

ドライミストの粒径分布測定実験

辻本研究室 4106083 水野 吉崇

<目次>

ドライミストの粒径分布測定実験

第1章 研究背景・目的	
1.1 研究背景・目的.....	6
第2章 実験概要・計画	
2.1 実験概要.....	8
2.2 実験施設.....	9
2.3 使用ノズルについて.....	10
2.4 実験計画.....	11
2.4.1 測定点詳細	
2.4.2 測定項目	
2.4.3 実験方法	
2.4.4 測定順序	
2.4.5 検討項目	
第3章 実験結果及び考察	
3.1 はじめに.....	16
3.1.1 測定項目	
3.1.2 実験設備の温度・湿度	
3.2 各測定点での平均粒径の時間変動.....	20
3.2.1 目的	
3.2.2 標準偏差の算出	
3.2.3 変動係数の算出	
3.2.4 検討結果	
3.3 A社ノズル・B社ノズルの平均粒径比較	32
3.3.1 目的	
3.3.2 平均粒径比較	
3.3.3 粒径分布比較	
3.4 B社ノズルの圧力変化による平均粒径比較.....	44
3.4.1 目的	
3.4.2 検討結果	

3.5	A社ノズル・B社ノズルのノズル周りの位置による平均粒径比較.....	46
3.5.1	目的	
3.5.2	標準偏差の算出	
3.5.3	変動係数の算出	
3.5.4	検討結果	
3.6	1分あたりの算出流量による噴霧蒸散効果の検証.....	57
3.6.1	目的	
3.6.2	検討方法	
3.6.3	検討結果	
3.7	A社ノズル・B社ノズルの個体差比較.....	66
3.7.1	目的	
3.7.2	検討	
3.8	まとめ.....	72
	謝辞.....	73
第4章	補足事項	
4.1	ミストノズルの組み立て方.....	76
4.2	平均粒径値の検討.....	79

ドライミストの粒径分布測定実験

第1章 研究背景・目的

第一章 研究背景・目的

1.1 研究背景・目的

ミストノズルの平均粒径値は製品公称値で $16\mu\text{m}$ と与えられている。しかし、実際には粒径を測定する位置によって図 1-1 に示すように値は異なる。したがって、実際にミストノズルから噴射される液滴の大きさ（粒径）を幾つかの条件下で計測し、噴射口からの位置による粒径の大きさやそれらの分布系の違い、またノズルの種類による違いなどを得られたデータからまとめ、比較検討する。

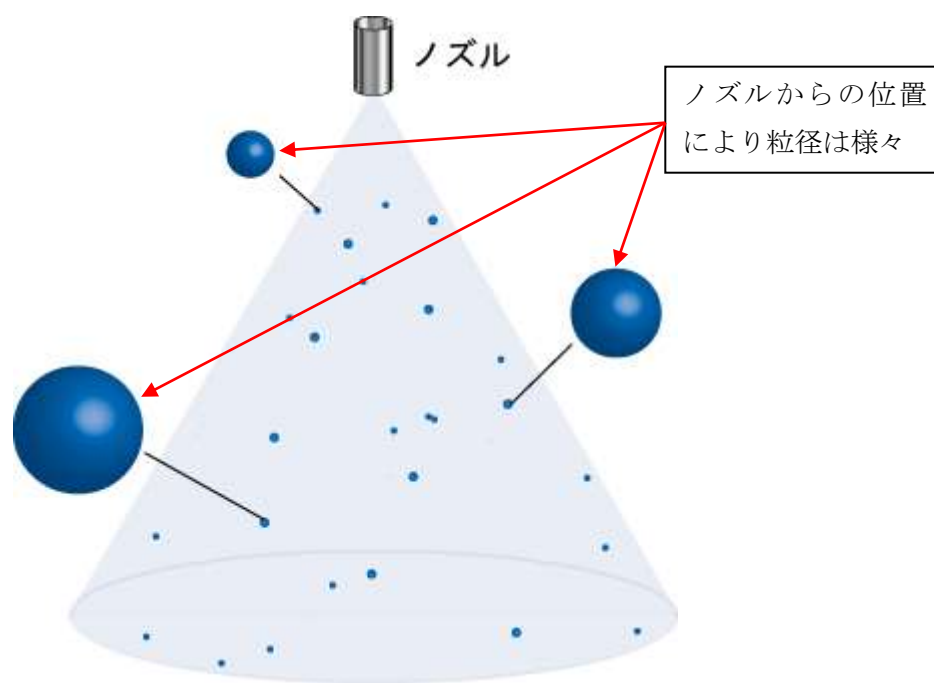


図 1-1 ミストの粒径値

第2章 実験概要・計画

第2章 実験概要・計画

2.1 実験概要

- ・実験場所

兵庫県丹波市B社ノズル工場

- ・実験日時

2009年 10月1日(実験開始 10:42～実験終了 20:09)

10月2日(実験開始 8:51～実験終了 15:25)

以上の計2日間

2つの異なるノズルから噴霧される水の粒の大きさを計測する。噴霧口からさまざまな距離で測定を繰り返し、それぞれのノズルの特徴を観察する。

計測方法としては、B社のPDPA粒径解析装置を使用する。この装置はレーザードップラーの位相原理を応用した粒子解析(図2-1)で、粒子の速度と大きさを同時に測定することができる。この位相ドップラーの原理は、2本に分けられたレーザービームを、発光側レンズで交差させ、交差点をつくる。ここを粒子が通過する時、錯乱光によって干渉縞が形成され、これをレシーバー(受光側)で検知することで測定する。

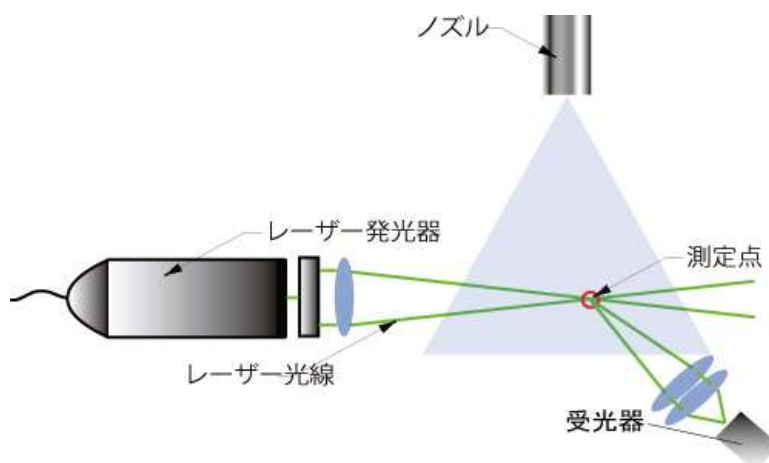
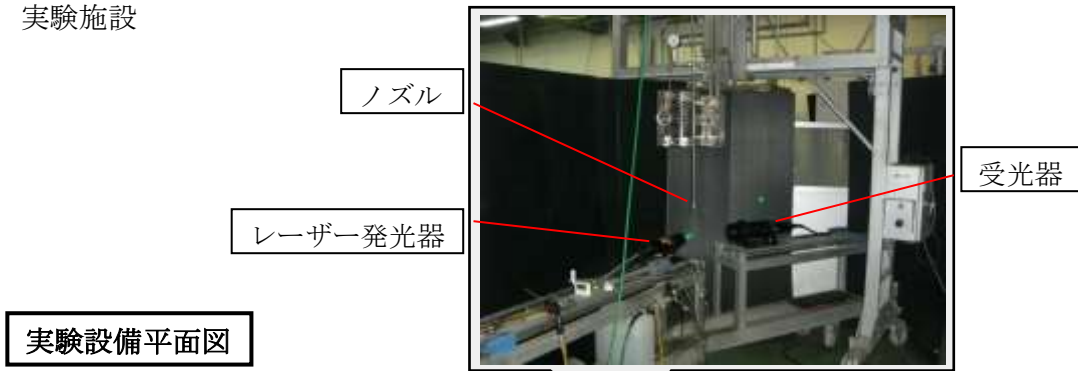
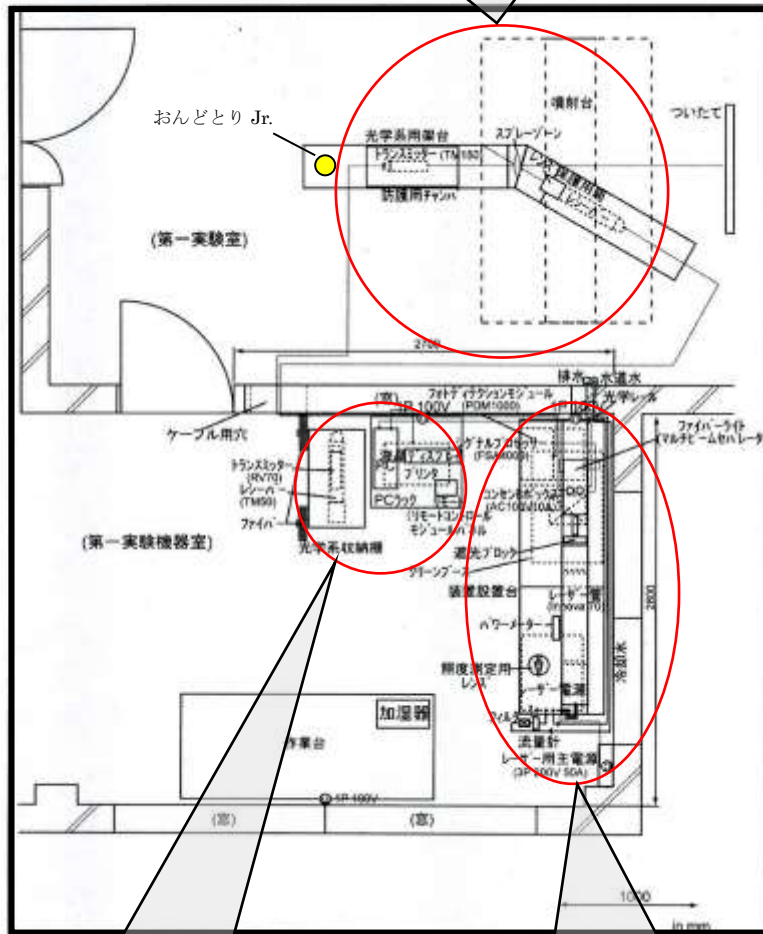


図2-1 PDPA(位相ドップラー)粒径解析法

2.2 実験施設



実験設備平面図



2.3 使用ノズルについて

今回実験に使用するノズルは下写真の二種類。左写真が愛知万博で使用されたA社製ノズル、右写真が現在家庭用ドライミストに使用されているB社製ノズルである。

これらのノズルの共通点としては共に製品公称値で16 μ mと与えられていることである。一方、主な相違点は図 2-2 に示すようにノズルから出るミストの噴霧角度にある。A社ノズルは角度が狭く、B社は比較的広く噴霧するように設計されているという点である。



A社製ノズル



B社製ノズル


	A社	B社
噴霧角度		
主な相違点	愛知万博での使用目的で設計されており、テントから遠くまでいきわたらせるために角度が狭く噴霧するように設計。	家庭用に改良されており、周囲を均一に冷却させるために比較的角度が広く噴霧するように設計。

図 2-2 A社・B社ノズルの主な相違点

2.4 実験計画

2.4.1 測定点詳細

測定は図 2-3 の○印が示す各点において行う。ノズルの中心軸を Z 軸としノズルの噴霧口から 50,100,150,200,250,300mm の箇所に測定点をとる。さらに Z 軸に垂直に X 軸をとり、Z 軸から 0,10,20,30,40mm の点を定める。

また、この X-Z 平面上の各測定点を図 2-4 のようにノズルの中心軸周りに 60° 、 120° の位置にも設定し同様に測定を行う。

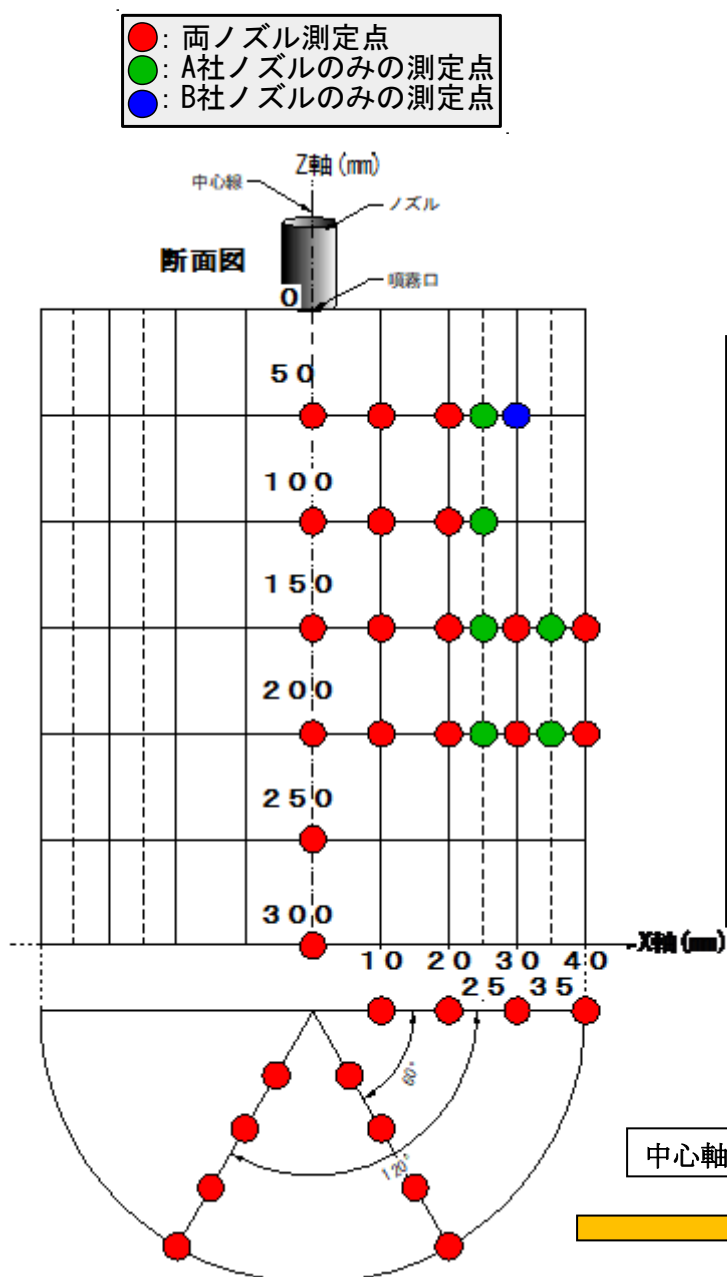


図 2-3 粒子の測定点図 1

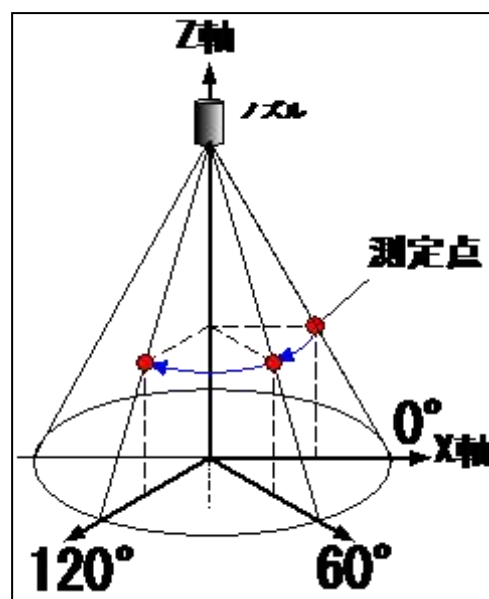


図 2-4 粒子の測定点図 2

中心軸周りも測定

2.4.2 測定項目

2.4.1 で述べた各測定点での測定項目は以下の 8 項目。

平均粒径(ザウター平均※)(μm)、最大粒径(μm)、平均粒径速度(m/s)、最大粒径速度(m/s)、測定時間(s)、粒径分布、温度(°C)、湿度(%)

※ザウター平均とは？

液滴の平均径は算術平均やザウター平均と呼ばれるいくつかの計算方法があり、スプレーを利用する目的により使い分けされる。現在、ドライミストではザウター平均が使用され、その計算式は【ザウター平均 = $\sum d_i^3 \cdot n_i / \sum d_i^2 \cdot n_i$ 】で、計測した液滴の体積の総和と表面積の総和の比を求めた式である。従って、ザウター平均のことを体面積平均とも呼び、通常、記号は D32 または SMD を使用する。また、ドライミストは粒径が揃ったノズルが望ましいとされているが、ほとんどのノズルは最大と最少の粒径に大差がある。ザウター平均の計算式では、採取した数千個の液滴の中に、わずかに数個の異常な大粒子の液滴が含まれていれば、それが平均粒径に大きく影響することになる。従って、最大径付近の粒子数が少なくて、より小さい平均粒径のノズルを見つけるためにはザウター平均が最適なのである。液滴の平均径の詳細については、巻末の補足を参照。

