

## N-10 オマーンにおけるニーズを踏まえた 石油随伴水処理と地域産業への展開

○小島 啓輔<sup>1\*</sup>・田崎 雅晴<sup>1</sup>・岡村 和夫<sup>1</sup>・芹澤 貞美<sup>1</sup>  
Mark SUEYOSHI<sup>1</sup>・Rashid S. Al-MAAMARI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島三丁目4番17号)

<sup>2</sup>スルタンカブース大学 石油化学工学科 (P.O. Box 33, Al-Khouth, PC 123, Sultanate of Oman)

\* E-mail: kojima\_k@shimz.co.jp

### 1. はじめに

石油随伴水は原油とともに採掘される地下水であり、油分や有害な重金属などが含まれている。オマーンだけでなく、産油国において石油随伴水は最大の廃棄物であり、海洋投棄先での水質汚染や返送時の地下水汚染の要因となっている。オマーンでは原油の生産量に対して 8～10 倍と大きな割合で石油随伴水が生産されており、低コストで処理できる方法が必要とされている。

また、中東域においては水不足も共通の大きな問題である。オマーンでは、水資源の確保のため、一時的に発生する大雨による地表流出水の利用を視野に入れているが、定期的な雨季がないため常に利用することはできず、他の定常的に利用できる水資源が求められている。

そこで、石油随伴水の低コスト処理方法を構築し環境汚染の低減に努めることと、その処理水を新たな水資源として利用することにより、石油随伴水の処理問題と水不足問題という大きな問題を併せて解決することを試み

た。特に、石油随伴水の処理技術の確立においては、厳しい気候条件や実質労働者能力の制限等からのオマーン側ニーズを背景に「簡易で汎用性のある高効率な随伴水処理システム」の開発を目指してきた。

以下では、我々がオマーン政府の協力のもと実施した石油随伴水処理システムの開発、処理システムに利用するための現地産物からの高性能活性炭の開発、石油随伴水処理水の水資源としての利用に関するプロジェクトを紹介する。

### 2. 石油随伴水処理システムの開発

石油随伴水には、非常に粒径が小さい(直径 30 μm 以下)油分粒子がエマルジョン状態で存在しており、既存の重力分離器での完全な油水分離は原理的に困難である。本プロジェクトで用いたパイロットプラントは、石油随伴水に凝集剤を添加して油分粒子を 5 mm 大のフロック

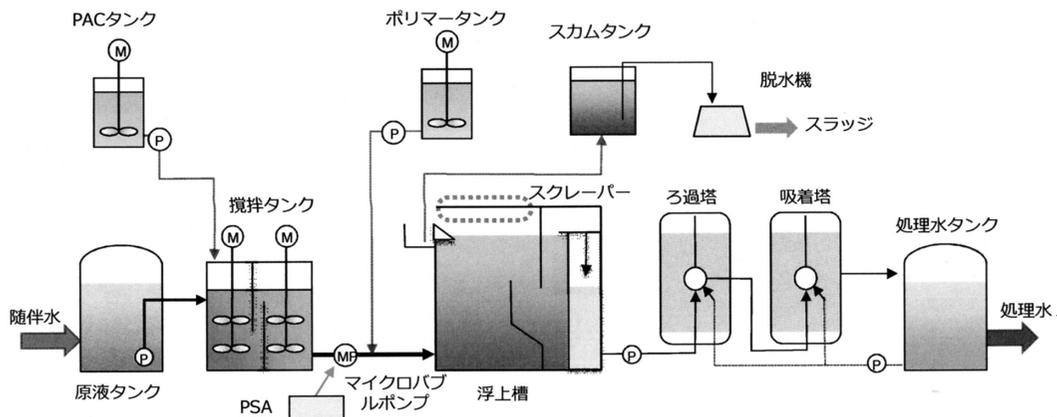


図1 石油随伴水処理パイロットプラントの処理フロー

に凝集させ、マイクロバブルによってフロックを浮上させ、除去することを特徴とする<sup>1), 2)</sup>、凝集浮上法を採用した。図1にパイロットプラントの処理フローの概略を示す。

図2は、サイトAの実石油随伴水を開発したパイロットプラントを用いて連続処理した結果の一例である。凝集浮上処理によって、石油随伴水に含まれていた油分はほぼ除去され、同時に濁度も低減した。オマーン国が定める「灌漑等への再利用水の水質基準」の油分濃度は0.5 mg/L以下である。そのためこのサイトの石油随伴水については、凝集浮上処理だけで基準値に達成しており、低コストでの石油随伴水処理と再利用の可能性が示唆された。

