

# with/after コロナの換気・空調設計と可視化

## 背景

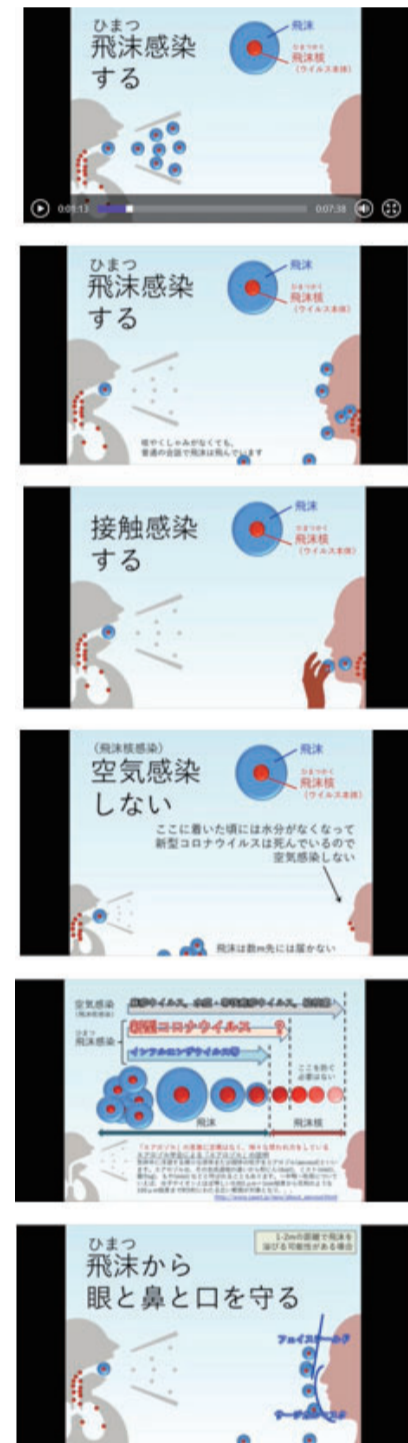
新型コロナウイルス感染症の世界的な蔓延によって、感染防止を取り入れた「新しい生活様式」の実践が求められている。

感染症対策や換気的重要性を指摘され、必要換気量等も示されている。飛沫経路を正しく推定するため、様々な研究が行われているが、スーパーコンピュータによる飛沫経路の映像は、非常に明快で、感染リスクを「可視化」することにより、感染症予防に大きな効果（注意喚起）をもたらしている。

## 新型コロナウイルス感染症対策

### ● 感染経路について

- くしゃみや咳をしなくても、通常の会話で唾と混じって飛沫は飛んでいる。これが飛沫感染。
- 唾液に含まれた飛沫が飛んで、人の顔、衣類に付着して伝播する。
- 飛沫が手について、何かの拍子で口に入る。これが接触感染。
- 接触感染への対応が最も重要。
- 飛沫は徐々に水分が飛んで軽くなる（粒径が小さく）。軽くなると床に落ちないので空気を漂う。
- 水分がなくなった状態を飛沫核というが、その状態で体内に入ると感染する。これを空気感染（飛沫核感染）という。
- 新型コロナウイルスは、飛沫核になると死んでいるため、空気感染はしないといわれている。
- 患者からでてくるウィルスは100%飛沫なのでサージカルマスクで防げる。
- 大量の飛沫が発生した場合、飛沫核が発生する可能性がある。その飛沫核は感染する可能性があるため、飛沫核を防げる特殊な N95 マスクが必要。
- 目の粘膜を守るにはフェイスシールド。鼻と口の粘膜を守るにはマスクが必要。
- ウィルス感染者がマスクをしていれば問題ない。つまり、自分もマスクをするが相手にマスクをしてもらうことが重要。



[https://www.mmah.or.jp/covid19\\_video.html](https://www.mmah.or.jp/covid19_video.html)

### ● 三密回避でクラスター防止



### ● 必要換気量

- 換気について、世界保健機関（以下、WHO）では病室の還気回数が2回/h以下の場合、皮膚テストでのツベルクリンの反応率は高くなると報告している。
- 日本病院設備設計ガイドライン（HEAS02-2013）において、集中治療室、一般病室、緊急外来の最小外気導入量の目安を2回/h（還気を含めた室内循環風量は6回/h）としている。
- 厚生労働省では、一般商業施設などにおいては「建築物衛生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30m<sup>3</sup>）を満たすことになり、「換気が悪い空間」に当てはまらなると考えられる」としている。
- オフィスビルの場合、一人あたりの占有床面積は5m<sup>2</sup>程度と推定されており、天井高さを2.8mとすると、一人あたり毎時30m<sup>3</sup>の換気量は換気回数2.1回/hに相当する。

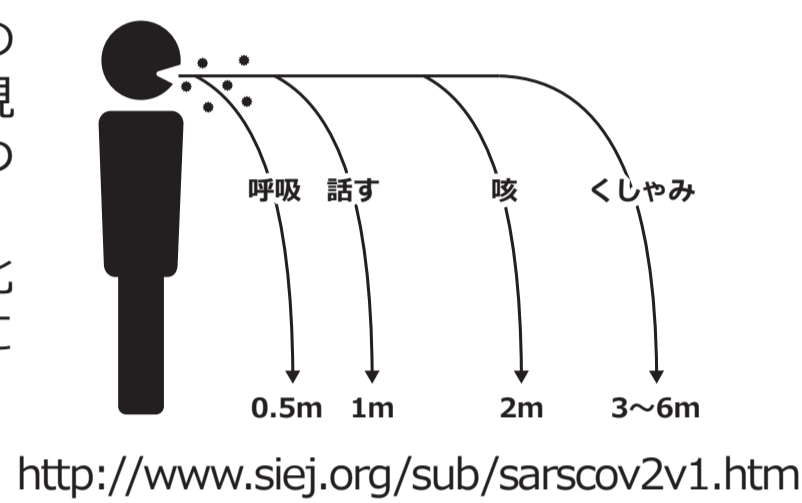
## 目的

建築の換気・空調設計では、これまでの経験からコンセプトをまとめて実現に向けて設計を行っている。コロナ渦では、これまで以上に換気や飛沫経路についてのエビデンスが求められることになる。そこで、スーパーコンピュータレベルの解析精度までではなくても、通常的设计業務で行うCFDシミュレーションで比較的簡易な解析で「飛沫経路の予測」を示すことが日々の設計では必要となってくる。そこで、飛沫解析の基本条件を整理し、飛沫経路を可視化することで施主と設計チームに共通認識が生まれ、設計にフィードバックする。

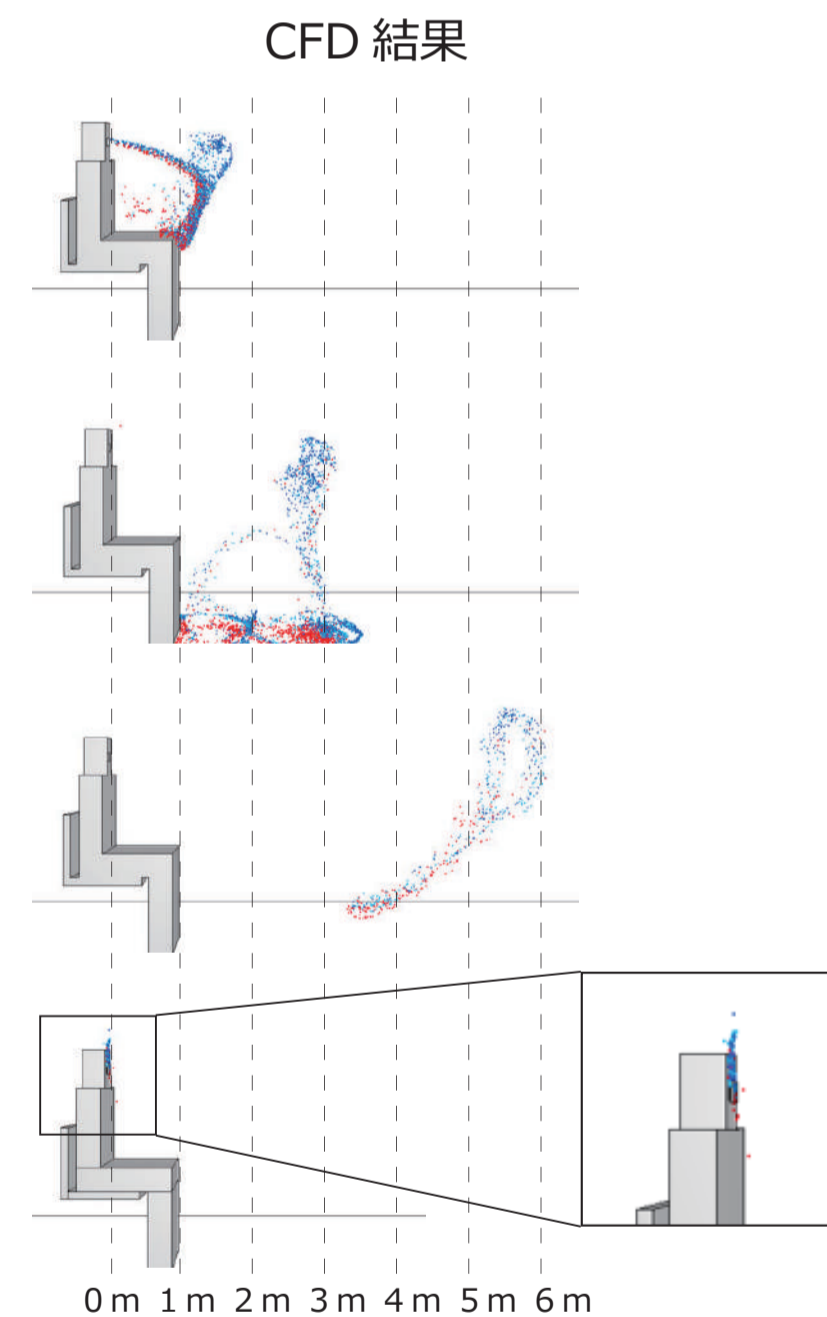
飛沫解析の条件整理 → 従来のCFD解析で飛沫経路の可視化 → with/after コロナの設計（換気・空調設計の設計力向上）

