

寒冷地の高齢者施設における室内生活環境の年間特性

フィンランド・エスポー及び北海道・札幌における室内温熱空気環境の実態

ANNUAL CHARACTERISTICS OF INDOOR LIVING ENVIRONMENT
IN FACILITIES FOR THE ELDERLY IN COLD REGIONS

State of indoor thermal and air environment at Espoo in Finland and Sapporo in Hokkaido

林 基哉*¹, 本間義規*², 巖 爽*², 菊田弘輝*³, 羽山広文*⁴,
加用現空*⁵, 鈴木信恵*⁶, 開原典子*⁷, 金 勲*⁸,
阪東美智子*⁸, 小林健一*⁹, 大澤元毅*¹⁰*Motoya HAYASHI, Yoshinori HONMA, Shuang YAN, Koki KIKUTA, Hirofumi HAYAMA,
Genku KAYO, Nobue SUZUKI, Noriko KAIHARA, Hoon KIM,
Michiko BANDO, Kenichi KOBAYASHI and Haruki OSAWA*

Indoor environments in facilities for the elderly were investigated through long-term measurements in Espoo, Finland and in Sapporo, Japan. The results clarified the followings. Indoor temperatures were well controlled in the winter. However, humidity was very low especially in Finnish facilities where humidifiers were not used. Because the ventilation rate are kept higher in Finnish facilities, the risk of influenza infection is lower in Finnish facilities than in Hokkaido's facilities. Because heat recovery systems are used in Finnish facilities, the energy load of humidification and ventilation is kept lower in Finnish facilities.

Keywords : *Nursing facility for the elderly, Thermal environment, Air environment, Humidification, Cold region*

高齢者施設, 温熱環境, 空気環境, 加湿, 寒冷地

1. はじめに

超高齢社会における QOL(Quality of Life)が課題となる中、高齢者施設の生活環境の実態把握と改善の検討が望まれる。我国の高齢者施設では、QOL 向上のために従来の多床室型から個室によるユニット型の導入が進められている。また、建物の断熱化や暖冷房等設備の変化の影響を受け、生活環境は多様な状況にある。

昭和 45 年制定の建築物衛生法は、多数の者が利用する建築物を特定建築物とし、建築物環境衛生管理基準に基づく管理を義務づけている。しかし、平成 10 年以降、温度、湿度、CO₂濃度の不適合率が上昇し、相対湿度では約 60%に達した^{注1)}、¹⁾。この要因として、

省エネルギー、個別式空調の普及などが挙げられる。高齢者施設では特有の環境衛生管理が必要であるため特定建築物ではないが、「特別養護老人ホームの設備及び運営に関する基準」^{注2)}で、日照、採光、換気など入所者の保健衛生に十分配慮することが求められている。しかし、法定検査が行われていないため実態は共有されていない。このような状況で、高齢者施設における不適状況の増加が危惧される^{注3)}。冬期の低湿度はインフルエンザ等の感染症、皮膚疾患等の要因で、高温多湿は熱中症や細菌感染症の要因である。高齢者施設の室内環境は、このような入居者の健康リスク要因^{注4)}であり、介護負荷要因^{注5)}としても注視される。

*1 国立保健医療科学院 統括研究官・工博

*2 宮城学院女子大学生活科学部 教授・博士(工学)

*3 北海道大学大学院工学研究院 准教授・博士(工学)

*4 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)

*5 東京都市大学環境学部 准教授・博士(工学)

*6 フリーランス

*7 国立保健医療科学院生活環境研究部

主任研究官・博士(工学)

*8 国立保健医療科学院生活環境研究部

上席主任研究官・博士(工学)

*9 国立保健医療科学院医療福祉サービス研究部

上席主任研究官・博士(工学)

*10 元 国立保健医療科学院 研究官・博士(工学)

Research Managing Director, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

Prof., Faculty of Human Life Science, Miyagigakuin Women's University, Dr.Eng.

Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr.Eng.

Prof., Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr.Eng.

Assoc. Prof., Faculty of Environmental Studies, Tokyo City University, Dr.Eng.

Freelance

Senior Researcher, Dept. of Environmental Health, National Institute of Public Health,

Dr.Eng.

Chief Senior Researcher, Dept. of Environmental Health, National Institute of Public

Health, Dr.Eng.

Chief Senior Researcher, Dept. of Health and Welfare Services, National Institute of Public

Health, Dr.Eng.

Former Researcher, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

これまでに、高齢者施設の衛生管理の実態^{10)・12)}、自治体の対応状況¹³⁾、高齢者施設の室内環境に関する調査^{14)・15)}が行われた。その結果、温度は比較的良く管理されているが、換気や湿度については管理意識が低く、特に冬期の湿度が低い状況にある。自治体の関与は限定的であるが、ほとんどの施設はインフルエンザ等の感染症防止のためにポータブル加湿器を多用している。しかし、加湿器能力の不足や給水などの維持管理の負担、臭気対応やインフルエンザの感染防止のための窓開け、換気扇の運転によって、湿度維持が困難な状況となっている。以上のことから、換気と加湿の適正化や臭気対策などの施設設計から運用に係る改善が急務となっている。

本研究では、高齢者施設の設計・運用の改善に向けて、高齢者施設の室内温熱空気環境の年間特性を把握した上で、夏期及び冬期の入居者及び介護者の行動調査を通じて、高齢者施設における生活環境とQOLの関連性を明らかにすることを最終目標としている。

本報では、冬期の湿度維持が難しい寒冷地に注目し、介護先進国の一つであり断熱気密防露や暖房換気などの冬対応技術が進んでいる一方、湿度の管理基準を設定していないフィンランド¹⁶⁾の高齢者施設を対象に、通年の室内環境の状況を把握し、我国の寒冷地である札幌の高齢者施設の現状と比較することで、上記の目標に向けた基礎情報とすることを目的とし以下を行った。

- 1) フィンランド・エスポー（北緯 60°）及び北海道・札幌（北緯 43°）のそれぞれ 4 つの高齢者施設について、建築・設備及び運用に関する実施調査、室内温熱空気環境の長期測定を行った。
- 2) 温熱空気環境の年間特性に関する分析を行った。
- 3) インフルエンザの感染リスク、加湿と換気のエネルギー負荷に関する分析を行った。

以上によって、高齢者施設の生活環境改善に向けた温熱空気環境に関する基礎情報とした。

2. 調査対象施設の概要と測定方法

フィンランドの施設調査では、日本の特別養護老人ホームに比較的近い要介護者が入居する高齢者施設を対象とし、フィンランドのエスポー市の建物階数、規模、建設経緯等が異なる施設に、高齢者施設の生活環境改善の研究への参加依頼を順次行い 4 件の了承を得て対象とした。また、北海道札幌市の特別養護老人ホーム 30 件へ研究参加依頼を行い、4 施設を選定して対象とした。施設長、管理担当者、介護者への聞き取り及び実地調査による各施設の概要を以下に示す。Table1 には、構造、築年、断熱性能、介護状況、暖冷房換気設備、測定対象とした共用空間と居室の方位、階数、給排気量等を示している。いずれの施設も共用空間は廊下と一体化している。

2.1 フィンランドの対象施設の概要

Table1 に示すように、フィンランドの施設（F1～F4）は、2000 年以降の建築である。F3 は 1960 年代の建築を改修して居室と食堂に使用している部分が含まれる。F1、F4 は枠組壁構造の平屋で、F2、F3 は、鉄筋コンクリート造外断熱で、いずれも断熱性が高く開口部ではガラスが 3～4 重になっている。片開きが基本で、滑出小窓がついている場合がある。いずれの施設も結露跡は見られない。中央式の顕熱回収型換気設備が設けられ、常時運転が行われている。居室では、天井又は壁の上部から給気して各居室の水回りの天井から排気されている。暖房は、地熱ヒートポンプによる床暖房が行わ

れている。なお、F2 では太陽光による集熱と発電によって、消費エネルギーをほぼゼロにしている。F1、F4 では冷房は行われていない。F2 では、地熱利用の冷房が行われ、F3 では共用空間のみに壁掛けエアコンが設けられている。

いずれの施設においても加湿設備はなく、ポータブル加湿器も使用されていない。各居室に水回りスペース（サニタリー）がありトイレとシャワーが設けられ、排泄処理はこのスペースで行われている。また、共用のシャワー室とサウナがあり入居者は週に 1 回程度利用する。施設にはキッチンとダイニングがあり、食事は入居者の状況や好みの時間など個別の対応が行われている。居室のドアは基本的に閉じられており、入居者のプライバシーを踏まえた介護が行われている。

