

外部混合型二流体ノズルを用いた広域噴霧機構の研究

Wide-range spray mechanism using external mixing twin fluid nozzle

知能機械システム工学コース

ものづくり先端技術研究室 1225024 小松 弘茂

1. 緒言

近年、施設園芸農業による作物栽培は、温度の他に湿度や二酸化炭素濃度を含めた環境コントロール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、収穫量や品質の向上が図られている。しかし、湿度管理を行うために用いられている既存の噴霧方式は、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、噴霧液滴の微粒化により揮発性を高めることが重要な操作の一つである。このために、本研究では揮発性に優れたザウタ平均粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の液滴が噴霧可能な機器の構築を目指している。

本研究で対象としてい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。これにより、噴霧の際に空気と噴霧液の衝突エネルギーに加え、圧力解放により液滴内に気泡が発生し、微粒化が促進されると期待したためである。溶質となる物質は、水に溶解しやすく常温・大気圧下にて気体で存在することが望ましい。また、人体に悪影響を及ぼさず、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、二酸化炭素に着目した。このことから、ハウス内で噴霧を行うと、湿度の上昇を図るとともに、光合成促進に必要な二酸化炭素を供給することが可能となる。本研究では、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。

また、既存技術における二酸化炭素濃度の管理方法は、燃焼型二酸化炭素発生装置を用いる方法が主流である。この方式は、灯油を完全燃焼させることにより有害物質が発生しない点やランニングコストを抑えた運転が可能といった利点がある。しかし、燃焼による高温の二酸化炭素ガスを供給してしまう課題がある。このため、太陽光の影響でハウス内が高温のときに二酸化炭素を供給することが難しく、温度上昇の抑制が必要とされている。そこで本研究では、二酸化炭素ガスと噴霧を混合させた状態で供給するという新たなシステムについても検討を行うことにした。炭酸水噴霧による微粒化促進効果の検証に加え、燃焼型二酸化炭素発生装置と噴霧器の併用による環境コントロール法の検証を行った。

2. 噴霧液滴の粒度分布測定実験

2-1. 実験装置

噴霧液吐出ノズルの断面構造を Fig.2-1 に示す。噴霧液が主流方向に対して 45° の角度で入射する機構である。気流との接触面積を増加させることで効率的に微粒化が行えられる。

実験装置のフローを Fig.2-2 に示す。過溶解炭酸水を生成するための圧力容器は、設計上の許容圧力 0.98MPa 、胴部分がステンレス鋼管(SUS304 200A,10S)、上下の蓋板は SUS304 製 10K フランジにより構成される。胴部分の長さは 800mm 、内容積は 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

なっている。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縮流させ、中心部に設置されたノズルから噴霧液を吐出する構造となっている。ブロワモータの仕事率と効率が高い範囲となるように、空気流量を $1400\sim 1500\text{L/min}$ とし、オリフィス穴径については微粒化能力が効率的に得られる 15mm を使用した。なお、噴霧液は圧力容器内の圧力により供給される。

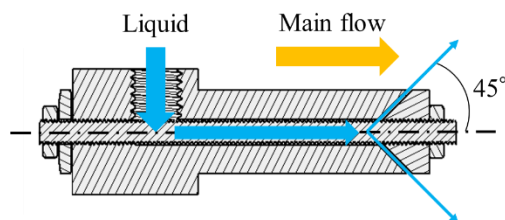
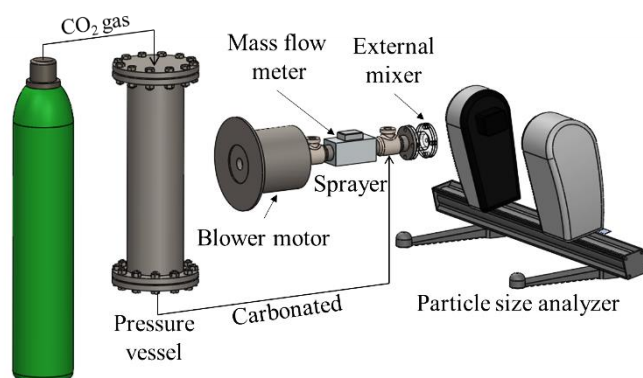


Fig.2-1 Nozzle section



CO₂ gas cylinder

Fig.2-2 Experimental equipment

2-2. 実験方法

過溶解炭酸水は、二酸化炭素を容器内の純水にバブリングさせ、 $0.1\sim 0.9\text{MPa}$ の範囲で 0.1MPa の間隔にて圧力を調整し生成した。そして、各圧力において噴霧を行い粒度分布を測定した。また、炭酸水による微粒化への効果を検証するため水噴霧でも実験を行った。本実験では、圧縮空気により容器内を加圧し、炭酸水を用いた実験と同様の圧力を実験条件とした。粒度分布はフラウンホーファー回折理論を採用しているレーザー回折式粒度分布測定器(Malvern, Spraytec)を使用し測定した。

