

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

謝辞

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。

- ・ 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」
- ・ 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）
- ・ 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」（課題番号：hp210086）（HPCI）

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（オミクロン株）
- イベント時の感染リスクと対策
- 飲食店における感染リスクと対策（パーティション, 距離）
- カラオケボックスにおける感染リスクと対策（座り方、歌い方）

感染確率の計算方法

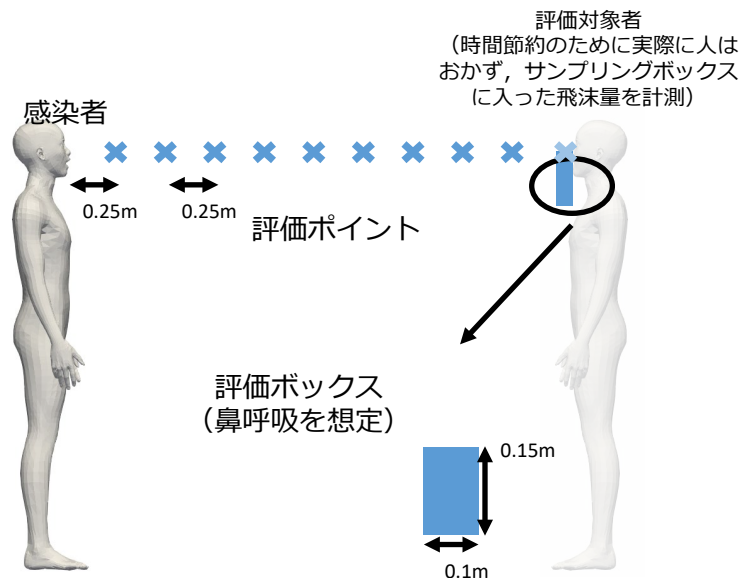
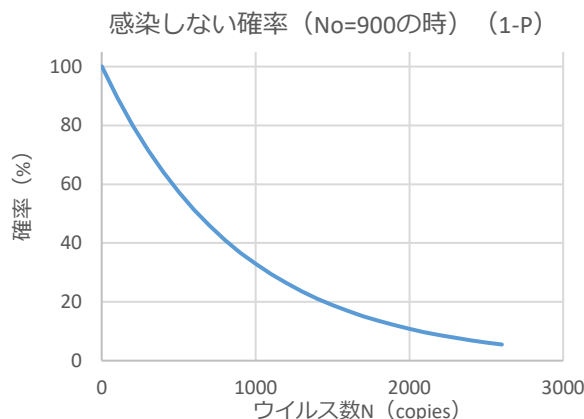
- 通常呼吸を想定して、ある時間に吸引する飛沫の総量 (ml) をシミュレーションにより予測
- 飛沫に含まれるウイルス数を過去の文献より仮定し、呼吸で体内に侵入するウイルス数 (N) を算出
- 感染に至るウイルス数 (N_0) を過去のクラスターイベントより仮定して、以下の式 (ポアソン過程) で感染確率を推定 (文献*より)

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

N_0 : 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), 10^7 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、オミクロン株はデルタ株の1.5倍の感染力として概算



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!

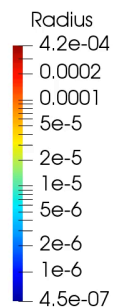
(*) Prentiss MG, Chu A, Berggren KK. Superspreading Events Without Superspreaders: Using High Attack Rate Events to Estimate N_0 for Airborne Transmission of COVID-19. Posted October 23, 2020. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.10.21.20216895>.

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
 - 1分間で、大声の場合2万5千個程度の飛沫が発生
 - マスクを装着することで漏れ出る飛沫量を1/3程度に抑えると共に、飛散距離を減らすことができる

Time: 0.2 s

マスク無し時



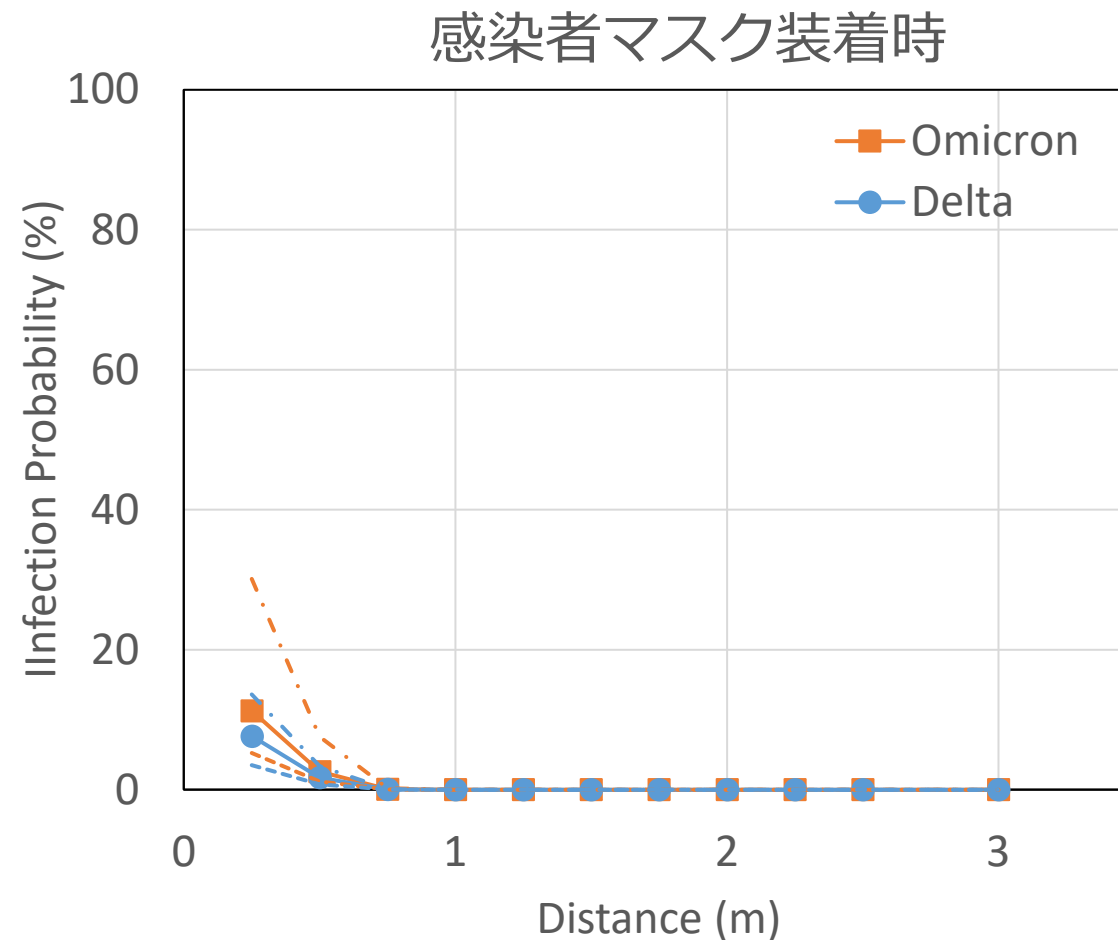
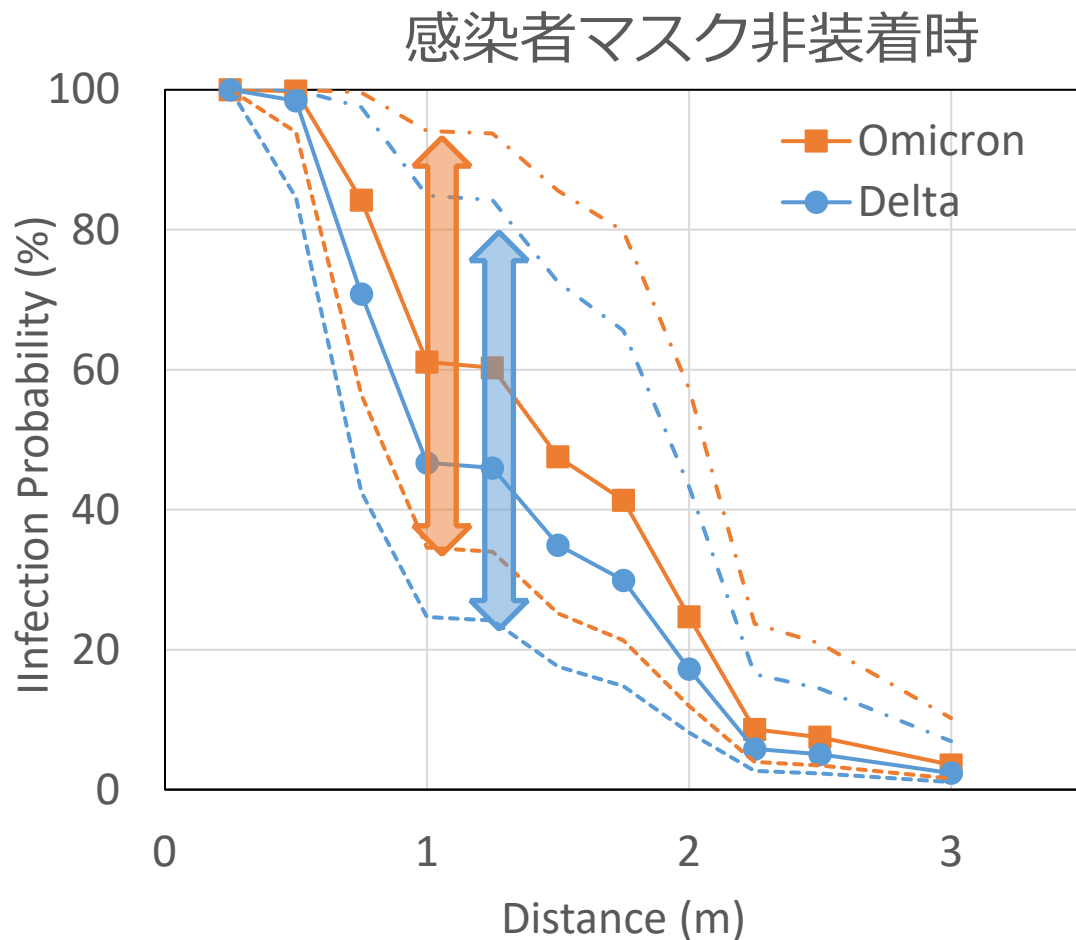
マスク装着時



