
クレムソン大学（アメリカ）研修報告書

ディーゼル機関用ピストンの表面処理に噴霧が与える影響

工学研究科 機械システム工学専攻 清水 貴仁

1. はじめに

2018年8月24日から同年9月21日の間、クレムソン大学において研究を行った。その報告を以下に示す。

2. 共同研究課題の決定

私の研究室ではディーゼル燃料噴霧に関して独自の方法により研究を行っている。一方でクレムソン大学はCU-ICARという自動車工学の研究所を有し、自動車用内燃機関の研究に関して世界的にも強い信頼を得ている。そこで広島大学とクレムソン大学でそれぞれの注目している分野を組み合わせ、共同研究を行う。

3. 共同研究スケジュール

8月24日 出国

8月24日～9月20日 研究・プレゼンテーション

9月21日 帰国

4. 共同研究派遣先の概要

大学名: Clemson University Design Department of Automotive Engineering

所在地: アメリカ サウスカロライナ州 クレムソン

指導教員: Dr. Zoran Filipi

5. 共同研究内容

5. 1 概要

ディーゼル機関において、その熱効率を向上させるには燃焼室内からの熱逃げを抑制することが有効である。熱逃げ抑制の手段としてピストン表面のコーティングが挙げられ、中でも常に表面を高温に保つのではなく雰囲気温度の上昇、下降に伴い温度が変化する低熱伝導率・低熱容量の素材によるコーティングが注目されている。このような特性を持たせることで雰囲気とピストン表面の温度差を減らして熱逃げを抑制し、また燃焼後はコーティングの温度が迅速に低下することから吸気温度上昇による空気の充填効率悪化を防ぐことができる。

一方で直噴ディーゼル機関では燃料噴霧液相がピストン表面に衝突することで表面のコーティングを傷つけてしまう懸念がある。特に、燃料噴霧の液相コア（ノズルから噴出した燃料の分裂する以前の部分で高い運動量を持つ）が壁面衝突した場合その懸念は一層高まる。

よって本共同研究ではエンジンの形状から燃焼室内の雰囲気条件・各タイミングにおける燃料噴射ノズル先端から燃焼室内壁面までの距離を計算し、また実験式より噴霧の液相コアの長さを予測することで噴霧の壁面衝突の度合いを見積もった。

5. 2 ピストン形状および計算条件

今回使用したエンジンのピストン形状を以下に示す。

ピストンは鉄製で、ボア 82mm、ストローク 69mm、圧縮比は 17.3 である。インジェクタは噴孔径 0.2mm で噴孔数 5、噴射量は 16mm³ で噴射タイミング、噴射期間はそれぞれ -13deg ATDC、10deg である。エンジン回転数は 3600rpm を想定した。

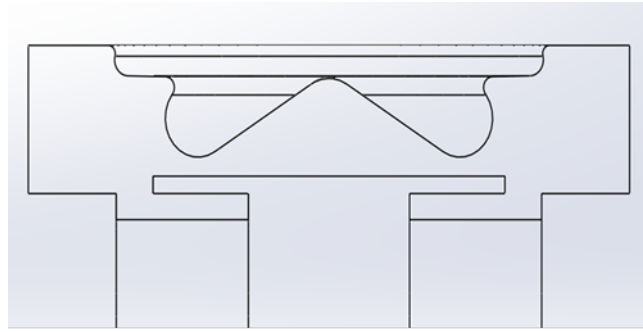


Fig.1 ピストン形状

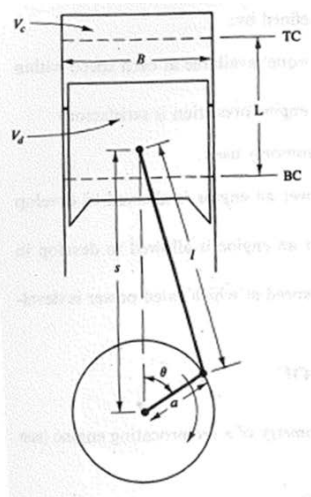
また、以下に示す廣安・新井の式よりディーゼル燃料噴霧のペネトレーションを見積もった。

$$t_b = 28.65 \frac{\rho_l d_0}{\sqrt{\rho_a \Delta P}}$$

$$S = 0.39 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_l}} t, \quad 0 < t < t_b$$

$$S = 2.95 \left(\frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{1/4} \sqrt{d_0 t}, \quad t_b \leq t$$

