

# オイル&ガス業界の水事業への取り組み

磯上 尚志  
Isogami Hisashi

武村 清和  
Takemura Kiyokazu

Tang Chay Wee

志田 勝巳  
Shida Katsumi

長原 孝英  
Nagahara Takahide

国際エネルギー機関（IEA）によると、世界的な石油需要増を背景に、2015年の世界の石油需要予測は9,360万バレル/日であり110万バレル/日の増加が見込まれている。在来型石油生産では、水を油層に圧入することにより石油生産量の増加が図られており、オイルサンドやシェールオイルなどの非在来型石油生産では、水を利用

する従来にはない採掘技術が必要となるなど、新たな水処理ニーズが生まれている。

これらの背景の下、日立グループは、今まで培ってきた豊富な水処理関連技術を駆使し、ニーズに応じたソリューションを提供することにより、オイル&ガス生産現場で限りある水資源の有効活用に貢献していく。

## 1. オイル&ガス分野の水処理概要

オイル&ガス業界では、年々厳しくなる環境規制に対応するため水処理設備に対する要求が高まっており、特に石油やガスとともに産出される随伴水の処理などが問題となっている。これに加えて、近年、限りある資源を効率的に生産するためにも多くの水が使用されるようになってきており、環境的側面だけでなく経済的側面からも、水処理設備のニーズが高まっている。

例えば在来型石油生産現場では、石油生産年数とともに油層内の圧力が低下してくるため、圧力維持を目的として水を油層に圧入して石油の生産量を増進させる方法（水攻法）が多く取られる。水攻法を実施するためには、スケールの原因となる硫酸塩を圧入前に除去する必要があり、硫酸塩除去装置（SRU:Sulfate Removal Unit）が求められる。また、処理した水を高圧で圧入するためのインジェクションポンプも必要不可欠である。

また、非在来型石油生産現場でも、例えば露天掘りで採掘したオイルサンドの抽出用に使用される水や、地中のオイルサンドからSAGD（Steam Assisted Gravity Drainage）法でビチューメン（重質油）を回収するための蒸気、シェールオイルやシェールガス掘削時に使用するフラッキング（水圧破碎）用の水などを確保するために、さまざまな水処理設備が必要とされている。

さらにオイル&ガス業界で使用される水処理設備は、

特有の環境で使用されるため、耐食性、耐油性、耐熱性、省スペース性などの制約を受けることが多く、ニーズに応じた設備が求められる。例えば、海洋のプラットフォーム上や浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備（FPSO：Floating Production, Storage and Offloading System）上で必要とされる水処理設備は、非常に限られたスペース内で要求性能を満足する必要があり、特有の仕様が要求される。

日立グループは豊富な水処理技術の知見を基に、オイル

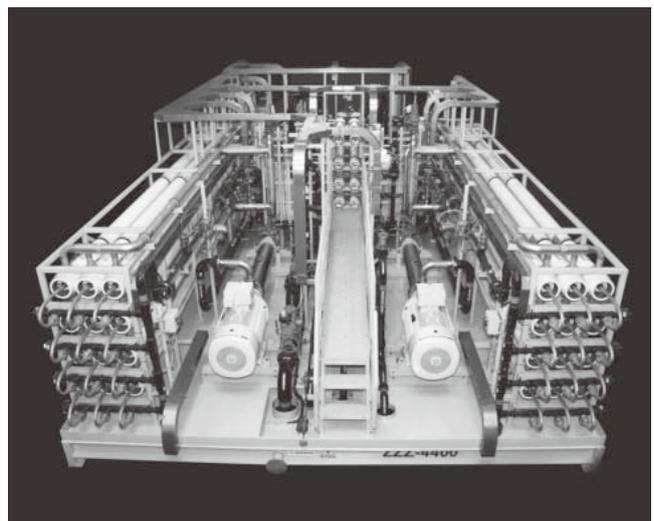


図1 | FPSO向けROユニット

FPSO（Floating Production, Storage and Offloading System）向けRO（Reverse Osmosis）ユニットの処理量は1,200～2,226 m<sup>3</sup>/日である。現在までに6機納入済み、現在3機製作中である。

&ガス業界のさまざまな場所で必要とされている特有のニーズに応じたソリューションを提供することにより、事業参入・拡大に取り組んでいる。本稿では、最近の日立グループの取り組みの中から、SRU、FPSO向け海水淡水化設備（図1参照）、インジェクションポンプを紹介する。

