

# 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

# 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。

- ・ 「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」  
(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」(内閣官房)
- ・ 「新型コロナウイルス感染症対応HPCI臨時公募(課題番号hp200154) (東大Oakbridge-CX)」  
(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-1013>

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>

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

# 研究の概要

## 研究の概要

- ウイルス飛沫・エアロゾル感染の予測とその対策提案をシミュレーションを用いて行う。
- 公共施設（オフィス、教室、病室等）や公共交通機関（通勤電車、バス、航空機等）等の室内環境を想定する。
- 目に見えない飛沫を可視化し、社会に発信することで、飛沫・エアロゾルに対する正しい理解とリスク認知、感染予防の啓発を行う。

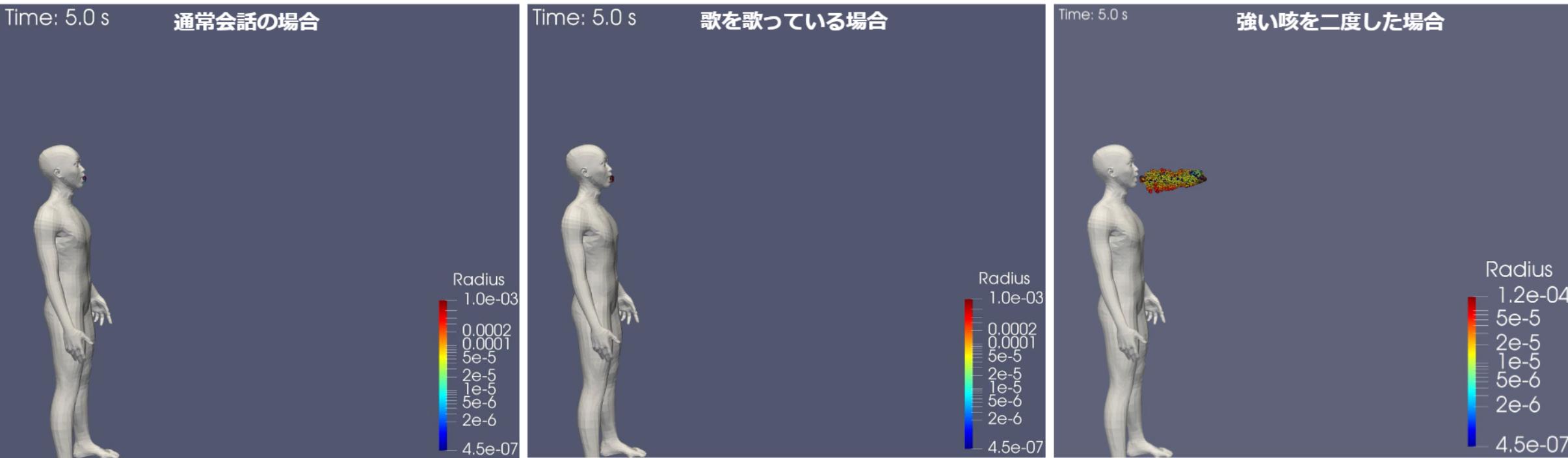
## 本日の内容

- マスクの被感染防御効果について
- フェースガードやマウスシールドの効果について
- 飛沫・エアロゾルの飛散における湿度の影響について
- 飛沫感染における距離の影響について
- 飲食時のリスク評価と対策
- 合唱時のリスク評価と対策

# 会話, 歌唱, 咳時の飛沫の飛び方の比較

通常に会話している時や歌を歌っている時の飛沫の飛び方は、咳とどのように違うのか？

- 会話は、英語でone, two, three, …, tenを5.5秒で発話し、それを繰り返す（1分で約9000個の飛沫・エアロゾル）
- 歌は、大きな声でone, two, three, …, tenを5.5秒で発話し、それを繰り返す（1分で約25000個の飛沫・エアロゾル）
- 咳は強く2回する（総計3万個程度の飛沫・エアロゾル）
- 色は飛沫のサイズ（赤：百ミクロン、青：0.5ミクロン）



- 通常会話であっても3分程度会話を続ければ、結果的に咳一回と同じ程度の飛沫・エアロゾルが発生する。
- 歌唱時は通常会話と比較して飛沫量も数倍になり、より遠くまで飛ぶ。1分程度で咳一回分の飛沫・エアロゾルが飛散する。

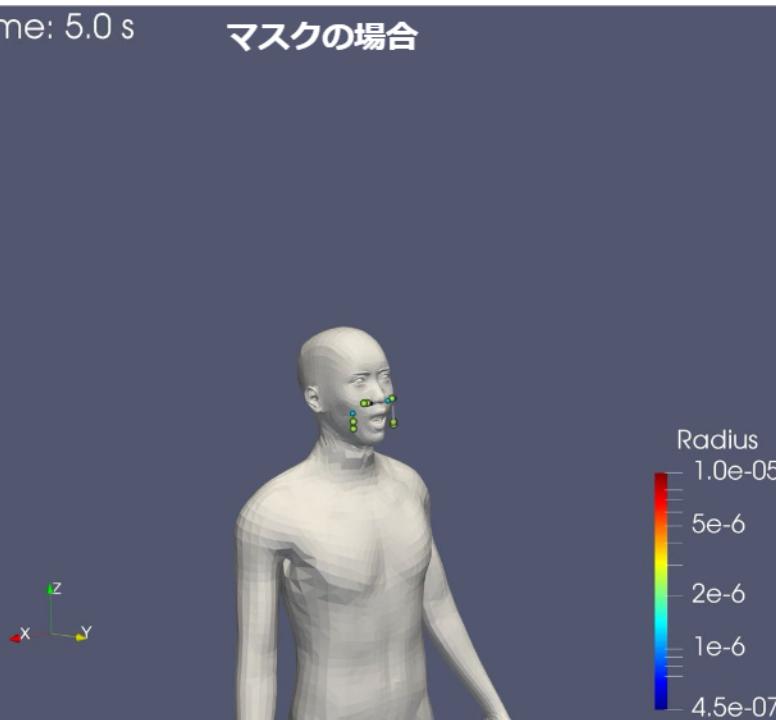
# マスク、フェースシールド、マウスガードの比較

フェースシールドやマウスガードでどの程度飛沫・エアロゾル（5ミクロン程度以下の小さな飛沫）の飛散を防護できるのか？（他者への飛沫・エアロゾル感染低減効果）

- 歌唱時を想定

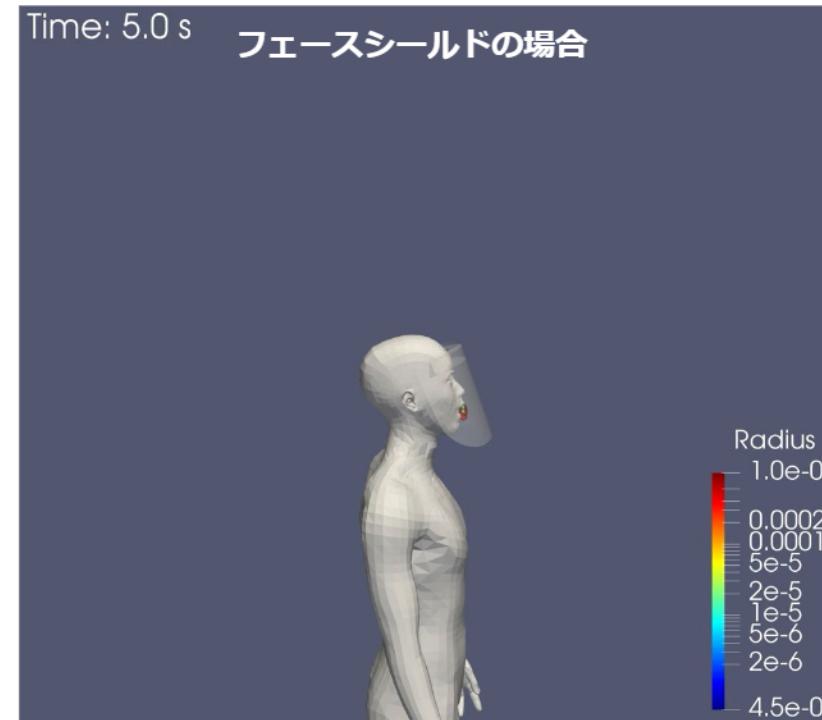
Time: 5.0 s

マスクの場合



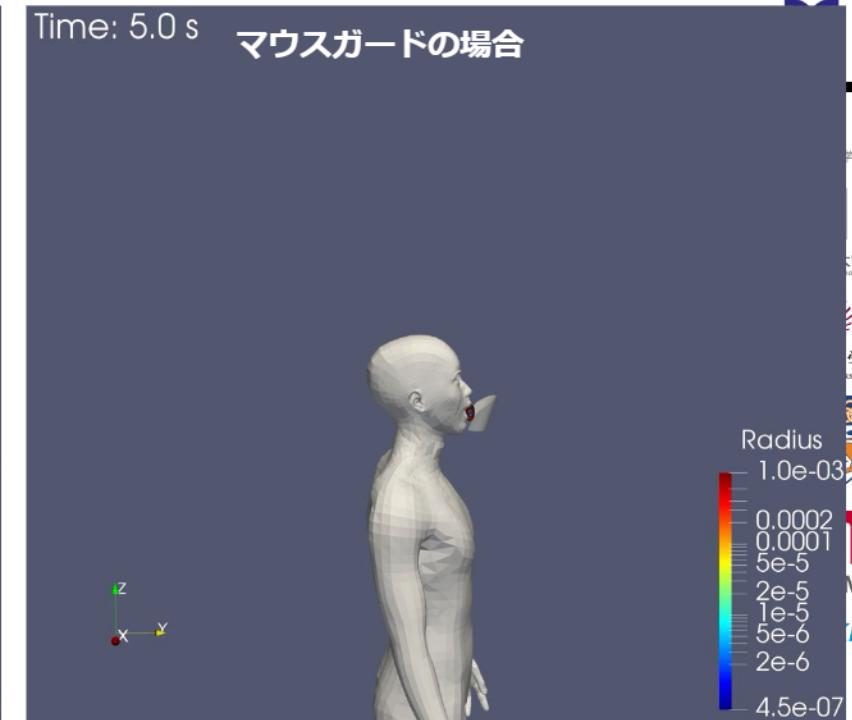
Time: 5.0 s

フェースシールドの場合



Time: 5.0 s

マウスガードの場合

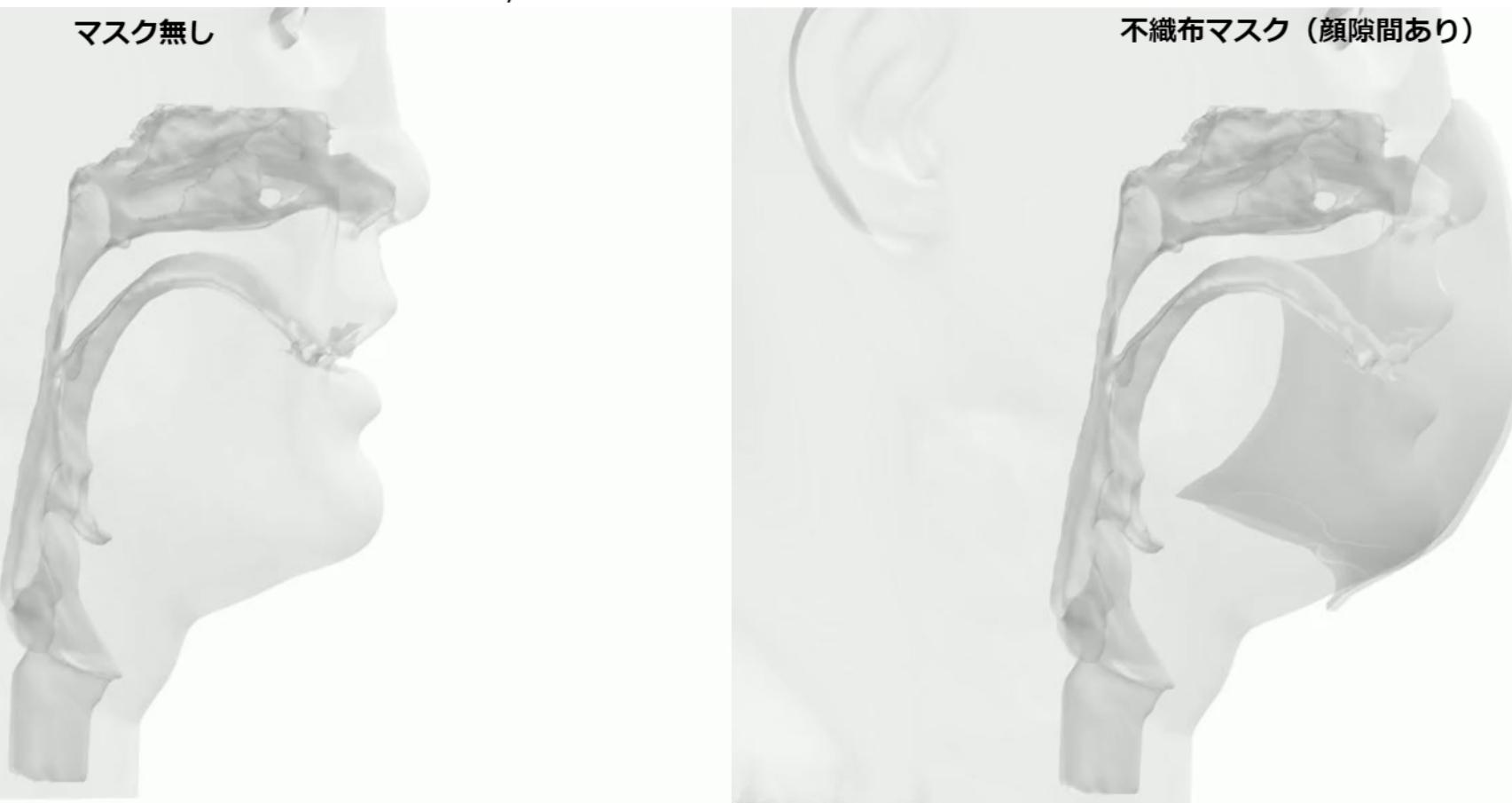


- フェースシールドやマウスガードでも大きな飛沫の飛散抑制効果はある程度期待できる。一方、エアロゾルについてはマスクと比較して相当量が漏れ出てしまうので、室内の換気対策や高濃度のエアロゾルの拡散等、エアロゾルに対する対策を十分に検討する必要がある。

