

木質系廃棄物のガス化技術

Wood Gasification for Fuel Production from Biomass

井本 泰造* 大山 将央* 岩崎 和弥*
 Taizo Imoto Masao Ohyama Kazuya Iwasaki
 宮内 修平*
 Shuhei Miyauchi

(2009年7月14日 受理)

キーワード：木材，廃棄物，ガス化，液体燃料化，酸素富加

1. はじめに

世界のエネルギー消費は，人口の増加と発展途上国の工業化に伴い，今後もさらに増加すると考えられている．このエネルギーの大半は，石油をはじめとする化石燃料に依存し，それに伴う大量の二酸化炭素(CO₂)の排出は，地球温暖化の大きな原因とも言われている．

一方，植物由来のバイオマスエネルギーは，燃焼によりエネルギーを取り出しても大気中のCO₂の総量は変化しないカーボンニュートラルという利点を有していることから，再生可能なエネルギーとして注目されている．このことから，バイオマスエネルギーの活用は，地球温暖化防止，持続可能な循環型社会の形成，さらに，農林業を中心とした地域産業の活性化にも期待されている．しかし，バイオマスの賦存量は十分にありながら，収集が困難であること，高効率エネルギー変換技術の開発が不十分であることから，バイオマスエネルギーの普及は進んでいないのが現状である．

バイオマスエネルギーの中でも，処理対象を選ばないガス化技術に関する研究が多数行われてきた．欧米ではすでにガス化発電技術の導入が進められ，日本においても実証試験が各地で行われつつある^{1,2)}．しかし，エネルギー貯蔵および輸送の面からガス化技術が適用される地域に限られるため，本格的な普及には至っていない．すなわち，生成ガスの液体燃料化技術が確立されてはじめて，バイオマスエネルギーの本格的

的導入が可能になると思われる．

そこで，筆者らは都市部に多く発生する木質系廃棄物の液体燃料化を念頭に，前段のガス化研究に取り組んだ．本稿では，液体燃料化に適した分解ガスを得ることを目的に，ダウンドラフト型固定床式試験炉を試作し，ガス化試験を行った結果について報告する．

2. バイオマスガス化の原理

バイオマスは通常図1に示す経路を経て，ガス化される．まず，バイオマス原料は，乾燥過程を経て200～600℃，無酸素状態において熱分解され，原料の75～90%がガス(CO, H₂, CH₄, CO₂, H₂O)およびタール等のガス状物質に，残りの10～25%がチャーと呼ばれる固定炭素に転換される．転換の割合は加熱速度，原料の種類・粒径によっても変動する．