2.4.3 実験方法

測定は、測定開始から測定点を通過した粒子の総個数が 1 万個に達した時点で測定を終了にし、その間に通過した 1 万個の粒子それぞれの粒径及び速度より平均・最大値及び分布系を求める。また、この際にかかった時間を測定時間とする。実験施設は完全な密室ではないため多少気流が発生し測定に影響が出てしまう恐れがあった。そこで、先述の作業を 2.4.1 で述べた各測定点において三回ずつ行なった。つまり、すべての測定点において上記の測定項目の値がそれぞれ三つずつ得られるということである。

さらに、この一連の作業を行う際の高圧ポンプの圧力は A 社ノズルが 6MPa のみ、B 社ノズルが 6MPa, 5MPa, 4MPa と変化をさせて比較を行う。

2.4.4 測定順序

表-2-1 は各測定点の平均粒径値及び測定順序を表している。以下に順序を説明する。

- ① (X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)の測定点を連続して三回測定。
- ② ①と同様に、(10mm,50mm)、(20mm,50mm)、(30mm、50mm)の順にそれぞれ三回ずつ測定する。
- ③ Z 軸 100mm 上の測定点を X 軸 0mm、10mm、20mm、30mm、40mm の順に三回ずつ測定する。
- ④ Z 軸 150mm、200mm、250mm、300mm の順番に③と同様に測定する。
- ⑤ そして、表-2-1 は表-2-2 中の順序 1 で行う測定内容であり、表 2-2 の測定開始が(0mm,50mm)の点の一回目の測定開始時間、測定終了が(0mm、300mm)の点の三回目の測定終了時間をそれぞれ表している。この行程を順序 1 から 16 まで行う。

表-2-1 B 社ノズル：6MPa、ノズル周り 0° の測定順序と平均粒径(μm)

測定回数	X軸0(mm)			10			20			30			40		
	一回目	二回目	三回目	一回目	二回目	三回目	一回目	二回目	三回目	一回目	二回目	三回目	一回目	二回目	三回目
Z軸50(㉑)	10.45	11.68	11.55	10.11	10.09	9.58	19.15	19.38	18.93	32.08	32.02	32.13			
100(㉒)	16.05	14.02	12.94	10.82	10.77	10.54	15.26	16.71	14.45	25.75	23.29	25.39			
150(㉓)	15.83	14.87	16.89	14.43	14.30	13.19	15.18	15.99	16.05	20.72	23.01	21.84	32.45		
200(㉔)	22.65	20.31	21.30	15.10	16.21	15.67	15.56	16.88	15.57	19.53	19.40	22.18	26.66	27.40	26.15
250(㉕)	22.03	18.85	24.83												
300(㉖)	22.37	22.37	23.59												

注) (150mm,40mm)の点を見ると測定は一回となっているが、これは粒径が大きくなりそれにとまって測定時間が著しく長くなったため時間の都合上測定回数を減らした。

表-2-2 ノズルの種類・圧力・ノズル周り各々の測定順序

順序	日付	測定開始	測定終了	測定内容
1	2009/10/1	10:43	11:47	B社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り0°
2	2009/10/1	12:48	13:19	B社ノズル：圧力5MPa、ノズル周り0°
3	2009/10/1	13:22	14:01	B社ノズル：圧力4MPa、ノズル周り0°
4	2009/10/1	14:10	14:47	B社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り60°
5	2009/10/1	14:52	15:41	B社ノズル：圧力5MPa、ノズル周り60°
6	2009/10/1	15:43	17:00	B社ノズル：圧力4MPa、ノズル周り60°
7	2009/10/1	17:03	18:56	B社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り120°
8	2009/10/1	18:58	19:25	B社ノズル：圧力5MPa、ノズル周り120°
9	2009/10/1	19:26	20:09	B社ノズル：圧力4MPa、ノズル周り120°
10*	2009/10/2	8:51	10:58	B社ノズル：圧力5MPa、ノズル周り120°
11*	2009/10/2	11:03	12:06	B社ノズル：圧力4MPa、ノズル周り120°
12	2009/10/2	12:13	12:50	A社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り0°
13	2009/10/2	12:52	13:25	A社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り60°
14	2009/10/2	13:26	14:11	A社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り120°
15	2009/10/2	14:24	14:56	B社ノズル：圧力6MPa 個体差比較
16	2009/10/2	14:59	15:25	A社ノズル：圧力6MPa 個体差比較

※順序 8、9 の一部の測定点 ((150,20)、(150, 30)、(150, 40)、(200, 20)、(200, 30)、(200, 40)) は時間の関係上次の日に測定を行った。これが順序 10、11 の測定内容である。

第3章 実験結果及び考察

第3章 実験結果及び考察

3.1 はじめに

3.1.1 検討項目

以下に検討項目を記述する。

- ・各測定点での平均粒径の時間変動
- ・A社ノズル・B社ノズルの平均粒径比較
- ・B社ノズルの圧力変化による平均粒径比較
- ・A社ノズル・B社ノズルのノズル周りの位置による平均粒径比較
- ・1分あたりの算出流量による噴霧蒸散効果の検証
- ・A社ノズル・B社ノズルの個体差比較

3.1.2 実験設備の温度・湿度

はじめに、2.4.4の各実験条件で測定を行ったときの各測定点での温度(°C)・湿度(%)を測定機器おんどり Jr. (下写真)により計測したデータを以下に記す。

〈おんどり Jr.〉

株式会社ティアンドデイ製

- ・測定範囲：0～55°C、10～95%RH
- ・測定精度：平均±0.3°C、±5%RH(25°C50%RHにおいて)
- ・測定・表示分解能：0.1°C、1%
- ・センサ：温度→サーミスタ、湿度→高分子湿度センサ



A社ノズル6MPa											
	X軸(mm)	0		10		20		30		40	
Z軸(mm)	角度	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%
50	0°	24.5	81	24.5	81	24.4	81				
	60°	24.3	81	24.3	81	24.3	81				
	120°	24.2	85	24.2	85	24.2	85				
100	0°	24.3	81	24.3	82	24.3	82	24.3	82		
	60°	24.3	81	24.3	81	24.3	81	24.3	83		
	120°	24.1	86	24.1	85	24.2	85	24.1	85		
150	0°	24.2	82	24.2	82	24.2	82	24.2	81	24.1	81
	60°	24.2	84	24.2	83	24.2	83	24.2	83	24.2	82
	120°	24.1	86	24.1	85	24.1	85	24.0	83	24.0	85
200	0°	24.2	78	24.2	78	24.2	79	24.2	80	24.2	79
	60°	24.2	82	24.2	83	24.2	83	24.2	84	24.2	84
	120°	24.0	86	24.0	86	24.0	86	42.1	86	42.1	86
250	0°	24.2	80								
	60°	24.2	85								
	120°	24.2	86								
300	0°	24.2	80								
	60°	24.2	85								
	120°	24.2	86								

B社ノズル6MPa											
	X軸(mm)	0		10		20		30		40	
Z軸(mm)	角度	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%
50	0°	26.7	69	26.7	68	26.3	66	27.4	64		
	60°	28.7	56	28.7	56	28.7	56	28.7	55		
	120°	27.1	62	27.1	62	27.0	63	27.0	62		
100	0°	26.2	70	26.3	68	26.3	67	26.4	67		
	60°	28.6	56	28.6	56	28.6	56	28.6	56		
	120°	26.9	63	26.9	63	26.9	63	26.8	63		
150	0°	27.6	64	27.6	64	27.6	63	27.6	62	27.7	62
	60°	28.5	56	28.5	56	28.5	57	28.5	57	28.4	58
	120°	26.5	66	26.4	66	26.4	67	26.4	68	25.9	67
200	0°	28.0	60	28.2	60	28.1	59	28.1	59	28.2	58
	60°	28.4	58	28.4	57	28.4	57	28.5	57	28.5	57
	120°	25.2	72	25.2	73	25.2	73	25.1	74	24.9	72
250	0°	28.4	57								
	60°	28.7	57								
	120°	24.7	72								
300	0°	28.4	58								
	60°	28.7	57								
	120°	24.6	73								

B社ノズル5MPa											
Z軸(mm)	X軸(mm) 角度	0		10		20		30		40	
		気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%
50	0°	28.7	58	28.8	58	28.8	58	29.1	57		
	60°	28.7	57	28.7	57	28.7	57	28.7	57		
	120°	24.6	73	24.6	74	24.6	73	24.6	73		
100	0°	29.3	57	29.2	57	29.1	57	29.2	57		
	60°	28.7	57	28.7	57	28.7	57	28.7	57		
	120°	24.6	74	24.6	74	24.5	74	24.5	74		
150	0°	29.2	56	29.2	56	29.1	56	29.0	57	29.0	58
	60°	28.8	57	28.8	57	28.8	57	28.8	57	28.9	56
	120°	24.5	75	24.5	75	23.1	86	23.0	87	23.8	88
200	0°	29.0	59	29.0	58	29.1	59	29.1	58	29.1	58
	60°	28.5	57	28.5	57	28.6	57	28.5	59	28.2	57
	120°	24.5	74	24.5	74	23.5	87	23.5	85	23.9	85
250	0°	29.2	58								
	60°	28.1	59								
	120°	24.5	74								
300	0°	29.2	58								
	60°	28.2	59								
	120°	24.5	74								

B社ノズル4MPa											
Z軸(mm)	X軸(mm) 角度	0		10		20		30		40	
		気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%	気温℃	湿度%
50	0°	29.4	57	29.3	56	29.3	56	29.2	56		
	60°	28.2	60	28.2	60	28.2	60	28.1	59		
	120°	24.5	74	24.5	74	24.5	74	24.5	74		
100	0°	29.0	56	28.9	56	28.9	57	28.9	57		
	60°	28.1	59	28.1	60	28.1	60	28.1	59		
	120°	24.5	73	24.5	75	24.5	75	24.4	76		
150	0°	28.8	57	28.8	57	28.8	57	28.7	57	28.7	57
	60°	28.2	61	28.2	60	28.2	60	28.0	58	27.8	64
	120°	24.3	77	24.3	77	23.9	85	23.9	85	24.0	86
200	0°	29.0	56	29.0	57	29.0	56	29.1	56	29.1	55
	60°	27.7	64	27.6	63	27.6	62	27.6	62	27.5	63
	120°	24.3	76	27.1	76	27.1	86	24.2	85		
250	0°	29.2	56								
	60°	27.1	63								
	120°	24.3	75								
300	0°	29.1	55								
	60°	27.0	62								
	120°	24.3	76								

3.2 各測定点での平均粒径の時間変動

3.2.1 目的

2.4.4 で述べたように今回の実験は完全な密室での測定ではない。したがって、無風を想定して実験を行ったが多少の気流が発生してしまう恐れがある。ミストは風の影響を受けやすいので、これを考慮して、全ての測定点において連続して三回ずつ測定を行った。この章では測定項目の一つである平均粒径の各点での時間変動を検討する。

今回、平均粒径の時間変動を検討するにあたって、標準偏差と変動係数を用いた。以下に順に算出していく。

3.2.2 標準偏差の算出

まず、表 3-1 は B 社ノズル：6MPa、ノズル周りの位置 0° における(X,Z)=(0,50)の測定点の平均粒径と測定にかかった時間を表している。この測定点を例として式(1)で導かれる標準偏差の算出手順を以下に示す。

表 3-1 B 社ノズル：6MPa、ノズル周りの位置 0° における(X,Z)=(0,50)の平均粒径

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
測定回数	一回目	二回目	三回目
平均粒径	10.45 μm	11.68 μm	11.55 μm
測定時間	1.1114s	1.2818s	1.1224s

$$\text{標準偏差} : \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (d_i - \bar{d})^2}{3}} \quad (1)$$

σ : 標準偏差 d_i [μm] : 各測定点での i 回目の平均粒径 \bar{d} [μm] : 各測定点での三つの平均粒径の算術平均

・算出手順

- ① 各測定点での三つの平均粒径の算術平均を求める。
- ② 三つの平均粒径それぞれの値と①との差をとる。
- ③ ②の解の 2 乗をすべて足し合わせる。
- ④ 式(1)にあてはめ、標準偏差を算出する。

実際に算出してみる。

- ① 各測定点での三つの平均粒径の算術平均を求める。

表 3-2 平均粒径及び算術平均

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
測定回数	一回目	二回目	三回目
平均粒径	10.45 μm	11.68 μm	11.55 μm
算術平均	11.23 μm		

- ② 三つの平均粒径それぞれの値と①との差をとる。

表 3-3 平均粒径と算術平均の差

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
測定回数	一回目	二回目	三回目
平均粒径	10.45 μm	11.68 μm	11.55 μm
平均粒径と算術平均の差	-0.78 μm	0.45 μm	0.32 μm

- ③ ②の差の 2 乗をすべて足し合わせる。

表 3-4 ②の解の 2 乗及び合計

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
測定回数	一回目	二回目	三回目
平均粒径	10.45 μm	11.68 μm	11.55 μm
②の解の 2 乗	0.6084	0.2025	0.1024
合計	0.9133		

- ④ 式(1)にあてはめ、標準偏差を算出する。

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.9133}{3}} \approx 0.552$$

同様に B 社ノズル：6MPa、ノズル周り 0° での各測定点の標準偏差を下記に示す。

表 3-5 各測定点での測定粒径の標準偏差

B 社ノズル:6MPa、ノズル周り 0°					
標準偏差	X 軸 0mm	10	20	30	40
Z 軸 50mm	0.55	0.25	0.18	0.04	
100	1.29	0.12	0.93	1.08	
150	0.82	0.56	0.40	0.93	0.00
200	0.96	0.45	0.62	1.28	0.51
250	2.44				
300	0.58				

続いて、標準偏差の値を用いて変動係数の算出を行う。

3.2.3 変動係数の算出

変動係数は相対的なばらつきを表し、式(2)で導かれる。

2.4.2 測定項目で述べたように、ミストの平均粒径はザウター平均を用いており、含まれる液滴が大きい粒子ほどこの平均粒径に影響を及ぼす。したがって、平均粒径が大きくなるにつれ大粒子が多く含まれる、つまり平均粒径の変動が起きやすくなるのである。この平均粒径値による変動の起きやすさを均一にするために変動係数を用いる。この変動係数により各測定点での平均粒径の時間変動を検討する。

$$\text{変動係数} : C.V. = \frac{\sigma}{\bar{d}} \quad (2)$$

<p>$C.V.$: 変動係数 σ : 標準偏差 \bar{d} [μm] : 各測定点での三つの平均粒径の算術平均</p>

・算術手順

- ① 標準偏差を求める。
- ② ①と算出平均を式(2)に当てはめ、変動係数を算出する。

- ① 標準偏差を求める。

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.9133}{3}} \quad \doteq 0.552$$

- ② ①と算出平均を式(2)に当てはめ、変動係数を算出する。

$$C.V. = \frac{0.552}{11.23} \quad \doteq 0.049$$

同様に B 社ノズル : 6MPa、ノズル周り 0° での各測定点の標準偏差を用いた変動係数を下記に示す。

表 3-6 各測定点の変動係数

B 社ノズル:6MPa、ノズル周り 0°					
変動係数	X 軸 0mm	10	20	30	40
Z 軸 50mm	0.049	0.025	0.010	0.001	
100	0.090	0.011	0.060	0.044	
150	0.052	0.040	0.025	0.043	0.000
200	0.045	0.029	0.039	0.063	0.019
250	0.112				
300	0.025				

3.2.4 検討結果

以上の手順と同様に、下記の4つの条件

- (測定条件)
- ・ A社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・ B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・ B社ノズル：圧力 5MPa、ノズル周り 0°
 - ・ B社ノズル：圧力 4MPa、ノズル周り 0°

において、X-Z平面上の各測定点での平均粒径、標準偏差及び変動係数を求めた結果を 25、27、29、31 ページに示した。

そこで、この変動係数の平均を4つの条件ごとにとると、

測定条件	変動係数の平均値
A社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°	0.031
B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°	0.039
B社ノズル：圧力 5MPa、ノズル周り 0°	0.035
B社ノズル：圧力 4MPa、ノズル周り 0°	0.034

となった。したがって、B社ノズルの方がA社ノズルよりも粒径値の時間変動が僅かではあるが起こりやすいという結果になった。しかし、変動係数はノズルからの距離に比例するなどの規則性はあまり見受けられなかった。また、ノズルの種類やポンプ圧力の違いにより多少の変動の違いはあったものの大きな影響は受けにくいようである。