Time: 0.0 s

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

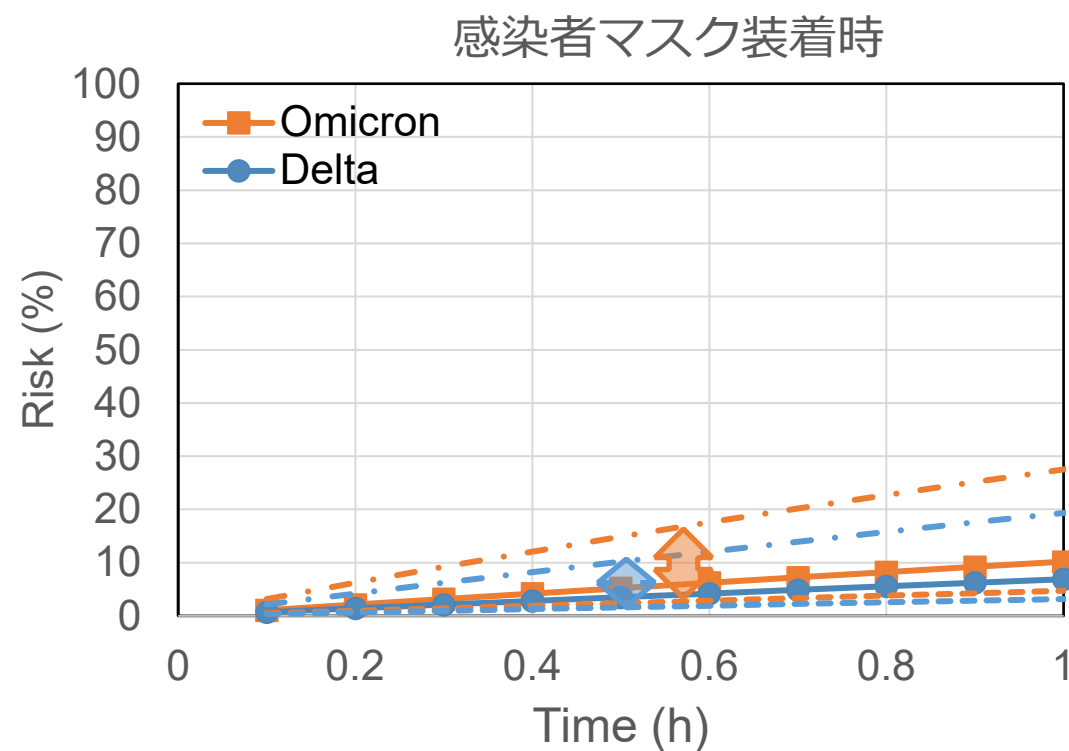
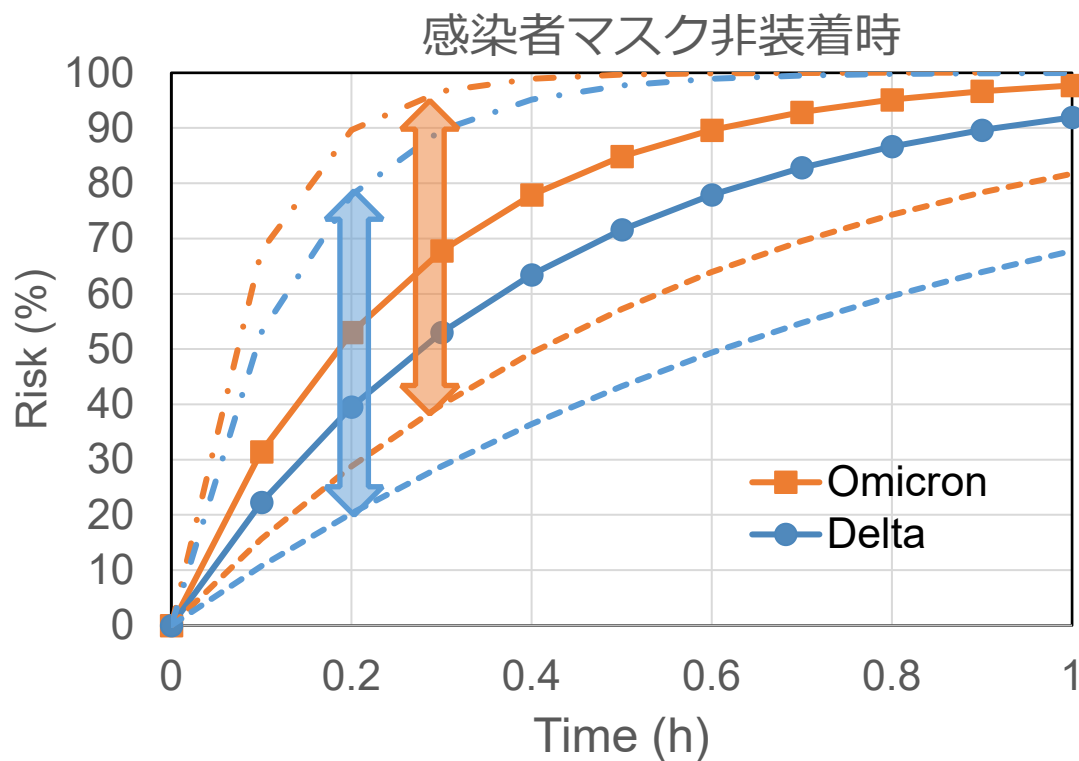
- 距離と感染確率（％）の関係と、感染者がマスク（不織布）をした時の効果



- 感染者がマスクをしていても50cm以内に近づくと感染リスクは高まる

15分を越えてしゃべっている感染者と対面した時の感染リスク

- 1m（マスク非装着）及び0.5m（マスク装着）の距離での感染確率と時間の関係



マスクの被感染防止効果（再）

吸気時にウイルス飛沫・エアロゾルが体内に侵入するのをどの程度防御できるか？（他者からの感染抑止効果）

- 人の上気道をモデル化，深呼吸時（吸う吐く吸うで6秒）にどの程度の飛沫が上気道に取り込まれるかを評価する。
- 鼻と口で同時呼吸を想定。
- 顔の周りに200ミクロン以下の飛沫を一様に同じ粒径分布で配置
- 色は飛沫のサイズを表す（赤：2百ミクロン，青：1ミクロン）

マスク無し



不織布マスク（顔隙間あり）

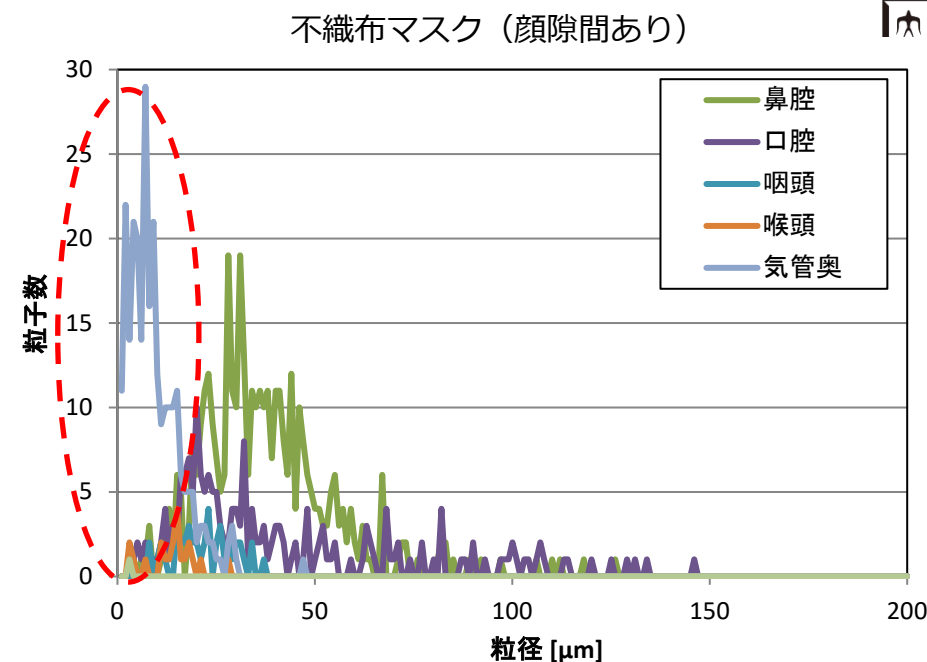
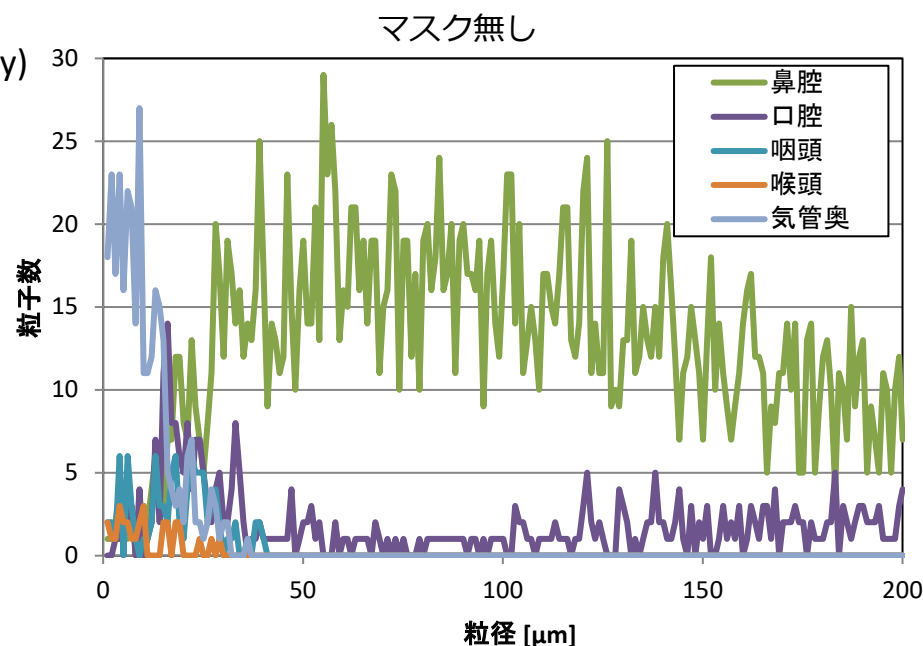
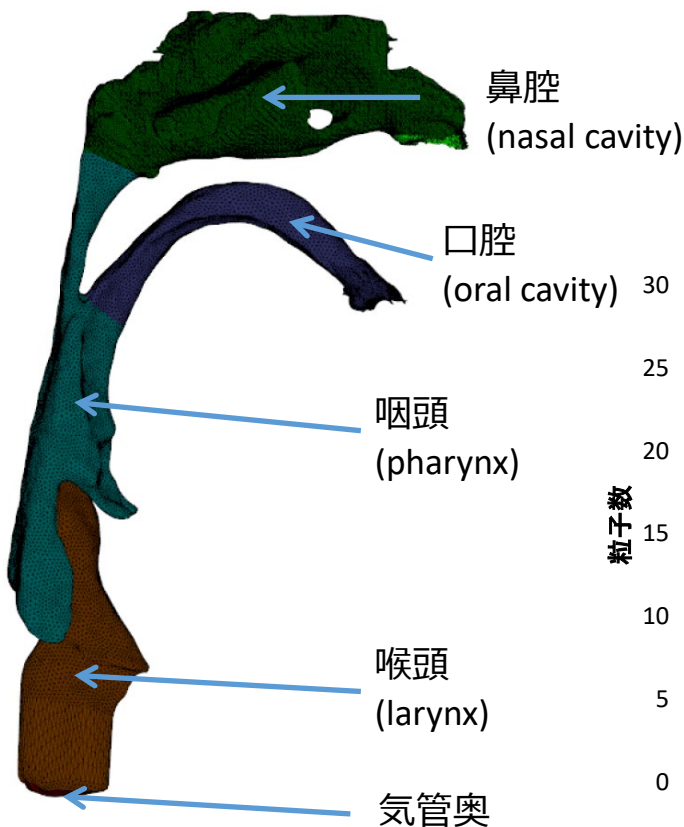


マスクの被感染防止効果（再）

身体に取り込まれる飛沫の数の定量評価

- 呼吸6秒後に身体に取り込まれた飛沫粒子の数

- マスクなし**：大きな飛沫は鼻腔や口腔にほぼ付着するが、20ミクロンより小さな飛沫・エアロゾルは気管奥にまで到達する。
- マスクあり**：マスクを着用することで上気道に入る飛沫数を**三分の一**にすることができる。特に大きな飛沫については侵入をブロックする効果は高い。ただし20ミクロン以下の小さな飛沫に対する効果は限定的であり、マスクをしていない場合とほぼ同数の飛沫が、気管奥にまで達する