# マスクの被感染防止効果

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）

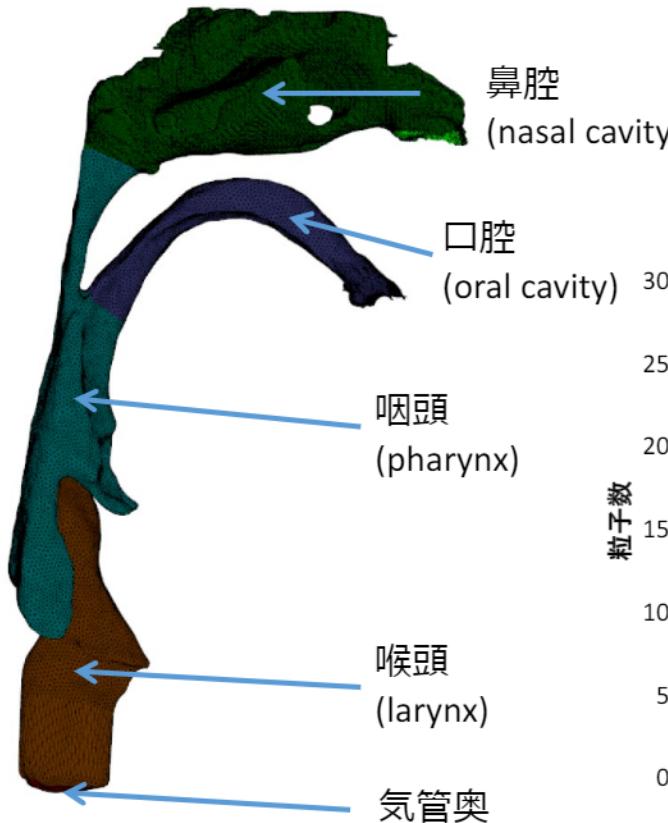
- 人の上気道をモデル化、深呼吸時（吸う吐く吸うで6秒）にどの程度の飛沫が上気道に取り込まれるかを評価する。
- 鼻と口で同時呼吸を想定。
- 顔の周りに200ミクロン以下の飛沫を一様に同じ粒径分布で配置
- 色は飛沫のサイズを表す（赤：2百ミクロン、青：1ミクロン）



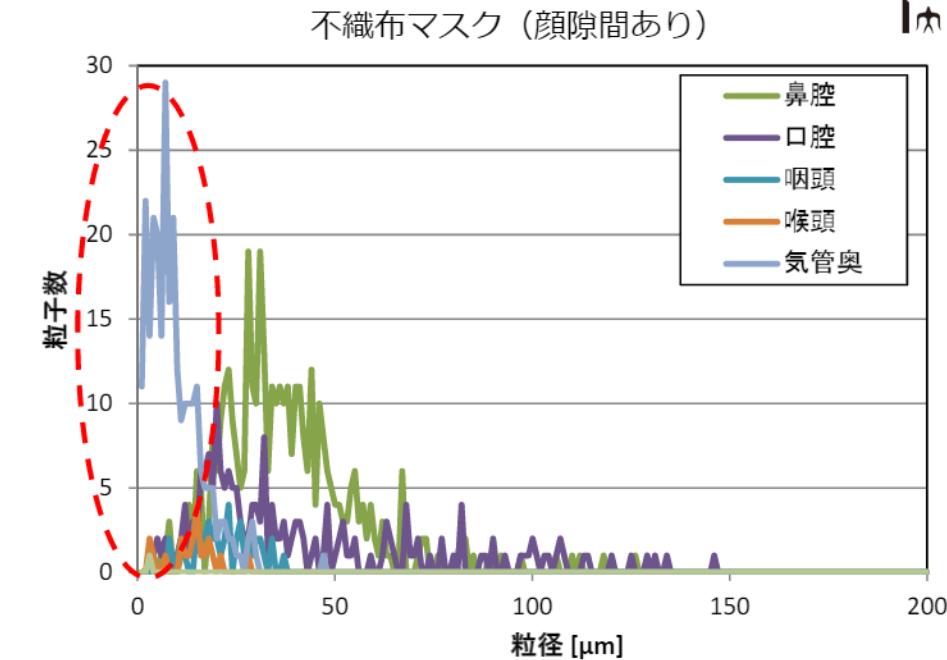
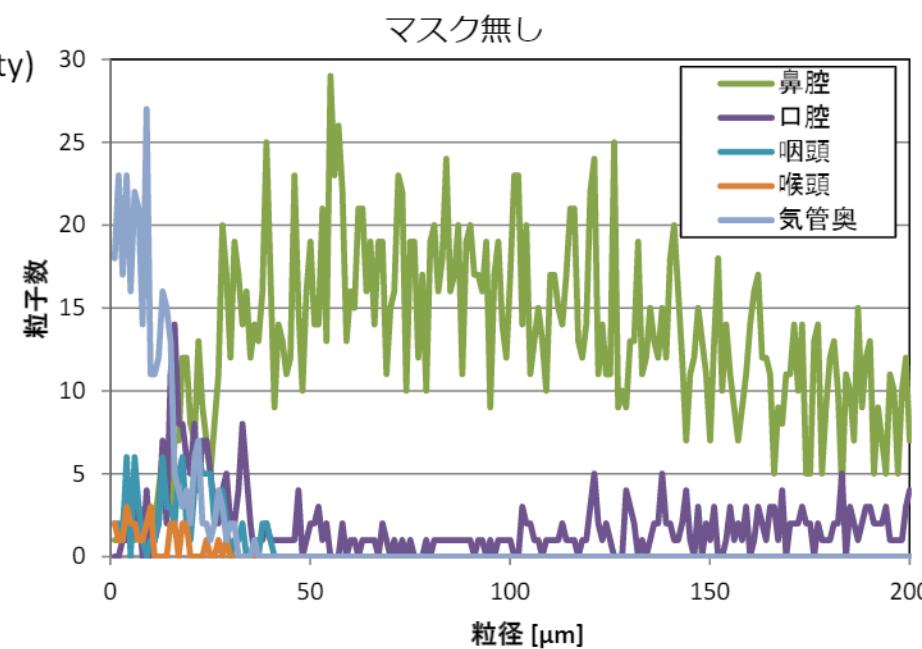
# マスクの被感染防止効果

## 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。

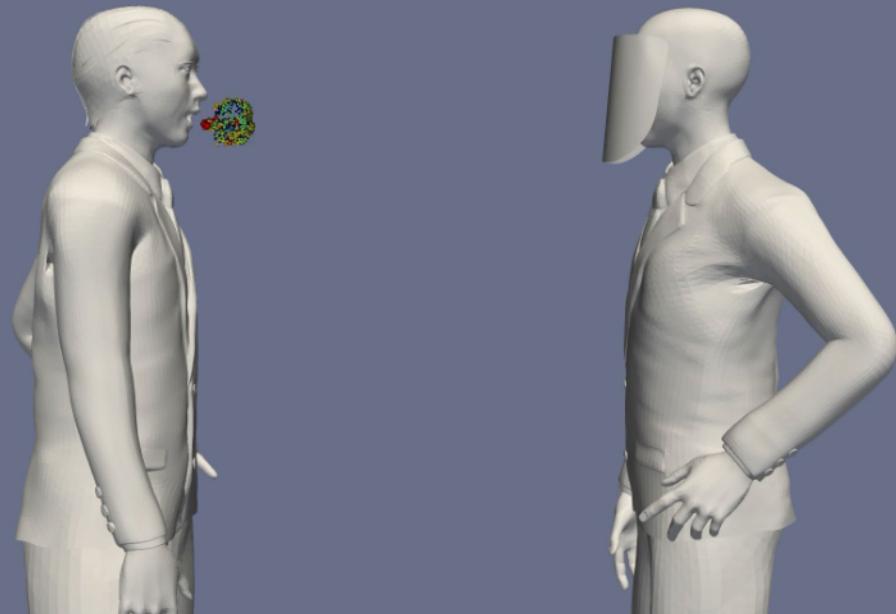
# フェースシールドの効果

フェースシールドの飛沫防御効果と飛散抑制効果（マスクの代替）はどの程度なのか？

- ・咳をした場合で検証
- ・鼻と口で同時呼吸を想定。
- ・色は飛沫のサイズ（赤：百ミクロン、青：0.5ミクロン）

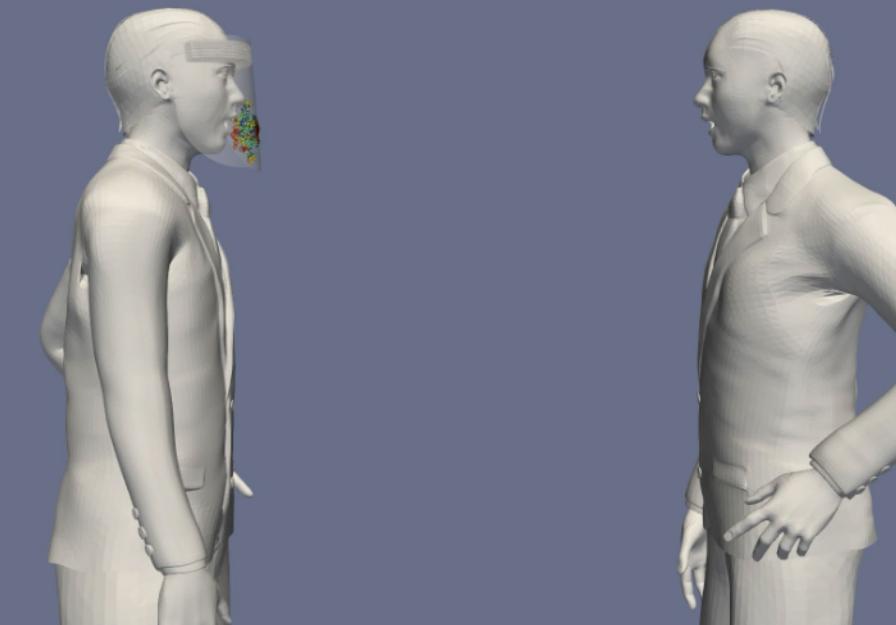
感染者からの飛沫を防御する効果

Time: 0.05s



感染している場合の飛沫の飛散を防御する効果（マスクの代替）

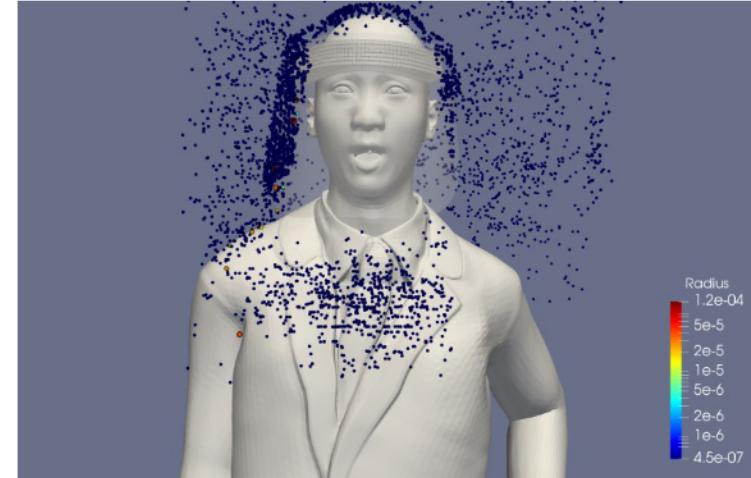
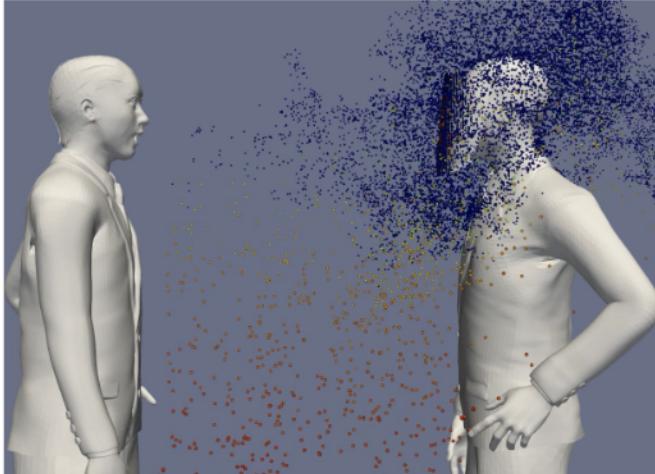
Time: 0.05s



# フェースシールドの効果

## 飛沫防御効果について

- 飛散する飛沫のブロック効果は期待通り.
- エアロゾル（青）については、隙間から侵入の可能性あり.

