

民生用カメラを使用した 簡易型微粒子粒径計測装置

東洋大学 総合情報学部

総合情報学科

教授 椿 光太郎

概要

- 微粒子粒径を測定する装置を新たに開発した。
- 微粒子により回折されるレーザー光を観測して粒径を求める測定原理は従来の粒径測定装置と同じであるが、従来の装置に比べて次の特徴を持つ。
 - ① 回折光計測に民生用カメラを用いた。
 - ② 強度の強い入射レーザー光と入射レーザー光に比べて著しく微弱な回折光を同時に観測し回折光だけを分離して観測するために、イベント相関イメージング法という方法を開発した。
 - ③ イベント相関イメージング法を利用し回折光を分離して、微粒子粒径計測に成功した。

従来技術とその問題点

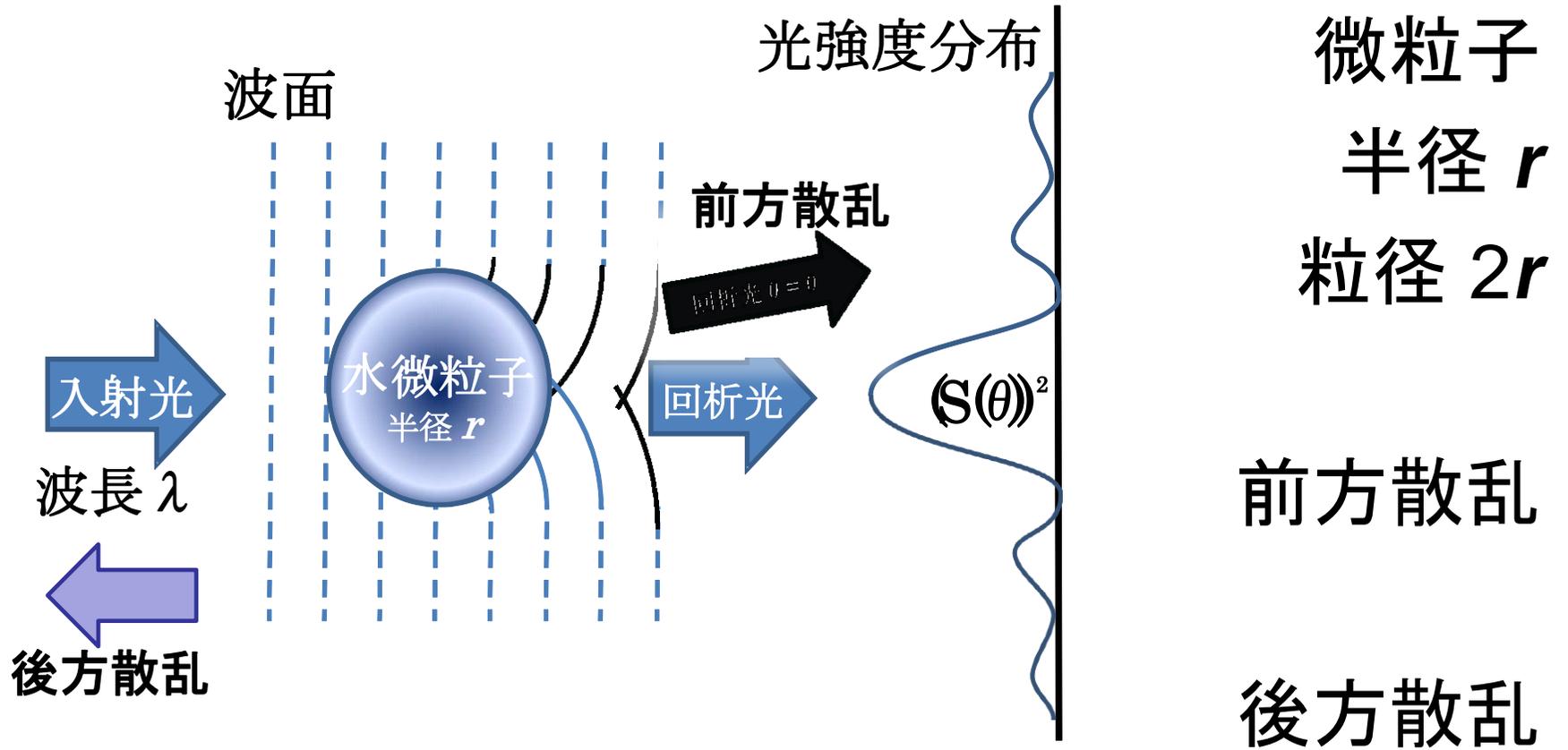
- 微粒子
 - 液体 水滴(虹、少雨、霧)、油滴
 - 内燃機関、機械工作、塗装、噴霧冷却、潤滑
 - 個体 造粒、PM2.5
- 微粒子粒径測定： 微粒子の顕微鏡写真観測(画像イメージング法)や微粒子落下速度測定(重力沈降法)、動的光散乱法、そしてレーザ回折法などがある。

