

屋久島の木質バイオマスのガス化装置開発に関する研究

名取 林太郎* 上村 芳三** 吉田 昌弘** 大角 義浩** 幡手 泰雄**

A STUDY ON DEVELOPMENT OF A GASIFIER FOR YAKUSHIMA WOODY BIOMASS

Rintaro NATORI, Yoshimitsu UEMURA, Masahiro YOSHIDA, Yoshihiro OHZUNO and Yasuo HATATE

Woody biomass gasification was carried out in a flash pyrolysis reactor. The gasifier was operated over a temperature range of 700-950°C. Two types of sample were studied. Firstly, only Japanese cedar was used. Secondly, a mixture of Japanese cedar and porous inorganic material were used. The main products from the woody biomass were gas, char and tar. The product gas obtained mainly consists of H₂, CO, CO₂ and CH₄. Whereas the product gas yields increased with increasing reactor temperature, char and tar yields were decreased with increasing temperature. When mixing porous inorganic material into woody biomass, tar yield was lower than that for the experiment corresponding without porous inorganic material. On the other hand, the product gas yield in case of porous material addition was higher than that for the experiment corresponding without porous inorganic material. The product gas yield increased with increasing the pore diameter of porous inorganic materials.

Keywords : biomass, gasification, fixed bed reactor, porous inorganic material

1. 緒言

20世紀後半は、大量消費、大量生産、大量廃棄による高度成長の時期として位置づけられる。このような成長の様式は、エネルギーを含む地下資源と環境容量の有限性がさし迫った問題として提起される現在、見直しを迫られている。1993年にリオデジャネイロで開催された地球サミットにおける採

択事項「アジェンダ21—持続可能な開発のための人類の行動計画—」において、「持続可能な社会」の構築に向けての課題が示された。それ以後、政治、経済、自然科学の各分野において、様々な取り組み成されている。「持続可能な社会」は、ゼロエミッション¹⁾の概念に基づいて、物質循環の度合いを可能な限り高めると同時に、化石エネルギーを太陽エネルギー起源の再生可能エネルギーに置き換えることにより達成が可能と考えられている。

我々は、「持続可能な社会」の先行例を示すことを目的に、屋久島の各種再生可能エネルギーのポテンシャルを見積もり、化石エネルギーから再生可能エ

2003年8月31日受理

* 博士前期課程応用化学工学専攻

** 応用化学工学科

エネルギーへの転換方法について検討してきた^{2,3)}。屋久島は1993年に世界自然遺産に登録され、また、水力のポテンシャルが大きいことでも知られている。

再生可能エネルギーの一つにバイオマスがある。バイオマス⁴⁾とは、太陽エネルギーを利用する光合成により固定された有機資源のことであり、エタノール、メタン、水素に変換され、エネルギーとして利用可能である。消費量については技術の進んでいる欧州や米国では一次エネルギーの約5%を占めているのに対し、日本では1%に満たないのが現状である。そこで、2010年までに現在の三倍まで引き上げる目標を掲げ、より高度なバイオマス技術⁵⁾（エタノール製造、ガス化）が必要となった。

本研究は、前述の屋久島における再生可能エネルギーの検討の一環として、屋久島の木質バイオマスをクリーンエネルギーとして注目されている水素に効率よく変換する装置の開発を目的とする。

2. 熱分解ガス化実験

バイオマスのみとバイオマスに無機多孔性物質を添加したものを使用し、2つの条件下で熱分解ガス化実験を行なった。

2.1 バイオマス

バイオマスは、屋久島から取り寄せた杉（太さ14.6cm、年輪の数31）を使用した。バイオマスの元素分析結果は表1に示す。表に示されていない未同定物質は、水分、酸素などと考えられる。

表1 バイオマス(杉)の元素分析結果(wt%)

C	32.25
H	3.78
N	0.15
Ash	36.10

2.2 無機多孔性物質

熱分解ガス化実験を行なうことによって生成するタールは、ガス化装置の配管やフィルターが詰まる原因になる。そのため、ガス化において生成することは好ましくない⁷⁾。そこで石油のクラッキング触媒に広く使用されている無機多孔性物質を添