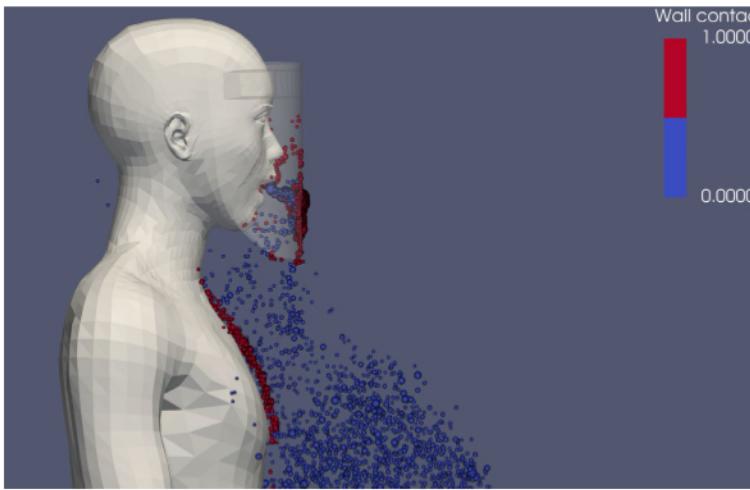


# フェースシールドの効果

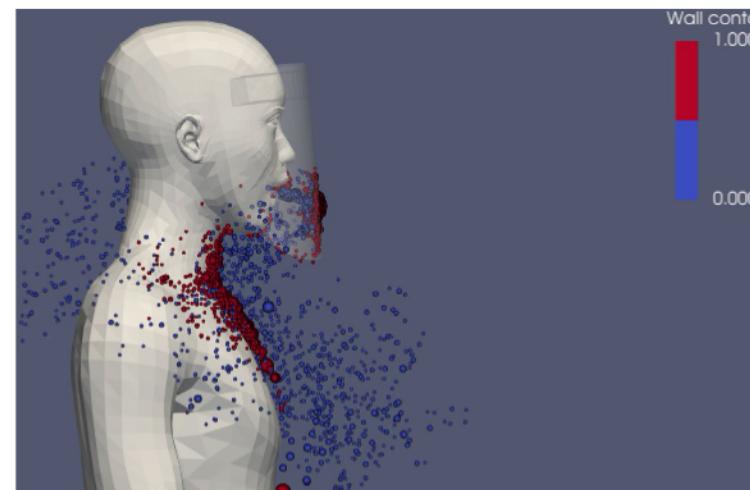
## 飛散抑制効果（マスクの代替）と取り付け角の影響

- 上（シールド・身体に付着した飛沫：赤，漏れ出した飛沫：青）．下（飛散する飛沫を大きさにより識別）

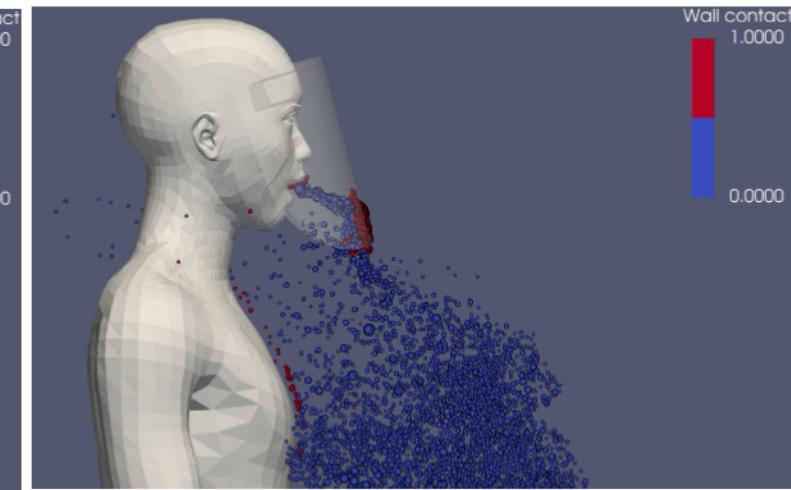
垂直に装着 (I)



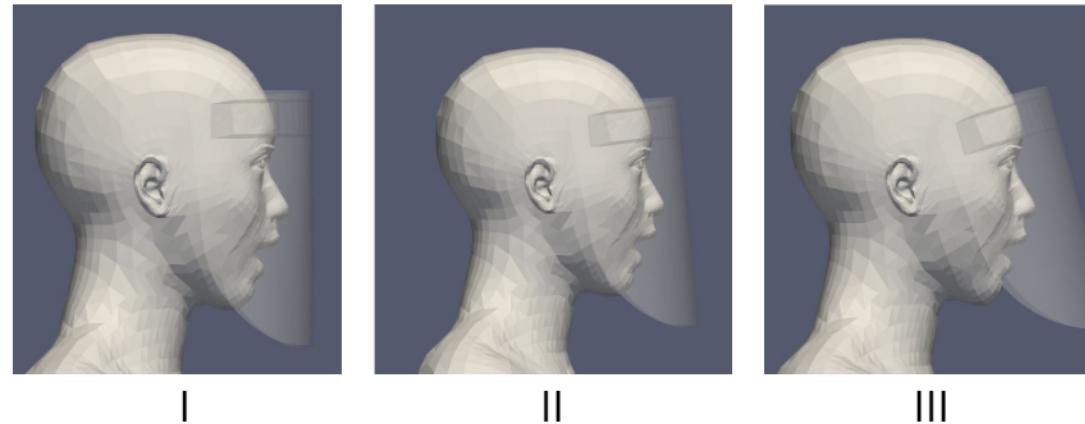
口元をやや広く装着 (II)



口元を広く装着 (III)



# フェースシールドの効果



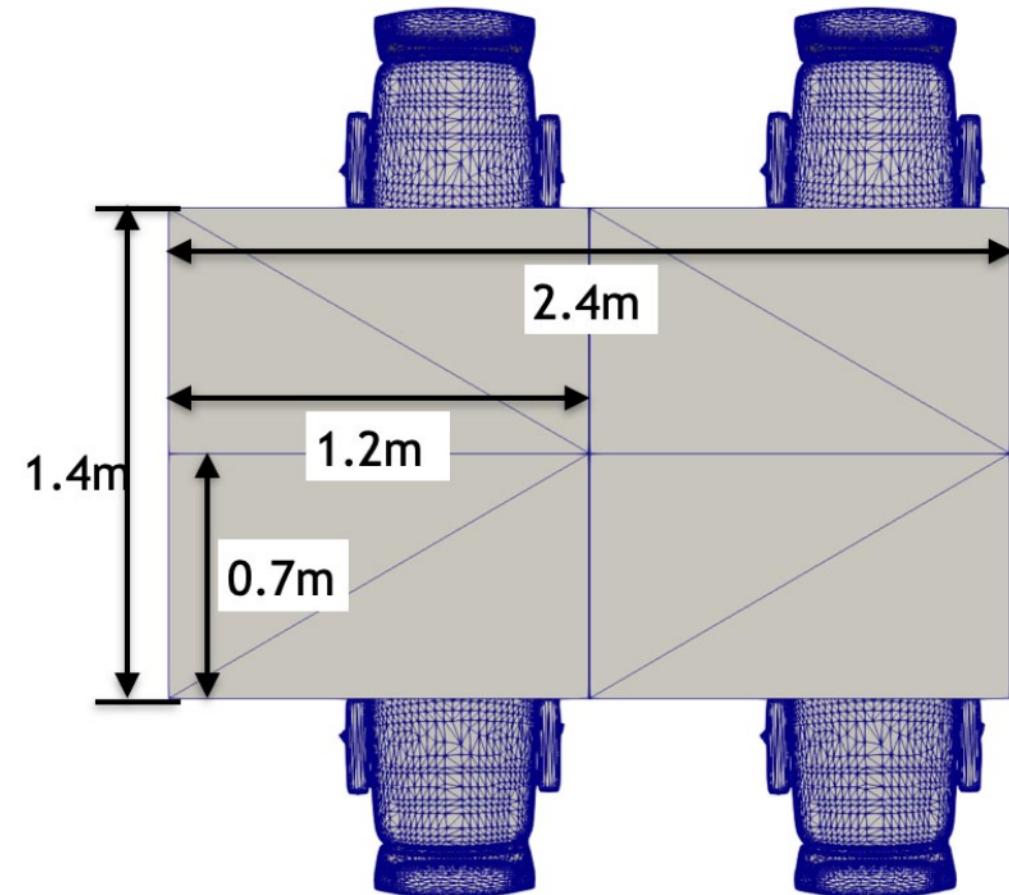
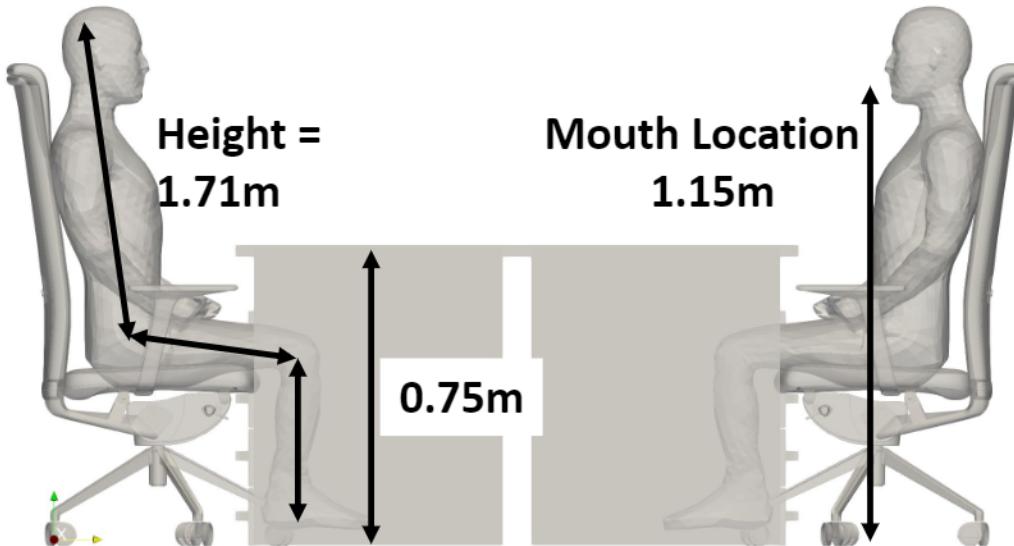
- ・飛散してくる飛沫を防御する効果は高いが、エアロゾルに対しては隙間からの侵入が避けられない。
- ・自分が発した飛沫の飛散を抑制する効果（マスクの代替効果）は大きな飛沫に対しては有効であるが、エアロゾルは大量に漏れ出す。

