

## 1. 研究目的

室内では、空気の移動に伴い、熱、水分、におい、ウイルスなどが移動していると考えられる。これを適切に制御し、空気質、温湿度を適切な状態に保ち、良好な室内環境を保つためのエネルギー消費量を抑えることは重要な課題である。

これまでに、高齢者施設内の温度・湿度・二酸化炭素の分布、換気扇の運転状況を長期間にわたり測定し、換気力学を用いて室内での空気移動の解析を行ってきた。また、これに基づき、室内環境の問題点の改善提案を行うとともに、高齢者施設の人由来の汚染物質の移動の予測を行ってきた。これまでの研究では、人由来の汚染物質の移動を計算する際、多数室間での換気計算における一室内の汚染物質濃度を一様として扱ってきたが、実際には濃度の分布は一様ではないことが想定される。

本研究では、人由来の汚染質としてウイルスを想定し、高齢者施設の共用空間を対象として、冬季の条件に絞って、数値流体解析によりウイルス濃度の分布を解析し、共用室に滞在する利用者の感染リスクの評価を行う。また換気方式と空調方式を変更した場合を想定し、現状の場合の結果と比較し、感染リスクの違いを明らかにする。

## 2. 解析方法と感染リスクの評価手法

### 2.1 数値流体解析の対象

既に調査を行った高齢者介護福祉施設の食堂室を対象とする。図 2.1 に平面図を示す。2019年1月15日の正午の利用状況の調査結果に基づき<sup>1)</sup>、非感染者15名、感染者7名が座っていることを想定し、呼吸域が高さ1mになるように人体モデルを配置している。

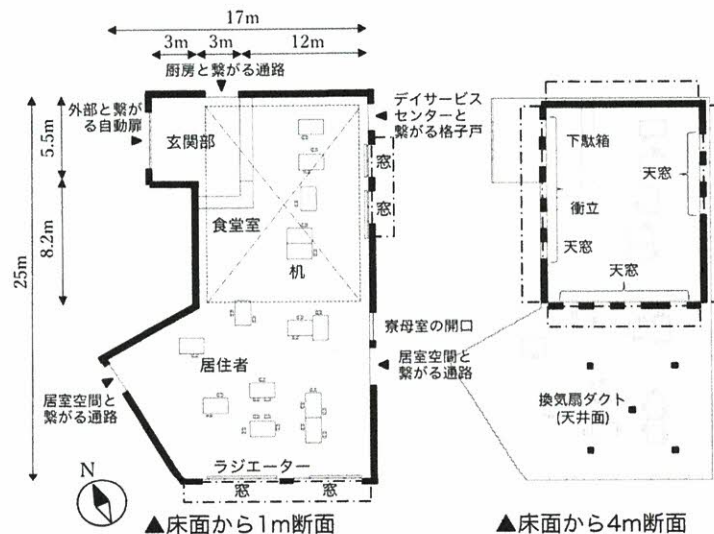


図 2.1 解析対象室（食堂室）の平面図

## 2.2 数値流体解析の条件

非圧縮性流体の  $k-\epsilon$  モデルを使用し、流体解析ソフトウェア **STREAM** により室内気流場の定常解を求める。数値流体解析の条件を表 2.1 に示す。境界条件として、建物全体の換気回路網計算<sup>1)</sup>により求められた室間の空気移動量(図 2.2)を食堂室と隣室の境界部分に与えることにより、建物全体の空気移動性状を反映させつつ、食堂室のみについて数値流体解析を行う。建物全体の換気回路網計算において、各開口は上下に 2 分割して考えられていたため、各開口に対しては、上下の各領域について図 2.3 のように空気移動量を与える。食堂室及び風上側となる隣室の空気温度は正午の実測値を与える(換気計算<sup>1)</sup>での扱いに準じた)。数値流体解析の空間分割は、基本的なメッシュ幅を 100mm (図 2.4)、人体モデルの口付近のメッシュ幅を 3mm とした(メッシュ総数は約 600 万)。

表 2.1 数値流体解析の条件

内壁	速度境界層	対数則
	温度境界層	断熱
窓面	速度・温度境界層	対数則
床面(床暖房)	表面温度指定	32 °C
パネルヒーター(スチーム)		70 °C (窓際・壁際に 4 箇所、長さ(2250mm・3000mm・3000mm・4500mm)×幅 200mm×高さ 300mm) 注1
人体モデル		頭部/頭部以外: 32 / 26 °C
口	大きさ	2.15×2.00 cm
	呼吸量	0.45 m <sup>3</sup> /h <sup>2)</sup>
	呼気温度	35 °C
	quanta 発生量	48 quanta/h・人

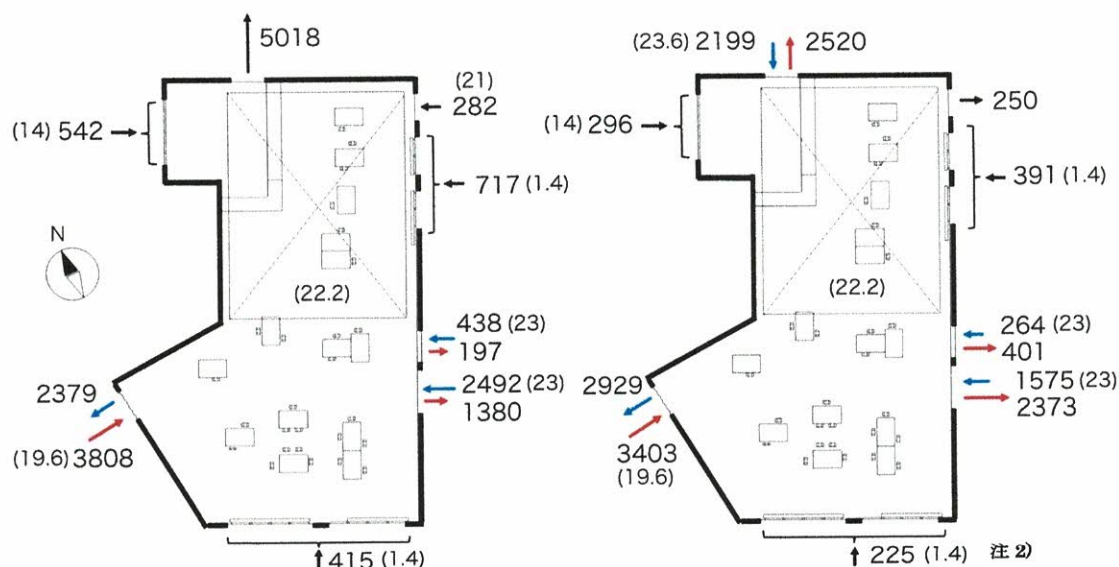


図 2.2 室に流出入する空気量[m<sup>3</sup>/h] (赤い矢印: 開口の下半分を流れる空気量, 青い矢印: 開口の上半分を流れる空気量, 黒い矢印: 開口全体を流れる空気量) と空気温度[°C] (括弧内)