A 社ノズル: 6MPa、ノズル周り 0°																		
Z 軸(mm)	X 軸(mm)			0			10			20			30			40		
	測定回数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数		
50	1 回目	7.40			11.64			28.57										
	2 回目	7.66	0.11	0.014	11.00	0.37	0.033	28.44	0.06	0.002								
	3 回目	7.50			11.89			28.45										
100	1 回目	10.36			13.35			22.11			32.80							
	2 回目	10.41	0.45	0.042	12.58	0.32	0.025	20.21	0.90	0.043	31.26	0.79	0.024					
	3 回目	11.34			12.84			20.20			33.04							
150	1 回目	14.84			16.71			20.96			32.98			40.58				
	2 回目	14.66	0.41	0.027	13.09	1.65	0.115	21.03	0.87	0.040	29.41	1.58	0.050		0.00	0.000		
	3 回目	15.60			13.32			22.85			32.51							
200	1 回目	17.87			14.91			20.48			32.28			37.38				
	2 回目	16.58	0.55	0.032	15.23	0.16	0.010	20.97	0.20	0.010	31.42	1.00	0.032		0.00	0.000		
	3 回目	16.92			14.89			20.72			29.87							
250	1 回目	20.67																
	2 回目	21.67	0.81	0.039														
	3 回目	19.69																
300	1 回目	21.23																
	2 回目	23.59	1.29	0.059														
	3 回目	20.60																

B 社ノズル：6MPa、ノズル周り 0°																		
Z 軸(mm)	X 軸(mm)			0			10			20			30			40		
	測定回数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数		
50	1 回目	10.45			10.11			19.15			32.08							
	2 回目	11.68	0.55	0.049	10.09	0.25	0.025	19.38	0.18	0.010	32.02	0.04	0.001					
	3 回目	11.55			9.58			18.93			32.13							
100	1 回目	16.05			10.82			15.26			25.75							
	2 回目	14.02	1.29	0.090	10.77	0.12	0.011	16.71	0.93	0.060	23.29	1.08	0.044					
	3 回目	12.94			10.54			14.45			25.39							
150	1 回目	15.83			14.43			15.18			20.72			32.45				
	2 回目	14.87	0.82	0.052	14.30	0.56	0.040	15.99	0.40	0.025	23.01	0.93	0.043			0.000		
	3 回目	16.89			13.19			16.05			21.84							
200	1 回目	22.65			15.10			15.56			19.53			26.66				
	2 回目	20.31	0.96	0.045	16.21	0.45	0.029	16.88	0.62	0.039	19.40	1.28	0.063	27.40	0.51	0.019		
	3 回目	21.30			15.67			15.57			22.18			26.15				
250	1 回目	22.03																
	2 回目	18.85	2.44	0.112														
	3 回目	24.83																
300	1 回目	22.37																
	2 回目	22.37	0.58	0.025														
	3 回目	23.59																

B 社ノズル:5MPa、ノズル周り0°																		
Z 軸(mm)	X 軸(mm)			0			10			20			30			40		
	測定回数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数		
50	1 回目	12.04			11.50		0.027	23.69		0.019	37.52		0.004					
	2 回目	11.29	0.37	0.032	10.79	0.30	0.027	23.17	0.43	0.019	37.85	0.17	0.004					
	3 回目	11.22			11.29			22.63			37.47							
100	1 回目	12.98			12.41			17.52			27.10							
	2 回目	11.97	0.43	0.034	11.65	0.41	0.035	19.04	1.07	0.057	29.39	1.00	0.036					
	3 回目	12.72			11.46			20.14			27.48							
150	1 回目	15.37			14.56			16.40			24.40			35.05				
	2 回目	17.96	1.20	0.074	13.38	0.48	0.035	16.67	0.12	0.007	25.39	0.45	0.018	36.24	0.69	0.019		
	3 回目	15.47			13.93			16.64			25.31			34.62				
200	1 回目	19.68			17.34			18.43			25.62			32.53				
	2 回目	21.30	2.26	0.119	15.93	0.79	0.049	17.64	0.32	0.018	25.67	0.25	0.010	32.88	1.27	0.040		
	3 回目	15.91			15.49			18.03			25.11			30.03				
250	1 回目	23.20																
	2 回目	23.51	0.36	0.015														
	3 回目	22.65																
300	1 回目	26.88																
	2 回目	24.22	1.19	0.047														
	3 回目	24.50																

B 社ノズル: 4MPa、ノズル周り 0°																		
Z 軸(mm)	X 軸(mm)			0			10			20			30			40		
	測定回数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数		
50	1 回目	9.75			14.19			27.20			40.16							
	2 回目	10.78	0.45	0.043	13.09	0.45	0.033	27.32	0.26	0.010	40.01	0.06	0.002					
	3 回目	10.59			13.70			26.71			40.12							
100	1 回目	15.54			12.60			23.69			31.94							
	2 回目	15.04	0.21	0.014	12.93	0.59	0.045	22.26	0.60	0.026	31.14	0.37	0.012					
	3 回目	15.39			13.99			23.29			31.17							
150	1 回目	18.45			14.12			19.70			32.67			39.12				
	2 回目	19.92	0.62	0.032	15.35	0.70	0.049	20.81	0.54	0.027	29.13	1.97	0.066	39.53	0.45	0.012		
	3 回目	19.52			13.70			19.63			28.05			38.44				
200	1 回目	22.02			18.40			20.01			26.88			26.45				
	2 回目	22.62	1.22	0.053	17.90	0.24	0.013	19.29	0.52	0.026	27.67	0.44	0.016	25.42	5.28	0.178		
	3 回目	24.85			17.87			20.55			26.65			37.11				
250	1 回目	26.43																
	2 回目	26.60	0.25	0.009														
	3 回目	27.03																
300	1 回目	27.45																
	2 回目	26.19	0.55	0.021														
	3 回目	26.38																

3.3 A社ノズル・B社ノズルの平均粒径比較

3.3.1 目的

続いて、A社ノズルとB社ノズルの平均粒径及び粒径分布の比較を行う。測定条件は下記の通りである。

- (測定条件)
- ・A社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°

A社ノズルは愛知万博で使用されたノズル、B社は現在家庭用に使用されているノズルである。この二つは、製品公称値で共に 16 μm と与えられているが、ノズルからの位置の違いで平均粒径や分布に何らかの違いがみられるかどうかを検証する。

3.3.2 平均粒径比較

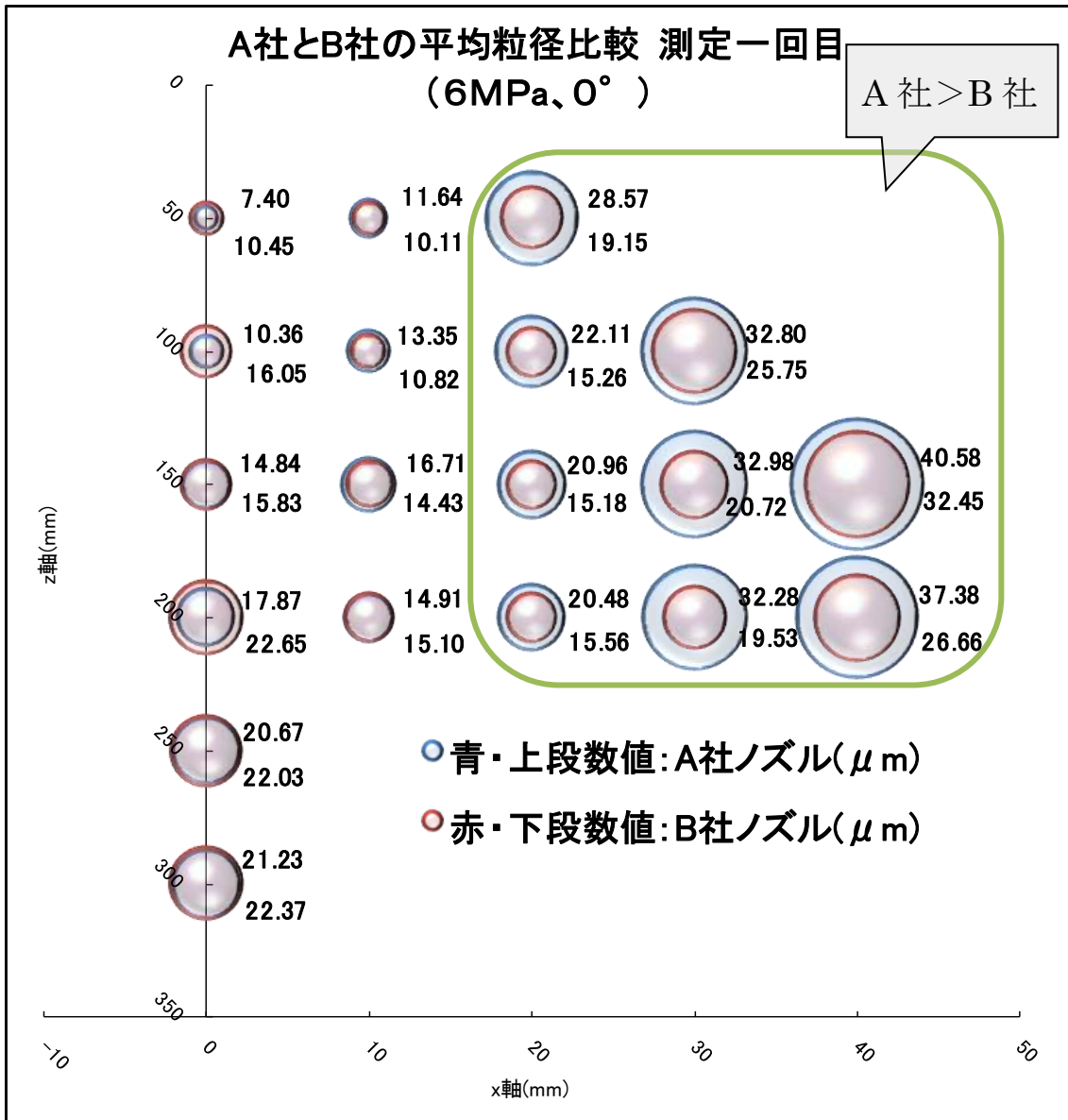
まず、平均粒径の比較を行う。33、35、37 ページに示した図が両ノズルの比較を表している。33ページが各測定点での三回中の一回目に測定した値の比較図、35ページが二回目、37ページが三回目をそれぞれ表している。これらの図の縦軸をZ軸、横軸をX軸とし、ノズルの噴霧口を(X,Z)=(0mm,0mm)の位置に定める。図中の上段の数値がA社ノズルの平均粒径(μm)、下段の数値がB社ノズルの平均粒径(μm)で二つの平均粒径の比率を表したものが青と赤の円である。青がA社ノズル、赤がB社ノズルをそれぞれ表している。ここで、3つの図を見るとノズルから遠ざかるにつれて全体的に粒径が大きくなっているのがわかる。これは小さい粒子に比べ大きい粒子ほど蒸散しにくくなり、より遠くまでいきわたるためである。

<検討結果>

検討結果である。一回目、二回目、三回目のいずれも中心軸から離れた部分、つまり緑で囲った箇所を見るとA社に比べB社の方が平均粒径が小さくなっている。この結果は、2.3で述べたようなノズルの性質の違いによる(右図)。つまりA社に比べ、B社の方が噴霧角度が広いため、より広範囲に小さい粒子が噴霧されることになる。結果として、中心軸から離れた外側の各測定点ではB社の方が平均粒径が小さいという結果が得られたのである。

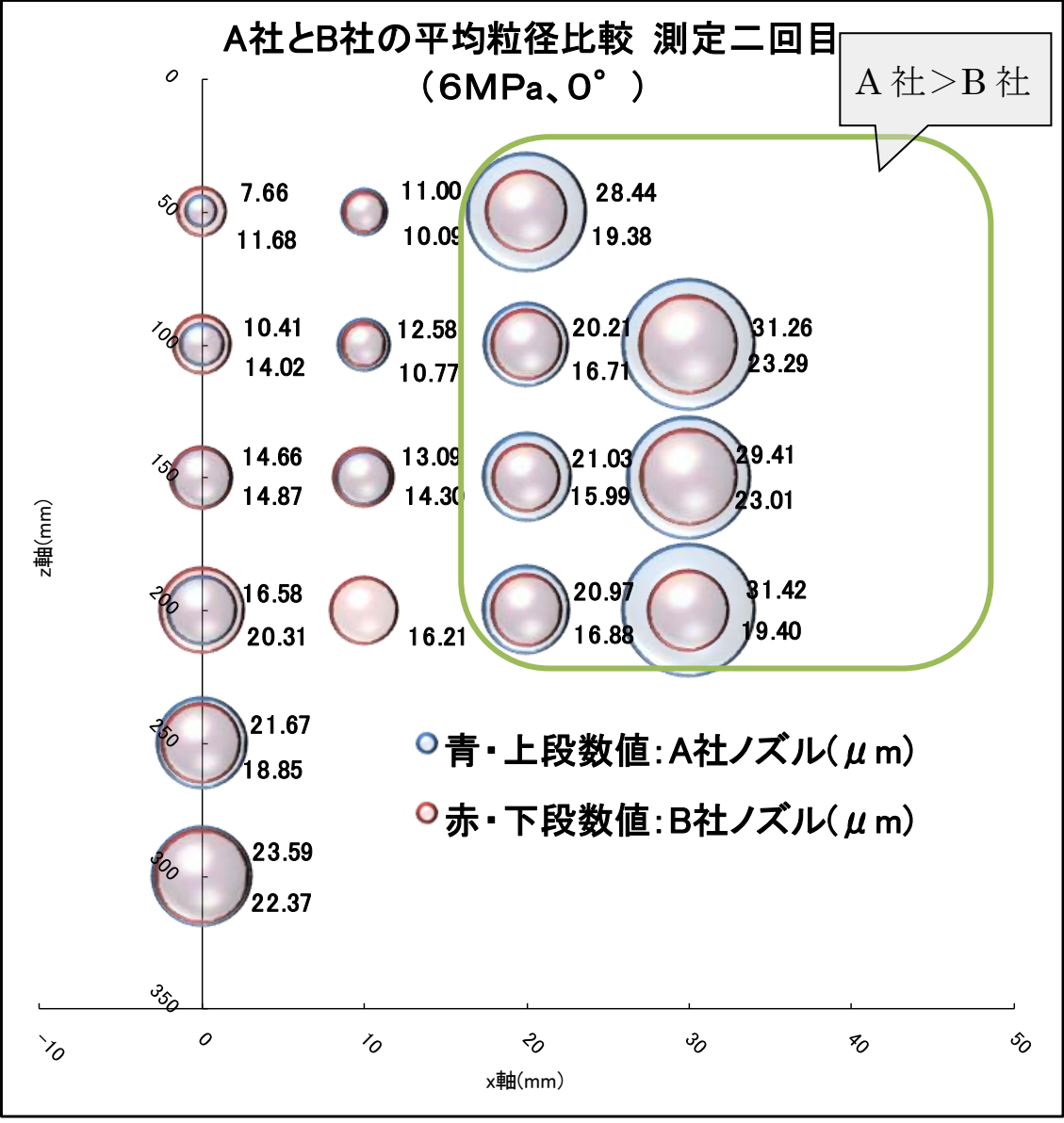
	A社	B社
噴霧角度		
主な相違点	愛知万博での使用目的で設計されており、テントから遠くまでいきわたらせるために角度が狭く噴霧するように設計。	家庭用に改良されており、周囲を均一に冷却させるために比較的角度が広く噴霧するように設計。

A社とB社の平均粒径比較 測定一回目
(6MPa、0°)



