

小規模木質バイオマスガス化熱電併給設備の開発

Development of Small-scale Woody Biomass Gasification Combined Heat and Power Plant

清水 正紀* 山崎 拓朗* 大久保 水貴*
Masanori Shimizu Takuro Yamazaki Mizuki Ookubo

In recent years, there has been a demand for the practical application of small-scale gasification cogeneration systems that can utilize biomass such as bark, branches, and leaves that are difficult to gasify.

Therefore, we manufactured a 1/4 scale gasification experimental plant of the actual machine and conducted a gasification experiment using bark and branches and leaves. As a result, we confirmed that it is possible to produce combustible gas with high calorific value required for gas engine operation. Power generation output characteristics at the gasification reaction temperature were also confirmed. As another result, the overall energy efficiency of the recovered heat and power is 48% of the input energy, but it can be improved by reusing the engine exhaust and gasification residues.

We will continue to develop facilities based on these basic technological verifications and establish a raw material supply chain that is essential for commercialization.

KEY WORDS: Biomass, External heating gasification method, Generated gas, Power generation output, Energy balance, Gasification reaction temperature

1. はじめに

バイオマスとは化石資源を除く、現在の地球上で動植物が生産している有機資源と定義される。このバイオマス利用の意義としては、石油代替による二酸化炭素排出削減に基づく地球温暖化防止対策だけでなく、それと同時に、地域社会や地域経済の活性化についても重要視すべきである。バイオマスは地域に存在する資源であり、地域で生産されたバイオマスの利用は地域資本の流出を抑え、また地域へ外貨を呼び込む資本ともなる¹⁾。

その中で、これまで採算面が課題となっていた間伐材などの林地残材や草本類などの活用を目的に、2012年7月から開始された再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)によって売電収入を得られるようになり、多くのバイオマス発電所が認定を受け、特に発電容量の大きいボイラ発電が稼働もしくは計画中である。しかし、これら大型発電所は輸入材や一般木材を使用するため、地域で発生する林地残材の活用は進んでいない。

2016年度より小規模ガス化発電用に2MW未

満(買取価格40円/kWh)という区分が新しく設定されたが、林地残材の多くを占める枝葉や道路剪定枝などの難ガス化バイオマス原料のガス化技術が確立されていないため、これらは森林から集荷されず放置されている状況である。

このような林地残材(特に枝葉)、土場や集荷場で発生するバーク(樹皮)などの廃棄物扱いされている木質系バイオマスを有効なエネルギーに変換し、地域に供給する「コージェネレーションシステム」の確立は、喫緊の課題となっている国内のCO₂削減、エネルギー自給率向上や森林保全貢献への一助となると考える。