さらに、ペネトレーションを見積もるために必要である燃焼室内の条件は以下の式より導出した。



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V}{V_c} = 1 + \frac{1}{2}(r_c - 1)[R + 1 - \cos \theta - \{R^2 - (\sin \theta)^2\}^{\frac{1}{2}}] \\ R = \frac{l}{a} \end{array} \right.$$

V : Instantaneous volume
 V_c : Volume at TDC
 r_c : Compression ratio
 Θ : Crank angle
 l : connecting rod length
 a : Crank radius

$$m_{totalgas} = \frac{PV_{BDC}M}{R_0T}$$

$$PV^\gamma = \text{const.} \quad \cdots \text{Assumption of adiabatic change}$$

5. 3 結果

燃料噴射ノズル先端と燃焼室内壁面とのクリアランスと、各噴射圧力における噴霧ペネトレーションの計算結果を以下に示す。

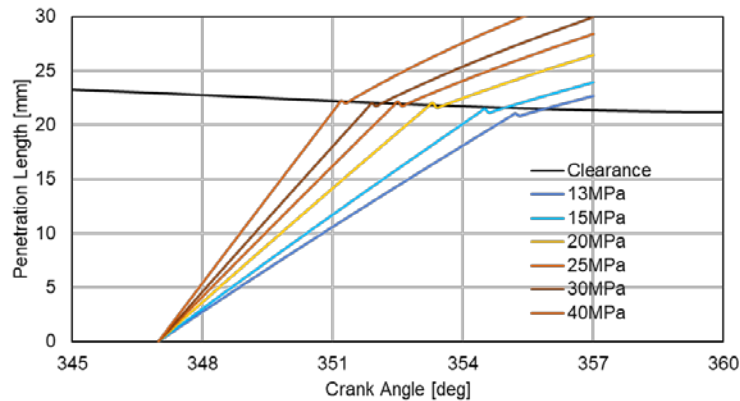


Fig.2 クリアランスと噴霧液相ペネトレーション

5. 4 考察

図よりベースとした噴射圧力 20MPa では分裂時間前の壁面衝突、すなわち燃料液相コアの表面コーティングへの衝突が予想される。これを防ぐために噴射圧力を上昇させることで分裂を早め微粒化後運動量が低下した状態での衝突を目指した。しかし結果は噴射速度の上昇が分裂促進によるペネトレーション（噴霧の長さ）の抑制を打ち消し、噴射圧力を 40MPa まで上昇させても液相コアの壁面衝突は避けられなかった。

一方で噴射圧力を 13MPa まで低下させると、噴射速度の低下が効き液相コアの衝突は避けることができるが、低噴射圧化による噴霧分裂が促進されず燃焼特性の悪化を招く可能性がある。

噴霧液相コアのピストン表面コーティングへの強い衝突を抑制するためには噴射圧力ではなく筒内温度上昇など、他のアプローチが必要である。

6. 所感

約 1 か月間アメリカで現地の学生と研究する経験は貴重であり、また私の研究と密接な領域を専門とする学生と議論することでテクニカルな英語能力が向上されただけでなく専門的な知見も広げることができました。

現地の学生の研究に対する姿勢は非常に主体的であり見習うべき点は多くありました。学生がチームで研究に取り組み、議論やこれからの研究の進め方を自主的に決定していく姿勢は日本の学生より強く勉強になりました。

また企業のグローバル化が叫ばれる中で、海外でも活躍できるエンジニアになるために英語能力のさらなる向上が必要であることを実感し、さらなる学習意欲向上につながりました。

7. 謝辞

本研究において、ご指導してくださった Zoran Filipi 教授、研究面のみならず現地生活の手助けをして頂いた研究室の学生の方々には、厚く御礼申し上げます。また、このような貴重な機会を与えて頂いた西田恵哉教授、尾形陽一准教授に厚く御礼申し上げます。最後に、海外共同研究プログラムをサポートしてくださいました実行委員会の諸先生方、学生支援グループ国際事業担当の皆様深く御礼申し上げます。