には、長所、短所があり、特定建築物に適用する際には、更なる検討の必要があることを述べた。

F. 参考文献

- 1) 官報第 11563 号、1965 年 6 月 30 日
- 2) 小林陽太郎: ビル衛生管理法の成立背景の事情. ビルの環境衛生管理 1: 5054、1978
- 3) 金光克己: ビル管理法制定の経緯と背景. 空気清浄 33 (2): 31-35、1995
- 4) ビル管理教育センター: ビルの環境衛生管理. 厚生大臣指定建築物環境衛生管理技術者講習会・テキスト、1971
- 5) 竹中浩治: 建築物衛生管理法 (略称) 案について. 空気清浄 7 (2): 1-5、1969
- 6) 小林陽太郎他: ビルディングの環境衛生基準に関する研究. 昭和 40 年度厚生科学研究、1966
- 7) WHO. WHO Housing and health guidelines. World Health Organization, 2018
- 8) Goromosov MS: The physiological basis of health standards for dwellings. Public Health Papers No. 33, World Health Organization, Geneva, 1968
- 9) Azuma et al. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. Environ Int 121(Pt 1):51-56, 2018.
- 10) 生活環境審議会: 浮遊粒子状物質による環境汚染の環境基準に関する専門委員会報告. 生活環境審議会公害部会浮遊粉じん環境基準専門委員会、昭和 45 年 12 月 25 日、1970
- 11) WHO. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, 2021
- 12) 藤原正弘: 「一酸化炭素の環境基準」の解説と達成への方向. 空気清浄 8 (2): 1-9、1970
- 13) WHO Europe. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization Regional Office for Europe, 2010
- 14) World Health Organization, Regional Office for Europe: Air quality guidelines for Europe.

- Copenhagen, WHO Regional Publications, European Series, No. 23, 1987
- 15) World Health Organization, Regional Office for Europe: Air Quality Guidelines for Europe 2nd edition., WHO Regional Publication, Europeans Series, No. 91, Copenhagen, 2000
 - 16) 厚生労働省健康局生活衛生課長: 建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行令の一部を改正する政令等の施行に関する留意事項について. 健衛発第 0314002 号、厚生労働省健康局生活衛生課、平成 15 年 3 月 14 日、2003
 - 17) Hussein T., Glytsos T., Ondracek J., Dohanyosova P., Zdimal V., Hameri K., Lazaridis M., Smolik J. and Kulmala M.: Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house, Atmospheric Environment, 40, 4285-4307, 2006
 - 18) Afshari A., Matson U. and Ekberg L.E.: Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber, Indoor Air, 15, 141-150, 2005
 - 19) Kagi N., Fujii S., Horiba Y., Namiki N., Ohtani Y., Emi H., Tamura H. and Kim Y.S.: Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers, Building and Environment, 42, 5, 1949-1954, 2007
 - 20) 鍵直樹, 柳宇, 東賢一, 金勲, 林基哉, 開原典子, 大澤元毅: 事務所建築物における PM_{2.5} 濃度の実態と室内外濃度比, 日本建築学会学術講演梗概集、703-706、2016.8
 - 21) 鍵直樹, 柳宇, 大澤元毅, 金勲, 東賢一: 事務所建築物室内における PM_{2.5} 濃度と特徴, 日本建築学会学術講演梗概集、907-908、2014
 - 22) Jimin Kim, Taehoon Hong, Minhyun Lee, Kwangbok Jeong: Analyzing the real-time indoor environmental quality factors considering the influence of the building occupants' behaviors and the ventilation, Building and Environment, 156, 99-109, 2019
 - 23) Chanjuan Sun, Xin Huang, Jialing Zhang, Rongchun Lu, Chunxiao Su, Chen Huang: The new model for evaluating indoor air quality based on childhood allergic and respiratory diseases in Shanghai, Building and Environment, 207, 108410, 2022
 - 24) Xin Zhang, Yuesheng Fan, Wanqing Yu, Huan Wang, Feilong Zhao, Haitao Tao, Zeming Fu: Investigation of Indoor Air Quality and Staff Satisfaction in Underground Buildings in Xi'an, China, Polish Journal of Environmental Studies, 30, 4, 3365-3373, 2021
 - 25) Quang Phuc Ha, Santanu Metia, Manh Duong Phung: Sensing Data Fusion for Enhanced Indoor Air Quality Monitoring, IEEE Sensors Journal, 20, 8, 4430-4441, 2020
 - 26) Louis Cony Renaud-Salis, Olivier Ramalho, Marc Abadie: Towards the definition of an indoor air quality index for residential buildings based on long- and short-term exposure limit values, International Journal of Ventilation, 2019
- G. 研究発表**
1. 論文発表
なし
 2. 学会発表
なし
 3. 著書
なし
- H. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）**
- 予定なし

