

VR だきボイラの計画と運転実績

Development and Operation Results of VR Firing Boiler

技術本部 藤村 皓太郎*¹ 松本 拓俊*²
 原動機事業本部 荒川 善久*³ 藤井 宏*⁴
 神戸造船所 溝口 孝*⁵

近年、超重質油である VR (Vacuum Residue) を製油所内のボイラ用燃料として利用できないかとの検討が数多くなされている。この VR は、従来のアスファルトより更に高粘度であるとともに硫黄・窒素・残留炭素及び重金属類の含有量も非常に高いため、安定燃焼や環境規制及び輸送上の問題から液体燃料として使用することは従来困難とされていた。当社はたゆまぬ研究開発の成果とこれまでに蓄積した技術と豊富な実績から、現在までに 25 缶に上るアスファルト・高粘度重質油だきボイラを納入している。今回それらの技術を応用し、VR を液体燃料として安定にかつクリーンに燃焼可能とした 475 t/h VR だきボイラを実用化した。

Much research is being done on vacuum residue (VR), an extra-heavy oil, as an alternative boiler liquid fuel in petroleum refineries. VR, however, is extremely highly viscous and contains contaminants such as sulfur, nitrogen, carbon residue, and heavy metals, meaning it requires clean, more stable combustion and handling than is conventionally available. Based on a long record of accumulated technology and extensive R&D in extra-heavy oil, Mitsubishi Heavy Industries (MHI) has provided 25 boilers fired by asphalt or high-viscosity heavy oils, and has made practical a 475 t/h VR-fired boiler that provides clean, highly stable combustion. The boiler began commercial operation in July 1998.

1. ま え が き

石油産業を取巻く環境として製品の白油化が進んでおり、この傾向は今後も着実に進むと考えられる。そのため余剰となる高粘度・高硫黄の重質残油を極力減少させるために、減圧蒸留装置による深絞りによる精製が進められている。この深絞りによって得られた残油すなわち VR (Vacuum Residue) は粘度が非常に高く、硫黄分・窒素分・残留炭素分等の含有率も高く⁽¹⁾⁽²⁾、環境対策やその輸送の面から使用に当っては、特別な配慮が必要となる。

この VR をボイラ用燃料として見た場合、アスファルトやオリマルジョン[®]のような重質油との共通点が多い。輸送等のハンドリングを考慮した場合は、燃料の水エマルジョン化が有効となるが、ボイラ用燃料として使用する場合は、その効率の面からも VR をそのまま燃焼させることが好ましい⁽³⁾⁽⁴⁾。

当社は、重質油に関し、たゆまぬ研究開発の成果とこれまでに蓄積した技術と豊富な実績⁽⁵⁾⁽⁶⁾から現在までに 25 缶に上るアスファルト・高粘度重質油だきボイラを納入しており、VR のクリーンな燃焼技術の開発を行ってきた。

本報では、新形 VR だきバーナを採用した、平成 10 年 7 月に運開した興亜石油(株)大阪製油所向け 475 t/h VR だきボイラの計画と運転実績を紹介する。

2. VR 一般性状

表 1 に一般的な VR の性状を C 重油、オリマルジョン[®] との比較で示す。また図 1 に動粘度、温度特性を示す。主な特徴は以下のとおりである。

(1) 高粘度

VR の動粘度は C 重油のバーナ噴霧のための適正温度 100°C 程度では、5 000 cSt を超えてしまい、適正動粘度約 20~30 cSt に下げるためには 250~300°C 以上まで加熱する必要がある。

表 1 VR 一般性状
Features of VR

項目	単位	VR	C 重油	オリマルジョン [®]
高位発熱量	kcal/kg	10 000	10 300	7 000
比重15/4°C		1.03~1.05	0.95	—
粘度100°C	cSt	>3 000	20	—
硫黄分	wt %	5.0~6.0	2.3	2.87
窒素分	wt %	0.4~0.5	0.2	0.48
灰分	wt %	0.05	0.01	0.13
水分	wt %	—	<0.1	28~30
残留炭素分	wt %	25~30	11	12
バナジウム	ppm	150~250	<50	280~550
ニッケル	ppm	—	—	40~70

