

微粉バイオマス専焼技術を適用した カーボンニュートラルな発電システムへの取り組み

Efforts Toward Steam Power Plant Utilized Pulverized Biomass Exclusive Firing Technology



池田 明弘*1
Akihiro Ikeda

下 尚司*2
Hisashi Shimo

辻川 寛*3
Hiroshi Tsujikawa

山下 登敏*4
Takatoshi Yamashita

須藤 誠*5
Makoto Sudo

中島 寛貴*5
Hiroataka Nakajima

昨今、地球温暖化への関心の高まりとともに、脱炭素、低炭素化に寄与する再生可能エネルギーの利用が世界的に拡大している。この再生可能エネルギーの中でも、バイオマス発電は大容量かつ安定した調整電源としての役割を担うことができ、カーボンニュートラルの観点から火力発電所の CO₂ 排出量低減にも寄与することができる。三菱日立パワーシステムズ(株)(以下、当社)は、高バイオマス混焼率の微粉炭焚発電システムの開発・実機での検証を経て、バイオマス専焼時のボイラでの粉碎性/燃焼性/灰付着性に配慮した、高効率な微粉バイオマス専焼発電システムを開発した。尚、本システムは、新設火力発電所への適用のみならず、既設石炭焚き火力発電所へも大幅な設備改造なく適用可能な技術となっている。

1. はじめに

2015年の気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)で採択されたパリ協定において、今世紀後半には温室効果ガスの排出を実質的にゼロ(人為的な排出と吸収を同じにする=ネットゼロ)にすることが目標として定められた。これにより、世界的に脱炭素、低炭素化に寄与する再生可能エネルギー普及の動きが高まっている。中でも木質バイオマス燃料を利用した発電システムは、他の再生可能エネルギーと比較し、大容量かつ気候変動の影響を受けないロバストな電源としての役割を担うことが可能であり、重要な電源として位置づけられている。当社はこのバイオマス発電において、従来の中規模出力容量(75MW~112MW)のバイオマス焚ボイラの主流であるCFB(循環流動層)ボイラと比較して、高効率(蒸気条件の高温高压化)、低所内動力、高稼働率が達成可能な微粉直接燃焼方式によるバイオマス発電システムを開発した。本報では、この微粉バイオマス専焼発電システムの開発経緯や特徴、適用実績について紹介する。

2. 微粉直接燃焼方式ボイラでのバイオマス専焼技術

従来、繊維質が多く含まれるバイオマス燃料を微粉炭機(ミル)で粉碎することは困難、という認識により、バイオマス燃料をボイラで使用するケースにおいては、ミルでの粉碎を必要としないCFBボイラ等に適用型式が限定されてきた。しかし、CFBボイラの場合、運転中の循環材の適正な管理や炉壁、伝熱管への摩耗・減肉対策が必要となり、その補修費用・期間の観点からメンテナンスにかかる負担が大きい。また、CFBボイラの特徴上、ボイラ火炉の必要圧力が大きく、風煙道系の補機動力が大きくなる傾向にある。一方、微粉直接燃焼方式を適用した中規模容量ボイ

*1 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部プロジェクト総括部電力計画部 グループ長

*2 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部プロジェクト総括部電力計画部 主席技師

*3 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部プロジェクト総括部電力計画部

*4 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部ボイラ技術総括部ボイラ戦略部 課長

*5 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部ボイラ技術総括部ボイラ戦略部

ラは、運転管理やメンテナンスが比較的容易かつ高効率である。このため、当社は、バイオマス燃料の中でも原料を細かく破砕し、水分調整された後に圧縮成形された木質ペレットを対象とした、微粉直接燃焼方式によるバイオマス専焼ボイラの開発に取り組んできた。以下に、その主要技術である燃焼システムと、バイオマス燃料をボイラで燃焼する上で重要となる灰付着抑制技術について説明する。

