

教室の換気効果実験の結果概要

目的

コロナ対策の換気について、特に寒い冬場において、どのような方法が効果的で実現可能かを探る。
現在、換気については、「①気候上可能な限り常時(10cm~20cm 程度、廊下側と窓側の対角が効果的)、②困難な場合はこまめに(30分に1回以上、数分間程度、窓を全開する)」といった方法が示されている¹⁾が、いずれについても寒いとの意見、特に冬場にあって実現可能なかとの状況にある。一方、そもそも換気装置(ロスナイ。温度ロスを少なくしながら、外気と換気を行う装置)がすべての教室に設置されている状況にあり、ロスナイのみでは効果が見込めないのか、①についてもどの程度(何cm、何分間)開ければよいのかを具体的に明らかにする。

実験についての基本的な考え方

コロナ対策における換気とは、コロナウイルスを含むマイクロ飛沫が空気中を漂うことから、換気によって室外に排出し、漂い続けるマイクロ飛沫の量を少なくすることが目的と考えられる。

一般に、「常時の換気を行うか、これが困難な場合には30分に1回以上の数分間の窓全開」といった方法がとられているが、これによってどの程度の換気がなされるのか、なされるべきなのかについては示されていない。常時の窓開けにしても、外気の風速、風向きなどによって換気量は異なるため、明確に示すことは困難であることも予想される。

一方、30分に一度の窓全開の換気が一つの方法として示されていることから、これと比較して換気効果が上回れば適切な換気が行われていると判断することが可能と思われる。30分に一度の窓全開による換気では、最大限換気がなされたとしても30分に1回室内の空気の全部が入れ替わるということから、少なくとも30分に1回、室内の空気が入れ替わるだけの換気量が確保されていれば、効果的な換気と判断できると考えることにする。

なお、30分に1回の換気方法では、30分間は徐々に増えるマイクロ飛沫が漂い続けるとも考えられ、常時換気によって空気が流れる方が、同じ換気量であっても安全性がより高いと考えられる。

実験は、実際の教室において、授業開始時と測定時のCO₂濃度の変化を捉え、これによって換気効果を推測し比較する。また、学生の寒さに関して、座席位置と寒さについてアンケートを依頼し、授業後に回収して集計する。

換気量の計算方法

- ・換気量とCO₂濃度変化との関係については、一般に用いられているザイデルの式(1)を用いる。
- ・在室人数を考慮するため M を(2)式で置き換える。
- ・各時刻の C_t 、 C_o 、 C_s 、 V 、 N は実測で得た値を採用し、 k は JIS A1406(屋内換気量測定方法)²⁾ 及びコントロール実験より、15l/h・人とする。なお、これは、JIS A1406の示す13~23l/h・人のうち低めの値となり、これによる換気効果の推定も低め(控え目)となる。
- ・以上により、式を満たす Q を求めて換気量の推計値とする。

$$C_t = C_o + (C_s - C_o)e^{-\frac{Q}{V}t} + \frac{M}{Q}\left(1 - e^{-\frac{Q}{V}t}\right) \times 10^6 \quad \dots (1)式$$

$$M = kN \quad \dots (2)式$$

C_t : 時間経過後の CO2 濃度[ppm] C_o : 外気の CO2 濃度[ppm]
 C_s : 開始時の CO2 濃度[ppm] Q : 換気量[m3/h]
 V : 教室の容積[m3] t : 経過時間[h]
 M : CO2 発生量[m3/h] k : 1人あたり CO2 発生量[m3/h]
 N : 在室人数[人]

※ 式中の e は、「自然対数の底(ネイピア数、 $e=2.718\cdots$)」を表す。

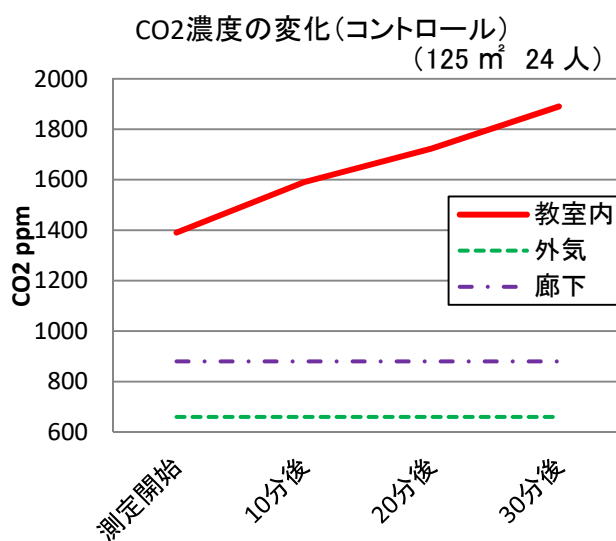
実験0(コントロール)

305 講義室、125 m²(容積 375m³)、人数 24 人(コロナ時定員 54 人、通常定員 108 人)、1・2 時限(8:40 ~10:10)。

授業中に人が排出する CO2 量を測定するため、換気等を行わない状態で、10 分毎に講義室の前方窓側、後方廊下側、前方廊下側の3カ所で計測。

濃度の平均は、測定開始時 1,390ppm、10 分後 1,590ppm、20 分後 1,723ppm、30 分後 1,890ppm となり、30 分で 500ppm の増加。一人あたりの CO2 排出量は 15.6l/h・人となった。