## 飛沫の可視化

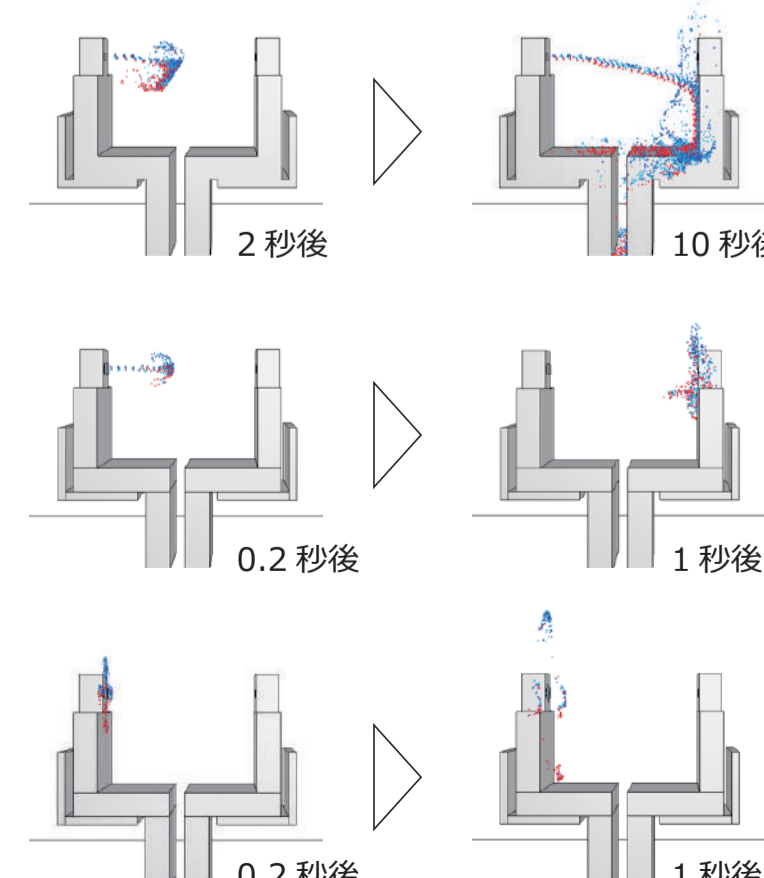
新型コロナウイルスの感染防止には接触感染の対応が重要であるが、患者からの飛沫拡散を可視化することで飛沫拡散、接触感染の注意感染につなげるため、CFDによる飛沫の可視化を行った。本検討は、換気・空調設計に活用するため、比較的簡易な境界条件で既往文献やCFDベンダーによる解析結果に近い結果となることを目指した。



### ● 飛沫拡散（到達距離）

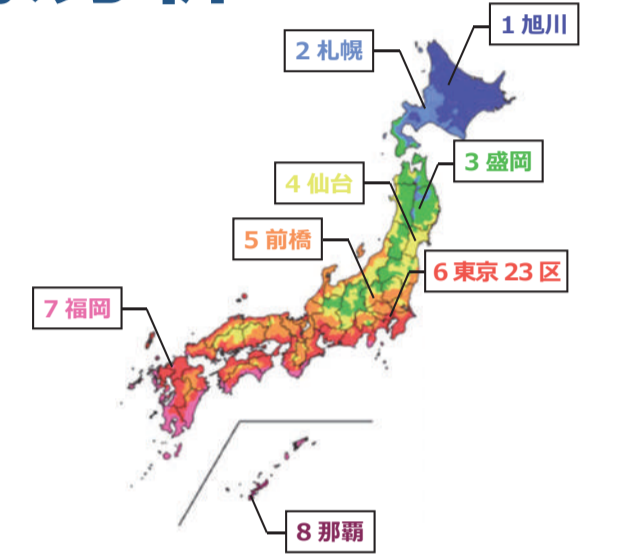


### ● 感染予防（顔近傍の飛沫量）



## 国内主要都市の気象分析

「換気量を多くする」ことが、建物内部での感染症予防の一つと言われている。そこで、国内主要都市の気象分析を行った。国内主要都市は、「建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令における算出方法を定める件」における地域区分表を参考に選定した。分析には、拡張アメダス気象データ 2010 標準年を用いた。

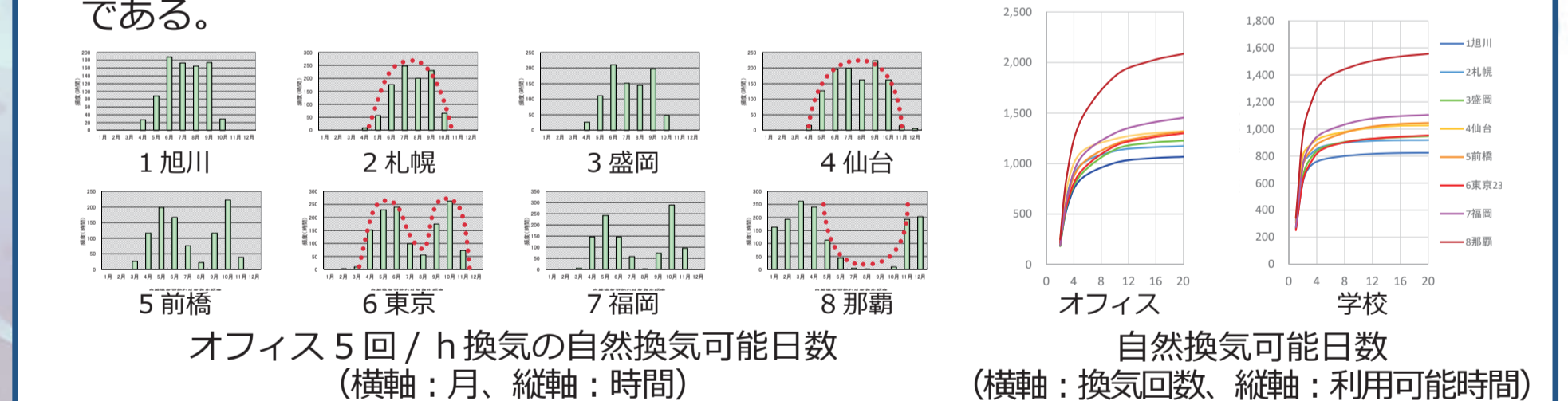


### ● 自然換気のポテンシャル

- 【オフィス】
  - 内部発熱の大きいオフィスでは、換気回数が10回/hを超えると、有効時間数は横ばいになる。
  - 地域によって自然換気可能日数の山の形が異なり、寒冷地では夏に山、東京は春と秋に2つの山、那覇は夏に谷がある。
  - 自然換気のポテンシャルが一番大きな都市は、8地域的那覇である。
  - 8地域の沖縄は、冬季でも自然換気可能な温度であるため対象時間は他の地域と比べて1.5~2.0倍程度のポテンシャルはある。

### 【学校教室】

- 内部発熱の小さい教室では、換気回数が3回/hを超えると、有効時間数は横ばいになる。
- 本試算は内部熱の除去量から試算を行ったが、風速が速くなると体感温度を下げる効果もあるため、積極的に換気量を増やしたり、天井ファンの設置も有効である。
- 一般的なウィルスの感染が拡大する低湿度となる冬季でも、沖縄は窓開け換気が可能である。