(1) 微粉バイオマス燃焼システムの確立

従来の微粉炭焚ボイラから大幅な機器仕様の変更を行わずに、各運転パラメータを調整することで、バイオマス専焼に対しても高い信頼性と燃焼効率を確保することが可能な微粉バイオマス燃焼システムの開発を行った。

微粉バイオマス燃焼システムの概要を図1に示す。

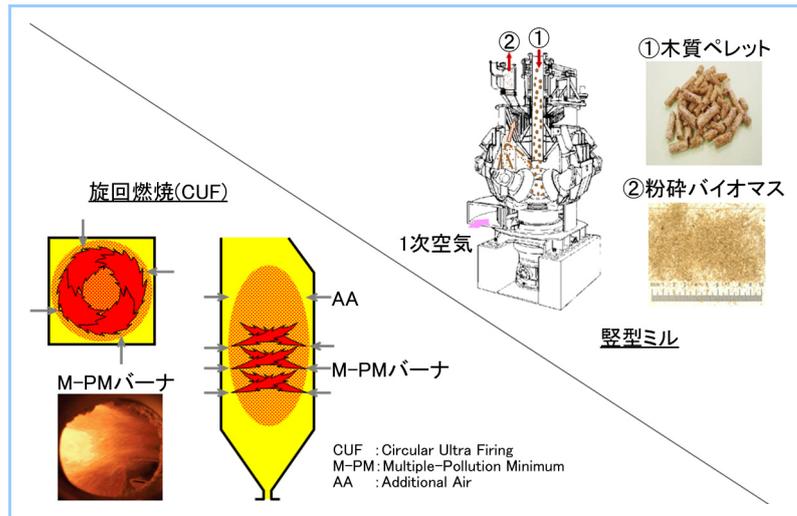


図1 微粉バイオマス燃焼技術

木質ペレットは、従来の縦型ミルで石炭粉砕時と同等の粒径(75 μ m程度)まで粉砕すると、ミルの差圧や所要動力が大幅に増加する。これは、バイオマス燃料は繊維質が残存し、粉砕性が石炭に比べて劣るためであり、経済性を考慮すると木質ペレットの粉砕後粒径は \sim 1mm程度が適正である。しかしながら、ペレット粉砕後の粒径は従来の微粉炭と比べて粗いため、ミル出口からのバイオマス粒子の排出性低下、及びバイオマスの着火安定性や燃焼効率の確保が微粉バイオマス専焼に向けた大きな課題であった。

そこで、ミル出口からのバイオマス粒子の排出性を改善するために、搬送空気量(1次空気量)を従来の石炭焚と比べて増やし、ミル内の空塔速度を増加させた。実際に、木質ペレットを適正な粒径まで粉砕(解砕)、微粉粒子として安定的に排出可能であることを当社のテストミルにて検証することに成功し、また、実機においても従来の石炭専用粉砕ミルからの構造の設計変更を行わずに、安定して連続運転できることを確認した。

また、粉砕後の粒径が粗いバイオマス粒子の着火安定性や燃焼効率確保の課題に対しては、旋回燃焼(CUF: Circular Ultra Firing)方式を採用することで解決を図った。本方式は、バーナから火炉中心へ微粉粒子と空気を噴射し、火炉内に旋回する渦状火炎を形成することで、燃料/空気の混合が良好となり、バイオマス燃料の高効率燃焼を促進するものである。

適用したバーナは石炭焚で実績豊富な低NO_xバーナ(M-PMバーナ)であり、微粉バイオマスの燃焼に対しても、その有効性を当社の大型燃焼試験炉にて確認した。その後、実機においても安定かつ適切にバイオマスの燃焼が行われていることが各種計測結果(熱流束分布、未燃分、NO_x値等)から示された。

