

# 市販のデジカメを使用した 携帯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可搬型装置を開発した。**
- 微粒子の回折光パターンを観測・解析することにより微粒子粒径を求めるもの。
- 従来のこの種の装置に比べ次の特徴を持つ。
  1. 光計測に民生用カメラを用いた装置。
  2. 微弱な回折光パターンを抽出する機能。(イベント相関イメージング法)
  3. 回折光パターン半径を自動的に測定する機能。

# 従来技術

- 微粒子

- 液体 水滴(虹、小雨、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, 煙



- 微粒子粒径測定:

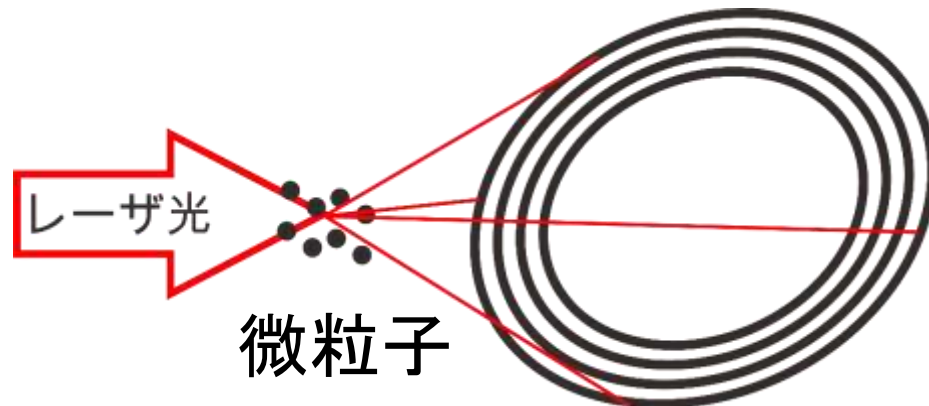
1. 微粒子顕微鏡写真観測(画像イメージング法)
2. 微粒子落下速度測定(重力(遠心)沈降法)
3. 動的光散乱法
4. レーザ回折法

# 従来技術

- レーザ回折法

- レーザを入射して微粒子により回折される光(前方光はリング形状を呈する)を観測することにより粒径を測定する方法。
- サブミリからミクロンサイズの粒径測定が可能。
- 効率的測定が可能。

