

複数ノズルを配置した風洞内傘状噴霧流の特性解析

Characterization of Spray Flow in Rectangular Duct with Several Hollow Cone Nozzles

井上正憲 吉田隆紀 青木秀之 丹野庄二 三浦隆利
 (Masanori INOUE) (Takanori YOSHIDA) (Hideyuki AOKI) (Shoji TANNNO) (Takatoshi MIURA)
 高砂熱学工業 高砂熱学工業 東北大学 東北大学 東北大学
 (Takasago Thermal Eng.) (Takasago Thermal Eng.) (Tohoku Univ.) (Tohoku Univ.) (Tohoku Univ.)

The conical spray flow characteristics was studied by numerical and experimental methods. Four hollow cone nozzles were placed 200mm apart in the rectangular duct. The primary water droplet velocity distribution was the range from 13 to 25m/s and size distribution was 5-140 μ m at 10mm lower the nozzle position. Distributions of air velocity, droplets size and droplet mass flux were measured on the several cross sections at 200-1000mm lower the nozzle position. Flow patterns and size distributions of droplets in rectangular duct were measured with Phase Doppler Anemometer (PDA). Numerical simulation of flow pattern and droplet trajectory was also performed by $k-\epsilon$ turbulence model and Lagrangian method, respectively calculated results were compared with experimental ones. As the results of analysis, the calculated results were coincided with experimental ones on distribution of air velocity, droplets size and droplet mass flux. Air was violently induced by spray in the direction of axis of nozzle and thereby smaller droplets were deviated from original path. The distribution of droplet mass flux was similar to air velocity pattern. The smaller droplets consisted of large mass flux in the direction of axis of nozzle.

Key Words : Conical spray, Phase Doppler anemometer, Water droplet, Numerical simulation, Lagrangian method, Air cleaner, Clean room

1. 緒論

近年、半導体やハードディスクなどの電子部品製造用クリーンルームでは、雰囲気中のガス状汚染物質による化学汚染が品質や歩留まりに影響を与えると言われている。このためクリーンルーム雰囲気の浄化方法に関する検討が盛んに行われている。その対策のひとつとして、エアウォッシャによる取入れ外気の浄化^{(1)~(3)}が行われている。さらに、エアウォッシャの気液接触効率を向上させ高い除去効率を得る目的で噴霧する液滴径を小さくしたり、吸収液に清浄水を用いることにより処理空気の2次汚染を防止しようとする試みもなされている。本研究では、微細液滴噴霧によるエアウォッシャシステムの特性解析を行う際の基礎データを収集するために、複数

ノズルを設置した微細液滴噴霧風洞内の流動特性や液滴径分布などについて数値解析^{(4)~(5)}および実験的手法⁽⁶⁾を用いて調べた。

2. 解析および測定対象

実機サイズのエアウォッシャシステムでは装置内に多数の噴霧ノズルを配置している。このような装置の噴霧流では隣接するノズル間の相互作用も生じ複雑な特性を示すと考えられる。本研究では図1に示すような断面寸法 400×400mm の矩形風洞内に4個のHollow Cone型ノズルを200mmピッチで配置した場合の噴霧流を解析対象とした。噴霧方向は気流方向と同じとし、噴霧液滴には実機と同様に水を用いた。実験装置では風洞空間の1/2(断面寸法 400×200mm)を測定範囲とした。また、数値解析では風洞空間の1/4(断面寸法 200×200mm)を解析範囲

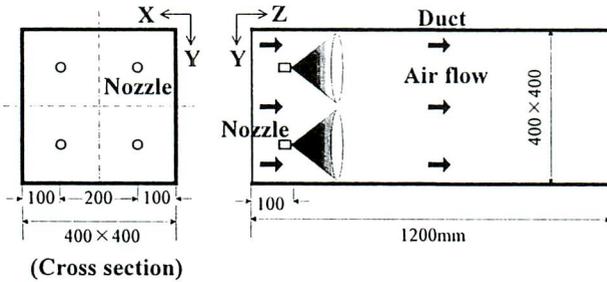


Fig.1 Configuration of test section

とした。数値解析は三次元直交座標系で行い、計算格子数は風洞断面(XY面)で21×21、流れ方向(Z軸)で81とした。

3. 数値解析方法

風洞内の気流については $k-\epsilon$ 2 方程式乱流モデルにより計算した。三次元直交座標系における定常流動場の連続の式、運動方程式および k, ϵ の保存式は式(1)で示される。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(\rho U \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V \phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho W \phi) \\ &= \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}) + S_\phi + S_{d\phi} \quad (1) \end{aligned}$$

ここで、 Γ_ϕ 、 S_ϕ は各従属変数 ϕ の乱流拡散係数およびソース項である。 $S_{d\phi}$ は気流と液滴の相互作用を表すソース項である。また、解法アルゴリズムには SIMPLE 法を用いた。