これは、JIS A1406 の示す 13~23l/h・人のうち低めの値であるが、授業中の活動が比較的安静状態に近い低活動状態であるためと考えられる。



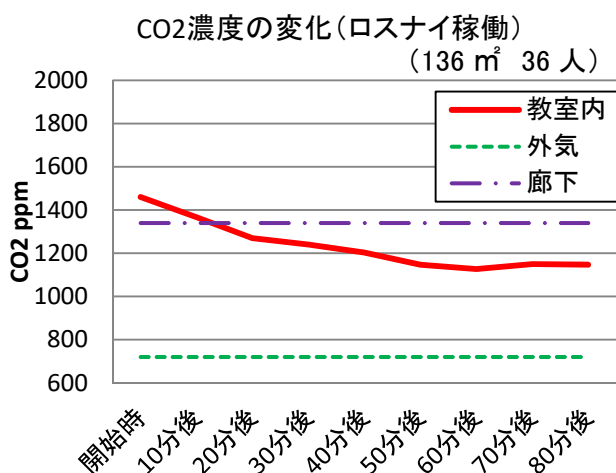
実験1(ロスナイ稼働)

404 講義室、136 m²(容積 408m³)、人数 36 人(コロナ時定員 53 人、通常定員 106 人)、7・8 時限(14:20~15:50)、外気濃度 720ppm、外気温-2℃、室内温度 22℃。

開始直前に窓、ドアを閉じ、ロスナイを常時稼働。10 分毎に講義室の前方窓側、後方廊下側、前方廊下側の3カ所で計測。

濃度の平均は、開始時 1,460ppm、30 分後 1,240ppm、60 分後 1,127ppm、80 分後 1147ppm となり、換気量の推計値は 1,251m³/h となり、20 分程度で全空気を給排気することとなる。

なお、この教室のロスナイの換気能力の設計値は、1時間あたり 1,620m³(540m³/h×3 台)であり、実測値と大きな差はなかった。



室内温度は、開始時 22°C、終了時 26°Cであり、学生の寒さについては、「ちょうどよい」「少し暑い」という回答が多数であった。

実験2(対角窓開け常時換気)

404 講義室、面積 136 m²(容積 408m³)、人数 35 人(コロナ時定員 53 人、通常定員 106 人)。5・6 時限(12:40~14:10)、外気濃度 730ppm、廊下濃度 1,080ppm、外気温-2°C、廊下温度 18°C、室内温度 20°C。

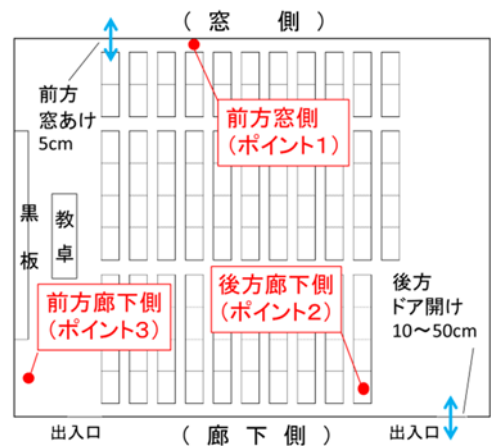
廊下側に2カ所のドアがあるが、廊下が寒いとの意見があることから、なるべく開放しない方法での実験を実施。ロスナイがない部屋での効果を考慮し、ロスナイは稼働させず。

窓は教室前方に 5cm、廊下側は対角線上に相当する後方ドアのみ、開始時 10cm、30 分後 30cm、60 分後 50cm の3パターンとして観測。

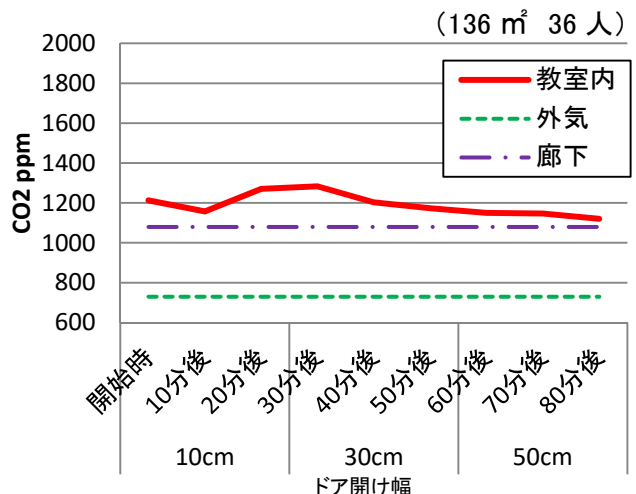
開始時の濃度 1,213ppm、10cm あけ 30 分後 1,283ppm、30cm あけ 60 分後 1,150ppm、50cm あけ 80 分後 1,120ppm となった。1時間の換気量の推計値は、10cm あけ 1,080m³、30cm あけ 1,373m³、50cm あけ 1,335m³であり、10cm あけでも23分、30cm と50cm あけでは 18 分程度で全空気を給排気している。

室内温度は、開始時 20°C、30 分後 24°C、60 分後 22°C、終了時 22°Cであり、学生の寒さについては、ロスナイ稼働と比べ、後方ドア近くの座席にいた学生から「少し寒い」との回答が多かった。ドアあけ幅の大きさによる違いはアンケートから確認できなかったが、後方ドアの付近にいた担当者からは、10cm あけではあまり寒さを感じなかったが、30cm、50cm と幅が大きくなるにつれ寒さを感じたということであった。

測定箇所平面図(404 講義室)



CO2濃度の変化(対角窓開け常時換気)



考察

ロスナイ稼働、対角線の窓ドア開けのいずれも、30 分に1回の窓全開と比べ、それ以上に空気を入れ替える効果があると確認された。

換気量の計算では、室内の空気がすべて外気と入れ替わると仮定している。対角線の窓ドア開けでは、外気と廊下の空気が実際にどのように入れ替わっているかわからないが、それを含めても、外気よりも廊下の濃度が大きいので、換気量は外気のみと仮定した場合よりも大きくなる。なお、実験を行った講義室の暖房はエアコンで、直接部屋の空気を暖めているため、これによる空気の入れ替え効果はない。

