

SDA ピッチ(石油残渣物)焚きボイラの計画と運転実績

Technical Considerations and Operation Results on SDA Pitch Fired Boiler Plant



田中 鉄也^{*1}
Tetsuya Tanaka

高橋 英二^{*2}
Eiji Takahashi

藤井 宏^{*3}
Hiroshi Fujii

國領 繁光^{*4}
Shigeharu Kokuryo

小出 敬雄^{*5}
Takao Koide

昨今の C 重油需要の減少にともない、各製油所では石油製品の軽質化のため SDA 装置の導入が検討されてきたが、SDA 装置から副生される重質残渣(SDA ピッチ)の利用方法が課題になっていた。SDA ピッチは一般的な重油と比べ、はるかに高粘度であり、かつ高硫黄分、高窒素分と環境負荷の高い燃料であるため、これまでボイラ燃料として使用された実績は数少ない。

本論文では SDA ピッチ(C5 溶剤使用)を燃料としたボイラプラントに適用した技術と国内初の実機(新設、改造設備)にて得られた良好な運転実績を紹介する。

1. はじめに

近年、中国、インドなどの経済発展が著しい国々における石油製品の旺盛な需要により、調達原油の重質化が避けられない状況が予想されるとともに、国内外の C 重油需要の減少や欧州における船舶用 C 重油の使用規制などにより、世界的な石油製品需要のさらなる軽質化が進むと見られている。

軽質原油の調達量を増やすことなく、石油製品の軽質化を行う方法として、製油所ではディレードコーカーや溶剤脱れき(Solvent De-Asphalting：以下 SDA)装置などの残油分解装置を導入し、重質油中の軽質留分を最大限抽出する検討が進められている。

残油分解装置としてはほかの設備と比較し、建設費用や建設スペースの少ない SDA 装置の導入が検討される一方、SDA 装置により副生され、利用用途が限られる、より重質な SDA ピッチの有効利用が各製油所の課題になっていた。

本論文では、この SDA ピッチ(C5 溶剤使用)を当社での実績が豊富な重質油焚きボイラプラントの燃料として適用する技術と、それを適用した国内初の SDA ピッチ焚きボイラプラントの運転実績(新設、改造)を紹介するとともに、今後の展望を述べる。

2. SDA ピッチ(石油残渣物)の特徴

2.1 SDA プロセス

SDA プロセスとは溶剤脱れきプロセスと呼ばれ、減圧残油(VR：Vacuum Residue)をペンタンなどの溶剤を使って、軽質留分(DAO：De-Asphalted Oil)と残渣油である SDA ピッチに分解するものである。SDA 装置を含む一般的な石油精製設備のフローを図1に示す。

