



東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo



西華産業株式会社
SEIKA CORPORATION

東京大学生産技術研究所 記者会見

デジタルホログラフィー技術を使って マイクロ流れの3D測定に成功

東京大学生産技術研究所・教授
東京大学生産技術研究所・特任助教
ウシオ電機(株)技術統括部・課長
ウシオ電機(株)技術統括部

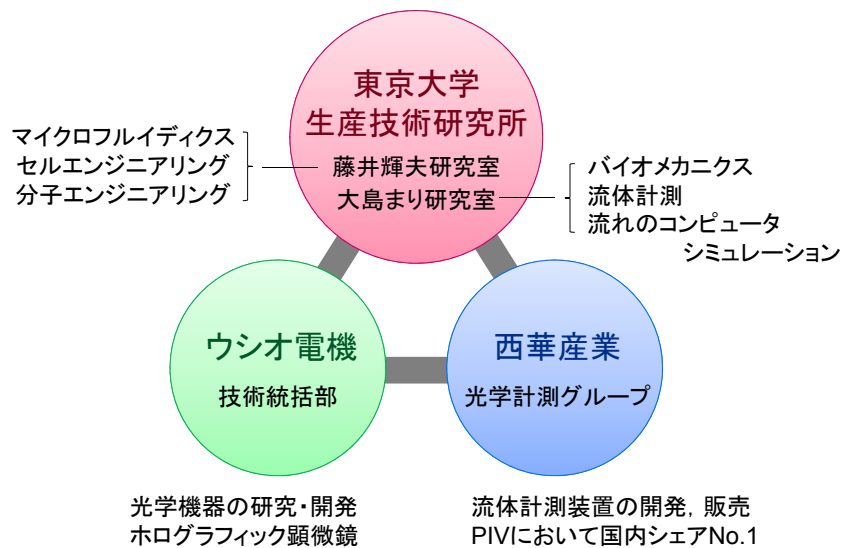
藤井輝夫
木下晴之
本 篤志
松尾 司

発表内容

- 概要
- 開発した技術のご紹介
- 今後の展開について
- 質疑応答
- 装置のご紹介とデモ

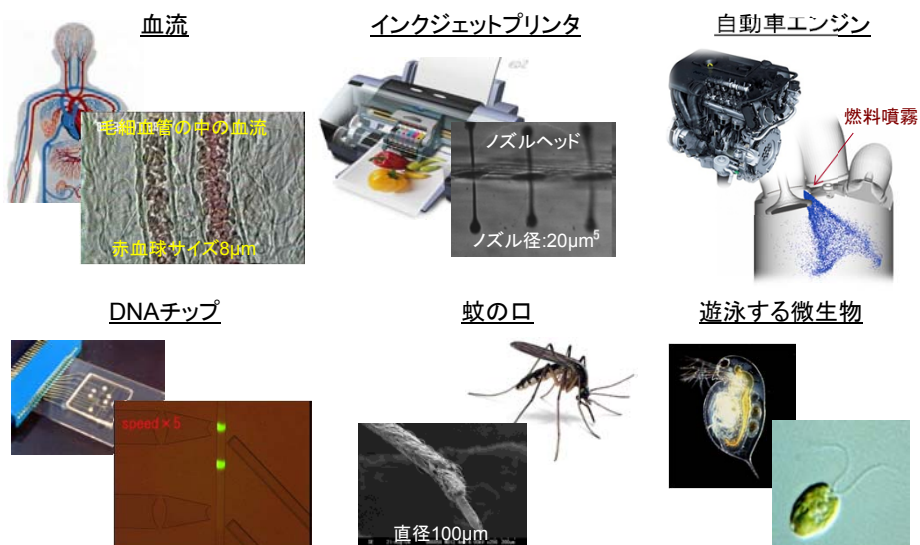
新しいマイクロ流れ計測ツールDHM-PTV*を開発 ³

* Digital Holographic Micro-Particle Tracking Velocimetry



マイクロ流れとは ⁴

1 μ m (1fL) 以上, 1mm (1 μ L) 以下のスケールの流れ



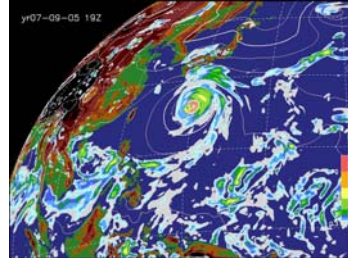
流れ

5

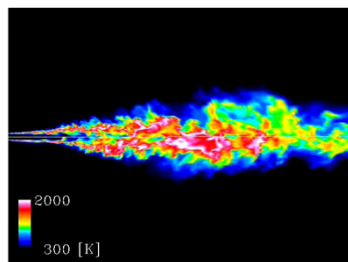
自動車模型のまわりの流れ



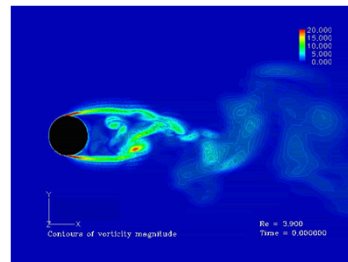
大気の流れ



ガスバーナー出口の燃焼流れ



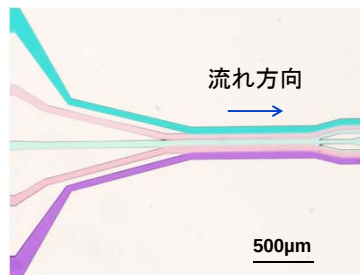