左: 厨房第 3 種換気 右: 厨房第 1 種換気 注3)

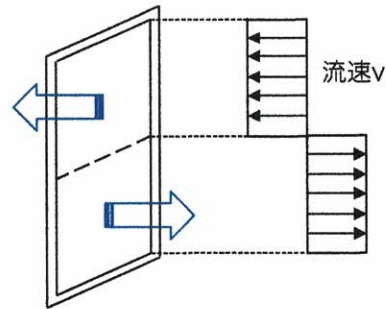


図 2.3 各開口の上下の各領域に、建物全域の換気回路網計算によって得られた室間の空気移動量を与える時の流速分布

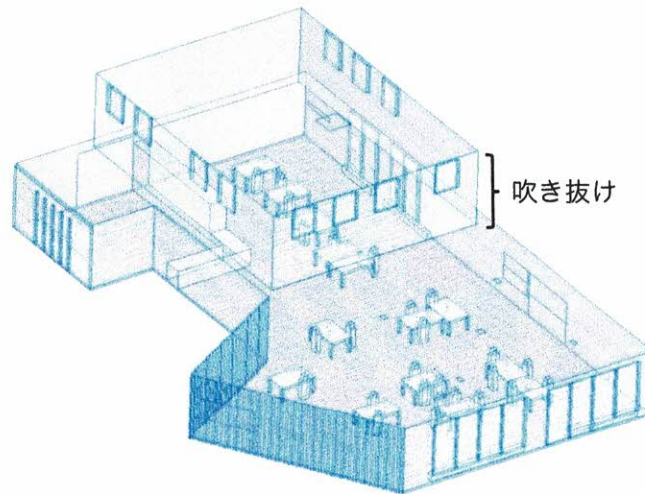


図 2.4 メッシュ分割された解析対象室（食堂室）

### 2.3 汚染質としてのウイルスの与え方と感染リスクの評価手法

ウイルスは Wells らの定義<sup>3)</sup>を用い、人を感染させるのに必要な病原体数を 1 quanta とし、感染者の呼気により発生すると考える。呼気から出る大部分の粒子の直径は  $1\mu\text{m}$  以下でエアロゾルとして空气中に浮遊し<sup>4)</sup>、ウイルスは呼気中のエアロゾルに付着していると考えられるため<sup>5)</sup>、本研究では対流のみを想定し、各感染者由来のウイルスを区別して濃度分布を算出する。感染者 1 人当たりの quanta 発生量は COVID-19 の標準的な値 14~48 quanta/h<sup>6)</sup>より、48 quanta/h とする。

本研究では、感染者と非感染者の呼吸活動による空気感染リスクを Wells-Riley モデルのうち Hua ら<sup>7)</sup>が提案した手法を適用して、数値流体解析により求まる室内 quanta 濃度から、式 (1) により感染確率 $P_i$ を算出して評価を行う。

$$P_i = 1 - e^{-p \cdot C_{q,i} \cdot t} \quad (1)$$

ただし、 $p$ は1人当たりの呼吸量[m<sup>3</sup>/h]、 $t$ は曝露時間[t]、 $C_{q,i}$ は非感染者  $i$  の口から水平方向に 5cm 離れた位置での室内空気中の quanta 濃度[quanta/m<sup>3</sup>]、曝露時間は実際の居住者の滞在時間に即して 6h とする。

### 3. 他室から流入するウイルスの濃度分布に関する数値流体解析

#### 3.1 解析の目的と計算条件

対象としている高齢者介護福祉施設では、デイサービスセンターが併設されており、厨房の換気扇の影響（第3種換気運転）で、デイサービスセンターから食堂室への空気移動が生じていることが判明していた<sup>1)</sup>。そこで、デイサービスセンターの利用者に感染者が含まれていることを仮定し、その人由来のウイルスが食堂室に流入する条件において、食堂室のウイルス濃度分布を数値流体解析により求め、感染リスクの評価を行う。既往研究<sup>7)</sup>で、人由来の汚染物質（呼気による二酸化炭素に限定）の発生源別の二酸化炭素の移流状況が検討され、2019年1月15日正午の厨房第3種換気運転時にデイサービスセンター由来の二酸化炭素が食堂室に0.5m<sup>3</sup>/h流入するとなっている（デイサービスセンターに高齢者30人、スタッフ6人いる想定時で、二酸化炭素発生量は0.87m<sup>3</sup>/h）。デイサービスセンターから食堂室に流入する経路としては、デイサービスセンターに直接つながる渡り廊下と、居室等を経由した中央廊下がある。建物全域の空気移動性状から、デイサービスセンターから食堂室までの空気の出入りを考慮すると、それぞれの経路から流入する二酸化炭素量は渡り廊下から0.409 m<sup>3</sup>/h、0.091 m<sup>3</sup>/hと計算できる。したがって、デイサービスセンターの利用者に感染者が1人含まれ、呼気により48 quanta/h発生すると想定する時、発生する二酸化炭素が食堂室へ流入する量の比から、デイサービスセンターで発生し食堂室に流入するウイルスは、渡り廊下から22.57quanta/h、中央廊下から5.02 quanta/hとなり、これらを数値流体解析の境界条件に与えて計算する。

厨房換気扇が第1種換気運転する場合は、建物内でブロックごとに独立した換気経路が形成され、食堂室へ集中した空気移動がなくなることが実測と換気計算により示されていたため、デイサービスセンターから流入するウイルスの解析は省略する。

#### 3.2 解析結果

呼吸域（高さ1m）におけるウイルス濃度分布を図3.1に、食堂室内にいる非感染者（位

置を図 3.2) の感染確率を図 3.3 に示す.

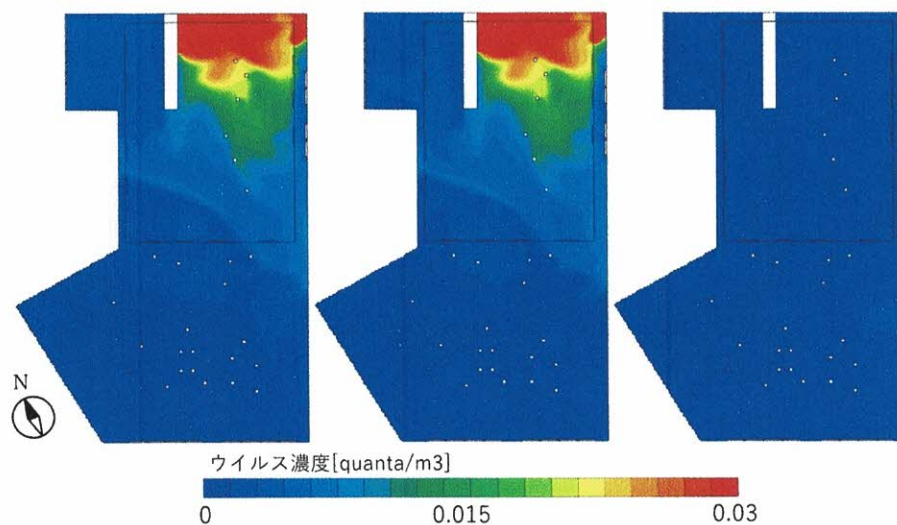


図 3.1 厨房第 3 種換気における座位時の呼吸域高さ (高さ1m) 断面のダイサービスセンター由来のウイルス濃度分布 (左: 渡り廊下と中央廊下から流入するウイルスの合算, 中央: 渡り廊下から流入するウイルスのみ, 右: 中央廊下から流入するウイルスのみ)

