

室内環境におけるウイルス飛沫感染 の予測とその対策

課題責任者

理化学研究所／神戸大学 坪倉 誠

富岳コロナ対策プロジェクト飛沫感染チーム

本研究は以下の支援を受けて行っている。ここに謝意を表する。

- 令和3年度「富岳」一般課題：「新型コロナを対象とした統合的飛沫感染リスク評価システムの開発と社会実装」（HPCI）
- CREST「異分野融合による新型コロナウイルスをはじめとした感染症との共生に資する技術基盤の創成」プロジェクト「スパコンによる統合的飛沫感染リスク評価システムの開発と社会実装」（科学技術振興機構）
- ポストコロナ時代に向けた主要技術の実証・導入に係る事業（内閣官房）
- スーパーコンピュータ「富岳」政策対応枠「経済活動と感染防止対策の両立の実現のための「飛沫シミュレーション」の実施」
- 「新型コロナウイルス対策を目的としたスーパーコンピュータ「富岳」の優先的な試行的利用について（令和2年度実施）」（文部科学省/理研）
- 「スマートライフ実現のためのAI等を活用したシミュレーション調査研究」（令和2年度実施）（内閣官房）

おねがい

本資料に含まれる図やアニメーションは、研究の主旨に沿った報道であれば自由に用いて頂いてかまいません。ただし利用する際は、媒体名と企画内容について、予め**理研計算科学研究センター広報申請フォーム**にて申請願います。

<https://krs2.riken.jp/m/fugaku-corona-dl>

また、本研究に関する取材については、**理研計算科学研究センター広報**まで連絡をお願いします。

<https://krs2.riken.jp/m/media-form>

同一テレビ局内の**別報道番組**での動画等の再利用については、新たに許可を得る必要はありません。用いた場合の**番組名と報道日時のみ**、上記広報まで必ずご連絡下さい

坪倉 誠 の所属表記は、下記の例のように理研と神戸大を併記するようお願いします。

(例)

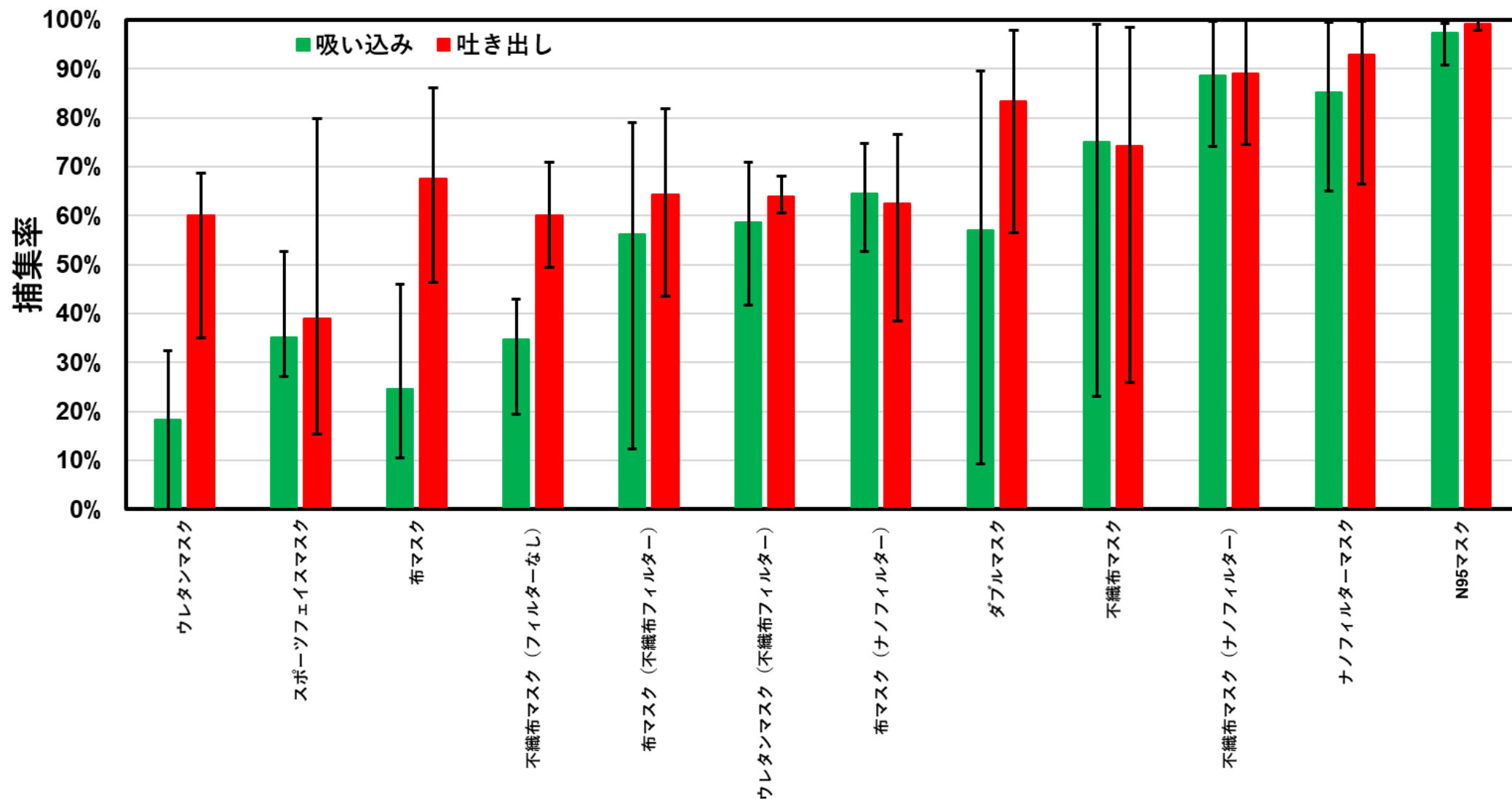
- ・ 理化学研究所計算科学研究センター チームリーダー／神戸大学大学院システム情報学研究科 教授
- ・ 理化学研究所チームリーダー／神戸大学教授
- ・ 理研／神戸大

本日の発表内容

- 15分会話における感染リスクと対策（変異株の影響）
- 飲食店における感染リスクと対策（パーティション, 距離, ワクチン）
- テーブルでの感染リスクと対策（卓上排煙ダクトの効果）
- ポストコロナ時代の室内設計（シーリングファンの効果）

市販マスクの性能（実測値）

● 人が装着した場合の吸い込み，吐き出し時の性能



市販マスクの性能（実測値）

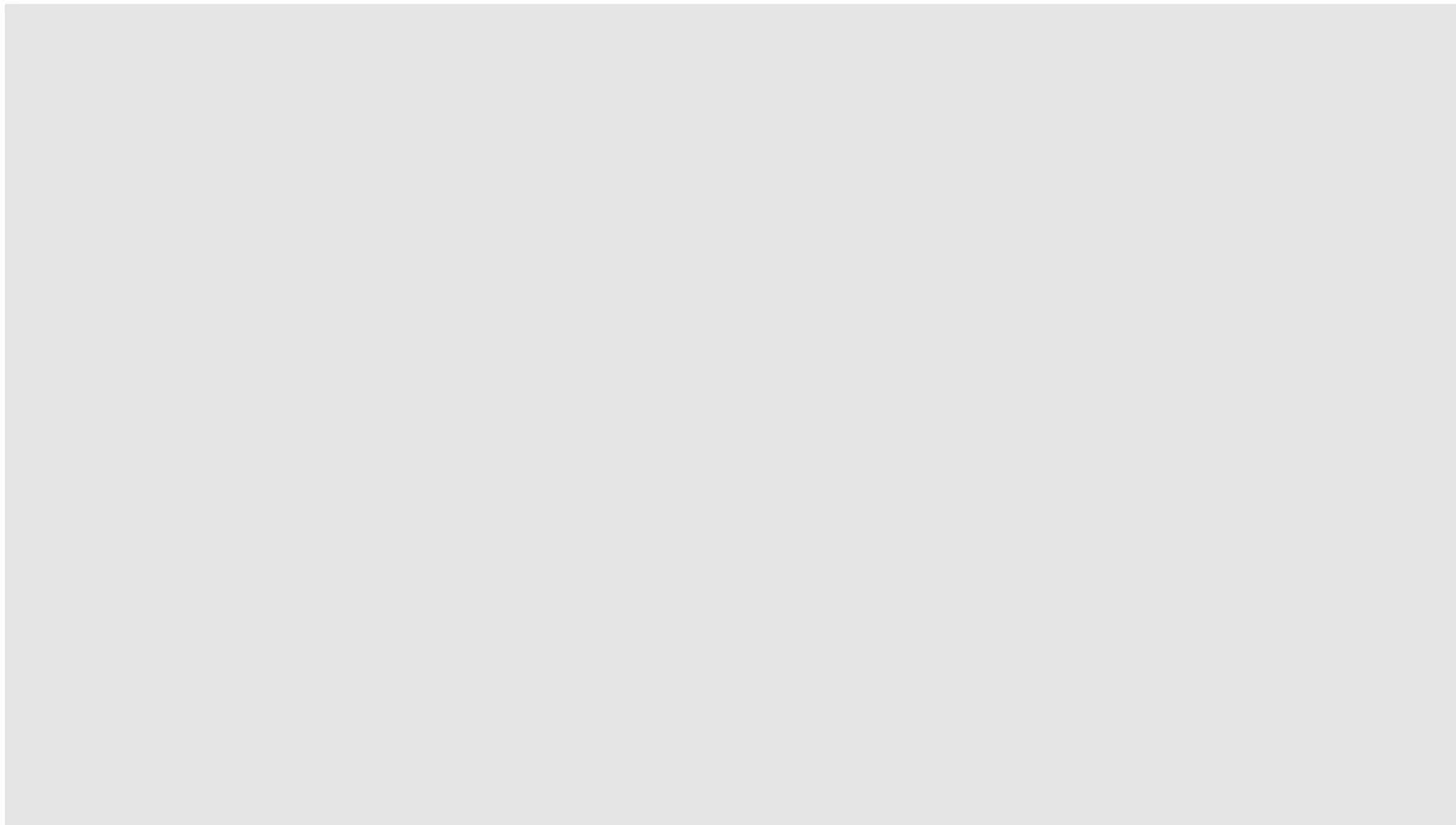
	なし	ウレタン 22種類	布マスク 64種類		不織布マスク 67種類		ダブルマスク 17種類	ナノフィル ター8種類	N95マスク 10種類
			フィルターなし	フィルター入り	ルーズ	フィット			
	100 %	48 %	28 %	24%	24%	18%	14%	6%	1%
	100 %	82 %	70 %	48 %	45%	25%	16%	16%	2%

（実際に人が市販マスクを着用して米国労働安全衛生局が定めたフィットテストプロトコルに基づいた試験を行い求めた数値：粒子径0.015μm以上）

試験の様子を撮影した動画：<https://drive.google.com/file/d/1xg59ZOjwJ7iqOXiVCq49QS0sAfEIB0dU/view?usp=sharing>

マスク着用に関する啓発ビデオ

- 一部抜粋しての使用もOKです



動画制作チーム：豊橋技術科学大学、大王製紙(株)

https://www.youtube.com/watch?v=26MDHomQU3Y&feature=emb_logo

感染確率の計算方法

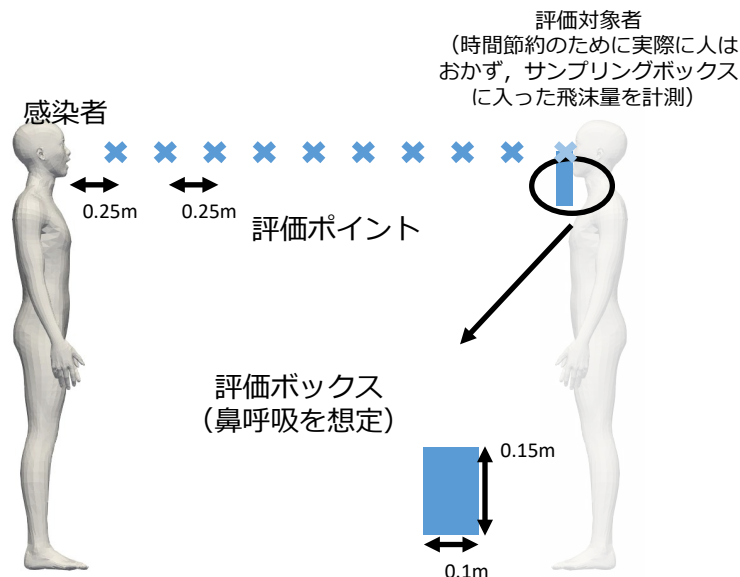
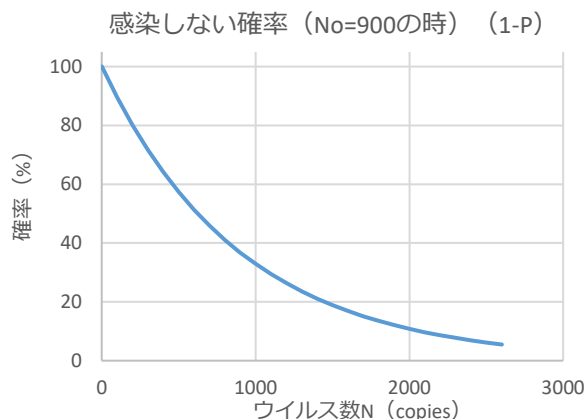
- 通常呼吸を想定して、ある時間に吸引する飛沫の総量 (ml) をシミュレーションにより予測
- 飛沫に含まれるウイルス数を仮定し、呼吸により体内に侵入するウイルス数 (N) を算出
- 感染に至るウイルス数 (N₀) を過去のクラスターイベントより仮定して、以下の式 (ポアソン過程) で感染確率を推定 (文献*より)

$$P(N) = 1 - e^{-\frac{N}{N_0}I}$$

N₀: 感染に至るウイルス量, ここでは300~2000 viral copies
(5つのイベント: 中国観光バス×2, 韓国エアロビ, 韓国コールセンター, 米聖歌隊)

感染者の飛沫に含まれるウイルス数 (ピーク時), 10⁷ copies/mL
(患者により大きく異なる!)

I (強度): 変異株やワクチンの効果



感染リスクについては、パラメータの設定で大きく結果は変わるので、あくまで参考値としてください!

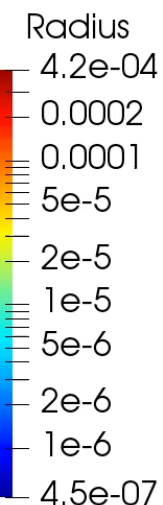
(*) Prentiss MG, Chu A, Berggren KK. Superspreading Events Without Superspreaders: Using High Attack Rate Events to Estimate N₀ for Airborne Transmission of COVID-19. Posted October 23, 2020. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.10.21.20216895>.