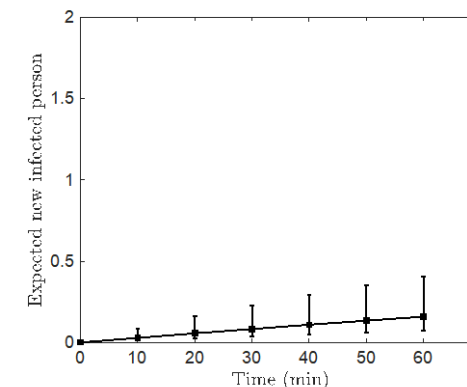
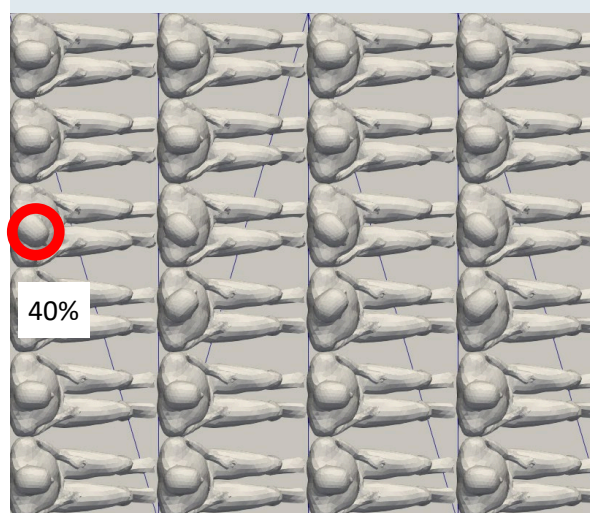
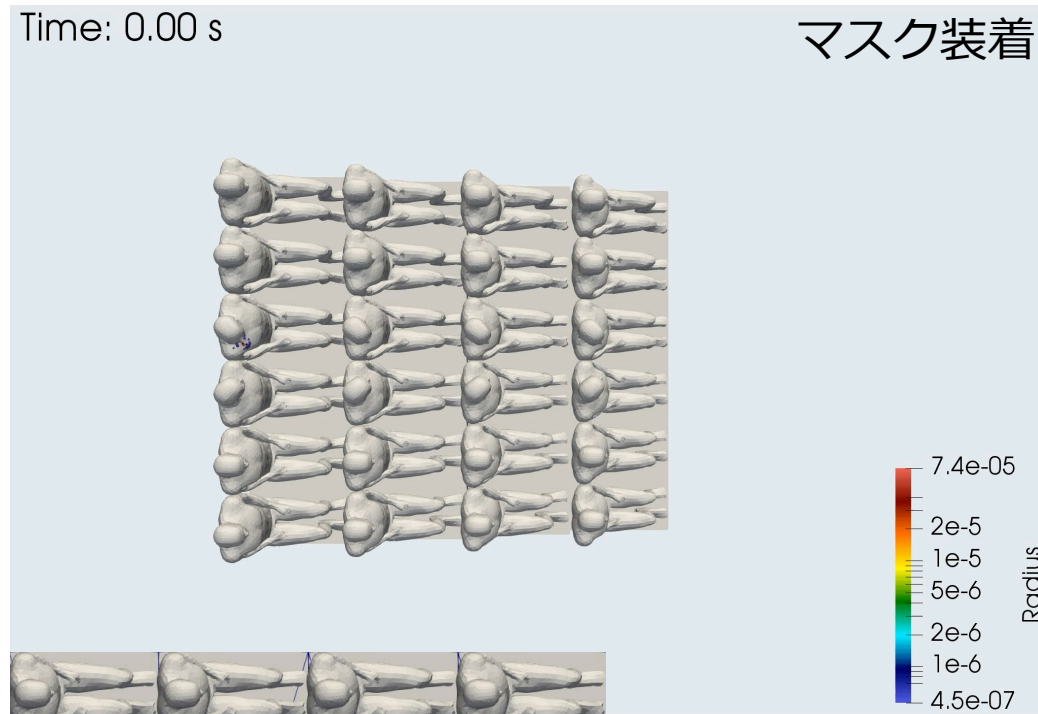
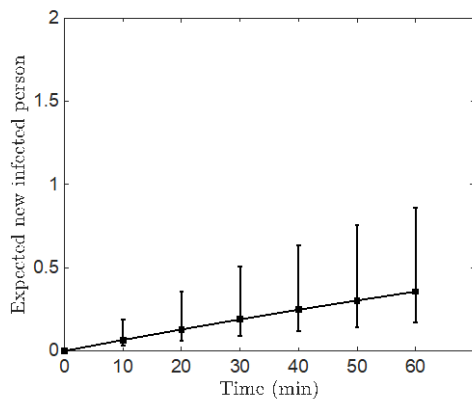
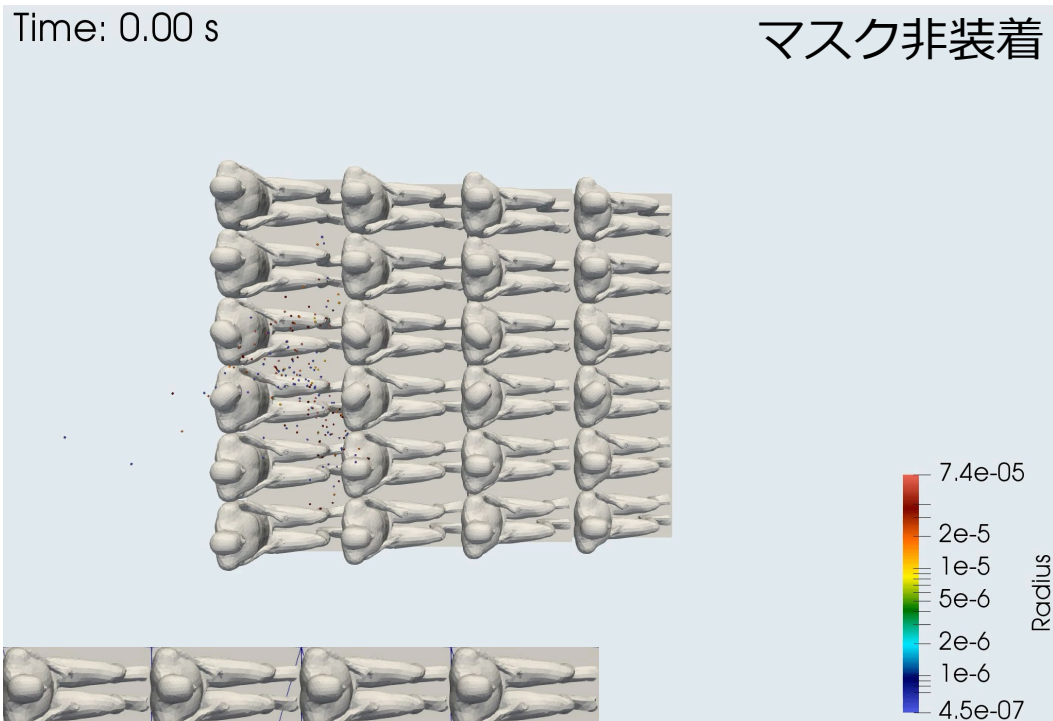


- マスクをすることで、吸気時に体内に取り込まれるウイルス飛沫・エアロゾルの個数を三分の一にすることができる。**
- ただし、エアロゾルに対する効果は限定的であり、マスクと顔の隙間からの侵入を阻止することは難しい。**
- 被感染抑止としては、換気等によるエアロゾル低減策との併用が重要である。**

イベント時の感染リスクと対策

提供：理研・神戸大，協力：鹿島建設・豊橋技科大

● 1名の感染者が1時間、右隣りの人と会話した場合の、周囲の感染確率



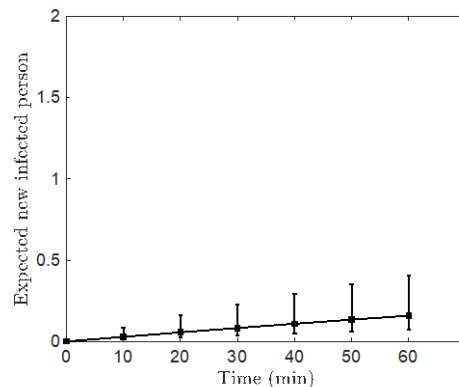
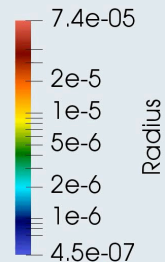
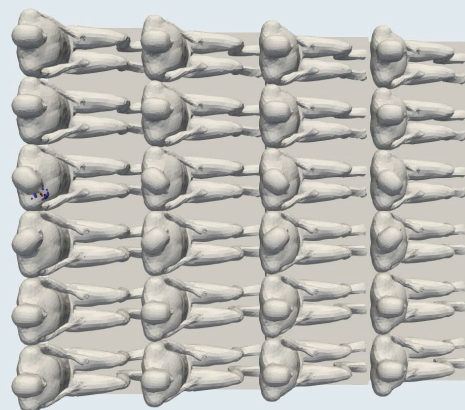
イベント時の感染リスクと対策

提供：理研・神戸大，協力：鹿島建設・豊橋技科大

● 1名の感染者が1時間、右隣りの人と会話した場合の、周囲の感染確率

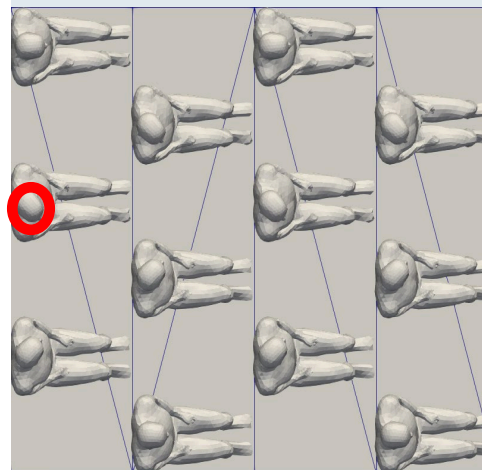
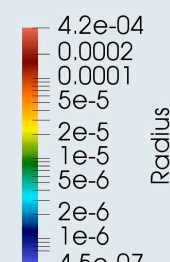
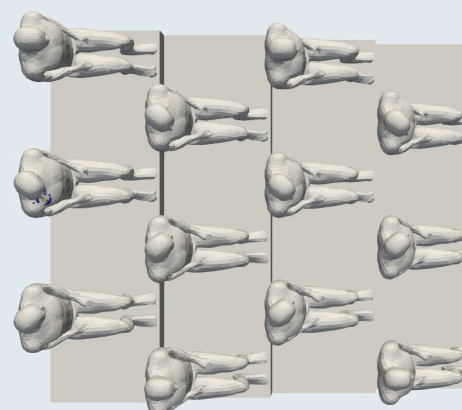
Time: 0.00 s

