

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

相対湿度部会：建築物環境衛生管理基準における相対湿度の基準の課題整理

研究分担者	高田 暁	神戸大学 大学院工学研究科教授（主査）
研究分担者	伊藤佳乃子	奈良女子大学 工学部 寄附講座助教（幹事）
研究分担者	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・施設管理研究部長
研究協力者	上田真也	竹中工務店大阪本店設計部 設備設計部長

研究要旨

相対湿度部会では、現行の建築物環境衛生管理基準のうち、相対湿度基準に係る課題を明らかにし、今後の基準提言を行うことを目的としている。令和7年度は、①相対湿度に関する今後の方向性に関する議論と提言案の作成、②湿度基準に対する提言のベースとなる特に重要な既往研究のレビュー、③海外の湿度基準調査、④ウイルス感染に及ぼす相対湿度の影響とそのリスク評価、の4点について検討を行った。

現行の湿度基準は「相対湿度 40%以上 70%以下」のように数値が単独で示されている。この基準に対して、約 6 割の特定建築物は満たせておらず（衛生行政報告例）、特定建築物以外まで広げるとさらにその不適率は上昇する。今年度実施した文献調査の範囲では、特に湿度下限値について、衛生面を考慮した許容限度を設ける必要性を明瞭に示した研究は見つかっていない。また平成 14 年度検討会においてウイルス生存に対する相対湿度の影響に関し言及があったものの、その後の結論は得られていない。一方、平成 14 年から現在までの間に、2003 年 SARS-CoV-1、2009 年 Pandemic (H1N1) 2009、2012 年 MERS、2019 年 COVID-19 等の複数のパンデミックが発生しており、これらの過程で一定の研究進展があったことから、特にウイルスと相対湿度の関係について検討を加えた。

1-1 建築物環境衛生管理基準における相対湿度の基準値のあり方・文献調査・海外の湿度基準調査（高田暁、本間義規、長谷川兼一、伊藤佳乃子、上田真也）

A. 研究目的

建築物環境衛生管理基準は制定されて半世紀を超える。相対湿度に関する基準に関しては、制定時から変更されておらず、「40%以上 70%以下」となっている。ところが、特定建築物を対象とした検査において不適と判断される割合が高い項目として広く認識されており、2002 年の建築物衛生管理検討会をはじめ多様な場において、基準の是非について議論がなされてきたが、結論は出ていない。本研究では、近年の建物空調技術の技術革新、カーボンニュートラルに向けて建物運用をめぐる国内外の取り組み、ワークスタイルの変化を踏まえて相対湿度の基

準について検証し、その課題を明らかにすること、提言に向けた検討を行うことを目的とする。建物に対して適用されている他の制度や取り組み等との整合も考慮しつつ、相対湿度の基準値のあり方、目指すべき衛生・健康レベルを見定めることを本研究において行う。

B. 研究方法

2025 年度は、研究分担者が専門家としての知見を持ち寄って、相対湿度についての建築物環境衛生管理基準の今後の方向性について議論を行い、提言案をまとめる。また、その提言のベースとなる根拠となる文献の調査を行い、重要論文について輪読し、議論した結果をまとめる。文献調査は 2026 年度以降も継続し、提言案の肉付け、あるいは修正を行っていく。2026 年度以降にはフィールド調査も行い、提言の根拠

データの収集を行うことも視野に入れる。最終年度に向けて、提言案をブラッシュアップし、最終的に、提言としてまとめる。

C. 研究結果

C.1. 相対湿度の基準値のあり方についての考察

現在、建築物環境衛生管理基準において、特定建築物に関して、空気調和設備を設けている場合には、室内空気の相対湿度を「40%以上70%以下」におおむね維持する必要があることが述べられている。推奨値で考えるのか、許容限度で考えるのかによって、自ずと基準値の数値は変わってくるが、推奨値を基準値にすると厳しい側に過ぎて、現実離れしてしまう危険性がある。建物の維持管理基準としては、許容限度を示すべきであろう。

また、何を目的として許容限度を示すのかによって、基準値は異なってくる。現状の建築物環境衛生管理基準において、その目的は説明されていないが、「衛生あるいは健康」が目的と読むべきであろう。空気調和設備を設けている多数の者が使用・利用する建築物において、衛生的・健康的であるような湿度の許容限界値、ということになる。換言すれば、相対湿度が建物内の人の衛生・健康面にどのように寄与する可能性があるかという問いを明らかにすることが必要である。寄与の程度やそれを考慮すべきかどうかはいったん横へ置くとすると、以下のような観点が考えられる。

- ・湿度が人の快適性に及ぼす影響
- ・湿度が人の健康に及ぼす影響
- ・湿度がウイルスに及ぼす影響（間接的に人の健康に影響する）
- ・湿度が静電気の発生状況に及ぼす影響（間接的に人の快適性に影響）

相対湿度が上記の各観点到どの程度影響を及ぼすかを明らかにし、特に重要なものに着目して許容限界を定めることが、課題である。一方で、建築物の社会性に鑑みれば、維持管理の実現性についても考慮すべきである。ただし、衛生・健康面での湿度の許容限界を明らかにしたうえで、実現性に鑑みて現実的な基準を定めるのが順当である。

1970年に基準が制定された際に、どのような考え方で基づいていたのかをうかがい知るための資料として、小林陽太郎氏の言説を引用する。

事務所建築において、湿度が単独で問題になることは少ない。精密機器に対し多湿であることは良くない。美術品・書画では乾燥し過ぎるのは良くない。一方人体に対しては多湿なことは種々の障害もあろうが、多くは低温がその原因で多湿となっている。乾燥しすぎの場合、咽喉の粘膜を傷め、障害をおこし易くなる。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、下降に従って乾燥、多湿の方向へ変化するので、気温が問題である。鉄筋コンクリート造の地下室、倉庫などは固体表面が低温の場合、その附近では低温多湿となる。湿度についての基準を単独に記すことは意味は少ないが、強いて示せば次の通りであろう。

推奨値 55～70% 人体に対し夏は小湿、冬は多湿が望ましい。

許容限度の例

冬の最低限度 35% 夏の最高限度 70%

(DIN 1964 März 1951 Versammlungsraum)

ここでは相対湿度 35%以上となっているところ、最終的に相対湿度の下限値が 40%に設定された経緯は明らかでないが、ドイツの DIN を参考に許容限度として我が国の基準値が決められたものとして経緯は推定できる。最終的に相対湿度の基準として「40%以上70%以下」と制定されたが、小林陽太郎氏の言説として、「湿度についての基準を単独に記すことは意味は少ない」「強いて示せば」という部分を、再度評価する必要があると思われる。

これらを踏まえ、委員の間で、暫定的な提言案を作成した。提言とその趣旨について以下の通りである。

- ・許容限度のみを示してはどうか

推奨値と許容限度とで、考え方が異なるが、建築物環境衛生管理基準では、許容限度を示し、最低限満たすべき条件を定めるのが順当と考えられる。つまり、明らかに劣悪な環境が存在した場合にそれを改善することを第一に考えるべ

きで、理想の値を示すことが目的ではない。現状において、相対湿度の不適率が高いことは、無理な値を示していることの表れともいえる。

・人が不快とならない湿度をもって許容限界を決定してはどうか

従来の基準検討（例えば、2002 年の建築物衛生管理検討会報告書）では、インフルエンザウイルスの活性度が湿度基準の根拠として議論されていたが、人の健康と湿度の関係を考える際にウイルスの立ち位置は間接的であること、ウイルスの活性度が人の感染に直結するわけではないこと、ウイルスと言っても多様で切りがなないこと、ウイルス感染を湿度のみで防止できるわけではないこと、など疑問がある。許容限界の議論から、ウイルスの観点を外してみてもどうか。代わりに、より直接的な健康の観点として、人が不快とならない湿度をもって許容限界を決定することが考えられる。

・換気が十分確保されている場合、ウイルス濃度を湿度基準の決定理由から外してはどうか

感染リスクとなるウイルスの生存時間を短縮させたり、感染リスクを下げたりすることができれば有効だが、湿度のみに頼ってそれをするのには無理がある。少なくとも、ウイルス濃度を十分に下げることが可能と思われる換気量が確保されている場合、相対湿度の基準の議論から、ウイルスの要因を排除するべきである。

・カビと静電気を考慮してはどうか

人の健康に付随する条件として、建物側に対する湿度要件がある。例えば、建物内でカビが成育しやすい条件は、もし仮に、その湿度条件が人の健康にとって問題ないとしても、避けるべきである。また、低湿時の静電気の発生も、避けるのが望ましい。

・温度の幅を想定して相対湿度の基準値を厳しくしすぎないようにしてはどうか

基準を相対湿度で定める場合、温度帯も意識するべきである。想定される温度に幅がある以上、絶対湿度を定める方が合理的であるとも言えるが、結露・カビの問題を考える際には、相対湿度も決して悪い指標ではない。ある程度の温度の幅を想定して、相対湿度の基準値を厳しくしすぎないことが重要である。以上を踏まえると、相対湿度の基準値をなくすか、幅広く設

定するべきであろう。

・滞在時間の一部が収まるべき範囲とするなどの緩和条件を付けてはどうか

一瞬たりともこの範囲を出てはいけないうと基準を決めるのではなく、居住者の年間滞在時間のある割合（例えば、80%や 90%）はこの範囲に収まるべき、などの緩和条件を付けるべきである。IoT を活用し、対象室の温湿度のモニタリングをより詳細かつ居住者の行動と紐づけて行うことにより、瞬時の測定値で判断するのではなく、全時間帯に対するデータを見て判断することにより、基準をより柔軟に設定できるであろう。

・湿度の許容限界値を定めるのをやめてはどうか

この基準は、人の健康のために必要な湿度の条件を定めるものである。健康とは、病気ではなく、なおかつ、不快感、痛みや痒み等を含む違和感や耐え難い感覚のない状態、つまり「なんともない」という状態であること、と定義するならば、それが湿度によって阻害される範囲を示すことになる。しかしながら、それらに対する明確な根拠は見出されていない。湿度の許容限界値を定めないという選択肢も検討するべきである。

C.2. 相対湿度の基準値を決定するための根拠文献の調査

以下の 3 つの観点から文献を整理する。

- ・湿度が人の快適性に及ぼす影響
- ・湿度が人の健康に及ぼす影響
- ・湿度がウイルスに及ぼす影響

C.2.1 湿度とヒトの生理・心理

オフィスや住宅において、喉や眼をはじめとする粘膜や皮膚の乾燥による不快感を訴える事例が多数報告されている。湿度の基準値を設定する目的の一つは、大多数の居住者の健康や快適性が損なわれない環境条件を実現することであり、皮膚や粘膜の違和感・痛み、咳、乾皮症といった自覚症状や不快感の発生リスクを著しく高めない湿度帯を、科学的根拠に基づいて設定する必要がある。湿度がヒトの健康や快適性に及ぼす影響を明らかにするため、これまでに、

被験者を複数の湿度環境に曝露し、心理・生理指標を採取する研究が多く蓄積されてきた。心理指標としては、乾燥感や不快感の主観申告を採用したものが大多数であるが、被験者の意識や認知といった交絡要因による個人差や個人内変動が課題であり、湿度に対する応答が明確にみられない場合も多い。一方、自覚症状や不快感の発現に先立ち、皮膚や粘膜の含水率低下、あるいは眼表面を覆う涙液層の状態変化といった生理的応答が生じることが知られており、これらを生理指標として測定した研究も近年増加している。しかし、採用されている生理指標と健康状態や不快感との定量的関係、例えば自覚症状や不快感が生じる閾値などについては、十分なコンセンサスが得られていないのが現状である。

本文献調査の目的は、湿度がヒトの生理・心理に及ぼす影響に関する既往研究を整理し、実験条件や生理・心理指標の妥当性を精査したうえで、湿度基準値設定のエビデンスとなる知見をまとめることである。本年度は、低湿度がヒトの健康や快適性に及ぼす影響について包括的に整理した Derby ら (2017) のレビュー論文を取り上げた。さらに、それ以降に報告された原著論文のうち、若年者のほか日本の人口の30%を占める高齢者を対象に、湿度基準の議論の対象である 30–70%RH の湿度帯において多角的な生理・心理応答の測定を行ったもの (Hashiguchi ら、2023) を取り上げた。

C.2.1.1 湿度に応じた高齢者の生理心理反応

Hashiguchi, N., Tochihara, Y., Takeda, A., & Yasuyama, Y. (2023). Effects of indoor summer dehumidification and winter humidification on the physiological and subjective responses of the elderly. *Journal of Thermal Biology*, 111, 103390.

