

循環流動層ボイラによるバイオマス発電

Biomass Power Generation by CFB Boiler

山本 晃司 ソリューションエンジニアリングセンター 統括スタッフ

Koji Yamamoto

二酸化炭素排出量削減および化石燃料資源保全の観点から、植物由来の燃料であるバイオマスが、これからの最も重要な一次エネルギー源とみなされている。バイオマスの有効活用の観点からは、古紙、建設発生木材あるいは農業系廃棄物のようなバイオマス系廃棄物を活用することが望ましい。循環流動層ボイラは燃料への適応性が高いことと環境負荷が低いことから、バイオマスの直接燃焼に最適な燃焼方法である。この循環流動層ボイラを基軸に据えたバイオマス発電所は、今後の普及が期待される設備である。

Increasing the concern on the reduction of CO₂ emission and the saving of fossil fuel, vegetation- origin biomass is considered to be one of the most prospective fuel for power generation. The biomass here includes the form of biomass waste such as waste paper, waste building material and agricultural waste. CFB (Circulating Fluidized Bed) boiler technology is best suitable for biomass power generation for its unparalleled wide range of fuel acceptability and low level emission of environmentally hazardous exhaustion. CFB boiler based biomass power generation becomes the main stream of all biomass power generation in the coming future.

1. バイオマス発電の理念

1.1 バイオマスとは

バイオマス“Biomass”とは、本来は生態学上の用語で、生物資源の「現存量」を意味するが、本論では生物資源をエネルギー源の一つとして捉え、主に植物に由来する燃料全体をバイオマスと考える。特に薪や炭などの植物の直接的な燃料化の他に、古紙、木質系廃棄物、農業系廃棄物などの植物由来の廃棄物も広義のバイオマスと考える。

このバイオマスに対する概念として、化石燃料がある。化石燃料とは、石炭、石油および天然ガスの総称であるが、これらも古代の生物に由来と考えられている。ただし、化石燃料は過去の生命活動の資産を消費する、「一過性のエネルギー源」であるが、バイオマスは現存する植物生産量に見合った範囲でエネルギー消費が行われる「再生可能エネルギー」である。この「一過性」と「再生可能性」が、化石燃料とバイオマスを隔てる最大の相違点である。

1.2 再生可能エネルギー

バイオマスなどの再生可能な自然エネルギーとしては、バイオマス、太陽エネルギー（太陽光発電、太陽熱発電）、地熱、風力、波力および潮力、海洋温度差、水力が想定されている。

この中でバイオマスのみが有機体である。これは発電システムとして捉えた場合、既存の化石燃料用を開発されたシステムが応用可能であることを意味している。

1.3 地球上における炭素の循環

バイオマスと化石燃料はともに有機体であり、燃焼により二酸化炭素が発生する。ただし、大気中の二酸化炭素濃度増加への影響は異なると考えられる。

図1は、IPPC(気候変動に関する政府間パネル)の1994年報告¹⁾を元に作成した地球上での炭素の流れと各場所での存在量を示している。この図中の矢印の数値は炭素の流れを示し単位はGt/年(1Gt=10億トン)であり、四角形の中の数値は炭素蓄積量(単位はGt)を示している。

地球上の炭素は、大気、地上、海洋の3個所に存在し、その流れは、一般に吸収と放出の両方向性を持った相互作用のある循環系であるため、全体として大気中の二酸化炭素濃度はあるレベルに保たれている。一方、化石燃料の燃

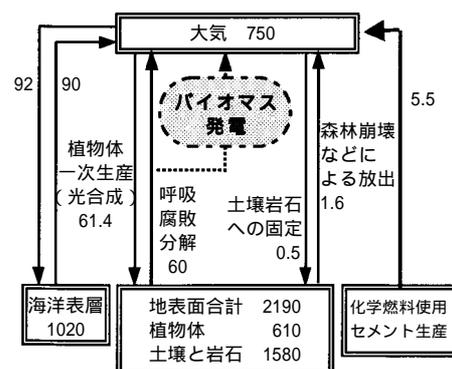


図1 地球上における炭素の流れ

焼による二酸化炭素放出は、地下に貯蔵されていた炭素をこの炭素循環系に新たに付加することである。これは大気側への一方的な流れであり、地球全体の炭素の循環バランスに対する外乱要因と考えられる。

