小規模木質系バイオマス CGS の導入効果に関する研究

STUDY ON EFFECT OF SMALL SCALE WOODEN BIOMASS CO-GENERATION SYSTEM

高口洋人 — * 1 小谷健司 — * 2
杉崎 聡 — * 2

Hiroto TAKAGUCHI — * 1 Kenji KOTANI — * 2
Satoshi SUGISAKI — * 2

キーワード：
木質系バイオマス, 小規模コージェネレーションシステム,
省エネルギー

Keywords:
Wooden biomass, Small scale Co-Generation System, Energy saving

This paper reports the results of small scale wooden biomass Co-Generation System (we call it WBCGS) that had been introduced into S Prefecture T city in 2007. WBCGS uses LPG to start the gas engine and produce heat and electricity sent to the demand side. The fuel of the engine is a wood chip. The raw material of the wood chip is local thinned wood, forest reminder material, and mill ends. As the result of the yearly total efficiency was 62.9%, the power generation efficiency was 10.6%, and thermal efficiency was 52.3%. After WBCGS had been introduced, 101 t- CO₂ a year was reduced 88.6% has been reduced compared with conventional system.

1. はじめに

発展途上国での石油消費が急増している中、すでにオイルピークは過ぎたとも言われており、脱化石燃料社会の構築が強く求められている。そのためにはあらゆる局面で再生可能エネルギーを供給することが必要である¹⁾。なかでも、特に間伐材などの森林資源を活用した木質系バイオマスを原料とした熱利用や発電は、森林再生や地場産業の振興、カーボンニュートラルの立場からも注目され、低炭素循環型社会を構築するうえで、今後さらに増加すると考えられている。NEDO が発表している文献²⁾³⁾によると現在国内において木質系バイオマスでガス化発電を行っている施設は8箇所試験運転や運転中止の施設を除外すると5箇所ほどしか存在しない。今後、木質バイオマス CGS(以下 WBCGS)の普及を進めるかどうかはこれら既存の施設の運転実績や導入効果を検証することは重要である。

そこで本報ではS県T市に平成19年に導入された小規模木質系バイオマス CGS(以下 WBCGS)の平成19年度実績を解析し、その導入効果について検証する。

2. 導入システム

2.1 供給対象施設の概要

表1に供給対象施設の施設概要、図1、図2にWBCGSのガス化炉とガスエンジンを示す。WBCGSは宿泊施設であるコテージや食堂、クラブハウスなどの有する市営のリクリエーション施設に導入されている。発電した電気は所内で消費されており一部売電を行っている。発生した熱は風呂、足湯の熱源として使用されている。このリクリエーション施設にはWBCGSのほかに、入浴施設やトイレからの排水を処理するための排水処理施設、太陽光発電システム、市内の学校給食や家庭の使用済みてんぷら油をリサイクルしてバイオディーゼル燃料を製造する工場がある。この施設は小・中学生の環境学習プログラムとしても活用されている。平成20年3月には発電所の

図1 ガス化炉

図2 ガスエンジン

表1 供給対象施設の施設概要

No.	名称	階数	延べ床面積	用途	冷暖房設備	
					使用エネルギー	設置場所
1	クラブハウス	2	1,300㎡	事務所、食堂	電気	1階、2階和室、休憩所など
2	コテージ(6人用)	2	50㎡×5棟	売店浴室	LPG	食堂、厨房、玄関ホールなど
3	コテージ(9人用)	2	70㎡×6棟	宿泊施設	LPG(冷房)、電気(暖房)	
4	発電所	1	180㎡	宿泊施設	LPG(冷房)、電気(暖房)	
5	体育館	1	1,000㎡	体育施設		
小計			3,150㎡			

表2 WBCGSの設計値

方式	木材チップを燃料とするガスエンジンCGS	
仕様 (設計値)	発電端出力	115kW(発電効率23%)
	送電端出力	100kW
	総回収熱量	966MJ/h(回収効率50%)
	有効利用熱量	629MJ/h
	木質バイオマス使用量	125kg/h, 1.5t/日, 450t/年
想定運転時間	12時間/日, 300日/年	

