

Team Biomass 過熱水蒸気式ガス化発電システムの LCA 解析

担当者

岩見拓馬 (M1) 織田のどか (B4) 平石祐介 (B4)

2013 年度 班紹介資料

1. 緒言

循環型社会の構築に向け、廃棄物の利用が注目されている。都市から排出される廃棄物のエネルギー転換により、エネルギー自立が可能となる。しかしながら、廃棄物は広域に分散しており、発熱量が低い。そのため、収集運搬から発電工程までについて Life Cycle Assessment(LCA)を用いて包括的に評価する必要がある。

そこで本研究では、廃棄物系バイオマスを用いたガス化発電システムの構築を目的とした。本報では1万人規模の都市を対象としてコスト、エネルギー収支および二酸化炭素(CO2)排出量を評価した。

2. 研究概要

2.1 過熱水蒸気式ガス化発電システム

システムの概略を Fig.1 に示す。本報では、収集運搬、乾燥、粉碎、ガス化および発電行程を考慮し、ガス化装置には過熱水蒸気式を採用した。ボイラー燃料として優先的に乾留ガス(Dry distillation gas)を用いる場合および都市ガスを用いる場合を想定した。

2.2 機器特性、エネルギー量および CO2 排出係数

粉碎機の仕様を Table 1 に、ガス化装置の仕様を Table 2 に、ガスエンジンの仕様を Table 3 に示す。使用した燃料および電力のエネルギー量ならびに CO2 排出係数を Table 4 に示す。

2.3 解析条件

本報で想定した解析条件を Table 5 に示す。廃棄物の種類および量による影響を把握するため、Case1 ではリサイクル後の廃棄物、Case2 ではリサイクル前の廃棄物、Case3 は Case1 に糞尿を加えた場合を想定している。各 Case についてコストが最小となる処理速度を算出し、エネルギー収支および CO2 排出量の比較を行った。本システムにおいて使用する電力はガスエンジンにより発電した電力を用いること、排熱はボイラーに使用することを想定した。

2.4 評価手法

年間の総コストとして行程におけるコストの和から売電コストを減算した値を用いた。各行程にお

けるコストの内訳は設備コスト、保守コストおよび燃料コストである。算出式を下記に示す。

$$C_{total} = C_{col} + C_{chip} + C_{dry} + C_{gas} + C_{CHP} + C_{labor} - C_{sell}$$

C_{total} : コスト [yen/year], C_{col} : 収集運搬コスト [yen/year], C_{chip} : 粉碎コスト [yen/year], C_{dry} : 乾燥コスト [yen/year], C_{gas} : ガス化コスト [yen/year], C_{CHP} : 発電コスト [yen/year], C_{labor} : 人件コスト [yen/year], C_{sell} : 売電コスト [yen/year]

年間のエネルギー消費量として各工程におけるエネルギー消費の和から売電量を減じた値とした。算出式を下記に示す。

$$E = E_{CGS} + E_{gas} + E_{dry} + E_{chip} - E_{gene}$$

E : エネルギー消費量 [MJ/year], E_{CGS} : ガスエンジン CGS に使用するエネルギー量 [MJ/year], E_{gas} : ガス化時に使用するエネルギー量 [MJ/year], E_{dry} : 乾燥時に使用するエネルギー量 [MJ/year], E_{chip} : 粉碎時に使用するエ

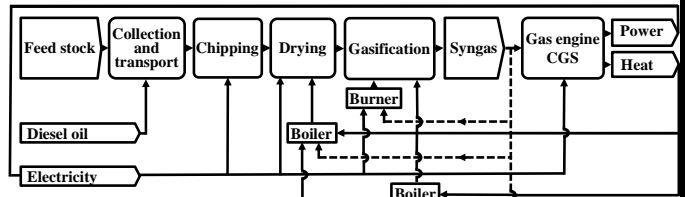


Fig.1 Process diagram of the study

Table 1 Specifications of chipping machine

Intended waste biomass	Energy consumption [Wh/kg]	Machine cost [JPY]	Durable years [year]
Garbage	7.1	2,000,000	2
Plastic	44	3,500,000	2
Wood	2.2	10,000,000	2

