

平成27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

3. 温湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンス

分担研究者 東 賢一 近畿大学医学部 准教授

研究要旨

近年、建築物の多様化及び省エネルギー対応などより、建築物衛生法の温度、相対湿度、二酸化炭素の管理基準に適合しない建築物が増加している。本研究では、相対湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンスをレビューした結果、低湿度におけるインフルエンザウイルスの活性、高湿度におけるカビ及びダニなどの微生物の増殖、低湿度におけるアレルギー及び粘膜刺激症状の増悪、低湿度におけるヒトでの静電気ショック、低湿度におけるシックビルディング症候群（SBS）の症状のリスクの増大等の相対湿度の健康等への影響に関する近年の複数のエビデンスは、現在の環境衛生管理基準である40%～70%が適正な範囲であることを示していた。二酸化炭素に関する近年の複数のエビデンスが、低濃度域における二酸化炭素濃度の上昇とSBS関連症状との関係を示していた。また、低濃度の二酸化炭素そのものによる労働生産性への影響が示唆されていた。これらの結果からも、現在の環境衛生管理基準である1000 ppm以下は、望ましい基準として適正であると考えられた。これらについては、本研究での疫学調査を通じて、また諸外国での研究状況等について、引き続きレビューを行っていく予定である。1999年頃から温湿度及び二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の不適合率が増加しているが、これらの増加が生じている原因として、空調機及び換気設備の誤った使用方法による外気の導入不足、加湿器、空調機及び換気設備のメンテナンス不良など、空気調和設備の維持管理に関わる問題が主な原因としてあげられている。従って、これらの維持管理に関わる問題に対するさらなる対応が必要と考えられる。

研究協力者

大澤元毅	国立保健医療科学院
鍵直樹	東京工業大学大学院
柳宇	工学院大学建築学部
金勲	国立保健医療科学院
奥村龍一	東京都健康安全研究センター
河野彰宏	大阪市役所生活衛生課

は、相対湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンスの文献レビューを実施したので、その結果もあわせて報告する。

本研究で得られた成果は、建築物における衛生的環境を確保するうえで、今後の建築物に必要な管理基準及び監視方法等のあり方に関する施策の立案に寄与するものである。

A. 研究目的

近年、建築物の多様化及び省エネルギー対応などより、建築物衛生法の管理基準に適合しない建築物が増加している^{1),2)}。また、微生物及び超微小粒子など建築物に関わる汚染要因も変化してきており、監視方法及び管理基準を含めた環境衛生管理のあり方を検討する必要があると考えられる³⁾。

このような背景を踏まえ、1999年頃より、温湿度及び二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の不適合率が増加していることから、本研究で

B. 研究方法

温湿度と二酸化炭素の環境衛生管理基準の設定根拠に関しては、既報で報告済みである^{3),4)}。本研究では、その報告の概要を示したうえで、相対湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関して近年の知見に関する文献検索を行った。国立情報学研究所論文情報ナビゲータ（CiNii）、独立行政法人科学技術振興機構のJ-Dream IIIによる科学技術関連の文献検索（1975年以降の文献を収載）、米国国立医学図書館のPubmedによる医学関連の文献検索（原則として1950年

以降の文献を収載), インターネット検索によるホームページからの情報収集及び関連資料の入手, 既存の書籍及び上記検索で入手した文献及び資料に掲載されている参考文献等を入手した。

C. 研究結果及び考察

C.1 温湿度の基準値設定の根拠^{3),4)}

ビル内における人体の環境諸要素の基準を提示する場合, 事務所内においても, 知的作業, 軽作業, 筋肉作業など, 作業の種類と強度による差があり, 男女差もある。従って, ビル内の環境を対象とする場合, 他の広範な作業強度についての基準を参照とすることにより, 狭い目的に対して, 作業者のための的確な環境条件を設定し, 維持するべきである。そこで, 「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」⁵⁾では, 当時得られた知見(石川, 阿久津, 三浦, 平山, 真許, Yaglou など)に基づいて, 床上 75cm における温度の許容限度として, 冬季で最小 17°C, 夏季で最大 28°C が提案されている。