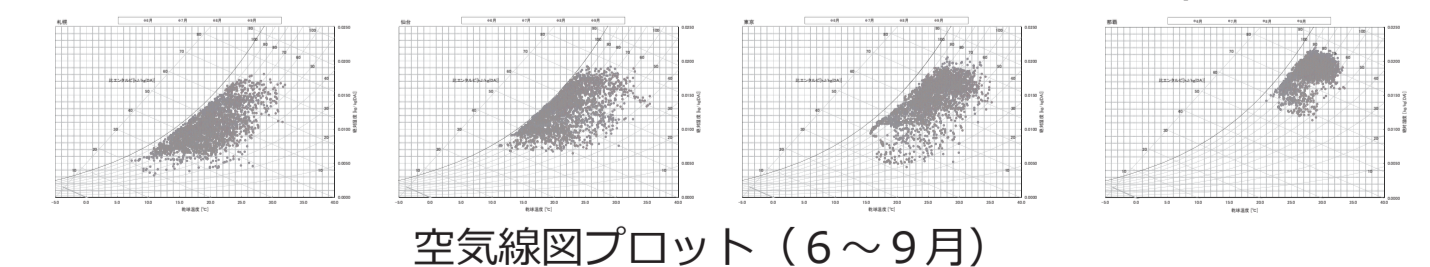
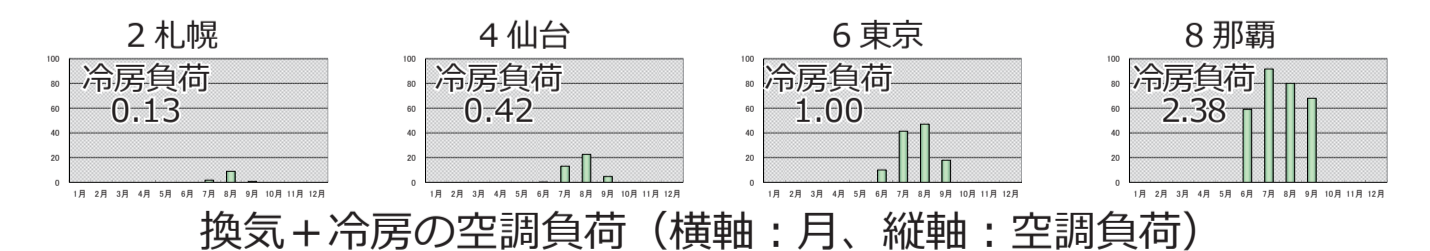


### ● 熱中症リスク回避（換気しながらの冷房）

#### 【住宅】

夏季、窓開け換気だけでは熱中症の危険性があるため、空調と併用して行う必要がある。厚生労働省では死亡者は30℃から増加、35℃で急激に増加とある。

そこで、住宅を想定し、運転時間帯8~16時の外気温と室温（26℃50%）の比エンタルピー差より空調負荷を算出した。換気量は2回換気とし対象月は、各地域で統一するため6~9月とした。対象は、2札幌、4仙台、6東京、8那覇の4都市で比較した。



### ● 試算条件

	室内条件	対象月	対象時間	換気最低温度	換気回数	数値
【オフィス】	28℃, 50%	1-12月	9-20時	18℃	1-20回/h	利用可能時間
【学校教室】	28℃, 50%	1-12月	8-16時	18℃	1-20回/h	利用可能時間
【住宅】	28℃, 50%	6-9月	1-24時	18℃	2回/h	エンタルピー

# with/after コロナの換気・空調設計と可視化

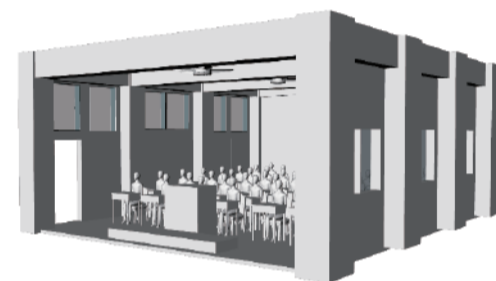
## コロナ渦の対策と効果予測

新型コロナウイルス感染症予防のための「新しい生活様式」が求められ、建物用途別にガイドラインが作成され様々な感染症予防対策が実践されている。ここでは、実際に実践されている対応策の飛沫経路シミュレーションを行い可視化を行った。自然換気や空調による飛沫経路の違いを示すことで、換気・空調システムの重要性を示した。

### 学校

#### ●自然換気による飛沫拡散

学校の教室では、密閉空間を避けるために「気候が可能な限りは常時、2方向の窓を同時に開けて行う」とされている。そこで、某学校の48人教室モデルを用いて、自然換気による飛沫経路や換気の効果可視化した。冷房や換気の補助となる天井ファンの効果についても検討している。



解析モデル

#### 【効果】

- 外気に面した窓から1.0m/sの風(22℃)で風が入り、反対側の欄間と教員側の扉から排気される。室温はほぼ23℃程度に保たれる(図1-1)。
- 本モデルの自然換気窓はやや高い位置にあるため、窓際生徒には直接風が当たらない(図1-2)。
- そのため、窓際生徒の飛沫は反対側の廊下側扉に向かって流れる傾向はみられるが、ほとんどは自席に溜まっている。一方、中央席生徒は教室全体に拡散される傾向がみられる(図1-3)。
- 天井扇OFFの場合、中央席生徒の飛沫が壁面上部の欄間から排気されている様子がわかる。天井扇をONにすることで上昇している飛沫はなくなった。夏季には体感温度を下げる効果もあるが、教室内の空気を攪拌することになるため、注意が必要である(図1-4)。
- 複雑な風の流りは飛沫表示では表現することが難しく、流線表示にすることで天井扇による風の流りをイメージすることができる。(図1-5)。

