

特集：高齢者施設の環境衛生管理と室内環境の改善

＜総説＞

高齢者施設の感染症予防を踏まえた室内湿度の改善

林基哉

国立保健医療科学院統括研究官（建築施設管理研究分野）

Improvement of indoor humidity with consideration in infection control
in facilities for the elderly

Motoya HAYASHI

Research Managing Director on Building and Housing Health, National Institute of Public Health

抄録

高齢者施設の室内環境の実態調査によって、冬期の室内湿度が建築物環境衛生管理基準（40-70%）を満たしていないことが明らかとなった。高齢者施設ではインフルエンザの空気感染予防等のために湿度維持が重要であるが、加湿設備が整備されていない場合が多い。このため、多数のポータブル加湿器を用いて湿度維持を試みているが、換気量が多いために加湿の効果が得られていないことが示された。

以上の室内環境の特性を踏まえて、絶対湿度と一人当りの換気量からインフルエンザの感染リスクを示す指標を提案した。また、エネルギー消費量とインフルエンザの空気感染リスクの関係を踏まえた湿度改善の考え方を示した。以上の評価方法を用いて既存の高齢者施設に対する評価を行った結果、高齢者施設の湿度が非常に低いために一人当りの換気量が感染リスクを規定している状況であることが確認された。

以上の評価結果を踏まえて、高齢者施設の湿度維持のための以下の方策が必要であることを示した。1. 臭気などの室内空気汚染に配慮した上で、一人当りの換気量を抑制しつつ加湿によって湿度を維持することが必要である。2. 湿度維持に伴う結露防止のために開口部等の断熱化が必要である。

キーワード：環境保健，建築物衛生法，感染症，室内空気環境，空調設備，省エネルギー

Abstract

Former investigations on the indoor environment of facilities for the elderly showed that the indoor relative humidity is not satisfactory for the standard of Act on Maintenance of Sanitation in Buildings (40-70RH%). It is important to keep humidity adequate in facilities for the elderly in order to control influenza infection. However, humidifiers are not installed in the air-conditioning system in most facilities. In order to keep humidity high, many portable humidifiers are used, but the humidity is very low. The main factor of this low humidity is thought to be high ventilation rates.

With consideration in these characteristics of indoor environments in facilities for the elderly, the index of influenza air-borne infection risk is proposed using absolute humidity and ventilation rate a person. A method is proposed to improve indoor humidity considering relationships between energy consumption

連絡先：林基哉
〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6
2-3-6 Minami,Wako, Saitama,351-0197, Japan
Tel: 048-458-6248
E-mail: hayashi.m.aa@niph.go.jp
[平成29年2月13日受理]

and influenza air-borne infection risk. The results of estimation on these investigated facilities showed that influenza air-borne infection risks depends on ventilation rate a person, because humidity is very low and the possibility of preventing influenza infection by high humidity is also low in all facilities.

The results of studies on the improvement of indoor humidity using above estimation, highlighted the following guidelines. 1) It is necessary to reduce ventilation rate a person with the consideration of indoor pollution such as odor, and 2) It is necessary to insulate openings to prevent vapor condensation.

keywords: environmental health, Act on Maintenance of Sanitation in Buildings, infection control, indoor air environment, air conditioner, energy saving

(accepted for publication, 13th February 2017)

I. はじめに

建築物の最も基本的な機能は、居住者や利用者の安全と衛生である。我国においては、昭和25年に制定された建築基準法に、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もって公共の福祉の増進に資することを目的として、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準、が定められている。さらに、昭和45年の建築物衛生法「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」において、建築物における衛生的な環境の確保を図り、もって公衆衛生の向上及び増進に資することを目的として、多数の者が使用し、又は利用する建築物の維持管理に関して、環境衛生上必要な事項等が定められている[1]。建築物衛生法では、興行場、百貨店、店舗、事務所、学校等の用に供される建築物で、相当程度の規模を有するものを「特定建築物」と定義し、その特定建築物の所有者、占有者等に対して、「建築物環境衛生管理基準」に従って維持管理をすることを義務づけ、厚生労働大臣の免状を持つ「建築物環境衛生管理技術者」にその維持管理の監督に当たらせることとしている (Fig.1)。

以上のように、建築物における安全と衛生を目的とした法整備と体制の構築が行われてきたが、高齢者施設については、建築物衛生法の特定建築物には含まれていないために衛生環境の実態に関する情報[2,3]が広く共有されていない。高齢者施設の利用者は、感染症のリスクが

高いとともに、室内の温湿度等の空気環境に対する感受性が低いために、一般の建築物よりもより高度な衛生環境の管理が求められる。超高齢社会の到来に伴って、多くの国民が利用する高齢者施設の衛生環境の整備が急務となっていると考えられる。

本報告では、高齢者施設の建築及び設備、衛生環境の管理の実態、高齢者施設の衛生環境に関する測定結果を踏まえて、高齢者施設の室内環境の改善及び建築設備設計に関する要点を検討した結果を示す。

II. 高齢者施設の衛生管理に関する実態調査

既往の高齢者施設に関する調査[4-11]では、感染症等健康影響に関するハイリスク対象であることを踏まえた室内環境の管理が試みられている一方で、冬期の低湿度による感染症リスクや臭気による不快の課題が存在することが確認された。一般の建築物における冬期の衛生管理と比較すると設定温度及び室温が高めであり、インフルエンザ等の感染症対策のために、ワクチン接種、訪問者への手洗い、消毒、うがいの励行、感染リスクが高い場合の訪問規制、窓開け換気の励行、加湿が行われている。室内環境の実態としては、一人当たりの換気量が多く、空気汚染物質の濃度は基本的には低いと考えられる。しかし、施設職員は、居室における主に糞便臭に対する不快を感じている。また、換気量が多いことに加えて、加湿設備が整備されていない、又は、有効に使用されていないために、多数のポータブル加湿器を使用しても相対湿度が上がらない状況になっている。一方で、一部の施設では断熱性能が低いために窓及び壁面で結露が発生しカビ等による汚れが発生している。このため、加湿器の使用抑制を行っている場合も見られる。

