

524 微細気泡混入バイオディーゼル燃料の機関、排気、微粒化特性

発表者 河本巧(1335h), 稲田隼(1335h)
 指導教官 若井謙介

1. 緒言

ディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べ熱効率がが高いが、排気ガスによる環境や健康への問題がある。これを解決する手段の一つとして燃焼を制御するということが挙げられ、その燃焼制御の手法として、燃料に微細気泡を混入し噴霧を変化させるという研究がなされている。そこで代替燃料であるバイオディーゼル燃料に微細気泡を混入させ、噴霧特性に与える影響及びエンジン実験による機関、排気特性の調査を行った。

2. 実験装置及び方法

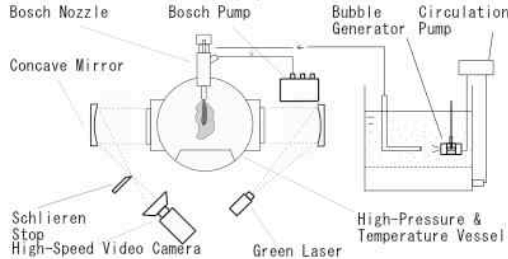


Fig.1 Schematic of Experimental Apparatus for Bosch Nozzle

実験装置の概略図を図1に示す。微細気泡生成装置から直接、微細気泡混入燃料を燃料噴射管内に充填する。その後、任意の開弁圧力に設定したボッシュノズルを高压容器に取り付け高压容器内を加圧する。そして噴射装置を用いて任意の開弁圧力で燃料を噴射しその噴霧を撮影、解析を行う。

3. 実験結果および考察

3.1 微細気泡混入による噴霧特性の変化

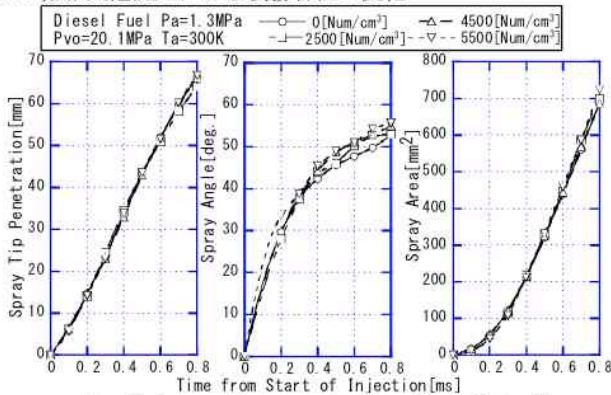


Fig.2 Spray Characteristics (Diesel Fuel)

図2に軽油を用いて開弁圧力20.1[MPa]で気泡数密度を変化させた場合の噴霧特性を示す。

気泡数密度0(泡なし)と2500を比べると噴霧先端到達距離は噴射経過時間後半で0より小さくなっている。噴霧角において2500が0より概ね上回っており、噴射経過時間0.5[ms]あたりから大きく上回っている。噴霧面積はあまり差が見られない。これらの傾向は、微細気泡が燃料に溶解しノズル内でのキャビテーションによる乱れが大きくなったことによるものである。それにより貫徹力を低下させ噴霧先端到達距離は0より小さくなり、噴霧角は大きくなると考えられる。噴霧先端到達距離は小さくなっているが、噴霧角は大きくなっていることで太く短い噴霧となることで噴霧面積の差はあまり出ていないと考えられる。

気泡数密度4500, 5500において噴霧先端到達距離は0とほとんど同じ傾向を示している。噴霧角は、0, 2500を上回っている。噴霧面積は後半に多少の増加傾向が見られる。より多くの泡が溶解し、かつ溶解しきれなかった泡も存在すること

で燃料の見かけ上の粘度が低下する。それにより噴射時の抵抗が低減され、貫徹力を維持し噴霧先端到達距離は下がらず0と変わらない傾向を示したと考えられる。また、より多くの微細気泡が溶解しているため噴霧粒子の分散性が向上し噴霧角は大きくなると考えられる。噴霧面積は0.5[ms]あたりで噴霧角が大きくなっていることで、多少の増加傾向が見られたと考えられる。

以上が微細気泡を軽油に混入させたときの噴霧特性の変化である。続いて微細気泡をB20に混入させたときの噴霧特性の変化を示す。

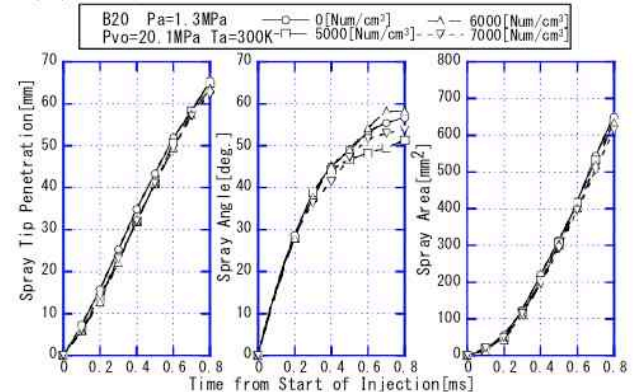


Fig.3 Spray Characteristics (B20)