円柱周りの流れ



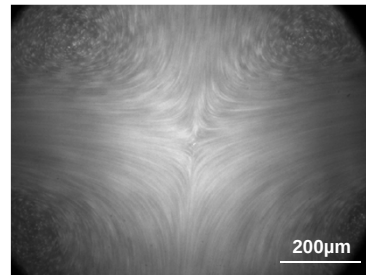
マイクロ流れ

6

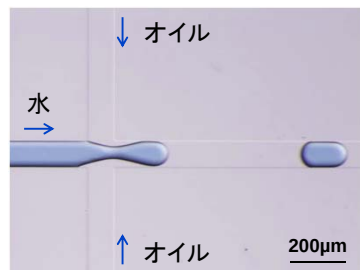
5液を合流させると...



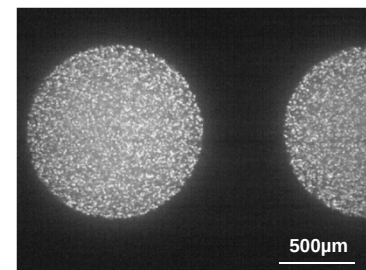
チャンバー内の流れ



オイル中に水を流すと...



水滴の中にも流れが...



目的

7

マイクロ流れ3次元測定ツール**DHM-PTV***の開発

流れ現象の解明



現象の有効利用



設計指針・最適化

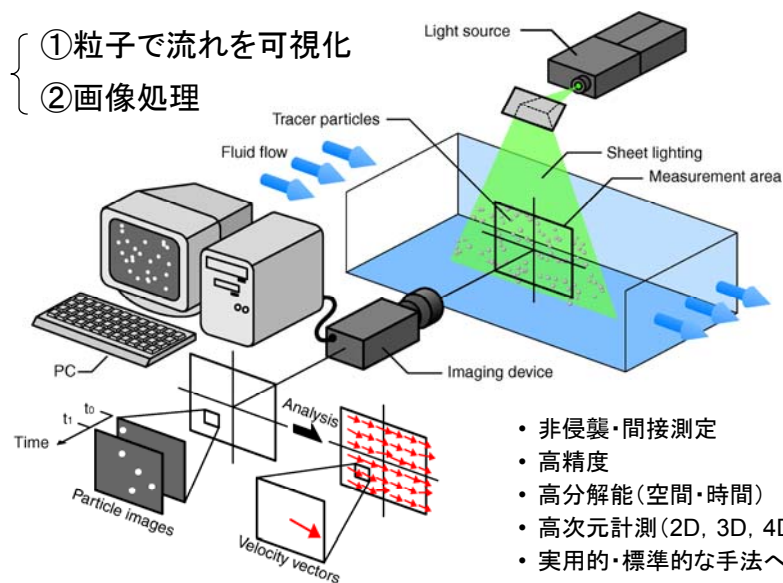
* Digital Holographic Micro-Particle Tracking Velocimetry

流れを測定する方法: PIV

8

Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法(1980's~)

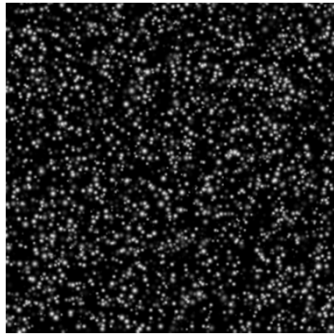
- ① 粒子で流れを可視化
- ② 画像処理



PTVとPIV

9

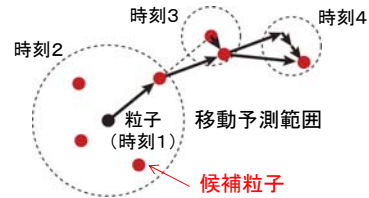
粒子画像



4フレームだけ表示

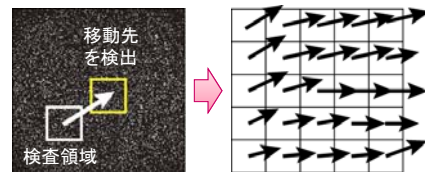
PTV(追跡法)

Particle **Tracking** Velocimetry



PIV(相関法)