(2) 灰付着抑制技術の適用

一般に、バイオマス燃料は石炭に比べてアルカリ金属成分(Na, K 等)が多く、木質ペレットもその傾向は同様である。バイオマス燃料中のアルカリ金属は炉内にて揮発して NaCl や KCl ガスとなるが、その発生量は炉内温度が高いほど多くなる傾向にある。また、発生したガスは後流の伝熱管部に到達して管表面にて冷却・凝縮し、バインダとなって灰付着を誘発する。そのため、他の燃焼方式と比べて炉内温度が高い微粉直接燃焼方式によってバイオマス専焼を実現するためには、本課題を解決する必要があった。

そこで当社では、**図2**に示す通り、炉内へ石炭由来のフライアッシュ(石炭灰)を投入し、NaCl や KCl ガスと反応させることによって、アルカリ金属の揮発量を低下させ、伝熱管部での灰付着を抑制することを可能とした。

本技術の効果は、後述の当社グループ会社が燃焼装置のバイオマス専焼化改造を実施した海外向け石炭焚ボイラでも実証済みであり、バイオマス燃料性状と石炭灰性状に応じた最適量の石炭灰を投入することで、従来の微粉炭焚ボイラと同等の伝面仕様にてバイオマス専焼対応が可能となる。

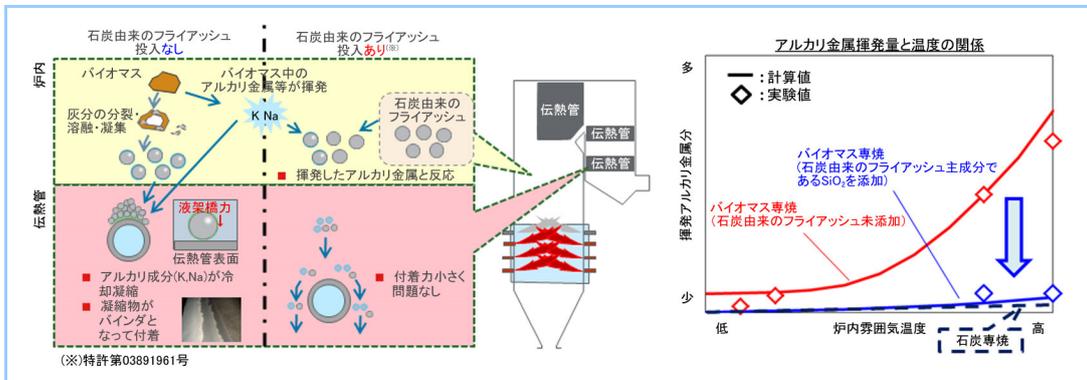


図2 灰付着原理と石炭灰投入による灰付着抑制効果

3. 微粉バイオマス専焼ボイラ発電プラントの特徴

微粉バイオマス専焼ボイラを適用した発電プラントの特徴及び概念図について、**図3**に示す。本設備の最大の特徴は、石炭由来のフライアッシュを炉内投入することにより、ボイラ炉壁・伝熱管表面への灰付着を抑制することである。また、ボイラ周り補機や排ガス処理装置等のプラント設備においても、バイオマス専焼に配慮した対策、設計を施している。以下に、各々の設備の特徴及び設計配慮点について述べる。