1-2 ASHRAE Standard 62.1 -2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality のレビュー及び考察（本間義規）

A. 研究目的

A.1. アメリカの換気基準

オフィスビルなどの非住宅の換気基準として活用されているのが ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）Standard 62.1¹⁾）である（図 1）。アメリカ合衆国は、州・自治体ごとに建築法規・換気等の技術基準が定められており、連邦レベルでは IBC (International Building Code)及び IMC(International Building Code)でその枠組みを提供している。換気については、IMC section 4 にて Ventilation が規定され、ASHRAE90.1（低層建築物を除く省エネ基準）、ASHRAE62.2 が具体的な数値基準として引用されている。ほとんどの州・自治体では IMC-ASHRAE62.1 を採用しているが、次に示す州・自治体は独自の省エネ規制や気候対応（湿潤・寒冷）などにより、ASHRAE 基準をベースにしながらカスタマイズしているというのが実情である（カリフォルニア州：California Building Standards Code（Title 24）、フロリダ州：Florida Building Code、ワシントン州：Washington State Building Code (WAC 51)、ミネソタ州：Minnesota State Building Code (Minnesota Rules Chapter 1346)、ニューヨーク市：NYC Building/Mechanical Code など）。ASHRAE が策定している ASHRAE62.1 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality (ANSI Approved)は、1973 年に初版（初版タイトル “Standards for Natural and Mechanical Ventilation”）が作られ、1981 年に現在の名称に変更になっている。当初 10 年おきに改訂されていたが、1999 年以降は 3 年ごとに改訂されている（2004 年に規格 62 は 2 つの規格に分割された。62.1 は商業施設、公共施設、高層住宅、62.2 は低層住宅を対象としている）。IBC、IMC に参照されるようになったのが 1990 年代で、そのころに IBC、IMC コード向けの記述、すなわち、用語の定義、室用途ごとの呼吸域の最低必要換気量、計算条件等、基準としての記載方法に変更となった。換気量要件の計算、多

数室を経由する場合の外気取り入れ量要件の計算法の説明は、全て User’s Manual に移行している（従って具体的な計算手順は 62.1 マニュアル²⁾ に詳しい）。なお本項は、ASHRAE62.1 委員会の委員を長らく務めている Andrew Persily（National Institute of Standards and Technology）のレビュー文献³⁾）を参考に、欧州規格情報などの改廃などを確認、日本の状況も踏まえて整理している。

B. 研究方法

本検討では、ANSI/ASHRAE62.1-2022¹⁾及び、ANSI/ASHRAE62.1 User’s Manual-2019²⁾、及び Persily の文献³⁾）を参考にして換気量設定の考え方とその量の推移に関し検討を行う。

B.1. ASHRAE62.1 の策定及び改訂の歴史

換気的重要性に関する議論は 18 世紀のラヴォアジエに始まり、ペッテンコーフェル(1858 年、住宅建築の換気について)、ナイチンゲール（1863 年、瘴気論、病院ノート）らによりその概念がほぼ確立した。アメリカではビルングス（John Shaw Billings, 1838～1913, 1884 年『The Principles of Ventilation and Heating』の著者）が有名である。ビルングスは人体からの放出物質（主に細菌等）の除去を目的として一人当たり 15L/s(54m³/h)の換気量を提案した。1913 年ニューヨーク州換気委員会では 5L/s～7.5L/s(18～27m³/h)、1930 年代には、Lehmberg 及び Yaglou らが体臭レベルを指標とするチャンバー実験を行い、1 人あたり約 8L/s（7.5 ～ 9 L/s）の換気量で不快ではないレベルを維持できることを示している。

初版である ASHRAE 規格 62-73“Standards for Natural and Mechanical Ventilation”では、換気量に関し「居住者の健康、安全、および幸福を維持するための最小および推奨空気量」の 2 種類を定義し、健康・快適性、建築基準法等の規制における規格活用、必要換気量、屋外空気質と濾過、対象特定汚染物質、汚染物質濃度の制限値、性能評価手法など、長年にわたり議論となる多くの課題を提起している。また、この規格は 271 の個別の室用途・空間タイプに対する換気量を示していることが特徴で（図 2）、この細かな規定方法は最新版でも継続している。

