

難燃性石油コークス専焼ボイラの計画と運転実績

Development and Operation Results of Petroleum Coke Firing Boiler



荒川 善久^{*1}
Yoshihisa Arakawa

横式 龍夫^{*2}
Tatsuo Yokoshiki

山崎 亮^{*3}
Ryo Yamazaki

小田 直芳^{*4}
Naoyoshi Oda

山本 禎久^{*5}
Yoshihisa Yamamoto

岡元 章泰^{*6}
Akiyasu Okamoto

難燃性の石油コークスをボイラ用燃料として適用する場合、従来は着火安定性の確保のためにバーナ部での燃料濃度の上昇を目的として間接燃焼方式（ピンシステム）を採用し、更に重油又は石炭による助燃を実施していた。一方、微粉炭火力と同様の直接燃焼方式（ダイレクトミルシステム）は、バーナ部での燃料濃度の低下により石油コークスの専焼は困難とされてきた。本報では難燃性石油コークスをダイレクトミルシステムで専焼可能とした燃焼システムをはじめ石油コークス専焼プラントの計画と運転実績を紹介する。

1. はじめに

石油精製業において深絞りによる白油の増産が活発に行われており、残渣である重質油の処理がますます必要となってきた。石油コークスは重質油分解装置の一つであるコーカーより産出されるが、軽質油田のピークアウトに伴う重質原油の比率上昇によって生産量の増加と、軽質油の収率を上げるための操作により、一層の低揮発分化が今後予想される。この石油コークスを発電用ボイラ燃料としてクリーンに安定燃焼させることにより原油の更なる有効利用が可能となる。

本報では、これまでに蓄積した豊富な微粉燃焼技術と重質残渣油燃焼ボイラ技術を基に、新たに開発した難燃性石油コークス焚きバーナと、燃料系統設備の簡略化・大容量化に適した直接燃焼方式（ダイレクトミルシステム）を採用した我が国初の難燃性石油コークス専焼ボイラである（株）フロンティアエネルギー新潟（略称FEN）新潟発電所向け428 t/hボイラの計画と運転実績を紹介する。

2. 石油コークスの一般性状

表1に微粉炭火力で一般に使用されている瀝青炭と石油コークスと同じく石油精製の残渣であるVR（減圧蒸留残渣）の一般的な性状比較を示す。石油コークスの主な特徴は次のとおり。

(1) 低揮発分

瀝青炭と比較して揮発分が少なく固定炭素分が多いため着火性・燃焼性に劣る。

表1 石油コークスと瀝青炭及びVR（減圧蒸留残渣）との一般的な性状比較

項 目	燃 料 性 状 比 較		
	石油コークス 固体微粉燃焼	瀝青炭（例） 固体微粉燃焼	VR（例） 固体微粉燃焼
高位発熱量（気乾）（kJ/kg）	34893	28180	41850
揮発分（気乾）（wt %）	9.9～13	26.2	—
固定炭素（気乾）（wt %）	87～90	56.3	残炭20～30
灰分（気乾）（wt %）	0.4～1.0	14.8	0.05
HGI（—）	38～60	60	—
窒素分（無水無灰）（wt %）	1.5～2.6	1.55	0.4～0.5
硫黄分（無水無灰）（wt %）	4.0～6.5	0.40	4.0～6.0
バナジウム（ppm）	1500～2000 （従来500 ppm）	—	120～300

(2) 高窒素分・高硫黄分

石油精製の過程で窒素分・硫黄分が濃縮されるためVR以上に含有濃度が高く、燃焼排ガス中のNO_x、SO_x発生量が多い。

(3) バナジウム分

石油精製の過程でバナジウム分が濃縮されVRに比べ更に高い含有濃度となるため、灰分は低融点灰を形成し火炉壁や伝熱管への付着による伝熱阻害や通風障害及び高硫黄分の影響で高温腐食を引き起こす可能性がある。

3. 難燃性石油コークス燃焼システム

上に述べたとおり石油コークスに含まれる揮発分が少ないため、専焼運転するためには着火性向上が不可

*1 原動機事業本部ボイラ技術部次長

*2 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ技術二課長

*3 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ技術二課

*4 原動機事業本部火力プロジェクト部エネルギーシステム技術課主席

*5 長崎造船所火力プラント設計部陸用ボイラ設計課

*6 技術本部長崎研究所火力プラント研究推進室主席

欠である。一般に、搬送用一次空気と燃料の比率Air/Fuel比を低下させ燃料混合気中の燃料濃度を高くすることにより、微粉碎され気流搬送でバーナから噴出する固形燃料の着火性を向上させることができる。一方微粉炭機（ミル）での石油コークスの粉碎・乾燥・排出に必要な熱空気の量は、ミル側の制約で決まるため、着火性改善とミルの運用に必要な空気量は必ずしも一致しない。