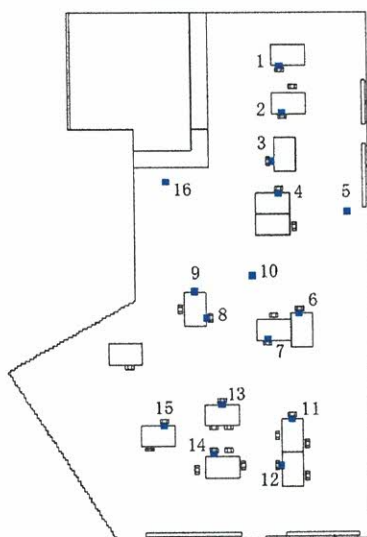


図 3.2 感染確率を算出する非感染者の位置 (口から水平方向に 5cm の点)

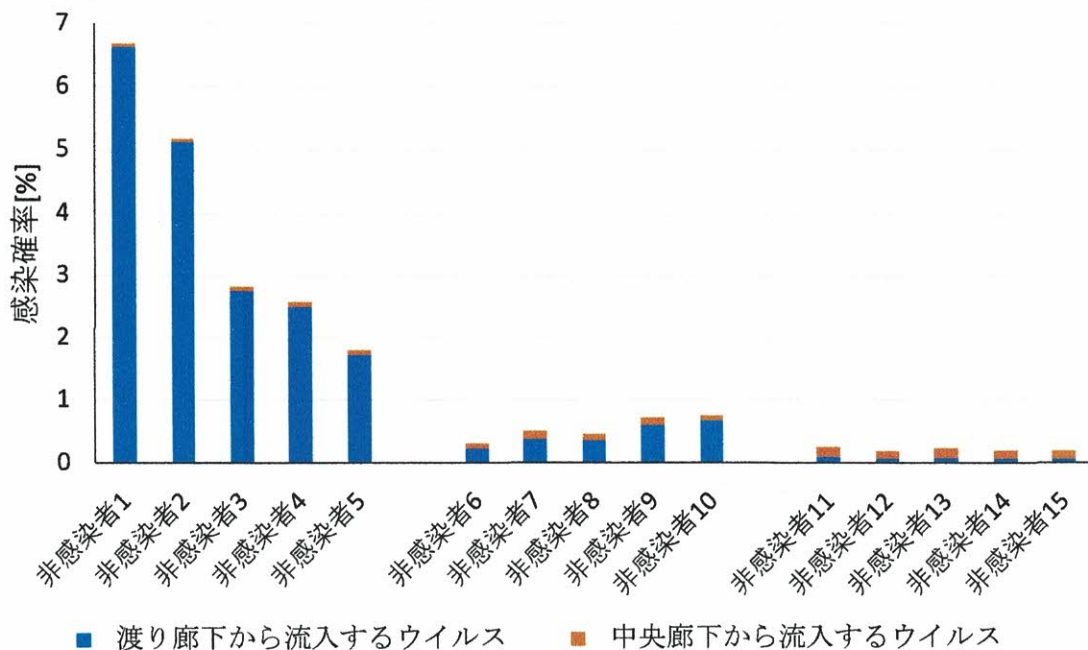


図 3.3 厨房第 3 種換気におけるデイサービスセンターにいる感染者由来の、食堂室にいる非感染者の感染確率（ウイルスの食堂室への流入経路を区別）

ウイルス濃度分布は、室の北側で高く、対照的に室の南側で低い。ウイルスはほとんどデイサービスセンターに繋がる渡り廊下から流入するものである。以上のことは、渡り廊下から流入するウイルス（中央廊下よりも渡り廊下から流入する空気中のウイルス濃度は約 40 倍高い）が、食堂室北側の厨房における換気扇の影響を受けやすいためである。また、厨房換気扇の影響で室南西部の開口からの空気流入量が多くなること、室内に対流式空調など空気を混合させる要素がないことから、室南部にウイルスが移動しにくい。ウイルスが高濃度に分布していた室の北側にいる非感染者 1～5 で突出して感染確率が大きくなっており、北側にいる非感染者 1 と南側にいる非感染者 12 で、最大 35 倍の差がある。また、中央廊下から流入するウイルスによる感染確率は室の南側にいる非感染者 11～15 に関しても小さい。以上より、現状の厨房換気扇が第 3 種換気運転をする場合には、デイサービスセンター由来のウイルスによる感染リスクの高いエリアは絞られることがわかった。

#### 4. 室内で発生するウイルスの濃度分布に関する数値流体解析

##### 4.1 解析の目的と計算条件

解析対象である食堂室では、日中多くの居住者や来訪者が滞在するため、感染リスクが懸念される。そこで、食堂室内に感染者が含まれている場合を想定し、ウイルス濃度分布、感染リスクを、厨房の換気方式と食堂室の空調方式を変えた場合で比較評価する。換気方式としては、食堂室に隣接する厨房の換気扇が強制排気（第 3 種換気運転）条件の場合と強制給排気（第 1 種換気）条件の場合の両方を検討する。空調方式としては、床暖房による放射空

調の場合と、壁掛けの対流式空調の場合の両方を想定する。

食堂室にいる非感染者と感染者の位置と、感染者の呼気の方向については、図 4.1 に示すように、2019 年 1 月 15 日の正午の利用状況の調査結果に基づき<sup>1)</sup>、非感染者 15 名、感染者 7 名が座っている状態を想定する。感染者 1 人当たりの quanta 発生量は 48 quanta/h と統一し、各感染者由来のウイルスを区別して濃度分布を算出する。

