

# 福島第一原子力発電所汚染水処理の概要と吸着材の活用

(株)東芝 ○池田 昭\* 福松 輝城 鈴木 翔 沖田 壮史

## 1. 汚染水処理の概要

福島第一原子力発電所(以降:1F)では、2011年3月11日の東日本大震災において、津波による建屋内海水流入に加え、原子炉の冷却用として1号機から3号機格納容器へ外部注水を実施し、原子炉建屋からタービン建屋に放射性物質を含んだ汚染水が流れこんだ。その後、地下水の流入により、タービン建屋の汚染水量は増加し、汚染水が外部に放出する危険があったことから、緊急処置として東芝にてタービン建屋からプロセス主建屋(PMB)、高温焼却炉建屋(HTI)へのホースを設置し移送を行なった。また、汚染水増加量が雨水量に依存するため、梅雨の前に、汚染水を原子炉冷却に再利用するシステムを早く稼働させる必要性に迫られていた。汚染水の性状検討の結果、海水成分、油分、浮遊物質(SS)が含まれている可能性が高く、再度炉内に冷却水として供給する際の材料腐食の観点から、淡水化処理装置の設置、淡水化膜が使用可能な線量まで低減させるCs除去設備、油・SS分離の除去装置が必要となった。短期間の設置が求められていること、地震、津波再発の可能性が否定できないことから、処理設備は設置可能な既存の建物内に配置し、建物間を配管で接続することとなった。Cs除去装置にはKURION社の吸着システムと、AREVA社の凝集沈殿システムが採用され、東芝にて油分離設備、移送ポンプを含めた全体システムおよび電気制御システムを設置し6月に汚染水処理を開始した。一方で、Cs除去性能の確保、装置の遮へい改良、廃棄物の減容等を反映させたバックアップ設備として、東芝で第二Cs除去装置(SARRY™)の設計に入った。コンセプトは米国のSHAWより導入し、東芝にて詳細設計を実施、製作を日本と米国で協力することにより、非常に短納期で完成、8月に汚染水処理を開始した。SARRY™は前段に異物除去のための砂ろ過塔を2塔、過剰吸着防止のため、高濃度Cs除去にチャバサイトを3塔、低濃度Cs除去に高吸着性能のケイチタン酸塩(CST)を2塔配置した構成であり、吸着塔自身に鉛遮へいを保持させることにより、高性能のCs除去(設計除染効率 $DF=10^6$ )と廃棄物の低減および線量の低減を実現している。また、稼働部を極力減らした設計を行い、稼働から5年たった今も高稼働率を維持し2016年10月までに100万t以上処理し、汚染水処理の主役を担っている。

SARRY™にてCsの除去は進んだものの、更なる汚染水のリスク低減と処理完了のため、汚染水から他の核種(特にSr)を除去する必要があるため、多核種除去設備を導入した。多核種除去設備(MRRS™)は、Sr除去の妨害物質であるCa、Mgを沈殿法で除去した後、62核種を数種類の吸着材で除去するシステムである。1号機は2013年3月に汚染水の処理を開始し現在も稼働中である。また、性能向上、廃棄物低減、設備稼働率向上、設備安定性を向上させた2号機を設計開始から約10か月という短納期で完成させ、2014年9月から汚染水の処理を開始し、順調な運転を継続している。2015年5月にRO(逆浸透膜)濃縮水の処理完了し、2016年10月までに両設備で50万t以上の汚染水の処理を実施しており、今後も安定した汚染水処理に協力をしていく。

