

可視化は語る

— 不可視現象を可視化すると —

埼玉大学大学院理工学研究科

人間支援生産科学部門

(工学部機械工学科)

川橋正昭

不可視現象の可視化

透明物質の物理的現象の可視化

熱流体現象の可視化

高速現象・マイクロスケール現象の可視化

ハイスピードカメラ、顕微鏡

遮られているものの可視化

透視(X線検査など)

捜査の可視化

情報の可視化

グラフ・図形表現、VR

感性の可視化

芸術(絵画、彫刻、演劇、CGなど)

不可視物理現象の代表的例 : 熱流体現象

熱流体現象の可視化の進化

瞬時画像記録による定性的可視化

時系列画像記録による定性的可視化

瞬時物理量の2次元・3次元分布定量的可視化

瞬時複数物理量分布の同時定量的可視化

マイクロスケール2次元・3次元定量的可視化

高速現象時系列物理量の
2次元・3次元分布定量的可視化

可視化手法

可視化の原理

光学的可視化

光現象(散乱, 屈折, 干渉等)の利用

間接的可視化

流れを示す指標の利用

画像処理応用の可視化

光情報記録画像とその処理

擬似的可視化

物理量を色相などに変換

数値的可視化

数値シミュレーション結果の作画

光学的可視化法

直接的可視化法(屈折率変化の利用)

定性的可視化法 シャドウグラフ

シュリーレン

ホログラフィ

定量的可視化法 マッハツェンダ干渉計

ホログラフィ干渉計

レーザスペckル写真法

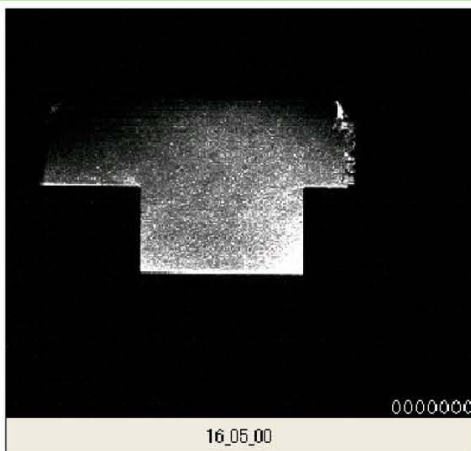
レーザスペckル干渉計

カラーシュリーレン法

人体周りの自然対流



せん断渦層の発達



間接的可視化法

定性的可視化法

トレーサ法

壁面トレーサ法 (油膜法など)

タフト法 (タフトグリッド法など)

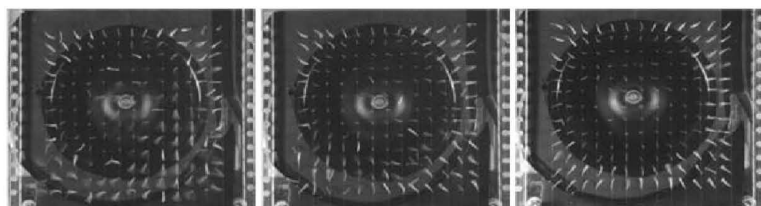
注入トレーサ法 (注入流脈法など)

化学反応トレーサ法 (電解液発色法など)

電気制御トレーサ法 (火花放電法、水素気泡法など)

