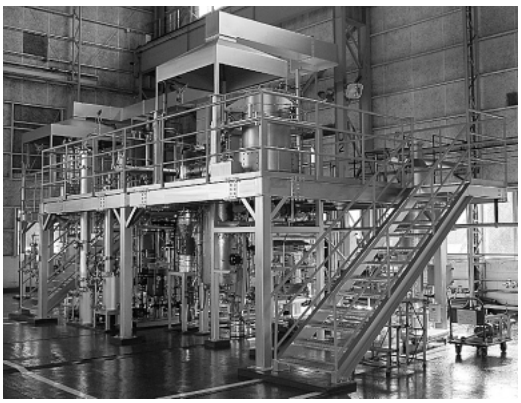
特 集 論 文

バイオマスエネルギーの高度利用技術



Advanced Technology of Biomass Energy Utilization

小林由則　黒石敏郎　池本善彦
植松良茂　一ノ瀬利光

バイオマスは，大気中の二酸化炭素（CO_2）が太陽エネルギーにより固定されたものであり，エネルギー源として資源量が豊富である．また，消費と育成のバランスを保つ限り，利用しても大気中のCO_2を増加させないため，バイオマス資源のエネルギー利用は各国のCO_2排出量に計上されない．したがって，我が国のCO_2発生量の削減，さらにはバイオマス系廃棄物の有効利用の観点から，バイオマス資源の高度エネルギー利用技術の開発・実用化が求められている．当社では，バイオマスを直接燃焼，ガス化，炭化あるいは発酵と多様な利用技術について，全社的な取組みを行っている．本稿ではこれらのうち，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・輸送を可能とするガス化による液体燃料製造技術と発電効率の高い既設石炭焚ボイラでバイオマスを有効利用し，石炭使用量削減を可能とする石炭との混焼技術について紹介する．

1．バイオマスエネルギーの概要

バイオマスとは，**表1**に示すようにすべての植物及び動物を構成する有機物を利用するエネルギーを意味する．例えば人類がこれまでに利用してきた薪や木炭等は，バイオマスエネルギーの典型である．

これらバイオマスエネルギーの一般的特徴として，以下の項目が挙げられる．

(1) 再生可能エネルギー

石油や石炭等の化石燃料は長期的には枯渇する燃料であるが，例えば植物系バイオマスは光合成によって太陽エネルギーが変換されたものであるため，太陽と水がある限り再生が可能である．したがって，再生可能な量を超えて利用しない限り，枯渇することはない．

(2) カーボンニュートラル

バイオマスエネルギーの利用により放出されるCO_2は，バイオマスの再生時に光合成によって吸収されるため，炭素はバイオマスと大気の間を循環することとなる．したがって，再生した分のバイオマスを利用している限り大気中のCO_2を増加させることはない．一方，バイオマスは積極的なエネルギー利用が行われなくても，いずれは分解され，CO_2を大気中に放出するため，バイオマスエネルギーの利用は自然界の炭素循環を乱すものではない．

(3) 豊富な資源量

バイオマスは，化石燃料と比較すると広範囲に賦存し，日本国内にも十分な資源量がある．間伐材等の林業廃棄物，穀物残渣等の農業廃棄物を燃料として有効利用することも可能である．

表1　バイオマスの分類

産業系廃棄物	木くず，建築廃材，パルプ黒液 汚泥（有機物系廃液，下水）
農業系廃棄物	もみ殻，稲わら，バガス
林業系廃棄物	間伐材，林地残材，枝条
畜産系廃棄物	家畜糞尿，鶏糞，動物性油脂
生活系廃棄物	厨芥類（生ごみ），廃食用油
その他	し尿，Landfill gas，薪炭