バイオマスの利用においては、その消費量は生産量を超えることはできず、また「再生可能」の観点から消費量に見合った量が再生産されることを前提としている。その意味で、バイオマス燃焼による二酸化炭素の放出は、大気と植物の炭素循環の一つであり、そのバランスを崩すものではない。このようにバイオマスは、下記の2つの要因から、有効な燃料源であると考えられる。

- (1) 燃焼によって発生する二酸化炭素は、大気と植物間の炭素循環の中にあるので、大気中の二酸化炭素濃度に影響を与えない。
- (2) 化石燃料の使用量を抑制することで、炭素循環における外乱要因を抑制する。

1.4 バイオマス発電の理念

バイオマスは今後の最も有力な再生エネルギー源と考えられている。図2は、今後の一次エネルギー源予測の一例で、IPCCの第二次報告書によるものである²⁾。この予測によれば、今後100年間で一次エネルギー総量は、工業国においては横ばい、途上国においては急増するが、いずれも化石エネルギーの消費量は減少し、再生可能エネルギー、特にバイオマスが大きく増加するものとしている。

エネルギー源としてバイオマスを生産することは、食料、飼料などの農産物生産、繊維、材木などの産業利用などと競合する可能性がある。この競合を避けるためには、バイオマスは燃料の単独利用ではなく、カスケード的な利用、たとえば下記の方法が望ましい。

- (1) 植物に由来する紙は、再生を繰り返した上で最終的に燃料化する。
- (2) 木質系廃棄物はチップ化した上で良質品は製紙原料や合板原料に再生し、低質品を燃料化する。

すでに古紙の利用については、マテリアルリサイクル（再生紙）と並んでサーマルリサイクルの技術的な指針が示されており³⁾、製紙業界では、古紙のサーマルリサイクルへの取り組みが始まっている⁴⁾。我が国のような工業国においては、このような廃棄物系のバイオマスを活用することが、最も現実的であり、望ましいものと考えられる。

2. バイオマス発電の課題と対応

2.1 バイオマスの課題

発電用燃料としての廃棄物系バイオマスとは、具体的に下記が考えられる。

- (1) 建築発生木材：木質系廃棄物の内、合板原料、製紙原料などへの再生が困難な低質品
- (2) 雑古紙：古紙の内、再生が困難な低質品
- (3) 製紙スラッジ：製紙製造工程における有機系廃棄物
- (4) 農産物残さ：もみがら、麦わら、バガス（サトウキビの絞り粕）、パーム椰子残さ（パーム油製造工程の残さ）

これらを化石燃料と比較した課題は、下記のとおりである。

- (1) 一般に性状の変動幅が大きく、また含水率が高い。
- (2) 発生源が広範に分布しているため、大容量での利用に制約がある（特に農産物残さ）。
- (3) 農産物残さは、発生量に季節変動がある。
- (4) 農産物残さは、野焼きや簡易的な焼却処理される場合が多く、周辺環境の悪化を招いている。

