

二酸化炭素を利用した噴霧器による微粒化操作の研究

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 1180071 小松 弘茂

1. 緒言

近年、農業ハウスによる作物栽培は、湿度管理に加えた二酸化炭素濃度の管理や温度上昇の抑制に関する技術の導入が進められている。これにより作物の光合成を促し、高収獲化や高品質化が期待されている。しかし、湿度管理を行うために用いられている噴霧方式は、作物のカビの発生や細菌感染が問題となっている。この問題の主な原因である作物の濡れを防ぐためには、噴霧ミストの微粒化により揮発性を高めることが重要であると考えた。本研究では揮発性に優れたザウタ平均粒径 $10\mu\text{m}$ 以下のミストの安定な生成が可能な噴霧器の開発を目指している。

また、本研究で使用する噴霧器の機構は二流体噴霧方式であり、空気と噴霧液の衝突エネルギーにより微粒化を行う。さらに、微粒化を促進させるために噴霧液に気体を過飽和させる技術に注目した。過飽和液を用いることにより噴霧の際に空気と噴霧液の衝突エネルギーに加え、溶存気体の圧力解放による膨張波のエネルギーが付与し、微粒化が促進されることと考えたからである。溶質の条件は、水に溶解しやすく常温・大気圧下で気体であることである。また、人体に低濃度で悪影響を及ぼさず、植物にとって有益でなければならない。これらの条件から、二酸化炭素を溶質とした。このことから、ハウス内で噴霧を行う際に、湿度と二酸化炭素濃度を同時に行うことが可能となる。本研究では、圧力解放の影響を高めるため炭酸水を高圧下で生成し噴霧液として使用した。この噴霧液がノズル先端で吐出された際の圧力解放で、微粒化がどのように促進されるかを実験的に検証した。

2. 実験方法

実験装置を図1に示す。製作した圧力容器は、設計圧力 0.98MPa 、胴部分が 200A 、 10S のステンレス鋼管、上下の蓋板は SUS304 製フランジである。胴部分の長さは 800mm であり、内容積は約 27L である。また、噴霧器は上流側からブロワモータ、マスフローメータ、外部混合器の構造となっており、外部混合器部分では、アクリル製のオリフィスを用いてブロワ気流を絞り、中心部に設置されたアルミ製のノズルから噴霧液が吐出する構造となっている。ノズルは、噴霧液経路を縮小させることにより流量を調節する機構とした。オリフィス穴径は、ブロワモータの仕事率と効率がよく、空気流量 $1300\sim 1600\text{L}/\text{min}$ の範囲で微粒化能力が効率的に得られる 15mm を使用した。空気の供給はブロワモータにより行われ、噴霧液は圧力容器内の圧力により供給される。噴霧液は二酸化炭素を容器内にバブリングさせ、 $0.1\sim 0.9\text{MPa}$ の範囲で 0.1MPa 刻みに圧力を調整し生成した。そして、各圧力における粒径計測をした。また、炭酸水による微粒化への影響を検証するため、圧縮空気による容器内の加圧を行い、同様に圧力を調整し計測を行った。噴霧ミストはフラウンホフアー回折理論を用いたレーザー回折式粒度分布測定器 (Malvern, Spraytec) を使用し測定した。

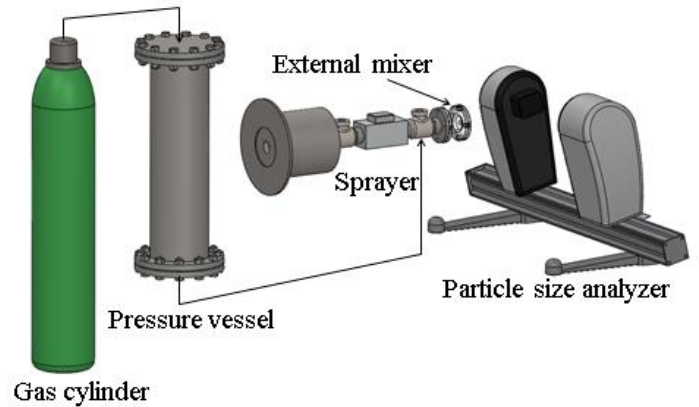


Fig.1 Experimental equipment

3. 実験条件

外部混合器部分の断面図を図2に示す。オリフィス穴径 D_1 は 15mm であり厚さは 10mm である。ノズルは外径 10mm 、先端穴径 D_2 は 0.5mm , 0.4mm , 0.35mm の3種類を使用した。噴霧液流量はノズルの先端穴径によって決定され図3のようになる。