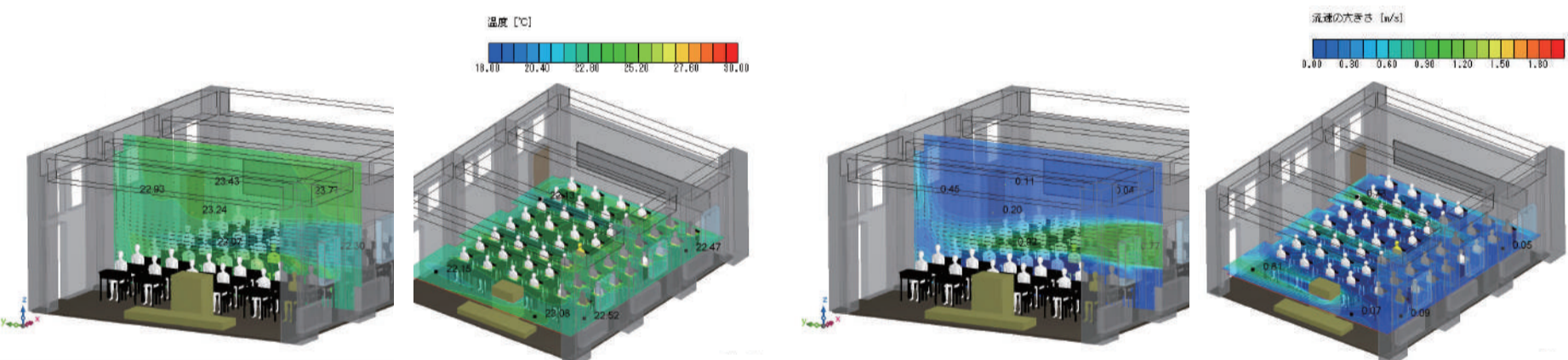


図1-1 温度分布

図1-2 風速分布

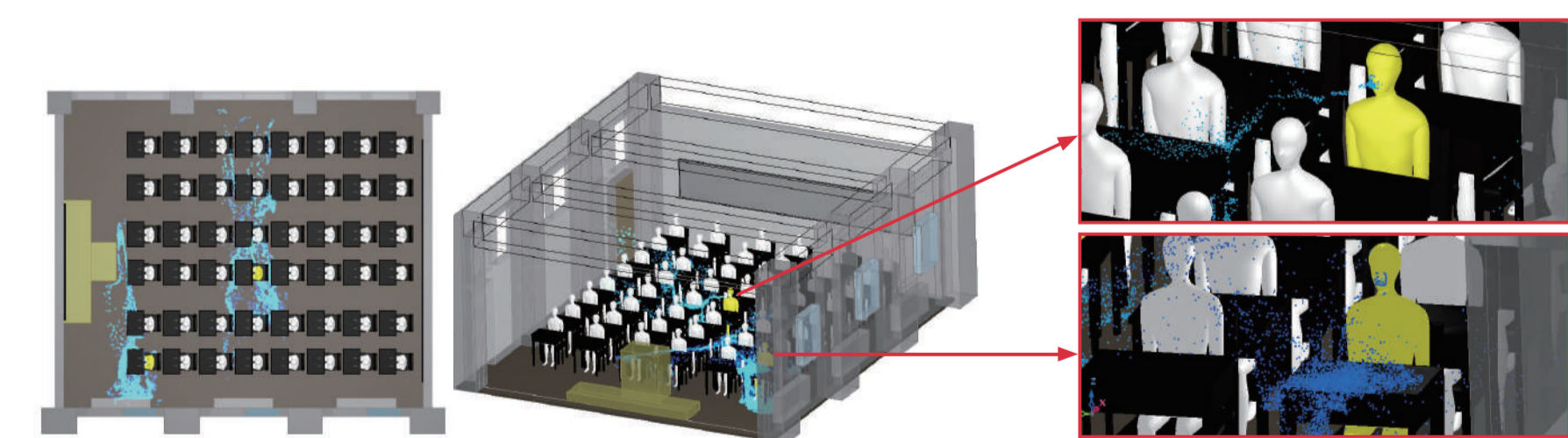


図1-3 発生位置の違いによる飛沫拡散(天井扇OFF、30秒後)

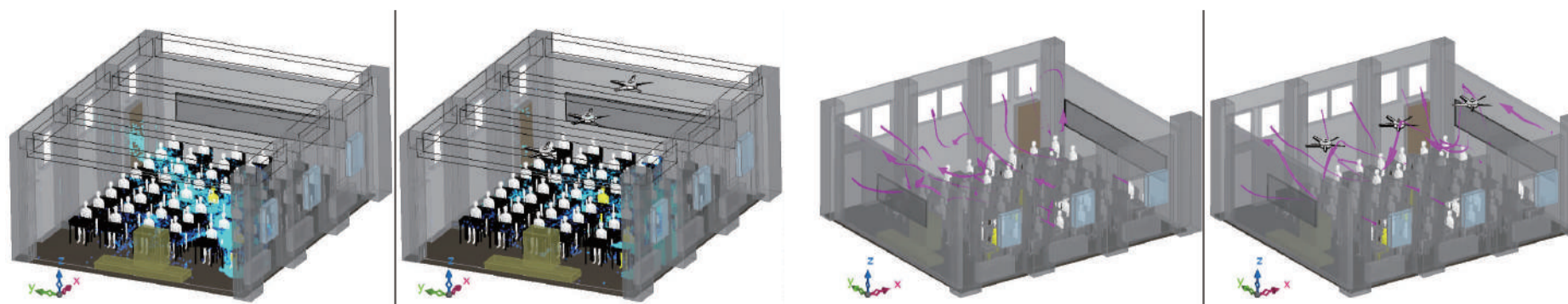


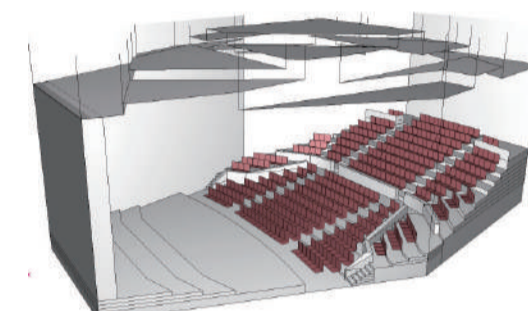
図1-4 天井扇ON/OFFの飛沫拡散(50秒後)

図1-5 天井扇ON/OFFの流線(50秒後)

### 劇場・ホール

#### ●舞台からの飛沫

劇場、音楽堂等における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドラインに、講演会場内の感染防止策として「座席の最前列席は舞台前から十分な距離を取る」とされている。そこで、某音楽ホールのモデルを用いて、舞台から客席への飛沫経路を示し到達距離を可視化した。



解析モデル

#### 【効果】

- 演者からの飛沫条件は、飛沫の到達距離が最も長い「くしゃみ」を想定して飛沫の到達距離を示す。
- 通常の会話の到達距離は1.5~2.0mに対して、くしゃみによる到達距離は約3倍の6.5mとなった(図2-1)。
- 本解析は空調運転しているため、風の流に乗って到達距離が延びた可能性がある。小さな飛沫は空中を漂うため、空気の流れに乗ってゆっくり拡散される。
- 劇場では客席を1席空ける対応することで、一人あたりの換気量は増大するため、密の回避には有効である。

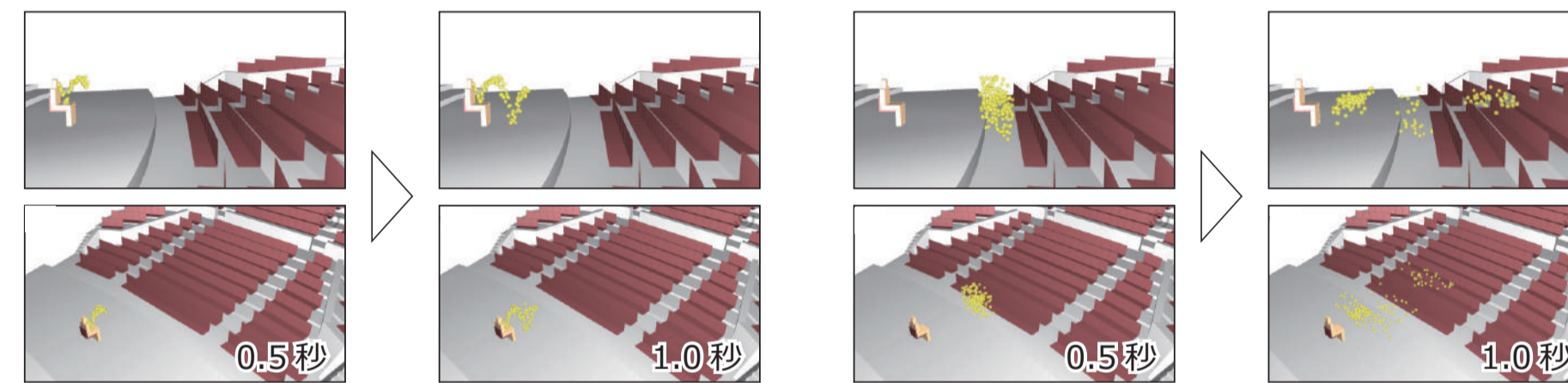
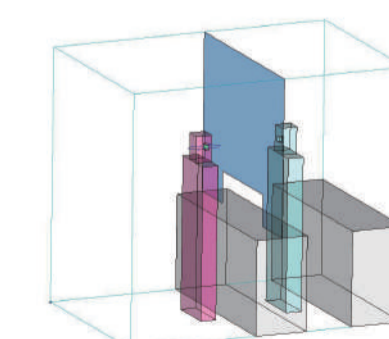
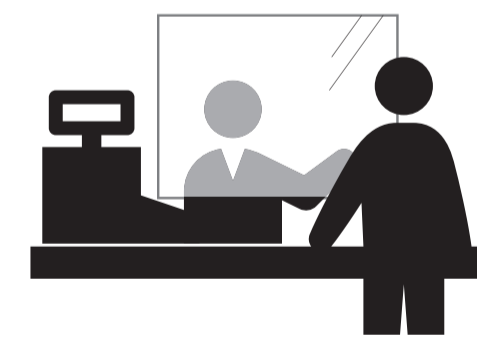


図2-1 舞台からの飛沫距離

### 商業施設 (レジ)

#### ●レジのビニルカーテン

商業施設のレジカウンターでは、ビニルカーテン越しに接客して、飛沫感染対策として実践されている。そこで、レジカウンター周りを簡易モデル化を用いて、客からの飛沫経路会話による飛沫経路を可視化した。ビニルカーテンの効果だけでなく、空気の流れによる違いについても検討している。



解析モデル

#### 【効果】

- ビニルカーテンを設けることで、店員の衣服に到達する飛沫の量が軽減され、飛沫感染の抑制に大きな効果が期待できる。(図3-1aと3-1b)。
- ビニルカーテンのレジ側を陽圧にすることで、店員側に飛沫の流入を抑える効果がみられた(図3-1bと3-1c)。ちなみにビニルカーテンの隙間を通過する風速は面風速0.2m/sとした。

