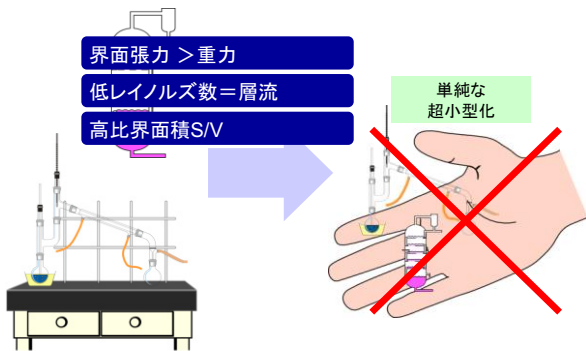




## 内容

1. マイクロ・ナノ化学システム
  - ・ マイクロ化学システム
  - ・ 熱レンズ顕微鏡
  - ・ 拡張ナノ空間
2. マイクロ流動の可視化計測
  - ・ マイクロ向流
  - ・ マイクロ液滴コライダー
3. 4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム

## 化学機器の単純なミニチュア化?



## 構築してきたマイクロ高度基盤技術・方法論

マイクロ単位操作 (MUO) の整理・体系化

連続流化学プロセス (CFCP)

|     |              |                  |  |
|-----|--------------|------------------|--|
| 液液  | 相合流<br>混合・反応 | 相分離<br>分子輸送・溶媒抽出 | <p>▶ マイクロ多相流によるMUOの自由な組合せ</p> <p>▶ さまざまなマイクロ化学プロセスの実現</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 医療・診断</li> <li>・ 医薬品合成</li> <li>・ 環境分析</li> <li>・ 化粧品合成</li> <li>・ バイオ分析</li> <li>・ 微粒子合成</li> <li>・ 覚醒剤分析</li> </ul> |
| 気液  | 相合流<br>気液反応  | 気液分離<br>ガス吸収・濃縮  |  |
| 固液  | カラム分離        | 膜分離              |  |
| その他 | 加熱           | 細胞培養             |  |

## 環境水中の重金属汚染分析

7 cm

3 cm

▶ 分析時間 : 3~4 時間 → 50 秒

▶ 試料・薬品量: 1 kg → 1 μg (十億分の一)

