世界初大型 3 段直列逆浸透(RO)法海水淡水化設備

The First Large Full Triple Pass RO Seawater Desalination Plant in the World

田中　賢次 Kenji Tanaka
松井　克憲 Katsunori Matsui
堀　孝義 Takayoshi Hori
岩橋　英夫 Hideo Iwahashi
竹内　和久 Kazuhisa Takeuchi
伊藤　嘉晃 Yoshiaki Ito

1. はじめに

サウジアラビア・ラービグ地区で 2009 年 1 月 1 日に仮引渡しを完了し，商業運転に入った独立水・蒸気・電気供給(IWSP)プロジェクトは，住友化学㈱(以下，会社名敬称略)がサウジアラビアの国営石油会社のサウジアラムコと折半出資した大型の化学プラント(Petro Rabigh)のための水・蒸気・電気のユーティリティ供給を目的にしたプロジェクトである．当社は，その機器供給から土建工事を含む現地工事・試運転までをフルターンキーで受注した．　近年，造水設備ではお客様の要求として水質の高品質化及び高効率化が強まっており，この流れを受けて，技術革新の著しい逆浸透(RO)法海水淡水化分野でも各一括工事請負(EPC)メーカや逆浸透(RO)膜メーカの間で新プロセスや新膜開発が加速されている．　ここではこのような時代の要請から当社が開発した3段直列 RO 法という当社独自の技術を紹介する．

2. 3段直列 RO 法の開発と意義

ラービグ IWSP プロジェクトは，造水規模も 168 000 m^3/日(通常時)及び 192 000 m^3/日(最大時)と世界でも超大型規模であるうえ，生産水は主に冷却用水として消費されるため蒸発法と同じ高純度(TDS<10 mg/l，Cl^-<5 mg/l)の水質が要求された．この要求水質は通常の RO プロセスでは厳し過ぎて対応が困難であったが，当社が独自開発した3段直列 RO 法を適用することで本プロジェクトへの RO 法の適用を可能にした．　また，RO ユニット1系列の容量も大型化したことにより総系列数が少なくなり，超大型海水淡水化設備への RO 法適用の制限条件が無くなった．　従来から RO 法は蒸発法に比べてニッケル，クロム，銅などの高級金属の使用量が少なく金属高騰の影響が少ないことから納期・価格競争力の面で蒸発法より優位にあるとされていたが，この大型3段直列 RO 法の出現で蒸発法の独壇場だった高純度淡水化市場でも RO 法が優位になりつつあり，海水淡水化市場では多段フラッシュ法/多重効用法/逆浸透法の勢力地図を塗り替えるほどのインパクトのある技術として評価されつつある．

3. 3段直列 RO 法の特徴

当社が独自開発した3段直列 RO 法(国内外特許申請中)の特徴を以下に述べる．

(1) 海淡用高圧 RO 膜とかん水用低圧 RO 膜の組合せが可能な3段 RO プロセスである．　海水用高圧 RO 膜は,中空糸型，スパイラル型を問わず異種膜の混合採用も可能にした．

(2) 各 RO 段の出口の中間タンクを削除し，代わりに系外に透過水を排出する3方向弁又は専用弁を設けてスムーズな起動・停止を可能にし，運転管理によっては懸念されたタンク内でのバイオファウリングの発生を防止する．

(3) 濃縮水を排出する3方向弁又は専用弁を設けて，各 RO 段の濃縮水を上流 RO 段に回収することもできる．

(4) これらハードを駆使する独自の運転システムと複雑な系の自動起動・停止を可能にする当社独自の分散化型運転監視・制御システム(DCS)用ソフトを開発し適用している.

(5) 必要に応じて, 各 RO 段に透過水のバイパスを付加することにより, RO 膜性能のばらつきを考慮したバイパス運転を自由に選ぶことも可能.

このような特徴を備えたシステムであるため, それほど運転員に負担を掛けることなく長期間の商用運転ができる. 当社は 8 年間の RO 膜性能保証を RO 膜メーカとともに提供し,客先の要求があれば長期運転維持管理サービスも提供できる体制にしており, この3段直列 RO 法海淡設備の普及を支えている.

4. 世界初の大規模商用運転例

冒頭で述べたとおり, ラービグ IWSP では世界初の3段直列 RO 法海淡設備を納期どおりに完成, 試運転でも極めて良好な結果を得て, 当社独自技術の優秀性と信頼性を証明した. お客様やエンドユーザの高い評価と信頼を得て新規類似案件への採用拡大が期待されるところである.

以下にラービグでの商用運転の実例を示す. 二層砂ろ過装置でろ過された海水が3段直列に連結した RO ユニットに送られる. 本設備は, 第1段(1st Pass)の高圧 RO 膜には紅海側で長期間安定した運転実績を豊富に有する東洋紡績㈱製の膜を, 第2段(2nd Pass)及び第3段(3rd Pass)の低圧 RO 膜には高脱塩性能を有する日東電工㈱製の膜を採用している. 現地に設置された RO ユニット各段の設置状況を図1, 2に示す. RO ユニット1系列あたりの生産水量は 504 m^3/h, 全体で 16 系列(14 系列+予備2系列)の設備である. 回収率(Rc)は第1段 RO が 43%で第2段 RO 及び第3段 RO がそれぞれ 90%である. 第1段 RO の濃縮海水のみ系外に排出されるが, 第2段 RO 及び第3段 RO のブラインは各々循環するため, 総合回収率は 40%となる.