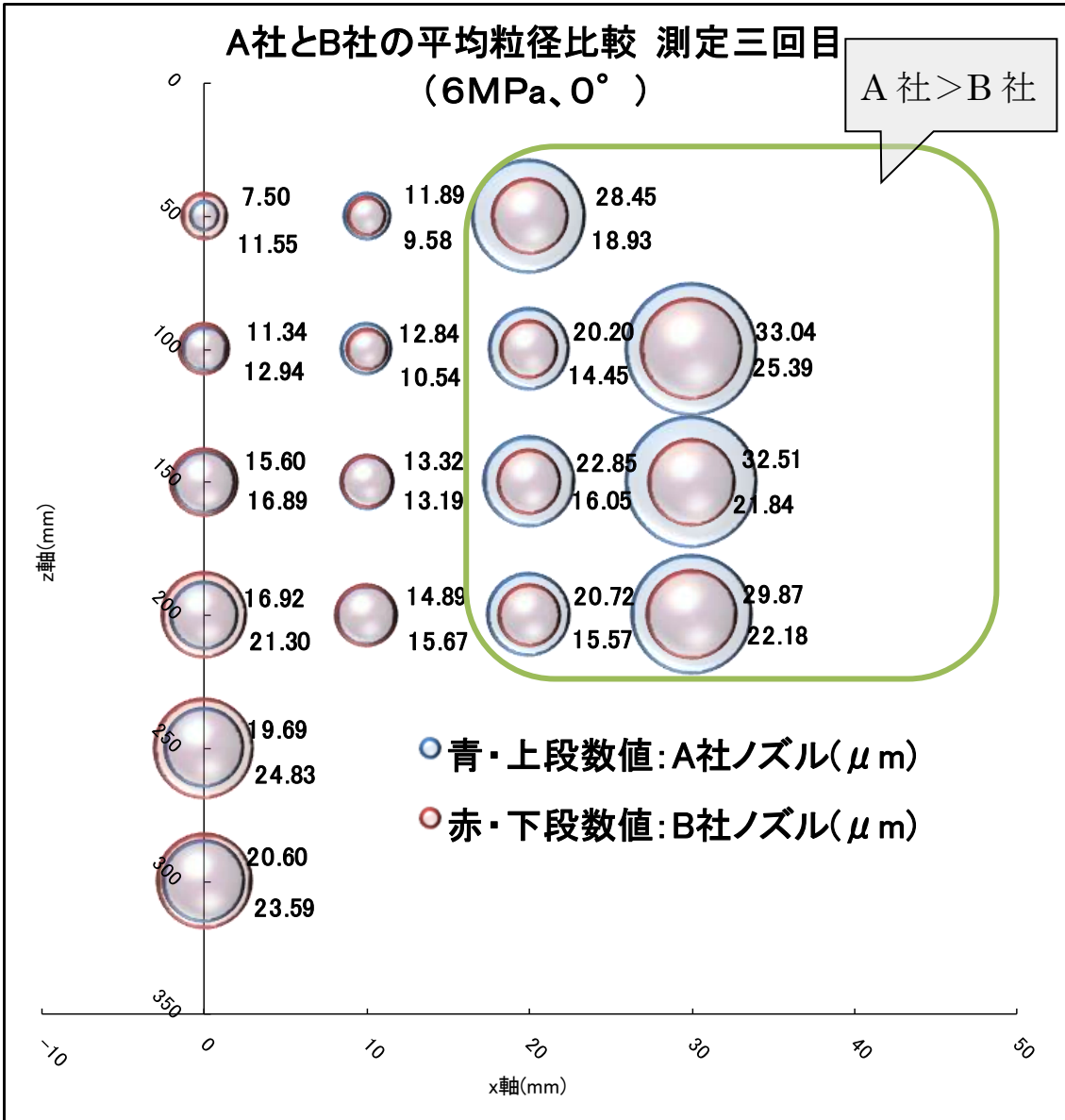
A社とB社の平均粒径比較 測定二回目
(6MPa、0°)

A社 > B社



A社とB社の平均粒径比較 測定三回目
(6MPa、0°)

A社 > B社



3.3.3 粒径分布比較

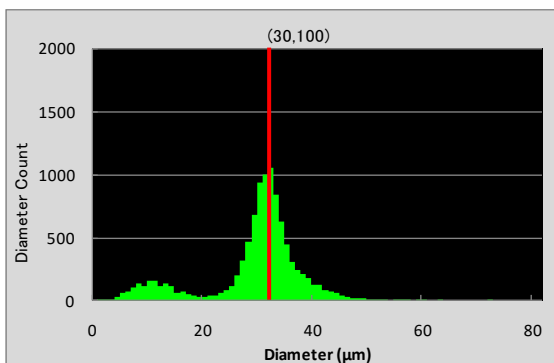
続いて粒径分布の比較を行う。39 ページに A 社ノズルの粒径分布、41 ページに B 社ノズルの粒径分布を示す。

緑色のグラフが各測定点での粒径分布を表す。今回の実験は測定点を通じた一万個の粒子それぞれの粒径の平均を平均粒径と設定している (2.4.3 実験方法を参照)。この一万個の粒子それぞれの粒径値(Diameter)をグラフの横軸、またその粒子数(Diameter Count)を縦軸で表している。そして、各測定点での粒径分布を配列したものが 39、41 ページに表した図になる。この図の縦軸を Z 軸、横軸を X 軸とし、ノズルの噴霧口を(X,Z)=(0mm,0mm)の位置に定める。各粒径分布の下には、平均粒径(μm)と測定時間(s)を記している。

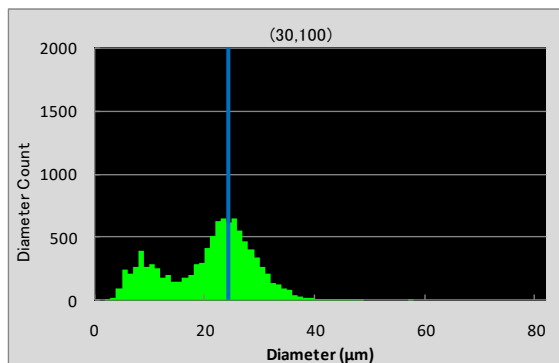
※B 社ノズルの粒径分布の網掛けの分布 (測定点(30.50)) については、B 社ノズルのみ測定を行った。これは A 社を測定した際、この点において著しく粒径が大きく時間がかかったため A 社においては測定を行わなかった。

<検討結果>

まず、39、41 ページの赤く囲まれた粒径分布を抜粋したものを下に記す。グラフの赤いラインが A 社ノズルにおいての 1 万個の粒子中で最も粒子数の多い粒径の位置、青いラインにおいての 1 万個の粒子中で最も粒子数の多い粒径の位置を表す。両分布を比較すると、青いラインの方が赤いラインに比べ粒径の大きい側へ寄っている。つまり、A 社に比べ B 社のほうが粒径の小さい位置に粒子が集中していることが分かる。したがって、粒径分布からも平均粒径の違いが確認できた。同様に A 社と B 社の粒径分布を測定点ごとに比べるとノズル中心軸付近では粒径の集中している粒径の位置の違いはあまり見られなかったが、中心軸から離れた部分では A 社に比べ B 社のほうが粒径の小さい位置に粒子が集中していることが読み取れる。つまり、3.3.2 で得られた中心軸から離れた付近では A 社に比べ B 社の方が粒径が小さいという特徴がこの分布系にも見られたということである。



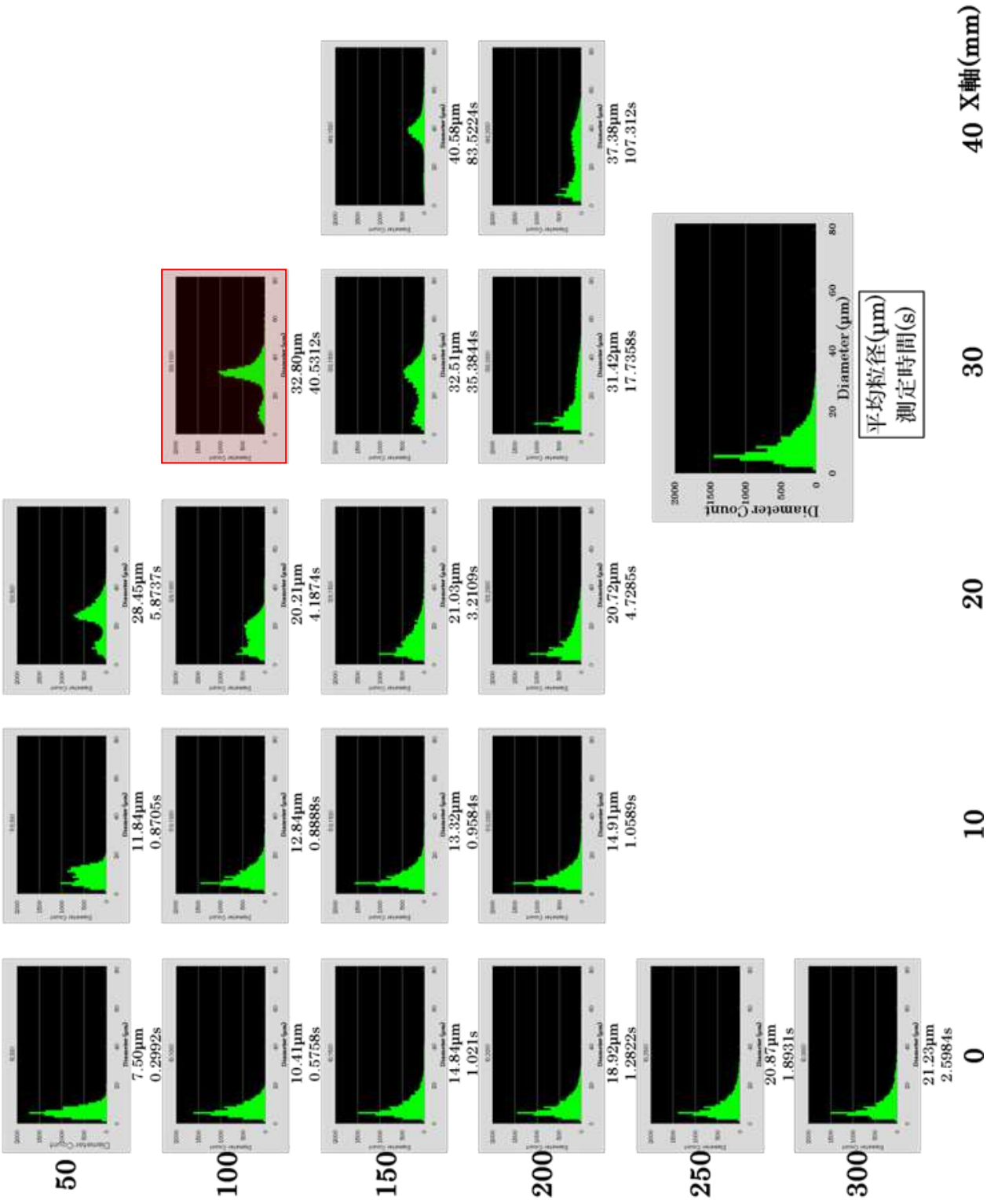
A 社ノズル：平均粒径 $32.80 \mu\text{m}$



B 社ノズル：平均粒径 $25.39 \mu\text{m}$

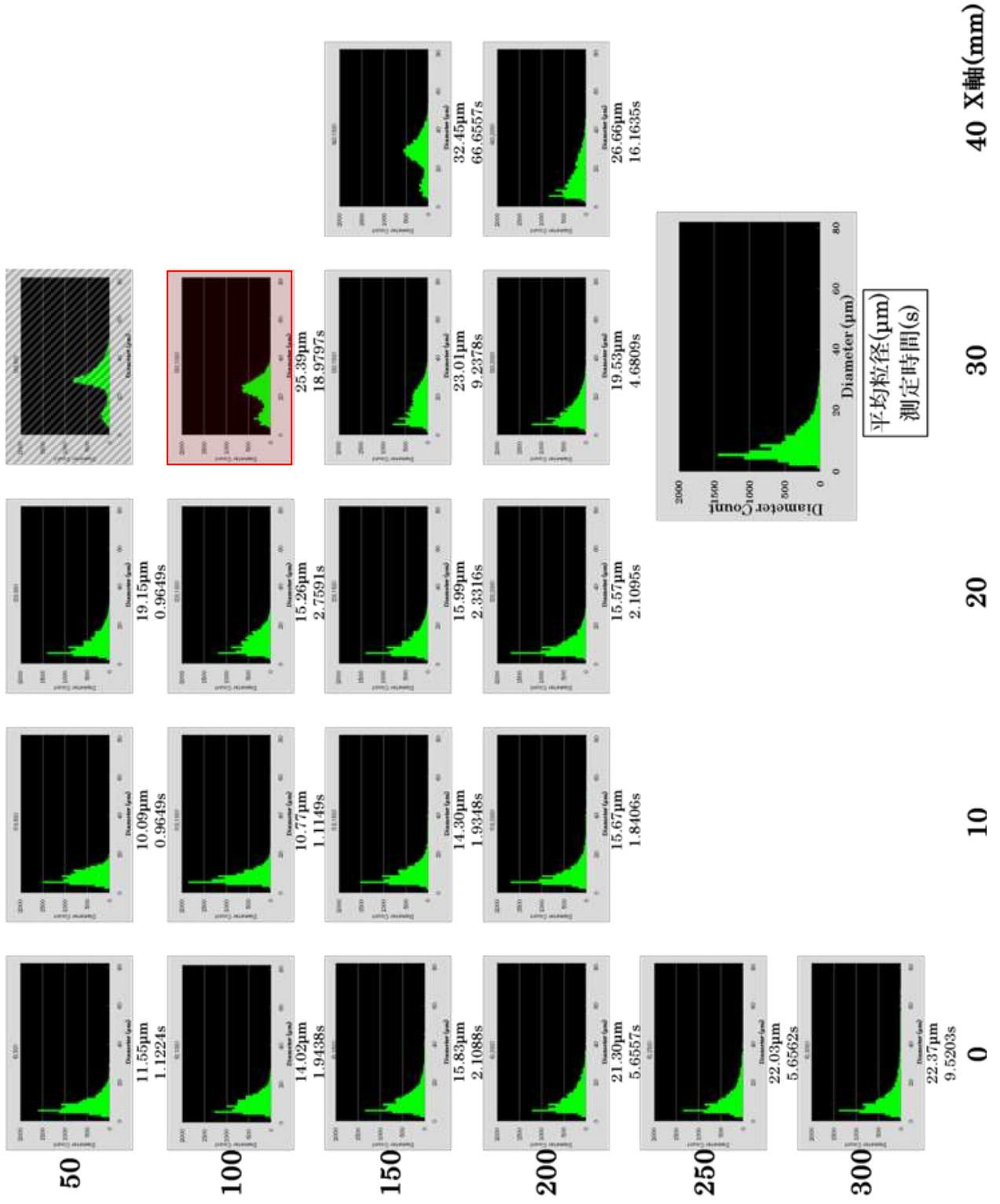
A社ノズル 粒径分布 (6MPa, 0°)

Z軸(mm)



B社ノズル 粒径分布 (6MPa, 0°)

Z軸(mm)



<次項からの検討について>

今回の実験では一部を除いて全ての測定点においてそれぞれ三回ずつ測定を行ったが、3.2の結果より変動係数が小さいことから判断して、3.4章からの粒径を用いた検討では得られた三つの粒径のうち中間に値する数値(例えば、15,13,16の値が得られたとすると、中間の数値は15)を各測定点での値と設定し、これを用いて比較検討を行うこととする。

3.4 B社ノズルの圧力変化による平均粒径比較

3.4.1 目的

現在ドライミストに用いる高圧ポンプの圧力は6MPaを多く用いている。そこで、6MPaに加え5MPa、4MPaと3種類の圧力に変化させ、B社ノズルを用いてそれぞれ同じ測定点で粒径を測定し比較検討する。測定条件は以下の通り。

- (測定条件)
- ・B社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り0°
 - ・B社ノズル：圧力5MPa、ノズル周り0°
 - ・B社ノズル：圧力4MPa、ノズル周り0°

45ページに平均粒径の比較図を示す。それぞれの棒グラフは緑が6MPaの平均粒径で青が5MPa、赤が4MPaを表している。そして、各測定点での圧力ごとの平均粒径を表したものが45ページの図になる。図中の横軸がX軸、縦軸がZ軸を表しており、ノズルの噴霧口を(X,Z)=(0mm,0mm)の位置に定める。各グラフの下には圧力ごとの測定時間を記してある。

