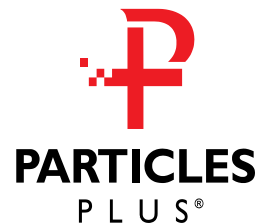


入門パーティクルカウンタの構造、原理、校正

フォトメータとの比較を含めて

株式会社パーティクルプラス
水野真人

4/22,2024 revised



気中パーティクルカウンタとは

■ 気中パーティクルカウンタを一言で言い表す・・・

【気中パーティクルカウンタとは、クリーンルーム、室内、屋外の浮遊微粒子数と粒径を計測するための装置】

- ・サンプル空気を定量吸引し、レーザなどによる照射領域に導入、照射された粒子一個ごとからの散乱光を検出
- ・光散乱応答強度から、粒子径を判定、単位時間、単位容量のサンプル空気中粒子個数と、粒径分布を表示する
- ・粒子濃度が希薄なサンプル空気中を得意として来た。位容量あたり微粒子がゼロか1個かまでの検出下限をもつ。
- ・高濃度サンプルでは、2,500,000,000個(m³)以上まで10%の計数損失誤差で検出できる。

■ 特徴

- ・その場で測れる、使用者による個人差が少ない、時間分解能が比較的高いなど、手軽な清浄度測定器、トレンドモニタとして活用されている。
- ・ただし、分析的な用途、例えば粒子のコンテンツ、形状などの情報は得られない
- ・表示粒径・個数は単分散標準粒子の光散乱応答量がモノサシ。目視径、空気力学径とは必ずしも一致しない。
- ・パーティクルカウンタ上に表示される粒子数は、有効数として、ある程度の量があった方が良い。
- ・0カウントを表示した際のゼロの意味は、統計的に検討される必要がある。

■ パーティクルカウンタとフォトメータ(粉塵計)

- ・ともに光散乱理論によるセンサの、パーティクルカウンタとフォトメータ(粉塵計)は、似て非なるもの。
- ・フォトメータは一個ずつの粒子ではなく、粒子群の濃度(雲が濃いか、薄いか)を光散乱(あるいは減衰)で見る。
- ・フォトメータは個別粒子からのサイズ情報を得ることはないなので、粒径分解能はなく、粒径分布情報は得られない。
- ・フォトメータはパーティクルカウンタのように粒子濃度の希薄な清浄環境の測定には対応しない。
- ・フォトメータには確立された校正方法はない。(パーティクルカウンタはISO 21501-4、JIS B-9921で規定される)。

ハンドヘルド型パーティクルカウンタについて

◆用途＝コンタミネーションコントロール

- ・クリーンルームのクラシフィケーション(製造、設置受け渡し、定期検査)→据え置き型が多く使われる
- ・工程のモニタリング(清浄度が所定のコントロール下にあるか)、物流フロー、パッキングエリアも管理
⇒清浄空間は大事な製造環境、清浄空気は貴重な原料—汚染空気の巻き込み、自己発塵はないか？
⇒発塵現象、発塵箇所のその時、その場での検出 ⇒ 工程に持ち込んでの大粒子の捕捉
⇒菌の代用指標としてモニタリング(製薬業界)
⇒作業環境、HVAC、室内環境、大気微粒子汚染モニタリング(粒径スペクトルの獲得)、空気清浄機評価

◆顧客

- ・電子デバイス(ウエハからチップまで半導体関連ピラミッド、CCD、オプトデバイス、液晶・・・)
- ・精密(光学、スマホ、プリンタ等精密機器、自動車、家電など電子デバイスを搭載する様々な機器)
- ・化学(電子デバイスや精密機器製造を支えるファインケミカル、化成品)
- ・製薬(レギュレーションビジネス＝無菌製薬、その他の製薬、医薬品相当の化粧品)
- ・飲食料 非加熱製品の製造現場(牛乳、マヨネーズ等乳製品、パッキング等)での封止ポイント、配管
- ・環境(伸びが大きい)＝新市場(労働衛生、飲食料、農場、病院、学校保健、室内空気汚染、大気汚染等)

パーティクルカウンタはクリーンルームから一般室内、大気環境 モニタリングまで1台でOK

OPC（光散乱方式パーティクルカウンタ）の特徴

In situ、リアルタイム、粒子径0.3~10 μ m（30 μ m）のエアロゾルの
個数濃度、多粒径の粒子径分布、変化量について短時間に情報を得る
⇒清浄度・粒子挙動監視、発生源特定、暴露、除去対策に不可欠な情報