## 2. SRUの概要と取り組み

### 2.1 硫酸塩除去の必要性

海水を油井内に圧入し油回収を増進する場合、海水中に溶解しているイオン成分が油井中の水や粘土質と反応し析出物を生成することで、油井内の細孔を閉塞（へいそく）させてしまい、油回収効果を低減させてしまうことがある。特に、海水中に1 L当たり数千ミリグラム存在する硫酸塩（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）は、油井中のバリウムイオン（ $\text{Ba}^{2+}$ ）やストロンチウムイオン（ $\text{Sr}^{2+}$ ）と反応し、硫酸バリウム（ $\text{BaSO}_4$ ）や硫酸ストロンチウム（ $\text{SrSO}_4$ ）の析出物を生じるため、注意が必要である。

さらに、油井中に流入した硫酸塩は、硫酸還元菌の作用により、容易に毒性および腐食性のある硫化水素（ $\text{H}_2\text{S}$ ）に変換され油井を酸性化させ、油井に設置されたさまざまな機器を腐食してしまうことがある。したがって、海水を圧入水として使用する場合は特に硫酸塩のコントロールが重要である。

### 2.2 硫酸塩除去の手法

従来は、硫酸塩が寄与する析出物の生成を回避するために多量のスケール防止剤を油井中に投入していた。しかし、井戸の性状は一定でないため、薬剤の選定や濃度管理は容易ではなく、条件の設定がうまくいかないと油井内でのスケールの生成を助長してしまうことがあった。

近年、ナノろ過（NF：Nano Filtration）膜が開発され、圧入水から硫酸塩を除去する技術として注目されている。NF膜は、一価のイオンはほぼ素通りするが、二価のイオンは効率よく分離できるという特徴を持つため、二価のイオンである硫酸塩の除去に優れており、海水中に1 L当たり数千ミリグラムの濃度で存在する硫酸塩を数十～100 mg/Lまで低減することが可能である。また、NF膜は、海水淡水化で使用される逆浸透（RO：Reverse Osmosis）膜と比較し、運転圧力が大幅に低く、かつ水回収率が1.5～2倍ほど高く設定できるため、経済的なメリットも期待できる。さらに、NF膜は硫酸還元菌などの菌類も除去できるため、油井内でのファウリングや油井が酸性化するリスクを大幅に低減することも可能である。

現在、この技術は北海やブラジル沖などの洋上油田だけでなく、中東などの陸上油田でも適用され始めており、今

後ますます適用範囲が拡大することが期待されている。

### 2.3 硫酸塩除去システムの構築

海水の性状は地域や季節により大幅に異なるため、NF膜の急激なファウリングを回避し安定した膜分離性能を継続するためには、前処理設備の選定が重要である。

前処理設備は、一般的に、海水の性状（有機物、濁質、菌類やプランクトンなど）によって、「簡易フィルタ」、「砂ろ過（マルチメディアフィルタなど）」、「膜ろ過 [精密ろ過（MF：Micro Filtration）膜、限外ろ過（UF：Ultra Filtration）膜]」のいずれかが選択される。特に、最近のプロジェクトでは、設置スペースや装置重量でメリットがあり、メンテナンスも容易で、かつ処理水質も良好である「膜ろ過」が選定されるケースが洋上施設を中心に多くみられるようになった。

日立は、長年培った水処理の経験をもとに、各プロジェクトに適した硫酸塩除去システムを提供することができる。さらに、今後は日立が保有するICT（Information and Communication Technology）技術と融合することで、オペレーションやメンテナンスに及ぶ顧客それぞれのニーズに対応できるようなシステムの構築をめざす。

## 3. FPSO向け海水淡水化設備の概要と取り組み

Hitachi Aqua-Tech Engineering Pte. Ltd. (HAQT) は、エネルギー効率のよい海水淡水化設備をさまざまな用途に提案している。特に、近年、洋上油田などでの需要が増えているが、スペースや電源に制限がある。HAQTは、技術開発により省スペース、省エネルギーの装置でその壁を乗り越え、さらに耐食性、耐震性を備えることにより、洋上のリグやプラットフォーム上での運転を可能にした。

FPSOは、オイル&ガス業界で約30年前から使用され、今日の洋上油田で多く採用されている。FPSOは、船の形で係留されて洋上に浮かび、原油、水などの生産物を海中油田より受け入れる。係留方式はFPSOの環境によって異なり、穏やかな海では、多点係留方式が採用され、低気圧やハリケーンの多い地域では、荒天時にFPSOを切り離して暴風が去った後に再度つなげるような係留設備が採用されている。

FPSOの長所は以下のとおりである。

- 設備の移動、再利用ができる
- 海洋工事が少なく、生産開始までの期間が短い
- 海象条件への適用幅が広い

この数年で、係留設備も水中機器も進化を遂げ、FPSOはさらに深い海底や流れの速い海域でも使用できるようになっている。

HAQTはFPSO向けの逆浸透膜を利用した海水淡水化設備(SWRO：Seawater Reverse Osmosis)を提供している。FPSOにおいてSWROは油希釈水処理システムとして使用されることが多い。設備は以下の状況に合わせてカスタマイズされる。