レーザー光が微粒子により前方に回折される様子



# 水滴の回折光リング( $\lambda=532 \text{ nm}$ )





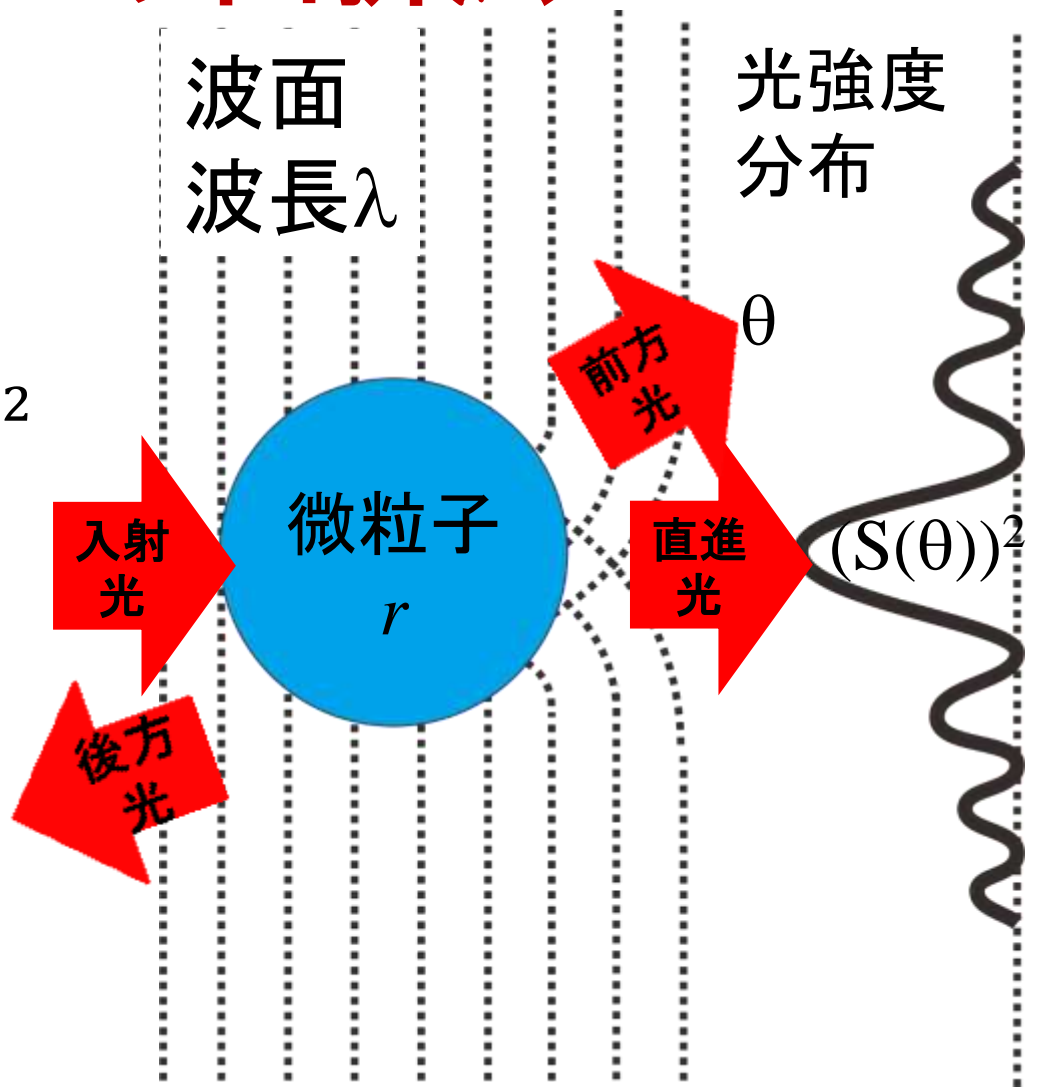
# 従来技術 レーザ回折法

- 光強度分布  $(S(\theta))^2$

$$(S(\theta))^2$$

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

- 前方光  $\theta \approx 0$   $S^2 \propto r^4$   
微粒子では回折光強度が弱い
- 後方光  $S^2 \propto r^2$   
微粒子粒径計測で使われる



入射光 (波長 $\lambda$ )が水滴(半径 $r$ )により前方および後方に回折される様子(回折角 $\theta$ )