オフィス空間の換気量 1 人当たり 7.5 L/s (27m³/h)を最低要件、7.5 L/s～12.5 L/s(27～45m³/h)を推奨値として示している。また教室は、1 人当たり 5 L/s(18m³/h)を最低要件、5 L/s～7.5 L/s(18～27m³/h)を推奨値としていた。

図 3 に示すように、時代に応じて必要換気量が見直されてきている。その要因は石油ショック（省エネルギー）や喫煙の有無、さらに健康影響或いは快適性の観点が組み入れられているが、産業暴露とは異なり、こうした低濃度暴露は、その健康影響が明確になりにくく、従って社会背景によって大きく変化することがある（石油ショックにより換気量を低減し、これによりシックビル症候群が発生したとされている）。なお、2004 年版（商業ビル、公共施設、高層住宅を対象とする基準を 62.1 としている）から、換気必要量の形式が 1 式に示すように、①1 人当たりの外気導入必要量と②単位床面積当たりの必要外気導入量の 2 種類を加算した量が必要換気量となるように定義変更している。この加法的概念は、実験室と現場の両方で実証されており^{4, 5, 6}、欧州規格 EN16798-1,3 でも採用されている。

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z \quad (1)$$

ただし、 V_{bz} :呼吸域の必要外気導入量(L/s)、 R_p :一人当たりの必要外気導入量(L/s/person)、 R_a :床面積基準の必要外気導入量(L/s/m²)、 P_z :ゾーンの在室者数(person)、 A_z :利用空間の床面積(m²)

C. 研究結果

C.1. 換気量設定の根拠

オフィスビルでは、1 人当たり 10 L/s を超える換気量はシックハウス症候群（SBS）の症状発生率の低下と関連していることを Mendell の 32 論文のレビュー研究が示している⁷。一方、Seppanen や Fisk らは、労働者のパフォーマンスに与える換気の影響に焦点を当てた研究を実施し、15 L/s までの換気量でパフォーマンスが統計的に有意に改善されることを示している⁸。Sundell の研究では、さらに高い換気量（1 人あたり約 25 L/s (90m³/h)）がオフィスにおける

SBS 症状の軽減に関連すると結論付けている⁹。10L/s と 25L/s では 2.5 倍の開きがあり、閾値の設定は困難である。健康影響と換気量の関連性は低濃度で困難であり、かつ特定の換気量による健康影響を判断するためのデータは限られている。

アメリカでは、労働安全衛生局（OSHA）が職場環境における PEL（許容暴露限界）を定めている¹⁰。また、米国産業衛生専門家会議（ACGIH）が職場環境における汚染物質への曝露に関する TLV（閾値）を定めている¹¹。これらの値は、健康な成人労働者の 8 時間曝露で健康影響がないことを基準としている（これらの数値基準は労働環境などの産業保健を対象としており、オフィス、学校、住宅などの非産業環境や、子供、高齢者、既往症のある人には適用されない）。また、米国環境保護庁（EPA）は屋外汚染物質レベルを規制しているが、屋内空気の規制権限はない。

ASHRAE 62-73 は、外気濃度限度値に加えて ACGIH TLV 値の 10 分の 1 に基づいている（10 分の 1 という係数は、特定の曝露評価や予想される健康影響に基づいて定められたものではない）。ASHRAE 規格 62-1981 では、室内空気質手順（Indoor Air Quality Procedure）が導入された。この方法は代替的性能基準設計手法であり、室内起源の空気汚染物質に関するガイドライン値を用いて計算にて算出する方法である。このときは 20 種類の化合物または化合物群が記載されていたが、限度値が設定されているのはそのうち 5 種類（CO₂、クロルデン、ホルムアルデヒド、オゾン、ラドン）のみであった。

D. 考察

D.1. 換気量設定の根拠

室内の CO₂ 濃度は 18 世紀以来、換気量及び室内空気質の議論の主要なテーマである。オフィスなどの室内 CO₂ 濃度が、産業保健ガイドライン（ACGIH TLV は週 40 時間労働で 9000 mg/m³（5000ppm）、15 分間曝露で 54000 mg/m³（3%））のレベルに達することは殆どなく、1000ppm～2000ppm の範囲で基準値等が議論されることが多いが、低濃度暴露の健康影響は難しく、換気および室内空気質基準におけ