問題点

個々の粒子の散乱光強度を検出するため、高濃度エアロゾルの測定に対応が難しかった。➡クリーンルーム専用と位置づけられて来た。



クリーンルーム



こんなところでもOPCの測定値は信頼できる？

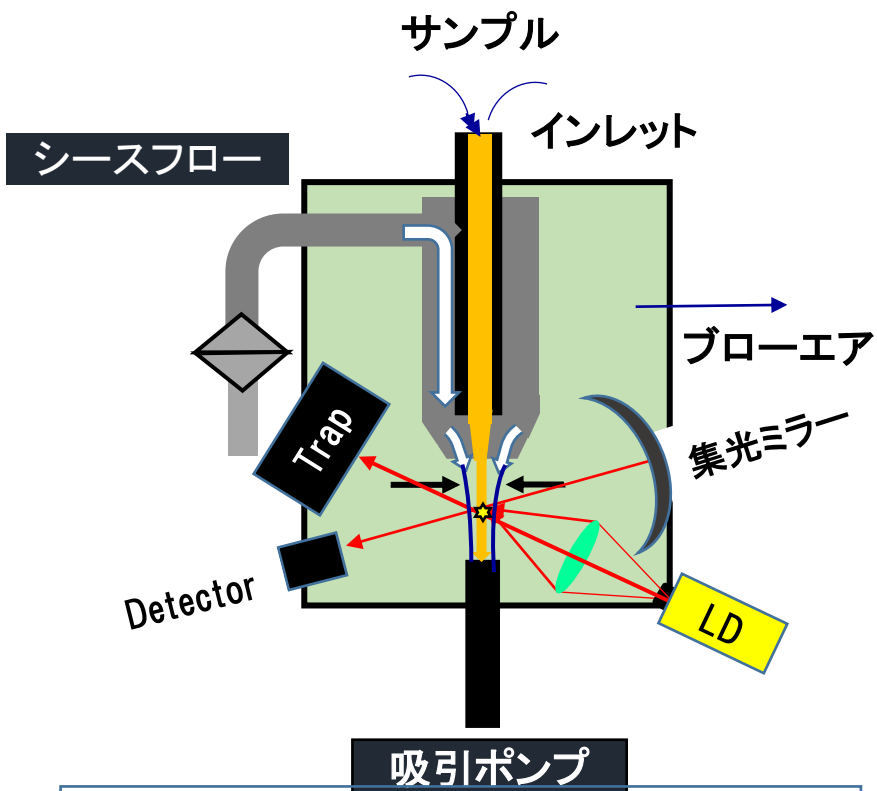
In Delhi, air pollution

Doi Suthep and the world air-quality index at midnight on March 13, 2019

今まではこの領域でしか使えなかった
➡ここはもちろん、高濃度エリア
でも使えるパーティクルカウンタへ

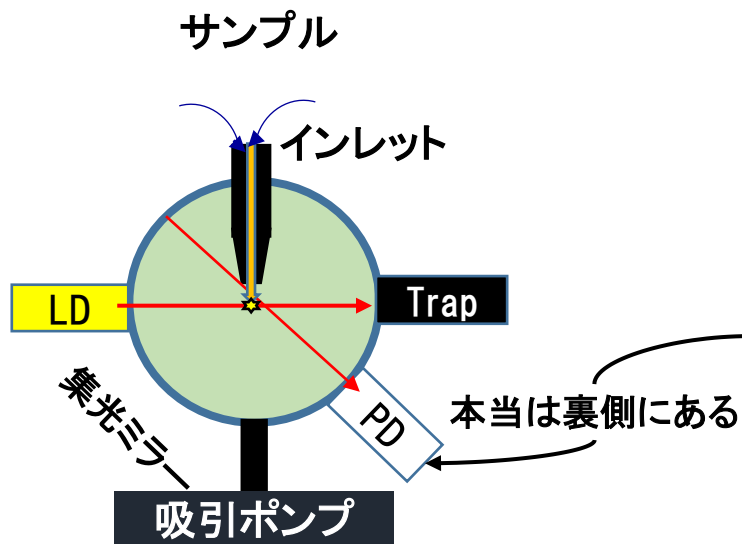
パーティクルセンサ構造概念図

シースフロータイプ

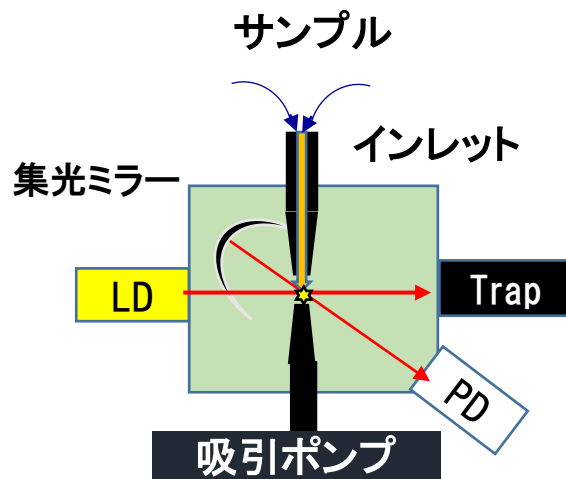


インレットから取り込まれるサンプルは、ノズル部でシースフローによってわずかに圧力を受けながら層流を維持する。
従って、シースフローとサンプルフローの圧力の関係はシース>サンプルでなくてはならず、このパラメータは一定であることが要求される

