
クレムソン大学 CU-ICAR（アメリカ） 研修報告書

HCCI（予混合圧縮着火）ガソリンエンジンに関する研究

工学研究科 機械システム工学専攻 矢崎 真太郎

1. はじめに

2016年9月3日から10月3日の間、アメリカのクレムソン大学 CU-ICAR において研究を行った。以下にその報告内容を示す。

2. 共同研究テーマ

クレムソン大学 CU-ICAR（国際自動車研究所）ではガソリンエンジンの研究に取り組んでおり、そこでは実機を用いた実験や数値シミュレーションを行っている。今年度より、互いに得意とする分野の異なる広島大学とクレムソン大学で予混合圧縮自己着火（Homogeneous Charge Compression Ignition : HCCI）機関に関する研究を行うための実験に必要な気化器の設計を行った。

3. 共同研究スケジュール

9月2日 出国

9月3日～10月1日 研究、プレゼンテーション

10月3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 背景・目的

予混合圧縮自己着火（Homogeneous Charge Compression Ignition : HCCI）機関は、空気と燃料の予混合気を燃焼室内に導入し、ピストンの圧縮により高温・高圧とすることで多点同時に自己着火させる機関である。HCCI 機関は、その燃焼方式から高効率・低公害を実現しうる機関として注目されており、地球温暖化問題や石油資源の枯渇問題を緩和しうる手法の一つとしてその実用化が求められている。しかし、HCCI 機関には、着火が燃料固有の着火温度に依存するため着火時期の制御が困難である。また、ノッキングのために運転領域が低負荷に限られるといった課題が存在し、課題解決のために多くの研究がなされている。

また、燃費を向上させる手法としてピストン表面にセラミックコーティングを施すことで冷却損失が低減され、ガソリンエンジンにおいて熱効率が上昇されることが多数の大学・研究機関から報告されている。

過去の研究において、クレムソン大学ではセラミックコーティングが施されているピストンと施されていないピストンを搭載したエンジンを HCCI 方式で実験・比較した研究を行った。その際に HCCI エンジンを実験的に模擬する手法として吸気行程中にエンジン筒内に燃料を直接噴射することで圧縮する行程中に燃料と空気を混合し着火させる方法を採用した。この研究で得られた CO と未燃 HC の排出量を比較した結果を図 1 に示す。図 1 よりセラミックコーティングを施されたピストンを搭載しているエンジンは CO と未燃 HC の排出量がコーティングしていないピストンよりも多いという結果となっている。これはセラミックコーティングピストンでは、燃料をエンジン筒内に噴射し、ピストンに衝突する際にセラミックコーティング内の多数の孔に燃料が侵入しその燃料が不完全燃焼を起こすため CO と未燃 HC の排出量が増加したとしている。