る CO₂ 基準値に関して多くの混乱が生じさせていると Persily は述べている³⁾。ASHRAE 規格 62-1981 では、規格への適合に性能評価法 (IAQP) を適用する際の室内 CO₂ 基準値として 4500 mg/m³ (2500ppm) を定めており、1989 年に 1800 mg/m³ (1000ppm) に変更している。しかし、1999 年版以降、CO₂ 濃度は室内空気質の絶対的な判断基準ではない¹²⁾ という理由により ASHRAE では CO₂ 濃度自体を基準値から削除し、人数当たり、面積当たりの風量で規定するという方法に変更になっている (CO₂ の健康や快適性への影響とは関係ないと判断された結果である。反論としては、例えば使用頻度の低い空間では、CO₂ 濃度が低くても建材からの放散物質で汚染されていることがあること、また空気清浄機を利用すれば粒子状浮遊物質は除去され、健康影響がない状態だったとしても CO₂ 濃度が高くて NG と判断されることもあり得る。近年では地球温暖化対策から CO₂ 吸収技術が進んでいるが、室内でこの装置を使用して換気量を低減しようとする誤った提案も行われている)。

ちなみに EN16798-1 では、Category I: 外気 +550 ppm (最高水準: 高い快適性、子供や高齢者など敏感な人向け)、Category II: 外気 +800 ppm (標準、一般的な新築・改修建物の目標値)、Category III 外気 +1350ppm (並: 既存の建物など、許容できる最低限のレベル)、Category IV 外気 +1350ppm 以上 (最低ランク: 短時間のみなど) というような定め方をしている¹³⁾。

E. 結論

ASHRAE62.1 の成立・策定及び改訂の歴史を紐解きながら、換気量設定および室内空気質の考え方を確認した。また、アメリカの州制度の下でこの規格がどのように運用されているのかを確認し、法律としての厳格な記述としている ASHRAE 規格と、より具体的な説明・解説を行うマニュアルに分離し、詳細な設計法 (IAQP、多数室での風量設定の考え方や汚染物質に基づく計算法など) がそのマニュアルで説明されていることがわかった。また、換気量設定の根拠は ASHRAE 内でも 20 年ほど議論され、結果として快適性及び公衆衛生 (健康への配慮) の

2 つが換気の目的であると明確に定義していることを確認した (2008 年)。つまり、アメリカにおいても換気は公衆衛生の一環であるというコンセンサスがあるということである。

ASHRAE 規格は、50 年の歴史のなかで、換気量基準の変更、CO₂ 基準値の撤廃、人体起源 (体臭) と建材起源の汚染物質に応じた風量設定など、大掛かりな検討が行われ、かつ変化を続けている。また州制度での活用ということもあり、法律としての位置づけとそのための詳細な解説が行われている。また欧州規格とも相互に連動しているということも確認することができた。

1970 年に制定した建築物衛生法は ASHRAE 規格よりも歴史が長いが、建築物環境衛生管理基準の空気質基準はホルムアルデヒドの追加 (2003) と CO 濃度 (2021) 以外、変更になっていない。ASHRAE62.1 と比較すると、換気量基準がないこと、人がいなくても換気装置は稼働或いは定期的稼働しているという点が大きく異なる (日本では、使用頻度の少ない会議室や講堂が竣工後数年たっても化学物質臭がするのは、使用時以外、換気を完全に止めているからである)。また特定建築物の建物用途 (百貨店、事務所ビル、興行場、旅館・ホテル、学校、美術館等) も同一の考え方である。建築行政サイドの検討では、シックハウス法改正或いは国交省からの外気 CO₂ 濃度上昇に伴う必要換気量の在り方に関する検討の委託研究もある (空気調和・衛生工学会換気設備委員会・室内空気質小委員会で「室内空気質のための必要換気量」研究成果報告書 (2016 年 10 月 31 日)¹⁴⁾。この学会委託研究の成果報告で実施されたシンポジウムでは、最終的結論として外気濃度プラス 700ppm を条件として行う、という表通認識を持ったとされる。

いずれにしても、ASHRAE の検討は、空気質部会が研究を進めていく上で、重要なチェックリストになるであろう。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表