飛沫飛散の様子

- 英語でone～tenを9秒（途中で一度吸気）これを繰り返す

Time: 0.2 s

大声



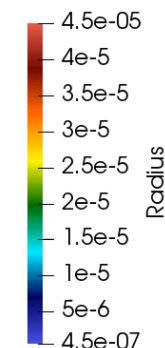
飛沫飛散の様子

- 英語でone～tenを9秒（途中で一度吸気）これを繰り返す
 - 1分間で，会話の場合1万個程度，大声の場合2万5千個程度の飛沫が発生

Time: 0.25 s

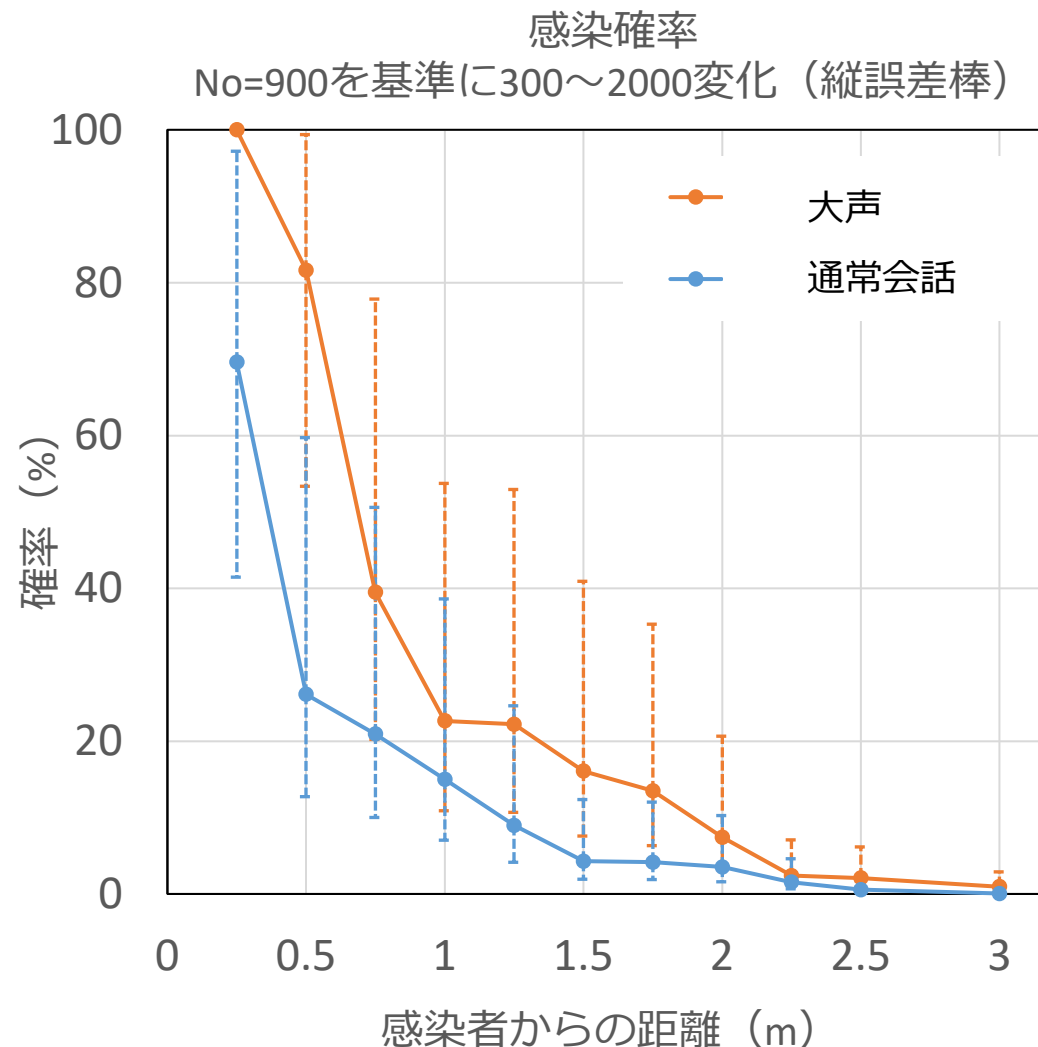
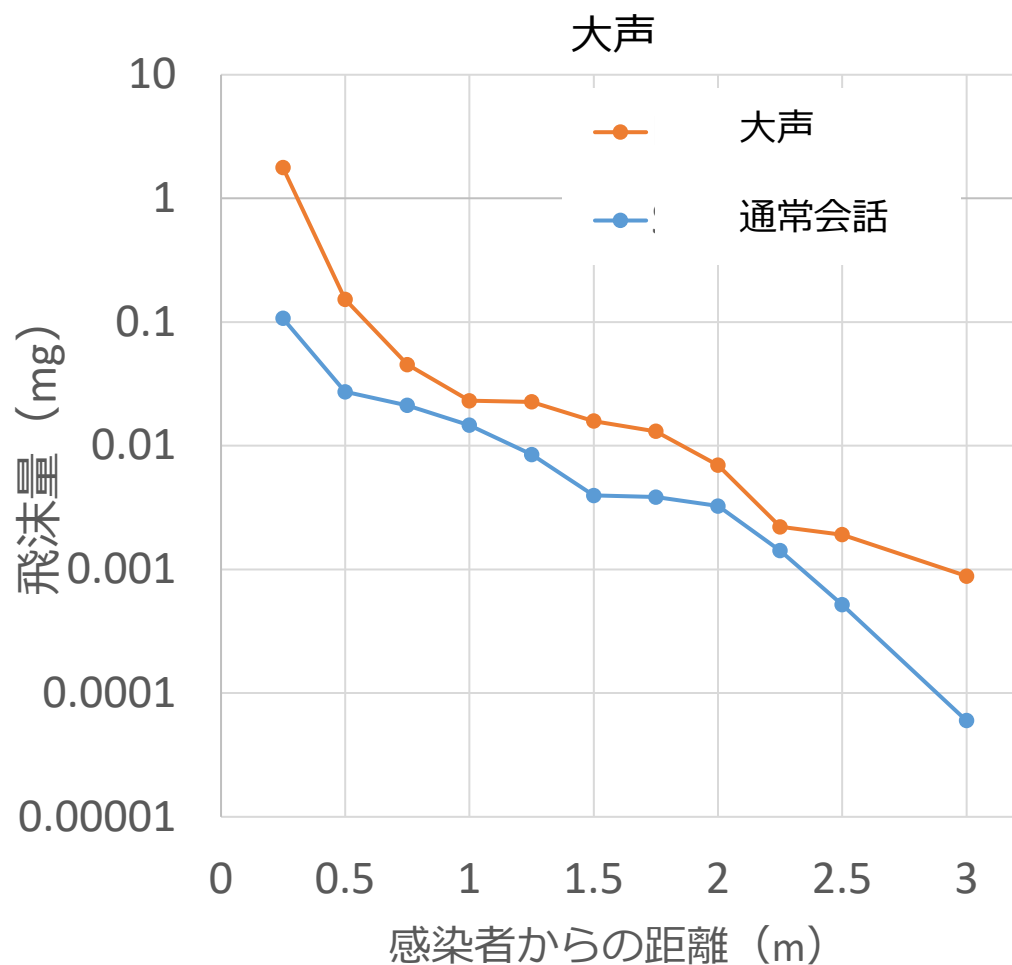


通常会話



15分間しゃべっている感染者と対面した時の感染リスク

● 吸引する飛沫質量（左）と感染確率（右）

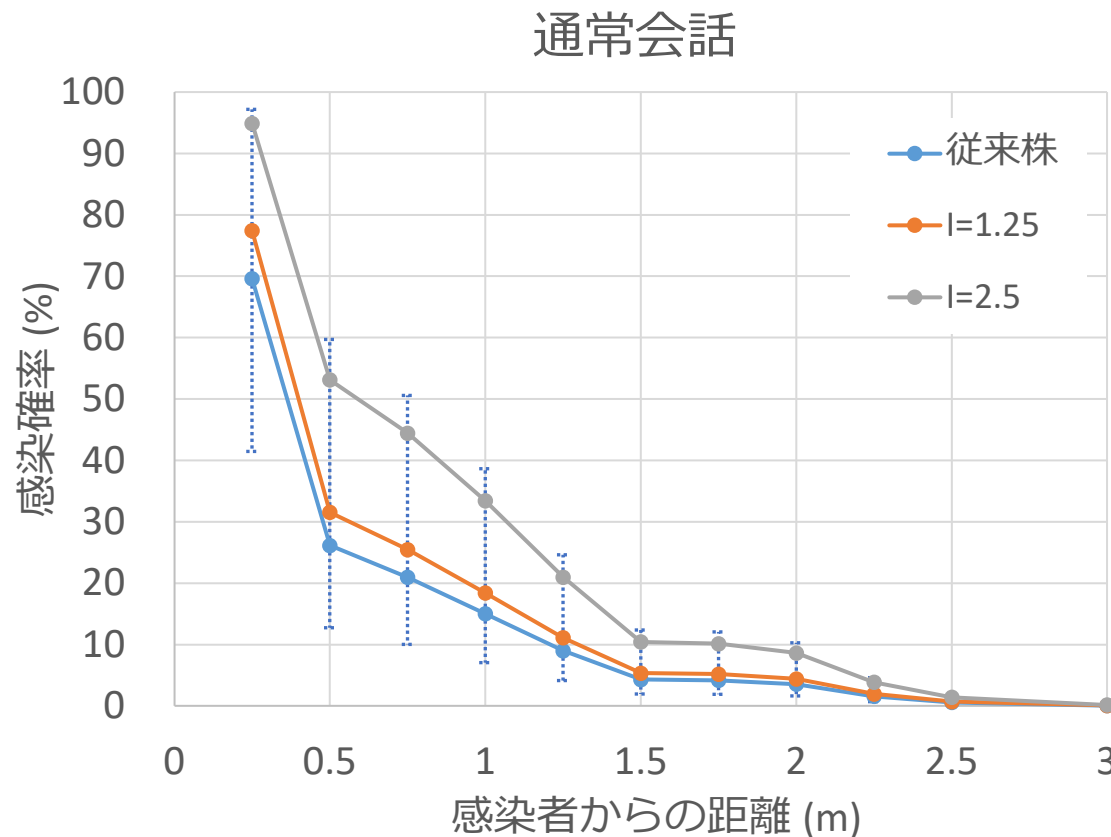
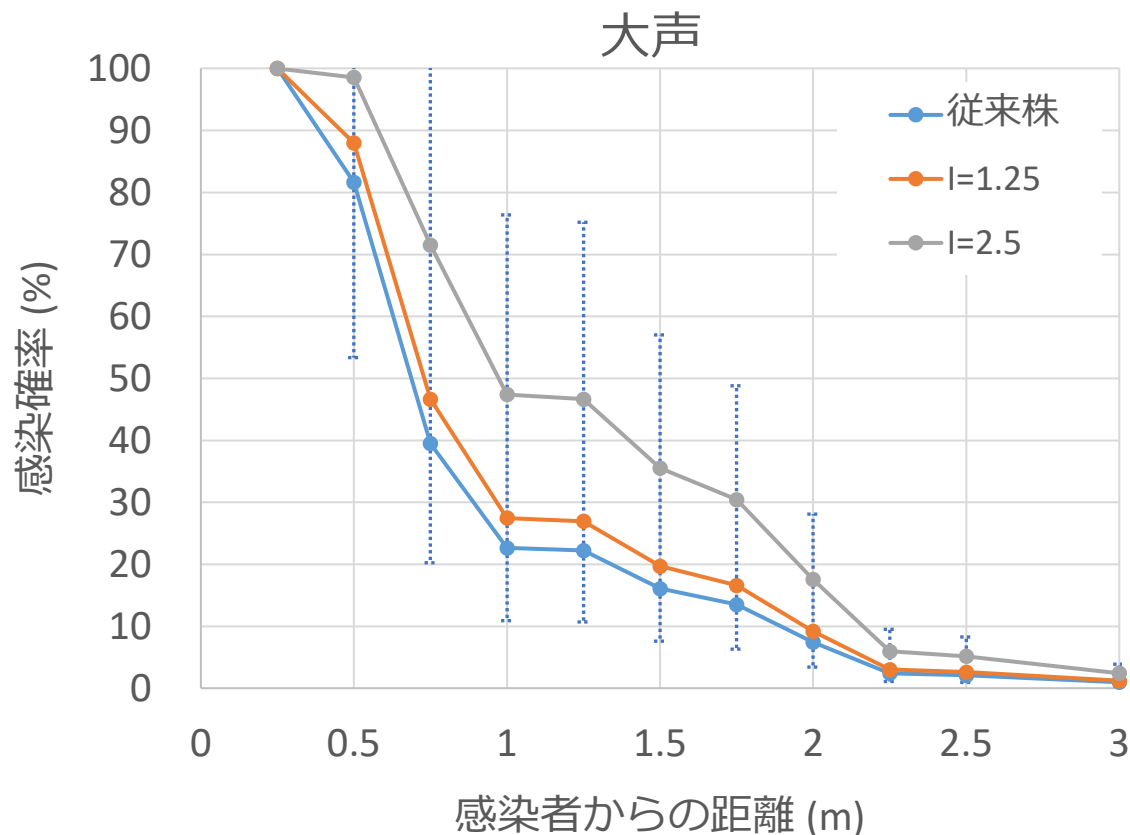