▶ 感度 : 1000倍高感度

つまり、井戸水のヒ素でも簡単に分析可

## 合成化学への応用

20m

2m

ゲル製造マイクロ化学プラント

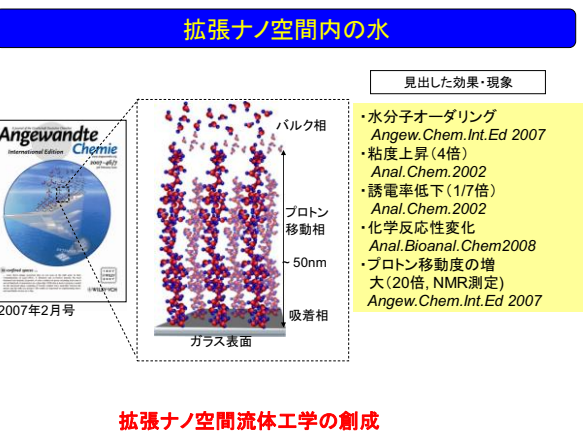
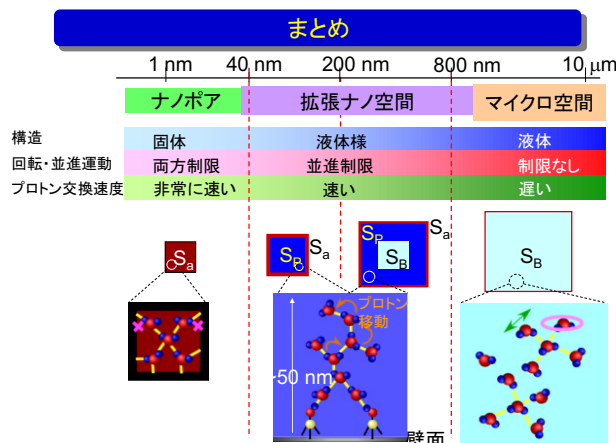
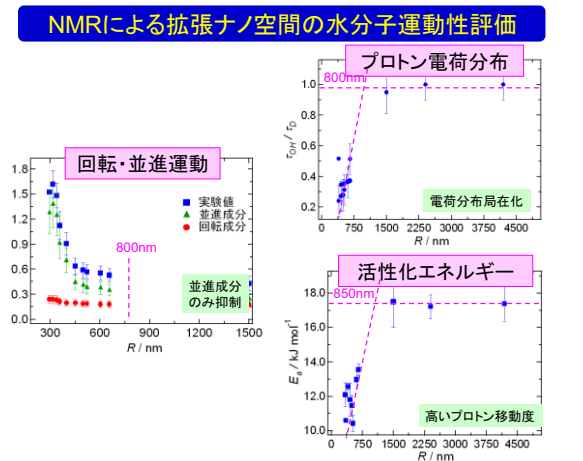
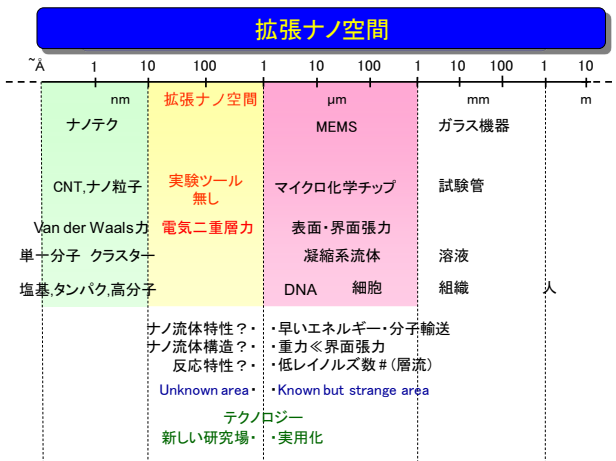
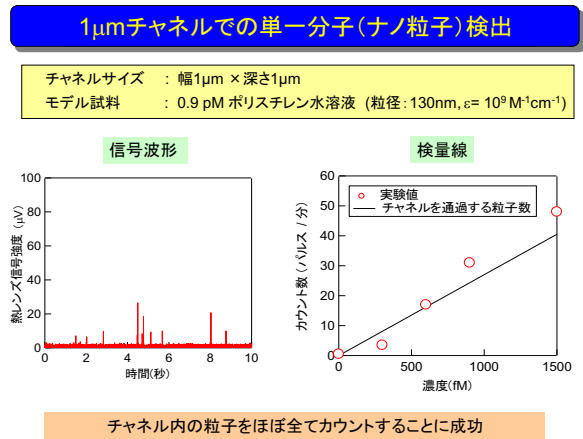
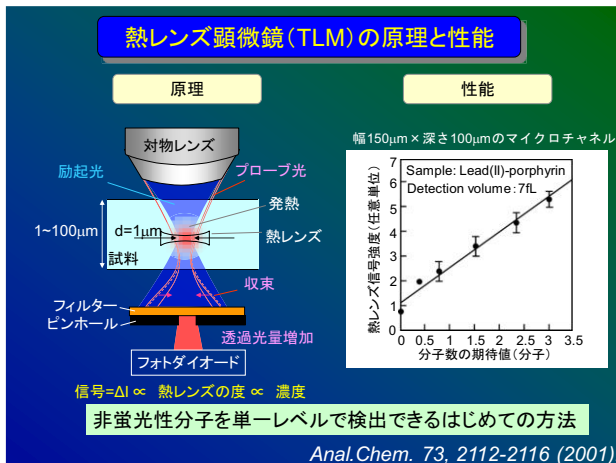
生産能力30トン/年は同じ!

- ・ 省スペース
- ・ 省エネルギー
- ・ 低コスト (設備維持)

抗ガン剤生産装置

10kg/月 (薬剤として十分な生産!)

- ・ リスク低減 (毒性・爆発)
- ・ オンデマンド生産



## 内容

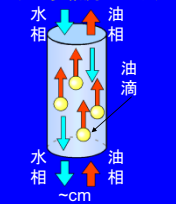
1. マイクロ・ナノ化学システム
  - ・ マイクロ化学システム
  - ・ 熱レンズ顕微鏡
  - ・ 拡張ナノ空間
2. マイクロ流動の可視化計測
  - ・ **マイクロ向流**
  - ・ マイクロ液滴コライダー
3. 4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム

## マイクロ向流

▶ **マイクロ空間の物理特性**

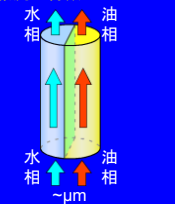
| 物理的力           | マクロ (1 m)         | マイクロ (100 μm)         |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| $Re$ (慣性力/粘性力) | $\sim 10^3$ で乱流遷移 | $10^1 - 10^{-1}$ (層流) |
| $Bo$ (浮力/界面張力) | $\sim 10^4$       | $\sim 10^{-4}$        |
| 濡れ性の影響         | 表面から1 mm          | 空間全体                  |

▶ **マクロ多相流とマイクロ多相流の特徴**



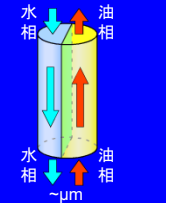
水相 油相  
油滴  
水相 油相  
~cm

不安定な連続流平行向流  
困難



水相 油相  
水相 油相  
~μm

安定な連続流平行順流  
実現

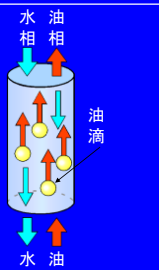
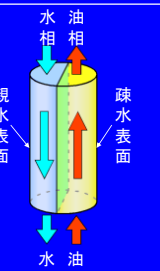