また、ロスナイはフィルタ清掃などの状況によって、窓ドア開けも外気の風速、風向きや内外の温度差によって換気量が異なるため、どの教室でも同じとはいえない。それでも、ロスナイは、メンテナンスされていれば設計値に近い量の空気の入れ替えを行うと考えられるため、メンテナンスを行い、ロスナイを稼働して

の換気が確実といえる。

ところで厚生労働省の資料³⁾によると、感染症を防止するための換気量として、1人・1時間あたり30m³という基準が、一定の合理性を有するとされている。この基準と実験をもとに推計した換気量とを比較すると、ロスナイ稼働の場合で30m³/h・人×36人=1,080m³/h、同じく対角線の窓ドア開けの場合で1,050m³/hと、いずれも推計値(1,251m³/h、1,080m³/h)が基準を上回り、必要な換気量は確保されているといえる。

一方、今回の実験では、三密回避を想定した教室定員数(通常定員の約半数)に対して、実際の教室内の人数は少なかった(45%~68%)。このため定員数いっぱいで使用すると、CO₂排出量が増し、ロスナイ及び常時換気だけでは1人・1時間あたり30m³の基準を満たす換気効果が得られない場合も考えられる。このため、1人・1時間あたり30m³の基準による場合は、換気の基準から見た定員数(ロスナイ定員数)の再設定を行い、これを上回る人数が使用する場合には、ロスナイに加えて常時換気を行うなど工夫する必要がある。なお、常時換気装置が設置されていても、部屋ごとに換気装置と換気能力が異なると考えられるため、これらについても考慮する必要がある。

その上で、

①ロスナイ定員数内での使用の場合 ⇒ ロスナイ換気のみ

②ロスナイ定員数を上回る人数で使用する場合 ⇒ ロスナイ換気に加え、常時マド 5cm×廊下側ドア 10cm の対角線開けを実施

を行うことを基準とすることが可能であると考えられる。

その他

類似する測定事例として「北海道の冬季の寒さに配慮した学校の換気方法」を別添1に示す(http://www.hro.or.jp/list/building/koho/develop/gakko_kannki_syosai.pdf)。主として小中高等学校を念頭においたものと見られ、強制換気装置がない場合の換気方法について詳細にまとめられている。この中の参考グラフによると、1時間のうち10分間の窓開けと比較して、換気扇(本学のロスナイ強制換気装置ではなく壁に設置のファン式の一般的な換気扇と思われる)及び窓40cmの常時換気の方が換気効果が上回ることが示されており、本実験と同様の結果となっている。

[参考文献]

- 1) 文部科学省:学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル(2020.12.3 Ver.5)
- 2) 日本工業標準調査会:JIS A1406¹⁹⁷⁴ 屋内換気量測定方法(炭酸ガス法)、2010
- 3) 厚生労働省:商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について、2020年3月30日

【本件担当部署】

(所 属)	施設環境部施設企画課
(役 職 ・ 氏 名)	施設企画グループ係長 黒田 誠宏(くろだ のぶひろ)
(電 話 ・ FAX)	0172-39-3064
(E - m a i l)	jm3064@hirosaki-u.ac.jp

表: 実験データ

実験0(コントロール)

室名: 305講義室 定員: 54人
 面積: 125㎡ 室外のCO2濃度[ppm]
 容積: 375m3(天井高3.0m) 外気 660
 人数: 24人(教員1人、学生21人、測定2人) 廊下 880

経過時間 (分)	室内のCO2濃度 [ppm]				増減 (30分)	CO2発生量[ℓ]	
	ポイント1	ポイント2	ポイント3	平均		30分	1人当たり
0	1,340	1,360	1,470	1,390	500	188	7.8
10	1,490	1,620	1,660	1,590			
20	1,650	1,750	1,770	1,723			
30	1,830	1,880	1,960	1,890			
1時間あたり					1,000	375	15.6

実験1(ロスナイ稼働)

室名: 404講義室 定員: 53人
 面積: 136㎡ 室外のCO2濃度[ppm]
 容積: 408m3(天井高3.0m) 外気 720
 人数: 36人(教員1人、学生33人、測定2人) 廊下 1340

時刻	経過時間 (分)	室内のCO2濃度 [ppm]				増減	左記のCO2濃度の変化値に基づく1時間あたり換気量の推計値[m3/h]									
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	平均		呼気中CO2排出量 13[ℓ/h・人]の場合		" " 15[ℓ/h・人]の場合 [コントロール近似値]		" " 18[ℓ/h・人]の場合		" " 20[ℓ/h・人]の場合		" " 23[ℓ/h・人]の場合	
							推定値	平均	推定値	平均	推定値	平均	推定値	平均	推定値	平均
14:20	0	1,460	1,490	1,430	1,460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14:30	10	1,320	1,460	1,320	1,367	1,008	1,112	1,113	1,251	1,270	1,463	1,375	1,606	1,533	1,823	
14:40	20	1,260	1,300	1,250	1,270	1,111		1,227		1,404		1,522		1,700		
14:50	30	1,210	1,300	1,210	1,240	1,067		1,191		1,378		1,504		1,695		
15:00	40	1,170	1,280	1,160	1,203	1,087		1,220		1,424		1,561		1,770		
15:10	50	1,140	1,170	1,130	1,147	1,181		1,333		1,566		1,725		1,966		
15:20	60	1,130	1,170	1,080	1,127	1,204		1,367		1,618		1,788		2,046		
15:30	70	1,130	1,230	1,090	1,150	1,122		1,280		1,521		1,684		1,931		
15:40	80	1,100	1,230	1,110	1,147	1,118		1,279		1,525		1,691		1,942		
15:50	90	—	—	—	—	—		—		—		—		—		

※換気量の推計値は、開始時(0分)と各時刻のCO2濃度をもとに1時間あたりの換気量を推計し、その平均を採用する。

表: 実験データ(続き)