- なし
3. 著書
なし

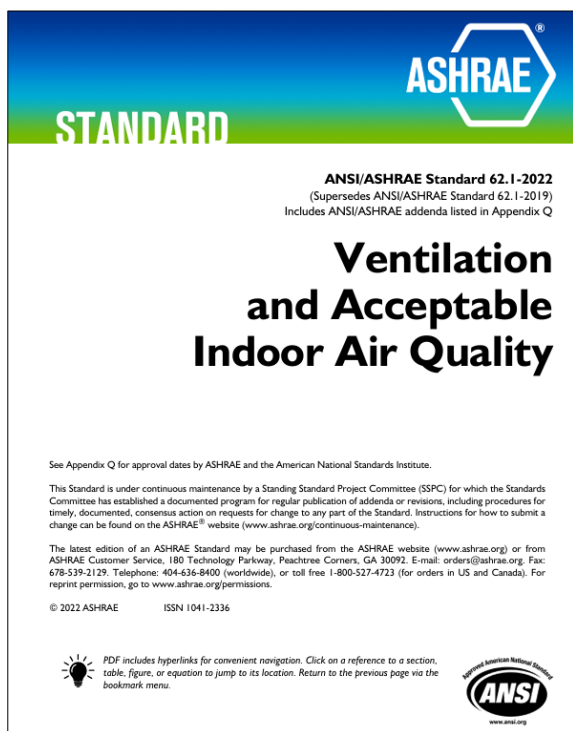
G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

参考文献・引用文献

- 1) ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022
Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality
- 2) ASHRAE Standard 62.1 User's Manual
based on ANSI/ASHRAE Standard 62.1-
2019
- 3) Andrew Persily. Challenges in
Developing Ventilation and Indoor Air
Quality Standards: The Story of
ASHRAE Standard 62, Build and
Environment, Volume 91, September
2015, Pages 61-69
- 4) Iwashita G, Kimura K. Addition of Olfs
from Common Air Pollution Sources
Measured with Japanese Subjects. CIB
Working Group WG77: Indoor Climate
Milan, Italy 1995.
- 5) Wargocki P, Clausen G, Fanger PO. Field
Study of Addition of Indoor Air Sensory
Pollution Sources Indoor Air '96. Nagoya,
Japan 1996 307-12.
- 6) Lauridsen J, Pejtersen J, Mitric M,
Clausen G, Fanger PO. Addition of Olfs
for Common Indoor Pollution Sources
Healthy Buildings '88. Stockholm,
Sweden 1988 189-95.
- 7) Mendell MJ. Non-specific Symptoms in
Office Workers: A Review and Summary
of the Epidemiologic Literature. Indoor
Air. 1993; 3 (4): 227-36.
- 8) Seppanen O, Fisk WJ, Lei QH.

- Ventilation and Performance in Office
Work. Indoor Air. 2006; 16 (1): 28-36.
[PubMed: 16420495]
- 9) Sundell J, Levin H, Nararoff WW, Cain
WS, Fisk WJ, Grimsrud DT, et al.
Ventilation Rates and Health:
Multidisciplinary Review of the Scientific
Literature. Indoor Air. 2011; 21 (3): 191-
204. [PubMed: 21204989]
 - 10) OSHA. Permissible Exposure Limits
Occupational Safety & Health
Administration, U.S. Department of
Labor; 2014.
 - 11) ACGIH. 2014 Threshold Limit Values
(TLVs) for Chemical Substances and
Physical Agents and Biological Exposure
Indices (BEIs). Cincinnati, Ohio:
American Conference of Governmental
Industrial Hygienists; 2014.
 - 12) Persily AK. Evaluating Building IAQ and
Ventilation with Indoor Carbon Dioxide.
ASHRAE Transactions. 1997; 103 (2):
193-204.
 - 13) EN16798-1 Energy performance of
buildings. Ventilation for buildings -
Indoor environmental input parameters
for design and assessment of energy
performance of buildings addressing
indoor air quality, thermal environment,
lighting and acoustics. Module M1-6
 - 14) 空気調和・衛生工学会換気設備委員会・室
内空気質小委員会「室内空気質のための必
要換気量」研究成果報告書（2016年10月
31日）



