



高速ガス化によるバイオメタノール製造一貫システムの開発

Development of Integrated System of Bio-Methanol Synthesis by Biomass Gasification

中谷 浩 己^{*1}
Hiromi Nakatani

石 井 弘 実^{*2}
Hiromi Ishii

福 井 和 司^{*3}
Kazushi Fukui

西 村 幸 治^{*4}
Kouji Nishimura

武 野 計 二^{*5}
Keiji Takeno

松 本 慎 治^{*6}
Shinji Matsumoto

バイオマス処理量が2 t/d規模の熱的に自立したガス化炉を用い、原料前処理、ガス精製、メタノール合成を含む一貫した試験プラントを建設・運転した。各種バイオマスを用いたガス化・バイオメタノール製造試験により、システムとして検証を行い、冷ガス効率やメタノール重量収率など初期目標値の達成を確認した。また、実用規模プラントへのスケールアップについて、性能予測や機器設計に関する貴重なデータを取得できた。今後は機器・システムの改良を進め、性能及び信頼性を更に向上させ、実用化を推進する。

1. は じ め に

バイオマスは、再生が可能なことからカーボンニュートラルであり、バイオマスをエネルギー資源として利用することは、これからの地球環境保持に有効な手段のひとつとなる。我が国の廃棄物系バイオマス資源の賦存量は年間2 600万kl（原油換算）と推定されているが、そのうちエネルギー資源として利用されているのは、バガス、パルプ黒液などごくわずかであり、バイオマス資源を大量に高効率でエネルギー転換できる技術の開発・実用化が緊急の課題である。

バイオマス資源は発生地域が分散しており、形状・性状が多様なため、地域特性や原料特性に応じた利用形態を選定しなければならない。そのために利用技術も直接燃焼、ガス化、炭化あるいは発酵と多様に開発が進められている。

本稿では、供給量に季節変動のあるバイオマスを使いやすい形で貯蔵・輸送を可能とする、バイオマスのガス化によるバイオメタノール製造技術について述べる。

2. バイオメタノール製造システムの概要

図1にバイオメタノール製造システムの構成を示す。原料前処理・供給設備、ガス化炉、ガス精製設備及びメタノール合成装置から構成されている^{(1)~(3)}。各設備の機能は次の通りである。

(1) 原料前処理・供給設備

粉碎・乾燥した原料バイオマスをガス化炉へ計量

供給する。

(2) ガス化炉

前処理されたバイオマスと酸素・水蒸気をガス化炉に供給し、部分酸化によりガスを生成する。

部分酸化は、バイオマスの一部を燃焼して800～1 200 の高温場を形成し、この燃焼熱により残りのバイオマスをガス化することでH₂及びCOを含有するガスを生成する方式である。生成した高温ガスの熱エネルギーは生成ガス冷却器により回収され、プロセス用の水蒸気を発生する。バイオメタノール製造に適する生成ガス組成（H₂/CO比）は、この水蒸気量や酸素量により最適化される⁽⁴⁾。

(3) ガス精製設備

生成ガス中のダスト（未燃分と灰分の混合物）を除去後、水溶性成分、余剰水分及び触媒被毒物を除去する。

(4) メタノール合成装置

精製されたガスを昇圧し、触媒を充填した合成塔で圧力3～12 MPa、温度180～300 の下でバイオメタノールを合成する。メタノールは合成塔後流の気液分離器で製品として分離される。

3. NEDO 研究開発プロジェクトの概要

（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は平成13年度より“バイオマスエネルギー高効率転換技術開発”プロジェクトを実施している。そのひとつとして、NEDOから委託を受けた三菱重工業（株）、中部電力（株）（独）産業技術総合研究所（AIST）の