# 従来技術の問題点

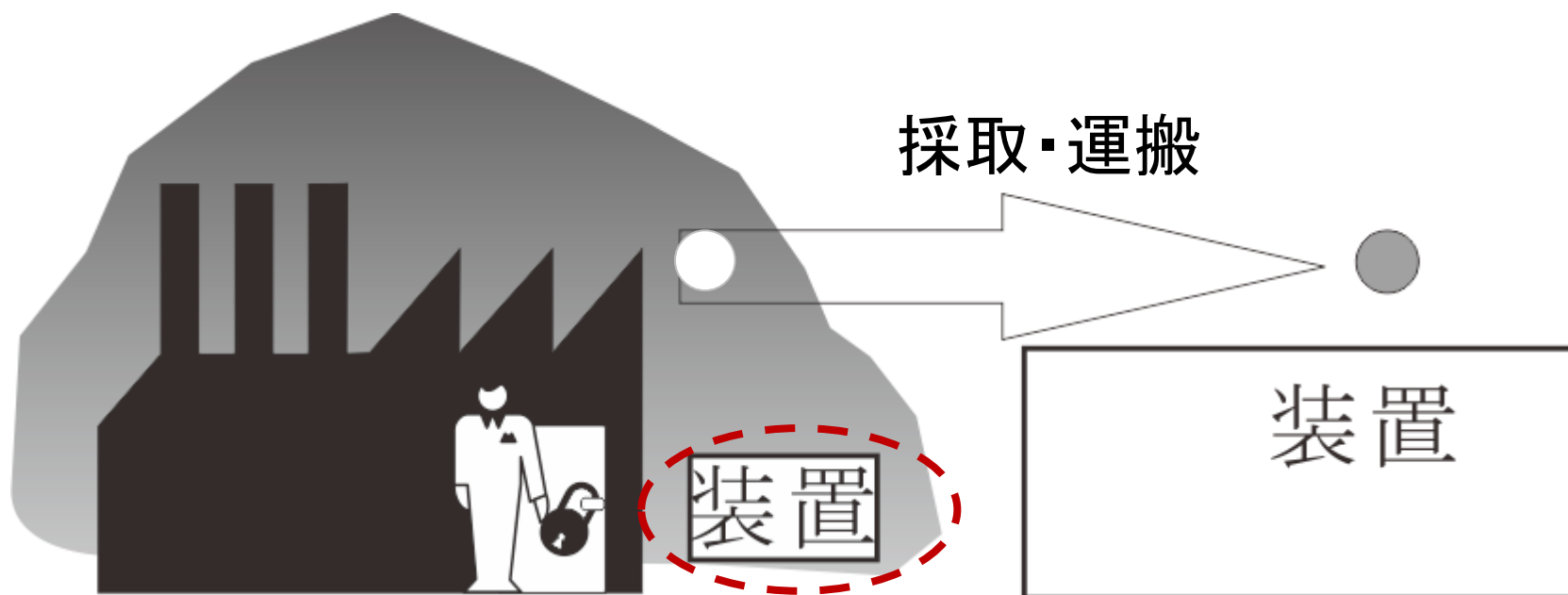
- 後方光には目印の光がない。(前方光にはある。)
- 測定系には変形しない強固さが必要になる。
- 被測定物である微粒子を装置内の暗室に運ぶ必要がある。



- 装置が大きい。設置場所の自由度が小さい。
  - 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

- 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」ことを改良した。
- 「微粒子のある場所での粒径測定」に成功した。