注意：この結果はフェースシールドがマウスの代替となることを保証するものではありません。可能な限りマスクの装着を検討してください。

# 飛沫・エアロゾル飛散における湿度の影響

空気が乾燥する秋から冬へ向けて、飛沫やエアロゾルに対してどのような対策が必要か？

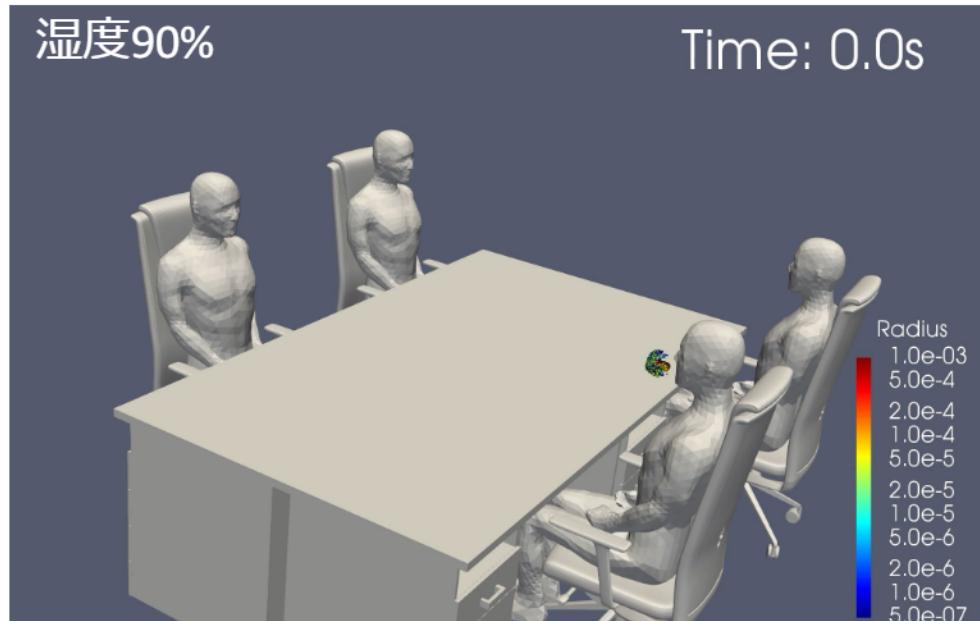
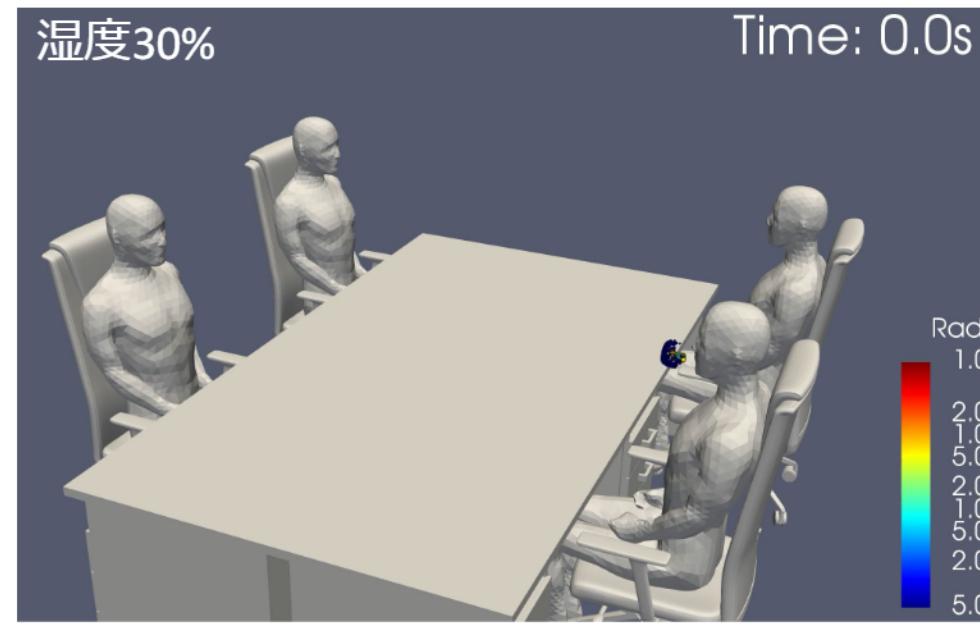
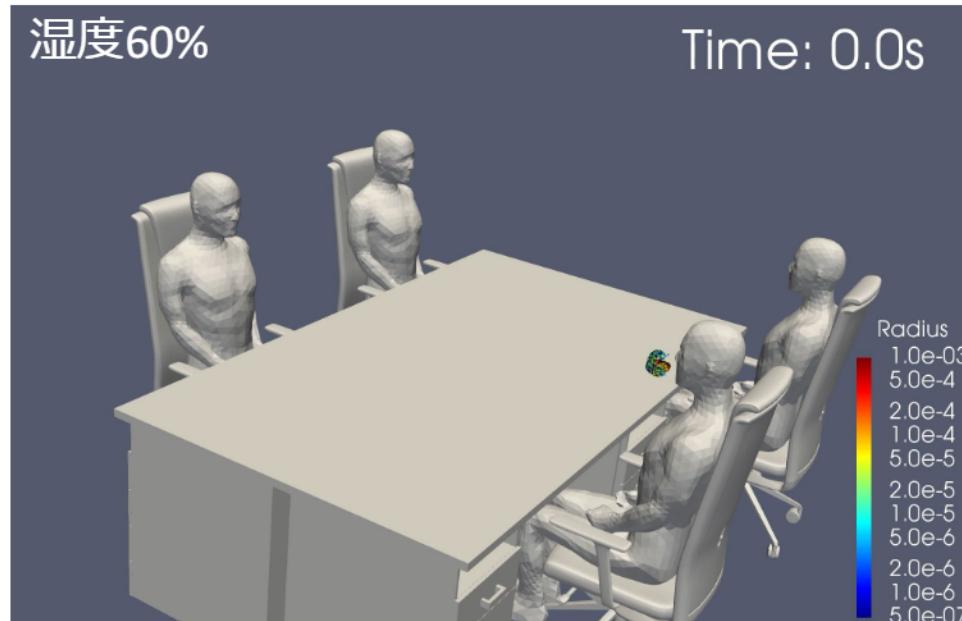
- オフィスでの4人掛けで咳を想定。
- 湿度として30%, 60%, 90%を検討



# 飛沫飛散における湿度の影響

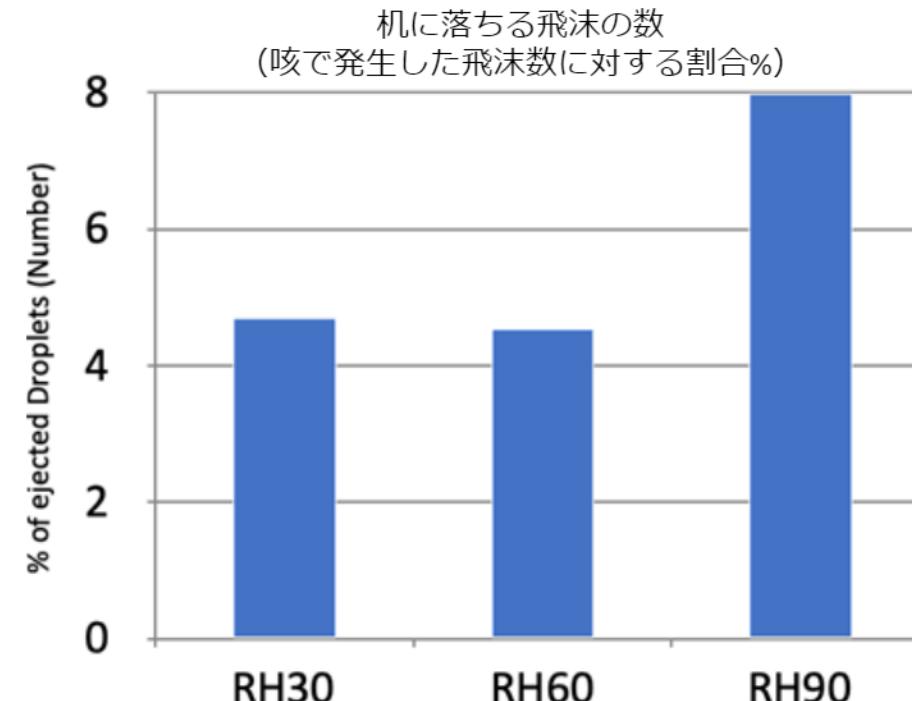
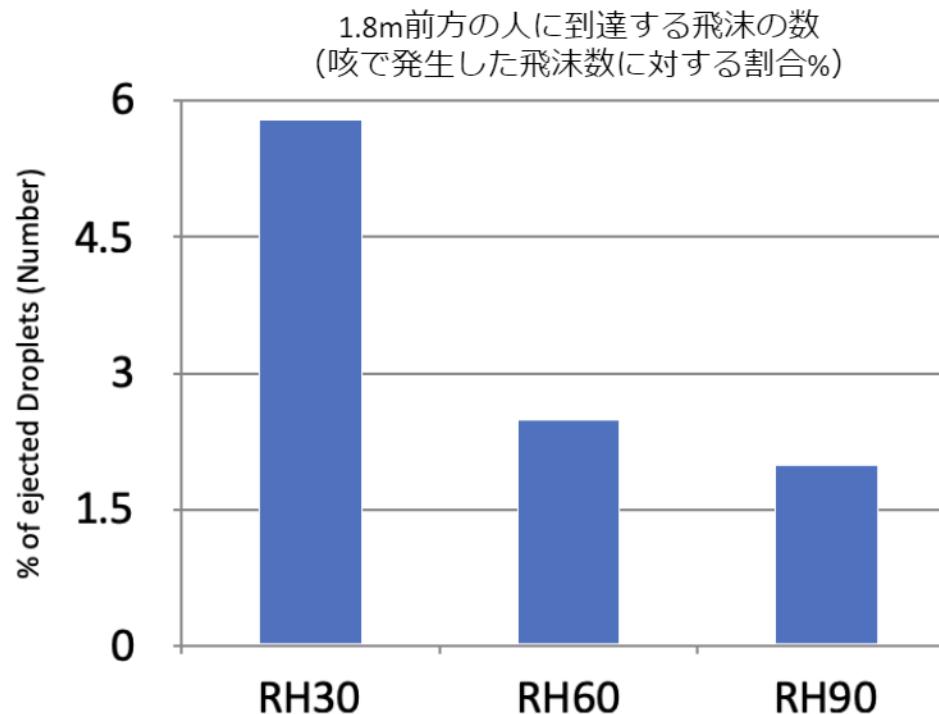
## 飛沫のエアロゾルの飛散の違い

- 相対的に湿度が低くなると、机に落下する飛沫の量が減り、エアロゾル化して空中に浮遊する飛沫の量が増え



# 飛沫飛散における湿度の影響

感染者の正面の人に到達する飛沫及び机に付着する飛沫の数を定量評価

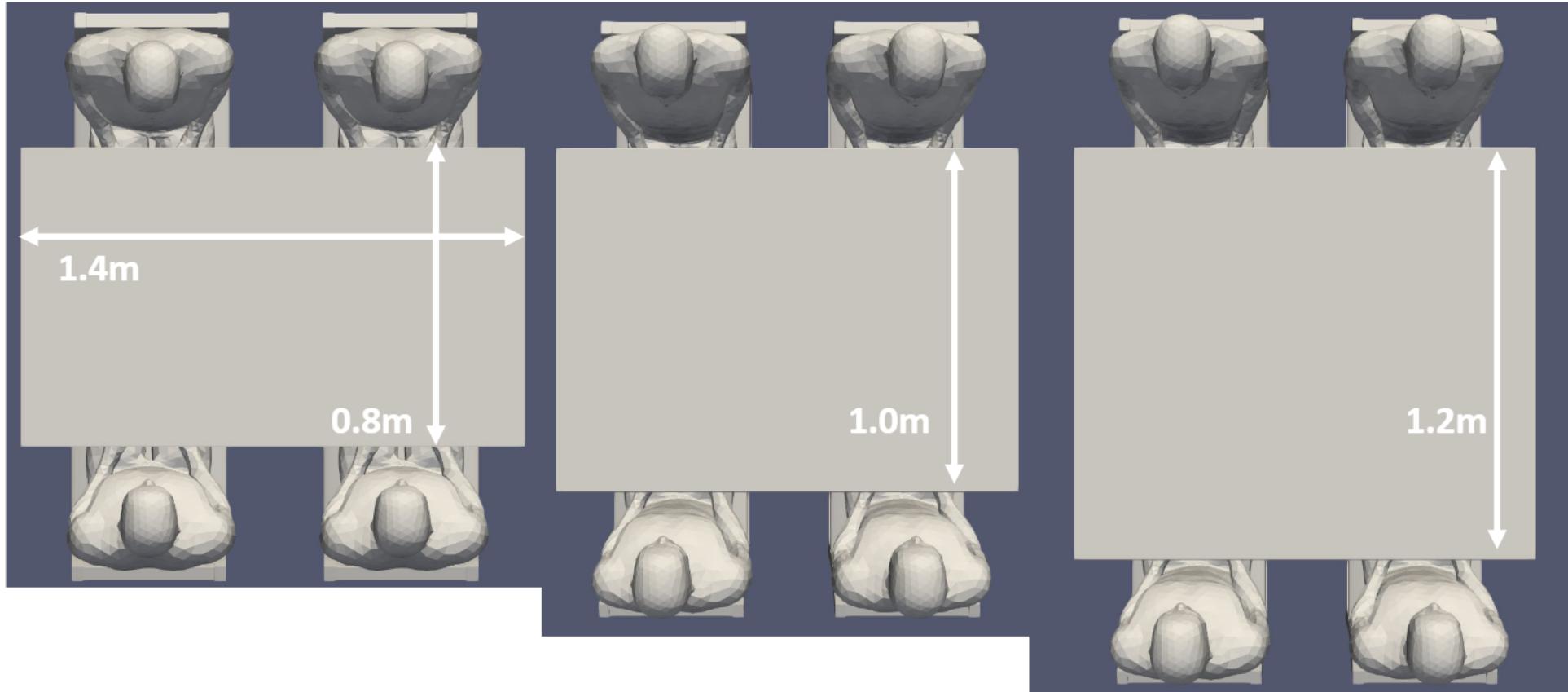


- 乾燥した空気により飛沫のエアロゾル化が急速に進む。
- 特に湿度が30%より小さくなるとその効果は顕著であり、冬場は加湿器等による湿度のコントロールと共に、エアロゾルに対する対策（換気等）を強化する必要がある。