噴霧流についてはラグランジェ法を用いて計算した。ラグランジェ法は気流中を運動する単一粒子の運動方程式を解くことで粒子速度および位置を求める手法であり、解析では合計 70000 個の液滴について計算した。解析における噴霧液滴の初期速度、噴霧角度、粒子径分布および噴霧量等の条件は事前に行った単一ノズルの測定結果に基づいて決定した。なお、噴霧流の解析においては液滴間の相互作用や液滴の分裂・合体^{(7)~(10)}に関しては考慮していない。

図2に液滴の飛跡計算における噴霧液滴の初期分散モデルを示す。このモデルはノズル中心より液滴を射出させ、この時各液滴に対して射出時の初期速度および射出方向を与えるものである。液滴射出時の初期速度は 20m/s とし平均噴霧角は鉛直方向より 40° 、噴霧角の広がりには標準偏差 5° の正規分布で与えた。さらに周方向の射出角度については一様乱

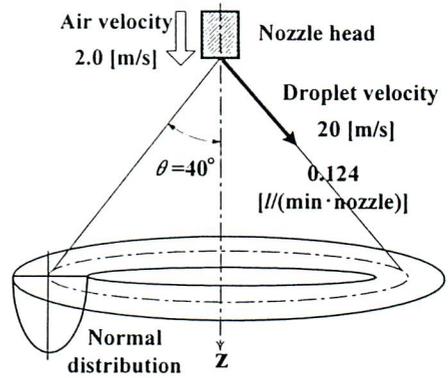


Fig.2 Initial droplet dissipation

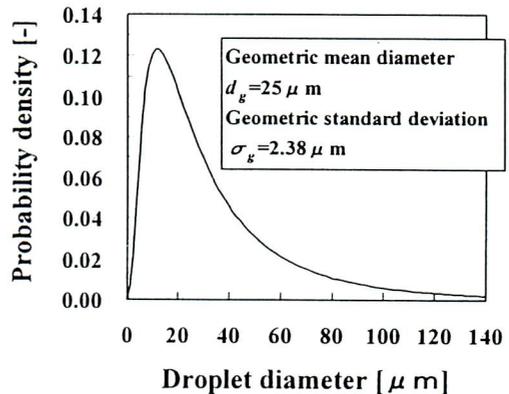


Fig.3 Droplet size distribution

Table 1 Classification of droplet on numerical simulation

Classified droplet diameter [μm]	Ratio of weight [-]	Ratio of droplet number [-]
10	7.89×10^{-3}	6.35×10^{-1}
30	6.53×10^{-2}	1.95×10^{-1}
50	1.34×10^{-1}	8.63×10^{-1}
70	1.79×10^{-1}	4.20×10^{-2}
90	2.01×10^{-1}	2.22×10^{-2}
110	2.08×10^{-1}	1.26×10^{-2}
130	2.06×10^{-1}	7.54×10^{-3}

spray water flow rate : 0.124[l/(min·nozzle)]

数で与えた。液滴径分布は事前測定結果をもとに図3に示す対数正規分布で与え、10~130 μm の範囲で7粒径を代表液滴径として計算を行った。表1に代表液滴径、液滴重量割合および液滴個数割合を示す。ノズル1個当たりの噴霧量は実測値に基づき

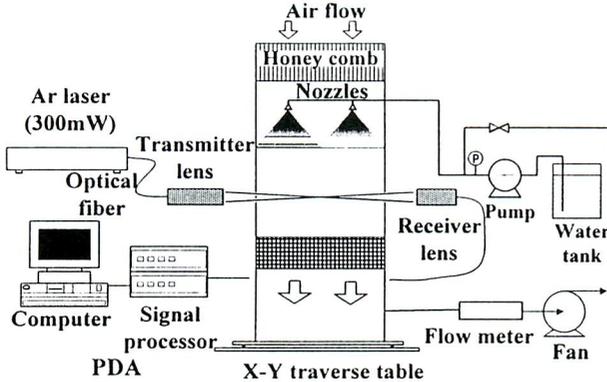


Fig.4 Schematic diagram of experimental apparatus

0.124 l/min とした。また、液滴の飛跡計算において計算領域の境界面に達した液滴の処理は、①壁面に到達した場合は壁面付着するものとして計算対象から除外し、壁面での跳ね返りは無いものとする、②風洞の X および Y 軸対称面となる境界に到達した場合は、面対称でノズルが設置されていることを考慮して、境界面に対して面対称となる速度成分を持った液滴が計算領域に入って来ると仮定した。

数値解析では初めに粒子を含まない流れ場について計算し、次にその流れ場における液滴の運動方程式を解き液滴飛跡の計算を行う。飛跡計算では PSI セルモデル⁽¹⁾を用いて式(1)中の S_{d0} を各セル毎に算出する。次にその S_{d0} を気流の支配方程式に組み込んで流れ場の計算を再度行う。これらの過程を繰り返す、流れ場の計算結果が前回値と同様ならば、収束と見なして計算を終了する。