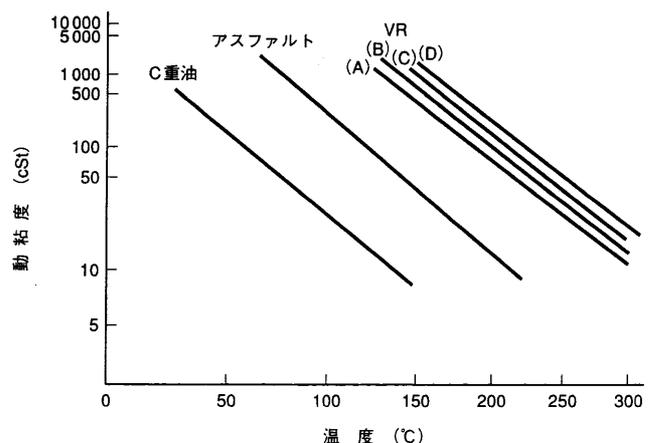


図 1 温度・動粘度線図 VR の安定燃焼には、250~300°C 以上に加熱し、動粘度を低下させる必要がある。
Kinematic viscosity vs. temperature

*1 長崎研究所火力プラント研究推進室

*2 長崎研究所第一実験課

*3 原動機技術センターボイラ技術部ボイラ技術二課長

*4 原動機技術センターボイラ技術部ボイラ技術二課

*5 原動機技術部ボイラ設計課長

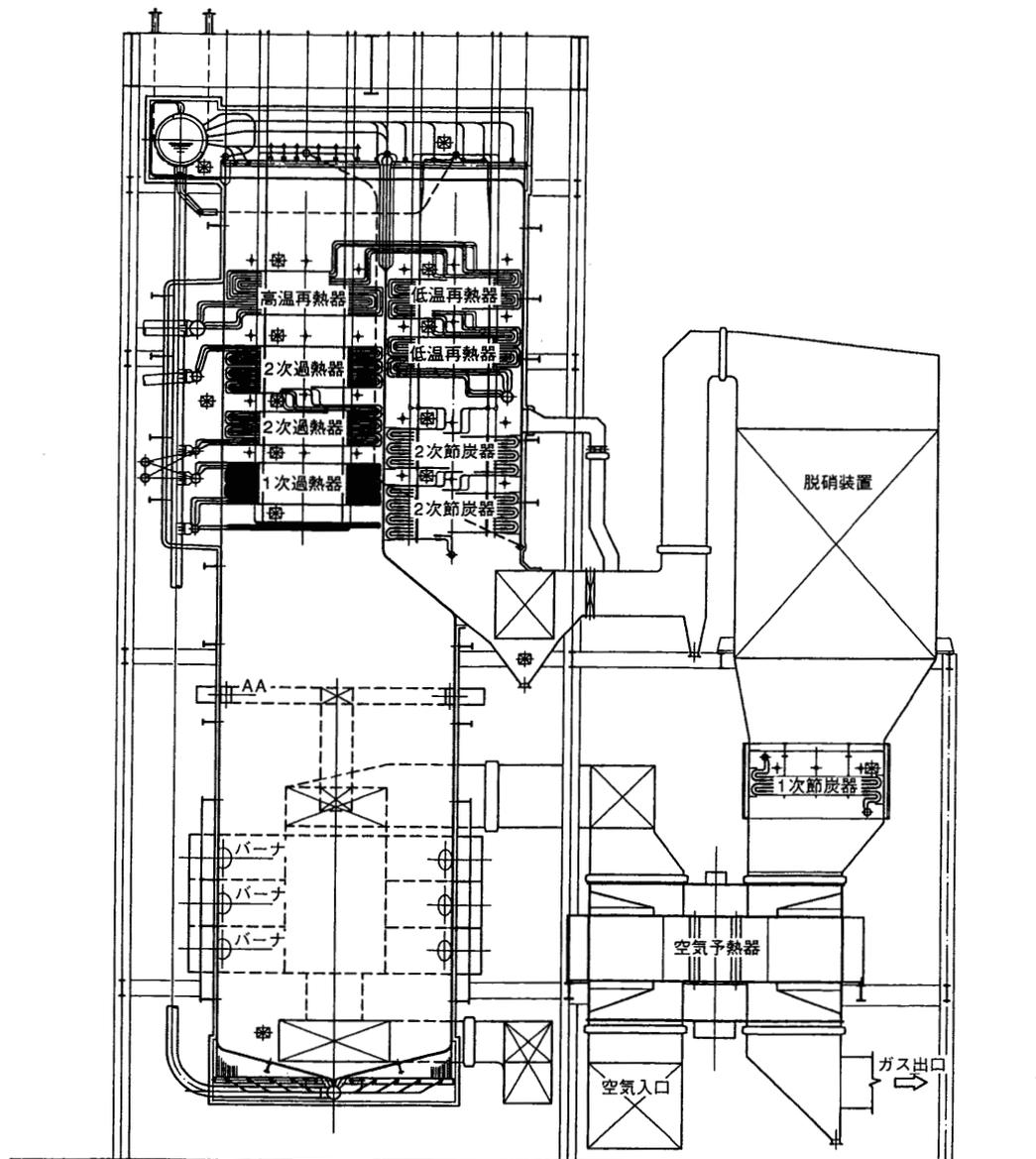


図2 ボイラ計画図 興亜石油(株)大阪製油所3号ボイラの側面を示す。
Boiler basic plan (side sectional view)

(2) 高窒素分

C重油のN分が0.2%に対してVR中のN分は、0.4~0.5%となり約2倍以上であり、排ガス中のNOxが増加する。

(3) 高硫黄分

C重油のS分が2.3%に対してVR中のS分は、5.0~6.0%となり約2倍以上であり、排ガス中のSOxが増加する。

(4) 高残留炭素分

C重油の残炭分が11%に対してVR中の残炭分は、25~30%となり約2~3倍であり、排ガス中のばいじんが増加し、伝熱面の汚れが激しくなる。