水相 油相  
水相 油相  
~μm

安定な連続流平行向流

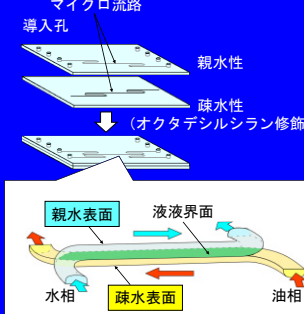
## マイクロ向流形成

### マクロの向流      マイクロ向流

| 支配的因子 | 重力的な支配 (密度差)  | 界面張力の支配 (低レイノルズ数)  |
|-------|---|--|
|       |  <p>水相 油相<br/>油滴<br/>水相 油相<br/>~cm</p> |  <p>水相 油相<br/>親水表面 疎水表面<br/>水相 油相<br/>~μm</p> |

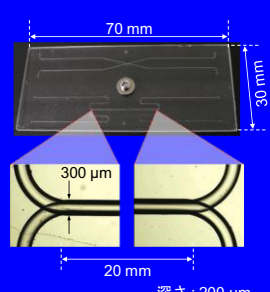
## パターニング修飾による マイクロ向流の実現

▶ **パターニング修飾マイクロチップ**      ▶ 作製したパターニング修飾マイクロチップ



導入孔  
親水性  
疎水性  
(オクタデシルシラン修飾)

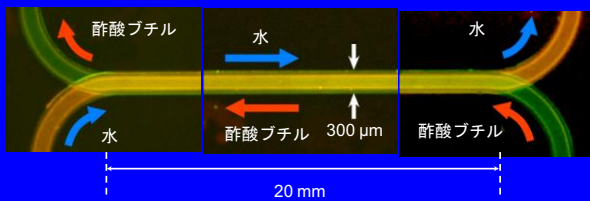
親水表面 液液界面  
水相 疎水表面 油相



70 mm  
30 mm  
300 μm  
20 mm  
深さ: 200 μm

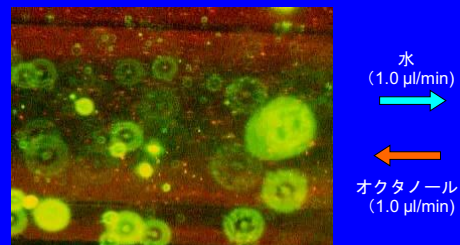
## 安定平行マイクロ向流

水相: 蛍光微粒子分散水 (赤色)  
油相: 脂溶性フルオレセイン溶液 (緑色)