図3にB20を用いて開弁圧力20.1[MPa]で気泡数密度を変化させた場合の噴霧特性を示す。

気泡数密度0と5000を比べると噴霧先端到達距離は0に対して全体的に下回っている。噴霧角において後半で5000が大きく下回っている。噴霧面積では5000が0を下回っている。B20において、5000では溶解しきれない泡があると考えられ、見かけ上の粘度が低下しノズル内での抵抗が減る。そのため、サック室内で蓄圧されにくく、噴出速度が低下し噴霧先端到達距離が小さくなったと考えられる。またノズル内でキャビテーションの乱れが低減されることで、噴霧角が小さくなったと考えられる。噴霧先端到達距離、噴霧角ともに小さくなっていることから、噴霧面積も小さくなったと考えられる。

気泡数密度6000では、噴霧先端到達距離において、5000と同様に0を下回る傾向を示している。噴霧角においては0, 5000を全体的に上回っており、特に噴射経過時間0.6[ms]を超えたあたりで大きく上回っていることがわかる。噴霧面積では0, 5000どちらも多少下回っている。噴霧先端到達距離は、5000と同様の原因である。また、5000より溶けきれない泡が多いため0.6[ms]あたりで、ノズル外で液柱の分裂が促進し噴霧角が大きくなったと考えられる。噴霧面積においては、軽油の4500, 5500と同様に太く短い形となり、大きな変化は見られないと考えられる。

気泡数密度7000では、噴霧先端到達距離においては、気泡数密度5000, 6000とほぼ同じ傾向を示している。噴霧角において、噴射経過時間0.5[ms]までは、すべてにおいて下回っているが、0.5を超えると気泡数密度0, 5000の中間の値となっている。噴霧面積において0, 5000, 6000すべてを下回る結果となった。噴霧先端到達距離では5000, 6000と同様である。7000では6000よりさらに溶けきれない泡が増えるため、0.5[ms]あたりでキャビテーションが成長しすぎてしまうことで、ノズル内で燃料が剥離し噴霧角が小さくなったと考えられる。噴霧角が6000より小さくなることで噴霧面積も小さくなると考えられる。

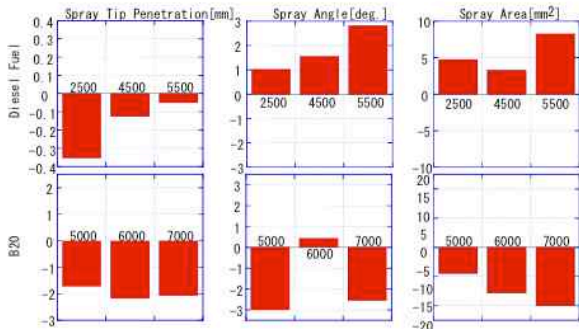


Fig. 3 Average Difference between w/o bubbles and w/ bubbles (Diesel Fuel, B20)

図3に軽油とB20の微細気泡なしに対して微細気泡を混入させた時との差の平均をまとめたものを示す。

軽油において微細気泡を混入させることで噴霧角が広がり噴霧面積も上昇傾向を示している。

B20においては噴霧先端到達距離が小さくなり、噴霧面積も小さくなる傾向を示している。

以上で噴霧特性の大まかな傾向を示せたので実機での機関、排気特性について調査する。

3.2 微細気泡混入による機関、排気特性の変化

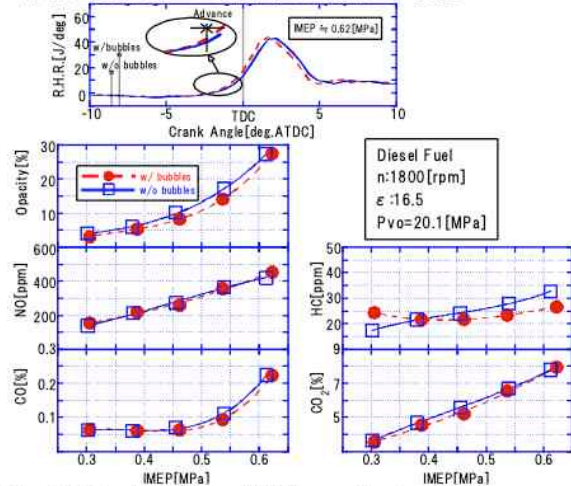


Fig. 4 Effect of Micro Bubbles on Engine Performance and Emissions (Diesel Fuel)

図4に軽油での開弁圧力20.1[MPa]、最大の気泡数密度で微細気泡を混入した場合の機関、排気特性を示す。

微細気泡を混入することによって着火時期は進角している。微細気泡を混入した場合は、負荷を増加させていくと噴射期間が長くなり、溶解した微細気泡の効果を受けやすくなる。それによってキャビティがより成長し、拡散性が増加することで着火性が良くなり微細気泡を混入していない場合に比べて着火時期が進角したと考えられる。

