

パーティクルカウンターと蒸発モデルによる飛沫の初期粒径分布の推定

研究背景 Research background

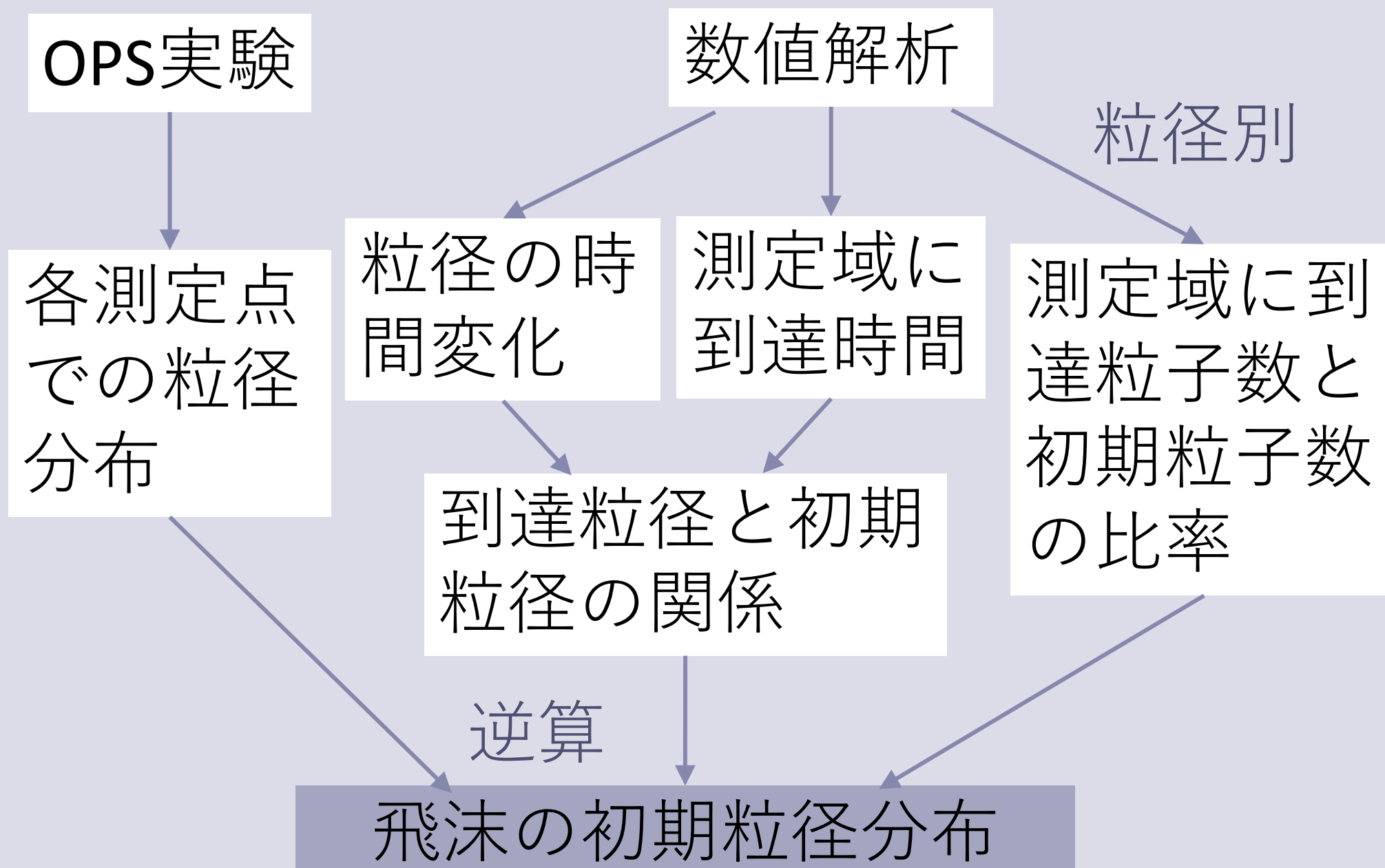
飛沫粒子の室内での挙動パターンを予測するために、口から出た瞬間の飛沫の粒径分布は重要な初期条件である

しかし、実験装置の制約で飛沫は口から一定の距離でしか測定できないが、この距離で飛沫の粒径分布はすでに蒸発と飛散で変化している可能性がある

研究目的 Objectives

本研究の目的は、は光学的なパーティクルカウンター（Optical Particle Sizer: OPS）で測定された各点の飛沫の粒径分布[1]及び飛沫の蒸発モデル[2]により、人が咳をする際に口から出た瞬間の飛沫の初期粒径分布を逆算することである

概念図 Conceptual diagram



各測定域に到達時間 = 各平面中心点に到達時間 + チューブ内の通過時間 (0.71 s)

