

Team C02-Spray マイクロバブル利用による微粒化促進に関する研究

担当者

向山 智之 (D2) 松本 直樹 (M1) 山本 純平 (B4)

2017 年度班紹介資料

1. 緒言

近年、化石燃料の枯渇が懸念される中、ガソリン機関と比較して熱効率の高いディーゼル機関が注目されている。しかし、排気規制および燃費規制は年々厳しくなる傾向にあるため、ディーゼル機関に対してさらなる熱効率の向上および低エミッション化の両立が求められている。ディーゼル燃焼は拡散燃焼主体の燃焼形態であることから、燃焼の改善には混合気の形成過程が重要となる。そのため、燃料噴霧を微粒化させ、早期に希薄で均一な混合気を形成させることが必要となる。現在では燃料噴射圧力の超高压化により燃料噴霧の微粒化を促進する手法が用いられている。しかし、超高压噴射は投入エネルギーに対して得られる噴霧の微粒化効果が少なく、噴射圧力 200MPa を超えると微粒化の促進が限界となる。そのため高压噴射によらない物理的な観点で燃料の微粒化を促進させる方法が必要となる。

そこで本研究は燃料に気体を混入および溶解させ、溶解気体の析出効果により微粒化を促進する手法に着目した。またエンジンシステム上で実用化するため EGR ガスを燃焼室に戻すと同時に燃料タンクにバブリングさせ燃料に溶解させるシステムを提案する。特に本研究では EGR ガスの一成分である CO₂ ガスを燃料に溶解し、CO₂ ガス溶解燃料が噴霧特性および燃焼特性に与える影響を把握した。

2. コンセプト

本研究の目的は高压噴射によらないディーゼル燃焼の改善およびそれに伴う熱効率の向上と低エミッション化の両立である。図 1 にエンジンシステム上のコンセプトを示す。EGR ガスを燃焼室に戻すと同時に EGR ガスの一部を燃料タンクにバブリングさせることで燃料に溶解させる。

EGR ガス溶解燃料には次の二つの効果を期待することができる。一つ目は溶解気体の析出効果である。燃料噴射時に溶解気体が析出することで噴霧の分散特性が向上し、噴霧の壁面衝突を低減することができるため熱損失が低下する。また、噴霧が急速に蒸

発し均一で希薄な燃焼となるため、PM および NO_x の排出量低減が期待される。二つ目は EGR ガスが燃焼に直接寄与することである。EGR ガスが噴霧内部から析出するため燃焼に直接寄与し、従来の EGR に比べてさらに NO_x の排出量を低減することが期待できる。また、燃料噴射時に EGR ガスが燃料中より析出することで噴射以降に CO₂ 濃度が増加するため、圧縮終了時の温度低下を防ぐことができる。それによりサイクル熱効率を低下させずに NO_x の排出量を低減させることが可能となる。

3. 加圧溶解装置および燃料噴射装置

図 2 に燃料噴射系を示す。本噴射系にある高压容器内を一定圧力に保ち、容器内の燃料中に気体をバブリングし CO₂ を溶解させる構造となっている。バブリングは高压容器底面に設置した多孔円板を通して CO₂ ガスを噴射することにより行なう。高压容器内の圧力はリリーフバルブにより圧力調整を行ない、溶解圧力 P_d (0.1~4.0MPa) で一定に保つ。

溶解燃料をポンプにより指定した燃料噴射圧力まで加圧する際、ポンプ内での減圧領域にてキャビテーションが起り、溶解気体が析出することが予想される。そのため、アキュムレータを用いた蓄圧式の噴射系を採用することにより、減圧を回避しインジェクタに溶解燃料を供給することが可能である。その後、手押しポンプにより任意の燃料噴射圧力まで加圧する。

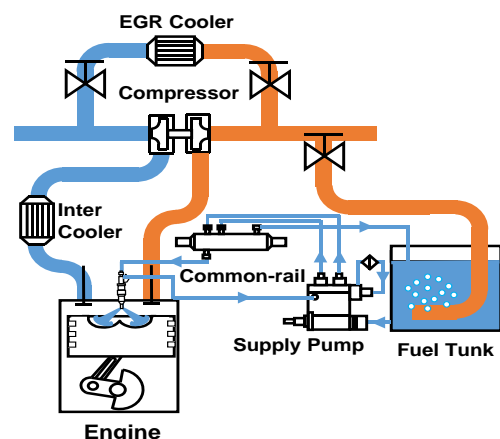


Fig.1 Concept of EGR Gas dissolved system

4. 実験結果および考察

4.1 溶解度測定結果および正則溶液理論に基づく溶解度推算値との比較

加圧溶解装置を用いて供試燃料である n-tridecane に CO₂ ガスを溶解させ、溶解圧力と溶解度の関係を調査した。理論値として正則溶液理論およびヘンリーの法則により、算出した n-トリデカンに対する各気体の溶解度および溶解度測定実験により得られた測定結果を図 3 に示す。これにより、測定結果と理論値がほぼ一致しており、重量測定による溶解度測定が高精度であることが確認できた。なお、CO₂ ガスが他の気体と比較して溶解度が大きいことも確認でき、析出効果が期待できる。