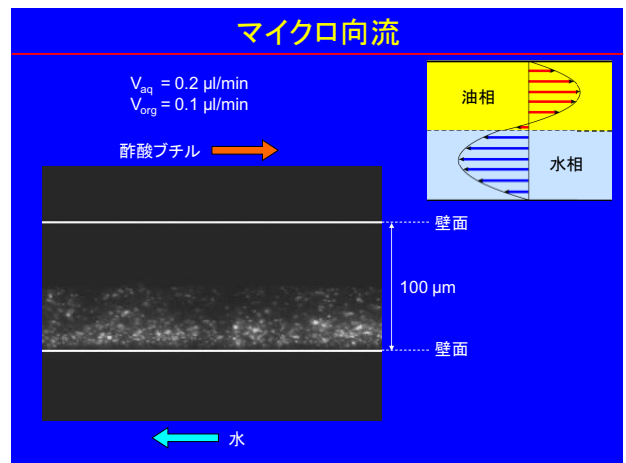
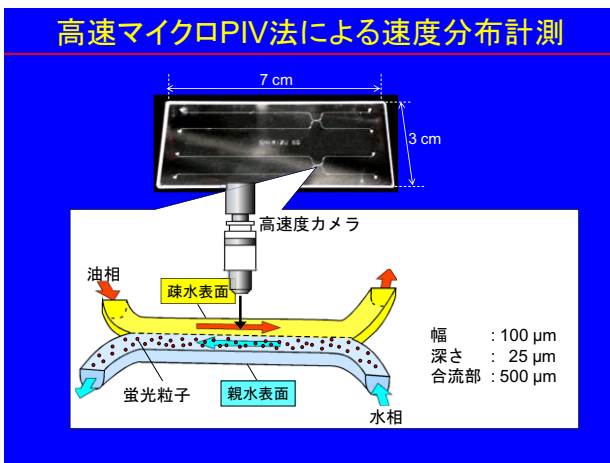
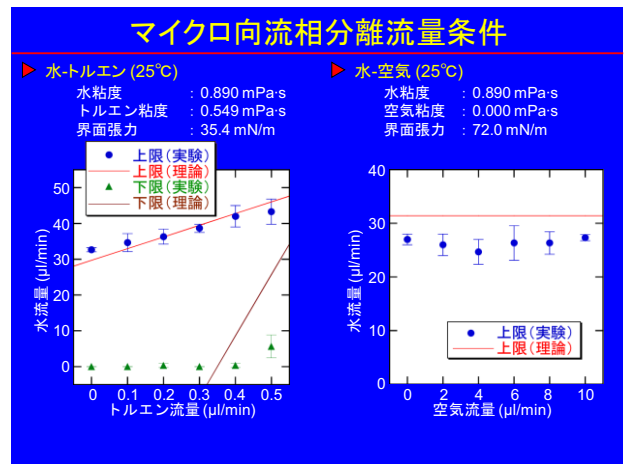
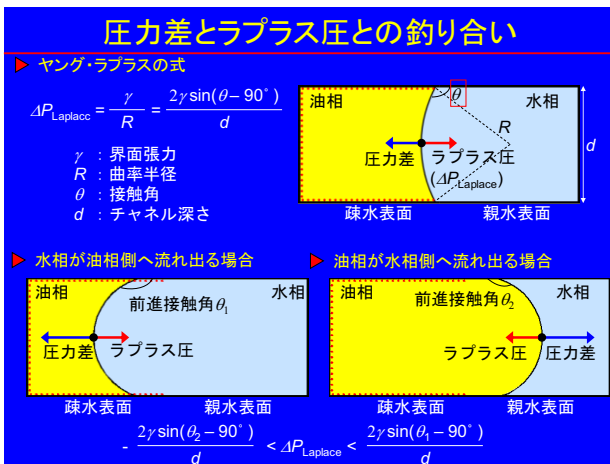
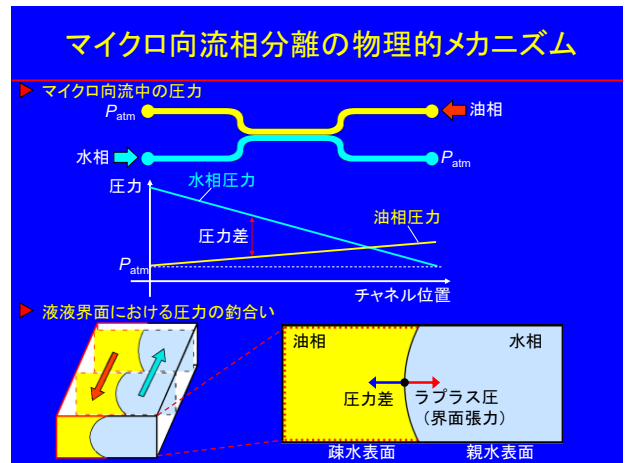
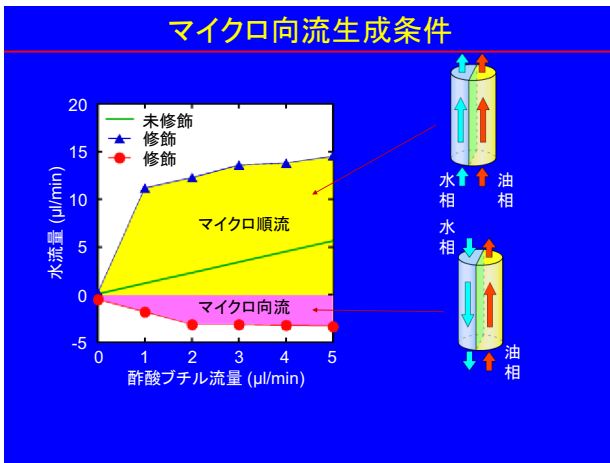


