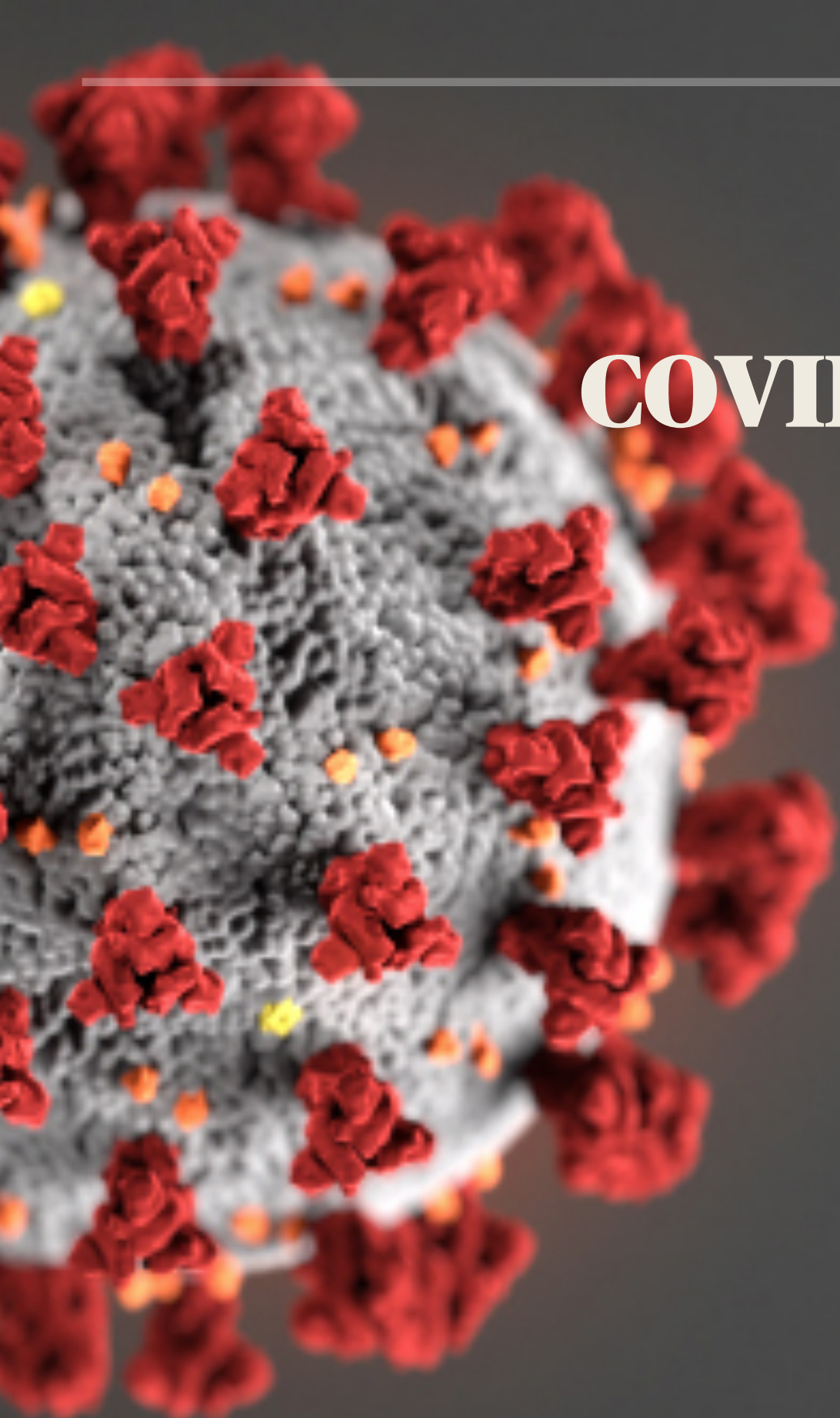




COVID-19を含む飛沫核による 感染予防のための換気

大阪大学大学院工学研究科
地球総合工学専攻
建築工学部門
山 中 俊 夫

咳・くしゃみによる感染リスク

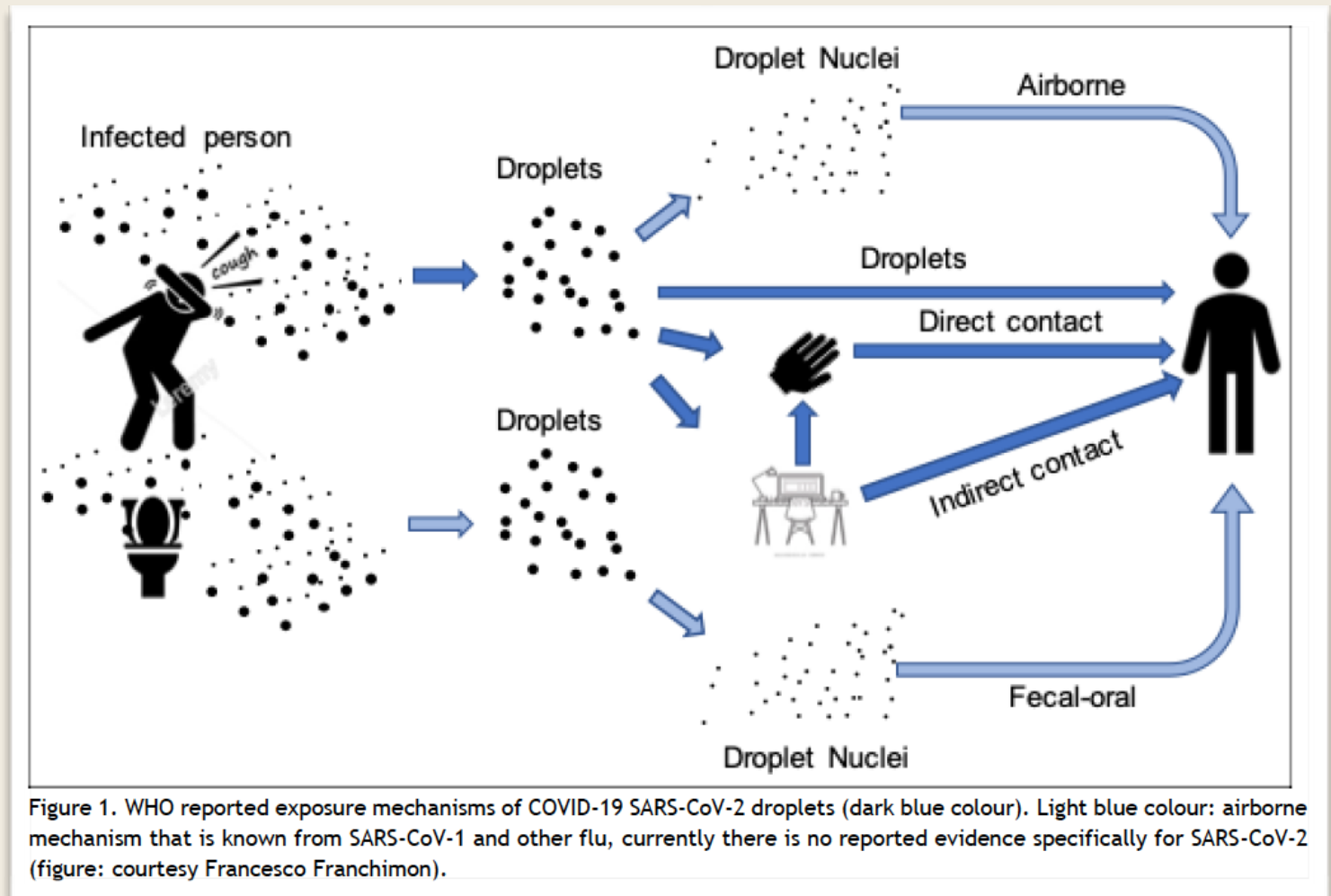
- 咳やくしゃみによる飛沫

- ① 飛沫 (mist)

- 直接被爆
 - 間接暴露

- ② 飛沫核 (dust)

- 空気経由の経口暴露



from REHVA HP

飛沫核の発生による感染リスクを定量的に評価する方法はないか？

換気量か、換気回数か？

- 咳 1 回当たりのウイルス暴露量