実験の概要 Experiment Outline

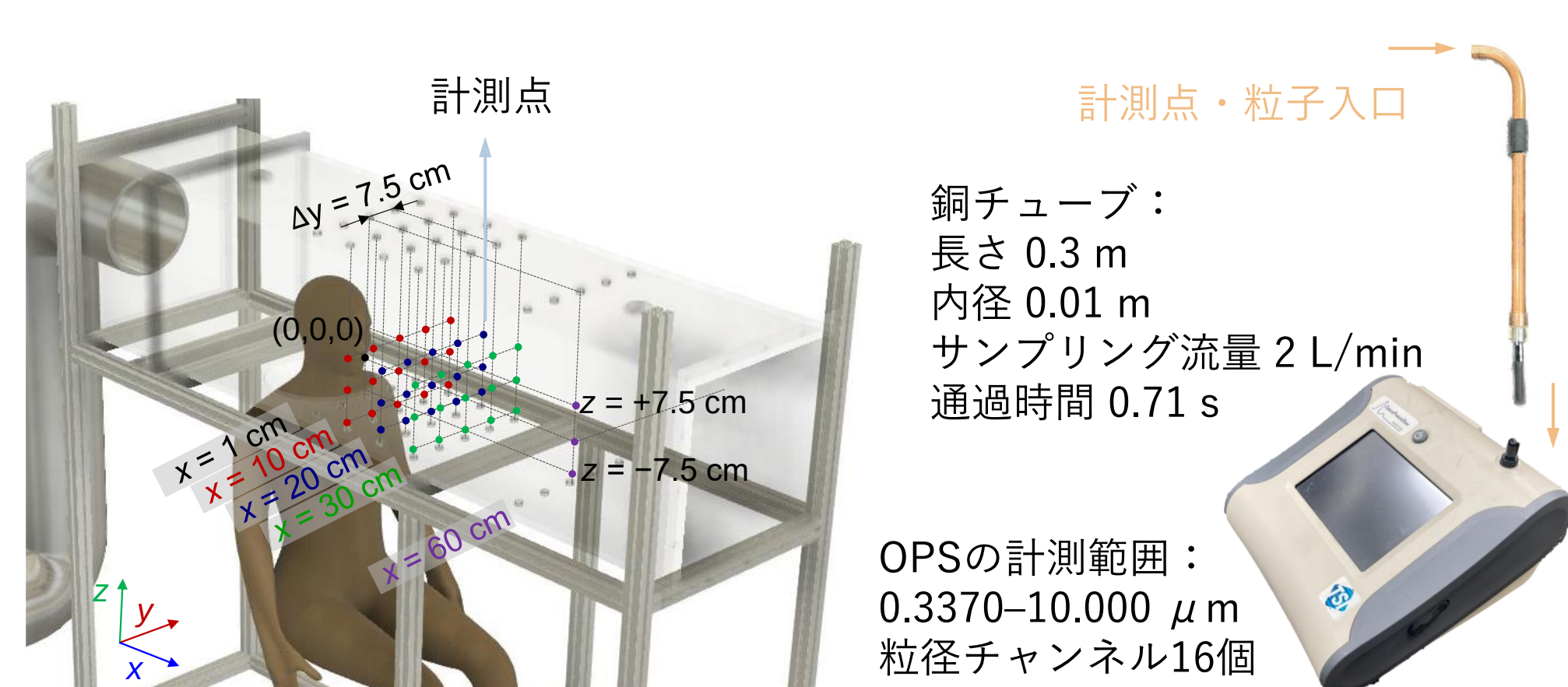


図 1 実験での測定装置

◆ 測定した粒子数濃度 N がチャンネルの幅の対数で正規化された

$$N = dN/d\log D_p$$

$$d\log D_p = \log(D_{\text{upper bound}}) - \log(D_{\text{lower bound}})$$

dN : 各チャンネルでの粒子数濃度 [#/ m^3];

D_p : 粒子の直径 [μm]; $d\log D_p$: チャンネルの幅の対数 [-]

Dupper bound・Dlower bound: チャンネルの上界・下界 [μm]