## 水-オクタノールマイクロ向流

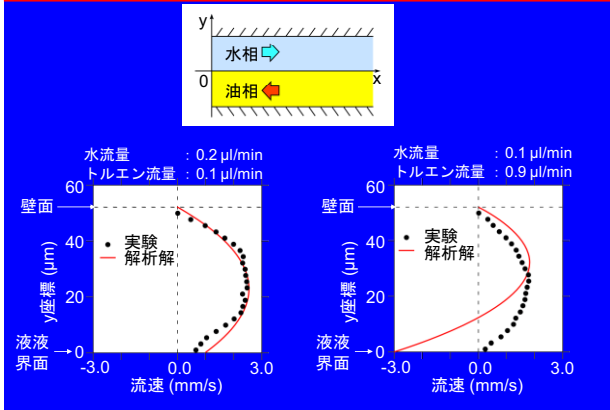
水相: 赤色蛍光微粒子分散水  
油相: 緑色蛍光微粒子分散オクタノール溶液



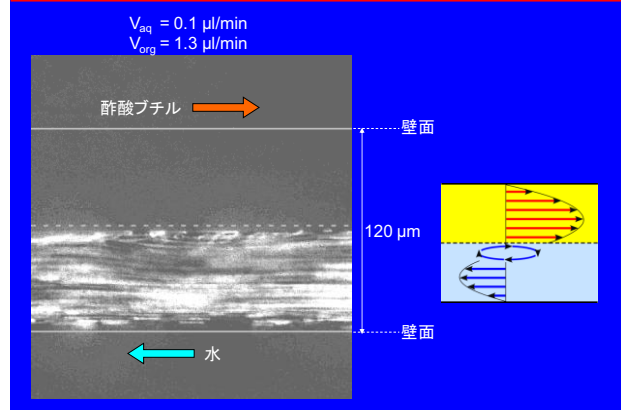
連続流安定平行向流を実現  
マイクロ空間で実現



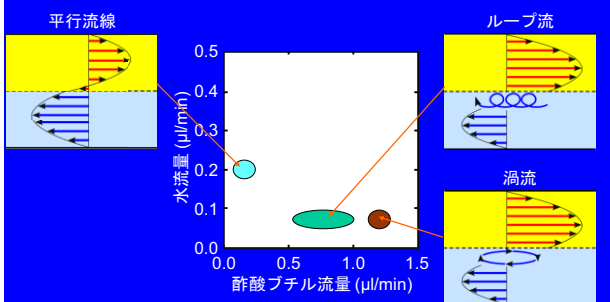
## マイクロ向流中流速分布



## 渦流



## マイクロ向流中液液界面近傍の特異流れ

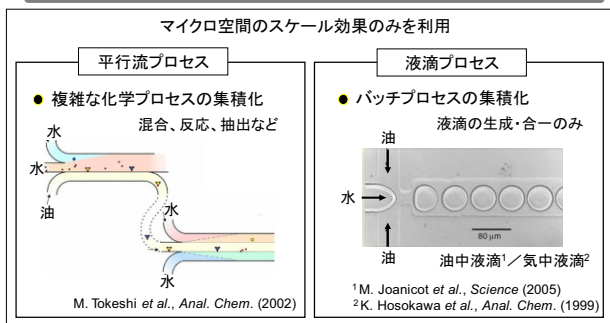


通常の実験サイズでは観察できない流体特性がマイクロ空間で顕在化

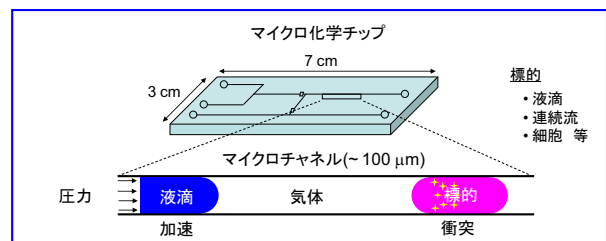
## 内容

1. マイクロ・ナノ化学システム
  - ・ マイクロ化学システム
  - ・ 熱レンズ顕微鏡
  - ・ 拡張ナノ空間
2. マイクロ流動の可視化計測
  - ・ マイクロ向流
  - ・ **マイクロ液滴コライダー**
3. 4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム

## 従来のマイクロ流体プロセス

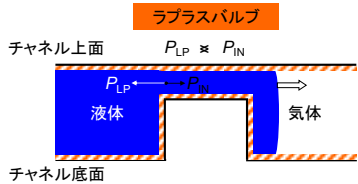
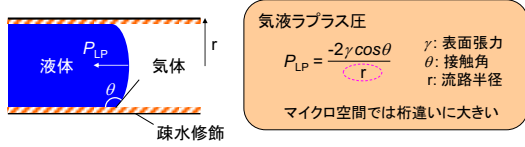


## マイクロ液滴コライダー



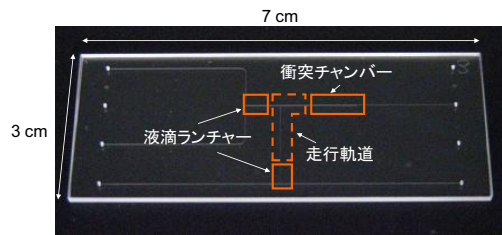
- 液滴の加速による運動エネルギーの空間的集中
- 液滴の衝突による運動エネルギーの時間的集中
- 空間/時間的集中による新しいマイクロ化学プロセスの実現

