資 料

オイルサンド開発における水のリサイクル*

清水 信寿**・中村 常太***

(Received September 8, 2005 ; accepted November 11, 2005)

Water recycling for oil sands development

Nobutoshi Shimizu and Tsuneta Nakamura

Abstract : Since 1999, Japan Canada Oil Sands Limited has been producing heavy oil derived from oil sands in the Hangingstone field, northeastern Alberta, using Steam Assisted Gravity Drainage (SAGD) technology. In order to follow severe environmental policies in Alberta, water recycling is mandatory to operate SAGD that needs a large amount of steam. Injected steam is returned as produced hot water, which is recycled as boiler feed water (BFW). However, the produced hot water contains dissolved organic compounds (DOCs) that give trouble to water recycling system, such as boiler tube leakage. Under the system where DOCs are supplied from oil sand reservoir, our study result for DOCs showed that it is very difficult to remove DOCs from BFW in a technical and/or economical way. To date, the water recycling system has been improved with a concept that DOCs can not be as concentrated in the BFW line as possible. DOCs are concentrated into disposal water, which is injected to a disposal zone. The actual result that water recycling ratio is now over 90% ranks high.

Keywords : oil sand, SAGD, production operations, water handling

1. はじめに

オイルサンドの油層内回収法であるSAGD (Steam Assisted Gravity Drainage) 法は、露天掘りと比較して環境保護の観点から優れており、すでにカナダでは複数のフィールドで商業ベースのSAGD操業を実施中である。

Japan Canada Oil Sands 社がSAGD操業を実施しているアルバータ州のHangingstoneフィールドでは、2005年6月現在、12ペア(24本)の水平坑井にて日産量約8,000 bblの超重質油を生産している。SAGDではスチーム生成のため油生産量の数倍の水を使用するが、州の厳しい環境基準により、利用可能な取水量が制限されるほ

か、十分な容量を持つ廃水圧入層が近傍に存在しない。したがって、水のリサイクルは必須となっている。

2. 地上の水処理プロセス概要

Hangingstone フィールドにおけるプロセス概要を図1に示す。オイルサンド層には常温では流動しない高粘度の油が存在する。SAGD プロセスでは、上部の圧入井から高温スチームを圧入することにより加熱して油の粘度を下げ、スチームが凝縮した高温水と油とを下部の生産井から生産する。生産された油と高温水は地上施設にて分離され、油は加熱貯油タンクに貯蔵された後、保温ローリーで随時出荷される。

一方、分離された高温水は、油層から自然に溶け込んだシリカや金属イオン、水溶性有機物を含んでいる。地上施設ではシリカと硬水イオンを除去し、イオン交換装置を経由して、塩化ナトリウムと水溶性有機物が溶解した状態をもってボイラーフィード水としている。ボイラー内では約25%をブローダウン水として残し、溶解した固形分がボイラーの配管内面にスケールとして析出することを防ぐ。そしてボイラー下流にセパレーターを

* 平成17年6月2日、平成17年度石油技術協会春季講演会開発生産・部門シンポジウム「生産操業における要素技術と課題」で講演 This paper was presented at the 2005 JAPT Development and Production Technology Symposium entitled "Technical elements and their challenges in production operations" held in Yoyogi, Tokyo, June 2, 2005.

** 石油資源開発㈱ Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.

*** カナダオイルサンド㈱ Canada Oil Sands Co., Ltd.

図1 Hangingstone フィールドの水処理プロセス概要

設置し、そこでブローダウン水を分離して 100% スチームを生成する。ブローダウン水は廃水処理が施され、水分が回収される。

なお、当フィールドでは地上施設が 2 か所に分かれており、廃水処理プロセスはそのうちの 1 か所のみに設置されているので、一方の施設で生じた廃水は、配管でもう一方の施設に送られ処理される。

3. 水処理プロセスの改造

3.1 ボイラー配管のリークまで

操業開始当初は、生産施設からの廃水ゼロを目指し、クリスタライザーと呼ばれる装置の導入により最終的に水分を 100% 除去し、固形物として処理しようと試みた。しかしながら実際に操業を開始すると、油層起源の水溶性有機物が生産水中に予想より多く含まれることが分かり、まずクリスタライザーが不調を起こすようになった。廃水を濃縮する機能を持つクリスタライザーで、水溶性有機物を多く含む水を処理すると、水は非常に高粘度になり、乾燥固形物を生成するためのフィルターが目詰まりを起こす。そのためクリスタライザーの機能が低下し、固形物としての処理がしきれなくなった。