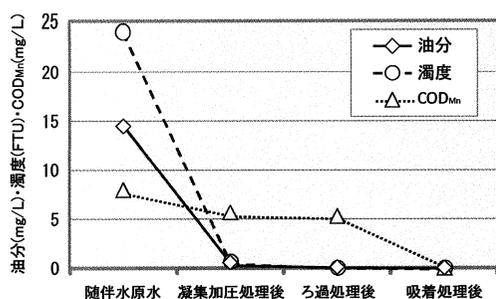


図2 パイロットプラントによる各処理後の水質

### 3. 現地産物(デーツ)からの高性能活性炭の開発

オマーンでの展開を考えた際に、コスト低減のための資材の現地調達や地域産業貢献のためにも、その地域特有の資材を積極的に利用することが望ましい。そこで、本処理システムの吸着剤として使用する活性炭の製造を、中東特産のデーツからの製造することを試みた。デーツは、オマーン始め中東諸国において大量に栽培されており、廃材はその材質から木材としての再利用が効かず廃

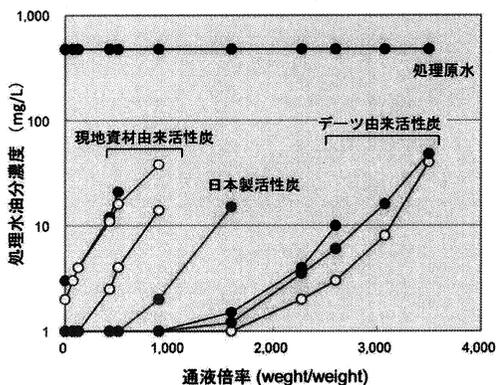


図3 デーツ由来活性炭のカラム試験結果

棄物となっている。

図3は、オマーンで産出される材料を用いて活性炭を調製し、油分濃度500 mg/Lの排水を活性炭を充填したカラムに通水したときの出口油分濃度を示した結果である。デーツ由来の活性炭がより多くの油分を吸着していることが確認できる。出口油分濃度が10 mg/Lになったときの単位重量当たりの活性炭油分吸着量を比較すると、日本製活性炭の730 mg/gに対してデーツ由来活性炭で1330~1425 mg/gと高い油分吸着量を示した<sup>3)</sup>。この吸着量の違いは一般の活性炭と比較して、その孔径分布や表面構造の違いであると考えられる。

### 4. 石油随伴水処理水の水資源としての利用

#### (1) 灌漑利用 (ソルガムの栽培)

石油随伴水処理水の有効利用の一つとして、灌漑への適用を検討した。栽培対象を、比較的耐塩性がある飼料作物であるソルガムとし、石油随伴水処理水を利用することで生育が可能であることを検証した(図4)。

また、塩分及びホウ素がソルガムの生育に及ぼす影響を検討した結果、灌漑水中の塩分濃度によってソルガムの生育は阻害される傾向がみられた。一方、ホウ素については塩分との共存による生育阻害が確認された。ホウ素濃度75 mg/Lの場合、灌漑水の塩分濃度が低い(0.05%) 場合には阻害がみられないが、塩分濃度が0.50% になると生育阻害を受けた。したがって、石油随伴水処理水を利用して灌漑利用する場合には、処理水からの脱塩及びホウ素除去が望ましいと考えられた。



図4 灌漑利用によるソルガム(飼料作物)の生育状況

#### (2) 藻類利用

多くの石油随伴水は塩分を高濃度に含んでいる<sup>4)</sup>ため、直接植物栽培等への利用は困難である。そこで、高塩分を含む石油随伴水処理水の有効利用の一つとして藻類利用技術への適用を検討した。藻類は古くから健康食品や生理活性剤の生産に利用され、近年では石油様物質の生産による代替燃料の研究開発が進む等、その用途可

能性は非常に高い。

オマーン国内の単離源から塩分耐性のある藻類の単離を行うとともに<sup>9)</sup>、これら単離株及び既存の藻類による処理水での培養可能性を検討した。図5は、屋外において処理水を用いての大量培養が可能であることを示した一例である。処理水にミネラル等の最小限の添加と給気のみでの非常に簡易な条件での良好な生育が確認された。オマーン的环境下では、温度調整や光環境設備の追加の必要がなく、一年を通して大量培養できることが示唆された。