<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103390>

1. 実験概要

健康な若年男性 16 名・高齢男性各 16 名を対象に、加湿・除湿に対する生理・心理応答を調査した。実験プロトコルを図 1 に示す。実験は反復測定デザインであり、被験者は人工気候室

内で、以下 4 条件の湿度環境に 120 分間曝露された。

- ・70%のち 50%RH (除湿実験の介入条件)
- ・70%RH (除湿実験の対照条件)
- ・30%のち 50%RH (加湿実験の介入条件)
- ・30%RH (加湿実験の対照条件)

気温は除湿実験では 28℃、加湿実験では 25℃に統一された。着衣量は 0.6 clo、気流速度は 0.2 m/s 以下であった。

各測定項目について、測定方法とタイミングを表 1 にまとめた。生理指標として、皮膚温、体重（不感蒸泄量）、頬の経表皮水分損失 (TEWL)、頬の皮膚水分量、サッカリンクリアランス時間 (SCT)、瞬き回数を測定した。また心理指標として、乾湿感、温冷感、温熱快適性を評価した。TEWL と皮膚水分量は皮膚の生理状態を、SCT は感染症予防において重要な役割を果たす鼻粘液纖毛輸送機能を、瞬き回数は眼表面の生理状態を評価するために採用された。

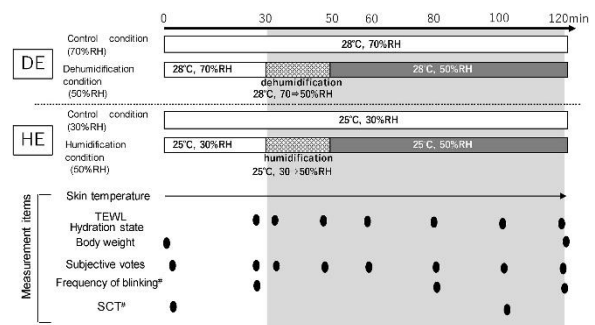


図 1 実験プロトコル

表 1 測定項目

測定項目	測定機器・方法	測定タイミング
皮膚温度(7点法)	データロガー付サーミスタ(LT-8A)、Hardy ら(1938)の式を用いて平均皮膚温を算出	1 分ごと(連続)
不感蒸泄量(体重減少)	精密天秤(Mettler ID2、精度±1g) 暴露前後の体重差から算出	暴露前後
経皮水分損失(TEWL)	Vapometer(SWL-type CE、最大 300 g/m ² h) 頬部で測定	25・30・45・60・80・100 分
皮膚含水量(角層水分量)	CORNEOMETER(CM825、精度±3%) 頬部で測定	25・30・45・60・80・100 分
サッカリンクリアランス時間(SCT)	人工甘味料であるサッカリン顆粒(約 3mm)を鼻腔前庭後方に配置し、溶け出したサッカリンが線毛運動によって輸送され、咽頭で甘さとして感じるまでの時間を測定	暴露直後・開始 100 分後
瞬き回数	モニター中央の点滅スポット(1 秒点灯、0.2~1.4 秒間隔)を 2 分間計測するタスク中にビデオ撮影、後日カウント	25・80・120 分
主観申告(乾湿感、温冷感、温熱快適性)	7 点リッカート尺度(±3)	0・20・30・45・60・80・100・120 分 (100・120 分の平均を解析に使用)

2. 加湿・除湿に対する生理・心理応答

70%RH から 50%RH への除湿により、両年齢群ともに不感蒸泄量が増加し、皮膚温度が有意に低下した。30%RH から 50%RH への加湿により、両年齢群ともにサッカリンクリアランス時間 (SCT) が有意に短縮した (図 3)。SCT が短いほど、粘液繊毛による異物やウイルスの輸送排出速度が速く、感染症に対する防御機能が高いと解釈できる。頬の経皮水分損失 (TEWL) は除湿で有意に増加し、加湿で有意に減少した (図 2)。高い TEWL は皮膚バリア透過性の増大を意味し、アレルゲン・化学物質・微生物への感受性増加につながることで報告されている。一方、頬の皮膚角質層含水量には条件間の差は認められなかったが、これは角質表層の水分移動が含水量に反映されるまで 90 分以上を要するためであったと考察されている。瞬き回数は、眼表面を保護する涙液層の破れやすさと関連するが、条件間で有意な差は認められなかった。乾湿感については、図 4A に示すとおり、いずれの湿度条件でも「とても乾いている」もしくは「とても湿っている」という極端な申告はみられず、乾いている～湿っている、の範囲であった。除湿実験では RH 条件の影響を受け、両年齢群とも 70%RH よりも 50%RH の方が中立的な評価であった。加湿実験では、30%RH に 100~120 分曝露されても、高齢者の乾湿感申告値は、やや乾いている～やや湿っている (-1~1) の範囲に収まった。一方、若年者では高齢者と比較すると乾燥側の申告が多く、乾いている～やや湿っている (-2~1) の範囲であり、被験者の半数が乾燥側 (-2~-0.5) の申告であった。30%RH への曝露から 30 分後に 50%RH に加湿した条件では、若年者では加湿による申告値の湿潤側への有意な推移がみられたものの、25%の被験者は乾燥側 (-2~-0.5) を申告した。高齢者では加湿の前後で申告値にほとんど差がなかった。

除湿および加湿に対する生理応答 (皮膚温度、皮膚生理、SCT、瞬き回数) については、年齢群間で明確な差は認められなかった。しかし、主観申告から、高齢者は除湿群と加湿群の両方において、若年者よりも湿度差に対する感受性が低いことが示唆された。

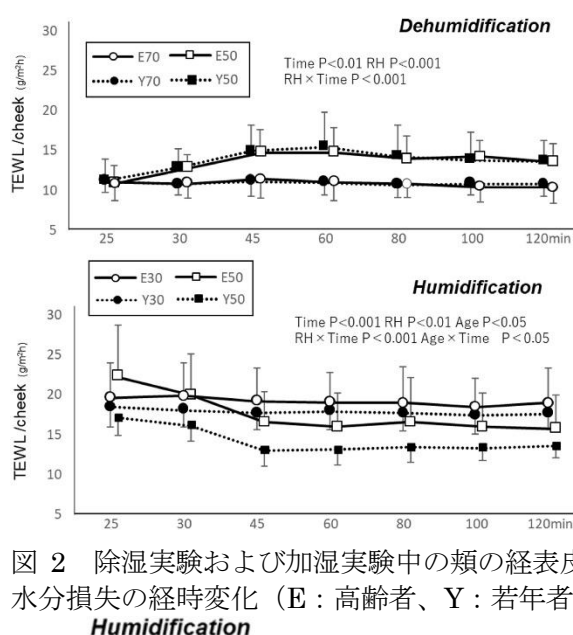


図 2 除湿実験および加湿実験中の頬の経表皮水分損失の経時変化 (E: 高齢者、Y: 若年者)

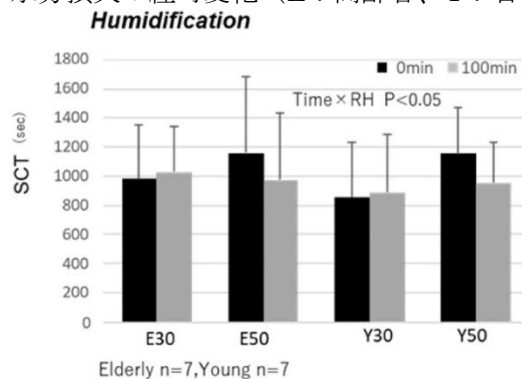


図 3 加湿実験におけるサッカリンクリアランス時間の曝露直後と曝露開始 100 分後の比較 (サッカリンの配置は同一実験日でのみ統一されているため、絶対値での比較は不可)

3. 部会内での議論

- ・生理指標については、達成すべき基準となる閾値が必要である。TEWL は 10~20 g/m²/h が健常平均とされることが多い。瞬き回数、SCT はいずれも湿度以外の交絡要因により個人差や実験間のばらつきが大きい手法であるため、基準値の設定は難しいと考えられる。

- ・Sunwoo ら (2006b) では、高齢者群のみ 10%RH の低湿度で SCT が遅くなり、若年者では差がなかったという結果が報告されているため、極度の低湿度では年齢による差が拡大する可能性がある。また湿度にかかわらず、加齢によって気道表面の水分保持能力が落ちることで、粘液繊毛輸送機能が低下することが明らかになっている。

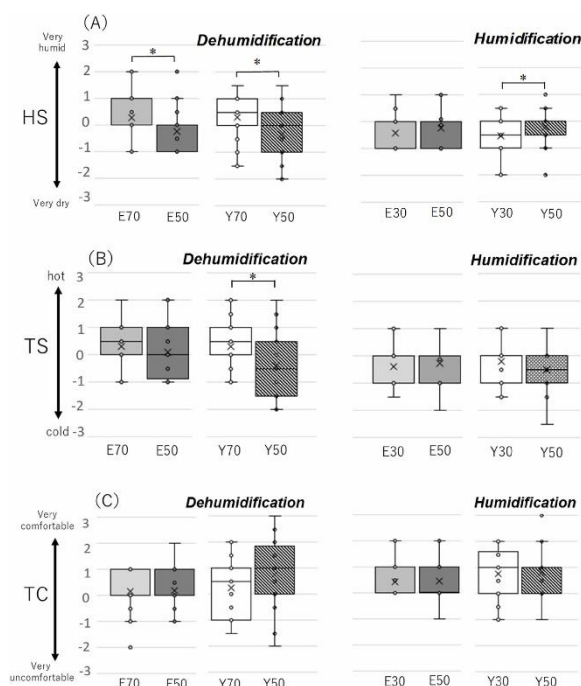


図4 曝露後100分および120分の平均値に基づく主観申告；(A) 乾湿感、(B) 温冷感、(C) 熱的快適性 (E：高齢者、Y：若年者)