(5) 高重金属分

C重油のV分が50 ppm未満に対してVR中のV分は150~250 ppmとなり、約3~5倍であり、高硫黄分と重なり高温腐食等の障害を引起す可能性が高くなる。

3. 475 t/h VR だきボイラの計画と設計上の特徴

3.1 計画概要

本ボイラは、製油所の高度化計画の一環として建設されたVRだ

き149 MW 自家発電設備の主機ボイラである。

主燃料をVRとする場合、火炉及び伝熱面の汚れが通常の油だきボイラと比較して激しく、ボイラ出口排ガス温度の経時的上昇は避けられないことを予想し、この経時変化を考慮した設計とした。年間を通じた効率と運転性を考慮し、タービン入口再熱蒸気は、ボイラ運転開始直後には定格温度より低い値で設計した。

3.2 ボイラ設備

図2にボイラ側面図を示す。主な特徴は以下のとおりである。

(1) ボイラ本体

本ボイラは、単胴放射形自然循環式水管ボイラであり、火炉は、メンブレンウォールの水冷壁で構成され、過熱器・再熱器・2次節炭器を配置し、後流側に脱硝装置・1次節炭器・再生式空気予熱器を配置している。

また、火炉壁バーナゾーンでは、高濃度H₂Sによる高温還元腐食が懸念されるため、防食対策として溶射法を採用した。当社では適切な火炉用耐食材の選定を行うため、事前に火炉腐食環境を予測し、既存材の模擬腐食試験を実施した。

