



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ダウンドラフト型ガス化炉を用いた木質バイオマスのガス化
Author(s)	山崎, 高; 高津, 宏和; 山形, 定 他
Description	第12回衛生工学シンポジウム (平成16年11月4日 (木) -5日 (金) 北海道大学クラーク会館) . 一般セッション . 5 廃棄物処理とリサイクル . 5-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 12, 153-156
Issue Date	2004-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/1253
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-4_p153-156.pdf



5-4 ダウンドラフト型ガス化炉を用いた木質バイオマスのガス化

○山崎高, 高津宏和, 山形定, 村尾直人, 太田幸雄 (北海道大学工学部)
椎谷悟, 大場龍夫 (株)森のエネルギー研究所

1. はじめに

バイオマスのエネルギー利用が CO₂ 排出量削減対策として注目されている。バイオマスのエネルギー変換技術の一つであるガス化は、バイオマスを熱化学的プロセスにて CO, H₂, CH₄ などを含む生成ガスに変換するものである。生成ガスはボイラー・内燃機関・ガスタービン・燃料電池などに適用され、電気へと変換される。1970年代初頭のオイルショック以降、バイオマスガス化発電を商業化する動きが高まるにつれ、バイオマスガス化発電プラントが欧米を中心に世界中で建設・稼働されてきた¹⁾。しかし現在、商業的に稼働しているプラントはデンマーク・Harboøre のものが唯一である²⁾。バイオマスガス化が商業的に成立しにくい原因として、バイオマスガス化の際に不純物として発生するタールがプラント操作に悪影響を与えること、またタールを処理するためのコストが運転資金を逼迫させることが挙げられる。

研究レベルでは、タールの削減・除去に関する研究が数多く行われてきた。ガス化炉から排出されたタールを化学反応や機械的操作によって削減・除去する方法については多くの研究報告がある一方、ガス化炉内で生成する量自身を減らす方法(運転条件, 炉内構造, 炉内への触媒添加)はまだわかっていないことも多い³⁾。そこで本研究では実験室規模のバイオマスガス化発電装置を用い、木質バイオマスガス化の際にガス化炉内で発生するタールの挙動を研究した。

2. 実験装置・手順の概要

ガス化発電システムと原料

実験に使用した木質バイオマスガス化発電装置のシステム概略図を図1に、概観図を図2に示す。炉内圧力は常圧、ガス化剤には空気を使用した。炉のスタートアップ操作を行ったのち、3.0-6.7m³/hr の範囲内で一定流量の空気をガス化炉に供給した。原料にはトドマツチップを使用した。トドマツチップの特性を表1に示す。

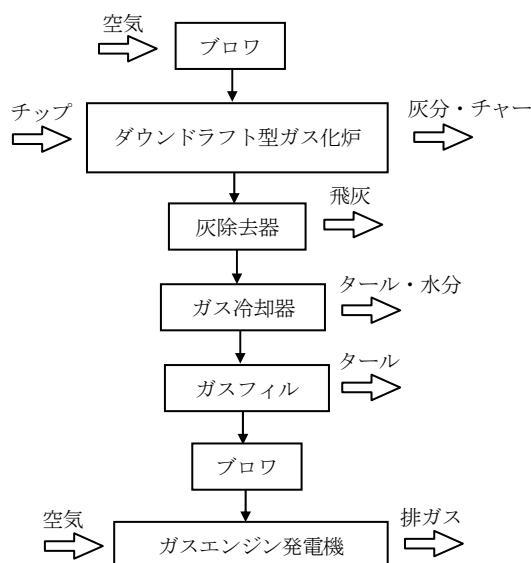


図1 ガス化発電装置システム概略図



図2 ガス化発電装置概観図

生成物測定

図2に示すようにガス化炉出口付近にサンプリング孔を設け、生成ガス・水分・タール・粒子のサンプリングを行った。チャー・灰分は実験終了後に、ガス化炉から取り出した。

生成ガスは、GC-TCD(GC-14A, 島津製作所; カラム:Active carbon 30/60; キャリアーガス:Ar)を用いてH₂, CO, CO₂, CH₄, N₂のオンライン測定を行った。水分量は、無水塩化カルシウムを充てんした吸湿瓶にタール分を除去した生成ガスを吸引して、測定前後の吸湿瓶の重量差から求めた。