排熱を利用したクロレラ栽培所も建設されている。尚これらはWBCGSの供給対象先には含まれない。

2.2 木質系バイオマス CGS

表2にWBCGSの設計値を示す。供給対象施設の営業時間に合わせ、1日約12時間、年間約300日運転するものと想定され、電気と温水を供給する。設計値での発電効率は23%、熱回収効率は50%である。また燃料となる木材チップは450t/年(1.5t/日)を使用することを想

¹⁾ 早稲田大学理工学術院 准教授・博士(工学)
(〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 55N705)
²⁾ 早稲田大学創造理工学研究科 修士課程

¹⁾ Assoc. Prof., Faculty of Science and Engineering, Waseda Univ., Dr. Eng.

²⁾ Graduate Student, School of Creative Science and Engineering, Waseda Univ.

定しており、その原料は地場産の間伐材、森林残材、製材所の端材などから成り立っている。

2.3 導入システム

図3にWBCGSシステム図を示す。木材チップはストックヤードからクレーンにより乾燥機に運ばれる。乾燥機ではほぼ絶乾に近い状態にしてガス化炉に投入される。ガス化炉にて約1100度でチップのガス化を行う。この可燃性のガスを利用してガスエンジンを回して発電、排熱を回収し埋設配管を通じて供給対象施設へ送られる。電気は各施設に送られる。温水は熱交換を行い、一度貯湯槽へ送られた後、施設内の風呂や足湯に供給されている。それ以外の利用方法として温水を熱交換し、木材乾燥機用の温風として使われている。電気は施設内消費がほとんどであるが、一部売電も行っている。夜間は電力消費量が少ないので運転を停止をし、電力会社から購入している。

3. 運転状況

3.1 一日の運転状況

図4に平成19年4月1日の運転状況(INPUT)、LPGと木材チップ燃焼量を示す。図5に平成19年4月1日の運転状況(OUTPUT)、発電量と回収熱量とWBCGSの総合効率を示す。なおここでの総合効率は1式と定義している。

$$E_T = \frac{E_G + H_w + E_H}{W_B + L_P} \times 100 \quad \dots\dots 1 \text{式}$$

E_T : 総合効率(%) W_B^{*1} : 木材燃焼量(MJ) L_P : LPG使用量(MJ)
 E_G : 発電量(MJ) H_w : 温水供給量(有効利用熱量)(MJ)
 E_H : 排熱(木材乾燥機用)(MJ)

この日は10時にLPGを使用しガスエンジンを起動させ運転を開始する。20時にエンジンは停止させているため電気と排熱は回収されないが、ガスエンジンに溜まったタールを燃焼させるために22時にLPGを使用する。また温水は11℃の市水を80℃に加熱して供給している。1日で木材チップ約1232kgを48回に分けて使用している。終日の総合効率は74.2%、発電効率は12.7%、有効利用熱量と排熱を合わせた総熱回収効率は61.5%である。この日最も効率がよかったのは11時～12時の1時間で総合効率は92%、発電効率は23%、熱回収効率は69%である。起動時はLPGを余熱用として使用するため総合効率は低くなる。起動して1時間後はLPGの使用による熱が残っているためか最も効率が良くなる。

3.2 各季節での運転状況

3.2.1 中間期の運転状況

図6に中間期(平成19年4月1日～4月30日)の運転状況を示す。総合効率は67.8%、発電効率は12.5%、熱回収効率は55.3%であった。稼働日数は24日間で、月間積算発電量は72,954MJで月間積算回収熱量は326,957MJであった。4月6日、4月9日の2日間は発電量が非常に低い。この理由は両日とも管理上の問題から2時間ほどの夜間運転のみしか行えなかったことが原因である

図3 WBCGSシステム図

図4 平成19年度4月1日の運転状況(INPUT)

図5 平成19年度4月1日の運転状況(OUTPUT)