# 飛沫飛散における距離の影響

## 距離の影響について

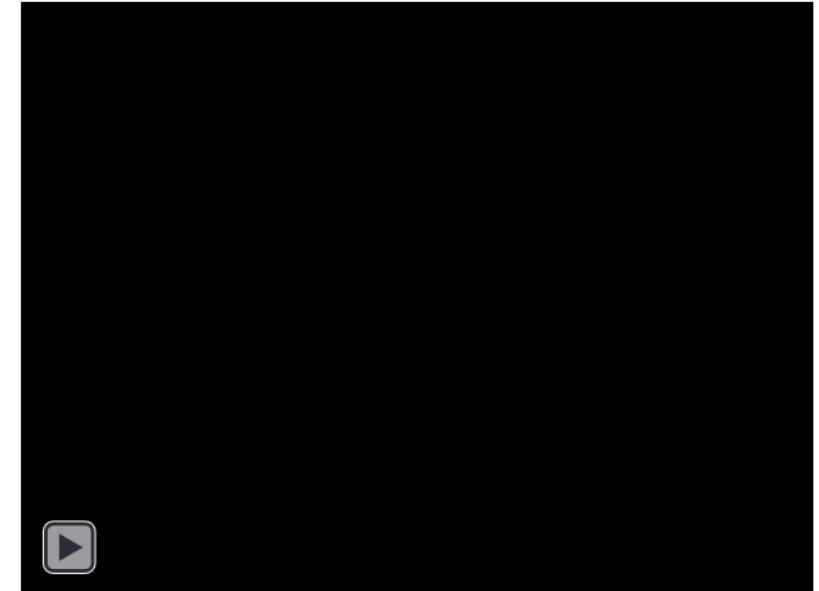
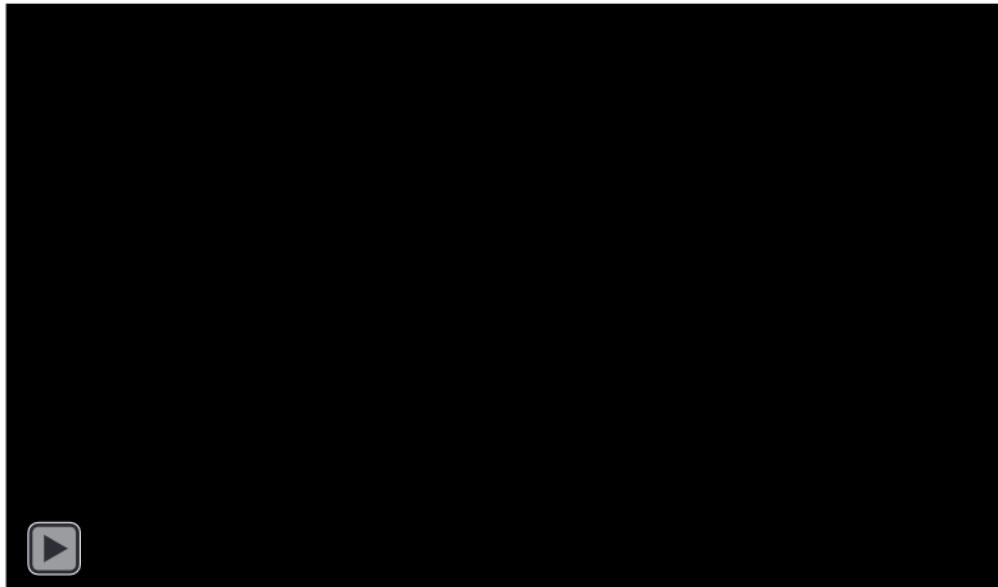
- 咳をした場合で検証



# 飛沫飛散における距離の影響

## 距離の影響について

- 咳をした場合で検証

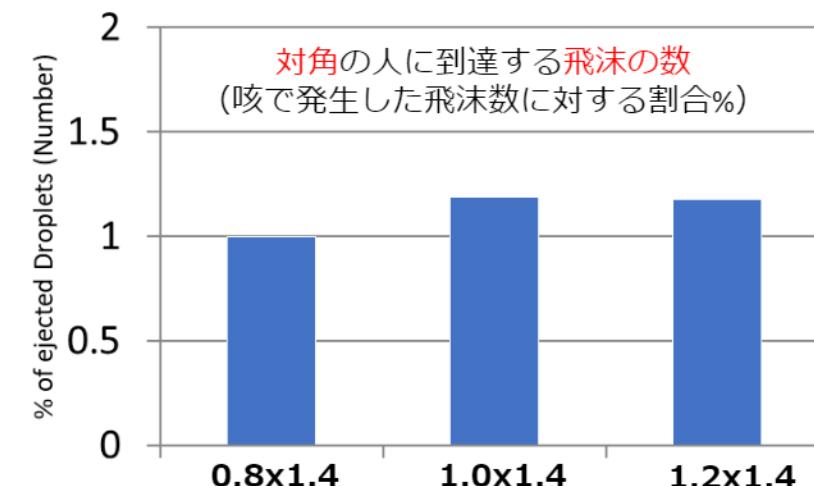
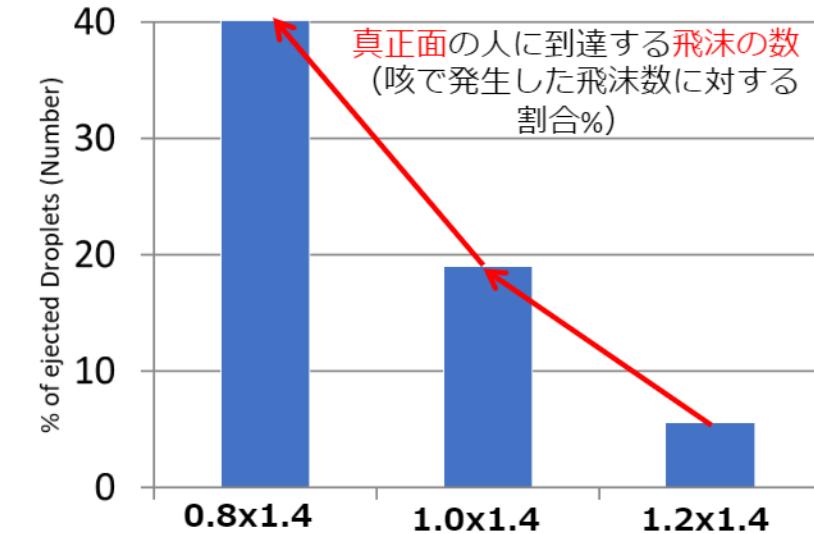
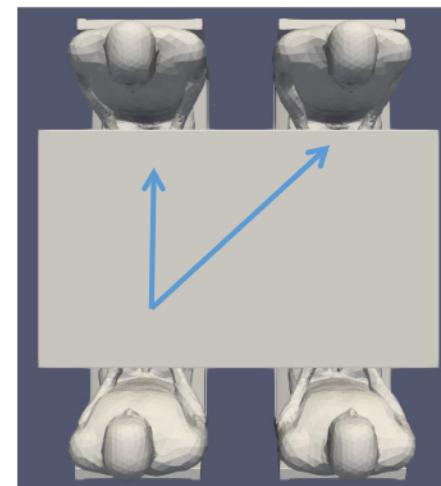
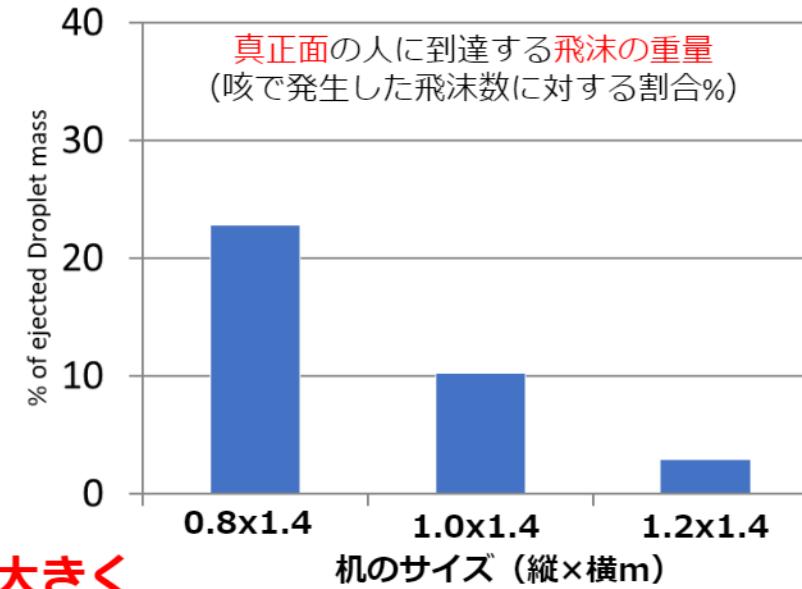


# 飛沫飛散における距離の影響

## 距離の影響について

- 真正面を向いた場合、隣にはほとんどかからない
- 特に距離が**1m**を切った所から、到達する飛沫の数が急速に増える。

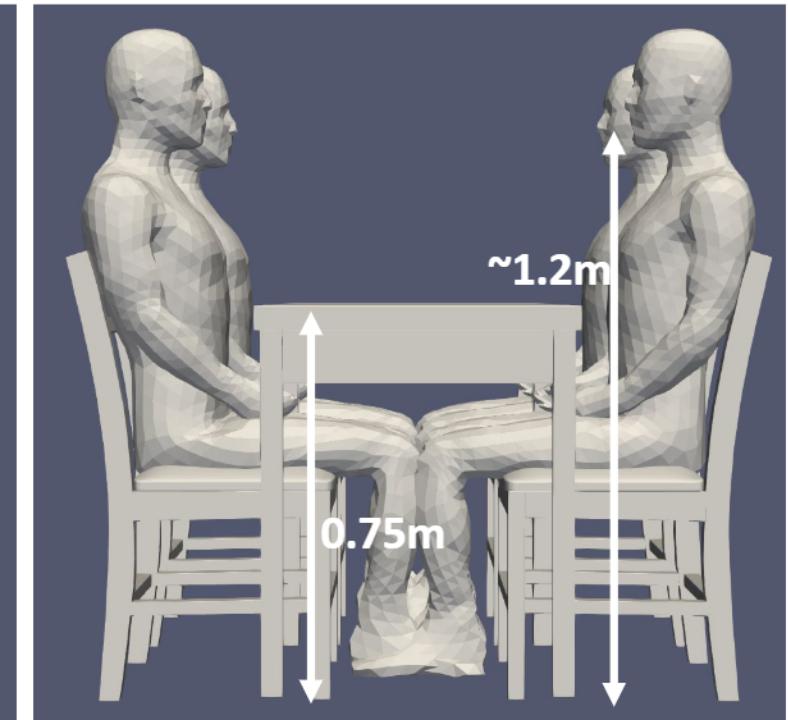
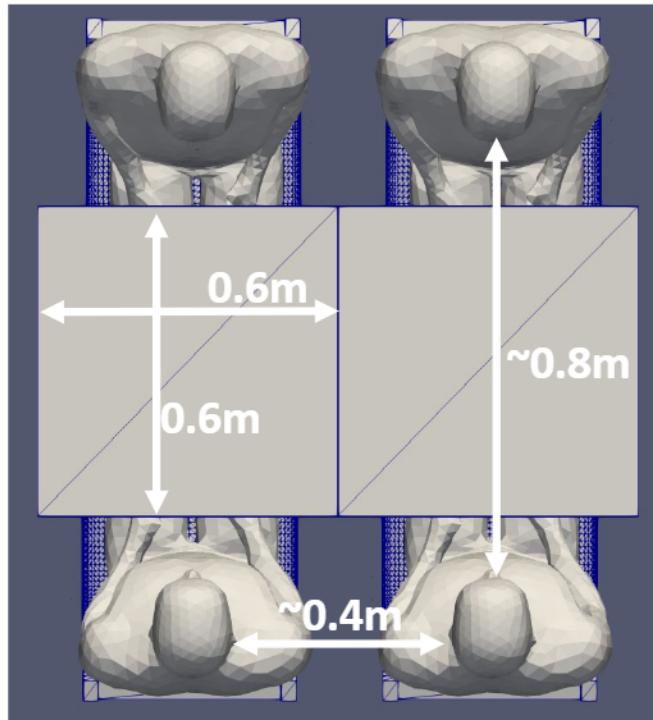
- 飛沫の到達数は距離によって大きく変化する。**
- 真正面に感染者がいて咳をした場合、1.2m離れていれば到達する飛沫は咳をした場合に発声する総飛沫数に対して5%程度であるが、1mになれば20%，0.8mでは40%に達する。**



# 飲食店における飛沫感染リスク評価

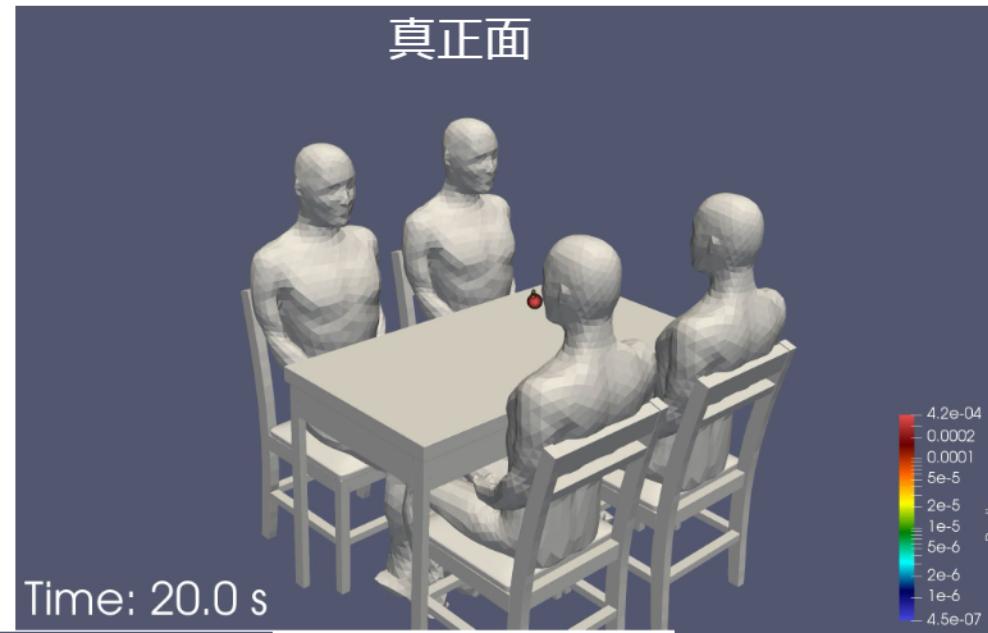
人と人が密になる飲食店における感染リスクと、活動再開に向けて有効な対策とは？

- ・ 飲食店では人ととの距離が1m以下になるケースが多く、感染リスクが高まる。
- ・ 1分程度会話をした場合で検証（英語でone, two, three, …, tenまでを5.5秒で発話し、それを繰り返す）
- ・ 感染者が一名いた場合、座る場所によって到達する飛沫の個数がどの程度変わるかを評価