Particle Image Velocimetry

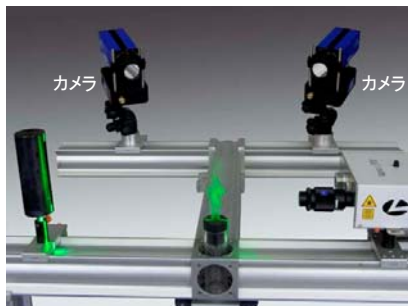


3次元でPIV/PTVをするには？

10

撮影光学系を工夫

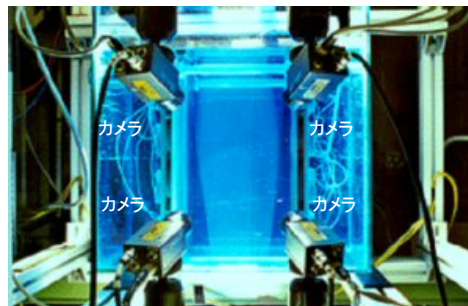
2方向から撮影してステレオ視



(LaVision社)

Stereo-PIV

4方向から撮影して立体視



(ETH)

3D-PTV

いかにして粒子の3次元空間分布をとらえるか

マイクロスケールでは？

顕微鏡光学系を用いてPIV → *Micro-PIV*



(LaVision社)



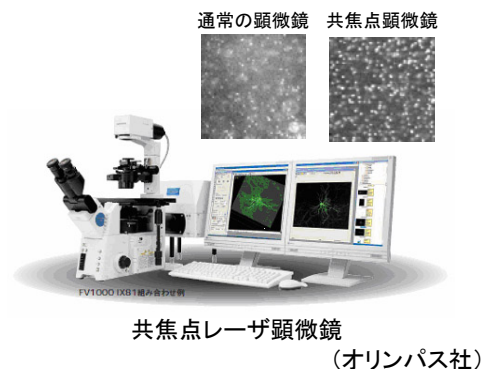
(東大生研・西華産業)

Micro-PIVの弱点

- 光学顕微鏡で観察できるのは2次元投影像のみ(2次元断面像ですらない)
- 共焦点を使っても、ある2次元平面内のみの撮影
- 光学系の工夫やカメラ配置の限界



一般的な光学顕微鏡



3次元測定が非常に難しい

マイクروسケールで3次元PIV/PTVをするには¹³

立体視できる特殊な光学顕微鏡を利用

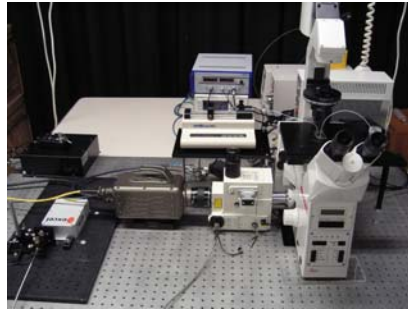
実体顕微鏡でステレオ光学系を構築



(LaVision社)

Stereo Micro-PIV

高速共焦点顕微鏡を利用



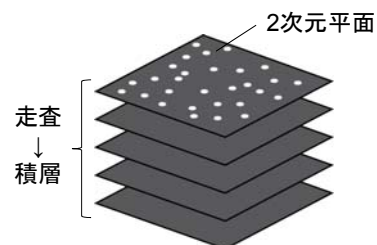
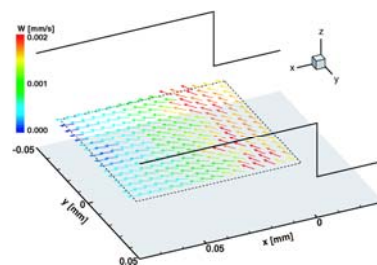
(東大生研・西華産業)

Confocal Micro-PIV
(共焦点)

課題: 走査が必要

14

- ステレオ視しても3次元測定できるのは、ある2次元断面内の流速分布のみ
- ステレオや共焦点で3次元空間を撮影・測定するには空間を走査(スキャン)しなければならない



瞬間の3次元流速分布を測定できない
変化する流れに対応できない

その他の課題

15

共焦点

- 面内の走査も必要
- 作動距離が短い
- 複雑な光学系

ステレオ

- カメラ校正が必要
- 高倍率に対応できない
- 複雑な光学系



真の3次元測定へ
より簡単な方法を
もっと実用的な方法を

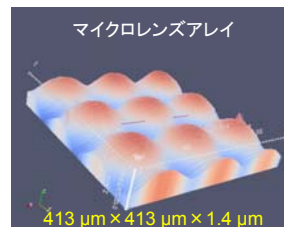
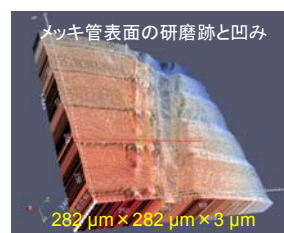
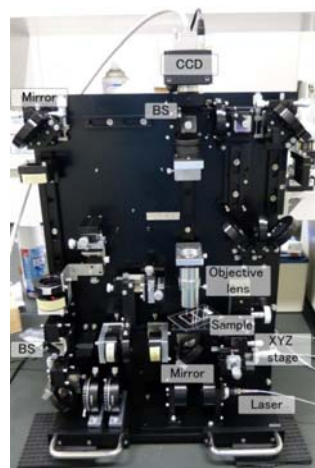