従来技術とその問題点

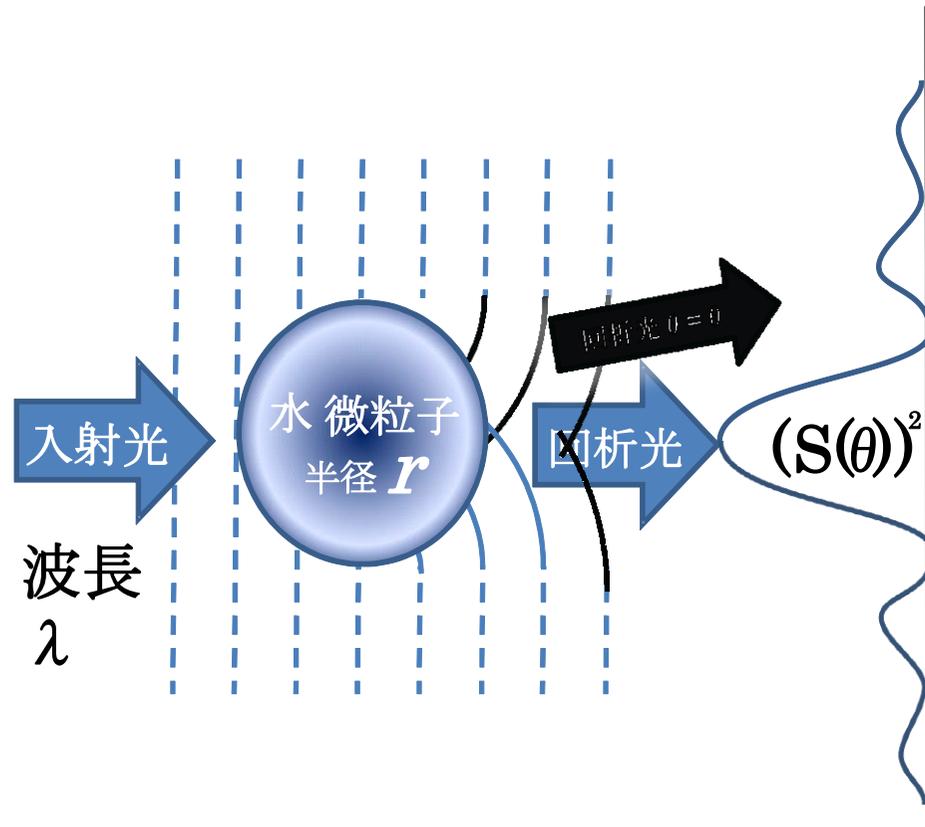
- レーザー回折法とはレーザー回折光を観測することにより粒径を測定する方法である。
- 画像イメージング法や重力沈降法に比べて、サブミリからサブミクロンサイズの粒径測定が可能であり、効率的測定ができる。
- レーザー回折法の説明とその問題点について説明する。