また, 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⁶⁾に以下の記述がある。「人体の温度調節機能は 5°C~7°C が限界といわれていること, 外気温度を無視した冷房により, 神経痛, 腰痛, 腹痛, 胃腸障害, 下痢, 風邪, 月経障害などのいわゆる冷房病, また過度の暖房により呼吸器系疾患に罹患することなど, さらに, 季節により快適温度が異なることなどを考慮し, 冬季には 17~23°C, 夏季には 21~28°C に保つことが良いともいわれているが, 夏季に暖房, 冬季に冷房を要するような特殊な場合もあるので慎重な配慮が必要である。」また, 1971 年厚生省大臣官房総務課の古賀章介氏による建築物衛生法の解説によると, 居室の温度を外気より低くする場合の許容しうる温度差を 7°C 以内として運用することが明記されている。従って, 温度の建築物環境衛生管理基準の設定にあたっては, 季節を問わず通年の上限及び下限として「17°C 以上 28°C 以下」を採用し, 「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。」が付記されたと考えられる。

C.2 相対湿度の基準値設定の根拠^{3),4)}

多湿であると人体に対して種々の障害が起こりうるが, 多くは低温が原因で多湿となっている。また, 乾燥し過ぎの場合は咽喉の粘膜を痛めて障害を起こしやすくなる。室内の絶対湿度(水蒸気圧)が一定であれば, 相対湿度は気温の上昇及び下降にともない乾燥及び多湿の方向へと変化するので気温が問題である。鉄筋コンクリート造の地下室及び倉庫など固体表面が低温の場合は, その付近では低温多湿となる。これらのことを踏まえ, 「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」⁵⁾では, 許容限度の例として, 1951 年 3 月発行の DIN 1946 *Versammlungsräumen* (会議区域の換気システムに関する基準) から冬の最低限度 35%, 夏の最高限度 70% をあげている。そして, 乾燥し過ぎの場合は咽喉の粘膜を痛めて障害を起こしやすくなることから, 55~70% (人体に対し夏は少湿, 冬は多湿が望ましい) を相対湿度の推奨値として提案している。

相対湿度の環境衛生管理基準(40~70%)では, この上限値がそのまま採用されているが, 下限値は異なっている。建築物衛生法施行令が公布された 1970 年以前に相対湿度と各種ウイルスの死滅率及び感染価等との関連性が報告されている。これらの研究によると, インフルエンザウイルスの死滅率は低湿度で低く, 相対湿度の下限値は 40% と判断できる。従って, これらの研究結果をもとに, 相対湿度の下限値として 40% が採用されたと考えられる。

C.3 二酸化炭素の基準値設定の根拠^{3),4)}

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⁶⁾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, フリッカ一値の低下も著しいこと等により定められたものである。」

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」⁷⁾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の汚染の間接的な指標としてかなり実際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、大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踏まえ、さらに1000ppmを超過した際の二酸化炭素による健康影響を考慮し、管理基準を1000ppmに設定したと考えられる。

C.4 温湿度に関する諸外国の基準^{3),4)}

温熱快適性は、着衣量及び活動量によって最適温度範囲が異なるため、季節及び活動状況に応じた適正な温度範囲がある。そこで、夏季の冷房時と冬季の暖房時で基準を分けている諸外国が散見された。以下にその例を示す。

米国保健省は、公衆衛生サービス施設に関する温熱環境基準をマニュアルとして定めている。このマニュアルによると、就業時間中に維持すべき夏季の冷房温度は21.1~26.7°C（70~80°F）であり、冷房装置の調節温度は25.6~26.7°C（78~80°F）に設定すべきとしている。また、同様に冬季の暖房温度は18.3~20.0°C（65~68°F）に維持すべきであり、非就業時間中は12.8°C（55°F）未満に設定

すべきとしている。

米国労働省の労働安全衛生局は、当局の技術マニュアルにおいて、オフィスにおける温湿度のガイドラインを勧告している。このマニュアルによると、湿度の制御範囲は20~60%、温度の制御範囲は20~24.4°C（68~76°F）を勧告している。ただしこの数値は規制値ではない。

カナダ労働安全衛生センターが労働環境におけるガイドラインを勧告している。温度について、一般的には21~23°C（69~73°F）の範囲内に維持することが推奨されるが、夏季に外気温度がこの範囲よりも高い時は、屋外と外気との温度差を最小限にするために、少しばかり高い温度に空調することが望ましいとしている。