4. まとめ

若年者と高齢者を対象に、70%RH から50%RH への除湿と、30%RH から50%RH への加湿が複数の生理・心理指標に及ぼす影響が調査された。30%RH から50%RH への加湿により、両年齢群ともにサッカリンクリアランス時間 (SCT) が有意に短縮した。頬の経皮水分損失 (TEWL) は両年齢群ともに除湿で有意に増加し、加湿で有意に減少した。心理指標である乾湿感については、30%RH であっても「とても乾いている」という申告はみられず、高齢者では「やや乾いている」～「やや湿っている」の範囲に、若年者では「乾いている」～「やや湿っている」の範囲に収まった。50%RH への加湿後には、若年者では申告値の湿潤側への有意な推移がみられたが、高齢者では加湿の前後でほとんど差がなかった。本実験の湿度範囲においては年齢による生理応答の差は認められなかったが、高齢者では若年者よりも湿度差に対する感受性が低いことが示唆された。

C.2.1.2 快適性・健康と湿度

Derby, M. M., Hamehkasi, M., Eckels, S.,

Hwang, G. M., Jones, B., Maghirang, R., & Shulan, D. (2017). Update of the scientific evidence for specifying lower limit relative humidity levels for comfort, health, and indoor environmental quality in occupied spaces (RP-1630). *Science and Technology for the Built Environment*, 23(1), 30–45.

<https://doi.org/10.1080/23744731.2016.1206430>

1. 研究レビューの目的

室内湿度は居住者の快適性や健康、室内環境の質に影響すると考えられる。Sterling ら(1985年)は、低湿度に伴う暴露環境が居住者に与える影響について検討しているが、科学的根拠は対しては十分な地研を踏まえている訳ではない。そこで、本研究の目的は、低湿度が及ぼす影響に関する1985年以降の文献を調査し、既存の知見や知識のギャップ、ならびに交絡要因を明らかにすることにある。Comfort、Health、IEQ、Populationに関連するキーワードを設定し、WEB検索により約600件の論文が収集され、そのうち低湿度(相対湿度40%以下)の影響に触れている約70件の論文がレビューされた。主な論文を表2に示し、カテゴリー毎に得られた知見が整理された。

表2 文献調査に該当する主な論文

	Category	Key paper(s)
Comfort	Eye irritation	(McCulley et al. 2006)
	Skin dryness	(Sunwoo et al. 2006a) (Reinikainen and Jaakkola 2003)
Health	Thermal Comfort	(Berglund 1998)
	Asthma	(Bundgaard et al. 1982) (Strauss et al. 1978)
	Bacteria	(Dunklin and Puck 1948)
	Influenza	(Shaman et al. 2011)
	Mite	(Howieson et al. 2003)
Population IEQ	Pneumonia	(Theunissen et al. 1993)
	Virus	(Akers et al. 1966)
	Elderly	(Sunwoo et al. 2006b)
	Ozone generation	(Grøntoft and Raychaudhuri 2004)
	Particulate generation	(Hitzenberger et al. 1997)
	IAQ	(Fang et al. 2004) (Nordström et al. 1994) (Wolkoff and Kjærgaard 2007)

2. 健康 (Health)

健康への影響としては、喘息、呼吸器感染症、アレルギー、病原体や疾病の伝播が挙げられる。

喘息および呼吸器疾患に関する研究方法では、実験室試験、環境サンプリング、調査が用いられているが、低湿度の閾値への言及は限定的である。喘息患者は寒冷で乾燥した空気に敏感であることが示唆されているが、湿度条件に関する知見は示されていない。また、喘息患者は気道感染症に弱く、感染には湿度が関与するため、最適な湿度条件の決定にはトレードオフが伴う。

3. ハウスダスト (HDM)

湿度が高いほどダニの増殖とその後のアレルギー生成が促進されるという知見が得られている。これはダニが生存に必要な水分を空気中から摂取するためであるが、通常は乾燥した環境であっても、短時間の高湿度期間があれば生存・繁殖が可能である。相対湿度が 50～60%を下回るとダニアレルギーは有意に減少する。

インフルエンザウイルスの生存に関しては、多くの研究において相対湿度 40～80%で有意な低下が見られる。また、気中での露出時間が長くなるほどウイルスの生存率は低下する。また、保有水分の蒸発によって引き起こされるエアロゾル内の pH 変化が細胞膜を持つウイルスの表面糖タンパク質の構造変化を誘発し、ウイルス感染力の低下を招くという仮説が立てられている。

低湿度暴露が病原体(ウイルスや細菌)に与える影響を把握する上での課題は、それらが lipid envelopes と non-lipid envelopes で構成が異なるため、特定の病原体から得られた結論を一般化できない点にある。また、インフルエンザ以外のウイルスに関するデータは不十分である。細菌においても低湿度下での挙動は一貫している訳ではない。

メチシリン耐性黄色ブドウ球菌(MRSA)などの抗生物質耐性菌に対する環境条件の影響を解明することは、病院等の施設において有益な知見となりうるが、既往研究のデザインに一貫性がないため、研究間の比較ができないと指摘されている。病原体による健康影響は、人、室内環境(室内表面仕上げ、換気量、ペットの有無等)、

侵入経路など、湿度以外の多くの変数に左右される。

換気が病原体に及ぼす影響を扱った研究はわずかである。Yang と Marr (2011) は、インフルエンザ A ウイルスをエアロゾル化した飛沫 (1～100 μm) をモデル化し、相対湿度 10～90%において換気回数 1 回/h と 10 回/h の差異を検討した。その結果、換気量が多いと大きな飛沫ほど早く沈降する可能性がある一方、5 μm 未満の微小な飛沫については、換気とウイルスの不活化がより重要な要因となるとしている。また、風速が増すとカビのエアロゾル化が促進されることも報告されている。

4. 快適性 (Comfort)

温度が適切に調整されている限りにおいては、低湿度が温熱感覚に対して不快感を引き起こすことはない。代謝量が高い時におけるヒートストレスへの湿度の影響に着目した研究は多いが、熱ストレスと快適性の間に明確な閾値は存在せず、活動レベルが高くなるほど曖昧になる。人の活動量が高い場合、低湿度は快適性を大幅に向上させると予想されるが、安静時にまで適用することはできず、この課題に関するデータはほとんど存在しない。

相対湿度が 20～30%以下において涙液の蒸発が増え、瞬きの頻度が高まることが示唆されている。事務作業の知的生産性を低下させるとの報告もあるが、視覚や目の健康に対する長期的影響については不明である。皮膚に関しては、相対湿度が 1.5～2.5%の極端な低湿度暴露で、痒みや不快感が増加する。低湿度環境に入った直後に経表皮水分喪失が発生するものの、その後 30～60 分ほどで皮膚は水分を保持しようと適応する。

快適性に関する被験者実験では、大学生が主要な対象である。高齢者を対象としたのは Sunwoo ら(2006b)が唯一であり、8 人の若年男性(平均年齢 22 歳)と 8 人の高齢男性(平均年齢 72 歳)を対象としている。経表皮水分喪失や瞬き回数といった皮膚や目の刺激の測定値が両年齢層間で同様であった。また、極めて低い相対湿度(10% RH)において、サッカリン溶解時間(SCT 法)で測定された粘膜線毛クリアランス機能は、若年層と比較して高齢者層で低下したが、

30%および 50%では差が見られなかった。このデータは 50 歳の年齢差を代表しているものの、サンプルサイズが小さく被験者が男性のみであるという点に留意が必要である。高齢者に関する知見を深めるためには、さらなる研究が求められる。

多くのフィールド調査はスカンジナビア諸国(デンマーク、フィンランド、ノルウェー、スウェーデンなど)を対象に実施されている。これらの北欧の気候では、暖房シーズン中の室内相対湿度は 10~20%になることがあるが、低湿度に順応(順化)しているか否かは不明である。より多様な集団に対して、低湿度環境に対する心理反応や心理反応を検討することは興味深い研究課題である。

5. 室内環境の質 (IEQ)

建築資材からの VOC 放出に対する湿度の影響は、材料や物質の種類に依存しており、結論には至っていない。一般に、温湿度は知覚空気質に影響するが、TVOC 放出に関しては濃度や温度の影響の方が湿度よりもはるかに強い。これまでの研究はシックハウス症候群の原因究明に焦点が当てられていたため、室内空気質 (IAQ) の観点から「許容できる湿度の下限値」を特定するには至っていない。また、オゾン湿度の影響を強くは受けず、粒子状物質(PM)の発生と低湿度の関係についても依然として不明な点が多い。

湿度と汚染物質にはトレードオフがあり、外気の導入割合を減らして湿度を上げようとすると、結果として汚染物質が増加し知覚空気質の許容度の低下を招く。

6. 暴露時間 (Exposure times)

被験者実験の大部分は短時間の環境暴露により実施されており、多くは試験室内に 3 時間程度の暴露、あるいはフィールド調査としては数週間から数ヶ月にわたるものである。制御された条件下で行われた研究のほとんどが短時間であるため、得られた結果を、低湿度条件への長期暴露に外挿することはできない。

目への刺激に関する研究では、「時間」が重要な変数であると指摘されており、実験時間は数時間以内である。被験者が温度 23.3℃、相対湿度 20%と 80%のチャンバー間を移動する際の

「湿度の過渡的变化」の影響を実験した結果、湿度変化が熱的快適性に及ぼす影響は、最大 90 分間持続する可能性があることが示されている。また、チャンバー内で男子大学生 (N=8) を計 125 時間にわたって環境暴露した研究があるが、これは、この文献調査の中でも群を抜いて長い。

皮膚の経皮水分蒸散量 (TEWL) などの指標が時間の経過とともに適応することが示唆されている。例えば、相対湿度 10%および 30%において、TEWL は曝露から 30 分後に増加しその後安定した。時間の経過に伴う皮膚の適応の現象も含め、低湿度に対する人間の適応という問いは非常に興味深く、今後の研究が待たれる。

7. まとめと今後の展望

本研究では、1985 年以降に発表された低湿度環境(相対湿度 40%以下)に関する論文を調査し、約 600 報の論文が該当し、そのうち約 70 報について扱った。これらの論文は、健康、快適性、室内環境の質に分類することができ、低湿度が喘息やダニアレルゲン、目や肌の乾燥、知覚空気質に及ぼす影響について考察した。低湿度暴露による影響に着目したが、相対湿度を 10%上昇させた場合の直接的なメリットや影響を明確にした研究は見られない。

湿度が低下すると、ダニアレルゲンが減少するが、一方で、粘膜の乾燥やインフルエンザウイルスの生存率の上昇を招くことが実験室内での実験を踏まえて言及されている。また、低温で低湿度な環境に暴露されると、喘息患者の症状が悪化することも被験者実験で明らかにされている。さらに、換気量や曝露時間も低湿度による影響に対する交絡要因となっており、これらの要因にどのような重み付けをするべきかは、今後の検討と議論が必要な未解決の課題といえる。これからの研究の方向性は、建物種別や優先すべき観点(知的生産性、ウイルス伝播の抑制、健康リスクの低下など)によって判断されるべきである。

人を対象とした既往研究の多くは、限られた湿度レベル(多くは 2~3 段階)でのみの実験が実施されている。これはコストや試験時間の制約上、やむを得ないことではあるが、湿度レベルが限定的であるため、湿度条件間の「解像度」

が不足している。環境条件としての閾値を判断することは依然として困難である。

C.2.2 湿度と居住者の健康

C.2.2.1 オフィスにおける健康症状と湿度

Jones, E. R., Cedeño Laurent, J. G., Young, A. S., Coull, B. A., Spengler, J. D., & Allen, J. G. (2022). Indoor humidity levels and associations with reported symptoms in office buildings. *Indoor Air*, 32(1), e12961.