^{*1} 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ開発・サービス技術課長

^{*2} 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ開発・サービス技術課

^{*3} 長崎造船所火力プラント設計部エネルギー・環境技術課主席

^{*4} 長崎造船所火力プラント設計部エネルギー・環境技術課

^{*5} 技術本部長崎研究所火力プラント研究推進室主席 工博

^{*6} 技術本部長崎研究所火力プラント研究推進室

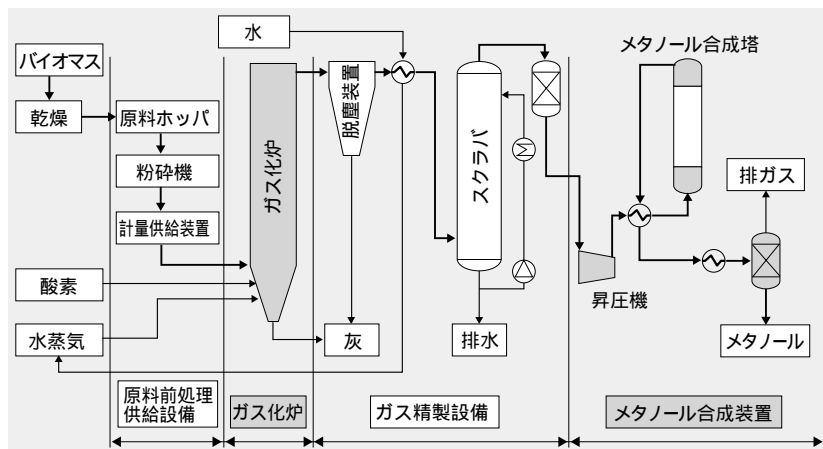


図1 バイオメタノール製造システムの構成

3機関が“バイオマスの高速ガス化方式によるメタノール等気体・液体燃料への高効率エネルギー転換技術開発”プロジェクトを共同で実施した。

本プロジェクトでは、バイオマスのガス化によるバイオメタノール製造及びその利用技術の実用化に目処をつけることを目的として、以下(4章)に述べる事前検証試験で特にバイオマス供給設備の装置開発を行った後、更に熱的自立の最小規模であるバイオマス処理量が2 t/d規模のガス化炉を用いた試験プラントの建設・運転を行い、バイオマス前処理から、バイオマスガス化、ガス精製及びメタノール合成を含む一貫したシステムを検証した。

4. 事前検証試験の概要

(1) バイオマス前処理設備検証試験

図2にバイオマス前処理設備の外観を示す。本設備ではバイオマスを受け入れた後、定量供給して粉碎し、粉碎後のバイオマスを一時貯蔵する。

試験プラントでは、あらかじめ粗粉碎機(タブグラインダなど)にて25 mm以下に破碎済みのチップを受け入れることで計画し、これをガス化炉へ供給するバイオマス粒径D50(50%粒径) 1~2 mmまで粉碎した。その際、破碎機の破損・摩耗の原因となる金属、異物、土砂・砂利などを分離し、効率良く仕上げ粉碎するために破碎機へ定量供給できるシステムとして、実際にバイオマスを使った試験を行い各機器の機能・性能を確認した。

検証試験では、枝、葉、抜根などが混在した剪定材と、単一材種(ニュージーランド松+少量の杉)のプレカット材を用いて、システム上流側から順に単体運転、連携運転を実施し、最終的に全系統の連続安定運転と、バイオマス破碎粒子の製造を検証した。

(2) バイオマス連続計量供給設備検証試験

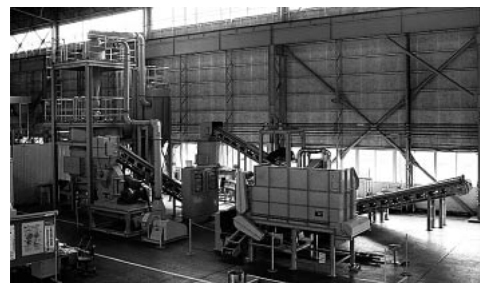


図2 バイオマス前処理設備 バイオマスの受け入れから粉碎貯蔵までを行う。



図3 バイオマス連続計量供給試験装置 計量払出からインジェクタで搬送する。

図3にバイオマス連続計量供給試験装置を示す。本設備では、ロードセルを設置した供給ホッパからバイオマスを定量払出し、ガス化炉容器傍まで輸送後、高温水蒸気駆動インジェクタでバイオマスをガス化炉内へ供給する。

検証試験では、バイオマス連続計量供給設備の小型試験装置を製作し、ガス化炉へのバイオマス連続供給安定性及びバイオマス計量精度を確認し、システムの検証を行い、スケールアップのためのデータ取得を行った。

5. 2 t/d 試験プラント試験結果

(1) 試験要領

試験プラントは、平成14~15年度に設計・製作を行い中部電力(株)川越火力発電所構内に設置し、平成16年度に杉を用いたガス化基本性能把握、酸素及び水蒸気投入量の最適化、バイオマス種の変化、そしてメタノール製造との一貫試験と合計8 Runを実施した。