2.2 北海道の対象施設の概要

Table1 に示す北海道の施設（H1～H4）は、1970 年代から 1980 年代の建築である。いずれの施設も鉄筋コンクリート造の内断熱（プラスチック系断熱材約 20 mm）で、2 重サッシが用いられている。外壁出隅部、窓ガラスや開口部周りの一部に結露跡が見られる。開口部は引違いサッシが基本である。いずれの施設も中央式の石油床暖房が設けられ、冬期に常時運転されている。ペリメーターの窓近くには、パネルラジエーターが設置されている場合がある。

換気設備は多様である。H1 では 26φ のプロペラファンが共用空間と居室の壁に設置され、主に排泄処理時の臭気対策や感染症対策等のために介護者の判断や施設の指示によって運転されている。また、故障等によって電源が抜かれている場合もある。H2 では、共用空間には熱回収型天井換気扇が設けられ常時運転され、居室、共用トイレには天井排気扇が設けられ常時運転されている。居室に給気口が設けられていないため、排気による室内減圧にもなって、デイクアセンターエリアから廊下を介して空気が流入し、居室、共用トイレから排出される経路となっている。H3 でも、共用空間には熱回収型天井換気扇が常時使われ、居室及び共用トイレ等から天井排気扇で排気されている。H4 では、共用空間では熱回収型天井換気扇が常時使われ、共用トイレ等から天井排気扇で排気されている。湿度維持のために共用空間の換気扇は夜間に止められている。居室では、給気扇と排気扇が常時運転されており、別に 100φ の自然換気口が壁に設置されている。いずれの場合も、居室の入口は、排泄処理時などの一時を除いてほとんどの時間に、見守りのために開放されている。なお、H1 では居室の廊下側の壁に入口の両側に引違いの腰窓があり、この窓も常時開放されている。いずれの施設においても、冷房は共用空間のみに設置され、必要に応じて使用されている。加湿設備は H1 と H4 に設置されているが、いずれも維持管理が行われておらず使用していない。

ポータブル加湿器は、いずれの施設においても居室に 1～2 台、共用空間に数台設置されている。H2 では、中廊下に 4 床室の 2 室に 1 台の間隔で、廊下の壁の高所に設置し、加湿水に殺菌剤を投入して常時使用している。H3 ではポータブル加湿器を毎日夕方に回収して水洗いし、夜間乾燥させて翌朝使用している。夜間は、濡れたタオルを干すことで加湿を行っている。この他の施設では、ポータブル加湿器の汚れ具合に応じた清掃が行われている。H4 では、加湿水に殺菌剤を投入して常時使用している。いずれの施設においても、食事は給食によって賄われ、スケジュールに合わせた食事や活

動が基本となっている。北海道のいずれの施設においても、排泄処理は、共用トイレ又は居室のベッド上で行われている。居室では臭気対策のために消臭スプレーの利用、窓開けが行われている。窓開けは、冬期には小さな開口幅で短時間行う、又は行わない。また、入浴は週2回を基本に、共用浴室で行われている。

2.3 室内環境・インフルエンザ感染症対策の比較

フィンランドの対象は、北海道の対象に比べて新しく断熱性能が高い。両国とも中央式床暖房が用いられ、温度管理が行われている。フィンランドの対象では中央式顕熱回収型換気設備が設けられているが、北海道の対象は個別換気で、臭気対策や感染症対策のための一時的運転や窓開けが行われている。両国とも入居者は日中共用空間で過ごし夜間は居室で過ごすのが基本である。北海道の施設は多床室で居室の入口はほとんどの時間開放されているのに対し、フィンランドの施設はサニタリー付の個室型でドアは基本的に閉鎖されている。北海道では居室で排泄処理を行うが、フィンランドではサニタリーで行いサニタリー排気によって臭気の拡散を防止している。

インフルエンザ対策については、フィンランドの対象では予防接種と面会配慮が行われ、北海道の対象では、それらに加えて、加湿、面会者の手の消毒とマスクの着用、窓開けが行われている。また、1年の測定期間のインフルエンザの感染者数は、フィンランドにおいてはゼロであり、北海道では数名程度以上であり1施設で集団感

染(概ね10名以上)があった。

2.4 室内環境及び給排気風量の測定方法

室内環境の測定は、北海道では2015年秋から2017年春まで、フィンランドでは2016年夏から2018年春まで実施し、1年以上の連続データを得た。測定項目は、温度、相対湿度、CO₂で、T&D Tr-76Uiを用い20分間隔で測定・記録した。測定器精度は、温度は±0.5℃、相対湿度は±5%RH、CO₂濃度は±50ppm±読み値の5%である。測定点は居室(R: Room)と共用空間(CS: Common space)の合計4点で、施設内で偏りがないように分散配置した。また、日射、暖房、換気、家電や人体などの室内発熱の影響を受けづらい場所とした。フィンランドでは、テーブルや棚の高さ0.7mとなった。北海道では、既設のタンス等の上で1.1~1.2mの高さとなった。なお、F1のCS2、F4のCS、H3とH4の居室Rでは、入居者の安全や介護作業への影響を考慮して高さ1.7~1.8mとなった。すべての施設が床暖房を用いているため、高さの影響は比較的小さいと考えられる。外気の温度と湿度を、各施設の庭等で、T&D Tr-72Uiにより、20分間隔で測定・記録した。測定器精度は、温度は±0.5℃、相対湿度は±5%RHである。これらの連続測定では、介護者の作業などの影響で電源コンセントが抜けるなどにより、若干のデータ欠損が生じた。また、換気に関する基礎データとして居室の給排気口で風量測定^{注3)}を行った。風量はTable1に示す。

Table 1 Outline of investigated facilities for the elderly and the rooms and the common spaces where the environments were measured

Facility	F1										F2										F3										F4																			
Structure	Wooden stud										Reinforced concrete										Reinforced concrete										Wooden stud																			
Construction/Floor count	2000s/1										2010s/2										1960s/1+2010s/2										2000s/1																			
Insulation(Windows/Wall)	3G/R.W.175										3G/R.W.175										3G/R.W.125										3G/R.W.175																			
Room type/Num. of beds	S.B.+2B./30										S.B./40										S.B.+2B./40										S.B./39																			
Care level*	Diapers 100%					Dementia 100%					Diapers 100%					Dementia 93%					Diapers 100%					Dementia 75%					Diapers 93%					Dementia 100%														
rooms	Heating/Cooling										F.H./G.C.										F.H.+P.R./-										F.H./-																			
	Ventilation										E&S										E&S										E&S																			
	Measurement										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.									
	R1										S	18	1F	1	55	61	close	S	20	2F	1	43	51	close	S	20	1F/O.B.	1	33	37	close	N	21	1F	1	32	37	close												
R2										S	21	1F	2	54	62	close	N	20	2F	1	32	51	close	S	20	1F/N.B.	1	9	6	close	E	21	1F	1	32	37	close													
R3										S	21	1F	2	54	62	close	S	20	1F	1	32	51	close	S	20	1F/N.B.	1	29	35	close	S	21	1F	1	26	29	close													
Common spaces	Heating/Cooling										F.H./G.C.										F.H./A.C.										F.H./-																			
	Ventilation										E&S										E&S										E&S																			
	Humidifier										-										-										-																			
	Measurement										D F.A. Floor										D F.A. Floor										D F.A. Floor																			
CS1										S	50	1F	Living & Bar			S	120	2F	Living & dining			S	40	2F/N.B.	Living & dining			S	53	1F	Living & dining																			
CS2										S	86	1F	Living & dining																																					
others	Room door is always closed. Dwellers schedules are various.										Room door is always closed. Dwellers schedules are various. Geothermal power and solar power are used to keep energy consumption zero.										Room door is always closed. Dwellers schedules are various. Airflow rates are controlled lower because the dweller is sensitive to the cold.										Room door is always closed. Dwellers schedules are various.																			
	Facility										H1										H2										H3										H4									
	Structure										Reinforced concrete										Reinforced concrete										Reinforced concrete										Reinforced concrete									
	Construction / Floor count										1970s / 3										1980s / 4										1980s / 3										1970s / 3									
Insulation(Windows/Wall)										Double sash with aluminum frame/P.I.20										Double sash with aluminum frame/P.I.20										Double sash with aluminum frame/P.I.20										Double sash with aluminum frame/P.I.20										
Room type / Num. of beds										M.B. / 122										M.B. / 123										M.B. / 100										M.B. / 100										
Av.of Care level										3.4										3.5										4.2										3.6										
rooms	Heating/Cooling										F.H.+P.R. perimeter/-										F.H.+P.R. perimeter/-										F.H.+P.R. perimeter/-																			
	Ventilation										Exhaust propeller fan on wall										Exhaust fan ducted from ceiling										Exhaust fan ducted from ceiling										E&S**** & V.O.									
	Measurement										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.										D F.A. Floor Bed Sup. Ex. Ent.									
	R1										S	33	3F	4	-	**	***	W	30	2F	3	-	128	***	E	20	2F	2	-	32****	***	S	20	2F	2	73	88	***												
R2										S	33	3F	4	-	**	***	W	30	2F	4	-	137	***	N	33	3F	4	-	152****	***	S	20	2F	2	30	61	***													
R3										S	33	3F	4	-	**	***	E	30	3F	3	-	137	***	S	33	3F	4	-	17****	***	S	41	2F	4	22	9	***													
R4										S	33	3F	4	-	**	***																																		
Common spaces	Heating/Cooling										F.H.+P.R./A.C.										F.H.+P.R.perimeter/A.C.										F.H.+P.R.perimeter/A.C.																			
	Ventilation										Exhaust propeller fan on wall										E&S										E&S										E&S									
	Humidifier										H.U.&P.H										P.H.										P.H. / day time ****										H.U.&P.H									
	Measurement										D F.A. Floor Sup. Ex.										D F.A. Floor Sup. Ex.										D F.A. Floor Sup. Ex.										D F.A. Floor Sup. Ex.									
CS1																				E	89	2F	28	0		S	65	3F					S	400	2F															
others	Openings between rooms and corridors are always open. Windows are open for 20 seconds on Am:10 in winter. Humidification units were not used. Dwellers schedules are basically unified.										Openings between rooms and corridors are always open. Fans are not operated at night time in common spaces in order to keep humidity. Dwellers schedules are basically unified.										Openings between rooms and corridors are always open. Portable humidifiers are cleaned and dried at every night in winter. Wet towels are used at night in winter. Dwellers schedules are basically unified.										Openings between rooms and corridors are always open. Humidification units were not used. Dwellers schedules are basically unified.																			