このような冬期の室内環境の特性は、寒地で卓越している。北海道及び宮城県の実態調査施設では、室内温熱環境維持のために中央式の温水床暖房設備が旧来用いられて、上下温度差が付きづらく室内温度が比較的安定している。

温暖な地域では、冷房の必要性が高く、中央式冷暖房システム又は個別式エアコンによって暖冷房が行われている。個別式の場合は、室毎に運転停止、温度設定が行

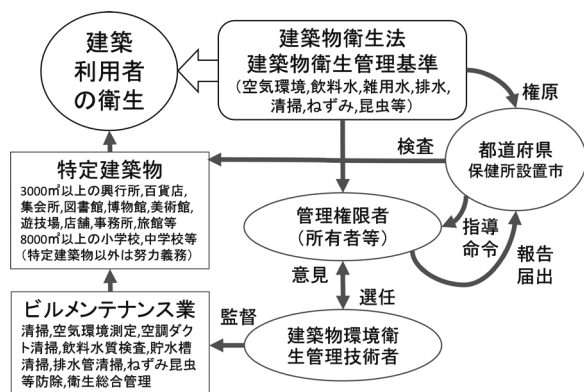


Fig.1 Structure of Act on Maintenance of Sanitation in Buildings (特定建築物における衛生管理の構造)

われ、温湿度の変化が見られる。いずれの気象条件、暖房方式、建物の新旧においても、冬期の温度は、建築物衛生法の環境衛生管理基準の17～28℃の範囲に概ね入っているが、冬期の相対湿度は、建築物衛生法の環境衛生管理基準の40%～70%の範囲よりも低くなっている。以上のような高齢者施設の室内環境の実態を踏まえると、冬期の湿度確保が第一の改善課題であると考えられる。

III. 建築物衛生法環境衛生管理基準の相対湿度

平成14年の建築物衛生管理検討会報告書では、湿度基準について、「夏季の高湿度状態は、暑さに対する不快感を高めるだけでなく、アレルギー疾患等との関連が指摘される好湿性真菌やダニの増殖を招きやすくなる。一方、冬季の低湿度状態は、気道粘膜を乾燥させ気道の細菌感染予防作用を弱めるとともに、インフルエンザウイルスの生存時間が延長し、インフルエンザに罹患しやすい状況になる。また、アトピー性皮膚炎や気管支喘息などのアレルギー疾患の患者では、低湿度が増悪因子となる。このため、適切な湿度管理が必要であり、現行の基準においては、「40%以上70%以下」と定められているところである。」としている。高齢者施設では、インフルエンザばかりではなくノロウイルスの集団感染が懸念されている。インフルエンザは、湿度が低いと気中でのインフルエンザウイルス生存時間が長いことが知られており、上記のように湿度の許容下限値の根拠の一つとなっている。また、厚生労働省では、インフルエンザの予防のために、適度な湿度の保持について、「空気が乾燥すると、気道粘膜の防御機能が低下し、インフルエンザにかかりやすくなります。特に乾燥しやすい室内では、加湿器などを使って適切な湿度（50～60%）を保つことも効果的です。」（厚生労働省ウェブサイト2017/01/30）としている。ノロウイルスについては、おう吐物の乾燥と浮遊が感染機序として挙げられるため、湿度維持が望ましいと考えられている。この他に、高齢者は乾燥に伴う皮膚疾患が多く、高齢者施設では皮膚のケアが一般的

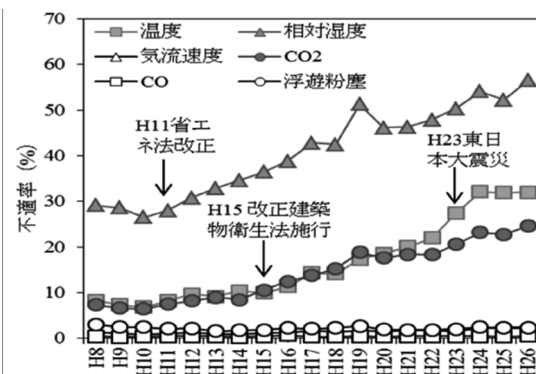


Fig.2 Ratio of unsatisfied buildings to standard of Act on Maintenance of Sanitation in Buildings (建築物衛生法の基準に適合しない建築物の率)

に必要となっている。

建築物衛生法の特定建築物については、室内環境の定期的測定や立入検査によって、その実態が把握されている[12]。環境衛生管理基準の不適合率は上昇しており、特に相対湿度の不適合率は高く、平成26年には、60%程度に達している (Fig.2)。相対湿度が不適となる要因には夏季の高湿度もあるが、その主な要因は冬季の低湿度である。特定建築物には、加湿設備が設置されていると考えられるが、個別式空調の普及によって、全館の湿度制御が行われていないことや、省エネルギー強化など、複数の要因によって生じた傾向であると考えられている。このような傾向が、高齢者施設においても発生しているとすると、湿度維持のための改善は、より早急に取り組む必要がある。