ポイント：2mを境に急激にリスクが変化する

15分間しゃべっている感染者と対面した時の感染リスク

● 従来株と変異株の比較（距離の効果）

- 従来株に対する変異株の感染力の強さをI（強度）で表現
- （参考）アルファ（英国）株（感染力1.32倍）⁽¹⁾, デルタ（インド）株（感染力2倍程度？）



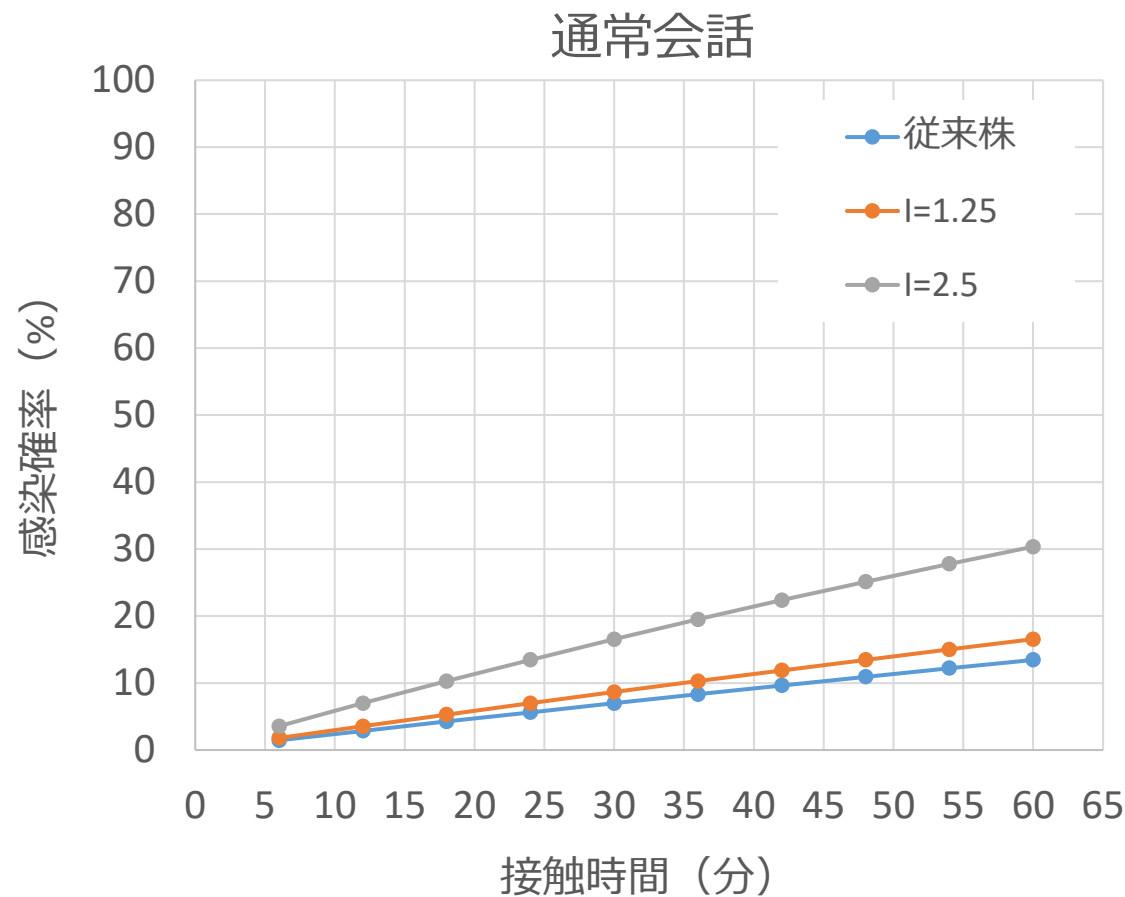
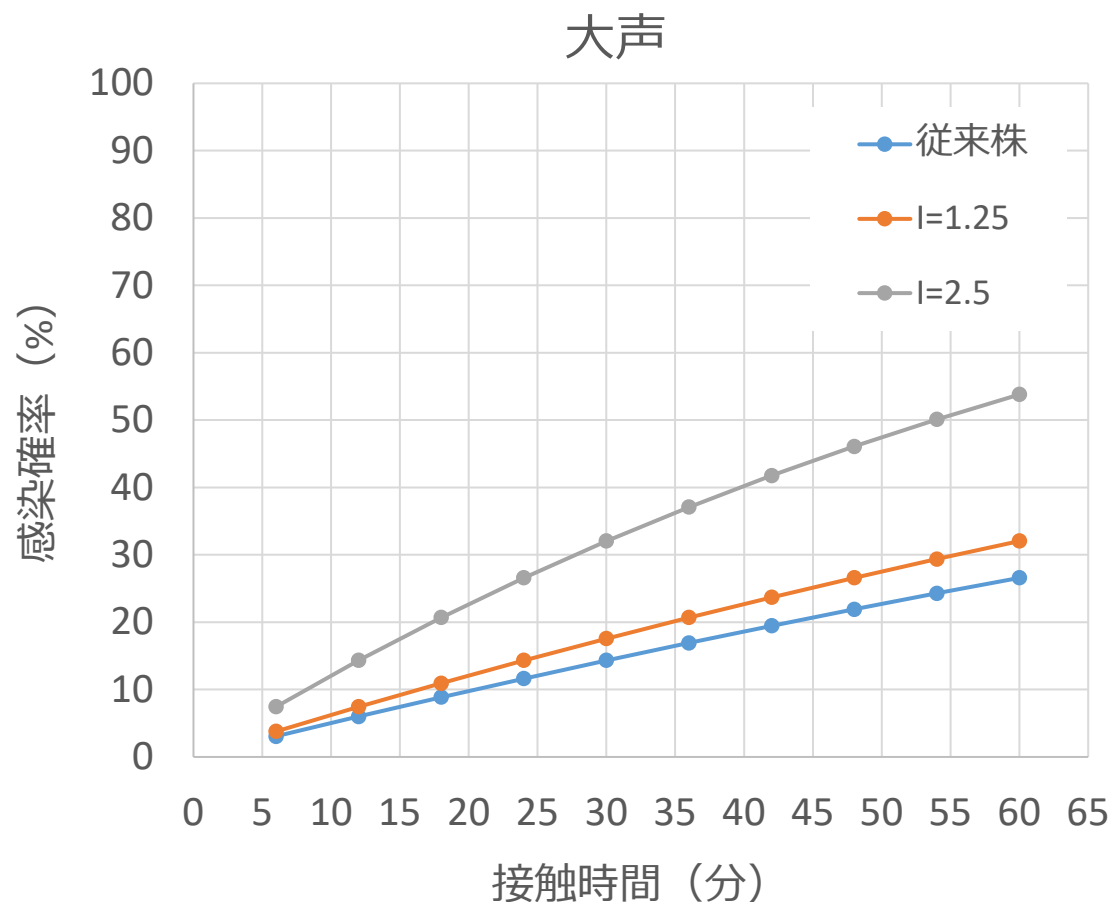
ポイント：2mがリスク評価の指標になることは変わらないが、2m以内で大きくリスクが変化する

(1)国立感染症研究所, 日本国内で報告された新規変異株症例の疫学的分析（第1報）, 2021年4月5日

提供：理研・神戸大，協力：豊橋技科大・京工繊大・東工大・九大

2mの距離で対面した際の感染リスク

● 従来株と変異株の比較（時間の効果）



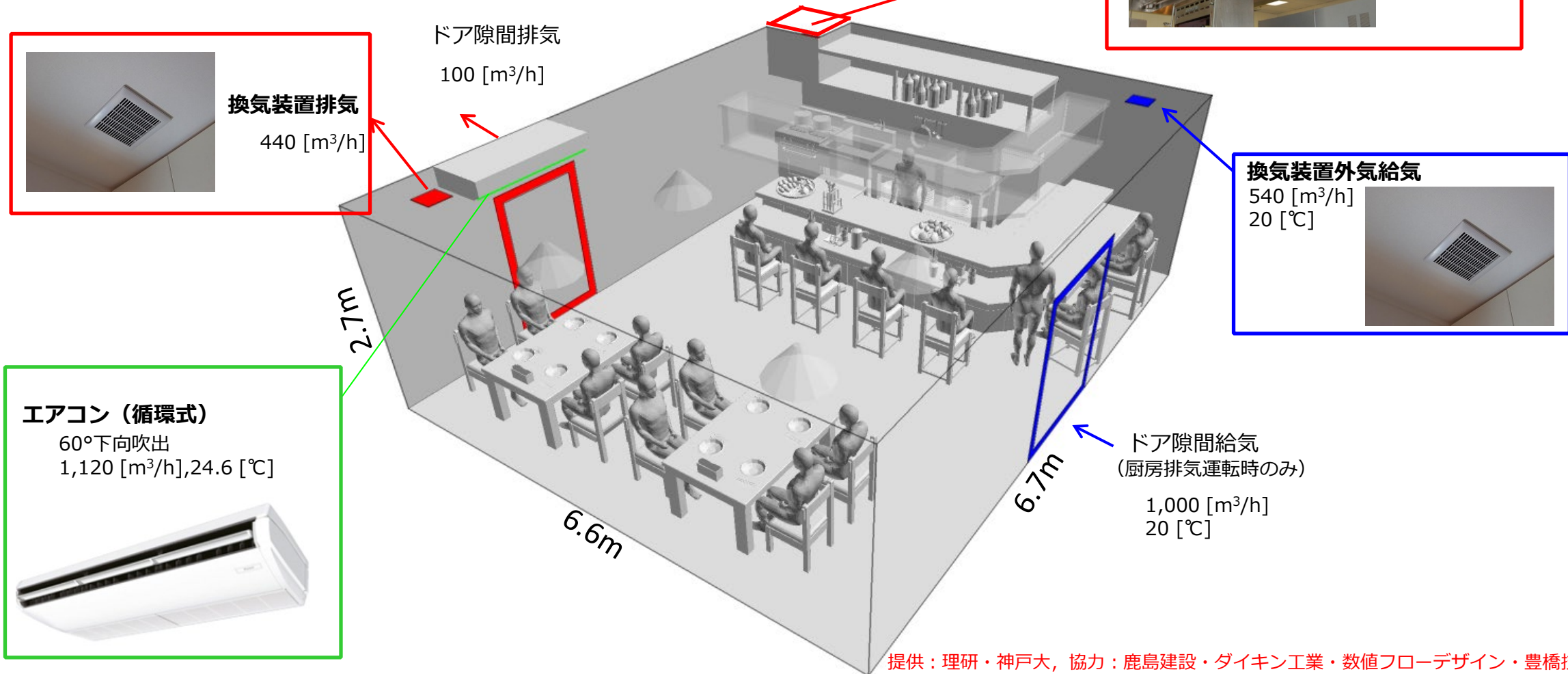
ポイント：従来株と同じ感染リスクに到達するのに変異株は半分以上の時間

10%のリスクに達するのに従来株だと45分程度
I=1.25だと35分程度、I=2.5だと20分弱

飲食店における飛沫感染リスク評価と対策

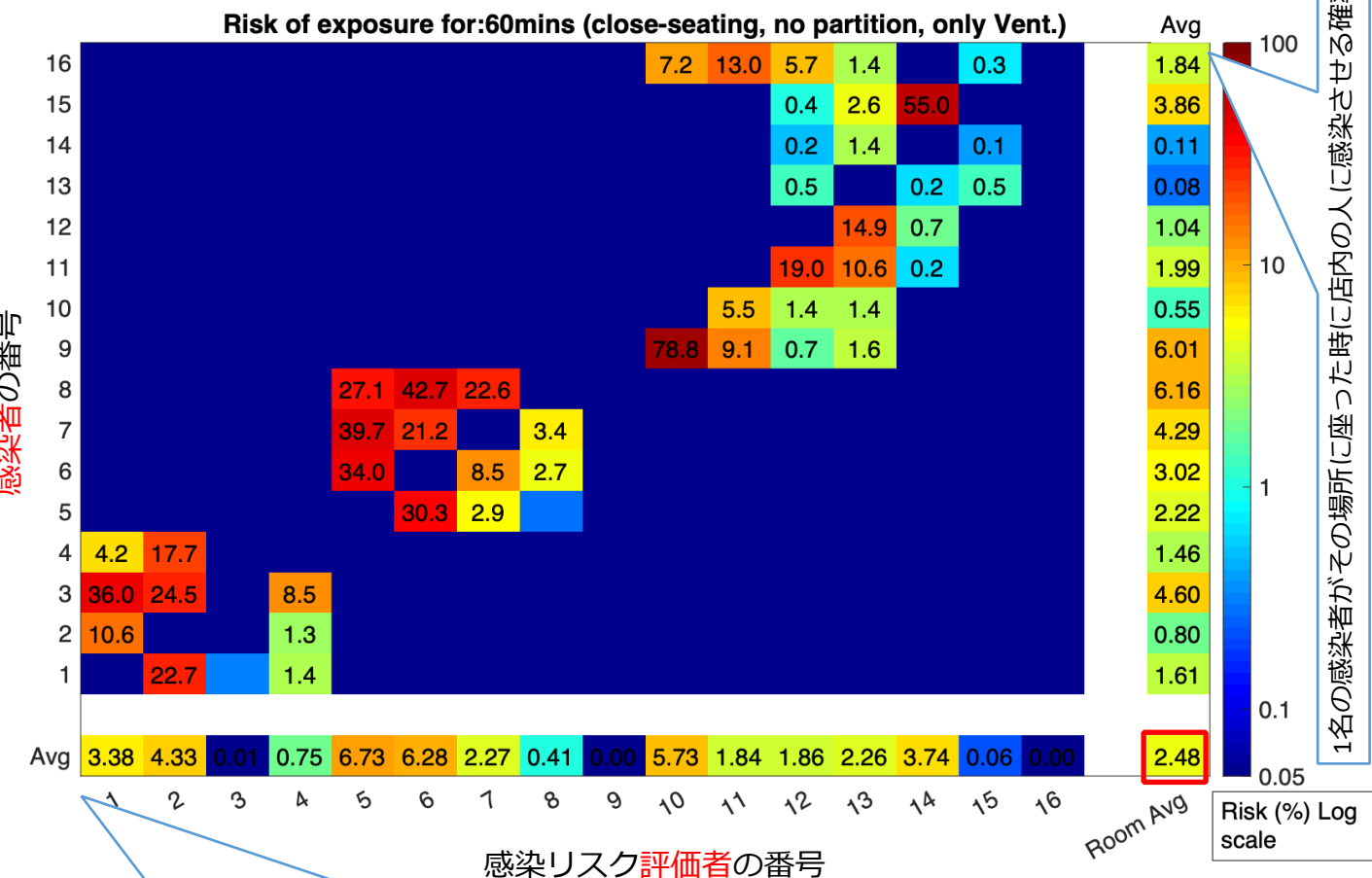
16人程度が入る小型の店舗を想定

- 室内に**1名の感染者**が滞在するとして**在室者1名の感染確率**を求める
- 滞在時間は**1時間**で感染者は**30分間大声**で話していることを想定