M.B.: multi-beds, S.B.: single bed, O.B.: old building, N.B.: new building, P.I.: Plastic insulation material, F.H.: floor heating, P.R.: perimeter; panel radiator at windows of perimeter spaces, E&S: exhaust and supply ventilation, V.O.: natural ventilation opening, D: direction of main window, F.A. floor area(m²), G.C.: Geothermal cooling, Sup.: supply airflow rate(m³/h), Ex.: exhaust airflow rate(m³/h), Ent.: entrance of room from corridor or common space, A.C.: air conditioning, H.U.: humidification unit, P.H.: portable humidifier

*Dementia level is measured using Mini Mental State Examination MMSE ** power plug is not connected. *** Entrance of room is open to corridor constantly. ****fan is temporarily used. ***** fan is failed from May in 2016.

以上により、生活時間、窓開けや換気扇運転等の介護者の行為が異なる可能性がある居室と共用空間それぞれの室内環境及び施設全体の室内環境に関する基本的状況を把握できると考えられる。

3. 室内環境の測定結果

室内温熱空気環境は建築設備、運転状況、居住者や介護者の行動の影響を受けるため、夏期と冬期それぞれの温熱空気環境の日推移の性状を確認した上で、温熱空気環境の年間特性を示す。

3.1 室内温熱空気環境の変動特性

Fig.1 及び Fig.2 に、フィンランドと北海道の冬期及び夏期の日推移の例を示す。F1 の冬期の室内温度は比較的安定している。居室の R1 は若干高く推移しているが、一時的な低下が見られる。相対湿度は 30% 以下で建築物衛生法衛生管理基準の 40RH% より低い。CO₂ 濃度は、上記基準の 1000ppm 以下を推移している。居室 (R1, R2) では夜間に高く、共用空間 (CS1, CS2) では日中に高くなる推移を示している。共用空間では、日中の濃度変化が顕著である。常時換気が行われ冬期には窓開放が希であることから、居住者や介護者の在室状況や行為による CO₂ 濃度発生量の変化の影響によると考えられる。食事や主な活動の場である CS2 の濃度は日中常時高いが、CS1 では夕方方に濃度が上がるなど、活動状況に応じた変化になっている。夏期の室内温度も比較的安定し、共用空間の CS2 が午後若干高くなっている。F1 では冷房が行われていないこと、日中ほとんどの入居者及び介護者が、食事や活動のために CS2 に集まること、測定点が 1.8m と高いことが要因として挙げられる。室内の相対湿度は日中高

くなるが 70% を超えていない。室内の相対湿度に大きな差はないが、温度が若干低い R2 の相対湿度が 5% 程度高くなっている。CO₂ 濃度は、夏期も 1000 ppm よりも低く推移している。居室 (R1, R2) では、夜間と日中の濃度差が冬期と同様に見られる。共用空間では日中に濃度が高くなるが、食事や主な活動の場である CS2 では冬期と同様に日中は濃度が高く推移する。しかし、CS1 では朝と昼に一時的に濃度が上がるが、午後は低く推移している。夏期には中庭等の屋外で過ごす場合があるために在室者が少ないことや、窓開放の影響が考えられる。

北海道の H2 の冬期の室内温度は、概ね 22℃ 以上に維持されているが、東側の R3, CS は午前中に一時的な温度上昇が見られ、日射の影響が考えられる。西側の R1, R2 は、山を配しており午後の日射の影響は見られない。ポータブル加湿器を多用しているが、室内の相対湿度は上記基準の 40RH% 以下を推移している。夜間に比べて日中の湿度が低く、室内温度上昇に加えて、日中の一時的窓開け等による換気量増加の影響が考えられる。CO₂ 濃度は、1000ppm 以下を推移しているが、夜間の濃度が比較的高い。湿度維持のために夜間には共用空間の換気扇を停止していることが要因に挙げられる。居室の入り口は常時開放されているが、特に日中では測定点による差があり変化が大きい。活動状況の変化で一時的な窓開けの影響が考えられる。夏期の室温は、日中に 28℃ 以上になり、R2 では 30℃ を超えている。なお、R3 はデータ欠損である。相対湿度は、70RH% 以下を推移している。CO₂ 濃度は、冬期よりも低く推移している。また、各測定点の濃度が近い。夜間に対して日中の濃度が低く、日中の窓