## 気液ラプラス圧による液体制御

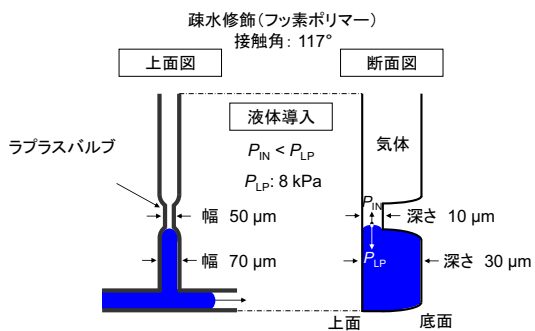


チャネル構造と表面濡れ性によるバルブ機能

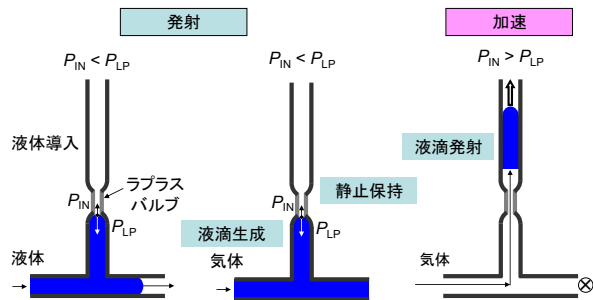
## マイクロ液滴コライダーチップ



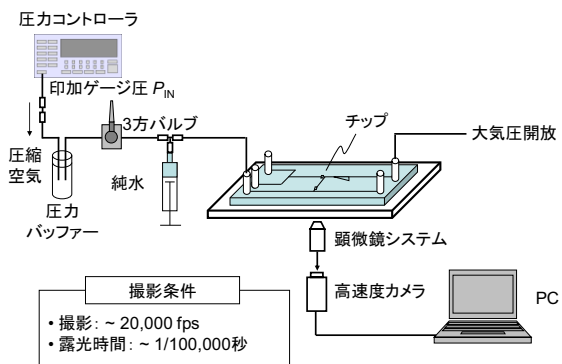
## 液滴ランチャー



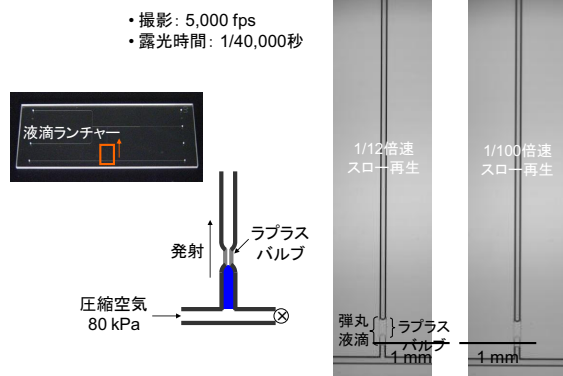
## 液滴ランチャーにおける動作



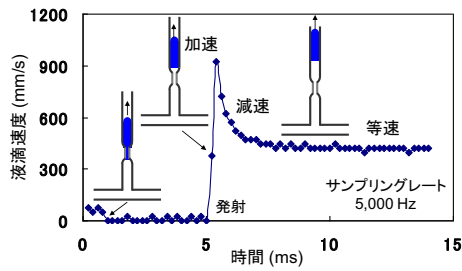
## 実験システム



## 液滴の発射と加速



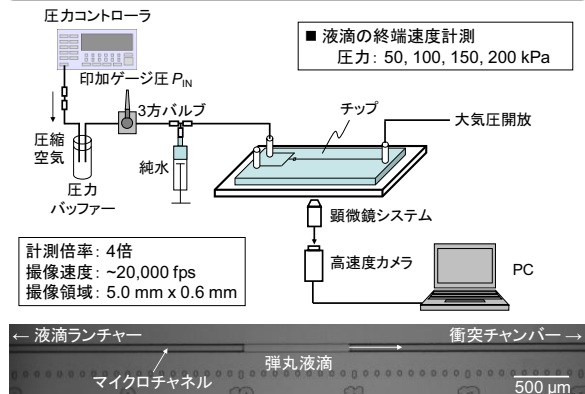
## 液滴発射と加速



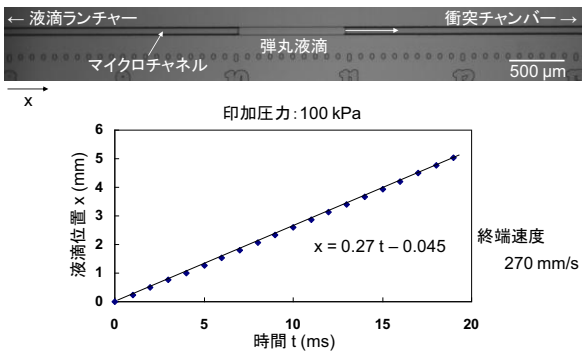
80 kPa 印加時の発射速度: 920 mm/s  
 加速度: 2,300 m/s<sup>2</sup> (230 G)