2-3. 実験結果と考察

炭酸水噴霧と水噴霧の実験結果となる噴霧液圧力とザウタ平均粒径の関係を Fig.2-3 に示す。また、炭酸水噴霧と水噴霧での噴霧液流量とザウタ平均粒径の関係を Fig.2-4 に示す。

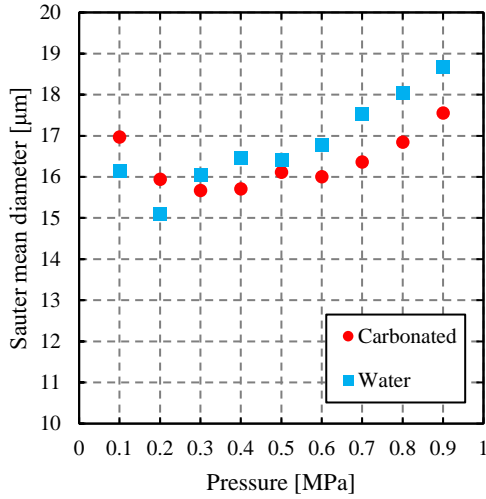


Fig.2-3 Particle diameter of carbonated spray and water spray (Pressure)

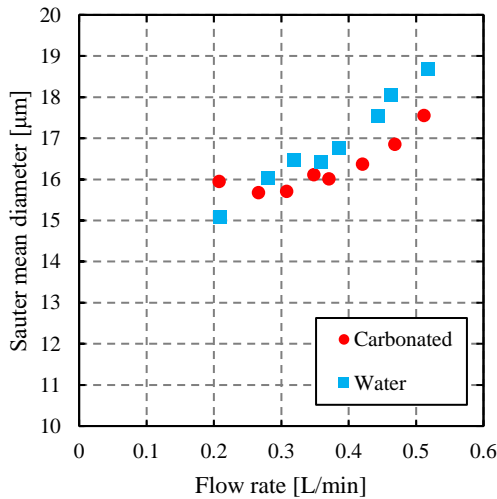


Fig.2-4 Particle diameter of carbonated spray and water spray (Liq. Flow rate)

噴霧液圧力が低下するに伴いザウタ平均滴径は微小となる傾向が炭酸水噴霧と水噴霧の両方で見られた。噴霧液圧力 0.3MPa 以上の範囲において炭酸水噴霧の液滴径は、水噴霧よりも微小であった。しかし、粒径差は圧力低下に伴い減少していき 0.2MPa 以下の噴霧では、水噴霧の粒径が炭酸水噴霧よりも微小になる。この原因は圧力低下に伴う溶解度の低下が影響していると考えられる。噴霧液に含有している二酸化炭素が減少するため気泡発生割合が低下し、微粒化に与える影響が低下したためだと考えた。

また、噴霧液流量の低下に伴いザウタ平均粒径は微小になる傾向が炭酸水噴霧と水噴霧の両方で見られた。噴霧液流量 0.15L/min 以上の範囲において炭酸水噴霧の液滴径は、水噴霧よりも微小であった。炭酸水噴霧で最も微小な粒径は 15.67 μm 、水噴霧で最も微小な粒径は 15.09 μm となった。この結果は本研究で目標としていた 10 μm より大きい。さらに、噴霧液流量 0.15L/min 以下において、炭酸水による気泡発生が送液を阻害し連続した噴霧が行えなくなるという課題が見られた。本実験は噴霧液流量の調整を、圧力容器内の圧力により行っていた。そのため、低流量の送液を行うためには

容器内圧力を下げる必要がある。これにより、二酸化炭素の溶解度が減少することによる微粒化促進効果の低下も考えられる。したがって、噴霧中における圧力変化を伴わない噴霧液流量の調整機構の検討が必要である。

3. 環境コントロール能力の検証

3-1. 実験装置

本研究では燃焼型二酸化炭素発生装置の燃焼ガスの冷却方法として装置後部に噴霧器を設置し、燃焼ガスと噴霧を混合させ吐出する構造とした。装置吐出部を Fig.3-1、装置概略を Fig.3-2 に示す。