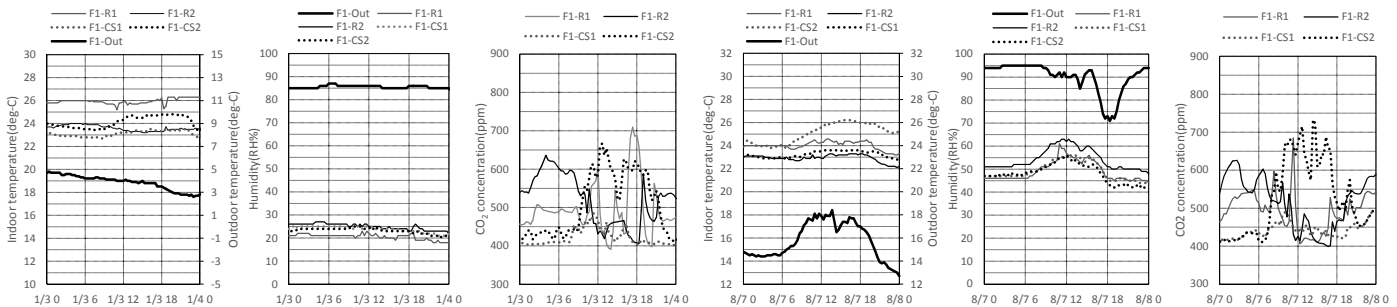


Fig.1 Daily change of temperature and humidity in F1

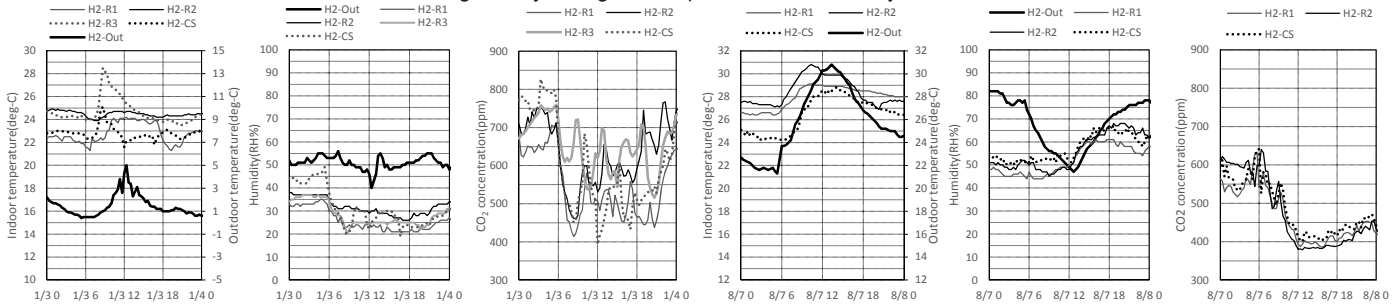


Fig.2 Daily change of temperature and humidity in H2

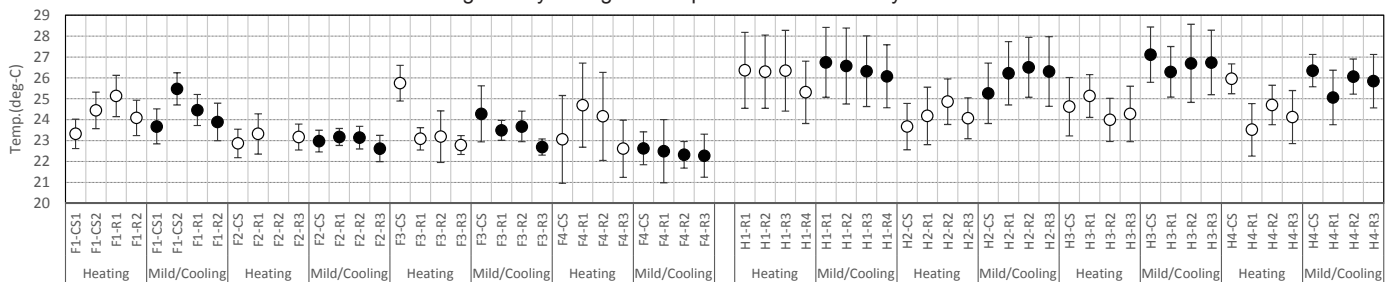


Fig.3 Average and standard deviation of temperature in heating season and mild/cooling season

開放によって換気量が多くなっていると考えられる。以上のように、各施設における測定結果には、建物及び設備の条件に加えて、居住者及び介護者の行動の影響が見られる。

Fig. 3 に、暖房期の温度の平均値と標準偏差を示す。フィンランドと北海道を比較すると、暖房期及び中間/冷房期を通じてフィンランドの温度平均値は北海道の場合より低い。また、標準偏差はフィンランドの方が小さく安定していることが確認される。フィンランドの F4 では冬期の標準偏差が比較的大きくなっているが、F4 では入居者が喫煙などで庭に出ることで一時的な温度低下が見られ、その状況が比較的不規則であることが要因として挙げられる。

Fig. 4 に、CO₂ 濃度の平均値と標準偏差を示す。フィンランドと北海道を比較すると、暖房期及び中間/冷房期を通じてフィンランドの濃度平均値は、F3 の R2 を除いて北海道の場合よりも低い。また、標準偏差はフィンランドの方が小さくそれぞれの期間内で安定して

いることが確認される。北海道では一時的な窓開けや換気扇運転による換気量変化があるのに対し、フィンランドでは換気量が安定していることが要因として考えられる。

3.2 室内温熱空気環境の年間特性

Fig. 5 に、居室及び共用空間のそれぞれの月平均値の年間推移を示す。同図に外気の推移を示すが、フィンランド・エスポーでは月平均気温は-8~17℃を推移し、北海道・札幌では-2~25℃を推移している。また、絶対湿度はフィンランド・エスポーでは2~9g/kg(DA)、北海道・札幌では2~14g/kg(DA)を推移している。冬期の外気条件は比較的近いが、夏期の外気条件が大きく異なる。なお、両国とも各測定点で若干の差がある。フィンランドの室内温度は、22~26℃の範囲で推移している。F4 では、設定温度の調整の影響により、3~5 月が若干高くなっている。北海道の室内温度は、23~29℃の範囲で推移している。なお、H1 では、共用空間の測定点がないが居室

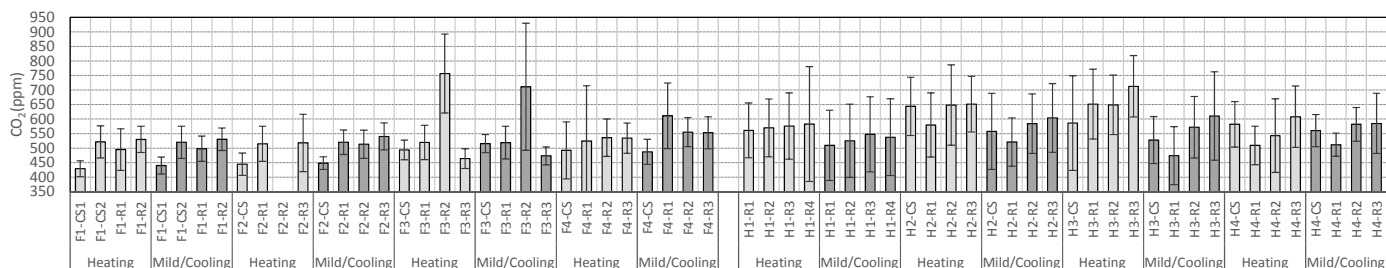


Fig.4 Average and standard deviation of CO₂ concentration in heating season and mild/cooling season

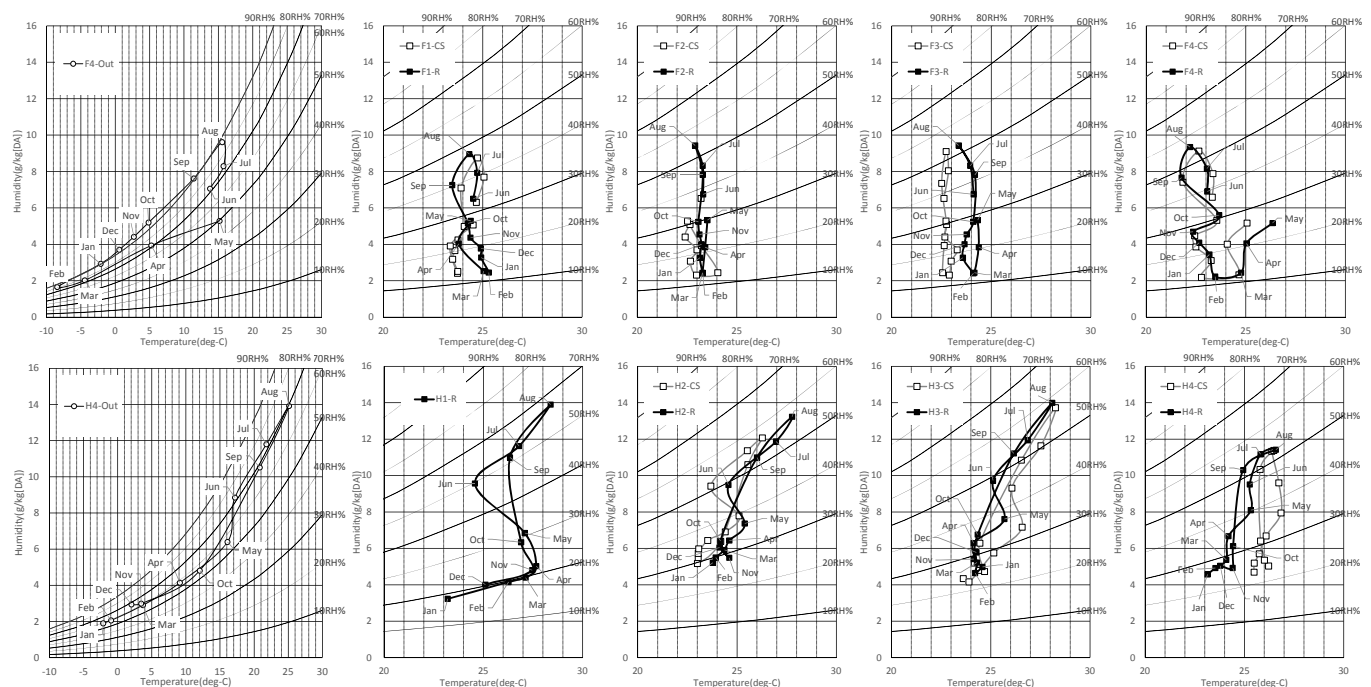


Fig.5 Annual change of monthly average of temperature and humidity

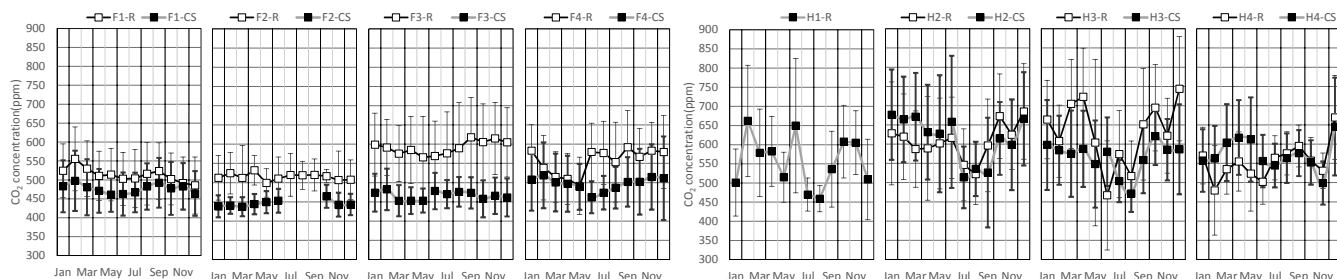


Fig.6 Annual change of monthly average and standard deviation of CO₂ concentrations