<https://doi.org/10.1111/ina.12961>

1. 調査概要

中程度の室内相対湿度（40～60%）では、一部のウイルスによる感染や生存能力を最小限に抑え、カビによる健康リスクを最小限に抑える可能性があるといわれている。しかしながら、世界のオフィスビルにおける相対湿度の実態や、相対湿度が執務者の健康に及ぼす影響については不明な点が多い。そこで、Global CogFx Study の枠組みを利用して中国、インド、メキシコ、タイ、英国、米国の 43 件のオフィスビルを対象にして 1 年間の執務者の暴露環境(温湿度、CO₂ 濃度、PM2.5 濃度)の計測データと、227 名の執務者による健康に関する自己申告データが調査された。調査された症状は以下の通り 2 種類あり、それぞれの症状の有無が尋ねられた。

調査 1: 喉の痛みや乾燥、皮膚の乾燥やかゆみ、目の乾燥・かゆみ・刺激感、鼻づまり・鼻水・副鼻腔の詰まり、異常な倦怠感・疲労感・眠気、物事を覚えにくい・集中できない、緊張・イライラ・不安感、そして抑うつ感

調査 2: 目の灼熱感や刺激感、喉の痛み、鼻づまり、頭痛、片頭痛、頻繁な咳、喘鳴、度重なる風邪、息切れ、副鼻腔炎、声のかすれ、くしゃみの発作

調査では、オフィスビル毎に喫煙状況や体調などの調査参加資格の基準を満たした 7～19 人の協力者がリクルートされた。各オフィスビルには最低 1 箇所の暴露環境が計測され、自己申告が依頼されている場合には、執務者のデスク付近を中心に複数の環境計測器が設置された。自己申告への協力に承諾した執務者に対しては、スマートフォンのアプリを介して、年に数回の

タイミングで自身の症状を申告するように依頼された。このタイミングは、予め設定されている暴露環境データの閾値に基づいている。症状の申告と暴露環境との関連性を分析する際には、申告の 1 時間前の暴露環境データが用いられる。

2. 各国の相対湿度の実態

執務時間中(平日の 9～17 時)における相対湿度は、メキシコ、米国、英国で低くなっており、相対湿度が 40%以下となる時間割合は、中国とタイで 21%、インドで 31%、メキシコと米国で 45%、英国で 72%であった。図 5 に暖冷房度日を閾値とした期間毎の相対湿度の累積頻度分布を示すが、暖房期間に勤務時間中の相対湿度が 40%以下となる傾向が見られ、中国、タイ、インドでは冷房期間、メキシコ、米国、英国では中間期に、相対湿度が中程度(40～60%)となることが確認できる。

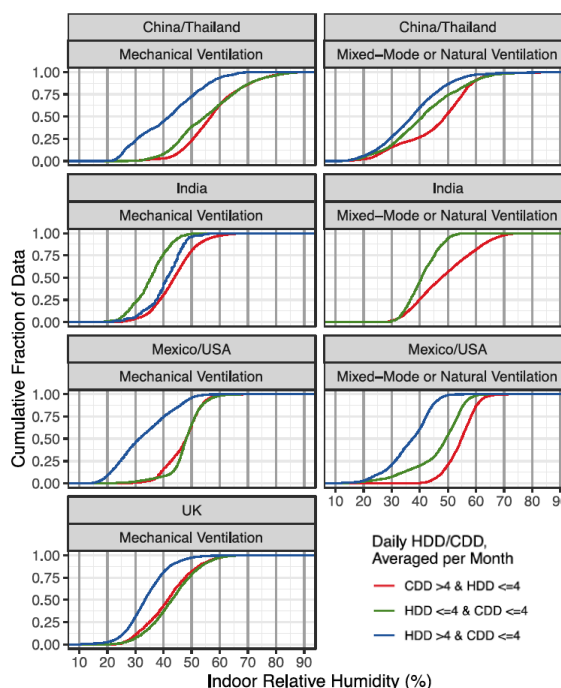


図 5 各国の相対湿度の累積頻度分布

3. 相対湿度に及ぼす要因分析

執務空間の相対湿度に及ぼす要因を分析するために、一般化加法混合モデルを用いた。一般化加法混合モデルでは、室内温度や外気温湿度のような非線形な説明変数を含めて線形回帰することができ、線型モデルの説明性を活用することが可能となる。分析結果を表 3 に示す。

目的変数として時間平均相対湿度を用いている。

表 3 一般化加法混合モデルによる相対湿度の予測結果

	Effect estimate (95% CI)	p-value
Ventilation (reference = Natural or Mixed-Mode)		
Mechanical	1.01 (-2.44, 4.46)	0.57
Region (reference = China/Thailand)		
India	-4.95 (-9.12, -0.78)	0.02
Mexico/USA	-5.81 (-9.55, -2.06)	0.002
UK	-8.84 (-13.75, -3.94)	0.0004
Indoor Temperature (1 C)	-1.11 (-1.15, -1.08)	<0.0001
Quarterly AER (1 hour ⁻¹)	1.31 (1.21, 1.41)	<0.0001
Outdoor Temperature (1 C)	0.86 (0.85, 0.87)	<0.0001
Outdoor RH (1%)	0.22 (0.22, 0.22)	<0.0001
Hour of Day (1 hour)	-0.20 (-0.22, -0.18)	<0.0001
Adjusted R ²	0.68	

Note: AER: air exchange rate
CI: confidence interval
RH: relative humidity

相対湿度は地域により異なり、寒冷な地域ほど低くなる。さらに、午前中に高くなるが、勤務時間を通じて低下する傾向が見られる。相対湿度は、換気回数(CO₂濃度の減衰より算出)とも関連が見られ、換気回数が増加するにつれて上昇している。これは、空調設備のレターン比率の設定が影響している可能性がある。また、室内温度が上昇するに伴い、相対湿度は低下しており、物理現象として妥当な結果である。オフィスビルの換気方式と相対湿度との間には有意な関連性は認められなかった。

4. 執務者の症状に及ぼす要因分析

調査された7種類の症状に関連する要因がロジスティック加法混合モデルを用いて分析され、結果を表4に示す。

これらの症状のいずれも10%以上の割合で申告されており、倦怠感や疲労感、眠気は執務者の17%が申告した。性別に関係なく、調査の1時間前の平均室内相対湿度(この分析では17%から70%の範囲)が高いほど、皮膚の乾燥やかゆみを訴える調整オッズ比が有意に低い。さらに、相対湿度が10%上昇するごとに、女性では54%、男性では42%の症状の減少が見積もられることになる。女性にとっては、調査1時間前の平均室内相対湿度が高いことは、粘膜症状の調整オッズ比の低下と有意に関連し、相対

湿度が10%上昇するごとに、目の乾燥、かゆみ、灼熱感、刺激、喉の痛みや乾燥の調整オッズ比が減少する。男性では、疲労感や倦怠感、眠気などの中枢神経系(CNS)症状の調整オッズ比の低下と有意に関連している。

低湿度な環境では、粘膜の乾燥が症状を誘発する可能性があるが、女性の方がこれに対する感受性が高いことが示唆された。女性が男性に比べてより多くの症状を報告する傾向があることは、先行研究によって裏付けられていることでもある。男性が症状を訴えていなくとも、女性の執務者の健康に対する低湿度環境の影響に配慮することは重要である。

5. まとめ

本研究で調査されたオフィスビルでは、執務時間帯の42%は相対湿度40%未満であり、7%は60%を超えていた。室内の相対湿度は、屋外の相対湿度や気温が低い時期や勤務時間の終盤に低くなる傾向が見られた。室内の相対湿度が低いと、性別に関係なく皮膚の乾燥やかゆみが増加し、女性の執務者においては粘膜症状、男性では倦怠感、疲労感や眠気が増加する可能性があることが示された。本調査で観測された低～中程度の相対湿度値の範囲内では、症状を緩和する相対湿度の閾値となる知見は得られなかった。

表 4 ロジスティック加法混合モデルによる各種症状と関連する要因の分析結果

	Mucous membrane symptoms			Central nervous system symptoms			
	Dry, itching, burning, or irritated eyes	Sore or dry throat	Stuffy/runny nose or nasal/sinus congestion	Unusual tiredness, fatigue, or drowsiness	Headaches or migraines	Difficulty remembering things or concentrating	Dry or itchy skin
	Surveys 1 and 2	Surveys 1 and 2	Surveys 1 and 2	Survey 1	Survey 2	Survey 1	Survey 1
	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)
RH _{in} (%)	0.97 (0.94, 1.01) [*]	0.95 (0.92, 0.99) ^{***}	0.98 (0.95, 1.01)	0.99 (0.95, 1.04)	0.98 (0.95, 1.02)	1.00 (0.95, 1.04)	0.93 (0.88, 0.97) ^{***}
Temp _{in} (°C)	0.91 (0.78, 1.06)	1.09 (0.95, 1.25)	1.02 (0.90, 1.16)	1.11 (0.93, 1.33)	0.98 (0.84, 1.14)	1.12 (0.92, 1.37)	1.09 (0.89, 1.33)
Gender (Reference = Female)							
Male	0.21 (0.03, 1.39)	0.23 (0.04, 1.30) [*]	0.42 (0.09, 1.91)	4.82 (0.52, 44.5)	1.05 (0.19, 5.75)	1.17 (0.08, 16.3)	0.23 (0.02, 2.75)
Country (Reference = USA)							
UK	1.46 (0.66, 3.21)	0.83 (0.40, 1.74)	0.56 (0.28, 1.11)	1.47 (0.70, 3.11)	0.87 (0.43, 1.78)	1.83 (0.78, 4.34)	1.28 (0.57, 2.86)
India	0.68 (0.24, 1.94)	0.86 (0.36, 2.03)	0.25 (0.10, 0.59) ^{***}	0.71 (0.25, 1.96)	0.86 (0.37, 2.01)	0.93 (0.30, 2.86)	0.66 (0.20, 2.20)
RH × Gender (Reference = Female)							
RH × Male	1.02 (0.97, 1.07)	1.03 (0.99, 1.08)	1.02 (0.98, 1.06)	0.96 (0.90, 1.01)	0.99 (0.95, 1.03)	0.98 (0.91, 1.04)	1.02 (0.96, 1.09)

Note: CI: confidence interval
OR: odds ratio
RH_{in}: indoor relative humidity
Temp_{in}: indoor temperature
^{*}p<0.10; ^{**}p<0.05; ^{***}p<0.01

C.2.3 湿度とウイルス

C.2.3.1 湿度に応じたウイルスの生存時間

Harper, G. J. (1961). Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses. The Journal of Hygiene, 59(4), 479.