その結果、図3に示すように高Cr溶射の耐食性が他の材料に

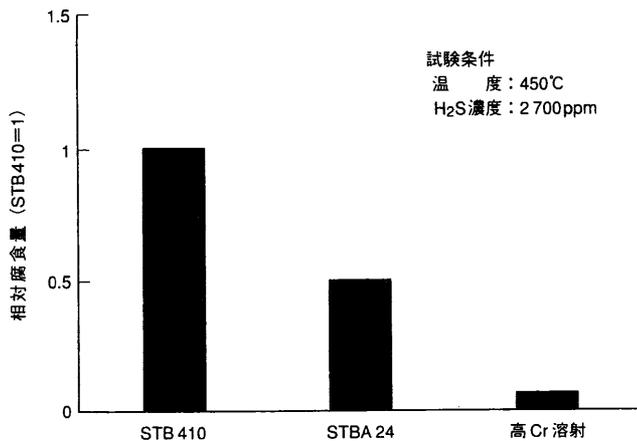


図3 火炉模擬環境での腐食試験結果 腐食に対して高Cr溶射が効果的である。
Results of furnace simulated corrosion test

比べ極めて優れていることを見いだした。この知見から、実機では信頼性の高い高Cr溶射を採用し、厳しい腐食環境に対応した。

(2) 過熱器・再熱器

過熱器は、メタル温度の上昇を極力下げよう平行流配置とした。再熱器は、低温ガスゾーンに配置することにより対向流配置とした。

また、高温腐食対策としてVR中にオイルスラリー状Mgを添加し、さらに汚れ対策として、強化形スーツブロワを装備した。

(3) 節炭器

伝熱面の汚れに伴う脱硝装置入口ガス温度の経時変化を見込み、脱硝装置を挟み分割配置とした。

また、つまり対策として強化形スーツブロワを装備するとともに節炭器管は、フィン付管で基盤目配置とした。

(4) 再生式空気予熱器

低温腐食を軽減するために、蒸気式空気予熱器による排ガス温度制御を実施し、低温端平均メタル温度も高めに設定した。

また、低温端エレメントは、耐食性に非常に優れるセラミックエレメントを採用した⁽⁷⁾。さらに、つまり対策として強化形スーツブロワを採用した。

3.3 環境対策

図4に排ガス処理システムを示す。主な特徴は次のとおりである。

3.3.1 NOx対策

VRをボイラ用燃料とし、環境規制に適合させるために燃焼対策によりNOxの発生を抑えた上で排煙脱硝装置を設置した。

燃焼対策によるNOx発生の抑制法としては、従来より当社が開発した低NOxバーナ（PMバーナ）をVR用に改良し、さらに炉内脱硝燃焼法（MACT法）を適応した。

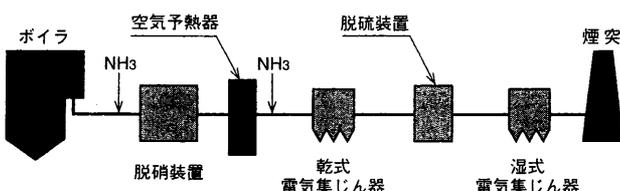


図4 排ガス処理システム
Exhaust gas treatment system flow diagram

(1) 低NOxバーナ（PMバーナ）^{(8)~(12)}

図5にバーナ概略図を示す。低NOx、低ばいじんこれまでで多くの実績を持つPM（Pollution Minimum）バーナをベースとし、VR用に改良し、安定な着火、燃焼性を有し、低NOx、低ばいじん可能なバーナとした。

(2) 炉内脱硝燃焼法（MACT法）⁽¹³⁾

図6に炉内脱硝燃焼法概念を示す。本炉内脱硝法は、低NOx化でこれまでに多くの実績を持つMACT（Mitsubishi Advanced Combustion Technology）法（主バーナ燃焼部、還元脱硝部、未燃分燃焼完結部の3つの部分でシステムを構成）により炉内脱硝を実現するものである。

