

## Team MBC Model Based Calibration 手法を用いた現象論モデルの構築

担当者

川島 龍一郎(M1) 山本 基太(B4)

2014 年度班紹介資料

## 1. 緒言

近年、ディーゼル機関は可変ノズルターボやコモンレールなどの多様なデバイスを導入することで、高効率化および低エミッション化を実現してきた。しかし、制御デバイスの増加に伴い、ECU(Electronic Control Unit)の制御パラメータ数は増加傾向にあり、適合に必要な実験工数は指数関数的に増大している。

そこで、適合の効率化を目指した MBC(Model Based Calibration)手法の導入が提案されている。MBC手法は、必要最小限の計測点から実機の実験モデルを作成し、所望の制約条件下で最適化することにより ECU 設定値を決定する手法である。しかし、一般的な MBC 手法における実験モデルは、計測データの統計的な近似式を用いるため、エンジンからの複雑なエミッション特性を正確に再現することが困難である。また、精度の保証は実験領域内に限られる。

そこで、本研究では統計手法に物理的な概念を組み込むことで、モデルの適用範囲拡大および精度向上の可能性を追求する。既報では、NOx およびすすを対象に物理法則を適用した実験モデルを構築した。しかし、筒内を均一と仮定したために定量的な精度向上は得られなかった。以上を踏まえ、本報では局所的な温度および濃度の影響を考慮した 0 次元 2 領域噴霧・燃焼モデル(以下、2 領域モデル)を構築し、その精度評価を行った。

## 2. 0 次元 2 領域噴霧・燃焼モデル

本報で提案する 2 領域モデルは、噴霧モデル、燃焼モデルおよびエミッションモデルから構成される。図 1 に計算過程の概略を示す。

## 2.1 噴霧モデル

図 2 に噴霧モデルの概略図を示す。噴霧モデルでは、筒内を噴霧領域と霧囲気領域に分割し、廣安らのペネトレーションの式や和栗の運動量理論などを用いて、噴霧領域への空気導入量を計算した。また、ガス噴流理論を用いて算出した燃料濃度分布より、噴霧領域内を 3 領域に分割することで不均一性を再現した。さらに、本モデルでは多段噴射における噴

霧間の干渉による影響を考慮した。

## 2.2 燃焼モデル

燃焼モデルでは、指圧を入力として予混合的燃焼期間と拡散的燃焼期間を分離し、それぞれの特性に合わせて燃焼反応および混合過程の計算を行った。

## 2.3 エミッションモデル

## 2.3.1 NOx モデル

NOx の生成はサーマル NO のみを対象とし、拡大 Zeldovich 機構を用いて、式(1)で示す NOx モデルにより算出した。

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{2R_1 \left\{ 1 - \left( \frac{[NO]^2}{[NO]_e} \right)^2 \right\}}{1 + \left( \frac{[NO]}{[NO]_e} \right) R_1 / (R_2 + R_3)} \quad (1)$$

## 2.3.2 Smoke モデル

本報では、すすの生成反応速度に Hiroyasu モデル、すすの酸化反応速度に Nagle らの提案するすす酸化モデルを採用し、Smoke モデルとした。

## 3. 実験装置および実験条件

本研究では、単気筒直噴ディーゼル機関（ボア×ストローク：φ85×96mm，圧縮比：16.3）を用い、機関回転数 2000rpm，燃料（JIS1 号軽油）噴射量 29.4mg/str.の定常状態で実験を行った。その際、5つの実験入力パラメータ（パイロット噴射量，メイン

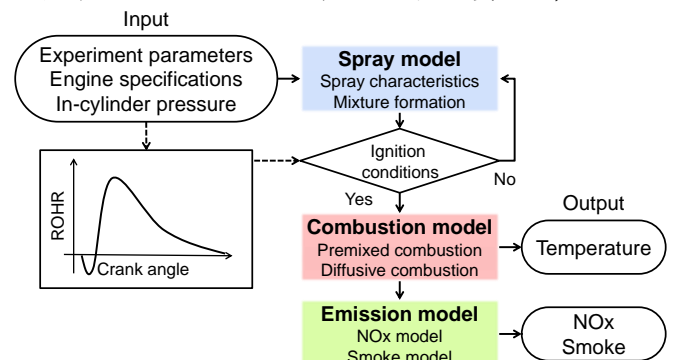


Fig. 1 Calculation flow of Two-zone model

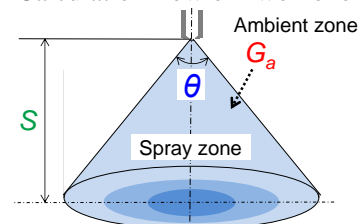


Fig. 2 Schematic of spray model

噴射時期, コモンレール圧力, 過給圧, EGR 率) について D 最適計画を実施し, モデル作成用データを 101 点, 検証用データを 23 点取得した. また, 101 点のモデル作成用データを用いて重回帰分析を行い, NO<sub>x</sub> および Smoke の実験モデルを構築した. なお, 実験モデルは, 各実験入力パラメータに対して 3 次を上限とする多項式を用いて作成した.

