2012年日本混相流学会講演会

ループ流式マイクロバブル発生ノズルの特徴と応用事例

（有）OKエンジニアリング
松永　大

２０１２年８月９日

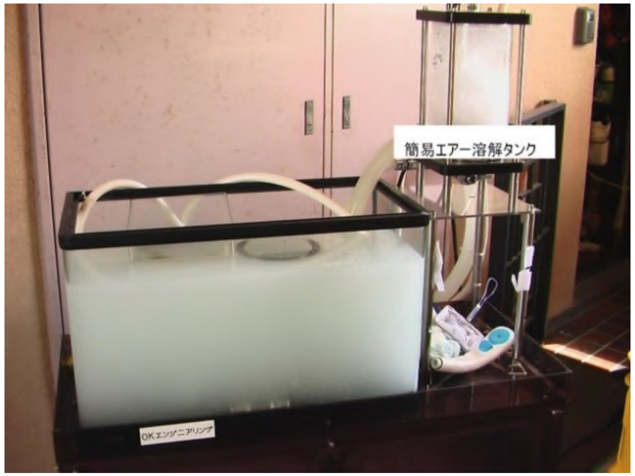
１．はじめに

1.1 自己紹介

（１）専用工作機械の設計

大学卒業後、40年間自動車部品等を加工する
専用工作機械の設計に従事。

（２）MB発生ノズルの研究・開発2000年から始め
12年になる。




1.2 MB発生ノズル開発の経過

（１）2000年～　旋回流ノズル設計製作・実験
（２）2005年～　加圧溶解タンクの自動化
（３）2006年　アオコ浮上田んぼで実験
ステルスバルブがノズル開発のきっかけ
（４）2006年　基本構想を特許申請
（５）2008年　実践タイプを特許申請
50個の試作ノズル実験
（６）2012年5月　ループ流式ノズル特許取得
特許第5002480

２．実験の目的

ループ流式N·MB発生ノズル
の特徴・性能を明らかにする

（１）発生効率が高い理由を機構上から説明する。
（２）ノズルの真空度と自吸量を調べることで
ループ流式ノズルの特徴を明らかにする。
（３）低水圧0～0.03MPaの自吸量とMB発生を調べる。
（４）ナノバブル発生装置と測定結果。

2.1 実験使用ノズルと測定器

（１）OKE-MB01FJ　　吐出量7L/min　SUS304製
（２）OKE-MB04FJ　　吐出量7L/min　SUS304製
（３）OKE-MB03FJ　　吐出量6L/min　SUS304製
（４）OKE-MB 1000mL　吐出量１L/minテフロン製
　　ナノバブルの発生に使用した。

測定機器

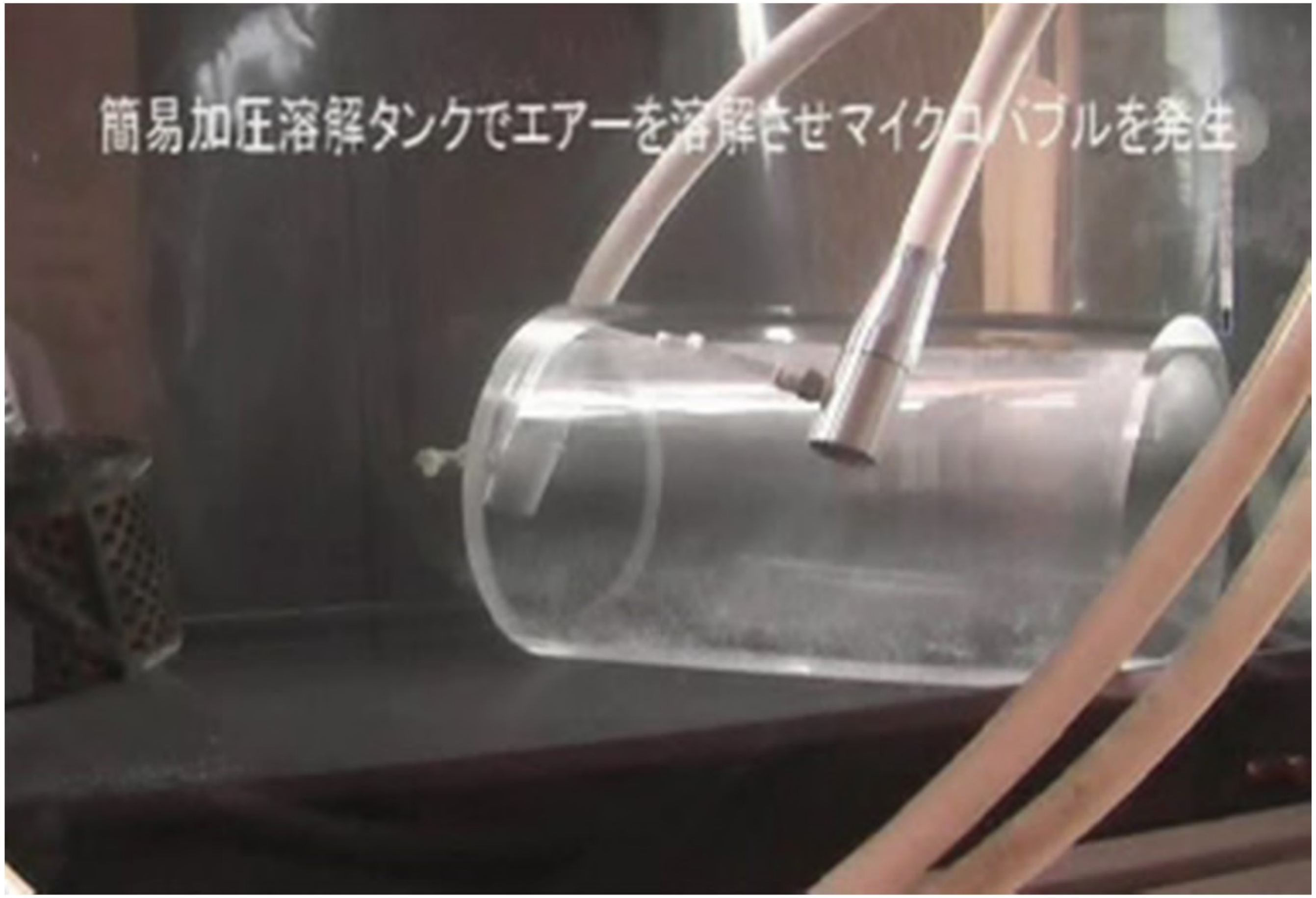
（１）圧力計　右下精器
（２）真空計　第一計器04505695
（３）自吸測定　堀場製作所デジタルSEF-51
（４）ナノバブル測定　ナノサイト社　LM20

2.3ループ流式ノズルの原理と構造

- 一般的に管の断面積が急拡大する場合、拡大管のコーナーで渦が発生する。
- この渦、ループ流を最大限に利用したのがループ流式N･MB発生ノズルである。
- 全周から気体が自吸される機構にしてる。
  このことによりマイクロバブルの発生効率がいい。
- これらの機構が特許として認められた。
- 特許第5002480
- 特許名称　ループ流式マイクロバブル発生ノズル

