

# コンベンショナルボイラでの CO<sub>2</sub> 排出削減の取組み

## CO<sub>2</sub> Mitigation Technology for Conventional Boiler



若林 嘉幸 Yoshiyuki Wakabayashi	丸田 得志 Tokushi Maruta
外野 雅彦 Masahiko Hokano	北川 雄一郎 Yuuichirou Kitagawa
菅沼 博 Hiroshi Suganuma	藤村 皓太郎 Koutaro Fujimura

現代の社会は化石燃料に大きく依存しており、その結果として資源の枯渇及び地球温暖化を初めとする環境問題に直面しているのが現在の状況である。さらにはエネルギーの安定供給の観点から石炭をベースとした新しい高効率発電システムの開発が不可欠である。当社では石炭焼きコンベンショナルボイラをベースとした新しい発電技術について取り組んでおり、その中で超々臨界圧ボイラ、高度バイオマス利用、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼の3つの技術開発動向について紹介する。

### 1. はじめに

現代の社会は、主要なエネルギー源として石炭・原油・天然ガスを初めとする化石燃料に大きく依存しており、その結果として資源の枯渇及び地球温暖化を初めとする環境問題を引き起こしているのが現状である。環境負担の低減及び経済の持続的発展を実現するためには新しい高効率発電システムの開発が不可欠である。さらに昨今の原油価格の変動に見られるように、エネルギーの安定供給も重要課題となっており、今後も安定した供給が見込まれる石炭を利用した高効率発電システムの開発が重要である。

当社では IGCC, IGFC も含む種々の高効率発電システムの開発に取り組んできているが、その中で本論文では石炭焼きコンベンショナルボイラをベースとした CO<sub>2</sub> 排出量削減技術である高度バイオマス利用、超々臨界圧(A-USC:Advanced Ultra Super Critical)ボイラ、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼の3つの技術に関して当社の取組み状況及びその概要について紹介する。

### 2. CO<sub>2</sub> 排出削減技術の開発

#### 2.1 バイオマスエネルギーの高度利用技術

バイオマスは大気中の二酸化炭素が太陽エネルギーにより固定されたものであり、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<sub>2</sub> 量を増加させることはなく、CO<sub>2</sub> 排出量削減の有効な手段の一つとして考えられている。さらには森林管理・育成、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状況である。

表1に主要なバイオマス利用技術の比較を示す。

これらの技術のうち、本論文では大容量コンベンショナルボイラに適用されている石炭焼きボイラでの混焼利用の動向について紹介する。

表1 バイオマスエネルギー利用技術の比較

項目	直接燃焼	石炭焚きボイラでの混焼	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	主として木チップ	草木すべて	草木すべて 汚泥など	主として糖・でん ぷん質	堆肥・汚泥
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
エネルギー 変換効率	低(電力) 高(蒸気)	高(電力)	高 (液体燃料)	高 (固体・ガス燃料)	低～中 (液体燃料)	低～中 (液体燃料)
特徴	バイオマス発生地に設置可能だが、中小規模のため効率が低い。	高効率プラントへの適用可	メタノール、DMEの利用価値大	高効率プラントへの適用可	エタノールの利用価値大 原料バイオマスに制約有り	高含水率バイオマスの適用可 原料バイオマスに制約有り

(1) バイオマスー石炭混焼システムの取組み

木質のバイオマスを直接、高効率発電プラントの石炭焚きなど既設ボイラ設備で石炭などと混焼することで、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碎し、微粉炭と混ざった状態で石炭バーナより火炉内へ投入する方式と、木質バイオマス専用の粉砕機により微粉碎し、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碎方式では既設微粉炭機を流用できることから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が主成分である木質バイオマスを粉碎する際には微粉炭機粉碎能力の制限を受け、通常混焼率は入熱比1～5%程度が上限となる。これに対し、専用粉砕機による粉碎方式ではより高いバイオマス混焼比率の達成が可能である、というメリットを有する。

(2) 原料前処理設備

木質バイオマスの性状(種類・大きさなど)により異なるが、チップやペレット状で受け入れる場合であれば破砕機などの前処理設備は不要となるが、必要に応じ乾燥機・磁選機などが設置される。

(3) 供給・燃焼設備

① 微粉炭機による混合粉碎方式の場合

バイオマスと石炭の混合方法としては、石炭ヤードでの混合、運炭コンベア上での混合及び給炭機部分での混合がある。石炭バンカ内における比重差に起因する分離(混合不良)などによる混合率の変動を抑制するためには給炭機部分でバイオマスを一定量供給する方法が望ましいが、1～5%程度の混合率ではコンベアでの混合が一般的である。

② 専用粉砕機による粉碎方式の場合

木質バイオマス専用の粉砕機が必要となる。粉砕機で粉碎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。木質バイオマスは揮発分が高いため石炭より燃焼性は良いが弾性材料であるため粉碎性が悪く、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碎粒径を選定することが重要なポイントである。