2．バイオマスエネルギーの利用技術

バイオマスエネルギー利用技術の比較を**表2**に示す．この中でも，特にガス化液体燃料製造はバイオマスを貯蔵可能な液体燃料に変換できる技術であり，またすべてのバイオマスを利用できるため，適用範囲が広い．一方，石炭焚ボイラでの石炭との混焼は，既存設備の若干の改造のみで再生可能エネルギーを効率良く導入することが可能である．ここでは，これらのバイオマスエネルギー利用技術について詳述する．

3．バイオマスガス化液体燃料製造システムの取り組み

3．1　概　　要

バイオマス供給からメタノール製造までの概略システムフローを**図1**に示す．バイオマスガス化メタノール製造装置は，次の機器・設備で構成される．

A 原料前処理・供給設備

粉砕・乾燥された原料バイオマスをガス化炉へ計量供給する．

表２　バイオマスエネルギー利用技術の比較

項　目	直接燃焼	石炭焚ボイラでの混焼	ガス化液体燃料製造	炭化炉	エタノール発酵	メタン発酵
原　料	草木すべて	木チップ	草木すべて	草木すべて，汚泥など	主に糖・でんぷん質	堆肥・汚泥など
製　品	蒸気・電力	電力	メタノール・DME	炭化物，分解ガス	エタノール	メタン
適応時期	既に実用化済	• 至近な実用可能 • 海外での実績あり	NEDO国プロ等で実施中	• 至近な実用可能 • 海外での実績あり	糖・でんぷん質の原料で実用	既に実用化済
エネルギー転換効率	低（電力） 高（蒸気）	高（電力）	高（液体燃料）	高（固体・ガス燃料）	小～中（液体燃料）	小～中（ガス燃料）
メリット	• バイオマスの発生地に設置可能	• 高効率プラントへの適用が可能	• メタノール・DME燃料を自動車などで利用可能 • ガスエンジンによる直接発電にも適用可能	• 高効率プラントへの適用が可能	• エタノール燃料を自動車などで利用可能	• 高含水率バイオマスに適用が可能
デメリット	• 中小規模の設備となるため効率が低い	• 既設プラントへのバイオマスの集積・輸送に難あり	—	—	• 原料バイオマスに制約あり	• 原料バイオマスに制約あり

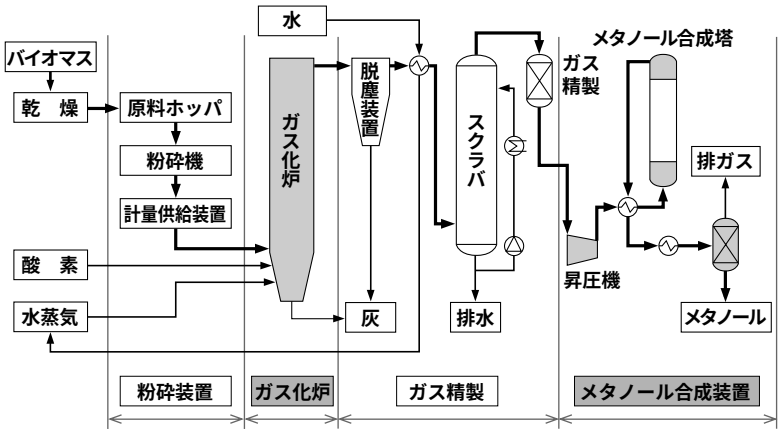


図１　バイオマスガス化メタノール製造システムの構成　実用プラントのシステム構成を示す．

表３　試験装置主要仕様

バイオマス処理量240 kg/日 バイオマスガス化メタノール製造試験装置		
運転開始		2002年3月
ガス化炉		
ガス化剤		酸素・水蒸気
圧　力		常圧
温　度	(℃)	800～1100
温度制御		電気ヒータ
メタノール合成		
方　式		触媒合成方式
圧　力	(MPa)	2.94
温　度	(℃)	180～300

B　ガス化炉

ガス化炉にはバイオマスと酸素・水蒸気を供給し，バイオマスの一部を燃焼して800～1 100℃の高温場を形成する．この熱により，バイオマスをH_2及びCOを主成分とする生成ガスに転換する．