OKE-MB01FJのMB発生ビデオ

簡易加圧溶解タンクを使用した場合



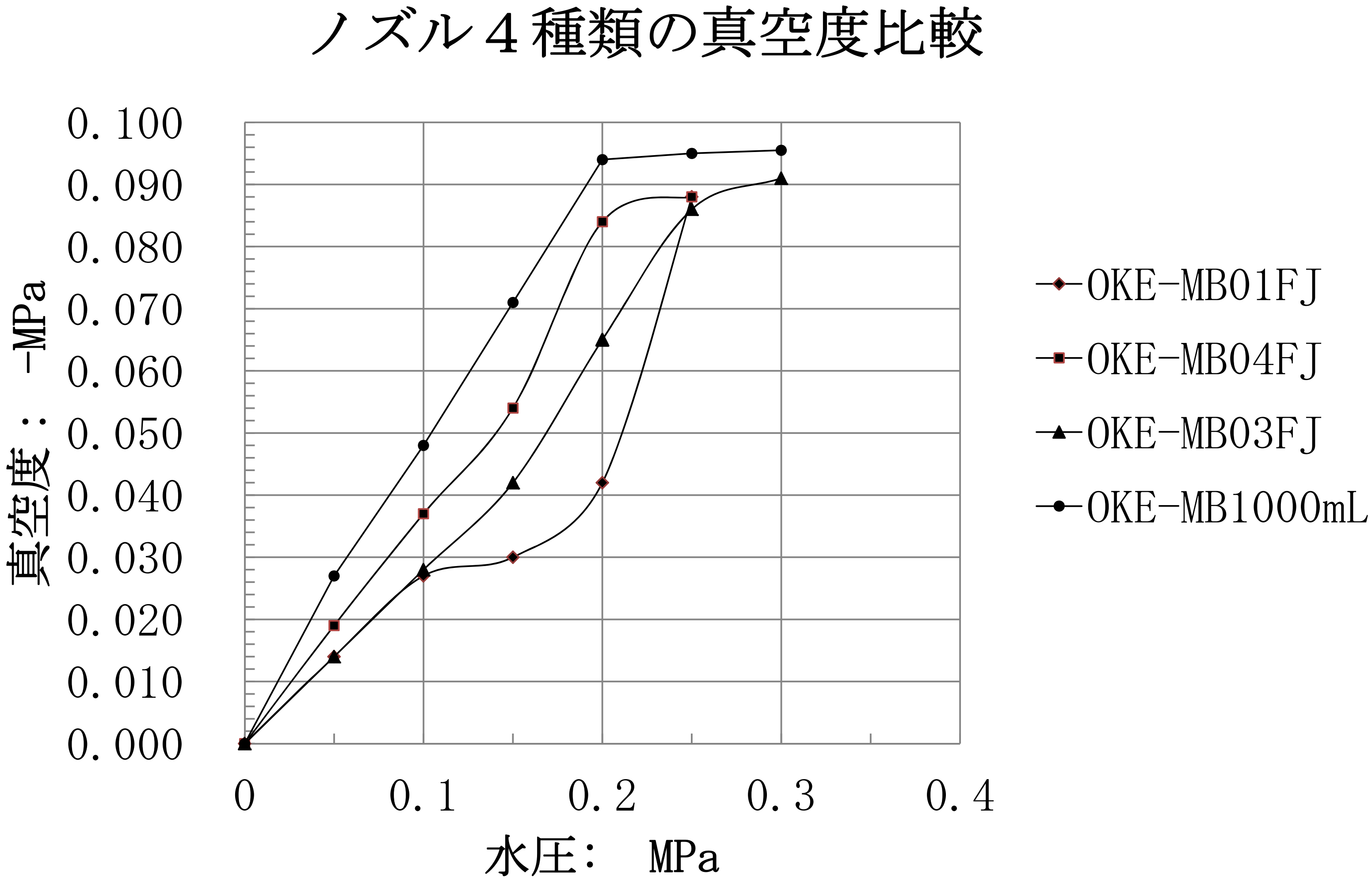
３．実験データ

3.1 ノズルの真空度と自吸量データー

Table 1

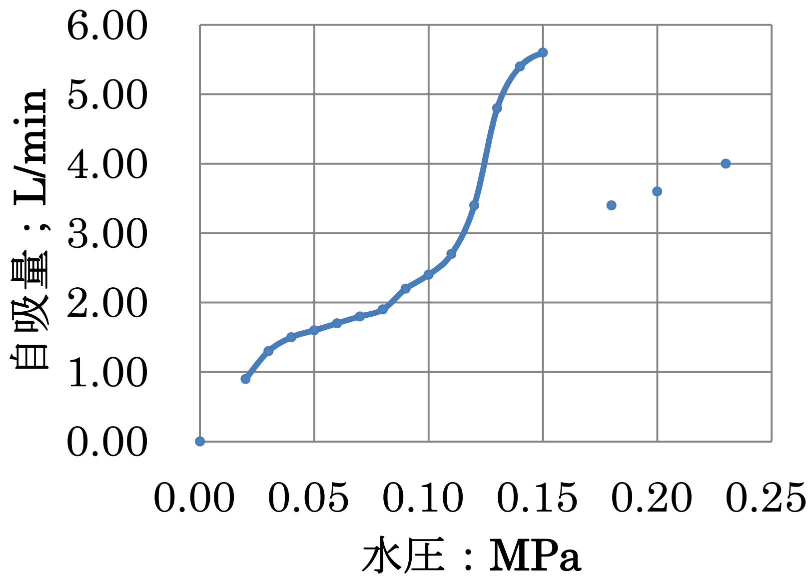
	OKE-MB01FJ		OKE-MB04FJ		OKE-MB03FJ		OKE-MB1000mL	
	吐出量 7 L/min		吐出量 7 L/min		吐出量6L/min		吐出量1L/min	
水圧	真空	自吸	真空	自吸	真空	自吸	真空	自吸
MPa	-MPa	L/min	-MPa	L/min	-MPa	L/min	-MPa	L/min
0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.05	0.014	1.60		1.60	0.014	1.60	0.027	0.60
0.10	0.027	2.40	0.037	2.60	0.028	2.40	0.048	0.90
0.14				5.60				
0.15	0.030	5.60	0.054		0.042	5.40	0.071	1.30
0.16						6.30		
0.20	0.042	3.60	0.084	3.80	0.065	3.40	0.094	1.40
0.25	0.088	4.80	0.088	4.90	0.086	4.50	0.095	1.50
0.30					0.091		0.096	1.60

3.1 ノズル4種類の真空度比較

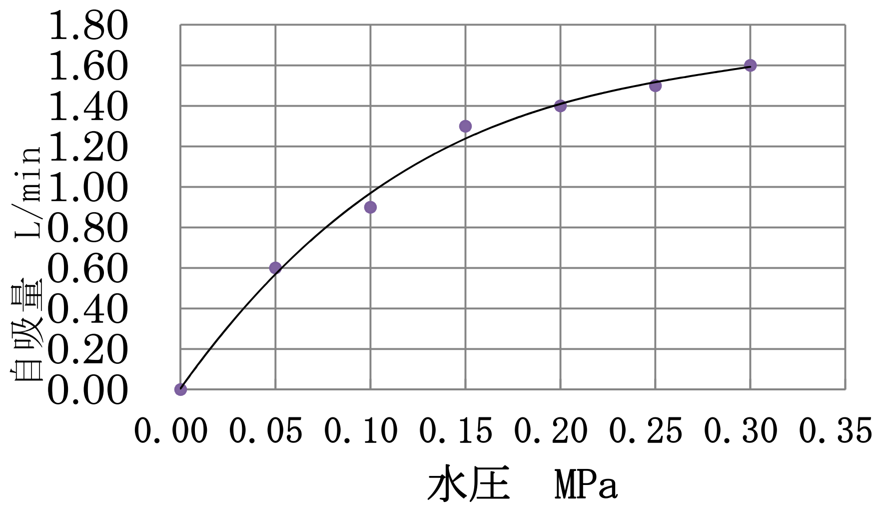


3.3 ノズル２種類の自吸状況の比較

OKE-MB01FJの自吸量
0.15MPaで不連続



1000mL/minの自吸量
自吸は連続



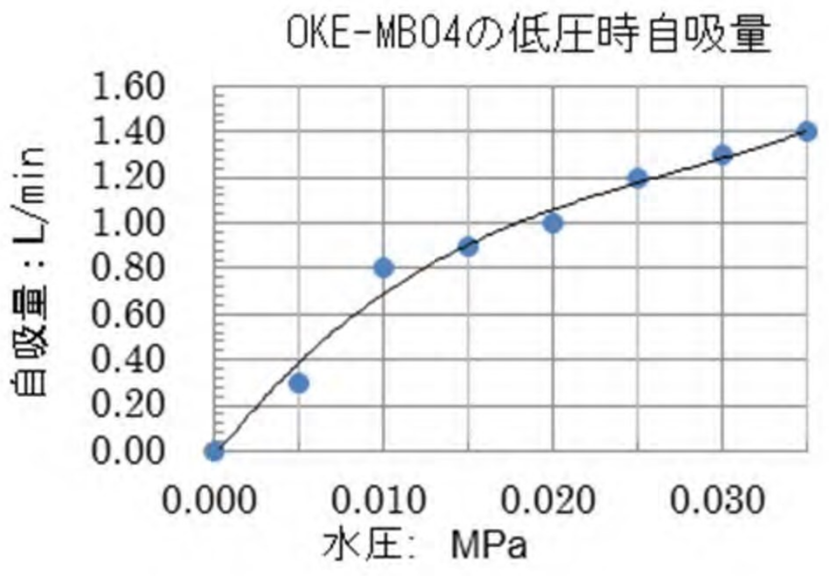
1000mL/minは自吸全開ジャグジー状態でもマイクロバブルが発生していることと自吸の連続性は関係がありそうだ。