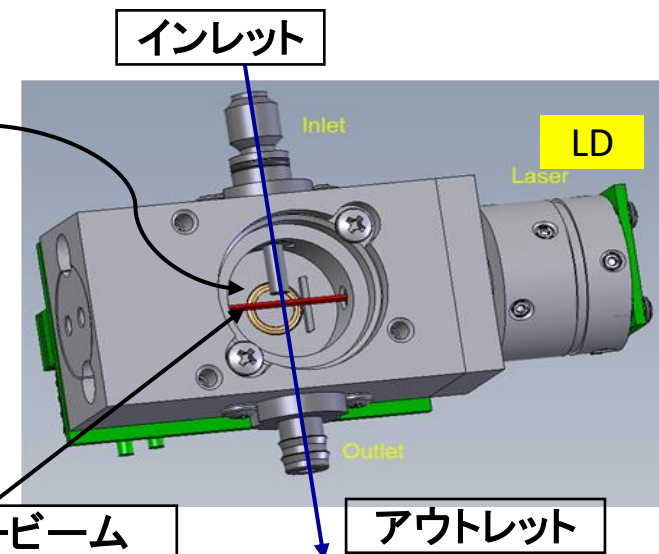
サンプル



サンプル



シースフローレスタイプ

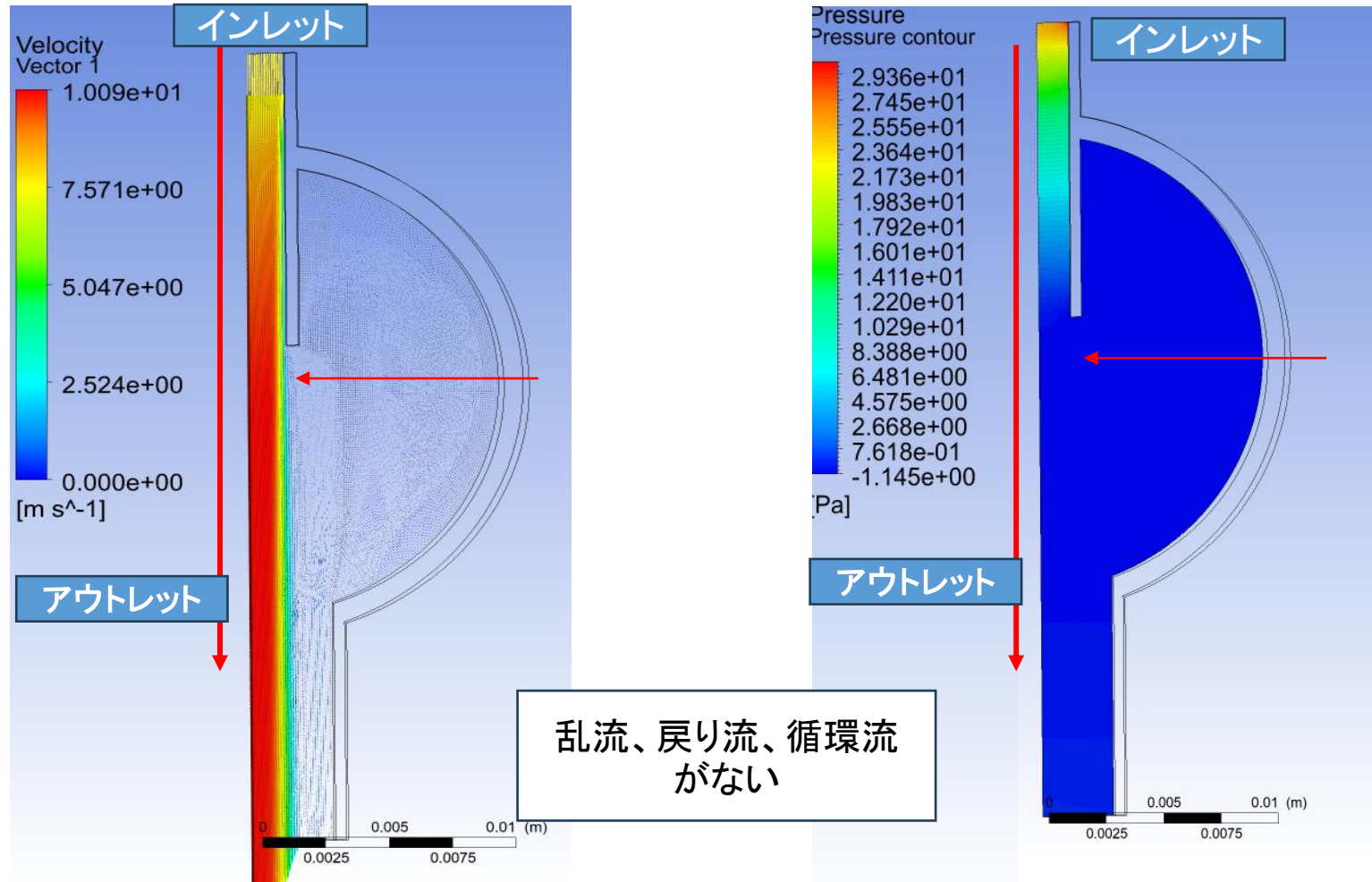


レーザービーム

アウトレット

0.3um級の小型パーティクルカウンタでは、シースフローを使うセンサは少なく、一般的には上図のような比較的簡単な構造(概念図)が多い。
ミラーはセンサ蓋(この図では手前がわ)自体をミラーにすることが多い)
(※ 最新パーティクルプラスセンサの構造とは異なります)