タフトグリッド法による可視化

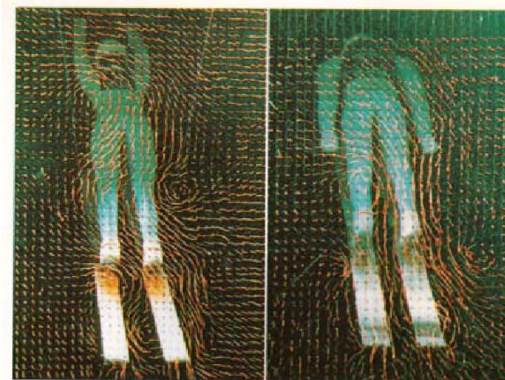
遠心送風機流入流の可視化



流量

タフトグリッド法

スキージャンプのフォーム



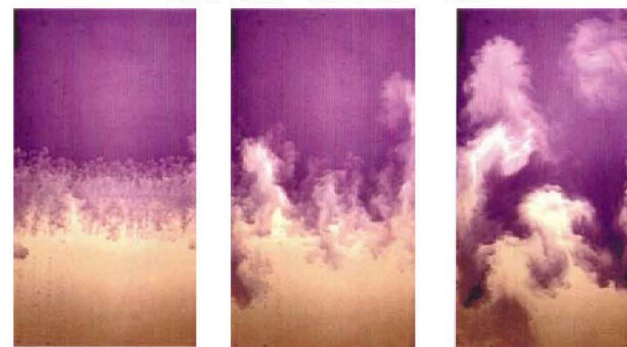
トレーサ法による可視化

Visualization of water flow around swimming fish by dye method



蛍光染料による可視化

密度反転層の混合過程の可視化



t = 0.8 [s]

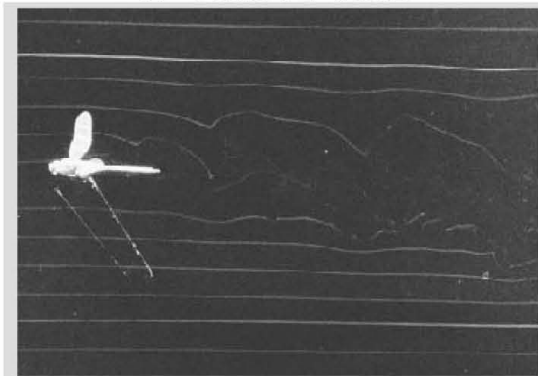
t = 1.6 [s]

t = 2.4 [s]

密度比:1.2

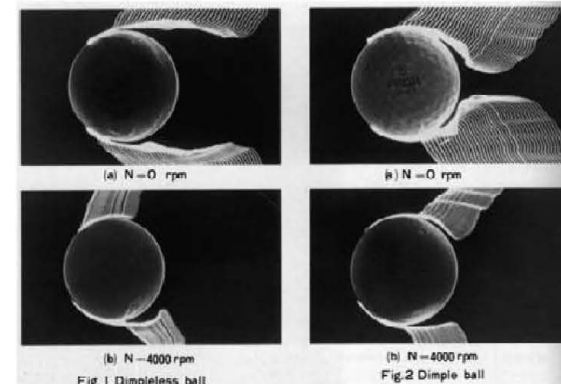
スモークワイヤ法による可視化

トンボ飛翔時の可視化



火花追跡法による可視化

ゴルフボールの周りの流れ



画像処理応用による可視化

定量的可視化法

トレーサ注入画像処理応用法

PIV (Particle Image Velocimetry)法

光学的方法

LIF (Laser Induced Fluorescence)法

レーザ発色法

モアレ法

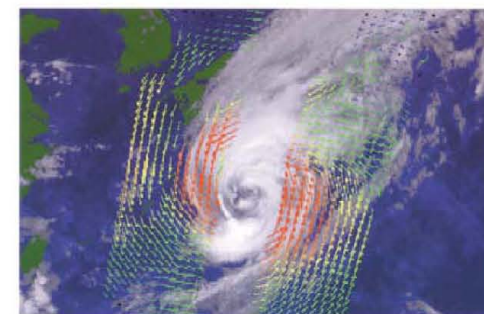
感温液晶法

PSP (Pressure Sensitive Paint)法

PTSP (Pressure and Temperature Sensitive Paint)法

人工衛星画像による台風の風速分布

「ひまわり」と「みどり」による台風の同時観測
Simultaneous Observation by "HIMAWARI" and "MIDORI"