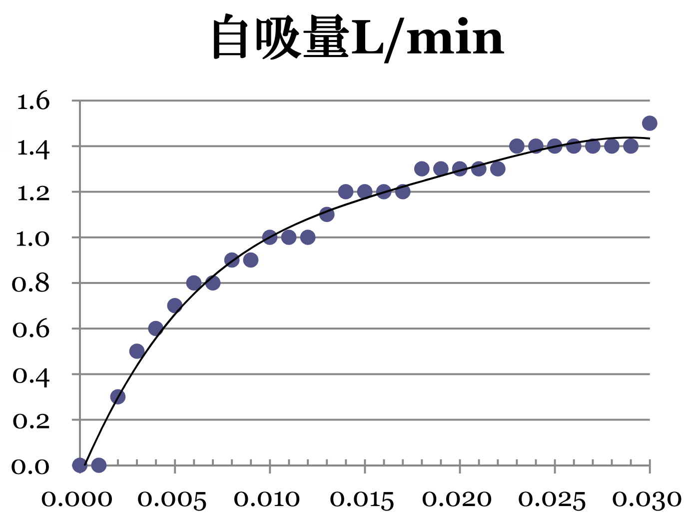
吐出量に対する自吸量％は、01FJ :80％　1000mL：130％(0.15MPa)

3.4 水圧0~0.03MPa自吸量とMBの発生 OKE-MB04FJ

MAX0.4MPaの圧力計

MAX0.03 MPaの圧力計（微低圧）





OKE-MB04FJは0.0015MPa近傍から自吸が始まっている。

3.4 水圧0～0.03MPaで
マイクロバブルは発生するか？
目視で観察　　OKE-MB04FJを使用

水道水を使用　水温２４℃　空気を少量自吸
バブル径は35ミクロン以下。　200mLビーカー

（１）0.025MPa以上は以前にマイクロバブルを確認。
（２）0.01～0.015MPaでマイクロバブルを確認。
（３）0.003～0.007MPaでも少ないが確認。
（４）<u>0.0015～0.002MPaはパラパラであるが確認</u>。
（５）0.001MPaではマイクロバブルは確認できなかった。
エアーを自吸していなかった。

