

平成24年9月21日

報道関係者 各位

東京大学生産技術研究所

## 東京大学生産技術研究所記者会見開催のお知らせ

### 「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」

1. 発表日時：

平成24年9月28日（金）14:00～15:00（受付開始 13:30）

2. 発表場所：

東京大学生産技術研究所 総合研究実験棟 An 棟 3F 大会議室（An301、302）  
〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1 駒場リサーチキャンパス  
<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/access/access.html>（参照）

3. 発表者：

東京大学生産技術研究所

藤井 輝夫（教授）

木下 晴之（特任助教）

ウシオ電機株式会社 技術統括部

本 篤志（課長）

松尾 司

4. 発表ポイント：

①成果

これまで測定できなかった微小空間における3次元的な流れ場の流速分布を3次元かつ時系列で測定できた。

②新規性

微小空間を流れる微小粒子の3次元位置を高精度で特定するデジタルホログラフィック解析アルゴリズムとそのためのデジタルホログラフィック顕微鏡を新たに開発した。

③意義／将来展望

インクジェットノズルの高速噴流の解析、毛細血管内の血流計測など、学術分野から産業分野まで、微小空間における熱流体現象に関わる様々な用途へ適用することができるため、今後、幅広い活用が期待される。

## 5. 発表概要：

東京大学生産技術研究所（藤井輝夫教授、大島まり教授）、ウシオ電機株式会社および西華産業株式会社は、微小スケールにおける流体の流動（マイクロ流れ（注1））を3次元測定できる、新しい流速分布測定法「DHM-PTV（Digital Holographic Micro-PTV）」を開発した。毛細血管の血流のような微小空間で立体的な経路をとるマイクロ流れの解析には、流速の3次元的な測定が必要である。空間の流速分布測定には、目印となるトレーサ粒子（流れに乗って移動する粒子）の動きから流速を測定するPTV（Particle Tracking Velocimetry）（注2）という測定法が有効だが、観察に用いられる通常の光学顕微鏡では2次元投影像しか観察できないことが、マイクロ流れ測定の大きな障壁であった。

今回、研究グループは、形状を立体撮影できるデジタルホログラフィー技術（注3）を用いて、トレーサ粒子の3次元空間位置をとらえることに成功した。彼らは、独自のデジタルホログラフィック顕微鏡を構築し、さらに粒子重心位置検出に特化したホログラム解析アルゴリズム（特許出願中）を考案した。本手法を実際のマイクロ流れに適用したところ、流れるトレーサ粒子群の重心位置を時系列にかつ立体的に測定することに成功、さらに、その粒子群の3次元移動速度、つまり3次元流速分布を得ることに成功した。この技術を使えば、様々なマイクロ流れの3次元測定が可能になるため、今後、マイクロリアクター内における複雑な熱流体现象の解明や、インクジェットノズルから噴き出す高速噴流の解析、毛細血管内の血流計測など、学術分野から産業分野まで幅広い活用が期待される。

## 6. 発表内容：

東京大学生産技術研究所（藤井輝夫教授、大島まり教授）、ウシオ電機株式会社および西華産業株式会社は、微小スケールにおける流体の動き（マイクロ流れ）を3次元で測定できる流速分布測定法「DHM-PTV（Digital Holographic Micro Particle Tracking Velocimetry）」を新たに開発した。その基本原理はPTV

（Particle Tracking Velocimetry、粒子追跡法）と呼ばれる粒子画像流速測定法の一つに基づいている。PTVでは、あらかじめ流体中に微小な粒子（トレーサ粒子）を分散させておき、その粒子が流れに乗って移動する様子をビデオカメラで撮影。次に、撮影された粒子画像を画像解析し、各粒子の重心位置を検出、フレーム間における各粒子の移動距離を算出することによって、粒子移動速度、すなわち流速を求める方法がPTVである。しかし、マイクロ流れを対象とした場合、通常の光学顕微鏡では2次元投影像しか観察・撮影ができないため、トレーサ粒子が奥にあるのか手前にあるのか判別が難しく、トレーサ粒子の正確な3次元空間位置を定量的に検出することができない。したがって、これまではマイクロ流れをPTVで3次元的に測定することは難しいとされてきた。