- 咳による初期拡散濃度

$$C_{r0} = \frac{q}{V}$$

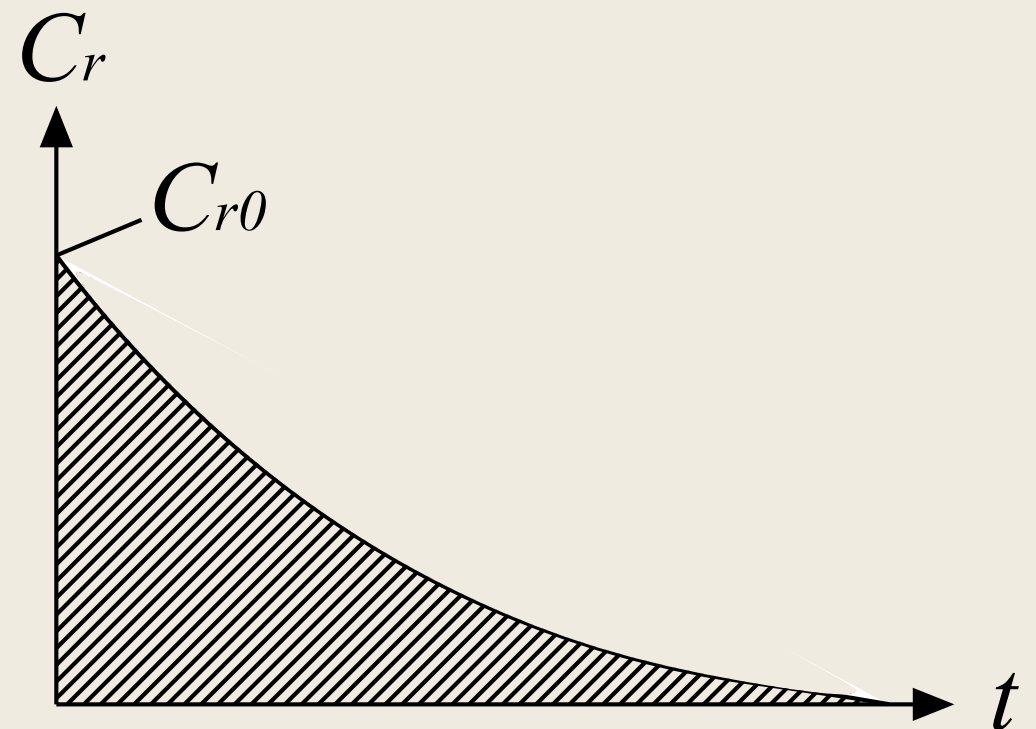
q : 咳 1 回当たりのウイルス発生量 [-]

V : 室容積 [m^3]

- 完全混合の場合の暴露濃度は . . .

$$D = \int_0^{\infty} C_r dt = \int_0^{\infty} C_{r0} e^{-nt} dt = \int_0^{\infty} \frac{q}{V} e^{-\frac{Q}{V}t} dt = \boxed{\frac{q}{Q}}$$

ウイルス暴露量は換気量で決まると言えそうだが...