今後、バブル径、個数を数値で把握する。

４．ナノバブル発生装置と測定結果

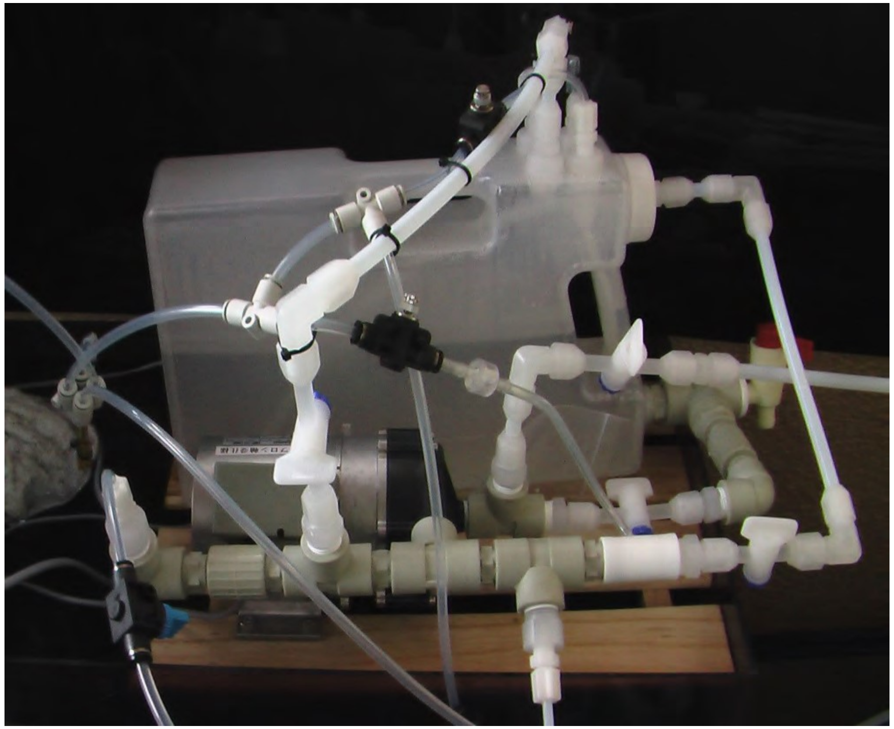
0.05MPaでナノバブルを発生

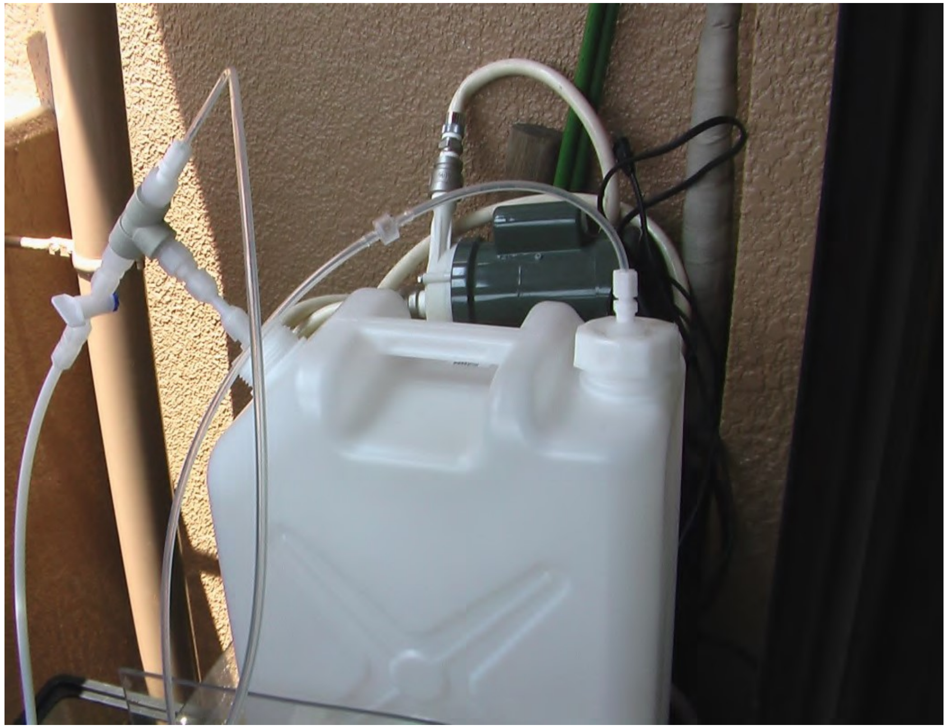
超純水/99.9999%高純度酸素

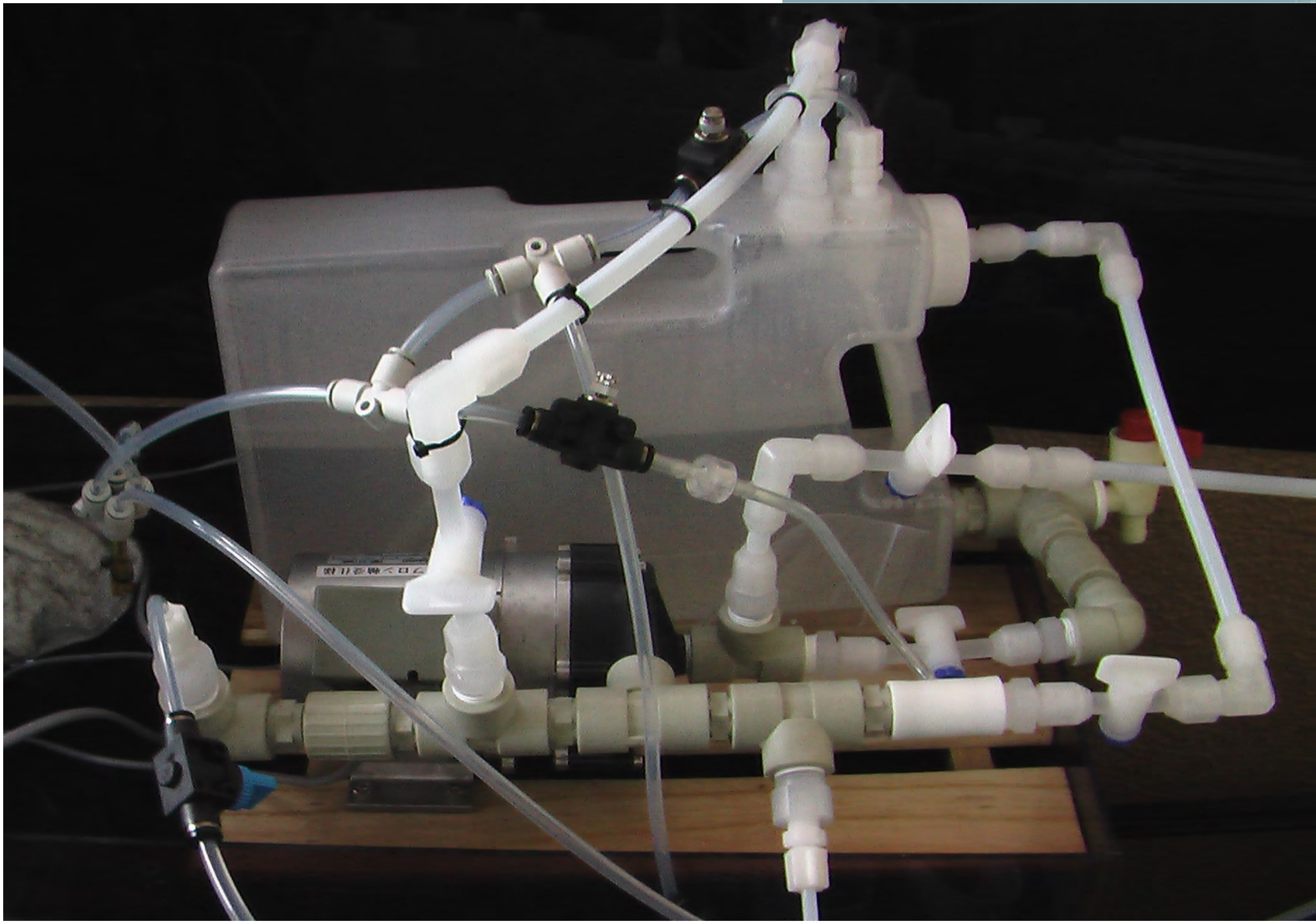
4.1 実験装置

密封可能タイプ

超純水タンク　密封タイプ







4.2　ナノバブル発生実験

＜実験条件＞

① 実験装置は完全に外気と遮断する為密封可能タイプにした。
材料は、テフロン、PP、PE等の樹脂を使用。

② 99.9999%の超高純度酸素を 使用。

③ 超純水を使用。

④ポンプの圧は0.1MPa 。
0.05MPaでサンプル水No.1。0.1MPaで水No.2とNo.3を採取。

⑤ノズルはOKE-MB1000mL（テフロン、 吐出量1000mL/min）

＜実験方法＞

①まず酸素を水に溶込ませる。酸素圧は0.005MPaに設定。
装置の洗浄で使用したので、タンク内は超高純酸素が充満。

②次にN·MB発生タンク内の水をポンプ0.05MPaで循環し溶解。

③この後にマイクロバブルを発生。

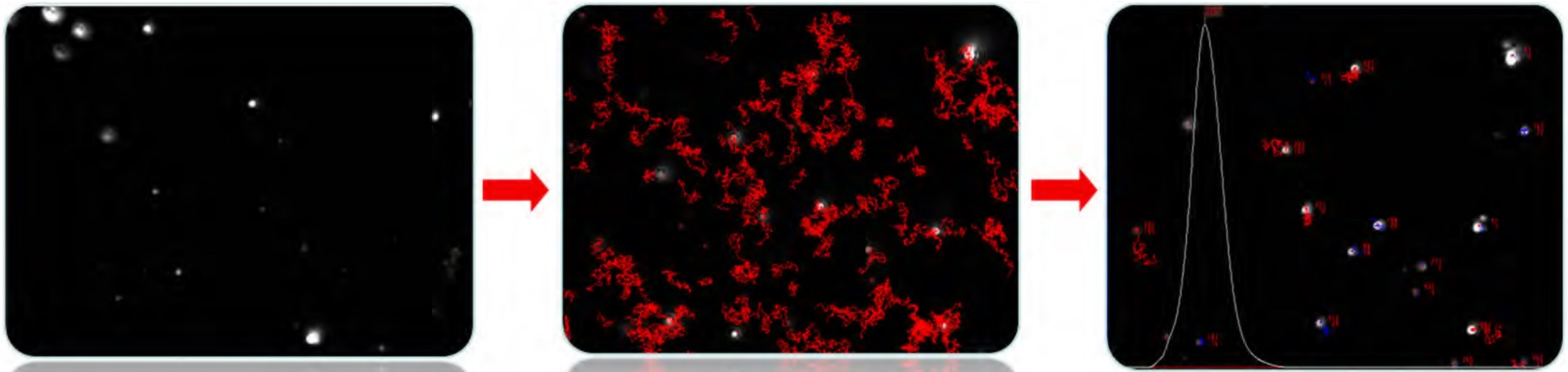
④サンプル水ボトルはチルド室で冷やし、保冷材を入れて梱包。
クール便で送る。冷蔵庫は0～3℃をキープするとのこと。

4･3 ナノバブル測定装置

NanoSight LM20／英国NanoSight社製
- ･CCDカメラ
- ･赤色レーザモジュール(638nm, 40mW)

NanoSight LM20

測定手順



画像の録画　トラッキング解析　グラフ表示

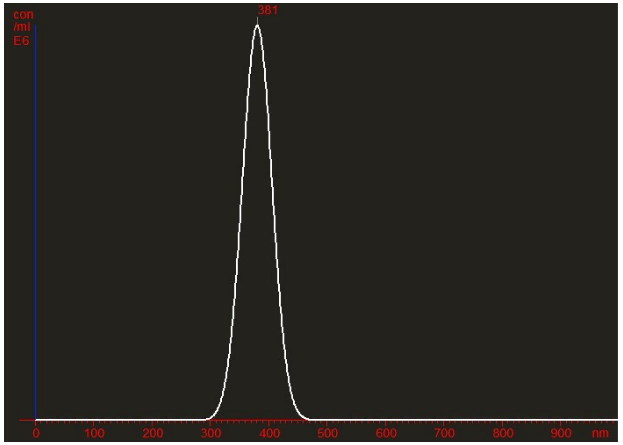
1つ1つの粒子径を算出
運動の軌跡を表示

粒子径に対する個数分布図

例） Water(原水)のデータ

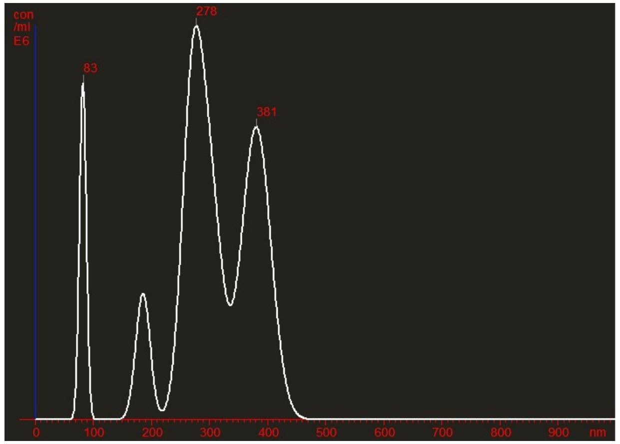
超純水：原水

1回目



ファイル名　1) water-1.avi analysis no: 004
Size Distribution: Mean: 381 nm, Mode: 381 nm
Total Concentration: 0.07E8 particles / ml