Table 2 Specifications of gas engine cogeneration system

Power generation capacity of Gas engine CGS	[kW]	35
Power generation efficiency	[%]	34
Heat recovery efficiency	[%]	50
Machine cost	[JPY]	11,794,000
Durable years	[year]	15

Table 3 Specifications of superheated steam gasification

Temperature of superheated steam	[°C]	800
Processing speed	[kg/h]	30-5000
Cold gas efficiency	[%]	85
Efficiency of boiler for gasification	[%]	84
Machine cost	[JPY]	56,920,000-1,723,550,000
Durable years	[year]	15

Table 4 Energy value and CO2 emission coefficient

Energy	Energy value	CO2 emission coefficient
Diesel oil	38.2 [GJ/m3]	0.0687 [kg-CO2/MJ]
City gas (L3A)	45.0 [MJ/Nm3]	0.0509 [kg-CO2/MJ]
Electricity	3.6 [MJ/kWh]	0.550 [kg-CO2/kWh]

Table 5 Analysis conditions

Case	1	2	3	
Regional data	Population [-]	10,000		
	Area [km2]	30		
	Population density [-/km2]	333.3		
Feed stock [×10 ³ kg/year]	Garbage	1,105	1,171	1,105
	Paper	910	1,307	910
	Plastic	249	318	249
	Vegetation	292	309	292
	Excrement	0	0	6,339
	Total	2,556	3,105	8,895
Boiler fuel	City gas / Dry distillation gas			
Operation hours [h/day]	2-24			

エネルギー量[MJ/year] , E_{sell} : 売電量[MJ/year]

年間のCO2排出量として各行程におけるCO2排出量の和から売電分を削減量として減算した値を用いた。算出式を下記に示す。

$$CO2 = CO2_{col} + CO2_{chip} + CO2_{dry} + CO2_{gas} + CO2_{CGS} - CEC_{ele} \cdot E_{sell}$$

$CO2$: CO2 排出量[kg-CO2/year], $CO2_{col}$: 収集運搬工程における CO2 排出量[kg-CO2/year], $CO2_{chip}$: 粉碎工程における CO2 排出量[kg-CO2/year], $CO2_{dry}$: 乾燥工程における CO2 排出量[kg-CO2/year], $CO2_{gas}$: ガス化工程における CO2 排出量[kg-CO2/year], $CO2_{CHP}$: 発電工程における CO2 排出量[kg-CO2/year], CEC_{ele} : 全電源平均の CO2 排出係数[kg-CO2/MJ]

3. 結果および考察

3.1 処理速度の決定

ガス化装置の処理速度を増加させるとガス化、発電コストが指数関数的に増加し、人件費は比例して減少する。そのため、総コストには最小値が存在する。本報では各 Case において総コストが最小となる処理速度で稼働させた場合のコスト、エネルギー収支および CO2 排出係数を評価する。各 Case の最適な処理速度および稼働時間を Table 6 に示す。

3.2 コストの評価

Table 5 より廃棄物量は Case1-3 の順で増加しており、スケールメリットが得られるため、廃棄物 1kg 当たりの年間コストは Case1-3 の順で減少する。

3.3 エネルギー収支の評価

ボイラー燃料として都市ガスを使用する場合 Case1 および Case2 からほぼ同様の結果が得られたのに対し、Case3 から乾燥工程の消費エネルギーが高く、売電量が低い結果が得られた。これは含水率の高い糞尿を加えたため、乾燥エネルギーが膨大となったためである。また、廃棄物における重量当たりのエネルギー量が減少したためである。

乾留ガスを使用する場合、Case1 および Case2 からほぼ同様の結果が得られたのに対し、Case3 では乾燥エネルギーが高い結果が得られた。これは乾燥エネルギーが膨大であるため、乾留ガスのみで賄えなかったためである。