<https://doi.org/10.1017/S0022172400039176>

空気中のウイルスの生存率に及ぼす湿度・温度の影響を調査したものである。

1. 研究目的

4 種類のウイルス（ワクシニア、インフルエンザ、VEE:ベネズエラ馬脳脊髄炎、ポリオ）をエアロゾルの形にして、散布後 23 時間にわたって、生存率（活性度）を、温湿度を制御した暗所で測定する。湿度と温度の組み合わせに応じた結果の比較を行う。

2. 実験方法

- Collison 噴霧器によりエアロゾルのサンプルが生成される。生成後すぐに採取され、回転ステンレス鋼ドラムに保持される。
- 生成した直後に採取されたエアロゾルと各時刻（5 分、30 分、1 時間、4 時間、6 時間、23 時間）にドラムから採取されたエアロゾルの両方についてウイルスの生存率を測定する。
- 物理的減衰（粒子の消失）とウイルスの死滅（生物学的減衰）を区別するため、物理的減衰のみの生ずるトレーサー物質を混合し、トレーサー物質の測定を経て、生存率を決定する。
- ウイルスの生存率は、ウイルスの種類ごとに異なる方法で決定する（ワクシニア: Westwood、Phipps & Boulter の方法による、インフルエン

ザ: membrane piece 法による、VEE: マウス感染の観察による、ポリオ: Cooper のプラーク法の改良法による）。

- 設定された温度 7°C~33°C の間の 1~3 段階（ウイルスの種類による）であり、相対湿度は各温度設定に対して、17~86% の間の 3~5 段階（ウイルスの種類による）である（表 5）。

3. 実験結果（表 5、図 6）

- いずれのウイルスについても、温度が低いほどウイルスの活性度が高くなる傾向にあった。
- VEE、ワクシニア、インフルエンザは低湿度（17-25%）で良好に生存したのに対し、ポリオは高湿度で良好に生存した。

表 5 空気中のウイルスの生存率の経時変化（温度と相対湿度に応じた変化、4 種類のウイルス）

Temp. (°C.)	R.H. (%)	No. of tests	Percentage viable at given times (hr.)						
			0*	$\frac{1}{2}$	1	4	6	23	
(a) Vaccinia									
10.5-11.5	20	1	94	68	78	82	79	81	66
	50	1	94	90	90	83	92	77	59
	82-84	2	97	81	71	79	59	60	27
21.0-23.0	18-19	2	97	86	80	66	46	45	15
	48-51	3	93	82	83	86	57	50	12
	82-84	3	112	96	73	66	24	18	Trace
31.5-33.5	17-19	2	80	67	67	61	51	33	13
	50	2	74	76	68	51	26	15	Trace
	80-83	2	88	88	54	36	5-9	1-2	Trace
(b) Influenza									
7.0-8.0	23-25	3	88	87	80	78	68	63	61
	51	3	66	49	75	61	39	42	19
	82	3	126	120	71	70	39	35	3-0
20.5-24.0	20-22	5	75	77	65	64	74	68	22
	34-36	3	86	93	58	59	66	53	14
	50-51	3	84	62	49	29	6-4	4-2	Trace
32.0	64-65	3	77	45	29	15	6-6	3-2	N.D.
	81	4	67	55	22	13	6-4	5-0	Nil
	20	3	87	70	56	45	18	17	1-3
49-50	3	98	45	22	13	2-7	0-7	Trace	
	81	3	91	50	15	6-6	Trace	Trace	Nil
(c) Venezuelan equine encephalomyelitis									
9.0-9.5	19	1	69	54	25	20	27	50	26
	48	1	100	86	16	24	29	24	11
	86	1	105	90	57	119	100	67	6-2
21.0-23.0	19-23	2	23	17	19	14	11	7-5	1-7
	50	2	35	28	21	14	7-8	5-2	0-1
	81-86	2	92	63	82	26	16	4-0	0-1
32.0-33.0	19	2	27	25	18	9-9	6-9	3-1	0-17
	48	2	25	22	8-5	6-1	ca. 1-0	0-1	Trace
	81-85	2	132	80	33	17	ca. 2-0	Trace	Nil
(d) Poliomyelitis									
20.5-23.5	18-23	4	19	10	5-5	5-9	3-4	3-3	1-1
	35-36	4	19	7-4	6-4	6-7	5-6	5-3	0-9
	49-51	5	66	6-6	0-16	0-06	0-03	Trace	Trace
	64-65	5	96	96	91	94	61	55	10
	80-81	5	120	131	112	124	111	105	85

* Samples collected ca. 1 sec. after spraying.
N.D. = not done.
Trace = Samples containing viable virus in amounts too small for accurate assay.

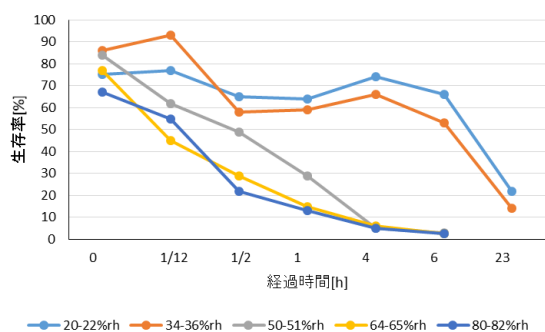


図 6 インフルエンザウイルスの生存率 (20.5～24.0℃)

C.2.3.2 湿度に応じたウイルス感染リスクの数理モデルによる予測

Aganovic, A., Bi, Y., Cao, G., Kurnitski, J., & Wargocki, P. (2022). Modeling the impact of indoor relative humidity on the infection risk of five respiratory airborne viruses. *Scientific Reports*, 12(1), 11481.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-15703-8>

1. Wells-Riley モデルの改良と感染リスク評価

一般にウイルスの不活化は湿度に依存すると言われているが、本論文はその湿度効果を組み込んだ Wells-Riley モデルの改良について検討したものである。Wells-Riley モデルは、クオンタ発生量 (1/h) から感染リスクを算出する数理モデルであり、1 式であらわされる。

$$P_r = 1 - e^{-\frac{qpt}{Q}} \quad (1)$$

ここで、 P_r : 感染確率、 q : 陽性者からのクオンタ生成量 (quanta/h)、 p : 人の呼吸量 (m^3/h)、 Q : 居室の換気量 (m^3/h)、 t : 暴露時間 (h)

ウイルス感染成立は、感染成立に必要なウイルス数や呼吸気道内のレセプター部位、さらに個人の免疫状態等に左右されるため個人差が大きい。Wells らは、ウイルス吸入イベントはポアソン分布に従うと仮定して数理モデルを構築している。ポアソン確率 $p_r(k)$ は (2) 式で表される。1 回の呼吸で 1 個もウイルスを吸入しない確率は $p_r(0) = e^{-\lambda}$ であることから、1 個以上のウイルスを吸入する確率 $p_r(k \geq 1)$ は 1 から $p_r(0)$

を差し引くことで得られる ((3) 式)。

$$\text{ポアソン確率} \quad p_r(k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (2)$$

1 個以上のウイルスを吸い込む確率

$$p_r(k \geq 1) = 1 - e^{-\lambda} \quad (3)$$

ある空間のクオンタ数 λ は、 $\lambda = qpt/Q$ で算出できる。これを (3) に代入すると (1) 式が得られる。

本論文の目的は、古典的な Wells-Riley モデルをベースに、相対湿度 (主に液滴蒸発に伴う粒径変化と重力沈降、および生物学的崩壊) と換気回数の効果 (粒径変化に伴う気中濃度) を定量化することである。相対湿度をパラメータとした結果が得られている 5 種類の空気感染性ウイルス (麻疹: MeV、インフルエンザ: IV、SARS-CoV-2、ライノウイルス: RhV、アデノウイルス: HAdV) を対象として相対湿度調整及び換気回数調整の効果を比較している。シミュレーションの室内共通条件として、温度 20～25℃、相対湿度 20～80% の一般的な住宅の室内環境下 (床面積 40m²、陽性者 1 名 (成人男性を想定)、非陽性者 1 名 (成人女性を想定)、計 2 名が距離 1.5m において在室、5 μm 未満の未乾燥状態ウイルスを対象) を設定している。なお、成人男性の呼吸率は 0.54m³/h、成人女性の呼吸率は 0.49m³/h、立位安静状態、短期暴露 (90 分の会話) と長期暴露 (360 分の会話) とし、換気回数は 3 水準 (0.5h⁻¹: 北欧の一般的住宅、2h⁻¹: 機械換気をしているオフィス・学校、6h⁻¹: ASHRAE Standard 170 における一般病室推奨値) としている。

2. 各ウイルスの評価

図 7 に結果を示す。IV の場合、相対湿度が高くなるにつれて感染リスクは低下すること、換気回数が大きくなるほど感染リスクは低下する一方、換気回数 0.5h⁻¹ では、暴露時間が長くなるほど相対湿度の影響が大きくなることが示されている。

MeV も IV と同様の湿度影響が示されているが、大きく異なる点は換気回数が 6h⁻¹ であっても相対湿度の影響が比較的強い点である。一方、RhV に対しては、相対湿度の効果は IV や MeV と真逆であり、相対湿度 30%、50% と比較して