本稿では、当社敷地内に製作した小規模ガス化実験設備による検証実験にて得られたエネルギー収支などの結果を含む開発状況について報告する。

2. ガス化方式について

日本国内に存在する木質系バイオマス資源は各地に散在しているため、収集面から大規模発電設備への利用は不向きであり、エネルギーの地産

* 開発本部 開発グループ

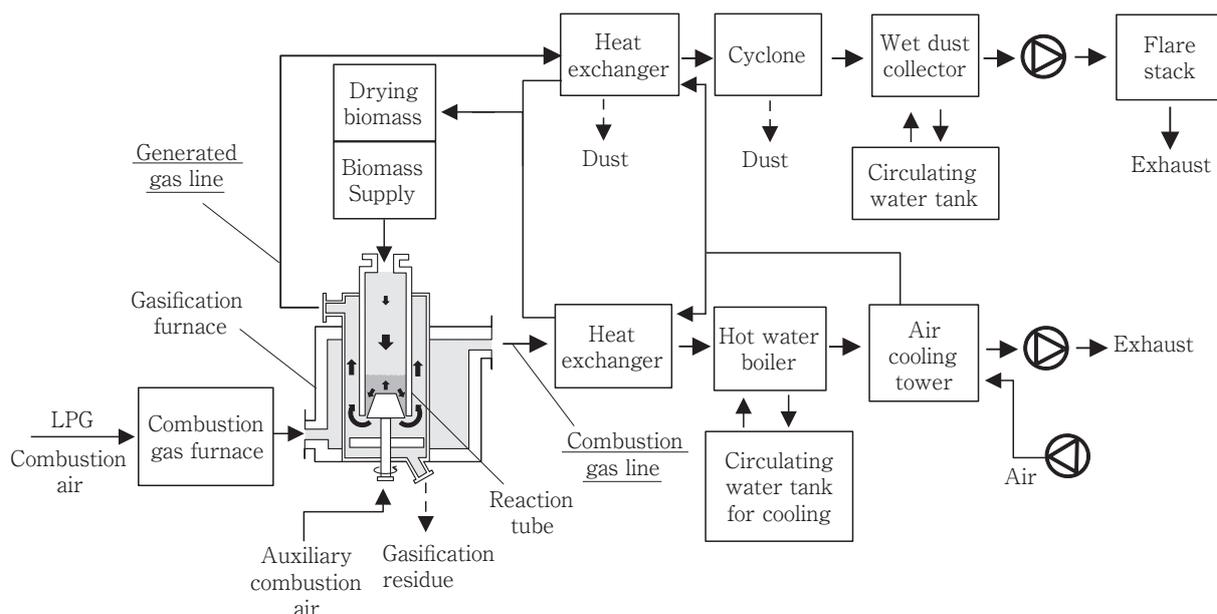


Fig. 1 System flow of Biomass gasification Test Plant.

地消型のバイオマス発電を想定すると、大規模集中型発電よりも小規模分散型発電への利用が適している。そのため、大規模発電設備で採用される「直接燃焼」でなく、小規模でありながら高効率な発電が可能な「ガス化」による発電・熱利用を行う設備開発が必要となる²⁾。

バイオマスのガス化とはバイオマスが燃焼する一歩手前の低酸素雰囲気下における不完全燃焼の状態、一酸化炭素を主成分とした可燃性ガスを生成させるプロセスである。現在、木質バイオマスのガス化技術は主に以下の2つの方式に分類される。

①外熱式ガス化方式

容器内の原料に外部より熱を加え、熱分解ガス化する方式である。原料を選ばず多様なバイオマスのガス化が可能であるが、ガス化の熱源を別に必要とするため、設備が大きくなり設備コストも高くなる。2020年8月現在、国内でこの方式を採用した商用プラントはない。

②部分燃焼ガス化方式

容器内の原料の一部を燃焼させ、その熱によりガス化する方式である。自然による熱を利用するため、設備を小さくでき、設備コストも抑えられるが、白木などの良質な原料や水分調整などの前処理を徹底した原料でなければガス化できない。

現在国内で稼働する商用ガス化プラントは全てこの方式を採用している。

当社が採用するのは外熱式ガス化方式であり、様々なバイオマスをガス化できるメリットを生かし、処理に困っている林地残材の枝葉やパークによるガス化熱電併給システムの構築を進めている。

3. 実験方法

3.1 実験装置

開発目標とする商用機（目標発電出力 300kW 相当）の1/4スケールとなる設備を製作した。Fig. 1に設備フロー図、Fig. 2に設備外観写真を示す。本設備は原料供給系、燃焼ガス炉、ガス化炉、各種熱交換機、サイクロン、湿式集じん機、各種送風ファン、フレアスタックで構成されている。



Fig. 2 Panoramic view of Test Plant.

燃焼ガス炉で発生する燃焼ガスを反応炉内に設置された反応管に接触させて、反応管内の反応場を高温域にし、反応管上部から供給されるバイオマスをガス化し、可燃性ガスを生成させる（以下、生成ガス）。反応管内部でガス化された後のバイオマス炭化物は、反応管底部に設置された排出スクレーパによって設備系外に連続的に排出される。反応管から排出された生成ガスは、除じん、冷却、洗浄を目的にサイクロン、湿式集じん機を経由し、フレアスタックにて燃焼させる。

燃焼ガスは反応炉を通過後、冷却や原料の乾燥用熱源としての熱回収のため、温水ボイラ、強制空冷塔を経由し設備系外へ排気される。

3.2 実験条件

本実験ではおが粉、枝葉、バークの3種類のバイオマス原料を使用した。これらのバイオマスの成分分析結果をTable 1に示す。

灰分量はおが粉と比較し枝葉とバークに多く含有され、生成ガス量に寄与すると想定される揮発分は枝葉、バークと比較し、おが粉に多く含有している。また、ロータップ式ふるい振とう機にてDp50=約1mm、約0.2～5mmの粒度分布となる各種バイオマス原料を使用した。

Table 1 Component analysis results of Biomass.