パーティクルプラスのエンジン(センサ内部構造) FCD (Ansys Fluent)による光散乱セル内の流れの計算結果



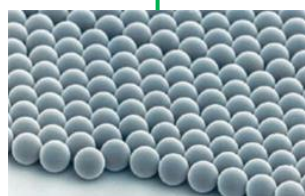
速度ベクトル

静圧分布

パーティクルカウンタの粒径閾値の設定・校正

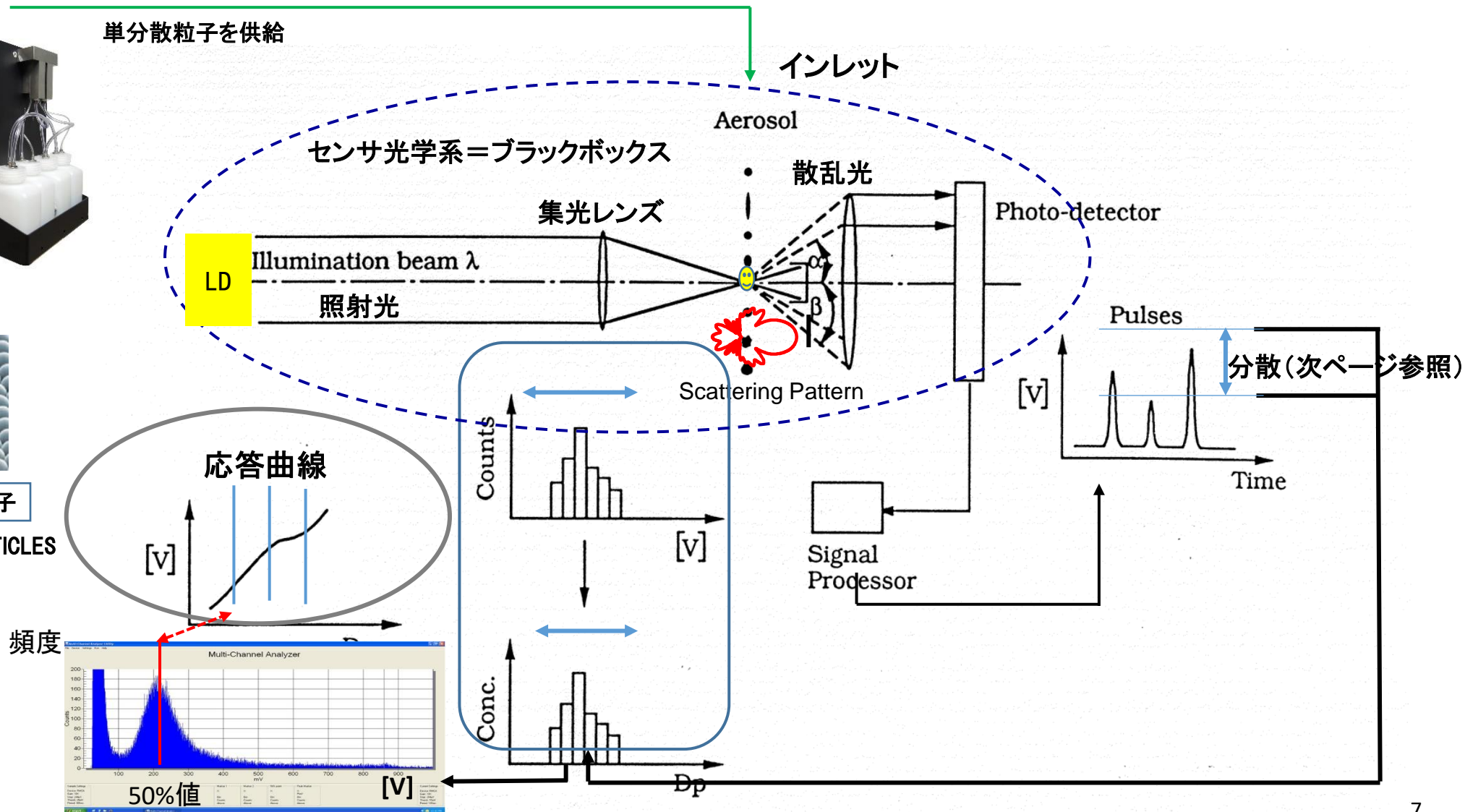
パーティクルプラス
校正設備

単分散粒子を供給



値付けされた標準粒子

JSR SIZE STANDARD PARTICLES
/ DYNOSPHERES™



パーティクルセンサの分散性能

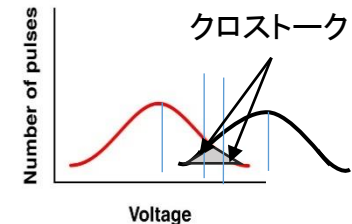
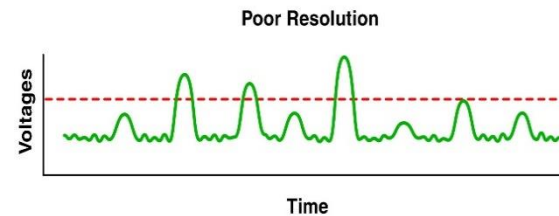
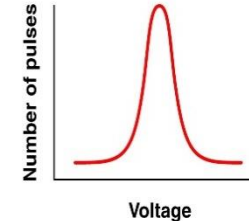
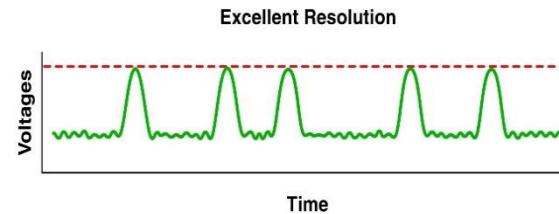
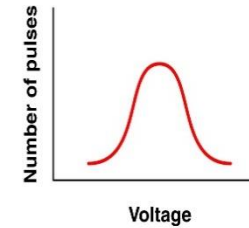
1) 一般的なセンサにおける単分散粒子の信号の分散とヒスト



2) 理想的な単分散粒子信号の分散とヒスト (標準粒子の分散のみ)

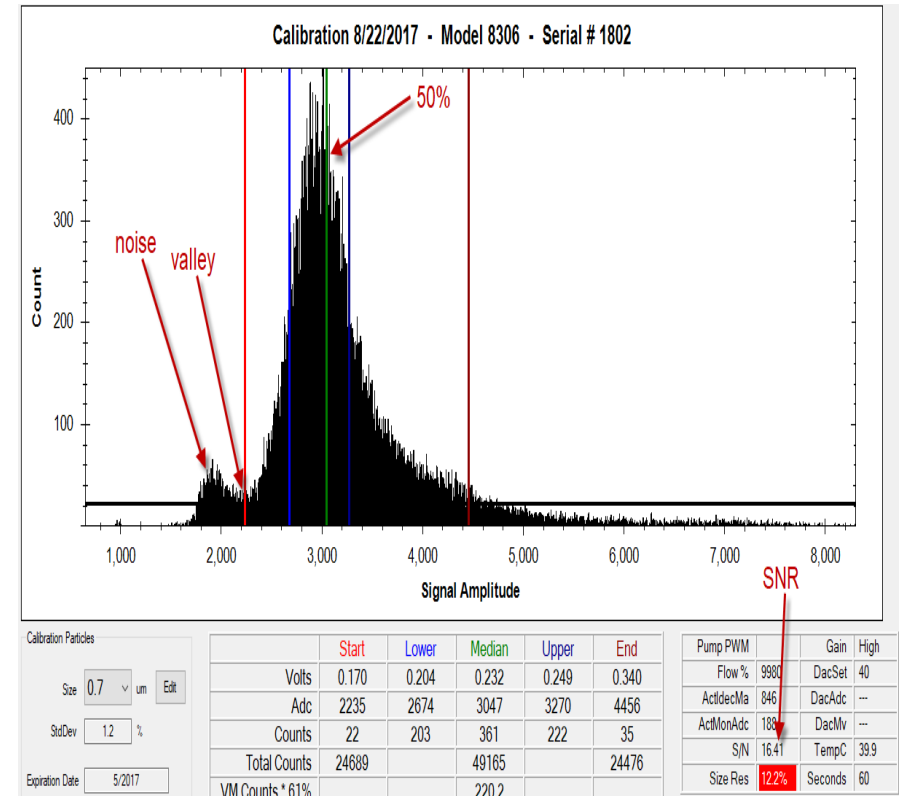


3) 分散性の悪いセンサーにおける単分散粒子からの粒子信号のとヒスト
 ⇒ 分散性能はブロード
 ⇒ 粒径分解能は粗い
 ⇒ 隣り合う(近接した)粒径とのクロストークが起きる)