IV. インフルエンザ感染抑制のための加湿と換気

高齢者施設の湿度維持の大きな目的は、インフルエンザの空気感染予防である。インフルエンザの空気感染予防のための室内空気環境の基本は、インフルエンザウイルスの発生量に対する気中のインフルエンザウイルス濃度の比を抑えることであると考えられる。このための方法として、換気による希釈と湿度維持によるインフルエンザウイルスの生存率の低下が挙げられる (Fig.3)。これらの方法は換気による熱損失及び加湿のためのエネルギー消費を増大させることとなるため、効率的にエネルギーを使用してインフルエンザ空気感染予防を行うための換気量及び加湿量の最適設定が必要となる。

既往の研究で、温湿度とインフルエンザの気中生存率に関する実験、室内空間での挙動や気中濃度の予測が試みられている[13]。G.J.Harperらは気中ウイルスの生存率の変化を測定し、温湿度の影響を確認した[14]。この結果を受け、Jeffrey Sharmanらは絶対湿度の重要性を指摘し[15]、倉瀬らは絶対湿度と生存率の関係性を整理し、大略的に絶対湿度倍増で生存率が1/10になるとした[16]。

Fig.4に、G.J.Harperらの実験によるインフルエンザウイルスの気中生存率 α の時間推移を示す。生存率 α は時間と共に減少するが、この減少傾向は換気希釈による濃度減衰と類似している。生存率 α の減少傾向を指数関数近似で扱うことができれば、換気希釈と同様に扱うことで、より簡便な評価方法になる可能性がある。

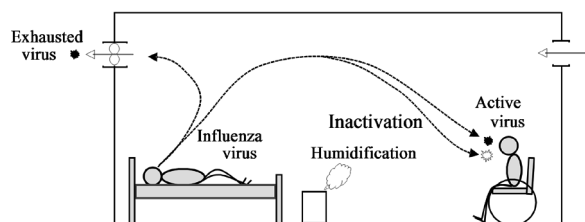


Fig.3 Air-borne infection of influenza virus in a room (インフルエンザウイルスの室内空気感染)

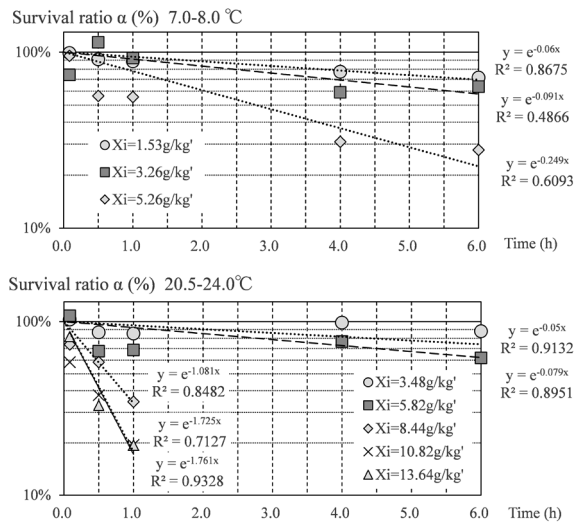


Fig.4 Exponential approximations of Influenza virus survival ratios in the tests by G.J.Harper (G.J.Harperによるインフルエンザ生存率実験における指数係数)

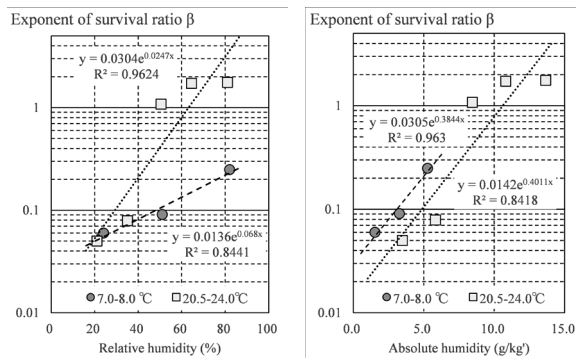


Fig. 5 Relationship between relative humidity/absolute humidity and the exponent of survival ratio β . (湿度と生存率の指数 β の関係)

Fig.5に示すように、生存率 α の減少は絶対湿度が高いほど速い。生存率 α の減少傾向は、初期に強くその後弱くなる事が確認されている[16]。このため、気中のインフルエンザ濃度に対する影響が大きい初期の生存率 α の減少程度を重視して、生存率 α が10%以上の範囲で指数関数近似を行った結果、 R^2 が0.49~0.93となり一定の相関が認められた。

Fig.5に、相対湿度と上記近似式の指数 β の関係及び絶対湿度と上記近似式の指数 β の関係を示す。また、同図には指数関数の近似式を示す。近似式の R^2 は0.84~0.96で非常に高い。Fig.5左の相対湿度の場合は、温度によってこの近似式の傾きが異なるが、Fig.5右の絶対湿度の場合は、この傾きは近い。ただし、指数 β の値は温度が高い方(20.5-24.0℃)が、低い方(7.0-8.0℃)より小さい。暖房空間の評価では、次式で示される20.5-24.0℃の場合を用いる方が適切であると考えられる。

$$\beta = 0.0142 e^{0.4011 X_i} \dots \dots \dots \text{式1}$$

ここに、

X_i : indoor absolute humidity [室内絶対湿度] (g/kg)

換気量及びインフルエンザウイルス発生量がゼロの場合の室内インフルエンザウイルス濃度 $C_{inf}(t)$ [空気1 m³中個数] (n/m³)は、指数 β を用いた次式によって示される。

$$C_{inf}(t) = C_{inf}(0) e^{-\beta t} \dots \dots \dots \text{式2}$$

ここに、

$C_{inf}(0)$: initial concentration of influenza virus [初期室内インフルエンザウイルス濃度] (n/m³)