SDA ピッチは減圧残油をさらに深絞りしたものであり、高粘度でかつ、大気環境へ影響する成分(硫黄分、窒素分、残留炭素分、重金属分)を多く含む。

*1 原動機事業本部プラント事業部横浜プラント技術部課長

*2 原動機技術本部プラント事業部火カプラント計画部主席技師

*4 原動機事業本部ボイラ統括技術部課長

*3 原動機事業本部ボイラ統括技術部主席技師

*5 原動機事業本部サービス事業部横浜サービス部

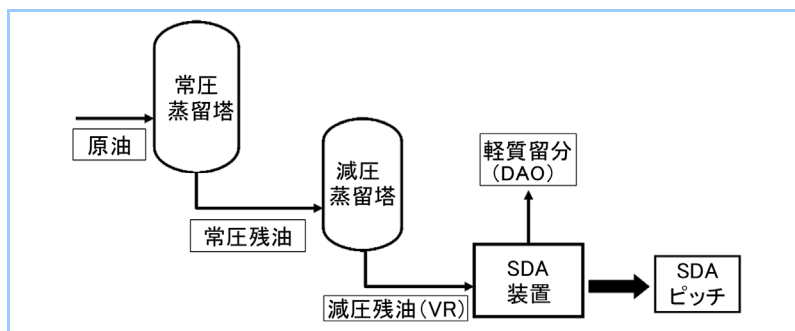


図1 SDA 装置を含む一般的な石油精製設備のフロー

2.2 SDA ピッチの特徴

表1に一般的な重油や重質油の代表格であるVR⁽¹⁾とSDA ピッチの性状比較を示す。

表 1 燃料性状の比較

項目	単位	SDA ピッチ	VR	C 重油
比重 (15/4℃)	—	1.105	1.03～1.05	0.95
動粘度 (@ 100℃)	mm ² /s	> 2000000	> 3000	20
硫黄分	wt%	6.56	4～6	2.3
窒素分	wt%	0.75	0.4～0.5	0.2
灰分	wt%	0.08	0.05	0.01
残留炭素分	wt%	42.7	20～30	11
バナジウム	ppm	398	150～250	< 50

SDA ピッチの主な特徴は以下のとおりである。

(1) 高粘度

SDA ピッチの動粘度は非常に高く、一般的なC重油を燃焼する場合の加熱温度(約100℃)では2000000mm²/sを超過する。配管にて輸送するための粘度、さらにボイラで燃焼するためのバーナ噴霧に適切な動粘度まで下げるため、最小限の動粘度調整(軽質留分との混合)や十分な燃料の加熱が必要になる。

(2) 高硫黄分

硫黄分はVRと比べ、約1.3倍。硫黄分が多くなるに従い、燃料配管やボイラ内部の高温腐食や低温腐食を引き起こす原因になるとともに、排ガス中の硫黄酸化物(SO_x)も増加するため、適正な腐食対策や環境対策が必要になる。

(3) 高窒素分/高残留炭素分

窒素分や残留炭素はVRと比べ、約1.7倍。窒素分や残留炭素が多くなるに従い、排ガス中の窒素酸化物(NO_x)やばいじんが増加するため、適正な除じん装置や環境対策が必要になる。

(4) 高重金属分

重金属としてSDAピッチにはバナジウム(V)が多く含まれ、その量はVRと比べ、約2倍。酸化バナジウムは低融点灰を形成し、ボイラ内への付着や、前述の高硫黄分と重なり高温腐食など、ボイラの連続運転に支障を来す原因になりうる。

3. 適用技術

3.1 SDA ピッチ焚ボイラプラントの設備構成

図2にSDAピッチ焚ボイラプラントの代表的な設備構成(新設の場合)を示す。

本プラントは主に燃料供給設備、ボイラ設備(燃料燃焼設備)、環境装置(排ガス処理設備)から構成される。

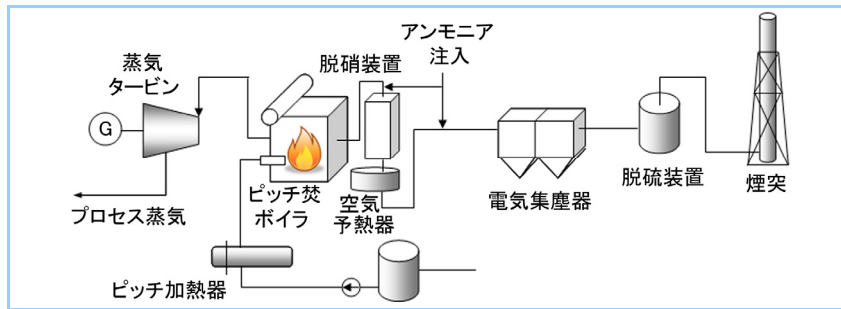


図2 SDA ピッチ焚ボイラプラントの代表的な設備構成

3.2 燃料のハンドリング技術

SDA ピッチの動粘度をボイラのバーナ噴霧に適正な動粘度まで下げるため、12MPa 級の高压の加熱蒸気を用いた特殊仕様の SDA ピッチ加熱器を採用し、SDA ピッチを所定の温度まで加熱する計画を行った。また、燃料輸送配管において、SDA ピッチの温度降下防止用トレースや適正な材料選定(配管、熱交換器など)の腐食防止の対策を実施した。

3.3 燃焼技術

安定燃焼実現のため、バーナ単独のみならず、火炉全体で燃焼を行う旋回燃焼式を採用。また、VR 用に開発し、SDA ピッチ用に改良した低 NO_x バーナ(PM バーナ)と炉内脱硝法(MACT 法)の組み合わせにより低 NO_x と低ばいじんの両立を考慮した。