生成ガス冷却器によって，生成した高温のガスを冷却するとともに，その熱でプロセス用の水蒸気を発生する．

C　生成ガス脱塵及び生成ガス精製設備

生成ガス中の灰分を除去後，生成ガス中の水溶性成分，余剰水分及び触媒被毒物を除去する．

D　メタノール合成装置

H_2及びCOを主成分とする生成ガスを昇圧し，触媒を充てんした合成塔で圧力3～12 MPa，温度180～300℃の下でメタノールを合成する．メタノール合成塔の気液分離器では，メタノールを製品として分離する．

このメタノールを脱水反応させジメチルエーテル（DME）を合成することも可能である．

3．2　取組み状況

当社は，社内研究としてバイオマス処理量50 kg/日のパイロットプラントを製作，1999年より社内試験を開始した[1]．

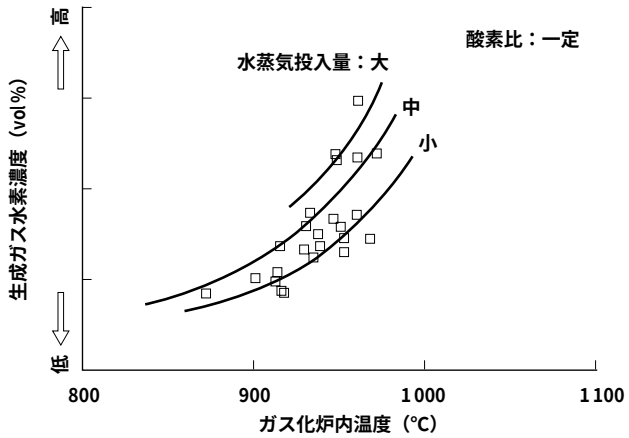


図２　試験装置での生成ガス水素濃度　炉内温度の上昇に伴い水素濃度が上昇する．

現在は農林水産省向け240 kg／日試験装置（**タイトル写真**）を建設し，バイオリサイクル研究として本プロセスの最適化を進めている．この試験装置の主要仕様を**表３**に示す．

ガス化試験の結果，**図２**に示すとおり，炉内温度の上昇に伴い水素濃度が上昇する結果が得られ，反応に水素を必要とするメタノール合成に適したガス組成になることが分かる．

さらに，現在は中部電力（株），（独）産業技術総合研究所（AIST）と共同で，新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託研究事業として“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の開発”を実施している．このプロジェクトでは，多種多様なバイオマス資源を対象とし，処理量が２t／日規模の試験プラントの運転を実施し，実用化に目途をつけることを目的としている．

3．3　実用見通し

本システムの実用プラントへの適用例として街路樹の剪定材について考察すると次のとおりとなり，十分実用化の対象となり得る．100万人規模の都市において収集されている街路樹の剪定材は３万t／年程度発生し，現在では野焼き処分は禁止されたことから，これを燃料として有効利用する必要がある．そこで，対象の都市周辺に本プラントを設置すれば，この処分が可能になるだけでなく，同時に1 900万リットル／年のメタノール燃料または，9 000 t／年のDMEを生産することができる．このメタノールやDMEを燃料として利用した場合，ディーゼル・ガスタービン等の発電設備に適用すれば3 800万kWh／年の発電が可能（約１万戸の家庭用電力），または約１万台／年（１万km走行／年･台として）の自動車用燃料に相当する．同時に，バイオマス起源のメタノールを石油代替として利用することで年間2.4万tのCO_2を削減することが可能である．

4．バイオマス－石炭混焼システムの取組み

4．1　概　　要

木質のバイオマスを直接，高効率発電プラントの石炭焚等既設ボイラ設備で石炭等と混焼することで，バイオマス利用の高効率発電が可能である．この混焼技術には，木質バイオマスを石炭とともに微粉炭機に投入することにより微粉砕し，微粉炭と混ざった状態で石炭バーナより火炉へ投入する方式と，木質バイオマス専用の粉砕機により微粉砕し，専用バーナより火炉へ投入する方式がある．