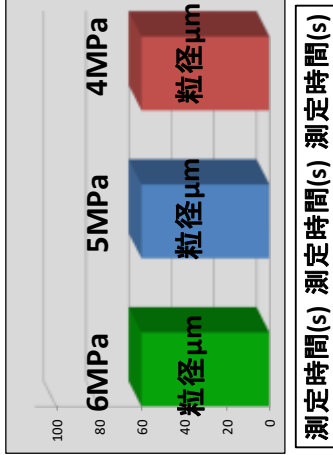
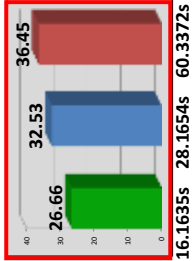
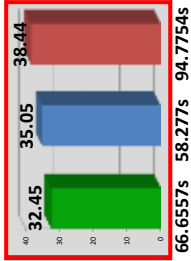
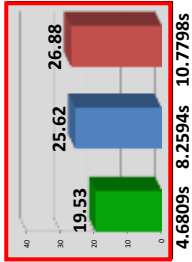
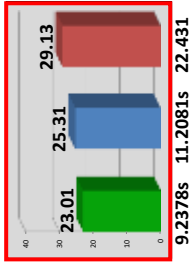
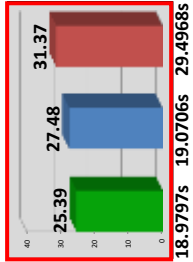
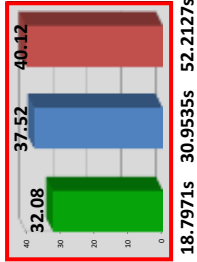
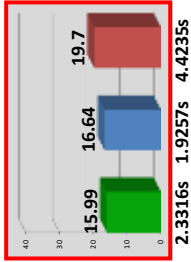
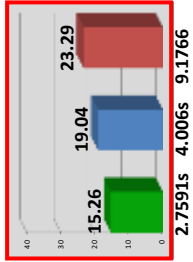
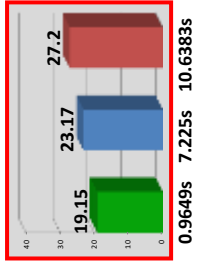
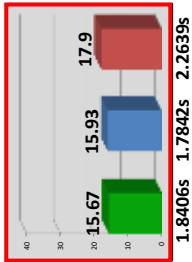
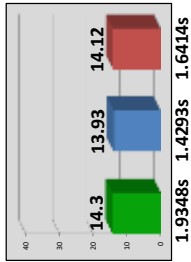
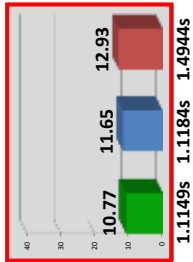
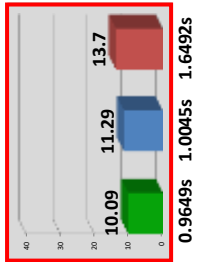
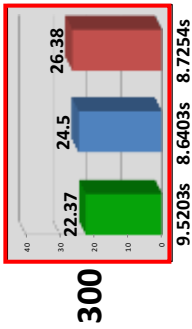
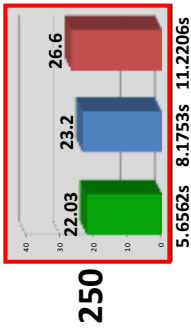
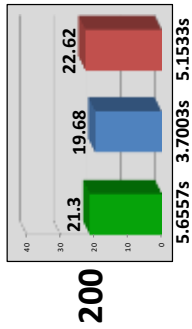
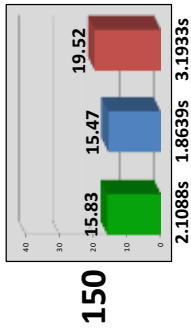
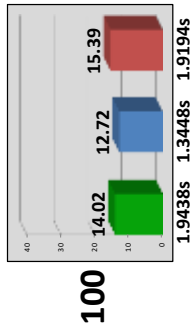
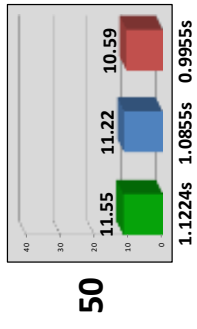
3.4.2 検討結果

グラフを見ると赤い枠で囲まれた測定点においては圧力が下がるにつれて平均粒径が大きくなった。さらにこの結果は、噴霧口から離れた測定点の方が安定して得られた。粒子は小さい方が蒸散しやすくなり熱を奪いやすくなる。つまり、温度低下が起りやすくなる。したがって粒径が一番小さい結果が得られた圧力6MPaで噴霧することがこの測定条件では最適ということになる。

粒子は小さければ小さいほど良いというわけではない。あまりに小さいと噴霧直後に蒸散してしまい周囲の温度降下を得られにくくなってしまうのである。なので、今後上記以外の圧力での粒径を測定する必要があると思われる。

B社ノズル 圧力変化による平均粒径比較

Z軸(mm)



40 X軸(mm)

30

20

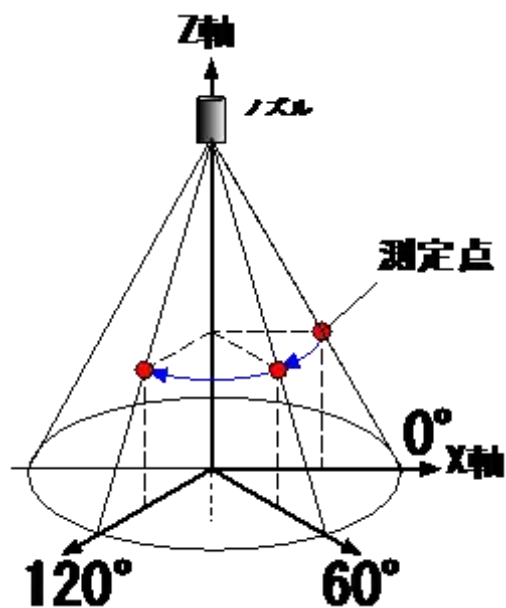
10

0

3.5 A社ノズル・B社ノズルのノズル周りの位置による平均粒径比較

3.5.1 目的

続いて、同じ圧力のもとでX-Z平面上の各測定点をノズルの中心軸周りに 0° を基準として、 60° 、 120° の位置でも測定し、平均粒径に違いが表れるかどうかを比較検討する。測定条件は以下のとおりである。



- (測定条件)
- ・ A社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・ A社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 60°
 - ・ A社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 120°
 - ・ B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・ B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 60°
 - ・ B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 120°

今回、3.2と同様に平均粒径の比較を検討するにあたって、ノズル周りの粒径変動をみるために標準偏差と変動係数を用いた。以下に順に算出していく。

3.5.2 標準偏差の算出

表 3-7 は A 社ノズル：6MPa、ノズル周りの位置 0°、60°、120° それぞれにおける (X,Z)=(0,50) の測定点の平均粒径と測定にかかった時間を表している。そこで、まずこの測定点を例として式(3)で導かれる標準偏差の算出手順を以下に示す。

表 3-7 B 社ノズル：6MPa における (X,Z)=(0,50) の平均粒径

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
ノズル周り位置	0°	60°	120°
平均粒径	11.55 μ m	9.07 μ m	8.54 μ m
測定時間	1.1224s	0.7885s	0.7724s

$$\text{標準偏差} : \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (d_i - \bar{d})^2}{3}} \quad (3)$$

σ : 標準偏差
 d_i [μ m] : 各測定点での i 回目の平均粒径
 (0° : $i=1$ 、60° : $i=2$ 、120° : $i=3$)
 \bar{d} [μ m] : 各測定点での三つの平均粒径の算術平均

・算出手順

- ① 各測定点での 0°、60°、120° の三つの平均粒径の算術平均を求める。
- ② 三つの平均粒径それぞれの値と①との差をとる。
- ③ ②の解の 2 乗をすべて足し合わせる。
- ④ 式(3)にあてはめ、標準偏差を算出する。

実際に算出してみる。

- ① 各測定点での三つの平均粒径の算術平均を求める。

表 3-8 平均粒径及び算術平均

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
ノズル周り位置	0°	60°	120°
平均粒径	11.55 μm	9.07 μm	8.54 μm
算術平均	9.72 μm		

- ② 三つの平均粒径それぞれの値と①との差をとる。

表 3-9 平均粒径と算術平均の差

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
ノズル周り位置	0°	60°	120°
平均粒径	11.55 μm	9.07 μm	8.54 μm
平均粒径と算術平均の差	1.83 μm	-0.65 μm	-1.18 μm

- ③ ②の解の 2 乗をすべて足し合わせる。

表 3-10 ②の解の 2 乗及び合計

(X 軸,Z 軸)=(0mm,50mm)			
ノズル周り位置	0°	60°	120°
平均粒径	11.55 μm	9.07 μm	8.54 μm
②の解の 2 乗	3.3489	0.4225	1.3924
合計	5.1638		

- ④ 式(3)にあてはめ、標準偏差を算出する。

$$\sigma = \sqrt{\frac{5.1638}{3}} \doteq 1.312$$

同様に B 社ノズル：6MPa、ノズル周り 0°、60°、120°での各測定点の標準偏差を下記に示す。

表 3-11 各測定点の標準偏差

B 社ノズル:6MPa					
標準偏差	X 軸 0mm	10	20	30	40
Z 軸 50mm	0.31	1.72	2.27	1.41	
100	1.49	3.36	4.44	3.64	
150	0.08	4.11	6.61	5.99	3.81
200	1.02	3.91	6.79	7.85	5.39
250	0.25				
300	0.34				

続いて、標準偏差の値を用いて変動係数の算出を行う。

3.5.3 変動係数の算出

3.2と同様に相対的なばらつきを求めるために変動係数を用いる。値は式(4)で導かれる。

$$\text{変動係数} : C.V. = \frac{\sigma}{\bar{d}} \quad (4)$$

$C.V.$: 変動係数
 σ : 標準偏差
 \bar{d} [μm] : 各測定点での三つの平均粒径の算術平均

・算術手順

- ① 標準偏差を求める。
- ② ①と算出平均を式(2)に当てはめ、変動係数を算出する。

- ① 標準偏差を求める。

$$\sigma = \sqrt{\frac{5.1638}{3}} \quad \doteq 1.312$$

- ② ①と算出平均を式(2)に当てはめ、変動係数を算出する。

$$C.V. = \frac{1.312}{9.72} \quad \doteq 0.1350$$

同様にB社ノズル：6MPa、ノズル周り0°での各測定点の標準偏差を用いた変動係数を下記に示す。

表 3-12 各測定点の変動係数

B社ノズル:6MPa、ノズル周り0°					
変動係数	X軸0mm	10	20	30	40
Z軸50mm	0.135	0.140	0.103	0.041	
100	0.106	0.217	0.229	0.129	
150	0.005	0.215	0.294	0.211	0.207
200	0.051	0.195	0.285	0.285	0.163
250	0.011				
300	0.015				

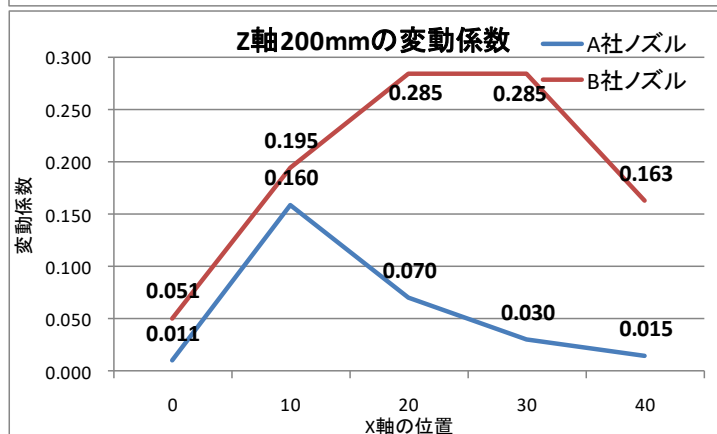
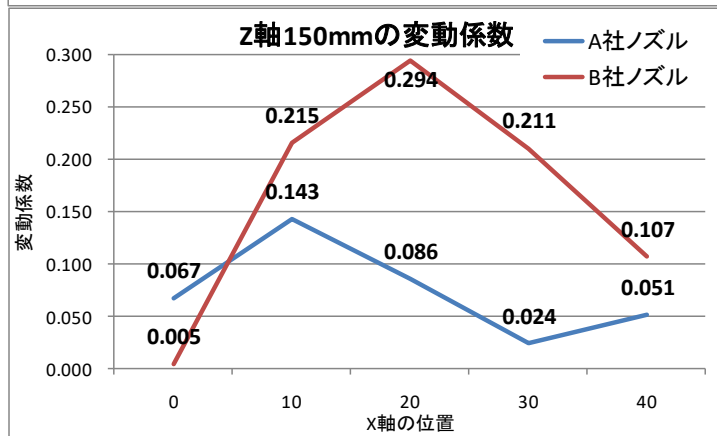
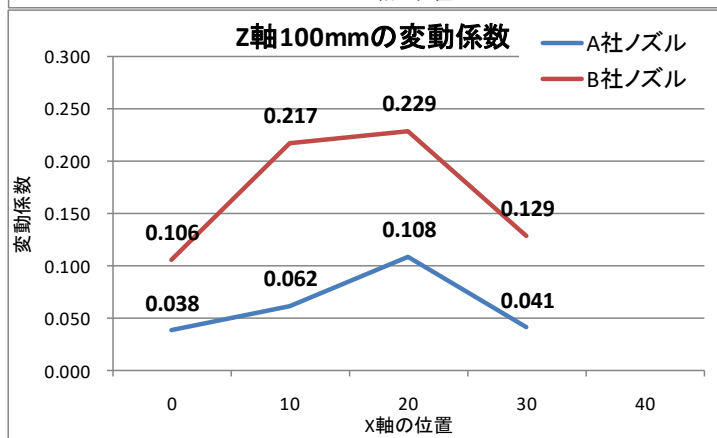
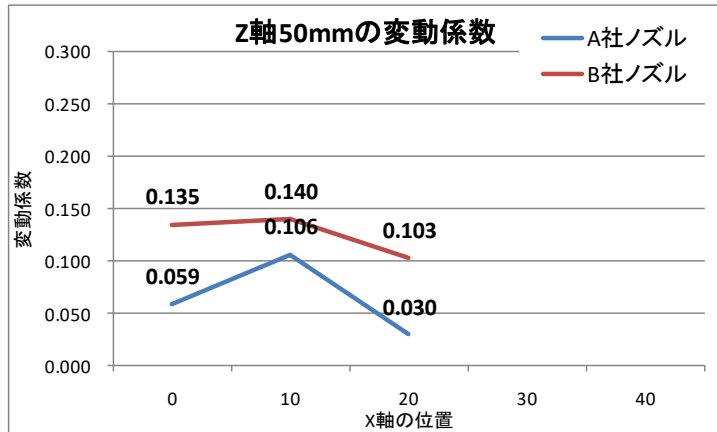
3.5.4 検討結果

上記と同様の手順で A 社ノズルについても変動係数を算出した。そして、A 社ノズルと B 社ノズルの平均粒径、標準偏差及び変動係数を示した表を 51、53 ページに記載した。また、55 ページに示したグラフは Z 軸 50mm、100mm、150mm、200mm における X 軸方向への変動係数の推移をそれぞれ表したものである。

そこで、55 ページのグラフをみてまず言えることが、A 社ノズルに比べて B 社ノズルの変動係数の方が大きいということである。つまり、B 社ノズルの方がノズル周りの粒子の粒径のばらつき具合が大きいことである。次に、両ノズルとも X 軸 0mm では Z 軸下方に行くにつれて変動係数は小さくなり、その他の点では全体的に見て、Z 軸下方に行くにつれて変動係数は大きくなっていることがいえる。また A 社ノズルは X 軸 10mm の点が、B 社ノズルは X 軸 20mm の点の変動係数のピークとなり X 軸方向に山型となって値の変化が起きていることも分かる。

A社ノズル: 6MPa、ノズル周り 0°, 60°, 120° の変動係数																
Z軸(mm)	0			10			20			30			40			
	X軸(mm)	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数
50	0°	7.50			11.64			28.45								
	60°	8.61	0.47	0.059	15.11	1.45	0.106	29.28	0.89							
	120°	7.80			13.99			30.60								
100	0°	10.41			12.84			20.21								
	60°	11.14	0.41	0.038	14.92	0.87	0.062	25.78	2.58	1.43	0.108	0.041				
	120°	10.19			14.25			25.60								
150	0°	14.84			12.84			21.03						40.58		
	60°	13.00	0.91	0.067	17.65	2.30	0.143	25.98	2.02	0.82	0.086	0.024	36.99	2.05	0.051	
	120°	12.82			17.77			23.61					41.82			
200	0°	16.92			14.91			20.72						37.38		
	60°	17.29	0.18	0.011	16.28	2.80	0.160	24.53	1.62	0.95	0.070	0.030	36.53	0.56	0.015	
	120°	16.90			21.41			23.55					37.89			
250	0°	20.67														
	60°	20.38	0.41	0.020												
	120°	19.69														
300	0°	21.23														
	60°	21.66	0.19	0.009												
	120°	21.62														