暴露量は換気量と反比例！



ウイルスには寿命がある！

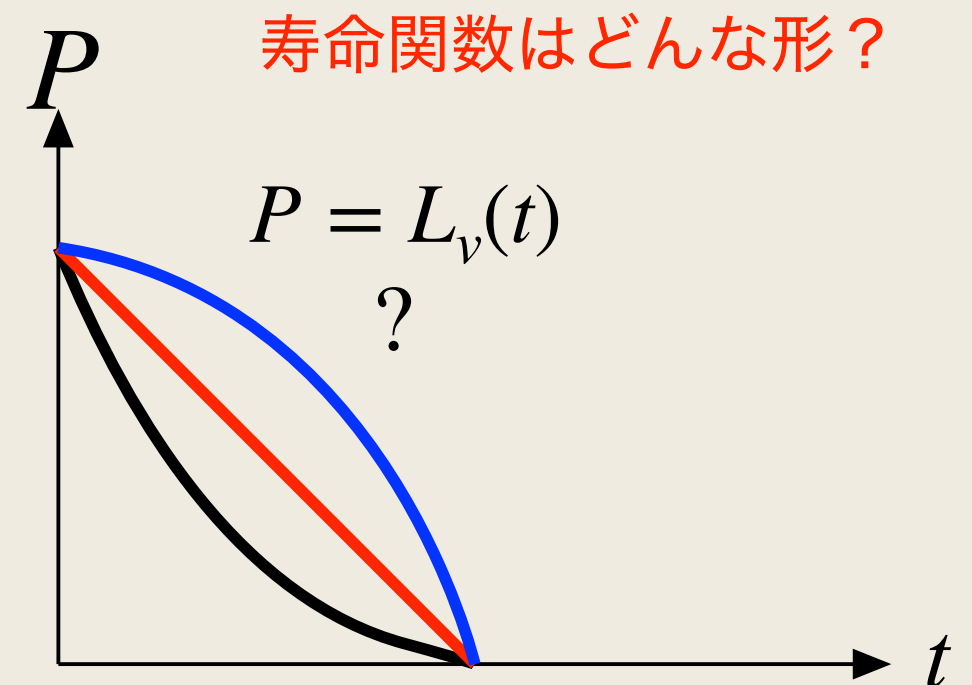
- ウイルスの寿命関数 L_v を導入
- 気流によるパルス応答関数 $R_p(t)$ と寿命関数 $L_v(t)$ の積の積分が暴露量となる

$$\int_0^{\infty} R_p(t)L_v(t)dt$$

- 例えば、寿命関数を直線と仮定すると

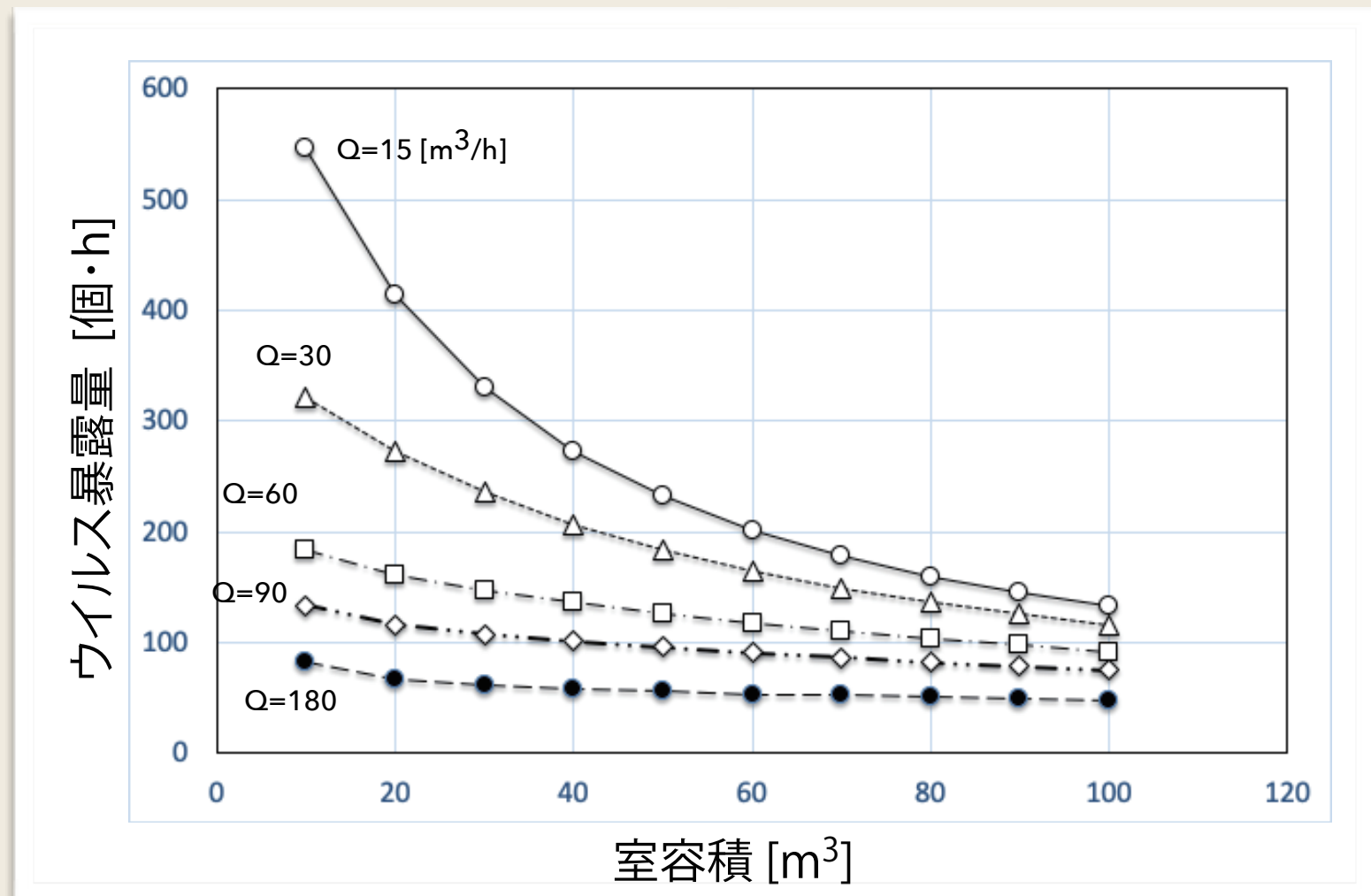
$$R_p(t)L_v(t) = \frac{q}{V} \left(1 - \frac{t}{L} \right) e^{-\frac{q}{V}t}$$