レーザー回折法

- レーザー光(波長 λ)が水滴で回折・散乱される様子



前方散乱光の強度分布

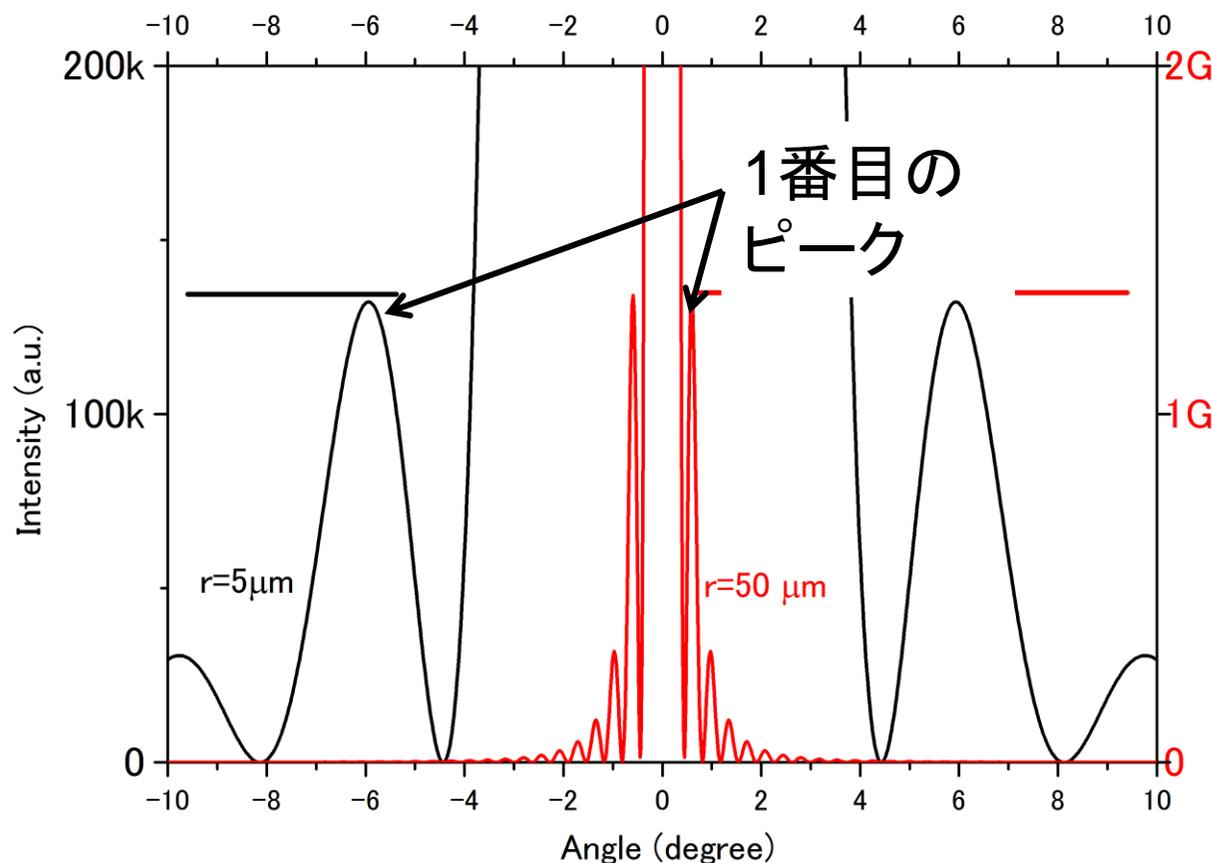


前方光散乱強度 (S^2)

- 利点
目印として $\theta=0$ の光。
- 欠点
強度 : r の4乗に比例

$$(S(\theta))^2 = \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \frac{1 + \cos \theta}{2} \frac{J_1\left(\frac{2\pi r}{\lambda} \sin \theta\right)}{\sin \theta} \right)^2$$

強度分布の粒径依存性



微粒子の散乱光強度の角度依存性
半径 $5\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$, (理論)

粒径の4乗に比例する。粒径が小さくなると強度はさらに小さくなる。

細雨と霧の比較

細雨(半径 $50\mu\text{m}$ の水滴)
強度 1.28G (a.u.) 12億8千万
霧(半径 $5\mu\text{m}$ の微粒子)
強度 128k (a.u.) 12万8千
霧は一万分の一と小さくなる。