従来の油中水滴 (10 mm/s) の 10<sup>2</sup> 倍の速度、10<sup>4</sup> 倍の運動エネルギーを達成

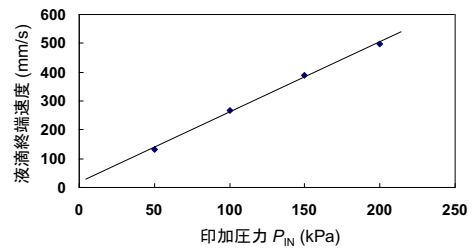
## 液滴運動の高速可視化計測



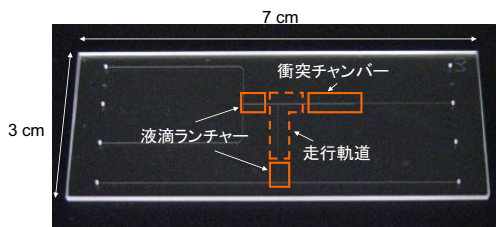
## 液滴終端速度の可視化計測



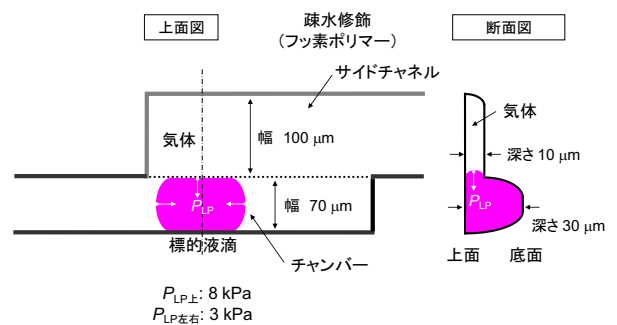
## 液滴終端速度の圧力依存性



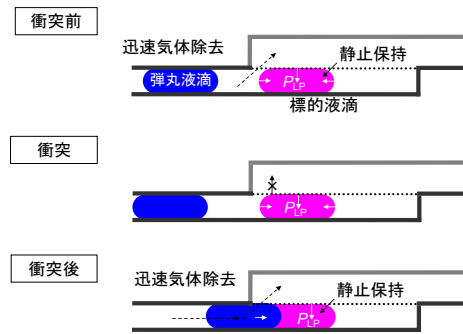
## マイクロ液滴コライダーチップ



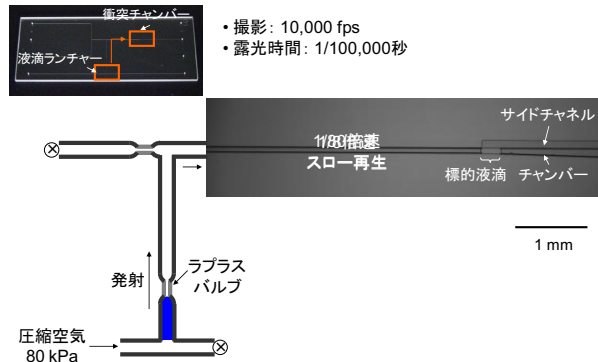
## 衝突チャンバー



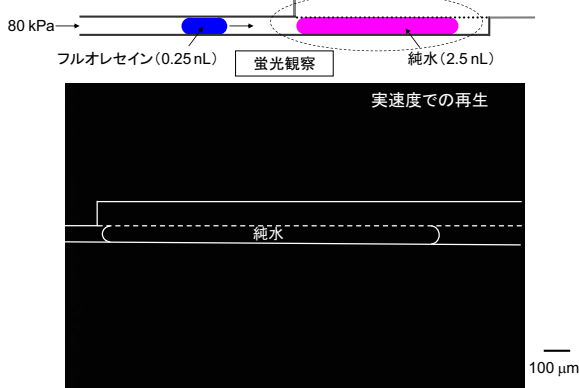
## 衝突チャンバーにおける動作



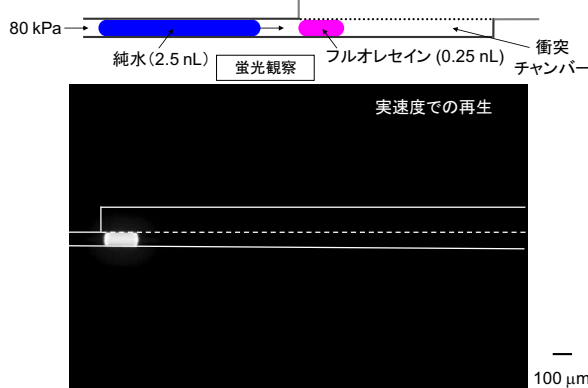
## 液滴の衝突



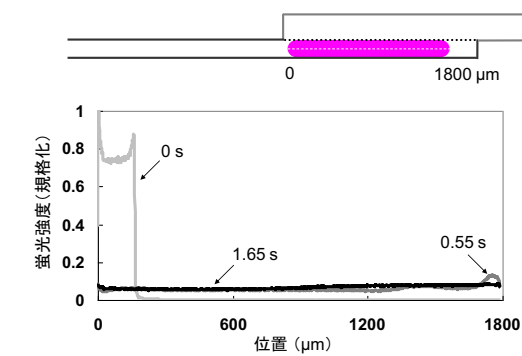
## 体積比1:10の微量液滴間迅速混合



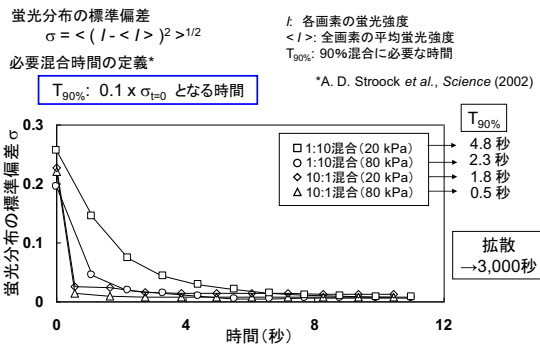
## 体積比10:1の微量液滴間迅速混合



## 体積比10:1の微量液滴間迅速混合



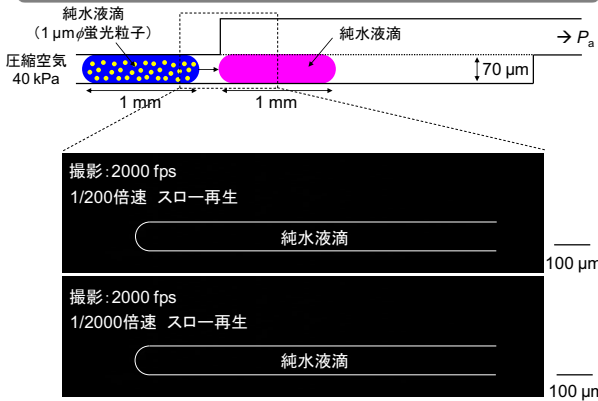
## 混合時間の評価



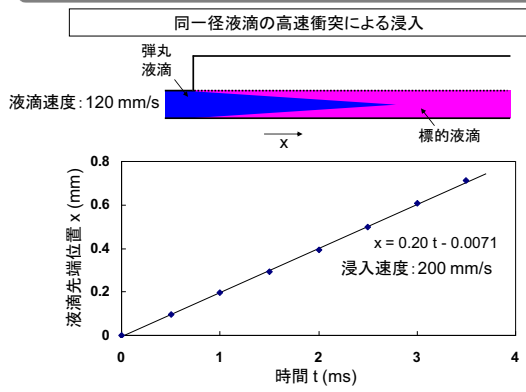
体積比1:10の微量液滴間の迅速(従来の6,000倍以上)混合を達成



### 液滴高速衝突時の内部流動解析

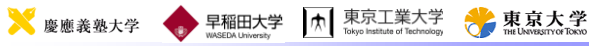


### 衝突液滴の浸入速度



## 4 大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム

東京大学 杉井 康彦



### 世界のナノマイクロ拠点の分布状況



### 4大学コンソーシアム

- 2008.3 4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム発足(幹事校: 東京大学)
