

## 急速圧縮膨張装置を使用した直噴ガソリンエンジン筒内のすす生成計算

日大生産工 (院) ○生井 裕樹  
日大生産工 今村 幸

日大生産工 岩田 和也  
日大生産工 秋濱 一弘

## 1 まえがき

近年、欧州や日本において急速に普及が進む直噴ガソリン車は、低燃費化が可能一方で、従来のポート噴射ガソリン車と比べてすすを含むPM粒子状物質を多く排出する。そのような流れを受けて、欧州では粒子排出個数での規制(PN規制)が厳格化されている。そこで、GPF(Gasoline Particulate Filter)等のPM除去フィルターの装着が検討されているが、燃費を悪化させてしまうという問題[1]があることから、PM除去フィルターの装着なしに今後の排出規制に対応する事が望まれている。そのため、開発初期段階から3次元CFDを用いてガソリンエンジン筒内のすす生成特性を予測する必要性は高い。また、開発期間短縮の面から考えても、計算負荷が低く予測精度の高いモデルが求められている。本研究では、3成分混合TRFガソリンサロゲート燃料(トルエン、イソオクタン、ノルマルヘプタン)を用い、直噴ガソリンエンジン筒内を模擬した急速圧縮膨張装置を対象に3次元流体計算を実施した。それぞれの結果から再現計算結果の妥当性と燃料噴射時期の影響などについて検討を実施した。

## 2 計算方法

本研究では、計算にANSYS社のFORTEを用いた。燃料を噴射し壁面付着させる事で、エンジン筒内の噴霧付着とすすの生成挙動について検討した。計算対象は、急速圧縮膨張装置(RCEM)[2]とし、圧縮・膨張行程に対して行った。RCEMの主要諸元を表1に、装置全体を図1に示す。上述したRCEMには、複数の透過窓からUV及び可視レーザーの高速度写真撮影を実施した。

表1 RCEM諸元と運転条件

Displacement [cc]	320
Bore [mm]	78
Stroke [mm]	67
Compression ratio [-]	9
Intake air temperature [K]	363
Intake pressure [MPa]	0.1
Injection pressure [Mpa]	5
Engine speed [rpm]	600
Ignition timing	5° BTDC

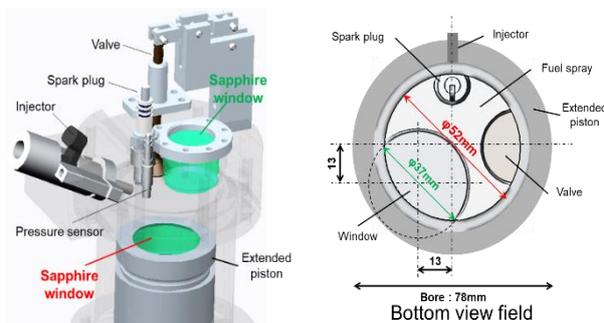


図1 RCEM概略図

撮影により、筒内燃料液膜・蒸気及びすす生成状況を可視化することができる。FORTEには、O'RourkeとAmsdenらによる壁面液膜モデル[3]によって、壁面熱伝達を付着燃料に対して考慮している。

使用している気相反応・核形成モデルには、既報のモデル[4]に、橋本らが提案した6~7環のPAHの分解反応[5]を考慮したものを用いている(改良KAUSTモデル)。このモデルは、ガソリンサロゲート燃料に対応し、化学種数233、気相反応数1375、核化反応数36、表面反応数19となっている。また、7環のコロネンまでのPAH成長反応が詳細に記述されている。本モデルの核化反応は、図2に記した4環のPyreneから7環のCoroneneまでの8種のPAHをすすの前駆体と考え、PAH同士36通りの核化反応が考慮されている。

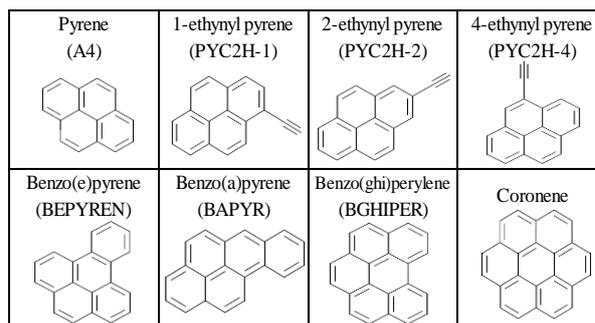


図2 8種のすす粒子前駆体

## 3 結果

3成分混合ガソリンサロゲート燃料(TRF燃料)を使用したRCEM実験をFORTEによって再現した。実験条件

Study on calculation of in a rapid compression expansion machine soot formation in a direct injection gasoline engine

Yuki NAMAI, Kazuya IWATA, Osamu IMAMURA and Kazuhiro AKIHAMA

は表2の通りである。インジェクタからの噴射角度と噴射時期を遅らせる事で、液膜の付着とすすの生成について比較検討を実施した。上記2条件において、噴射時期・期間は異なるが、噴射量は同一である。燃料噴射量は、0.02075gである。一方で、インジェクタの噴射方向は条件AとBで異なっている。なお条件Bは、Aとの燃料付着量を変えて、その影響を見るために仮想的に設定した条件である。また、条件AにおいてはRCEM筒内のピストン・シリンダ壁温度を90°Cから40°Cに下げた場合についても計算を実施した。これらは、仮想条件での検証であるため、実験結果はない。