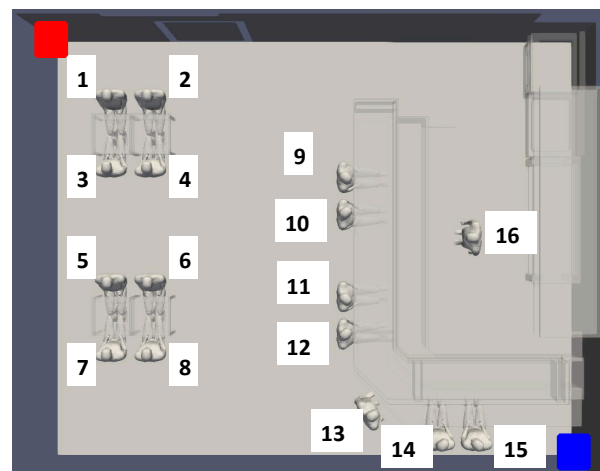


飲食店における感染リスク評価と対策

● 通常状態

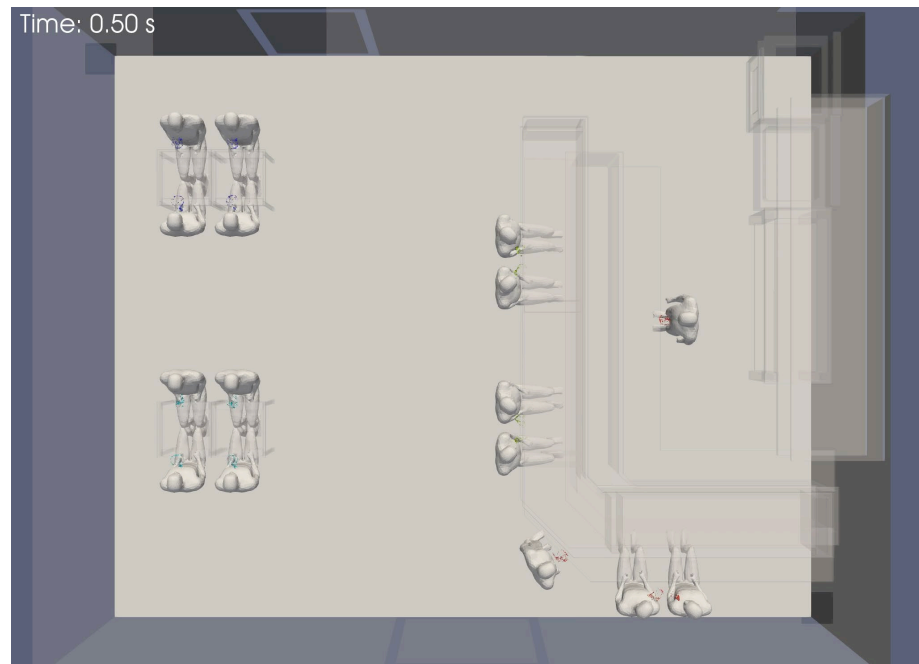


排気ダクト



給気ダクト

Time: 0.50 s



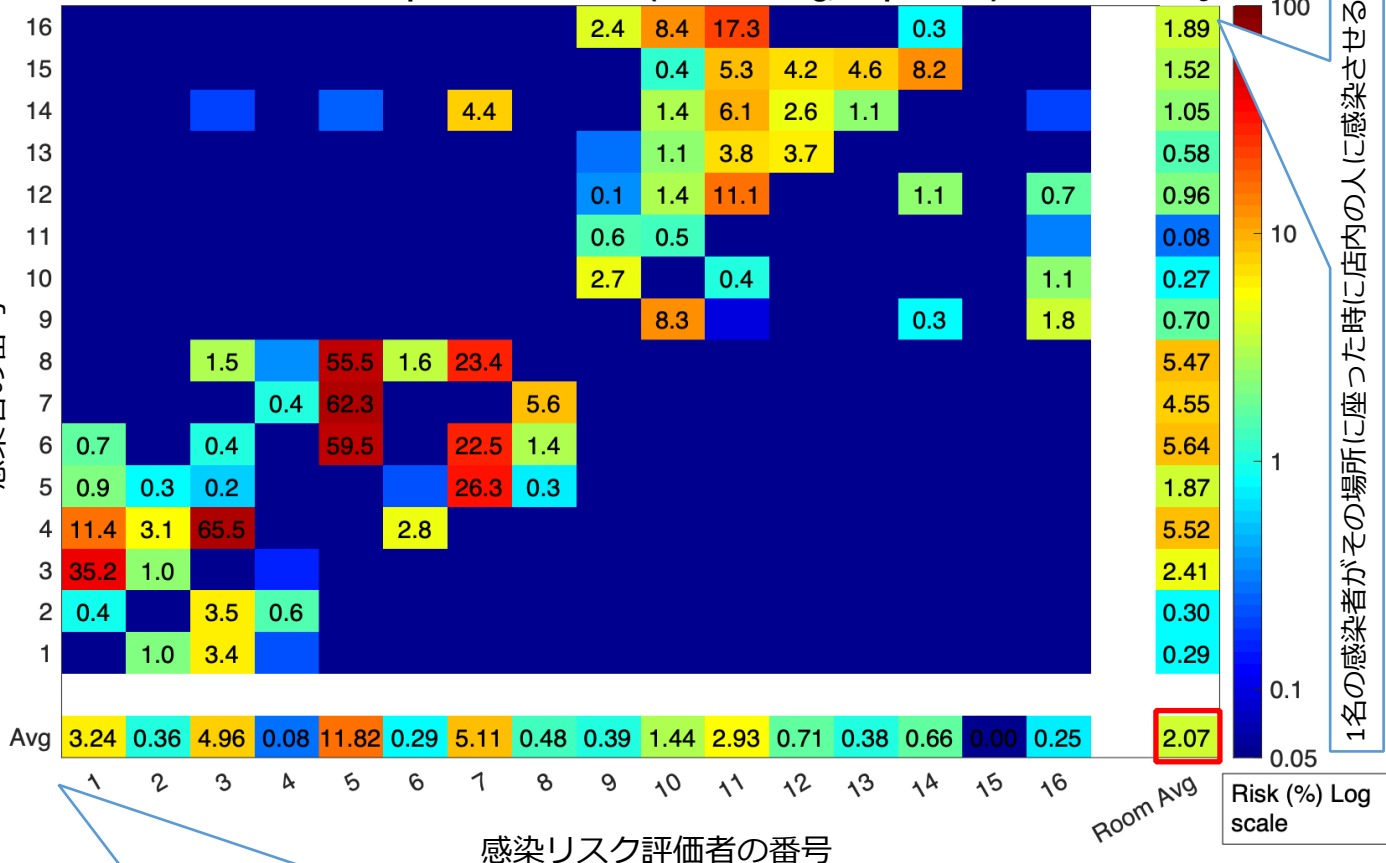
1名の感染者の場所が特定できない場合にその場所に座った時に感染する確率

- 1名の感染者がいる店に1時間いた場合の感染リスクは一人当たり2.48%
- 1, 2, 5, 6, 10, 14が感染するリスクが高い（右下から左上への換気ダクト流れの風下側）
- 3, 7, 8, 9, 15が感染させるリスクが高い（室内流れの風上側）
- 感染者との位置関係で最大78.8%まで増加する（9番が感染者で10番に座った場合）
- 誰が感染者かわからない状況では場所による極端なリスクの差異を作らないことが大切！

飲食店における感染リスク評価と対策

● 対策1: エアコンと厨房ダクトを作動させる

Risk of exposure for 60mins (close-seating, no partition)



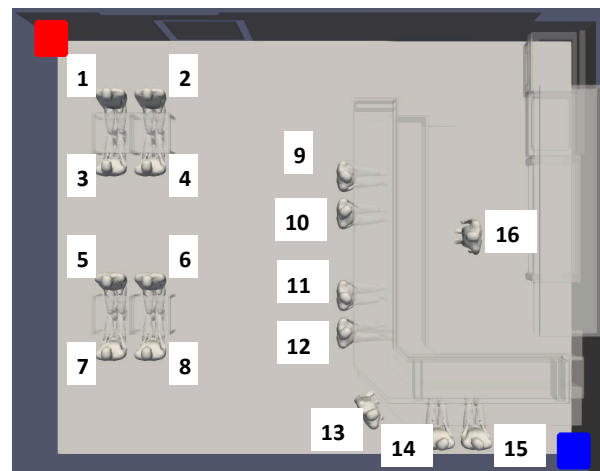
感染者の番号

感染リスク評価者の番号

1名の感染者の場所が特定できない場合にその場所に座った時に感染する確率

- 一人当たりの感染リスクは、2.48%から2.07%に低下
- より広い範囲に広がるが薄められることで、全体的にはリスクを分散させる効果がある
- 強い風下になる場合、局所的にリスクが高まる場合がある（エアコンの影響？3, 5, 7）
- 風の影響で8→3, 14→7, 14→11等, 2mを越えて感染リスクが高い関係がある

排気ダクト



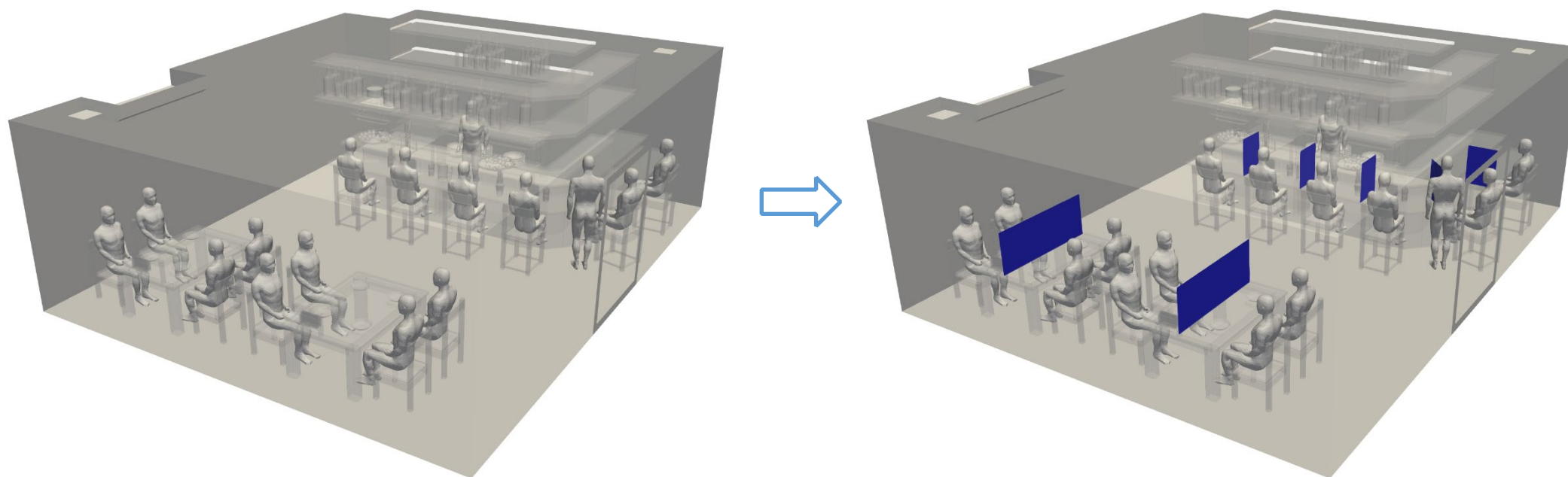
給気ダクト

Time: 0.50 s



飲食店における感染リスク評価と対策

● 対策案：パーティション

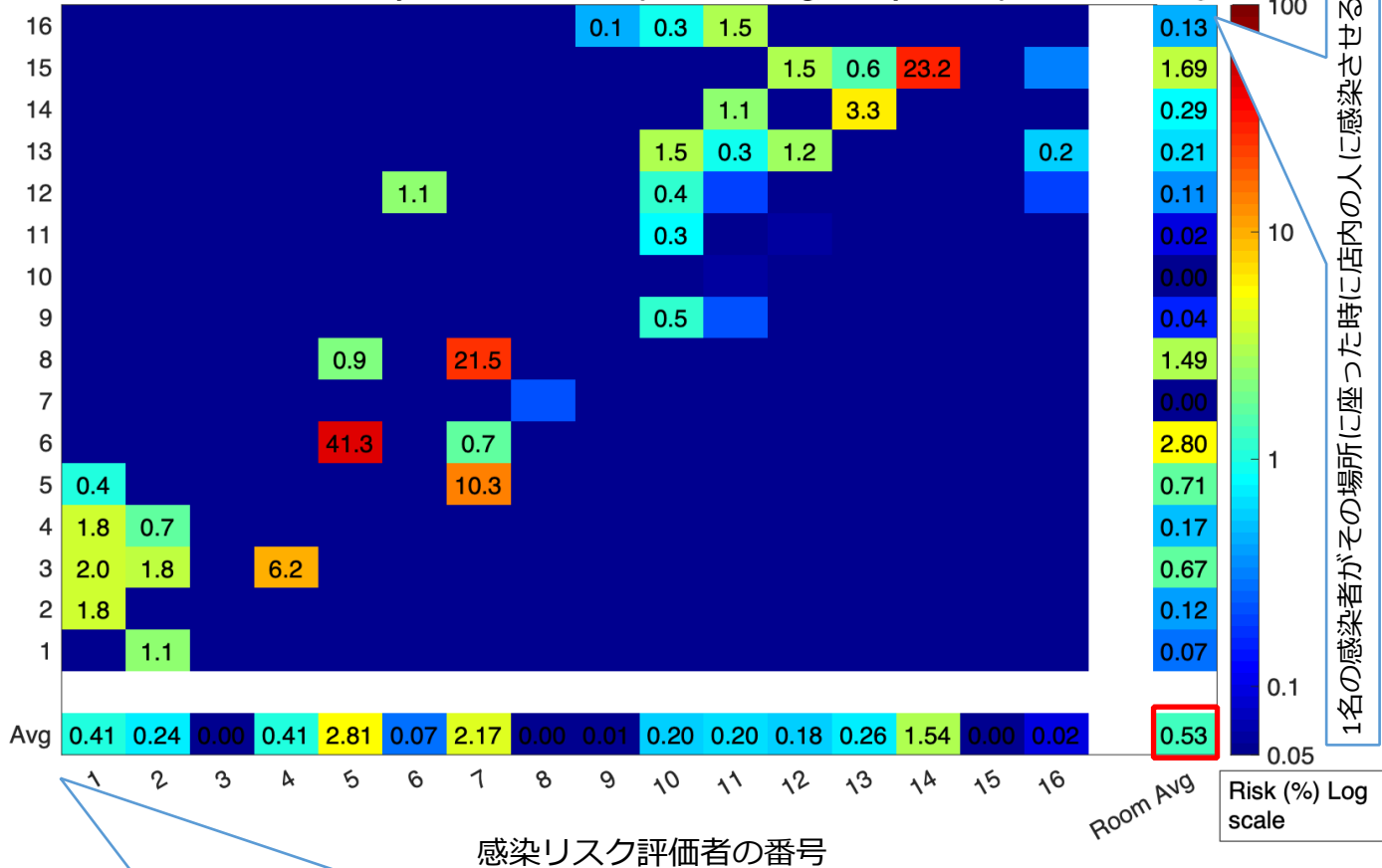


テーブルのサイズ：120x60cm
 テーブル高さ：77cm
 カウンター高さ：89cm
 パーティション高さ：60cm

飲食店における感染リスク評価と対策

● 対策2: 対策1+パーティションを設置する

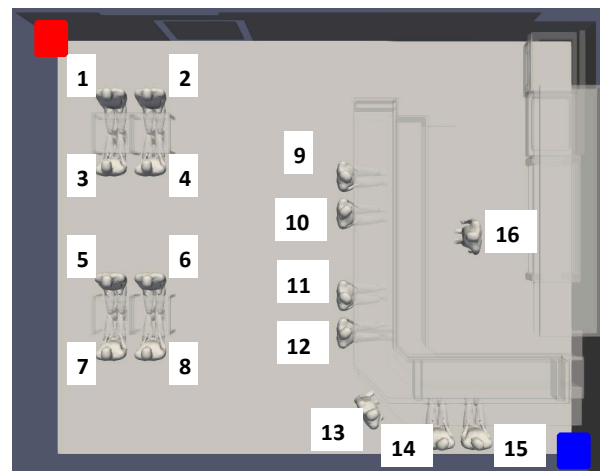
Risk of exposure for 60mins (close-seating, with partition)



1名の感染者の場所が特定できない場合にその場所に座った時に感染する確率

- 一人当たりの感染リスクの平均は、2.48%から0.53%に大きく低下（部屋全体でリスクを約80%削減）
- 4と14を除くすべての感染リスクが低下
- 一部、リスクの高い位置関係が残っている（6から5, 8から7, 15から14）

