

省エネ型微細ミストノズルと暑熱対策への応用

Development of Energy-Saving Micro-Mist Nozzle and Application to Heatstroke Countermeasures

田端 大助* 磯見 晃*
Daisuke Tabata Akira Isomi

暑熱対策に利用される一流体ノズルと比較し、高圧の圧縮空気を用いて水を微細化する二流体ノズルは、より微細なミストを生成できるため、工場内の加湿用途や除電対策などに使用されている。この二流体ノズルを暑熱対策として屋外で使用するため、低圧の圧縮空気を用いた場合でも、省エネかつ微細ミストを生成できるノズルを開発した。

Compared to a single-fluid nozzle utilized in heatstroke countermeasures, a two-fluid nozzle for atomizing water using highly compressed air has been capable of generating a fine mist. This mist has been used for humidification purposes and to remove electricity in places such as factories. In order to use this nozzle outdoors as a heatstroke countermeasure, we developed a nozzle capable of generating a fine mist by using compressed air having less pressure than usual.

1. 暑熱対策用途としての微細化ミストノズル

地球温暖化やヒートアイランド現象に伴う外気温の上昇により、熱中症患者は年々増加傾向にあり大きな社会課題となっている[1]。

熱中症対策の1つとして、水を人工的にミストとして散布し、その気化熱により外気を冷却する技術がある。辻本らは従来内燃機関での燃料噴射ノズルなどに用いられてきた液体微細化技術を用いて、ミストを生成する技術開発に取り組み、2005年の「愛・地球博」にて、本格的に実用化し[2]、その後駅やビルなどの施設で利用されている。

ここで使用されているノズルは、液体を加圧し、ノズル先端の小孔から高速噴射させることで微細化させる一流体ノズルである。

一方、工程内の除電対策など、工場の生産工程では、屋内でミストを噴霧しても濡（ぬ）れが生じないように、圧縮空気による高速気流を用いて液体に衝突させることで微細化し、ミストを生成させる二流体ノズルを用いている。

市販の一流体ノズル、二流体ノズルから生成されるミストの粒径^(注1)は、それぞれ10 μm～40 μm、10 μm程度であり[3]、二流体ノズルは一流体ノズルよりも小さいという特徴がある。ミストの粒径と蒸発速度には相関があり、粒径が小さいほど、蒸発速度は速くなる[4]。蒸発速度が速い場合、人の近傍でミストを噴霧しても濡れを感じにくくなるため、暑熱対策手段として微細なミストを

用いた方がより快適性が向上すると考えられる。本開発ではより微細なミストを生成可能な二流体ノズルをベースとし、暑熱対策へと応用展開するための開発を行ったので、ここに報告する。

2. 二流体ノズルの暑熱対策への応用と技術課題

暑熱対策は、熱中症リスクの高い街角や公園などの屋外で求められている。従来は工場内で使用されていた二流体ノズルを屋外の暑熱対策に応用するうえで、下記2点の制約を考慮する必要がある。

- (1) 設置スペース：設置スペースの制約により、コンパクトなエアコンプレッサが求められる。
- (2) 電源工事：電源容量の制約により単相2線式で動作する電源システムが求められる。

従来のノズルは、水を微細化するために高圧の圧縮空気を大量に使用しており、多くのエネルギーを使用していた。そのため、三相3線式の電源で駆動する大型のエアコンプレッサが必要であった。よって、少量の低圧圧縮空気でも微細ミストが生成可能なノズルを開発できれば、設置スペースと電源システム双方の制約を解決できると考えた。つまり、省エネ性に優れ、少量の低圧圧縮空気

(注1) 粒径は、下式で示されるザウター平均粒径を用いた。

$$D_{32} = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2}$$

D_{32} ：ザウター平均粒径、 d ：ミスト直径、 n ：ミスト個数。

総表面積と総体積の比に相当し、ミストの表面積が関係する燃焼や蒸発といったプロセスでは最も合理的に使用できる粒径である[5]。

* 生産技術本部 環境生産革新センター
Green Manufacturing Innovation Center,
Manufacturing Technology and Engineering Div.

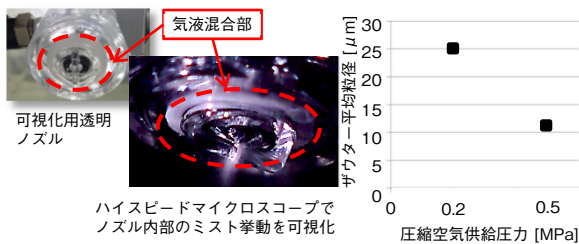
でミストを微細化できるノズルの開発が、暑熱対策への二流体ノズルの適用に重要な開発項目となる。

3. 高効率微細化ノズルの開発

可視化実験とCAE (Computer Aided Engineering) を活用し、新たなノズル開発を行った。本開発では、レーザー回折式粒度分布測定装置を用いてザウター平均粒径の測定を行い、ミスト噴霧量は50 mL/minとした。