2回目

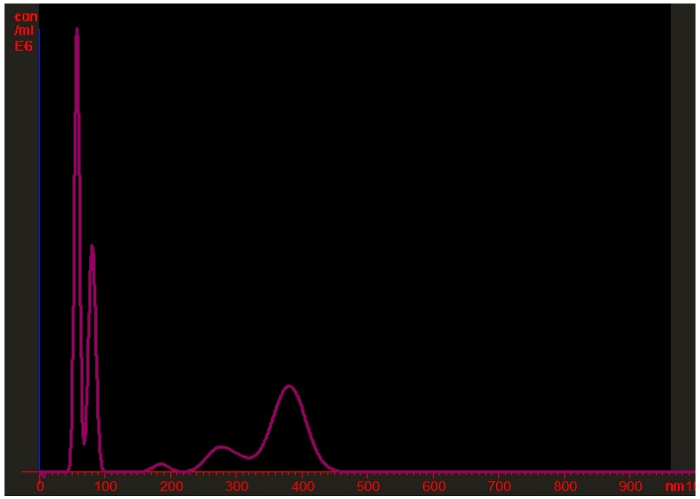


ファイル名　1) water-2.avi analysis no: 002
Size Distribution: Mean: 293 nm, Mode: 278
Total Concentration: 0.05E8 particles / ml

3回目

ファイル名　1) water-3.avi analysis no: 002
Size Distribution: Mean: 67 nm, Mode: 58
Total Concentration: 0.11E8 particles / ml

1～3回目のデータを平均化



ファイル名　1) water_Merge-snapshot.bmp
Total Concentration (particles/ml E8): 0.075085

4.4実験データ

（１）超純水・原水：　Water

ナノバブル可視化動画

超純水　原水-1

超純水+99.9999％高純度酸素
酸素圧0.005MPa
超純水タンクから取水

Size Distribution:

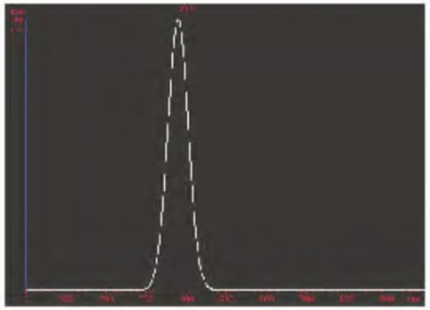
- Mean: 381 nm
- Mode: 381 nm
  0.1024E6 particles/mL
- SD: -1 nm

Total Concentration:

- 0.49 particles / frame
- 0.07E8 particles / ml

NANOSIGHT　ANALYSIS REPORT

Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) Version 2.3 Build 0011 RC1



Particle Size / Concentration

Sample Video Frame

Particle Size / Relative Intensity

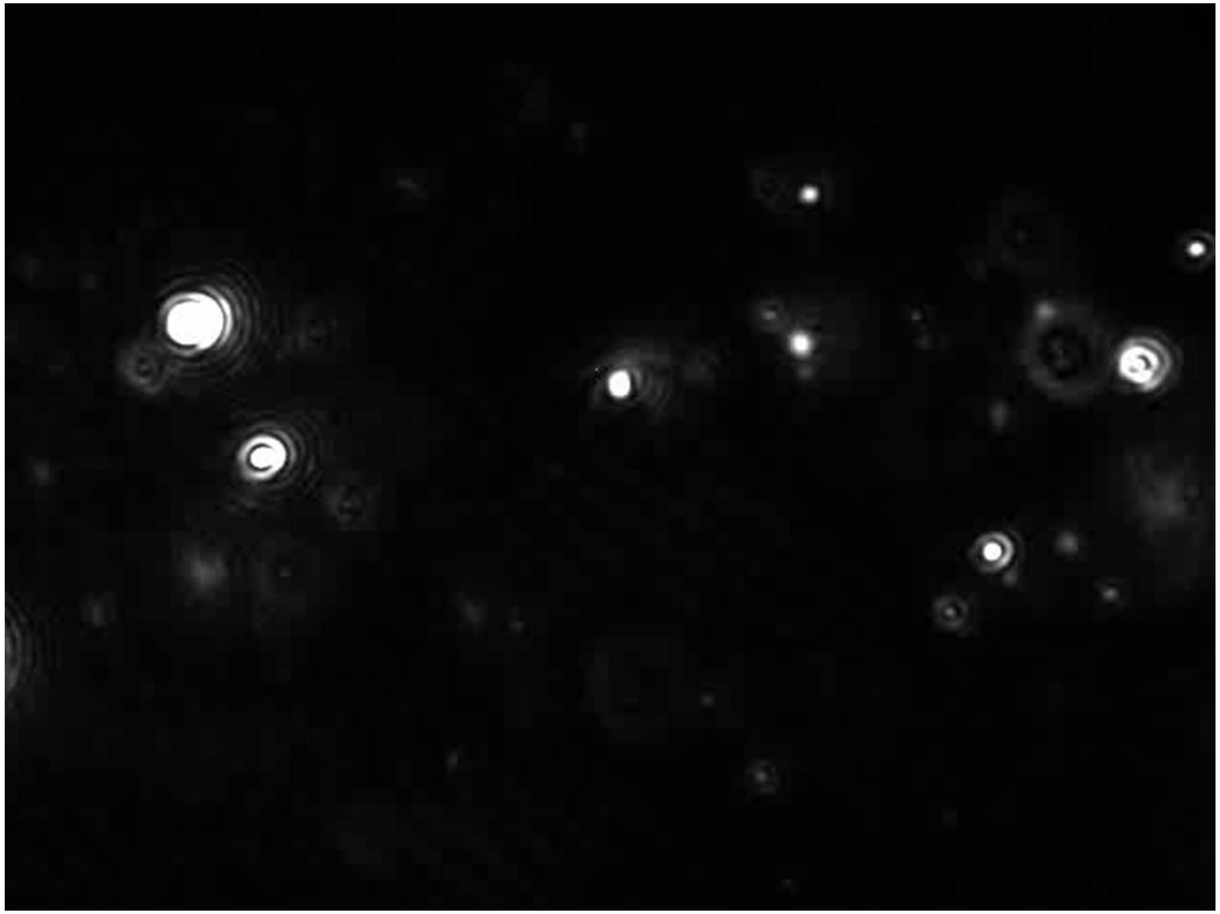
Particle Size / Relative Intensity 3D plot

Operator:	QDJ_IRIE
Sample:	
Video File:	1) water-1.avi analysis no: 004
Date/Time of Report:	25/07/2012 19:43:49
Dispersant/Diluent:	
Concentration:	
Pre-treatment:	
Remarks:	

