学 ○吉原 大佑 (阪市大院) 正 金 尚奎 (阪市大院) 学 松本 敦孝 (阪市大院) 准 伊藤 和真 (本田技術研究所)
正 高田 洋吾 (阪市大) 正 脇坂 知行 (阪市大)

Daisuke YOSHIHARA, Sang-kyu KIM and Atsuta MATSUMOTO, Graduate School of Engineering, Osaka City University,
3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585

Kazuma ITO, Honda R&D Co., Ltd.

Yogo TAKADA and Tomoyuki WAKISAKA, Graduate School of Engineering, Osaka City University

1. 緒言

バイオガスとは、生ゴミや家畜ふん尿等のバイオマスを嫌気性発酵させることにより得られるガスであり、循環型社会に適したエネルギー源として近年、注目されている。本研究では、バイオガスを燃料とする圧縮着火機関について、化学動力学に基づく三次元燃焼解析を行うために簡略化素反応スキームを構築すると共に、DME噴射バイオガスエンジンの三次元燃焼シミュレーションを試みた。

2. バイオガス用素反応スキームの構築

予混合圧縮着火機関における Methane と n-Butane の混合燃料の燃焼実験データ⁽¹⁾を対象に、CHEMKIN-II⁽²⁾を用いた0次元計算で、素反応スキームの検討を行った。機関諸元は、Bore×Stroke がφ112 mm×115 mm、圧縮比が18.8である。計算条件は、吸気温度が380 K、吸気圧力が160 kPa、当量比が0.3、機関回転速度が800 rpmである。燃料中の n-Butane の体積割合は10%で、使用スキームは、小島の n-Butane 素反応スキーム⁽³⁾(化学種:141, 反応式:470)、および GRI-Mech⁽⁴⁾(化学種:53, 反応式:325)と小島の n-Butane 素反応スキームを結合して構築した合成スキーム(以下 GRI-Mech+小島スキーム)(化学種:164, 反応式:712)である。計算結果を図1に示す。

Fig.1 Cylinder gas pressure and the rate of heat release (Expt.(1))

図1より、GRI-Mech+小島スキームによる計算結果の方が、圧力上昇や熱発生時期が実験結果に近いことが判る。さらに、三次元計算のためにGRI-Mech+小島スキームを感度解析に基づいて簡略化することで、新たにバイオガス簡略素反応スキーム(化学種:61, 反応式:109)を構築した。また、バイオガスを吸入し、さらにシリンダ内にジメチルエーテル(DME)を噴射して着火させる二元燃料機関のシミュレーションに対応するために、Curran らのDME詳細素反応スキーム⁽⁵⁾(化学種:80, 反応式:339)をもとに簡略化した伊藤らのDME簡略素反応スキーム⁽⁶⁾(化学種:30, 反応式:48)を上記のバイオガス簡略素反応スキームと結合し、新たにバイオガス-DME簡略素反応スキーム(化学種:70, 反応式:132)を構築した。

3. 三次元シミュレーション手法

著者らの GTT コードを CHEMKIN-II とリンクした GTT-CHEM コード⁽⁶⁾を用いて、化学動力学に基づく三次元燃焼解析を行った。本研究で計算対象としている機関では、バイオガスは予混合燃焼状態となり、火炎伝播で燃焼が進むため、それを考慮して、本研究で用いる乱流混合を考慮した Kong らの燃焼モデル⁽⁷⁾に次のような修正を加えた。

乱流混合により決まる燃焼特性時間 τ_t は式(1)で表される。

$$\tau_t = C_t k / \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 k は乱れエネルギー、 ε は乱れエネルギーの散逸率、 C_t はモデル定数であるが、本研究では、 C_t が次式で決まるようにした。

$$C_t = a - b \exp(cF) \quad (2)$$

$$F = Y_{DME} / (Y_{DME} + Y_{Biogas}) \quad (3)$$

Y_{DME} , Y_{Biogas} は、それぞれ DME, バイオガスの質量分率である。 a , b , c はモデル定数で、軽油着火過給天然ガスエンジンの実験⁽⁸⁾に対するシミュレーション結果を参考に、 $a=15$, $b=12$, $c=-30$ とした。

4. モデル機関および計算条件

モデル機関の諸元は、Bore×Stroke がφ96 mm×108 mm、圧縮比が16.0、着火用の DME 噴射圧力が40 MPa、ノズル径が0.10 mm、噴孔数が4(噴射角140 deg.)である。モデル機関の計算格子を図2に示す。計算条件は、DME 噴射量が2.97 mg、噴射時期が12 deg.BTDC、噴射期間が6 deg、機関回転速度が1000 rpmである。吸入バイオガスの当量比は0.65で、吸気圧力200 kPa(abs.)で過給を行った。

Fig.2 Computational grid (250 deg.ATDC)
(Grid division number 40×40×13)

5. 計算結果

4台のPCによりMPI並列計算を行って得られた結果を図3に示す。熱発生率において、DMEの着火が主であると考えられる1段目の小さなピークと、DMEを着火源としてバイオガスが火炎伝播により燃焼していると考えられる2段目のピークが現れていることが判る。

Fig.3 Cylinder gas pressure and the rate of heat release
(Biogas engine with DME injection)

6. 結言

既存の素反応スキームを結合し簡略化することで、バイオガスの燃焼を化学動力学に基づいて実用的に三次元解析することが可能となった。また、Kong らの燃焼モデルに修正を加えることにより、DME 噴射バイオガスエンジンの三次元燃焼シミュレーションが可能となった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、岡山大学大学院自然科学研究科の富田栄二教授より実験データをご提供頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 田 他2名, 第17回内燃機関シンポジウム講演論文集, (2002), 355-360.
- (2) Kee, R. J., et al., Sandia Report, SAND89-8009B, (1989).
- (3) Kojima, S., et al., Combustion and Flame, 99, (1994), 87-136.
- (4) http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/index.html
- (5) Curran, H. J., et al., Int. J. Chem. Kinet., 30-3, (1998), 229-241.
- (6) Kim, S.-K., Ito, K., Yoshihara, D. and Wakisaka, T., JSME Int. J., Ser.B, 48-4, (2005), 717-724.
- (7) Kong, S.C., et al., SAE Paper 2001-01-1026, (2001).
- (8) 富田 他4名, 自動車技術会学術講演会前編集, No.63-03, (2003), 11-14.