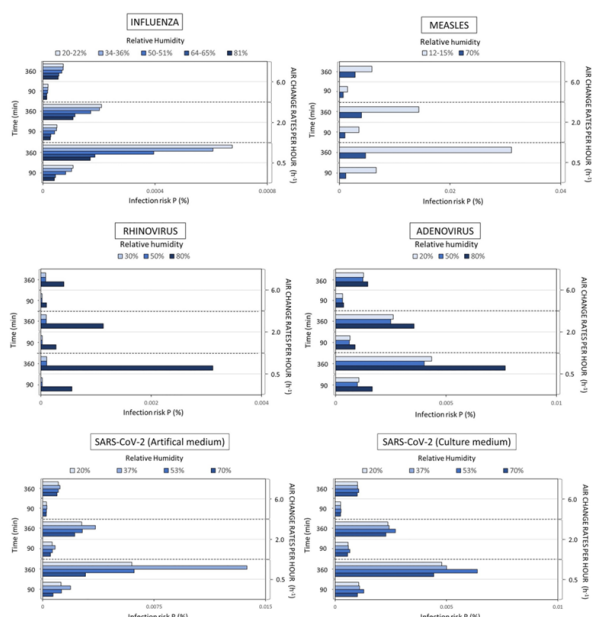


図 7 5 種類のウイルスの感染リスク P に対する相対湿度と換気回数の影響

相対湿度 80% の感染リスクは高くなり、換気量が大きくなっても相対湿度の差は比較的大きい。HAdV も相対湿度の上昇に伴い感染確率は増加するが、20、50、80% の湿度間の差は RhV と比較して大きくはない。SARS-CoV-2 に関して Aganovic らが行った実験では、塩分 13.1g/L、タンパク質 3.6g/L の人工培地では相対湿度 37% において感染リスクが最も高く、相対湿度 20、53% は同程度で 70% が最も低くなる結果が得られている。塩分 17.1g/L、タンパク質 6.8g/L の細胞培養培地では、相対湿度 53% が最も高く、20、37% の感染リスクの違いは小さく、70% で最も低くなる。結果として、アデノウイルス (HAdV) やヒトライノウイルス (RhV) 等の非エンベロープウイルスは相対湿度の上昇に伴い感染リスクを高め、一方でインフルエンザウイルス (IV)、麻疹 (MeV)、SARS-CoV-2 等のエンベロープウイルスは、相対湿度上昇は感染リスクを低下させる結果となっている。また、MeV は換気回数によらず低湿度で感染リスクが有意に高く、RhV は高湿度で感染リスクが有意に高い結果を示した。SARS-CoV-2 は低湿度、高湿度でリスクが下がり、相対湿度 37% 或いは 53% で感染リスクが最も高くなる結果を示した。SARS-CoV-2 の不活化率は沈着率より少なくとも 10 倍大きく、これは脂質エンベロープ

の有無の影響であると推察している。最終的にエンベロープウイルスは低い相対湿度 (30%) で生き延びる傾向にあり、非エンベロープウイルスは高い相対湿度 (70-90%) で生き延びる傾向にあると結論づけている。

3. 加湿と換気回数の影響

感染リスクを下げるために加湿するのが良いのか、或いは換気回数を増大させるのが良いのかについて検討している。一般に室内相対湿度を 30~60% に調整することが推奨されており (結露やカビ等の発生リスクがあるため高湿度に調整することは検討外)、この範囲での相対比較を行っている。まず換気回数 $0.5h^{-1}$ に固定して相対湿度 20% から 35% に加湿する Case 1、或いは 50% に加湿する Case2、次に相対湿度 20% を維持したまま換気回数を $0.5h^{-1}$ から $2h^{-1}$ に増加させる case3、或いは $6h^{-1}$ に増加させる case4 の 4 種類について考察している。図 8 は検討結果である。アデノウイルス (HAdV) と SARS-CoV-2 (人工培地) が Case1 で、SARS-CoV-2 (細胞培養培地) では Case2 で相対リスクが増加した。それ以外はいずれも相対リスクは減少するが、加湿することで相対的感染リスクが低下したのはインフルエンザウイルスだけである。

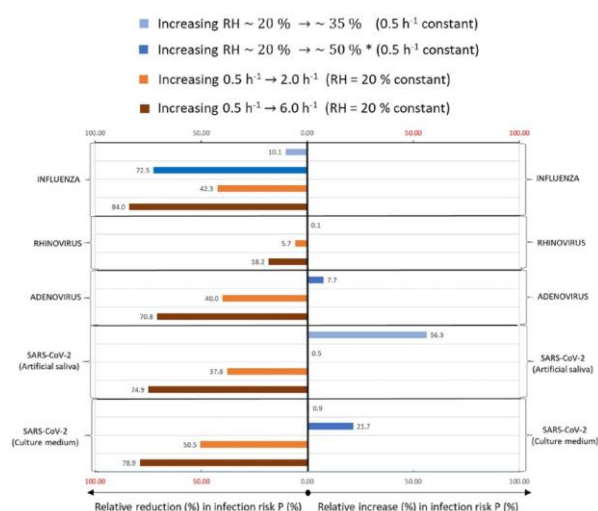


図 8 換気回数 $0.5h^{-1}$ 一定のときの相対湿度 20% から 35% または 50% への加湿の効果と相対湿度 20% 一定のときの換気回数 $0.5h^{-1}$ から $2h^{-1}$ または $6h^{-1}$ へ増加したときの相対リスク変化

4. 結論

ウイルス不活化（生物学的崩壊）や液滴蒸発に伴う重力沈降率、呼吸器系統への沈着等を考慮した改良 Wells-Riley モデルを用いて 5 種類の空気感染性ウイルスの感染リスクを評価した結果、加湿による相対湿度増加は、感染リスクを上昇させるウイルスと低下させるウイルスに分かれることが判明した。換気回数を確保することは少なくとも今回検討した 5 種類のウイルスに関しては効果的であるとしている。一方で、この結果はあらゆるウイルスに対して最適な相対湿度レベルは存在しないことを示唆すると結論づけている。

5. 部会内での議論

一般に、加湿によるウイルス感染リスク低減効果が建築物環境衛生管理基準の相対湿度範囲が 40～70%に定めた理由であると解釈されており、この観点に立てば、本研究はその根拠を崩しうる結果といえる。一方、インフルエンザウイルスのみが相対湿度のコントロールに効果があることが示されており、これを根拠にすれば加湿することには意味があることになる。

部会で議論になったのは、図 1 の感染リスクの絶対値である。図 1 の各ウイルスの X 軸をみると、その最大値はインフルエンザウイルス 0.0008%、麻疹 0.04%、ライノウイルス 0.004%、アデノウイルス 0.01%、SARS-CoV-2（人工培地）0.015%、SARS-CoV-2（細胞培養培地）0.01%となっており、特にインフルエンザウイルスは他のウイルスと比べ 1～2 桁オーダーが小さい。このような極めて低い感染確率で、複数人が在室する空間でクラスター発生が起こりうるのかといった点に疑問が呈された。また、今回の検討は床面積 40m²の空間に 2 名在室しているという条件であり、一般的住宅の居室（10～20m²程度）と比して大きすぎる点、また、換気回数が同一でも気積によって効果が異なることが指摘された。この点に関しては、空間規模を変更したシミュレーションを別途検討した（次章参照）。

なお、本論文にはサプリメンタルデータが付属している。各ウイルスの相対湿度毎の不活化データ、RNA/ml 或いは TCID₅₀/ml から

quanta/h への換算、液滴粒径の扱いなどのデータが示されている。特にこれらウイルス力価のデータが今回の結果に大きく影響を及ぼす結果となっているが、インフルエンザウイルスのように毎年少しずつ変異し続けているウイルスに対し、未だに 1961 年のデータへ依拠していることへの懸念も挙げられた。

C.3. 海外の相対湿度基準の現状調査

以下 2 点の資料を収集した。前者は、各国の湿度基準に特化したレビューであり（表 6）、後者は、湿度のみならず、室内空気中存在し得る汚染物質の各国の基準がまとめられたデータベースである（表 7）。2025 年度は資料の収集にとどまっており、内容の精査は、2026 年度に行う。

- ・東賢一(2015)、室内環境における湿度基準と居住者への健康影響問題、空気調和・衛生工学会近畿支部 環境工学研究会 環境工学研究 312、11-19

- ・ISIAQ STC 34 によるデータベース ISIAQ Indoor Environmental Guidelines Database, <https://www.ieqguidelines.org/>
それぞれの資料の一部を表 7 の形で引用する。

D. 考察

調査を行った文献のうち、湿度に応じた人の生理・心理反応や健康状態を調べたものが複数含まれていた。実験室での被験者実験やオフィス等での被験者へのアンケート調査から、低湿度の場合に、生理量・心理量・健康指標に、変化が見られるという結果は一部得られているが、変化の程度が、身体に明瞭な悪影響を与えるとという結果は得られていない。仮に、湿度のある方向への変化が、身体に対して何らかの悪影響を増す結果であったとしても、室内湿度の許容限界を見定める立場からは、それが問題となるレベルかどうかを合わせて評価する必要がある。問題となるレベルかどうかの評価は、被験者実験の場合、サンプル数が少ないことや解像度が低いことにより、難しい場合が多い。一方、現場調査の場合、サンプル数は得られていても、関連する因子が多く、評価が難しいという面が

表 6 諸外国の温熱環境のガイドライン（東 2015）

温熱環境 因子		単位	アメリカ		カナダ	イギリス	フィンランド	中国	香港特別行政区		シンガポール	オーストラリア	ニュージーランド	
			保健省	労働安全衛生局	規格協会	健康安全局	環境省	環境保護総局	IAQMG		環境省	雇用・職場関係省	労働省	
			PHS facilities Manual	Technical Manual	CSA Z412-00	Guidance	National Building Code	GB/T18883-2002	Guidance Notes for the Management		Guidelines	Guidelines	Health and Safety in Employment Regulations	
									Excellent Class	Good Class			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)		21 ⁺	16～24				20～24	18～22	16～19
相対湿度	夏季	% RH	—	20～60	—	—	45 (21℃)	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℃を越えないこと、外気温が最大5時間平均で20℃以上の場合、この基準値を最大5℃超過可能

表 7 ISIAQ STC 34 によるデータベースから得た各国の相対湿度の基準値と基準名称

Value	Countries	Guideline name	Category*
40-70%	Japan	Law for Maintenance of Sanitation in Buildings	1
30-80%	Japan	School Environmental Sanitation Standards	1
30-80%	South Korea	School Public Health Act	1
40-80% (summer air conditioning)	China	China National Indoor Air Quality Standard (CNIAQS), "Hygienic Norm of IAQ"	2
30-60% (winter heating)			
40-70% (excellent class)	Hong Kong	A guide on indoor air quality certification scheme for offices and public places	2
<70% (good class)			
50-65%	Thailand	Notification of indoor air quality for public buildings B.E 2565 (2022)	2
<70 %	Singapore	Recommended IAQ parameters	2
30-50%	EU	EN16798-1 high lebel	4
25-60%	EU	EN16798-1 Normal lebel	4
20-70%	EU	EN16798-1 Poor lebel	4
30-70%	Czech Republic	Nářízení vlády č. 93/2012 Sb	1
40-60%	Estonia	Eluruumile esitatavad nõuded	1
40-60%	Estonia	Tervisekaitse nõuded koolidele	1
60-65%	Russia	decree of the Chief State Sanitary Doctor Russian Federation	1
20-60%	USA OSHA	Office temperature/humidity Occupational Safety and Health Administration	2
<65%	ASHRAE	ASHRAE 62.1-2016, Recommendation relative humidity in occupied spaces	4
50-60%	ASHRAE	ASHRAE Handbook 2019 (Summer)	4
20-30%	ASHRAE	ASHRAE Handbook 2019 (Winter)	4
30-50%	WELL Standards	Relative Humidity	3
30-35% in the winter	Canada	HEALTH CANADA RECOMMENDATIONS	2
<50% in the summer			
35-65%	Brazil	Resolucao 09/2003 - ANVISA	1

Category* 1: Government Regulation, 2: Government Guideline, 3:Non-governmental Guideline 4:International Guideline