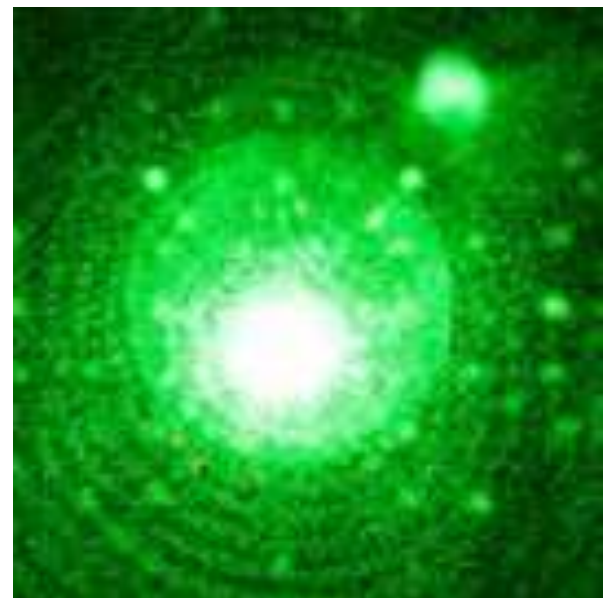
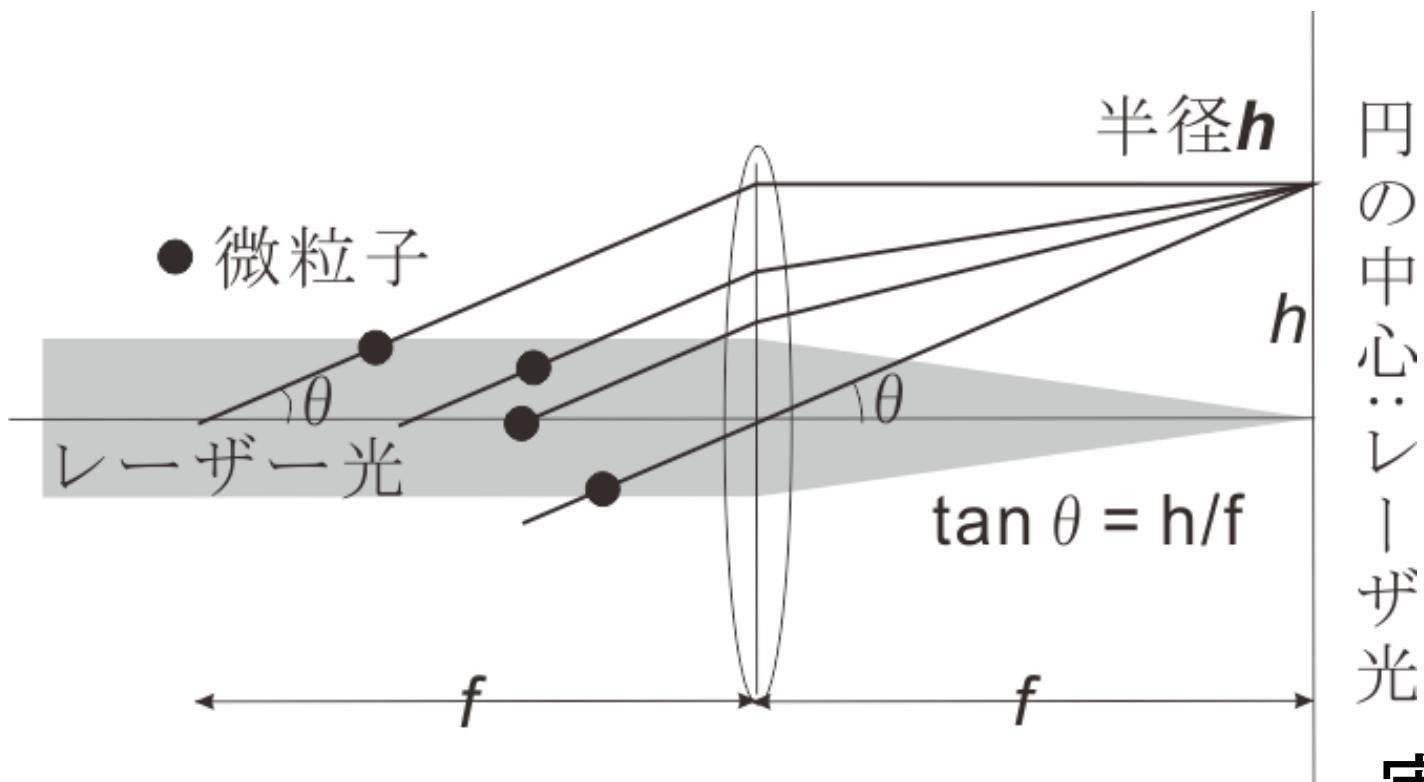
# 新技術のポイント

- ① 前方光(回折光リング)の光計測に民生用カメラを利用。
- ② 微弱光信号観測が可能になるイベント相関イメージング法の開発。
- ③ 前方光(回折光リング)の半径の自動計測。

# 前方光(回折光リング)の特徴

- 目印(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。
- 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ある。