排気ダクト

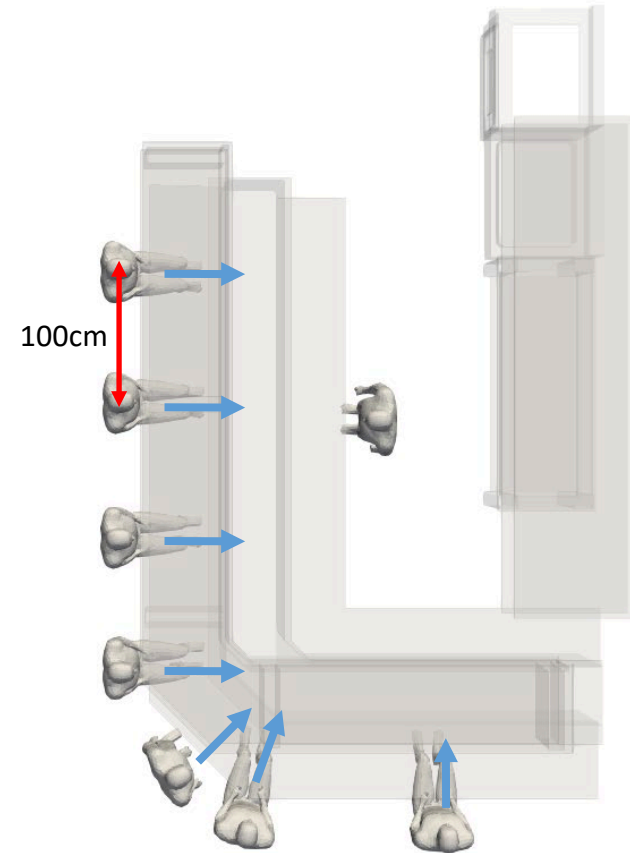
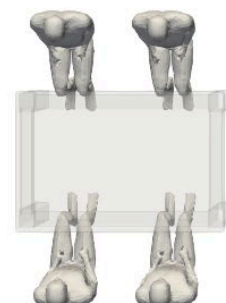
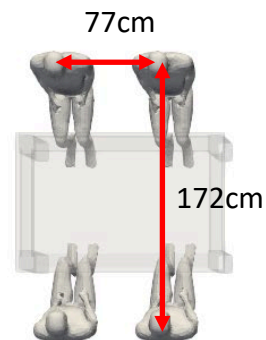
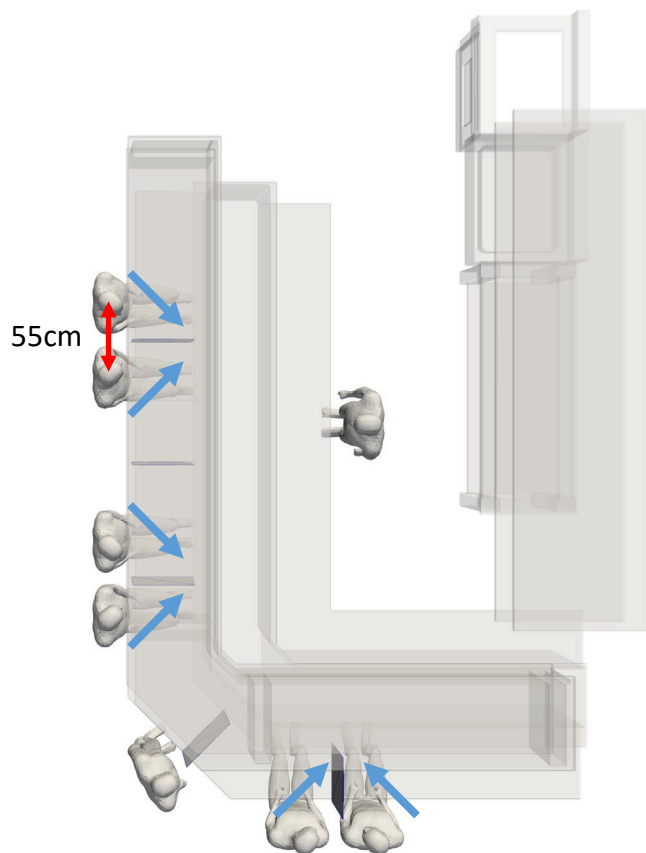
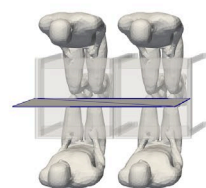
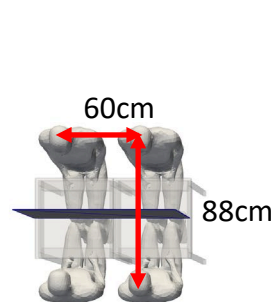


給気ダクト

Time: 0.50 s



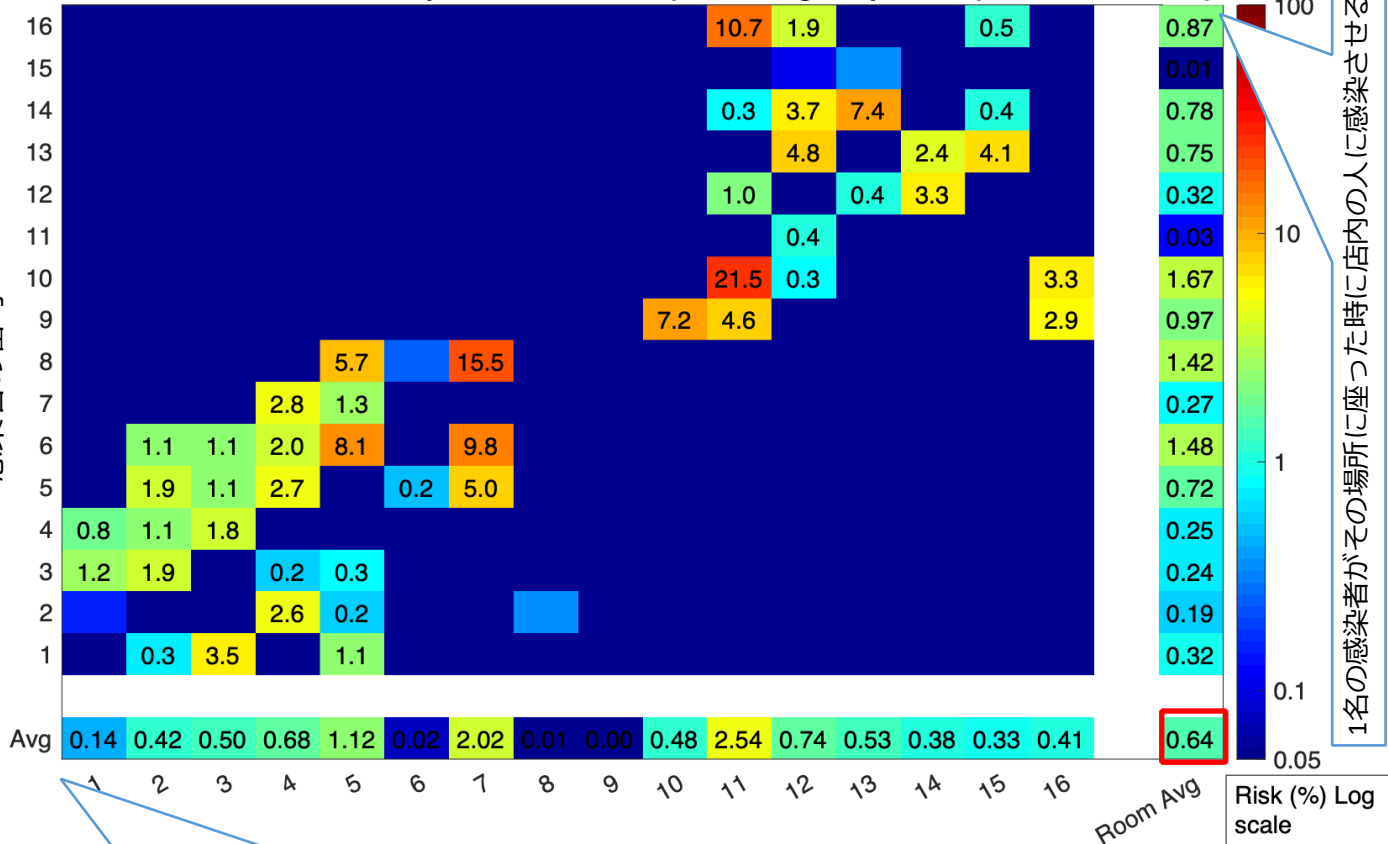
● 対策案：距離を取ることによる対策



飲食店における感染リスク評価と対策

● 対策3: 対策1+距離を取る

Risk of exposure for 60mins (far-seating, no partition)

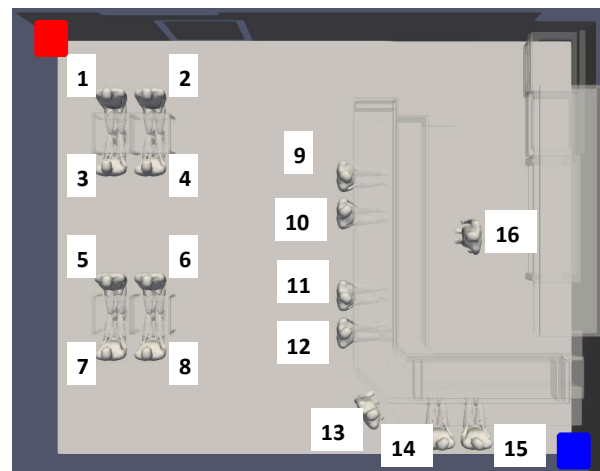


感染リスク評価者の番号

1名の感染者の場所が特定できない場合にその場所に座った時に感染する確率

- 一人当たりの感染リスクは、2.48%から0.64%に低下（部屋全体でリスクを約75%削減）
- 感染リスクの偏りはより小さくなっている（最大値21.5%）

排気ダクト



給気ダクト

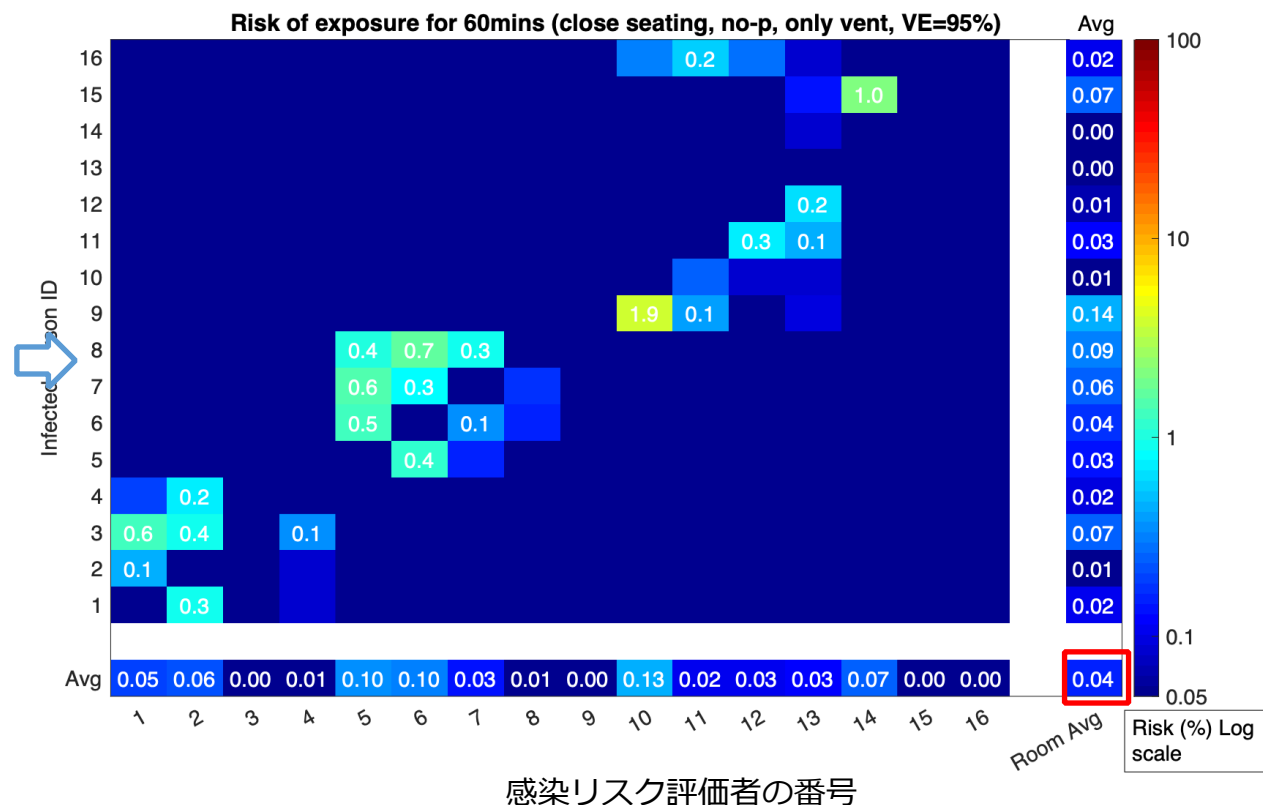
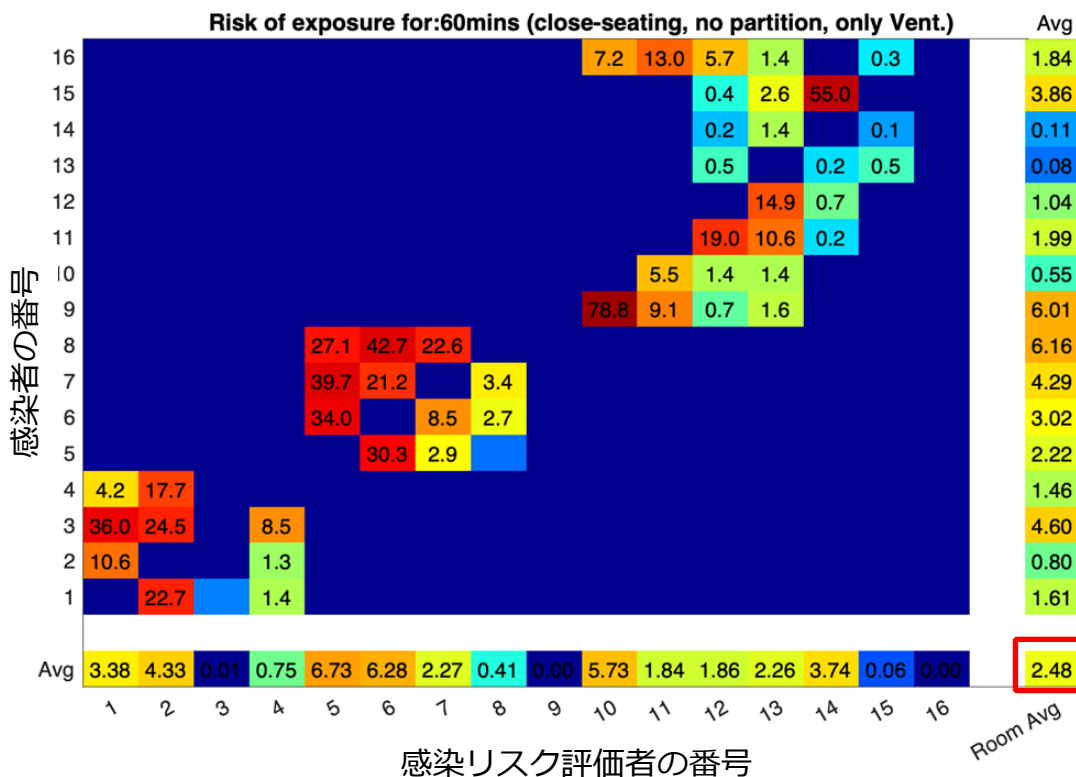
Time: 0.00 s



飲食店における感染リスク評価と対策

● ワクチンの効果

- 感染者も含め、全ての人がワクチンを接種したと想定：ワクチンの効果は95%を仮定¹⁾
- 1名の感染者（ワクチン接種済み）がいると想定：唾液中のウイルスは1/4に低下と仮定²⁾