この二つの相反する要求を同時に成立させるために、従来はビンシステムを採用し、ミル粉碎に必要な空気量と燃焼空気量を別々に制御できるシステムを採用していた。当社では、このビンシステムによる石油コークス専焼ボイラを1980年代に実用化している。

しかしながらビンシステムは、ミルで微粉碎された石油コークスを一度捕集するためのサイクロン・微粉ビン及び排風機等が必要となり、瀝青炭焼きで一般的に用いられるダイレクトミルシステムと比較して燃料系統が複雑で配置・メンテナンスの面で不利であった。図1に間接燃焼方式（ビンシステム）と直接燃焼方式（ダイレクトミルシステム）の比較を示す。

従来から実績のあるビンシステムと比較してバーナ部での燃料濃度の低下により着火性が低下するダイレクトミルシステムでも安定した石油コークス専焼運転が達成可能な次の燃焼システムを採用した。

3.1 CUF (Circular Ultra Firing)

バーナを輻射強度の高い火炉壁中央寄りに配置し、火炉全体を有効に利用する旋回燃焼方式の特徴を生かし難燃性の微粉炭を燃焼するために開発された低NO_x・高効率燃焼が可能なCUF燃焼方式^①を採用し、低負荷においてもバーナ部への熱輻射を確保し着火安定性を向上している。

3.2 難燃性石油コークス焼きA-PMバーナ

微粉炭焼きの低NO_xバーナとして実績のあるA-PMバーナをベースに着火性を向上するための改良を行い、実機規模バーナスケール容量の燃焼試験炉において100%バーナ負荷はもとより50%バーナ負荷に

においても安定した着火・燃焼性を確認・検証した^②。

図2に示す通り、難燃性石油コークス焼きバーナは、A-PMバーナとしての燃焼性能を維持し、石油コークス噴出速度の適正化や燃料及び搬送空気の濃淡分離性能の強化、保炎機能の強化を実施したものである。

4. FEN新潟発電所向けプラントの計画と設計上の特徴

本プラントの主要目を表2に、概略系統を図3に示す。

4.1 燃 焼 装 置

燃料供給はダイレクトミルシステムとし、バーナは前述の難燃性石油コークス焼きA-PMバーナ及びCUFを採用した。

また石油コークス粉碎機は、瀝青炭焼きと同様堅型ミル3台にて計画し、難燃性石油コークスの燃焼性改善のため200メッシュパス95%以上という高微粉度での安定粉碎を実現する回転式分級機を内蔵した三菱MRS-IIを採用した。更にHGI変化及びボイラ低負荷対応としてポールチェンジモータを採用しており、ミル運転中の回転数切り替えを可能とした。

4.2 高硫黄による腐食対策

火炉バーナゾーンの硫化腐食対策として、VR焼き等で実績のある高Cr溶射を実施した。

過熱器の高温腐食対策として、選定蒸気条件の適正化、高温メタル温度過熱器に25Cr材の適用及び付着灰融点の上昇を目的として燃料添加剤の注入を実施し

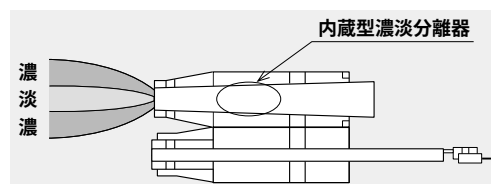


図2 難燃性石油コークス焼きバーナ
濃淡分離性能の強化及び保炎機能の強化を実施している。

表2 主要目

項 目	仕 様
形 式	三菱水管ボイラ単胴自然循環形 MB-R（屋外式）
定格出力	発電端 110MW
最大連続蒸発量	428t/h
蒸気圧力	過熱器出口 12.95 MPag
蒸気温度	過熱器出口 541℃
給水温度	節炭器入口 211.6℃
蒸気温度制御方式	給水スプレイ
燃 料	石油コークス専焼
通風方式	平衡通風