実験2(対角窓開け常時換気)

室名: 404講義室
 面積: 136㎡
 容積: 408m³(天井高:3.0m)
 人数: 35人(教員1人、学生32人、測定2人)

定員: 53人
 室外のCO₂濃度[ppm]
 外気 730
 廊下 1080

時刻	経過時間(分)	ドア開放幅	ドア開放時間(分)	室内のCO ₂ 濃度[ppm]					左記のCO ₂ 濃度の変化値に基づく1時間あたり換気量の推計値[m ³ /h]									
				ポイント1	ポイント2	ポイント3	平均	増減	呼気中CO ₂ 排出量 13[l/h・人]の場合		15[l/h・人]の場合 [コントロール近似値]		18[l/h・人]の場合		20[l/h・人]の場合		23[l/h・人]の場合	
									推計値	平均	推計値	平均	推計値	平均	推計値	平均	推計値	平均
12:40	0	10cm	0	1,130	1,310	1,200	1,213	70	—	939	—	1,080	—	1,291	—	1,432	—	1,643
12:50	10		1,140	1,180	1,150	1,157	1,308		1,464		1,698		1,854		2,089			
13:00	20		1,220	1,330	1,260	1,270	749		884		1,086		1,221		1,422			
13:10	30		1,260	1,310	1,280	1,283	760		892		1,090		1,221		1,417			
13:10	30	30cm	0	1,260	1,310	1,280	1,283	△ 133	—	1,227	—	1,373	—	1,593	—	1,741	—	1,963
13:20	40		1,180	1,230	1,200	1,203	1,277		1,416		1,624		1,763		1,971			
13:30	50		1,150	1,200	1,170	1,173	1,206		1,352		1,572		1,719		1,941			
13:40	60		1,140	1,150	1,160	1,150	1,197		1,351		1,584		1,741		1,978			
13:40	60	50cm	0	1,140	1,150	1,160	1,150	△ 30	—	1,163	—	1,335	—	1,592	—	1,763	—	2,021
13:50	70		1,150	1,180	1,110	1,147	1,105		1,272		1,523		1,691		1,942			
14:00	80		1,080	1,150	1,130	1,120	1,222		1,397		1,660		1,835		2,100			
14:10	90		—	—	—	—	—		—		—		—		—			

※換気量の推計値は、開始時(0分)と各時刻のCO₂濃度をもとに1時間あたりの換気量を推計し、その平均を採用する。

図: アンケート集計結果

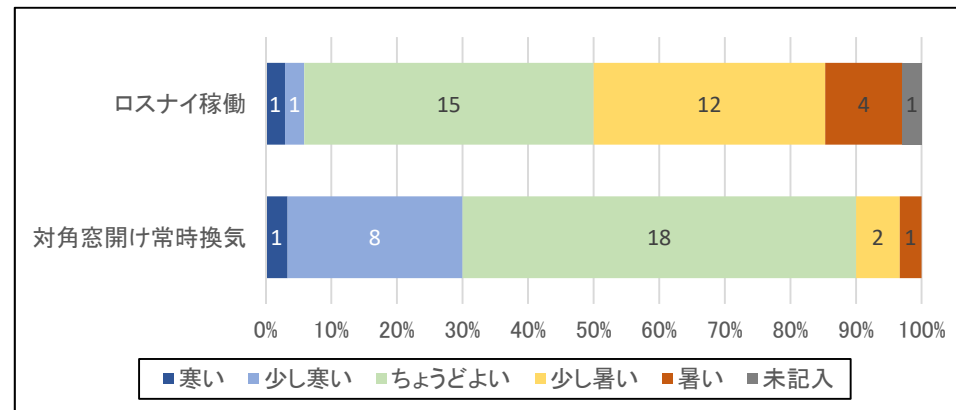
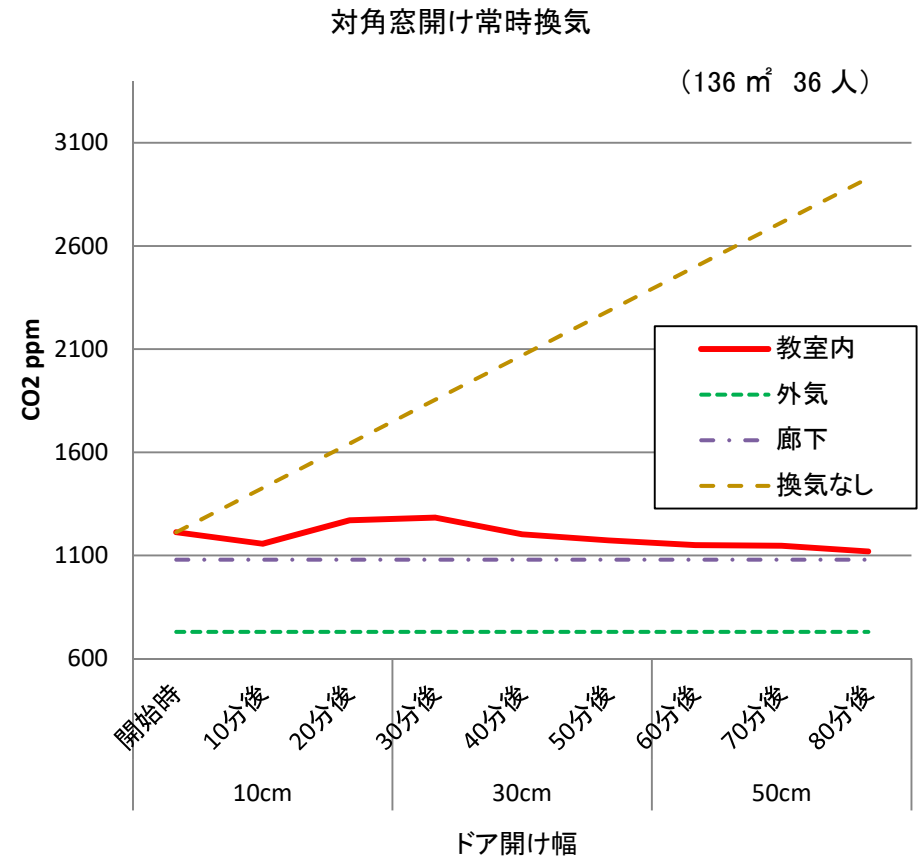
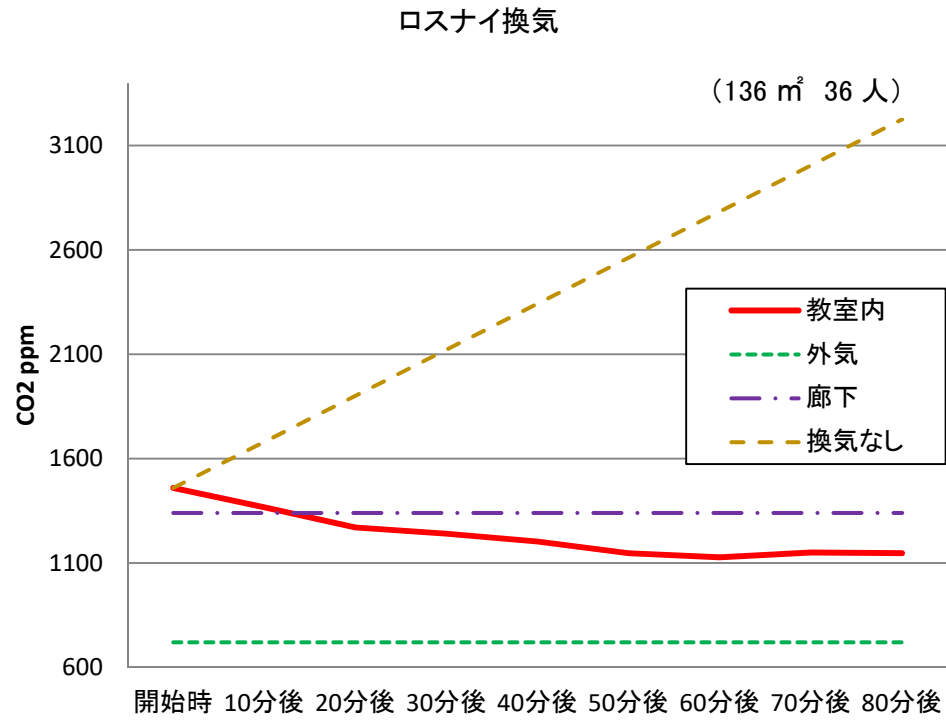


