

Team FD ディーゼル噴霧火炎における壁面熱損失に関する研究

担当者

前田篤志(M2) 中田将徳(M2) 荒井直之(M1) 藤川詳也(B4)

2017年度班紹介資料

1. 緒言

ディーゼル機関に対する燃費規制は今後も世界的に強化されることから⁽¹⁾, 更なる燃焼技術の改善が求められている. 内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的燃焼技術」では熱効率を50%へ飛躍的に向上させる研究に取り組み, その一環として損失割合の高い熱損失を25%低減させることを目標にしている⁽²⁾.

ディーゼル機関においては噴霧火炎の壁面衝突により対流熱伝達が生じていることから⁽³⁾, 一般的に熱損失量はNewtonの冷却則に従い熱伝達率, 火炎温度, 壁面温度, 火炎の接触面積および接触時間により決定される. これに対し, 熱損失低減手法として遮熱膜が提案されているが⁽⁴⁾, 各物理因子の間にはトレードオフの関係が存在するため熱損失の低減は困難となっている. そのため熱損失を低減するためには, 各物理因子と噴射条件およびノズル諸元等の制御パラメータの相関を詳細に把握する必要がある.

そこで, 本研究では実機において適用される条件の内, パイロット噴射量について着目してパラメータスタディを行なった. そして, 衝突噴霧火炎による熱損失のメカニズムを解明し, 制御パラメータおよび火炎における物理因子の相関性の把握を試みた.

2. 実験装置・方法および実験条件

2.1 実験装置および実験方法

本実験では高温・高圧のディーゼル霧囲気場における噴霧火炎の壁面衝突を模擬できる壁面挿入型定容燃焼容器を用いた. 図1に実験装置の概略図を示す. 本実験における実験装置は壁面挿入型定容燃焼容器,

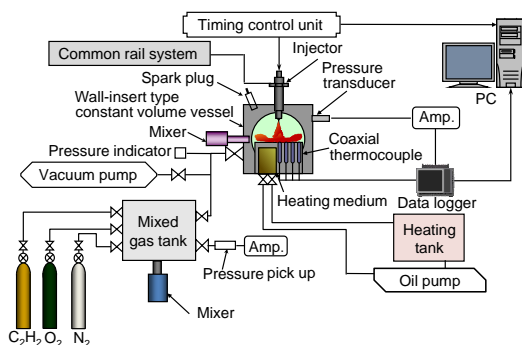


Fig.1 Experimental setup

可燃混合気を作製する混合容器, 燃料噴射装置および制御装置, 壁面加熱装置により構成される. 定容燃焼容器内の圧力測定には圧力センサ(KISTLER : 6125C)を用い, チャージアンプ(KISTLER : type5011)を介してデータロガー(GRAPHTEC:GL900)により取得した圧力データをPCに取り込んだ. なお, データロガーのサンプリング間隔は10 μ sであり, アルミ壁面の表面粗さ(R_a)は1.6 μ mである.

熱流束の計測には同軸型熱電対(Medtherm : 11443)を用いた. 同軸型熱電対の構成は壁面と同一材料であるアルミを母材とし, 熱電対の頂面および頂面から3.9mm下方の底面にはクロメルおよびアルメルからなるK型熱電対を埋め込み接点を形成している. それぞれの冷接点からの起電力をデータロガー(GRAPHTEC : GL900)により取り込み, 冷接点補償を行ないそれぞれの温度を計測した. 本実験における熱流束の算出では熱電対頂面と底面の間の熱流れを一次元と仮定し, 陽解法により非定常一次元熱伝導解析を行なった⁽⁵⁾.

2.2 実験条件

本実験では実機における高負荷運転時を想定し実験条件を設定した. 供試燃料には軽油の代替燃料であるノルマルトリデカン(nC13)を使用した. 霧囲気圧力(P_a)は7MPa, 霧囲気密度(ρ_a)は27.8kg/m³, 霧囲気温度(T_a)は1050Kとし, 霧囲気酸素濃度(X_{O_2})は21mol.%とした. 壁面温度(T_w)は473Kとし, ノズル先端から壁面までの距離(Z_w)は35mmとした. また, 燃料温度(T_f)は350Kとした. 本実験ではパイロット噴射量割合(Q_{pilot_ratio})変更した際の衝突噴霧火炎における熱損失量の変化を把握するために, 噴射間隔を1.8ms一定として Q_{pilot_ratio} を0.1, 0.2, 0.3, 0.4と変更した. また, 燃料噴射量(Q_f)は5.3mg, 噴射圧力(P_{inj})を150MPaとし, 噴孔径(d_n)が0.123mmの単噴孔ホールノズルにより噴射した.