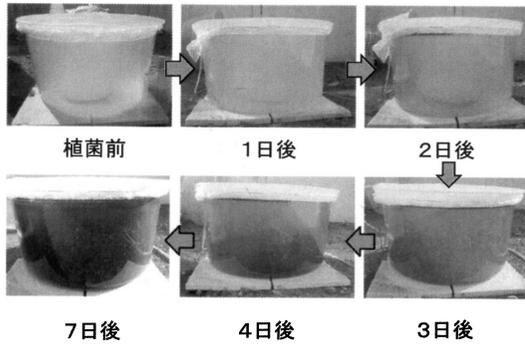


図5 屋外における藻類の大量培養の様子

## 5. コスト試算

前述したサイトAの随伴水を対象としてランニングコストを試算した<sup>9)</sup>。またこの随伴水は比較的塩分濃度が低い(0.76%)ため、処理水を灌漑に利用した場合の試算も併せて実施した。

凝集浮上処理のランニングコストは18.43 JPY/m<sup>3</sup>(PAC添加量: 60 mg/L)<sup>9)</sup>であった。ただし、この試算値は添加する凝集剤の量に大きく依存しているため、水質によって変動する。例えば、PACの添加量が25 mg/Lで良好な処理が得られた場合を考えると、その処理コストは9.38 JPY/m<sup>3</sup>と試算され、現状の11-30 JPY/m<sup>3</sup>より低コストで処理できることが示された。

次に、この石油随伴水処理水を水資源として灌漑利用(トマト栽培)することを想定してコスト収支を試算した(表1)。なおここでは、栽培の阻害となる処理水中の塩分とホウ素を除去するためのコストも加味している。結果、表中の条件においてはトマト栽培による収益を考慮すると、約70万円のコスト低減の可能性が示された。

## 6. まとめ

オマーン政府の協力のもと、パイロットプラントを作製し長期連続処理試験を行うことで、処理性能のみならず経済性においても現状より優れた処理システムを開発

表1 灌漑利用を考慮したコスト試算

対象随伴水の処理割合			
Site-A随伴水	200,000 m <sup>3</sup>	(一日の随伴水量)	
現状処理継続	160,000 m <sup>3</sup>		
開発技術での処理	40,000 m <sup>3</sup>	(全随伴水の1/5量)	
うち、灌漑用へ	1,000 m <sup>3</sup>	(二段ROによる脱塩、ホウ素処理)	
▼			
現状処理コスト	200,000 m <sup>3</sup> × @11.7円/m <sup>3</sup> /day	2,340,000円	
現状処理継続コスト	160,000 m <sup>3</sup> × @11.7円/m <sup>3</sup> /day	1,872,000円	
開発技術処理コスト	40,000 m <sup>3</sup> /分	737,018円	
灌漑用処理コスト	1,557 m <sup>3</sup> /分	49,828円	789,438円
灌漑用農場コスト	灌漑用水として 1000 m <sup>3</sup> /分	2,592円	1,622,477円/day
理論トマト販売額	+1,038,961円		

※本ケースはトマト生産量をオマーン国内の割以下程度とした。  
灌漑用処理水の増減や、市場価格の変動で最終コストは変動する。

することが出来た。さらに、処理水を利用した灌漑利用試験を実施し、砂漠地域での農作物栽培の実現性を確認した。灌漑利用が困難である高含塩随伴水については藻類利用を試み、処理水を用いた屋外での大量培養試験によりその可能性を示すことが出来た。また廃棄物となっていた中東特産のデーツの廃材から、既製品の二倍以上の油吸着能を有する活性炭を開発し、当該国の新たな産業の創出と廃棄物の有効利用の可能性を見出すことが出来た。

今回のプロジェクトが、今後のオマーンを目指す持続可能な発展に貢献できれば幸いである。また、今後は得られた結果をさらに精査し、真の地域産業への展開を図っていきたい。

## 謝辞

本研究の一部は、(一財)国際石油交流センターが実施した産油国石油産業基盤整備事業の一環として実施した。

## 参考文献

- 1) Tasaki *et al.*, Pilot treatment trials for different oilfield produced waters in Oman, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, Vol.56, pp.406-413, 2013.
- 2) Al-Maamari *et al.*, Flotation, filtration, and adsorption: pilot trials for oilfield produced-water treatment, *SPE J.*, Vol.3, pp.56-66, 2014.
- 3) Sueyoshi *et al.*, Preparation and characterization of adsorbents for treatment of water associated with oil production, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, Vol.97, pp.80-87, 2012.
- 4) Tasaki *et al.*, Comparison of COD analysis methods for oilfield produced waters, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, Vol.56, pp.244-248, 2013.
- 5) 田崎ら, オマーンにおける好熱好塩性微細藻類の探索, 第64回日本生物工学会大会, pp.225, 2012.
- 6) 小島ら, オマーンにおける水資源創出のための石油随伴水利用に関する試算, 土木学会論文集, 投稿中.