具体的な数値で検討してみると・・・



換気量が一定で室容積が異なる場合

- 試算条件
 - 換気量： 15 – 180m³/h
 - 室容積： 10 – 100m³
 - ウイルスの寿命： 3h
 - 積分時間： 3h
 - ウイルス発生数：1000 個
 - 寿命関数：直線（3hで0）



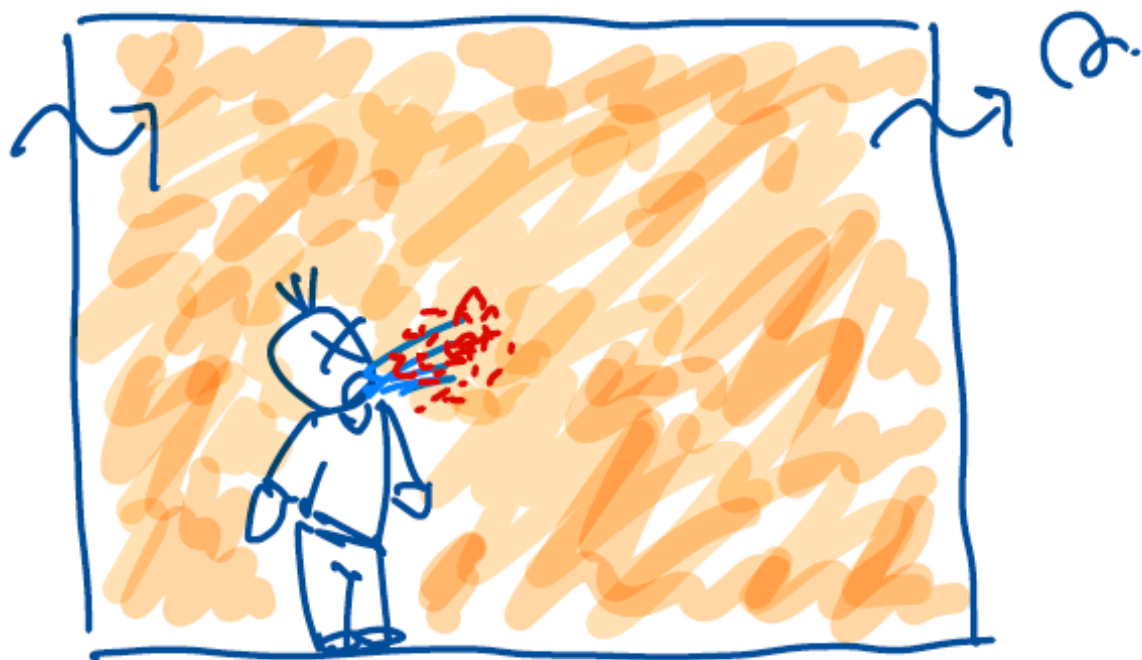
室容積と生きウイルス暴露量との関係

ウイルス暴露量は室容積が大きいほど少ない！

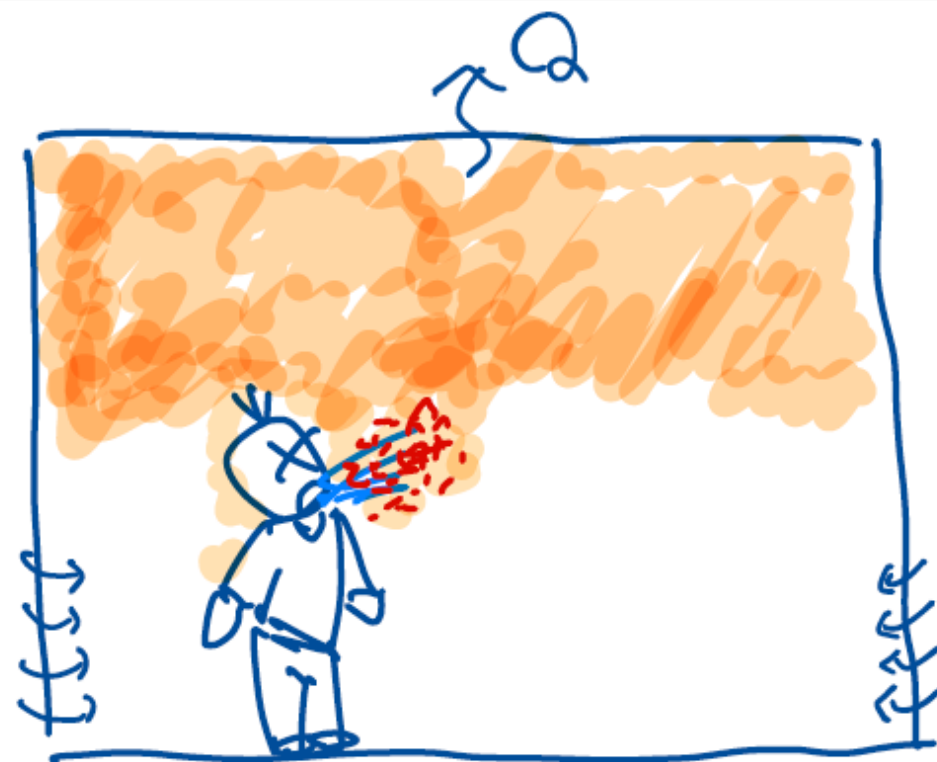


換気量とともに、部屋は大きいほどよい！

高い換気効率の部屋はより安全！？



混合換気



置換換気

換気以外に人側の工夫は大切！



飛沫を飛ばさない



フェイスシートも万能ではない？



風上で咳をしない

置換換気室ならこんな対策？

- 置換換気
- 人の上昇気流に飛沫核を乗せることが重要！
- いろんな対策ができる



上部開放型フェイスシート



マスクは必須



漏れるなら上方に

置換換気病室での飛沫核暴露実験