(4) 環境特性

石炭と比べてN分含有量は少なく、一般的には混焼率に比例してNOx発生量は減少傾向もしくは同等程度である。厳密には混焼方式・粉碎粒径などによってもその特性は異なる。

また、石炭に比べても灰分が少ないことから、混焼率に比例してばいじんの発生量は減少傾向を示す。

(5) 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において、木屑、バガス焚きなどの

旋回燃焼ボイラの実績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焼に関する知見を基に現在国内外に展開中である。

国内では四国電力(株)と共同で西条1号ボイラ(156MW)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焼試験を実施し、混焼率2%での本格運用を実施している。

また、関西電力(株)と共同で舞鶴1号ボイラ(900MW)においてバイオマス混焼確認を実施し、平成20年からはバイオマス混焼(平均混焼率3%)での本格運用が開始されている。さらに北陸電力(株)敦賀2号ボイラ(700MW)でも3%程度の混焼率での運転を実施し、良好な運転状況を確認している。いずれのユニットも既設微粉炭機を利用した混合粉碎方式を採用している。

## 2.2 次世代超々臨界圧ボイラ(A-USC)の開発

火力発電所の蒸気条件を一層、高温高压化することで高効率を図ることはCO<sub>2</sub>排出抑制の有効な手段である。欧米諸国と同様に我が国でも700℃級の次世代超々臨界圧プラント(A-USC)技術開発を国家プロジェクトとして要素研究が進んでおり、送電端効率として46%(高位発熱量基準)をもくろんでいる。

ただし、今後A-USCを商用化するためには高温高压化に適応する材料の開発・実用化と、それに伴う製造技術の開発、信頼性・経済性を考慮した設計の確立などの課題が挙げられる。

図1に示すとおり、現在計画されているスケジュールでは材料開発などの要素開発から実証試験などの検証試験までの期間を9年間としており、実証試験については5年間を見込んでいる。石炭火力発電による我が国のエネルギーセキュリティの確保とA-USCの高蒸気条件を実用化する上で不可欠な新材料及び製造技術の確立のための継続的な研究開発は緊急課題である。

		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	
システム設計	システム設計, 設計技術開発	基本設計, 配置最適化, 経済性試算									
要素開発	材料開発	大径管, 伝熱管用新材料開発, 材料改良									10万時間
	材料製造検証	高温長期材料試験 (3~7万時間)									
		溶接技術開発・試験, 曲げ試験									
実証試験		設備計画			設備設計		設備製造, 据付		試験, 評価		実証機

図1 A-USC 技術開発 国家プロジェクトスケジュール案

### (1) 材料開発

700℃級の条件下においては、従来の材料とは異なる高温強度を有する材料の開発が必要であり、高温度域で十分な許容引張応力を有するNi基あるいはFe-Ni基合金の適用が不可欠と考えられている。ボイラ材料としてはNi基合金であるAlloy617, CCA617, Haynes230, Alloy740, Nionic263のほか、近年日本で開発中のFe-Ni基合金であるHR6Wが挙げられる。

高価なNi基合金を適用するため適用範囲を極力小さくし、経済性を確保する設計手法の確立も重要である。

### (2) 製造技術の開発

高温・高压化で適用されるNi基合金又はFe-Ni基合金について、曲げ加工技術開発、材料/異材継手の溶接材料の開発、溶接施工法の確立、溶接条件の最適化、継手の組織・強度・じん性の把握、熱処理方法、溶接部検査手法などを含めた総合的な検証を進める必要がある。

### (3) 構造上の考慮

主蒸気管・再熱蒸気管の熱伸びに対する配慮や、高温部に付随する弁類の構造的な信頼

性確保などの検討を行う必要がある。

### 2.3 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼

大気中への CO<sub>2</sub> 排出量削減の手段としては発生する CO<sub>2</sub> を回収・貯留することが最も直接的で効果的な方法である。回収する方法としては、①排ガスから CO<sub>2</sub> を吸収液にて吸収・分離する方法と②燃焼用の空気から窒素を分離し、ボイラ出口から再循環した CO<sub>2</sub> が主成分である排ガスと混合して燃焼し、排ガス CO<sub>2</sub> を回収する新たな燃焼方式として考案された O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼方式がある(図2)。ここでは後者の O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼方式の開発動向について紹介する。