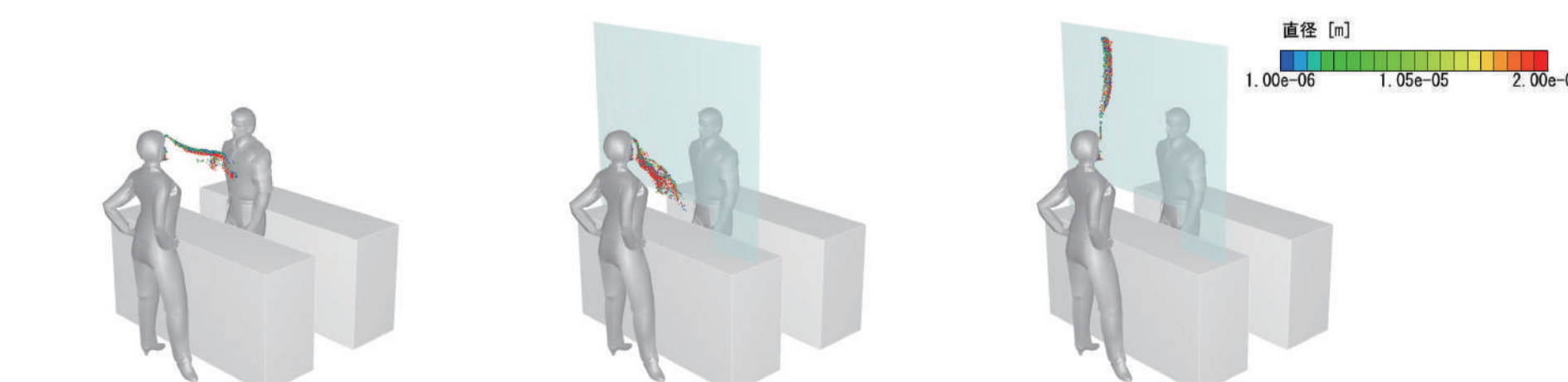
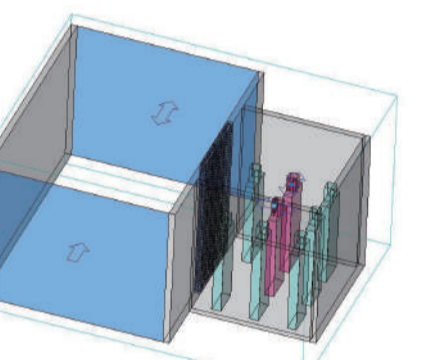


図3-1 レジカウンターの飛沫感染予防対策の効果

### エレベータ

#### ●エレベータ換気

まさに三蜜となりそうなエレベータ。実はエレベータには換気装置が設置されており、空調も設置されている機器もある。そこで、人の移動による空気の乱れを考慮したエレベータのモデルを用いて、会話による飛沫経路や機械換気の効果について可視化した。



解析モデル

#### 【効果】

- 1階で8人乗り込み、3/5/7階で2名ずつ下りるスケジュールを想定した。エレベータの換気は480m<sup>3</sup>/hとした。1~3階で会話による飛沫を発生させた。
- 1階から3階の区間で会話をしていた2人の飛沫は、降りる時に一緒にエレベータから排出されるが、ほとんどはエレベータ内に残る(図4-1)。
- 1階でエレベータが動く直線に汚染物質で充満させ、時間による濃度減衰を可視化させた。扉の開閉と人の動きでも汚染物質平均濃度は減少するが、換気することで更に平均濃度は減少した(図4-2)。
- 省エネのために換気装置を止めているエレベータもあるため、コロナ渦では改めて確認することも必要である。

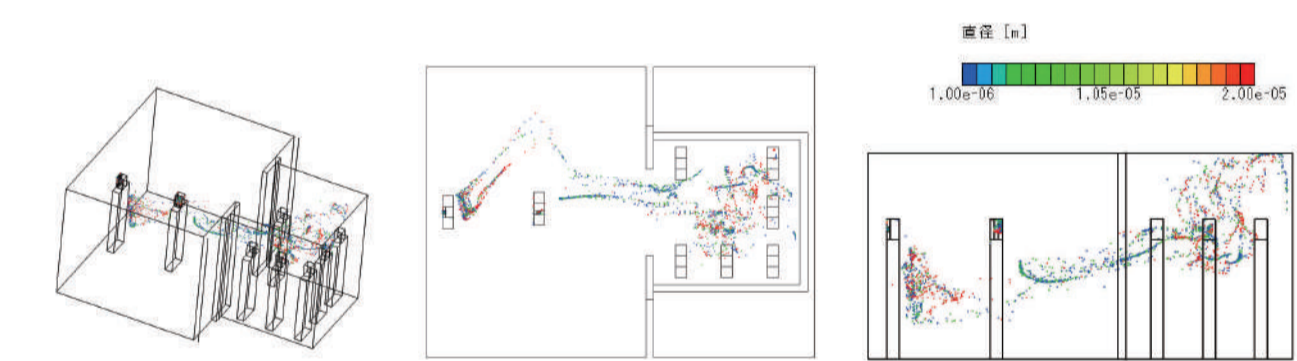
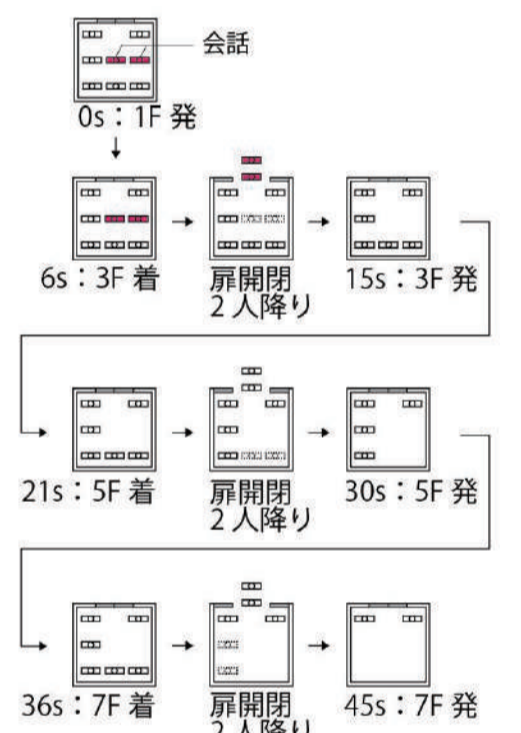


図4-1 飛沫発生者の飛沫経路(11秒後)