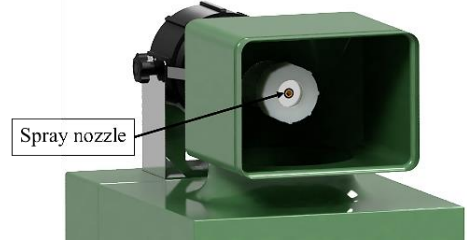


Fig.3-1 Exhaust section

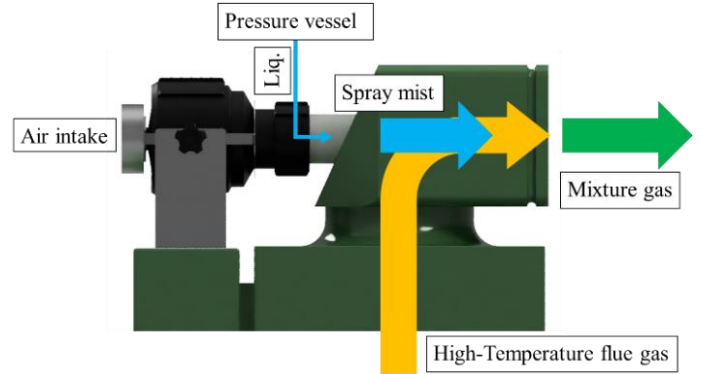


Fig.3-2 Equipment structure

3-2. 実験方法

装置能力の検証として、フィールド実験を行った。倉庫内(幅:5.5m 奥行き:15m 高さ:6m)に疑似的なビニールハウスの設営を行った。資材にはビニールハウスの設営で一般的に用いられる、農業用ポリオレフィン系特殊フィルムを使用した。疑似ハウス内に環境測定器、ワイヤレスデータロガー(TAND D, RTR-576)を計 18 箇所(1.5m:9 箇所, 0.5m:9 箇所)に設置し環境値の測定を行った。設置位置を Fig.3-3 に示す。

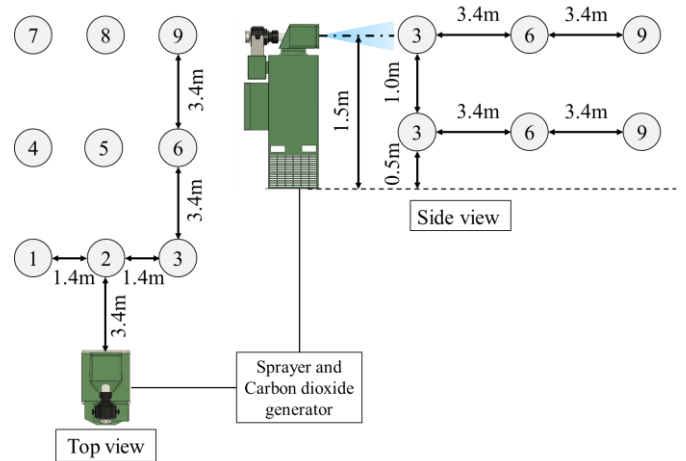


Fig.3-3 Measuring point

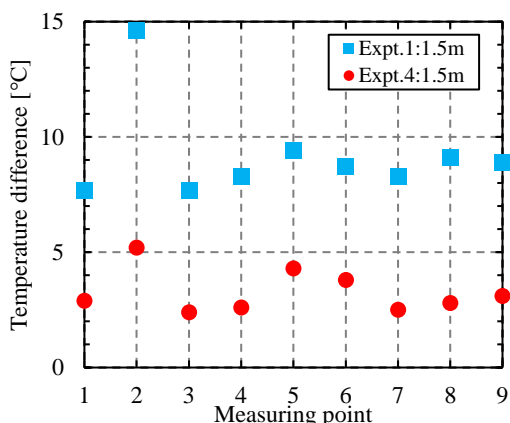
測定条件を Table3-1 に、実験パターンを Table3-2 に示す。

Date	June 12 2019
Measuring item	Temp., Relative Humidity, CO ₂ conc.
Measuring time [min]	30
Sampling period [min]	1

Expt.1	CO ₂ generator
Expt.2	CO ₂ generator + Sprayer(no spray)
Expt.3	CO ₂ generator + Sprayer(Water spray)
Expt.4	CO ₂ generator + Sprayer(Carbonated spray)