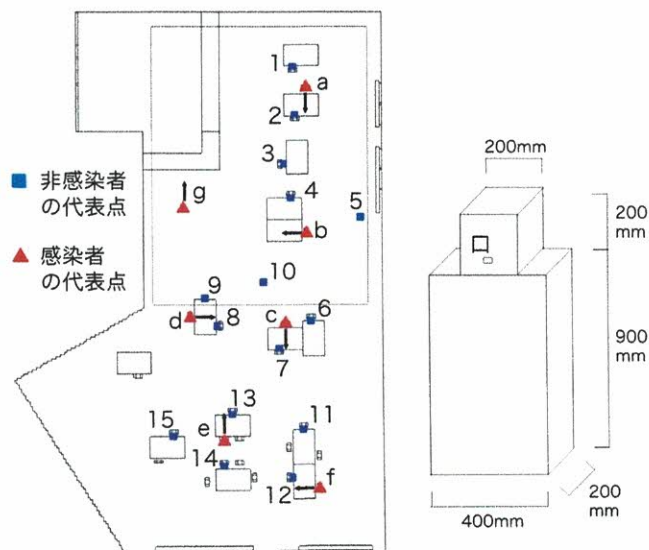


図 4.1 解析対象室内の非感染者と感染者の位置と人体モデル（椅座）  
（感染者の呼気方向を→で示している）

#### 4.2 厨房の換気方式が異なる場合の解析結果

座位時の呼吸域高さ（高さ 1m）におけるウイルス濃度分布（各感染者由来のウイルス濃度分布の重ね合わせ）を図 4.2 に、感染者別の感染確率を非感染者ごとに積み上げたものを図 4.3 に示す。

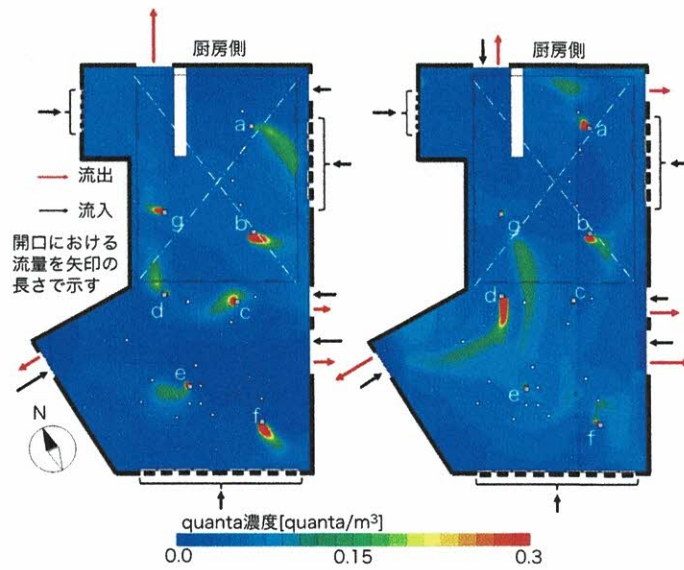


図 4.2 呼吸域高さ（高さ 1m）のウイルス濃度分布  
左：厨房第 3 種換気 右：厨房第 1 種換気

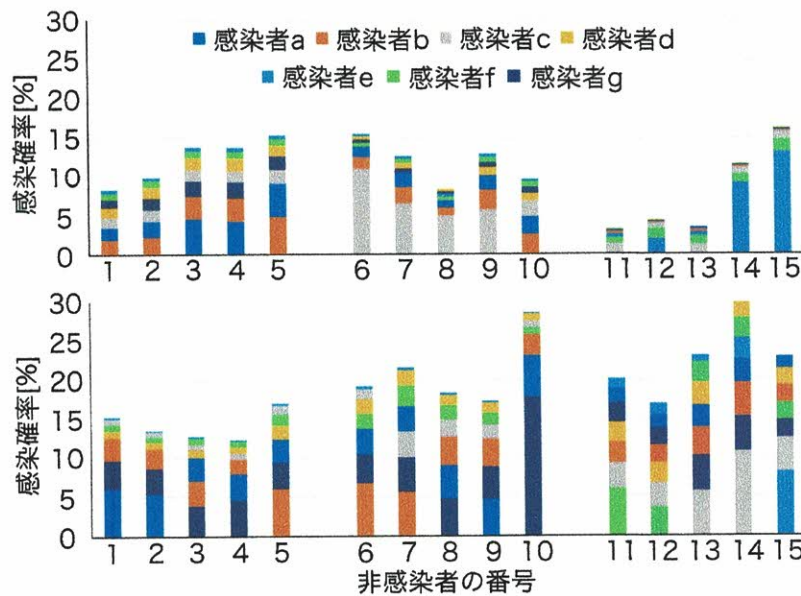


図 4.3 各感染者由来の各非感染者の感染確率の積み上げ図  
上：厨房第 3 種換気 下：厨房第 1 種換気

厨房第 3 種換気運転の場合，厨房のある室の北側に分布しやすいが，主に発生源付近に留まる傾向にある．一方，厨房第 1 種換気運転の場合では，広域に分布している．また，感染確率は全体的に第 1 種換気の方が高く，複数の感染者由来のものが多くを占めて感染リスクの影響範囲が広いことから，感染リスクが高いと言える．

食堂室に出入りする空気のバランス（図 2.2）より，厨房換気扇が第 3 種換気運転の場合



には、その排気量が突出しているため、全体として厨房のある北側へと流れる。一方、第1種換気運転の場合には東西の隣接する空間の換気扇からの排気の影響が相対的に大きくなるため、それらの空間へとつながる開口のある南側へと流れる。図4.4に示す室の東西断面における南北成分の流速分布より、第3種換気の場合には隣室からの低温の空気が床面に沿って北側に、窓面からの下降流が床面に沿って南側に比較的速く流れており、呼吸域（高さ1m）の気流は静穏となっている。高さ3m付近では厨房吸い込みの影響で室の上下で形成される循環流（図4.5）の一部が見られ北側へ流れているが、床面沿いに流れる気流よりも約0.1m/s小さく、呼吸域の流れへの影響はない。一方、第1種換気の場合には床面沿いに隣室からの低温の空気が北側へ流れる分、隣接する空間への空気移動により呼吸域では南側へ流れている（図4.5より呼吸域を南側へ流れる循環流が確認できる）。境界条件の違いから第3種換気の方が、室の換気回数はやや大きい（第3種換気6.4回/h、第1種換気6.1回/h）が、室内平均ウイルス濃度も大きい（第3種換気0.061 quanta/m<sup>3</sup>、第1種換気0.049 quanta/m<sup>3</sup>）ので、換気効率が悪いと言える。これは、呼吸域の気流が穏やかでウイルスが室外に移動しにくいためである。一方で、そのために、ウイルスが非感染者に広く到達しにくく（図4.2）感染リスクは抑えられる（図4.3）。すなわち、これは、感染リスクが室全体の換気効率よりも呼吸域の流れに依存している事例である。

また、図4.5に示す室の南北断面における流速分布より、室の中央部で天井吹き抜けの壁面沿いに下降流が生じていることがわかる。第3種換気の場合、その下降流は高さ1mで0.1m/s弱であり、床面に沿って流れる気流（約0.2m/s）と合流して、厨房換気扇へ向かう流れや吹き抜け部に形成される循環流により北側に逸れるため、呼吸域の気流性状に与える影響は小さい。一方、第1種換気の場合、呼吸域を南側へ流れる循環流に合流し、室南部の感染リスクを助長していると考えられる。