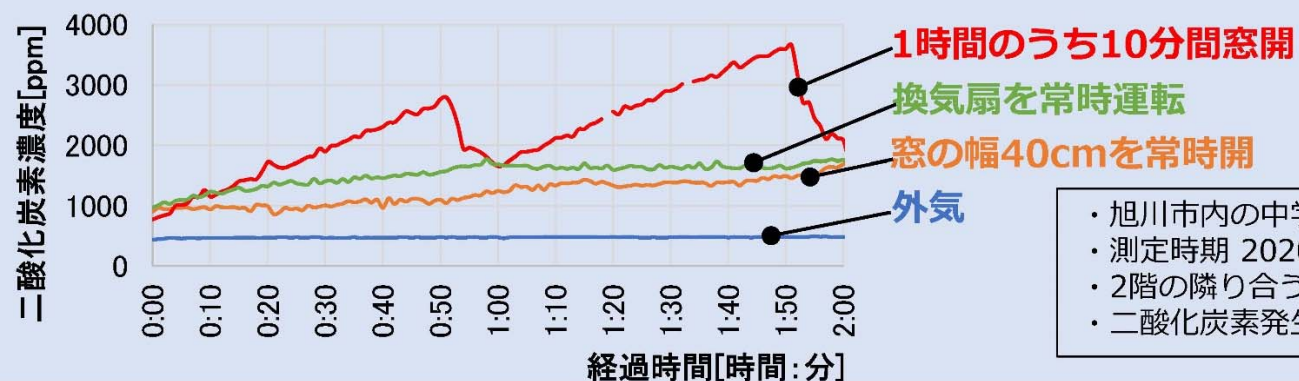
図: CO2 濃度の変化 (換気なしの場合の推計を追記)



類似の計測事例

【参考】換気の基本は常時換気です

- ・換気は、間欠換気より、換気扇の常時運転や2方向の窓を常時開けることが有効です。



- ・旭川市内の中学校で測定
- ・測定時期 2020年10月上旬
- ・2階の隣り合う教室で比較
- ・二酸化炭素発生量480L/h

【作成】

地方独立行政法人北海道立総合研究機構建築研究本部 北方建築総合研究所

【協力機関】 北海道、旭川市

【協力有識者】 北海道科学大学 教授 福島 明
北海道大学 教授 林 基哉、准教授 森 太郎、准教授 菊田 弘輝
札幌市立大学 教授 齊藤 雅也

お問合せ先 (地独)北海道立総合研究機構建築研究本部 企画調整部企画課
TEL : 0166-66-4218

20201225

(地独)北海道立総合研究機構建築研究本部北方建築総合研究所:「北海道の冬季の寒さに配慮した学校の換気方法」
(http://www.hro.or.jp/list/building/koho/develop/gakko_kannki_syosai.pdf)