排気特性であるOpacity, CO, CO₂は微細気泡を混入することによって傾向は異なるが減少しており、NOは変化があまりない。HCは微細気泡混入により傾きが変わっており低負荷と高負荷で値の逆転が起きている。熱発生率でも述べたように高負荷になるにつれ拡散性が上昇するため微細気泡を混入した場合がOpacity, COは低い値をとったと考えられる。HCは微細気泡を混入した際、低負荷時では溶解しきれていない微細気泡の効果で体積弾性率が低下する。その効果で噴射時期が進角し混合気形成期間が短くなったため微細気泡を混入した場合が高い値をとったと考えられる。しかし微細気泡を混入すると高負荷になるにつれ拡散性が増加するため空気利用率が良くなり微細気泡を混入した場合の方が低い値をとったと考えられる。また、CO₂は溶解していない微細気泡の効果で燃料の密度が減少し、噴射量も減少するため微細気泡を混入している方が低い値をとったと考えられる。NOの変化がない

原因として、まず溶解していない微細気泡の効果で噴射量が減少する。しかし拡散性は上昇しているため、混合気量は増加し微細気泡を混入しない場合に比べて混合気量は同程度となり熱発生に変化がなかったためだと考えられる。

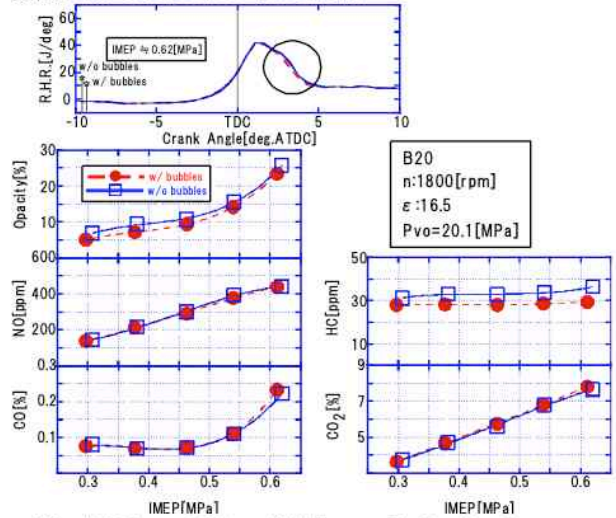


Fig. 5 Effect of Micro Bubbles on Engine Performance and Emissions (B20)

図5にB20での開弁圧力20.1[MPa]で最大の気泡数密度で微細気泡を混入した場合の排気特性を示す。

微細気泡を混入することによって噴射期間が短くなり熱発生率の後半のこぶのような盛り上がりはなくなっている。微細気泡を混入した場合、高負荷になるにつれて拡散性が上昇してくるため空気利用率が良くなり微細気泡を混入しない場合に比べて燃焼が活発に行われたためだと考えられる。

微細気泡を混入することによって排気特性であるOpacity, HCは減少し、IMEP=0.55[MPa]以降ではCO, CO₂は増加しておりNOは変化していない。微細気泡を混入した場合、拡散性が増加し空気利用率が良くなるためOpacity, HCは低い値をとったと考えられる。NOは軽油の場合と同様に、溶解しきれていない微細気泡の効果で噴射量が減少するが、拡散性は上昇しているため熱発生率に変化はなかったと考えられる。微細気泡を混入することで、拡散性が増加し混合気量も増加するためCO, CO₂は高い値をとったと考えられる。

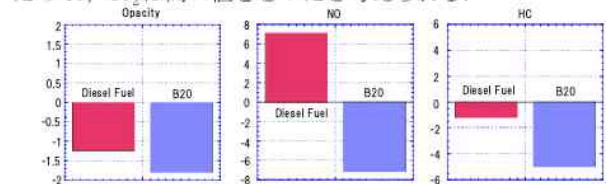


Fig. 6 Average Difference between w/o bubbles and w/ bubbles (Diesel Fuel, B20)

図6に軽油とB20の微細気泡なしに対して微細気泡を混入させた場合の排気特性の差の平均値を示す。

変化を見ると軽油の場合Opacityは17%減少、NOは3%上昇、HCは5%減少した。B20の場合Opacityは20%減少、NOは3%減少、HCは18%減少した。軽油とB20を比較すると、B20の方が微細気泡を混入したことによる効果がより大きくなった。

4. 結言

燃料に微細気泡混入させ、噴霧、機関、排気特性に与える影響について調査した結果、下記の知見を得られた。

1. 軽油に微細気泡を混入させることでノズル付近での噴霧の広がりが向上した。B20においても気泡数密度を調整することでノズル付近での噴霧の広がりが向上した。また噴霧形状を通常より太く短い形へと変化させることもできた。
2. 燃料に微細気泡を混入させることで排気特性では軽油と比較するとB20の方がより減少した。