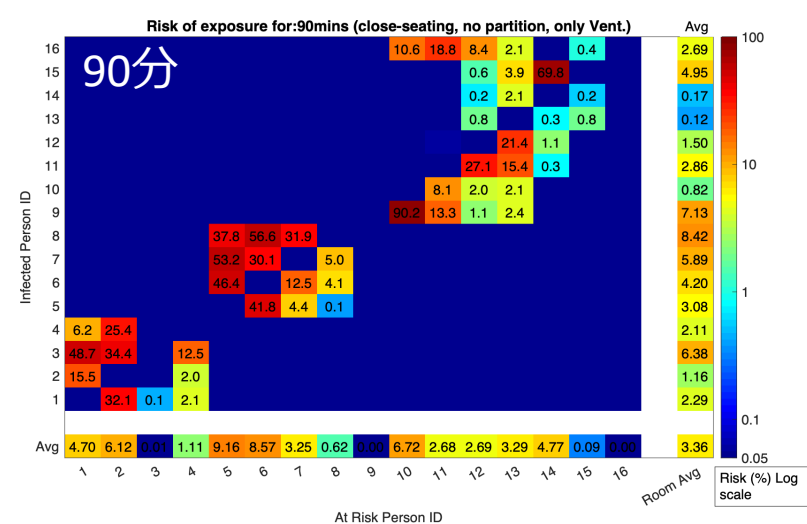
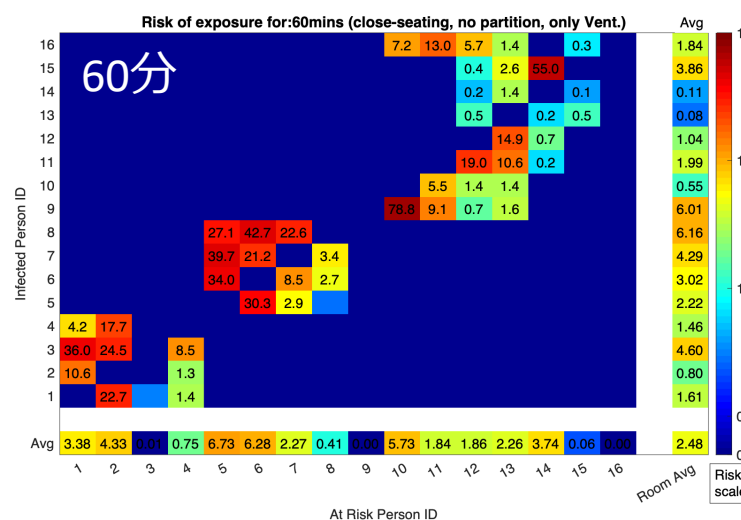
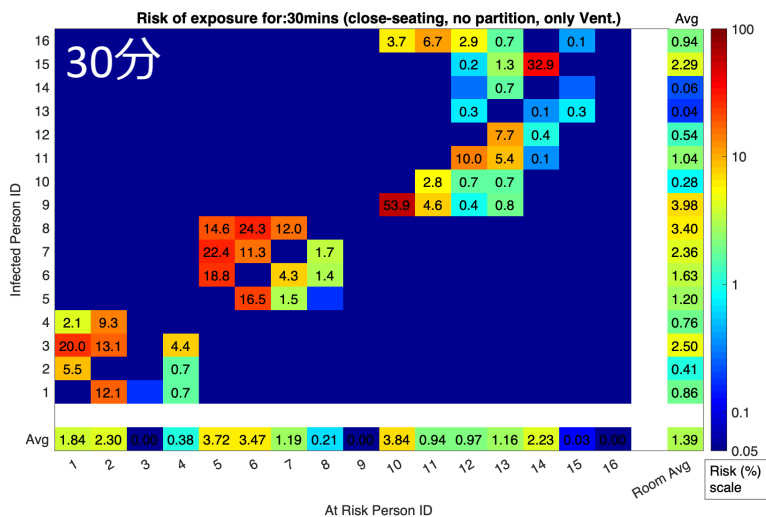
- 一人当たりの感染リスクは、2.48%から0.04%まで低下

1) Ref: Polack FP, Thomas SJ, Kitchin N, et al. Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine. N Engl J Med 2020

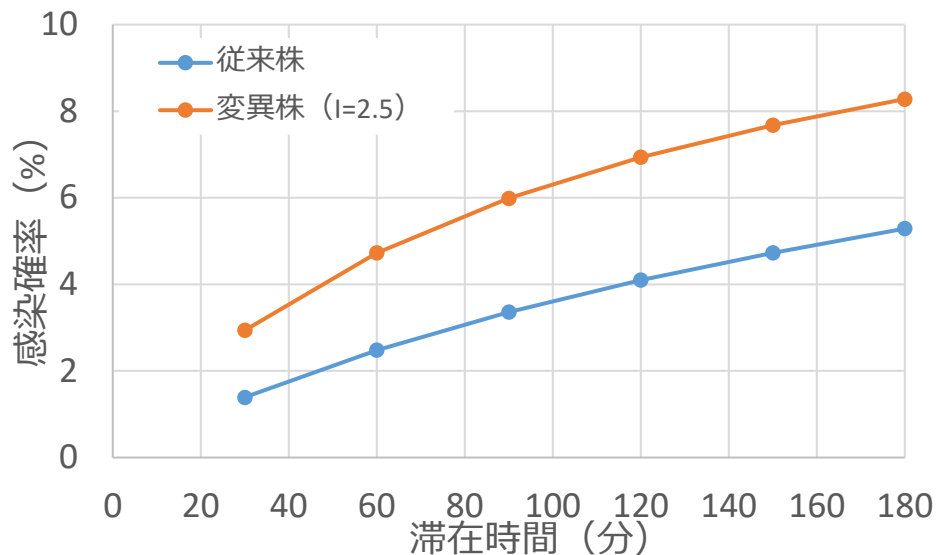
2) M. Levine-Tiefenbrun et al., Brief communications, nature medicine, vol. 27, pp.790-792 (2021)

飲食店における感染リスク評価と対策

● 滞在時間の影響（30分, 60分, 90分）



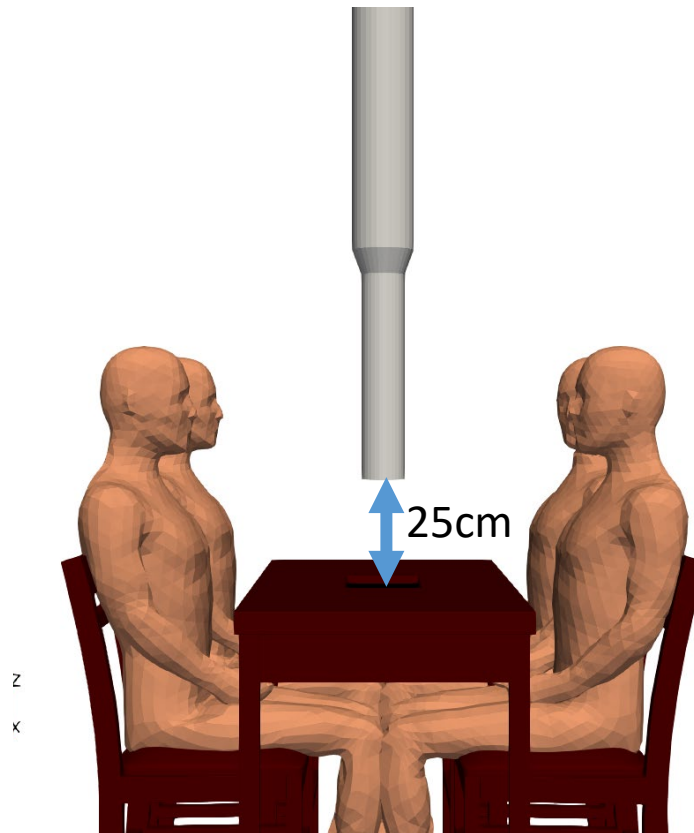
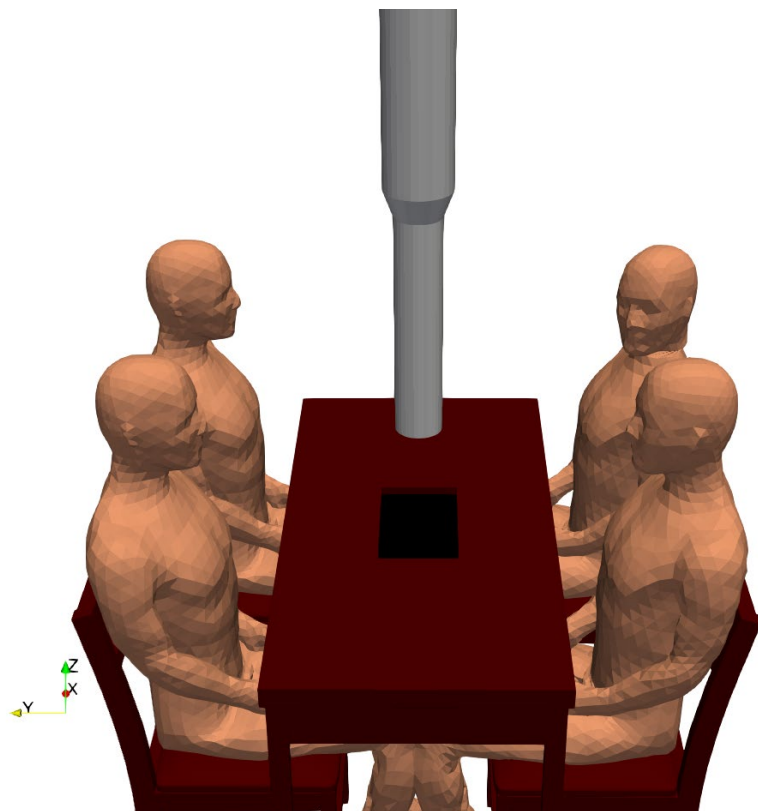
滞在者1名の感染リスク



テーブル上での感染対策

● 卓上排煙ダクトによるリスク低減効果

- 4人の内一名が感染者
- 1時間滞在し，感染者は30分（前，横，斜めの同席者に10分ずつ） 大声で話しかける



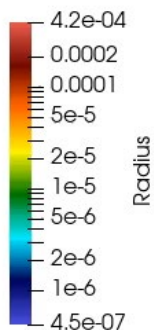
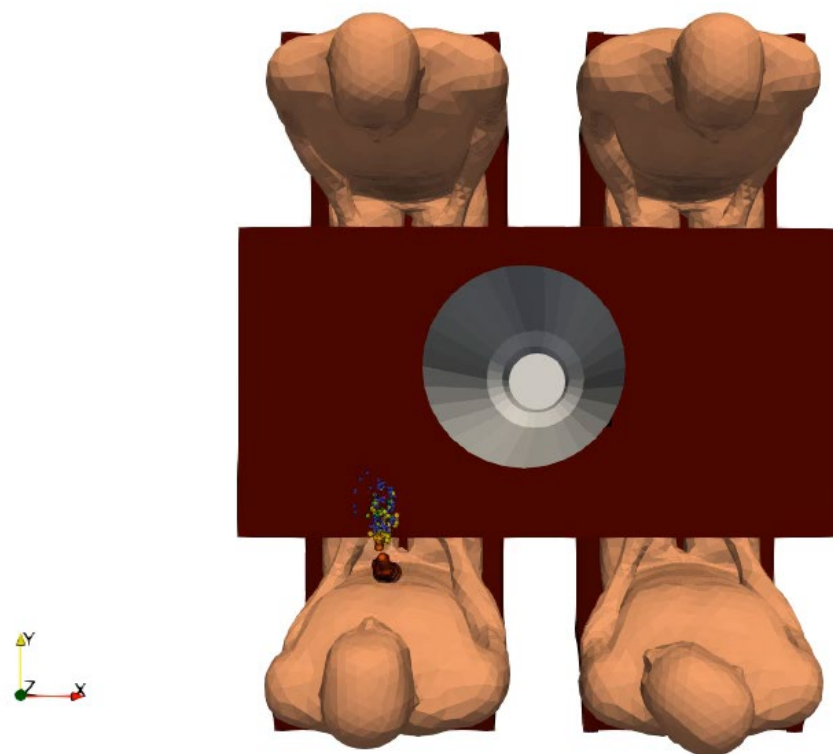
プレート温度[°C]	300
人温度[°C]	30
ダクト風量[m ³ /h]	300
ダクト風速[m/s]	18

テーブル上での感染対策

● 卓上排煙ダクトによるリスク低減効果

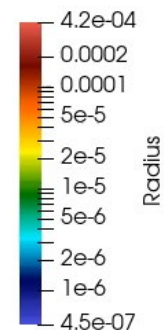
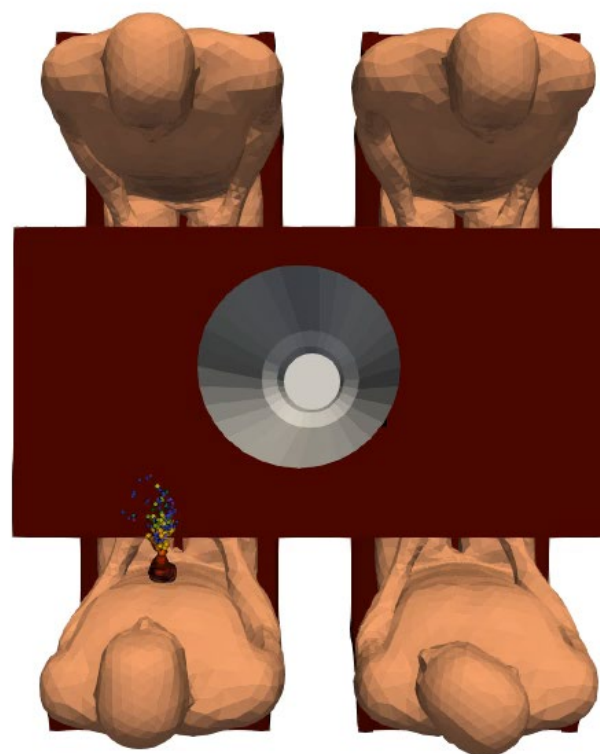
ダクト off