(2) 供試バイオマス性状

図4に試験に用いたバイオマスの外観を、表1に破碎・乾燥後の代表的な性状を示す。バイオマス粉碎後の仕上がり粒径は、破碎機出口側のスクリーン



図4 試験プラント供試バイオマス 破砕機投入前の状態を示す。

表1 供試バイオマス性状一覧

項 目	杉	広葉樹	パーク	伐採木	流木	建築廃材
水分 (破碎, 乾燥後) (wt%)	13.7	13.7	15.9	11.1	10.7	11.8
平均粒径 (短径) (mm)	1.1	1.6	0.7	0.9	0.9	0.9
かさ密度 (kg/m ³)	173	187	149	152	216	214
(無水) 元素分析	C (wt%)	50.8	48.2	50.7	50.2	45.3
	H (wt%)	6.0	5.8	5.7	5.9	5.4
	O (wt%)	42.8	45.1	41.4	43.0	37.7
	N (wt%)	0.09	0.14	0.26	0.14	0.18
	S (wt%)	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
灰分 (wt%)	0.31	0.74	1.87	0.59	11.40	1.08
HHV(高位発熱量) (無水) (kcal/kg)	4942	4684	4966	4869	4381	4818

孔径により調整が可能で、今回はいずれも長径/短径比が2～5程度の細長い円筒形状であった。なお表中の平均粒径は標準ふるいによる分級粒径、すなわち短径で表示している。

一般に木質系バイオマスに含まれる灰分は、芯材で通常0.3%以下、樹皮(パーク)で1%程度であることが知られているが、ここで使用した木質系バイオマスの分析による灰分はやや高めとなっている。特に流木は灰分11.4%と高いが、これは混入土砂によるもので目視でも木の繊維の間に細かい砂の入り込みが観察された。また、建築廃材には壁紙、ビニール、釘などが多数混入しており、金属は破砕機の前段に設置した金属探知器と磁選機で取り除くことができたが、非金属は混入したままで破砕しガス化炉に投入した。

バイオマスの構成元素は、流木のCが45%程度と低いが、灰分を除いたC:H:Oの比率は約51:6:43とバイオマスの種類によらずほぼ一定である。また、発熱量の差はほぼ灰分含有率に起因し、灰分が多いほど発熱量は小さい。

(3) ガス化未燃分特性

ガス化炉の特性の一例として、図5にガス化炉内

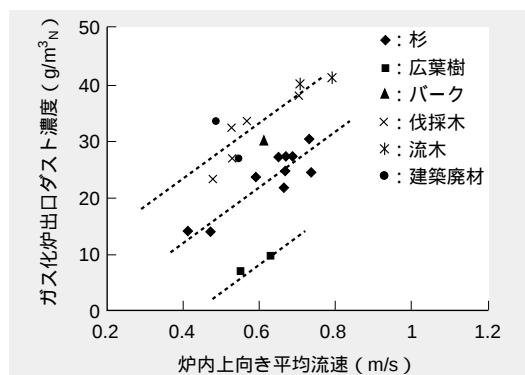


図5 ガス化炉平均上昇流速と出口ダスト濃度の関係 流速とダスト濃度は相関がある。

の上向き平均流速(実温ベース)とガス化炉より排出されるダスト濃度の関係を示す。図より、ダスト濃度は5～40 g/m³とバイオマス種によって大きく異なること、また上向き流速に比例して増加する傾向がある。バイオマスのダスト飛散特性は、バイオマス粒子の粉化のしやすさや初期の粒径分布などに依存しているものと考えられる。この結果から、噴流床方式のガス化炉において未燃分を低下させるには、上向き流速を小さく設計すべきといえるが、一方流速が低すぎると、炉内下部での流れの安定性に問題が生じる恐れがあるため、ガス化率の向上には上向き流速を保ち、ダスト中の未燃分は回収・リサイクルさせる手法が適するものと考えられる。

(4) 冷ガス効率

図6にO₂/C(酸素投入量とバイオマス中のC元素のモル比)と冷ガス効率(η)の関係を示す。なお、冷ガス効率は(生成ガス流量×生成ガスの高位発熱量)÷(バイオマス投入流量×高位発熱量)として定義され、ガス化熱量効率を表す指標である。また、ガス化炉への水蒸気投入量はH₂O/C(モル比)=2～3とした。