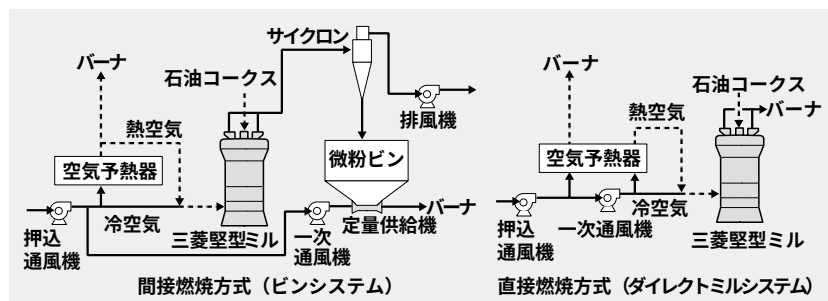


図1 ビンシステムとダイレクトミルシステムの比較
ビンシステムは燃料系統が複雑で配置・メンテナンスの面で不利である。

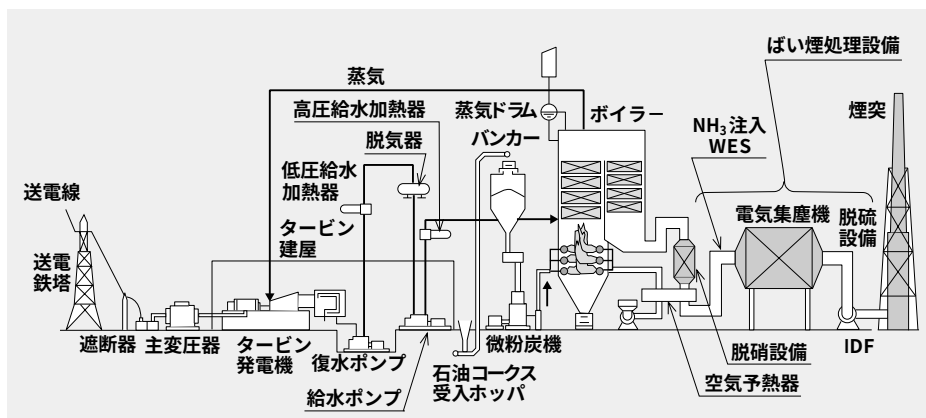


図3 概略系統図 石油コークス専焼ボイラ及び環境装置（脱硝装置、電気集塵機、脱硫装置）を具備している。

た。

空気予熱器の低温腐食対策として、耐食性に優れたセラミックエレメントを低温部に採用するとともに蒸気式空気予熱器による排ガス温度制御を実施した。また、エレメントの汚れ対策として抜き差し型のマルチノズルスーツブロワを採用した。

4.3 低融点灰による伝熱面への灰付着対策

従来使用実績のある石油コークス中のバナジウム濃度は500 ppm程度であったが、今回の計画石油コークス中バナジウム濃度は1500 ppmと高いため、その燃焼低融点灰による伝熱面への灰付着が激しいことが予想された。

そこで、実機を模擬した温度調節機能付き模擬伝熱管を用いた灰付着性の基礎試験を実施し、伝熱面配置の適正化を行った。図4に灰付着試験装置外観を示す。また、同時に実機スーツブロワを模擬したブローイング装置を用い、バナジウム濃度と添加剤投入量の違いによる付着灰の剥離動圧、剥離状況を確認する付着灰剥離試験を実施し、適正燃料添加剤量の設定及び高効率スーツブロワの配置・運用頻度を設定した。試験結果の一例として付着灰剥離特性を図5に示す。これにより次の傾向を確認した。

- 付着温度域の上昇に伴うスーツブロワ必要剥離動圧

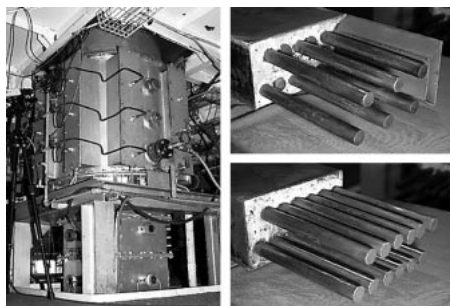


図4 灰付着試験装置外観及び模擬伝熱管 実機を模擬した伝熱管温度調節が可能な試験装置。

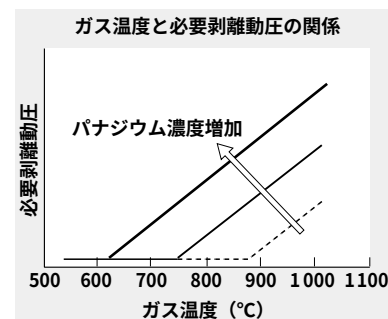


図5 付着灰剥離試験結果 付着温度域及びバナジウム濃度変化によるスーツブロワ必要剥離動圧の関係を示す。

の増加傾向

- バナジウム濃度の増加に伴うスーツブロワ必要剥離動圧の増加傾向

4.4 環境対策

NO_x対策としては、石油コークス専焼用に開発した低NO_x A-PMバーナと炉内脱硝法（A-MACT）を適用し、発生量を抑制した上で脱硝装置を装備した。脱硝装置触媒の目詰まり防止対策としては、音波式スーツブロワを設置するとともに目開きの大きい触媒を採用した。更に脱硝触媒でのSO₃転換を抑制するために低転換率触媒を採用した。

紫煙対策は、電気集じん機入口へのNH₃注入によりSO₃を硫酸へ変換し、固形分として電気集じん機にて集じんする計画とした。また脱硫排水を電気集じん機入口へ噴霧することで、無排水化を実現するWES（Waste Elimination System）を採用した。