ある。レビュー論文や成書においてみられる、複数の実験や調査の結果を丸めて導いた定性的な記述に左右されないように留意する必要がある。

海外の湿度ガイドラインを並べてみると、実に多様であるが、許容限界値を示しているものと、推奨値を示しているものが混在しているものと推定される。2026 年度以降に、その点について、さらに調査を進める必要がある。一方で、国によって、湿度基準を設けていない国もあることに注意する必要がある。

E. 結論

建築物環境衛生管理基準のうち、相対湿度に関する基準に関して、専門家が知見を持ち寄って、相対湿度についての建築物環境衛生管理基準の今後の方向性について議論を行うとともに、文献調査を行い、以下のことを提言した。

①現行の湿度基準は「相対湿度 40%以上 70%以下」のように数字が単独で示されているが、湿度の基準を定める必要があるのかどうかという根本を検討する必要がある。

②今後、文献調査の範囲を広げての確認が必要であるものの、ここまで文献調査を行った範

囲では、衛生面を考慮した許容限度として湿度の基準を設ける必要性を明瞭に示した論文は見当たらない。

③湿度の基準を撤廃することも視野に入れるべきである。仮に湿度基準を引き続き定めるにしても、湿度の数字を単独で設定するのではなく温度との関連を示すこと、常に保つべき範囲として示すのではなく、居住者の滞在時間のある割合において達成すべき基準として位置付けるなど緩和条件を付すこと、基準を定める目的を具体的に説明することが求められる。

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

引用文献

- 1) Hashiguchi, N., Tochihara, Y., Takeda, A., & Yasuyama, Y. (2023). Effects of indoor summer dehumidification and winter humidification on the physiological and subjective responses of the elderly. *Journal of Thermal Biology*, 111, 103390. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103390>
- 2) Derby, M. M., Hamelkasi, M., Eckels, S., Hwang, G. M., Jones, B., Maghirang, R., & Shulan, D. (2017). Update of the scientific evidence for specifying lower limit relative humidity levels for comfort, health, and indoor environmental quality in occupied spaces (RP-1630). *Science and Technology*

for the Built Environment, 23(1), 30–45.

<https://doi.org/10.1080/23744731.2016.1206430>

- 3) Jones, E. R., Cedeño Laurent, J. G., Young, A. S., Coull, B. A., Spengler, J. D., & Allen, J. G. (2022). Indoor humidity levels and associations with reported symptoms in office buildings. *Indoor Air*, 32(1), e12961. <https://doi.org/10.1111/ina.12961>
- 4) Harper, G. J. (1961). Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses. *The Journal of Hygiene*, 59(4), 479. <https://doi.org/10.1017/S0022172400039176>
- 5) Aganovic, A., Bi, Y., Cao, G., Kurnitski, J., & Wargocki, P. (2022). Modeling the impact of indoor relative humidity on the infection risk of five respiratory airborne viruses. *Scientific Reports*, 12(1), 11481. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15703-8>
- 6) ・東賢一(2015)、室内環境における湿度基準と居住者への健康影響問題、空気調和・衛生工学会近畿支部 環境工学研究会 環境工学研究 312、 11-19
- 7) ・ ISIAQ STC 34 によるデータベース ISIAQ Indoor Environmental Guidelines Database, <https://www.ieqguidelines.org/>

1-2 用量反応モデルに基づく室内相対湿度と感染症リスクの関係（本間義規）

A. 研究目的

A.1. ウイルスの感染経路と対策

ヒト-ヒト感染の呼吸器感染症は、ウイルスを含む液滴微粒子の吸引により引き起こされる。一般にウイルス感染の経路は、接触、飛沫核、空気感染の3種類の伝播経路に分類され、通常はその複合影響により体内に取り込まれ、個人の免疫状態により感染が成立する。COVID-19は当初、接触感染と飛沫核感染が感染経路と言われていたが、WHOは2021年4月30日に、感染研は2022年3月28日に、エアロゾル感染をその感染経路に加えた。3種類の感染経路の寄与割合は直接測定できないものの、いずれの場合も、空気感染対策を行う必要がないとはいえない。すなわち、健康被害を生じさせないことを目標とする室内環境制御として、空間ウイルス濃度を如何に低減させるか（換気量）、或いは不活化させるか（相対湿度或いは空気清浄）が設計の要点となる。

陽性者から室内空間に放出されるウイルスは、その粒径により重力落下するものとししないものに大別される。重力落下するものに関しては、落下後、乾燥して再浮遊して空気中のウイルス濃度を高める場合、あるいは壁・天井等に付着する場合などが考えられ、一方、重力落下せずに空中を浮遊しているウイルスに関しても同様に壁装吸着する可能性もある。こうした付着ウイルスは接触感染の原因となるものの、環境中では長く生存できないため、清拭のほか、浮遊中に処理する方法（例えば空気清浄機やUVGI、加湿器等）が有効であると考えられている。空気清浄機やUVGIは、流量×捕集効率或いは照射エネルギー量と比例関係にあり、その効果の推定は容易である。

一方、加湿による不活化は、湿気供給（添加）することで改善検討を行う点、ウイルス活性と相対湿度との非線形性、高湿側での湿害リスクなど、メリット・デメリットが存在することから慎重な議論が求められる。加湿することは、加湿設備に関するイニシャルコスト、加湿水の汚染、加湿にかかる使用エネルギーの増大、ま

た大きな問題として空間内の真菌汚染等が起こりうるため、総合的な判断として低湿側の湿度基準を定めていない国・地域も少なくない。2001年の厚生労働省検討会¹⁾では、湿度基準に対して一定の言及が行われており、その改訂に向けた主たる要因はウイルス感染との指摘がなされている。

A.2. 湿度コントロールと換気

Aganovic²⁾は、従来のWells-Rileyモデルに対し、ウイルス不活化（生物学的崩壊）や液滴蒸発に伴う重力沈降率、呼吸器系統への沈着等を考慮した改良を加え、5種類の空気感染性ウイルスの感染リスクを評価している。その結果、加湿による相対湿度増加は、感染リスクを上昇させるウイルス（麻疹、ライノウイルス、アデノウイルス、SARS-CoV-2）と、感染リスクを低下させるウイルス（インフルエンザウイルス）に分かれることを明らかにしている。一方、換気回数を確保することは、少なくともこの5種類のウイルスに関しては効果的であるとしている。この検討では相対湿度と換気は各々独立したパラメータとして考えられているが、実際には換気量と相対湿度は相互影響があり、また外気の影響すなわち地域差も当然考慮する必要がある。

A.3. 本研究の目的

Aganovic²⁾らの検討は、Wells-Rileyモデルをベースとしており、例えば多数室問題では換気回路網計算を行ったのちに当該空間の感染リスクを求める必要がある。また、クオンタ発生量はポアソン分布をベースにした確率的概念であり、直感的に分かりにくい。一方、ウイルス個数を対象とする場合、換気回路網計算と合わせて濃度を算定することができ、また気道系統も多数室計算の1室として扱うことが可能であることから、個別のリスク評価も可能となる。

そこで本検討では、空間相対湿度と感染症リスクの関係を評価するための枠組み検討の一環として、用量反応モデルに基づく考え方を整理したので報告する。

B. 研究方法

B.1. Dose-Response QMRA³⁾に基づく感染リスク評価

ウイルス学分野で利用される TCID₅₀ は感染力を有するウイルス量を表す。本検討では、液滴量 1ml に含まれるウイルス量（ウイルス濃度：TCID₅₀/ml）を用いて検討する。インフルエンザウイルス A 型（H1N1）の感染力価は、感染経過時刻によって変化するが、今回の検討では危険側の 10^{7.5} TCID₅₀/ml を用いる⁴⁾。呼気中に含まれるウイルス個数は文献⁵⁾ 図 4 より呼吸時の液滴数 1550 個/L、平均粒径 2.0μm（会話時を仮定^{注1)}）と仮定、呼吸量を 10L/min と設定すると、ウイルス発生量 M は 10^{7.5} TCID₅₀/ml × 1550 個/L × 4/3 × (1.0 × 10⁻⁶)³ π m³ × 10⁶ mL/m³ × 10L/min = 2.05 TCID₅₀/min となる。本検討ではこの値を用いる。

B.2. 相対湿度とウイルス不活化

一般にウイルスは細胞以外では増殖することができないため、環境中では時間とともに感染力を失う。呼吸器感染するエンベロープウイルスは、液滴に含有される形態で放出され、環境相対湿度に応じて重力沈降するウイルスと或いは浮遊するウイルスとに分類される。相対湿度が低いと液滴は乾燥し、最終的には無機塩類による結晶化により生存率を高めるとされるが、ウイルスによっては逆の挙動をすることから、一概には判断することができない。また、ウイルスは変異を続けるため、今回の結果が普遍性を持つわけでもない。しかし現在のところ、空気感染インフルエンザウイルスの生存を温度と相対湿度の両方の関数として検討した研究は Harper の研究が唯一とされる⁶⁾。この結果を利用し各相対湿度のウイルス生存実験データ^{7)注2)} から不活化率 λ を算出したところ、相対湿度 20-22%、34-36%、50-51%、64-65%、81% に対応する λ は各々、0.086、0.106、0.485、1.742、1.913 となった。この値を用いて時間軸で生存率を算出すると図 1 のようになる。

B.2. 単室モデルにおける空間濃度の算定

単室の空間ウイルス濃度は、風量収支から簡易に算出することができる。本検討では気積 V(m³)の単室空間を対象として、陽性者と非陽性者の 2 名が在室している状況を想定する（多数室モデルの場合、室数に応じた連立方程式になる）。外気間との換気量 Q_{out}、呼出量を Q_b と

すると、ウイルス発生量 M、ウイルス不活化率 λ、人体側除去率 η（なお、非陽性者が室内空気を吸引・吐出する際、粘膜繊毛クリアランス等による除去が行われることも想定される）を用いて、かつ外気ウイルス濃度をゼロとした場合、空間濃度 C は (1) 式で表すことができる。なお、今回のケースの場合、換気による除去量が支配的になるため人体側の除去量をカウントしてもほぼ効果がないことから η=0 を仮定する（学校教室や満員電車等では、人数が増えると人体側の除去量が無視できないレベルに大きくなるので、その場合は考慮する必要がある）。

$$C = \frac{M}{Q_{out} + (1-\eta)Q_b + \lambda V} \cdot \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{Q_{out} + (1-\eta)Q_b + \lambda}{V}\right)t} \right\} \quad (1)$$

B.3. 用量反応モデルに基づく感染確率の算出方法

用量反応モデルは、人間がウイルスに曝露するケースにおいて、吸入ウイルス量 d (Dosing) に対する感染確率 P (Response) として定義される。様々なウイルス・細菌に対し指数モデル又はベータ・ポアソンモデル (2) 式が適用される。本検討では、文献 8 を参考に α=0.27×10⁻¹、N₅₀=3.0×10³ を用いることとする。なお、呼吸時の吸入量 Δd は室内濃度 C を用いて (3) 式で表すことができる。なお、吸引して受容体等と結合するウイルス量は沈着率 f を用いて考慮する。従って最終的な暴露量 d は (4) 式で示される。

$$P = 1 - \left\{ 1 + d \cdot \frac{\left(\frac{1}{2\alpha-1}\right)}{N_{50}} \right\}^{-\alpha} \quad (2)$$

$$\Delta d = C \cdot Q_b \cdot \Delta t \quad (3)$$

$$d = \int f \cdot C \cdot Q_b dt \quad (4)$$

C. 研究結果

C.1. 換気量と相対湿度の効果に関する相対比較

今回は 6 畳間（天井高 2.5m、気積 24.84m³）に陽性者と非陽性者の 2 名が在室するケースを考える。呼吸量は共に 10L/min とし、ウイルス発生量は前述した値を用いることとする。換気