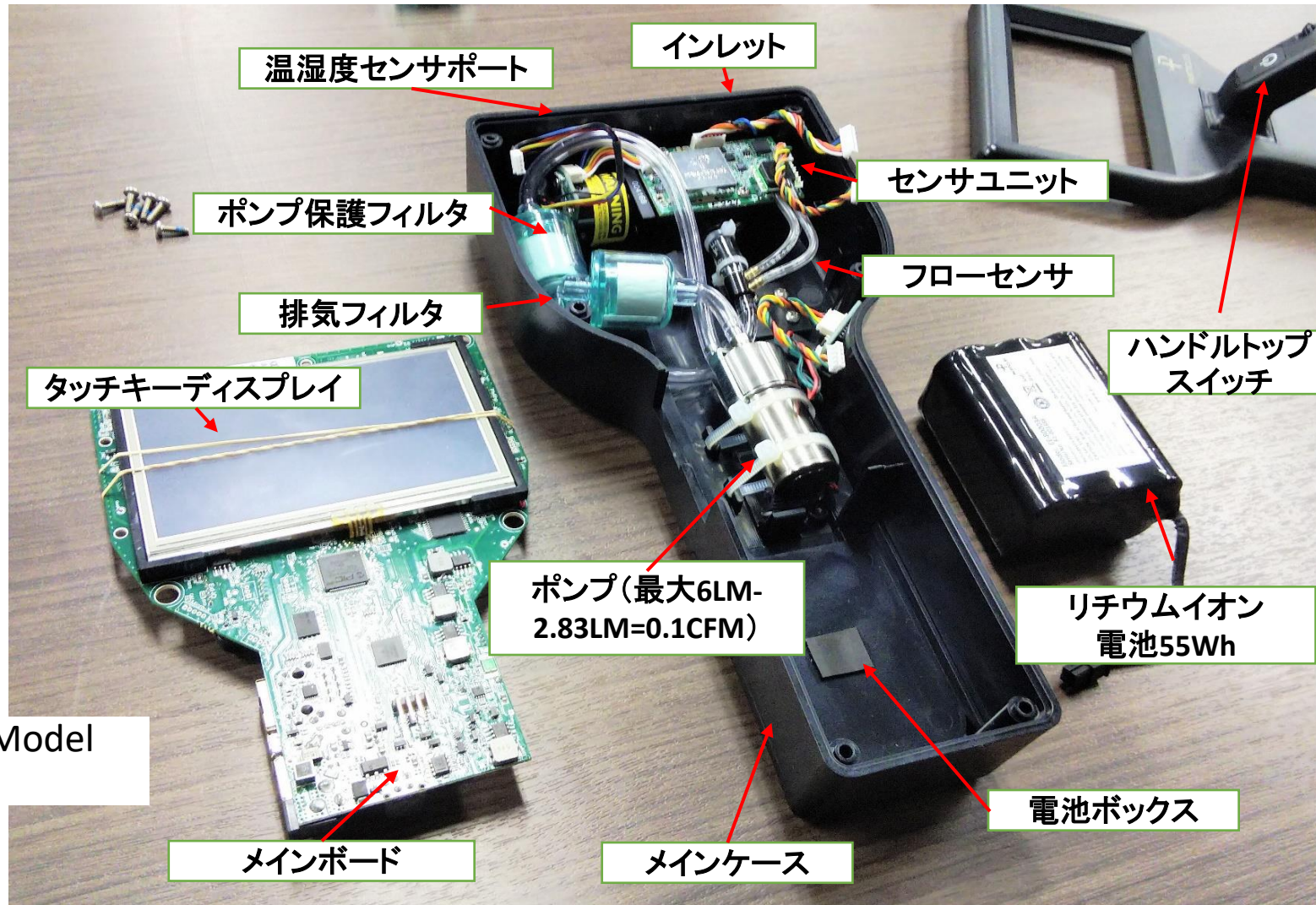
ISO 21501-4 Calibration をかみ砕いて1枚にすると

- 粒径設定の際、最少可測粒径のS/N比は $> 2:1$ (右図).
- レゾリューションはその粒径にて15% 以内(右図).
- 偽計数: 0 カウント/ 5分間.
- 流量誤差は $\pm 5\%$ 以内であること.
- 計数効率
最少可測粒径にて、相当径の粒子を加えた場合、 $50 \pm 20\%$.
その1.5倍から2倍の粒径の粒子を加え場合、最少可測粒径にて $100 \pm 10\%$ であること.
- 粒径設定: 粒径の誤差範囲は $< 10\%$.
- 最大可測濃度はコインシデンス誤差が $< 10\%$ となる濃度.
- サンプルング時間は 1% of stated sample timeであること.
- レスポンスレートは10秒後 0.5%.
- 校正の間隔: 年に一回またはそれ以上を推奨 .