脱硫装置は石灰石膏法を採用し、石膏を有効利用している。

5. FEN新潟発電所向けプラントの運転実績

5.1 燃焼調整

難燃性石油コークスのため安定着火に重点を置き調整を実施した。

図6に110 MW発電負荷時、図7に39 MW発電負荷時のバーナ火炎を示す。A-PMバーナ及びCUFの効果により、定格発電出力110 MWから石油コークス専焼最低負荷である39 MWの範囲で、バーナ口から燃料噴出部外周部に火炎が形成されており連続的に安定した着火・燃焼状態が確認された。

負荷変化時の主要データを図8に示す。蒸気圧力温度とも安定した負荷変化運転を確認した。

5.2 灰付着状況

平成17年3月火入れから4ヶ月運転後の高温過熱器灰付着状況を図9に示す。計画通り高バナジウム濃



図6 110 MW発電負荷時のバーナ火炎 微粉炭
焚きと遜色ない輻射強度であり火炉内は火炎が充満している。



図7 39 MW発電負荷時のバーナ火炎 バーナ
口から燃料噴出外周部に火炎が形成されており安定した着火状態である。



火炉出口位置2次過熱器下部



3次（最終）過熱器下部

図9 高温過熱器灰付着状況 付着灰は軽微でスー
ツブロワの効果が確認される。

度の石油コークスにて運用しているが、燃料添加剤及び高効率スーツブロワの効果により灰付着は軽微であり、スーツブロワによる除灰効果が確認された。

5.3 性能試験結果

平成17年7月に実施した性能試験結果を表3に示す。性能・環境値とも良好な結果が得られた。また、燃焼調整により良好な着火・燃焼性を確認し、低空気過剰率運用が可能となり、ボイラ効率も低位発熱量基準で92.6%と良好な結果を得た。

6. ま と め

難燃性石油コークスを専焼可能なユニットが実用化され、従来必要とされていた油等の助燃が不要となり石油資源の更なる有効利用が可能となった。

従来、適用困難とされていたダイレクトミルシステムでの専焼技術の確立により配置・設備の合理化・省メンテナンス性向上が計れ、更にPPS電源等大容量化への目処がついた。

今後石油精製業における重質油対策により増加が予想される石油コークスを、燃料として有効利用可能な発電プラントの需要が期待される。本プラントでの運転経験を生かし、今後の設計や運転に反映することにより、更にお客様に満足いただける設備の提供に努力してゆく所存である。

終わりに、難燃性石油コークスをダイレクトミルシステムで専焼可能とした燃焼システムの開発をサポー

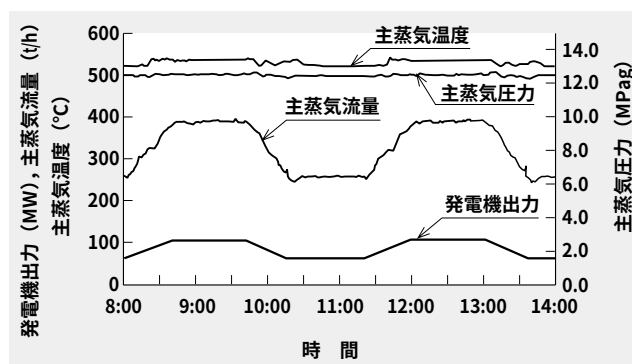


図8 負荷変化時の主要データ 蒸気圧力温度とも安定した負荷変化運転を確認した。

表3 性能試験結果

項 目	計画値	試験結果
最大発電端出力 (MW)	110	110
石油コークス専焼最小送電端出力 (MW)	33	33
負荷変化速度 (%/min)	±1	±1
ボイラ最大蒸発量 (t/h)	428	429.9
NOx 排出濃度 (O ₂ 6 %換算値) (ppm)	55	47.5
ばいじん排出濃度 (O ₂ 6 %換算値) (mg/m ³ N)	20	3.0
SO ₂ 排出濃度 (実 O ₂) (ppm)	40	12.1
騒音値 (目標値) (dB (A))	90	<90

ト頂き必要サンプルの提供を頂いた三菱商事(株)エネルギーグループの方々、本プラントの計画、運転を通じて多大な御支援をいただいた(株)フロンティアエネルギー新潟発電所の関係者の方々に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

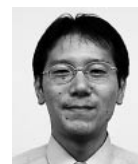
- (1) 徳田君代ほか、三菱低揮発分だき新低NOx CUFボイラの開発と実用化、三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998) p.18
- (2) 高島竜平ほか、Application of The A-PM Burner for Low-Combustibility Petroleum Coke, ICOPE-03前刷集vol.2 (2003) p.387



荒川善久



横式龍夫



山崎亮



小田直芳



山本健久



岡元章泰