4.2 非蒸発場における噴霧の計測

透過光撮影により $t/t_{inj}=0.7$ 時の噴霧根元部の直接拡大撮影を行なった。その結果を図 8 に示す。これより、いずれの燃料噴射圧力においても溶解圧力が増加するに従い、噴霧幅が大きくなることわかる。これは溶解圧力の増加に伴い噴射による減圧度が大きくなるため、気泡析出効果が大きくなり、分散効果が促進されたためであると考えられる。

4.3 RCEM による噴霧火炎形状の計測

図 5 に溶解圧力 P_d を変化させた際の輝炎および OH ラジカルの撮影画像を示す。これより溶解圧力

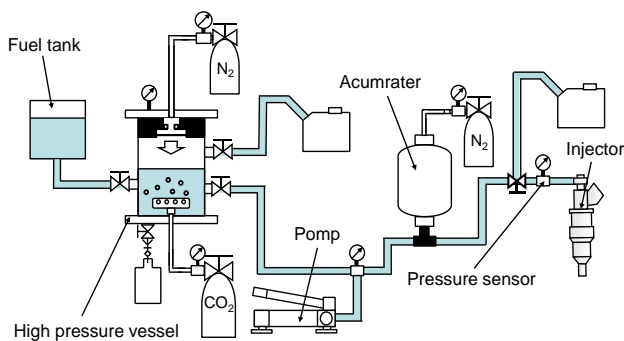


Fig.2 Fuel injection device

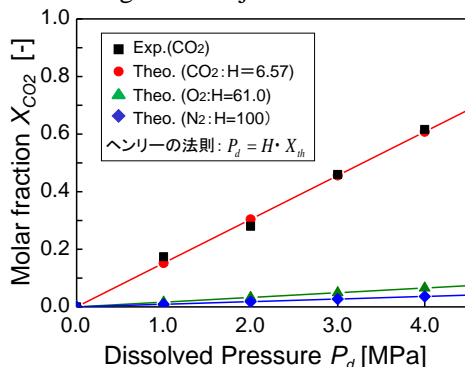


Fig.3 Result of solubility straight line of CO₂ gas for n-tridecane by measurement and calculation

P_d が増加するに伴い、輝炎および OH ラジカルが半径方向に広がっており、最大到達距離が抑制されていることがわかる。また、輝炎の発光領域と発光強度が減少し、OH ラジカルの発光強度が増加する傾向を示していることがわかる。

5. 結言

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) 燃料中への気体の溶解度は重量測定により算出可能であり、その測定結果は正則溶液理論に基づく推算結果とほぼ一致する。
- (2) 非蒸発場における CO₂ ガス溶解燃料噴霧の分散は溶解圧力の増大に伴い増加する。しかし、CO₂ ガス溶解量が少ない時、みかけの粘性係数の増大により負の効果を及ぼすことがある。
- (3) CO₂ ガス析出の効果により燃料噴霧の分散性が向上し、扁平な噴霧火炎を形成する。そのため、壁面からの熱損失を低減させる効果を期待することができる。

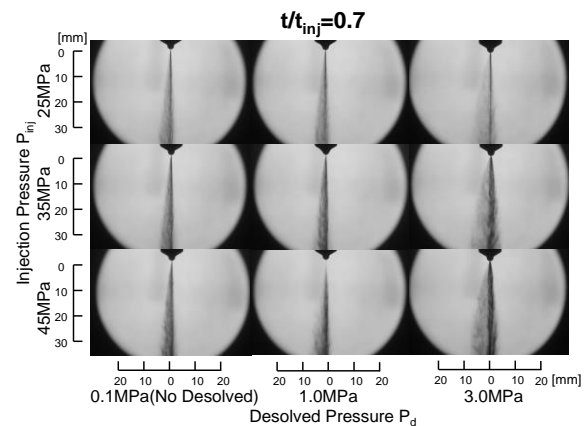


Fig.4 Spray images for various injection pressure and dissolved pressure

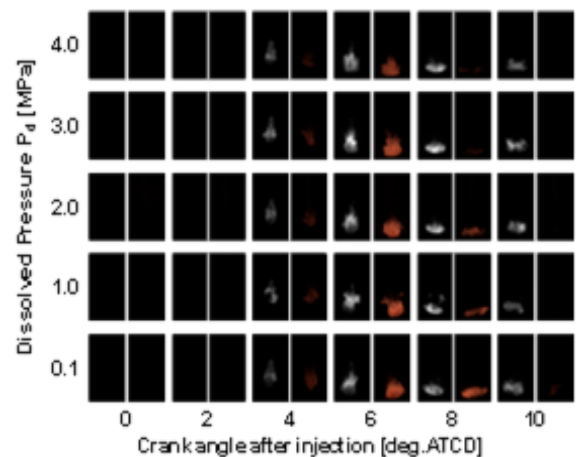


Fig.5 Images of luminous flame and OH radicals in $\theta_{inj}=-20\text{deg.CA ATDC}$ by RCEM