の廊下側窓が開放されており、他の施設に比べて共用空間と居室の湿度の差が小さいと考えられる。両国の対象施設は、月平均値で見ると、冬期の室内温度が適切に維持されている。しかし、北海道では夏期の室温が建築物衛生法の基準 28℃より高い場合がある。室内の湿度は、フィンランドでは 2~9 g/kg[DA] で 12~55 RH%、北海道では 3~14 g/kg[DA] で 19~60 RH% の範囲にある。冬期の湿度は、いずれの場合も建築物衛生法の 40 RH% より低い。北海道の対象施設では、冬期の絶対湿度が外気よりも高く、ポータブル加湿器による加湿の影響が見られる。また、H4 では夏期の室内絶対湿度が外気より低く、エアコンによる除湿の影響が見られる。

Fig. 6 に CO₂ 濃度の月平均値と標準偏差の年推移を示す。フィンランドでは、平均値が 430~610ppm の範囲で推移し、居室の方が共有空間よりも高い。また、標準偏差も居室の方が大きい傾向がある。北海道では、平均値が 450~750ppm の範囲で推移しており、フィンランドに比べて 1 年間の変化が大きい。また、標準偏差は、全体にフィンランドに比べて大きく、特に冬期に大きい傾向がある。H1、H2、H3 では、夏期の濃度が低い傾向があり、窓開放の影響が見られる。H4 では、夏期の濃度低下が顕著ではない。これは、冷房によって窓開放の影響が少なかったためと考えられる。また、標準偏差が大きい要因として、臭気対策及び感染症対策のための窓開けの影響が挙げられる。居室と共用空間の差が比較的小さい原因として、居室入口がほとんどの時間開放されていることが挙げられる。

Fig. 7 に、居室と共用空間それぞれの内外の絶対湿度差の年推移を示す。フィンランドでは、外気と室内がほとんど同じで加湿が行われていないことと冷房による除湿が顕著ではないことが確認される。なお、共用空間では夏期に室内が外気より若干小さくなっているが、その要因として冷房機能を有する F2 と F3 については除湿の影響が挙げられる。F1 と F4 については、測定器の誤差を除いて不明である。北海道では、夏期には室内が外気より低い場合があるがそれ以外は室内が外気よりも高い。冬期間は室内が外気より高く、1 月の内外差は居室で 1~3.5g/kg[DA]、共用空間で 2~3.8 g/kg[DA] となっており、加湿の影響が見られる。夏期には、特に 8 月に室内の絶対湿度が外気より低い場合があり、H4 の居室で内外差が 2.5 g/kg[DA]、H2 の共用空間で 2.0 g/kg[DA]、H4 の共用空間で 2.8 g/kg[DA] となっており、冷房による除湿の影響が見られる。

以上のように、暖房方式が類似している両国の対象施設における冬期の温度環境は近い。しかし、加湿の有無によって冬期の湿度環境に差がある。また、夏期の気象条件が異なることで冷房による湿度環境への影響の程度に差が見られる。このように、両国の対象施設の室内温熱空気環境は異なる年間特性を有している。

4. 加湿及びインフルエンザ感染リスクに関する分析

温度、湿度、CO₂ 濃度の測定結果によれば、両国の対象施設の室内温熱空気環境の基本的な差異として、換気量の安定性と湿度の差が挙げられる。湿度の維持は、感染症等の健康リスクの対策として重要な要素であるため、測定値を用いて加湿、インフルエンザ感染リスク、換気と加湿のエネルギー負荷に関する分析を行った。

4.1 給排気風量と CO₂ 濃度

Fig. 8 に、暖房期及び中間/冷房期における給排気口の風量測定結果と CO₂ の内外濃度差の関係を示す。風量は、給気口の風量と排気口

の風量の内大きい方の値をベッド数で除した値を用いている。また、CO₂ の外気濃度を 400ppm として、内外濃度差を算出している。同図左の暖房期には、風量が大きいほど濃度差が小さい傾向となっている。また、同図右の中間/冷房期では、風量が小さいが濃度差が小さい点が北海道の場合 (H3-R1 など) に見られる。これらは、窓開けや他の空間の換気扇運転などの影響によると考えられる。フィンランドと北海道を比較すると、フィンランドでは F3-R2 を除いて換気量が維持されて濃度差が小さくなっている。北海道では、換気扇風量が空間によって異なる上に、窓開け等によって換気量の変化がある。また、CO₂ の内外濃度差は全体的にフィンランドよりも大きくなっている。

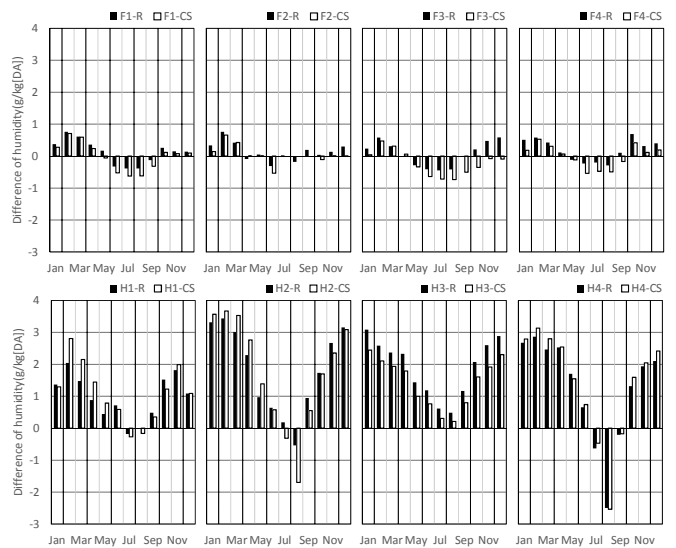


Fig.7 Relationship between outdoor humidity and indoor humidity

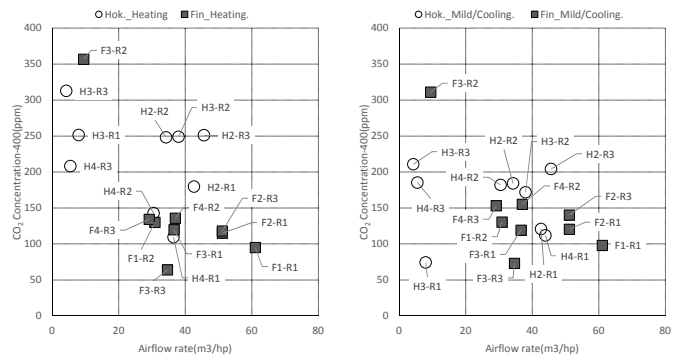


Fig.8 Airflow rates and CO₂ concentrations in rooms

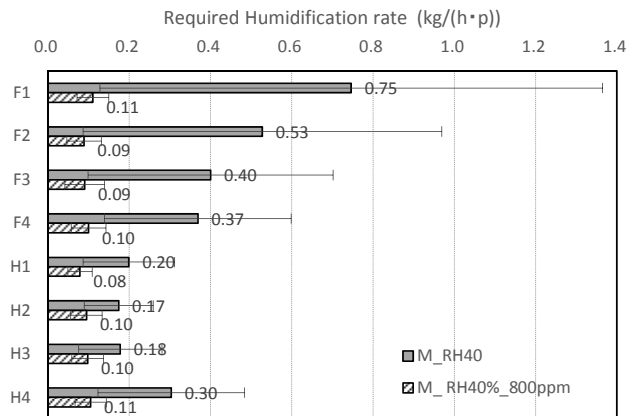


Fig.9 Required humidification rates per person

4.2 必要加湿量

次に、既往研究^{14),15)}における計算方法^{注4)}を用いて、温度、湿度、CO₂濃度から、一人あたりの換気量 Q_P を求めた上で室内湿度を40RH%にするために現状に加えて追加する必要がある一人あたりの必要追加加湿量 $M_{P_H2O_40\%}$ を求め、次に、CO₂濃度を設定値に制御した場合の一人あたりの必要追加加湿量 $M_{P_H2O_40\% \cdot STD}$ を、CO₂濃度設定値を800ppmとして求めた。なお、フィンランドでは現状で加湿していないため、必要追加加湿量が必要加湿量となる。Fig.9に各施設における測定点の平均値と各測定点の標準偏差の平均値を示す。必要追加加湿量 $M_{P_H2O_40\%}$ は、フィンランドでは0.37~0.75kg/(h・p)で、北海道では現状で加湿をある程度行っていることで0.17~0.30kg/(h・p)とフィンランドよりも少なくなった。必要追加加湿量 $M_{P_H2O_40\% \cdot STD}$ は、フィンランドでは0.09~0.11kg/(h・p)、北海道では0.08~0.11kg/(h・p)で、設定濃度を800ppmにして換気量を削減することで必要追加加湿量が大幅に少なくなった。