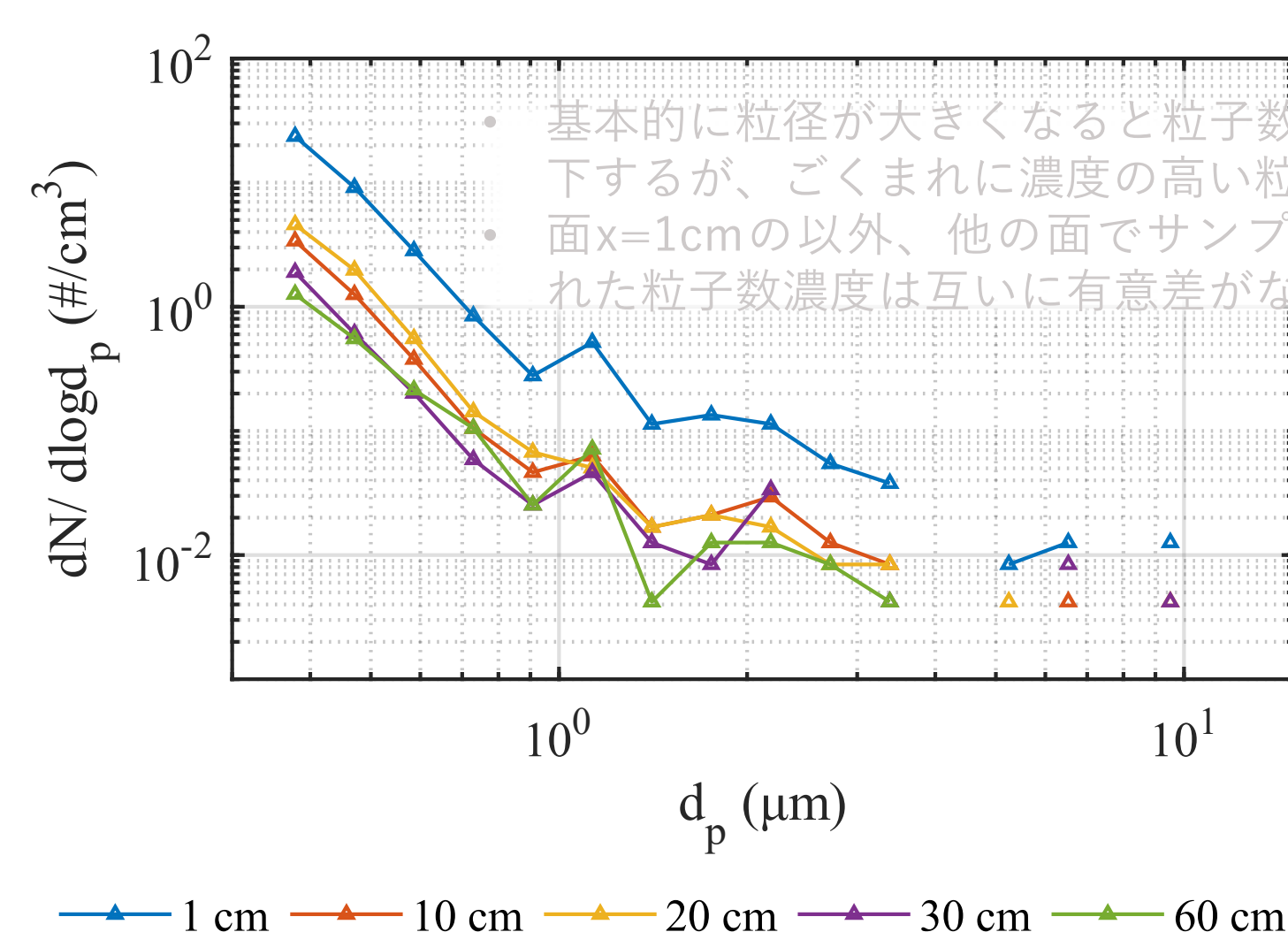


図 2 実験により各測定点で飛沫の粒径分布

数値解析の概要 Simulation Outline

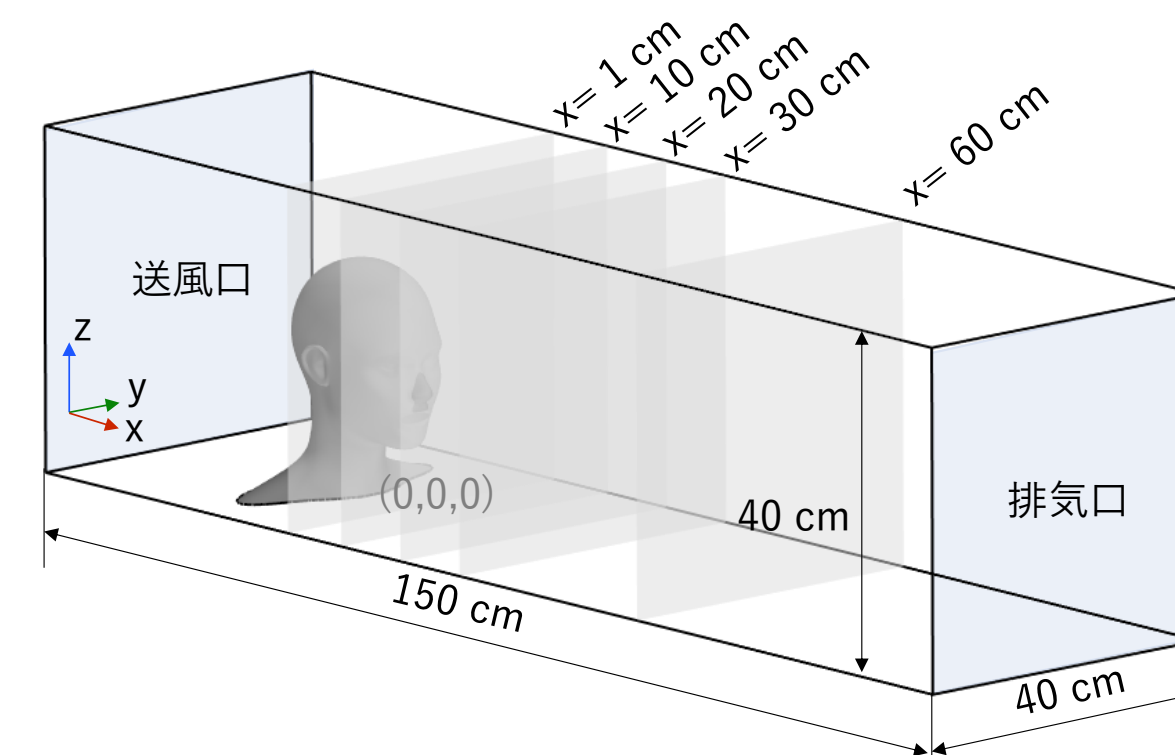


図 3 計算領域の形状

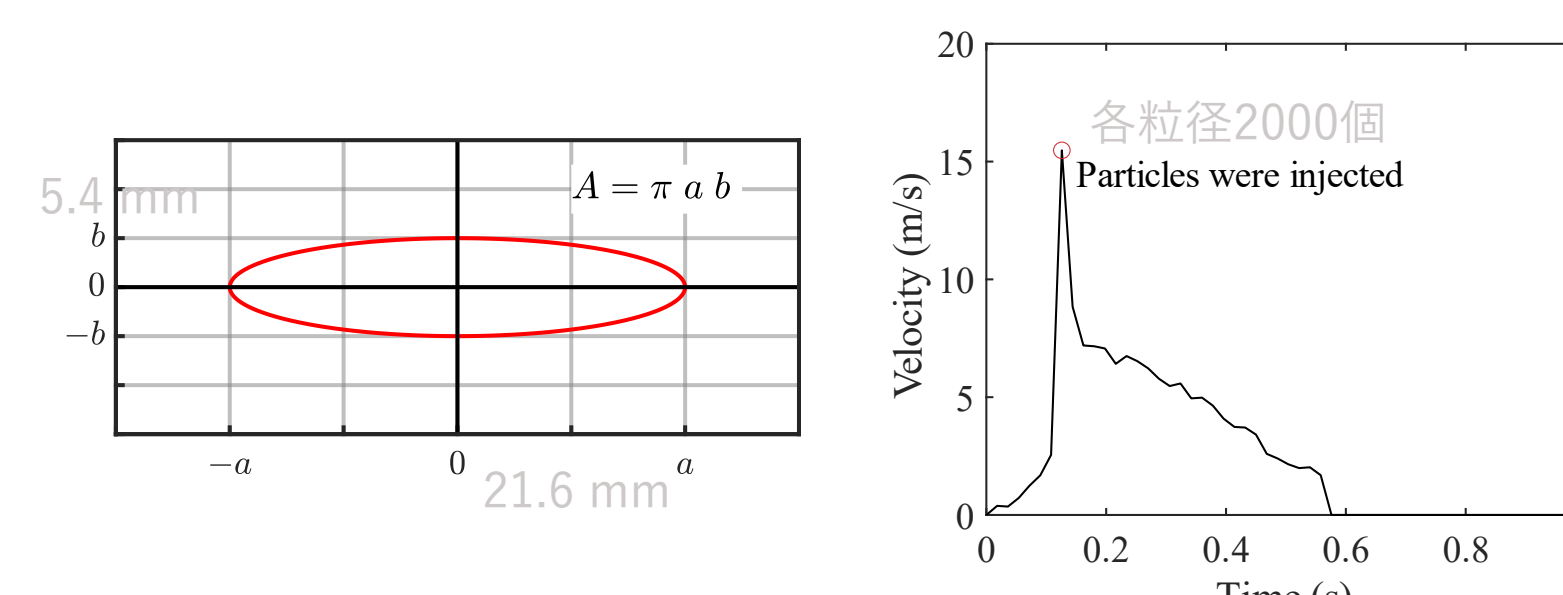


図 4 口の形状 図 5 気流の速度

◆ 飛沫の蒸発モデル：
既報[2]と同じである

表 1 計算条件

壁面	No-slip、断熱
チャンバ	速度: 0.1 m/s; 乱流強度5%; 長さスケール0.07L m 温度: 23.1 °C; 湿度: 34.0% RH
排気口	サイズ: 0.4×0.4 m ² ; Ps = 0
人体	表面: No-slip、対流熱伝達率: 23 W/m ²
口から出た気流	気流温度: 34 °C; 湿度: 100% RH 面積: 約366 mm ² ; 気流速度: 図5 乱流強度10%; 長さスケール0.07L m
口から出た粒子	初期温度: 34 °C; 初速度は10 m/s 初期粒径: 1,2,4,8,16,24,32,40 μm 初期成分: $V_{\text{水分}}: V_{\text{不揮発分}} = 98.2:1.8$ 不揮発分: $\rho 1000 \text{ kg/m}^3, \bar{M} 293 \text{ kg/kmol}$

乱流モデリング	RANS Realizable k-ε model
メッシュ分割	Polyhedral meshとPrism layer
空間セルの総数	約35万
解析ソフト	STAR-CCM+ Ver.16.06
時間	チャンバー内の気流: 定常 咳: 非定常 $\Delta t = 10^{-5} - 10^{-3} \text{ s}$