次に，供給された酸素または空気によって，熱分解生成物質であるガス・タールおよびチャー等が部分燃焼される．燃焼時に発生する熱は，熱分解反応の熱源となる．

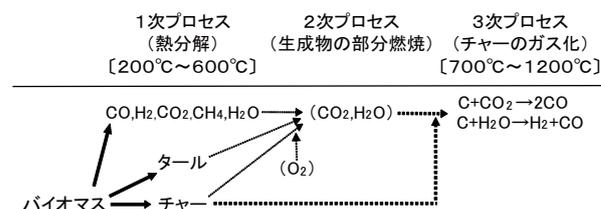


図1 バイオマスガス化の概要

* 化学環境部 環境・エネルギー・バイオ系

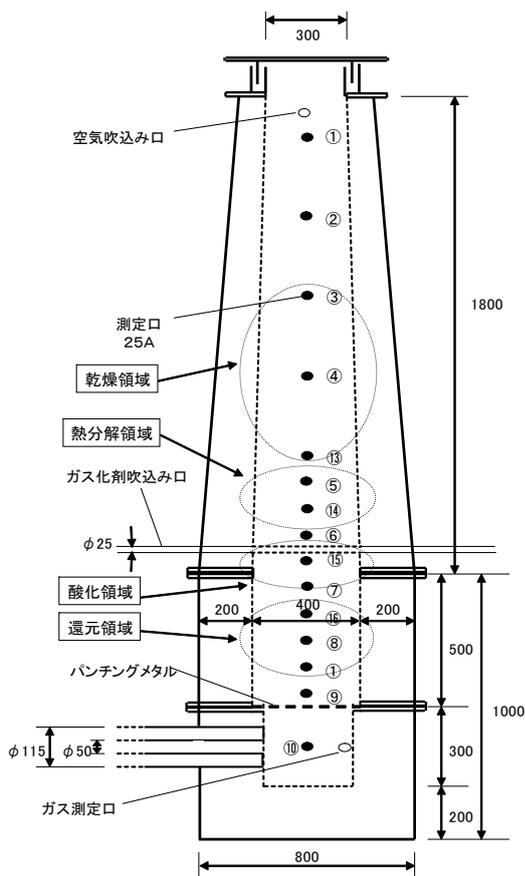


図2 ガス化炉

続いて、700～1200°Cにおいてチャーのガス化が生じ、主に Boudouard 反応 ($C + CO_2 \rightarrow 2CO$) と水性ガス反応 ($C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$) により、CO と H₂ が生成する。

以上、上記3つのプロセスを経て、バイオマスのガス化は進行する。これらのプロセスで気体、液体および固体を生じるが、このうちタールについてはガス冷却時に凝縮することから、配管などの閉塞原因となり、熱分解の運転継続に支障をきたす恐れがある²⁾。

3. 試験装置および実験方法

ガス化炉には固定床、流動床、噴流床、ロータリーキルン式などの形式^{1,2)}があるが、本研究では様々な夾雑物を含む木質系廃棄物を対象とするため、炉構造が簡単で、他の形式と比較してタールの発生が少ないと言われている¹⁾、ダウンドラフト型固定床炉の設計および試作を行った。試験炉は、図2および図3に示すとおり、炉高さが2.8 m、内容量は325 litで、炉中部よりガス化剤としての空気を、炉上部より押し込み空気を供給することによって、炉上部から乾燥及び熱分解、酸化(燃焼)、還元領域を形成するように製作した。また、炉下流側には廃熱回収のための熱交換



図3 試験装置

器、ガス洗浄塔を設置している。

試験には建築廃材を破砕処理し、木屑ボイラ用燃料となる木材チップをそのまま試料として用いた。試料の外観および成分組成を図4および表1に示す。試料のサイズは、大きいもので約100 mmあり、夾雑物は主に金属片、石、セメントガラ、電線、砂などが含まれ、重量比で2～3%程度含まれていた。また、ボンベ発熱量計で測定した高位発熱量は20 MJ/kg程度であり、水分率は15～20%程度のものであった。

この原料を1時間おきに炉上部投入口から重量を測定し投入した。熱分解用空気は、炉上部・中部より合



図4 供試試料

表1 木材チップ組成

wt% (DB)					
C	H	O	N	S	灰分
46.0	6.5	45.3	0.1	1.1	1.2

わせて5～25 m³/h となるように投入し、上部空気量(押し込み空気)は中部空気量(ガス化剤用空気)の50%に設定した。

炉内温度は、炉壁から50 mmの位置にK型熱電対を設置し測定した。また、生成ガス組成は、炉下部の測定口より1時間おきにガスを採取し、ガスクロマトグラフィ(TCD)により分析した。

4. 実験結果および考察

4.1 ガス化剤：空気でのガス化試験

ガス化炉内の各測定点における平均温度分布を図5に示す。ここで、酸素空塔速度は炉内に投入されたガス化剤の酸素量を炉内断面積で割った値である。この図から、酸素空塔速度が大きいほど、すなわち、投入空気量が多いほど、酸化・還元領域の分布温度は高くなっている。また、上部より空気を吹込むことで、炉内温度分布は炉上部から中部空気吹込み部(酸化領域)までなだらかに温度上昇しており、燃焼領域が上部に広がらず、乾燥・熱分解領域がガス化炉内に一定範囲で存在していることもわかる。また、ガス化剤吹込み部の温度がもっとも高くなっていることから部分燃焼部が安定して存在していることが確認できた。また、その温度はタールの分解温度域である800℃以上に達する場合もあり、タールの分解が起こっていると想定される。さらに、それより下流側ではチャーが存在し、吸熱反応である $C + CO_2 \rightarrow 2CO$, $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ 等の還元反応によって、温度が下がったものと考えられる。