- 飲用水
- 雑用水
- 冷却水
- 油希釈水

原油の脱塩や脱水の際には、原油を希釈する洗浄水として良質の水が必要となる。この洗浄水が原油に含まれる塩分を溶かし出す。洗浄水に固形物や塩分が含まれていると原油が汚染され、後処理で除去しなければならないため、事前に取り除いておく必要がある。このためにSWROが主に使われており、船上において一定の水質の洗浄水を提供できる。

FPSO市場の需要に後押しされ、HAQTはさまざまなニーズに応じた商品をカスタマイズして提供している。

## 4. インジェクションポンプ

### 4.1 製品の概要

インジェクションポンプは、原油の生産で用いられる原油回収法の中で、二次回収法に分類される水攻法に使用される高圧のポンプである。一次回収法が地下の油層が持ちうる自然圧力による生産であるのに対し、二次回収法は油層の流れを改善することによって生産量を増加させる手法であり、その中でポンプによって水を圧入する手法を水攻

法と呼ぶ。一次回収による生産量は30%程度と言われており、世界的に原油消費量が拡大している現在では新規油田の開発とともに、すでに開発された油田の増産を図るべく水攻法を含めた一次回収法以外の手法の適用が欠かせない状況となっている。図2に二次回収法を用いた原油採掘システムの概要を示す。

このような背景の下、水攻法に用いる高信頼性、高性能インジェクションポンプを新規開発し、製品化した。主な特徴を以下に示す。

- (1) ISO13709 (API610) 規格に準拠
- (2) 高精度数値流体力学 (CFD：Computational Fluid Dynamics) を適用して羽根車をはじめとした水力部品形状を新たに開発し、高効率化と高吸込性能化を達成したことにより、メンテナンスコストを含めたライフサイクルコストの低減に貢献
- (3) 取り扱い液である海水に対する耐食性と、高強度を併せ持った二相ステンレス鋼を採用することで高い信頼性を確保
- (4) ロータダイナミクスの評価、検証に基づいた低振動運転の実現による運転信頼性の確保
- (5) 使用条件に適した軸封、軸受を選定し、付帯設備のコンパクト化および長寿命化を実現