タールおよび粒子の測定にはガイドラインに準じたサンプリングシステム(図3)を用いた⁴⁾。等速吸引でサンプリングを行うよう生成ガス流量の値からサンプリング流量を計算し、3分毎にサンプリング流量を調節した。フィルターには石英製円筒ろ紙、インピンジャー中の溶媒には2-プロパノールを使用した。サンプリング終了後、ソクスレー抽出器を用いて、円筒ろ紙中のタールを抽出した。この抽出溶液をインピンジャー中の溶液に加え合わせた後、ロータリーエバポレーターで溶液中の溶媒除去操作を行い、残渣分の重量測定からタール重量濃度を求めた。タール中の各成分の測定には、GC-FID(HP5890 Series II, Hewlett-Packard; カラム:HP-1, HP-5; キャリアーガス:H₂)を使用した。また、抽出操作を終了した円筒ろ紙を加熱処理して溶媒を除去したのち、円筒ろ紙の重量測定を行い粒子濃度を求めた。

表1 原料(トドマツチップ)の主な特性

サイズ [mm]	20×20×5
含水率 [%]	9-13
工業分析 [wt%, db]	
揮発分	79.3
固定炭素	20.4
灰分	0.3
元素分析 [wt%, db]	
C	51.0
H	5.7
O	43.0
N	0.0
Ash	0.3
高位発熱量 [MJ/kg]	21.2

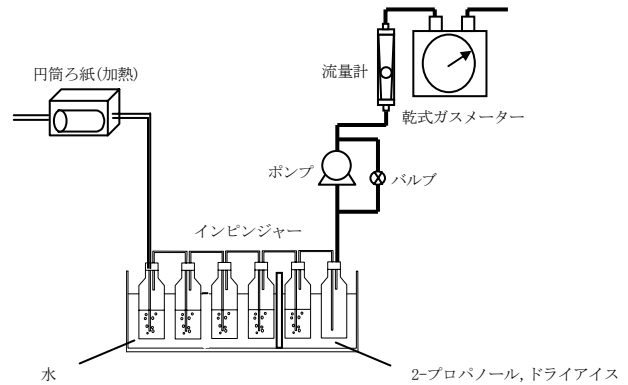


図3 タール・粒子サンプリングシステム

3. 結果と考察

実験条件

表2 実験条件

	実験名						
	A	B	C	D	E	F	G
空気流量 [m ³ /hr]	3	3.3	3.6	4.3	4.7	6	6.7
実験時間 [min]	50	50	50	35	30	25	20
入量 [kg]							
バイオマス	1.46	1.32	1.66	1.29	1.28	1.50	1.25
水分	0.17	0.16	0.17	0.16	0.19	0.20	0.17
O ₂	0.69	0.75	0.83	0.69	0.65	0.68	0.61
N ₂	2.27	2.47	2.74	2.26	2.14	2.24	2.02
合計	4.59	4.70	5.40	4.40	4.26	4.63	4.05
出量 [kg]							
ドライガス	3.76	3.83	4.88	4.05	3.82	4.01	3.25
水分	0.44	0.54	0.47	0.39	0.47	0.57	0.52
タール	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05
チャー	0.08	0.05	0.06	0.02	0.02	0.03	0.02
粒子, 灰分	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
合計	4.30	4.45	5.43	4.48	4.33	4.64	3.83
炉内平均温度(酸化部) [°C]	671(±84)	672(±80)	792(±105)	938(±96)	no data	995(±81)	970(±76)
ガス生成速度 [m ³ _N /hr]	4.19	4.41	5.68	6.60	7.66	9.78	10.24
空塔速度 [m/s]	0.30	0.32	0.41	0.48	0.55	0.71	0.74
当量比 [-]	0.34	0.41	0.36	0.39	0.37	0.33	0.36
マスバランス [-]	0.94	0.95	1.01	1.02	1.02	1.00	0.95

計 7 回の実験の実験条件・結果を表 2 に示す。空気流量を 3.0~6.7m³/hr としてガス化実験を行った際の炉内酸化部の平均温度は 671~995℃、空塔速度(ガス流量を炉内の最も狭まった部分の面積で割った値)は 0.30~0.74m/s であった。空気流量の増加とともに炉内温度・空塔速度は増加した。当量比(原料の完全燃焼に必要な酸素量に対する供給した酸素の割合)は 0.33~0.41 であった。

ガス化炉運転状況

ガス化炉運転状況を示す一例として、実験 C におけるガス流量およびガス成分の時間変化を図 4 に示す。生成ガスの量・質は時間によらずほぼ安定しており、ガスエンジンを作動することが可能であった。平均ガス組成はドライベースで H₂:11%; CO:19%; CO₂:13%; CH₄:2%; N₂:55% であった。ガス発熱量は 4.2MJ/m³_N であり、冷ガス効率は 56% であった。