マスク装着



Time: 0.00 s

マスク装着で距離を開ける

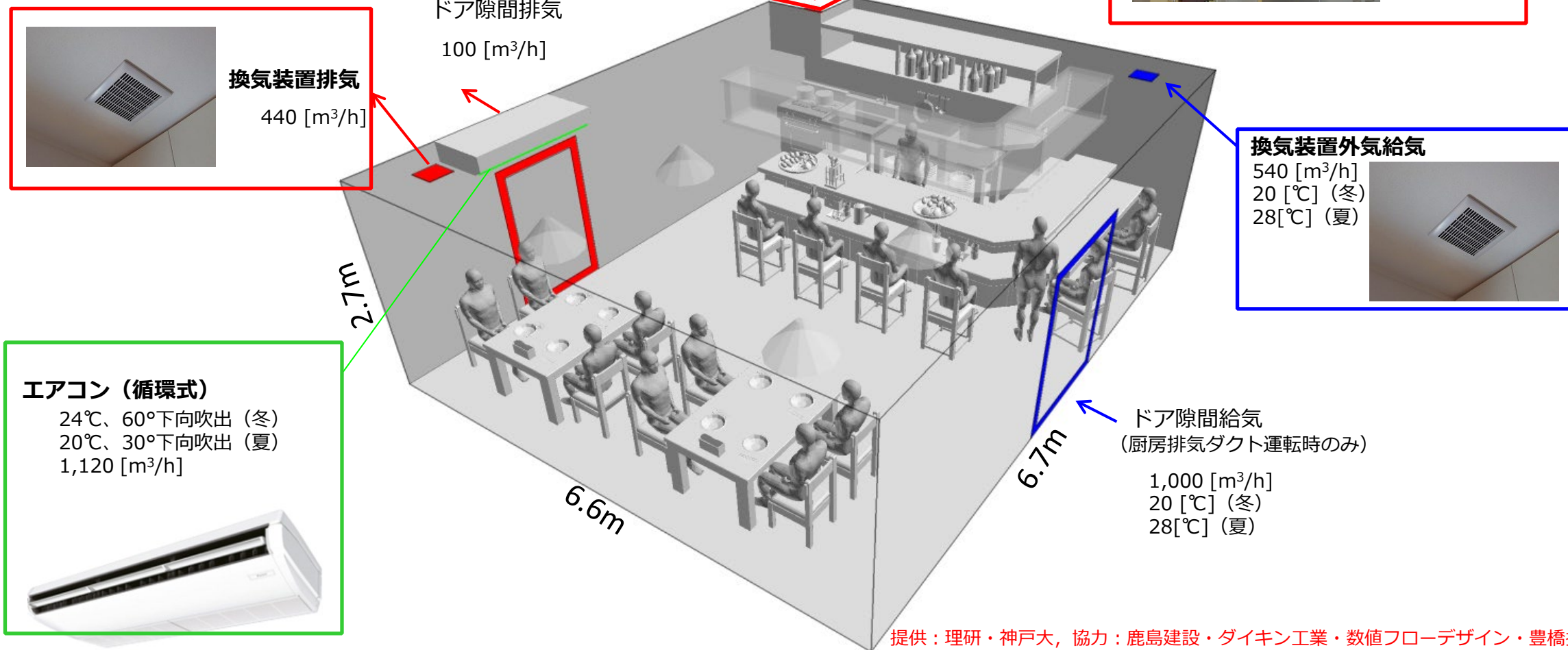


マスクをしていても隣同士で会話をした場合は感染リスクが高まる。

飲食店における飛沫感染リスク評価と対策

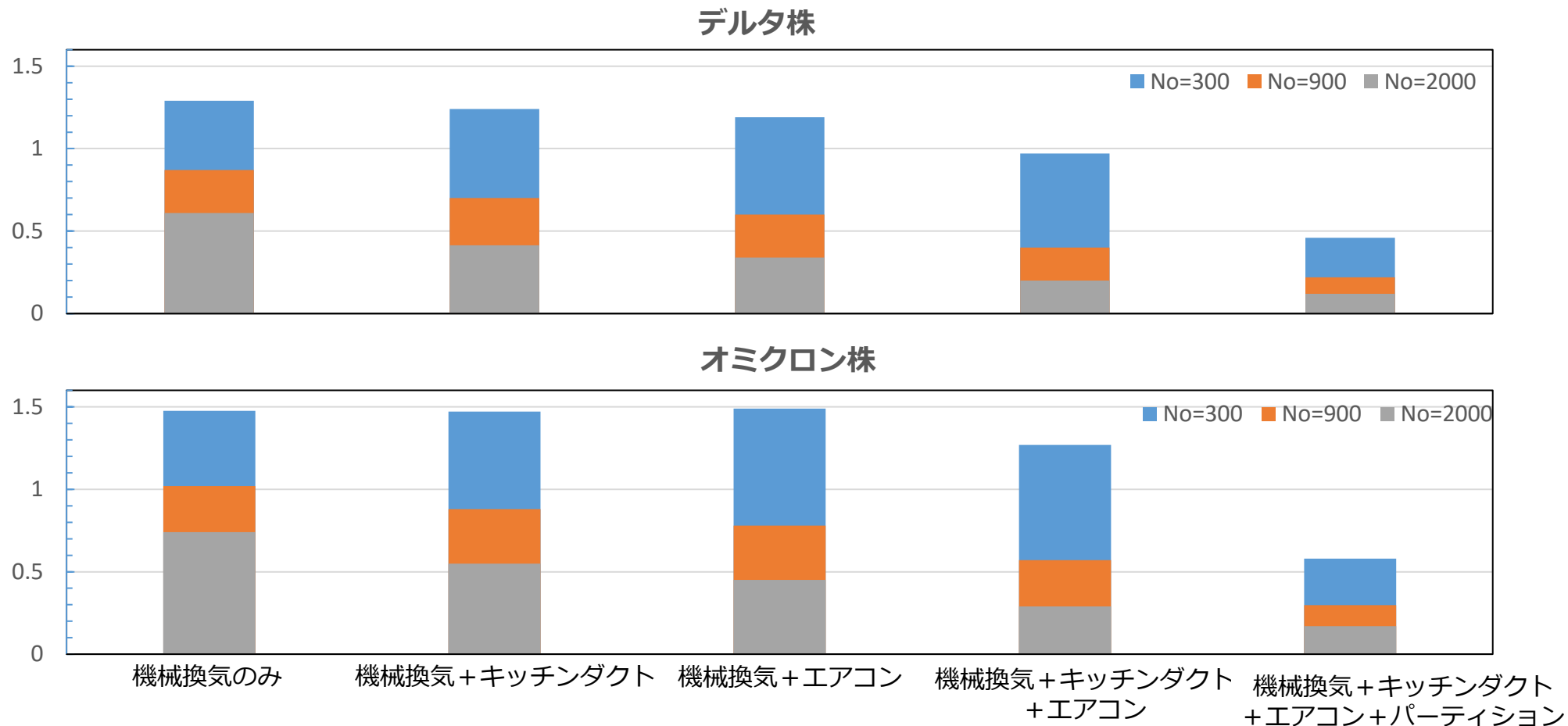
16人程度が入る小型の店舗を想定

- 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
- 全員マスクは装着していない



飲食店における感染リスク評価と対策

- 1時間滞在で新規に発生する感染者数の期待値（人）（デルタ株とオミクロン株の比較）



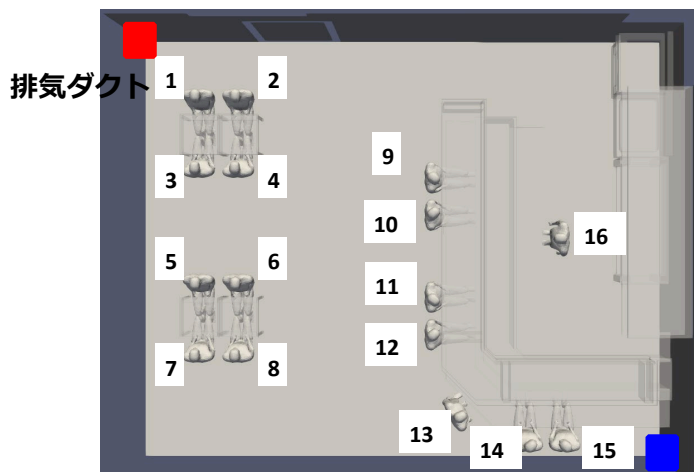
- 換気能力のないエアコンであっても作動させて空気をかくはんさせることでリスクを2～3割程度下げることができる
- 法令による機械換気の状態から、キッチンダクト（換気扇）やエアコン、さらにはパーティションを作動させることで、感染リスクは三分の一程度まで下げることができる

● 感染リスクマップ^oの見方

Time: 0.50 s

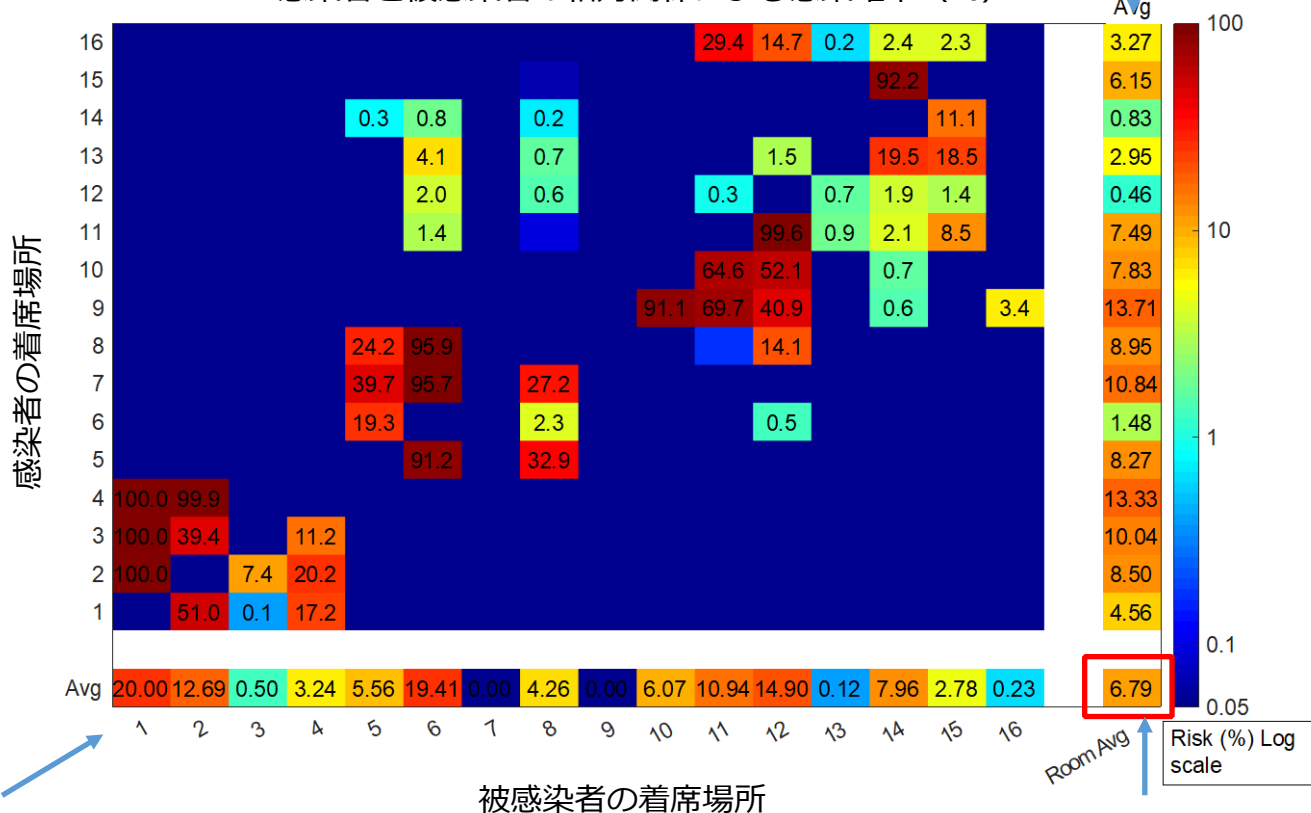


着席場所の番号



給気ダクト

感染者と被感染者の相対関係による感染確率 (%)



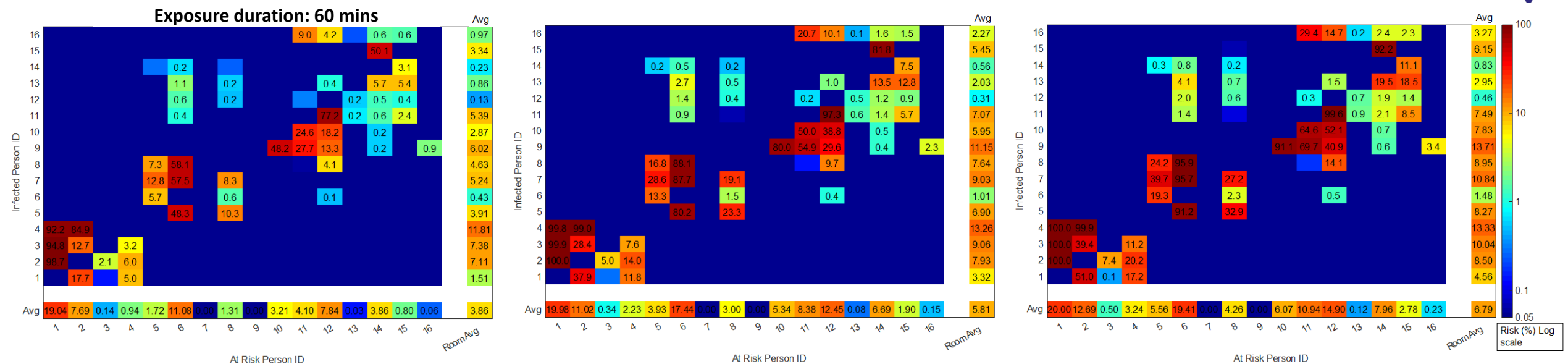
縦軸を感染者を除く
15人で平均した値
健康者がそこに座っ
た場合の感染確率を
表す

縦軸もしくは横軸を16人で平均した値
部屋全体の感染リスクを表す。
これに16をかければ、1名の感染者が1～
16の全ての場所で同じ確率で着席した場
合の、新規感染者の数を表す。