カナダ規格協会は、オフィス環境における温湿度の規格CSA Z412-00を作成している。およそ80%の人々が快適感を示す温度範囲として、夏季では相対湿度30%で24.5~28°C、同60%で23~25.5°C、冬季では相対湿度30%で20.5~25.5°C、同60%で20~24°Cと規定している。夏季は薄いズボンに半袖シャツ、冬季は分厚いズボンに長袖のシャツが着衣の前提条件となる。カナダ学術研究会議がこの規格を推奨している。

イギリス健康安全局が職場の温熱快適性に関する指針を公表している。この指針の対象は、店舗、オフィス、工場、実験場などの一般的な室内環境である。加熱及び冷却が強制的に行われている鋳造所、ガラス工場、冷蔵室など、製紙工場及びクリーニング工場などの高湿度の職場、作業上特殊な保護衣を着用しなければならない職場は対象外である。この指針によると、イギリスの大半の国民が許容可能な温熱快適性の範囲は、13°C（活動量の多い職場）~30°C（デスクワーク中心の職場）としている。

中国では、国家環境保護総局及び衛生部等の行政機関が共同で室内空気質基準（GB/T18883-2002）を2002年に公布している。この基準は住宅とオフィスの室内空気質に対する評価に適用され、夏の空調時は室温22~28°Cで相対湿度40~80%、冬の暖房時は室温16~24°Cで相対湿度30~60%としている。

ニュージーランドでは、労働省がオフィスに

おける温熱環境基準を規定している。デスクワーク中心の職場では夏季が室温 19~24°C で冬季が室温 18~22°C、活動量の多い職場では夏季が室温 16~21°C で冬季が室温 16~19°C、相対湿度はいずれの職場でも 40~80%としている。

その他、オーストラリア、フィンランド、香港特別行政区、シンガポールでも温熱環境のガイドライン等が作成されている。

諸外国における温熱環境基準を表 3-1 に示す。

C.5 相対湿度による健康等への影響に関する近年のエビデンス

既報において、建築物の中で居住者の健康に影響する因子として、ウイルス感染、ダニ及びカビによる微生物汚染、アレルギー症状、静電気、粘膜（目、鼻、喉）及び皮膚への影響を総合的に文献レビューし、相対湿度の最適推奨範囲としては、40~70%が妥当であると報告した^{3),4)}。さらに文献レビューを行った結果、近年の日本における疫学研究^{8),9)}からも、40%以上の相対湿度が必要であることが報告されている。これらのエビデンスをまとめると、推奨範囲は表 3-2 のように 40~70%にまとめることができる。以下に近年のエビデンスを概説する。

Schaffer らは、エアロゾル化した A 型インフルエンザウイルスは低湿度で最も安定で、中湿度では最も不安定、高湿度ではその中間であり、ウイルスの不活性化率が最も高い相対湿度は、培養細胞によって異なり約 40~60%の範囲であったと報告している¹⁰⁾。近年では中山らが、感染患者から 1 回に排出される飛沫中のインフルエンザウイルスを 3 時間で不活化するには、18°C で 50~60%RH、26°C で 55%RH、31°C で 25~30%RH 必要と報告している¹¹⁾。

微生物汚染に関して Fanger は、カビの生育防止には 70%RH 以下が必要と報告している¹²⁾。Baughman らは、カビの生育は 70%RH 以下であれば問題にならないが、カビの生育に基づき湿度の最大限度を設定する場合、フィールド調査の結果から、60%と 70%を区別する根拠はないと報告している¹³⁾。また、ダニの至適生育湿度は 70~80%RH で、50%程度でもダニ汚染が観察される場合もあるが、空気中の湿度よりも、

カーペット中などダニが存在する場所の湿度の方が重要であり、ダニ対策は、湿度制御ではなく、清掃、カーペットの取り替え等の他の手段を用いるべきと指摘している。アレルギー症状に関して Reinikainen らは、アレルギー症状は 20~30%RH から 30~40%RH への加湿で改善されると報告している¹⁴⁾。