微粒子粒径測定には
強度大きい後方散乱光が使われている。

後方散乱光の観測

- 前方散乱ではある目印の光がない。
- 目印がないため、測定系に変形が起こらない強固さが必要になる。
- 被測定物である微粒子を装置内の暗室に運ぶ必要がある。



- 測定装置の自由度がない。装置が大きい。
- 微粒子のある場所に装置を移動できない。

新技術の特徴・従来技術との比較

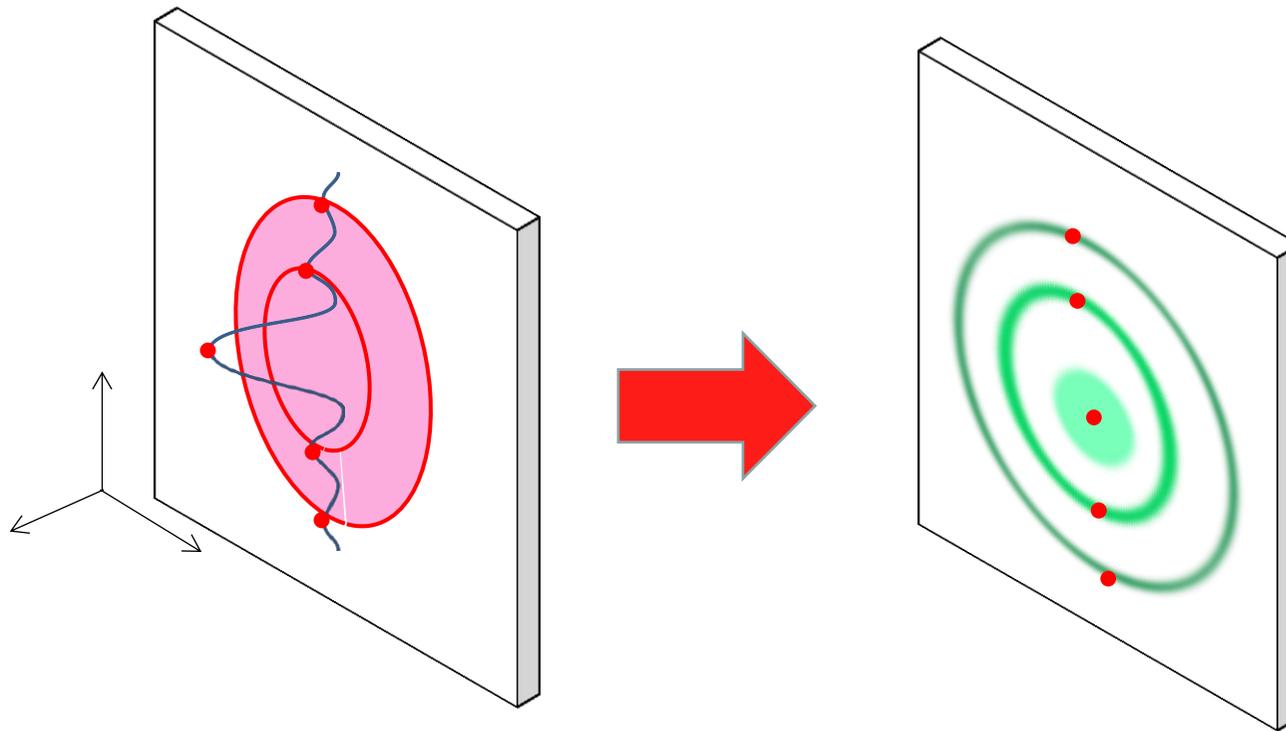
- 従来技術の問題点であった「微粒子のある場所で粒径測定ができず装置の場所に微粒子を運ぶ必要がある」ことを改良し、「微粒子のある場所での粒径測定する」ことに成功した。
- 民生用カメラを使用することにより、低価格化が実現できる可能性も生まれた。

新技術のポイント

- ① 回折光（前方散乱光）の光パターンの光計測に民生用カメラを利用。
- ② 微弱な光信号の観測が可能になるイベント相関イメージング法の開発。

前方散乱光の光パターン

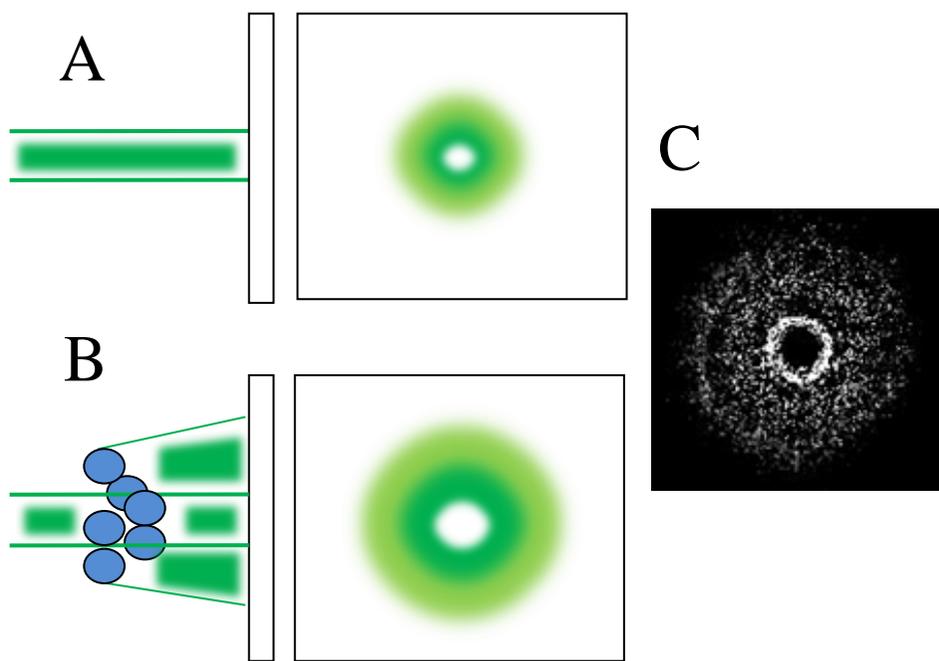
- ピーク位置: レーザー光を対称軸とした軸対象の円形
- パターン: 同心円状