横軸を感染者を除く15人で平均した値
感染者がそこに座った場合の感染確率を表す

飲食店における感染リスク評価と対策

- 従来株、デルタ株、オミクロン株の比較
- デルタは従来の2.5倍、オミクロンはデルタの1.5倍の感染力を想定



- 室内の平均感染確率は、3.9%→5.8%→6.8%と増加していく

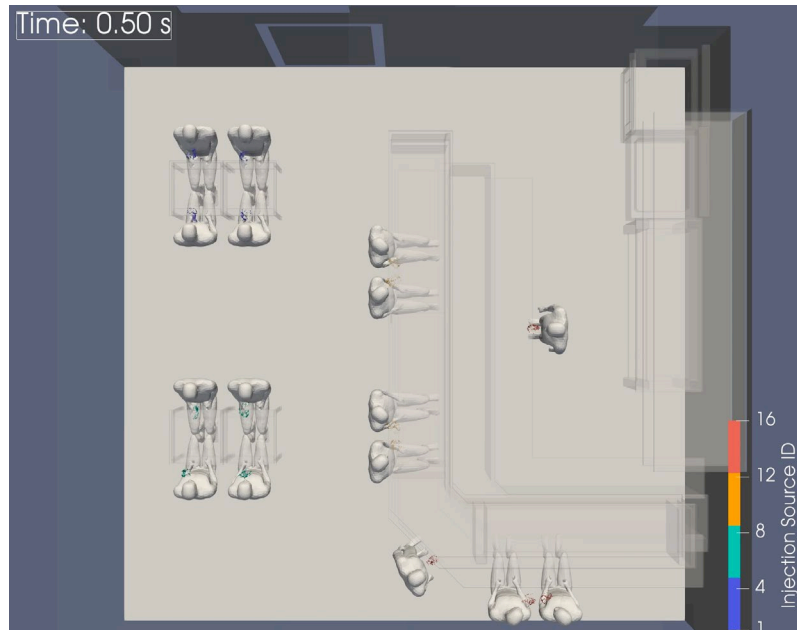
飲食店における感染リスク評価と対策

提供：理研・神戸大，協力：鹿島
建設・ダイキン工業・数値フロー
デザイン・豊橋技科大

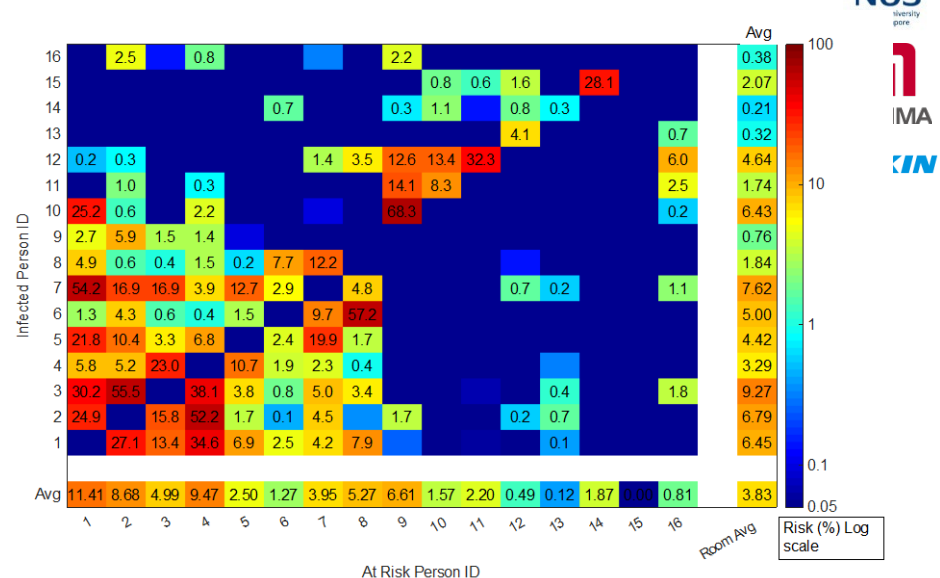
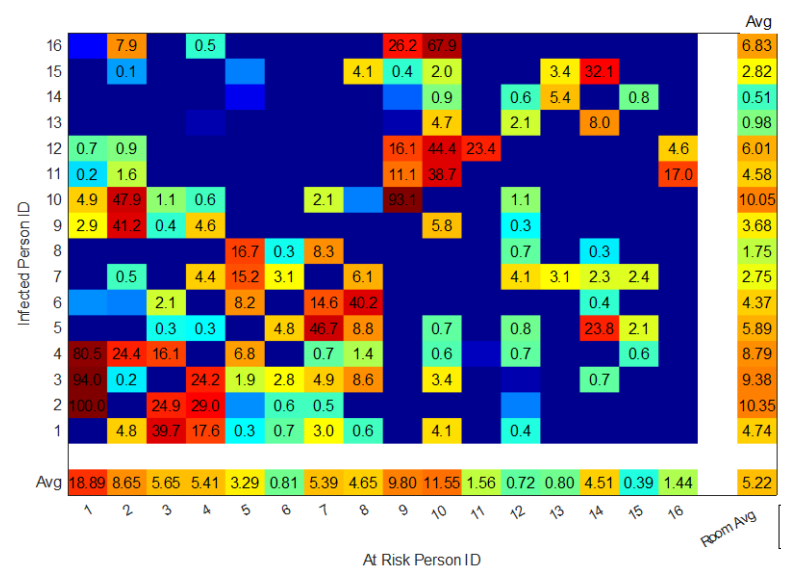
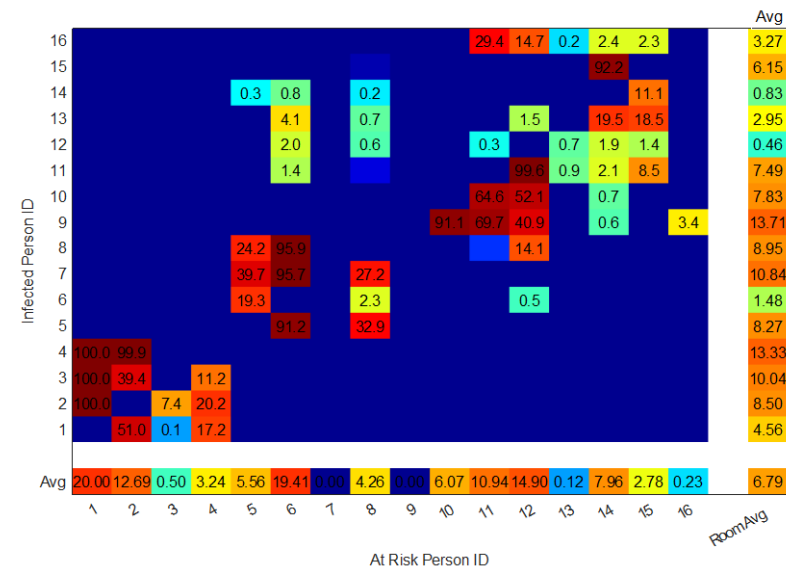
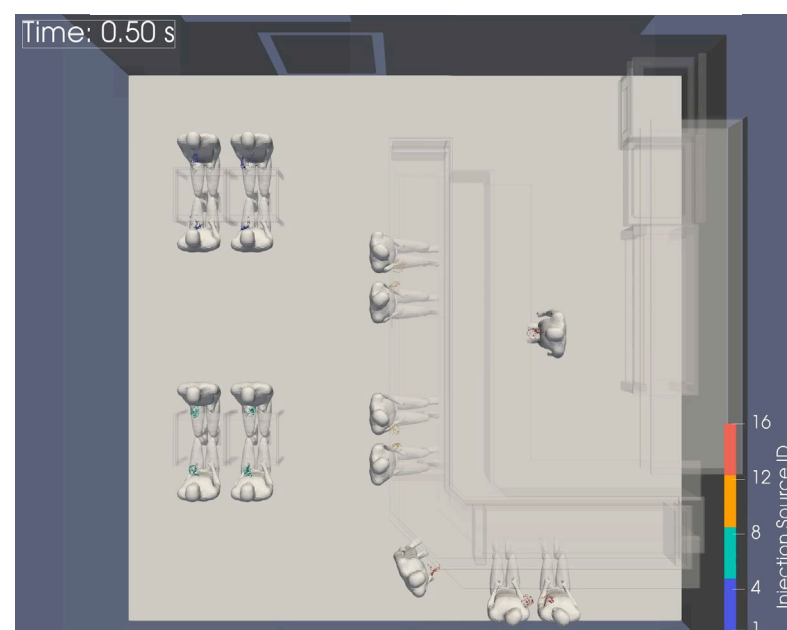
機械換気のみ



機械換気+エアコン

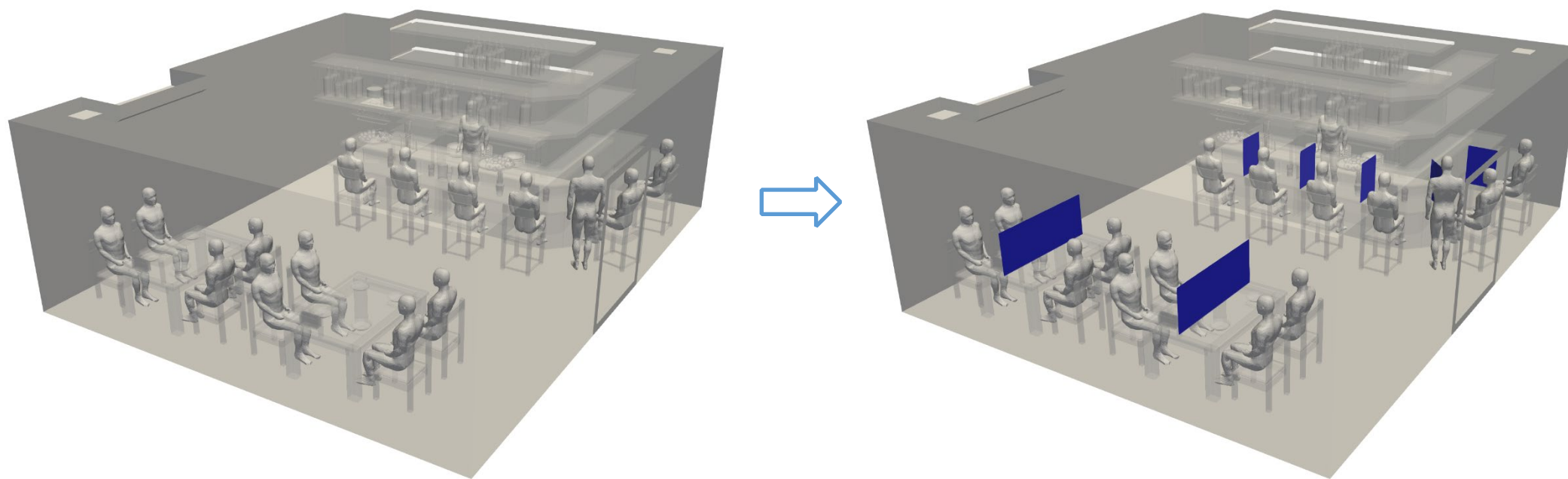


機械換気+キッチンダクト+エアコン



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

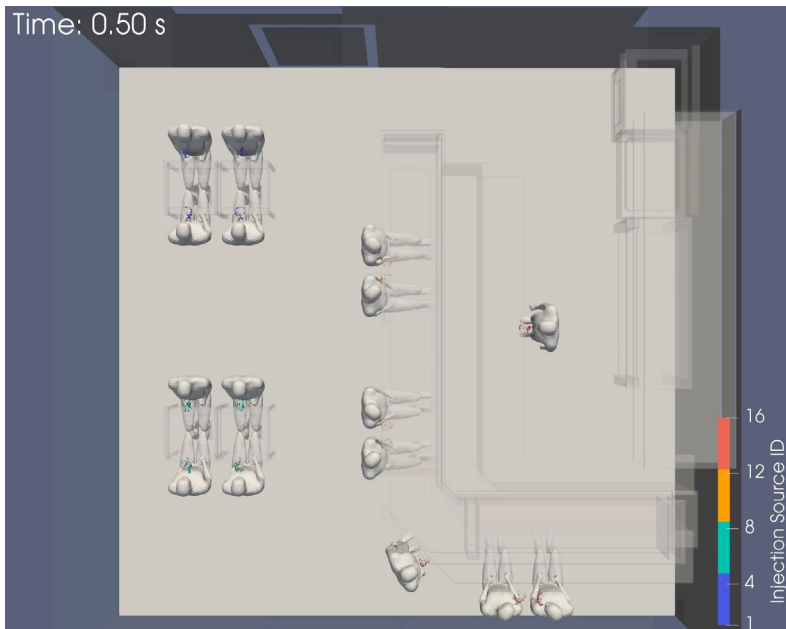


テーブルのサイズ：160x108cm
 テーブル高さ：77cm
 カウンター高さ：89cm
 パーティション高さ：60cm

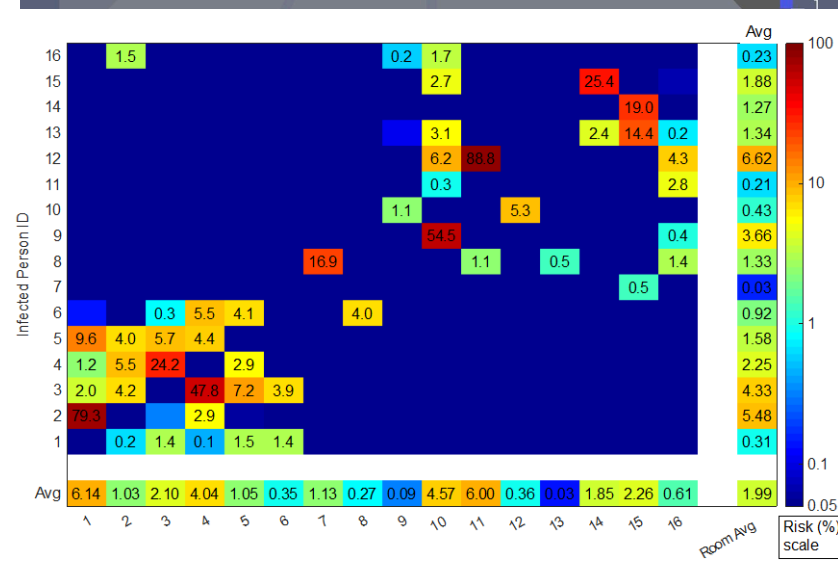
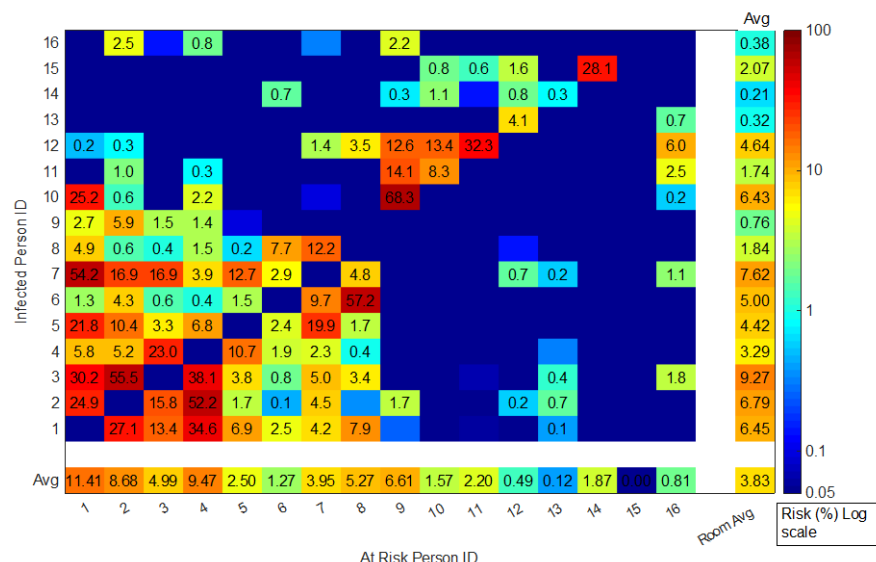
飲食店における感染リスク評価と対策