4. 実験方法

実験装置の概要を図 4 に示す。試験風洞は断面サイズ 400×400mm で、ノズル位置より下方 1300mm を噴霧空間とし最下流側には整流と噴霧液滴の除去を兼ねた網目状のマットを積層している。また、この試験風洞全体は X-Y トラバース装置上に載せられ、X-Y 方向の任意位置への水平移動が可能となっている。

実験条件を表 1 に示す。実験時の風洞入口側の空気速度は 2m/s に設定し、ノズル噴霧方向は気流と同方向とした。使用したノズルは 1 流体ノズルで噴霧圧力は $8.8 \times 10^5 \text{ Pa}$ (9.0 kg/cm^2) である。噴霧流体としては水道水を使用し、高圧ポンプ(丸山製作所製、

Table1 Experimental condition

Duct size[mm]	400 ^W ×400 ^D ×2150 ^H
Mean air velocity[m/s]	2.0
Air temperature[°C]	13~20
Air humidity[%RH]	70~85
Nozzle type	Hollow cone type×4
	$8.8 \times 10^5 \text{ [Pa]}$, $0.124 \times 4 \text{ [l/min]}$

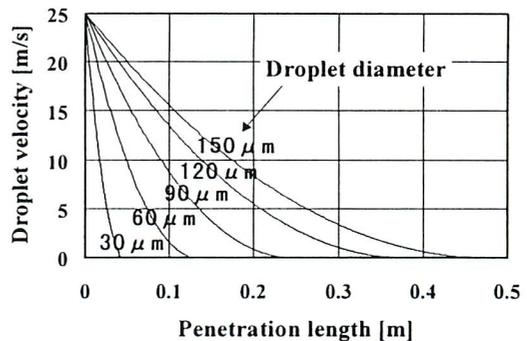


Fig.5 Relationship between spray penetration and droplet size

0.75kW)により所定圧力にまで加圧後、耐圧チューブにてノズルに供給している。また、実験時には室内湿度が 70%RH 以上になるまで装置の予備運転を行い、液滴の蒸発量が少なくなるように配慮した。

液滴速度、液滴径の測定はレーザドップラー式粒子計測器 (Aerometrics 製、Phase Doppler Anemometer、以下 PDA と記す) を用いた。PDA の光学系は、トランスミッタレンズ、レシーバレンズ共に焦点距離 500mm のものを用い、トランスミッタ軸から 30° 方向の前方散乱光を受光した。このときの測定体積の最小径は 252 μm であった。

PDA による測定はノズル設置面の下流側 200~1000mm 間の数カ所の水平断面について行った。測定の際には、風洞側面に必要最小限の小孔を設けレーザビームを通過させることにより、風洞周囲からの空気流入による風洞内気流の変化を少なくした。また、レンズ系の位置は固定とし X-Y トラバース装置に載せた試験風洞全体を水平移動させることにより風洞断面内の分布を測定した。

風洞内の噴霧流束の測定は、風洞内にサンプリングノズルを気流に対向させて配置した。サンプリング

グノズルは風洞内気流に影響を与えないように、内径 5.6mm のステンレス細管（先端テーパ加工、肉厚 0.89mm）を用いた。このサンプリングノズルを順次測定位置に移動させることにより風洞内の噴霧流束分布を測定した。空気と共にサンプリングされた液滴は液溜めボトルに蓄積され、一定時間サンプリングした後の液重量の増加を計量した。通常、液滴のサンプリングには等速吸引が理想的であるが、噴霧による風洞内の気流の乱れにより正確な等速吸引は困難である。したがって、測定点における平均空気速度で吸引を行い、式 (2) により噴霧流束 Φ_p を求めた。式(2)中の w_t はサンプリング時間内に測定位置で吸引した総液滴重量[kg]、 V_t は総吸引空気量 [m^3]、 v_a は測定点での平均空気速度[m/h]である。

$$\Phi_p = (w_t / V_t) \cdot v_a \quad (2)$$

- w_t : 測定位置でサンプリングした総液滴量[kg]
- V_t : 測定位置でサンプリングした総空気量 [m^3]
- v_a : 測定位置の平均空気速度[m/h]

5. 解析結果

5. 1 空気速度分布

噴霧風洞内の空気速度分布の測定では、風速計のプロブ等の挿入による直接測定が極めて困難である。そこで、PDA による液滴速度の測定結果をもとに空気速度分布を推定した。液滴(球形粒子と仮定)の運動方程式⁽¹²⁾を解いて求めた貫通距離と液滴速度の関係は図 5 に示される。本研究では、貫通距離が 200mm の時点で無視できる程度に初速が緩和される $60 \mu m$ 以下の液滴の平均速度を空気速度とほぼ同等と見なした。後述するが、噴霧風洞内の平均液滴径の分布はノズル軸近傍では小さく、ノズル軸から離れた場所では大きくなっている。つまり、本測定では風洞内の測定場所によって空気流に対する測定対象液滴の追従性や重力沈降速度が違っている。したがって空気速度の推定精度は測定場所によって異なっている。 $60 \mu m$ の液滴の重力沈降速度は $0.1m/s$ であり Z 軸方向の風洞内平均空気速度の約 5% となっている。