前方散乱光パターンの特徴

- 目印の光(入射レーザー光)があるため、位置合わせが簡単になり、測定装置構造の単純化が図られる。
- 実測パターンを理論から導かれるパターンと比較し、人間やコンピューターの画像認識能力を利用して行い粒径を求められる。

イベント相関イメージング法



イベント相関イメージング法説明図

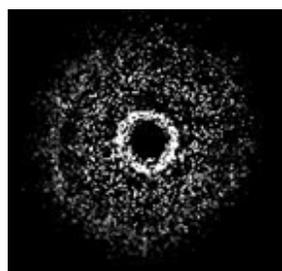
- 微弱散乱光を抽出する手法

手順

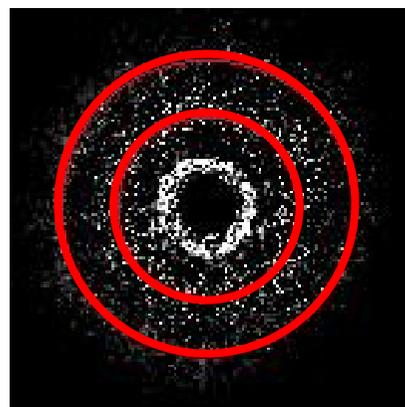
- ① 散乱光を含まない画像A
- ② 微弱な散乱光を含んだ画像B
- ③ AとBから散乱光Cを抽出

円パターンの認識 (by 人 or PC)