加剤として使用し、タール生成量の減少を図った。多孔性物質には、アルミナ (Al_2O_3)、酸化チタン (TiO_2)、シリカ (SiO_2) を使用した。実験で使

表2 Al_2O_3 と TiO_2 の物性

物質	メーカー (名称)	比表面積 [m^2/g]	細孔容積 [ml/g]	平均細孔径 [nm]
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	—	—	—	—
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	PURAL	200	—	—
TiO-1	触媒学会 (参照触媒チタニア)	72.6	—	—
TiO-2		18	0.033	—
TiO-3		40	0.065	—
TiO-4		50	0.11	—
TiO-5		2.7	0.0044	—

表3 SiO_2 の物性

物質	メーカー (名称)	比表面積 [m^2/g]	細孔容積 [ml/g]	平均細孔径 [nm]
$\text{SiO}_2\text{-Q3}$	富士シリシア化学 (株)(多孔性シリカ)	636	0.46	2.9
$\text{SiO}_2\text{-Q6}$		517	0.85	6.6
$\text{SiO}_2\text{-Q10}$		283	1.22	10.0
$\text{SiO}_2\text{-Q15}$		230	1.22	15.1
$\text{SiO}_2\text{-Q50}$		88	1.23	47.4
$\text{SiO}_2\text{-Q20C}$		135	0.83	20.9
$\text{SiO}_2\text{-Q30C}$		94	0.85	30.1
$\text{SiO}_2\text{-Q40C}$		69	0.83	43.9
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$		247	1.06	—
$\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$		263	1.14	—

2.3 実験方法

実験は図1に示す回分式反応器を使用し、表4に示す実験条件で行なった。実験方法は以下に示す。

- 1) 電気ヒーターで反応器を熱分解温度⁶⁾まで昇温する。真空ポンプと N_2 で装置全体を N_2 雰囲気下にする。
- 2) バルブ①を閉め、バイオマスまたは、無機多孔性物質を混合したバイオマスを供給し、バルブ①より後方を N_2 雰囲気下にし、バルブ②を閉める。
- 3) バルブ①を開け、バイオマスを反応器内に落とす。生成ガスをテドラーバックで捕集し、ガス

クロマトグラフィーで分析する

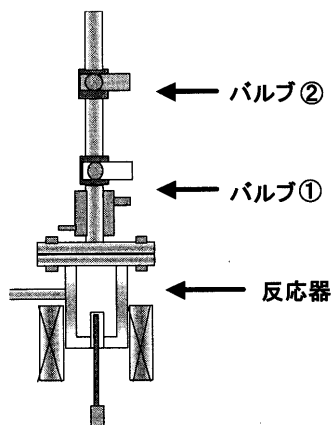


図1 回分式熱分解反応器

表4 熱分解ガス化実験条件

分解 (添加剤無し)	バイオマス	杉
	バイオマス粒径[mm]	0.25~0.6
	供給量[g]	0.4
	測定温度[°C]	700~950
分解 (添加剤有り)	バイオマス	杉
	バイオマス粒径[mm]	0.25~0.6
	供給量[g]	0.4
	無機多孔性物質[g]	0.4
分析	測定温度[°C]	700~950
	GCカラム	活性炭
	キャリアーガス	Ar
	測定対象ガス	H ₂ 、CH ₄ 、CO、CO ₂

3. 結果と考察

3.1 熱分解ガス化実験結果(添加剤無し)

表5に熱分解ガス化実験結果、図2に生成ガス組成図3に各気体の生成量を示す。

表5から熱分解温度が高温になるにつれて、ガス生成量が増加する傾向が見られた。またチャー、タールは逆の減少の傾向が見られた。

図2から低温で未同定ガスが多く発生したが、組成としては温度における変化はほとんどなかった。図3から各気体それぞれ、温度が上昇するにつれて増加する傾向が示された。

表5 熱分解ガス化実験結果

温度[°C]	バイオマス	生成物[wt%]			回収率 [%]
		チャー	タール	ガス	
700	杉	27.0	55.0	0.9	82.9
750	杉	24.3	49.5	3.0	76.7
800	杉	23.5	46.0	6.2	75.7
850	杉	21.8	42.0	6.6	70.4
900	杉	21.5	37.8	11.1	70.4
950	杉	18.8	36.0	14.3	69.1