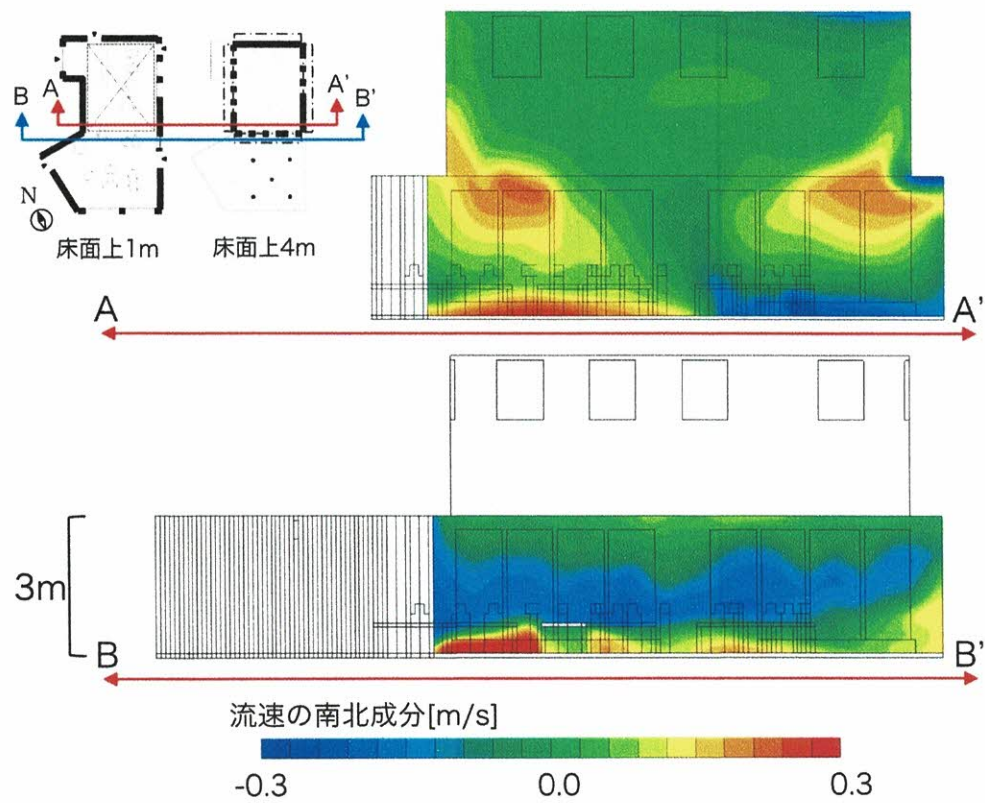


図 4.4 食堂室の東西断面 (A-A', B-B') における流速の南北成分分布  
 上：厨房第 3 種換気 下：厨房第 1 種換気 (正の速度成分：北側へ流れる向き 負の速度成分：南側へ流れる向き)

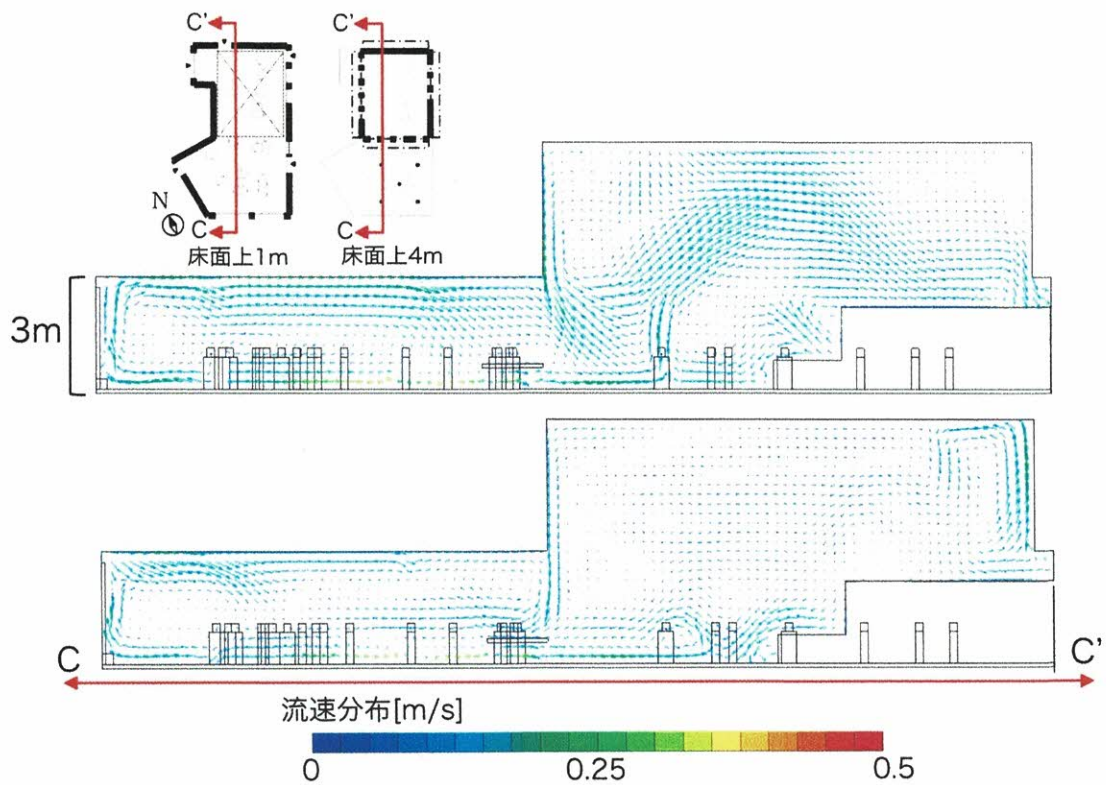


図 4.5 食堂室の南北断面(C-C')における流速分布  
上：厨房第3種換気 下：厨房第1種換気

### 4.3 天井吹き抜けをなくした場合の解析

#### 4.3.1 解析方法

前節で見られた、天井吹き抜けからの下降流の影響を明らかにするため、仮想的に吹き抜けを無くし、その部分の天井高を食堂室の他の部分と同様に3mとした解析を行い、比較検討する。境界条件として用いた空間の空気移動量と空気温度の値はそのまま用いる。その他の条件や感染リスクの評価手法も前章と同様で、天井吹き抜けをなくした食堂室(間口15m×奥行き25m×天井高3m)を対象に、厨房換気扇が第3種換気の場合と第1種換気の場合の解析を行う。