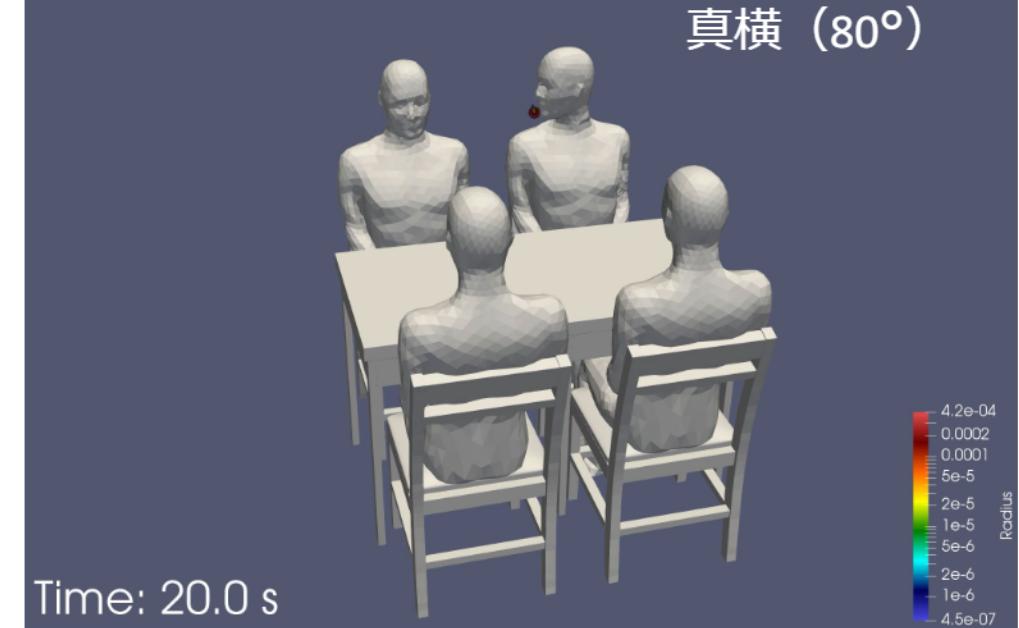
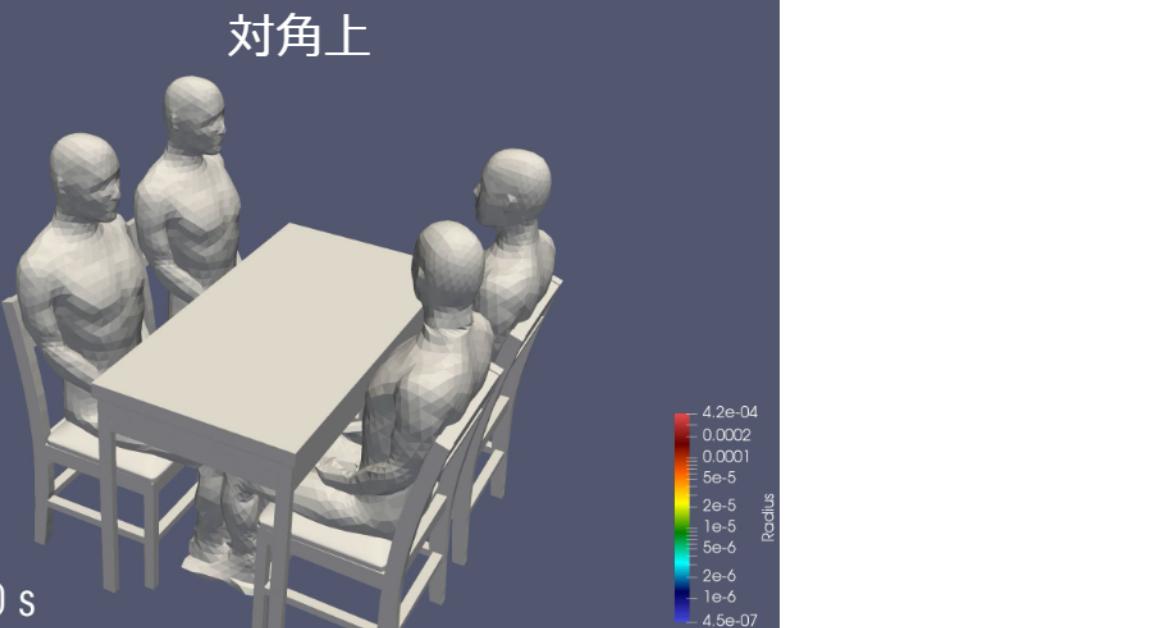


# 飲食店における飛沫感染リスク評価

座る位置としゃべる方向の影響  
について



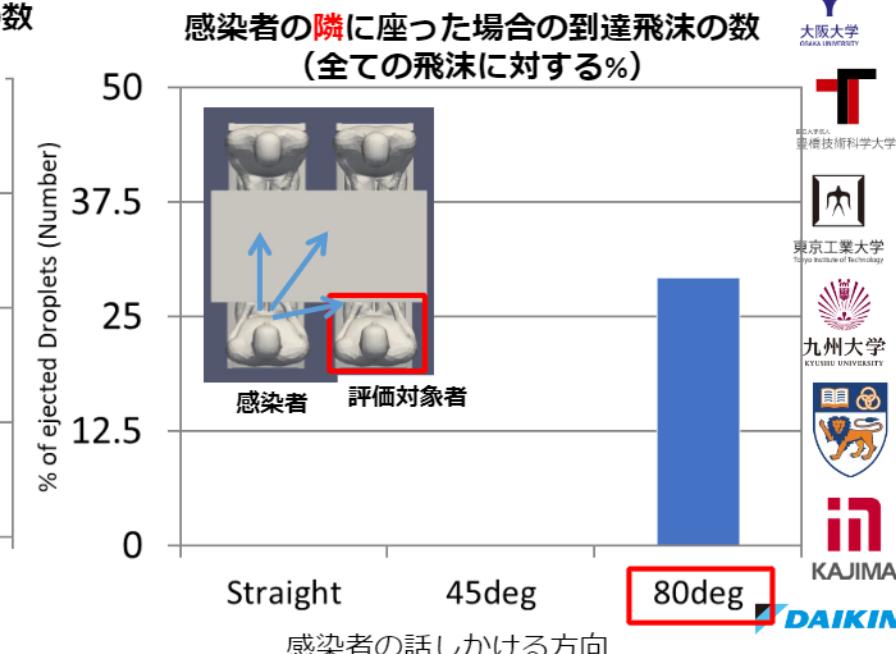
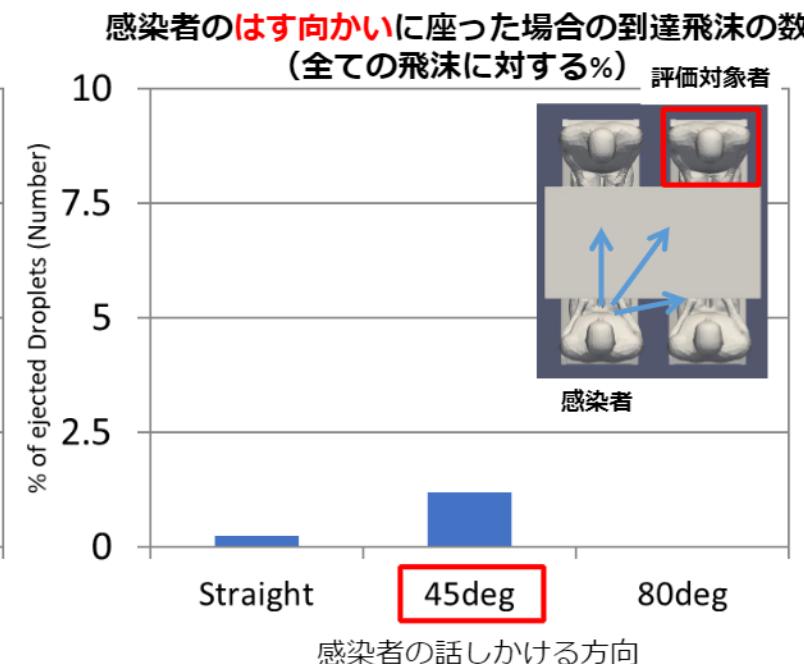
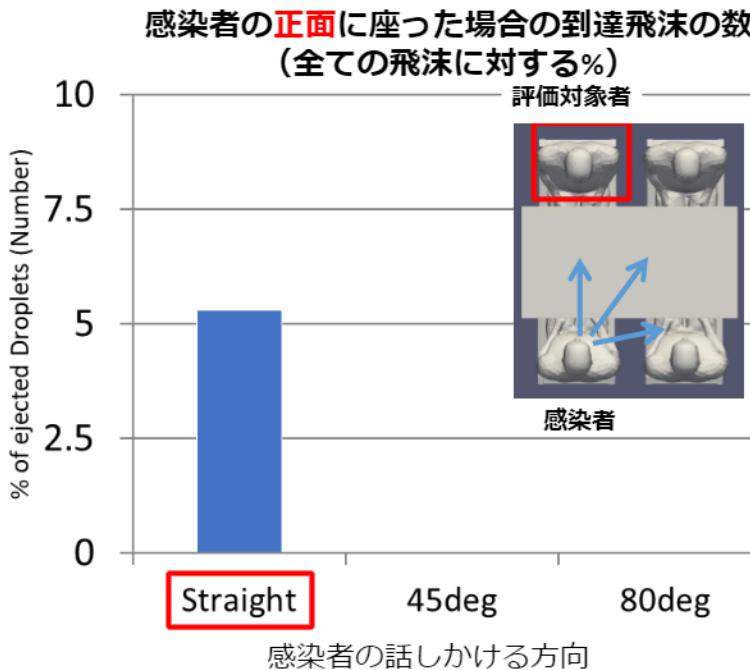
提供：理研・豊橋技科大・神戸大、協力：京工織大・  
サントリー・凸版印刷



# 飲食店における飛沫感染リスク評価

## 座る位置としゃべる方向の影響について

- 図の左下に感染者がいた場合を想定。感染者が前、はす向かい、隣の人にしゃべりかけた場合のそれぞれの在席者への飛沫到達数をカウント。

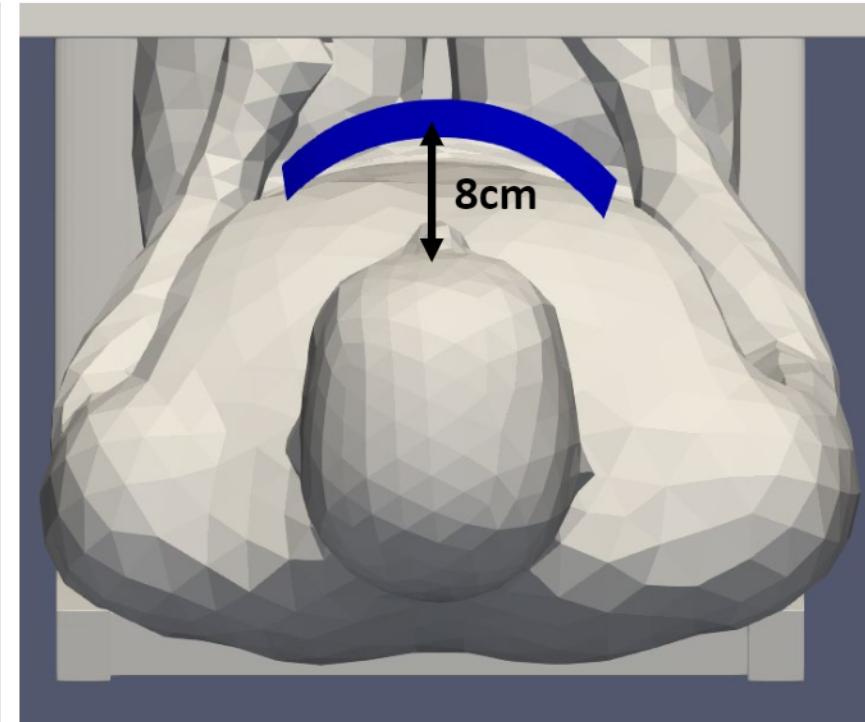
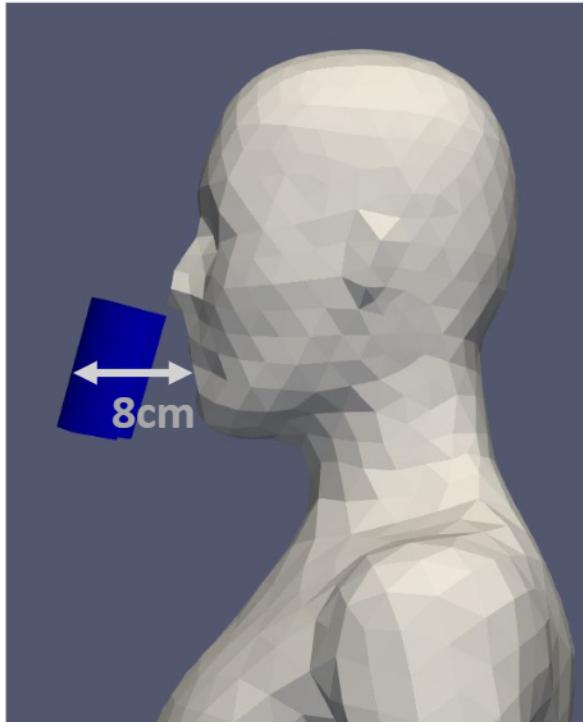
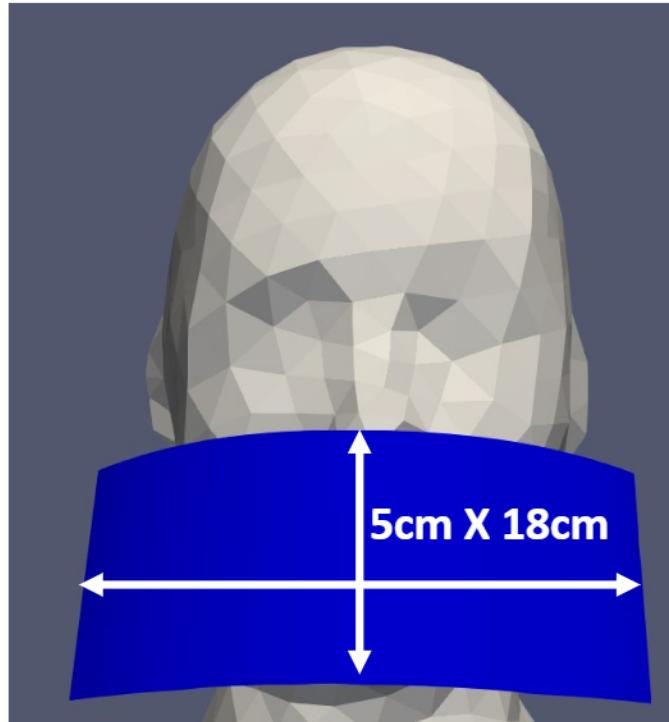