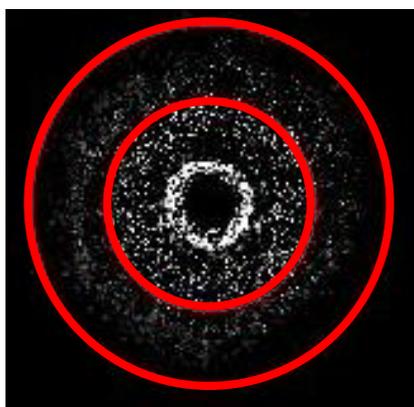
C



フィッティング



$r=4.30\mu\text{m}$



$r=4.10\mu\text{m}$

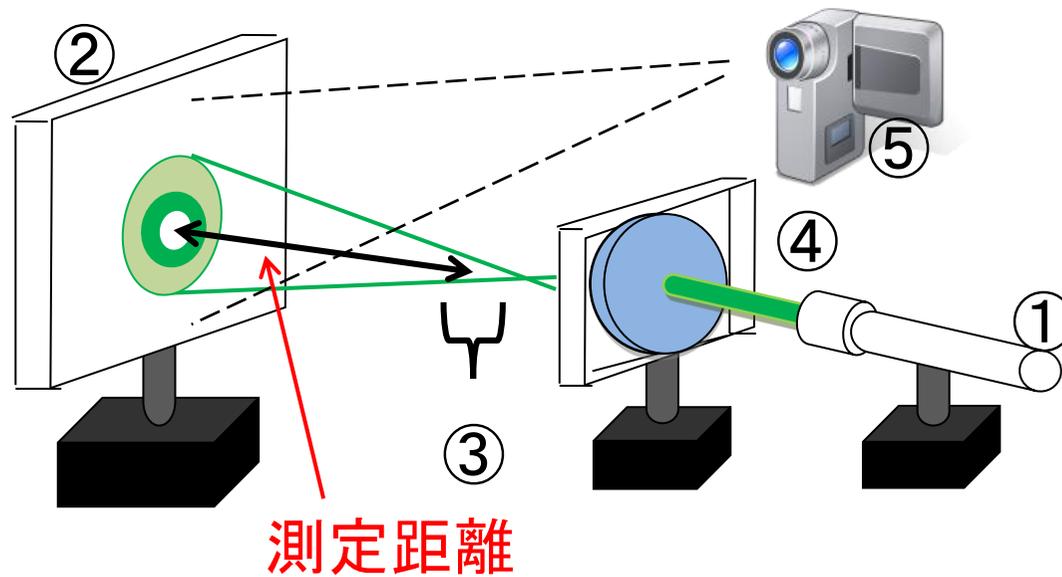


散乱光パターンのフィッティング

散乱光

- ノイズを持つ同心円状のパターン。
- 光強度分布式 $(S(\theta))^2$ を同心円状光パターンにフィッティングして粒径 ($2r$) を求める。

実験配置1

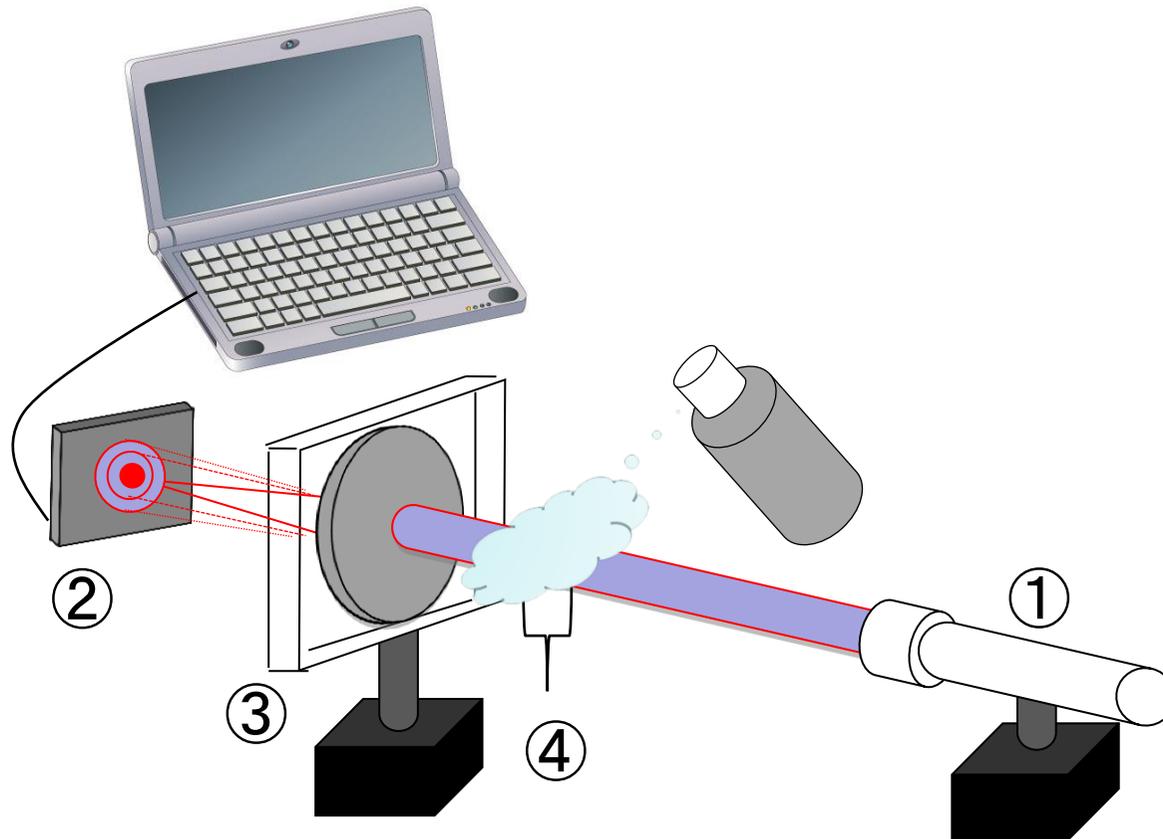


- ①光源:レーザー
- ②スクリーン
- ③粒子噴霧地点
- ④凸レンズ
- ⑤ビデオカメラ

粒径計測実験の配置図

- 大きなスクリーンが使える。

実験配置2

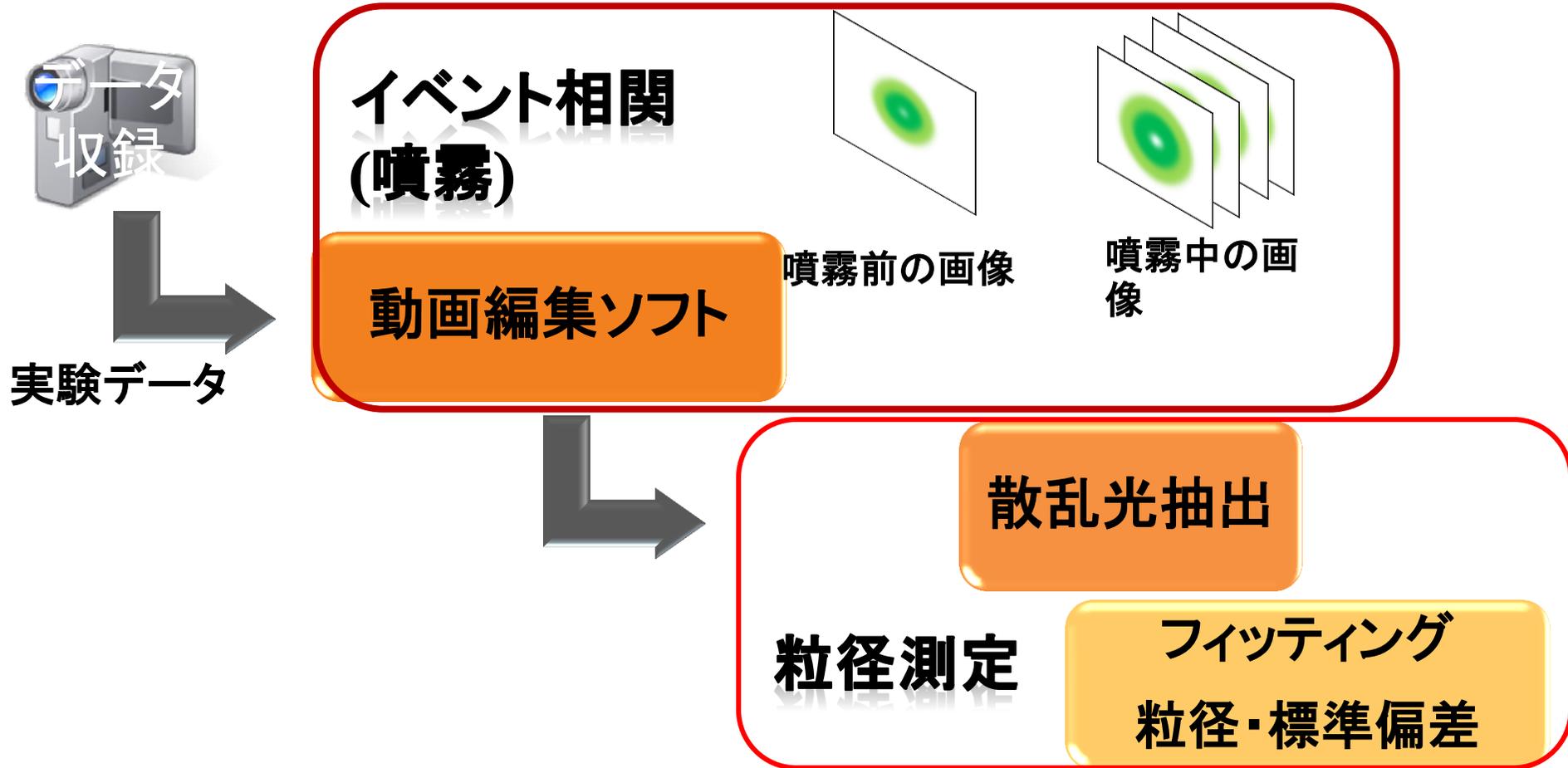


- ①光源:レーザー
- ②CMOSセンサー
- ③凸レンズ
- ④粒子噴霧地点

粒径計測実験の配置図

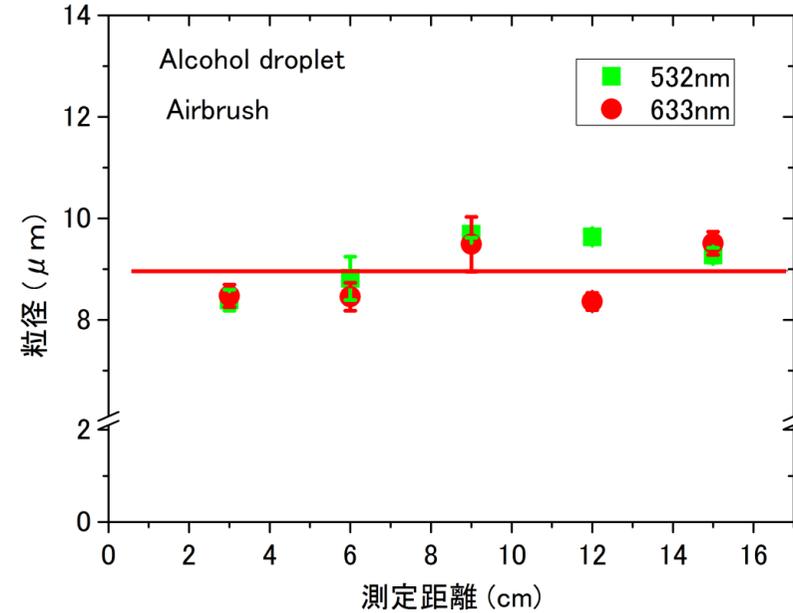
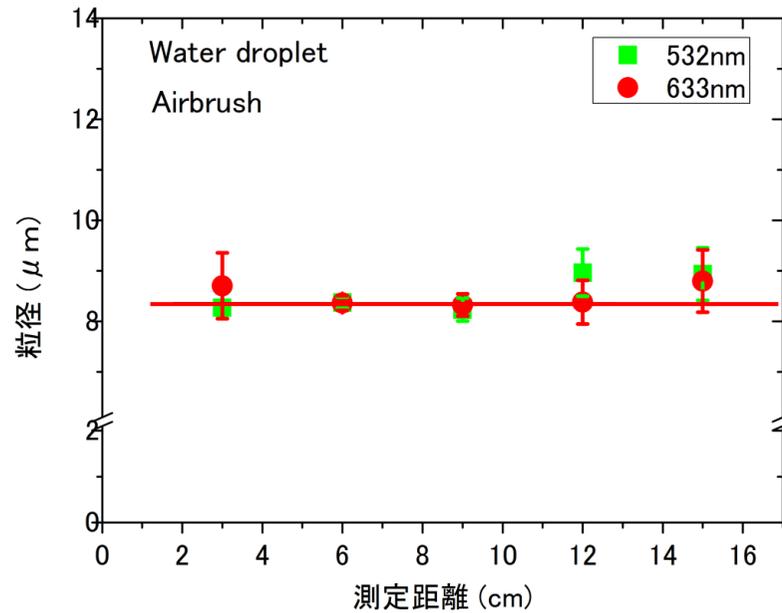