Time: 0.00



ダクト on

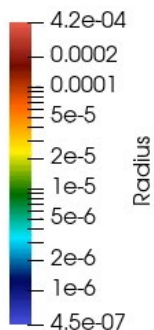
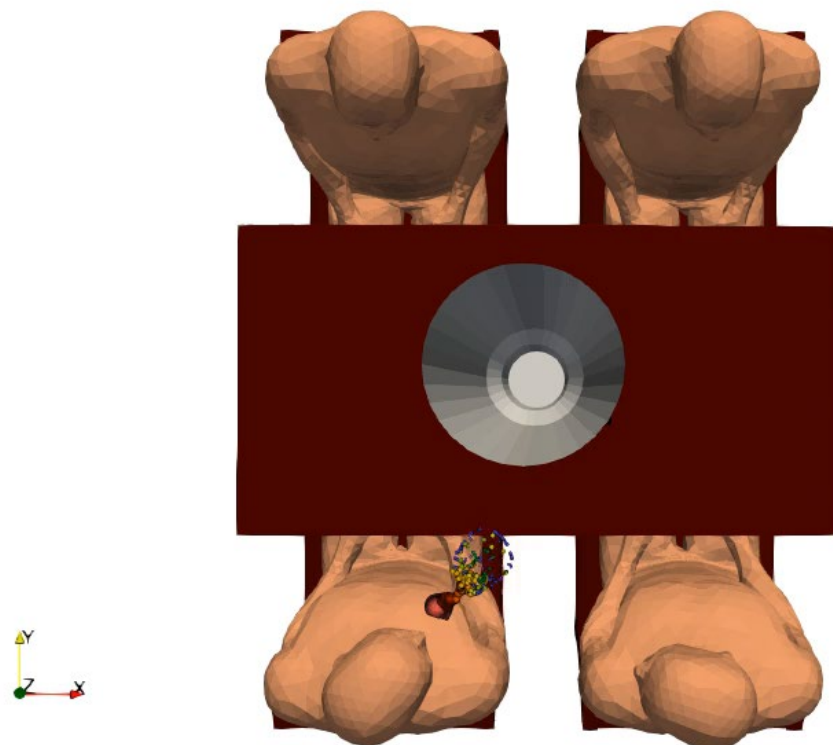
Time: 0.00



● 卓上排煙ダクトによるリスク低減効果

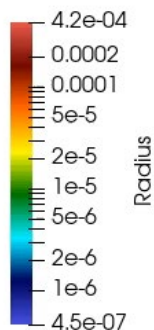
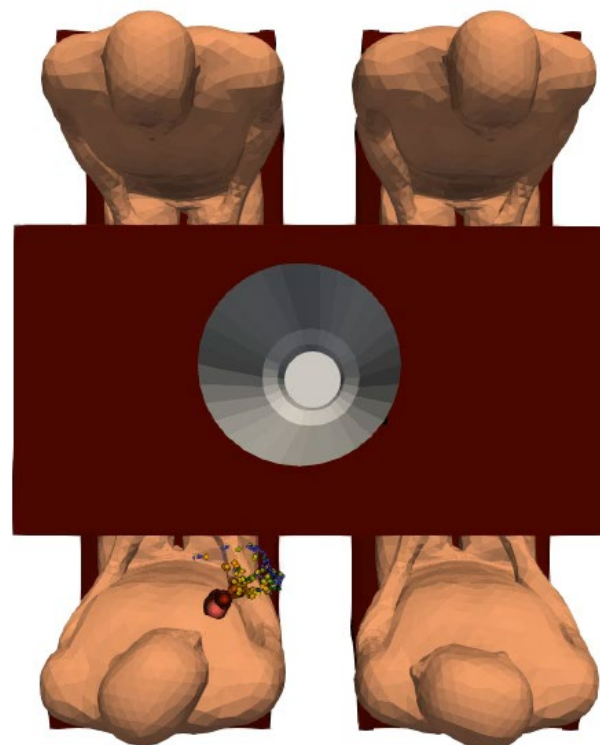
ダクト off

Time: 0.00



ダクト on

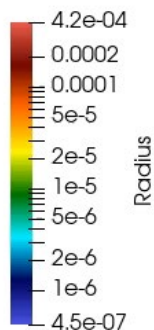
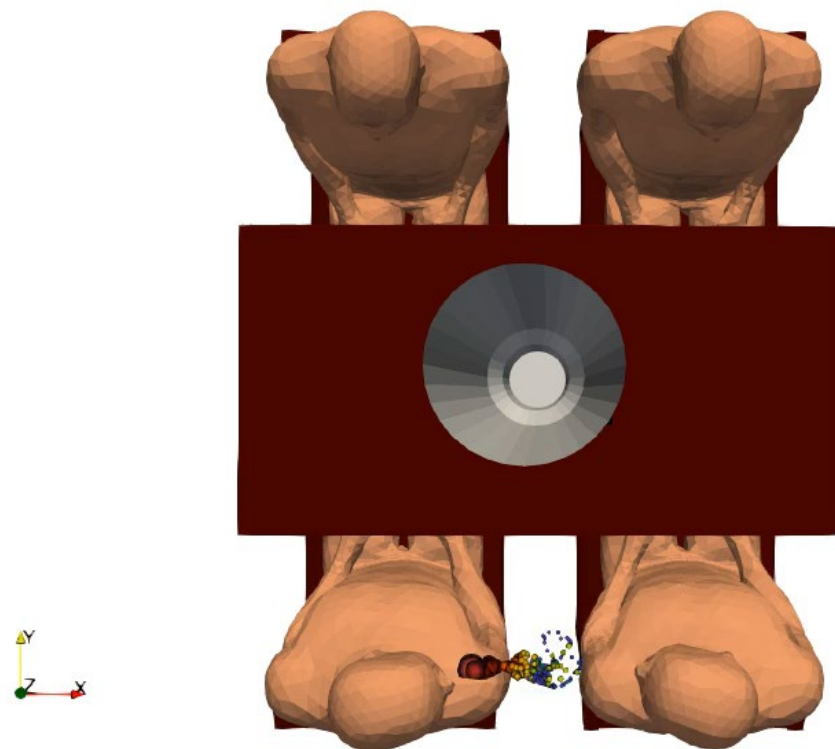
Time: 0.00



● 卓上排煙ダクトによるリスク低減効果

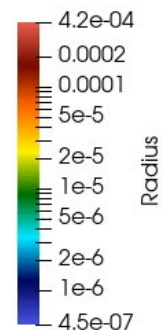
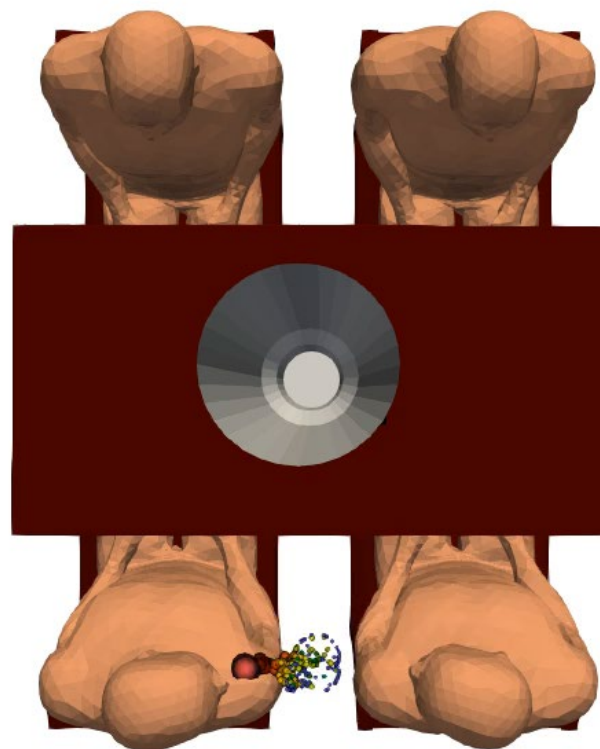
ダクト off

Time: 0.00



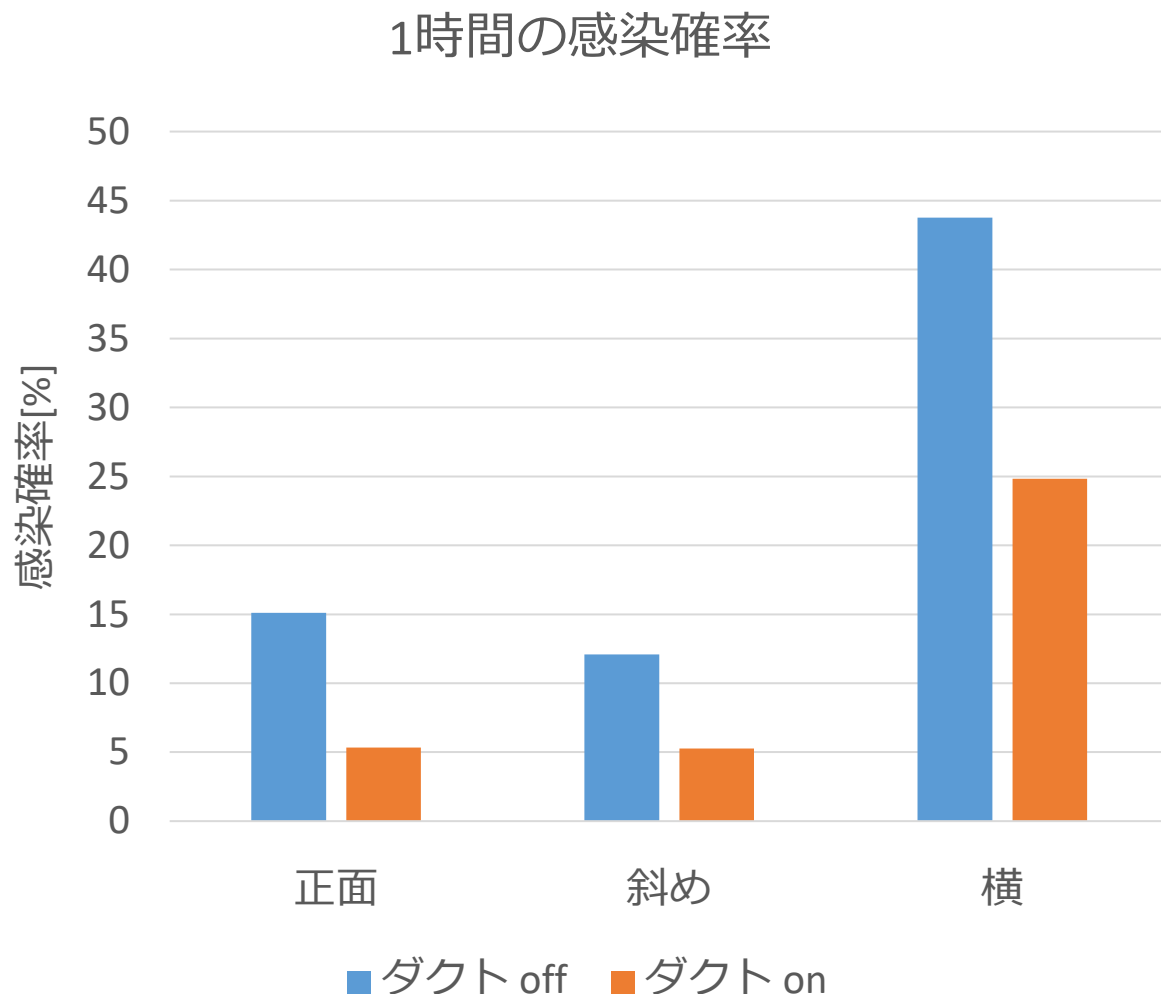
ダクト on

Time: 0.00



テーブル上での感染対策

● 卓上排煙ダクトによるリスク低減効果



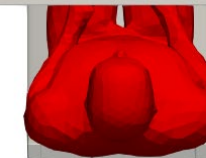
ダクトoff
ダクトon

15.1%

5.3%

12.1%

5.3%



感染者

43.8%

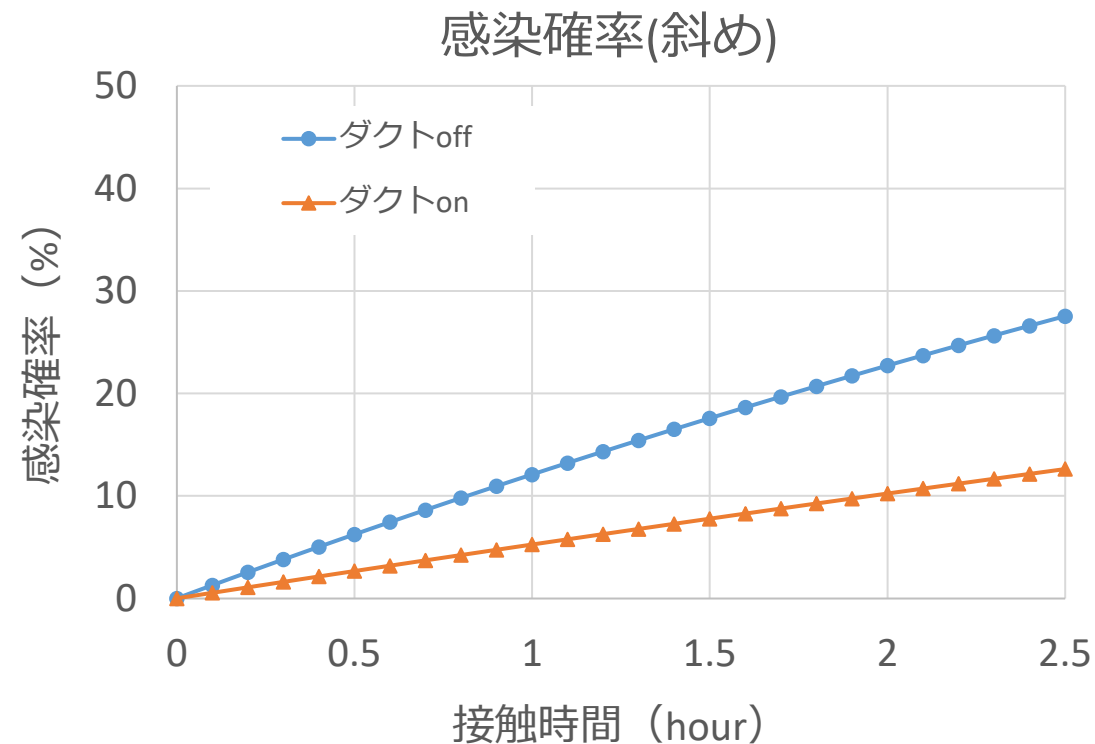
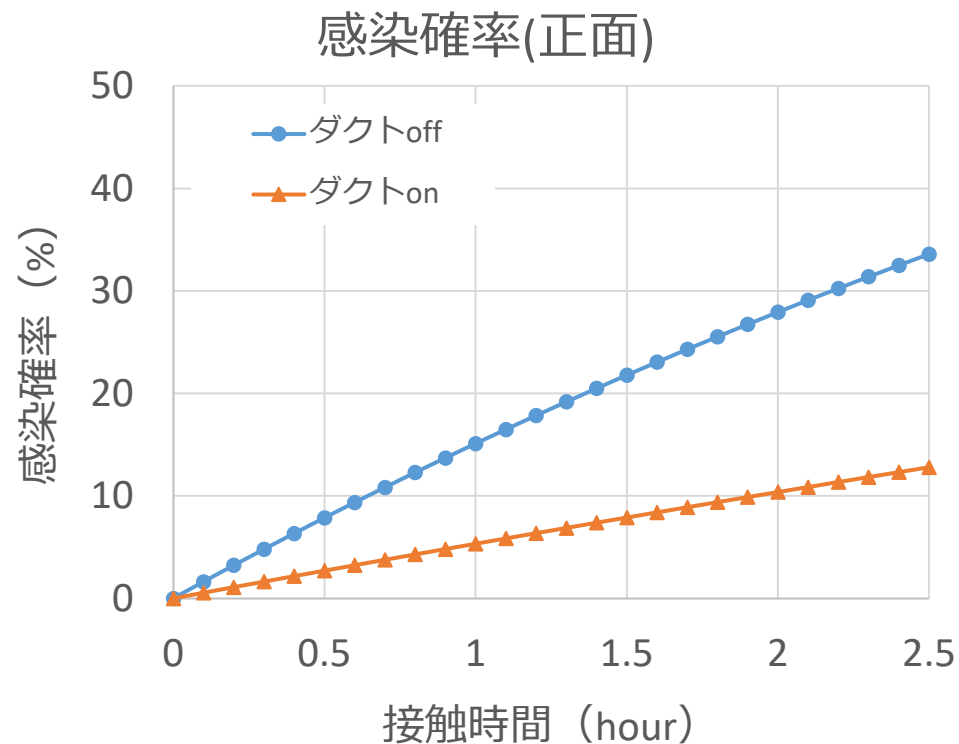
24.8%