十分な乾燥処理ができない廃水は、液体として廃水圧入層へ圧入せざるをえないが、圧入量は限られている。

廃水の一步手前のブローダウン水は、一部をそのままボイラーフィード水に戻して再利用しているが、廃水を減らすため、ボイラーフィード水に戻すブローダウン水を多くした。その結果、水溶性有機物がシステム内で蓄積し、一部がボイラー内の配管内面でスケールとして析出した。スケールは熱伝導率が低いため、ボイラー内の配管内面と外面との温度差が上昇し、結果的に熱応力起因の応力腐食割れを引き起こし、地上施設全体が停止した。

3.2 水溶性有機物除去の可能性検討

ボイラー停止後、直ちにボイラー配管の点検を実施し、スケールをラボ分析した結果、主成分が水溶性有機物であることが判明した。スケール析出の原因は、水溶性有機物が水処理システム内に蓄積され、濃度が上昇したためである。したがって、当初は水溶性有機物を地上で除去できればこの問題は解決すると考え、水溶性有機物の除去技術に関する検討を開始した。

しかし、さまざまな検討を重ねた結果、常に地層から不純物が混入・補給される SAGD のプロセスでは、水溶性有機物を現状の技術で、有効かつ経済的に完全に除去することは困難であることが分かった。その主な原因の一つは処理水が大量かつ高温なこと、もう一つは水溶性有機物の濃度が大きいことであった。例えばメンブレンを用いた技術は、上水道のように濃度が低かつ低

温である必要があるが、当プロセスのように高濃度かつ100℃近い水には適用できない。また、水溶性有機物は酸性溶液中で析出する性質があるので、これを利用して除去することが可能であるが、軟水処理プロセス下では、pHが9以上であることから、pHを下げて再び上げるための薬品コストがばくだいに变成ってしまい、経済的に見合わない。

上述の検討を行っている間、当面の対策としてブローダウン水の水溶性有機物濃度を下げるため、ボイラーで生成するスチーム量（steam quality）を約75%から約60%まで下げた。その結果、廃水処理プロセスの水量増加、プロセス全体の熱効率低下を招いた。特に廃水圧

入量は上限まで達していたため、早急に廃水処理プロセスを見直す必要があった。

3.3 廃水処理プロセスの改造

水溶性有機物の除去技術の検討を続けると同時に、システム内に水溶性有機物を蓄積させないため、ボイラーブローダウン水を廃水処理プロセスに送る処理量を増やす検討を進めた。具体的には、廃水を固形物として処理するのではなく、多重効用缶の濃縮技術を用いて廃水を高濃度に濃縮し、容量を減じた後、圧入もしくは産廃処理する方向でプロセスを改造した。多重効用缶の一例を図2に示す。効用缶により蒸発した水蒸気は、熱回収の過程で凝縮水となり、再びボイラーフィード水の一部と

図2 多重効用缶による濃縮技術の一例

図3 水のリサイクル概念図

数字は油生産量を1としたときの割合を表している。

してリサイクルしている。

このプロセス改造により、廃水処理プロセスに送る水量が増え、システム内を循環するブローダウン水の量が減った。その結果、水溶性有機物の蓄積が減少したので、ボイラーで生成するスチーム量 (steam quality) を増やすことが可能になり、これがさらにシステム内を循環するブローダウン水の量を減らす好循環を生んだ。スチーム量の増加によりボイラーの熱効率も改善された (図 3)。

4. 現行プロセスの現状と課題

今回紹介した水リサイクルプロセスは、1999 年から

操業を続けており、その間改良を重ねてきた結果、現在の水リサイクル率は 90% 以上となっている。その実績はオイルサンド業界で高い評価を受けている。

今後の課題としては、現在濃縮廃水をオイルサンド層に還元圧入しているが、濃縮した液体であるため廃水層に対し少なからずダメージを与える懸念が心配される。最終的には、廃水を日量数トンのレベルまで濃縮し、産廃で処理する方法に切り替えていきたいと考えている。

SI 単位換算係数

$$\text{bbl} \times 1.589874 \quad \text{E} - 01 = \text{m}^3$$