3.4 腐食対策

高硫黄分の燃料を使用する場合には十分な腐食対策が必要になる。腐食対策として主に以下の対策を計画した。

- (1) 火炉壁バーナゾーンへの溶射：高濃度 H₂S による高温還元腐食の抑制
- (2) 燃料添加剤の添加：高バナジウム分、高 S 分に起因する過熱器への高温腐食の抑制
- (3) 耐食性エレメントの採用：低温腐食の抑制として、再生式空気予熱器の低温部に耐食エレメントを採用。あわせて、蒸気式空気予熱器による排ガスの温度制御を実施した。
- (4) 低酸化率触媒の採用：脱硝触媒による SO₂→SO₃ への転換を抑制するため、当社製低酸化率触媒を採用し、低温部での硫酸腐食を軽減した。

3.5 大気環境対策

(1) 窒素酸化物(NO_x)対策

3.3 項の低 NO_x 燃焼により NO_x 発生量を抑えた上で、脱硝装置を設置し、所定の NO_x 規制値を満足させる計画を行った。脱硝装置を設置することにより、最大 90%までの脱硝が可能になる。

(2) 硫黄酸化物(SO_x)対策

SDA ピッチ中の硫黄含有量は極めて高く、その硫黄分はほぼ全量が SO_x に転換されるため、排ガス中の SO_x 濃度は実 O₂ 換算で 4000ppm を超過する。この SO_x を規制値以下にするため、脱硫装置(石灰石膏法)の設置が不可欠である。また、電気集じん器(乾式)の上流にアンモニアを注入することで排ガス中の SO₃ を硫酸として捕集するシステムを導入し、SO₃ に起因する腐食と紫煙を抑制した。

(3) ばいじん対策

排ガス中の除じん対策として電気集じん器(乾式)を設置し、所定のばいじん規制値を満足させる計画を行った。また、排ガス中の高濃度ばいじんを捕集するため、電気集じん器には長とげ突起付き放電線や出口ダンパ連動槌打方式などの特殊仕様を採用した。

3.6 連続運転のための設計考慮

長期間の連続運転を行うため、上記の対策に加え、以下に示す設計考慮を実施した。

- (1) 強化型スーツブロワの採用：過熱器、節炭器、再生式空気予熱器に強化型スーツブロワを設置した。

表3 改造前後の仕様（既設ボイラの改造）

	改造前	改造後
(1) ボイラ型式	三菱貫流ボイラ	同左
(2) 蒸発量	600 t/h	450 t/h
(3) 蒸気条件	12.2 MPag × 541 ℃	同左
(4) 燃焼方式	巡回燃焼式	同左
(5) 燃料	混合重油 副生油・副生ガス (LS 重油: バックアップ用)	SDA ピッチ 副生油・副生ガス (VR: バックアップ用) (混合重油: バックアップ/起動/停止用) (LS 重油: バックアップ用)



図4 改造設備全景

尚、既設改造にあたり下記を考慮した。

- (1) 脱硝設備の新設：既設の排ガス再循環(GR)設備では NO_x 規制値をクリアできないことから、GR 設備を撤去の上、脱硝設備を新設した。
- (2) 電気集じん器の新設：既設電気集じん器では除じん能力が足りないこと、及び前述の SO₃ 除去システムを採用した場合にはアンモニアと SO₃ の反応距離を十分取れないことから、十分離れた位置に電気集じん器を新設した(前述の荷電区分は採用なし)。
- (3) 再生式空気予熱器の更新：既設再生式空気予熱器は横型であったが、脱硝設備新設に伴うダクトアレンジ変更に合わせて、縦型の再生式空気予熱器に更新した。
- (4) 2次・3次過熱器の更新：前述の高温腐食対策として、2次・3次過熱器の材質をアップし、更新した。
- (5) 節炭器の更新：前述のとおり、経時的な汚れを見込み、脱硝装置をはさんで1次節炭器と2次節炭器の分割配置とし、既設節炭器を更新した。
- (6) 溶射範囲拡大：既設ボイラはオリマルジョン焚改造時にバーナレベルまで溶射済であったが、前述の硫化還元腐食対策として、バーナレベル上部まで溶射範囲を拡大した。
- (7) 既設4段バーナの内、下から3段を SDA ピッチ用オイルバーナに改造した。