デジタルホログラフィー技術を応用

デジタルホログラフィック顕微鏡

16

ウシオ電機(株)が開発中



微小構造物の3次元形状を測定できる

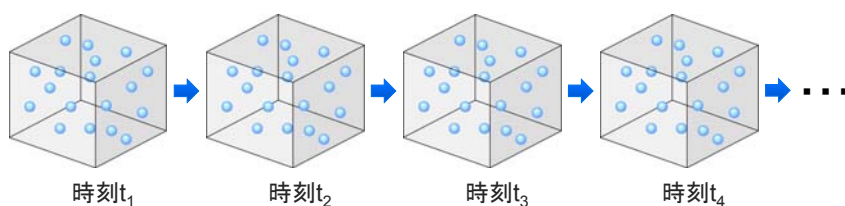
デジタルホログラフィック顕微鏡

17

たった1枚のホログラム画像から
微小構造物の3次元形状を測定できる



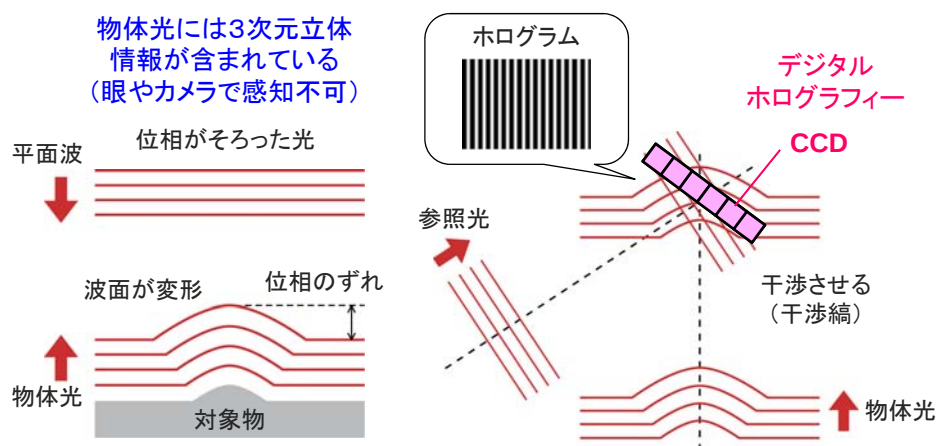
ある瞬間の粒子の3次元空間分布を
立体的にかつ時系列でとらえられるはず



DHM-PTV

ホログラフィー

18

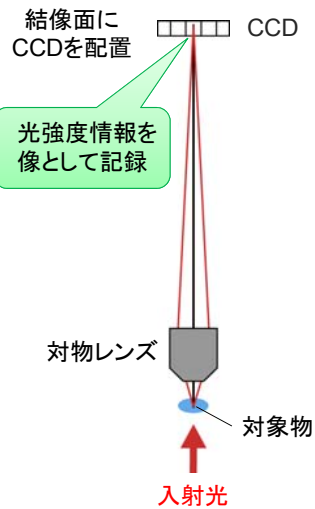


眼やカメラで感知できない光の**位相情報**を、参照光と干渉させて
強度情報に変換して記録し、再生することにより立体像を得る

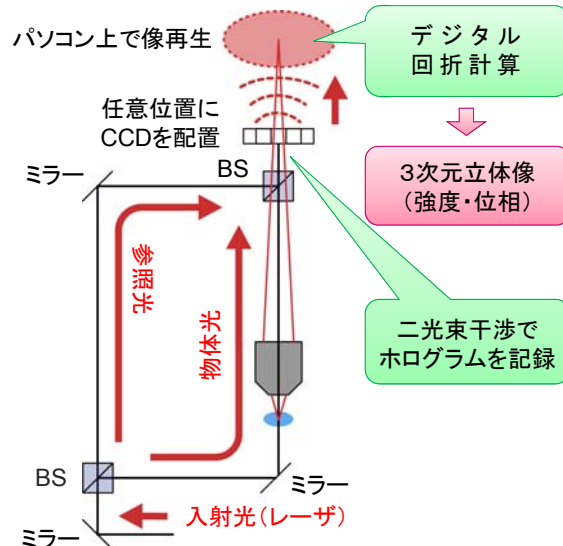
デジタルホログラフィック顕微鏡

19

通常の光学顕微鏡



デジタルホログラフィック顕微鏡



1枚のホログラムに立体情報を記録

20

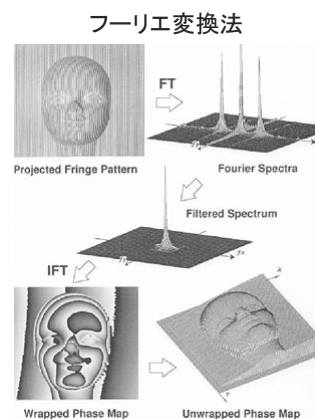
オフアキシス方式

物体回折光に対し、参照光角度をわずかに傾けることで、0次光や共役像の影響を除去する効果を持つ、ホログラム記録方式



フーリエ変換法

物体に投影された縞情報から、フーリエ変換により必要な形状データを抽出する手法

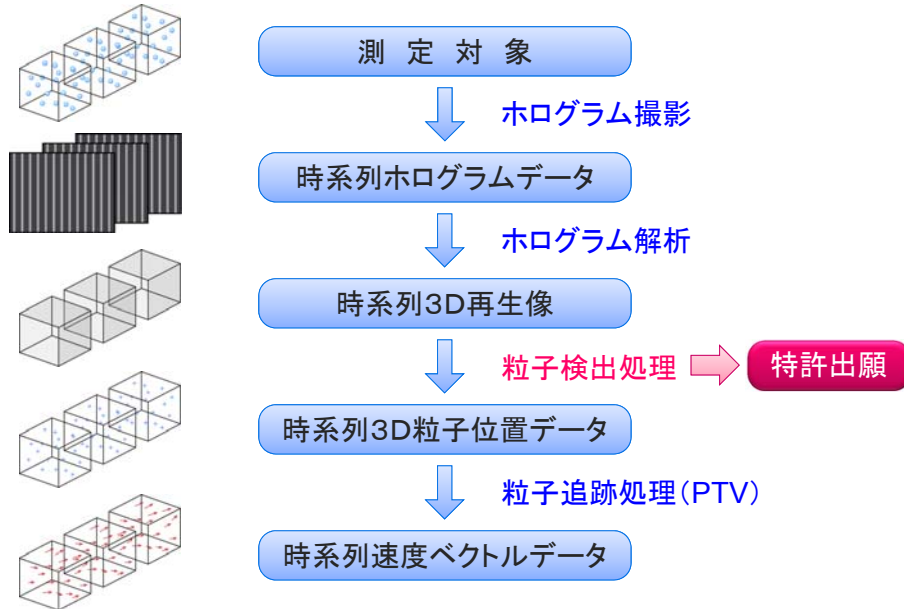


(M. Takeda et al., 1982)