静電気による影響については、6~18%RH から 35~45%RH へ加湿すると、30%以上になると過半数の従業員が静電気感を訴えなくなり、40%以上になると申告が「乾燥した」から「湿った」側に移行するとの報告がある¹⁵⁾。また、木村らは、カーペット歩行時の人体の帯電圧は相対湿度の上昇とともに低下するが、人が静電気ショックを感じる限界といわれる 3kV 程度に達するには相対湿度 40~50%RH 程度必要と報告している¹⁶⁾。衣類の帯電に関しては、衣服着用時の帯電量と相対湿度に関してみると、ポリエステルでは 50%RH 以下、ナイロンでは 40%RH 以下で放電を開始しており¹⁷⁾、床材によって異なるが、化学繊維製カーペットでは 40~50%RH 以上、綿などのカーペットでは 30~35%RH 以上必要と報告されている¹²⁾。

粘膜及び皮膚への影響に関しては近年報告が多い。例えば、皮膚及び粘膜の乾燥は 20~30%RH から 30~40%RH への加湿で改善される¹⁸⁾。20.0~31.7%RH から 26.6~41.2%RH への加湿で鼻の乾燥と鼻づまり、皮膚の乾燥及び発疹、咽頭の乾燥が軽減される¹⁴⁾。目の涙膜層の質は湿度 15%以下で悪化し、特にコンタクト使用者では顕著であり、5%RH では 35%RH と比べてまばたき時間が短縮し、15%RH 以下では 25%RH 以上より全身乾燥感及び目の乾燥感が増強し、Sensitive 群では目の刺激感が湿度低下に伴い向上すると報告されている¹⁹⁾。10%RH と 30%RH への入室では 50%RH と比べて目と皮膚の乾燥が有意に観察され、鼻腔内の粘液線毛機能は 10%RH に入室すると有意に増加（鼻の乾燥）することから、目及び皮膚の乾燥防止には 30%RH 超、鼻の粘膜の乾燥防止には 10%RH 超必要と報告されている²⁰⁾。鼻腔粘膜輸送速度（SCT）は 10%RH に入室すると高齢者で有意に増加、まばたき回数は 10%RH と 30%RH の湿度条件で高齢者及び若年者とも

に有意に増加，高齢者施設では温湿度を適切に管理することがより重要と報告されている²¹⁾。左前腕部皮膚水分量は50%RHと70%RHに比べて40%RHと30%RHでは有意に低く，低湿度では蒸汗作用大と報告されている^{22),23)}。また，まばたき許容時間(BUT)は50%RH以下で入室時に有意に高くなったが入室後の湿度間に有意な差はなかったと報告されている^{22),23)}。相対湿度が低いと目の刺激症状及び角膜前涙液層(PTF:角膜表面を被覆している涙液層)の変質が増加する。これらの影響は，VDT(画像表示装置)作業で増悪する可能性がある。相対湿度40%RHは，30%RH以下のレベルよりも目及び気道には良好であると報告されている^{20),21),24)}。従って，近年の疫学研究及び実験データから，相対湿度の下限値については40%以上が推奨されている²⁵⁾。

最近の研究成果として，国立労働安全衛生研究所の齊藤らは，低湿度の30%又は35%ではシックビルディング症候群の症状(鼻症状，息切れ，めまい等)が有意に増加することから，相対湿度の目標値については40%以上を推奨している⁹⁾。著者らの日本の研究でも，相対湿度の冬期における環境基準不適合と上気道症状との有意な関係がみられている⁸⁾。

C.6 二酸化炭素による健康等への影響に関する近年のエビデンス

諸外国における二酸化炭素濃度のガイドラインを調査した結果，ほとんどの諸外国で，室内空気汚染及び換気の指標として，1000ppmが採用されている(表3-3)^{3),4)}。特に，シンガポール，中国香港特別行政区，韓国環境部などのアジア諸国では，日本の建築物衛生法が参照されている。

ドイツでは，2008年に連邦環境庁の室内空気衛生委員会が二酸化炭素の室内空気質ガイドラインを公表している。ドイツのガイドラインでは，健康と衛生上の問題を考慮したうえで，1000ppm以下を無害(harmless)，1000~2000ppmでは健康と衛生上の問題が上昇(elevated)，2000ppm以上を許容不可能(unacceptable)としている(表3-4)²⁶⁾。