提供：理研・神戸大，協力：鹿島
建設・ダイキン工業・数値フロー
デザイン・豊橋技科大

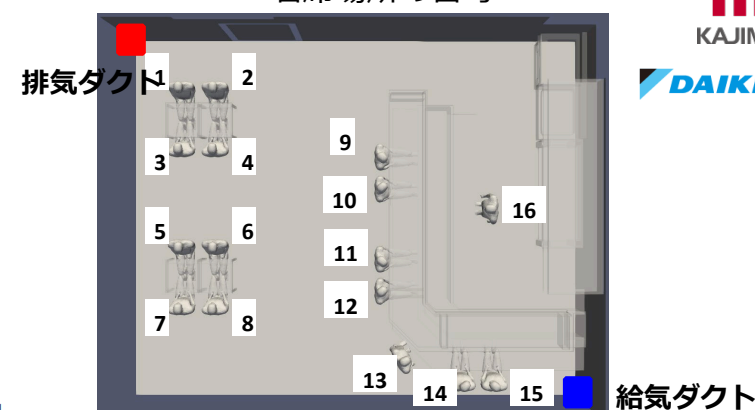
機械換気+キッチンダクト+エアコン



機械換気+キッチンダクト+エアコン
+パーティション



着席場所の番号

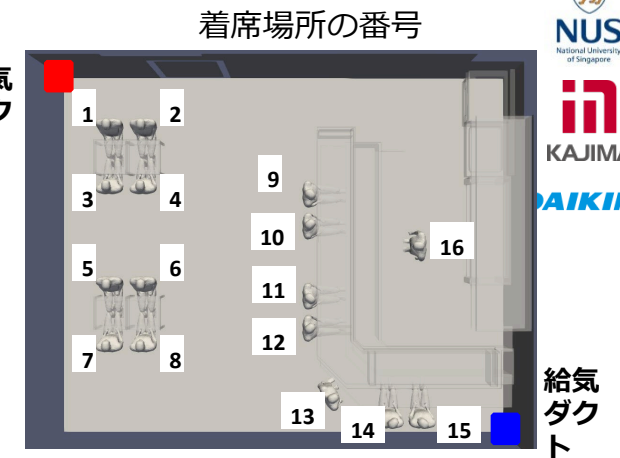
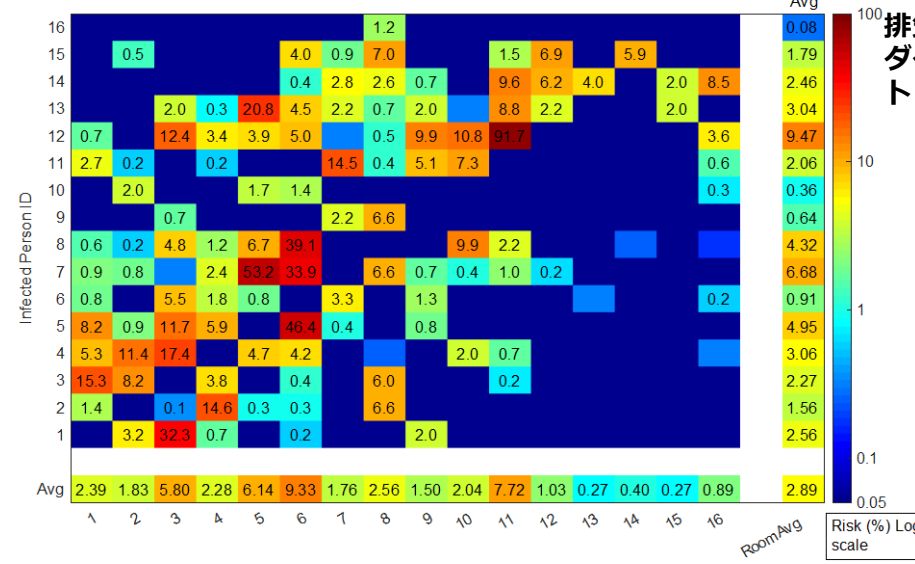
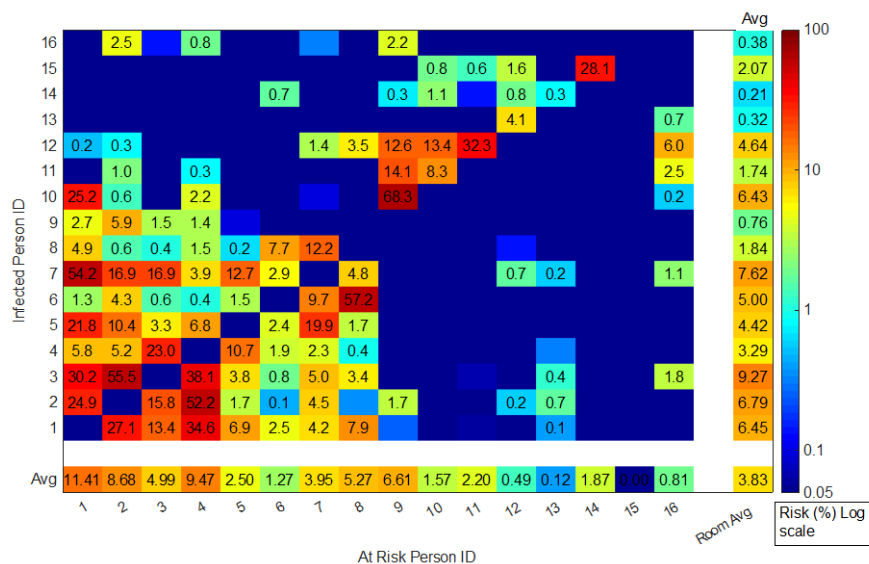


飲食店における感染リスク評価と対策

● 夏（左）と冬（右）の違い（機械換気＋エアコン＋キッチンダクト）



エアコン吹き出し方向の違い（夏は天井に対して30°、冬は60°）により、空気がより「かくはん」され、リスクがやや低くなっている。

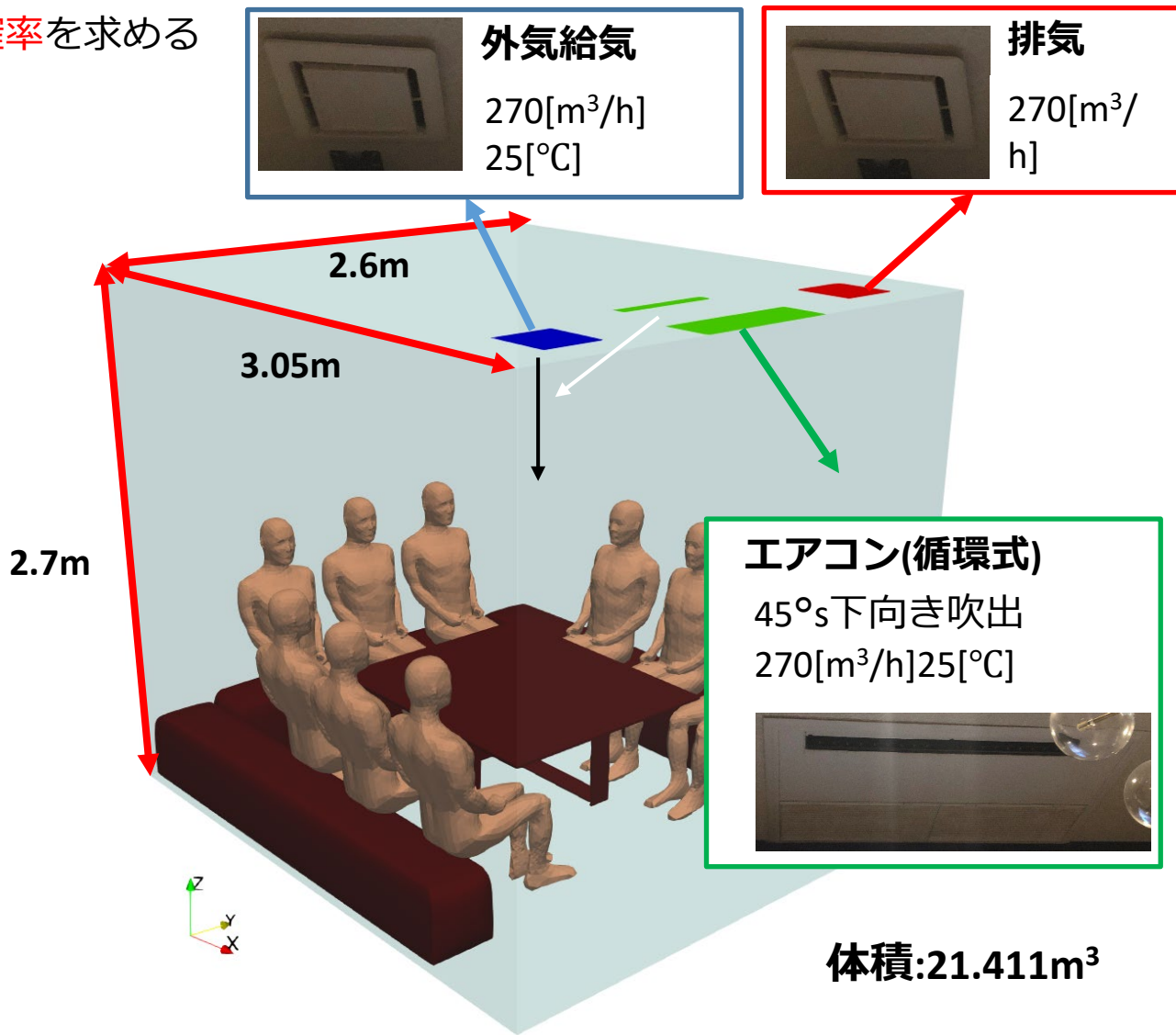
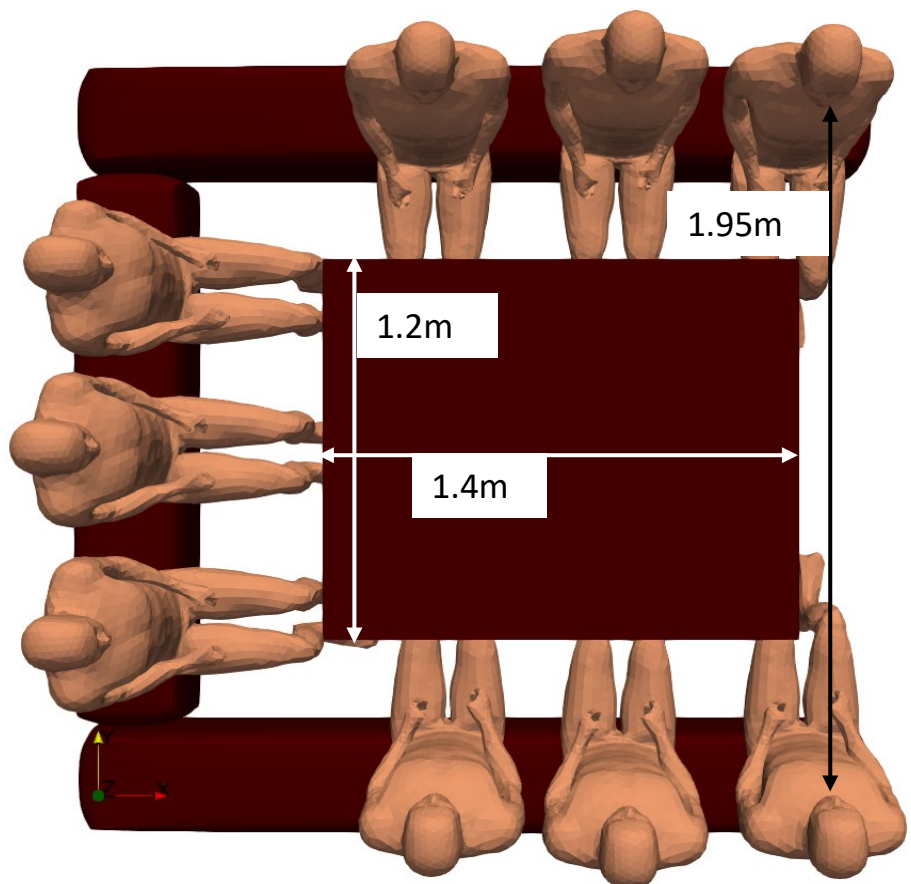