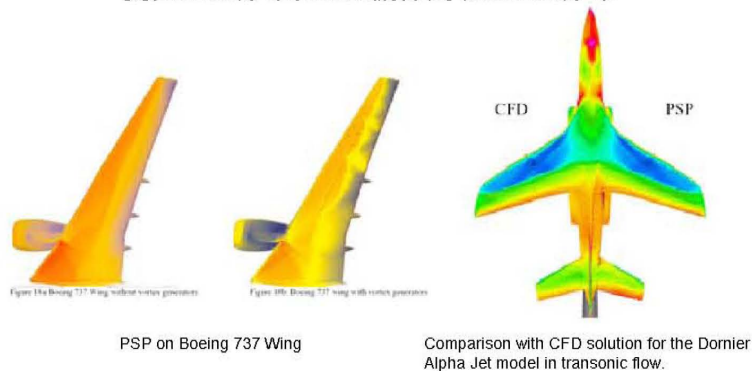


GMS-5 IR1360/05020302, NSCAT Data/050210220
GMS-5 Data Courtesy of University of Hawaii
Winds (km/h)

Powered by JAXA/NASA

感圧塗料(PSP)による圧力分布の可視化

翼面圧力分布および機体周りの圧力分布



計測物理量による分類

速度場の可視化

PIVなど

濃度場・密度場の可視化

干渉計法、スペックル写真法、LIF法など

温度場の可視化

感温液晶法、PTSP法、サーモグラフィ、
間接法(密度場計測)など

圧力場の可視化

PSP法など

速度場の定量的可視化法

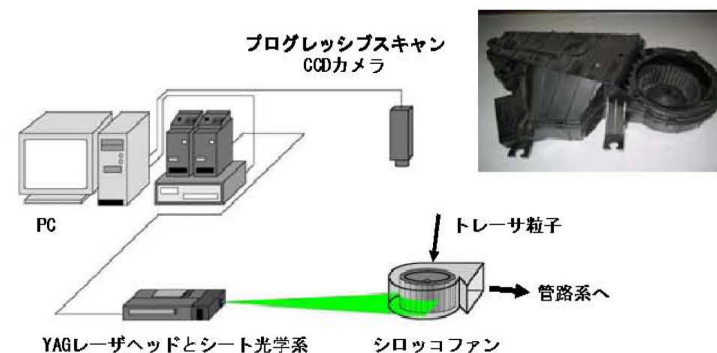
PIV (Particle Image Velocimetry)

SPIV (Stereoscopic PIV)

HPIV (Holographic PIV)

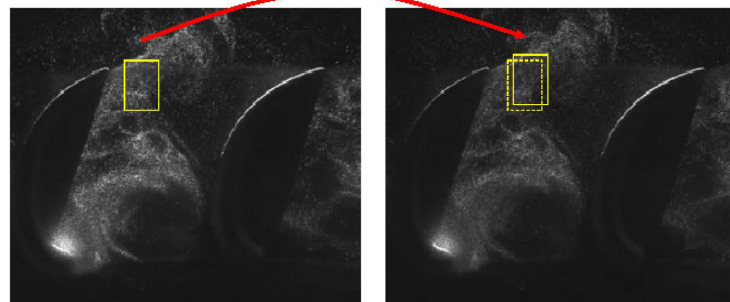
Dynamic PIV

シロッコファン内流れのPIV計測



PIVによる流速分布計測法

二時刻粒子分布画像の対応付け



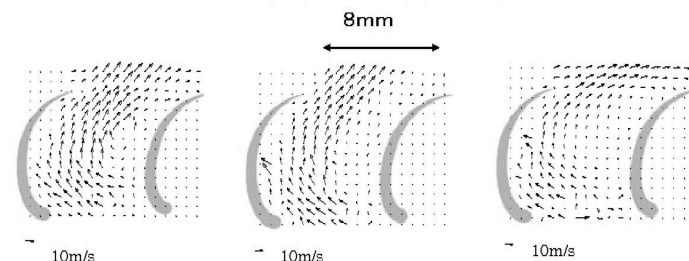
t

t + 15 μ sec

画像サイズ: 640 \times 704 pixels, 解像度: 5.0 μ m/pixel

多翼ファン翼間流れのPIV 計測結果

(スクロール角 270°)