前述のように、指数 β は絶対湿度効果に相当する換気回数とみることが可能であり、換気回数 N による希釈効果と同様に考慮することができる。すなわち、換気回数を $N + \beta$ としてウイルス濃度を算出することができる。室内空気汚染物質濃度の算出と同様に、定常状態のウイルス数収支から次式が得られる。なお、外気ウイルス濃度を0 (n/m³)としている。

$$C_{inf} = M_{inf} / (N + \beta) \dots \dots \dots \text{式3}$$

ここに、

M_{inf} : generation rate of influenza virus in the air of 1 m³ [空気1m³当りのインフルエンザウイルス発生量] (n/(m³h))
 N : ventilation time [換気回数] (1/h)

一人当りのインフルエンザウイルス発生量: $M_{inf p}$ を用いると次式となる。

$$C_{inf} = M_{inf p} / (Q_p + \beta V_p) \dots \dots \dots \text{式4}$$

ここに、

Q_p : ventilation rate a person [一人当り換気量] (m³/hp)
 V_p : space volume a person [一人当りの空間容積](m³/p)

次に、インフルエンザ感染予防のための空気環境の危険性の指標として、一人当りのインフルエンザウイルス発生量 $M_{inf p}$ に対するインフルエンザ濃度 C_{inf} の比(インフルエンザ空気感染の指標) Γ を、以下のように定義した。

$$\Gamma = C_{inf} / M_{inf p} = 1 / (Q_p + \beta V_p) \dots \dots \dots \text{式5}$$

ここに、

Γ : index of air-borne influenza infection [一人当りのインフルエンザウイルス発生量に対するインフルエンザ濃度の比(インフルエンザ空気感染の指標)] (hp)

なお、一人当りの換気量 Q_p は、内外CO₂濃度差及び一人当りのCO₂発生量から以下のように算出することがで

きる。

$$Q_p = M_{CO_2p} / D_{CO_2} \dots\dots\dots \text{式6}$$

ここに、

D_{CO_2} : difference of the indoor concentration and the outdoor concentration of CO_2 [内外 CO_2 濃度差](m^3/m^3)
 M_{CO_2p} : generation rate of CO_2 from a person [一人当りの CO_2 発生量](m^3/hp)

一人あたりの、換気と加湿に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} (kW/p) は、次式となる。

$$L_{vh} = (k_t \times D_t + k_x \times D_x) \cdot Q_p \dots\dots\dots \text{式7}$$

ここに、

k_t : coefficient of ventilation [換気顕熱負荷の係数] (=0.34)
 k_x : coefficient of humidification [換気潜熱負荷の係数] (=0.834)
 D_t : difference of the indoor temperature and the outdoor temperature [内外温度差] (deg-C)
 D_x : difference of the indoor absolute humidity and the outdoor absolute humidity [内外絶対湿度差] (g/kg)

以上によって、インフルエンザ空気感染予防のための空気環境及び、換気と加湿に係るエネルギー消費に関する数値に基づいた基礎的評価の可能性が得られると考えられる。

Fig.6に絶対湿度 X_i 及び一人当りの換気量 Q_p とインフルエンザ空気感染の指標 Γ の等値線の関係を示す。インフルエンザ空気感染の指標 Γ が同じ場合、絶対湿度 X_i が大きくなると一人当りの換気量 Q_p が小さくなることを示

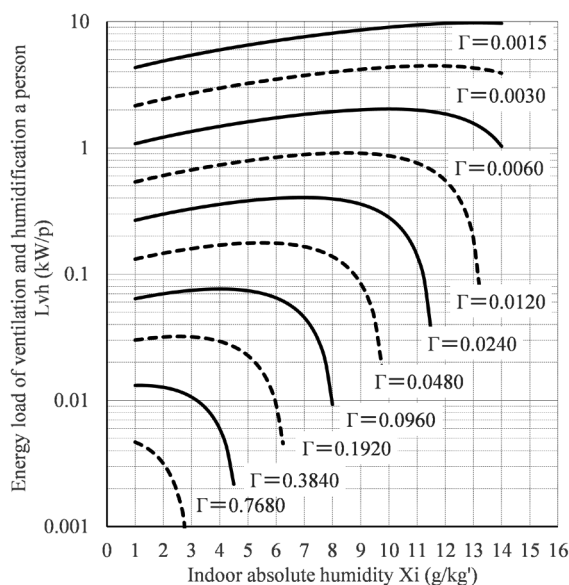


Fig.6 Absolute humidity X_i and ventilation rates a person Q_p (絶対湿度 X_i と一人当り換気量 Q_p の関係)

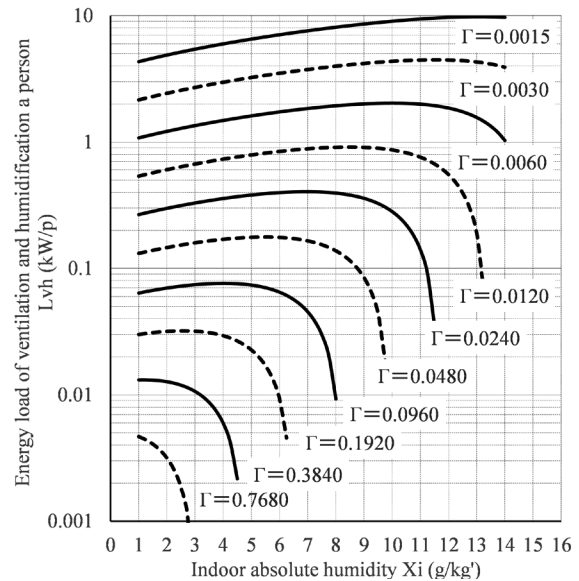


Fig.7 Absolute humidity X_i and energy loads of ventilation and humidification L_{vh} (outdoor absolute humidity 3.0(g/kg')) (絶対湿度 X_i と換気と加湿のエネルギー消費量 L_{vh} の関係)