「人の昇降」と「扉の開閉」スケジュール

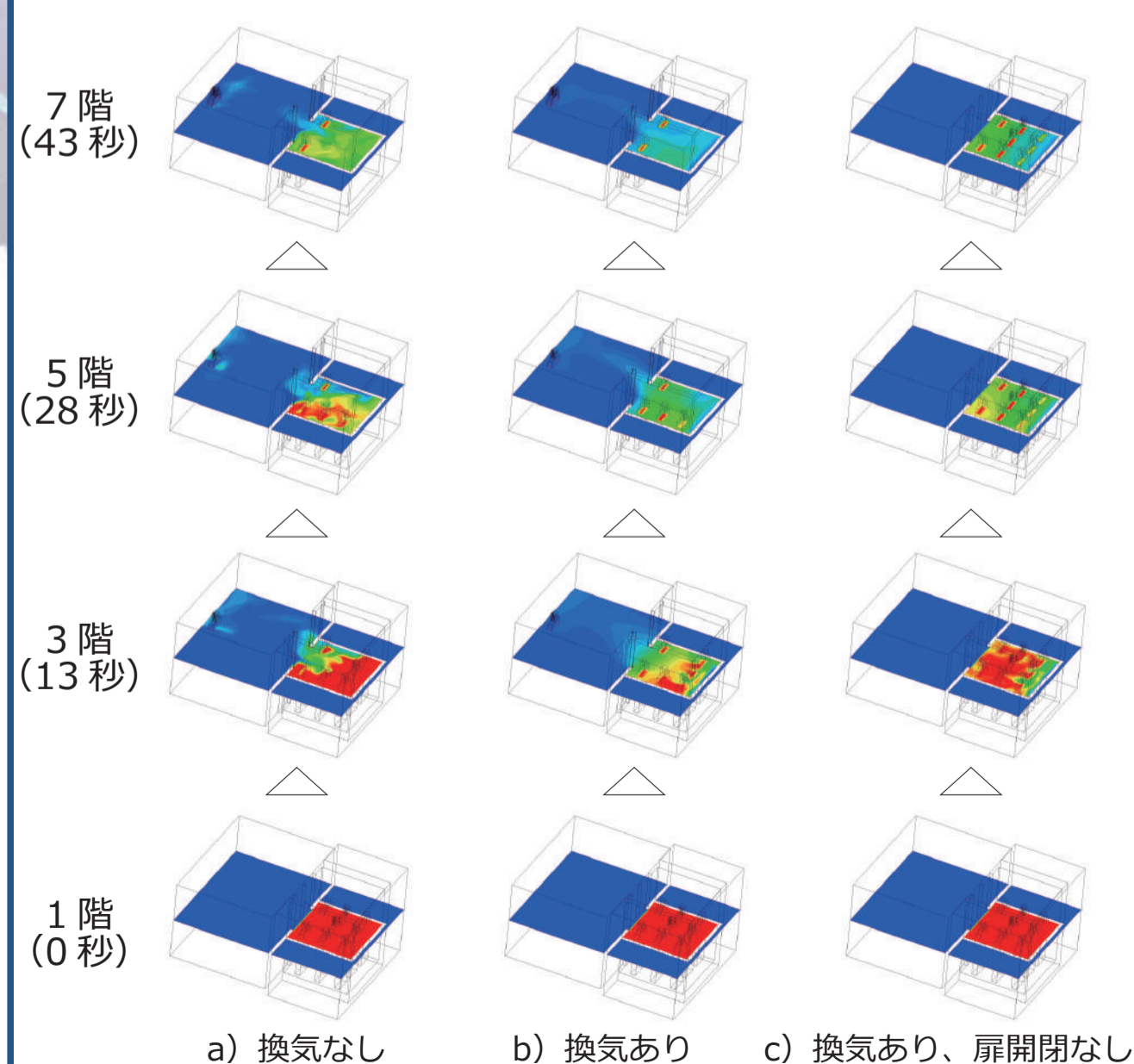
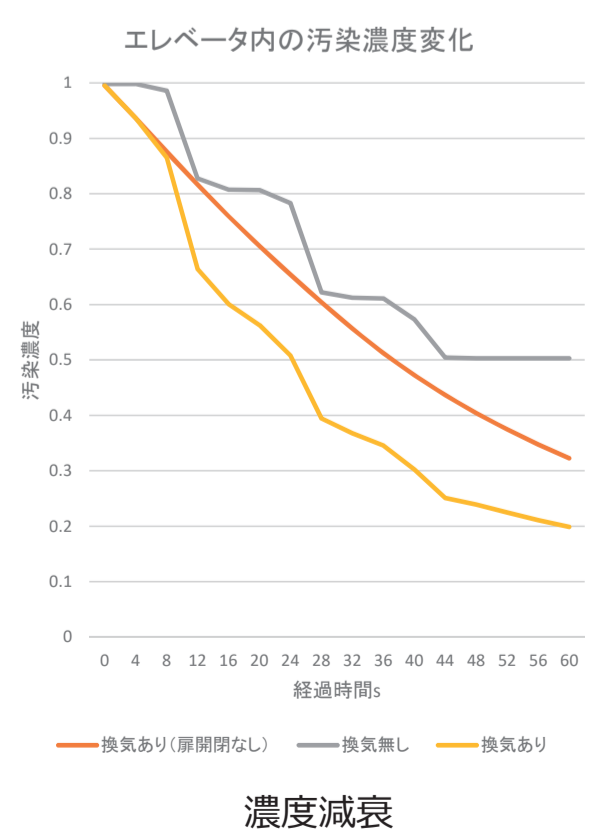


図4-2 エレベータ内の汚染濃度変化



濃度減衰

# with/after コロナの換気・空調設計と可視化

## with/after コロナにおける換気・空調システムの提案

コロナウイルスとの闘いは、今後も長きに渡ることが予想されている。それに加え日本では、地震や豪雨などの自然災害も頻繁に発生していることを踏まえると、様々な非常事態に対して弾力的かつ継続的に対応できるシステムが必要と考えられる。病院施設の診療室・病室、オフィスにおける新たな提案に対する飛沫経路の可視化を行い、設計へのフィードバックを行った。

### 対面式感染対策給排気フード（診療室）

#### ●病院設計者の考える医療者を感染から守るための提案

病院設計を行うチームのメンバーでは、医療崩壊のリスクを避けるため、医療者を感染から守り、患者の感染拡大を防ぐ対面式の簡易な感染対策ブースを考案し、実用化に向けて製品開発を行った。

既存の病院でも新たに大規模な工事をせずに安全な診察スペースを確保することを可能にする。

※製品化は、ダイキン工業グループの日本無機にて実施。

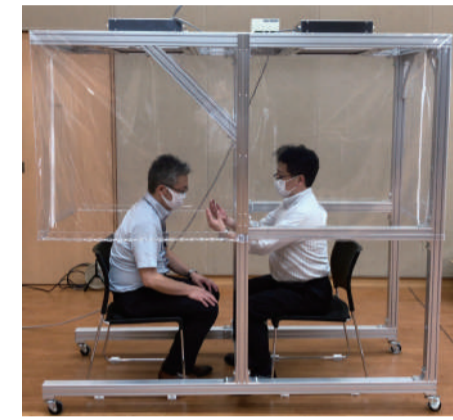
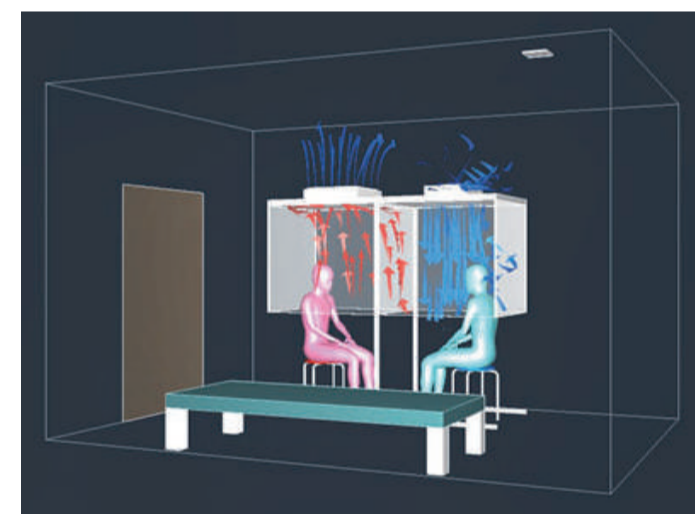


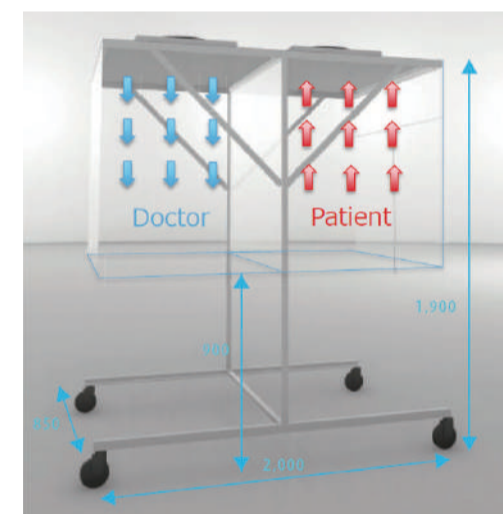
図 A-1 対面式感染対策給排気フード

#### ●「対面式感染対策給排気フード」のしくみ

このフードの特徴は、ビニルカーテンで囲われた2つのフード上部に高性能なHEPA フィルタとファンが設置されて対面していますが、一方のフード（図 A-2 水色に人物モデル側）は 清浄な空気を押し込み、もう一方（図 A-2 ピンク色の人物モデル側）は HEPA フィルタによって、ウィルスを捕集して強制的に排気している点である。こうすることで、医療者が入るフードには、患者の飛沫が入りにくく、患者の入るフードは局所的にウィルスをつかまえ感染を拡散させないようにすることができる。



a) 風の流れ果  
(患者側：陰圧 医師側：陽圧)



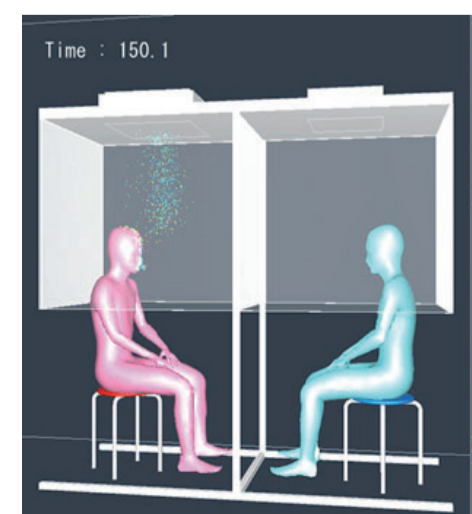
b) HEPA ファンユニットの概要  
(サイズ 400 x 400、風量 180m<sup>3</sup>・h)