#### 4.3.2 解析結果

吹き抜けをなくした場合の、座位時の呼吸域高さ(高さ1m)におけるウイルス濃度分布(各感染者由来のウイルス濃度分布の重ね合わせ)を図4.6に、前節と同様に感染確率の積み上げ図を図4.7に示す。厨房第3種換気では、吹き抜けがある場合と同様の傾向である。一方、厨房第1種換気では、吹き抜けからの下降流よりも北側で拡散していた感染者bに由来するウイルスによる感染確率が、下降流よりも南側にいる非感染者6,7で上昇している。これより、吹き抜けからの下降流が真下で発生するウイルスの水平方向の拡散を遮り、風下側にいる非感染者の感染確率を部分的に抑えていたと考えられる。

吹き抜けをなくした場合の、室の東西断面における南北成分の流速分布と室の南北断面における流速分布を図 4.8 と図 4.9 に示す。第 3 種換気、第 1 種換気の場合ともに、流速の南北成分の分布の傾向は吹き抜けがある時 (図 4.4) と変わらないことから、吹き抜けからの下降流の有無にかかわらず室全体を流れる循環流の流れ方は同じ (境界条件によって決まっている) と言える。しかし、第 1 種換気の場合に、吹き抜けがある時と比べて呼吸域 (高さ 1m) の南側へ向かう気流が小さくなっている (図 4.8)。これは、吹き抜けがある場合に、下降流が呼吸域を南側へ流れる分、床面や天井面から北側への気流が増え、その増加分が吹き抜けの循環流に合流する形となっているためである。これにより、吹き抜けがある時よりも、室南部 (下降流より南側) にいる感染者 c,d,e に由来するウイルスの南側への拡散範囲が小さくなり (図 4.6), 非感染者 12~15 の感染確率が小さくなっている (図 4.7)。すなわち、厨房換気扇が第 1 種換気運転の場合には、吹き抜けからの下降流が室南部の呼吸域の流れを促進し、感染リスクを助長すると考えられる。

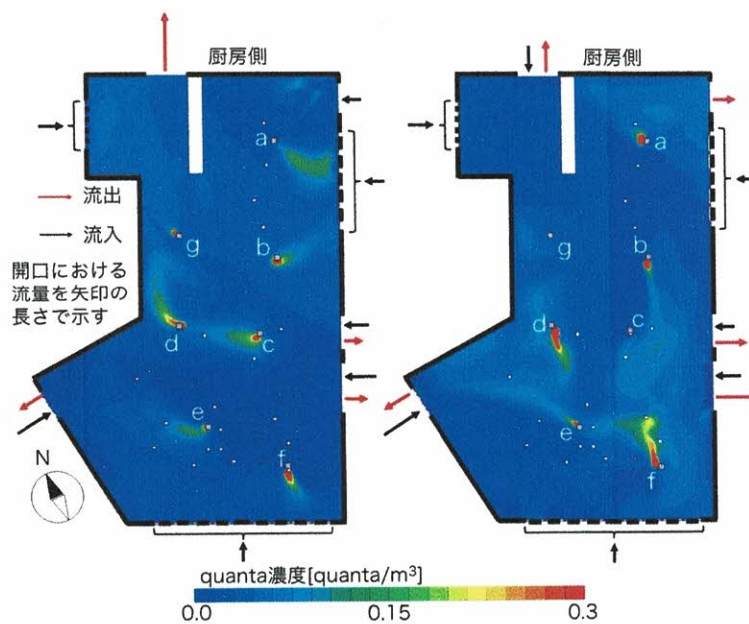


図 4.6 天井吹き抜けをなくした場合の呼吸域高さ (高さ 1m) のウイルス濃度分布  
 左: 厨房第 3 種換気 右: 厨房第 1 種換気

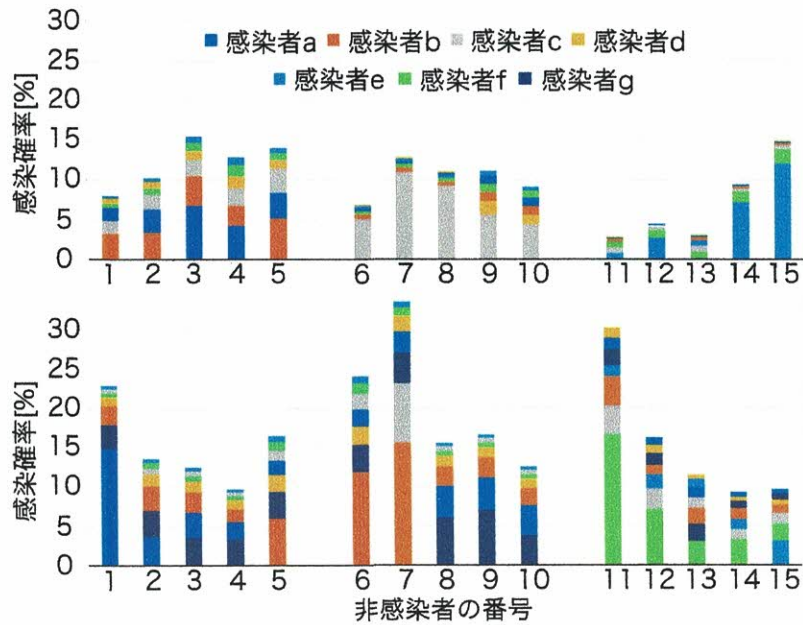


図 4.7 天井吹き抜けをなくした場合の各感染者由来の各非感染者の感染確率の積み上げ図  
上: 厨房第3種換気 下: 厨房第1種換気

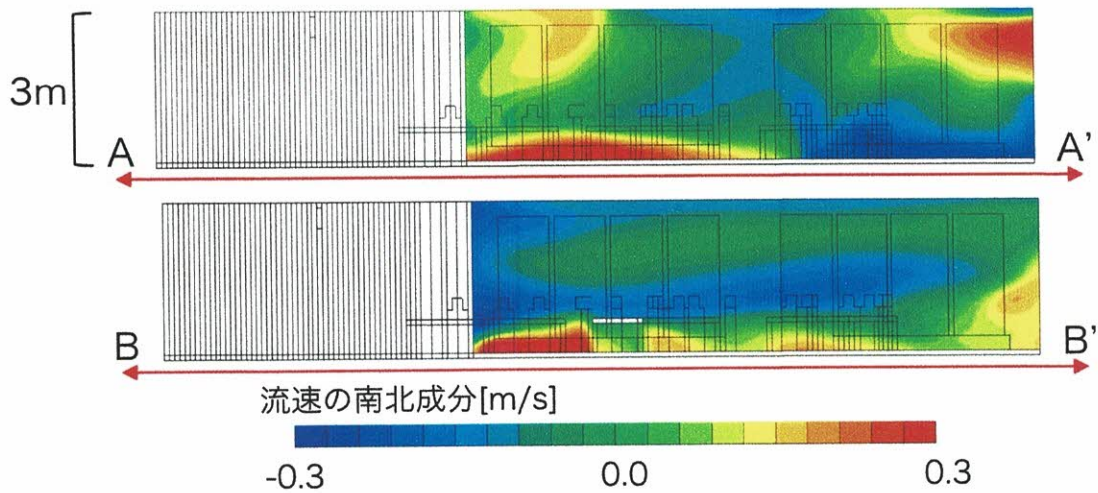


図 4.8 天井吹き抜けをなくした場合の食堂室の東西断面 A-A', B-B') における流速の南北成分分布  
上: 厨房第3種換気 下: 厨房第1種換気  
(正の速度成分: 北側へ流れる向き 負の速度成分: 南側へ流れる向き)

