

ガス溶解方式を用いた微細気泡が噴霧特性に与える影響

The Effect of Size Distribution of Micro-Bubbles using Fuel-Dissolved-Gas Method on Spray Characteristics

○学 三野 遼士 (琉球大学) 正 若井 謙介 (琉球大学)

Ryoji MINO, University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa
Kensuke WAKAI, University of the Ryukyus

Key Ward Fuel Dissolved Gas, Micro Bubble, Spray Characteristics, Cavitation

1. 緒言

RCCI(Reactivity Controlled Compression Ignition)機関は従来のディーゼル機関の問題であった排気ガス中の NOx と PM の同時低減が可能であり、その運転領域を拡大できる余地があるとして注目されている。圧縮着火機関において燃料を効率的に燃焼させるためには混合気の制御が必要であり、制御の方法として燃料の微粒化を促進し混合気形成速度に変化を与えるなどがある。予混合圧縮着火機関では混合気に濃度差を与えるなど混合気形成を制御する必要があり、我々はこれらを制御する手段として微細気泡に注目した。微細気泡を燃料に混入することによって、燃料の見かけ上の物性が変化し、噴射ノズル内の微粒化機構に影響を与え噴霧の微粒化促進が期待できる。微細気泡の生成において昨年度はベンチュリノズルを用いて空気を自吸させることで微細気泡を生成したが本年度は加圧溶解方式を用いた。燃料中のガス溶解量を変化させ種々の微細気泡生成が可能であると思われる。また、溶解ガスとして反応性の異なる気体を用いることで形成された混合気の反応を化学的に変化させ RCCI を実現することができると考えられる。

本研究では加圧溶解方式を用いてガス溶解量を変化させた燃料を噴口径、噴口長比 (L/D) の異なる微細気泡生成ノズルから噴射することにより微細気泡の特性を変化させる。また生成した微細気泡が噴霧特性に与える影響を、単孔・多孔ノズルを用いて調査する。

2. 実験装置及び実験方法

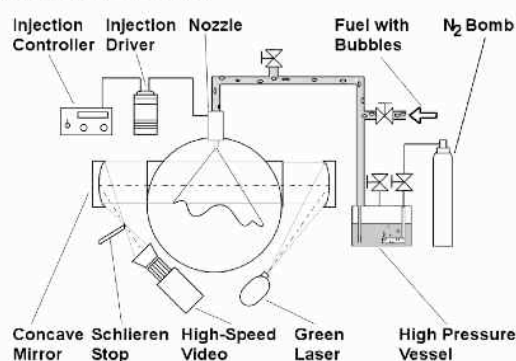


Fig.1 Schematic of Experimental Apparatus

実験装置の概略図を図1に示す。供試燃料を軽油、供試ガスを窒素とした。压力容器内でバブリングにて軽油に窒素を加圧溶解する。溶解した燃料を微細気泡生成ノズルより混合槽内に噴射し微細気泡を燃料に混入させる。微細気泡は影写真法を用いて撮影し解析を行う。

噴霧撮影では、噴射管内に微細気泡混入燃料を充填し

高温高压容器に取り付けた噴射ノズル (単孔・多孔) から設定した噴射圧力、噴射期間で噴射し、噴霧の濃度差を可視化するためにシュリーレン光学系を用いて撮影を行う。その後、巨視的な噴霧特性として噴霧先端到達距離、噴霧角、噴霧面積について解析する。

3. 実験結果及び考察

3.1 溶解度の測定

燃料中に窒素を溶解させ、一度大気開放を行い常温常圧で供試燃料を過飽和状態にさせたのち溶解度測定を行った。20[°C]での溶解ガスと燃料の体積比を溶解度 (Solubility 以下 Sol. とする) と定義した。溶解度が比較的高い状態 (Sol. 2.95) と低い状態 (Sol.1.32) を定義し、それぞれの溶解度で微細気泡の生成を行った。