# イメージセンサーによる回折光リング計測



円の中心  
レーザー光

実測パターン

レーザー光 円の中心



位置合わせが簡単。

回折光パターン計測を説明する図

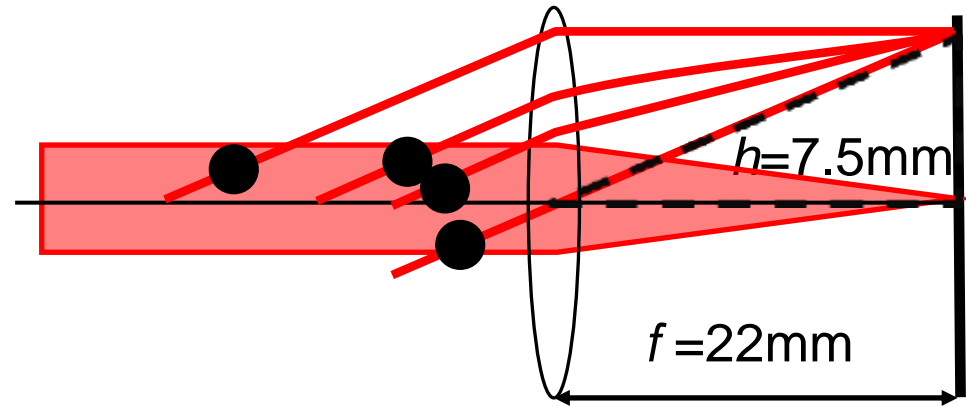
# 観測可能な最小粒径の見積もり

- 観測可能最大回折角  $\theta_{\max}$

レンズ  $f = 22 \text{ mm}$ , センサー ASP-C ( $23\text{mm} \times 15\text{mm}$ )

$$\tan \theta_{\max} = h/f = 7.5/22 = 0.34$$

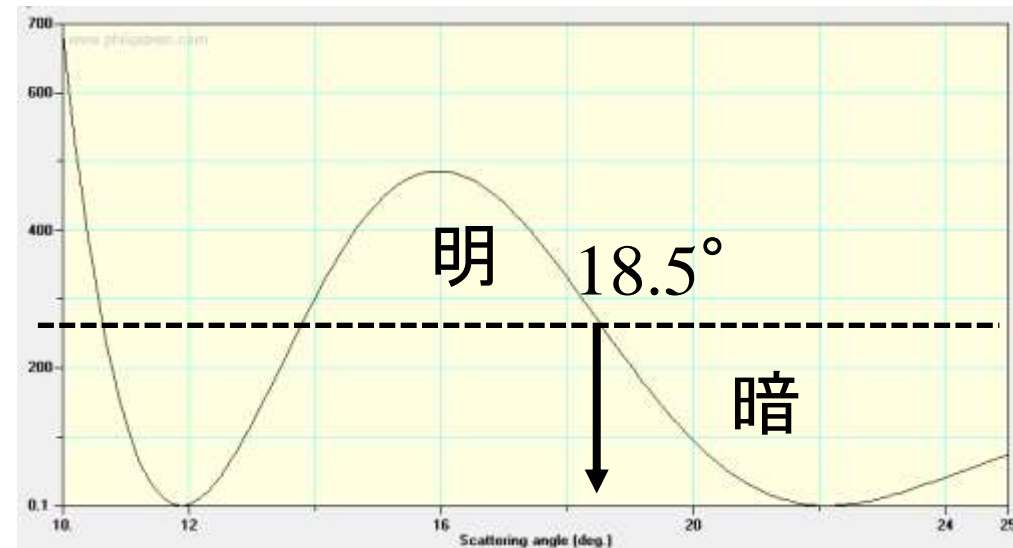
$$\theta_{\max} = 18.8^\circ$$



- 観測可能最少粒径 ( $d$ ) シミュレーション 波長  $\lambda = 405\text{nm}$

$d = 2.4\mu\text{m}$  明部  $\rightarrow$  暗部境界  $\theta = 18.5^\circ$

観測可能最少粒径は  $2.4\mu\text{m}$ .