Sample type		Sawdust	Branches and leaves	Bark	
Component of Biomass	Moisture	wt%	4.8	11.9	8.9
	Ash	wt%	0.3	12.9	3.2
	Volatile	wt%	79.3	58.2	65.2
	Fixed carbon	wt%	15.6	16.9	22.7
	C	wt%	48.1	35.3	47.0
	H	wt%	6.4	5.0	5.8
	N	wt%	<0.1	0.3	0.3
	O	wt%	45.1	46.5	43.6
LHV	MJ/kg	17.9	14.7	17.5	

LPG量を制御し、燃焼ガス温度を任意に設定し、反応管内のガス化反応場の温度（以下、ガス化温度）をパラメータとし試験を実施した。バイオマス原料の供給量やガス化反応場へ供給する補助燃焼用空気量はTable 2に示した条件にて実験を実施した。

また、フレアスタック入口部にて生成ガスを採取し、ガスクロマトグラフ（島津製作所製：GC-8A）にて実施したガスの組成分析結果及び生成ガス量から以下の式（1）を用いて発電出力推定値（ E_o ）を算出し、評価を行った。

$$E_o = \frac{H_l \times Q_N \times \eta_G}{3600} \quad (1)$$

ここで、

H_l ：生成ガスの低位発熱量（kJ/ m³N）

Q_N ：0℃に換算した生成ガス量（m³N /h）

η_G ：想定される発電機の効率（0.3）

Table 2 Experimental conditions.

Gasification reaction temp.	450 - 950 deg C
Biomass supply quantity	60 - 80kg-dry/h
Air supply quantity to the reaction field	10 m ³ N /h
Moisture content of Biomass	4 - 15%

4. 実験結果と考察

4.1 各原料における生成ガス組成

Table 3に各原料における生成ガス組成の結果を示す。本結果の詳細な実験条件はそれぞれガス化温度750℃、補助空気供給量10m³N /h、原料バイオマス供給量80kg-dry/hである。

各原料において同等の組成を示し、一酸化炭素を主成分とした可燃性ガスが生成されていることがわかる。また、全ての生成ガスで11MJ/m³N以上の低位発熱量 H_l を保有していることを確認した。これは発電時に使用するガスエンジンを稼働させるのに必要となる発熱量を十分に保有したガスであることを示している。上述した本設備と異なるガス化方式である部分燃焼ガス化により得られる生成ガスは5MJ/m³N程であり、外熱式ガス化の特徴である高発熱量を保有した可燃性ガスを難ガス化原料である枝葉やバークにおいても実機レベルの設備にて取得できることを確認した³⁾。

Table 3 Composition of generated gas.

Sample type		Sawdust	Branches and leaves	Bark
Composition of generated gas	H ₂ dryvol%	12.8	11.8	12.7
	CO dryvol%	30.8	31.7	30.9
	CO ₂ dryvol%	11.8	11.9	11.2
	CH ₄ dryvol%	10.3	10.9	9.4
	C ₂ H ₄ dryvol%	3.6	2.8	3.2
	C ₂ H ₆ dryvol%	0.6	0.4	1.9
	N ₂ dryvol%	29.9	29.8	29.1
	O ₂ dryvol%	0.2	0.7	1.6
	Total dryvol%	100	100	100
LHV MJ/m ³ N	11.7	11.2	11.9	

4.2 ガス化温度における発電能力

Fig. 3 にガス化温度における発電能力（時間当たりの乾燥原料供給量における発電出力推定値）の推移を示す（使用原料：バーク）。発電能力はガス化温度に比例して増加する傾向となったが、750℃から950℃の範囲において大きな差異は見られず、800℃付近で極大値となる約1.3 kW/(kg-dry/h)を示した。また、発電出力推定値として80kW以上の出力を確認した。