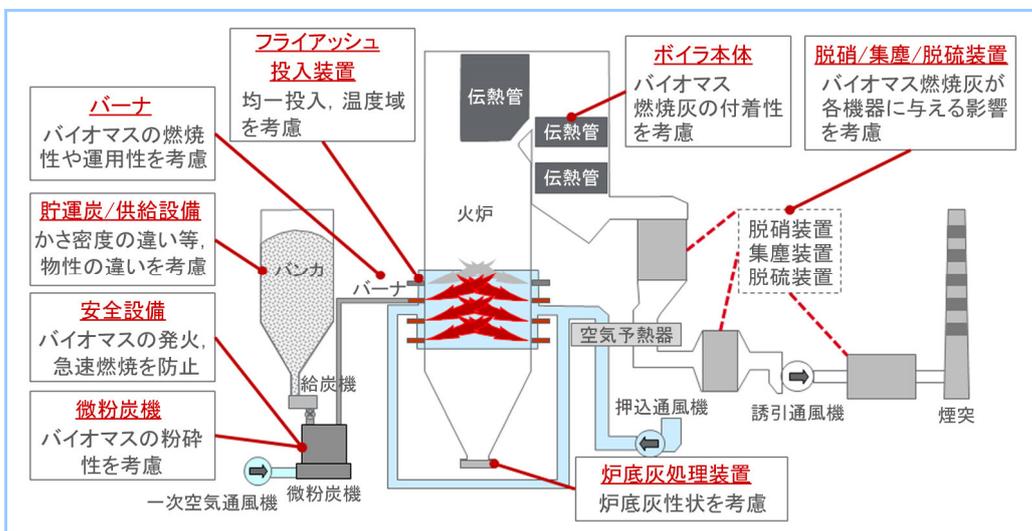


図3 微粉バイオマス専焼ボイラ発電設備の概念図

3.1 バイオマス安全対策

木質ペレットは石炭と比較し揮発分が高く、100°Cを越す雰囲気では揮発分の放出により酸化・蓄熱が進行しやすくなる。このため、バイオマス専焼時には石炭焚ボイラと比較してミル入口/出口空気温度を低い温度で適正に維持・管理することで、ミル内の発火を防止する。また、バイオマスは微粉が発生しやすく、最小着火エネルギーは石炭の1/10程度、爆発下限界濃度は約40%であるため、従来の微粉炭焚ボイラよりも粉塵爆発防止対策の強化が必要となる。粉塵爆発については三要素(粉塵濃度, 着火源, 酸素)が揃った雰囲気において発生するが、石炭と比較しこれらの要素が揃いやすい雰囲気には晒されるミルや微粉炭管については、万が一の粉塵爆発を想定し、急速燃焼抑制装置(消火容器, 圧力感知器等で構成)を設置する。また、着火源となり得る異物や金属類の、燃料搬送設備側での除去等、上流側での管理も重要となる。

3.2 排ガス処理システム

(1) 脱硝装置

バイオマス中に含まれる被毒成分に起因する灰付着・触媒活性低下による脱硝触媒劣化速度の上昇については、ボイラ炉内への石炭灰投入により影響の緩和を図りつつ、環境規制値に応じた触媒量の選定や、必要に応じた予備層の設置を考慮する。

(2) 集塵装置

石炭焚ボイラのフライアッシュと比較し、バイオマス専焼ボイラのフライアッシュは燃料中灰分割合が少ないこともあり、相対的に灰中未燃分が増加する傾向にある。結果としてボイラ出口煤塵の電気抵抗が低下し、かつ粒径が相対的に小さくなるため、電気集塵機では除塵率が低下する恐れがある。このため、本システムでは灰物性の変動の影響を受けづらいバグフィルタを採用することで、高除塵率を維持しつつ、後流への灰中未燃分のキャリーオーバーを防止する。

(3) 脱硫装置

木質ペレットに関する品質規格であるISO-17225-2:2014(Solid biofuels-Fuel specifications and classes- Part2: Graded wood pellets)で規定されている燃料中硫黄分(Sulfur<0.05wt%)以内であれば、原則脱硫吸収塔の設置は不要となる。また、バグフィルタ入口煙道に消石灰を噴霧する簡易脱硫を設置することも可能であり、環境規制値に応じたシステム設計が可能である。

3.3 炉底灰処理装置

石炭焚ボイラと比較して、バイオマス焚ボイラでは燃料中の灰分や微粉度の違いにより相対的に炉底灰中未燃分が増加する傾向にある。よって、本設備では湿式DCCを経た炉底灰を一時ボトムアッシュ貯槽に貯留、コンベヤ及びスクリーフィーダにてミル入口に移送し、リサイクルするシステムを設置することで、ボイラ炉底から系外に排出される灰中未燃分を低減する計画としている。