RESULTS:	
Size Distribution:	Mean: 381 nm, Mode: 381 nm, SD: -1 nm
User Lines:	0 nm, 0 nm
Total Concentration:	0.49 particles / frame, 0.07E8 particles / ml
Selected Concentration:	0.00 particles / frame, 0.00E8 particles / ml
Fitted Curve :	Mean: 0 nm, SD: 0
Completed Tracks:	1
Drift Velocity:	671 nm/s
ANALYSIS SETTINGS:	
Frames Processed:	1799 of 1800
Frames per Second:	30.00
Calibration:	172 nm/pixel
Blur:	Auto
Detection Threshold:	7 Multi
Min Track Length:	Auto
Min Expected Size:	100 nm
Temperature:	26.80 ºC
Viscosity:	0.85 cP

（２）サンプル水：No.１

ナノバブル可視化動画



サンプルNo.1-1

超純水+99.9999%高純度酸素
循環ポンプ水圧0.05MPa

Size Distribution:

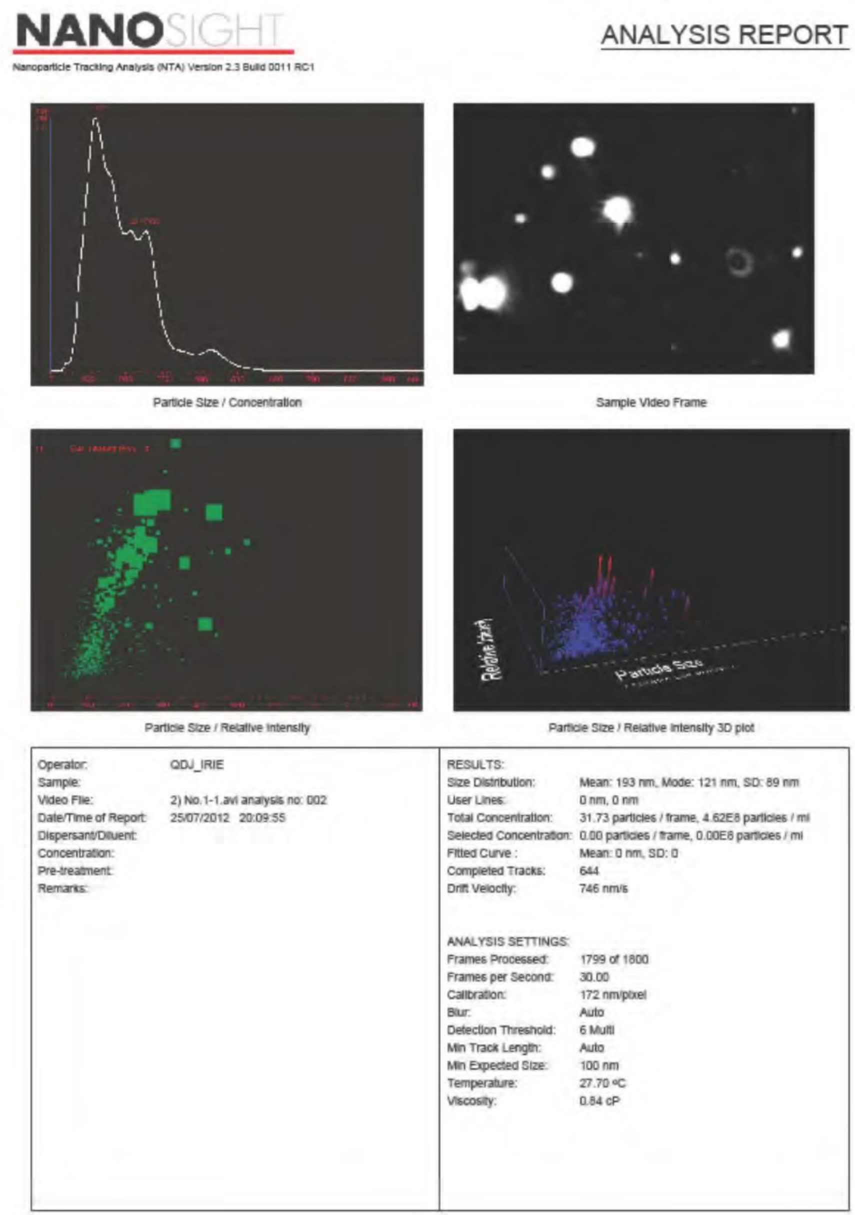
- Mean: 193 nm
- Mode: 121 nm

  2.899E6 particles/mL

  - SD: 89 nm

Total Concentration:

- 31.73 particles / frame
- 4.62E8 particles / ml



NANOSIGHT — ANALYSIS REPORT

Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) Version 2.3 Build 0011 RC1

Particle Size / Concentration

Sample Video Frame

Particle Size / Relative Intensity

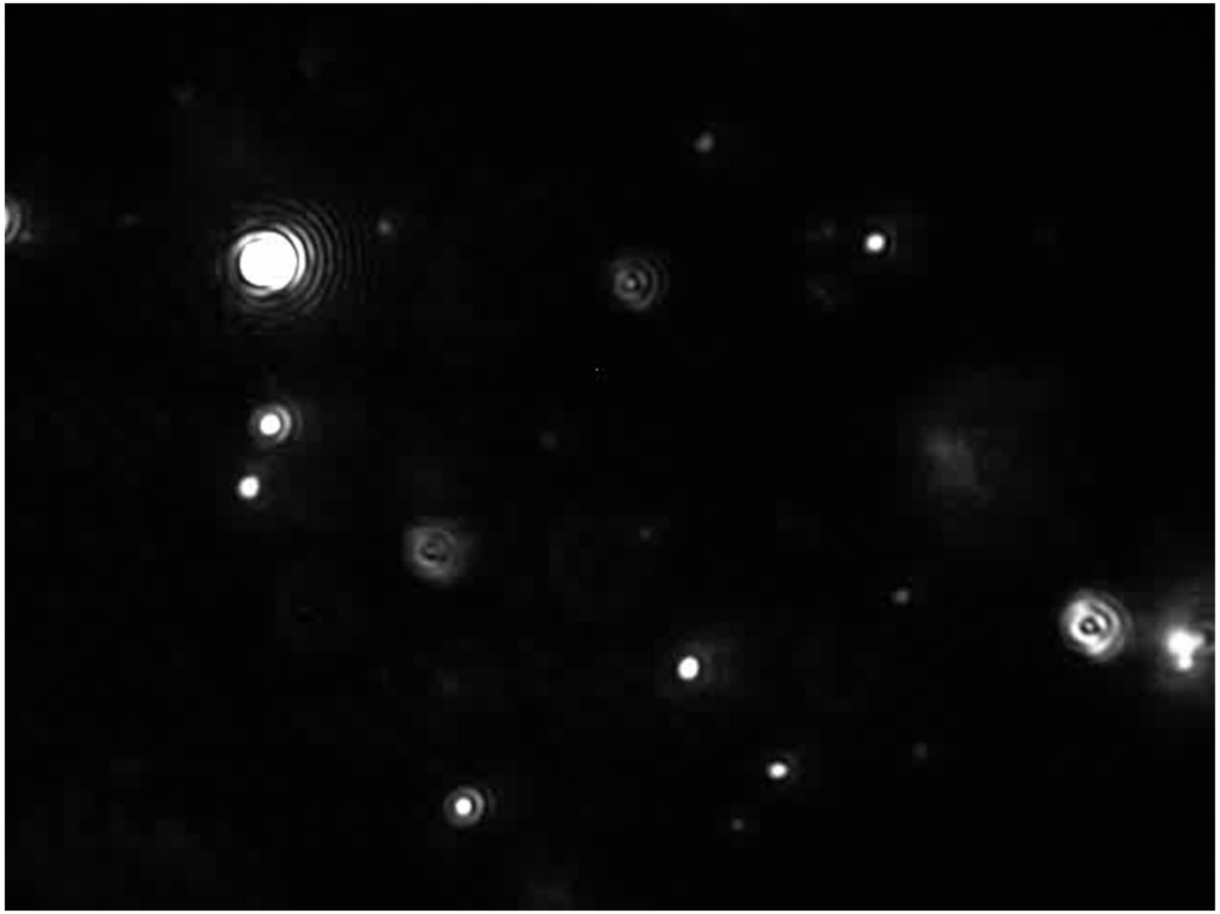
Particle Size / Relative Intensity 3D plot