図より、バイオマス種によらずO₂/Cが低いほどηは増加し、O₂/C=0.4においてη=60～70%程

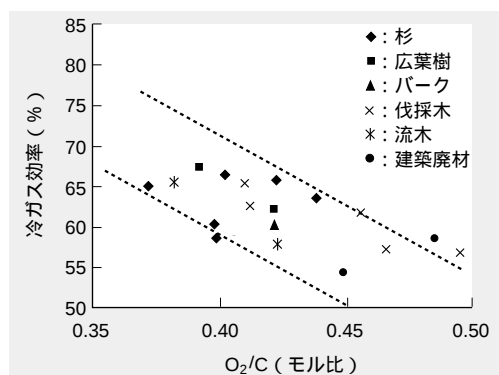


図6 O₂/Cと冷ガス効率の関係 O₂/C低下に伴い冷ガス効率が向上する。

表2 生成ガス（乾きガス中）中の微量成分濃度

成分	杉	広葉樹	バーク	伐採木	流木	建築廃材
NH ₃	112 (11.7%)	597 (36.4%)	-	228 (16.0%)	599 (25.3%)	926 (12.4%)
NCN	0.2 (0.02%)	0.3 (0.02%)	-	0.2 (0.02%)	1.1 (0.05%)	0.9 (0.01%)
H ₂ S	30 (57.4%)	63 (41.0%)	102 (71.7%)	51 (37.9%)	105 (45.4%)	-
COS	< 1 (-)	< 1 (-)	1.6 (1.1%)	< 1 (-)	1.8 (0.78%)	-

単位：ppm 下段は原料中の元素からの転換率

度となり、本試験プラントの目標値である65%を達成した。なお本試験プラントでは、ガス化炉出口より排出される未燃分は炉内へリサイクルしていないが、回収したダストのリサイクルを前提としてダスト中の未燃分を考慮すると、冷ガス効率は約5%程度向上する。さらに本試験プラントではガス化炉が小型で熱損失が大きいことから、炉内温度を保持するのにO₂/Cを下げられなかったが、実用機ではO₂/Cを更に低減することで、 $\eta = 70 \sim 80\%$ の高い値が得られるものと予測される。

(5) 微量成分

表2に生成ガスの微量成分濃度計測結果を示す。計測はガス化炉出口で行い、乾きガス中の濃度として表示した。NH₃の濃度は100～1000ppm程度、原料バイオマス中N元素からのNH₃への転換率で表すと、12～37%程度であった。また、HCN濃度はいずれも1ppm以下と低い値であった。

H₂S濃度は30～105ppm程度、燃料中のS元素の転換率として40～70%程度であった。また、COSは2ppm程度と低かった。石炭の燃焼やガス化では、燃料中S分からの転換率は80～90%とほぼ全量がH₂SやSO_xに転換し、またCOS濃度は通常H₂Sの1/30～1/10程度であることが知られているが、バイオマスガス化ではS転換率もCOS比率も低い結果であった。

(6) メタノール合成

本試験プラントでメタノール合成を行った結果、メタノールの重量収率は18%～21%（バイオマスdryベース）と、試験プラントとしての収率目標である20%（dryベース）をほぼ達成した。

本設備ではガス化炉が小型で熱損失が大きいいため収率は小さいが、実用規模までスケールアップすれば熱損失は減少し、表3に示す冷ガス効率とメタノール重量収率向上が見込まれる。

6. ま と め

今回、バイオマス処理量が2t/d規模の一貫試験プラントを建設し、各種バイオマスのガス化・メタノール

表3 試験プラントの計画と実績及び実用機計画

項 目	2t/d試験プラント計画	2t/d試験プラント実績	実用機計画
バイオマス処理量	2t/d	2t/d	50～100t/d
冷ガス効率 ^{*1}	65%以上	60～67%	75%以上
メタノール重量収率 ^{*2}	20%以上	18～21%	～50%

*1：原料バイオマス化学熱を100%として算出

*2：原料バイオマス重量を100%として算出

ル製造試験の結果、一貫システムとしての機能を確認し、冷ガス効率やメタノールの重量収率などを試験プラントの初期目標値を達成することができた。また、次期実用規模のプラントへのスケールアップについて、効率向上策などの性能予測や機器の設計方針などについて様々な貴重なデータを取得することができた。

本システムにより製造されるバイオメタノールはエンジンなどの原動機用燃料をはじめ、燃料電池用燃料や化学製品の原料などとして利用することによりCO₂削減に貢献が可能である。また、システムを応用して、発電・熱供給をはじめ、輸送機器用の燃料として注目されているDME（ジメチルエーテル）の製造にも適用できる。

化石燃料を代替する再生可能エネルギーとしてバイオマスの有効利用の動きは更に活発化するものと予想されており、今後は機器・システムの改良を進め、性能及び信頼性を更に向上させ、本技術の実用化を推進していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 小林由則ほか、バイオマスエネルギーの高度利用技術、三菱重工技報 Vol.40 No.4 (2003) p.242
- (2) 湯川英明 監修、バイオマス利用の最新技術、シーエムシー(2001)第1、3章
- (3) 石井弘実ほか、バイオマスの噴流床部分酸化ガス化・液体燃料合成一貫システムの開発、日本エネルギー学会誌 Vol.84 No.5 (2005) p.420
- (4) 坂井正康ほか、バイオマス新液体燃料、第4章、化学工業日報社(2002)



中谷浩己



石井弘実



福井和司



西村幸治



武野計二



松本慎治