表2 実験条件および燃料組成

	Component (Mass Fraction[-])			Fuel injection	
	iso-octane	n-heptane	toluene	Start	Duration
A	0.61166	0.092738	0.295602	27°BTDC	17°
B	0.61166	0.092738	0.295602	46°BTDC	11°

図3は、各条件における圧力波形をRCEMによる実験値と再現計算値で比較したものである。現時点では、両者に差が見られる。特に点火以降の圧力の立ち上がりとピーク時期や最大筒内圧力にそれぞれ違いが見られており、燃焼速度などの微調整によって両者の一致度合いを高めていく必要があると考えられる。今後の課題である。また、噴射時期と燃料付着量を変えた仮想条件Bでは、圧力が高くなる傾向が見られた。壁温を90°Cから40°Cに下げた条件では、気化した燃料に着火することなく圧力の上昇も確認できなかった。

図4は、RCEM筒内全領域における燃料付着量の計算結果を比較したものである。付着量は、ピストン・バルブとシリンダ壁面の合計量で算出している。条件AはBの3倍程度付着しており、RCEM筒内に液膜として多く存在していることが推測される。また、各領域においても条件Bを上回る燃料の付着が確認できた。条件AとBのピーク位置が異なるのは、燃料の噴射時期の違いが原因である。壁温40°C条件では付着量が多く、ピークを迎えた後も緩やかに蒸発することが確認できた。

図5は、RCEM筒内の可視化領域内のPM質量をレーザー計測によって測定した値と、FORTEによる計算値との比較を各条件において実施したものである。観察視野内におけるすす生成量比較では、時間経過に伴ってすすが生成し減少する様子を定性的に再現することができた。一方で、生成タイミングについては遅れがみられた。仮想条件Bにおいても、同様の傾向が見られた。液膜付着量の多い条件Aの方が、Bと比較してすす生成量も多いことから、エンジン筒内の液膜がすす生成に影響を与えていると考えられる。また、壁温を40°Cに変えた条件では、すすが生成されなかった。

#### 4 結言

図3の圧力履歴の結果からも燃焼速度に関しては、今後も検討していく必要があると考えられる。計算結果からも分かるように、燃料の噴射タイミングが上死点に近いほどピストンに付着する燃料は増加すると考えられる。観察視野内においては、液膜付着量の多いケースの方が、

すす生成量も増加する傾向が見られた。このことから、燃料の壁面付着量がすすの生成に対して影響を与えている事が分かった。また、Aにおいてはプラグ周辺に輝炎が観察されたことから、付着燃料の影響でプール燃焼が発生していると考えられる。今回、蒸留特性に関しては実際のガソリンとは異なる燃料を使用した。今後は、ガソリン燃料に近い蒸留特性を持つサロゲート燃料[6]を用いた計算を検討する予定である。

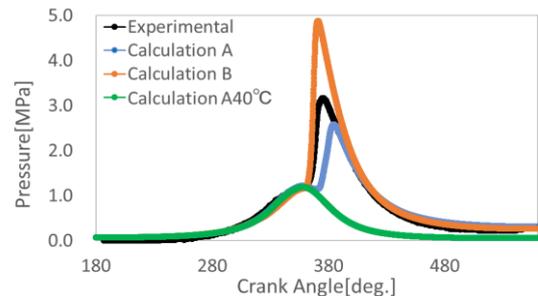


図3 各条件における圧力波形比較

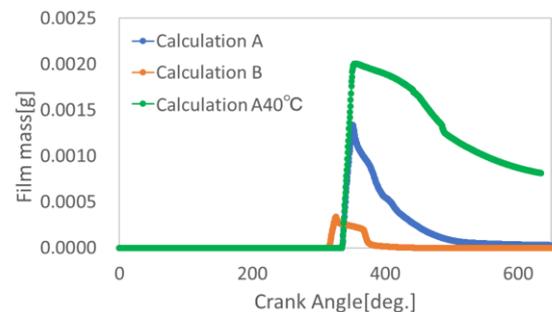


図4 RCEM筒内の液膜付着量

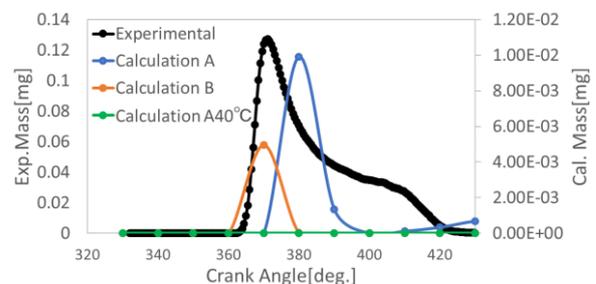


図5 計測領域内におけるすす生成量比較

#### 参考文献

1. Lee, K., DOE Annual Merit Review & Peer Evaluation Meeting, 2013, (online) available from (accessed on 18 August, 2017).
2. 宮下ほか, 第27回内燃機関シンポジウム講演論文集 (2016)
3. O'Rourke, P and Amsden, A: A Spray/Wall Interaction Submodel for the KIVA-3 Wall Film Model, SAE Paper 2000-01-0271(2000)
4. 由井ほか, 自動車技術会 2017年春季大会 学術講演会 講演予稿集 文献番号: 20175263 (2017)
5. 橋本ほか, 自動車技術会 2017年春季大会 学術講演会 講演予稿集 文献番号: 20175262 (2017)
6. 秋濱, SIP「革新的燃焼技術」第3回公開シンポジウムポスター発表資料, 2017