Toshio Yamanaka, Toshinari Taketani, Taisei Ihama : “BEHAVIOR OF DROPLETS AND DROPLET NUCLEI FROM COUGHING SIMULATOR IN SICKROOM WITH DISPLACEMENT VENTILATION”, ROOM VENT2021

実験室模式図

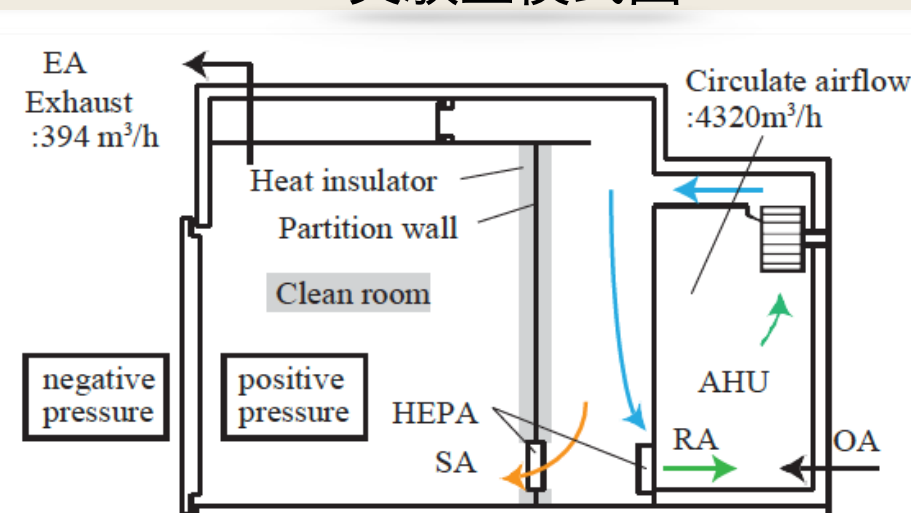


Figure 1. Outline of experimental chamber

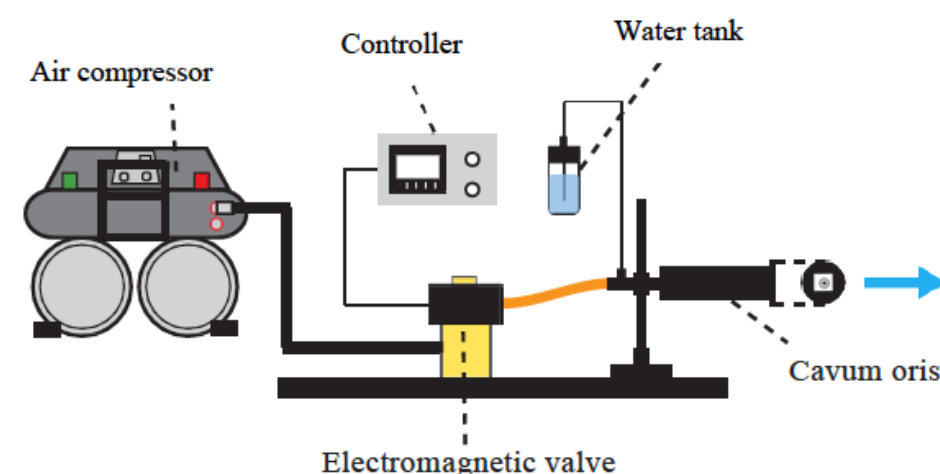


Figure 2. Outline of experimental chamber

- 対象室：4床病室
- 換気方式：置換換気（片側）
- 発生源：咳マシンによるNaCl飛沫核
（咳回数:3回, 3秒間隔）
- 給気：HEPAフィルターにより浄化
500,000 [particles/m₃] (diameter ≥ 0.3μm)
- 測定：パーティクルカウンター
- 粒径：0.3-3.0 μm
- 給気量：394 m³/h