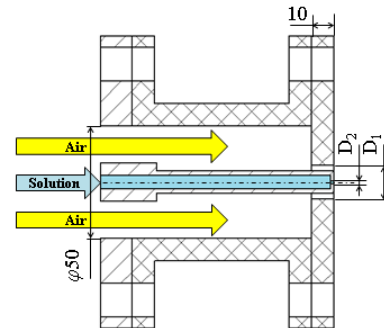


Fig.2 External mixer cross section

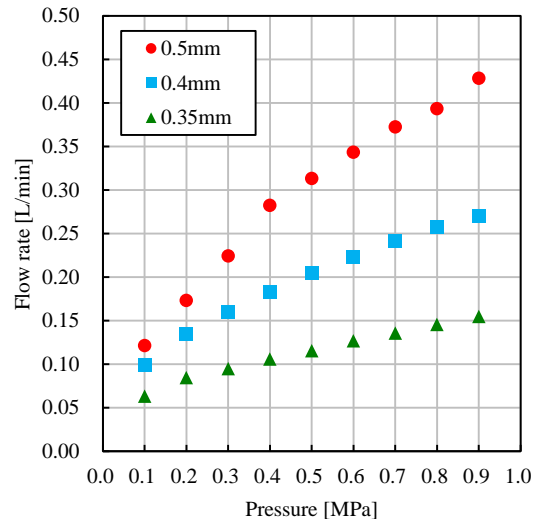


Fig.3 Flow rate at each pressure

4. 実験結果と考察

実験により測定された炭酸水噴霧のザウタ平均粒径を図4、空気加圧噴霧のザウタ平均粒径を図5に示す。また、噴霧液流量とザウタ平均粒径の関係を示したグラフを図6に示す。