ヒトが吸入する二酸化炭素濃度の上昇にと

もない，血中pHが低下し，ヘモグロビンから酸素が離れやすくなる。そのため，吸入する二酸化炭素濃度が10000ppmを超えると呼吸性アシドーシスが出現し，濃度の上昇に伴って，呼吸数の増加，頭痛，錯乱，嗜眠，記憶喪失，呼吸困難等のリスクが高くなる。従って，二酸化炭素はヒトに対して有害な物質である。

二酸化炭素による健康等への影響に関して文献レビューを行った結果，以下の報告があった。オフィスビルの二酸化炭素濃度と健康影響に関する21の文献をレビューした結果，約半数の研究において，800ppm未満の濃度領域で，二酸化炭素濃度の減少とともにSBS症状のリスクが減少していた²⁸⁾。米国BASE研究において，1日平均濃度800ppm以下の領域でも，室内平均濃度と外気濃度の差が100ppm上昇すると粘膜刺激と下気道症状が有意に上昇した。また，最大濃度との差では250ppm上昇すると同様の症状が有意に上昇した^{29),30)}。スウェーデンの調査(674~1450ppm)において，二酸化炭素濃度が100ppm上昇すると頭痛が有意に増加したことから，二酸化炭素濃度は現在の基準値1000ppm以下にすべきと指摘されている³¹⁾。1000ppm以上の濃度の二酸化炭素に曝露した学校の子どもにおいて，乾性咳(OR 2.99)と鼻炎(OR 2.07)の症状が有意に増悪したと報告されている³²⁾。22名の学生を用いて，オフィス様のチャンバーで600ppm，1000ppm，2500ppmの二酸化炭素濃度で1日合計7.5時間曝露させたところ，1000ppmの二酸化炭素濃度で有意に意思決定能力が低下したと報告されている³³⁾。台湾の事務所労働者の調査では，800ppm以上の二酸化炭素濃度で目及び上気道の刺激が報告されている³⁴⁾。

低濃度の二酸化炭素によるヒトの健康等への影響について，近年，フランス環境労働衛生安全庁(ANSES)が，レビューを行っている³⁵⁾。それによると，二酸化炭素濃度の室内外濃度差450ppm以上または室内濃度850ppm以上では，シックビルディング(SBS)症状が増加すると報告している。また，室内外濃度差600ppm以上または室内濃度1000ppm以上では，小児の喘息症状の増悪及び成人の意思決定及び問題解決能力が低下すると報告している。この

ような労働生産性に対する影響は、社会経済に与える影響が大きく、今後の重要な課題といえる。鉛の耐容摂取量の設定においては、小児における知能指数 (IQ) の低下が影響指標に用いられており、このような非顕性 (sub-clinical) の影響に対しても、近年対応が求められている³⁶⁾。

二酸化炭素濃度と SBS 症状については、著者らの日本の研究でも、550 ppm から 1320 ppm の濃度域において、二酸化炭素濃度の上昇と頭痛等の一般症状のリスクとの関連性に関する傾向がみられおり、1000 ppm の環境基準不適合と一般症状との有意な関係もみられた^{8),35)}。上述のように、スウェーデン³¹⁾及び台湾³⁴⁾の調査でも、これらの低濃度域における SBS 症状との有意な関係が報告されている。

D. 総括

相対湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンスをレビューした結果、低湿度におけるインフルエンザウイルスの活性、高湿度におけるカビ及びダニなどの微生物の増殖、低湿度におけるアレルギー及び粘膜刺激症状の増悪、低湿度におけるヒトでの静電気ショック、低湿度における SBS 症状のリスクの増大等の相対湿度の健康等への影響に関する近年の複数のエビデンスは、現在の環境衛生管理基準である 40%~70%が適正な範囲であることを示していた。

二酸化炭素に関する近年の複数のエビデンスが、低濃度域における二酸化炭素濃度の上昇と SBS 関連症状との関係を示していた。また、低濃度の二酸化炭素そのものによる労働生産性への影響が示唆されていた。これらの結果からも、現在の環境衛生管理基準である 1000 ppm 以下は、望ましい基準として適正であると考えられた。

これらについては、本研究での疫学調査を通じて、また諸外国での研究状況等について、引き続きレビューを行っていく予定である。

1999 年頃から温湿度及び二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の不適合率が増加しているが、これらの増加が生じている原因として、省エネルギー対応が関わっているとの報告がある。具