そこで私たちの研究グループは、微小スケールでも立体形状を撮影できるデジタルホログラフィー技術に着目した。デジタルホログラフィーとは、物体光を参照光と干渉させることで、光の位相情報（対象までの距離の違い）を強度情報としてデジタルカメラに記録し、そのデジタル画像を使って、デジタル空間で光の回折計算を行うことで物体までの距離、すなわち物体の立体形状を測定、再現する技術である。このホログラフィー技術を使えば、マイクロ流れに混入させたトレーサ粒子の空間分布情報を立体的に測定できるのではないかと考えた。そこでまず、オフアクシス方式（注4）の透過型ホログラフィー光学系とデジタルビデオ

カメラを組み合わせた独自のデジタルホログラフィック顕微鏡を構築し、さらにPTV用のトレーサ粒子（球形粒子）の重心位置検出に特化した高精度のデジタルホログラム解析アルゴリズム（特許出願中）を考案した。実際にこの技術を、微小流路内を流れるトレーサ粒子群に適用したところ、各粒子の3次元位置を立体的に測定することに成功した。あとは、撮影された連続ホログラム画像に対して同様の処理を繰り返し、得られた時々刻々と変化していく粒子重心位置データを用いてトレーサ粒子を時系列に追跡することで、3次元の粒子移動速度、すなわち流速を得ることができた。本手法では空間に分散する複数のトレーサ粒子に対して適用できるため、複数の空間位置における流速データ、すなわち流速の空間分布が得られることになる。本手法の最大の特長は、3次元空間における3次元流速分布を時系列で測定できる点にある。デジタルカメラで撮影されるたった一枚（1フレーム）のホログラム画像に、その空間に分散している粒子群の重心位置情報がすべて立体的に記録されているため、その次のフレームと合わせてたった二枚のホログラム画像から3次元流速分布が得られる。これはすなわち、使用するカメラのフレームレートを上げることで、どんなに高速の流れにも対応できることを意味している。

この技術を使うことで、高速流から低速流まで、微小スケールにおけるさまざまな3次元流動を測定、解析することができるようになる。この技術は今後、マイクロリアクター内における複雑な熱流体現象の解明や、インクジェットノズルから噴き出す高速噴流の解析、毛細血管内の血流計測など、学術分野から産業分野まで幅広い活用が期待される。私たちの研究グループでは、開発したデジタルホログラフィック顕微鏡や解析ソフトウェアの製品化と販売も視野に入れて、現在開発を進めているところである。

本手法を用いて行った計測実験については、平成24年10月4～5日に姫路で開催される「可視化情報学会全国講演会2012」と、平成24年10月28日～11月1日に沖縄で開催される「The 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2012)」で発表する予定にしている。加えて、MicroTAS 2012では、開発したデジタルホログラフィック顕微鏡と解析ソフトウェアの展示とデモンストレーションを行う予定にしている。

## 7. 成果発表：

以下の国内学会で成果を発表する予定

- ・可視化情報学会全国講演会2012（平成24年10月4～5日、姫路）

以下の国際学会で成果の発表および機器展示を行う予定

- ・The 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2012)（平成24年10月28日～11月1日、沖縄）

## 8. 注意事項：

本件の報道については、2012年9月28日（金）記者会見終了後となっておりますので、ご協力方よろしくお願いたします。

## 9. 問い合わせ先：

東京大学生産技術研究所 教授 藤井 輝夫（ふじい てるお）

TEL：03-5452-6211 FAX：03-5452-6212

Eメール：mf-info@iis.u-tokyo.ac.jp

## 10. 用語解説：

(注1) マイクロ流れ：

微小スケールにおける流体の動きのこと。一般には数ミクロン以上、1ミリ以下の空間における流れを指す。微小スケールでは、重力や慣性力といった体積力よりも、表面張力や粘性力といった表面力が支配的になるため、大きいスケールの流れとは大きく異なった流動を示す。例えば、流れは乱れにくく、混ざり合いにくい、といった特長が見られる。