図 6 にノズル下流側 200mm 断面における垂直方向の空気速度分布の計算および測定結果を示す。測定結果は平均化されたノズル周りの測定値を風洞中

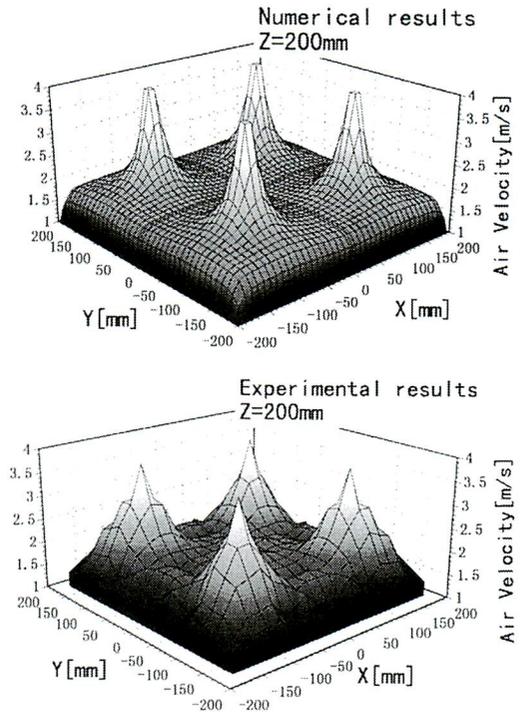


Fig.6 Distributions of vertical air velocity at 200mm lower the nozzle position

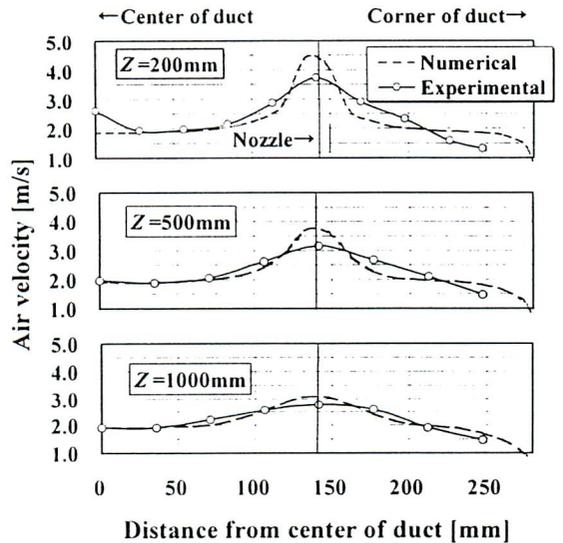


Fig.7 Profiles of vertical air velocity on a diagonal axis

心点について対称となるものとして風洞断面全体の分布を表したものである。計算および測定結果ともにノズル中心軸方向への空気誘引により、著しい空気速度分布が生じている。断面内の最大空気速度は、計算結果では平均空気速度(約 2m/s)の約 2.2 倍、測定結果で約 1.9 倍となっている。図 7 にはノズル下流側 1000mm までの垂直方向の空気速度分布(風洞対角線上)の計算および測定結果を示す。計算および測定結果ともに分布形状は類似しており、下流側に行くにしたがって分布は緩和されている。

また、ノズルに近いほど測定結果にくらべ計算結果の空気速度分布が鋭くなる傾向を示す。ノズル中心軸への空気誘引現象は、ノズル近傍での液滴と空気の局所的な著しい運動量交換によるもので、圧力分布の計算結果でもノズル近傍に局所的な負圧の領域が形成されている。

5. 2 液滴径分布

ノズル下流側 200mm 断面におけるザウター平均粒子径 D_{32} 分布の計算および測定結果を図 8 に示す。ノズルから噴霧された液滴の運動方向は、ノズル軸方向への空気誘引により運動量の小さい小粒径液滴ほど変化する。つまり、誘引される空気に同伴することにより液滴軌跡が変化し小粒径の液滴ほどノズル軸付近に集まっていることが計算および測定結果からわかる。ノズル軸付近のザウター平均粒子径はノズル下流側 200mm で約 20~30 μm 、風洞中央部では約 110~120 μm となっており、計算と測定結果は良く一致している。

図 9 にはノズル下流側 1000mm までの各風洞断面のザウター平均粒子径分布(風洞対角線上)を示す。測定結果でのノズル軸付近のザウター平均粒子径は下流側ほど大きくなっている。一方、計算結果では分布が緩和されているものの、ノズル軸付近のザウター平均粒子径の変化は少ない。この理由は、実験においては液滴の蒸発や合体による小径液滴の消失があるが、計算モデルにおいてはこのような現象を考慮していないこと、および液滴の拡散による影響が考えられる。