商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について

令和2年3月30日

1 はじめに

- (1) 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の「新型コロナウイルス感染症対策の見解」（令和2年3月9日及び3月19日公表）によると、これまで集団感染が確認された場所で共通するのは、①換気の悪い密閉空間、②多くの人が密集していた、③近距離（互いに手を伸ばしたら届く距離）での会話や発声が行われたという3つの条件が同時に重なった場合であるとしている。
- (2) この見解を踏まえ、リスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するための方法について、新型コロナウイルス厚生労働省対策本部では、多数の人が利用する商業施設等において、「換気の悪い空間」に該当しないようにするためには、どのような換気等の措置を行えば良いのかについて、有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、その結果を以下のとおりまとめた。

2 建築物内の換気による感染症予防の効果に関する文献

- (1) 米国保健工学会（ASHE(2013)）は、建築物内の換気による感染症予防の効果に関する文献をレビューしている（ASHE(2013)p.2）。その中で、Liらは、はしか、結核（M.tb）、水疱瘡、インフルエンザ、天然痘やSARSといった感染症の伝染や拡散と換気との間に関連があること示す、強力な十分なエビデンスがあるとしている一方で、病院、学校、事務所、住宅及び隔離施設における、求められる最小の換気量に関する定量的な研究は十分でないとしている（Li et. al (2007)）。
- (2) 国際保健機関（WHO (2009)）は、換気基準の根拠として、「結核とはしかの拡散」と「換気回数（部屋の空気がすべて外気と入れ替わる回数。以下同じ。）が毎時2回未満の診察室」の間に関連が見られたとしている（Menzies et al. (2000), Bloch et al.(1985)）。
- (3) 国内の文献では、豊田（2003）が中学校での結核集団感染において、教室の換気回数が毎時1.6～1.8回と少なかったことを指摘している。また、渡瀬(2010)は、結核の感染リスクと気積の関係を調べ、接触時間が1時間の場合、気積が20m³を下回ると感染のリスクが高まることを示した。国外の文献と矛盾はないが、換気回数に関する定量的な研究は十分でない。

3 CDC、WHOの隔離施設等の換気等の基準

- (1) 米国疾病予防管理センター（CDC(2003)）は、感染症の患者を隔離する医療施設（負圧施設）の換気の基準として、以下を示している。
 - ア 換気回数が毎時12回（新規の建物）、毎時6回（既存の建物）を上回ること

イ 排気を屋外に出すか、高性能粒子フィルター（HEPA フィルター）を使って循環させること

(2) WHO (2009)は、飛沫や飛沫核による感染症を扱う保健施設における自然換気の基準を示している（WHO (2009)p.21）。

ア 新築の隔離施設における換気風量が、1患者あたり 160 リットル毎秒（576m³毎時）（最小で、1患者あたり 80 リットル毎秒（288m³毎時）

イ 一般及び外来診療病棟の換気風量が、1患者あたり 60 リットル毎秒（216m³ 毎時）

ウ 通路などの換気風量が、気積 1 m³あたり 2.5 リットル毎秒（9 m³ 毎時）

(3) WHO (2009)は、この数字の根拠として、CDC の基準である毎時 12 回の換気回数が、4×2×3m³の部屋において1患者あたり 80 リットル毎秒（288m³ 毎時）と同等であるため、自然換気のための安全率としてそれを2倍して1患者あたり 160 リットル毎秒（576m³ 毎時）としたとしている（WHO (2009)p.23）。

4 ビル管理法の基準

(1) 建築物における衛生的環境の確保に関する法律（ビル管理法）では換気回数ではなく、室内の一酸化炭素濃度(10ppm) や、二酸化炭素濃度 (1000ppm) の基準を設定することで、居室の適切な換気量を確保することを求めている。

(2) この基準を実現するため、空気調和・衛生工学規格では、人体から発生する二酸化炭素に基づき、1人あたりの必要換気量を約 30m³ 毎時とし、居室の在室密度に応じ、必要換気量を示している（表1）（空気調和・衛生工学会(1972)）。

(3) ビル管理法では、相対湿度についても基準（40%～70%）がある。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ことから、湿度下限値を40%としたものである（厚生労働省(2001)）。

(4) 換気量は外気導入用のファンの能力に依存する。外気導入用のファンの能力に余裕があれば、外気導入量をある程度増加できる可能性がある。しかし、大幅に増加させるためには、設備の改修が必要となるため、短期間で実施することは困難である。

表1 居室の必要換気量参考値

番号	室名	標準在室密度 m ² /人	必要換気量 m ³ /m ² h
1	事務所（個室）	5.0	6.0
2	事務所（一般）	4.2	7.2
3	銀行営業室	5.0	6.0
4	商店売場	3.3	9.1
5	デパート（一般売場）	1.5	20.0
6	デパート（食品売場）	1.0	30.0
7	デパート（特売場）	0.5	60.0
8	レストラン・喫茶（普通）	1.0	30.0
9	レストラン・喫茶（高級）	1.7	17.7
10	宴会場	0.8	37.5
11	ホテル客室	10.0	3.0
12	劇場・映画館（普通）	0.6	50.0
13	劇場・映画館（高級）	0.8	37.5
14	休憩室	2.0	15.0
15	娯楽室	3.3	9.0
16	小会議室	1.0	30.0
17	バ	1.7	17.7
18	美容室・理髪室	5.0	6.0
19	住宅・アパート	3.3	9.0
20	食堂（営業用）	1.0	30.0
21	食堂（非営業用）	2.0	15.0