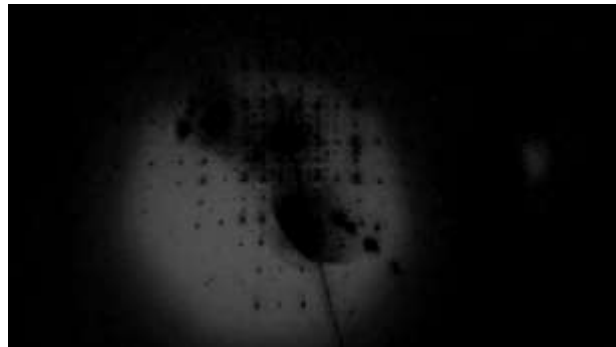


微粒子 ( $d = 2.4\mu\text{m}$ ) のシミュレーション

- 測定例

線香煙の例

粒径  $2.4\mu\text{m}$

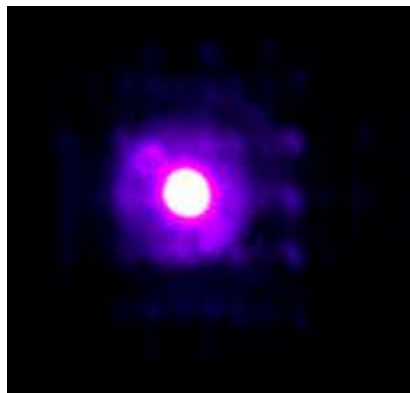


# 新技術のポイント

- ① 前方光(回折光リング)の光計測に民生用カメラを利用。
- ② 微弱光信号観測が可能になるイベント相関イメージング法の開発。
- ③ 前方光(回折光リング)の半径の自動計測。