解析結果・推定 Simulation Results・Estimation

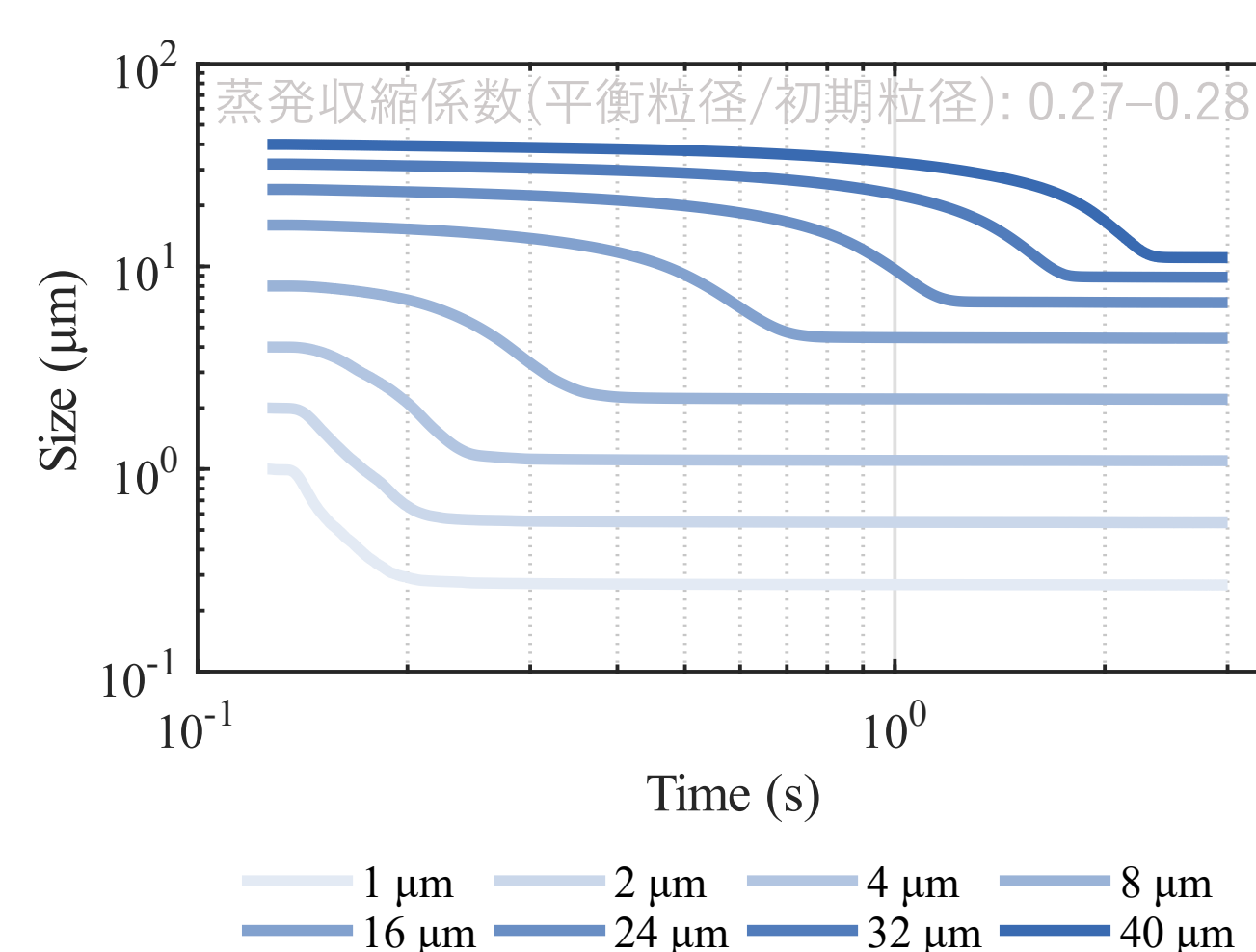


図 6 飛沫粒径の時間的変化

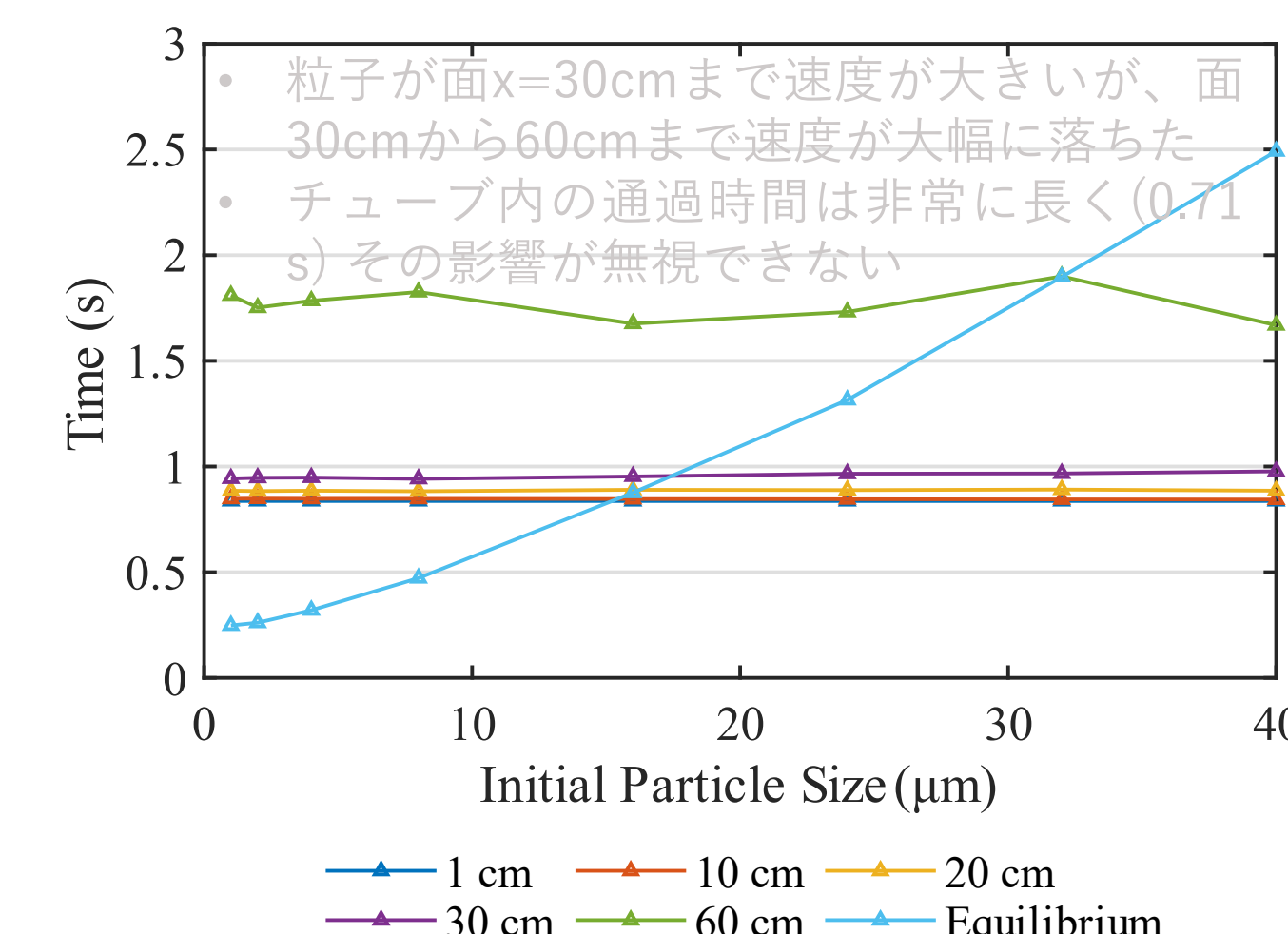


図 7 粒子の各測定域への到達時間・平衡時間と初期粒径の関係

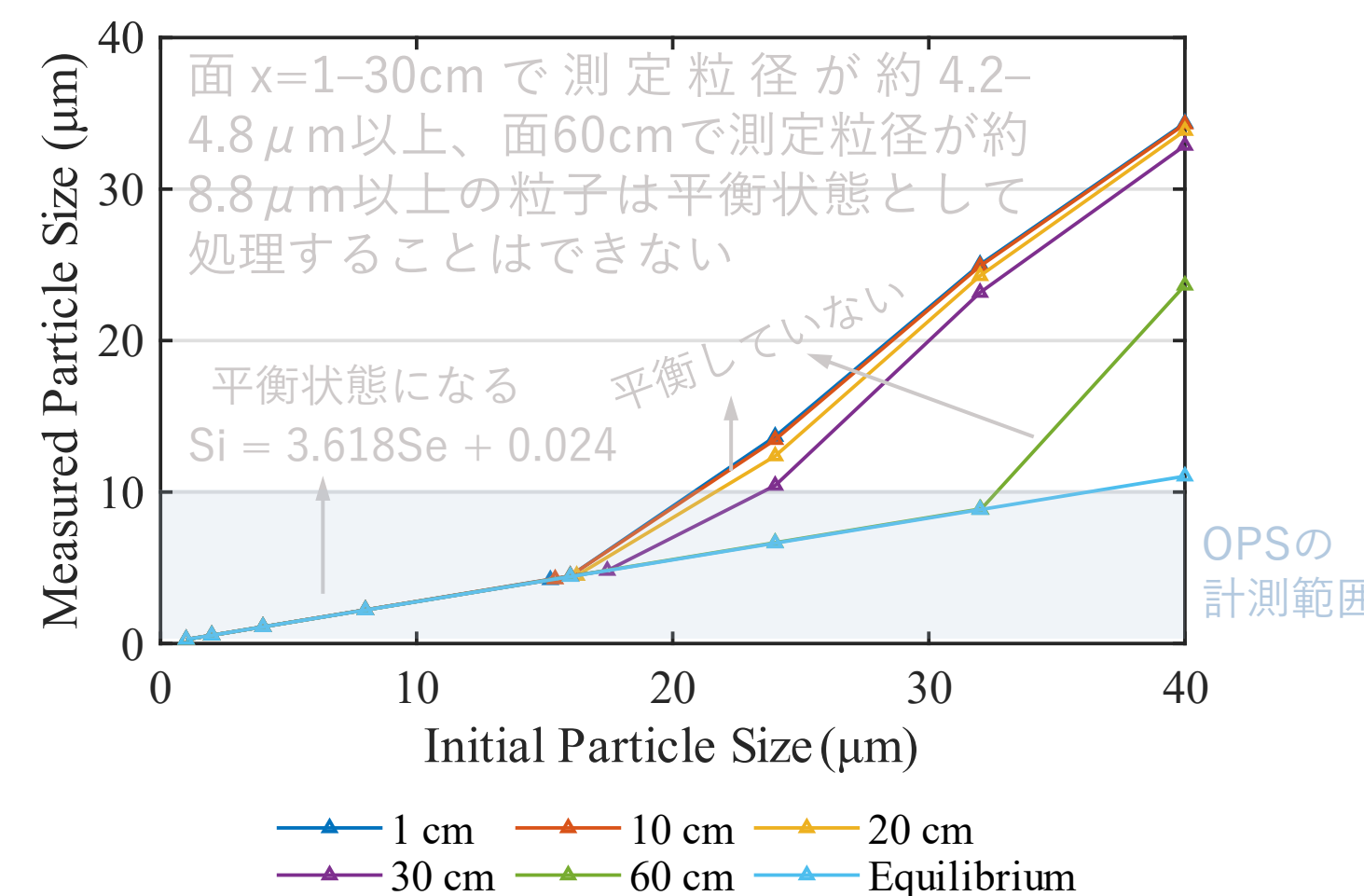