5. 3 噴霧流束分布

ノズル下流側 300mm 断面における噴霧流束の計算および測定結果を図 10 に示す。測定結果は式(2)によって求めた噴霧流束 ϕ_p である。噴霧流束はノズル軸付近が高く、空気速度分布と類似したパターンとなっている。つまり、ノズル軸付近では小粒径の

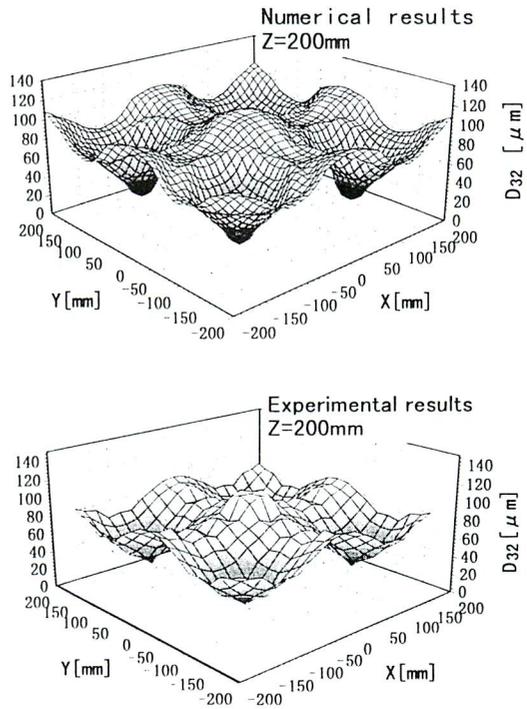


Fig.8 Distributions of Sauter's mean diameter at 200mm lower the nozzle position

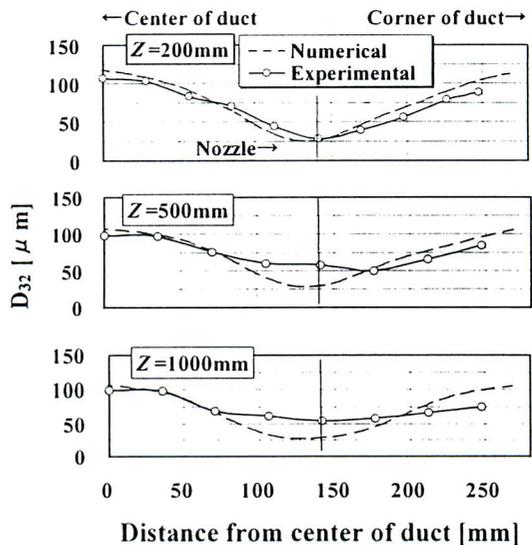


Fig.9 Profiles of Sauter's mean diameter D_{32} on a diagonal axis

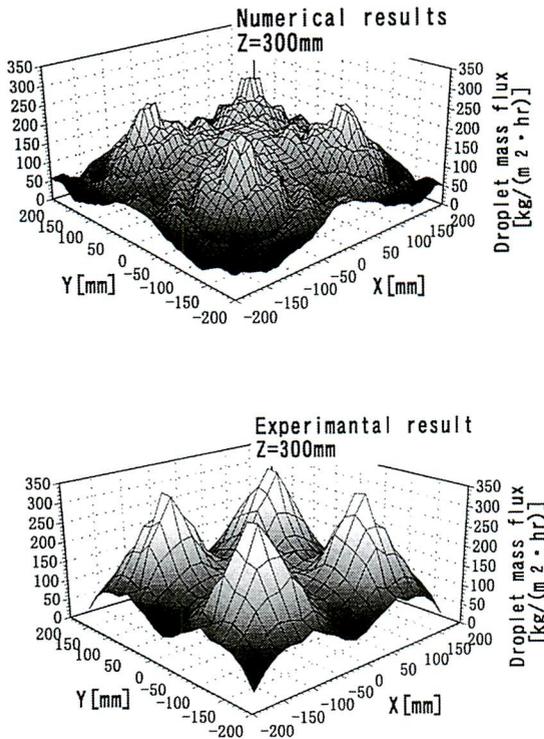


Fig.10 Distribution of droplet mass flux at 300mm lower the nozzle position

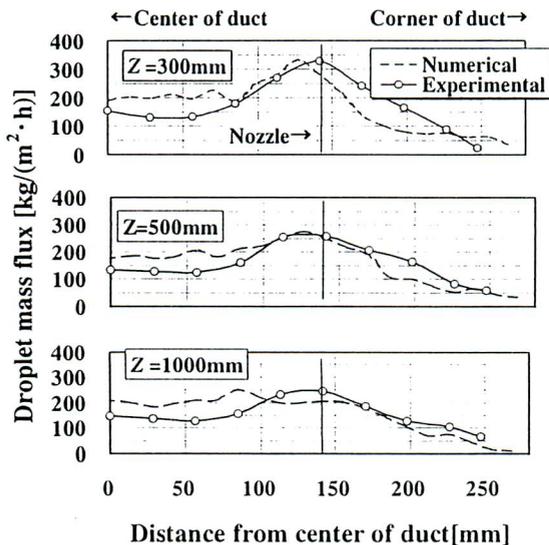


Fig.11 Profiles of droplet mass flux on a diagonal axis

噴霧流束が極めて高くなっていることがわかる。また、図 11 にはノズル下流側 1000mm までの噴霧流束分布(風洞対角線上)を示す。計算および測定結果とも下流側ほど噴霧流束分布は緩和されており、小粒径液滴がノズル軸付近から周囲へ拡散しているものと推定される。