(3) 乾式排煙脱硝装置

VR中のN分がC重油の約2倍以上であることから前述の燃焼対策だけでは国内の環境規制を達成することは困難であり、排煙脱硝装置によるNOx除去が必要となる。

VR燃焼ボイラ排ガスには、ばいじんが多く含まれるため、触媒の目づまり防止の観点より脱硝触媒の型式は、従来石炭だきボイラに用いる通常口径の格子状（ハニカム）触媒を採用した。

また、脱硝触媒上での酸性硫酸生成防止のために適正運用温度がある。この適正温度を維持するため、運用負荷範囲及びボイラの汚れの経時変化を考慮したガスバイパスシステムを採用

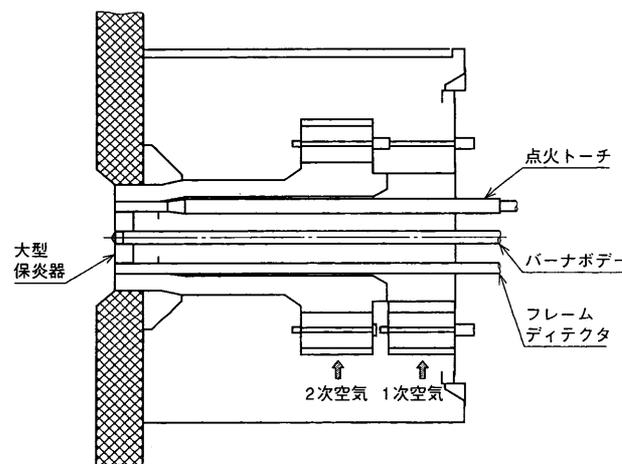


図5 バーナ概略図 VR用PMバーナを示す。
Burner overview

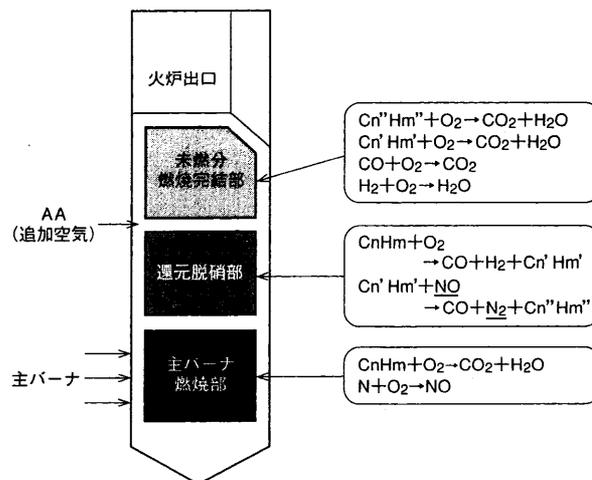


図6 炉内脱硝燃焼法概念 MACT法概念を示す。
Principle of MACT (in-furnace NOx removal system)

した。

さらに後流機器の腐食や、ばいじん増加の原因となる SO_2 から SO_3 への転換を抑制するための低 SO_3 転換触媒を採用した。

3.3.2 SO_x 対策

VR 中の硫黄分は、一般の C 重油の 2 倍以上であり、その含有量は極めて高い。

燃料中の硫黄分はそのほぼ全量が SO_x に転換されるため、国内の環境規制下では排煙脱硫装置の設置が不可欠であり、石灰石こう法排煙脱硫装置を設置した。

3.3.3 ばいじん対策

VR 中の残留炭素分は、一般の C 重油の約 2～3 倍であり、その含有量は極めて高く、燃焼完結時間が長くなり、ボイラ出口のばいじん量も増加する。

燃焼対策によるばいじん発生抑制法として、燃料の粘度の適正化による燃料噴霧の高微粒化や適正な空気比の選定等が挙げられるが、ばいじん量はバーナでの噴霧粒径や O_2 濃度の影響があるほか、 NO_x 低減対策との兼合いで大きく変化するため、燃焼特性や排煙脱硫装置での除じん効果も考慮した総合的な検討を実施した。