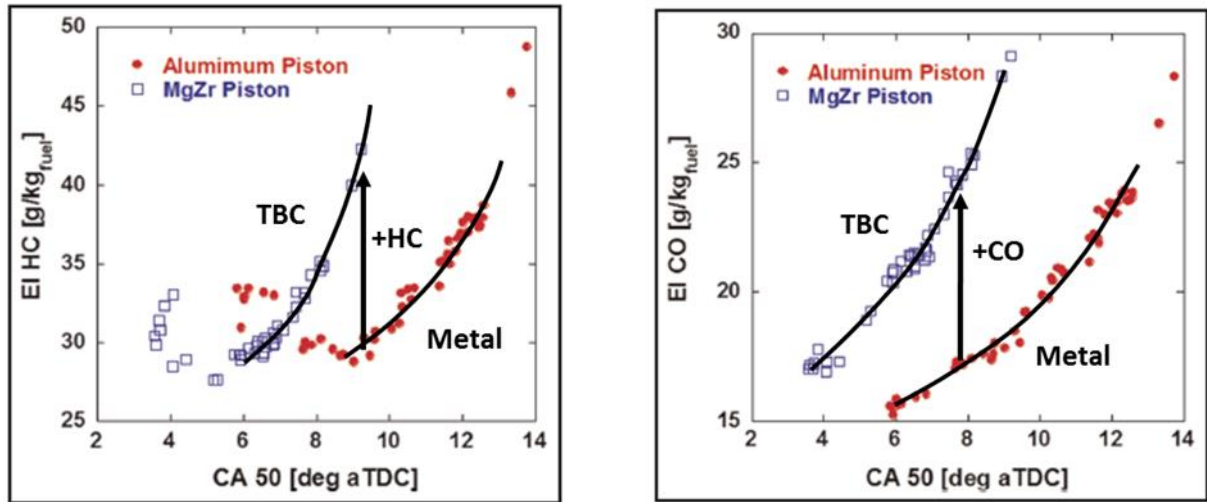


Fig.1 The amount of HC and CO compering the coating piston and the metal piston

筒内直接燃料噴射方式ではセラミックコーティングピストンにおける HCCI が及ぼす燃焼特性への影響を比較することができない．そこで図 2 に示すような吸気行程で吸入する空気に燃料をあらかじめ混入させることにより HCCI を実現することにした．その際に必要となる気化器の設計を広島大学で行っている噴霧の知識を活用させつつ行った．

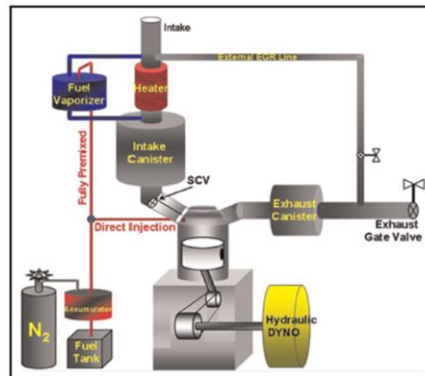


Fig. 2 Schematic of experimental apparatus

5. 2 計算式

気化器を設計するにあたって，最も重要視した温度・圧力における燃料蒸発割合を計算する際に使用した式を式(1)に示す．

$$P(T, Z) = P_{foc} \exp \left\{ \frac{\ln(RVP / P_{foc}) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{foc}} \right]}{\left[\frac{1}{T_{RVP} + A(Z - Z_{RVP})} - \frac{1}{T_{foc}} \right]} \right\} \quad (1)$$

ここで，

$P(T, Z)$: 燃料蒸気圧 [kPa]

T : 燃料温度 [deg C]

Z : 燃料質量分率(燃料蒸気質量 / 液滴質量)

$P_{\text{foc}}, T_{\text{foc}}$: 圧力・温度臨界点(擬似臨界点)

A : 定数

RVP(Reid Vapor Pressure) :

燃料温度 38℃での蒸気圧, 燃料と蒸気質量 / 燃料液滴質量=4

この式を用いた計算結果と実験結果の比較を図 3 に示す. 実線・点線が計算結果であり, プロット点が実験結果である. 計算結果と実験結果は良く一致しているためこの計算式を用いて設計を行うこととした.

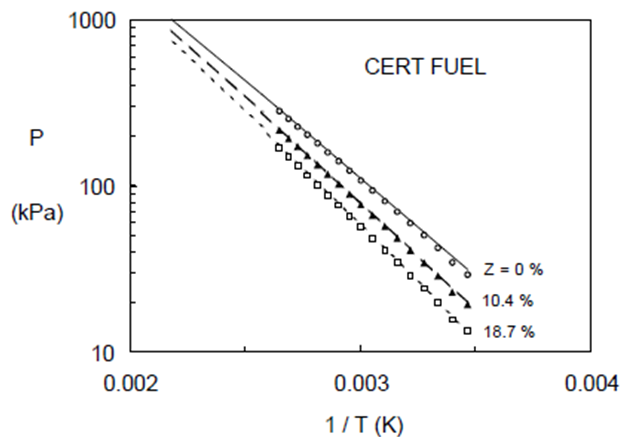


Fig. 3 Comparing calculation results and experimental results

5. 3 計算結果

図 4 に燃料であるガソリンの蒸気圧, 燃料温度, 燃料質量分率の関係を表した計算結果を示す. 縦軸には燃料質量分率, 横軸に燃料温度, カラーコンターによって燃料蒸気圧を示している. また, 燃料噴射量は 1 サイクル当たり 55mm³, 気化器内部の体積は 200mm³, 吸気温度・吸気圧は 100℃・常圧を想定しており, 設計当初の想定圧力である 100kPa を赤線で示してある.

図 4 より, 大気圧においては燃料温度が 50℃付近で蒸発し初め, 200℃では噴射した燃料が全て蒸発できている. すなわちガソリン燃料をすべて気化しエンジン筒内に送るためには燃料温度を 200℃以上の雰囲気にする必要がある.