している。例えば、絶対湿度 X_i が8.5(g/kg') [24℃ ,46RH%]で、一人当りの換気量 Q_p が30(m^3/hp)の場合のインフルエンザ空気感染の指標 Γ は0.024になる。Fig.4の $\Gamma=0.024$ の等値線を見ると、絶対湿度 X_i が低い場合には、絶対湿度 X_i の変化について一人当りの換気量 Q_p の変化が少なく、概ね9 (g/kg')程度を上回ると、一人当りの換気量 Q_p が急激に低下する。この傾向は、換気量が規定されている場合、絶対湿度の効果を得るためには絶対湿度 X_i がある程度以上必要であることを示している。

Fig.7に、絶対湿度 X_i 及び加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} とインフルエンザ空気感染の指標 Γ の等値線の関係を示す。ただし、外気の絶対湿度 X_o を3.0(g/kg')とした場合である。絶対湿度 X_i が高くなるとともに、加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} は、上昇した後に下降する傾向を持っている。 $\Gamma=0.024$ の等値線を見ると、加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} は、絶対湿度 X_i が7(g/kg')の場合に約0.4(kW/p)で最も高くなる。それに対して、絶対湿度 X_i が11(g/kg')の場合には約0.15(kW/p)まで減少する。ある程度以上の絶対湿度にすることで、換気量とエネルギー消費量を大きく削減することができることを示している。加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} を規定した場合には、絶対湿度 X_i が高くなるとともにインフルエンザ空気感染の指標 Γ は緩やかに上昇した後に、急激に低下する傾向を持っている。

Fig.8に、一人当りの換気量 Q_p が、20(m^3/hp), 30(m^3/hp), 40(m^3/hp)の場合のインフルエンザ空気感染の指標 Γ 及び加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} の関係を示す。ただし、外気の絶対湿度を3.0(g/kg')とした場合である。絶対湿度 X_i が高くなるとインフルエンザ

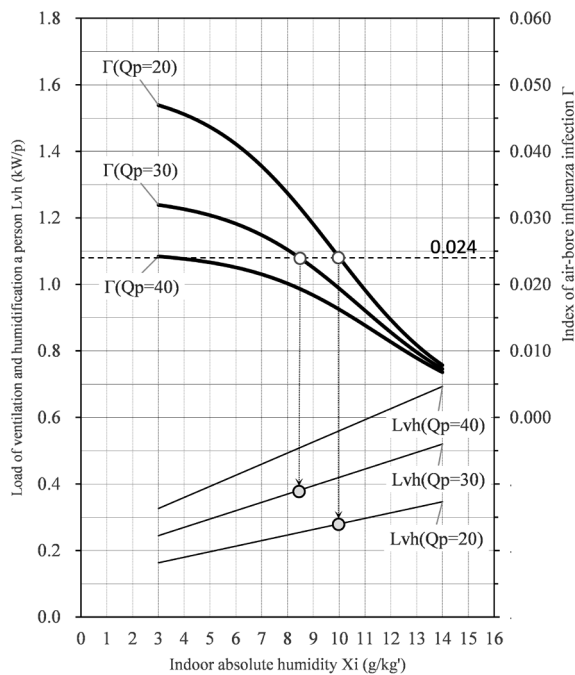


Fig.8 Absolute humidity X_i , index of air-borne influenza infection Γ and energy loads of ventilation and humidification L_{vh} (outdoor absolute humidity $3.0(\text{g/kg})$) (絶対湿度 X_i とインフルエンザの空気感染の指標 Γ 及び換気と加湿のエネルギー消費量 L_{vh})

空気感染の指標 Γ は低下し、加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} は増加する。この傾向は、一人当りの換気量 Q_p によって変わらない。同図の等値線 $\Gamma = 0.024$ を見ると、一人当りの換気量 Q_p が $30(\text{m}^3/\text{hp})$ の場合には、絶対湿度 X_i は $8.4(\text{g/kg})$ である。この等値線上で、一人当りの換気量 Q_p を $20(\text{m}^3/\text{hp})$ に削減すると、絶対湿度 X_i は $10.1(\text{g/kg})$ となる。この換気量削減によって、加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} は、 $0.38(\text{kW/p})$ から $0.28(\text{kW/p})$ に削減される。以上のように、インフルエンザ空気感染の指標 Γ を用いることで、エネルギーの効率的使用に向けた換気量及び加湿量の最適化の基本方針が得られると考えられる。

高齢者施設は、入居者のインフルエンザの感染リスク、感染による健康影響リスクが共に高いため、インフルエンザ感染予防の重要性が非常に高い建築物の一つである。既往の調査(5-9)によれば、冬期の室内温度は維持されているが、室内湿度が非常に低い傾向が示されている。また、排泄処理に伴う臭気対策のために換気設備の一時運転、インフルエンザなどの感染予防のための一時的窓開けや小型加湿器の多用が見られる。このように、室内空気環境については、応急的対応が見られ、共通の管理状況が見られない。このため、高齢者施設におけるインフルエンザの感染予防のための、換気及び加湿に関する設計、運転及び維持管理の基礎的な方針を得るための基礎として、特別養護老人ホームを対象に前述の評価指標