Operator:	QDJ_IRIE
Sample:	
Video File:	2) No.1-1.avi analysis no: 002
Date/Time of Report:	25/07/2012 20:09:55
Dispersant/Diluent:	
Concentration:	
Pre-treatment:	
Remarks:	

RESULTS:	
Size Distribution:	Mean: 193 nm, Mode: 121 nm, SD: 89 nm
User Lines:	0 nm, 0 nm
Total Concentration:	31.73 particles / frame, 4.62E8 particles / ml
Selected Concentration:	0.00 particles / frame, 0.00E8 particles / ml
Fitted Curve :	Mean: 0 nm, SD: 0
Completed Tracks:	644
Drift Velocity:	746 nm/s
ANALYSIS SETTINGS:	
Frames Processed:	1799 of 1800
Frames per Second:	30.00
Calibration:	172 nm/pixel
Blur:	Auto
Detection Threshold:	6 Multi
Min Track Length:	Auto
Min Expected Size:	100 nm
Temperature:	27.70 ºC
Viscosity:	0.84 cP

（３）サンプル水：No.２

ナノバブル可視化動画



サンプルNo.2-1

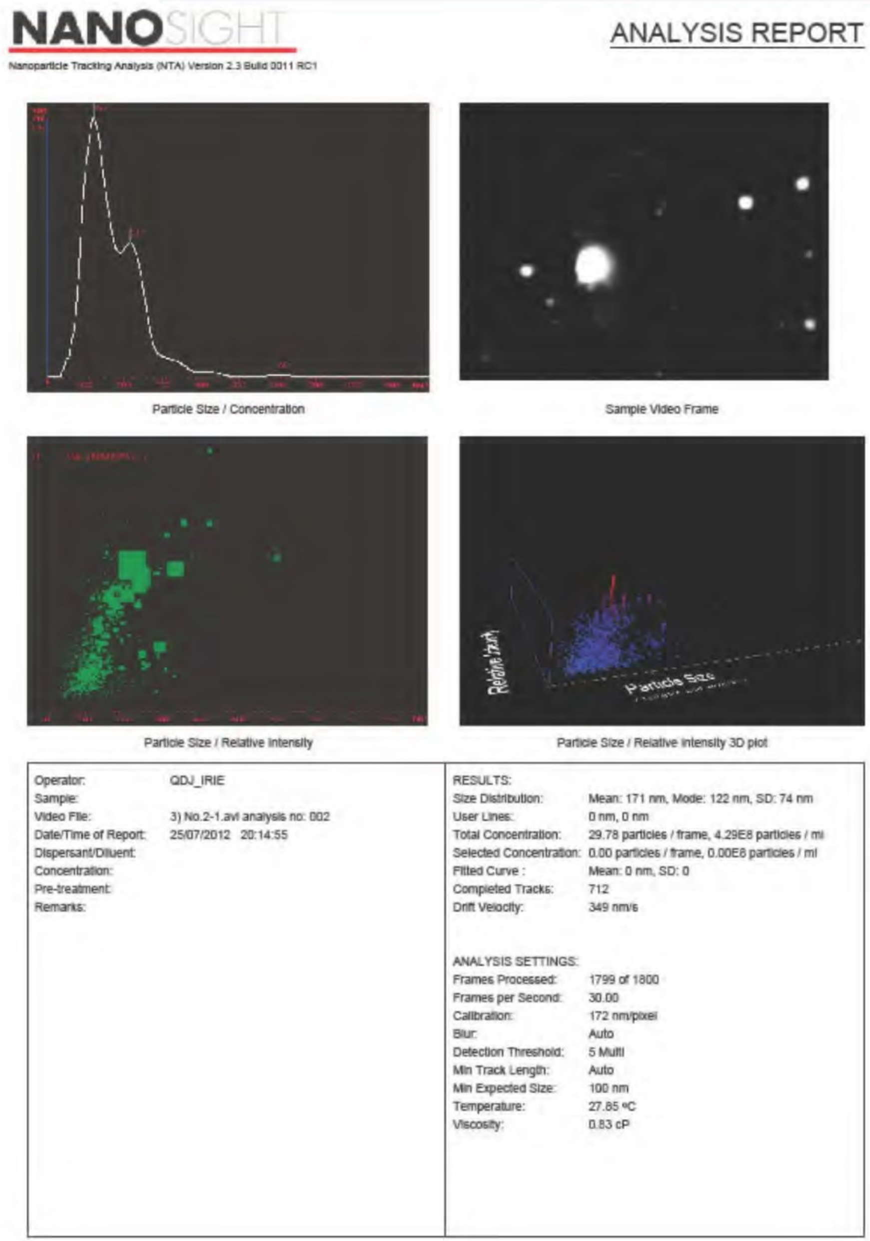
超純水+99.9999%高純度酸素
水圧0.1MPa

Size Distribution:

- Mean: 171 nm
- Mode: 122 nm
  <u>3.333E6 particles/mL</u>
- SD: 74 nm

Total Concentration:

- 29.78 particles / frame
- <u>4.29E8 particles / ml</u>


NANOSIGHT

ANALYSIS REPORT

Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) Version 2.3 Build 0011 RC1

Particle Size / Concentration

Sample Video Frame

Particle Size / Relative Intensity

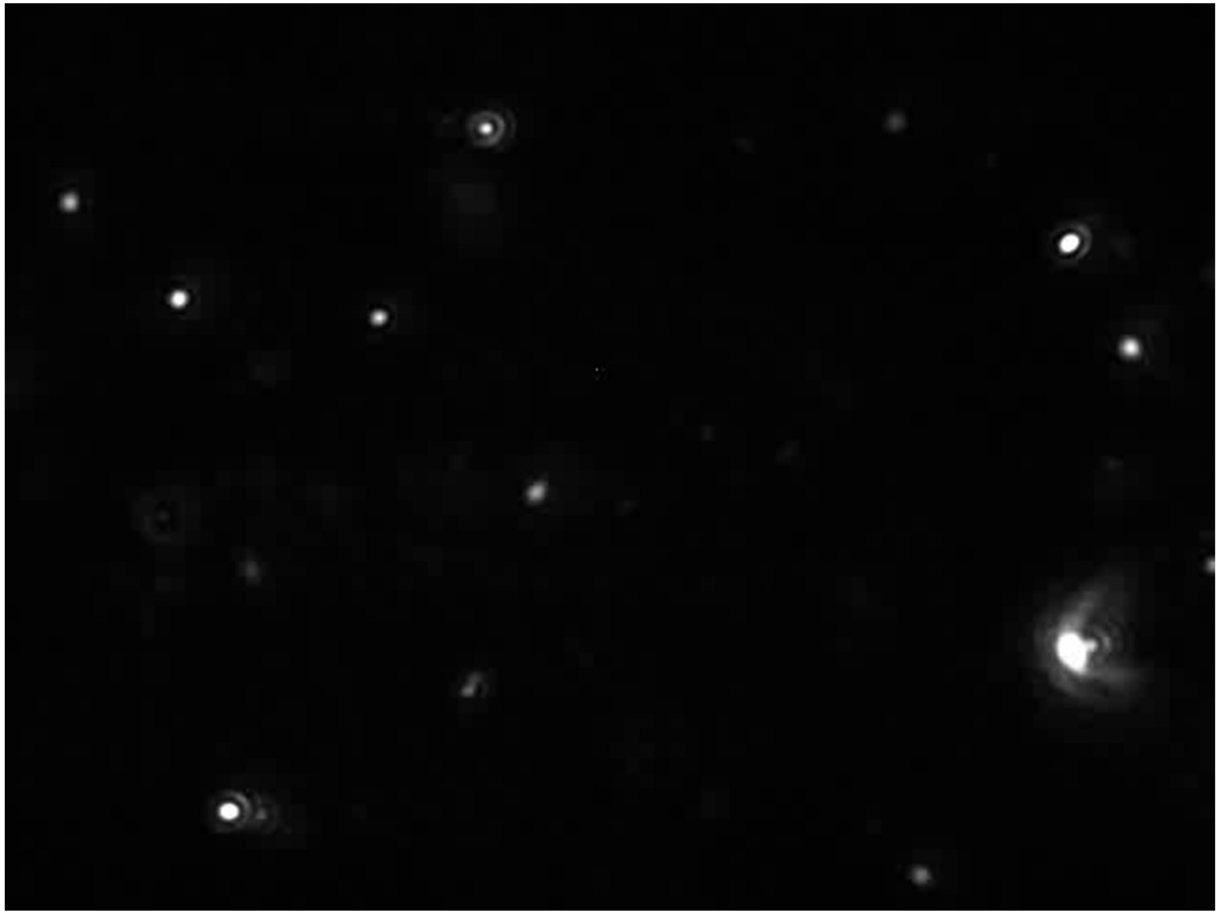
Particle Size / Relative Intensity 3D plot