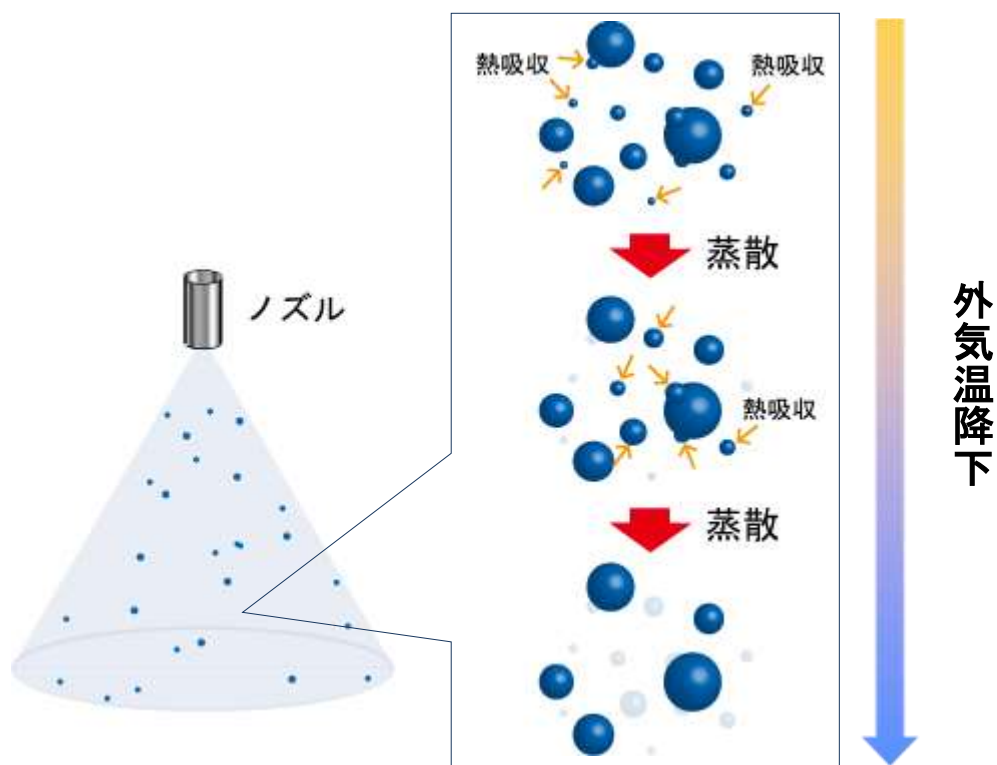
B 社ノズル：6MPa、ノズル周り0°、60°、120°の変動係数																		
Z 軸(mm)	X 軸(mm)			0			10			20			30			40		
	角度	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数	平均粒径	標準偏差	変動係数		
50	0°	11.55			10.09			19.15										
	60°	9.07	1.31	0.135	12.48	1.72	0.140	22.18	2.27	0.103								
	120°	8.54			14.3			24.7										
100	0°	14.02			10.77			15.26			25.39							
	60°	12.35	1.49	0.106	18.49	3.36	0.217	17.44	4.44	0.229	26.01	3.64	0.129					
	120°	16			17.09			25.58			33.4							
150	0°	15.83			14.3			15.99			23.01			32.45				
	60°	15.66	0.08	0.005	18.59	4.11	0.215	19.93	6.61	0.294	25.5	5.99	0.211	33.53	3.81	0.107		
	120°	15.68			24.33			31.55			36.77			41.02				
200	0°	21.3			15.67			15.57			19.53			26.66				
	60°	18.82	1.02	0.051	19.37	3.91	0.195	23.6	6.79	0.285	24.96	7.85	0.285	32.54	5.39	0.163		
	120°	19.8			25.17			32.2			38.23			39.83				
250	0°	22.03																
	60°	22.28	0.25	0.011														
	120°	21.68																
300	0°	22.37																
	60°	22.4	0.34	0.015														
	120°	21.66																



3.6 1分あたりの算出流量による噴霧蒸散効果の検証

3.6.1 目的

ドライミストとは噴霧されたのち小さい粒子から順に熱を奪い蒸散して周りの温度を下げるというものである（下図参照）。そこで実際にミストが蒸散しているかどうかデータを基に検証する。



3.6.2 検証方法

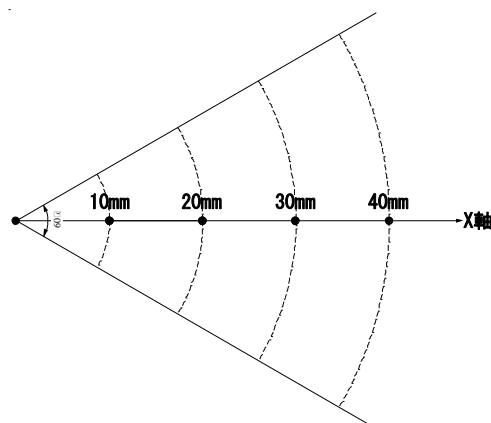
蒸散効果を検証するにあたり今回は各測定点で得られた平均粒径、測定時間及び粒径分布を用いて、以下に順に設定する領域に噴霧される流量を算出し、これを用いる。測定条件は以下の通りである。

- (測定条件)
- ・ A 社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・ B 社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°

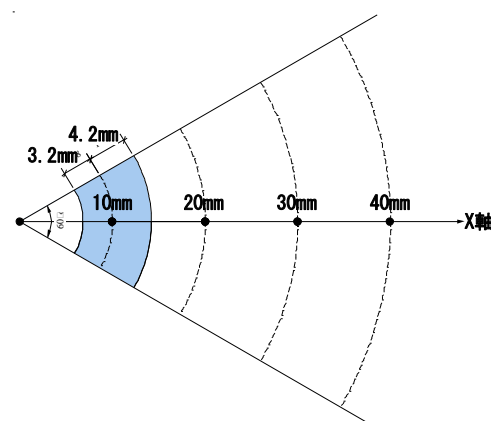
まず、Z 軸上の各測定点の位置に Z 軸に垂直に一定の面積の円を設定する。その円を下方へ通過するミストの流量が鉛直下方にいくにつれて減少していれば粒子が蒸散しているということになる。そこでこの円をはじめに設定する。

<領域の設定>

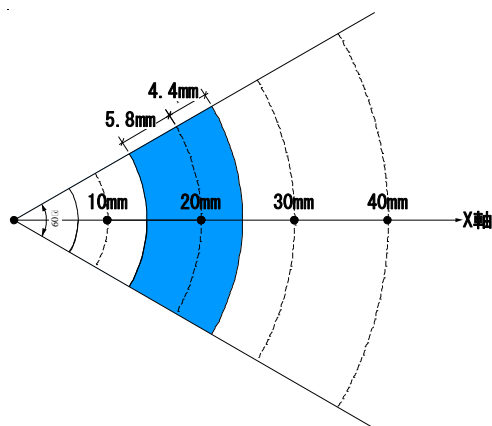
1. 初めに頂点を Z 軸が紙面に垂直に貫く位置関係にある角度 60° の扇型を右図のように設定する。次に、X 軸上の各点を通る点線を通る点線を引く。



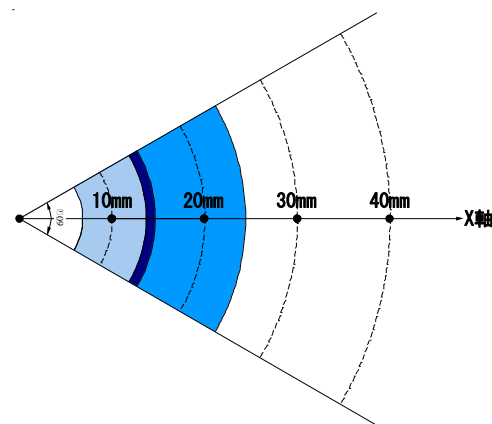
2. 次に、X 軸 10mm の点を通る点線を境に両側の面積が等しくなるように（測定点が重心になるように）測定点からの距離を設定する。（二つの面積が等しいという連立方程式を用いて算出）



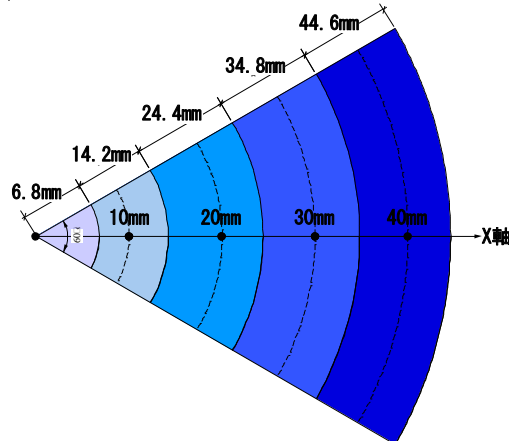
3. 続いて X 軸 20mm の点においても領域を設定する。以後同様に、30mm、40mm の点も設定。



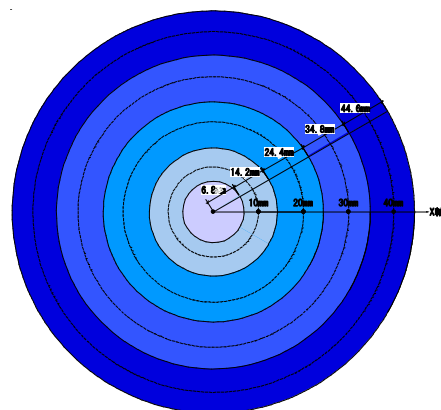
4. ここで、X 軸 10mm の点で面積が等しいとして求めた領域と X 軸 20mm の点で面積が等しいとして求めた領域は右図（色の濃い部分）のように重なり合う部分が出てきてしまう。そこで今回は、この領域の中間の位置を 10mm と 20mm の領域の境界として補正することにより進めることにする。30mm、40mm の点についても同様のことが起きるので同じように補正する。



5. 以上の方法で求めたものが右図となる。そして、X 軸上の各測定点に位置しているそれぞれの色はその測定点の担う領域となる。



6. 5 で出来た扇型を 1 回転させ右図のように同心円状にし、各測定点が担う領域が求められる。



続いて、流量の算出手順を述べる。

・算出手順

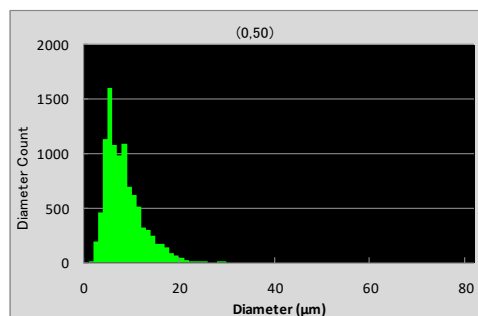
- ① 各測定点の粒子数を1分間に換算する。
- ② ①に58、59ページで設定した各測定点が担うドーナツ型の領域の面積をかける。
- ③ ②で得られた粒子それぞれに粒子の体積をかける。
- ④ ③を全て足し合わせる。これが②の範囲に流入する流量を示す。

以下に、B社ノズル：圧力6MPa、ノズル周り0°の(X,Z)=(0mm,50mm)の測定点を例に算出していく。この測定点の測定データを下記に記す。

1万個の粒子それぞれの粒径と個数

粒径 μm	粒子数	粒径 μm	粒子数
0.5005	11	15.5155	178
1.5015	199	16.5165	139
2.5025	457	17.5175	90
3.5035	1129	18.5185	65
4.5045	1598	19.5195	45
5.5055	1084	20.5205	20
6.5065	980	21.5215	15
7.5075	1095	22.5225	7
8.5085	692	23.5235	7
9.509501	622	24.5245	3
10.5105	518	25.5255	0
11.5115	322	26.5265	0
12.5125	298	27.5275	2
13.5135	249	28.5285	2
14.5145	173	計	10000

粒径分布



- ・平均粒径：11.55 μm
- ・測定時間：1.1224s

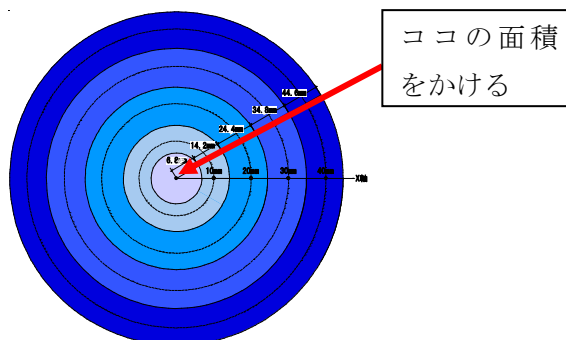
- ① 各測定点の粒子数を1分間に換算する。

まず、上記の表の粒子数に60/1.1224をかけ1分あたりに換算すると下記のようになる。

粒径 μm	粒子数	1分あたりの粒子数	粒径 μm	粒子数	1分あたりの粒子数
0.5005	11	588.0256593	15.51501	178	9515.324305
1.5015	199	10637.91875	16.5165	139	7430.506058
2.5025	457	24429.7933	17.5175	90	4811.119031
3.5035	1129	60352.8154	18.518501	65	3474.697078
4.5045	1598	85424.09123	19.519501	45	2405.559515
5.5055	1084	57947.25588	20.5205	20	1069.137562
6.5065	980	52387.74056	21.521502	15	801.8531718
7.5075	1095	58535.28154	22.522501	7	374.1981468
8.5085	692	36992.15966	23.5235	7	374.1981468
9.509501	622	33250.17819	24.524502	3	160.3706344
10.510501	518	27690.66287	25.525501	0	0
11.5115	322	17213.11475	26.526501	0	0
12.512501	298	15930.14968	27.527502	2	106.9137562
13.5135	249	13310.76265	28.528502	2	106.9137562
14.514501	173	9248.039914	計	10000	534568.7812

② ①に 58、59 ページで設定した各測定点が担うドーナツ型の領域の面積をかける。

右図のように X 軸 0mm の点の担う面積 (灰色) 145.8mm²を①の粒子それぞれにかける。(下表)



粒径 μm	粒子数	1分あたりの設定領域に流入する粒子数	粒径 μm	粒子数	1分あたりの設定領域に流入する粒子数
0.5005	11	85734.14113	15.515501	178	1387334.284
1.5015	199	1551008.553	16.5165	139	1083367.783
2.5025	457	3561863.863	17.5175	90	701461.1547
3.5035	1129	8799440.485	18.518501	65	506610.8339
4.5045	1598	12454832.5	19.519501	45	350730.5773
5.5055	1084	8448709.907	20.5205	20	155880.2566
6.5065	980	7638132.573	21.521502	15	116910.1924
7.5075	1095	8534444.048	22.522501	7	54558.08981
8.5085	692	5393456.878	23.5235	7	54558.08981
9.509501	622	4847875.98	24.524502	3	23382.03849
10.510501	518	4037298.646	25.525501	0	0
11.5115	322	2509672.131	26.526501	0	0
12.512501	298	2322615.823	27.527502	2	15588.02566
13.5135	249	1940709.195	28.528502	2	15588.02566
14.514501	173	1348364.22	計	10000	77940128.3

③ ②で得られた粒子それぞれに粒子の体積をかける。

それぞれの粒径値に基づいた粒子の体積を②で得られた粒子全てに足し合わせる。

④ ③を全て足し合わせる。これが②の範囲に流入する流量を示す。

粒径 μm	粒子数	1分あたりの設定領域に流入する流量	粒径 μm	粒子数	1分あたりの設定領域に流入する流量
0.5005	11	5.62814E-06	15.515501	178	2.713170909
1.5015	199	0.002749089	16.5165	139	2.555810229
2.5025	457	0.029227939	17.5175	90	1.974324917
3.5035	1129	0.198134474	18.518501	65	1.6845759
4.5045	1598	0.59604121	19.519501	45	1.365772569
5.5055	1084	0.738208976	20.5205	20	0.705266978
6.5065	980	1.101610627	21.521502	15	0.610195121
7.5075	1095	1.890862202	22.522501	7	0.32636804
8.5085	692	1.739501641	23.5235	7	0.371846414
9.509501	622	2.182847062	24.524502	3	0.180584963
10.510501	518	2.454481437	25.525501	0	0
11.5115	322	2.004524478	26.526501	0	0
12.512501	298	2.382365429	27.527502	2	0.170251185
13.5135	249	2.507625189	28.528502	2	0.189507603
14.514501	173	2.158798813	計	10000	32.83465902

従って、B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0° の(X,Z)=(0mm,50mm)の測定点の担う範囲の 1分あたりの流量は約 **33mm³/min** となる。