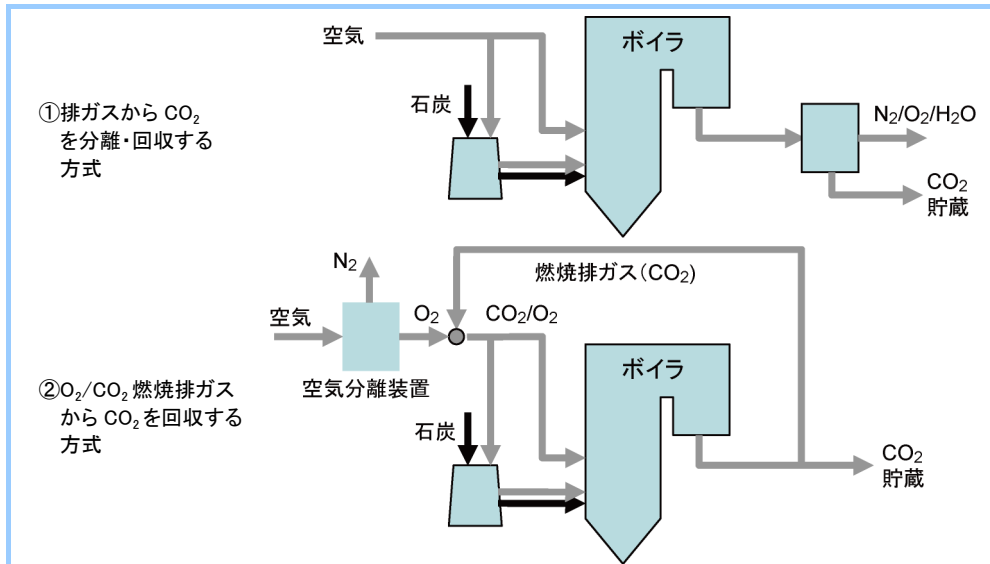


図2 コンベンショナルボイラでの CO<sub>2</sub> 回収方式

#### (1) O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼方式

O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼では燃焼用空気から分離した O<sub>2</sub> で石炭を燃焼させることにより排ガス中の CO<sub>2</sub> 濃度を 90% 以上に高めることができるので燃焼排ガスの CO<sub>2</sub> 分離プロセスが不要となり、圧縮・冷却での CO<sub>2</sub> 回収が可能となる。これを発電システムに適用するために、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼では CO<sub>2</sub> が主成分である排ガスを再循環し燃焼用 O<sub>2</sub> と混合することで O<sub>2</sub> 濃度を適性値とし、火炎温度の上昇を抑制することができる。O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼は、今後の空気分離装置の低コスト化、低動力化の進展によっては、他の CO<sub>2</sub> 回収システムと比較して技術的なハードルが低く、より経済的な方法として期待される方式である。

#### (2) O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼試験

当社では、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼特性の把握を目的として、実機の 1/100 スケールバーナでの小型燃焼炉を用いて実機と同様の排ガスの再循環システムを構築し、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼特性の評価を実施した。試験結果の一例として、図3に O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼と通常空気燃焼の比較を示す。O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼では、空気燃焼と比較して火炎の輝度が高く、燃焼が良好でかつ安定していることが確認できた。

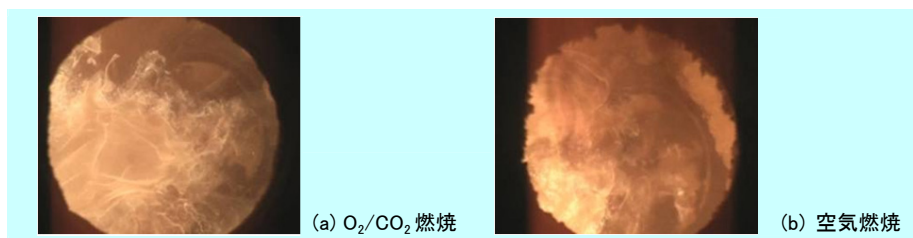


図3 燃焼状況の比較

また、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼における NO<sub>x</sub> 発生量に関しては、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃焼時では空気燃焼時と比較して、循環ガスを再度炉内の還元域に戻す効果によって、1/2～1/3 程度に低減することを確

認した。今後、更なる大容量バーナによる実証試験を継続していく。

### 3. まとめ

低炭素社会に向けた CO<sub>2</sub> 負荷の少ない発電が求められているが、石炭は原油・天然ガスに比べ価格の変動が少なく、なおかつ安定して供給可能な燃料であり、今後も安定的な電力供給を維持する上でも石炭火力発電からの CO<sub>2</sub> 排出量削減を進めることは最重要課題である。当社は本論文で紹介したコンベンショナルボイラをベースとした CO<sub>2</sub> 排出削減技術から、IGCC, IGFC などの次世代技術の開発も含め、石炭を利用した幅広い発電技術開発を推進し、地球環境と調和するクリーンコール利用技術を提供していきたい。

### 参考文献

- (1) 橋本貴雄ほか, 石炭焼き発電技術の高効率化の現状と展望, 三菱重工技報 VOL.45 No.1 (2008) P.9
- (2) 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

### 執筆者紹介



若林嘉幸  
原動機事業本部  
ボイラ統括技術部  
部長



丸田得志  
原動機事業本部  
ボイラ統括技術部  
次長



外野雅彦  
原動機事業本部  
ボイラ統括技術部  
ボイラ技術一課  
課長



北川雄一郎  
原動機事業本部  
ボイラ統括技術部  
ボイラ設計課  
課長



菅沼博  
原動機事業本部  
ボイラ統括技術部  
ボイラ技術一課  
主席



藤村皓太郎  
技術本部  
長崎研究所  
燃焼・伝熱研究室  
主席