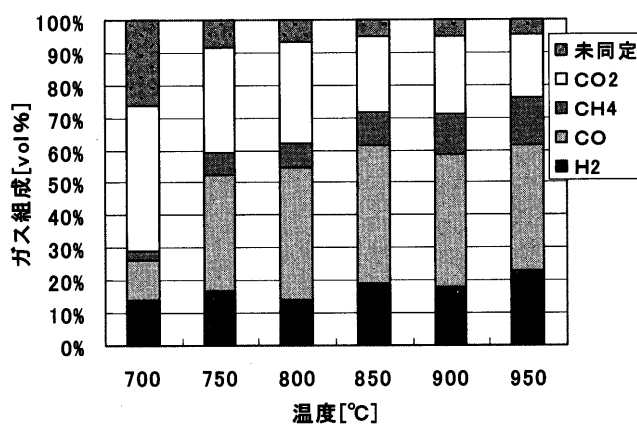


図2 各温度の生成ガス組成分析結果

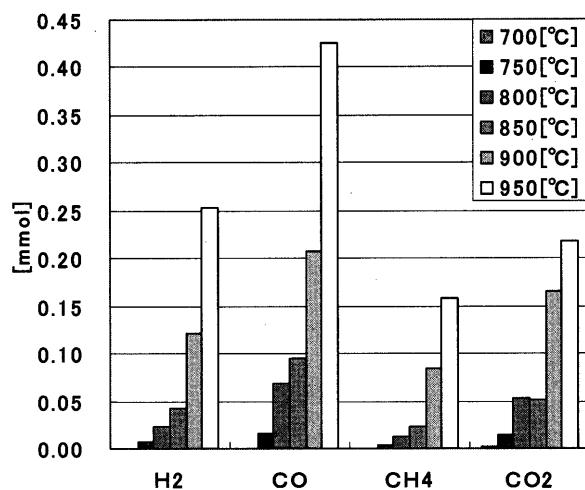


図3 熱分解温度に対する各ガス生成量の変化

3.2 無機多孔性物質を加えた熱分解ガス化実験結果

結果を表6に示す。生成物、ガス組成の影響は熱分解実験で示した傾向と同じであった。そのため、ここでは最もガス生成量の多い950℃のみを示し、比較した。

表6から、杉のみのものと比べると添加剤を加えることによってタールが減少することが示された。また、タールが減少することによってガス生成量が増加していることが見られることから、タールの減少分はガスに転換されたと考えられる。ガス組成については杉のみ、添加剤を加えたものの変化はなかった。

表6 添加剤を加えた熱分解ガス化実験結果

添加剤		生成物[wt%]			回収率 [%]
メーカー (名称)	物質	チャー	タール	ガス	
なし		18.8	36.0	14.3	69.1
	α - Al_2O_3	24.5	23.0	23.6	71.1
PURAL	γ - Al_2O_3	24.0	16.5	39.1	79.6
触媒学会 (参照触媒チタニア)	TIO-1	23.0	20.5	32.5	76.0
	TIO-2	24.3	23.5	26.7	74.5
	TIO-3	23.8	18.5	28.3	70.6
	TIO-4	24.8	0.0	35.6	60.4
	TIO-5	24.8	19.3	30.2	74.2
富士シリシア化学 (株)(多孔性シリカ)	SiO_2 -Q20C	23.0	25.5	24.8	73.3
	SiO_2 -Q30C	24.8	22.0	29.8	76.6
	SiO_2 -Q40C	23.5	21.0	32.0	76.5
	SiO_2 -Q3	22.8	19.5	37.4	79.6
	SiO_2 -Q6	24.5	23.0	25.9	73.4
	SiO_2 -Q10	21.0	18.3	41.8	81.0
	SiO_2 -Q15	20.0	15.0	45.6	80.6
	SiO_2 -Q50	19.5	13.5	43.9	76.9
	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	22.0	16.0	40.5	78.5
	$\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	23.5	11.5	40.2	75.2