Table 1 Summary of investigated facilities (調査施設の概要)

Facility		HA	HB	HC	HD	MA	MB
building	construction	1980s	1970s	1980s	1970s	1990s	2010s
	num. of stories	3	3	4	3	4	4
room type		M.B.	M.B.	M.B.	M.B.	S.B./M.B.	S.B.
rooms	heating	F.H.	F.H.	F.H.	F.H.	A.C.+K.S.	A.C.
	cooling	-	-	-	-	A.C.	A.C.
	ventilation	E	E	E	E&S	E	E
humidification		P.H.	P.H.	P.H.	P.H.	P.H.	P.H.
Common Spaces	heating	F.H.	F.H.	F.H.	F.H.	A.C.	A.C.
	cooling	A.C.	A.C.	A.C.	A.C.	A.C.	A.C.
	ventilation	E&S	E&S	E&S	E&S	E&S	E&S
humidification		P.H.	P.H.+H.U.	P.H.	P.H.	P.H.	P.H.+H.U.

M.B.: multi-beds, S.B.: single bed, A.C.: air conditioning, K.S.: kerosene stove, F.H.: floor heating, E: exhaust ventilation, E&S: exhaust and supply ventilation, P.H.: portable humidifier, H.U.: humidification unit

を用いた評価を行った。Table 1に示す、北海道及び宮城県の多床室（multi-beds）で構成された施設及び個室（single-bed）で構成された施設における居室（rooms）及び共用空間（common space）の、冬期（2015/12/11～2016/3/11）における温度、湿度、 CO_2 濃度の測定結果を用いた。対象施設は90床以上の比較的大きな規模を有し、築年は1970年代から2010年代と多様である。北海道の施設では、全館床暖房が用いられ建物端部では放射パネルが併設されている。また、共用空間にはエアコンがある。宮城県の施設ではエアコンで暖冷房が行われているが、一施設（MA）では開放型の石油ストーブ（kerosene stove）も併用されている。居室の換気設備はHDを除いて第3種（E）で、共用空間の換気設備は第1種（E&S）である。入居者の生活スケジュールは、要介護度や体調の影響を受けて同一施設内でも多様である。自立度が高い入居者は、日中は共用空間で過ごす。自立性が低い場合や寝たきりの場合には、ほとんどの時間を居室内で過ごしている。いずれの施設においても、介護作業や入居者の状況把握のために、居室のドアが閉鎖される時間はほとんどなく、全開の場合がほとんどである。一部の居室では夜間に閉鎖するが、入居者の状況を確認するためにゴミ箱などを挟んで全閉にならないようにする対応が見られる。

以上の施設における冬期の測定器TR-76Ui（T&D社）による20分間隔測定値を用いて、インフルエンザ空気感染予防環境の評価を行った。測定期間全体の平均値を用いて、対象全体を通じた傾向について検討した。

Fig.9に、絶対湿度 X_i とインフルエンザ空気感染の指標 Γ の関係を示す。絶対湿度 X_i が高い要因として一人当りの換気量 Q_p が少ないことが挙げられるが、このような傾向は見られなかった。また、絶対湿度 X_i が高いとインフルエンザ空気感染の指標 Γ が小さくなると考えられるが、このような傾向も見られなかった。従って、測定対象に関しては、絶対湿度 X_i が一人当りの換気量 Q_p 及びインフルエンザ空気感染の指標 Γ を決定する主要因になっていないことが伺える。

Fig.10に、一人当りの換気量 Q_p とインフルエンザ空気感染の指標 Γ の関係を示す。一人当りの換気量 Q_p とイン

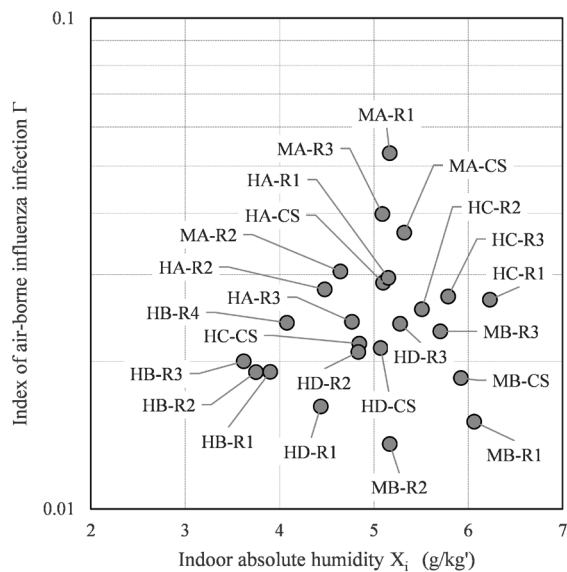


Fig.9 Relationship between absolute humidity X_i and index of air-borne influenza infection Γ (絶対湿度 X_i とインフルエンザ空気感染の指標 Γ の関係)