図 8 粒子の各測定域への到達粒径・平衡粒径と初期粒径の関係

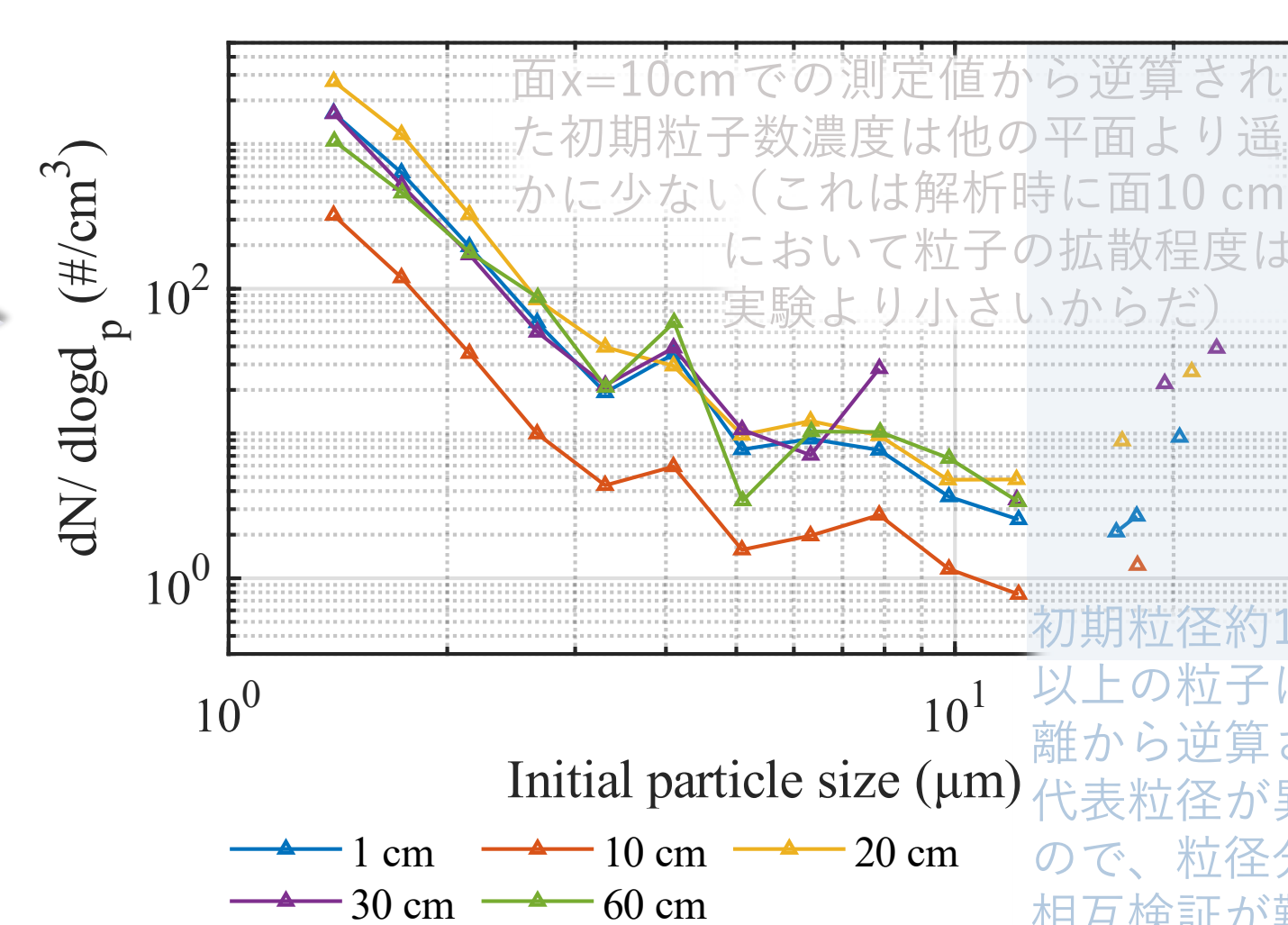


図 11 逆算された飛沫の初期粒径分布

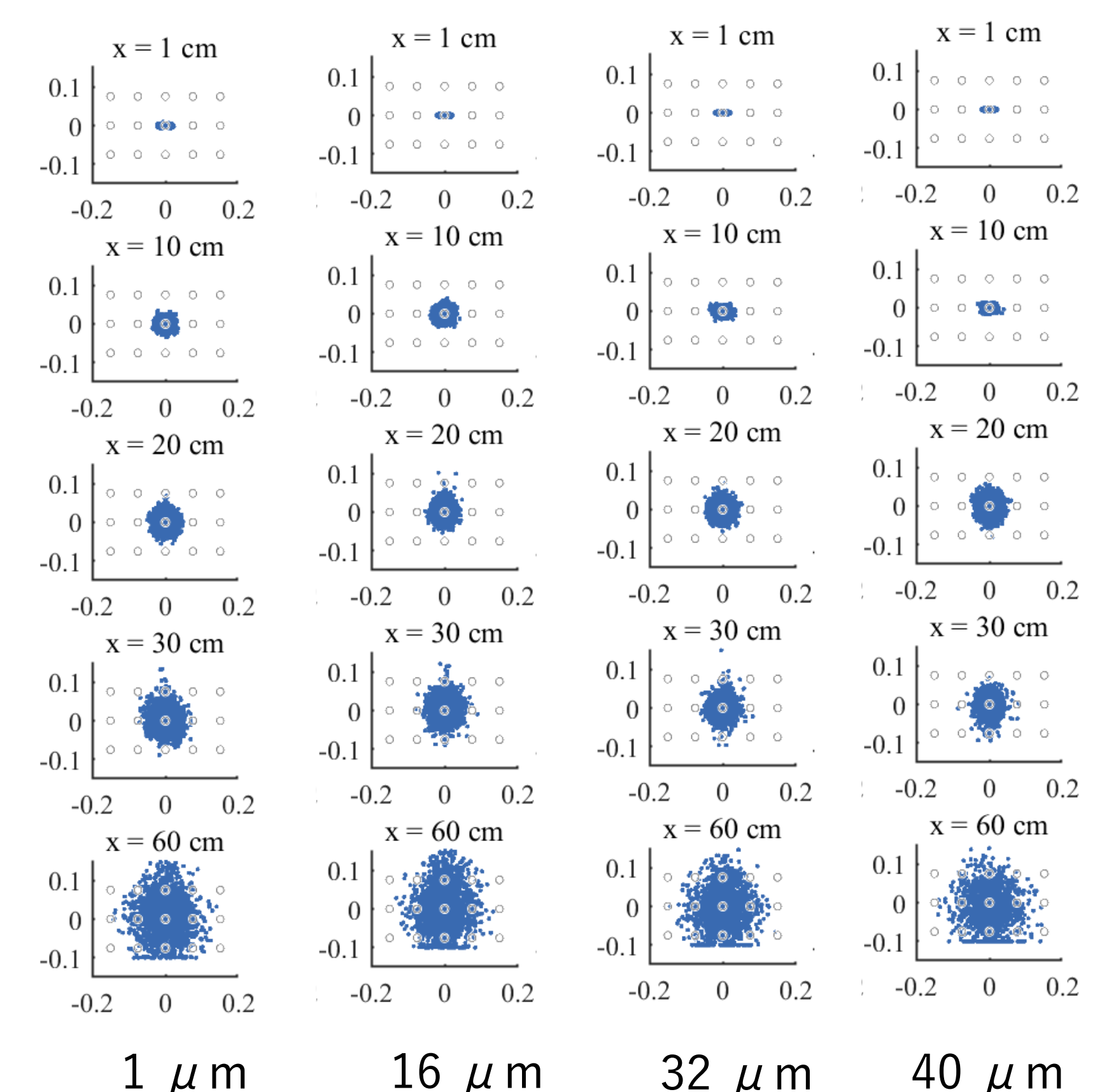


図 9 各平面に到達した粒子の位置分布

・重力沈降で粒径が大きいほど、粒子の到達位置がやや低くなるが、その影響が小さい