酸素空塔速度 17.7 m³/hm² において、水蒸気を除く生成ガス組成を図6に示す。O₂ はほぼ0%で推移しており、ガス化炉内でO₂ はすべて消費されていることがわかる。その他のガス組成は多少変動しているものの、H₂ ガスは平均18.5%、CO ガスについても平均15.3%の濃度を有するガスが得られた。すなわち、ガス化炉内では理論燃焼空気比は0.4であることから、木材チップは完全燃焼ではなく部分燃焼(不完全燃焼)していることになる。

酸素空塔速度を変化させた時の冷ガス効率・処理量、平均生成ガス組成およびH₂/COを図7、図8および図9に示す。図7より酸素空塔速度の増加にともない、処理量(チップ投入量)は増大している。また、発生ガスの熱回収効率を表す冷ガス効率(=生成ガス高位発熱量/投入チップ高位発熱量)についても酸素空塔速度の増加に従い増大し、その後ほぼ一定となった。これは、ガス化炉からの放熱損失により、処理量が多

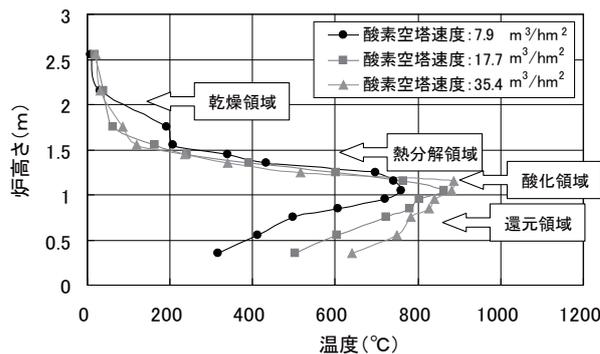


図5 炉内温度分布

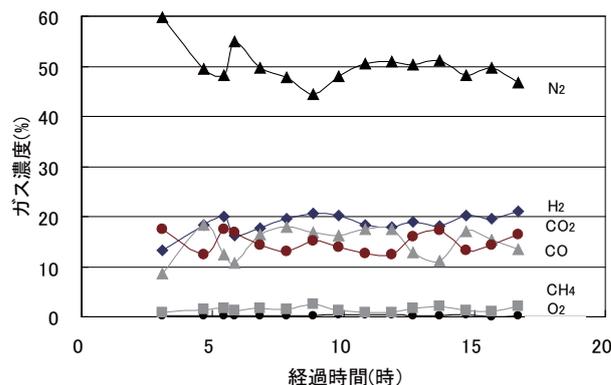


図6 生成ガス組成(酸素空塔速度 17.7 m³/hm²)

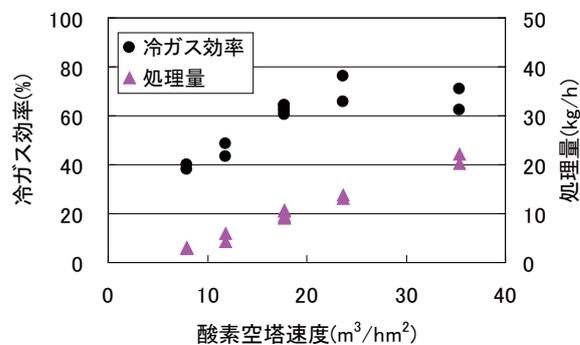


図7 冷ガス効率・処理量と酸素空塔速度の関係

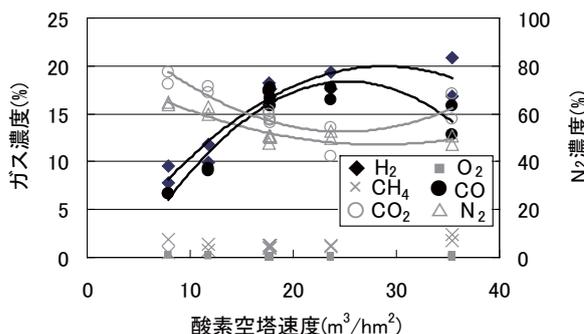


図8 平均生成ガス組成と酸素空塔速度の関係

いほうが、損失割合が小さくなることで理解できる。

図8より、O₂濃度は酸素空塔速度に関係なく炉内ですべて消費されていることがわかる。H₂およびCO濃度は酸素空塔速度の増加に伴って増加し、それぞれ22%、18%を最大値として示し、それ以降はほぼ一定で推移している。これは、酸素空塔速度が大きくなるに従い炉内温度が上昇し、チャーによる還元反応が活発になり、 $C + CO_2 \rightarrow 2CO$ や $C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$ 等の過程を経て、H₂とCOが増加したものと考えられる。