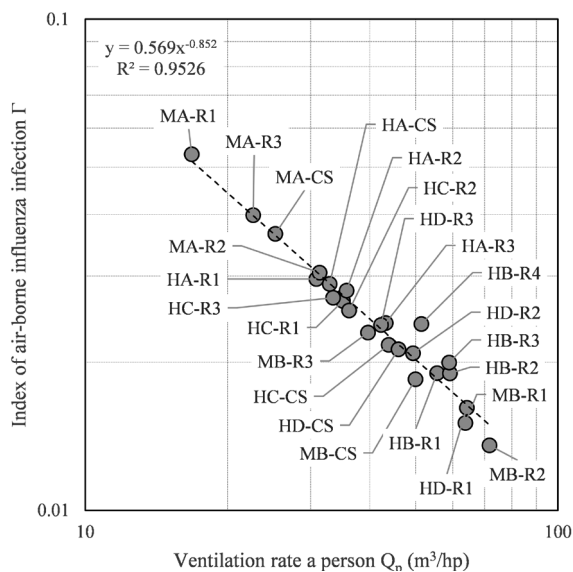


Fig.10 Relationship between ventilation rate a person Q_p and index of air-borne influenza infection Γ (一人当り換気量 Q_p とインフルエンザ空気感染の指標 Γ の関係)

フルエンザ空気感染の指標 Γ の相関性は非常に高い。また、インフルエンザ空気感染の指標 Γ と加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} の相関性も非常に高い。対象点のインフルエンザ空気感染の指標 Γ 及び加湿と換気に係るエネルギー負荷（外気負荷） L_{vh} は、いずれも一人当りの換気量 Q_p によってほぼ規定されており、絶対湿度 X_i の影響をほとんど受けていないことが確認される。すなわち、対象点全体を通じて、絶対湿度 X_i が低い中で、一人当りの換気量 Q_p が多ければインフルエンザ空気感染の指標 Γ が低くなり、加湿と換気に係るエネルギー負

荷（外気負荷） L_{vh} が大きくなっている、という状況になっている。

従って、エネルギー効率を踏まえてインフルエンザの空気感染予防を行うには、換気量制御と絶対湿度上昇が必要であると考えられる。換気量抑制のためには、排泄処理時の臭気対策を含めた効率的な換気方法が必要であり、絶対湿度上昇のためには、効果的な加湿方法が必要となると考えられる。

V. 相対湿度の改善策

以上の検討を踏まえた高齢者施設の冬期の湿度改善に関する要点を以下に示す。

1. 相対湿度の形成

相対湿度は、温度と絶対湿度（空気中の水蒸気量） $[g/kg]$ で決まる。同じ絶対湿度でも、温度が高いと相対湿度が低くなる傾向がある。絶対湿度は、室内での水蒸気発生量と換気量で決まる。ただし、室内のカーテンや家具、壁などの躯体での吸湿放湿、窓などでの結露があると、その影響をある程度は受ける。

水蒸気の発生源は、加湿、人体、調理やファンヒーター等の開放式燃焼器具などがある。在室者が少ないなど水蒸気発生量が少ないと、加湿器への負担が大きくなり湿度が低くなりやすい。

換気量は、機械換気と自然換気の影響を受ける。換気量が多いと水蒸気の流出量が多くなり、室内の絶対湿度及び相対湿度が低下する。

2. 相対湿度維持の方策

室内の絶対湿度及び相対湿度を維持するには、以下の方策が考えられる。

- A) 加湿量を増加する。（加湿ユニットの設置、ポータブル加湿器の増加）
- B) 換気量を抑制する。（炭酸ガス濃度で換気量を制御、不在室の換気量削減等）

ただし、このような方策の実施について、以下のような注意点が挙げられる。

- A) 窓等での結露やカビの発生、ポータブル加湿器の清掃不備による微生物の発生、エネルギー消費量及びランニングコストの増大
- B) 室内空気汚染物質濃度（二酸化炭素、VOC、臭気、微生物等）の上昇

特に、Bについては、現状の二酸化炭素濃度や臭気等の室内空気質、利用者の健康影響の現状を踏まえて慎重に改善策を立て、試行と状況変化の確認を繰り返しながら進める必要がある。

この他に、温度を下げることで相対湿度を上げる方法がある。しかし、温度ムラが少なく放射や気流等の影響を含めた室内環境が良好な場合を除いて、快適性の低下や健康への影響につながる危険性を留意しておく必要がある。また、インフルエンザの室内空気感染防止の観点

では、前述のようにインフルエンザの生存時間が絶対湿度によって左右されると考えられるため、設定温度の低下は避けるべきである。

3. 加湿と結露

加湿に伴って、窓などでの結露量が増加することがある。結露は、断熱性能が低い部位に集中する傾向があり、一般的には、窓や屋外ドアなどのガラスや枠が最も断熱性が低く、その部分で結露し、極寒期には結氷する場合もある。建物の断熱性能は、省エネルギー法によって寒冷な地域ほど高くなっている。また、省エネルギー法の断熱基準は、急速に向上している。従って、新しい建物では断熱性が高く、古い建物では低い傾向がある。

結露には、建物の気密性能も関係する。一般に、古い建物は、気密性が低く、特に内外温度差が大きい極寒期に換気量が多くなる傾向がある。換気量が多いと、加湿量及びエネルギー消費量が大きくなると同時に、湿度が上がらず結露量が少なくなる。この他に、建物内での温度分布も関係する。温度が低い部屋を作ると、その部屋で結露が集中する。

以上を踏まえて、湿度を維持して結露を抑制する方策として、以下が挙げられる。

- i. 窓ガラスの断熱強化（多層ガラス、多層建具）
- ii. 出入口ドアの断熱強化（多層ガラス、風除室）
- iii. 断熱弱点部の表面温度維持（窓下放熱器）
- iv. 低温室の解消（非暖房室を無くし、全室・全館暖房にする。）