以上の手順により、

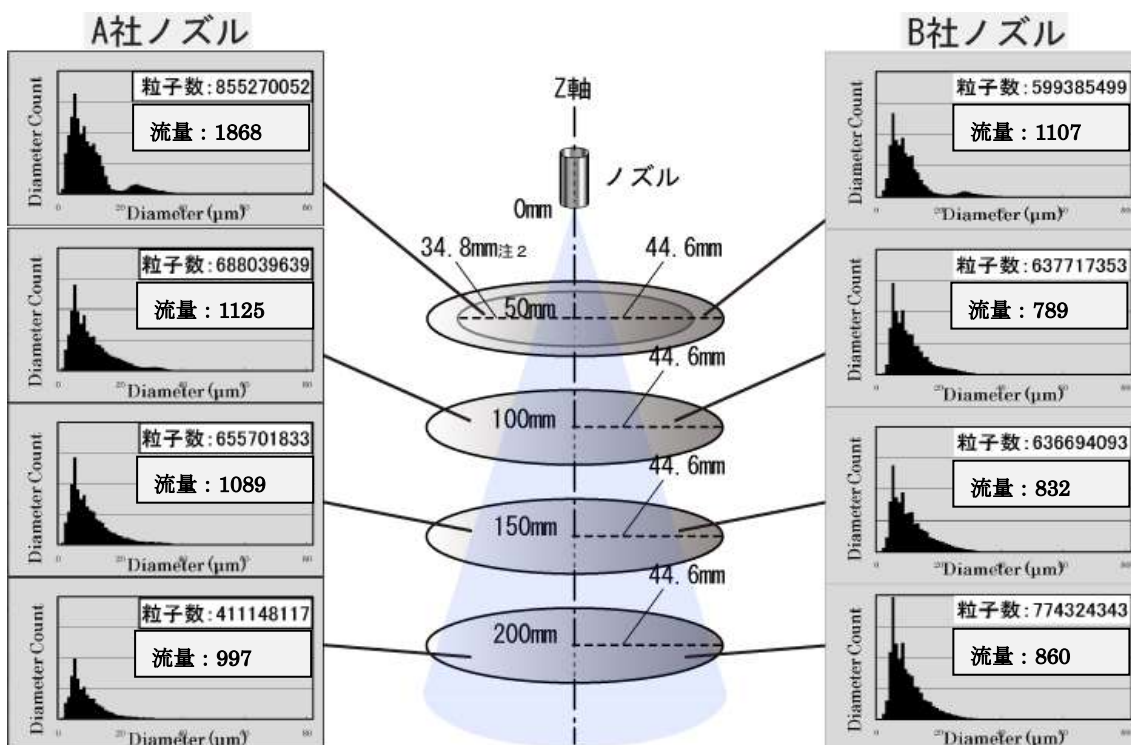
- ・ A 社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
- ・ B 社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°

での各測定点周りの 1 分あたりの粒子数及び流量を求める。

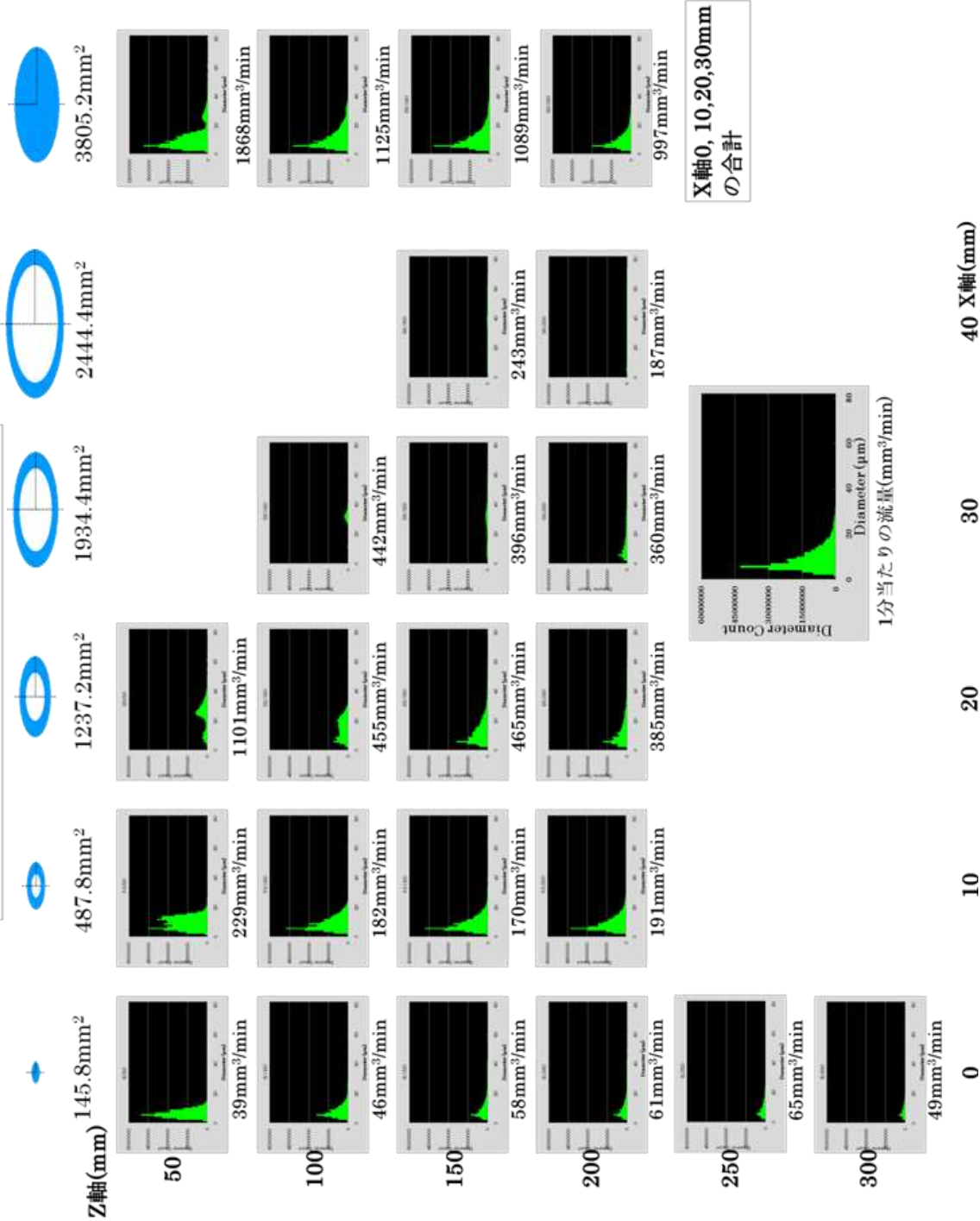
3.6.3 検討結果

63、65 ページに示す図は、各測定点での算出手順②で述べた粒子数に換算したの粒径分布である。グラフの縦軸が粒径値(Diameter)、グラフの横軸が粒子数(Diameter Count)を表している。このグラフを配列した図の縦軸を Z 軸、横軸を X 軸とし、ノズルの噴霧口を (X,Z)=(0mm,0mm)の位置に定める。図の上段に表示したイラストと数値が X 軸の各点で担う領域と面積である。そして各粒径分布の下に示す数値が流量(mm³/min)を表している。

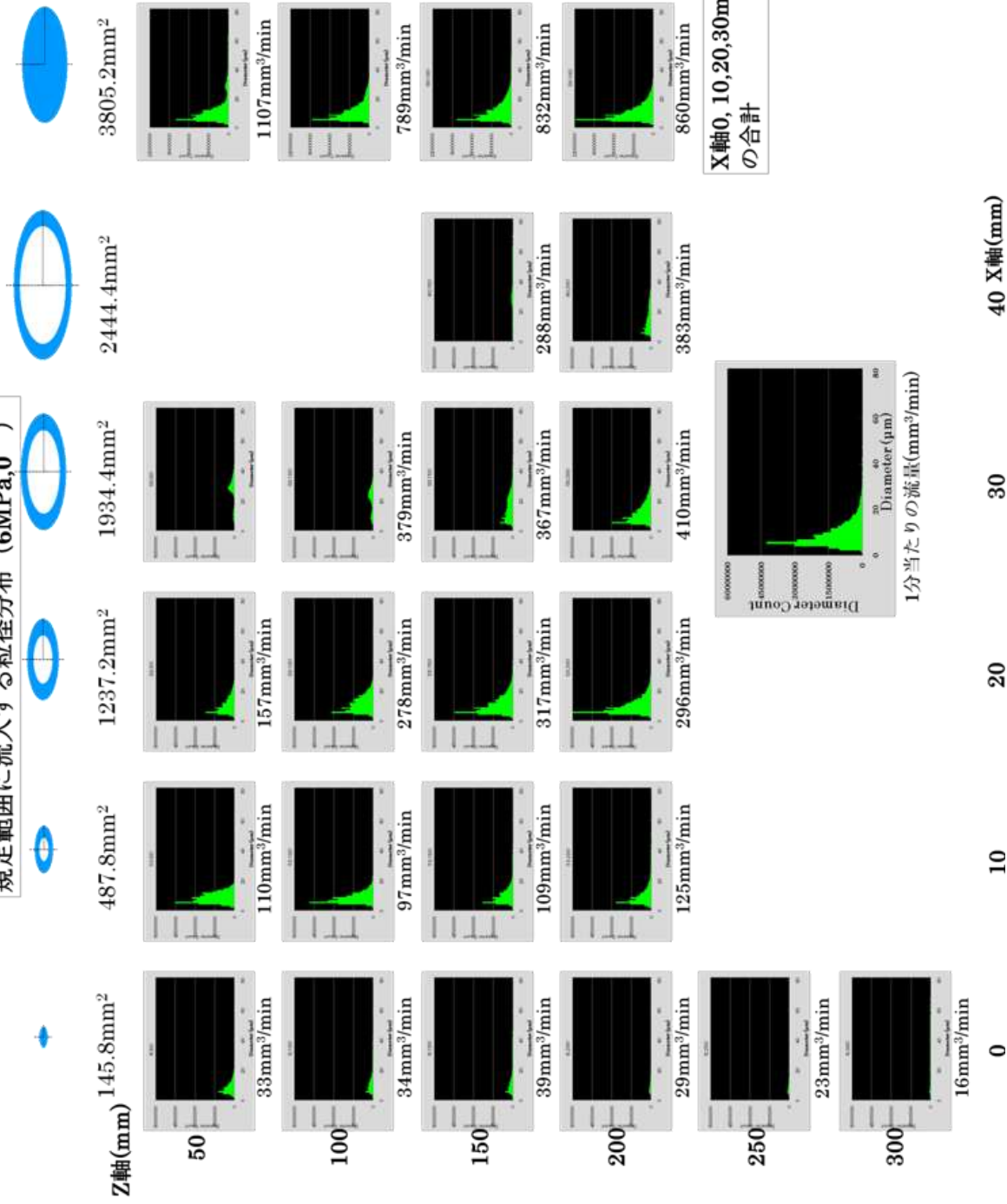
まず、63、65 ページの図の一番右側の縦の列が表している分布と流量は各 Z 軸上の X 軸 0mm、10mm、20mm、30mm の測定点の粒子数と流量を合計したものである。これを抜粋したものを下に示す。A 社ノズルをみると Z 軸方向にノズルから遠ざかるに従って粒子数と流量が共に減少していることが分かる。したがってこの結果から A 社ノズルにおいては、鉛直下方にいくにつれてミストが蒸発している、つまりミストの噴霧蒸散効果が起きているということが確認できる。一方 B 社ノズルについてみると、Z 軸下方にいくにつれて粒子数は減っているが流量が増えている所や粒子数は増えているが流量は減っている所がみられ、噴霧蒸散効果を確認することが出来なかった。



A社ノズル 1分あたりの
規定範囲に流入する粒径分布 (6MPa, 0°)



B社ノズル 1分あたりの
規定範囲に流入する粒径分布 (6MPa, 0°)



3.7 A社ノズル・B社ノズルの個体差比較

3.7.1 目的

続いて、A社ノズル・B社ノズルの同じ種類のノズルを用いて個体差がどの程度表れるか比較検討する。

- (測定条件)
- ・A社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・B社ノズル：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・A社ノズル個体差対象：圧力 6MPa、ノズル周り 0°
 - ・B社ノズル個体差対象：圧力 6MPa、ノズル周り 0°

3.7.2 検討

69、71 ページに示した図が両ノズルの平均粒径の個体差の比較を表している。縦軸を Z 軸、横軸を X 軸とし、ノズルの噴霧口を(X,Z)=(0mm,0mm)の位置に定める。図中の上段の数値が今回の実験で主に使用するノズル（ノズル①とする）の平均粒径(μm)、下段の数値が個体差対象ノズル（ノズル②とする）の平均粒径(μm)で二つの平均粒径の比率を表したものが青と赤の円である。青がノズル①、赤がノズル②をそれぞれ表している。

$$\text{標準偏差} : \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 (d_i - \bar{d})^2}{2}} \quad (1)$$