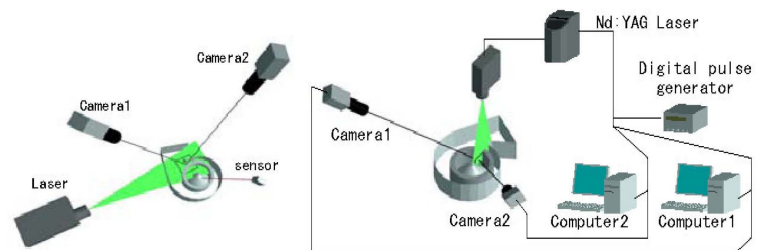


(1) at z/b=0.1

(2) at z/b=0.3

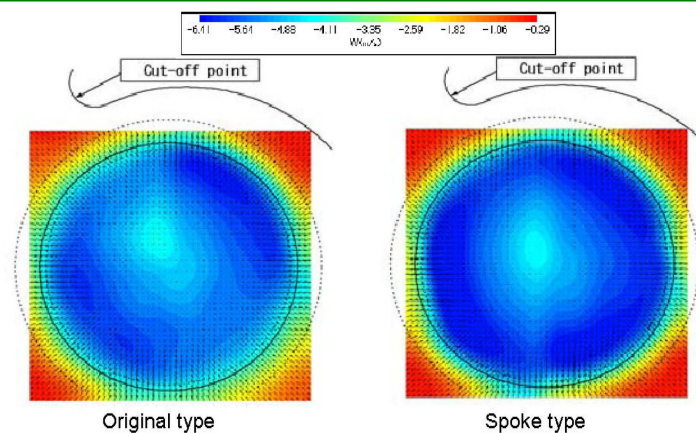
(3) at z/b=0.8

ステレオスコピックPIVによる速度3成分計測法

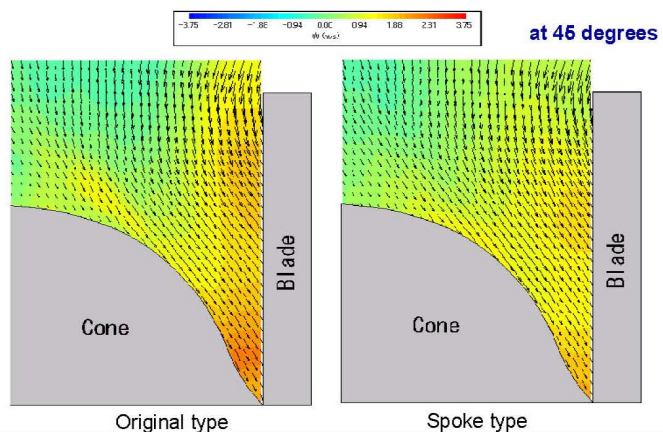


カメラ配置と計測システム

シロッコファン流入流の速度3成分分布



羽根車流入流の速度3成分分布



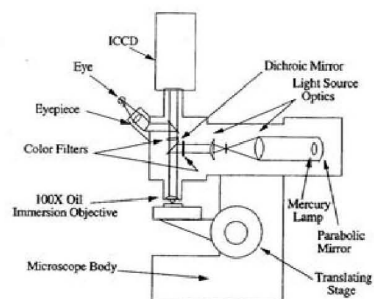
マイクロスケール流れ計測

マイクロスケール流れの特徴

- 低レイノルズ数の流れ
- 粘性力や界面張力などの表面力の影響が増加
- 静電気力や分子間力などの影響
- 作動流体に粒子, 生体細胞, 高分子等
(非ニュートン流体, 混層流)
- 流路表面の粗さ, 電気化学的な特性を持たせる表面処理
- 電気化学的な影響
(電場を駆動力として利用, 界面動電現象)

マイクロPIV光学系

顕微鏡タイプ

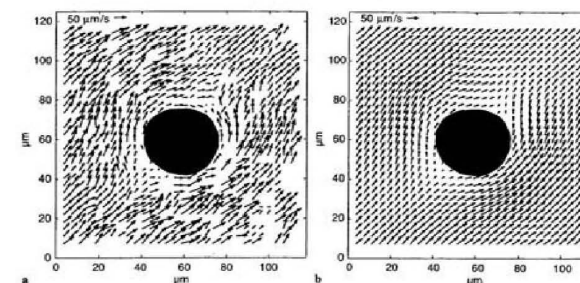


対物レンズ: 開口数 NA=0.55, 倍率 40

By J.G. Santiago, S.T. Wereley, C.D. Meinhart, D.J. Beebe, R.J. Adrian Exp. In Fluids, 25, 1998.)