以上の方策の中で、i及びiiは、結露防止だけではなく、気密性の向上に伴う加湿負荷の削減、上下温度差の低減による室内温熱環境の向上、暖房エネルギー消費量の削減に貢献する。iii及びivは、暖房エネルギー消費削減にはつながらないが、室内温熱環境の向上に貢献する。これらの方策には設置費が必要となるが、ライフサイクルコストと期待される効果に関する検討が、施設の建設計画はもとより既存施設の維持管理計画において必要不可欠であると考えられる。

VI. おわりに

本報告では、国立保健医療科学院における「感染を抑制するための室内空気環境計画に関する研究」の一環で平成24年度から実施されている高齢者施設等福祉施設の環境衛生管理に関する研究における結果の一部を示した。超高齢社会の中で、高齢者施設のあり方は国民のQOL（Quality of Life）の大きな要素であり、感染症リスクの低減に加えて居住性の向上の基礎となる湿度維持を含めた室内環境の向上が必要である。既存施設における改善策、施設建設の計画に、室内環境の維持向上の視点が重視されることが望まれる。

本研究は国立保健医療科学院基盤的研究費による研究（倫理審査承認番号NIPH-IBRA#12081, NIPH-IBRA#12100）成果の一部である。本研究に参加してい

る施設関係者及び居住者に謝意を表すと共に、本研究で用いた高齢者施設の室内環境に関するデータの取得は、北海道大学羽山広文教授、菊田弘輝助教、宮城学院女子大学本間義規教授、巖爽教授の協力によって行われたことを記し、謝意を表する。

参考文献

- [1] 厚生労働省. 建築物における衛生的環境の確保に関する法律, 昭和45年法律第20号. 平成13年3月20日.
- [2] 王春旭, 有, 姜燕. 高齢者福祉施設の湿度環境に関する調査研究 湿度環境及び加湿器利用状況. 日本建築学会研究報告, 九州支部. 2011;50:473-476.
- [3] 柳宇, 四本瑞世, 杉山順一, 鍵直樹, 緒方浩基, 大澤元毅. 高齢者施設における室内環境に関する研究 第1報 遺伝子解析法を用いた微生物汚染実態詳細調査の結果. 空気調和・衛生工学会論文集. 2015;215:19-26.
- [4] 阪東美智子, 金勲, 大澤元毅. 特別養護老人ホームにおける環境衛生管理の現状と課題. 保健医療科学. 2014;63(4):359-367.
- [5] 金勲, 林基哉, 開原典子, 大澤元毅, 阪東美智子. 高齢者施設における冬期の温度, 湿度, CO2濃度の実測調査及び湿度管理に関する分析. 室内環境. 2015;18(2):77-87.
- [6] 林基哉, 大澤元毅, 開原典子, 金勲, 阪東美智子, 小林健一. 高齢者施設における室内環境と健康性に関する調査 第7報 小型加湿器による居室の湿度改善に関する試行. 空気調和・衛生工学会大会; 2016.9.; 鹿児島. 同学術講演論文集. p.104-108.
- [7] 大澤元毅, 林基哉, 開原典子, 金勲, 本間義規, 菊田弘輝, 羽山広文, 阪東美智子, 小林健一, 巖爽. 高齢者施設における室内環境と健康性に関する調査 第8報 寒冷地における冬期室内温湿度特性. 空気調和・衛生工学会大会; 2016.9.14-16; 鹿児島. 同学術講演論文集. p.109-112.
- [8] 開原典子, 林基哉, 大澤元毅, 金勲, 本間義規, 菊田弘輝, 羽山広文, 阪東美智子, 小林健一, 巖爽. 高齢者施設における室内環境と健康性に関する調査 第9報 寒冷地における二酸化炭素濃度を用いた加湿の分析. 空気調和・衛生工学会大会; 2016.9.14-16; 鹿児島. 同学術講演論文集. p.113-116.
- [9] 金勲, 林基哉, 大澤元毅, 開原典子, 阪東美智子. 高齢者施設における室内環境と健康性に関する調査 第10報 全国の特別養護老人ホームにおける施設及び設備の実態について. 空気調和・衛生工学会大会; 2016.9.14-16; 鹿児島. 同学術講演論文集. p.117-120.
- [10] 大澤元毅, 林基哉, 開原典子, 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 本間義規, 巖爽, 菊田弘輝, 羽山広文. 高齢者施設における健康リスク低減のための室内環境衛生管理 その5 寒冷地における冬期調査の対象と

- 方法. 日本建築学会大会; 2016.8.24-26; 九州. 同学術講演梗概集. p.1221-1222.
- [11] 開原典子, 林基哉, 大澤元毅, 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 本間義規, 巖爽, 菊田弘輝, 羽山広文. 高齢者施設における健康リスク低減のための室内環境衛生管理 その6 寒冷地における冬期の室内温湿度およびCO₂濃度の実態. 日本建築学会大会; 2016.8.24-26; 九州. 同学術講演梗概集. p.1223-1224.
- [12] 大澤元毅, 他. 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究」(研究代表者: 大澤元毅) 平成21年度総括・分担研究報告書. 平成22年3月.
- [13] Weber TP, Stilianakis NI. Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: a critical review. *Journal of infection*. 2008;57(5):361-373.
- [14] Harper GJ. Airborne micro-organism: Survival tests with four virus. *The Journal of Hygiene*. 1961;59(4):479-486.
- [15] Sharman J, Kohn M. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *PNAS*. 2009;106(9):3243-3248.
- [16] 倉測隆, 小笠原岳, 熊谷一清, 浅利雄太郎. インフルエンザの感染に影響するインフルエンザウイルス生存率と絶対湿度の関係について. 空気調和・衛生工学会大会; 2009.7.15-17; 鹿児島. 同学術講演論文集. p.1339-1343.