(注2) PTV：

Particle Tracking Velocimetry (粒子追跡法) の略で、PIV (Particle Image Velocimetry、粒子画像流速測定法) の一種。通常、肉眼やカメラでは見えない流体の動きを、トレーサ粒子と呼ばれる微小な粒子を混入させることで可視化し、粒子が流体に完全に追従しているという仮定のもと、その粒子一つ一つの動きを画像解析により定量化することで粒子の移動速度、すなわち流速を測定する方法のこと。ある時間が経過したあとに粒子がどれだけの距離を移動したかという情報から速度を算出するため、PTVでは最低でも2時刻分(2フレーム)の粒子画像(粒子重心位置情報)が必要である。適度な濃度でトレーサ粒子を流れの中に分散させておくことで、複数の速度を同時に測定できるため、空間の流速分布を測定したい場合に有効である。しかし、カメラ(一般にデジタルカメラ)で粒子画像を撮影するため、基本的に得られる流速分布は、ある空間の2次元平面断面における2次元流速分布となる。したがって、流速を3次元的にとらえるためには、複数台のカメラで立体視するといった光学系の工夫が必要になる。

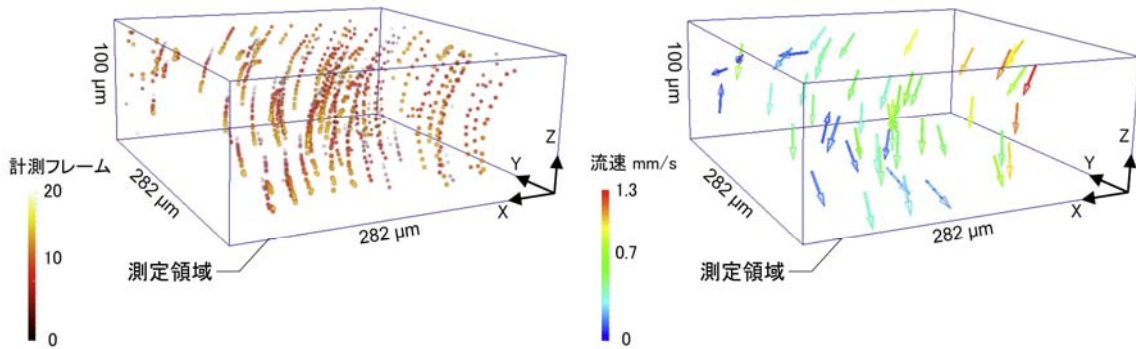
(注3) デジタルホログラフィー技術：

光の波動性を利用して2次元記録媒体に物体の3次元情報を記録し、また、それを使って物体の立体像を再生するホログラフィー技術の一つ。物体光を参照光と干渉させることで、光の位相情報(対象までの距離の違い)を強度情報としてデジタル撮像素子(CCDやCMOSなど)に記録し、そのデジタル画像を使って、デジタル空間で光の回折計算を行うことで物体までの距離、すなわち物体の立体形状を再現、測定する技術。顕微鏡光学系にも組み込み可能で、その場合はデジタルホログラフィック顕微鏡と呼ばれる。

(注4) オフアクシス方式：

ホログラフィック光学系の一つで、参照光を撮像面に対してわずかに傾けて入射させて干渉させる方式のこと。従来のインラインホログラフィー法で問題となっていた、0次光や共役像がインライン上に物体再生像と重なって映り込む現象を回避するために開発された。オフアクシス方式で得られるホログラムは空間的に連続した位相シフトデータを含むため、フーリエ変換法を使えば位相情報を含む複素振幅分布へと変換される。それにより、一枚のホログラム画像から3次元立体情報を抽出することができる。

11. 添付資料 :



DHM-PTV を用いてマイクロ流れの流速分布を 3 D測定した結果。(左) 検出された粒子重心位置の軌跡、(右) 粒子を追跡して得られた 3 次元流速ベクトル

参考 URL : <http://www.microfluidics.iis.u-tokyo.ac.jp/release/>  
(上記の測定結果の鮮明な画像および動画を掲載しています)

<会場案内図>