ばいじんは電気集じん器で除じんすることをベースとし、乾式及び湿式電気集じん器を採用した。

乾式電気集じん器上流にアンモニアを注入することにより、排ガス中の SO_3 に起因する腐食と紫煙を防止し、さらに集じん効率の向上を図った。

4. 475 t/h VR だきボイラの運転実績

平成 10 年 7 月に実施した性能試験結果を表 2 に示す。

これにより性能・環境値共極めて良好な結果となっており、また、タービン入口再熱蒸気温度も当初のもくろみどおり、性能試験後約 2 週間後に定格 538°C に到達し現在も順調に稼働中である。

表 2 ボイラ性能試験結果

Results of boiler performance test

項目	単位	計画値	試験結果
発電端出力	kW	149 000	149 110
タービン入口蒸気圧力	kPaG	13 631	13 629
タービン入口主蒸気温度	°C	538	538.5
タービン入口再熱蒸気温度	°C	538	507 538*
給水温度 (節炭器入口)	°C	235	235.1
ボイラ効率 (LHV 基準) 補正值	%	92.5	94.14
NO_x 排出量	kg/h	9.62	6.62
SO_2 排出量	kg/h	5.8	0.5
ばいじん排出量	kg/h	0.71	0.16

注：*は当初のもくろみどおり性能試験後約 2 週間後に定格に到達した。

5. あとがき

今回報告した様々な技術は、興亜石油(株)大阪製油所向け VR だきボイラに適用し、従来困難とされていた VR を液体燃料として安定にかつクリーンに燃焼可能とした大型発電用ボイラである。

一方、安定した長期連続運転については、もうしばらく運転を継続した上で評価すべきではあるが、運開より 7 箇月を経過した現在も経時変化は吸収できており、順調に稼働中である。

また、石油産業における製品の白油化に伴い、VR をボイラ燃料とするプラントが拡大するものと考えられるため、今後も経時変化を含む様々なデータを試験や実証実績から蓄積し、今後の設計や運転に反映していく所存である。

終りに、本ボイラの計画、運転を通じて多大な御支援を頂いた興亜石油(株)の関係者に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 原田ほか、粗悪油を燃焼するボイラの諸問題、三菱重工技報 Vol.17 No.6 (1980)
- (2) 坂井正康、重質油燃焼の諸特性、エネルギー・資源 Vol.2 No.5 (1981) p.438
- (3) 重質油対策技術研究組合、重質油対策技術研究開発の動向、昭和 56 年度 (1981)
- (4) 坂井正康、燃料の多様化、燃料性状と燃焼法、化学と工業 Vol.38 No.3 (1985) p.233
- (5) 立石又二ほか、粗悪燃料油滴の燃焼に関する研究、三菱重工技報 Vol.17 No.6 (1980)
- (6) 坂井正康、ボイラにおける重質油の燃焼、三菱石油株式会社技術資料 No.62 (1984) p.12
- (7) 宮川純一、高サルファー燃料焚プラント向け空気予熱器、配管技術 '97、増刊号 (1997) p.108~p.113
- (8) 高橋恭郎ほか、油焚き低 NO_x バーナの研究、日本機械学会論文集 No.780-6 (1978) p.119
- (9) 高橋恭郎ほか、低ばいじん PM バーナの開発、三菱重工技報 Vol.17 No.2 (1980) p.132
- (10) 大栗正治ほか、予燃焼方式による重質油の低 NO_x 燃焼法の開発、三菱重工技報 Vol.26 No.1 (1989) p.36
- (11) 藤村皓太郎ほか、VR だきボイラの低公害燃焼技術、三菱重工技報 Vol.33 No.1 (1996)
- (12) 藤村皓太郎ほか、粗悪油燃料超低過剰空気燃焼技術の開発、三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998)
- (13) 坂井正康ほか、燃料によるボイラの炉内脱硝技術の開発—昭和 59 年度日本機械学会技術賞受賞技術—、日本機械学会誌 第 88 巻第 798 号 (1985)