また、噴霧流束分布の形状はどの Z 断面においても風洞中央部付近の流束が風洞隅部よりも高くなる傾向を示している。風洞中央部付近には、隣接するノズル群から噴霧された慣性力の大きい大粒径液滴が混在する。さらに、風洞内の空気流および噴霧流は風洞壁面近傍の速度境界層の発達により風洞中心軸方向に偏る傾向を示している。このため、風洞中央部付近の噴霧流束が全体的に上昇している。計算では、ノズル配置の対称性を考慮した上で、隣接ノズルから噴霧された液滴がすべて透過してくるものと仮定したが、計算と測定結果は比較的近い傾向を示した。

6. 考察

複数ノズルを配置した矩形風洞内の噴霧流は、隣接ノズルや壁面の影響を受け、その流動特性は複雑なものとなっている。空気速度(Z 軸方向)・液滴径・噴霧流束分布については 5 章で述べた通りであり、計算と測定結果はほぼ一致している。

ここでは、噴霧流内の各代表液滴径毎の挙動について液滴軌跡の計算結果をもとに考察する。計算を行った液滴数は各代表液滴径について 10000 個であり、それぞれの液滴軌跡の計算データにより任意の XY 断面における液滴の通過位置を調べることができる。図 12 に示すように、任意の XY 断面において X,Y 軸の計算格子で分割された小領域毎に通過した液滴数 n_{ij} を代表液滴径毎に調べた。そして通過

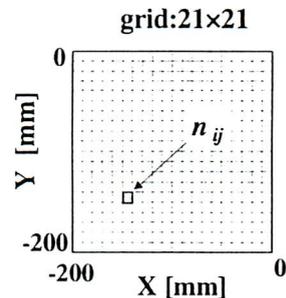


Fig.12 Separated domain by XY calculation grid

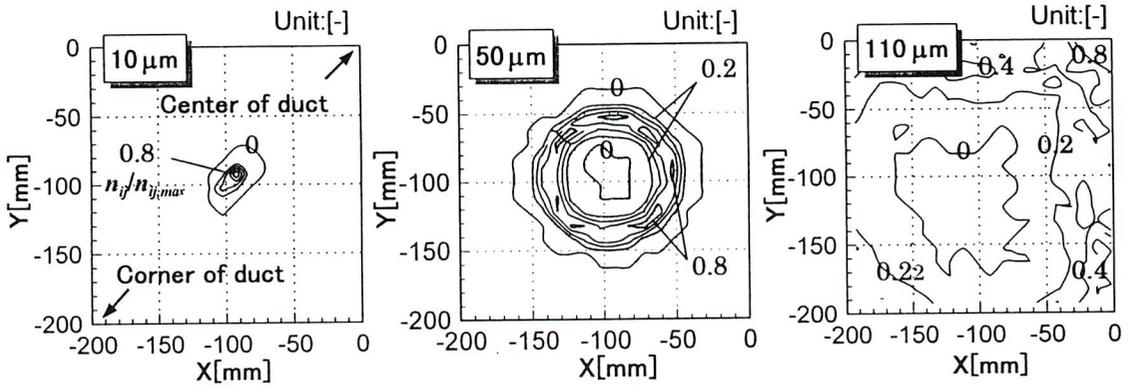


Fig.13-1 Distributions of passing particle number($n_{ij}/n_{ij,max}$) on the quarter duct cross section ($Z=200\text{mm}$)

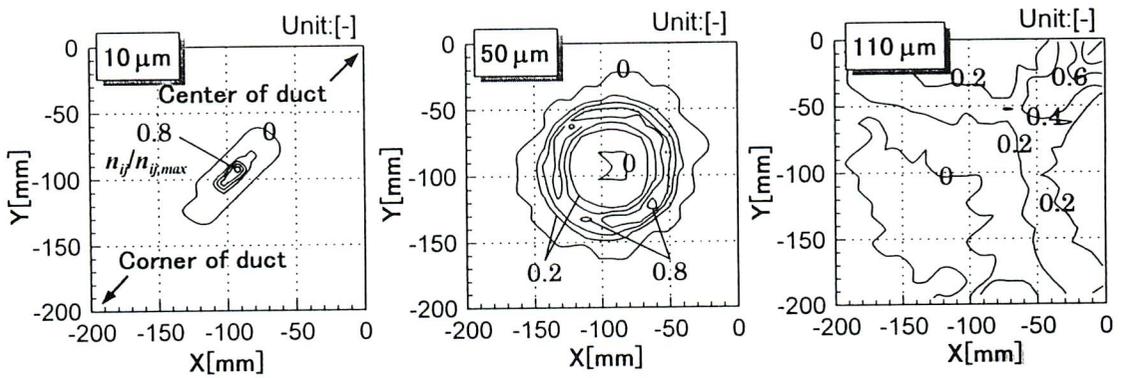


Fig.13-2 Distributions of passing particle number($n_{ij}/n_{ij,max}$) on the quarter duct cross section ($Z=500\text{mm}$)