たった1枚のホログラム画像から3次元立体情報を抽出

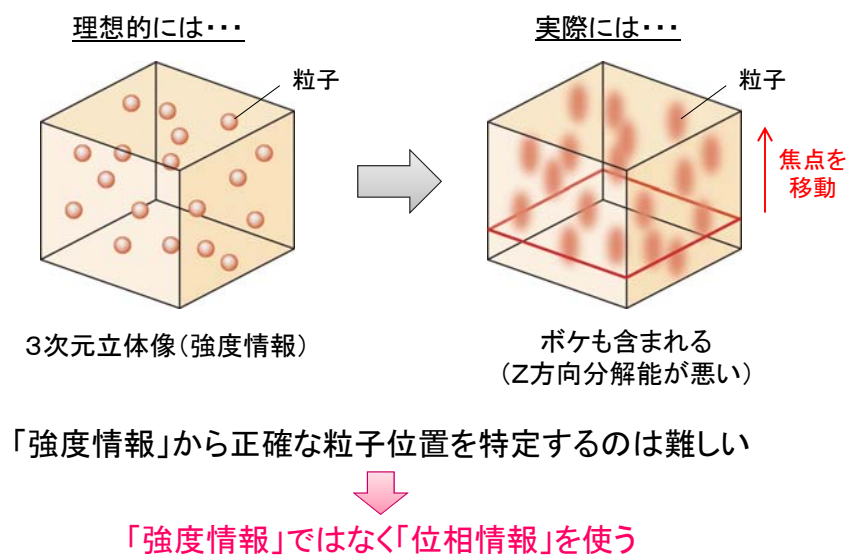
流速算出のための解析手順

21



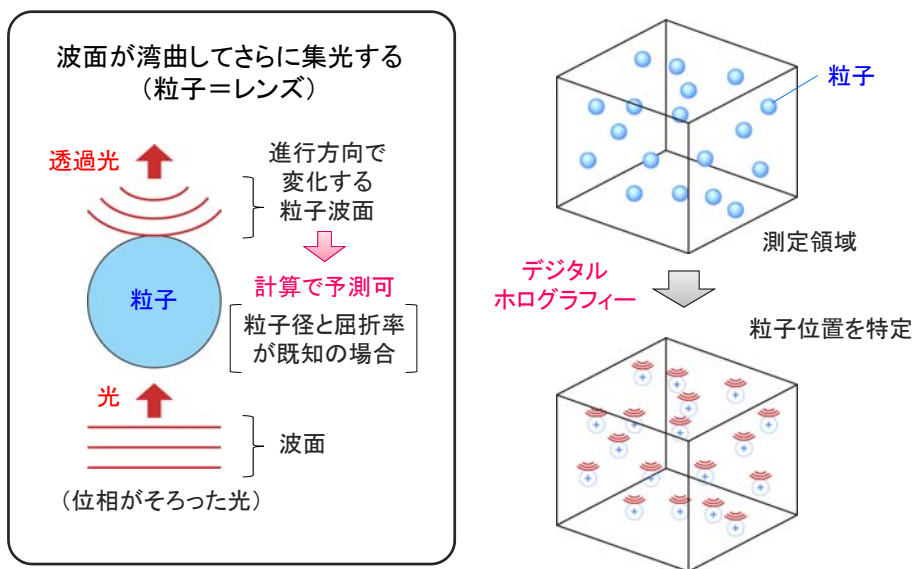
粒子位置検出アルゴリズム

22