5. 運転状況

5.1 新設ボイラ設備

(1) 連続運転実績

本設備は 2009 年8月に営業運転を開始し、2010 年3月の初回定検後も安定した運転を継続中である。初回定検時までは試運転期間中も含め約8ヶ月間、定検後は約1年の連続運転を達成している。操業状況としては、工場側のデマンドに応じ、以下(表4)の負荷/出力にて運転されている。

表4 2009 / 2010 年度の運転状況

	2009 年度	2010 年度
ボイラ負荷	220～370 t/h	280～370 t/h
発電機出力	25～45 MW	35～46 MW

運転の安定性の指標になる各設備の差圧トレンドとしては、電気集じん器(含む、入口ダクト)を除き、顕著な差圧上昇はなく、安定している。一方、電気集じん器(含む、入口ダクト)についても経時的な差圧上昇傾向は認められるが、1年間の連続運転に支障とならない範囲に留まっている。

(2) 年次点検における状況

2010 年3月に行われた初回年次定検時の結果概要を以下に示す。

①炉内

火炉内は上部チューブからの落下スケールが数 cm 堆積している程度、水冷壁も全体的

に軽微な灰付着の状態であり、健全であった。図5は過熱器、節炭器の灰付着状況を示す。いずれも灰付着、フィン間の詰まりはほとんどない状況であった。一方、バーナガンは初年度に先端キャップに高温硫化腐食と思われる短期間での肉厚減少が確認された。定期的な点検と交換を要する部位であるが、バーナガンの先端位置を見直すことにより肉厚減少を抑制した。

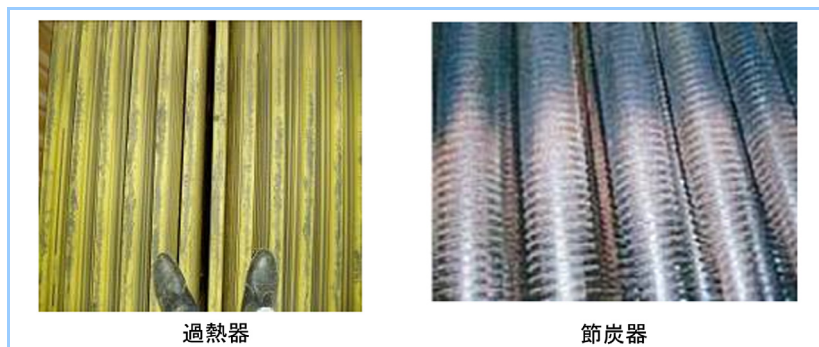


図5 過熱器、節炭器の状況

②脱硝装置

4層ある触媒のいずれも割れや変形などの異常は認められず、健全であった。また、アンモニア注入ノズルに一部酸性硫酸の付着があったが、アンモニアガス流路の閉塞には至っていない。

③電気集じん器

集じん極への硬質スケールの付着、放電極への灰付着が確認された。また、硫酸灰によるアンモニア注入配管への一部閉塞も確認された。尚、再起動以降、アンモニア注入配管への槌打頻度を変更することにより、ダスト付着は軽減されるとともに、差圧上昇も軽減されている。

5.2 既設ボイラ改造設備

(1) 運転実績

本設備は 2009 年7月に営業運転を開始し、2009 年 10 月に臨時修繕を実施後、2010 年5月に計画停止を実施した。これは、電気集じん器の集じん極へ付着した硬質スケールの落下による第1室での荷電不良が度々発生しており、残りの第2室/第3室のみでも 2010 年 10 月の改造後初回定期修繕まで運転可能と予想されたが、万全を期すための計画停止であった。

硬質スケールは臨時修繕後に省エネの観点から排ガス O_2 を下げて運転していたことがひとつの要因と推定される。計画停止後は排ガス O_2 を元に戻して運転することで、集じん極へ付着する灰の硬さが変わり、1年間の連続運転が期待される。