2.2 発電設備としての必須条件

燃料の種類を問わず、下記が必須条件と考えられる。

2.2.1 供給安定性

電力需要に応じた安定的な発電が必要であり、季節的変動要因のあるバイオマスには、複数燃料の組み合わせや補助燃料による補正が有効である。

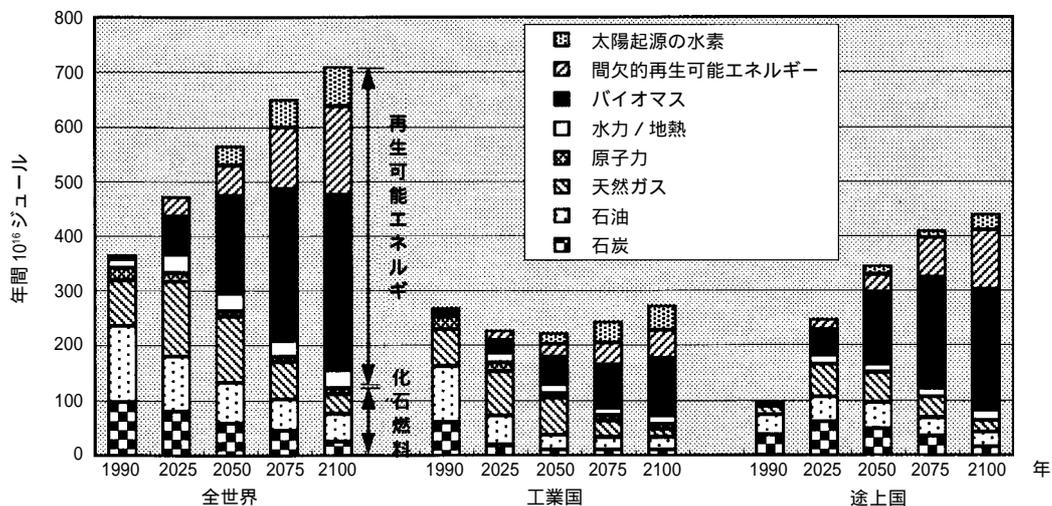


図2 バイオマス促進ケースにおける一次エネルギー供給の予測 (IPCC95 レポート)

2.2.2 低環境負荷

環境負荷の面から、二酸化炭素のみならず、窒素酸化物や硫黄酸化物の排出量も、低減が望まれる。

2.2.3 高効率

投入燃料エネルギーと発電出力の比率（発電効率）は、極力高いことが望まれる。ボイラ、蒸気タービンを使用した汽力発電の場合、発電効率はボイラ効率（投入燃料熱量に対する有効蒸気熱出力）と、蒸気サイクル効率（有効蒸気熱出力に対する発電出力）に分けられる。

ボイラ効率の向上には、一般に燃焼効率の向上（未燃損失の低減）と低空気比燃焼（過剰空気率の低減）が必要である。これらは、燃料の特性と燃焼方式に大きく依存する。

蒸気サイクル効率の向上には、蒸気条件の高圧高温化などの、従来の火力発電で培われた技術が適用できる。ただし、経済的な汽力発電設備の適正容量は、10MW以上の出力領域であると考えている。

また発電効率は、燃料の前処理を含めた評価が必要であり、ガス化や油化などの燃料形態の変換過程を含む場合は、これに要するエネルギーが損失となる。この観点から、バイオマスを高効率で直接利用（燃焼）できれば、ガス化や油化に比べて総合効率の面で有利であろう。

2.2.4 循環流動層燃焼の特性

各種固体燃焼方式の比較を表1に、またおのおのの関係を図3に示す。

循環流動層燃焼は、燃料粒子を燃焼空気によって流動化する流動層燃焼の一種で、その流動化速度が比較的高く、火炉の出口に飛散粒子の捕集循環回路を設けたことを特徴としている。この燃焼方式は、他の固体燃焼方式と比較して下記の特徴を有している。

(1) 燃料適合性が高い

固体燃料の燃焼反応が火炉の高さ方向全域で進行し、か

つ流動粒子の循環回路があるので、燃焼反応時間が長くとれる。そのため燃焼効率、多様な燃料への適合性が高く、また多種燃料の混焼が容易である。さらに流動粒子の保有熱による乾燥能力が高く、高含水率の燃料も事前乾燥なしに直接供給が可能である。

(2) 環境負荷が低い

火炉内に石灰石を供給することにより、乾式脱硫が可能となる。また火炉内での多段空気吹き込みと比較的低い燃焼温度(850 ~ 950)によって、NOxの排出濃度が抑制できる。