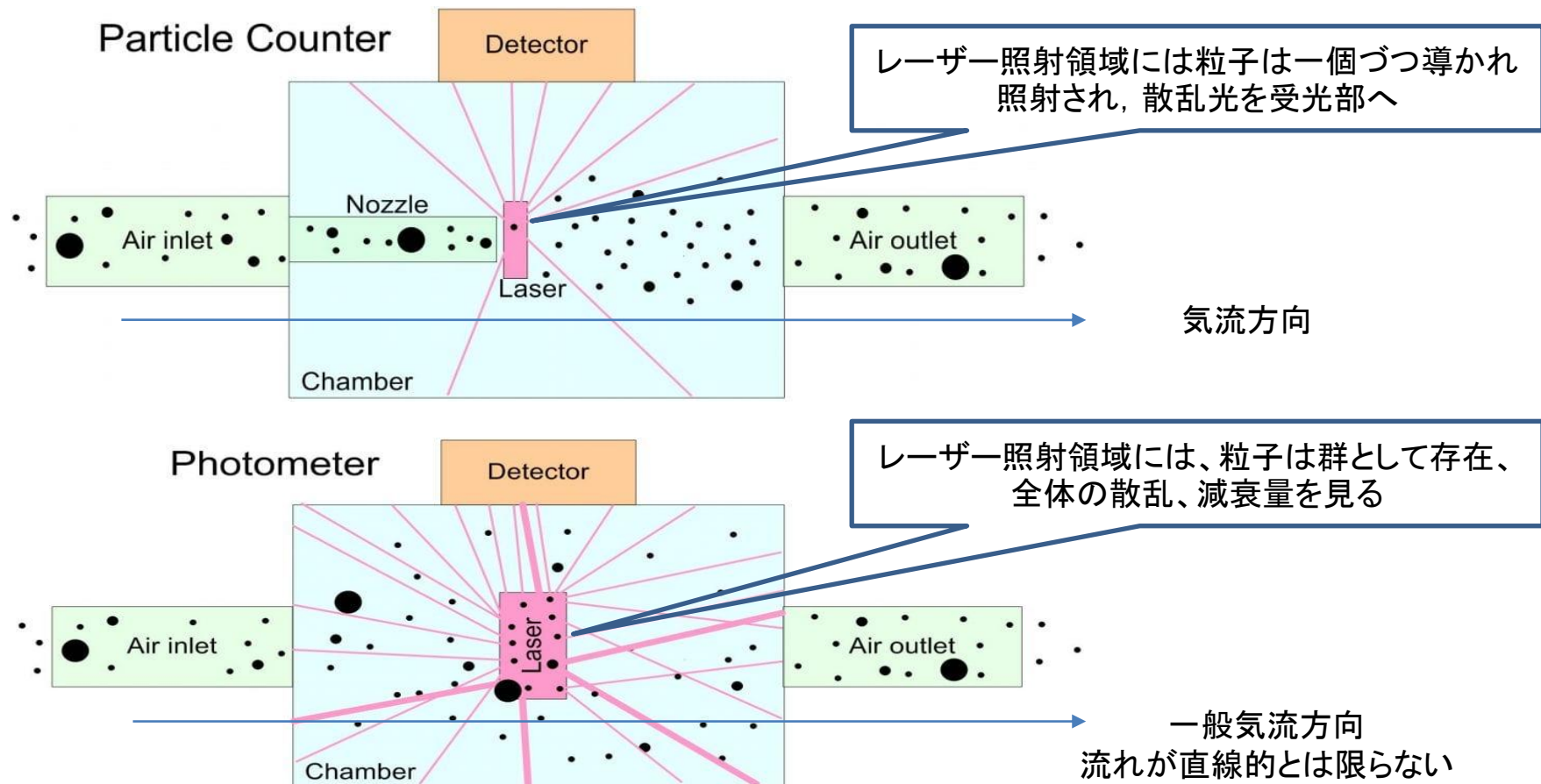
※必ずしもISOの用語を使っていません

パーティクルプラス 8000シリーズの中身



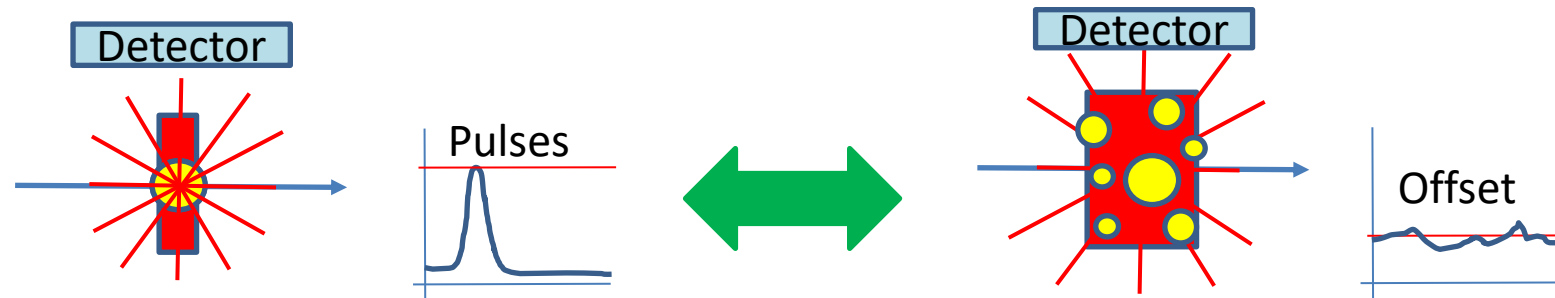
Particlesplus Model
8306

光散乱技術を使う、似て非なるセンサ パーティクルカウンターとフォトメータ 概念図



レーザー光は紙面と直交

パーティクルカウンタとフォトメータの比較



Particle Counter

- 一つの粒子がレーザービーム(照射領域)を通過するときに発する散乱光→パルスを作る
- 個々のパーティクルの大きさを電圧出力
- 個別の粒径情報、粒径分布情報を提供
- 国際標準ISO 21501-4、日本工業規格JIS-B9921あり

Particle CounterでのMass換算

- 粒径チャンネル間ごとに粒子の推定平均サイズと、個数に基づいて演算され、各チャンネルの測定結果が合算されることで体積に変換される。
- 質量変換の際ユーザー補正は、密度/屈折性など