3.2 溶解度の違いによる微細気泡生成への影響

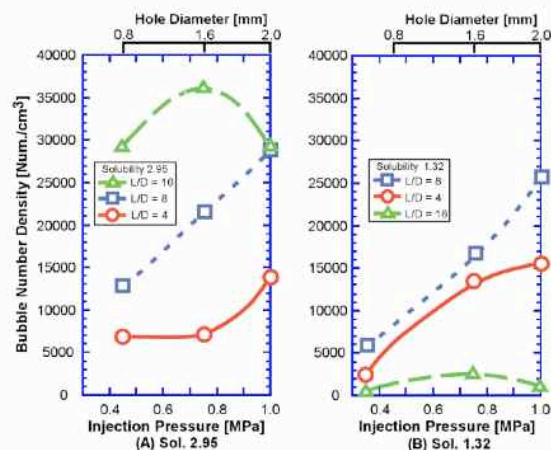


Fig.2 Bubble Distribution of Effected by Characteristics of Micro Bubble Generator and Injection Pressure

図2の縦軸である気泡数密度は単位体積当たり存在する微細気泡の個数を表しており、横軸は微細気泡生成ノズルの噴口径及び微細気泡生成ノズルに燃料を流入させる圧力 (噴射圧力) としている。図2 (A), (B) を比較して溶解度が高い場合、気泡数密度は L/D が大きくなるにつれて増えている。溶解度が低い場合 L/D=4, 8 は順に増加しているが L/D=16 では大きく減少している。溶解度が低い場合と比較して、全体的に溶解度が高い方が気泡数密度は増えている。これは溶解度が高い場合、燃料中に含まれているガスの量が多く燃料中から析出するガスが増え、キャビテーションによる乱れの影響を大きく受けているためと考えられる。また噴口径が大きくなるにつれ、噴射圧力は高くなり時間あたりでノズルに流入する燃料の量が多くなる

ため、キャビテーションによる影響をより顕著に受けるようになったと考えられる。噴口径 $\phi 2.0$, $L/D=16$ では噴口径に対して噴口径が長いノズル内部の乱れがノズル後方で整えられ、気泡数密度が減少したと考えられる。溶解度が低い場合燃料中に含まれる溶解ガス量は少なく、キャビテーションによる影響が小さくなり、溶解度が高い場合と比較してノズルへの流入量の影響に敏感になっているのではないかと考えられる。 $L/D=4.8$ での気泡の微細化機構は溶解度が大きい場合と同じと考えられる。しかし $L/D=16$ ではキャビテーションの影響が小さくなった為、噴口径が長すぎ乱れが整えられてしまったと考えられる。

3.3 気泡数密度の違いによる噴霧特性への影響

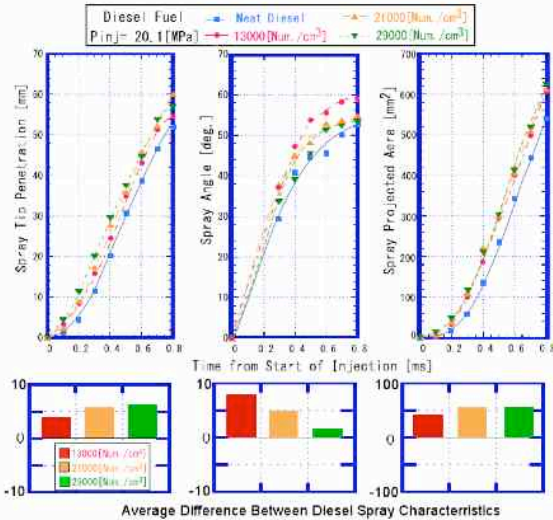


Fig.3 Characteristics of Spray Effected by Bubbles (Bosch Nozzle)

図3に単孔ノズルを用いた噴霧撮影による巨視的な噴霧特性の解析結果を示す。縦軸はそれぞれ噴霧先端到達距離 [mm]、噴霧角 [deg.]、噴霧面積 [mm²] で、横軸は噴射後経過時間 [ms] を示している。

噴霧先端到達距離は微細気泡を混入した場合、未混入時よりも長く、また気泡数密度が増加するにつれ同様に長くなった。これは噴射圧力の影響により噴射管内で微細気泡が燃料中に再溶解し、噴射と同時に起きた減圧沸騰の影響で、噴霧の軸方向の速度が増加したためだと考えられる。気泡数密度が増加すると燃料中に溶解する微細気泡の量も増加するため、減圧沸騰の影響をより受けたと考えられる。