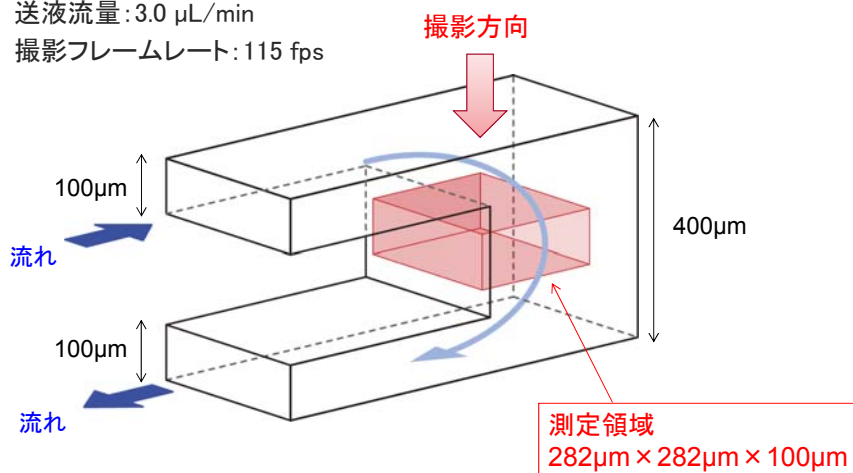
高精度粒子位置検出アルゴリズム

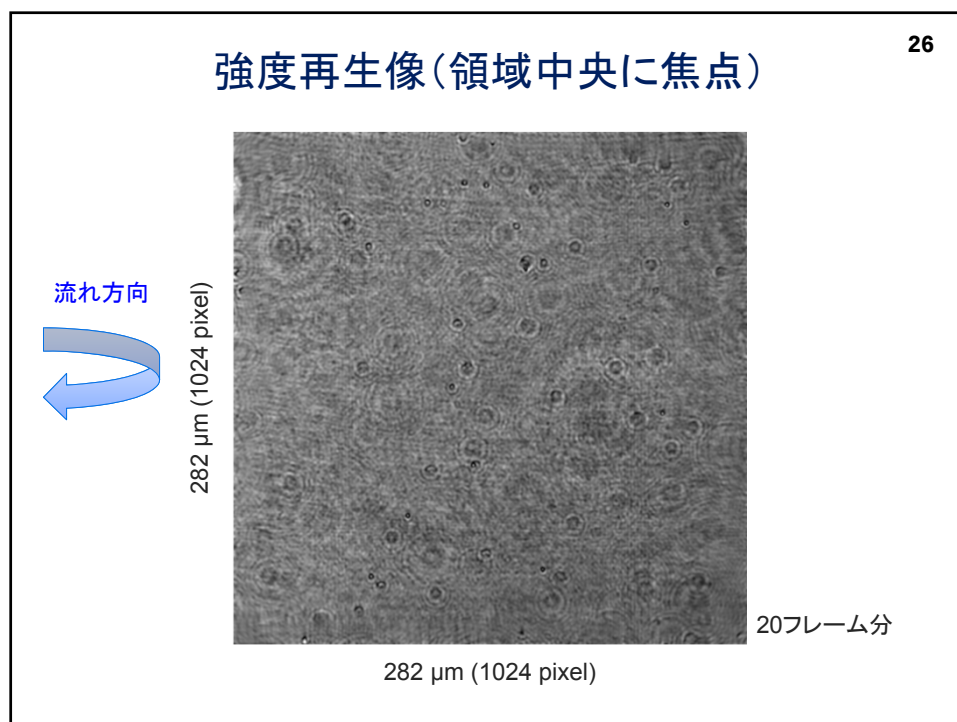
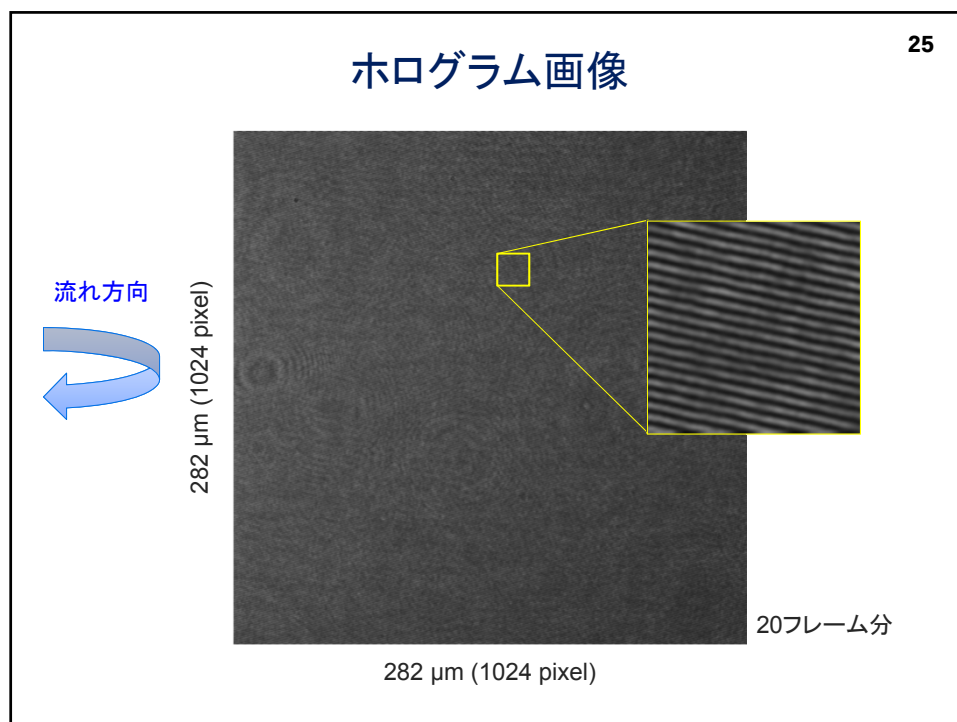
(特許出願中)



