

Team Biomass-comb. バイオマスガスを使用した過給機付き小型ガスエンジンにおける
高効率，低エミッション化の基礎研究

担当者

加藤 遼悟 (M2) 福岡 佑馬 (B4)

2017 年度班紹介資料

1. 緒言

エネルギー資源の枯渇問題や CO₂ 排出量の増加問題の解決策として、再生可能エネルギーの一種である廃棄物系バイオマスを燃料とした廃棄物発電が注目を集めている。廃棄物系バイオマスは正味で CO₂ が増加しないカーボンニュートラルである⁽¹⁾。そのため化石燃料由来のエネルギーを廃棄物系バイオマスで代替することでエネルギー資源の保全および CO₂ 排出量削減に大きく寄与することが可能である。

一方でバイオマスガスは CO₂, N₂ などの不活性ガスが占める割合が非常に大きいため、低カロリーかつ低出力であり、燃焼が不安定になるという課題がある⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。この解決策として過給機を導入し、高出力化を図ることが挙げられている⁽⁵⁾。

本研究ではバイオマスガスの利用を想定した過給器付き小型ガスエンジンの高効率・低エミッション化を目的とする。本報では燃料構成成分および熱損失に着目し、熱勘定を用いてモデルガスの燃焼特性の究明を行う。

Table 1 Engine specifications

Bore × Stroke [mm]	88 × 90
Number of cylinders	3
Displacement [cm ³]	1600
Compression ratio	12
Engine speed [rpm]	1900
Rated output [kW]	18.2
BMEP [MPa]	0.7
Air charging system	Turbo charger
Intercooler	Water cooled
Engine cycle	Late closing miller cycle
Catalyst	Three way catalyst

2. 実験装置および解析手法

2.1 実験装置

供試機関にはボア×ストローク 88mm×90mm，排気量 1.6L，圧縮比 12 の火花点火式 3 気筒ガスエンジン (YANMAR 製) を使用した。エンジン主要諸元を表 1 に示す。また、本研究で使用する実験装置の概略図を図 1 に示す。ターボチャージャおよび三元触媒を搭載することにより、ガスエンジンの高出力・低エミッション化を図る。筒内圧力およびクランク角度は燃焼特性解析装置 (横河メータ & インストルメンツ: DL850E スコープコーダ) に取り込むことで測定する。また排気ガス測定装置 (HORIBA: MEXA1500-D) を使用し、排気ガス中の成分 NO_x, CO, CO₂, O₂, ならびに全炭化水素 (以下, THC) の濃度を測定する。

2.2 供試燃料

本実験では供試燃料として 13A および木質チップによるバイオマスガスを模擬したモデルガスを使用した。13A のガス組成および低位発熱量を表 2 に示す。13A の主成分はメタンであることがわかる。モデルガスのガス組成および低位発熱量を表 3 に示す⁽⁶⁾⁽⁷⁾。本来木質チップから得られるバイオガスには CO が含まれている。しかし当大学では燃料ガスに CO を使用することが不可能であるため、発熱量および層流燃焼速度が同等となるよう他成分の比率を調整した。

2.3 EGR 率および水素添加率定義

EGR 率は以下の式で定義される。EGR を導入することで、混合気中の不活性成分が増大し、燃焼温度を低下させることが可能であるが、燃焼速度の低下による燃焼安定性が低下する。

Table 1 City gas composition

Component	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	Total
Gas ratio [%]	88.9	6.8	3.1	1.2	100
LHV [kcal/Nm ³]	8555	15230	21800	28346	9658

Table 2 Model gas composition

Component	H ₂	CH ₄	N ₂	CO ₂	Total
Gas ratio [%]	30	5.8	51.1	13.1	100
LHV [kcal/Nm ³]	2579	8555			1273

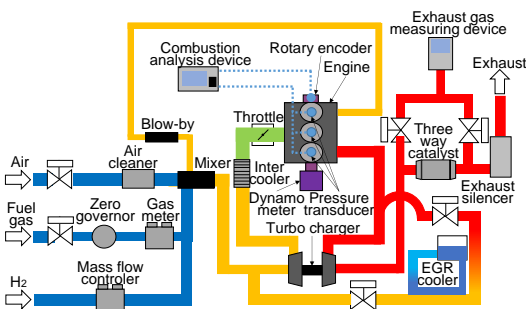


Fig.1 Schematic diagram of gas engine system

$$EGR_{ratio} = \frac{CO_{2int} - CO_{2amb}}{CO_{2exh} - CO_{2amb}} \times 100 \quad (1)$$

EGR_{ratio} : EGR 率[%] CO_{2int} : 吸気混合気中の CO_2 濃度[%]
 CO_{2amb} : 大気中の CO_2 濃度[%] CO_{2exh} : 排気ガス中の CO_2 濃度[%]

また水素は CH_4 と比較して燃焼速度が大きく、可燃範囲が広い。よって燃料に添加することで燃焼速度が増大し燃焼の安定化が期待できる。水素添加実験では、 CH_4 を主成分とする 13A に EGR をかけて水素ガスを添加するものとする。水素の添加量は以下に示す水素添加率により定義する。

$$r_H = \frac{Q_H}{Q_F + Q_H} \times 100 \quad (2)$$

r_H : 水素添加率[%] Q_F : 燃料ガス流量[m³/h]
 Q_H : 水素ガス流量[m³/h]