微粉炭機による混合粉砕方式では専用粉砕機を設置する必要が無いため設備改造がシンプルになるというメリットを有するが，微粉炭機は弾性材料である木質バイオマスをすりつぶすには不向きであるため微粉炭機能力からの制限を受け，通常混焼率は1～５％程度となる．これに対し，専用粉砕機による粉砕方式は，より多くの木質バイオマス混焼が可能であるというメリットを有する．

海外では既に両方式とも実用化されており，専用粉砕機による粉砕方式では，10％程度の混焼が実施されている．

木質バイオマス混焼システムの概略系統図を**図３**に示す．

A　原料前処理設備

受け入れる木質バイオマスの種類（幹，枝，根等の部位）や大きさ等によっても異なるが，例えば丸太状で受け入れる場合，1～２次破砕機，磁選機，乾燥機等が必要となる．また，チップ状で受け入れる場合であれば，破砕機等の前処理設備は不要となるが，必要に応じ，乾燥機，磁選機等が設置される．

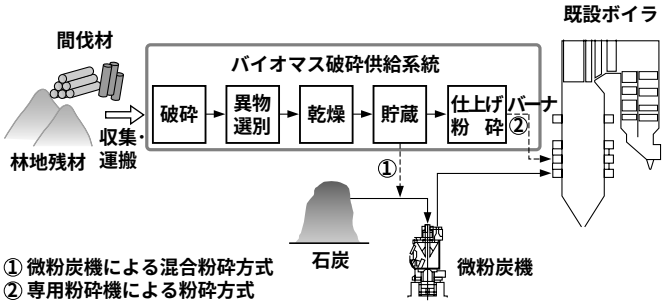


図３　木質バイオマス混焼システム概略系統図　丸太状で受け入れる場合の例を示す．

B　供給・燃焼設備

b微粉炭機による混合粉砕方式の場合

木質バイオマスと石炭との混合方法としては，石炭ヤードで混合する方法，サイロから一定量がスクリューフィーダ等により切り出され運炭コンベア上で混合する方法，または給炭機部分で混合する方法が考えられる．混焼率にもよるが石炭バンカ内における比重差に起因する分離（混合不良）等による混合率の変動を考慮すると，微粉炭機による粉砕の信頼性確保，及び運用性の観点からは給炭機部分で一定量供給する方法が望ましい．

一般的に木質バイオマスは石炭に比べ揮発分が高く，火災が発生しやすいため，木質バイオマスの微粉炭機内滞留による自然発火に注意が必要であり，微粉炭機入口，出口空気温度の最適化が必要となる．

b専用粉砕機による粉砕方式の場合

本方式の場合，木質バイオマス専用の仕上げ粉砕機が必要となる．粉砕機で粉砕された木質バイオマスは，通常空気搬送により専用バーナまで搬送される．

本粉砕方式の場合，搬送管内における火災やバーナ部における逆火焼損等を防止するため，最適な空気温度，及び流速を選定する必要がある．

木質バイオマスは揮発分が高いため，同じ粒径の石炭と比較すると燃焼性は良い．しかしながら，弾性材料であるため粉砕性が悪く，粉砕機の動力消費が過大となる問題点があることから，最適な粉砕粒径を選定することが重要なポイントである．

C　環境特性

（a）SOx

一般的に木質バイオマスは石炭に比べS分含有量が少ないことから，混焼率に比例しSOx発生量は減少傾向を示す．

（b）NOx

N分に関しても石炭に比べ含有量は少なく，一般的には混焼率に比例しNOx発生量は減少傾向，もしくは同等といえるが，厳密には混焼方式や，粉砕粒径等によってもその特性は異なる．基礎燃焼炉を使用した燃焼試験結果における，石炭と木質バイオマスそれぞれ単味のNOx特性を**図４**に示す．