咳マシン（by 田辺・尾方ら）概要

置換換氣病室概要

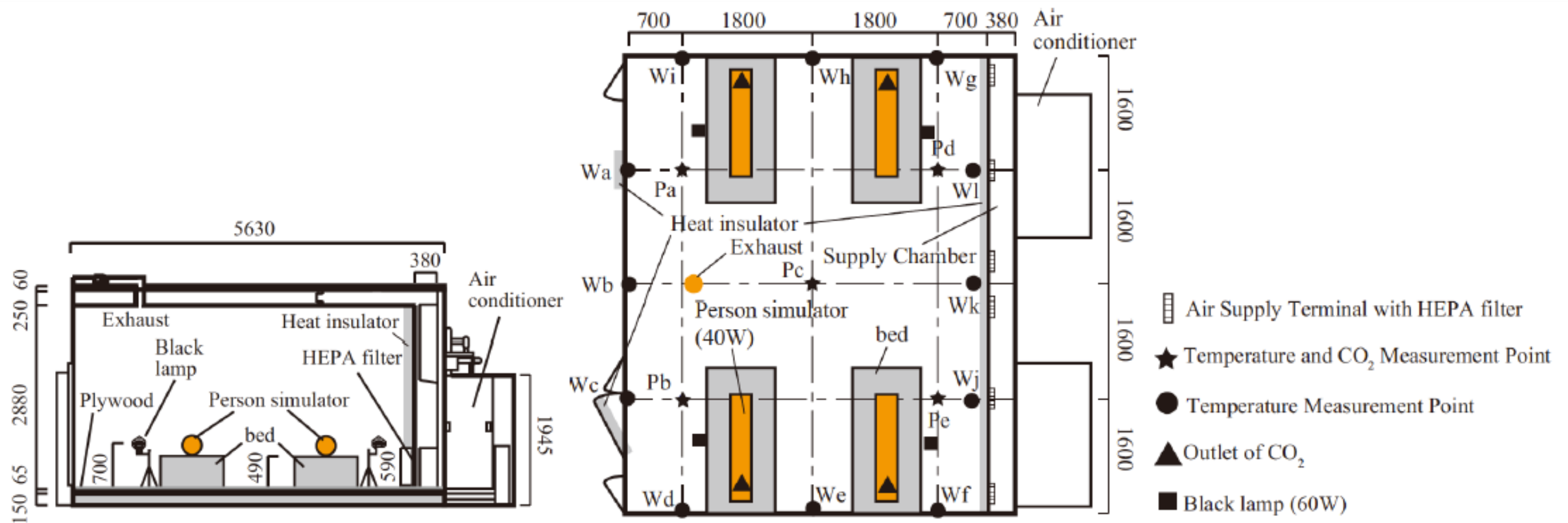
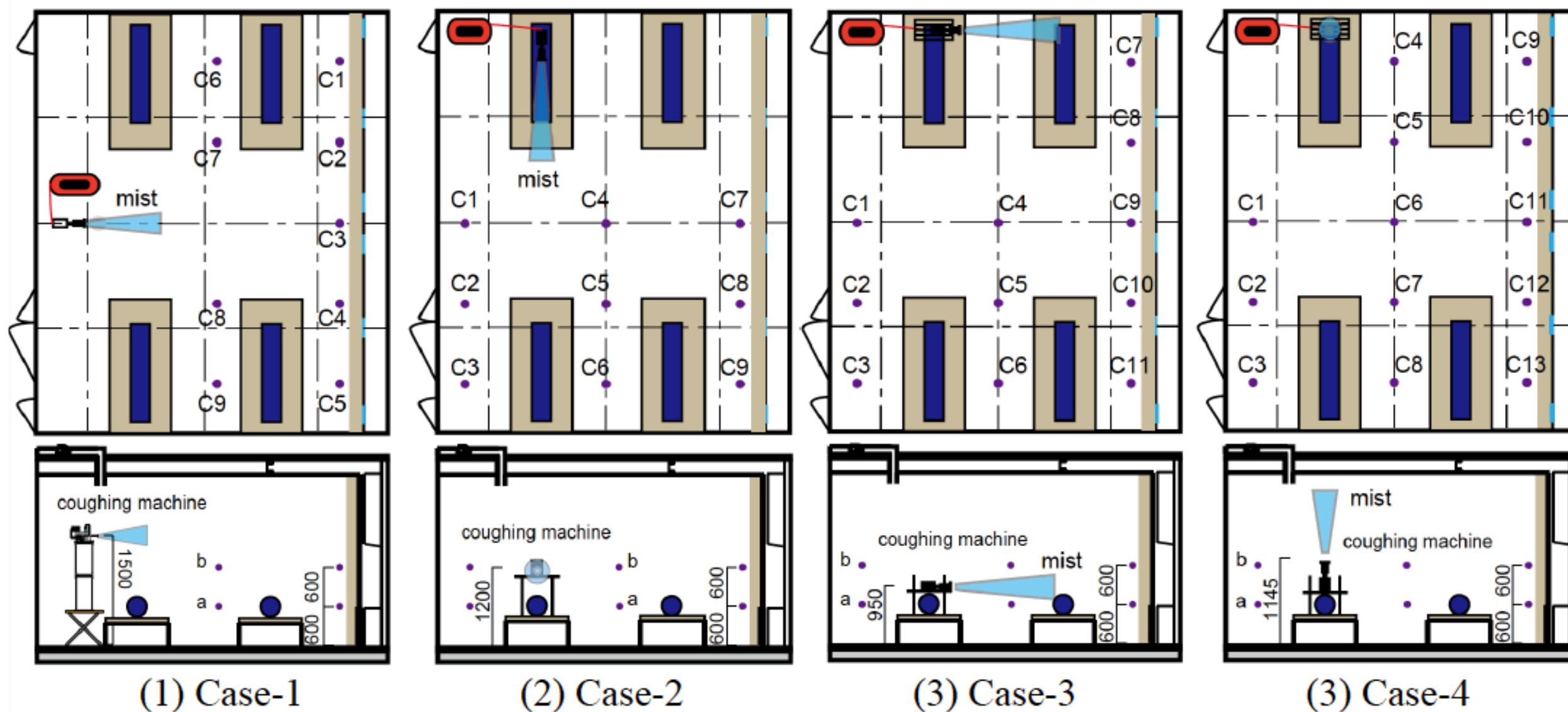