ガスエンジン前段でのタールサンプリングによって求めたタール濃度は 0.3~0.4g/m³_N であり、エンジンのタール耐用濃度基準(0.1g/m³_N)⁵⁾を満たしていなかった。実際、エンジン付属のエアフィルターによってタールが除去されることでエンジンは作動可能であったが、ガス化炉運転毎にエアフィルターの洗浄が必要であった。

タール・粒子の生成量変化

図 5 には空気流量を変えた際のタール収率変化を示す。タール収率は空気流量 3.6m³/hr で最小 1.0%、6.7m³/hr で最大 3.8% をとった。一般に、炉内が高温度であるほどタール生成量は減少することが知られている¹⁾が、本研究で得られた結果は炉内が高温度の際にタール生成量が大きいことを示している。これは、高流量

では空塔速度が大きく、滞留時間が短縮したためタールが十分にクラッキングされないこと、タールが炉内高温部以外を通過するバイパス現象が起きていることによるものと考えられる。

次にタールの成分について示す。図 6 は、各実験で得られたタール中の化合物を重量比率で表記したものである。タールの主要成分は、トルエン、フェノール、クレゾール、インデンなどの単環芳香族とナフタレンであった。空気流量の変動によるタール組成に顕著な変化は見られなかったが、個々の成分に着目するといくつかの傾向が明らかになった。図 7 は、タールをベンゼン環の数で分類して各グループ(二環・三環・四環)をモル比率で示したものである。空気流量が増加するほど、三環・四環の芳香族が増えることがわかった。二環の芳香族の割合は、空気流量 3→5m³/hr の増加によって 15→20% に増加するが、四環の芳香族が増加し始める 5m³/hr 以上では、15~17% に減少した。この結果は、空気流量の増加による炉内温度の上昇で、低分子量の芳香族の縮合反応が起こり高分子量芳香族が生成されたと考えられる。図 8 には、空気流量別の粒子収率を示す。この図から空気流量の増加によって粒子収率が増加していることがわかる。ここで示す粒子は、飛灰、すす粒子などが考えられる。すす粒子の生成には 2 つの生成機構があり、1500℃ 以下の温度では芳香族環の縮重合によるものが主要であると考えられている⁶⁾。図 7・図 8 から、空気流量の増加は芳香族の縮重合反応を引き起こし、その結果、すすの生成量を増加させることが示唆される。