図 A-2 対面式感染対策給排気フードの概要

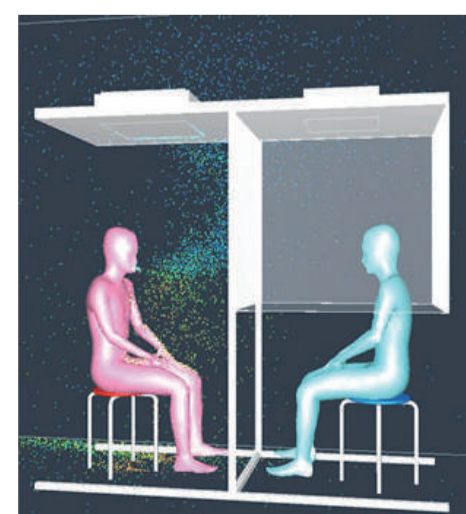
#### ●「対面式感染対策給排気フード」の効果のシミュレーション

このフードの効果は患者の口から出る飛沫を想定したシミュレーションを行った。左は患者側および医療者側ともビニルシートによるスクリーンがあるもの、右は患者側のスクリーンがない場合である。患者の口から出た飛沫が、図 A-3a では、フィルタできちんと捕集されていくが、図 A-3b では、様々なところへ飛散し、医療者側のブースにも入ってしまっている。

本フードの開発は、感染の発生源のできるだけ近くで捕集することと、感染から守る医療者に対してはクリーンな空気を送り込む機能を 一体に組み合わせることで、医療者と患者が対面する診察ブースとして活用できるものを目指した。



a) 患者側スクリーンあり



b) 患者側スクリーンなし

図 A-3 患者からの飛沫シミュレーション

医療者を感染から守る ~対面式感染対策給排気フード~  
<https://note.com/nikken/n/nfac9379c0151>

※解析協力：NMSC ソフトウェア

### 感染用簡易個室ユニット（病室）

#### ● Nikken Wood Lab | 「レジリエンス」な社会インフラの提案

木質・木造の開発研究を行うチーム Nikken Wood Lab では、日本の森林資源を活用し、限られた時間とコストの中で医療従事者やボランティアの方々が簡単に組み立てることができる仮設医療ブースを、医療施設の建築設計者、エンジニアとの横断チームにより実用化に向けて研究、開発を進めている（図 B-1）。

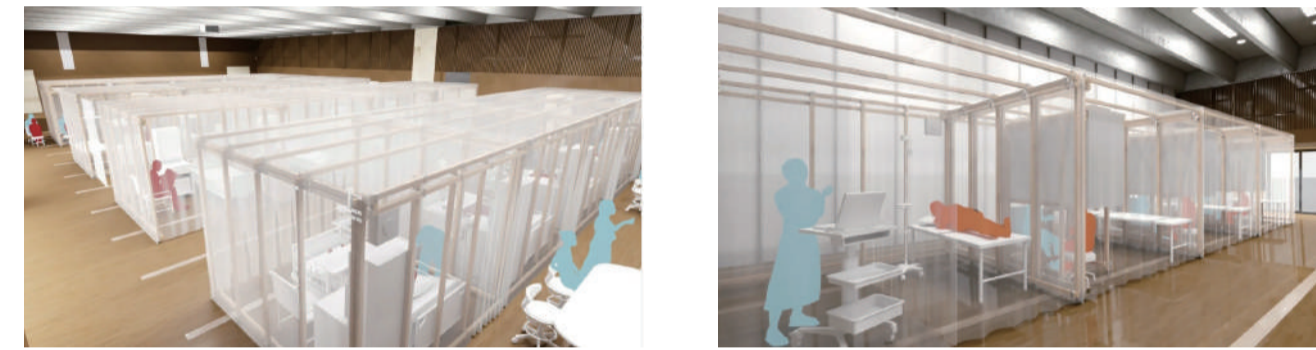


図 B-1 感染用簡易個別ユニットのイメージ

#### ●「つな木」とは

この仮設医療ブースは Nikken Wood Lab が考案した一般流通木材とクランプと呼ばれる接合部材のシンプルな組合せによる木質ユニット「つな木」を応用したもので、「全国 どこでも だれでも」短時間で組み立てることができる。木材に対する仕口加工など一切必要ない（図 B-2）。

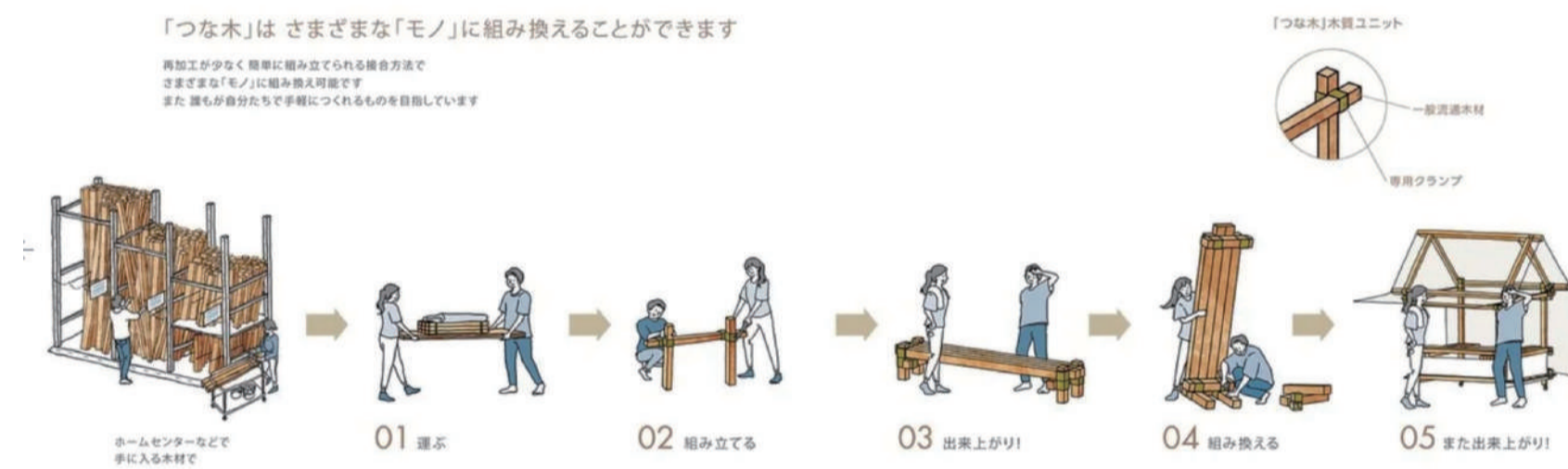


図 B-2 木造ユニット「つな木」

#### ●木材の特徴を生かした HEPA フィルタユニットブース

木材の「やわらかい」性質を生かし、空間を仕切るビニルシートや空気質や気流を確保する HEPA フィルタユニット等は、ネジやピンによる取り付けとし、医療従事者やボランティアの方々が自ら簡単に組み立てられるようにしています。

新型コロナウイルスに感染した患者を院内に受け入れる際に、診察・処置スペースや病室を一般の外來スペースから隔離する必要があります。そのようなシチュエーションを想定し、病室（軽症）、病室（中等症）、診察室（検体採取）、処置・点滴室の4つの医療ブースを計画している（図 B-3）。また、CFD によるシミュレーションで空気の流れ、患者の飛沫拡散の状況を確認している（図 B-4）。