図4に Al_2O_3 、図5に TiO_2 、図6には SiO_2 、図7には複合体についての950℃における杉のみと添加剤を加えたものの気体生成量を示す。

図4から図6で示されているように種類、物性によって差はあるが、杉のみの結果と比べて各気体増加する傾向が示された。これからもタール減少分は、ガスに転換されたと考えられる。

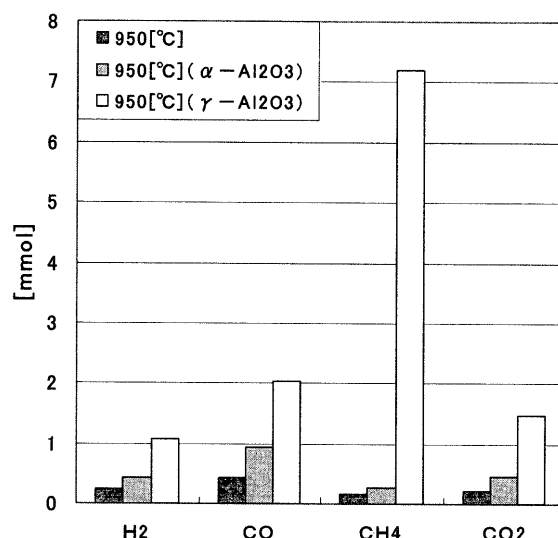


図4 杉と Al_2O_3 を加えた杉のガス生成量の比較

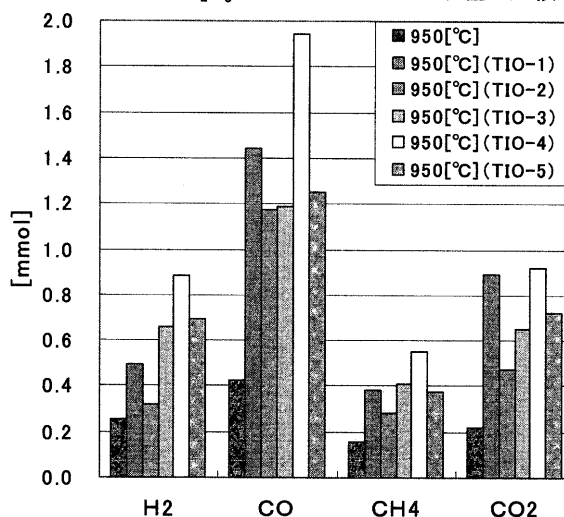


図5 杉と TiO_2 を加えた杉のガス生成量の比較

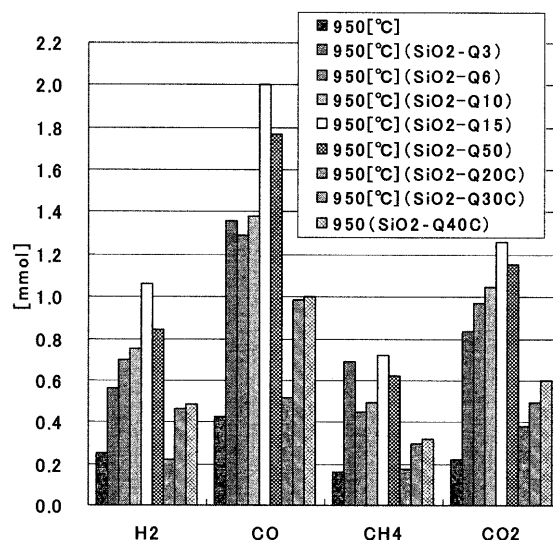


図6 杉と SiO_2 を加えた杉のガス生成量の比較

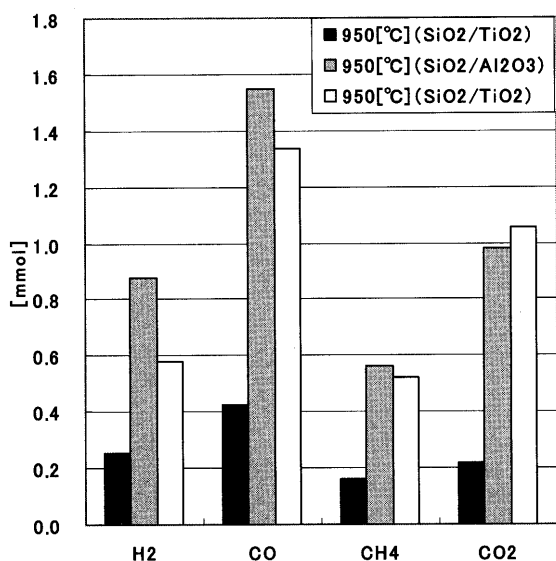


図7 杉と複合物質を加えた杉のガス生成量の比較

図6のSiO₂-Q3、6、10、15、50とSiO₂-Q20C、30C、40Cについて見てみると、気体の種類によって違いはあるが気体生成量はQ3<Q6<Q10<Q15<Q50、Q-20C<Q-30C<Q-40Cであることが見て取れる。表3に示してあるSiO₂の物性を見てみるとこの順に平均細孔径が大きくなっていることが確認された。このことから平均細孔径が大きく関係していることが示された。Al₂O₃、TiO₂についての正確な平均細孔径は物性に示されていないが、同様な要因によって気体生成量の違いが見られたと思われる。

4. 結言

- 1) 木質バイオマス（杉）は、分解温度が高温になるにつれて、ガス生成量が増加する傾向が見られた。またチャー、タールは逆の減少の傾向が見られた。
- 2) 木質バイオマス（杉）から生成するガス組成は、分解温度に影響されなかった。気体の発生量は温度が上昇するにつれて、各気体それぞれ増加する傾向が見られた。
- 3) 添加剤（無機多孔性物質）を加えることによって杉のみのものと比べるとタールが減少することが示された。また、タールが減少することによってガス生成量が増加していることから、減少したタールはガスに転換されたと考えられる。

ガス組成は杉のみと添加剤を加えたもの間で大きな変化はなかった。

- 4) 添加剤を加えた熱分解実験のガス生成量に関しては平均細孔径が大きく関係していることが示された。平均細孔径が大きくなるにつれてガス収率が増加する傾向があった。

謝辞