体的な例としては、空調機及び換気設備の誤った使用方法による外気の導入不足、加湿器、空調機及び換気設備のメンテナンス不良など、空調機及び換気設備の維持管理に関わる問題が主な原因としてあげられている^{44),45)}。従って、これらの維持管理に関わる問題に対するさらなる対応が必要と考えられる。

E. 参考文献

- 1) 大澤元毅ら: 建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究, 平成 21~22 年度総括・分担総合研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 2011 年 3 月.
- 2) 大澤元毅ら: 建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究, 平成 21 年度総括・分担総合研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 2010 年 3 月.
- 3) 東 賢一, 内山巖雄: 建築物環境衛生管理基準の設定根拠の検証について. 建築物環境衛生管理に関する調査研究平成 22 年度研究報告書, 財団法人ビル管理教育センター, 2011.
- 4) 東 賢一, 内山巖雄. 建築物環境衛生管理基準の解説と近年の知見. ビルと環境, No. 134, pp. 4-17, 2011.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) Goromosov MS. The physiological basis of health standards for dwellings. Public Health Papers No. 33, World Health Organization, Geneva, 1968.
- 8) 大澤元毅ら. 建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究. 平成 24 年度総括・分担研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 厚生労働省, 東京, 2013.
- 9) 齊藤宏之ら: 冬季オフィス環境における低湿度と自覚症状との関連性. 平成 27 年室内

- 環境学会学術大会抄録集, pp. 222-223, 2015.
- 10) Sohaffer FL, Soergel ME, Straube DC. Survival of Airborne Influenza Virus: Effects of Propagating Host, Relative Humidity, and Composition of Spray Fluids. *Archives of Virology* 51,263-273, 1976.
 - 11) 中山幹男, 齊藤恵子. 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.
 - 12) Fanger PO. Air humidity, comfort and health. *Proceedings of the 16th International Congress of Refrigeration* 5: 255-259, 1983.
 - 13) Baughman AV, Arens EA. Indoor Humidity and Human Health-Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants. *ASHRAE Transactions* 102: 193-211, 1996.
 - 14) Reinikainen LM, Jaakkola JJK. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air* 13: 344-352, 2003.
 - 15) 輿水ヒカル, 柄原 裕, 池田耕一. 加湿器導入による冬期の工場勤務者の温熱快適性および主観的評価の変化に関する調査研究. *日本建築学会計画系論文集*, No. 552. pp. 9-14, 2002.
 - 16) 木村裕和, 稲次俊敬, 小河 宏. 最近のカーペットの問題点. *繊維機械学会誌* 55 (3): 4-12, 2002.
 - 17) 井上猛司, 松尾義輝 (1978) 静電気対策に必要な温湿度管理とその設計. *電設工業* 24 (4): 57-62
 - 18) Reinikainen LM, Jaakkola JJK, Seppänen O. The Effect of Air Humidification on Symptoms and Perception of Indoor Air Quality in Office Workers: A Six-Period Cross-Over Trial. *Archives of Environmental Health* 47 (1): 8-15, 1992.
 - 19) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰男, 中村 元. 蒸暑環境から冷房空間への入室時において湿度が快適性・知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験. *日本建築学会環境系論文集*, 第 609 号, pp. 15-21, 2006.
 - 20) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (1): 7-14, 2006.
 - 21) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity in Young and Elderly Men. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (3): 229-238, 2006.
 - 22) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰男, 中村 元. 蒸暑環境から冷房空間への入室時において湿度が快適性・知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験. *日本建築学会環境系論文集*, 第 609 号, pp. 15-21, 2006.
 - 23) Tsutsumi H, Tanabe S, Harigaya J, Iguchi J, Nakamura G. Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. *Building and Environment* 42 (12): 4034-4042, 2007.
 - 24) Wolkoff P, Kjærgaard SK. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International* 33 (6): 850-857, 2007.
 - 25) Wolkoff P. "Healthy" eye in office-like environments. *Environmental International* 34 (8): 1204-1214, 2008.
 - 26) IRK (Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden). *Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft.*

- Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 51 (11): 1358-1369, 2008.
- 27) Rice SA: Health effects of acute and prolonged CO₂ exposure in normal and sensitive populations. Second annual conference on carbon sequestration, Alexandria, VA, 2003.
- 28) Seppänen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air* 9(4):226-252, 1999.
- 29) Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM. Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data. *Indoor Air* 10(4):246-257, 2000.
- 30) Erdmann CA, Apte MG. Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100-building BASE dataset. *Indoor Air* 14(Suppl 8):127-134, 2004.
- 31) Norbäck D, Nordström K. Sick building syndrome in relation to air exchange rate, CO₂, room temperature and relative air humidity in university computer classrooms: an experimental study. *Int Arch Occup Environ Health* 82(1):21-30, 2008.
- 32) Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, Norback D, Wieslander G, Nystad W, Canciani M, Sestini P, Viegi G. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J* 35(4):742-749, 2010.
- 33) Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S, Fisk WJ. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Perspect* 120(12):1671-1677, 2012.
- 34) Tsai DH, Lin JS, Chan CC. Office workers' sick building syndrome and indoor carbon dioxide concentrations. *J Occup Environ Hyg* 9(5):345-351, 2012.
- 35) ANSES: Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé. RAPPORT d'expertise collective, 2013.
- 36) 東 賢一: 小児の中毒 II-4. 重金属による中毒⑥鉛. *小児科臨床*, 第 65 巻増刊号, pp. 1501-1508.
- 37) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Physicochemical risk factors for building-related symptoms: thermal conditions and combined exposure to indoor air pollutants. *Proceedings of the 14th international conference of Indoor Air Quality and Climate*, 7 pages, in press, 2016.
- 38) 中川晋也ら: 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, pp. 247-251, 2011.
- 39) 労働者健康福祉機構広島産業保健推進センター: 冬季における事務所の湿度環境の実態と改善方策に関する研究. *平成 22 年度調査研究報告書*, 2011.

表 3-1 諸外国における温熱環境基準

温熱環境因子	単位	米国保健省	米国労働安全衛生局	カナダ規格協会	英健康安全局	フィンランド環境省	中国環境保護総局	香港特別行政区		シンガポール環境省	オーストラリア雇用・職場関係省	ニュージーランド労働省	
								最良質	良質			デスクワーク中心の職場	活動量の多い職場
室温	夏季	21.1~26.7	20~24.4	24.5~28 (30%RH) 23~25.5 (60%RH)	13~30	23 *	22~28	20~25.5	< 25.5	22.5~25.5	23~26	19~24	16~21
	冬季			18.3~20.0		20.5~25.5 (30%RH) 20~24 (60%RH)							
相対湿度	夏季	% RH	20~60	—	—	45 (21°C)	40~80	40~70	< 70	≤ 70	—	40~70	40~70
	冬季						30~60						
気流	夏季	m/s	—	—	—	—	0.3	< 0.2	< 0.3	≤ 0.25	≤ 0.25	0.1~0.2	0.2
	冬季						0.2						