備考 必要換気量は、室内炭酸ガス許容濃度 0.1% となるよう、1人あたりの換気量を 30 m³/h とし て算出した。

ビル管理法における空気調和設備を設けている場合の空気環境の基準

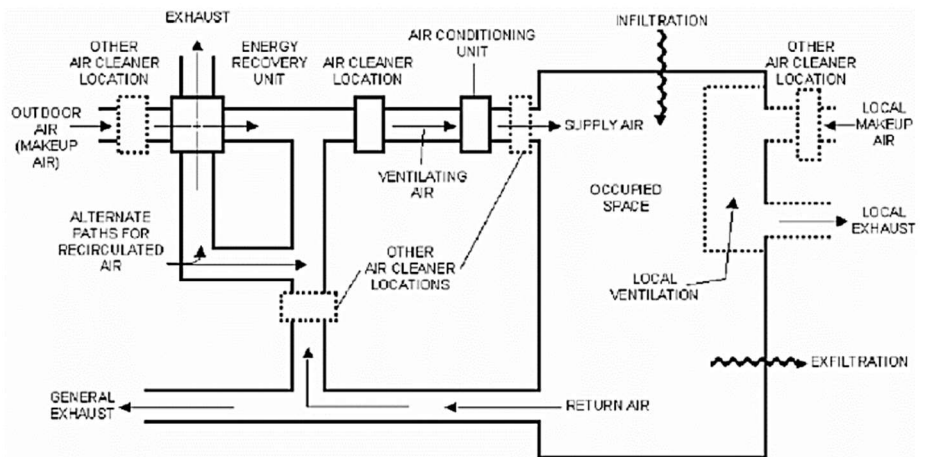
ア 浮遊粉じんの量	0.15 mg/m ³ 以下
イ 一酸化炭素の含有率	100 万分の 10 以下 (=10 ppm 以下) ※特例として外気がすでに 10ppm 以上ある場合には 20ppm 以下
ウ 二酸化炭素の含有率	100 万分の 1000 以下 (=1000 ppm 以下)
エ 温度	(1) 17℃以上 28℃以下 (2) 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
オ 相対湿度	40%以上 70%以下
カ 気流	0.5 m/秒以下
キ ホルムアルデヒドの量	0.1 mg/m ³ 以下 (=0.08 ppm 以下)

※機械換気設備を設けている場合は、上記の表のアからウまで、カ及びキを遵守する必要がある。

5 HEPA フィルターによる室内空氣の循環について

(1) CDC(2003)は、排気を屋外に出せない場合は、高性能粒子フィルター (HEPA フィルター) で空氣を浄化した上で、空氣の室内循環を認めている(CDC(2003))。ただし、ここで想定されている HEPA フィルターは、十分な換気能力を持つ固定式の機械換気装置の配管に直結されたものである ((CDC(2003) p.28 図参照)。

(2) 移動式の HEPA フィルターユニットについて、CDC(2003)は、①全体換気がない部屋における一時的な換気、②換気装置が適切な風量を提供できない場合の補強、③空氣の流れの効率性の向上を図る場合には、使用できるとしている。



る。ただし、その有効性は、部屋の構造、家具等の配置、ユニットの設置位置、吸排気口の位置等に依存するとしている (CDC(2003) p.30)。Qian ら(2010)は、模擬の隔離病室に毎時 535m³の風量をもつ 1 台の移動式 HAPA フィルターユニットを設置し、その効果を検証した。それによると、フルパワーで運転したときには良好な空氣の流れを作り出し、換気回数も毎時 2.5~5.6 回に達したが、風量を落とすと、空氣がよどむ箇所が発生したとしている。さらに、騒音がユニット付近で 81.3dB と非常に大きかったとしている (Qian ら(2010))。

6 考察

- (1) 専門家会議の見解における「換気の悪い密閉空間」とは、一般的な建築物の空気環境の基準を満たしていないことを指すものと考えられる。その意味では、ビル管理法の基準に適合させるために必要とされる換気量（一人あたり必要換気量約 30m^3 毎時）を満たせば、「換気の悪い密閉空間」には当てはまらなると考えられる。なお、一人あたりの必要換気量を確保することで、「手の届く距離に多くの人がいる」、「近距離での会話や発声がある」という条件の改善にも寄与することにも留意する必要がある。
- (2) 一方で、CDC や WHO による急性呼吸機感染症(ARI)患者の隔離施設の基準の根拠とされる文献においては、換気回数 2 回毎時未満の施設とそれ以上の換気能力を有する施設を比較した研究(Menzies et al (2000))であることから、隔離施設の基準（換気回数が毎時 12 回（新規建物）、毎時 6 回（既存建物）は、それぞれ、6 倍、3 倍の安全率を有している。したがって、一般商業施設等に適用する場合の安全率としては、厳しすぎるといえる。
- (3) 仮に、換気回数を毎時 2 回とした場合、一人あたり換気量は 48m^3 毎時（12ACH の 288m^3 /毎時の $1/6$ ）であり、ビル管理法の基準（一人あたり必要換気量約 30m^3 毎時）の約 1.5 倍となり、それほど大きな違いはない。CDC の既存建築物の基準である毎時 6 回の換気回数とした場合、一人あたり換気量は 144m^3 毎時（12ACH の 288m^3 /毎時の $1/2$ ）となり、ビル管理法を踏まえた換気量の約 5 倍となる。
- (4) 約 5 倍の換気量を確保するためには、外気導入用のファンの能力の限界から、空調設備の改修が必要となる場合がほとんどであり、実施は困難である。仮に、この量の外気取り入れが可能な場合であっても、空調設備の容量の関係で、温度や相対湿度の基準を守ることが難しくなる。相対湿度が低下すれば、飛沫中のインフルエンザウイルスを不活性化する時間が長くなるなど、感染症予防としては逆効果となるというトレードオフの関係にある。
- (5) 以上から、一人あたり必要換気量約 30m^3 毎時という基準は、感染症を防止するための換気量として、実現可能な範囲で、一定の合理性を有する。ただし、この換気量を満たせば、感染を完全に予防できるということまでは文献等で明らかになっているわけではないことに留意する必要がある。また、今後の知見の蓄積により、よりよい基準に見直していく必要がある。
- (6) HEPA フィルターを用いた室内空気の循環については、通気抵抗が大きいため、一般の建築物の空調設備で行うことは難しい。このため、外気を取り入れによる換気が現実的である。なお、市販されている移動式の HEPA フィルターが装着されている空気清浄機は、機械換気装置を補完する機能がある可能性がある。しかし、Quin ら(2010)が使用したような大風量（毎時 533m^3 ）であれば部屋全体の空気の流れを作ることは可能であるが、そのような大風量の機器を導入することは容易ではなく、また、騒音の面でも、商業施設での運用は難しい。さらに、市販されている空気清浄機については、