- 飛沫は比較的直進性が強く、話しかけた人以外にはほとんど到達しない。
- 感染者が在席者に均等に話しかけた場合、隣から被感染リスクが最も高い（真正面からの5倍の飛沫到達数）。
- 次が真正面からの感染。はす向かいからの飛沫到達数は、真正面からと比較すると四分の一程度。

# 飲食店におけるマウスガードの効果

マスクを装着しない飲食時の感染リスク低減策として、マウスガードを活用できなか?

- ・マスクをすることができないということが前提
- ・一般的な形状としてフェースガードからの類推としたマウスガードを検討する。

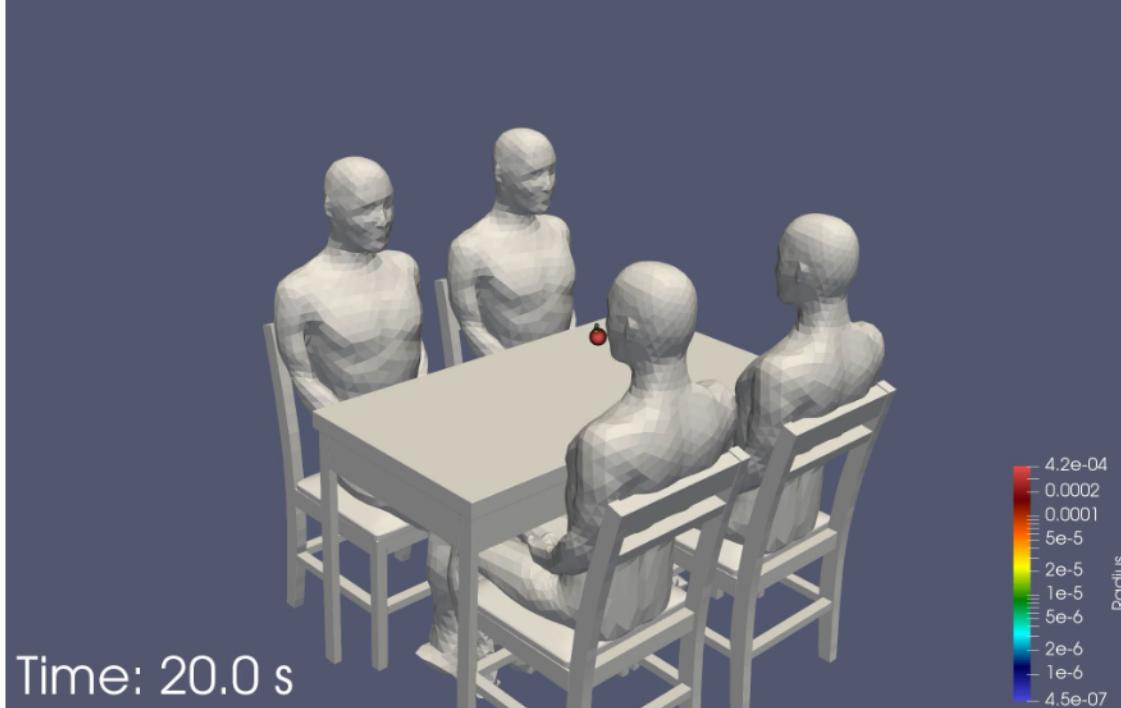


# 飲食店におけるマウスガードの効果

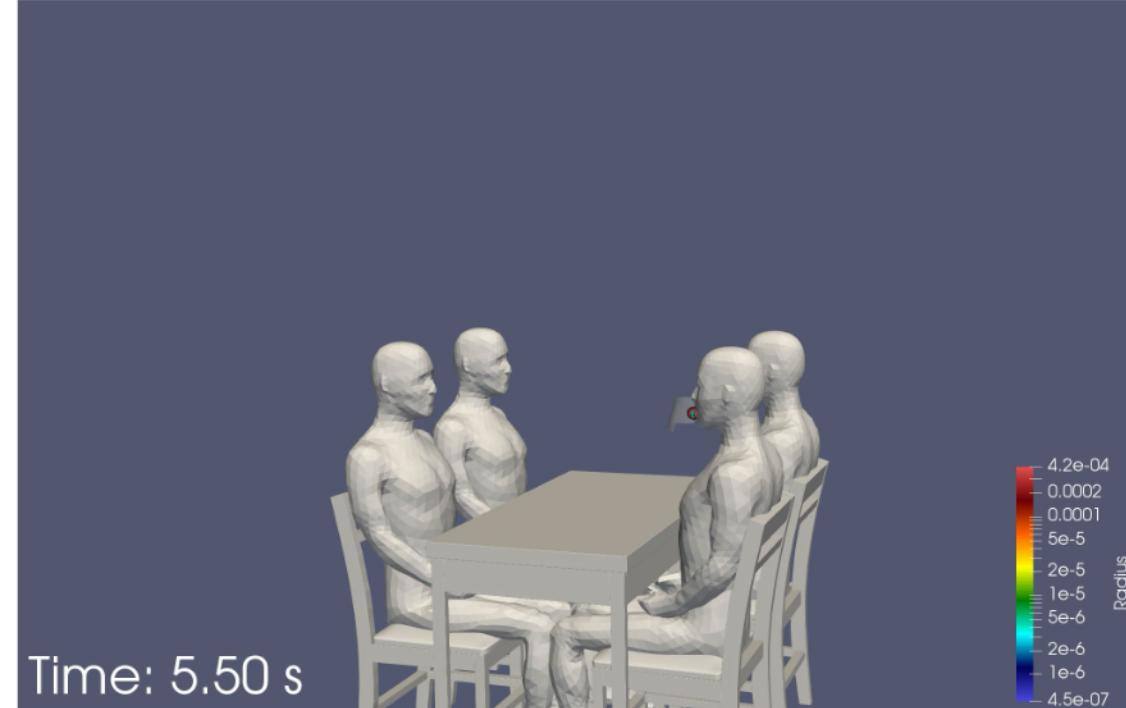
## マウスガードの影響について

- 1分程度会話をした場合で検証

マウスガード非着用時



マウスガード着用時

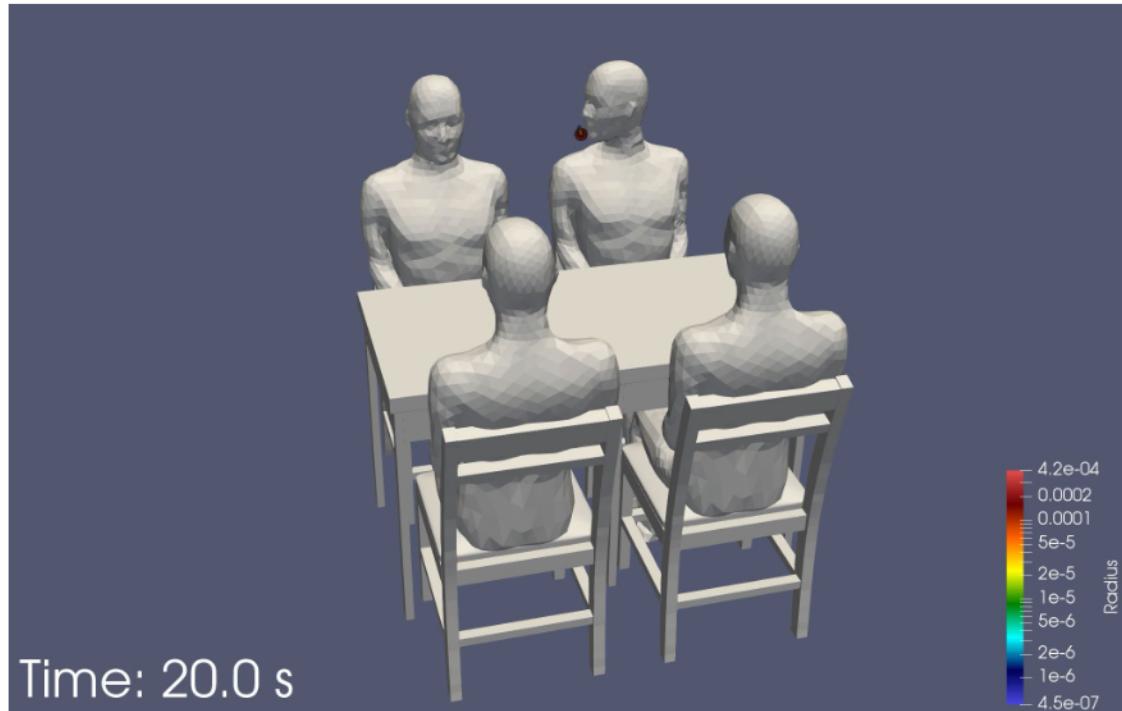


# 飲食店におけるマウスガードの効果

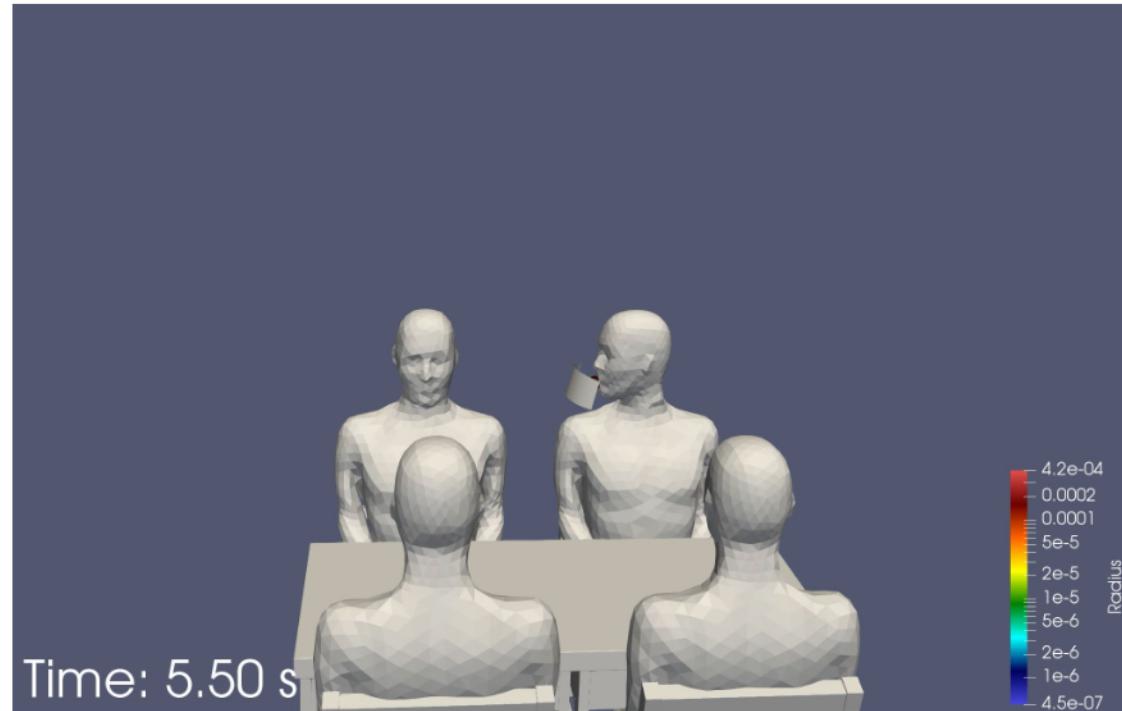
## マウスガードの影響について

- 1分程度会話をした場合で検証

マウスガード非着用時



マウスガード着用時



- 数十ミクロンの大きな飛沫をブロックする効果は期待できる。一方、数ミクロンのエアロゾルに対してはブロック効果はほとんどない。
- 漏れ出したエアロゾルは感染者の周囲を漂い、体温による上昇気流により上空に運ばれる。