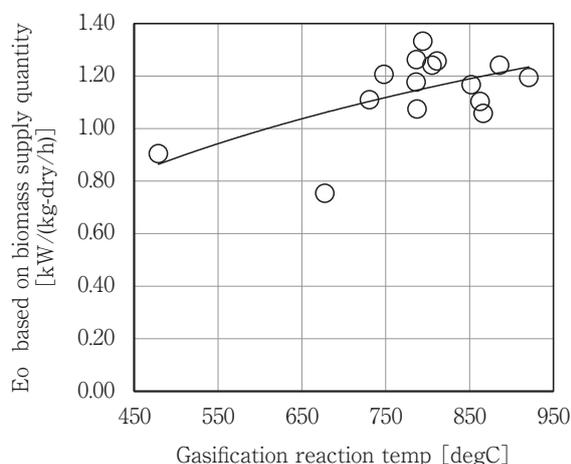


Fig. 3 Gasification reaction temp vs Capacity to generate electricity.

4.3 エネルギー収支

Fig. 4 にエネルギー収支図を示す（使用原料：バーク）。

投入エネルギー比で推定発電効率は9.5%となった（エンジンでの発電効率30%の場合）。回収熱量は反応炉通過後の燃焼ガスと生成ガスから

熱交換機により取得した乾燥用熱源となる熱風及び温水の熱量合算値であり、投入エネルギー比で38%となった。以上の結果から本設備の出力として実際に使用できるエネルギー、すなわち総合エネルギー効率は48%となった。

エネルギー効率の改善施策として、廃棄エネルギーの75%を占めるエンジン排ガスとガス化反応後の残渣の有効利用が考えられる。エンジン排ガス温度は400℃程と想定されるため、エネルギー変換効率が60%程である還流ボイラの導入が可能であり、ガス化反応後の残渣は、ガス化が必要となる燃焼ガス熱源として再利用することができる。これらの廃棄エネルギーの有効利用を行うことで、総合エネルギー効率を80%程度にまで向上させることができると考える。

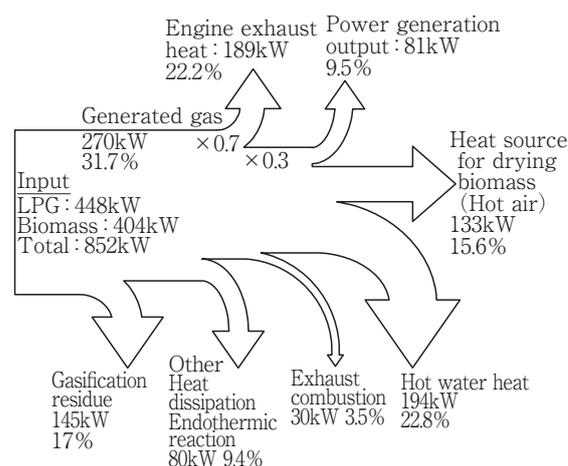


Fig. 4 Energy balance.

5. おわりに

本稿では当社敷地内に製作した小規模ガス化実験設備により、得られた発電能力やエネルギー収支などの実験結果について報告した。

難ガス化バイオマス原料である枝葉やバークを使用した実験を行い、ラボスケールではなく、実機規模での発電出力やエネルギー収支などの設備特性と改良点を確認し、商用化に向けた設計指針を得ることができた。これらの基本的な技術検証内容と事業を行う上で必須となる原料のサプライチェーンの構築も含めて、引き続き開発を推進する。

謝辞

本稿ではバイオマスエナジー株式会社様から多大なるご協力とアドバイスをいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鮫島正浩：「バイオマスとそのエネルギー利用と現状の未来」、第50回中部化学関係学協会支部連合秋季大会講演予稿集、2019、111
- 2) 安鐵朱、赤松忠光、笹内謙一、谷口美希：「熱分解ガス化による小型バイオマスガス化発電システムの開発」、日本燃焼学会、第49巻、2007、150号、228-229
- 3) 笹内謙一：「木質バイオマス小規模ガス化発電その現状と課題」、バイオマス産業社会ネットワーク第155回研究会 講演資料、P22の図を参照