計測例

円柱(径30 μ m)周りのHel-Shaw流れ (隙間5 μ m)

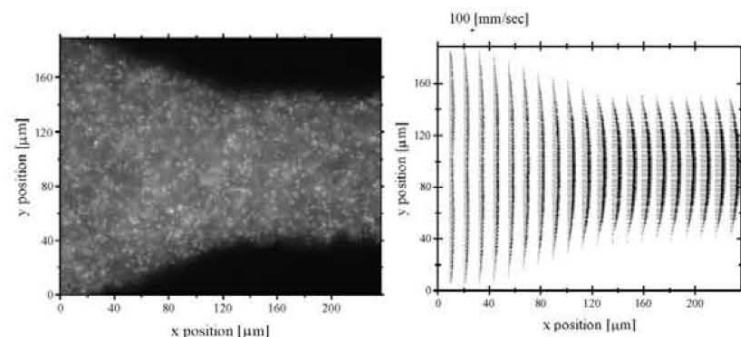


瞬時流速分布

アンサンブル平均(8データ平均)

計測例

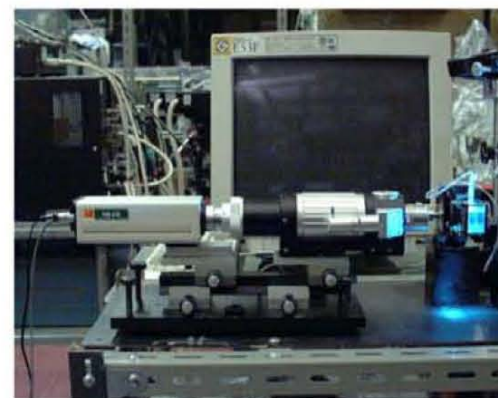
Y型マイクロチャンネル内流れ



蛍光粒子画像

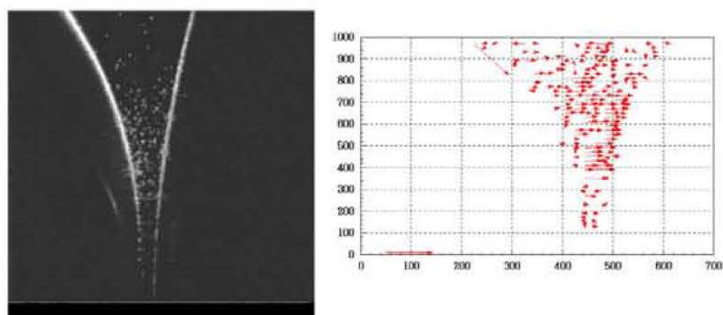
時間平均速度分布

マクロレンズを用いたマイクロPIVシステム

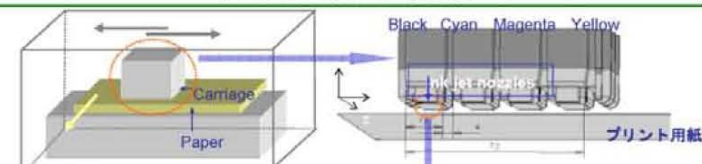


複写機トナー粒子飛翔速度

ロールギャップ: 500 μm



インクジェットの見視化

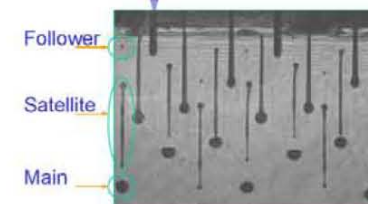


■ インクジェットプリンター

Carriage speed: 0.57, 1.14 m/s

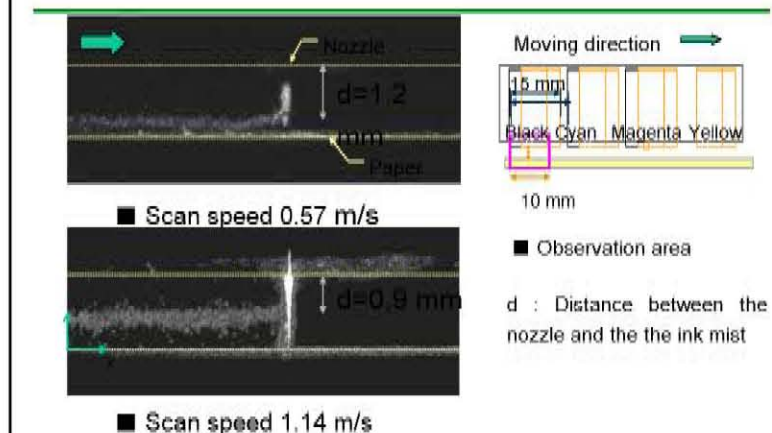
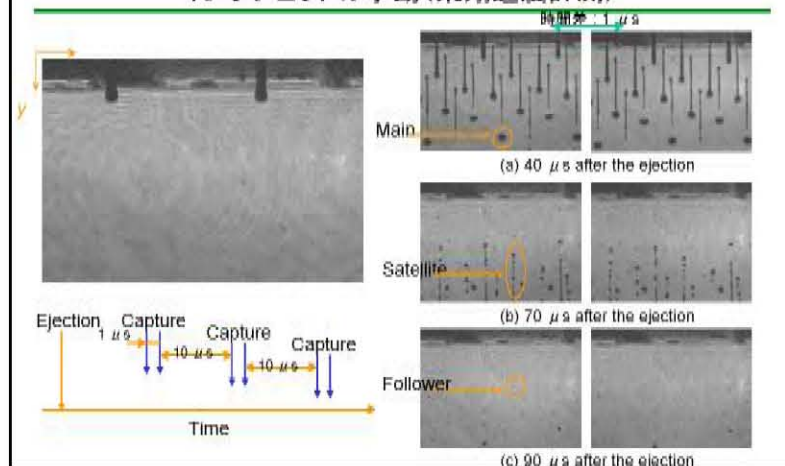
Jetting frequency: 9, 18 kHz