ダクトoff
ダクトon

ポイント：卓上排煙ダクトにより感染リスクを半分程度に下げることができる（正面は三分の一）

テーブル上での感染リスク

- 卓上排煙ダクトによるリスク低減効果
 - 感染リスクの時間変化

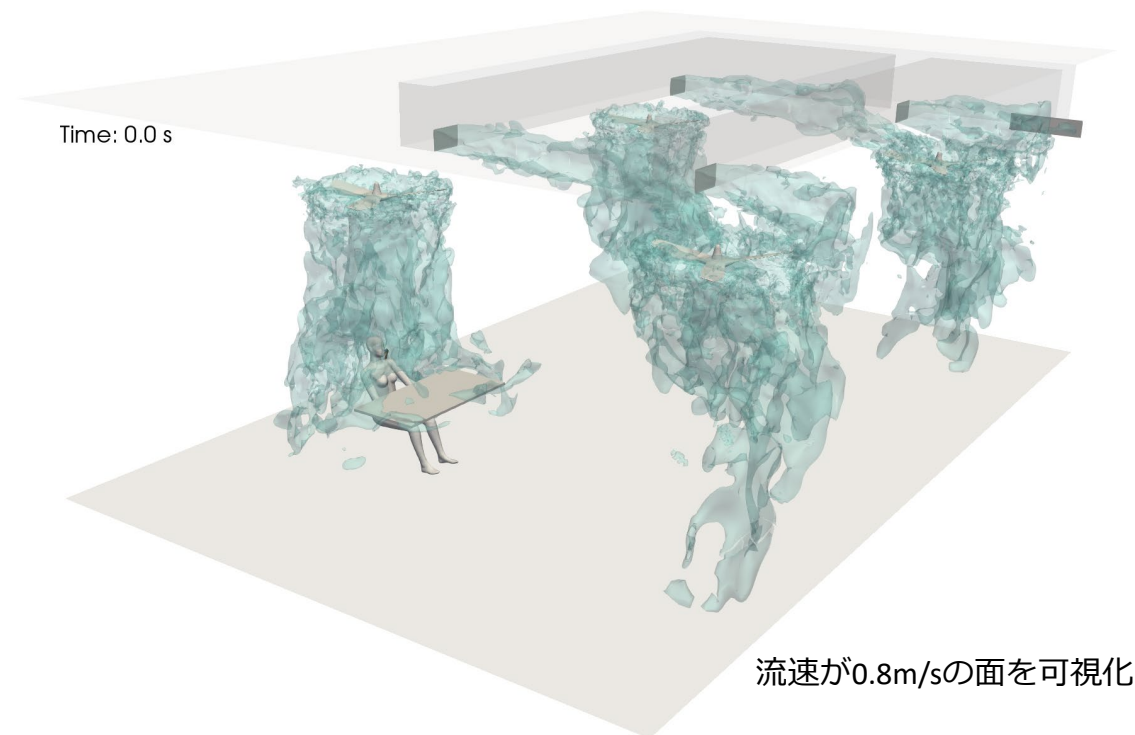
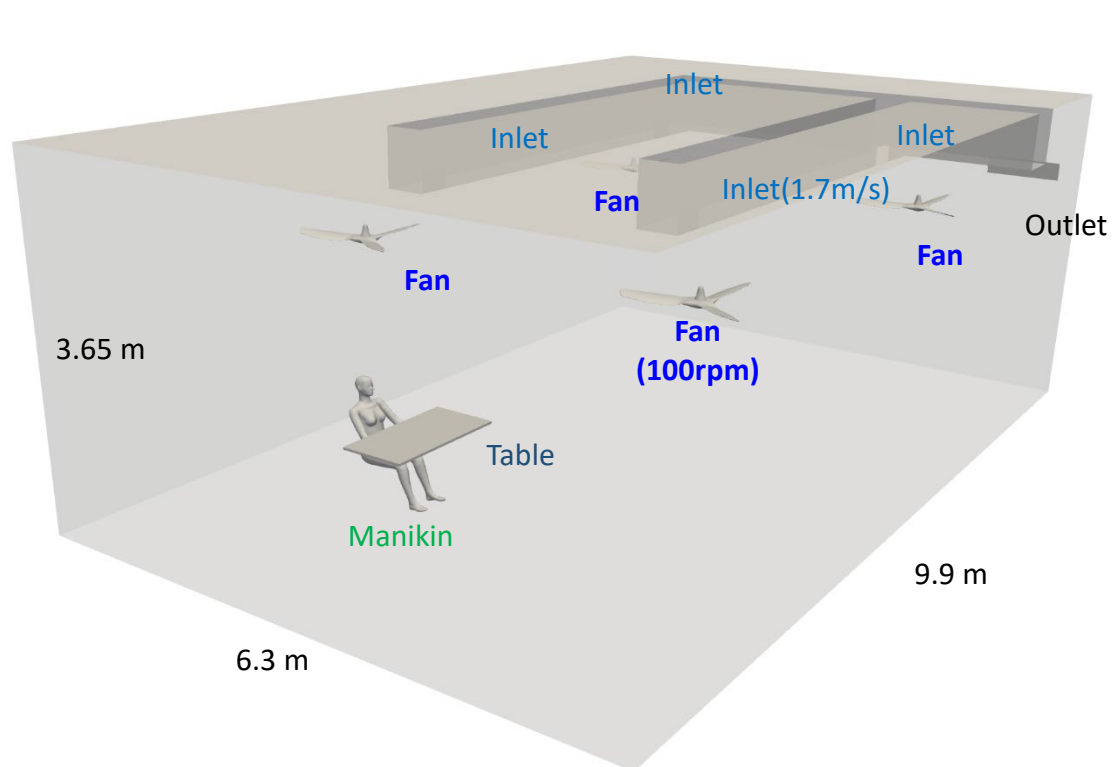


ポストコロナ時代の室内設計

● シーリングファンの効果について

- 室内換気は、飛沫を拡散・希釈させることで感染リスク低減につながる
- しかし換気に伴う平行方向の空気の流れは、風下・風上関係を生み、局所的なリスク増大を生む
- シーリングファンは換気能力はないが、上下の空気の流れを生み出すことから、飛沫を拡散・希釈させると共に、居住者間で風下・風上関係を減らせると期待できる。

鹿島建設、シンガポール国立大との「富岳」新型コロナ連携テーマ

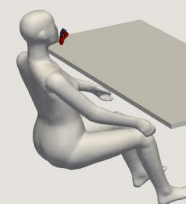
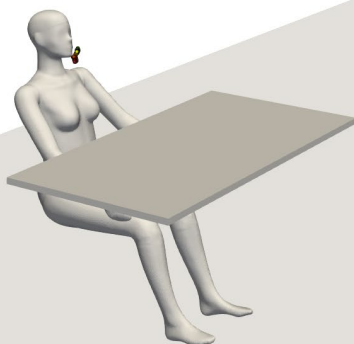
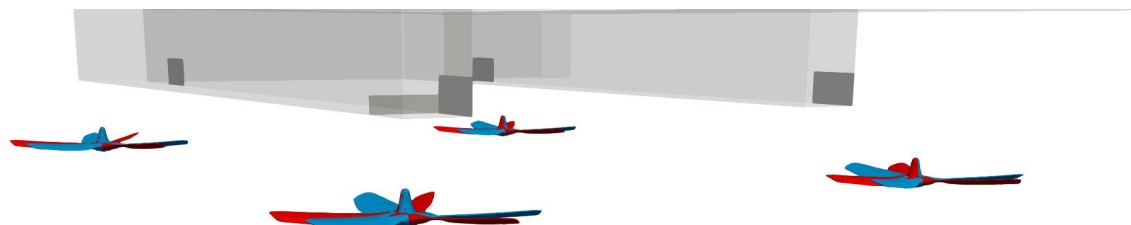


ポストコロナ時代の室内設計

飛沫飛散の様子



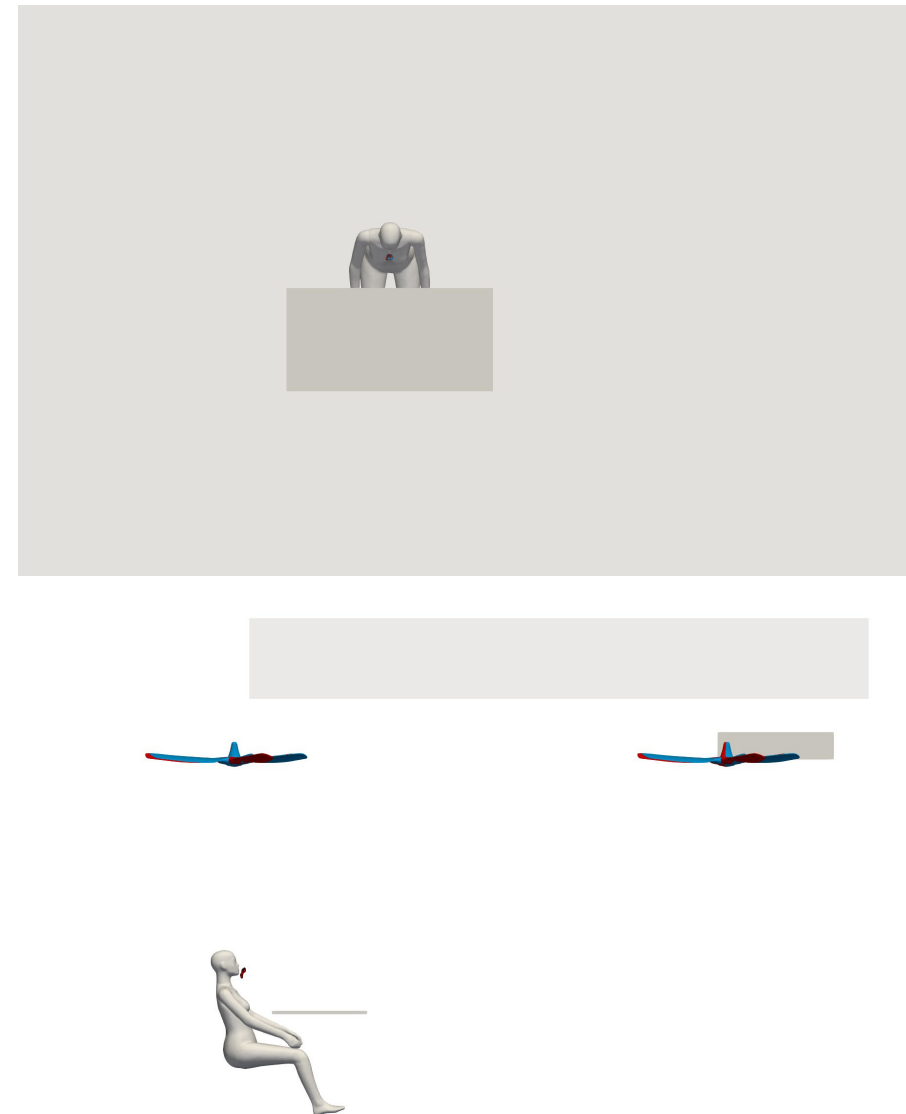
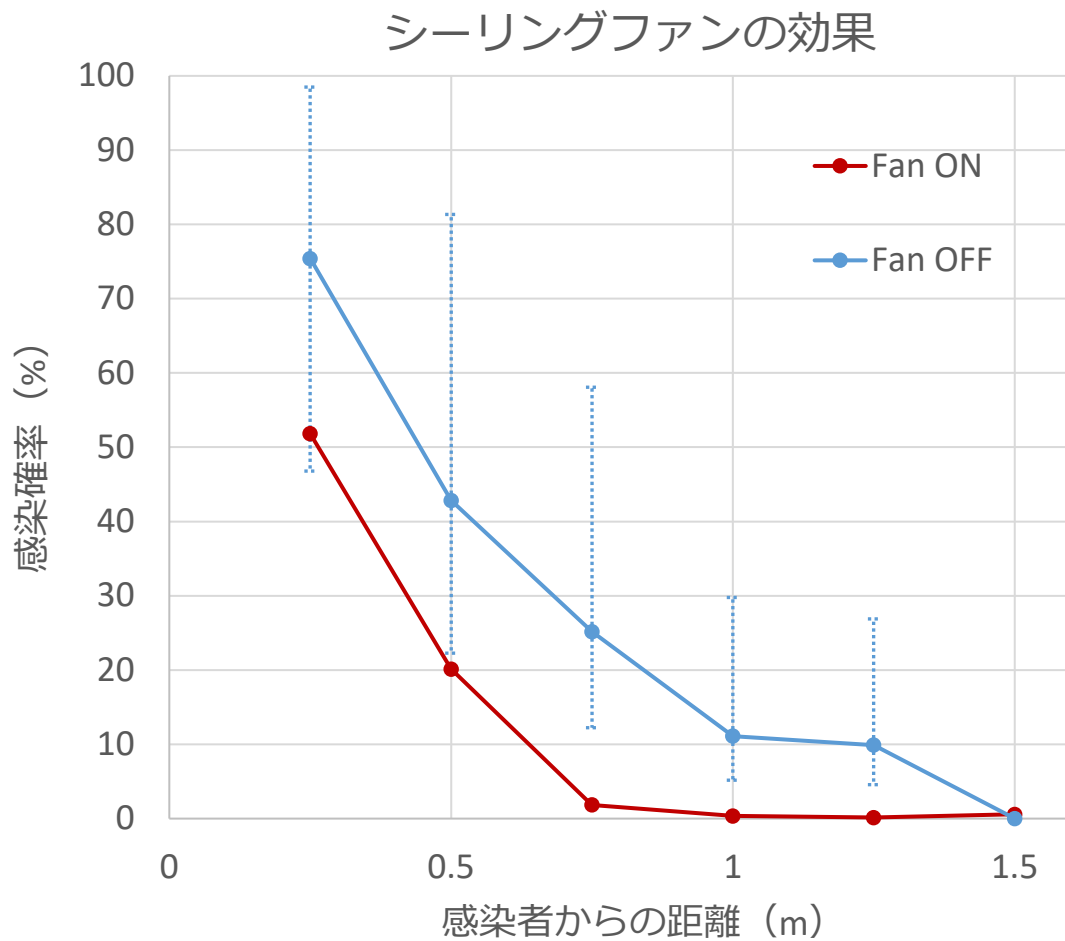
ファンのオン（赤）とオフ（青）の比較



ポイント：ファンを作動させることで飛沫が急速に部屋全体に拡散（薄められて）していく

ポストコロナ時代の室内設計

● 15分間感染者と対面した場合の感染リスク



ポイント：1.5メートル以内の感染リスクが大幅に減少している

勉強会配布資料はここまで