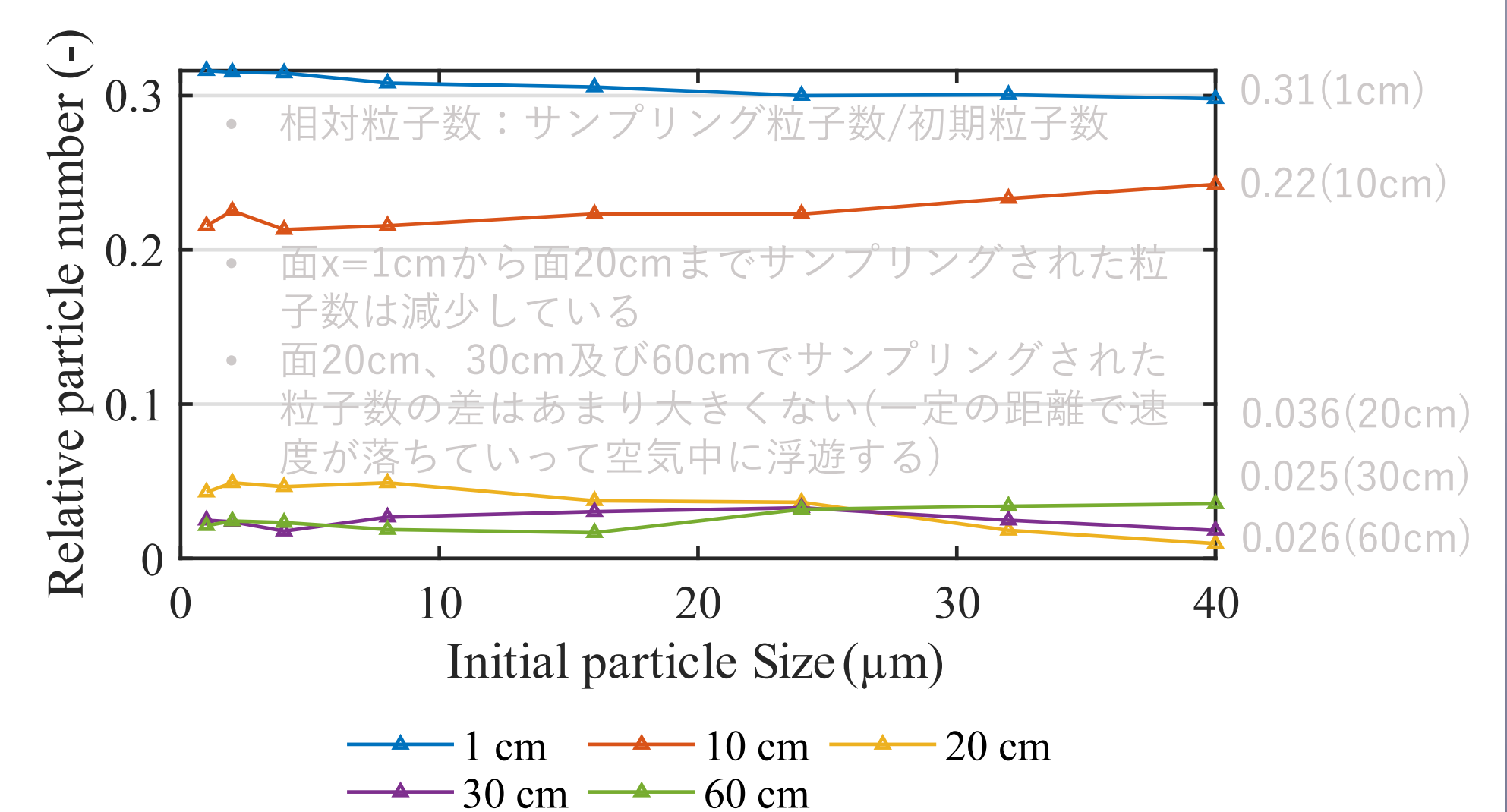


図 10 各平面中心点でサンプリングされた相対粒子数

まとめ Conclusions

- 各測定域に到達した時、全ての粒子が平衡状態にあると見なすことはできない
- 各点の実験値により推定された初期粒径分布はまだ違いがある
- 将来は蒸発モデルの改善により、より正確な初期粒径分布を得られることを期待している

参考文献: [1] 呉元錫, 大岡龍三, 菊本英紀, ト麒麟, 人の呼吸器から噴出する飛沫の粒径分布に関する研究 (その1) 呼吸・咳・会話の行動により発生するエアロゾル粒径の空間分布の計測, 日本建築学会大会学術講演会要旨集, (2022) 1323-1326.
[2] ト麒麟, 大岡龍三, 菊本英紀, 呉元錫, 人の呼吸器から噴出する飛沫の粒径分布に関する研究, (その3) 蒸発による飛沫サイズの時間変化に関する数値解析, 空気調和・衛生学会大会学術講演論文集, (2022) 113-116.