量は Aganovic の検討に倣って換気回数で表現することとし(このあたりは議論が必要である) 0.5、1.0、2.0、4.0(1/h) (各 12.42、24.84、49.69、99.37m³/h) の 4 水準を設定した。また、人体側の呼吸器粘膜に対する沈着率 f を 0.5 に設定した。換気回数 0.5(1/h)時における相対湿度毎の感染リスクの時間変化を図 2～5 に示す。また、相対湿度と換気回数をパラメータとした際の感染リスクの相対比較を図 6 に示す。

D. 考察

容量反応モデルに基づく室内相対湿度と感染症リスクの関係について検討した。インフルエンザ A 型 (H1N1) の場合、ハイリスク設定でも 3 時間後感染確率は 0.05%以下であった。Aganovic の検討では、インフルエンザウイルスの感染確率は最大で 0.0008%であり、2 桁オーダーが異なる。この差は、単純にウイルス発生量の設定条件が異なるからに他ならない。ウイルス量 (TCID₅₀/ml) が与えられれば、呼吸量や平均発生粒径などの設定はクオンタ発生量よりも直感的に設定しやすい点は利点であると考ええる。また、パラメータ間の比較では、相対湿度 20-22%と 34-36%の感染リスクはほぼ同等であること、高湿度になるほど感染リスクは低減すること、20-22%から 50-51%への加湿による感染リスク低減効果は換気量を 2 倍に増加と同等であることがわかった。なお、換気回数 2.0(1/h)は一人当たり 25m³/h に相当し、必ずしも大量換気しているわけではない点にも注意が必要である。

E. 結論

ウイルス感染リスクは、ウイルス自体の性質のほか、症状に基づく陽性者からのウイルス発生量の違い、空間内分布の非一様性、感染機序、免疫状態、発症までのタイムラグなど、確率論的モデルの扱いが必須である。一方、ウイルス発生量とウイルス不活化を定義できれば、換気回路網計算を用いた空間平均濃度への拡張は容易である。今後、多数室熱湿気シミュレーションに本モデルを組み込み、感染リスクと湿害リスクの双方を同時に評価できる仕組みの構築について、引き続き検討する。また、地域条件 (外

気絶対湿度)を条件とした検討についても行う。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
本間義規、高田暁、長谷川兼一、伊藤佳乃子、
用量反応モデルに基づく室内相対湿度と感染症
リスクの関係、2026 年度日本建築学会大会 (中
国)、2026.9.8-11 発表予定
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

注1) BLOモデルにおいて、B(Bronchiolar)モードは、細気管支での液膜破裂で発生、主に呼吸時が対象で、ピーク粒径 1.6 μ m である。L (Laryngeal) モードは咽頭での液膜破裂で発声(Voicing)時に発生、ピーク粒径 2.5 μ m である。O(Oral)モードは口腔内での液膜破裂で発生、主に咳・くしゃみ、会話時でピーク粒径 145 μ m である。今回の計算では、Bモードと L モードのほぼ中間の数値を利用した。

注2) 空気感染インフルエンザウイルスの生存を温度と相対湿度の両方の関数として検討した研究は Harper の研究が唯一とされる⁷⁾。Collison ネブライザーを使用し、カゼイン McIlvaine 緩衝液中のウイルス懸濁液を用いて 75 リットルの回転ドラム内でエアロゾル化している。温度 3 水準 (7.0～8.0℃、20.5～24.0℃、32.0℃) と相対湿度 5 水準の (20-22%、34-36%、50-51%、64-65%、81%) において、物理的損失を補正した鶏卵膜における感染価としての生存能

力を測定している。液滴に含まれるウイルス生存の研究は Marr らに詳しいが、唾液成分に含まれる無機塩成分の結晶化とエンベロープの関係については不明であるため、液滴蒸発とウイルス生存との関係は現時点では扱わない。

注3) 本検討で参照したインフルエンザウイルス A 型 (H1N1) は、亜型は同じであるが、ウイルス株自体は各々異なる。文献 4 (岩見) は Hong Kong/123/77、文献 7 (Harper) は PR8(A/PR/8/34)である。

<https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0298>

- 7) Harper GJ. 1961 Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses. J. Hyg. Cambridge 59, 479–486. (doi:10.1017/S0022172400039176)
- 8) QMRA wiki, <https://qmrawiki.org/>
- 9) G. N. Sze To, C. Y. H. Chao. Review and Comparison between the Wells-Riley and dose-response approaches to risk assessment of infectious respiratory diseases, Indoor Air 2010; 20:2-16, doi:10.1111/j.I600-0668.2009.00621.x

参考文献・引用文献

- 1) 建築物衛生管理検討会報告書、平成 14 年 7 月
<https://www.mhlw.go.jp/shingi/2002/07/s0708-1.html>
- 2) Aganovic, A., Bi, Y., Cao, G., Kurnitski, J., & Wargocki, P. (2022). Modeling the impact of indoor relative humidity on the infection risk of five respiratory airborne viruses. Scientific Reports, 12(1), 11481. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15703-8>
- 3) Charles N. Haas, Joan B. Rose, Charles P. Gerba. Quantitative Microbial Risk Assessment: Second Edition, Wiley-Blackwell, 2014
- 4) 岩見真吾、佐藤佳、竹内康博. ウイルス感染と常微分方程式、共立出版、2017
- 5) G.R. Johnson, L. Morawska, Z.D. Ristovski, M. Hargreaves, K. Mengersen, C.Y.H. Chao, M.P. Wan, Y. Li, X. Xie, D. Katoshevski, S. Corbett. Modality of human expired aerosol size distributions, Journal of Aerosol Science, 42 (2011) 839-851
- 6) Linsey C. Marr, Julian W. Tang, Jennifer Van Mullekom, Seema S. Lakdawala. Mechanistic insights into the effect of humidity on airborne influenza virus survival, transmission and incidence, J R Soc Interface (2019) 16 (150): 20180298 .

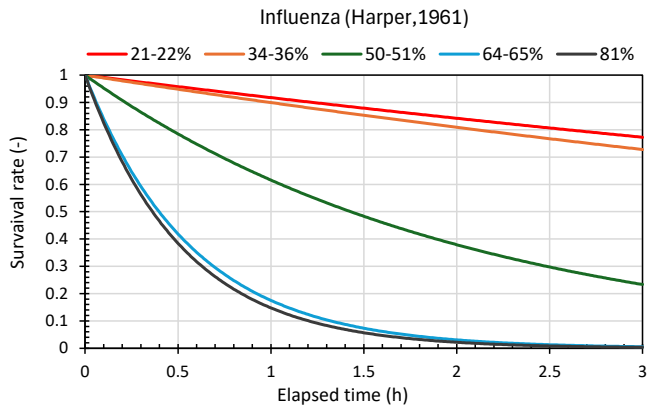


図1 相対湿度毎のインフルエンザウイルスの生存率時間変化

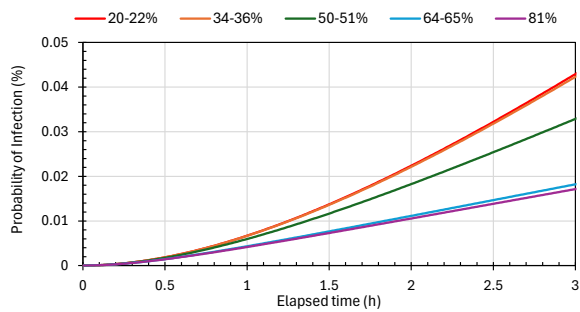


図2 換気回数 0.5(1/h)時の相対湿度毎の感染リスク時系列変化

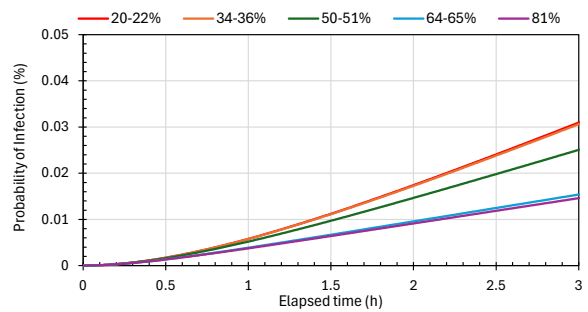


図3 換気回数 1.0(1/h)時の相対湿度毎の感染リスク時系列変化

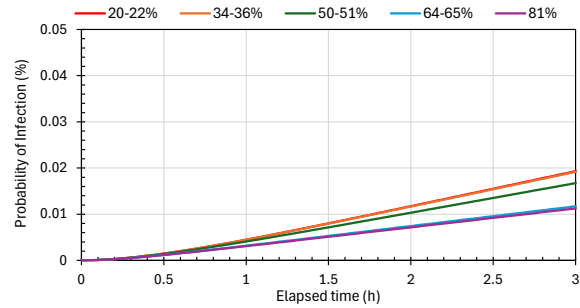


図4 換気回数 2.0(1/h)時の相対湿度毎の感染リスク時系列変化

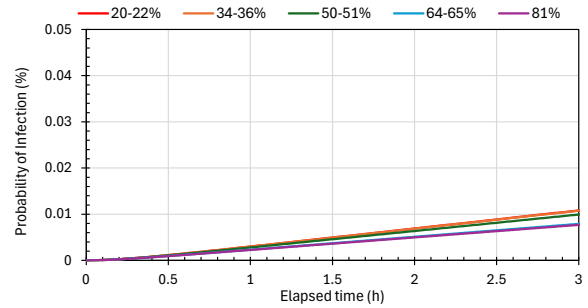


図5 換気回数 4.0(1/h)時の相対湿度毎の感染リスク時系列変化

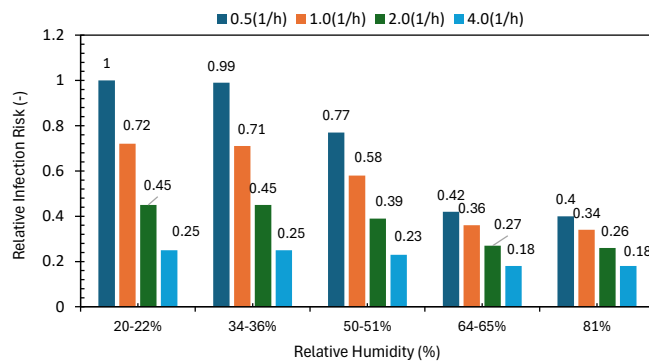


図6 換気回数と相対湿度をパラメータとした感染リスク相対比較