多孔性シリカを提供して頂いた富士シリシア化学(株)、触媒学会参照触媒チタニアを提供して頂いた触媒学会に感謝します。

参考文献

- 1) Paul, G., Technological Forecasting and Assessment: The Case of Zero Emissions, *Technological Forecasting and Social Change*, **58**, 53-62 (1998).
- 2) Kai, T., Y. Uemura, Y. Kawamura, T. Takahashi, Y. Hatate and M. Yoshida; "Energy System Based on Hydrodynamic Power in Yakushima Island," *Renewable Energy*, in press (2003).
- 3) Uemura, Y., T. Kai, T. Takahashi, Y. Hatate and M. Yoshida; "Best Mixing of Hydrogen and Electricity in Yakushima Island –A Basic Study for Future Sustainable Society in Yakushima–," *Proceedings of The First European Hydrogen Energy Conference*, in press (2003).
- 4) 横山伸也, バイオマス技術の展開, *Journal of JSES*, **27**(1), 53 (2001)
- 5) 横山伸也, 中村悦郎, 木質系バイオマスのガス化, *燃料協会誌*, **62**(674), 396 (1983)
- 6) S. Turn, C. Kinoshita, Z. Zhang, D. Ishimura and J. Zhou, An experiment investigation of hydrogen production from biomass gasification, *Int. J. Hydrogen Energy*, **23**(7), 641 (1998)
- 7) S. Rapagna, N. Jand and P. U. Foscolo, Catalytic gasification of biomass to produce hydrogen rich gas, *Int. J. Hydrogen Energy*, **23**(7), 551 (1998)