Operator:	QDJ_IRIE
Sample:	
Video File:	3) No.2-1.avi analysis no: 002
Date/Time of Report:	25/07/2012 20:14:55
Dispersant/Diluent:	
Concentration:	
Pre-treatment:	
Remarks:	

RESULTS:	
Size Distribution:	Mean: 171 nm, Mode: 122 nm, SD: 74 nm
User Lines:	0 nm, 0 nm
Total Concentration:	29.78 particles / frame, 4.29E8 particles / ml
Selected Concentration:	0.00 particles / frame, 0.00E8 particles / ml
Fitted Curve :	Mean: 0 nm, SD: 0
Completed Tracks:	712
Drift Velocity:	349 nm/s
ANALYSIS SETTINGS:	
Frames Processed:	1799 of 1800
Frames per Second:	30.00
Calibration:	172 nm/pixel
Blur:	Auto
Detection Threshold:	5 Multi
Min Track Length:	Auto
Min Expected Size:	100 nm
Temperature:	27.85 ºC
Viscosity:	0.83 cP

（４）サンプル水：No.３

ナノバブル可視化動画



サンプルNo.3-1

超純水 + 99.9999%高純度酸素
水圧0.1MPa

Size Distribution:

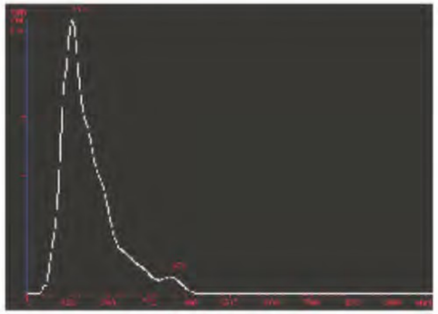
- Mean: 155 nm
- Mode: 112 nm
  <u>4.645E6 particles/mL</u>
- SD: 67 nm

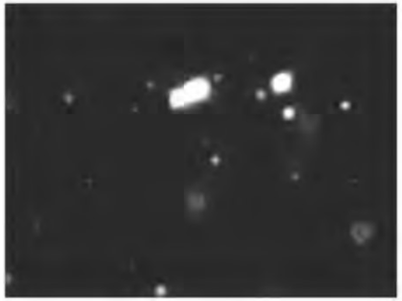
Total Concentration:

- 33.44 particles / frame
- <u>4.84E8 particles / ml</u>

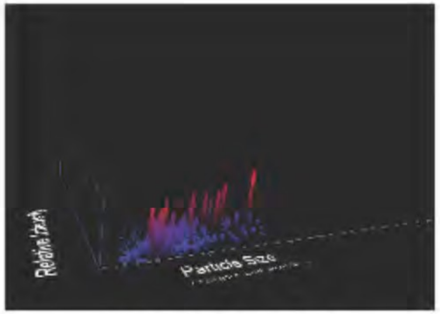
NANOSIGHT ANALYSIS REPORT

Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) Version 2.3 Build 0011 RC1


Particle Size / Concentration


Sample Video Frame


Particle Size / Relative Intensity


Particle Size / Relative Intensity 3D plot

Operator:	QDJ_IRIE	RESULTS:	
Sample:		Size Distribution:	Mean: 155 nm, Mode: 112 nm, SD: 67 nm
Video File:	4) No.3-1.avi analysis no: 002	User Lines:	0 nm, 0 nm
Date/Time of Report:	25/07/2012 20:21:12	Total Concentration:	33.44 particles / frame, 4.84E8 particles / ml
Dispersant/Diluent:		Selected Concentration:	0.00 particles / frame, 0.00E8 particles / ml
Concentration:		Fitted Curve :	Mean: 0 nm, SD: 0
Pre-treatment:		Completed Tracks:	920
Remarks:		Drift Velocity:	720 nm/s
		ANALYSIS SETTINGS:	
		Frames Processed:	1799 of 1800
		Frames per Second:	30.00
		Calibration:	172 nm/pixel
		Blur:	Auto
		Detection Threshold:	4 Multi
		Min Track Length:	Auto
		Min Expected Size:	100 nm
		Temperature:	27.75 ºC
		Viscosity:	0.84 cP

(5) 結果と考察（ナノバブル）

①圧0.05MPaで高純度酸素ナノバブルを多量発生

　超純水、99.9999%高純度酸素を使用して、密封系装置に高純度酸素を充満させた状態で、低圧0.05MPaでテフロン製のマイクロバブル発生ノズル（OKE-MB1000mL)を通して水を30分間循環させてナノバブルを多量に発生させることが出来た。

　事前に超純水に2段階で高純度酸素を溶け込ませることで、飽和状態になっていたと考えられる。

②キャビテーション領域でのナノバブル発生

OKE-MB1000mLノズルは、圧0.05MPa時撹拌部の真空度は、-0.027MPa。キャビテーションが起り始めている真空度です。圧0.1 MPa時の真空度は-0.048MPaでいずれもキャビテーション領域でのナノバブル発生である。

③ピーク径の個数は循環時間の経過とともに増加

循環時間が長くなっても、総個数は4.000E8/mL台。

No.1は 4.62E8particles / ml、

No.2は 4.29E8particles /ml

No.3は 4.84E8 particles / mlである。

ところがピーク径の個数は時間経過とともに増えている。

循環30分後、 2.899E6 particles/mL

循環60分後、 3.333E6 particles/mLとなり

循環90分後、 4.645E6 particles/mL となっている。

④ 超純水中で酸素ナノバブルは安定して存在してる。

7月24日PM6時前後にサンプル水を取り、クール便で東京に送り、25日夕方にLM20で測定。

③のような結果が出ていることで判断できる。

⑤ 0.05MPaより低圧でキャビテーションが起らない領域でナノバブルが発生するか、実験の必要かある。

0.0015～0.03MPa でマイクロバブルが発生しているので、ナノバブル発生の可能性は高いと思われる。

６．応用事例

6.1洗浄関連

●鉄板洗浄（製鉄所）　●塗装前車体の洗浄（自動車メーカー）　●プレス品のコンタミ除去　●ウエハーの超鏡面研磨　●光ファイバー洗浄　●半導体洗浄　●メッキ苗処理　●冷却フィンCa除去　●牡蠣の洗浄・蓄養　●ドレスのシミ抜き

6.2生物活性化関連

●潅水（トマト、葉物野菜、イチゴ、イチジク）●水耕栽培　●発芽促進　●水槽（錦鯉、アロワナ、ランチュウ海水魚、サンゴ）　●生簀（イカ、カニ、魚、貝）漁船の生簀　●養殖関係（魚、海藻、アワビ）●湖池浄化（シジミ）●海水浄化　●排水処理　●発酵安定化

6.3　その他

●オゾンマイクロバブル　●オゾン水　●水素水
●バラスト水殺菌　●燃料改善　●水中鉄分除去

6.4　生活関連関係

●炭酸泉　●カクテルメーカー　●マイクロバブルバス、シャワー、足湯

ありがとうございました。

多くの方の援助・指導に感謝します。

2012年8月9日

2012の本混相流学会講演会東京大学柏キャンパス