■ インクジェットキャリッジ



■ インクジェットノズルから噴出したインク液滴

インクジェットの挙動(飛翔速度計測)

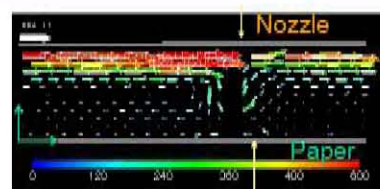


インクミスト発生時の流れ計測

■ スキャン速度 0.57 m/s

Upstream side

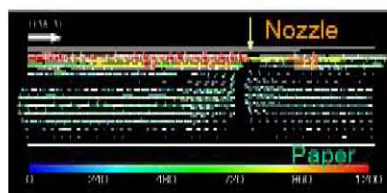
渦の形成



■ スキャン速度 1.14 m/s

Upstream side

渦の移動



生体および医療関連の流れの可視化

血流 : 動脈硬化、血栓、

微小循環

消化管 : ぜん動運動

呼吸 : 定常循環、

高繰り返し数呼吸

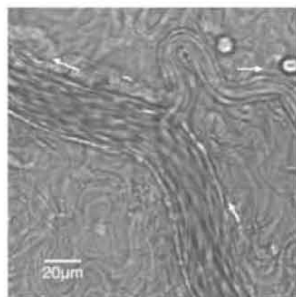
人工臓器 : 人工心臓、

人工心臓、

人工透析



毛細管内血流計測



Visualized image of blood flow in arteriole



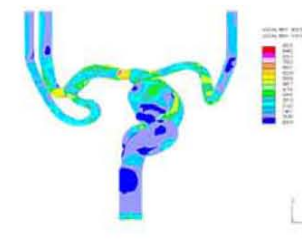
Instantaneous velocity distribution on blood flow in arteriole