- スクリーンを使わないため、信号が大きくなる

解析手順



粒径を求める手順

水微粒子とアルコール微粒子の粒径



霧発生装置(Airbrush)による各液体微粒子粒径

水 平均粒径約8.3 μm , アルコール 平均粒径約9.0 μm

レーザー波長依存性、測定距離依存性はない。

水はアルコールより表面張力が大であることと矛盾しない

まとめ

- イベント相関イメージング法を用いた微粒子粒径測定
 - 装置の小型化
 - ノイズの多いデータに対応
 - 測定時間が短い
- 散乱光をスクリーンに映写するのではなく直接カメラに導入することで信号を増大化
- 人間の目によるオフライン観測から機械にパターン認識させるオンライン観測へ

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、微粒子を製造している装置に取り入れて、微粒子作成状況を逐次把握できるメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、低価格化の効果が得られることも期待される。
- 微粒子計測の普及や、環境対策分野に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、粒径計測について粒径 $4\mu\text{m}$ 程度の微粒子まで測定可能なところまで開発済み。しかし、PM2.5など微粒子粒径計測の点が未解決である。
- 今後、PM2.5など微粒子粒径の実験データを取得し、環境対策に適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、微粒子の濃度が低い場合においても測定技術を確立する必要もあり。

企業への期待

- 未解決のパターン認識については、OpenCVなどの画像プログラミング技術により克服できると考えている。
- 水微粒子、アルコール微粒子以外の微粒子を提供できる企業との共同研究を希望。
- セミドライ加工を開発中の企業、薄膜へのドーピングなどの分野へ展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：
粒径測定装置および粒径測定方法
- 出願番号：特願2013-156632
- 出願人：学校法人東洋大学
- 発明者：椿光太郎、荒井政彦

お問い合わせ先

東洋大学

知的財産・産学連携推進センター(研究協力課)

TEL 03—3945 — 7564

FAX 03—3945 — 7906

e-mail ml-chizai@toyo.jp