Figure 3. Section and plan of experimental chamber

咳マシンからの咳条件



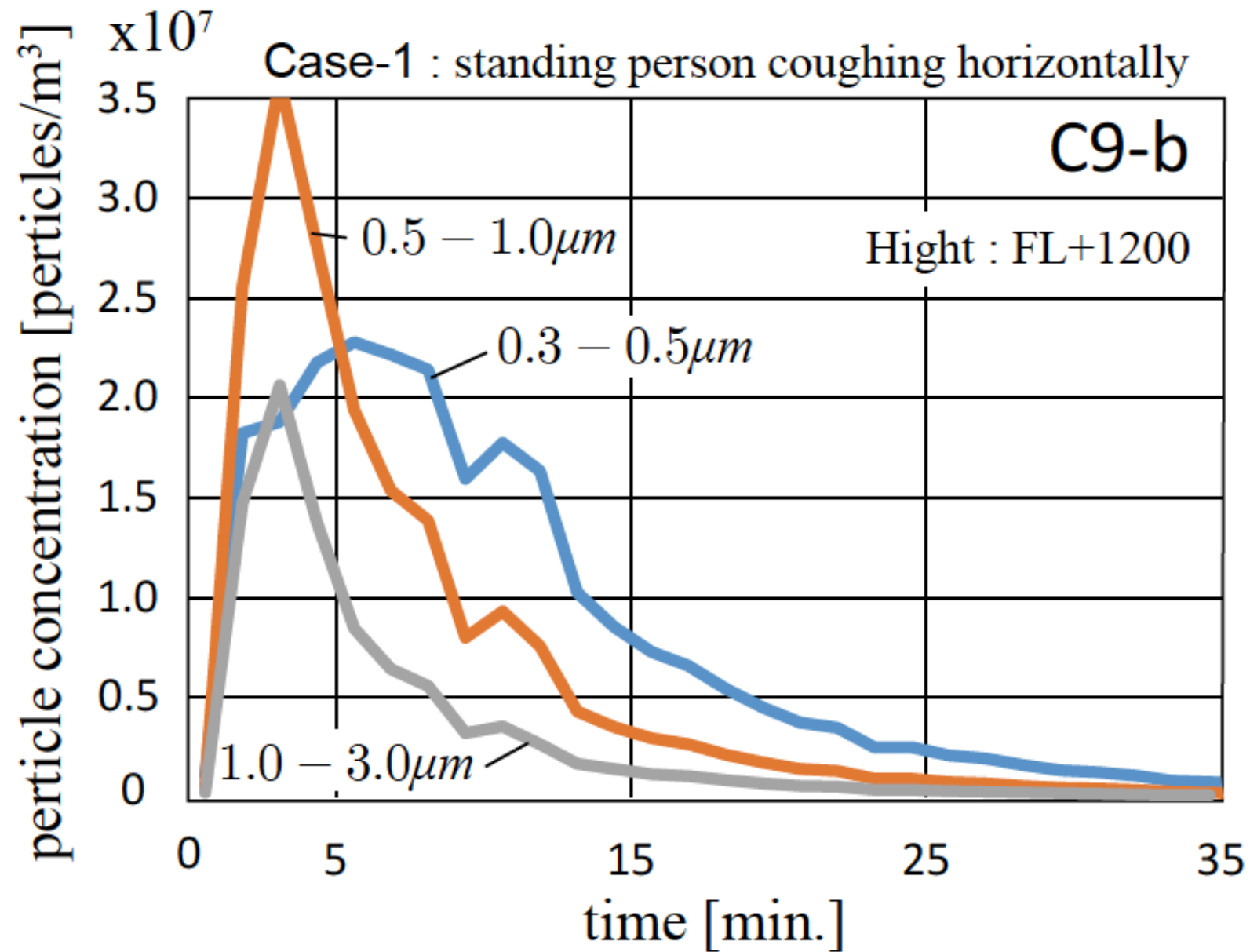
立位横向き

座位横向き

側臥位横向き

座位上向き

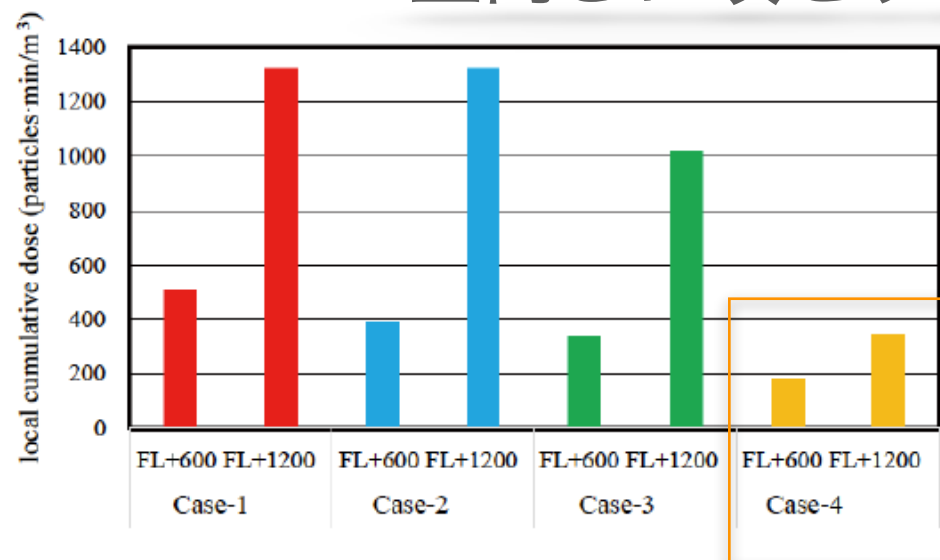
飛沫核濃度の時間応答例



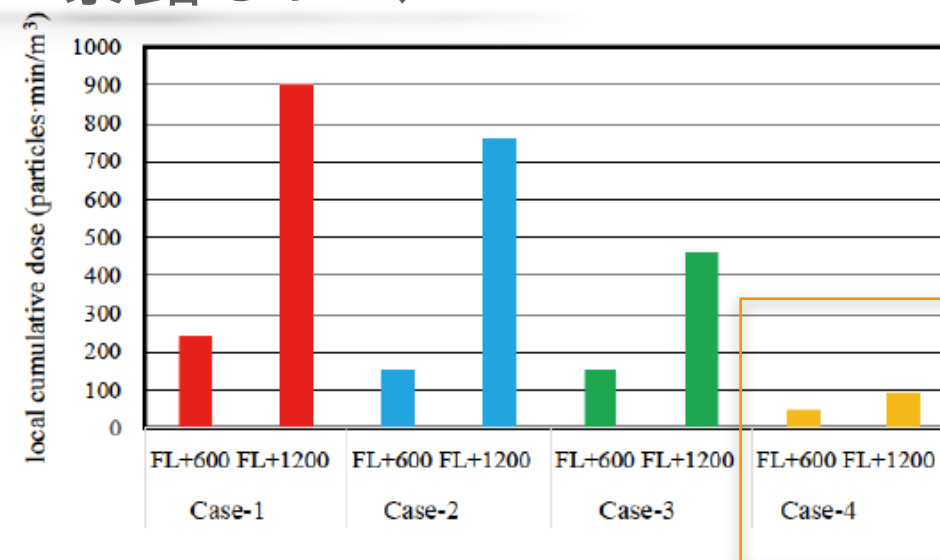
立位水平呼出条件（Case-1）での濃度変化

飛沫核暴露量LCDの咳条件比較

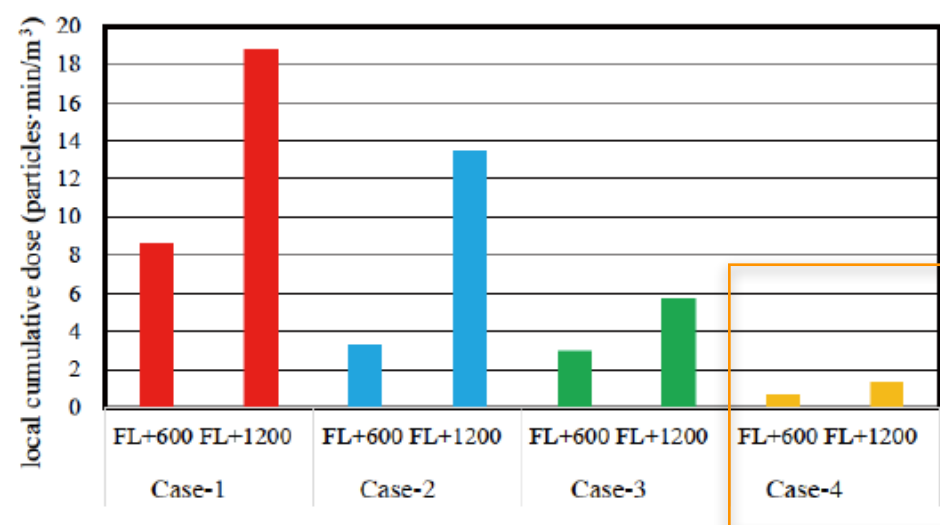
上向きに咳をすると暴露しにくい！



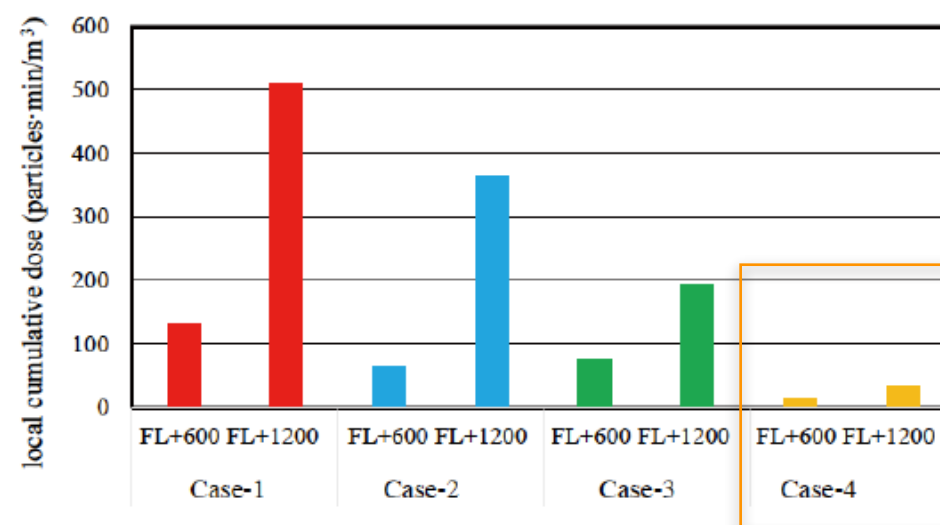
(1) 0.3-0.5μm



(2) 0.5-1.0μm



(3) 1.0-3.0μm



(4) 3.0-5.0μm

Figure 8. Comparison of LCD between the heights, the cases and the particle sizes.

飛沫核による感染防止の個人的展望

- 換気量と同様に室容積の確保が重要
- 換気回数は指標にしない方がよい。
- 人側の工夫は重要（マスクは前提）
- 高効率換気の利用は有望
- 置換換気はマスクと併用することで効果を発揮
- 室内気流ごとの応答関数 R_p の解明が重要
- 感染リスク評価のための基礎資料をいかに得るかが重要
 - ① COVID-19のウイルス発生量は？
 - ② COVID-19の寿命関数は？
 - ③ COVID-19の感染確率関数(dose-infection)は？
 - ④ 在室者の咳回数は？
 - ⑤ 在室者の感染者割合は？
 - ⑥ リスク評価の基準は？

建築環境工学者、医学者、衛生学者などの総力が必要！