3-3. 実験結果と考察

実験 1 と実験 4 の各測定点の初期からの気温変化、高さ 1.5m を Fig.3-4 に、高さ 0.5m を Fig.3-5 に示す。高さ 1.5m の測定点において、装置噴口部の前方に位置する測定点②の温度上昇が顕著であった。噴霧を行うことで全ての測定点で温度上昇が抑制されているという結果を得た。温度上昇の抑制効果は測定高さ 0.5m の位置でも同様に見られた。しかし、高さ 0.5m の位置では測定点の違いによる大きな差異は見られなかった。さらに、初期からの二酸化炭素濃度変化、高さ 1.5m を Fig.3-6 に、高さ 0.5m を Fig.3-7 に示す。高さ 1.5m の二酸化炭素濃度の上昇度合いは噴霧を行うことで増加する傾向が得られた。その要因として温度上昇を抑制したことで二酸化炭素ガスがハウス上部に拡散することを抑制したことが考えられる。また、高さ 0.5m においても、高さ 1.5m と比較し濃度上昇度合いに大きな差異がないことから、温度上昇の抑制が二酸化炭素の効率的な供給に寄与していることがいえる。



F-g.3-4 Temperature difference: 1.5m

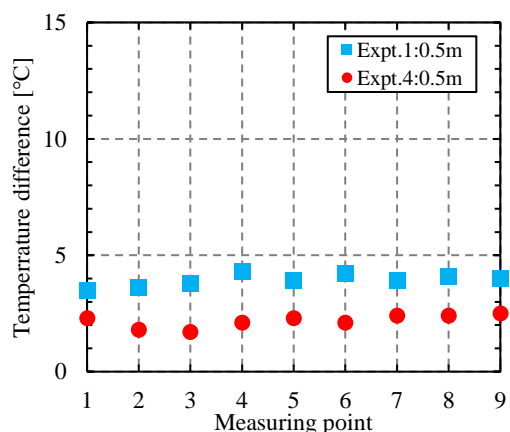


Fig.3-5 Temperature difference: 0.5m

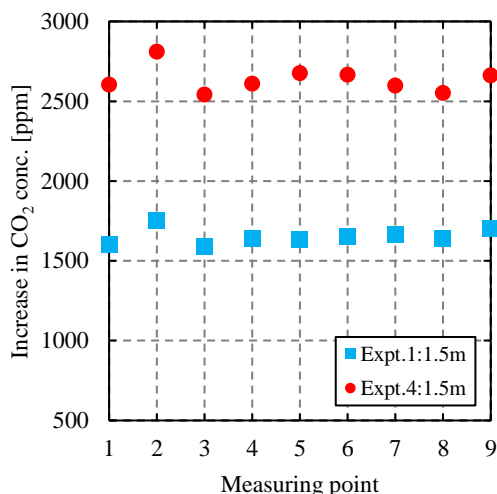


Fig.3-6 Increase in CO₂ concentration: 1.5m

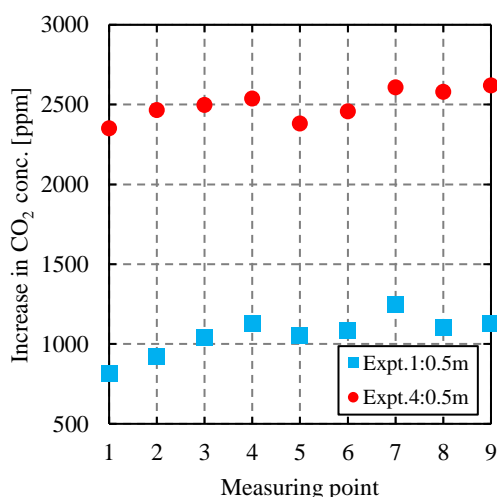


Fig.3-7 Increase in CO₂ concentration: 0.5m

4. 結言

過飽和炭酸水を噴霧することで微粒化の促進効果の見通しが得られた。しかしながら、低圧、低流量噴霧になるとその効果は減少していった。その原因として二酸化炭素の溶解度の減少が考えられる。今後、噴霧流量の調整幅を持たせた機構を検討するにあたり低流量下の噴霧においても炭酸水の有効性を確保した機構が必要である。

また、環境コントロール能力の検証を行った。密閉空間内で燃焼型二酸化炭素発生装置と噴霧器を併用し、高温の二酸化炭素ガスが原因となる温度上昇を抑制することが出来た。さらに二酸化炭素の効率的な供給が可能となる。今回の実験では連続運転を行ったが、作物に有効な環境構築を行うためには噴霧空間内の環境に合わせた制御を行う必要がある。したがって、環境パラメータの追従性を考慮した噴霧操作が可能な装置構造の検討を行わなければならない。

5. 参考文献

- (1) 粉体工学会, 粉体工学叢書, 第1巻, 粉体の基礎物性
- (2) アトマイゼーション・テクノロジー 日本液体微粒化学会編 森北出版(2001)