尚、操業状況としては、ボイラ平均負荷 350t/h 程度で運転されている。

(2) 改造後初回定期修繕における状況

2010 年 10 月に行われた改造後初回定期修繕時の結果概要を以下に示す。

①耐圧部の汚れ状況

火炉蒸発管、2次過熱器、3次過熱器の灰の付着量は改造前よりも少なく、掃除は実施なしとした。また、1次過熱器、節炭器における灰付着による閉塞もほとんど無く、掃除なしとした。図6に2次過熱器下部と節炭器上部の灰付着状況を示す。

②脱硝装置

灰の付着量は少ない状況であることを確認した。

③電気集じん器

集じん極と放電極への灰付着が確認されたが、前述の集じん極への硬質スケールの付着は確認されなかった。

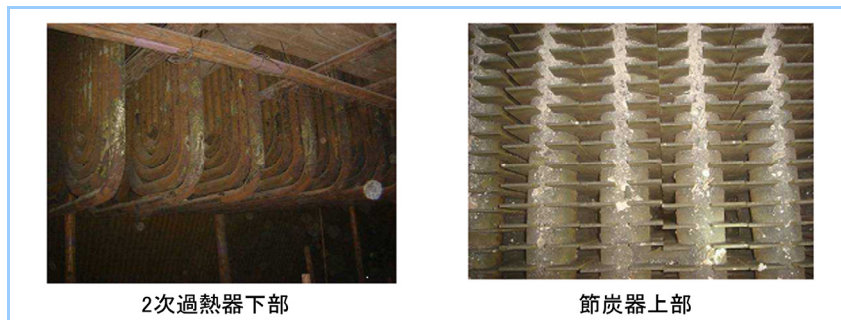


図6 過熱器、節炭器の状況(改造)

6. 今後の展望(導入効果)

- (1) 欧州では船用 C 重油の使用規制を目前に控えているため、既に SDA 装置を含む高度分解設備の導入の検討がなされるとともに、これらの設備から排出される残渣油の有効利用についても、さまざまな技術が検討され始めている。
- (2) SDA ピッチをガス化し、燃料として利用するケース(IGCC)やディレドコーカーにて残油を固体燃料化し、利用する技術と比較し、本プラントで確立した液体燃料としてそのまま燃焼させる技術はシステムがシンプルである上、経済性の高いベストソリューションといえる。また、残油を単に産業用廃棄物として扱うケースと比較しても、処理費用や環境への影響度合いは格段に少なく、社会貢献度の高い技術となっている。
- (3) 今回の結果はほかの製油所や上流設備のライセンサーからも高く評価されており、製油所の高度化に伴う、システムの新設あるいは増設を進める上で SDA ピッチ焚きボイラプラントを組み込みこんだ残渣油の有効利用設備の導入が今後加速されるものと期待している。

7. まとめ

- (1) これまで困難とされていた高粘度かつ環境負荷の高い SDA ピッチをボイラ燃料として計画し、実機へ適用、1年間の連続運転の運転実績が得られた。
- (2) 計画実現にあたっては、最新の燃焼技術と環境対策技術、さらに連続運転に対応する技術を適用し、その妥当性を証明した。
- (3) 今後の導入増加が予想される残渣油分解設備から副生される SDA ピッチの有効利用は製油所にとって大きな課題であるが、今回本プラントで適用したボイラの燃料としての活用はほかの技術と比較し、ベストソリューションといえる。
- (4) 今回得られた知見を踏まえ、お客様からさらに信頼頂ける、また経済性の優れた設備を提案すべく、努力していく所存である。

末筆ながら、本報の掲載にあたり、旭化成ケミカルズ(株)、日本ゼオン(株)、三菱化学(株)、JX 日鉱日石エネルギー(株)にご協力を賜りましたこと、改めてお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 藤村皓太郎ほか、VRだきボイラの計画と運転実績、三菱重工技報、Vol.36 No.2(1999) p.96～99
- (2) (財)石油産業活性化センター、石油産業における効果的残渣処理／製油所のボトムレス化に関する調査(2)報告書、平成 18 年 3 月
- (3) H22 年度火力原子力発電創立 60 周年記念大会論文集、SDA ピッチを燃料とした発電設備の建設と運転実績、H22 年 9 月 2 日