3.4 発電効率

微粉バイオマス専焼発電プラントには、中規模容量スチームパワーでは最高レベルとなる、主蒸気温度/再熱蒸気温度566/566°C級(蒸気タービン入口)の再熱システムを採用し、75MW級、112MW級それぞれで発電端プラント効率40%(LHV基準)以上を狙ったサイクル設計を行っている。

3.5 稼働率及び所内率

既に述べたとおり、一般的にCFBボイラは燃焼効率を高めるため、炉内で流動材を所定の速度で循環させているが、この循環する流動材に起因する摩耗や減肉のために、炉内耐火材の補修や伝熱管への減肉対策が必要である。また、風煙道系に必要な圧力も高く、プラント運転に必要な所内動力(所内率)も比較的高い。一方で、微粉燃焼方式は、これらの補修、減肉などによる

メンテナンス費を比較的安く抑えられることができ、定期検査1回あたりのボイラ停止期間も相対的に短くすることができる。また、ボイラ火炉及び風煙道系に必要な圧力も低く抑えられるため、結果として高稼働率、低所内率(75~112MW級CFBボイラ発電プラントと比較し、約70~80%程度のプラント所要動力)が達成可能である。よって、高送電端プラント効率が求められるIPPや、高稼働率・安定運転が求められる自家発電設備、CO₂低減を狙った既設石炭火力発電所のバイオマスへの燃料転換等のケースにおいて、微粉バイオマス専焼発電システムの適用は、即効性のあるソリューションになると考えられる。

4. 当社グループでの微粉バイオマス混焼、専焼発電プラントの実績

(1) 高バイオマス混焼率の実績

当社は、日本国内向けに112MW級の新設石炭・バイオマス高混焼発電設備を複数プラント納入している。いずれの発電設備でも、定格負荷で熱量比にてバイオマス30%混焼を達成したことを確認している。

(2) 石炭からバイオマス専焼への改造実績

当社グループ会社であるMitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH(MHPS-EDE)が、海外にてバイオマス専焼化改造に関与した実績を表1に示す。いずれの案件も、石炭からバイオマスに燃料転換を実施したものであり、トラブルなく安定運転されている。

表1 バイオマス専焼ボイラ 改造実績

項目	Studstrup#3	Drax#1-#3	Avedore#1	Atikokan
プラント所在地	デンマーク	イギリス	デンマーク	カナダ
出力(MWe)	350	660	250	200
バイオマス専焼 運転開始年	2016	2016	2017	2016
バイオマス専焼化 主要改造範囲	・ミル改造 ・バーナ改造	・バーナ改造	・ミル改造 ・バーナ改造	・ミル改造 ・バーナ改造
プラント運用形態	冬:バイオマス 夏:石炭	通年バイオマス	冬:バイオマス 夏:石炭	年の1/3程度 (ピーク対応電源)



Studstrup#3



Avedore#1

写真出典:”8th IEA-CCC Biomass Co-firing Workshop“発表資料, Copenhagen, Denmark 11.09.2018

5. まとめ

当社は、本報で示した設計コンセプト、燃焼試験装置での検証、国内での微粉炭バイオマス高混焼発電設備の運転実績や海外でのバイオマス専焼化改造を経て、微粉バイオマス専焼発電システムを確立した。本システムは、カーボンニュートラルの観点からみたCO₂排出量低減の役割、及び高効率な安定電源を担うという役割を同時に達成できる、即効性のある技術である。今後、新設のみならず既存の石炭焚き火力発電所へ本技術を適用することで、高効率で安定稼働な再生可能エネルギーによる電源普及を目指し、低炭素社会への一層の貢献を図っていく所存である。

参考文献

- (1) 横式龍夫ほか 微粉炭バイオマス高混焼率発電設備の運転実績 三菱重工技報 Vol.55 No.4 (2018)
- (2) 横式龍夫ほか MHPSグループのバイオマス焚きボイラ技術の紹介 三菱重工技報 Vol.54 No.3 (2017)