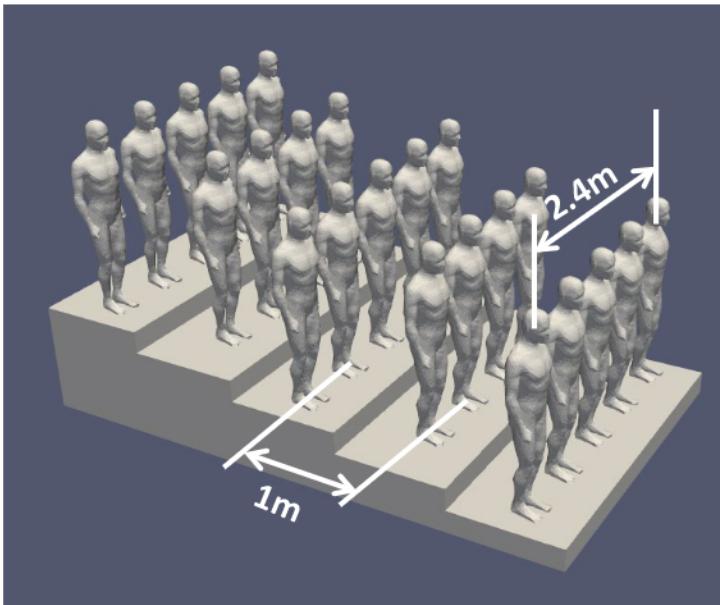
注意：この結果はマウスガードのみによる飲食時の安全性をうたうものではありません。発生したエアロゾルの濃度を下げるために、室内の場合は換気との併用は必須です。また、接触感染等に対する感染リスク低減も行う必要があります。

# コーラス時の感染リスク評価とリスク低減策の効果（合唱）

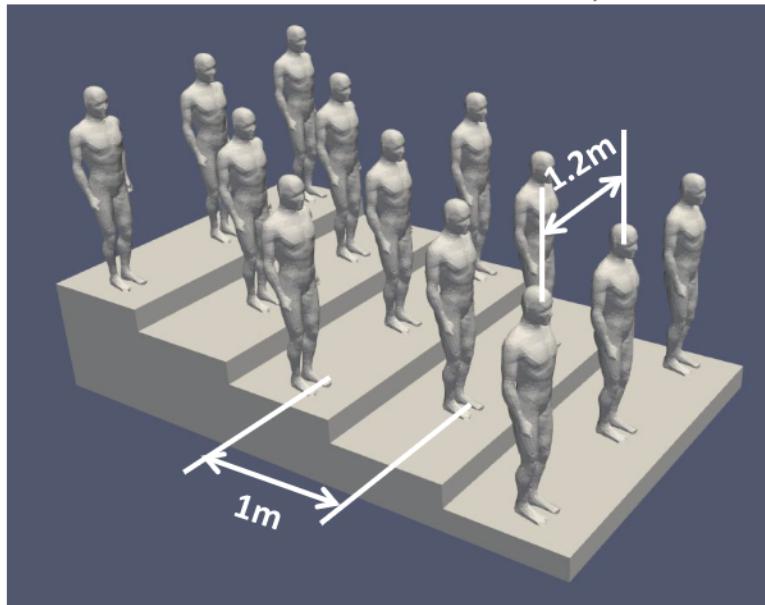
会話に対してより飛沫が飛ぶと予想される歌唱時に、どのような対策が効果的だろうか？

- ・コーラス時に全ての人が歌っている状態で（歌や体温によって人の周りに），感染者が一名いるシーンを想定する。
- ・コンサートホール等、機械式換気設備が行き届いている場を想定。
- ・人ととの距離を取ることや、全ての人がマウスガードをすることで、どの程度のリスク低減が期待できるか？

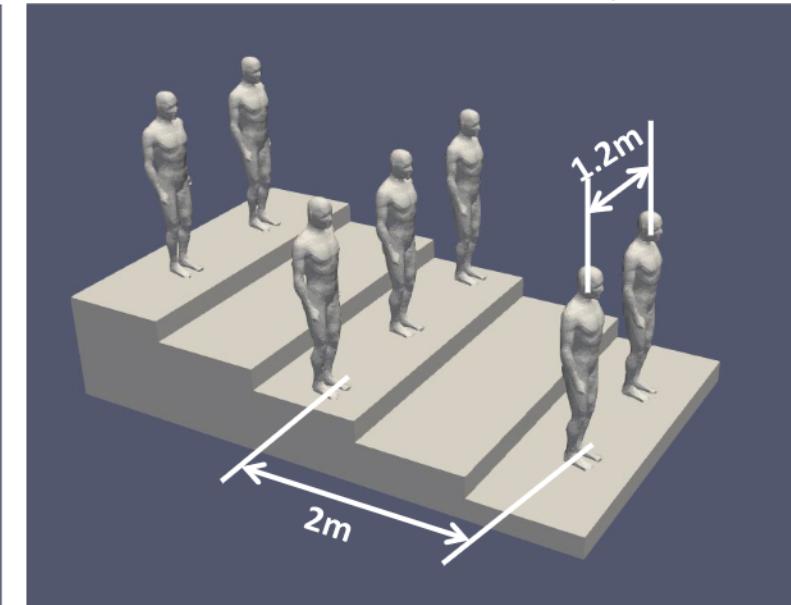
通常の演奏形態



距離をとった場合（通常の1/2）



距離をとった場合（通常の1/8）

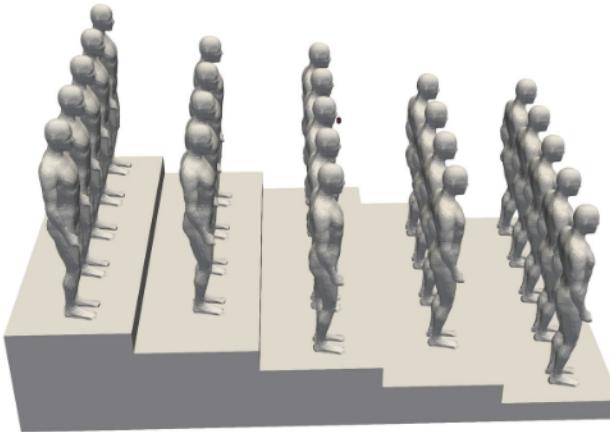


# コーラス時の感染リスク評価とリスク低減策の効果（合唱）

## 距離を取ることの効果

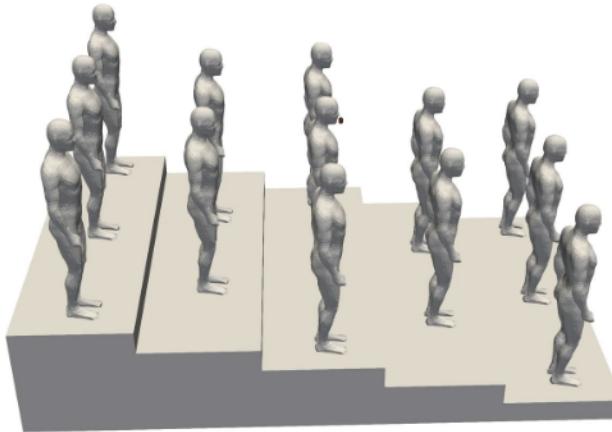
対策なし

Time: 0.000000



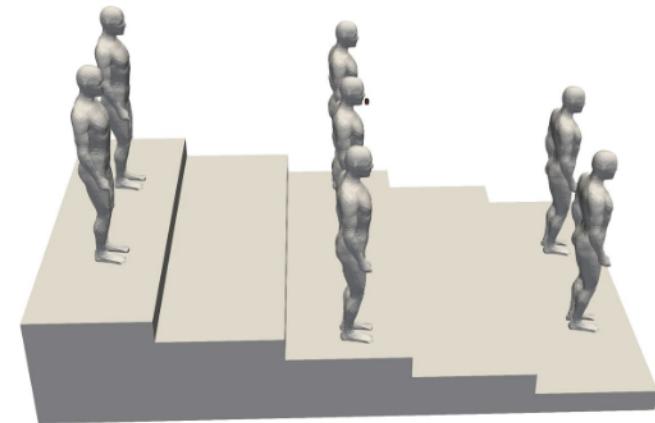
距離をとった場合（通常の1/2）

Time: 0.000000



距離をとった場合（通常の1/8）

Time: 0.000000



- 影響範囲は前方及び斜め前、歌唱時に作られる気流によって通常発話より遠くまで流される（感染リスクを上げる要因）。前列はかなりリスクが高い状態。

- 左右を空けて、千鳥状に配置することで、前列へのリスクは低減。

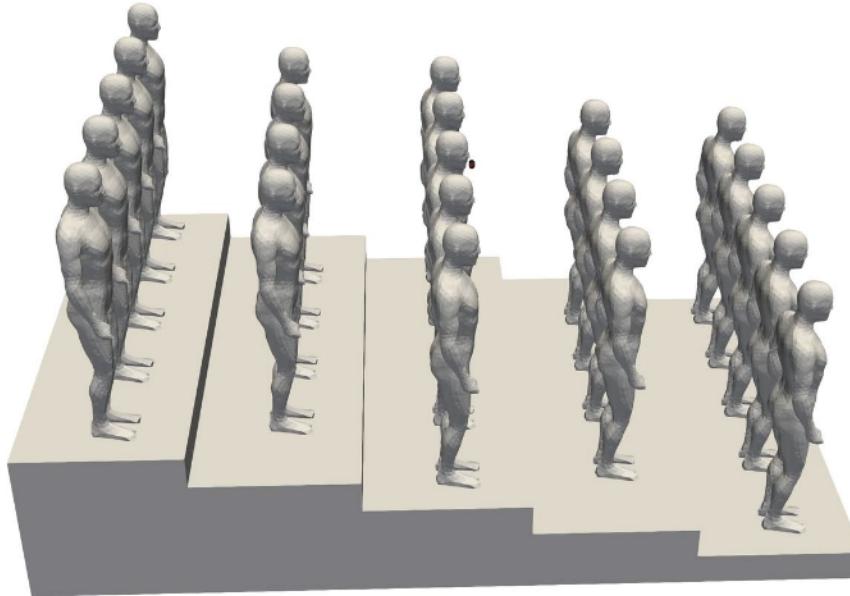
- 前後列および左右をあけることで、直接飛沫が人に飛散するリスクはより低減。
- 人が減ったことにより体温による上昇気流が弱まることで、エアロゾルの拡散の様子は多人数の場合と比較して大きく異なる。

- コーラス時は多くの人が同時に発声するので、前方への飛沫飛散が強まる。**
- 人を少なくすることは直接飛沫を受けるリスクを低下させる。**
- 人の数によって飛沫・エアロゾルの飛散の様子が変化する。**

## マウスガードの効果について

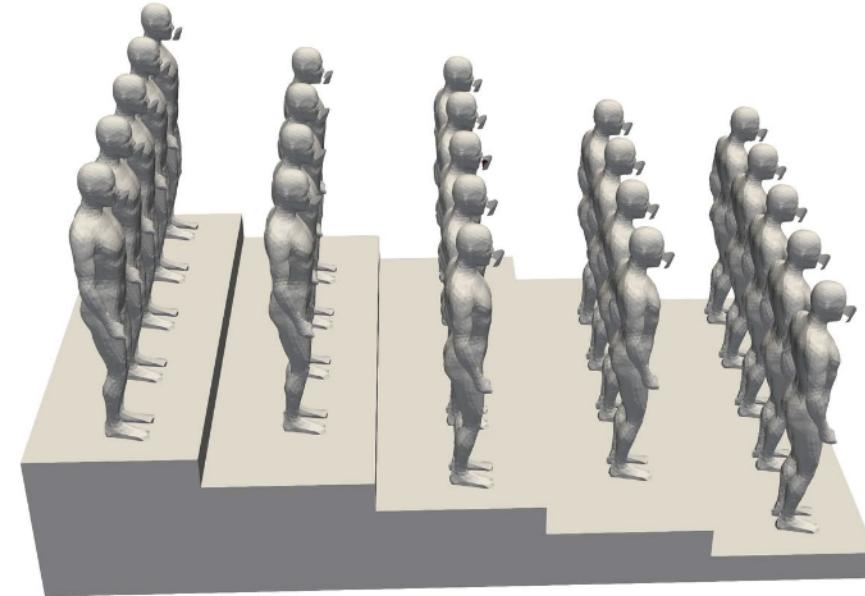
対策なし

Time: 0.000000



Time: 0.000000

全員マウスガード装着



- 影響範囲は前方及び斜め前、歌唱時に作られる気流によって通常発話より遠くまで流される（感染リスクを上げる要因）。
- また、体温による上昇気流に乗ってエアロゾルは上方に運ばれる（感染リスクを下げる要因）。
- 全員がマウスガードを装着することで前方への流れを抑制すると共に体温が作る上昇気流によりエアロゾルが拡散される（リスク低減効果）。**

注意：マウスガードがコーラス時の安全性を保障するわけではありません。可能な限りマスクの装着や距離を取ることとの併用、さらに漏れ出したエアロゾルへの対策の他、実施にあたっては各種ガイドラインを参照すること。

提供：神戸大・理研、協力：豊橋技科大・京工織大

# 勉強会配布資料はここまで