（c）ばいじん

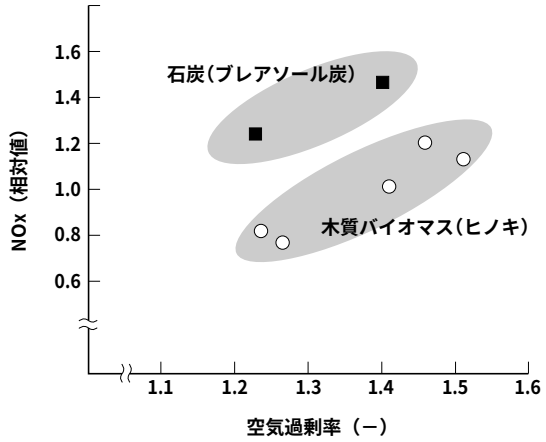


図４　石炭と木質バイオマスのNOx特性　基礎燃焼炉を使用した燃焼試験結果を示す.

多くの木質バイオマスは石炭に比べ灰分が少ないことから，混焼率に比例しばいじんの発生量は減少傾向を示すが，木質バイオマスの種類や部位の違いによっても異なる.

4．2　取組み状況

当社は，バイオマス利用が盛んなブラジルの現地子会社であるCBC INDUSTRIAS PESADAS S. A. 社において，木くず，バガス（サトウキビの絞り粕）焚の旋回燃焼ボイラの実缶実績を多数有しており，これらの製作･納入実績やノウハウ，及び各種木質バイオマス混燃に関する知見を基に現在国内外での改造計画を実施中である.

海外向けとしては，オランダE. ON Benelux Maasvlakte発電所１，２号石炭焚ボイラ向けに，混焼用として畜産系廃棄物焚バーナを納入している（**図５**）.

また本年５月からは四国電力(株)と協同で西条１号ボイラにおいて，国内電力会社として初めての木質バイオマス混燃試験を開始している．本ユニットは出力156 MWの石炭焚旋回燃焼ボイラであり，今回運炭コンベア上でチップやバーク（樹皮）等の木質バイオマスを混合し，４台の既設竪型微粉炭機による混合粉砕方式で最大3 %までの混燃試験を実施しており，今後の本格運用化に向けた取組みを進めているところである.

4．3　今後の見通し

RPS 法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置）を始めCO_2削減の観点から既設発電用石炭焚ボイラ設備においてバイオマスを混焼しようとの動きが日本を含め世界的に活発化しており，今後これらのニーズはますます増加するものと予想される.

5．ま　と　め

CO_2による地球温暖化や資源の枯渇といった問題を解消する有力な手段として，化石燃料に代替する再生可能エネルギーの導入が考えられる．取り分けバイオマスは，国内では法的にも有力な新エネルギーとして認められ，今後ますます期待が高まっていくものと予想される.

図５　オランダMaasvlakte発電所 500 MW石炭焚ボイラ
蒸気条件 185 bar × 540/540 ℃，コーナファイアリング.

ガス化による液体燃料製造技術はエネルギー密度が低いバイオマスを濃縮し，利用に便利な液体燃料に転換可能である．また，既設石炭焚ボイラでの混焼技術は石炭使用量削減の効果があり，若干の設備改造で実施可能という利点もある.

当社では，これら二つのバイオマス利用技術に関して，様々な社内試験を実施中であり，今後，更に機器・システムの改良を進め，性能及び信頼性の向上を目指して行く.

参　考　文　献

(1) 小林由則ほか，バイオマスガス化メタノール製造システムの開発，三菱重工技報　Vol.38　No.2（2001）

小林由則
原動機事業本部
ボイラ開発・サービス技術課長

黒石敏郎
原動機事業本部
ボイラ開発・サービス技術課

池本善彦
長崎造船所
エネルギー・環境技術課長

植松良茂
長崎造船所
エネルギー・環境技術課主席

一ノ瀬利光
長崎研究所
火力プラント研究推進室主席