Sugii, Y. et al., Transaction of JSME (B)67-662 (2001)

脳動脈瘤診断

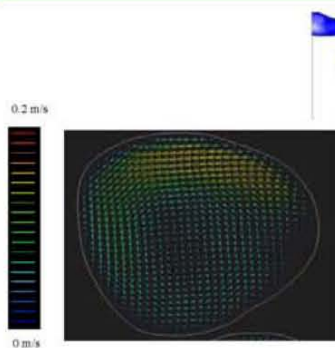


生体外モデル実験

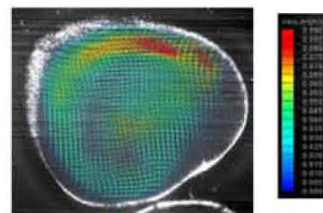


脳動脈瘤周辺血流の数値解析

脳動脈瘤内の血流解析結果

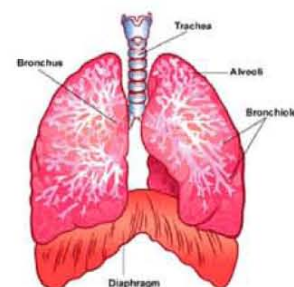


数値解析による血流速度分布
(Hara,2006)

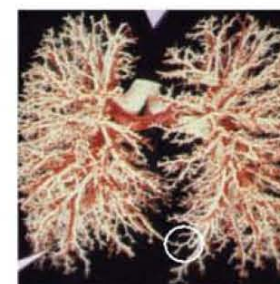


ステレオPIVによる血流計測
結果 (Choi, 2005)

細気管支内呼吸流

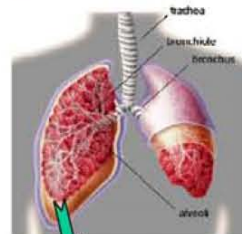


respiratory system



bronchial tree

人肺気道の構造



人肺構造



気道末梢組織
(呼吸細気管支, 肺胞管,
肺胞嚢, 肺胞群)

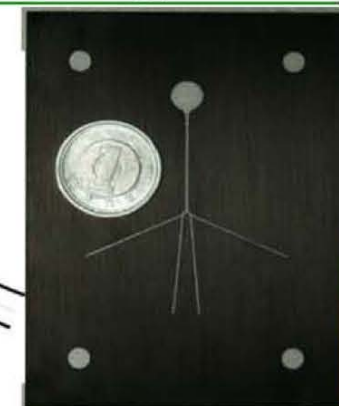
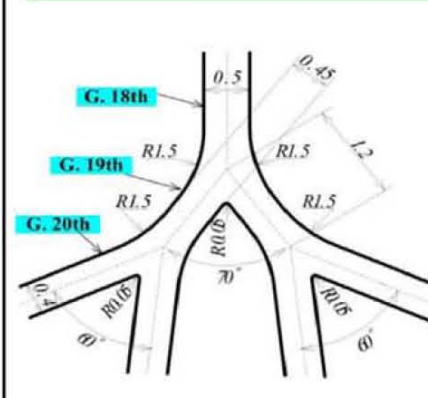
死腔量:150mL

Zone	Generation	Pattern of Airway Branching
Conductive zone	0	Trachea
	1	
	2	
	3	Bronchi
	4	
Transit & Respiratory zone	17	
	18	Respiratory bronchi
	19	
	20	
	21	Alveolar duct
	22	
	23	Alveolar sac

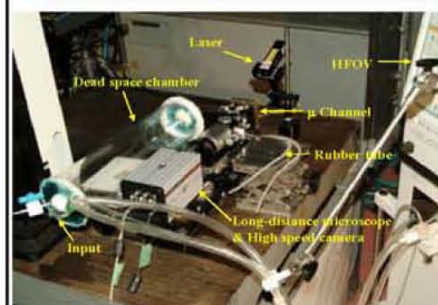
気道パターン

換気量:500mL

多分岐呼吸細気管支モデルの詳細



呼吸細気管支モデル内流れ解析実験装置概観図



実験装置全体図



モデル概略

HFO装置: ピストン式HFO(メラン製)