# イベント相関イメージング法

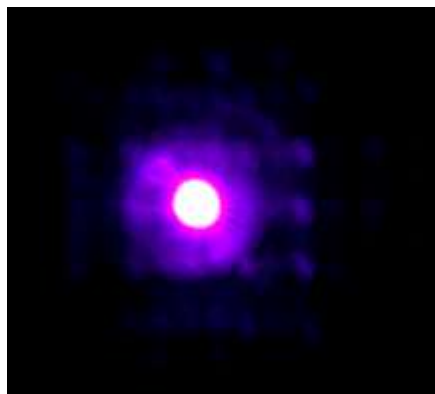
A



$C=A-B$



B



微粒子の回折光リングの抽出

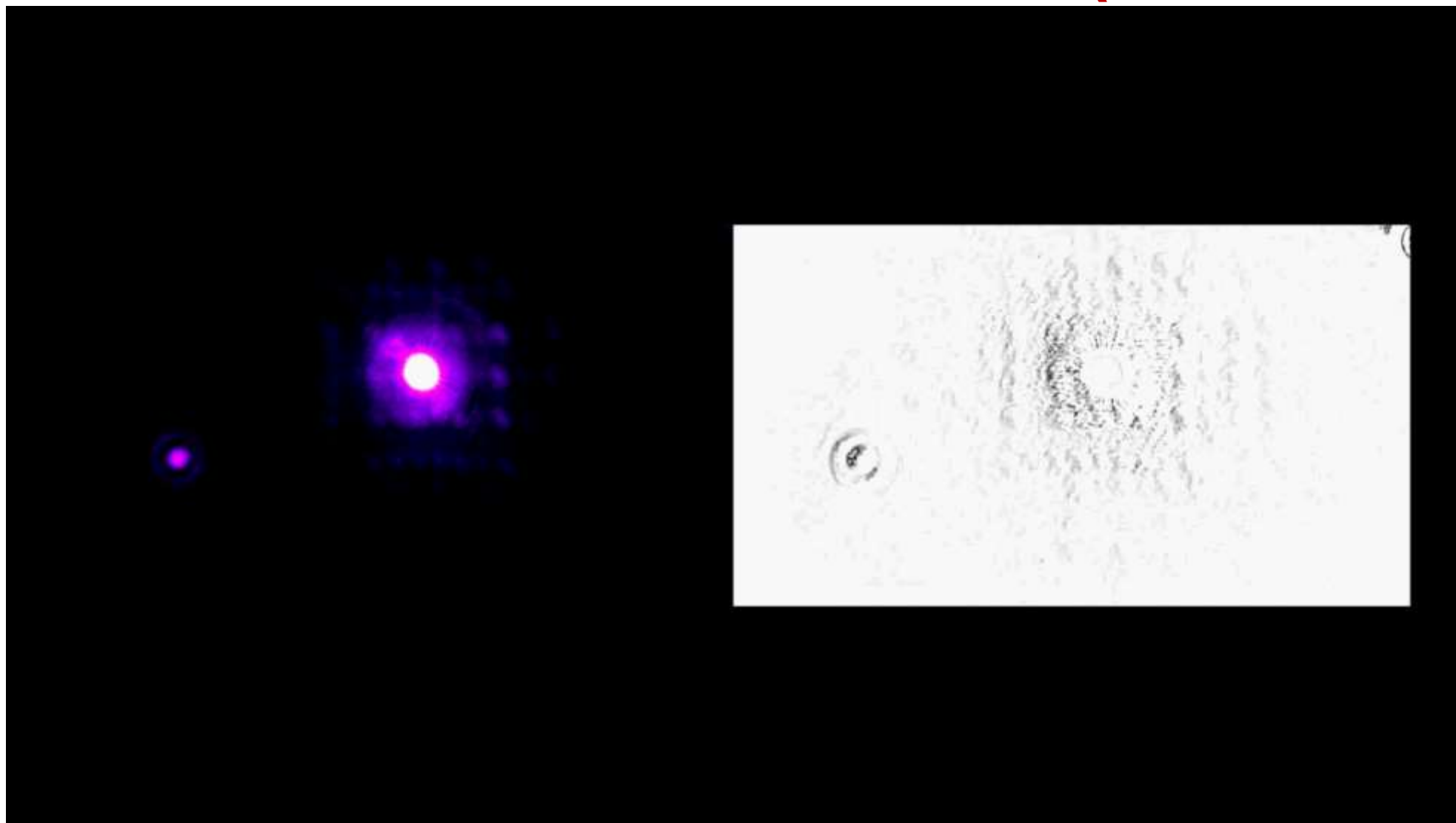
A 微粒子がないとき

B 微粒子があるとき

C 微弱な回折光を抽出 (A-B)



# イベント相関イメージング法 ( $\lambda=405\text{nm}$ )



イベント相関イメージング処理により、回折光リングが抽出される。

# 新技術のポイント

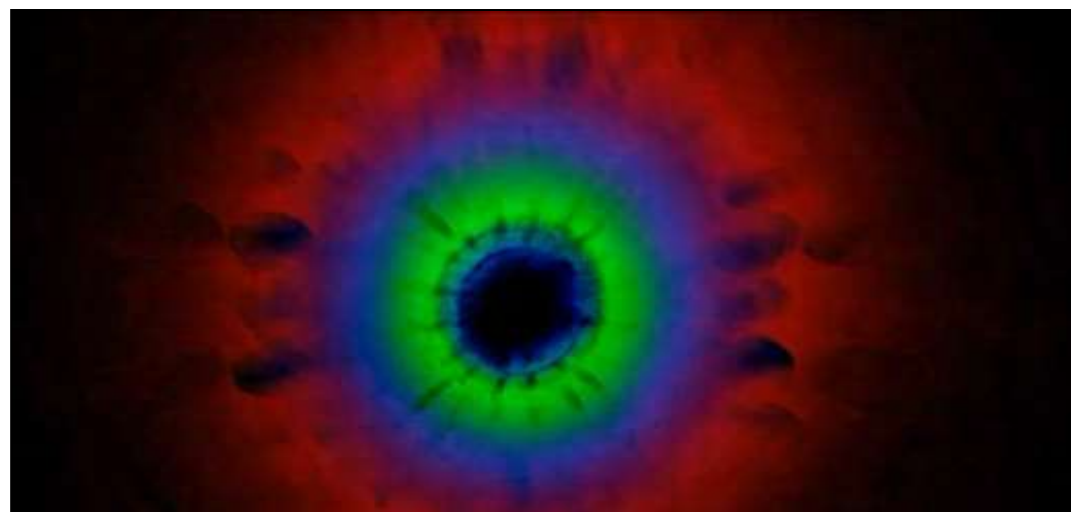
- ① 前方光(回折光リング)の光計測に民生用カメラを利用。
- ② 微弱光信号観測が可能になるイベント相関イメージング法の開発。
- ③ 前方光(回折光リング)の半径の自動計測。