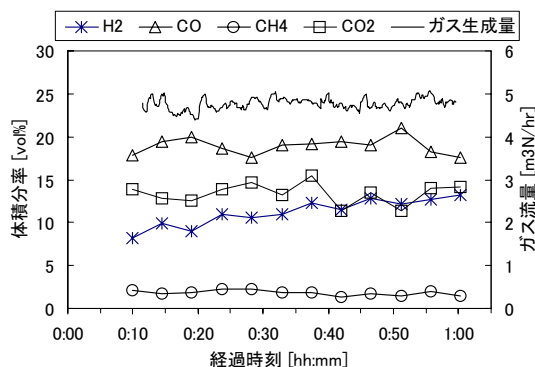


図 4 実験 C におけるガス成分組成とガス流量の時間変化

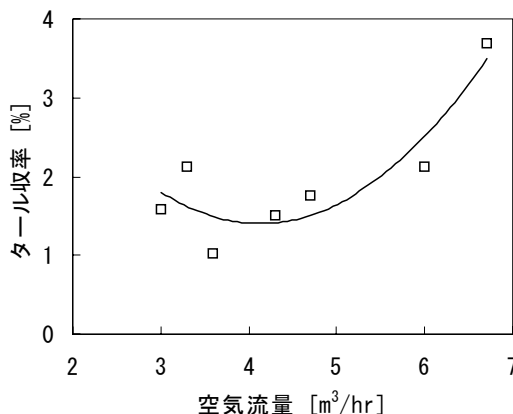


図 5 空気流量を変えた際のタール収率変化

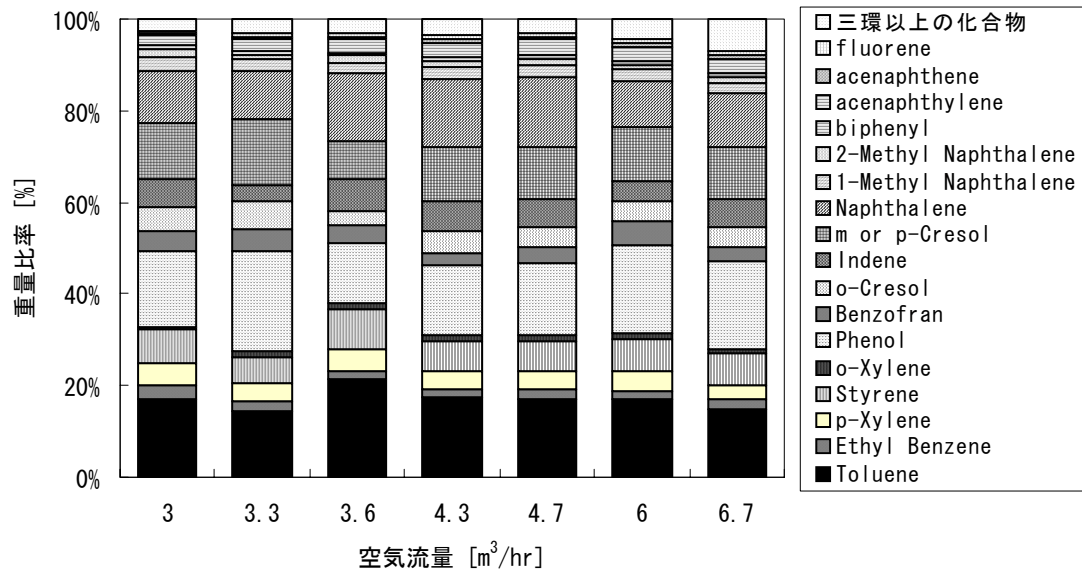


図6 タール成分の重量比率

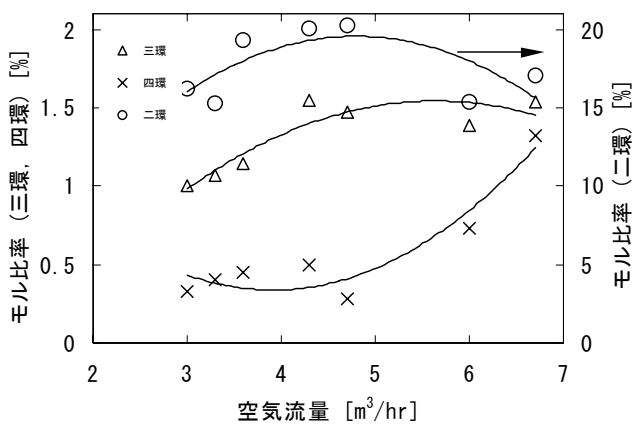


図7 二環・三環・四環芳香族のモル比率

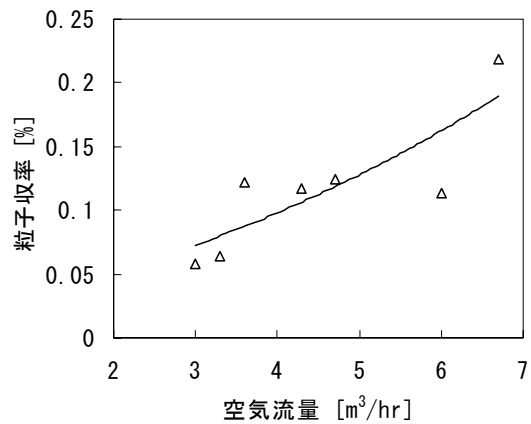


図8 空気流量を変えた際の粒子収率変化

4. まとめ

木質バイオマスガス化発電システムの開発・運転から以下の知見を得た。

- 空気をガス化剤としたダウンドラフト型ガス化炉では、空気流量が温度・滞留時間などの炉内条件を決定する操作パラメーターとなる。
- スタートアップ操作後は、調整を必要とせずに定常運転が可能である。
- タール量は原料1~4%にすぎないが、エンジンの運転に悪影響を与える。
- 製作したバイオマスガス化炉の最適空気流量は3.5~4.0m³/hr程度であり、それ以外の流量では炉内温度・滞留時間・バイパスの影響でタール生成量が増加する。
- 空気流量の増加によって、環境面への影響が懸念される高分子量の多環芳香族・すすの生成量が増加する。

参考文献

- 1) T. B. Reed, S. Gaur, A Survey of Biomass Gasification 2001 2nd edition, the Biomass Energy Foundation, 2001.
- 2) 長田容, 「デンマークの木質バイオマスガス化による熱電併給プラント」, 木質エネルギー 1, (2003), pp.11-14
- 3) L. Devi et. al., A review of the primary measure for tar elimination in biomass gasification process, BIOMASS & BIOENERGY, 24 (2003), pp. 125-140
- 4) Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases version 3.3. Energy project ERK6-CT1999-20002
- 5) Milne TA, Abatzoglou N, Evans RJ, Biomass Gasifier 'Tar': Their Nature, Formation, and Conversion, NREL/TP-570-25357, 1998.
- 6) C. A. Amann, D. C. Siegla, Diesel Particulates-What They Are and Why, Aerosol Science and Technology 1 (1982), pp. 73-101.