### 4.2 高性能水力部品開発技術

インジェクションポンプに適用するバレル型多段ポンプ (BB5) は、羽根車、ディフューザなどの多くの水力部品で構成される。高性能化するにはそれぞれの部品形状が流

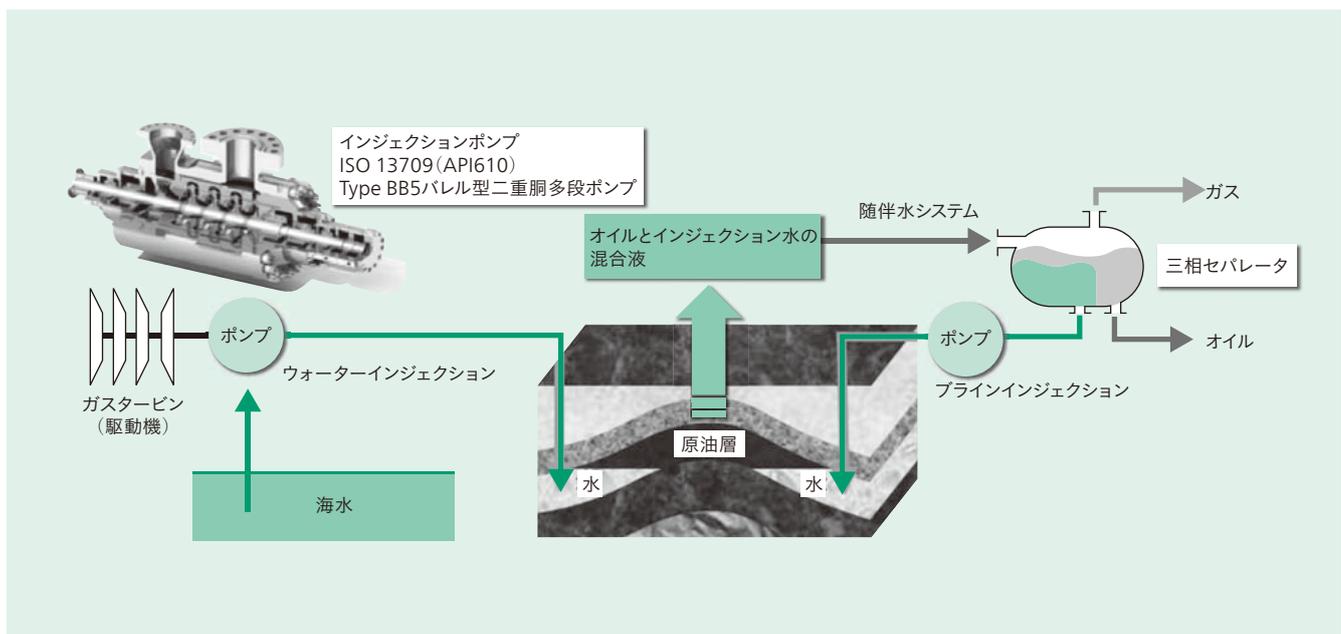


図2 | 二次回収法を用いた原油採掘システムの概要

取水した海水などを油層に圧入するのがウォーターインジェクションポンプ、油層から出た混合液を三相セパレータによって分離し、得られた水を再度圧入するのがブラインインジェクションポンプである。それぞれ油層の流れを改善して原油の生産量を増加させる。

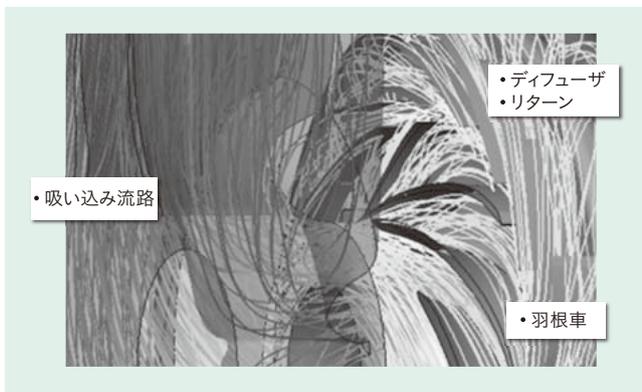


図3 | CFDによるポンプ内部の流れのシミュレーション

吸い込み流路より、羽根車、ディフューザおよびリターンに至るポンプ内部の流れのパターンを示している。高精度CFD (Computational Fluid Dynamics) を最大限に活用することで高効率化を実現した。

れに及ぼす相互影響を把握し、最適設計することが重要である。今回の開発では高精度CFDを用いて各部品内部の流れをシミュレーションにより確認するとともに(図3参照)、実験計画法を用いたパラメータ設計を適用し、水力部品形状が性能へ与える影響の感度を体系的に検討することで、効率的に高性能形状の設計を実現した。

#### 4.3 まとめ

このインジェクションポンプは、吐き出し圧力：約200 bar (20 MPa)、定格出力 [駆動機であるガスタービンのISO (International Organization for Standardization) Rating]: 2万8,000 kWの製品であり、1万3,000時間以上フィールド試験を実施して高性能および高信頼性を実証した。

インジェクションポンプは、取り扱い液、油層の状態により広範囲の使用条件が要求される。幅広い要求に対応し、オイル&ガス市場へ高効率、高信頼性インジェクションポンプを提供することで、エネルギーの安定供給に貢献していく。

## 5. おわりに

ここでは、日立グループにおけるオイル&ガス分野での水事業に関する最近の取り組みについて述べた。顧客ニーズに応じたソリューションを提供することにより、種々の分野で実績を積み上げてきている。引き続き取り組みを強化し、地球規模での環境保全と経済発展の両立に貢献していく考えである。

### 執筆者紹介



#### 磯上 尚志

日立製作所 電力・インフラシステムグループ インフラシステム社 水・環境ソリューション事業部 グローバル水ソリューション本部 OIL&GAS部 所属  
現在、オイル&ガス分野の水処理事業に従事  
博士 (エネルギー科学)  
日本機械学会会員、低温工学・超電導学会会員



#### 武村 清和

日立製作所 電力・インフラシステムグループ インフラシステム社 水・環境ソリューション事業部 グローバル水ソリューション本部 OIL&GAS部 所属  
現在、オイル&ガス分野の水処理事業に従事



#### Tang Chay Wee

Hitachi Aqua-Tech Engineering Pte. Ltd. Managing Director  
現在、海水淡水化分野の水処理事業に従事



#### 志田 勝巳

日立製作所 電力・インフラシステムグループ インフラシステム社 水・環境ソリューション事業部 グローバル水ソリューション本部 海淡・上下水部 所属  
現在、海水淡水化分野の水処理事業に従事



#### 長原 孝英

日立製作所 電力・インフラシステムグループ インダストリアルプロダクツ社 機械システム事業部 ポンプ・送風機技術本部 所属  
現在、大型ポンプの流体性能開発に従事  
博士 (工学)  
日本機械学会会員、ターボ機械協会会員