(3) 低空気比燃焼が可能

高速流動化のため燃料粒子と燃焼空気間の相対速度差が大きく固気反応が良好なので、過剰空気率が低く設定可能である。

(4) 設備の経済性が高い

環境負荷が低く特別な排ガス処理設備が不要なので、他方式に比べて設備の機器構成が簡素化され、設備費の経済性が向上する。この効果は、特に中規模の火力発電設備において顕著である。

これらの特徴は、バイオマス固有の課題に対する解決策を提供するものである。

2.2.5 循環流動層ボイラによるバイオマス発電

バイオマスの活用方法として、ガス化や液化などの燃料変換技術が提案されているが、いずれも開発途上にある。

バイオマス固有の課題と発電事業の必要条件および循環流動層燃焼の特性について関係を整理すると図4となる。この図に示すように、バイオマスエネルギーの速やかな実用化、確実な普及を図るためには、バイオマスを循環流動層ボイラで直接燃焼し蒸気タービンで発電を行うバイオマス(汽力)発電システムが、最適であると考えられる。

表1 各種固体燃焼方式の比較

燃焼方式	ストーカ燃焼	バブリング流動床 (BFB)	循環流動層 (CFB)	バーナ燃焼
燃焼原理				
固体燃料の運動	ストーカ上を移動	燃焼空気中流動化砂層内を運動	燃焼空気中流動化火炉とサイクロンを循環	燃焼空気に随伴
固体燃焼域	ストーカ上	砂層内部と表面	火炉高さ全域	火炉高さ全域
火炉内の物質移動	緩慢	濃厚層内に限定	上下方向の物質移動と熱移動が活発	ガス流れ方向に限定
燃焼制御性	鈍感	中間	敏感	敏感
低空気比燃焼	困難	可能	可能	可能
燃料				
多趣燃料への適合性	中位	大	大	小(適合範囲限定)
燃料の前処理	一般的に不要	一般的に不要	塊には粗粉砕が必要	微粉砕が必要
環境負荷				
低 SOx 燃焼	炉内脱硫不可	炉内脱硫性能劣る	高効率炉内脱硫	炉内脱硫不可
低 NOx 燃焼	難しい	炉内脱硫との両立困難	炉内脱硫と両立可能	低 NOx バーナ使用(適用範囲限定)
その他				
適性設備規模	小規模	小～中規模	中～大規模	大規模