図9から、H₂/CO値は1～1.5であり、メタノール合成反応($2H_2 + CO \rightarrow CH_3OH$)における最適な値は2であることから、H₂の生成割合がCOに比較し少ないことがわかった。したがって、メタノール合成における最適なガス組成を確保するために、蒸気(水)をガス化炉内に投入することにより、H₂の増大を図る必要がある。

4.2 ガス化剤：酸素富加でのガス化試験

ガス化剤として空気を用いることで、H₂およびCOガス濃度が最大で約20%、H₂/CO値が1～1.5であるガスを得ることができた。しかし、液体燃料化を考慮した場合、図6、図8からもわかるように生成ガス中の窒素の存在がH₂とCOの分圧低下、液体燃料合成における合成圧力上昇の原因となることから、窒素分圧を下げる必要がある。ガス化剤として純酸素を用いることで、窒素フリーとなり生成ガス中のH₂とCOの分圧が上がることは理解できる。しかし、本装置では耐火性能に問題があり、酸素濃度が31%となるように酸素を富加した空気を用いてガス化実験を行った。

ガス化剤に酸素富加空気および通常空気を使用した場合における、炉内温度分布を図10に、冷ガス効率・処理量、平均生成ガス組成およびH₂/COの酸素空塔速度に対する変化を図11～図13に示す。

図10より、炉内温度分布は酸素濃度を31%に富加した方が、通常空気(酸素濃度21%)に対して、酸化領域付近温度は100°C程度高く、タールの分解が促進されるとともに、還元領域においても、より温度が高いことから、チャーによるCO₂、H₂Oの還元反応も活発になると想定できる。

図11より、処理量(チップ投入量)は、酸素を富加した場合も、通常空気の時とほぼ同じであり、酸素空塔速度に比例して増加している。また、冷ガス効率はガス化剤が通常空気のとときとほぼ同じであり、65%前後となっている。このことより、処理量、冷ガス効率ともに酸素富加をしても通常空気の場合と変わらな