4.3 インフルエンザの感染リスクとエネルギー負荷

換気量の削減は、換気や加湿に伴うエネルギー負荷を低減する効果を持つが、臭気やインフルエンザ等の感染のリスクを高めることになる。本研究では、我国の高齢者施設での窓開けや換気扇運転の目的の一つであるインフルエンザの空気感染予防に注目して、換気と加湿の効果に関する基礎的な比較検討を行った。既往研究による温度、湿度及び換気量から室内の気中生存ウイルス濃度を概算する方法¹⁷⁾を用いて、上記の加湿対策について比較を行った。Fig.10に示す Γ は、罹患者からのウイルス発生量に対する気中生存ウイルス濃度の比である。生存ウイルス量は、G.J.Harperのインフルエンザウイルスの気中生存時間に関する実験結果における湿度及び温度の効果^{18)~20)}と換気希釈の効果を用いて算出している。換気希釈の効果については、CO₂発生量を設定しCO₂濃度測定値を用い瞬時一様拡散を仮定して算出した一人あたりの換気量を用いた。 L_{vh} は、換気及び加湿に伴う一人あたりのエネルギー負荷であり、既往研究の方法^{注5),17)}によって一人あたりの換気量及び加湿量から算出した。また、フィンランドの対象では顕熱回収(エンタルピー交換効率70%)の効果を検討した。同図に示すように、現状の $\Gamma \times 10^3$ は、フィンランドでは8~12で北海道では14~22である。フィンランドの対象は、湿度は低い換気量が多いため Γ が小さい。 L_{vh} は、熱回収を行っ

ているフィンランドでは0.2~0.4(kW/p)で、北海道の0.4~0.6(kW/p)よりも小さい。フィンランドで熱回収の効果を検討しなければ、0.7~1.3(kW/p)となる。フィンランドでは、排泄処理を行うサニタリーから排気するため、臭気の逆流防止が一つの要因となって顕熱のみが回収されているが、 L_{vh} が大幅に削減されている。

以上の分析によって、フィンランドの対象施設では、温度や換気が年間を通じて安定しているのに対し、北海道の対象施設では、外気温度や日射等の気象条件の変化に加えて、臭気対策や感染症対策のために行われる窓開けや換気扇の運転、湿度維持のための換気扇の停止によって、換気状態が変化する影響を受けて、年間を通じて日単位の室内環境の変化がある。また、インフルエンザの空気感染、換気と加湿のエネルギー負荷に関する基礎的な比較では、北海道の対象施設では湿度維持のための加湿が行われているが、加湿は行わないが換気量が安定的に維持されているフィンランドの場合よりも感染リスクが低いとは言えない。また、北海道の施設はフィンランドの施設よりも換気量が少ないが、熱回収がほとんど行われていないために、顕熱回収を行っているフィンランドよりも換気と加湿のエネルギー負荷が大きいことが明らかとなった。

5. おわりに

本研究では、フィンランド・エスポー及び北海道・札幌の建築・設備及び運用に関する実施調査、室内温熱空気環境の長期測定を行い、温熱空気環境の年間特性に関する分析、加湿、インフルエンザ感染リスク、換気と加湿のエネルギー負荷に関する分析を行い、以下の結果を得た。

- 1) 両国の対象施設では床暖房が用いられ、暖房期の室温は一定範囲に管理されている。しかし、フィンランドでは温度が比較的安定しているが、北海道では日射などによる日変化がある程度見られる。
- 2) 両国の対象施設のCO₂濃度は1000ppm以下となっている。フィンランドでは常時換気により年間を通じて換気量が維持されているが、北海道では臭気対策や感染症対策のための個別制御や窓開けが行われ換気量が変化している。
- 3) フィンランドでは冷房が一部で使用されているが、加湿されていない、室内と外気の絶対湿度が年間を通じてほぼ一致している。北海道では冬期に感染症対策のためにポータブル加湿器が用いられ、湿度上昇が見られる。また、一部で冷房が行われ除湿の影響が見られる。
- 4) 暖房期の相対湿度は、フィンランドと北海道の対象全てで40RH%よりも低い状況であり、建築物衛生法の環境衛生管理基準を満たしていない。
- 5) 相対湿度を40RH%に上げるための必要追加加湿量は、換気量が多いフィンランドの方が、北海道より大きくなる。また、CO₂濃度を800ppmに制御して換気量を削減すると、両国ともに必要追加加湿量及び換気と加湿に要するエネルギー負荷は大幅に小さくなる。
- 6) インフルエンザの空気感染のリスク(インフルエンザ発生量に対する気中生存ウイルス濃度の比)は、加湿を行っているが換気量が少ない北海道より、加湿していないが換気量が多いフィンランドの方が低い。

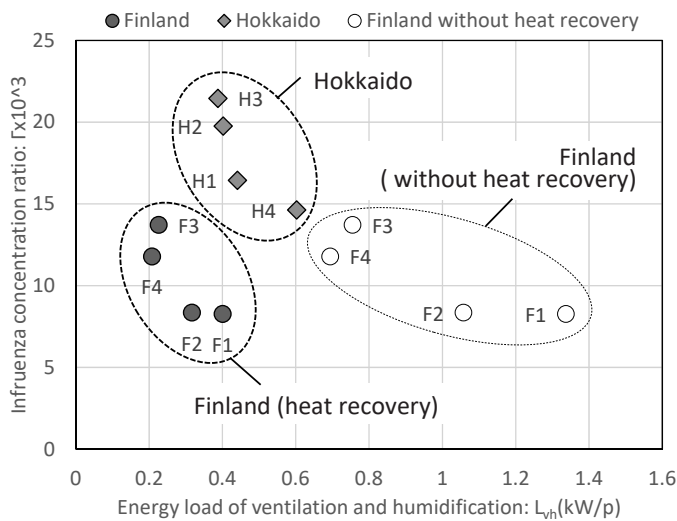


Fig.10 Energy load and influenza concentration ratio Γ

7) 換気及び加湿のエネルギー負荷は、換気量が少ないが熱回収を行っていない北海道より、換気量が多いが顕熱回収を行っているフィンランドの方が低い。

以上のように両国の対象施設を比較した結果、改めて臭気対策、感染症対策を踏まえた換気と加湿の適正化が必要であることが確認される。今後は入居者及び介護者等の施設内での行動調査と光や臭気等を加えた室内環境調査によって生活環境の構造を明らかにし、有効な改善策を明らかにすることが必要であると考える。

本報告は、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）及び科学研究費基盤 A「超高齢・省エネ時代の居住に係る健康リスクとリテラシー効果の推定法」による研究成果の一部である。本研究にご協力ご助言をいただいた、東北大学吉野博教授をはじめとした研究者の方々、フィンランド調査にご協力いただいたヒルトネン久美子氏に謝意を表すと共に、本研究に参加している高齢者施設の施設長をはじめ職員の方々、居住者及びそのご家族に謝意を表する。

注

注1) 「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）（略称：建築物衛生法）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。空気環境については、温度：17～28℃、相対湿度：40%～70%、CO₂濃度：1000ppm以下などが定められている。

注2) 老人福祉法（昭和三十八年法律第百三十三号）第十七条第一項の規定に基づき、特別養護老人ホームの設備及び運営に関する基準（厚生省令第四十六号、平成十一年三月三十一日）

注3) 北海道の対象施設では、日本カノマックス小型風量計 MODEL6750を使用した。フィンランドの対象施設では、125mm角の長さ1.0mダクト中央の中心流速を日本カノマックス Model6035 で測定し、風量計で校正して用いた（Fig. 11）。

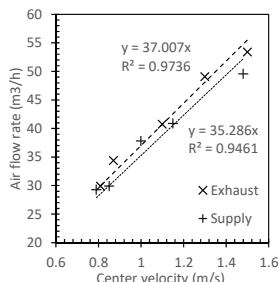


Fig. 11 ダクトの風速と風量

注4)

[1人あたりの換気量]