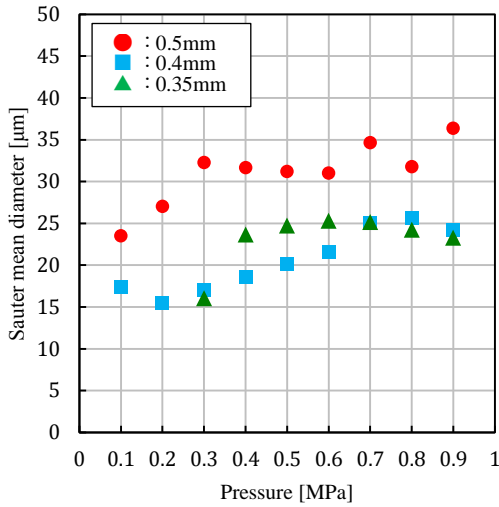


Fig.4 Relationship between particle diameter and CO₂ pressure

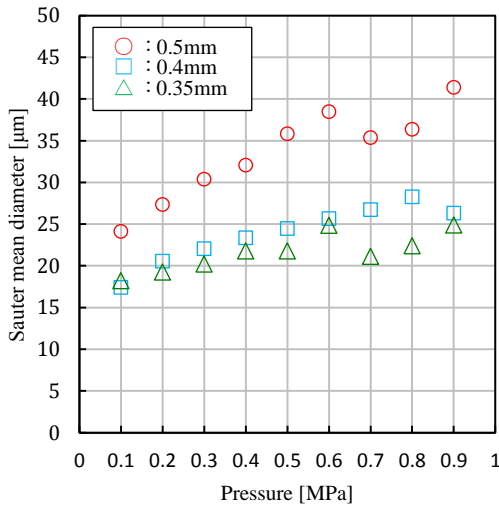


Fig.5 Relationship between particle diameter and air pressure

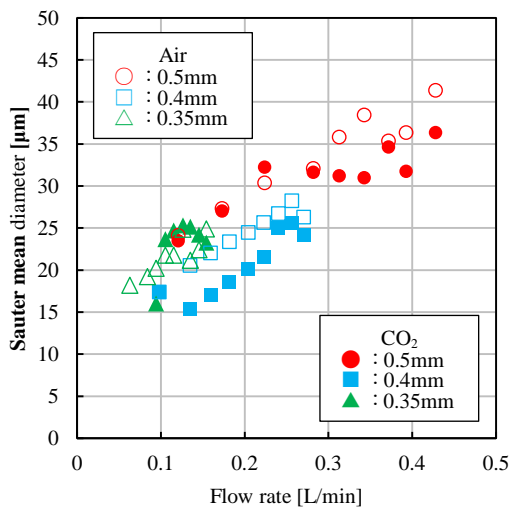


Fig.6 Relationship between particle diameter and solution flow rate

実験結果から、空気加圧による水の噴霧と二酸化炭素加圧による炭酸水噴霧のどちらも噴霧液が減少するに従い微粒化が進んでいることが分かる。最も粒径が微小であったのは、ノズル先端穴径0.4mmのとき容器内圧力0.2MPaの炭酸水噴霧、噴霧液流量0.135L/minで、ザウタ平均粒径15.38μmであった。この結果は、本研究の目的とする10μm以下の粒径に対して大きいため、さらに噴霧液流量の調整を行う必要がある。しかし、図6に示す噴霧液流量と平均粒径の関係のグラフから、流量が多いときに炭酸水による微粒化が促進されている傾向が見られる。この傾向はミストの自己加圧効果によるものだと考えられる。自己加圧効果とは、ミスト表面に働く表面張力によりミストの内圧が、周囲の圧力より高くなる現象である。その影響は、ミスト粒径が小さくなるに従い、過飽和状態の二酸化炭素による圧力解放による内側からの形状変化が生じにくくなる。この自己加圧効果は一般的に式(5-1)のヤング・ラプラスの式で求められる。

$$\Delta P_1 = \frac{4\gamma}{D} \quad (5-1)$$

ΔP_1 は液滴の内圧と外圧の圧力差[Pa]、 γ は表面張力[mN/m]、 D は液滴径[μm]である。本実験で得られたミスト粒径をザウタ平均粒径で表し、それぞれの粒径に対応する内圧を求め圧力解放による気泡発生率との関係を図7に示す。なお、グラフ中の実線は圧力を示しており上から順に0.9~0.1MPaとなっている。このグラフから噴霧液圧力が高いほど気泡発生割合が高く、また粒径が微小なほど内圧の影響を受け気泡発生割合が減少することが分かる。このことから、本研究の目的である平均粒径10μm以下のミスト生成を行うためには、ミスト内圧の影響を考慮するために溶解度を保持したまま、すなわち炭酸水の圧力を保持した状態で流量を減少させる必要がある。

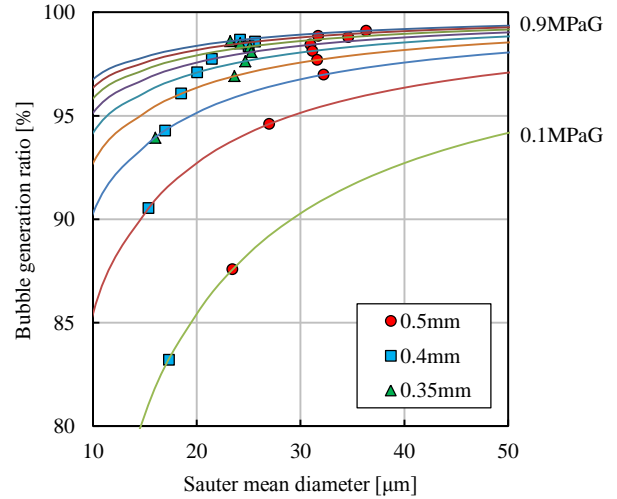


Fig.7 Relationship between particle diameter and air bubbles generation amount

5. 結論

加圧下で生成した過飽和炭酸水の噴霧を行い、その微粒化特性を実験的に調査した。その結果、炭酸水による微粒化促進が見られたが、微粒化が促進されることにより、ミスト内圧が上昇し炭酸水による微粒化効果が減少することが分かった。本研究の目的であるザウタ平均粒径10μm以下のミスト生成には内圧を考慮し、噴霧液の圧力を有効利用したノズルによる微粒化機構を付与する必要があると考えた。

6. 参考文献

- (1) 紛体工学会, 紛体工学叢書, 第1巻, 紛体の基礎物性