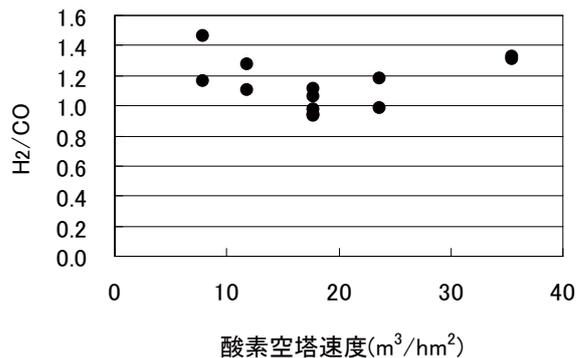


図9 H₂/COと酸素空塔速度の関係

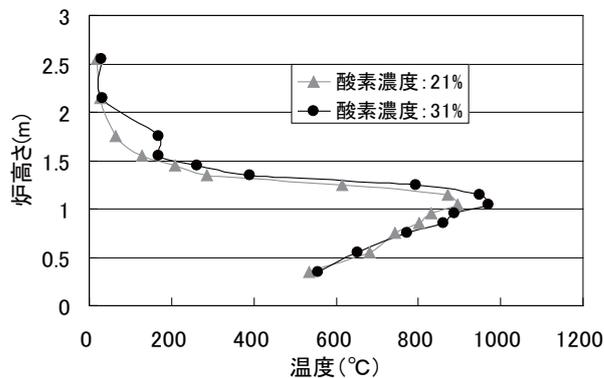


図10 炉内温度分布

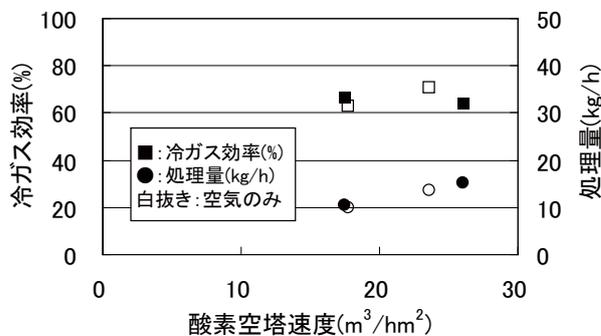


図11 冷ガス効率・処理量と酸素空塔速度の関係

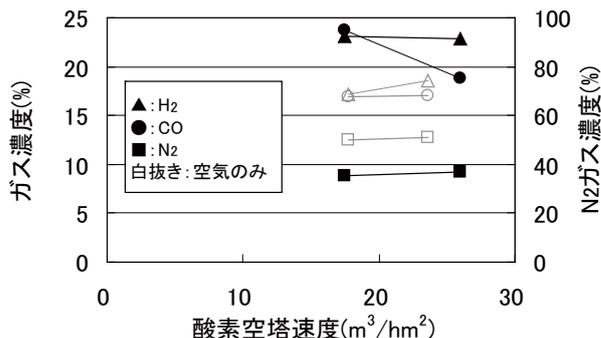


図12 平均生成ガス組成と酸素空塔速度の関係

いことがわかった。

図 12 より、酸素空塔速度が $17 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ($25 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 付近において、 H_2 、 CO 濃度はともにガス化剤が通常空気の場合と比較して、 H_2 で 17% (18%) から 23% (23%)、 CO で 17% (17%) から 24% (19%) と酸素富加した場合のほうが高くなっている。また、 N_2 濃度は 50% (51%) から 36% (37%) と低くなっている。このことから液体燃料合成を行う際、酸素富加することで、 H_2 、 CO の分圧を上げることができ、液体燃料合成における、合成圧力の低下が期待できる。

図 13 より、 H_2/CO 値の変化については、1～1.2 であり、ガス化剤が空気のとときと同じ結果であった。

5. まとめ

ガス化剤：空気

- 冷ガス効率は、酸素空塔速度の増加とともに上昇し、40% から 75% であった。
- H_2 ガスは最大 20%、 CO ガスについても最大 18% という高い濃度を有するガスを得ることができた。また、酸素空塔速度により、ガス組成は影響を受けることがわかった。
- H_2/CO 値は 1 から 1.5 であり、ガス質としてはメタノール (CH_3OH)、ジメチルエーテル (CH_3OCH_3) の液体燃料合成は可能である。

ガス化剤：空気 + 酸素 (酸素富加)

- 酸化還元領域の温度が上昇することで、タール分解が促進されると考えられる。
- 冷ガス効率は 65% 前後であり、酸素空塔速度からみると、ガス化剤が空気のとときと変わらない値であった。
- H_2 ガスは最大 23%、 CO ガスについても最大 24% という高い濃度を有するガスを得ることができ

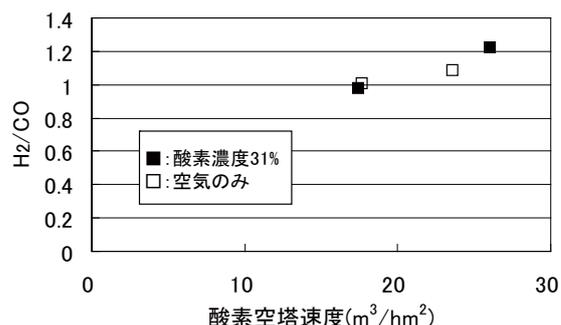


図 13 H_2/CO と酸素空塔速度の関係

た。また、 N_2 ガスは 36% (ガス化剤が空気のととき：50%) であり、液体燃料合成時の合成圧力低下が期待できる。

- H_2/CO 値については、ガス化剤が空気のとときと変わらない傾向であった。

エネルギー貯蔵および輸送の面から液体燃料合成を考慮に入れると、メタノール合成反応 ($2\text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$) における化学量論的な H_2/CO 値は 2 であり、 H_2 のガス化炉内での生成割合が CO に比較し少ないことがわかった。一方、ジメチルエーテルを合成 ($3\text{H}_2 + 3\text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO}_2$) する場合の H_2/CO 値は 1 であり、今回生成ガスのガス質から、 H_2/CO 値でみる限り、メタノール合成よりジメチルエーテル合成のほうが有利と思われる。

なお、本研究は財団法人谷川熱技術振興基金から平成 19 年度に助成を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー利用 エヌ・ティー・エス (2007).
- 2) バイオマス液体燃料 エヌ・ティー・エス (2007).