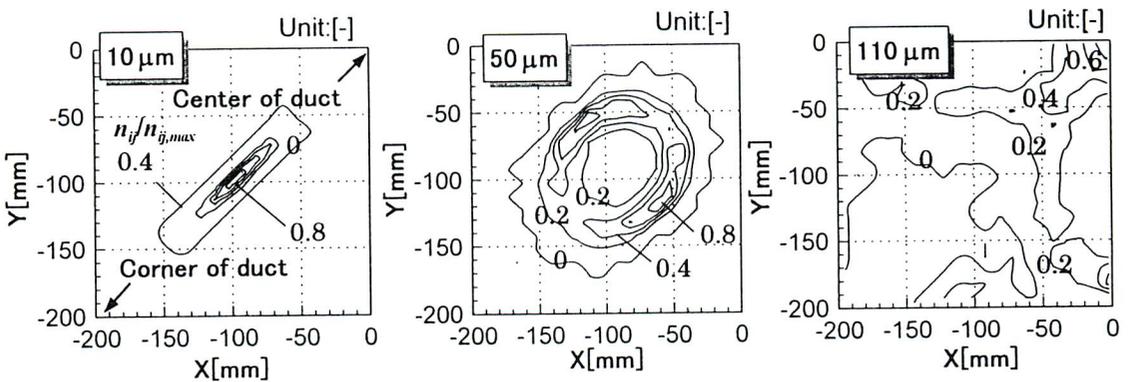


Fig.13-3 Distributions of passing particle number($n_{ij}/n_{ij,max}$) on the quarter duct cross section ($Z=10000\text{mm}$)

液滴数の最大値 $n_{j,max}$ に対する液滴数比率($n_j/n_{j,max}$)を求めた. 図 13-1~図 13-3 にノズル下流側 200mm~1000mm における XY 断面(全断面の 1/4 を表示)の代表液滴径毎の液滴数比率($n_j/n_{j,max}$)の分布を示す. 図では代表例として 10, 50, 110 μm の液滴の分布を示している. なお図中での, ノズル軸の位置は $X=Y=-100\text{mm}$ であり, 風洞壁面はそれぞれ $X=-200\text{mm}$, $Y=-200\text{mm}$, 風洞対象面はそれぞれ $X=0\text{mm}$, $Y=0\text{mm}$ である.

10 μm の液滴は, ノズル下流側 200mm ではノズル軸上付近に集中しているが下流に行くにしたがい風洞対角方向に拡散している. 50 μm の液滴についても同様に下流側に行くにしたがい風洞対角方向へ拡散する傾向が見られる. これは図中の風洞対角方向には流動および圧力分布が対称となっておらず, 空気流の乱れによる小粒径液滴の拡散が生じやすくなっているためだと考えられる.

また, 110 μm の液滴は慣性力が大きいために緩和距離が長く, 異なった挙動を示す. ノズル下流側 200mm では壁方向に噴霧された液滴は壁と衝突して消滅し, 極端にその数が減少している. 一方, 風洞内部方向へ噴霧された液滴は X,Y 軸方向の対称軸($X,Y=0\text{mm}$)付近へ到達している. この液滴は, ノズル配置の対称性を考慮して隣接するノズルから噴霧された液滴として再度計算領域に入っている. さらに下流側では隣接するノズルから噴霧された液滴の割合が多くなり, 隣接したノズルの軸を中心とした環状の分布となる. このように, 複数ノズルを配置した噴霧風洞の流動や液滴挙動は隣接するノズルや隔壁の影響を受けている. 今回の数値解析では, 液滴間の相互作用や液滴同士の衝突による合体・分裂は考慮していないが, その特性を十分に把握できる結果が得られた.

7. 結論

4 個の Hollow Cone 型ノズルを配置した矩形風洞内傘状噴霧流の特性解析を行うため, PDA による直接測定および数値計算を行った結果, 以下のことが明らかになった.

- (1) ラグランジェ法による噴霧流計算で, 噴霧液滴の壁面への衝突による消滅および隣接ノズルからの噴霧液滴の混入を考慮することにより矩形風洞内の噴霧流特性を十分に把握できる.
- (2) ノズル下流では, ノズル軸方向に著しい空気誘引

があり局所的に大きな空気速度分布が生じている.

- (3) 液滴径の分布は, 空気粘性による液滴速度の低下および空気誘引により小径液滴が気流に随伴されやすいため, ノズル軸付近に小粒径, 風洞中央部付近およびノズル中間位置付近に大粒径の液滴が集まった分布となっている.