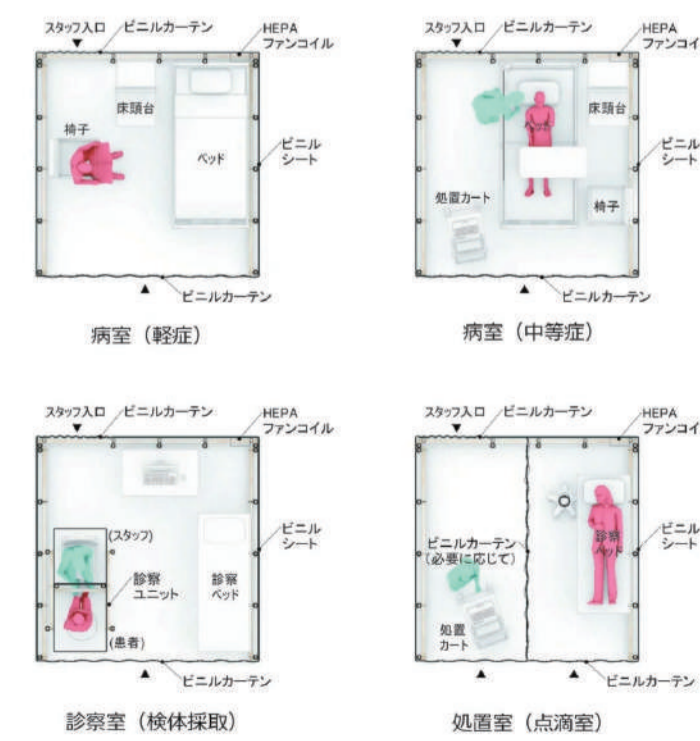


図 B-3 4つの医療ブース

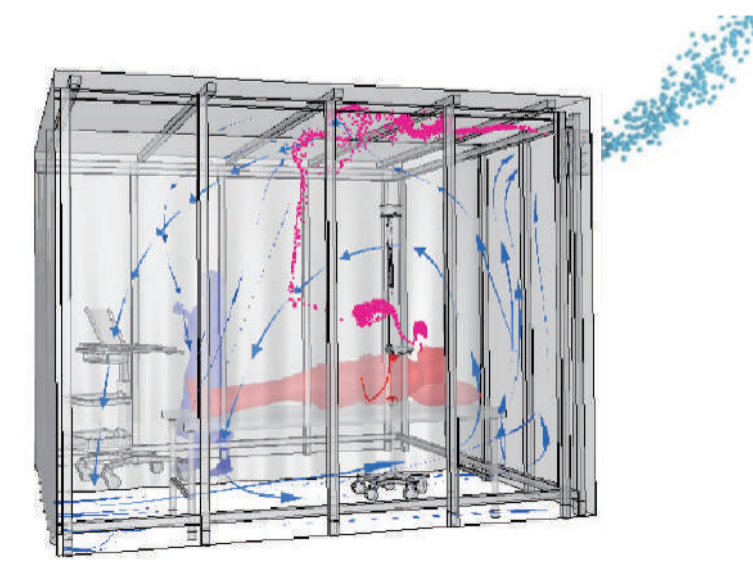


図 B-4 空気の流れと飛沫経路の可視化

足利赤十字病院の講堂を使った「つな木」による感染隔離対策  
<https://note.com/nikken/n/n1ba22cf85c34>

### With COVID-19 における『かけ流し空調』（オフィス）

#### ●『かけ流し空調』とは

従来の外気と室内空気を混合する空調方式ではなく、室内空気を循環しない外気供給のみによる一方・短経路な空調方式の可能性について考察する（図 C-1）。

なお、サード・スペースは在席数が少なく、DaaS (Desktop as a Service) といったクラウド利用により、室内発熱が大きく減少することが予想される。現状の過度ともいえるコンセント容量や照度の設定を見直すことで、必要最小限の風量で負荷を処理することができるようになる。

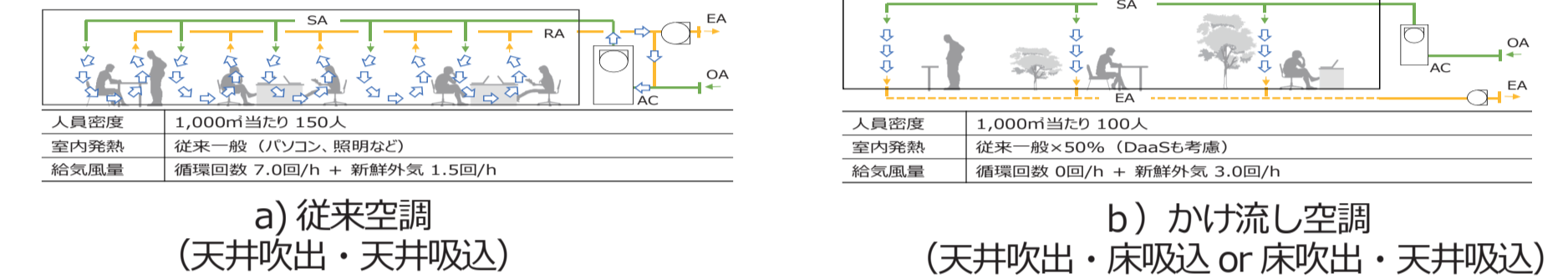


図 C-1 空調方式

#### ●安全安心な空調のシミュレーション

図 C-2 は、人が電話や会話などをして 1 ~ 20 μm の飛沫が同時に発せられた場合の飛沫拡散の様子を示す。従来空調 (天井吹出・天井吸込) に比べ、かけ流し空調 (天井吹出・床吸込) の方が、空間の飛沫数が少なくなっている。重力によって自然落下しようとする飛沫が床吸込口から効率よく排出され、飛沫の再飛散も低減できるためと考えられる。

図 C-3 には、人が静かに呼吸をしているだけ、或いは会話をするにしてもマスクの着用などによって、主に 1 μm 程度の飛沫だけが発せられるような場合の飛沫拡散の様子を示す。ただしここでは、かけ流し空調を床吹出・天井吸込みとして、空気の流れを下から上への流れとしている。

従来空調 (天井吹出・天井吸込) に比べ、かけ流し空調 (床吹出・天井吸込) の方が、フィジカル・ディスタンス外への飛沫の広がりや抑制する効果が見られる。人体や機器発熱に乗って上昇しようとする小さな飛沫と空気の流れが一致しているため、飛沫が飛散することを抑えられるためと考えられる。

以上のように、在席者から発せられる飛沫の特性に応じて、かけ流し空調の気流方向を使い分けることは、飛沫拡散防止に有効な手段と言えるであろう。

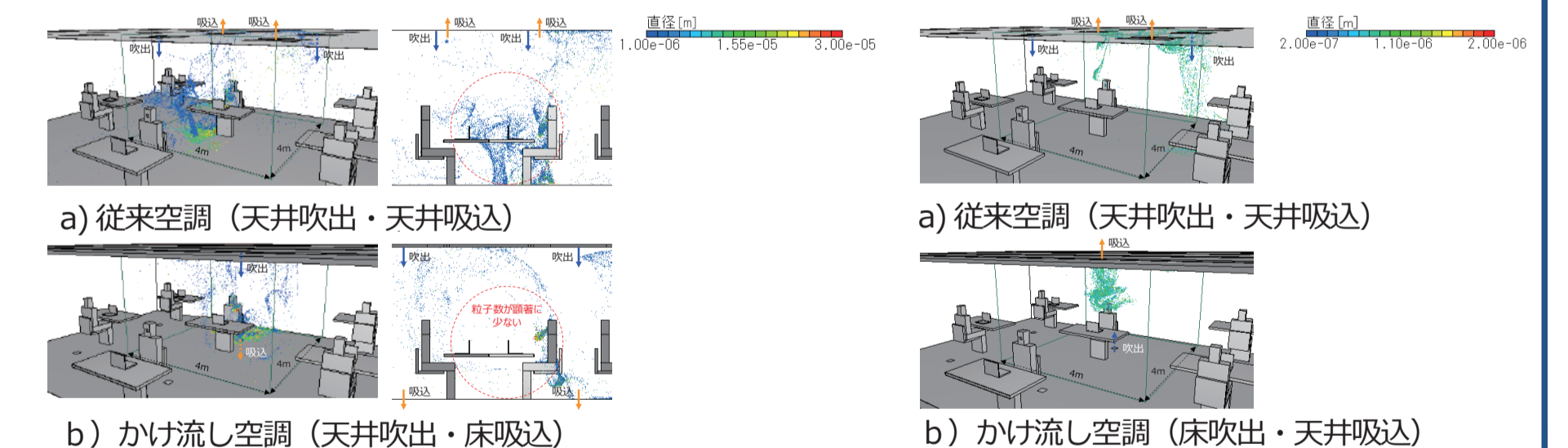


図 C-2 飛沫拡散の様子 [粒子径 1 ~ 20 μm]

図 C-3 飛沫拡散の様子 [粒子径 1 μm のみ]

#### ●ローコストな空調

図 C-4 に両方式の空調ダクト図を示します。かけ流し空調方式は、天井内がシンプル化されています。機械室も圧縮され、有効スペースの拡大や天井を高くすることなど、サード・スペースを豊かにするイメージに繋がる。年間エネルギー消費量の比較においても、かけ流し空調方式は従来空調方式に比べて、約 50% の削減が可能である（図 C-5）。



a) 従来空調 (天井吹出・天井吸込) b) かけ流し空調 (天井吹出・床吸込)

図 C-4 空調ダクト図

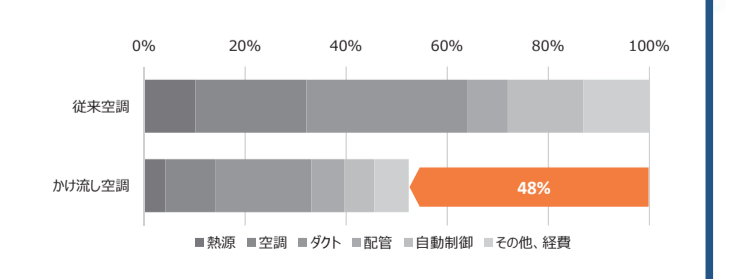


図 C-5 エネルギー消費量の比較