噴霧角は噴霧先端到達距離と同様の傾向を示した。ただし気泡数密度が増加すると噴霧角は小さくなる傾向を取った。噴射圧力の影響で微細気泡が燃料中に再溶解し、噴射と同時に起きた減圧沸騰の影響で噴霧の周方向の速度が増加したためこのような傾向を取ったと考えられる。また気泡数密度が増加するとノズル内部のキャビテーションが剥離を起こしたため噴霧角が小さくなったと考えられる。

噴霧面積は微細気泡を混入した場合、未混入時よりも大きくなった。また、微細気泡の気泡数密度の大小で比較すると、0.5[ms]まで差が見られるがそれ以降は差が縮まっている。噴霧角と同様な影響により噴霧全体の速度が増加し拡散性も増加したためだと考えられる。

図4に多孔ノズルでの噴霧特性の解析結果を示す。縦軸はそれぞれ噴霧先端到達距離 [mm]、噴霧角 [deg.]、噴霧面積 [mm²] で、横軸は噴射後経過時間 [ms] を示している。

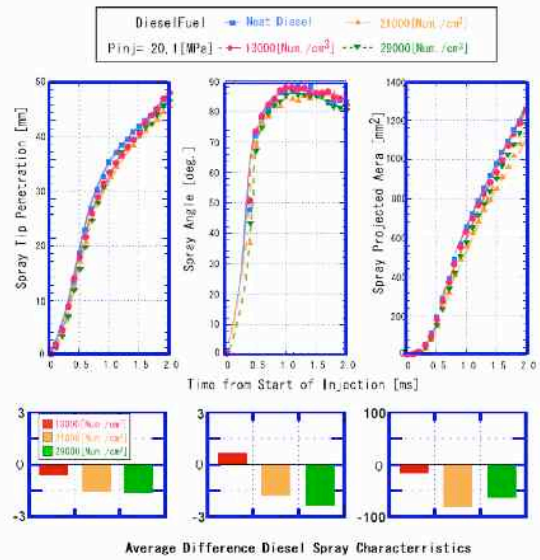


Fig.4 Characteristics of Spray Effected by Bubbles (Multi-hole Nozzle)

噴霧先端到達距離は0.4[ms]以降、微細気泡の混入により、未混入時より短くなっている。また微細気泡の気泡数密度を変化させると気泡数密度が増加するにつれ、短くなっている。噴射直後は噴霧同士が干渉し合い、噴射後経過時間の初期の変化が少なくなったと考えられる。微細気泡を混入により燃料の物性が変化し圧縮性が増加することで噴射率が減少したため、未混入の場合より微細気泡を混入した場合の方が小さくなったと考えられる。また減圧沸騰の影響で干渉し合う噴霧の速度が減少したことも原因だと考えられる。

噴霧角については気泡数密度13000では未混入時よりも少し大きくなっており気泡数密度21000、29000では未混入時よりも小さくなる傾向を取っている。微細気泡を混入することにより気泡数密度13000ではキャビテーションによる乱れが激しくなるため未混入時よりも大きくなったと考えられる。しかし気泡数密度21000、29000では気泡数密度が比較的高くなったため、ノズル内のキャビテーションの剥離を起こし未混入時より小さくなったと考えられる。

噴霧面積は0.4[ms]以降、微細気泡の混入により、未混入時より小さくなっている。噴霧先端到達距離と同様に多噴孔のため噴射直後は噴霧同士が干渉し合うことにより、噴射後経過時間の初期で変化が出なくなったのではないかと考えられる。また微細気泡の混入による噴射率の減少と減圧沸騰による噴霧の速度低下のため、未混入時よりも小さくなったと考えられる。

4. 結言

- (1) 溶解度の差によって微細気泡の気泡数密度に変化を与えることができた。
- (2) 単孔ノズルと多孔ノズルでは微細気泡を混入させることで噴霧の巨視的な特性は逆の傾向を示した。

謝辞

本研究を共に行った河本巧、与儀尚丈、比嘉勇貴に謝意を表す。

参考文献

- (1) 千田・柴田・藤本：日本機械学会論文集 (B編) 63巻 613号 (1997-9)
- (2) 下之門：琉球大学大学院修士論文, (2017)