# 粒子径の算出

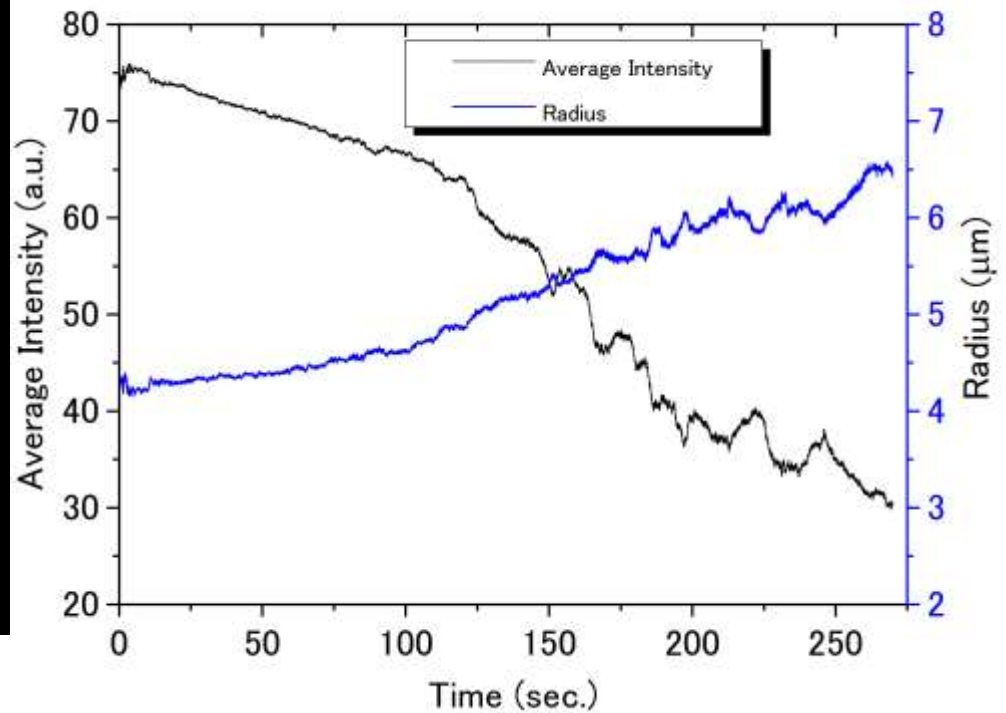
水微粒子の回折光リング

円を認識するプログラム

1. 円形パターンの抽出。
2. 画像認識プログラムによる円の半径の計測。
3. 半径を算出  
(処理速度 毎秒5回)



# 水微粒子の時間変化 (約10分 → 20秒 32倍速)



1. 水微粒子 注入 (0~8秒)
2. 注入終了 → 水微粒子成長 (8~16秒)
3. 水微粒子落下 (16~22秒)

水微粒子成長の時間変化  
衝突併合モデル



# まとめ

- 微粒子粒径を測定する可搬型装置を開発した。
  - 測定原理：微粒子の回折光リングから粒径を求めるもの。
- 特徴
  - 民生用カメラを用いた装置。
  - 微弱な回折光リングを分離する機能。
  - 回折光リング半径の自動測定。

# 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

- 微粒子の濃度が低い場合や高い場合においても測定技術を確立する必要がある。
- 微粒子濃度の計測についてはこれからの課題である。
- 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。

# 企業への期待

- 各種微粒子を提供できる企業との共同研究を希望。
- 大気中微粒子検知システムを開発中の企業、塗装工程の監視が必要な企業、セミドライ加工を開発中の企業、薄膜へのドーピング等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 : 微粒子粒径自動測定装置  
出願番号 : 特願2015-85131
- 出願人 : 東洋大学
- 発明者 : 椿 光太郎
  
- 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2014-138358
- 出願人 : 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**  
**産官学連携推進センター**

**TEL 03-3945-7564**

**FAX 03-3945-7906**

**e-mail ml-chizai@toyo.jp**