1人あたりの換気 Q_p ($g[DA]/(h \cdot p)$)は、測定したCO₂濃度から、式1を用いて算出した。1人あたりのCO₂の発生量は、高齢者施設の実態を踏まえ80歳代の男女に2:8の重み付けをして求め、20.6 ($g[DA]/(h \cdot p)$)とした。

$$Q_p = M_{CO_2} / D_{CO_2} \dots\dots\dots \text{式1}$$

ここに、 M_{CO_2} は、1人あたりのCO₂発生量 ($g/(h \cdot p)$)、 D_{CO_2} は、内外のCO₂濃度の差 (g/g)とする。

[1人あたりの加湿量]

対象室における主な水蒸気の発生源は、人体および加湿器であり、主なCO₂の発生源は、人体である。人体からのCO₂発生量と水蒸気発生量は、人体の代謝量に応じて変化する。また、水蒸気発生量は、温度の影響を受ける。文献値にある人体からの水蒸気発生量をもとに、分析対象の入居者の状況と温度の測定結果を踏まえた式2を作成し人体からの水蒸気発生量を算出した。なお、式2は既往研究¹⁴⁾と同様に作成した。

$$K_H = 0.173 \cdot T_i - 2.156 \dots\dots\dots \text{式2}$$

$$H_{p,H_2O} = K_H \cdot H_{p,CO_2} \dots\dots\dots \text{式3}$$

ここに、 K_H ：人体からの水蒸気発生量の係数、 T_i ：室内温度 ($deg-C$)、 H_{p,H_2O} ：人体からの水蒸気発生量 ($g/(h \cdot p)$)、 H_{p,CO_2} ：人体からのCO₂発生量 ($g/(h \cdot p)$)

室内の水蒸気の収支により次式が得られる。

$$D_{H_2O} = (H_{p,H_2O} + M_{p,H_2O}) / Q_p \dots\dots\dots \text{式4}$$

ここに、 D_{H_2O} ：室内外絶対湿度差 ($g/g[DA]$)、 M_{p,H_2O} ：人体以外からの水蒸気発生量 ($g/(h \cdot p)$)、 Q_p ：1人あたり換気量 ($g[DA]/h/p$)

$$\text{式3より、} D_{H_2O} = (K_H \cdot H_{p,CO_2} + M_{p,H_2O}) / Q_p \dots\dots\dots \text{式5}$$

$$\text{式5より、} M_{p,H_2O} / Q_p = D_{H_2O} - K_H \cdot H_{p,CO_2} / Q_p \dots\dots\dots \text{式6}$$

式6より人体以外からの1人あたりの水蒸気発生量 M_{p,H_2O} を算出した。室内湿度を40RH%にする場合の1人あたりの加湿量を $M_{p,H_2O,40\%}$ とすると、

$$M_{p,H_2O,40\%} / Q_p = D_{H_2O,40\%} - K_H \cdot H_{p,CO_2} / Q_p \dots\dots\dots \text{式7}$$

ここに、40RH%の場合の内外絶対湿度差： $D_{H_2O,40\%}$
1人あたりの換気量 Q_p に対する室内CO₂濃度と基準値 $C_{CO_2,STD}$ に制御した場合の1人あたりの換気量 $Q_{p,STD}$ の比を C_v とすると、

$$C_v = Q_{p,STD} / Q_p = D_{CO_2} / D_{CO_2,STD} \dots\dots\dots \text{式8}$$

基準湿度に制御した場合の1人あたりの加湿量 $M_{p,H_2O,40\% \cdot STD}$ は、

$$M_{p,H_2O,40\% \cdot STD} / (C_v \cdot Q_p) = D_{H_2O,40\%} - K_H \cdot H_{p,CO_2} / Q_p \dots\dots \text{式9}$$

式9より、

$$M_{p,H_2O,40\% \cdot STD} = C_v \cdot Q_p \cdot D_{H_2O,40\%} - C_v \cdot K_H \cdot H_{p,CO_2} \text{ 式10}$$

注5)

[インフルエンザ発生量に対する気中生存濃度の比]

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の時間推移から、以下の概算式を作成した。

$$C_{inf}(t) = C_{inf}(0) e^{-\beta \cdot t} \dots\dots\dots \text{式11}$$

ここに、 $\beta = 0.0142 e^{0.4011 X_i}$ 、 X_i ：絶対湿度 ($g/kg[DA]$)、 $C_{inf}(0)$ ：初期インフルエンザ気中生存ウイルス濃度 (n/m^3)

換気回数 N による希釈効果を考慮すると、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/m^3)としている。

$$C_{inf} = M_{inf,p} / (Q_p' + \beta V_p) \dots\dots\dots \text{式12}$$

ここに、 N ：換気回数 ($1/h$)、 $M_{inf,p}$ ：一人当たりのインフルエンザウイルス発生量、 Q_p' ：一人当たり換気量 ($m^3/(h \cdot p)$)、 V_p ：一人当たりの空間容積 (m^3/p)
一人当た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 Γ は、次式となる。

$$\Gamma = C_{inf} / M_{inf,p} = 1 / (Q_p' + \beta V_p) \dots\dots\dots \text{式13}$$

[換気と加湿に係るエネルギー負荷]

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

$$L_{vh} = (k_t \times D_t + k_x \times D_x) \cdot Q_p' \dots\dots\dots \text{式14}$$

ここに、 k_t ：換気顕熱負荷の係数、 k_x ：換気潜熱負荷の係数、 D_t ：内外温度差 ($deg-C$)、 D_x ：内外絶対湿度差 ($g/kg[DA]$)

参考文献

- 1) Ministry of health, labour and welfare: Act on environmental health in buildings, March 20th, 2015 (in Japanese)
厚生労働省“建築物における衛生的環境の確保に関する法律(昭和45年法律第20号)”, 2015.3.20
- 2) Nishimura, N. et al.: A Study of a Method for Maintaining a Sanitary Environment at Welfare Facilities for the Aged, Part 1- Investigation and Results based on Legal Measurement, Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, 179, pp.27-34, 2012. 02. (In Japanese)
西村直哉, 鎌尚樹, 柳宇, 池田耕一, 吉野博, 斉藤秀樹, 斉藤敬子, 鎌倉良太, 小畑美智夫：老人福祉施設における室内環境の衛生管理に関する研究, 第1報-建築物衛生法に基づく実態調査とその結果, 空気調和衛生工学論文集, 179, pp.27-34, 2012. 02.
- 3) Nishimura, N. et al.: A Study on the Way of Maintenance of Sanitary Environment in Welfare Facilities for the Elderly, Part 2 Results of Continuous Measurements and VOC Measurements, Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, 185, pp.11-18, 2012.08. (In Japanese)
西村直哉, 鎌尚樹, 柳宇, 池田耕一, 吉野博, 斉藤秀樹, 斉藤敬子, 鎌倉良太, 小畑美智夫：老人福祉施設における室内環境の衛生管理に関する研究, 第2報-連続測定の結果およびVOC類の測定結果, 空気調和衛生工学論文集, 185, pp.11-18, 2012.08.
- 4) Miyano, N., Aoki, T., Sutoh, C., Mizutani, A., Miyano, A.: tokubetu yougo roujin ho-mu nado wo taisyo toshita situnai onn-situdo kankyo no jitaityousa. dai6hou (Survey of indoor temperature and humidity