Photometer

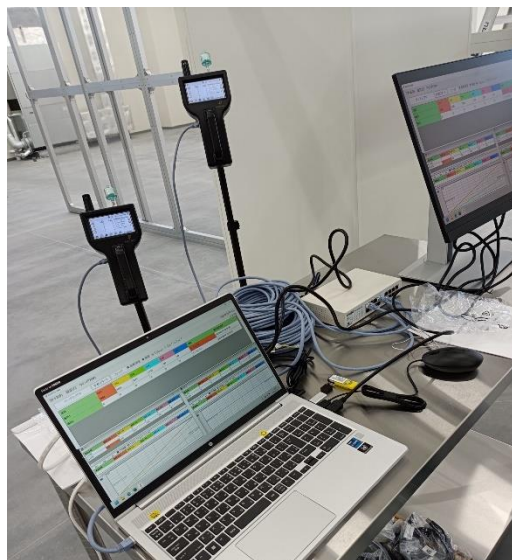
- ビーム内(照射領域)に同時に存在する多くの粒子の散乱光がDCレベルで出力される(減衰も同じ)
- 低濃度での検出は不可能
- 粒径・粒径分布情報はない
- ISO等、確立された国際標準規格はない
- 安価しかし、クリーンルーム評価には使えない

PhotometerでのMass換算

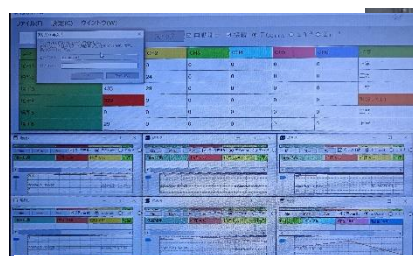
- 全体質量濃度は、時間経過からみた平均散乱光から推定される
- 質量は、DCレベルの、“キャリブレーション”値による。
- 多くはフィルタ捕集・重量法などとの相関から推測される検量線から補正される