測定実験

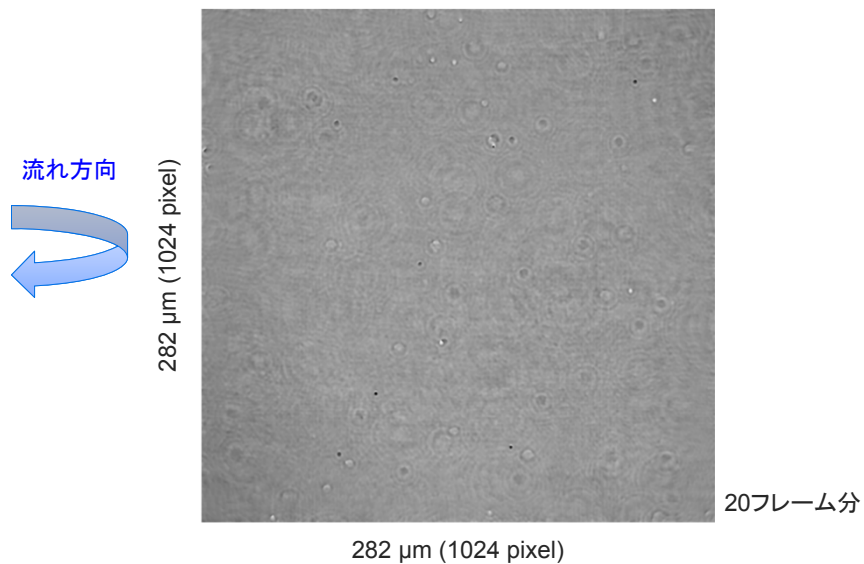
- 作動流体: イオン交換水
- トレーサ粒子: ポリスチレン粒子 (直径 $2\ \mu\text{m}$, 体積割合 0.005%)
- 送液流量: $3.0\ \mu\text{L}/\text{min}$
- 撮影フレームレート: $115\ \text{fps}$





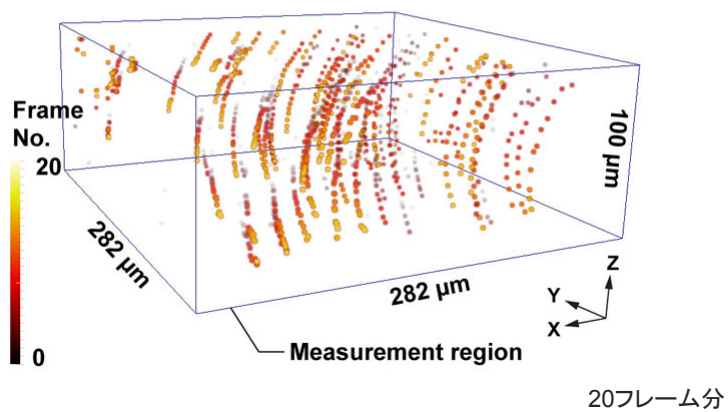
位相再生像(領域中央に焦点)