提供：理研・神戸大，協力：鹿島建設・ダイキン工業・数値フローデザイン・豊橋技科大

カラオケボックスにおける飛沫感染リスク評価と対策

9人定員のカラオケボックスを想定

- 室内に**1名の感染者**が滞在するとして**在室者の感染確率**を求める
- 滞在時間は**1時間**
- 全員マスクは装着していない



カラオケボックスにおける飛沫感染リスク評価と対策

全員が1時間大声で歌い続けた場合（ワーストケース、オミクロン）

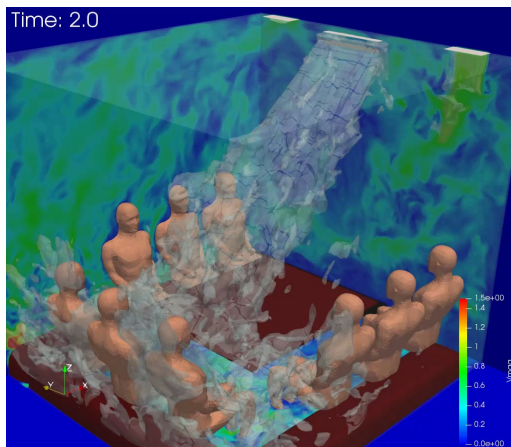
- 室内の平均感染率：42%、新規感染者数3.3人

感染者の番号

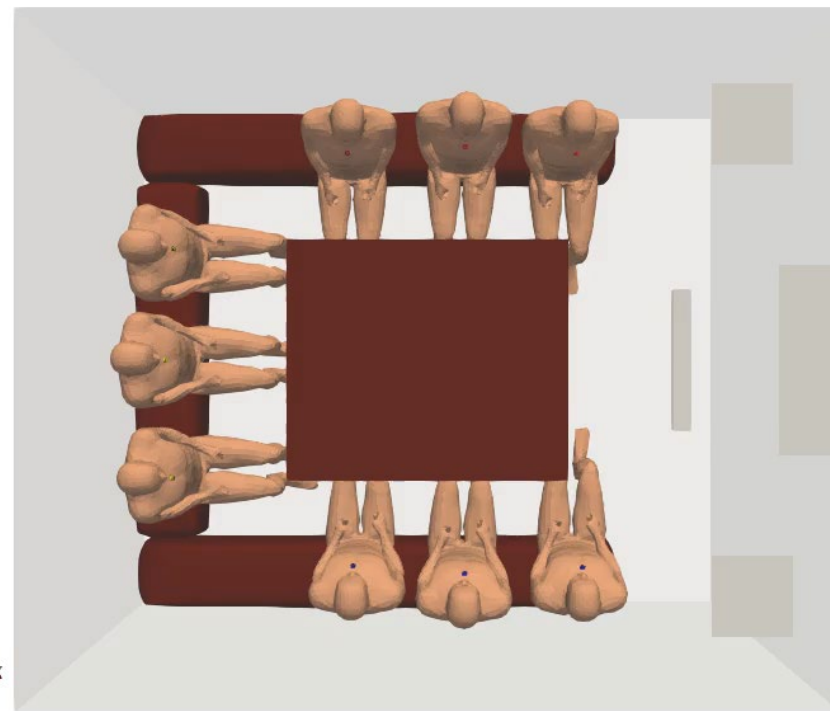
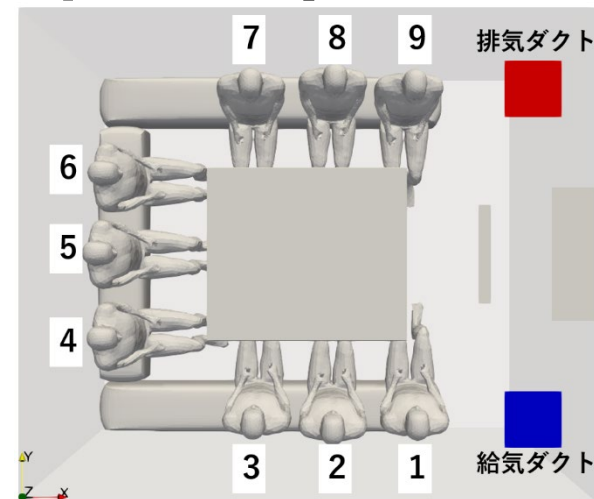
											Ave
1		15.0	27.7	2.2	6.1	6.5	6.3	8.7	83.7		19.51
2	92.9		52.0	19.1	7.5	17.6	25.2	40.0	64.3		39.81
3	78.1	97.4		8.9	16.9	46.1	14.8	88.4	99.9		56.31
4	38.4	41.1	21.4		51.8	54.7	2.8	98.3	99.5		50.99
5	65.2	42.6	81.8	95.2		99.9	71.5	54.7	89.2		75.04
6	8.6	5.1	8.9	25.3	18.3		38.5	30.3	64.1		24.87
7	4.0	0.1	0.0	3.7	5.9	22.7		100.0	99.9		29.53
8	11.1	12.4	4.3	47.0	2.7	30.3	53.4		100.0		32.66
9	50.6	70.4	1.8	6.2	26.9	45.8	61.0	100.0			45.32
Ave	43.59	35.51	24.73	25.95	17.01	40.45	34.19	65.04	87.58		41.56
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

飛沫を吸い込む人の番号

室内の平均感染確率



Time: 0.00



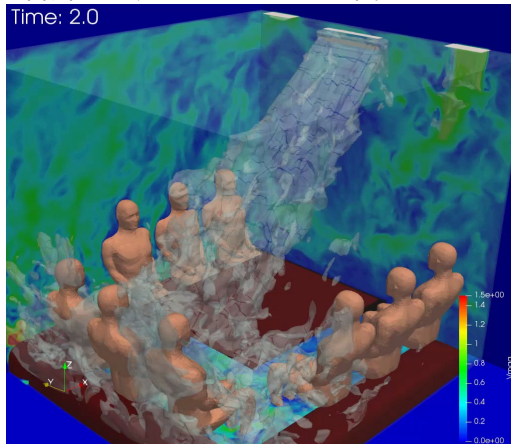
カラオケボックスにおける飛沫感染リスク評価と対策

一人ずつ座って歌い（7分弱）、後は黙っている場合（オミクロン）

- 室内の平均感染率：12%、新規感染者数：0.96人

感染者の番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ave
	1		1.8	3.5	0.3	0.7	0.7	0.7	1.0	18.2	3.37
	2	25.4		7.8	2.3	0.9	2.1	3.2	5.5	10.8	7.26
	3	15.5	33.3		1.0	2.0	6.6	1.8	21.3	52.3	16.73
	4	5.2	5.7	2.6		7.8	8.4	0.3	36.5	44.4	13.88
	5	11.1	6.0	17.3	28.7		57.0	13.0	8.4	21.9	20.42
	6	1.0	0.6	1.0	3.2	2.2		5.3	3.9	10.8	3.49
	7	0.4	0.0	0.0	0.4	0.7	2.8		60.8	53.4	14.82
	8	1.3	1.5	0.5	6.8	0.3	3.9	8.1		100.0	15.30
	9	7.5	12.6	0.2	0.7	3.4	6.6	9.9	58.5		12.44
	Ave	8.44	7.69	4.12	5.43	2.25	11.03	5.29	24.49	38.98	11.97
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	

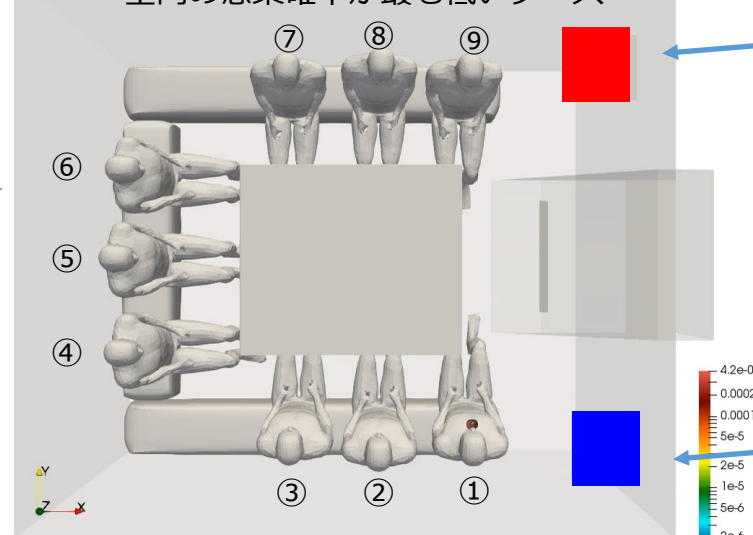
飛沫を吸い込む人の番号



室内の平均感染確率

Time: 0.0

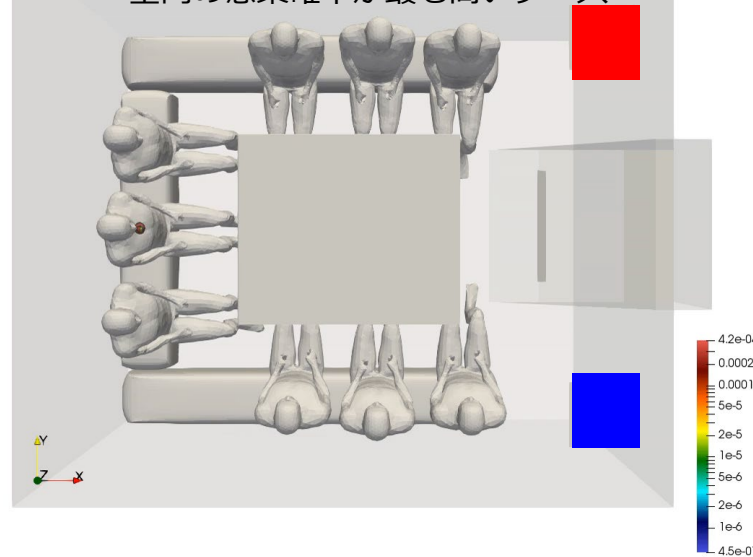
室内の感染確率が最も低いケース



排気ダクト

吸気ダクト

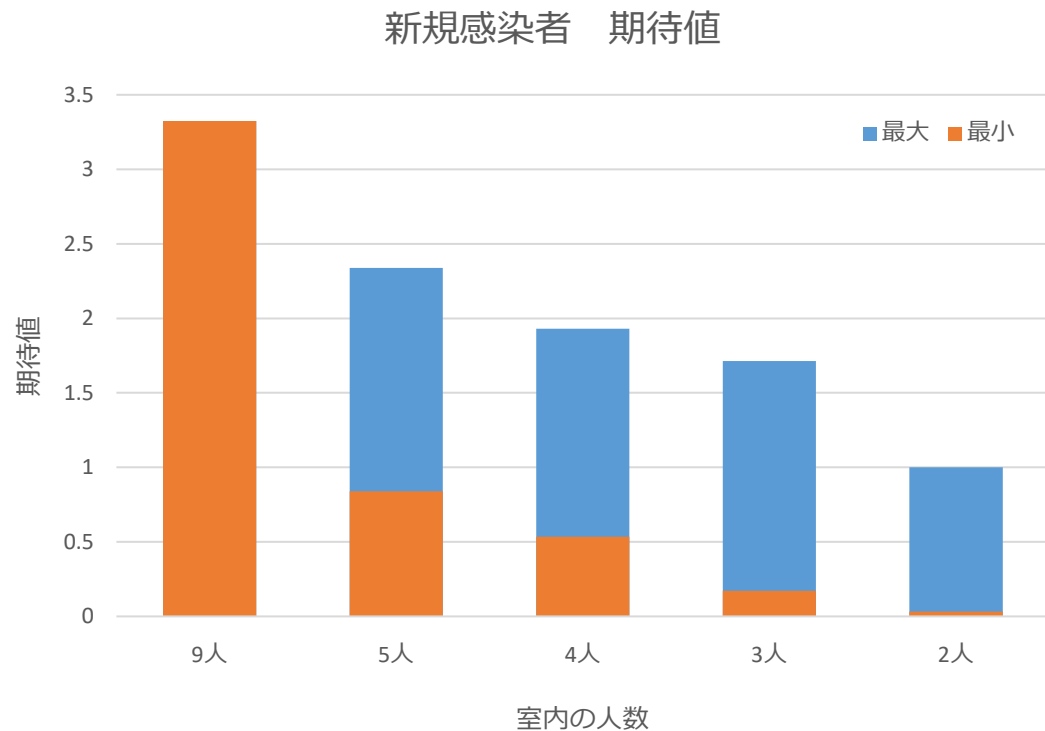
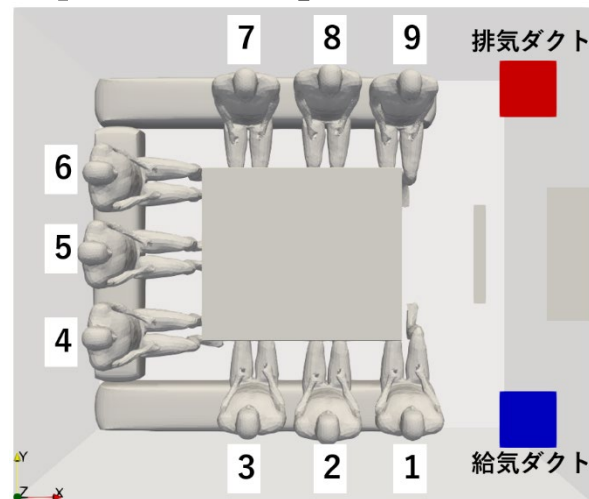
室内の感染確率が最も高いケース