応用1・さまざまな現場とパーティクルプラス

クリーンルーム

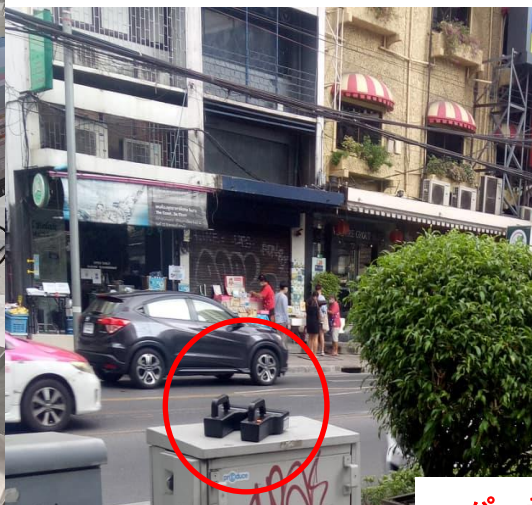


パーティクルカウンタ
8306 x 2台立ちあげ中



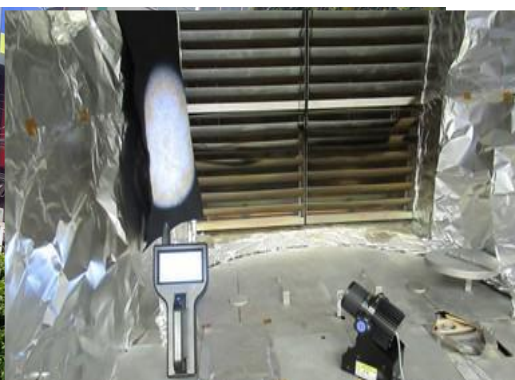
多点モニタリングのパソコン画面

タイAsok Montri交差点



パーティクルカウンタ
8306 x 2台 測定中

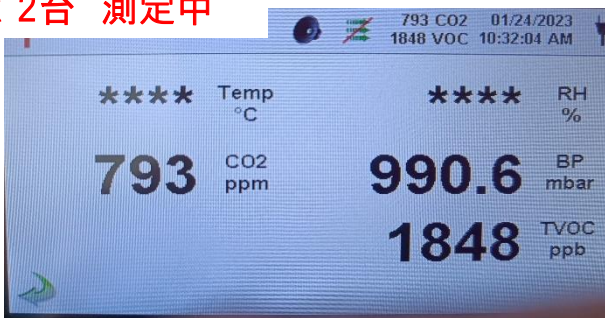
EB 蒸着機の残存パーティクル計測



本社工場(ボストン)外壁



大気環境モニタ EM11000



Air Quality Monitor 8301AQM-2
とVOC/CO2/BP/TRH画面



パーティクルカウンタ8306

Covid19 病棟での使用



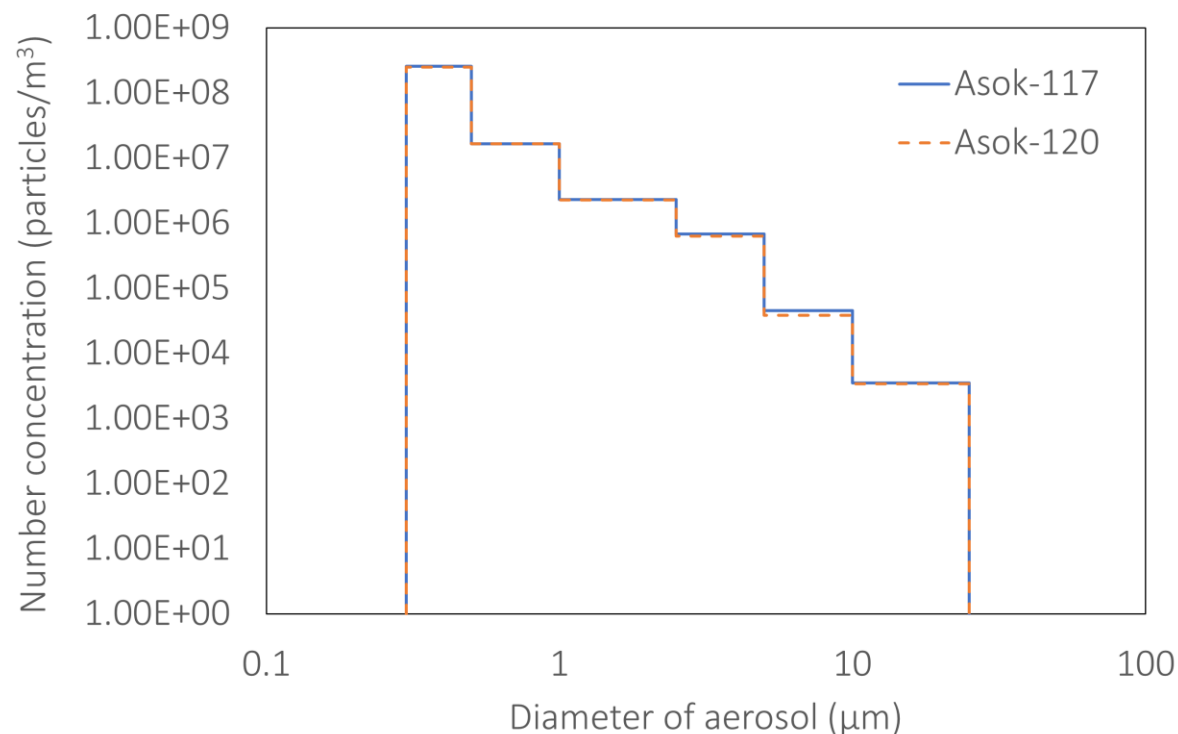
30粒径センサ9300P

応用2・高濃度領域でのパーティクルカウンタの 器差（外気）＝器差は極小（Model 8306）

Asok Montri Road

Number concentration of particles obtained from OPC 117 and OPC 120 at Asok Montri Road(バンコク)

Particle size (μm)	Number concentration of particles (particles/m ³)	
	OPC 117	OPC 120
0.3 – 0.5	257,125,101	249,773,459
0.5 – 1.0	16,631,369	16,584,202
1.0 – 2.5	2,322,489	2,275,708
2.5 – 5.0	683,496	629,861
5.0 – 10.0	45,698	38,563
10.0 – 25.0	3,531	3,390
Total	276,811,685	269,305,183

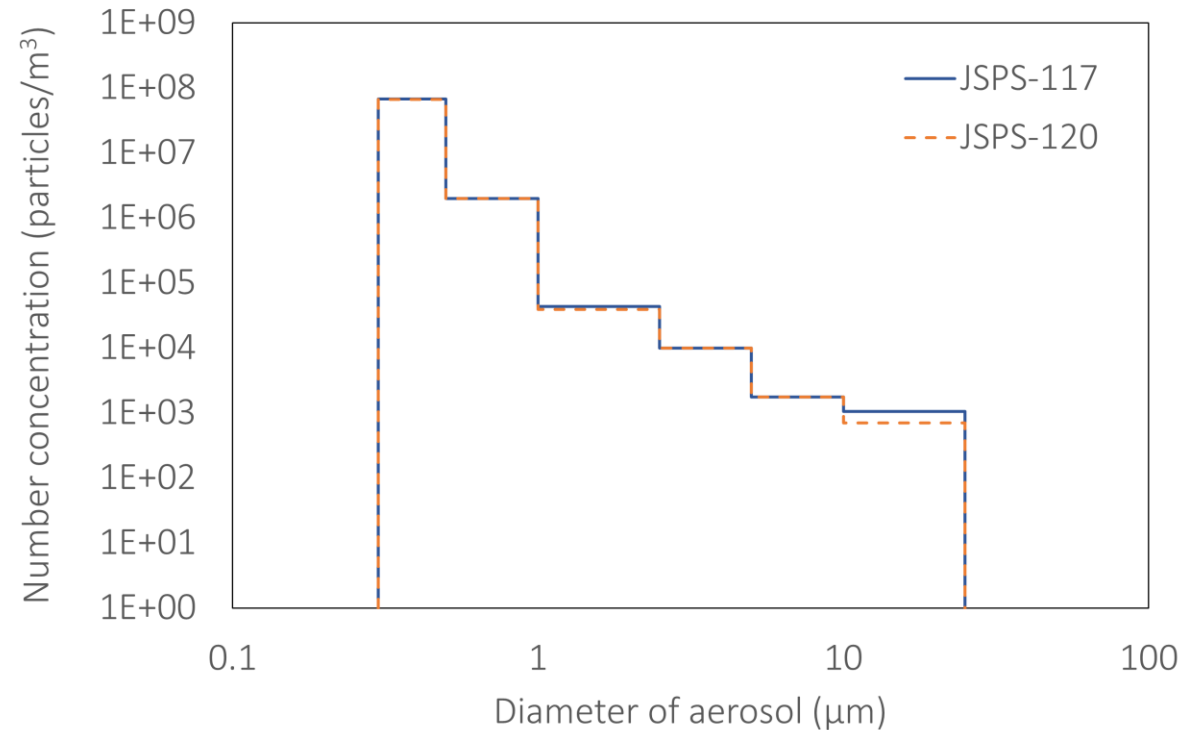


Size-concentration distribution of particles obtained from OPC 117 and OPC 120

応用3・高濃度領域でのパーティクルカウンタの器差（一般室内 = 器差は極小（Model 8306））

JSPS Bangkok Office 室内

Particle size (μm)	Number concentration of particles (particles/m ³)	
	OPC 117	OPC 120
0.3 – 0.5	67,749,019	66,142,520
0.5 – 1.0	2,000,503	1,975,473
1.0 – 2.5	43,436	38,846
2.5 – 5.0	9,958	9,888
5.0 – 10.0	1,765	1,765
10.0 – 25.0	1,059	706
Total	69,805,741	68,169,198



Size-concentration distribution of particles obtained from OPC 117 and OPC 120

応用4: 某月某日の生活空間の粒径分布 (右図は住宅展示場)

室内気の粒子数想定例

By原田宙幸先生