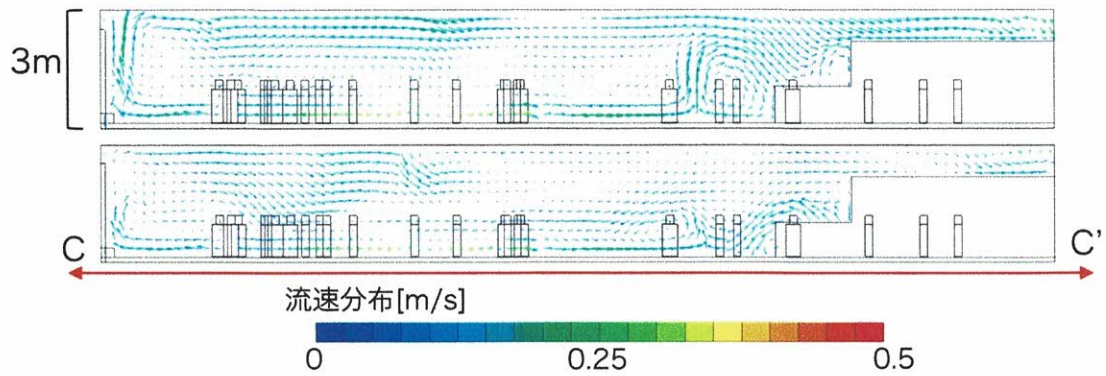


図 4.9 天井吹き抜けをなくした場合の食堂室の南北断面(C-C')における流速分布  
上：厨房第3種換気 下：厨房第1種換気

#### 4.4 対象室の空調方式が異なる場合の解析

##### 4.4.1 解析方法

前章までは、対象施設の現状に合わせ放射空調（床暖房）の場合を計算したが、室内に混合を促す外的要因がないため、発生するウイルスが室全体に広がりづらいケースであると言える。一般には、対流式空調が採用されることも多いため、床暖房の代わりに、対流式空調を想定した解析を行い、比較検討する。窓面付近や壁面に設置されたスチーム暖房のパネルヒーターはそのまま考慮する。厨房換気扇が現状の第3種換気運転の場合について解析を行う（境界条件として用いた空間の空気移動量と空気温度の値は同一とする）。

設定する空調送風量は食堂室の温熱環境を変化させないために床暖房で供給していた熱量と等しい熱量を供給するように式（2）を用いて求めた。

$$Q = \frac{SH}{C_p \rho (t_s - t_r)} \times 3600 \quad (2)$$

ただし、 $Q$ は必要送風量[m<sup>3</sup>/h]、 $SH$ は室内の顕熱負荷[W]、 $C_p$ は空気の定圧比熱[J/(kg·K)]、 $\rho$ は空気の密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $t_s$ は送風温度[°C]、 $t_r$ は室内温度[°C]である。想定した壁掛け空調モデルを図4.10に、空調条件を表4.1に示す。居住域全体に分散させて計3台を床面上2.4mの位置に配置した。