照明法: Nd-YAG/パルスレーザ

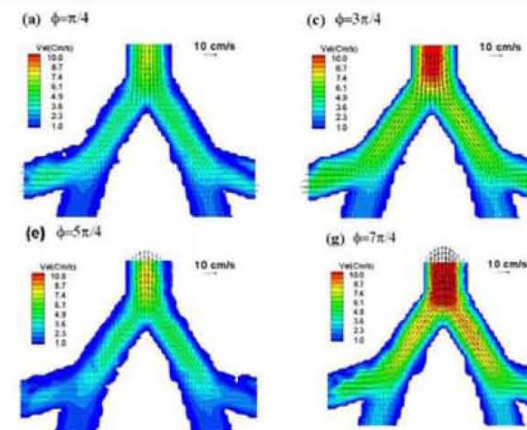
全体照明

カメラ: ハイスピードCMOSカメラ(XS-5)

マクロレンズ: 画像倍率×500

トレーサ: オイルミスト(ラスキンゾル)

呼吸細気管支モデル内振動気流



高速現象の計測および複数物理量の同時計測

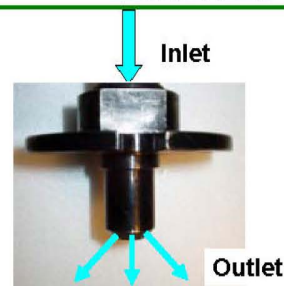
高速繰り返し発光レーザと高速カメラとの組み合わせによる時系列3次元計測

→ 多孔ノズル噴霧場計測

光学計測と画像処理計測の結合による計測システム

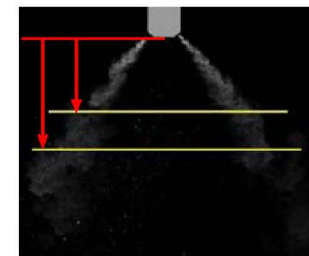
→ 噴霧液滴径と速度 : ミー散乱光の結像とPIV

気体燃料用多孔ノズル噴霧場計測実験条件



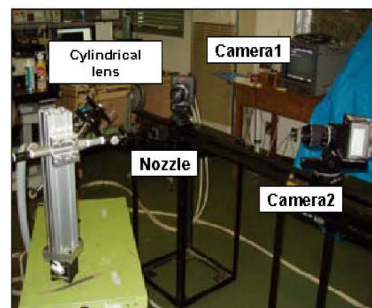
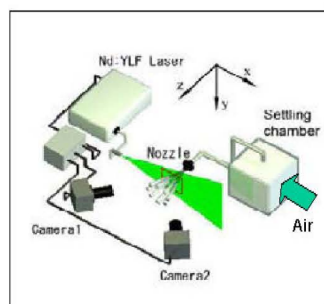
Injection pressure: 18.0 [kPa]
Flow rate : 153[l/min]
Spray Angle : 45°
Number of holes : 8

Test nozzle



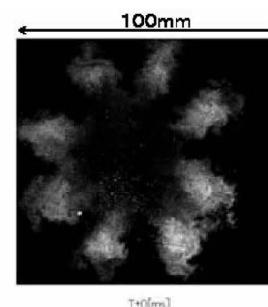
Injection pressure : 18.0[kPa]
Observation : A 100(H)mm × 80(V)mm
area : B 200(H)mm × 150(V)mm
Stereo view angle : 45°
Thickness of Laser light sheet : 3mm
Seeding particle : Oil vapor ($d_p=1\mu\text{m}$)

Dynamic SPIVシステム

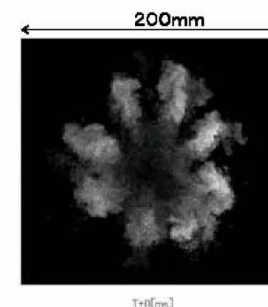


Experimental set-up

噴流のステレオ画像 (Camera1)



Test section A (Z=40mm)



Test section B (Z=60mm)

Flame rate : 2000 f.p.s