* 通常の居室の温度は25°Cを越えないこと、外気温が最大5時間平均で20°C以上の場合、この基準値を最大5°C超過可能

表 3-2 近年のエビデンスに基づく相対湿度の推奨範囲

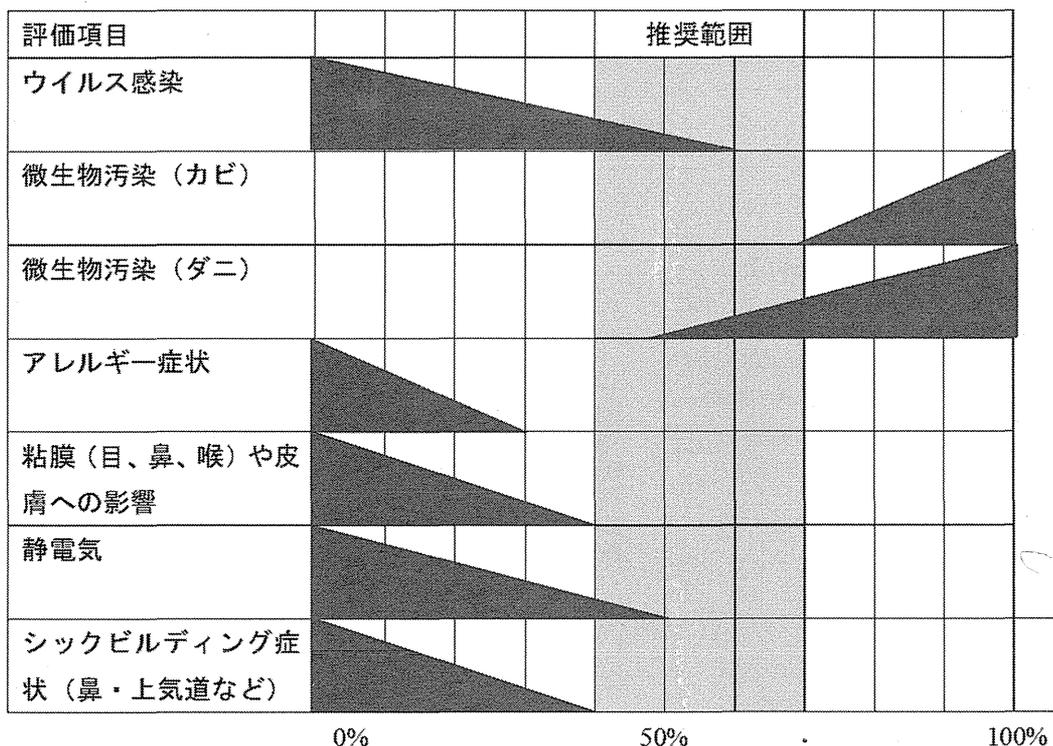


表 3-3 諸外国における二酸化炭素濃度の室内空気質ガイドライン

諸外国(公表年)	室内濃度の指針値	対象
ノルウェー厚生省(1999)	1000 ppm(最大値) ※室内空気汚染の指標	居住空間
カナダ保健省(1995)	1000 ppm ※換気の指標	オフィス環境
カナダ保健省(1987)	3500 ppm以下 (許容可能な長期曝露範囲)	居住空間
シンガポール環境省(1996)	1000 ppm(8時間平均) ※換気の指標	空調設備を有するオフィスビル
中国香港特別行政区(2003)	最良質: 800 ppm(8時間平均) 良 質: 1000 ppm(8時間平均)	機械換気や空調設備を有する建物や閉鎖空間
中国環境保護総局(2002)	1000 ppm(24時間平均)	住宅とオフィス
韓国環境部(2003)	1000 ppm	大規模店舗、医療機関等

表 3-4 ドイツ連邦環境庁による室内空気中の二酸化炭素濃度のガイダンス値

二酸化炭素濃度	健康と衛生上の評価	留意点
1000 ppm以下	無害(harmless)とみなされる	処置の必要なし
1000~2000 ppm	有害性が上昇する(elevated)	換気状況の確認と改善(外気導入量や換気効率の増加等)
2000 ppm以上	許容できない(unacceptable)	必要に応じて追加措置を試みる

表 3-5 二酸化炭素濃度と健康等への影響 (ANSES 2013 に追加・加筆)

室内と大気中のCO ₂ の濃度差	既往の疫学及び毒性学的研究より	職業曝露限界値(VLEP)
d CO ₂ :400ppm以下 優れたIAQ		
d CO ₂ : 400-600ppm 平均レベルのIAQ	850ppm以上 d CO ₂ 450ppm以上 SBS症状が増加 (Erdmann and Apte 2004) (Wargocki et al 2000)	
d CO ₂ : 600-1000ppm 中程度IAQ	1000ppm以上 d CO ₂ 600ppm以上 ・学校の子どもの喘息関連症状の増悪 (Simoni et al 2010) ・数時間で成人の精神運動機能(意思決定や問題解決)への影響 (Satish et al 2012)	
d CO ₂ : 1000ppm超 低レベルのIAQ	10000ppmに22日曝露した成人で代謝性侵襲(血中Caや尿中濃度の低下)(Gray et al 1950) 追加 10000ppm以上 中程度の身体負荷の健康な成人における呼吸性アシドーシス※出現(30分曝露) (DFG 2012) ※肺でガス交換が低下し体内にCO ₂ が滞留、血液脳関門を通じて急速に拡散する。急性では頭痛、錯乱嗜眠等、緩徐では記憶喪失、睡眠障害、日中の過度な眠気等を生じる。	5000ppm以上 フランスや諸外国の8時間平均値(ACGIH, NIOSH, OSHA等) 10000-30000ppm 諸外国の短時間曝露限界値(同上)