- (4) 噴霧流束の分布は, 空気速度分布と同様な傾向で, ノズル軸付近には高流速・高速の小粒径液の流れが生じている.

- (5) 矩形風洞内部に均一に配置された 4 個のノズル下流側での小径液滴の拡散は, 風洞壁面の影響による流動や圧力分布特性によりノズル軸付近から風洞対角方向に生じやすい傾向を示す.

文献

- (1) 松木幹雄, 田中宣雄: クリーンルーム内空気中の不純物(わ)とその除去方法, 沖電気研究開発, 61-3(1994), 71-74.
- (2) 飯嶋和明, 川嶋昭之, 藤井雅則, 長谷川勉, 秋田州三, 上村次明, 富田昇吾, 清水利壽: エアワッシャーによる大気中カビ物質の除去, 第 15 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集(1997), 75-78.
- (3) 中島啓之, 本田重夫: エアワッシャーの無機成分除去性能の実態調査, 第 16 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集(1998), 5-8.
- (4) 青木秀之, 丹野庄二, 三浦隆利, 大西恵: 実用燃焼炉の三次元噴霧燃焼シミュレーション, 日本機械学会論文集(B), 57-538(1991), 226-232.
- (5) 古畑朋彦, 丹野庄二, 三浦隆利: 噴霧流解析手法の検討—ラグランジェ法とオイラー法の比較—, 化学工学論文集, 20-1, (1994), 81-88.
- (6) 井上正憲, 青木秀之, 丹野庄二, 三浦隆利: 風洞内傘状噴霧流の特性解析, 日本機械学会熱工学講演会論文集, (1998), 319-321.
- (7) 倉橋俊雄, 液体の微粒化技術, アイシー (1995), 67-68.
- (8) 古閑二郎, 工藤俊一, 小林敏孝, 井上一郎: 1 対のノズルからのスプレー間相互作用と液滴の粒径分布: 第 14 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, (1986), 32-41.
- (9) Asheim J.P., Kirwan J.E. and Peters J.E.: Modeling of a hollow-cone liquid spray including droplet collisions, J. of Propulsion and Power, 4-5(1988), 391-398.
- (10) 隆武強, 大塚博行, 小保方富夫: レーザードップラー法によるレーザー機関内傘状噴霧流の特性解析, 日本機械学会論文集(B), 60-576(1994), 2917-2923.
- (11) Crowe C.T., Sharma M.P. and Stock D. E.: The particle-source-in cell(PSI-CELL) model for Gas-Droplet Flows J. Fluid Eng., 99(1977), 325-332.
- (12) 高橋幹二: 基礎エアゾール工学, 養賢堂 (1982), 10-17.



井上正憲
高砂熱学工業(株)
総合研究所 主査
〒243-0213 厚木市飯山 3150
Tel:046-248-2752 Fax:046-248-2290

E-mail:Masanori_Inoue@tte-net.co.jp

略歴:1982年大分大学工学部エネルギー工学科卒業。同年高砂熱学工業(株)入社。1999年東北大学工学研究科博士課程修了。主にクリーンルームシステムおよび空気浄化技術に関する研究開発に従事。



吉田隆紀
高砂熱学工業(株)
東京本店 商品統括部 部長
〒101-0052 東京都千代田区神田小川町
3-6

Tel:03-3259-2855 Fax:03-3259-2856

E-mail:Takanori_Yoshida@tte-net.co.jp

略歴:1973年同志社大学工学研究科修士課程終了。同年高砂熱学工業(株)入社。海水冷却塔、クリーンルーム技術・機器に関する研究開発に従事。1999年より現職。



青木秀之
東北大学大学院工学研究科
化学工学専攻 助教授
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 07
Tel:022-217-7251 Fax:022-217-6165

E-mail:aoki@tranpo.che.tohoku.ac.jp

略歴:1992年東北大学工学研究科博士課程修了。同年、東北大学工学部化学工学科助手、同講師を経て、1998年より現職。主にエネルギープロセスに関する実験・解析および環境汚染物質低減に関する研究に従事。



丹野庄二
東北大学
環境保全センター 助手
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 07
Tel:022-217-7529 Fax:022-217-7530

E-mail:tanno@tranpo.che.tohoku.ac.jp

略歴:1988年東北大学学位取得、工学博士。現在、環境保全センター助手。主に熱交換器の伝熱特性と液体の微粒化に関する研究に従事。



三浦隆利
東北大学大学院工学研究科
化学工学専攻 教授
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 07
Tel&Fax:022-217-7250

E-mail:miura@tranpo.che.tohoku.ac.jp

略歴:1977年東北大学工学研究科化学工学専攻博士課程修了。同年、東北大学工学部化学工学科助手、同助教授を経て、1990年より現職。主に燃焼を含めた熱プロセス機器の実験・理論的解析および省資源化に関する研究に従事。