- environment for special nursing homes, Part6), Vol.50, No.3, s76, 2013.10 (in Japanese)
- 宮野則彦, 青木哲, 須藤千春, 水谷章夫, 宮野明彦 : 特別養護老人ホーム等を対象とした室内温湿度環境の実態調査 第 6 報, 日本生気象学会雑誌, 第 50 巻, 第 3 号, s76, 2013.10
- 5) Igarashi,Y., Takahashi,K. : On the Improvement of the Thermal Environment in Winter at Nursing Homes with Social Service, Part1 A Survey at Nursing Homes with Humidiater, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan,D-1, pp.997-998,1998.7 (in Japanese)
五十嵐由利子, 高橋啓子 : 特別養護老人ホームにおける冬季の湿度環境改善に関する研究, その 1 加湿設備のある施設における実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.997-998, 1998.7
 - 6) Hisano,S. et al. : Finding a physical environment desirable for elderly residential facilities : A survey of the literature, Journal of health sciences, Hiroshima University, Vol. 3(1), pp.21-36, 2003.11. (In Japanese)
久野真矢, 清水一 : 文献調査から見出した高齢者施設の好ましい物理環境, 広島大学保健学ジャーナル, Vol.3(1), pp.21-36, 2003, 11. Vol.3(1), pp.21-36, 2003.11.
 - 7) Yano,H. et al. : Current conditions and measures of winter infection of the elderly, Geriatric Medicine, 46 (11), pp.1337-1341, 2008.11. (In Japanese)
久野久子, 鈴木幹三 : 高齢者の冬期感染症の現状と対策—冬期における高齢者の施設内感染症の現状と対策 高齢者施設と在宅領域の要介護高齢者への感染予防, Geriatric Medicine, 46(11), pp.1337-41, 2008.11.
 - 8) Inamatsu,T. : Measures against infectious diseases in facilities for the elderly, INFECTION CONTROL, 15(11), pp.1080-1083, 2006.11. (In Japanese)
稲松孝思 : 高齢者施設における感染症対策, INFECTION CONTROL, 15(11), pp.1080-3, 2006.11.
 - 9) Yukie HAYASHI, Toshiharu IKAGA, Shintaro ANDO and Tanji HOSHI : THE IMPACT OF INDOOR THERMAL ENVIRONMENT IN WINTER ON DETERIORATION OF CARE LEVEL IN NURSING HOME RESIDENTS A field study on indoor thermal environment of nursing home and resident's care condition, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No.745, pp.225-233, 2018.3
林侑江, 伊香賀俊治, 安藤真太郎, 星旦二 : 有料老人ホームの冬期室内温熱環境が入居者の要介護度の重度化に及ぼす影響-介護施設の室内温熱環境と入居者の要介護状態に関する実態調査-, 日本建築学会環境系論文集, 第 745 号, pp.225-233, 2018.3
 - 10) Bando,M., Kim,H., Osawa,H. : Survey on Indoor Environment in Nursing Homes for the Elderly, J. Natl. Inst. Public Health, Vol.63, No.4, pp.359-367, 2014.8 (in Japanese)
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, 第 63 巻, 第 4 号, pp.359-367, 2014.8
 - 11) Hoon KIM, Michiko BANDO, Haruki OSAWA and Motoya HAYASHI : MANAGEMENT SITUATION OF INDOOR ENVIRONMENT AND HVAC SYSTEM IN FACILITIES FOR THE ELDERLY, Journal of Environmental Engineering (Transactions of A I J), No.736, pp.589-597, 2017.6
金勲, 阪東美智子, 大澤元毅, 林基哉 : 高齢者施設の室内環境及び空調設備の管理実態に関する全国調査, 日本建築学会環境系論文集, 第 736 号, pp.589-597, 2017.6
 - 12) Hoon KIM, Michiko BANDO, Motoya HAYASHI and Haruki OSAWA : ODOUR ENVIRONMENT AND MANAGEMENT IN FACILITIES FOR THE ELDERLY, Journal of Environmental Engineering (Transactions of A I J), No.746, pp.393-401, 2018.4
金勲, 阪東美智子, 林基哉, 大澤元毅 : 高齢者施設におい環境と対策に関する全国調査, 日本建築学会環境系論文集, 第 746 号, pp.393-401, 2018.4
 - 13) Bando,M. : Maintenance and sanitary management of facilities for the elderly, J.JACA, Japan, Vol.55, No.1, pp.3-9, 2017.5 (in Japanese)
阪東美智子 : 高齢者施設と衛生管理の現状, 空気清浄, 第 55 巻, 第 1 号, pp.3-9, 2017.5
 - 14) Kim,H., Hayashi,M., Kaihara,N., Osawa,H., Bando,M. : Measurement of temperature, humidity and CO₂ concentration and estimation on humidity control in facilities for the elderly in winter, Society of Indoor Environment, Japan, Vol.18, No.2, pp.77-87, 2015.10 (in Japanese)
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, 第 18 巻, 第 2 号, pp.77-87, 2015.10
 - 15) Noriko KAIHARA, Motoya HAYASHI, Hoon KIM, Haruki OSAWA, Michiko BANDO, Kenichi KOBAYASHI, Yoshinori HONMA, Shuang YAN, Koki KIKUTA and Hirofumi HAYAMA : STATE OF INDOOR THERMAL ENVIRONMENT IN SPECIAL NURSING HOMES FOR THE ELDERLY Measurement of indoor temperature and humidity, and analysis of humidity control in winter in cold regions, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No.745, pp.267-276, 2018.3
開原典子, 林基哉, 金勲, 大澤元毅, 阪東美智子, 小林健一, 本間義規, 厳爽, 菊田弘輝, 羽山広文 : 特別養護老人ホームの温熱環境に関する実態調査 寒冷地における冬期の室内温湿度と湿度管理に関する分析, 日本建築学会環境系論文集, 第 745 号, pp.267-276, 2018.3
 - 16) Ministry of the Environment Housing and Building Department, D2 National Building Code of Finland Indoor Climate and Ventilation of Buildings Regulations and Guidelines 2003
 - 17) Motoya Hayashi : Improvement of indoor humidity with consideration of infection control in facilities for the elderly, Journal of the National Institute of Public Health, Vol.66 No2, pp.163-171, April 2017 (in Japanese)
林基哉 : 高齢者施設の感染症予防を踏まえた室内湿度の改善. 保健医療科学. 2017 66(2), pp.163-171, 2017.4
 - 18) G.J.Harper, Airborne micro-organism : Survival tests with four virus J.Hyg : pp.479-486, 1961.
 - 19) Thomas P. Weber, Nikolaos I. Stilianakis, : Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: A critical review, Journal of infection 57. pp.261-373, 2008
 - 20) Jeffrey Sharman, Melvin Kohn : Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality PNAS vol.106 no9; pp.3243-3248, March 3 2009.

ANNUAL CHARACTERISTICS OF INDOOR LIVING ENVIRONMENT IN FACILITIES FOR THE ELDERLY IN COLD REGIONS

State of indoor thermal and air environment at Espoo in Finland and Sapporo in Hokkaido

Motoya HAYASHI^{*1}, *Yoshinori HONMA*^{*2}, *Shuang YAN*^{*2}, *Koki KIKUTA*^{*3}, *Hirofumi HAYAMA*^{*4},
Genku KAYO^{*5}, *Nobue SUZUKI*^{*6}, *Noriko KAIHARA*^{*7}, *Hoon KIM*^{*8},
Michiko BANDO^{*8}, *Kenichi KOBAYASHI*^{*9} and *Haruki OSAWA*^{*10}

^{*1} Research Managing Director, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

^{*2} Prof., Faculty of Human Life Science, Miyagigakuin Women's University, Dr.Eng.

^{*3} Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr.Eng.

^{*4} Prof., Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr.Eng.

^{*5} Assoc. Prof., Faculty of Environmental Studies, Tokyo City University, Dr.Eng.

^{*6} Freelance

^{*7} Senior Researcher, Dept. of Environmental Health, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

^{*8} Chief Senior Researcher, Dept. of Environmental Health, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

^{*9} Chief Senior Researcher, Dept. of Health and Welfare Services, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

^{*10} Former Researcher, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

The aim of this study is to verify the annual characteristics of indoor environments in facilities for the elderly in cold regions. The temperatures, humidity and CO₂ concentrations were measured in rooms and common spaces of 4 facilities for the elderly in Finland Espoo and 4 facilities for the elderly in Hokkaido Sapporo through a year. At first, the daily characteristics and the annual characteristics of indoor environments were analyzed. Secondly, the required humidification rate to control the indoor relative humidity to meet 40RH% (SEHMB: Standard for Environment and Health Management of a Building) were calculated using the results of the long-term measurements. The required humidification rates on condition that carbon dioxide concentrations are same as the measured concentrations and the rate on condition that the concentration controlled to 800ppm were calculated and the results of Finnish facilities and those of Hokkaido's facilities were compared. Thirdly, the energy loads for ventilation and humidification and the influenza concentrations were calculated with these conditions on ventilation. The results showed the followings.

1. In winter, the outdoor temperatures of Finnish facilities are not so different from those of Hokkaido's facilities. However in mild or cooling seasons, the outdoor temperatures and absolute humidity are higher in Hokkaido than in Finland.
2. Temperatures are well controlled in winter by floor heating systems in both Finnish facilities and Hokkaido's facilities.
3. Even if the portable humidifiers were used in Hokkaido's facilities, the humidity is lower than the standard 40RH%. The indoor humidity is lower in Finnish facilities and the indoor absolute humidity is same as the outdoor in Finnish facilities where humidifiers are not used at all.
4. In summer, the absolute humidity decreases in Hokkaido's facilities where cooling systems were used in the common spaces. However the absolute humidity did not decrease in Finnish facilities.
5. The concentrations of carbon dioxide were enough lower than the SEHMB 1000ppm in all facilities. The concentrations change with the dwellers behaviors especially in Hokkaido's facilities where they open windows and operate ventilation fan in order to control smell and risk of influenza infection.
6. Because the ventilation rate are kept higher in Finish facilities, the risk of influenza infection is lower in Finish facilities than in Hokkaido's facilities.
7. Because heat recovery systems are used in Finish facilities, the energy load of humidification and ventilation is kept lower in Finish facilities.

These results showed that it is necessary to control both ventilation and humidification considering energy loads and influenza infection risks.

(2018年10月10日原稿受理, 2019年3月20日採用決定)