2.4 熱勘定計算手法

エンジン前後で冷却水に失う熱量は電磁式積算熱量計(長野計器:CM70-040S)により測定する。電磁式熱量計は流量測定部、温度測定部、熱量演算部で構成されており、熱量演算部では流量測定部、温度測定部で得られた一定周期ごとの体積流量と温度差から次式によって一定周期ごとの熱量値を求める。

$$Q_{cool} = \kappa \times v \times \Delta T \quad (3)$$

Q_{cool} : 熱量[MJ/h]

κ : 熱量換算係数(暖房時:4.128 冷房時:4.186)[MJ/(°C·m³)]

v : 流体の体積流量[m³/h] ΔT : 温度差[°C]

排気に失う熱量は吸・排気のエンタルピー差により求める。

$$Q_{exh} = H_{exh} - H_{in} \quad (4)$$

Q_{exh} : 熱量[MJ/h] H_{exh} : 排気エンタルピー[MJ/h]

H_{in} : 吸気エンタルピー[MJ/h]

機械損失は図示仕事と正味仕事の差により求める。

$$Q_{mec} = W_i - W_e \quad (5)$$

Q_{mec} : 熱量[MJ/h]

W_i : 図示仕事 [MJ/h] W_e : 正味仕事 [MJ/h]

未燃損失は未燃成分の質量と未燃成分の低位発熱量の積により求める。

$$Q_{umb} = G_e \cdot LHV_e \quad (6)$$

Q_{umb} : 熱量[MJ/h] G_e : 未燃成分の質量 [g]

LHV_e : 未燃成分の低位発熱量 [MJ/g·h]

これらの熱量 Q を投入熱量 Q_{in} で除した値が各損失である。

2.5 層流燃焼速度の推定式

本研究では、木質バイオマスガスの燃焼速度を計算するため北川の燃焼速度推定式を採用した。この

推定式は木質系ガスを対象にしており、そのガス組成に基づいて化学当量における木質系ガス-空気予混合火炎の層流燃焼速度を求めることが可能であると考えられる。以下にその計算式を示す。

$$u_i = \frac{\sum u_i \cdot M_i \cdot A_i \cdot y_i}{\sum M_i \cdot A_i \cdot y_i} [1 - f \cdot (0.8z_{N_2} + z_{N_2}^2 + 2.0z_{CO_2})] \quad (7)$$

$$f = \frac{\sum y_i}{\sum (y_i / f_i)} \quad (8)$$

$$z_{N_2} = \frac{y_{N_2} - 3.76y_{O_2}}{1 - 4.76y_{O_2}} \quad (9)$$

$$z_{CO_2} = \frac{y_{CO_2}}{1 - 4.76y_{O_2}} \quad (10)$$

u_i : 可燃成分 i の当量比 =1.0 における燃焼速度[cm/s]

M_i : 可燃成分 i の層流燃焼速度に対する寄与度[-]

A_i : 可燃成分 i の理論空気量[m³/m³]

f_i : 不活性成分による可燃成分 i の燃焼速度低下係数[-]

y_i : 燃料ガス中の可燃成分 i の割合[-]

y_{O_2} , y_{N_2} , y_{CO_2} : 燃料ガス中の O_2 , N_2 , CO_2 の割合[-]

z_{N_2} , z_{CO_2} : N_2 , CO_2 による燃焼速度低下係数[-]

参考文献

- (1) 藤木希, 淡路和則, なたねにみる地域資源循環と付加価値形成環境科学会誌, 農業経営研究 vol. 44 (2006-2007) No.2, pp66-69
- (2) 西澤幸紘, 永田裕樹, 山崎由大, 金子成彦, バイオマス燃料対応小型ガスエンジンの開発(燃料中の H_2 および CO が燃焼に及ぼす影響), 日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集, pp277
- (3) 椎名亮介, 荒木幹也, Lai CHEN, 中村壽雄, 志賀聖一, 小保方富夫, 低カロリーガス火花点火機関の性能と排気(個別ガスの基本燃焼特性), 日本機械学会論文集(B編), vol.74(2008) No.748, pp266
- (4) 山崎由大, 野口雄平, 藤原直人, 金子成彦, バイオマス熱分解ガスを用いるディーゼルエンジンに関する研究, 日本エネルギー学会誌 vol.92(2013) No.10, pp957-958
- (5) 深谷信彦, 富田栄二, 河原伸幸, 丸山慶士, 薦田哲男, バイオマスをを用いた熱分解ガス軽油着火過給エンジンにおける燃焼および排気特性, 日本機械学会論文集(B編), vol.73 (2007) No.730, pp1337-1344
- (6) 久角喜徳, 堀司, 朴燦容, 毛笠明志, 次世代 LNG 気化発電システムの研究, Journal of Japan society of Energy and Resources vol.35 No.3, pp11
- (7) 田畑健, 水素社会と都市ガス事業, 水素エネルギーシステム Vol.35, No.4(2010), pp78