- 2009.1 川崎市との連携協力に関する合意(4学部長と川崎市長による記者会見)
- 2009.3 川崎市に研究室開設(4大学長による記者会見)



### ナノ・マイクロ工学

ナノフォトニクス

超高密度DVD

ナノ・マイクロ  
 ファブリケーション  
 コンソーシアム

MEMS/NEMS

自動車センサ

人工ナノ空間工学共通基礎

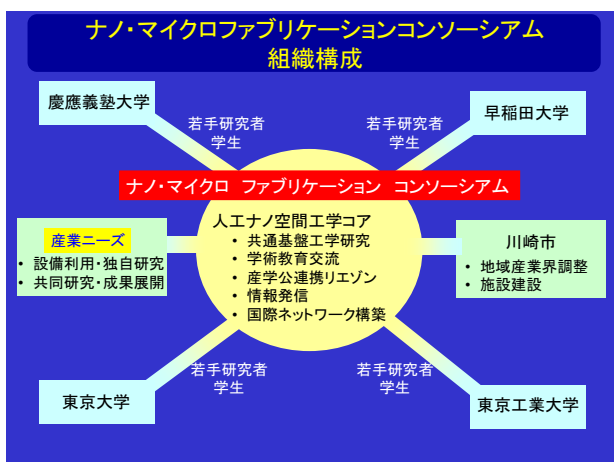
- ・ 極限ナノ加工技術
- ・ ナノ流体力学
- ・ ナノ構造力学
- ・ ナノ化学反応論
- ・ ナノ生命化学

マイクロ・ナノ化学

デスクトップ  
 化学プラント

ナノバイオ

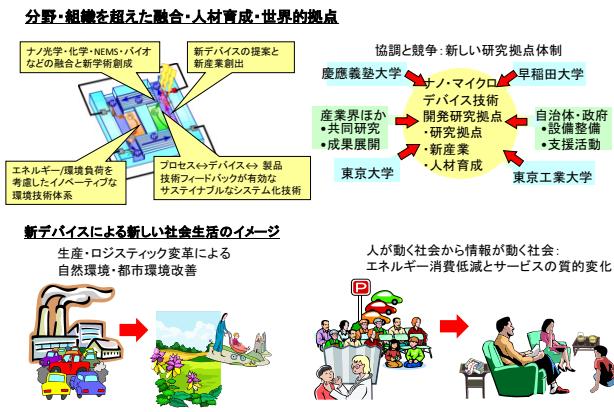
無痛超高速  
 血液診断



### コンソーシアム事業の4つの柱

- 1. 研究事業**
  - 1.1 共通課題のコア研究部門
  - 1.2 ファウンダリーネットワーク形成 学内研究者公募・支援
- 2. 教育事業**
  - 2.1 産業界・アカデミアの入門から高度教育
  - 2.2 大学院における教育協力 修士・博士学生交流・単位互換
- 3. 産学連携事業**
  - 3.1 地域産学連携による実用化促進
  - 3.2 インターフェース事業によるseed-need マッチング
- 4. 広報普及事業**
  - 4.1 ホームページなどによる技術公開促進
  - 4.2 共同研究の推進

### 拠点形成により期待される効果



### 謝辞

- 東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻  
教授 北森 武彦 先生
- 東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻  
(現: (財)電力中央研究所)  
青田 新 博士
- 東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻  
(現: (株)シャープ)  
高橋 克佳 博士