σ : 標準偏差 d_i [μm] : 各測定点でのノズル i の平均粒径 \bar{d} [μm] : 各測定点での二つの平均粒径の算術平均
--

$$\text{変動係数} : C.V. = \frac{\sigma}{\bar{d}} \quad (2)$$

$C.V.$: 変動係数 σ : 標準偏差 \bar{d} [μm] : 各測定点での二つの平均粒径の算術平均
--

以降に、A社ノズルとB社ノズルの各測定点での変動係数を算出した数値を記す。

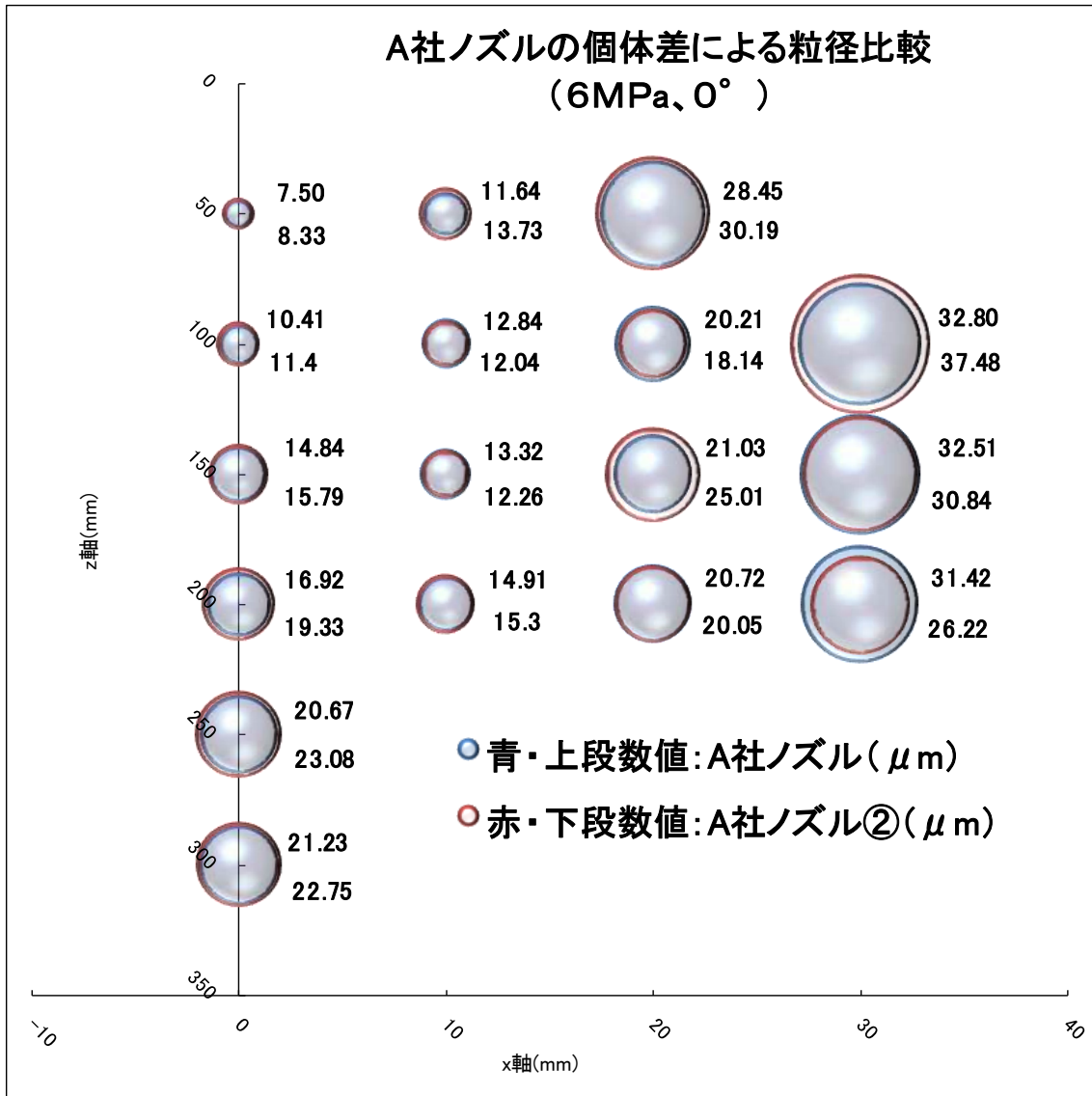
各測定点での変動係数

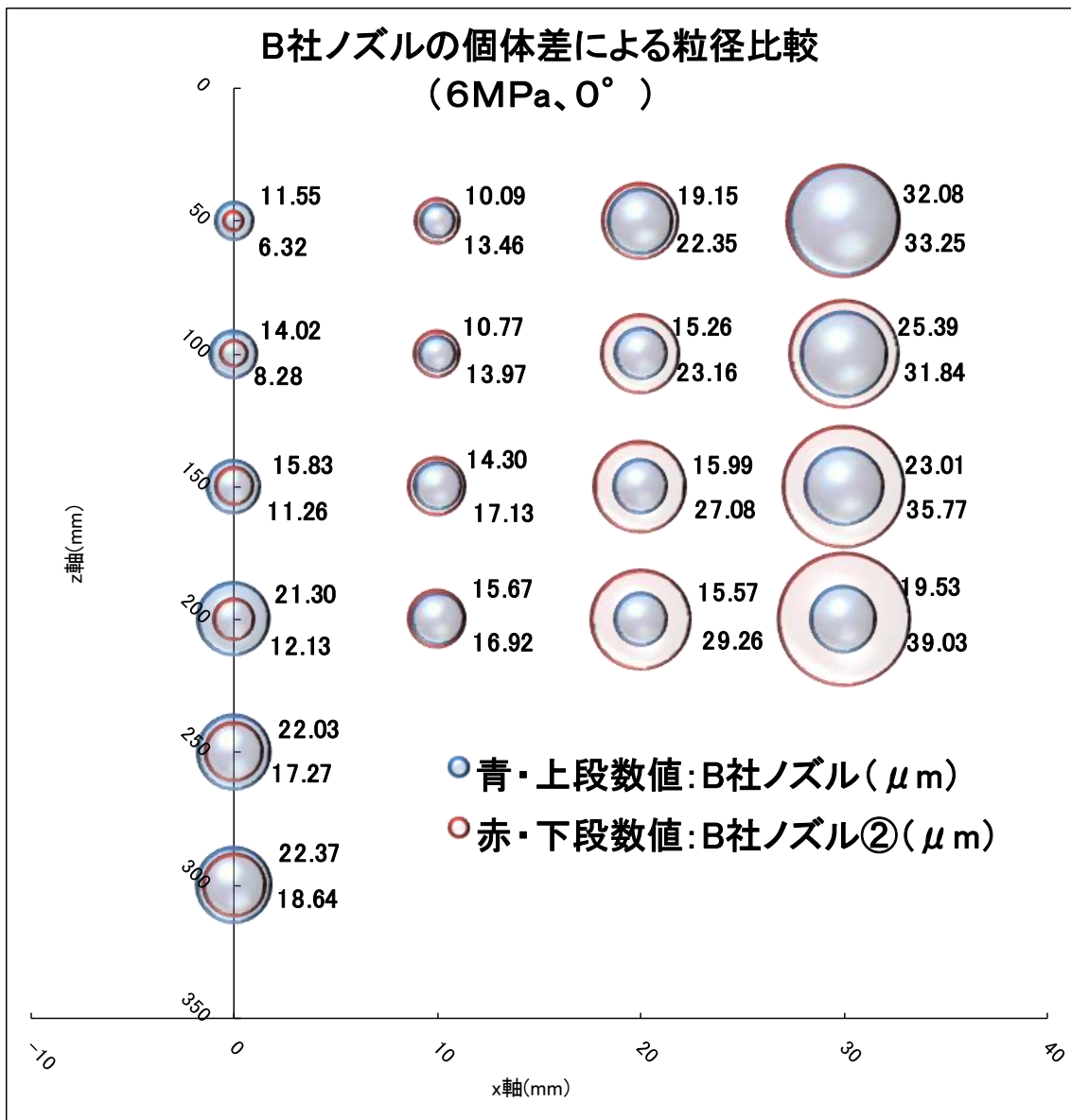
A社ノズル個体差比較					
変動係数	X軸0mm	10	20	30	40
Z軸50mm	0.052	0.082	0.03		
100	0.045	0.032	0.054	0.067	
150	0.031	0.041	0.086	0.026	
200	0.066	0.013	0.016	0.09	
250	0.055				
300	0.035				

B社ノズル個体差比較					
変動係数	X軸0mm	10	20	30	40
Z軸50mm	0.293	0.143	0.077		
100	0.257	0.129	0.206	0.113	
150	0.169	0.09	0.257	0.217	
200	0.274	0.038	0.305	0.333	
250	0.121				
300	0.091				

A社ノズルとB社ノズルの変動係数を比べると明らかにB社ノズルの方が変動が大きいことがわかる。また、3.2で算出した時間変動の結果を考慮するとA社ノズルの個体差による変動はほとんどないと言っていいだろう。したがって、噴霧角度の大きいB社ノズルの方が個体差が大きいという結果が得られた。

A社ノズルの個体差による粒径比較 (6MPa、0°)





3.8 まとめ

- A社とB社のノズルの性質の違いが粒径分布で確認できた。
- ポンプ圧力が下がるにつれて、各測定点での平均粒径値は大きくなることが確認できた。
- ノズルの中心軸周りにおいても、粒径値・分布の違いが見られた。
- A社ノズルはミストが鉛直下方にいくにつれ蒸散していることが確認できたが、一方B社ノズルについては確認できなかった。

謝辞

無事、卒業研究を終えることができました。

辻本先生には卒業研究を進めるにあたって毎回助言をいただき、次へのステップにわたるご指摘を数多く頂き誠にありがとうございました。さらに、研究とは全く関係のない私自身の将来についても色々ご心配をおかけいたしました。西田先生、小林先生には毎回のゼミや卒論発表リハーサルの時などに客観的に見た意見などを数多くしていただき誠にありがとうございました。さらに先輩方をはじめ辻本研究室のみなさんにもたくさんの手助けやアドバイスがあつての今があると思っております。

短い間でしたが一年間、ありがとうございました。

4106083 水野 吉崇

第 4 章 補足事項

4.1 ミストノズルの組み立て方

～ミストノズルの組み立て方～

1) まず、水を通すステンレス配管をチューブカッターで切る (今回は@600 で切断した)。(右写真)



※チューブカッターの使い方

→切断したい配管の位置にしるしをしておき、その位置にカッターの刃がくるように固定する。次に、矢印の方向にグルグル回転させて配管を切断する。



2) 次に、配管の切り口をやすり (バリ取り) で削り、穴の大きさを調整する。(右写真)



3) 次に、ネジの部分にシールテープを巻く (1週半位)。



4) そのねじを硬くなるまでボルトにねじ込む。(結構力がいらいます)



5) 右の写真のように、順番にボルトを繋いでいく。(この際に、矢印の部品の向きに注意する)



6) 右写真の円で囲った部分に1)で切断したステンレス配管を繋ぐ。
そして最後に、矢印の部分のボルトの締め具合を確認する。(これを確かめる専用の部品がある)



7) 完成。



4.2 粒径平均値の検討

今日、ドライミストの粒径平均値の取り方として「ザウター平均粒径」が用いられている。ミストに求める性能は、①噴霧後、空中でほぼ 100%蒸散する ②感触がドライで、触っても濡れた感じがしない。また女性の髪が濡れたり、化粧が崩れたりしないことが条件となっているので、大粒子の存在は微量なりとも問題があるのである。なので、ミストは粒径が揃ったノズルが望ましいとされているが、ほとんどのノズルは最大と最少の粒径に大差がある。ザウター平均の計算式では、採取した数千個の液滴の中に、わずか数個の異常な大粒子の液滴が含まれていれば、それが平均粒径に大きく影響することになる。従って、最大径付近の粒子数が少なくて、より小さい平均粒径のノズルを見つけるためにはザウター平均が最適とされている。そこで、実際にノズル試験に使用された粒度分布データを使用し、様々な平均値の手法を用いて計算し、本当にザウター平均が最も適当かどうかを比較検討してみたいと思う。

平均値の一般式は、

$$D_{m,n} = \frac{\sum (x_i^m \cdot \Delta N_i)}{\sum (x_i^n \cdot \Delta N_i)}$$

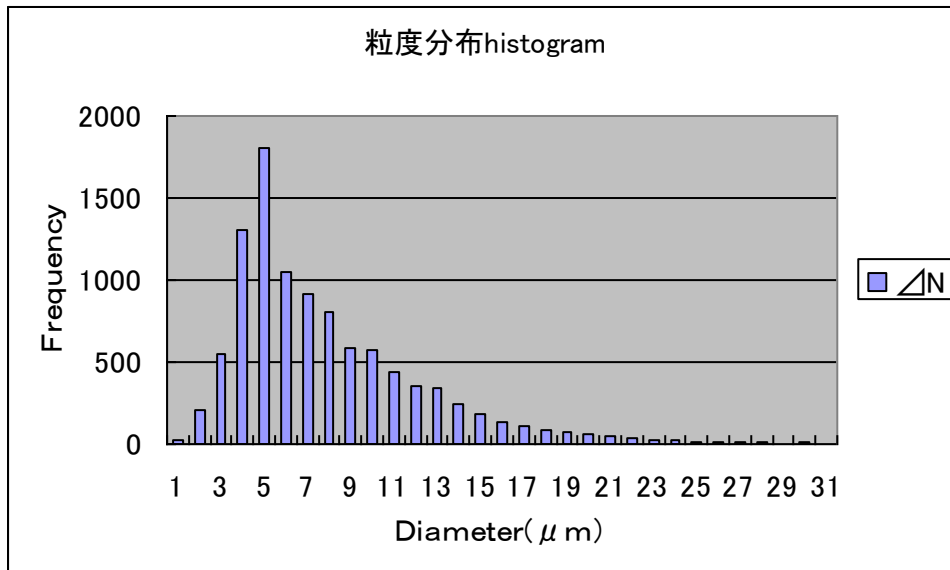
この式において、(m, n) の組み合わせが、

- (1,0) : 算術平均直径 ⇒ 直径の平均。蒸発に使用。
- (2,0) : 平均表面積直径 ⇒ 表面積支配過程。吸収に使用。
- (3,0) : 平均体積直径 ⇒ 全粒径の累積質量 50%になる粒径。陸水学に使用。
- (2,1) : 表面積平均直径 ⇒ 表面積/直径比で重みづけ。吸収に使用。
- (3,1) : 体積平均直径 ⇒ 体積/直径比で重みづけ。蒸発や分子拡散に使用。
- (3,2) : ザウター平均 ⇒ 体積/表面積比で重みづけ。霧化、反応、物質伝達に使用。
- (4,3) : De Brouckere ⇒ 燃焼平衡過程

上記の 7つの方法により計算する。

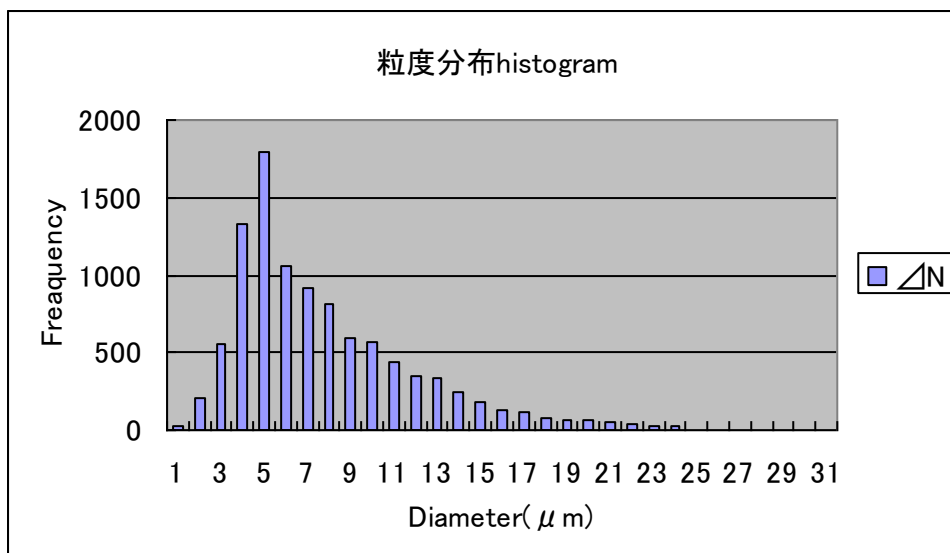
また、今回は計算結果がより比較しやすいように、i) 微量な巨大粒子が含まれる場合と、ii) ある一定値以上の微量な巨大粒子が存在しないと仮定した場合の二つの数値データを用いて計算したいと思う。

i) の場合



D10	D20	D30	D21	D31	D32	D43
7.838	8.999333	10.22872	10.33274	11.68501	13.2143	16.10651

ii) の場合



D10	D20	D30	D21	D31	D32	D43
7.588	8.651589	9.640809	9.864259	10.86692	11.9715	13.91194

i)

x	$\triangle N$	長さ	x''	x'''	x''''	$x'' \cdot \triangle N$	$x''' \cdot \triangle N$	$x'''' \cdot \triangle N$
1	20	20	1	1	1	20	20	20
2	210	420	4	8	16	210	1680	3360
3	550	1650	9	27	81	4950	14850	44550
4	1300	5200	16	64	256	20800	83200	332800
5	1800	9000	25	125	625	45000	225000	1125000
6	1050	6300	36	216	1296	37800	226800	1360800
7	910	6370	49	343	2401	44590	312130	2184910
8	800	6400	64	512	4096	51200	409600	3276800
9	590	5310	81	729	6561	47790	430110	3870990
10	570	5700	100	1000	10000	57000	570000	5700000
11	440	4840	121	1331	14641	53240	585640	6442040
12	350	4200	144	1728	20736	50400	604800	7257600
13	340	4420	169	2197	28561	57460	746980	9710740
14	250	3500	196	2744	38416	49000	686000	9604000
15	180	2700	225	3375	50625	40500	607500	9112500
16	130	2080	256	4096	65536	33280	532480	8519680
17	110	1870	289	4913	83521	31790	540430	9187310
18	80	1440	324	5832	104976	25920	466560	8398080
19	70	1330	361	6859	130321	25270	480130	9122470
20	60	1200	400	8000	160000	24000	480000	9600000
21	50	1050	441	9261	194481	22050	463050	9724050
22	40	880	484	10648	234256	19360	425920	9370240
23	20	460	529	12167	279841	10580	243340	5596820
24	20	480	576	13824	331776	11520	276480	6635520
25	10	250	625	15625	390625	6250	156250	3906250
26	10	260	676	17576	456976	6760	175760	4569760
27	10	170	729	19683	531441	7290	196830	5314410
28	10	280	784	21952	614656	7840	219520	6146560
29	5	145	841	24389	707281	4205	121945	3536405
30	10	300	900	27000	810000	9000	270000	8100000
31	5	155	961	29791	923521	4805	148955	4617605
Σ	10000	78380				809880	10701960	172371270

ii)

x	$\triangle N$	長さ	x''	x'''	x''''	$x'' \cdot \triangle N$	$x''' \cdot \triangle N$	$x'''' \cdot \triangle N$
1	20	20	1	1	1	20	20	20
2	210	420	4	8	16	210	1680	3360
3	550	1650	9	27	81	4950	14850	44550
4	1330	5200	16	64	256	21280	85120	340480
5	1800	9000	25	125	625	45000	225000	1125000
6	1060	6300	36	216	1296	38160	228960	1373760
7	920	6370	49	343	2401	45080	315560	2208920
8	810	6400	64	512	4096	51840	414720	3317760
9	600	5310	81	729	6561	48600	437400	3936600
10	570	5700	100	1000	10000	57000	570000	5700000
11	450	4840	121	1331	14641	54450	598950	6588450
12	370	4200	144	1728	20736	53280	639360	7672320
13	340	4420	169	2197	28561	57460	746980	9710740
14	250	3500	196	2744	38416	49000	686000	9604000
15	180	2700	225	3375	50625	40500	607500	9112500
16	130	2080	256	4096	65536	33280	532480	8519680
17	110	1870	289	4913	83521	31790	540430	9187310
18	80	1440	324	5832	104976	25920	466560	8398080
19	70	1330	361	6859	130321	25270	480130	9122470
20	60	1200	400	8000	160000	24000	480000	9600000
21	50	1050	441	9261	194481	22050	463050	9724050
22	40	880	484	10648	234256	19360	425920	9370240
Σ	10000	75880				748500	8960670	124660290

<考察>

	D10	D20	D30	D21	D31	D32	D43
i) - ii)	0.25	0.35	0.59	0.47	0.82	1.24	2.19

上記の表は i) と ii) の計算結果の差である。

ii) の取り除いた巨大粒子数というのは i) のデータの総個数の僅か 1%ではあるが、i) と ii) の平均値にはいくらか差が見られ、大きな粒子の存在は少しだとしても影響力は大きいことが分かった。

さらに、計算結果をみてみると体積で重み付けした平均値、すなわち x^3 (x^4) を用いた平均値の計算方法がより差が大きかった。その中でも、ザウター平均粒径と Brouckere 平均粒径は $1 \mu\text{m}$ 以上の差が得られた。このことより、直径の指数が大きければ大きいほど僅かな量で大きな差が得られるであろうと考えられる。つまり、極端に言えば 10 乗や 100 乗などとすればほんの僅かな巨大粒子もより見つけ安いのでは、ということになる。しかし、こうなると複雑になりすぎて「平均粒径」とは言い難い。そして、今回の結果から 4 乗以上となると、本来の直径の平均値から離れすぎてしまうと思われる。したがって、やはりザウター平均が油滴の総数は変わるが蒸発速度と発生蒸気量は変わらないということもあり、一番ドライミストの平均粒径には適していると思う。