カラオケボックスにおける飛沫感染リスク評価と対策

在室者を減らす場合（オミクロン株の場合）

- 座り方によってリスクは変化する
- 9人（内一人感染者）のパーティを二つ（5人と4人）に分けて、密にならずに着席するよう意識するだけで、新規感染者の発生数を3.3人から0.5～0.8程度まで減らすことができる。
- パーティを三つにした場合（3人）、もっとも効果がある場合には新規感染者数は0.2人まで減らせる。



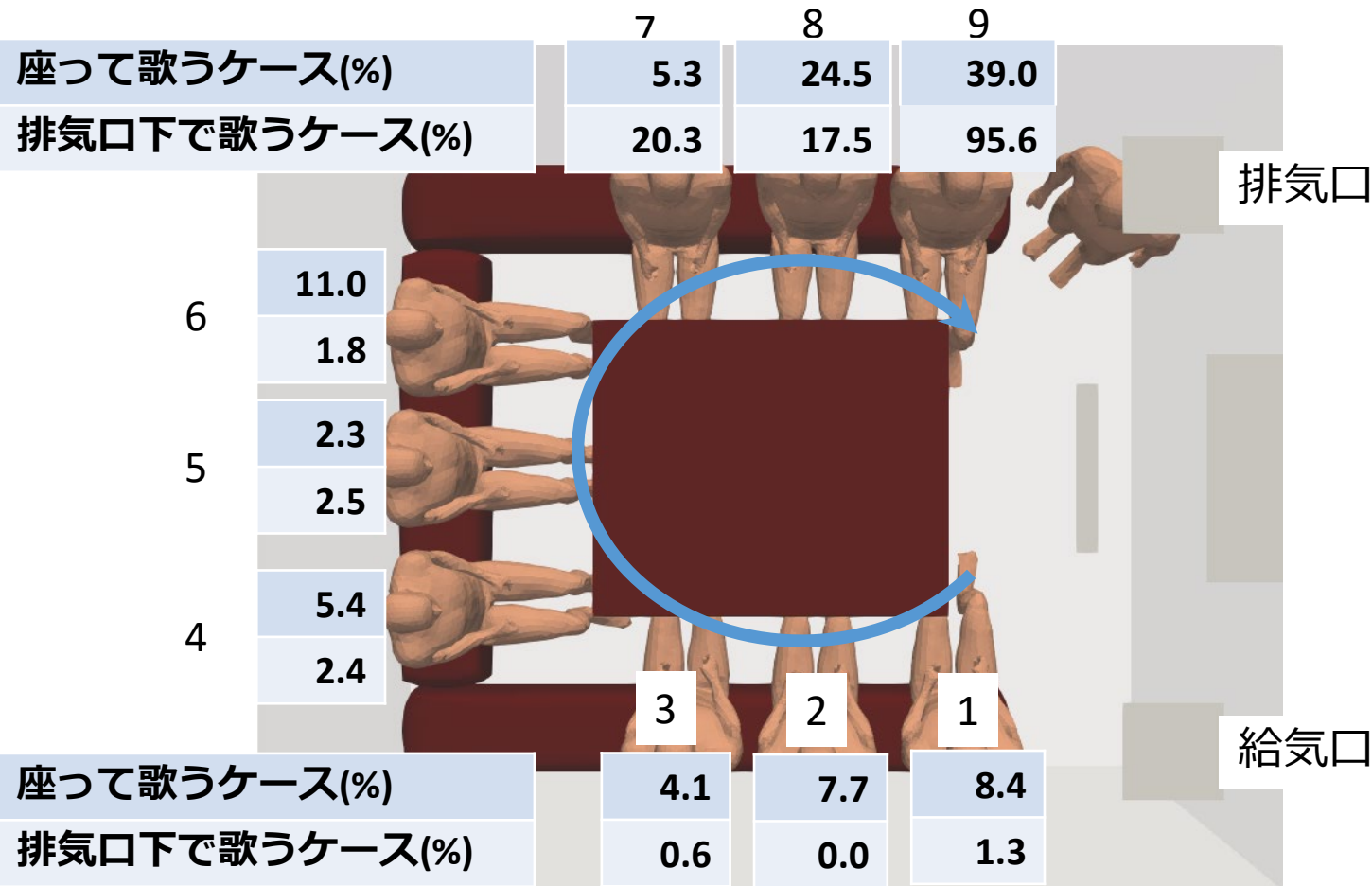
最大のケース

最小のケース

室内人数	期待値(室内の人の番号)	期待値(室内の人の番号)
9人	3.3	3.3
5人	2.3 (4,5,7,8,9)	0.8 (1,3,4,6,7)
4人	1.9 (4,7,8,9)	0.5 (1,4,6,7)
3人	1.7 (7,8,9)	0.2 (3,4,7)
2人	1.0 (8,9)	0.03 (4,7)

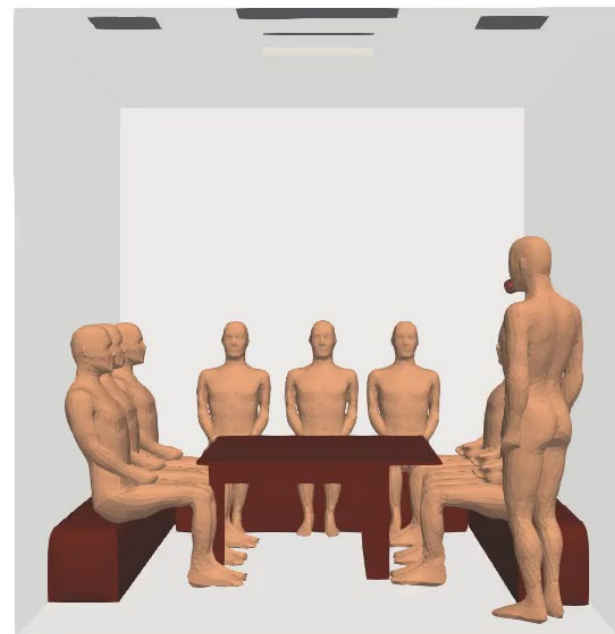
カラオケボックスにおける飛沫感染リスク評価と対策

1人ずつ、順番に排気口の下で歌う場合（飛沫発生場所を固定する、オミクロン）



室内(9人)の平均感染確率

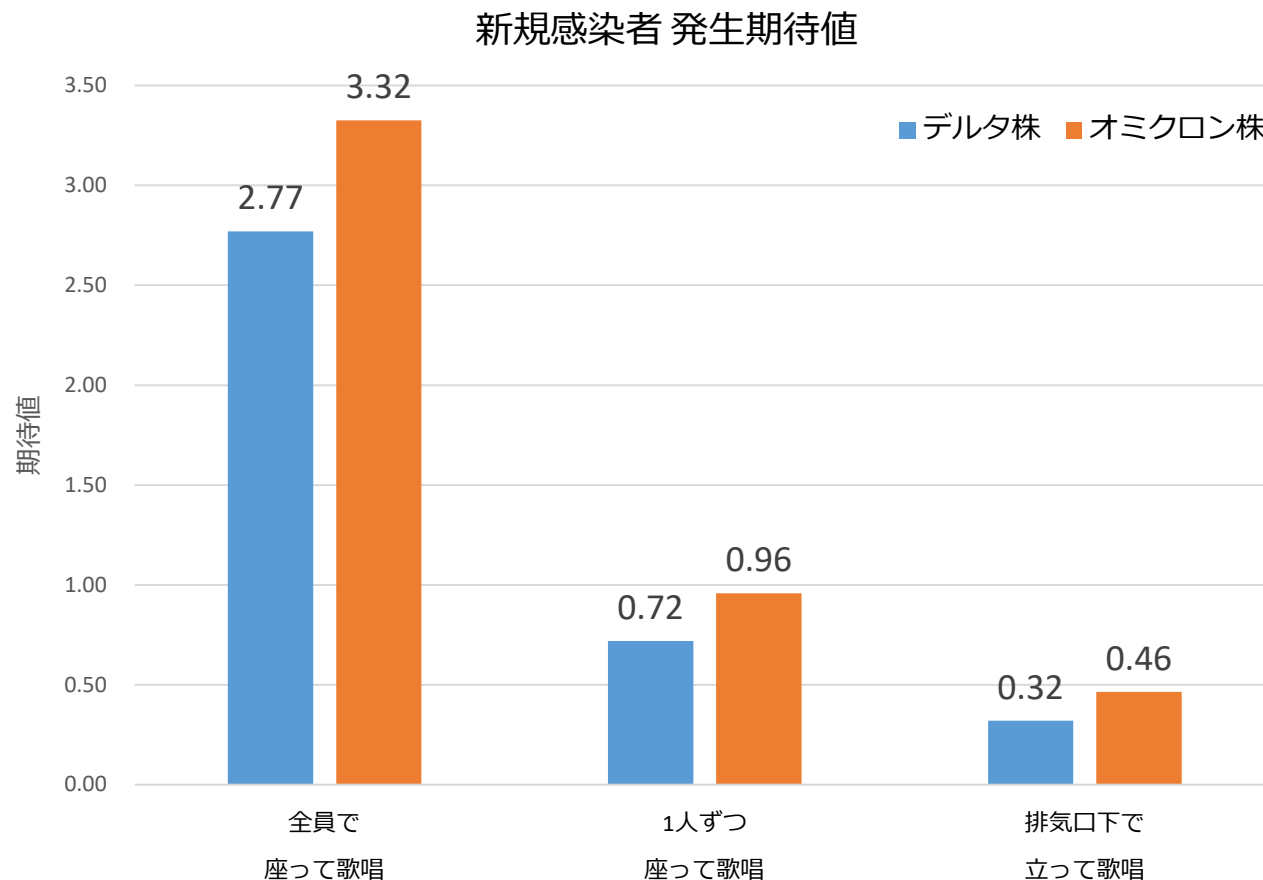
座って歌うケース	12.0%
排気口下で歌うケース	5.8%



カラオケボックスにおける飛沫感染リスク評価と対策

1名の感染者と同席した場合に新たな感染者が発生する期待値（人）

- 歌唱者以外はマスクを着用した場合、この値の1/2～1/3になります。



まとめ

- 感染者がマスクをしていても、50cm以内では感染リスクは高まります。また不織布は小さな飛沫（エアロゾル）のブロック効果は限定的です。隣同士でしゃべるようなシーンでは、マスクをしていても安心せずに、距離を取る、接触時間を短くする等の対策を忘れないように。
- キッチンの換気扇やエアコンの稼働や、パーティションの設置等の対策をすることで、店舗全体の感染リスクは三分の一程度まで下げることができます。エアコンの風による風上・風下関係によっては局所的にリスクが高まることもありますが、空気のかくはんにより感染者のエアロゾルを薄めることで、部屋全体のリスクは下がります。
- カラオケボックスでは、パーティを分割して一部屋の在室者を減らし距離を取ることで大きなリスク低減効果が期待できます。また、歌う場所を特定する（感染者の飛沫発生個所を限定する）ことでさらなるリスク低下が期待できます。

勉強会配布資料はここまで