3.2.2 夏季の発電状況

図7に夏季(平成19年8月2日～8月31日)の運転状況を示す。総合効率は61.1%、発電効率は11.0%、熱回収効率は50.1%であった。稼働日数は26日間で月間積算発電量は61,916MJで月間積算回収熱量は283,478MJであった。8月2日、3日、5日、21日、26日は稼働時間が短いため発電量、回収熱量ともに低い。

3.2.3 冬季の発電状況

図8に冬季(平成19年1月3日～1月29日)の運転状況を示す。月間総合効率は63.4%、発電効率は10.6%、熱回収効率は52.8%であった。稼働日数は24日間で月間積算発電量621,22MJで月間積算回収熱量は311,240MJであった。1月18日は稼働時間が短いため発電量、回収熱量ともに低い。

図6 中間季(平成19年4月1日～4月30日)運転状況

図7 夏季(平成19年8月2日～8月31日)運転状況

図8 冬季(平成19年1月3日～1月29日)運転状況

図9 年間(平成19年4月1日～平成20年3月31日)運転状況

表3 WBCGS実績値(総合効率の補正值、月間積算発電量、月間積算回収熱量)

月	補正值	実績値				INPUT				OUTPUT				買電量 (MJ)	灯油消費量 (MJ)
	総合 効率	総合 効率	発電 効率	熱回収 効率	有効利用 熱回収効率	LPG使用量 (m³)	LPG使用量 (MJ)	チップ使用量 (kg)	チップ使用量 (MJ)	月間積算 発電量(MJ)	月間積算 回収熱量(MJ)	有効利用 熱量 (MJ)			
平成19年4月	69.4%	67.8%	12.5%	55.3%	9.1%	270	28,026	34,527	548,626	72,954	326,957	52,644	36,029	108,632	
5月	65.9%	64.8%	12.2%	52.5%	5.9%	223	23,151	27,399	434,610	56,995	244,487	27,182	49,766	51,380	
6月	64.3%	62.9%	11.5%	51.5%	4.9%	237	24,630	28,150	419,494	53,658	231,711	21,963	49,421	88,814	
7月	62.1%	67.2%	12.4%	54.9%	3.1%	196	20,364	30,386	433,050	51,131	230,570	14,045	58,752	48,811	
8月	62.9%	61.1%	11.0%	50.1%	4.3%	277	28,758	34,945	519,925	61,916	283,478	23,515	67,327	44,627	
9月	62.7%	62.3%	10.2%	52.1%	4.6%	198	20,616	32,549	468,384	50,058	256,569	22,377	47,866	49,545	
10月	63.2%	63.2%	9.8%	53.4%	4.3%	88	9,179	37,196	519,994	51,444	282,944	22,946	38,167	106,430	
11月	59.5%	57.3%	8.8%	48.5%	3.2%	260	27,046	32,251	435,508	42,466	232,597	14,843	42,012	48,701	
12月	60.9%	60.6%	9.2%	51.3%	3.7%	176	18,329	29,975	449,429	43,279	241,807	17,092	47,282	91,750	
平成20年1月	63.7%	63.4%	10.6%	52.8%	5.2%	231	23,961	39,904	562,049	62,122	311,240	30,216	39,506	150,470	
2月	65.9%	65.0%	10.7%	54.3%	7.1%	193	20,036	34,942	484,273	54,623	277,794	35,658	39,247	91,934	
3月	61.5%	59.4%	8.7%	50.7%	5.1%	259	26,911	28,193	440,856	43,110	244,416	23,988	44,518	135,790	
年間合計	63.6%	62.9%	10.6%	52.3%	5.1%	2608	271,006	390 t	5,716,197	643,756	3,164,570	306,471	559,894	1,016,884	
					月平均	217	22,584	33t	476,350	53,646	263,714	25,539	46,658	84,740	
					一日平均	10	1,000	1.44t	1,758	2,375	11,677	1,131	2,066	3,752	

3.3 年間運転状況

図9に平成19年の年間(平成19年4月1日～平成20年3月31日)運転状況を示す。年間運転日数は271日で年間総合効率は62.9%、発電効率は10.6%、熱回収効率は52.3%であった。設計値と比べて発電効率は低く、熱回収効率は高くなる結果となった。