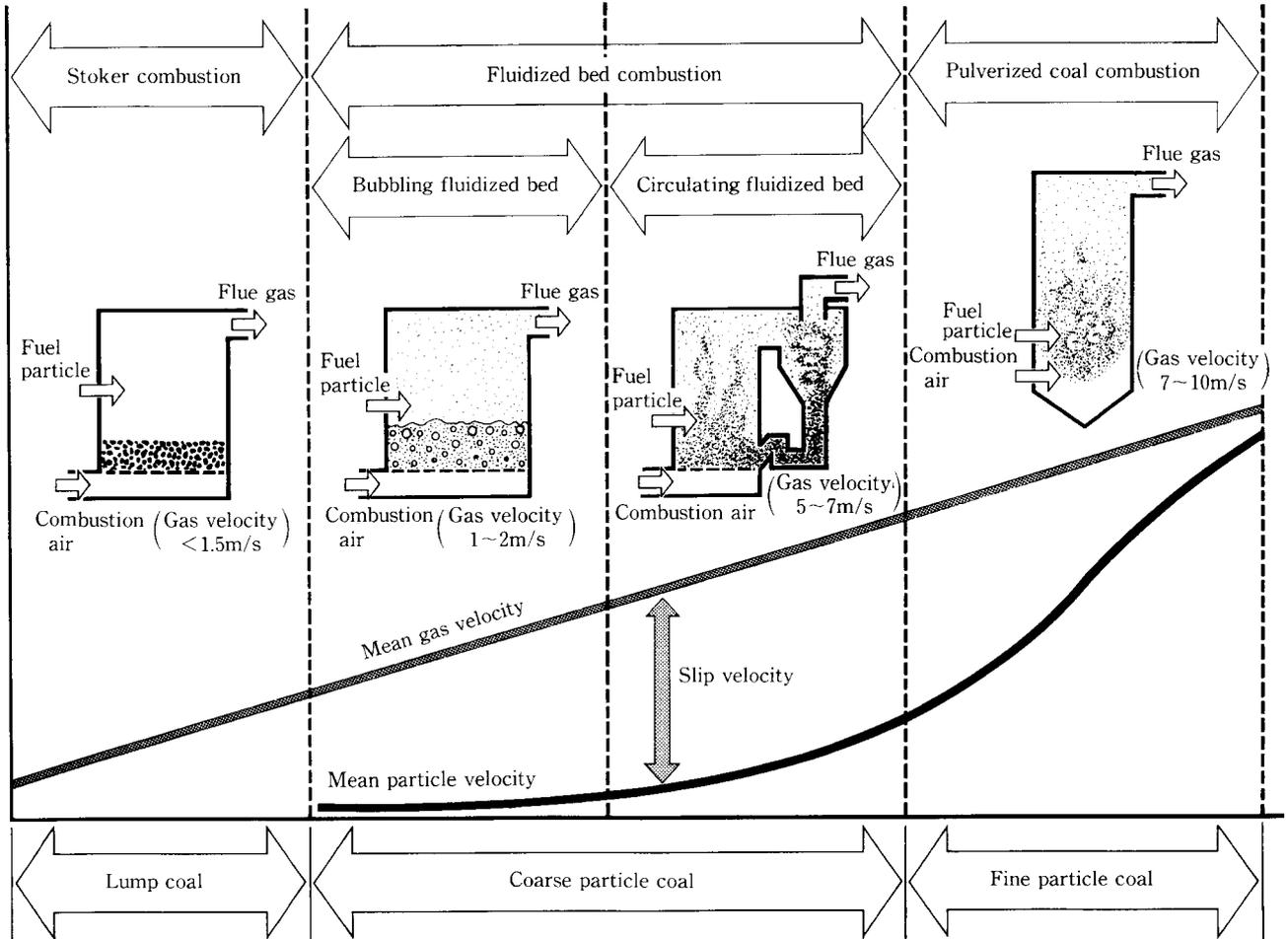


図3 各種固体燃焼方式と火炉ガス流速の関係

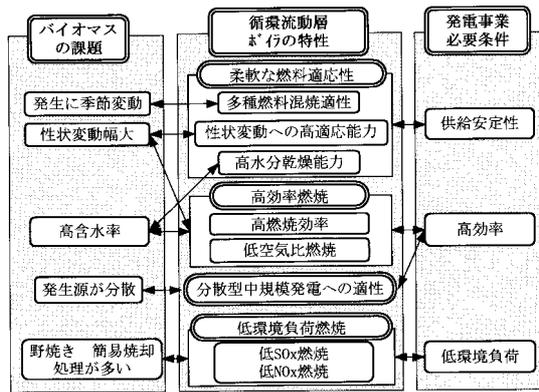


図4 バイオマス発電における課題と対応方法

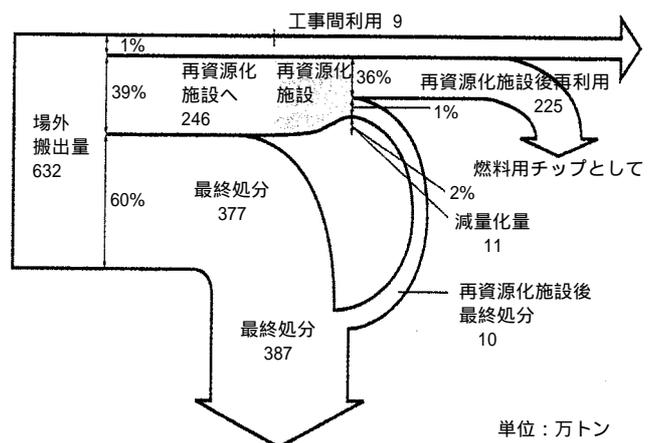


図5 建設発生木材の発生量と流通量

3. バイオマス発電の計画事例

循環流動層ボイラを用いたバイオマス発電の計画事例を以下に記載する。

我が国においては一般家屋の建替需要の増加による建設発生木材の排出量増加が懸念されている。建設省によれば、2000年度の発生量は、632万tであり⁵⁾、2010年度にはこれが4倍になると予想されている⁶⁾。建設発生木材の発生量と流通量を図5に示す。

これらの建設発生木材は、再資源化施設へ持ち込まれて破砕、減容化処理され、上質の木材チップは合板原料あるいは製紙原料として再利用される。その際に低質木材チップも発生するが、この用途が現状では不十分であるため、再資源化施設での処理量が制限されている。すなわち低質木材チップの需要が現状では少ないことが、建設発生木材リサイクル全体のボトルネックになっている。

この低質木材チップを燃料として積極的に活用すれば、建設発生木材のリサイクル全体を活性化し、また近い将来の建設発生木材の急増にも対応できるであろう。そこで当社では、この低質木材チップを主燃料とした循環流動層ボイラによるバイオマス発電所を計画し、関係各方面へその建設を提案してきた。

その結果、大阪府下の関連企業と共同で日本木材保存協会より委託研究「保存処理木材を含む木質廃材のリサイクル及び燃焼による適正回収処理システムの開発」を受託し、大阪府下での木質系廃棄物による発電所の企業化調査に参加した。この発電所の概要を表2に示す⁷⁾。

表2 木質系廃棄物発電所の概要

建設発生木材 リサイクル量	全体 発電分	18万t/年 13万t/年
発電設備	燃焼型式 発電効率(発電端) 発電規模 売電量	循環流動層 31% 20MW 141GWh/年