CONTENTS	
ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality	
SECTION	PAGE
Foreword	2
1 Purpose	2
2 Scope	2
3 Definitions	3
4 Outdoor Air Quality	7
5 Systems and Equipment	8
6 Procedures	15
7 Construction and System Start-Up	29
8 Operations and Maintenance	31
9 Normative References	34
Normative Appendix A: Multiple-Zone System Ventilation Efficiency: Alternative Procedure	37
Normative Appendix B: Separation of Exhaust Outlets and Outdoor Air Intakes	40
Normative Appendix C: Zone Air Distribution Effectiveness: Alternative Procedures	43
Normative Appendix D: Ventilation Rates for Outpatient Facilities not Covered by ASHRAE/ASHE Standard 170	45
Informative Appendix E: Information on Selected National Standards and Guidelines for PM10, PM2.5, And Ozone	46
Informative Appendix F: Acceptable Mass-Balance Equations for Use with the IAQ Procedure	48
Informative Appendix G: Simplified Ventilation Rate Calculation for Multiple-Zone Recirculating Systems Serving Only Specified Occupancy Categories in Existing Buildings	50
Informative Appendix H: Application	52
Informative Appendix I: Documentation	54
Informative Appendix J: Rate Rationale	57
Informative Appendix K: Information on Natural Ventilation	64
Informative Appendix L: Compliance	67
Informative Appendix M: Ventilation Rate Check Table	71
Informative Appendix N: Indoor Air Quality Procedure	75
Informative Appendix O: Crosswalk for Reorganized Section 5	79
Informative Appendix P: Informative References	82
Informative Appendix Q: Addenda Description	84

NOTE
Approved addenda, errata, or interpretations for this standard can be downloaded free of charge from the ASHRAE website at www.ashrae.org/technology.

© 2022 ASHRAE
180 Technology Parkway • Peachtree Corners, GA 30092 • www.ashrae.org • All rights reserved.
ASHRAE is a registered trademark of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
ANSI is a registered trademark of the American National Standards Institute.

図 1 ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality の表紙と目次 1)

Table 6-1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate R_p		Area Outdoor Air Rate R_a		Default Values		Air Class	OS (6.2.6.1.4)
	cfm/ person	L/s· person	cfm/ft ²	L/s·m ²	Occupant Density #/1000 ft ² or #/100 m ²			
Office Buildings								
Breakrooms	5	2.5	0.12	0.6	50	1		
Main entry lobbies	5	2.5	0.06	0.3	10	1		✓
Occupiable storage rooms for dry materials	5	2.5	0.06	0.3	2	1		
Office space	5	2.5	0.06	0.3	5	1		✓
Reception areas	5	2.5	0.06	0.3	30	1		✓
Telephone/data entry	5	2.5	0.06	0.3	60	1		✓
Educational Facilities								
Art classroom	10	5	0.18	0.9	20	2		
Classrooms (ages 5 to 8)	10	5	0.12	0.6	25	1		
Classrooms (age 9 plus)	10	5	0.12	0.6	35	1		
Computer lab	10	5	0.12	0.6	25	1		
Daycare sickroom	10	5	0.18	0.9	25	3		
Daycare (through age 4)	10	5	0.18	0.9	25	2		
Lecture classroom	7.5	3.8	0.06	0.3	65	1		✓

図 2 ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022 の呼吸域最低換気量の規定例 1)

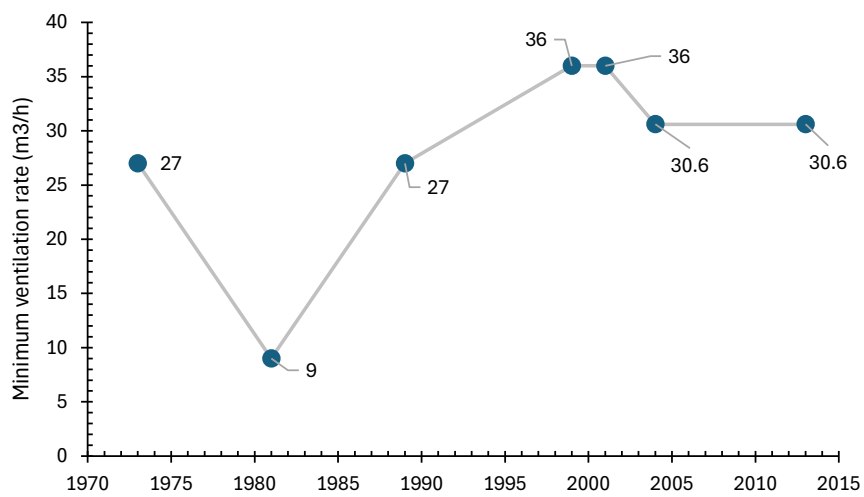


図 3 オフィス空間の ASHRAE62.1 呼吸域最低換気量の変遷(L/s を m³/h に変換)