3.4 WBCGS 実績値

表3にWBCGSの実績値(総合効率の補正值、月間積算発電量、月間積算回収熱量など)を示す。図10で総合効率が著しく低い日があるが、この原因は供給対象施設の管理上の問題で運転時間が確保できなかったり、月ごとに木材チップの形状を変えていたりしているからである。そのため、その日を除外した総合効率の補正值を算出した。補正值では年間総合効率は63.6%となった。また回収熱量のうちの風呂や足湯に利用された割合、有効利用熱回収率は5.1%となっており、熱は木材乾燥機での乾燥用温風に使われる割合が高いことがわかった。

3.5 年間エネルギー消費量と発電量、発生熱量の関係

図10に供給対象施設の月ごとのエネルギー消費量とWBCGSの生成エネルギーの関係を示す。正の数はチップ燃焼量、灯油消費量、LPG消費量、電力消費量は供給対象施設でのエネルギー消費量で、負の数はWBCGSによって生成された有効利用熱量、発電量で供給対象施設にて利用されたエネルギー量である。供給対象施設が年間消費エネルギーは、8,374GJ/年でWBCGSによる有効利用熱量、発電量は、678GJ/年であった。これは全体の8.1%を占めている。

図10 エネルギー消費量と利用エネルギーの関係

4. WBCGS システム導入効果

4.1 CO₂削減効果算出方法

図11に従来システム図を示す。従来システムではWBCGSで生成された電気と風呂、足湯の熱源に利用された熱量を商用電力とLPGボイラーで賄うものとし、WBCGSを稼働する際に発生するCO₂排出量と比較を行った。表4、表5、従来システム、現状のCO₂換算表を示す。木質チップの燃焼によるCO₂排出量は、カーボンニュートラルの観点から算入していない。

図11 従来システム図

表4 比較システム CO₂換算表⁵⁾

	MJ	排出原単位 (kg-CO ₂ /MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	合計 (kg-CO ₂)
買電	559,894	0.1540	86,224	124,750
LPG使用量	787,856	0.0489	38,526	
チップ熱量	0	0	0	

表5 現状 CO₂換算表⁵⁾

	MJ	排出原単位 (kg-CO ₂ /MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	合計 (kg-CO ₂)
LPG使用量	271,006	0.0489	13,252	13,252
チップ熱量	0	0	0

図12 CO₂排出量変化

4.3 CO₂削減効果

図12にCO₂排出量変化を示す。WBCGS導入後は従来システムと比較して109t-CO₂削減し、88.6%削減したことになる。

5. 総括

- ・WBCGSの実績値として年間運転日数は271日、年間木材チップ使用量は390tで、1日あたり木材チップ使用量は1.44tあった。
- ・WBCGSの年間総合効率は62.9%、発電効率は10.6%、熱回収効率は52.3%であり、供給対象施設が年間消費エネルギーは、8,374GJ/年でWBCGSによって生成されたエネルギーは、678GJ/年であった。
- ・WBCGS導入後は従来システムと比較して109t-CO₂削減し、88.6%削減したことになる。

謝辞

本報を執筆するにあたり対象施設のクラブハウス、発電所、市役所の方々に大変お世話になりました。記して感謝致します。

注

*1 参考文献2)のpp.46に記載されている表3.2.2-2 木質バイオマスの含水率と低位発熱量(LHV)設定値を使用して近似式を作成して含水率と燃料使用量を乗じたもの。 $0.1433x^2 - 42.125x + 4800$ (Xは乾基準含水率)

参考文献

- 1) 杉崎聡, 高口洋人: 東京都23区における街路樹・公園剪定枝発生量とその有効利用に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.737~738, 2008年度
- 2) NEDO: バイオマスエネルギー導入ガイドブック, 2005年9月
- 3) NEDO: 新エネニッポン, 2007年3月
- 4) みずほ総研株式会社: バイオマエネルギー導入支援データベースの構築調査 調査報告書, pp.43~56, 2007年
- 5) 環境省: 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令, 2007年

[2009年10月20日原稿受理 2010年3月6日採用決定]