3.4 CO2 排出量の評価

都市ガスを利用する場合 Case1 および Case2 はほぼ同様の結果が得られたが、Case3 は Case1 および Case2 に比べ低い値となっている。これは、スケールメリットによるものである。

乾留ガスを使用する場合すべての Case においてほぼ同様の結果が得られた。これは、Case3 はスケール

Table 6 Optimal processing speed and operating time of each case

Case	1		2		3	
Boiler fuel	City gas	Syngas	City gas	Syngas	City gas	Syngas
Processing speed [kg/h]	390	580	450	590	680	990
Operating time [h/day]	10.2	6.9	11.2	8.5	12.2	8.4

メリットを得られたが、乾燥エネルギーが膨大となったため、相殺され同等の値となったためである。

ボイラー燃料として都市ガスを利用する場合、乾留ガスを利用する場合と比較して CO2 排出量が高くなっている。これは廃棄物の CO2 排出係数が都市ガスの CO2 排出係数と比べて低いためである。

4. 結言

本報では 1 万人規模の都市について過熱水蒸気ガス化発電システムの LCA をおこなった。以下に得られた知見を示す。

- (1) 廃棄物の増加に伴い、廃棄物 1kg 当たりのコスト、エネルギー収支および CO2 排出量が減少する。
- (2) 含水率の高い糞尿を加えると 1kg 当たりの処理コストは削減するが、エネルギー消費量は増加し、CO2 排出量はほぼ横這いになる。
- (3) CO2 排出量においてボイラー燃料として都市ガスを利用する方が CO2 排出量を抑制可能である。

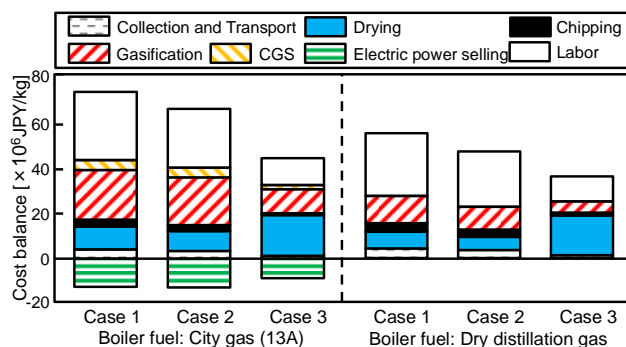


Fig.2 Cost balance at optimal processing speed

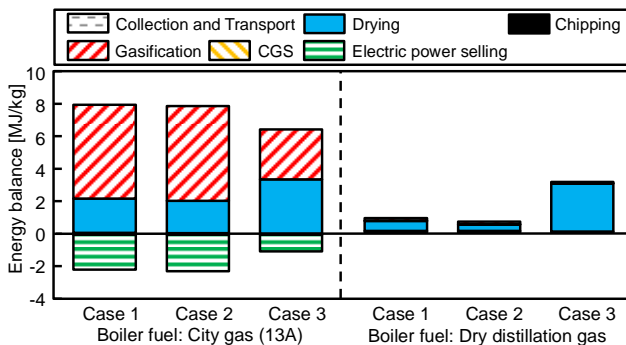


Fig.3 Energy balance at optimal processing speed

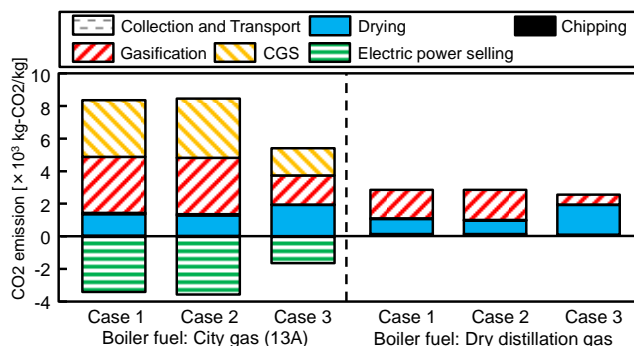


Fig.4 CO2 emission at optimal processing speed