一般的に風量が小さく、装着されているフィルターの性能もまちまちであり、部屋全体をカバーする空気の流れを適切に作れるかどうか不明である。このため、感染症予防の効果があるかどうかを評価することは困難であり、現時点では、移動式の空気清浄機の使用を一律に推奨することは難しい。今後、メーカーの協力を得て、感染症対策としての換気効果の実証試験などを実施することが望まれる。

7 まとめ

専門家会議の見解では、集団感染が確認された場所で共通する3条件が示されている。新型コロナウイルス厚生労働省対策本部では、この見解を踏まえ、リスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するため、多数の人が利用する商業施設等においてどのような換気を行えば良いのかについて、有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、推奨される換気方法をまとめた。

- (1) ビル管理法における空気環境の調整に関する基準に適合していれば、必要換気量（一人あたり毎時 30m³）を満たすことになり、「換気が悪い空間」には当てはまらないと考えられる。このため、以下のいずれかの措置を講ずることを商業施設等の事業者に推奨すべきである。

なお、「換気の悪い密閉空間」はリスク要因の一つに過ぎず、一人あたりの必要換気量を満たすだけで、感染を確実に予防できるということまで文献等で明らかになっているわけではないことに留意する必要がある。

ア 機械換気（空気調和設備、機械換気設備）による方法

- ① ビル管理法における特定建築物（※）に該当する商業施設等については、ビル管理法に基づく空気環境の調整に関する基準が満たされていることを確認し、満たされていない場合、換気設備の清掃、整備等の維持管理を適切に行うこと。
- ② 特定建築物に該当しない商業施設等においても、ビル管理法の考え方に基づく必要換気量（一人あたり毎時 30m³）が確保できていることを確認すること。必要換気量が足りない場合は、一部屋あたりの在室人数を減らすことで、一人あたりの必要換気量を確保することも可能であること。

イ 窓の開放による方法

- ① 換気回数を毎時2回以上（30分に一回以上、数分間程度、窓を全開する。）とすること。
- ② 空気の流れを作るため、複数の窓がある場合、二方向の壁の窓を開放すること。窓が一つしかない場合は、ドアを開けること。

※ 特定建築物とは、興行場、百貨店、集会場、遊技場、店舗等の用途に供される延べ床面積が3,000m²以上の建築物等であって、多数の者が使用・利用するものをいう。

- (2) (1)の実施に当たっては、次に掲げる事項に留意すること。

- ア 特定建築物に該当する商業施設等の管理権原者は、ビル管理法に基づく空気環境の調整に関する基準に従って当該建築物の維持管理をしなければならないこと。基準を満たしていない場合は、建築物環境衛生管理技術者の意見を尊重して是正措置を講じ、当該建築物が基準を満たすように維持管理しなければならないこと。
- イ 特定建築物に該当しない商業施設等の管理権原者についても、ビル管理法に基づく空気環境の調整に関する基準に従って当該建築物の維持管理するように努めなければならないとされていること。これを踏まえ、機械換気による場合、換気設備を設計した者や換気の専門業者に依頼し、換気量がどの程度あるかを確認し、一人あたりの必要換気量が確保できるよう、部屋の内部の利用者数の上限を把握するよう努めなければならないこと。

参考文献

- ASHAE (2013) Literature Review: Room Ventilation and Airborne Disease Transmission. Edit. Memarzadeh F. Chicago.
- Bloch AB et al.(1985) Measles outbreak in a pediatric practice: airborne transmission in an office setting. Pediatrics, 75(4):676–683.
- CDC (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Morbidity and Mortality Weekly Report, 52 (RR-10).
- Li, Y., et al. (2007) “Role of Ventilation in Airborne Transmission of Infectious Agents in the Built Environment: A Multidisciplinary Systematic Review.” Indoor Air 17 (1): 2–18.
- Menzies D et al. (2000) Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in Canadian health care workers. Annals of Internal Medicine, 133(10):779–789.
- Quin H, Li Y, Sun H, Nielsen PV, Huang X, Zheng X (2010) Particle removal efficiency of the portable HEPA air cleaner in a simulated hospital ward. Build. Simul. Vol. 3, No.3 pp.215-224
- WHO (2009) Natural ventilation for infection control in health-care settings. WHO Press Geneva
- WHO (2014) Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health care. World Health Organization, Geneva.
- 空気調和・衛生工学会(1972) 空気調査・衛生高学会規格 HASS 102 空気調和・衛生工学 第 46 巻第 12 号 pp.3-19
- 厚生労働省(2001) 健康局生活衛生課・建築物衛生管理検討会
- 豊田 誠(2003) 中学校結核集団感染の環境要因に関する検討 結核 第 78 巻第 12 号 pp.11-

渡瀬 博俊 (2010) 学習塾の結核集団感染に関連して、換気が感染リスクに与える影響 結核 第85号第7号 pp.591-593

(注) 本文書の取りまとめにあたり、ご意見を伺った有識者は以下のとおり。

国立保健医療科学院 建築施設管理研究分野 統括研究官 林 基哉

金沢大学理工研究域フロンティア工学系教授 瀬戸 章文

宮城大学大学院看護学研究科講師 松永 早苗

清水建設株式会社 執行役員 (建築総本部設計本部副本部長) 中村 和人

執行役員 (営業総本部営業担当) 山田 安秀 (元内閣審議官 新型インフルエンザ等対策室長)