## 4. 結果および考察

### 4.1 筒内平均温度分布

2 領域モデルから平均温度分布を算出し, 実験結果と比較することで計算過程の妥当性を検証した. 検証結果を図 3 に示す. 図 3 より, 計算では実験結果と比較して, パイロット燃焼による温度上昇が小さく, 最高到達温度を低く見積もった. これは, 混合気形成過程を簡略化したことにより, 実現現象を正確に再現できなかったためと考えられる. しかし, EGR 率増加に伴って, 最高到達温度の低下およびメイン燃焼の遅角化が見られた. これらの傾向は実験結果と概ね一致した.

### 4.2 エミッションモデル

本節では, NO<sub>x</sub> および Smoke 生成量の予測を試み, エミッションモデルの計算結果を実験結果と比較することで評価を行った.

#### 4.2.1 NO<sub>x</sub> モデル

2 領域モデルの計算結果を実験結果と比較するため, NO<sub>x</sub> 生成量を EGR 率で整理した分布を図 4 に示す. 図 4 より, 実験結果同様に, EGR 率増加に伴って, NO<sub>x</sub> 生成量は減少した. しかし, 低 EGR 領域において NO<sub>x</sub> 生成量を低く見積もり, EGR 率増加に伴い高く見積もった. これは, 乱流拡散によるガスの

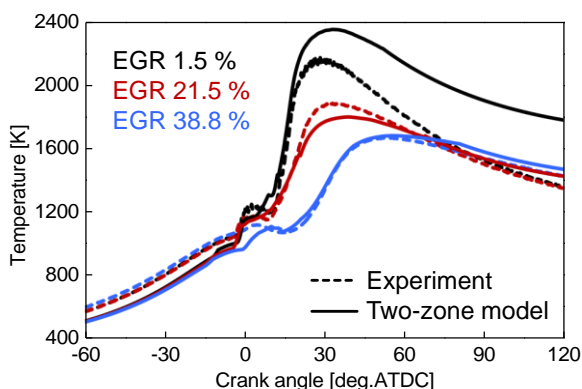


Fig. 3 In-cylinder mean temperature distribution

移動を考慮していないためと考えられる. そのため, 低 EGR 領域では, 噴霧領域内に十分な酸素が供給されず, 高温燃焼時においても NO<sub>x</sub> の生成が抑制されたと推測される. 一方, 高 EGR 領域でも同様に, 燃焼ガスの移動量が少ないため, 噴霧領域内が実現現象に比べて高温に保持され, NO<sub>x</sub> の生成が促進されたと考えられる.

#### 4.2.2 Smoke モデル

NO<sub>x</sub> モデル同様に, Smoke 生成量を EGR 率で整理した分布を図 5 に示す. 図 5 より, 低 EGR 領域における Smoke 生成量を概ね再現できたものの, 高 EGR 領域では低く見積もった. この要因として, 2 領域モデルにおいて, 完全燃焼を仮定していることが挙げられる. そのため, 高 EGR 率条件において, 燃料起源による Smoke 生成量が抑制されたと考えられる.

## 5. 結言

本報では, 0 次元 2 領域噴霧・燃焼モデルを構築し, その精度評価を行った. 得られた知見を以下に示す.

- (1) 2 領域モデルは, 筒内平均温度分布の傾向を概ね再現可能である.
- (2) 2 領域モデルは, EGR 率増加に伴う NO<sub>x</sub> 生成量の減少傾向を概ね再現可能であるが, 筒内における乱流拡散を考慮していないため, 定量的な精度は低い.
- (3) 2 領域モデルは, 低 EGR 領域における Smoke 生成量を概ね再現できるものの, 燃料の完全燃焼を仮定しているため, 高 EGR 領域における再現性は低い.

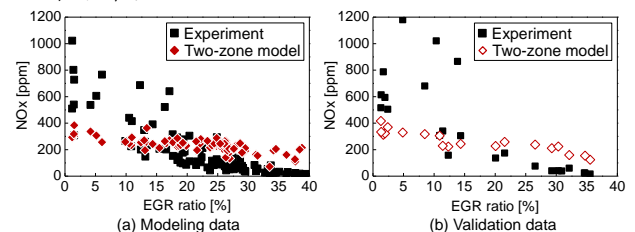


Fig. 4 Comparison of calculation results with experimental results (NO<sub>x</sub> emissions)

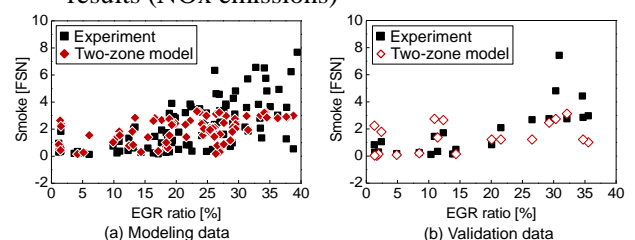


Fig. 5 Comparison of calculation results with experimental results (Smoke emissions)