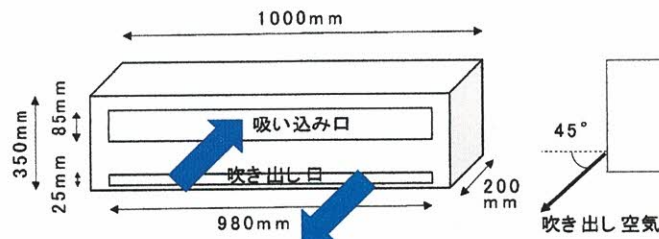


図 4.10 空調機のモデルと吹き出し角度

表 4.1 空調機の種類

吹出気流	吹出風量	吹出温度	吸込
6.0 m/s	500 m <sup>3</sup> /h	45 °C	自然流出

#### 4.4.2 解析結果

座位時の呼吸域高さ（床面上 1m）におけるウイルス濃度分布を図 4.11 に、前節と同様に感染確率の積み上げ図を図 4.12 に示す。

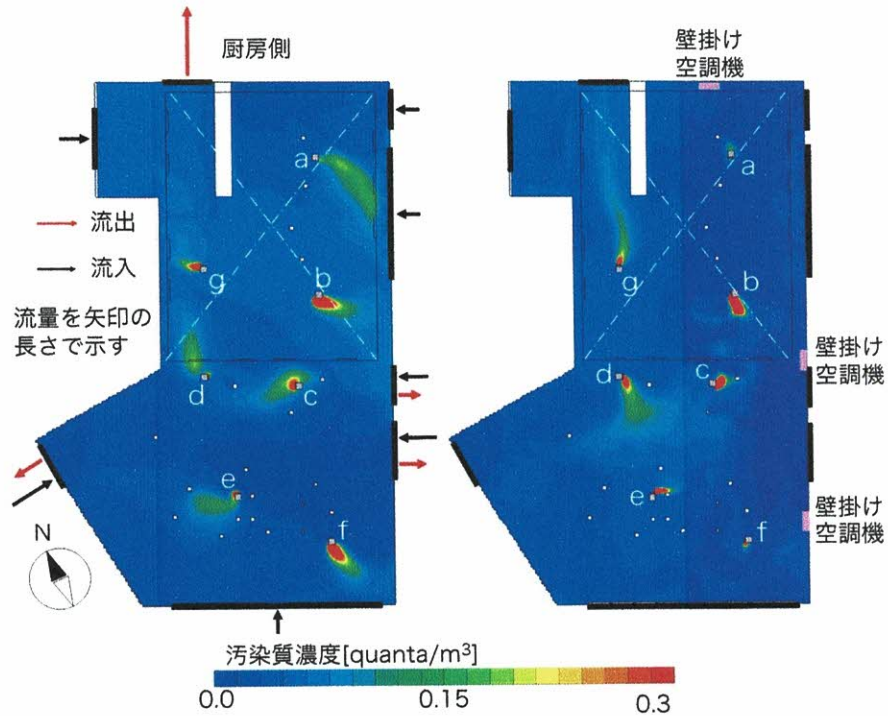


図 4.11 厨房第 3 種換気運転における呼吸域高さ（高さ 1m）のウイルス濃度分布  
左：放射空調 右：対流式空調

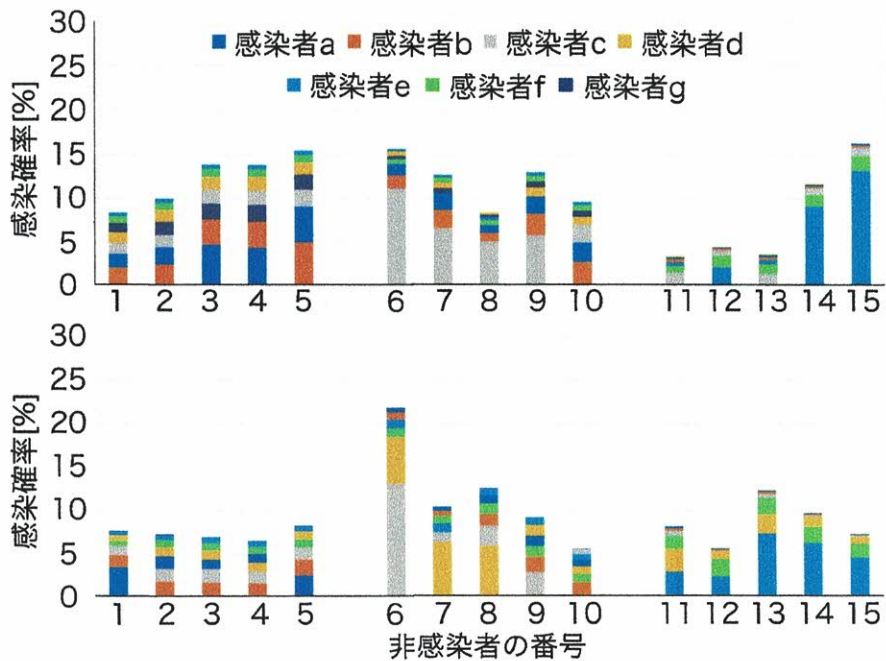


図 4.12 厨房第3種換気運転における各感染者由来の各非感染者の感染確率の積み上げ図  
上：放射空調 下：対流式空調

対流式空調の場合、厨房換気扇の影響があるにもかかわらず、室の北側に偏った分布は見られず、吹き抜けのある室の北側よりも、吹き抜けのない室の南側で広範囲にウイルスが拡散している。そのため、対流式空調の場合、主に吹き抜け下にいない非感染者(6,8,11,12,13)で感染確率が高くなっており(非感染者13で最大3.3倍増加)、放射空調の場合よりも各感染源に対応した感染範囲は限定されにくくなっている。一方、対流式空調の場合に感染確率が減少する非感染者が見られる。これは、対流式空調によって空気が混合される範囲から外れているため、対流式空調からの高温の気流が吹き抜け部へ上昇する際にウイルスが呼吸域から除かれるためと考えられる。

## 5. まとめ

従前から室内の空気・汚染物質移動性状の調査を継続してきた高齢者介護福祉施設について、既に得られている調査のデータを活用して、冬季の代表日の共用室(食堂室)を対象に、利用者からのウイルス発生を想定し、在室者の感染リスクを、数値流体解析により求めたウイルス濃度分布により、非感染者に到達するウイルス量から感染確率を算出し、その評価を行った。

施設に併設されているデイサービスセンターの利用者に感染者が含まれていることを想定したケースで、呼吸域(高さ1m)における濃度分布は、デイサービスセンターからの渡り廊下との接続部のある、食堂室の北側で集中的に高くなり、対照的に食堂室の南側では低くなることを示した。また、感染確率は、室の北側と南側にいる人で感染確率に最大35倍



の差があることが示された。

次に、食堂室内に感染者が含まれていることを想定したケースについて検討を行った。現状の厨房第3種換気運転の場合、厨房への集中的な空気移動により、気流分布としては主に床面沿いを北側に流れる形となっており、直接混合を促す要素もないために、呼吸域の気流が穏やかであり、感染範囲が限定的であることが示された。これは、呼吸域の気流が穏やかであるために、室内平均ウイルス濃度は高くなるが、呼吸域で発生するウイルスが非感染者に到達しにくくなるため、感染リスクが抑えられるという事例である。一方、厨房第1種換気運転を想定した場合、隣接する空間への空気移動により呼吸域を南側へ流れる循環流が形成されるためウイルスは広域に分布し、感染確率は全体的に高く、各感染者からの感染範囲が広がることを示した。また、食堂室北側にある吹き抜けの壁面沿いに生じる下降流が、厨房換気扇が第1種換気の場合に、呼吸域(高さ1m)の南側へ向かう循環流を助長し、室南部にいる感染者由来のウイルスの南側への拡散範囲、感染確率を大きくすることを示した。

対象施設の食堂室は床暖房とパネルヒーター(スチーム暖房)による放射暖房が主体であったが、床暖房の代わりに対流式空調を想定したケース(厨房換気扇は第3種換気運転)では、主に天井吹き抜け下にいない居住域でウイルスの混合が促され各感染源に対応した感染範囲は限定されにくくなり、感染確率が最大3.3倍増加することを示した。ただし今回のケースでは、想定した対流式空調の吹き出し気流の影響を受けにくい範囲があったことや、吹き抜け下では対流式空調からの高温気流が浮力の影響で上昇する際にウイルスを呼吸域から除く働きをしていたことから、感染確率が大きくなると一概には言えないことを示した。

#### 注1

数値流体解析上では、実際の壁面や窓面にあるパネルヒーターのモデルを簡略化するために位置ごとにまとめてモデル化している。そのため、モデル化したそれぞれのパネルヒーターの長さが異なる。

#### 注2

解析では、窓面と自動扉の隙間を複数のスリットを分散させて再現し、それぞれに風量を規定しているが、ここでは簡略化して合算したものを1つの矢印で表している。

#### 注3

第3章では、厨房換気扇が第3種換気運転のみを想定し、第4章では厨房換気扇が第3種換気運転・第1種換気運転を想定し、境界条件を与えている。

## 参考文献

- 1) 高田ら, 2020, 多数室換気解析に基づく室内環境の改善策の検討 高齢者介護福祉施設における冬期の室内環境に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 85(770), pp.249-258
- 2) M.J. Tobin, et al., 1983, Breathing Patterns, Chest Journal, 84(2), pp.202-205
- 3) W.F. Wells, et al., 1955, Airborne contagion and air hygiene: An ecological study of droplet infections, American Journal of Clinical Pathology, 25(11), pp.1301-1724
- 4) F. Patricia, et al., 2008, Influenza Virus in Human Exhaled Breath: An Observational Study, PLOS One, 3(7), pp.5-10
- 5) Q. Hua, et al., 2009, Spatial Distribution of Infection Risk of SARS Transmission in a Hospital Ward, Building and Environment, 44(8), pp.1651-1658
- 6) H. Dai, et al., 2020, Association of the infection probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces, Building Simulation, 13(6), pp.1321-1327
- 7) 今井, 高田, 2020, 高齢者介護福祉施設の室内温熱環境に関する研究(その4) 室間空気移動による人由来の汚染物質の移動に関する評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.1449-1450