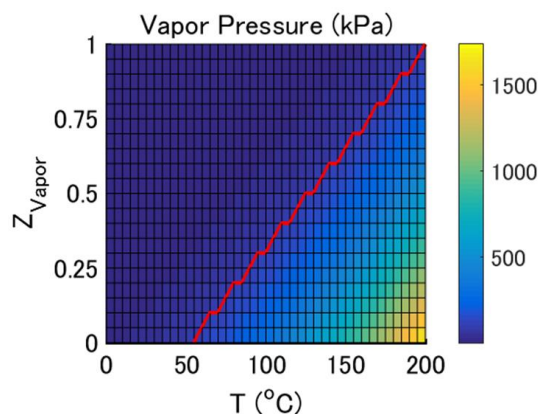


Fig. 4 Fuel vapor Pressure depending on fuel temperature and mass fraction

5. 4 設計案

図 5 に気化器の設計案を示す. 中央にインジェクタを設置し, 容器内に向けて噴射させる. 容

器の周りをバンドヒータによって雰囲気温度を 200°C 以上にする．容器の下に熱電対を設置することで容器内温度の過度な上昇を防ぐ．容器の耐圧は 1MPa に設定した．

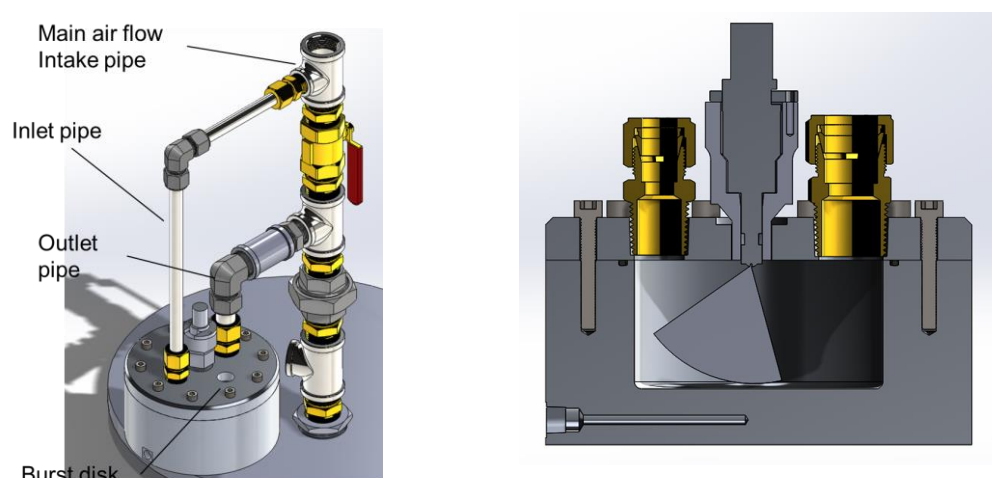


Fig. 5 The design of fuel vaporizer

6. まとめ

計算式を用いることによってガソリンが蒸発する割合とそのときの圧力・温度の関係が分かった．また，それを用いることによって気化器の設計を行った．今後はこれを用いた HCCI 実験を行っていきたい．

7. 謝辞

本派遣において非常に多くの方々にご支援をして頂きました．このような機会を与えてくださった先生方，並びにサポートして下さった皆様に感謝の意を表します．特に研究を行うにあたり，様々な指導，ご鞭撻を頂いた西田先生，尾形先生並びに現地で指導および世話して下さった Zoran FILIPI 先生，また週末の観光や食事など研究のみならず日常生活で様々なサポートをして下さった博士研究員の Ryan O'Donnell に深く感謝します．皆様のおかげで 1 ヶ月充実した日々を過ごすことができました．本当にありがとうございました．最後に海外共同研究という素晴らしい場を提供して下さいました山本元道准教授をはじめとする実行委員会の諸先生方，学生支援国際事業担当の皆様には深く御礼申し上げます．

8. 参考文献

- (1) George A. Lavoie, "Vapor Pressure Equations for Characterizing Automotive Fuel Behavior Under Hot Fuel Handling Conditions" SAE 1996
- (2) Mark A Hoffman, "The impact of a magnesium zirconate thermal barrier coating on homogeneous charge compression ignition operational variability and the formation of combustion chamber deposits" SAGE 2014
- (3) Junseok Chang, "New Heat Transfer Correlation for an HCCI Engine Derived from Measurements of Instantaneous Surface Heat Flux" SAE 2014