3.1 透明ノズルを用いたミスト微細化プロセスの把握

まず、可視化実験により、微細化プロセスの把握を行った。第1図に示すようなポリカーボネート製の透明なノズルを作製し、ハイスピードマイクروسコープを用いて、ノズル内部で水と圧縮空気が衝突する気液混合部におけるミストの挙動を観察した。このノズルを用いて、圧縮空気の供給圧力を変えることで、圧縮空気の変えた際のミスト粒径の変化を第1図に示す。圧力0.5 MPaの圧縮空気を供給した場合、気液混合部にて水と圧縮空気が激しく衝突する様子を映像で捉えることができ、このときのミスト粒径は10 μm であった。一方、圧力0.2 MPaの圧縮空気を供給した場合は、気液混合部での水と圧縮空気の衝突は緩やかであり、ミスト粒径は25 μm であった。この結果より、気液混合部における圧縮空気の変えた際のミスト粒径には相関があり、少量・低圧の圧縮空気であっても気液混合部での圧縮空気の変えた際のミスト粒径を大きくするノズル構造であれば微細なミストが生成可能であると仮説を立てた。



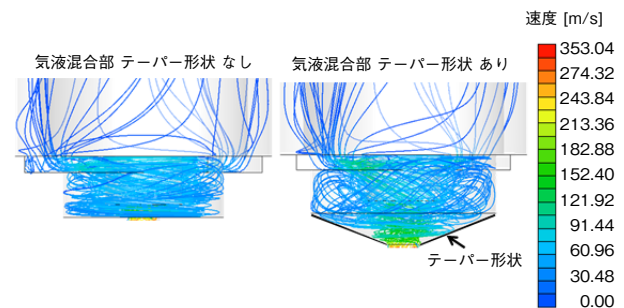
第1図 可視化実験用ミストノズル、および圧縮空気供給圧力とミスト平均粒径の相関
Fig. 1 Mist nozzle for visualization experiment and correlation between supply air pressure and average particle size in mist

3.2 流体解析を用いたノズル構造の最適化と実機検証

仮説を検証するため、気液混合部での圧縮空気の変えた際のミスト粒径を最大化するノズル構造を、流体解析を用いて検討した。圧縮空気供給圧力0.2 MPaにおける事例を第2図に示す。気液混合部における圧縮空気の変えた際のミスト

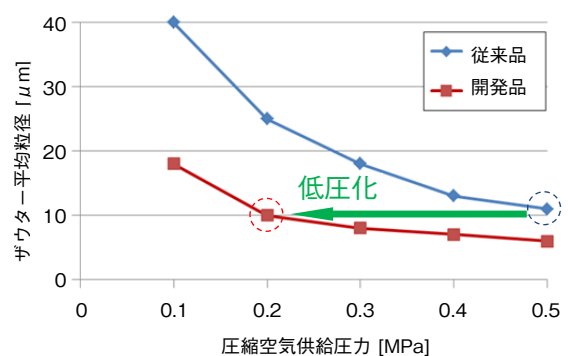
噴霧口に向けてテーパ形状にすることでより大きくなることが解析結果より導かれた。この解析結果に基づき、ノズルを作製し、評価を行ったところ、圧縮空気供給圧力0.2 MPaにおけるミスト粒径はテーパなしでは25 μm に対し、テーパありでは15 μm となった。このように流体解析を用いてノズル内部のその他の構造についても最適化を行った。従来品と開発品のノズル性能比較を第3図に示す。従来品では粒径10 μm のミストを生成するのに、大量の高圧圧縮空気(圧力:0.5 MPa, 流量:55 L/min)が必要であったが、開発品では少量の低圧圧縮空気(圧力:0.2 MPa, 流量:20 L/min)で生成可能となり、従来品と比較するとミスト微細化に必要なエネルギーは1/4以下となった。

その結果、必要な空気の圧力・流量ともに大幅に減少、省エネ化に成功したため、単相2線式で駆動する小型のエアコンプレッサでも粒径10 μm の微細なミストの生成が可能となり、さらに従来と比較して、設置スペースを1/4以下まで減少することができた。



第2図 CAEを用いた気液混合部の圧縮空気速度を増加させる構造の最適化

Fig. 2 Optimization of gas-liquid mixing part of nozzle structure to increase internal air flow rate using CAE



第3図 従来品と開発品のノズル性能比較
Fig. 3 Comparison of nozzle performance

4. 今後の展望

今回開発した二流体ノズルを用い、今後屋外での実証実験を行いその有用性検証を行う。温暖化、ヒートアイランド、高齢化により、熱中症対策の要請は増加しており、本開発がその一助となれば幸いである。

また、省エネかつ微細ミストを生成できる本ノズルの特徴を生かし、畜産・施設園芸などへの暑さ対策、除菌液の噴霧など、多様なアプリケーションへの展開を検討している。

参考文献

- [1] 熱中症 環境保健マニュアル, 平成26年3月 改訂, 環境省環境保健部環境安全課, 東京, 2014, pp.10-12.
- [2] 辻本誠 他, “ドライミスト技術とその応用,” 建築設備&昇降機, no.66, 2007, pp.30-35.
- [3] 平成21年度 ヒートアイランド現象による環境影響等に関する調査業務 報告書, (社) 環境情報科学センター, 東京, 平成22年3月, pp.23-29.
- [4] 日本液体微粒化学会, アトマイゼーション・テクノロジー, 森北出版(株), 東京, 2001, pp.3-11.
- [5] 日本液体微粒化学会, アトマイゼーション・テクノロジー, 森北出版(株), 東京, 2001, pp.31-43.