27



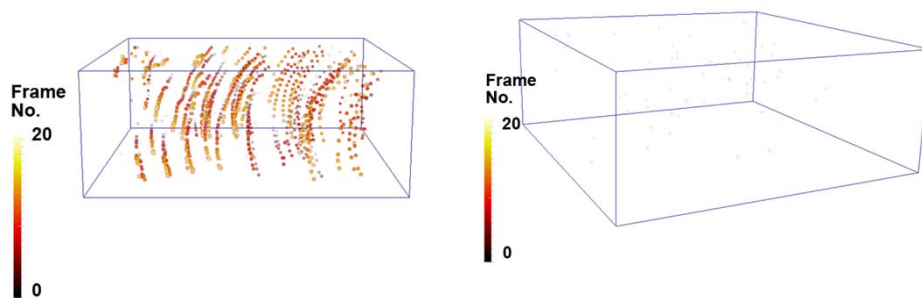
粒子の軌跡

28



粒子の軌跡

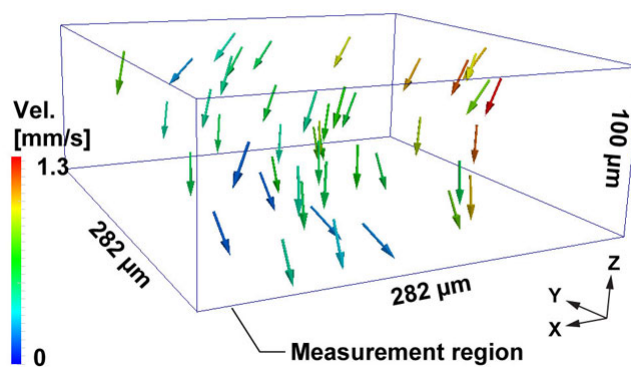
29



20フレーム分

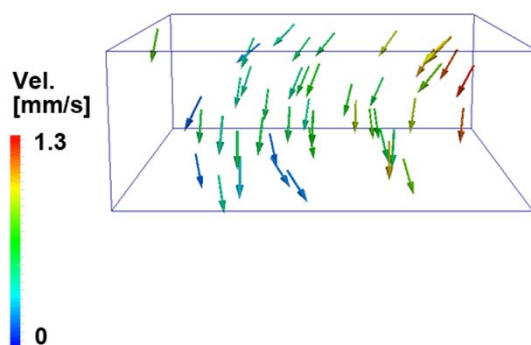
流速分布

30



流速分布

31



DHM-PTV仕様

32

- 対物レンズ: M Plan Apo 20X, NA=0.42(ミツトヨ社)
- トレーサ粒子: ポリスチレン粒子, 直径2 μm
- 最適粒子濃度: 0.005%(体積割合)
- カメラ撮影フレームレート: 最大115 fps
- フレーム露光時間: 0.8 ms



- 測定領域: 282 μm $\times$ 282 μm $\times$ 282 μm (最大)
- 測定分解能: 0.03 μm $\times$ 0.03 μm $\times$ 0.1 μm (粒子移動距離換算)
- 測定可能流速範囲: <250 $\mu\text{m/s}$
- 作動距離: 33.5 mm

残された課題

33

- 測定分解能・精度の検証
- 高速度化（高速度カメラの利用）
- 解析ソフトウェアと顕微鏡システムの改良

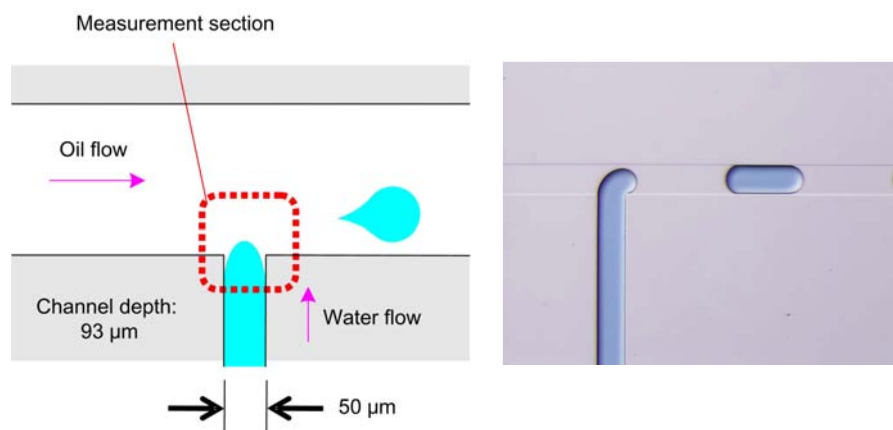
その他の応用例

34

1枚のホログラム画像から微小構造物の
3次元形状を測定できる

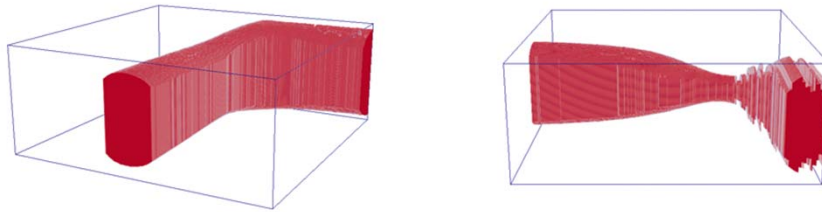


ダイナミックに変化する微小構造物の形状測定



微小液滴の形状測定

35



今後の展開

36

- 特許出願
 - － 粒子検出手法を特許出願済み(特願2012-185890)
- 学会発表
 - － 可視化情報学会全国講演会(10/4-5, 姫路)で発表
 - － The 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2012)(10/28-11/1, 沖縄)で発表と機器展示
- 製品化
 - － 「DHM-PTV装置」として製品化予定(西華産業)
 - － 「微小構造形状測定装置」として製品化予定(ウシオ電機)

本日の発表資料について

下記URLからダウンロードできます。

<http://www.microfluidics.iis.u-tokyo.ac.jp/release/>

質疑応答

装置のご紹介とデモ