環境効果	二酸化炭素削減量 省資源 (A重油換算)	56.6千t/年 37.2千kl/年

4. 結言

二酸化炭素排出量削減および化石燃料資源保全の面から、植物由来の燃料であるバイオマスが、これからの最も重要な一次エネルギー源であり、とりわけ古紙、建設発生木材あるいは農業廃棄物のような廃棄物系バイオマスを活用することが重要である。

循環流動層ボイラは燃料への適応性が高いことと環境負荷が低いことから、バイオマスの直接燃焼に最適な燃焼方法であり、これを基軸に据えたバイオマス発電所は、バイオマスエネルギー普及のための重要な手段と考えられる。

地球環境との新しい共生関係を目指し、当社循環流動層燃焼技術および発電技術を活用できれば幸甚である。

参 考 文 献

- 1) 環境庁. “平成9年度版 環境白書”. 東京, 大蔵省印刷局. 1997. 477p.
- 2) 熊崎実. “循環型社会とバイオエネルギー”. 紙パ技協誌. Vol.54, No.11, pp.69-74(2000).
- 3) 通商産業省. “紙製容器包装サーマル・リサイクル施設技術指針”. 東京, NTTデータ経営研究所. 1999. 23p.
- 4) 野間俊哉. “紙パ産業における古紙サーマルリサイクルの意義”. 紙パ技協誌. Vol.53, No.1, pp.83-91(1999).
- 5) 建設副産物リサイクル広報推進会議. “総合的建設副産物対策”. 東京, (財)先端建設技術センター. 1999. 47p.
- 6) 建築解体廃棄物対策研究会. “解体・リサイクル制度研究会報告 広報推進会議”. 東京, 大成出版社. 1998. 162p.
- 7) 日本木材保存協会. “保存処理木材を含む木質廃材のリサイクル及び燃焼による適正回収処理システムの開発”. 2001.

< 問い合わせ先 >

ソリューションエンジニアリングセンター
Tel. 045 (510) 4700 山本 晃司
Yamamokr@nkp.tsurumi.nkk.co.jp