3. 実験結果および考察

図2に Q_{pilot_ratio} を変化させた場合の各測定点にお

る熱流束の時間履歴を示す。図2より、Point1およびPoint2において Q_{pilot_ratio} を大きくするにつれて、パイロット燃焼時の熱流束が高くなっていることがわかる。またメイン燃焼時において熱流束の減衰が早くなっていることが分かる。

続いて、図3に燃料噴射開始から燃焼期間および15msまで(2000rpm下死点到達時間)において、面積積分および時間積分を行った熱損失量(Q_{loss})を示す。図3より、 Q_{pilot_ratio} を大きくするにつれて熱損失量は増加している。ここで制御パラメータである Q_{pilot_ratio} が熱損失に与える影響を定量的に評価するため、燃焼期間および15msまでの熱損失に対する Q_{pilot_ratio} の指数相関を算出した。図3右から燃焼期間、15msまでの熱損失に対する指数値 a はそれぞれ $a_{15ms}=0.08$, $a_{comb.}=0.13$ となった。

一方で熱損失と同様に、火炎流速、火炎温度、火炎の接触面積および接触時間に関してもそれぞれ指数相関を算出した。図4に燃料噴射開始から15msまでにおける熱損失を支配する各物理因子に対する Q_{pilot_ratio} の指数値を示す。ここで、火炎流速の指数値 b については、レイノルズ数 Re の指数値 γ に噴流群の衝突する平板の強制対流熱伝達で用いられるGardon Cobonpueの実験式の指数値 $0.625^{(6)}$ を用いることで、 $b'=-0.11$ となった。図4より、 $b'+c+d=0.091$ となり、

図3における熱損失に対する指数値 $a_{15ms}=0.08$ と比較して、おおよそ同様の値になっている。ここで図4に着目すると、 Q_{pilot_ratio} を変更させた場合において火炎流速および火炎の壁面上接触面積および時間が熱損失の指数相関に対してトレードオフの関係となるものの、火炎の壁面上接触面積および時間による影響が支配的となるため、最終的に熱損失量に対する Q_{pilot_ratio} の影響度は正の相関になると考えられる。

4. 結言

- (1) 制御パラメータであるパイロット噴射量が熱損失に与える影響を定量的に評価するため、指数相関 $Q \propto Q_{pilot_ratio}^a$ を算出し、指数値 $a_{15ms}=0.08$ を得た。
- (2) 火炎流速および火炎の接触面積・接触時間が熱損失に対してトレードオフの関係となる。また Q_{pilot_ratio} に対する熱損失の支配因子は火炎接触面積・時間である。

参考文献

- (1) 自動車技術会, “Journal of Society of Automotive Engineers of Japan”, pp.8-18
- (2) 内閣府, “革新的燃焼技術研究開発計画”, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/1_nenshou.pdf, (参照日 2016年3月4日)。
- (3) 李世文ほか, “衝突ディーゼル火炎の熱伝達に関する研究”, 日本機械学会論文集(B編), Vol.63, No.609(1997), pp.1814-1819.
- (4) 小坂英雅ほか, “壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減-数値計算による適切な遮熱膜特性の検討-”, 自動車技術会, Vol.44, No.1(2014), pp.39-44
- (5) 榎本良輝ほか, “内燃機関の燃焼室壁面の瞬時熱流束解析に関する研究(熱的物性値の温度依存性および蓄熱項を考慮した場合の検討)”, 日本機械学会論文集(B編), Vol.57, No.539(1991), pp.2421-2427.
- (6) 甲藤好郎, “伝熱概論”, 養賢堂, p.179, (1976)。

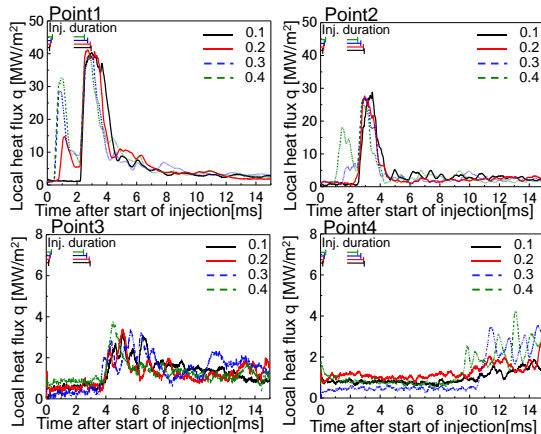


Fig.2 Local heat flux for various Q_{pilot_ratio}

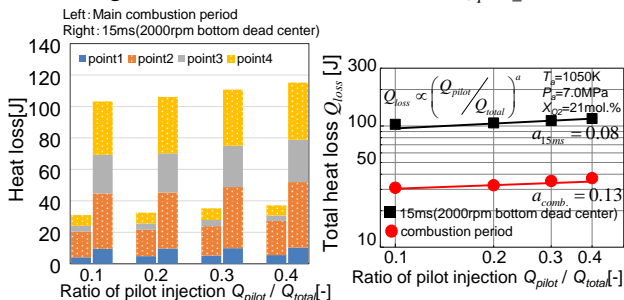


Fig.3 Local heat loss for various Q_{pilot_ratio}

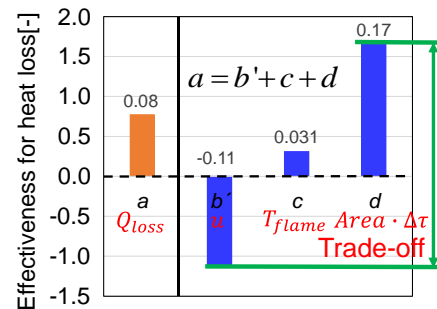


Fig.4 Empirical constant of Q_{pilot_ratio} , flame velocity (u_{ave}), flame temperature (T_{flame}), time integration of flame contact area ($Area \cdot \Delta\tau$)