性能試験時の性能一例を図3に示す. 各段の水質は, 第 1 段 RO 透過水の電気伝導度が 280 μS/cm(蒸発残留物(TDS)で 140 mg/l 相当)で第2段 RO 及び第3段 RO 透過水の電気伝導度がそれぞれ 26 μS/cm(TDS で 13 mg/l 相当)と 11 μS/cm(TDS で 5.5 mg/l 相当)で運転初期とはいえ極めて良好な水質を達成している. 本来の設計値より高めの塩濃度海水の供給が続いている状況にもかかわらず, 水量も保証値の 504 m^3/h に対し 508 m^3/h と余裕を持って達成できた.

図1 第1段 RO 膜
紅海側で長期間安定した運転実績を豊富に有する三酢酸セルロース製ホロファイバ膜を採用.

図2 第2段 & 第3段の低圧 RO 膜
高脱塩性能を有するポリアミド製スパイラル膜を採用.

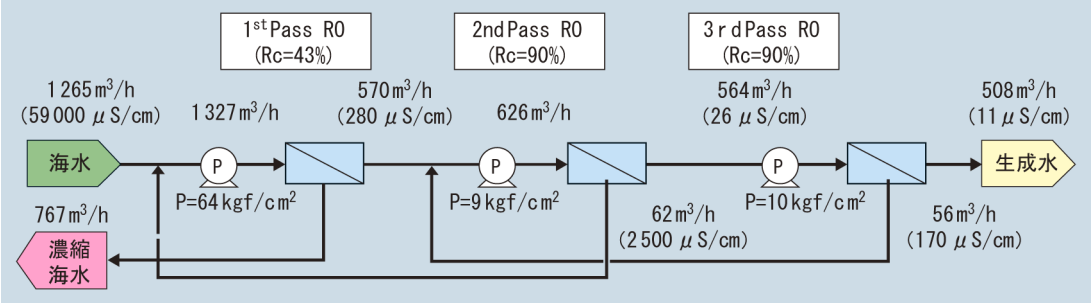


図3 性能試験時の水質・水量例
運転初期とはいえ極めて良好な水質かつ水量も保証値の 504m^3/h に対し 508m^3/h と余裕を持って達成している.

試運転時の全ユニット16系列の生産水質を**図4**に示す．各系列とも極めて良好な水質であり，各系統独立での保証値を達成した．この結果により高い稼働率が要求される化学プラントのユーティリティとしての冗長性の確保にも寄与できることを確認した．

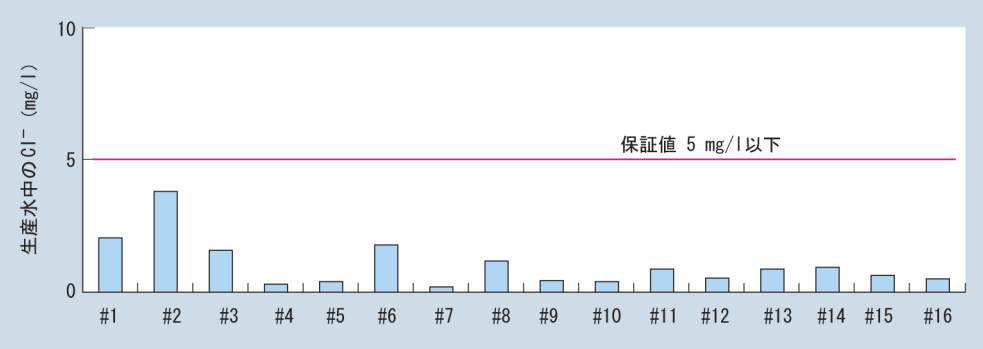
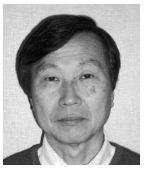


図4 試運転時の各系列の生産水質
各系統独立での保証値の達成状況を示す．一部の系列はRO膜性能調整中の値でバラツキ有り．

5. まとめ

近年，お客様の要求として水質の高品質化及び設備の高効率化，大型化が進む中，当社独自技術として3段直列RO法を開発し，運転開始時点では稼働中の海水淡水化設備の中で世界で2番目の造水規模の超大型RO海水淡水化設備として，その画期的な性能を実証した． このことが，その後蒸発法の独壇場だった大型高純度淡水化市場でRO法が積極的に採用されるきっかけとなったと自負している． 当社では今後ますます多様化するお客様のニーズに対応するため，引き続き環境にやさしく， 運転・保守の容易なRO法海水淡水化システムの開発を進めていく．

執筆者紹介


田中賢次
長崎造船所
長崎ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ推進部
主席

松井克憲
長崎造船所
長崎ﾌﾟﾗﾝﾄ技術部
ﾌﾟﾗﾝﾄ装置・海淡設計課

堀 孝義
長崎造船所
長崎ﾌﾟﾗﾝﾄ技術部
ﾌﾟﾗﾝﾄ装置・海淡設計課

岩橋英夫
長崎造船所
長崎ﾌﾟﾗﾝﾄ技術部
主幹

竹内和久
技術本部
長崎研究所
化学研究室
主席

伊藤嘉晃
技術本部
長崎研究所
化学研究室