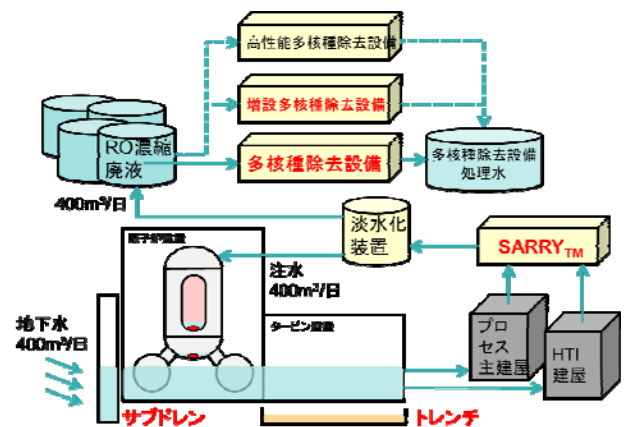


図 1-1 汚染水処理全体概要構成

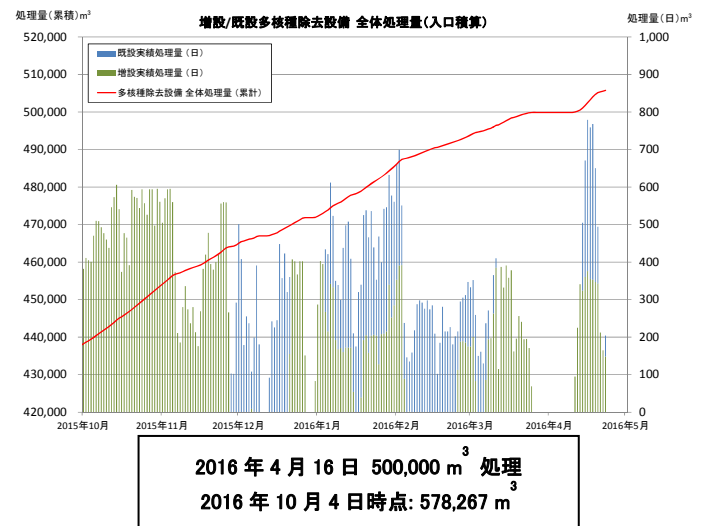


図 1-2 MRRS™ 全体処理量

## 2. 吸着材の活用

1F の汚染水処理で処理装置として導入された代表的な設備、そのシステムとその放射能のレベルを表 2-1 に示す。1F の除去設備では高線量の  $\gamma$  核種を除去する設備に吸着設備が用いられている。これは高線量の汚染水処理の場合、通常除去物質はさらに高線量となり、遮へいと共に容易に取扱いが可能である必要がある。SARRY™ のように使用後は遮へいを含んだ吸着塔ごと一時保管し、冷却期間もしくは処理設備の設置の完成を待って処理する方法を採用している。

また、中線量の放射能除去であっても、多核種除去設備のような非常に低い濃度まで除去が必要な場合、吸着材を使用したシステムが使用されている。これは沈降分離の場合、溶液の溶解度に依存し除去性能が依存してしまう事、膜分離、蒸発濃縮の場合、極微量核種の除去が可能かどうかの確認が必要となる事から、管理、メンテナンスが容易な吸着分離を採用している。一方で、核種濃度が微量になるほど、妨害物質の影響が大きくなることから、吸着設備の前段に前処理設備を導入することにより、吸着設備のより効果的な運用が可能になっている。

表 2-1 1F 汚染水処理設備概要

	システム	核種	核種線量
AREVA 社設備	沈降分離	Cs,Sr	中
KURION 社設備	吸着分離	Cs(Sr)	高
SARRY™	吸着分離	Cs(Sr)	高
多核種除去設備	沈降分離 吸着分離	62 核種	中
高性能多核種除去設備	膜分離 吸着分離	62 核種	中
RO 設備	膜分離	成行*1	中
蒸発濃縮設備	揮発分離	成行*2	中
KURION 社モバイル	吸着分離	Sr	中
東芝 Sr モバイル	吸着分離	Cs,Sr	中
サブドレンシステム	吸着分離	Cs,Sr	低

\*1 Cl<sup>-</sup>除去が主目的

\*2 廃棄物濃縮が主目的

## 3. SARRY™

SARRY™ は汚染水から高線量の  $\gamma$  核種である Cs (Cs-134,137) を除去するためのシステムとして設置されている。当初は、チャバサイトをメインに CST をポリリッシャーとして採用していた。これは、除去性能の高い CST を前段に配置すると、捕捉した Cs の放射能により、容器表面線量の増加、吸着塔内部での発熱、水素発生量の増

加を招き、安全評価上の対応が大きくなるため、性能が比較的良く、物理性状が安定しているチャバサイトを前段に配置している。汚染水中の Cs 濃度の低下と海水濃度の低下によるチャバサイトの Cs 除去性能の向上の両面を評価し、チャバサイトのみでの除去運用により設備性能が確保できることを確認し、チャバサイトのみでの除去に変更した。その後 RO 膜への影響と、配管やタンクの漏えいに対するリスク低減のため Sr も除去するニーズが高まり、Cs、Sr 同時吸着材として、国内で製作した CST を採用しており、現在も順調に稼働している。

## 4. MRRS™(多核種除去設備)

SARRY™ で Cs を処理した汚染水から、RO 設備によって淡水を精製し炉注水として使用している。MRRS™ は RO 淡水化処理の段階で、発生した濃縮水 (RO 濃縮水) から、トリチウムを除く 62 核種を除去する設備である。設備構成は吸着分離を主とした設備構成となるが、前段に鉄共沈とアルカリ炭酸沈殿 (増設 MRRS™ はアルカリ炭酸沈殿のみ) により、より効果的に吸着分離の性能を向上させるような設備構成となっている。前処理工程では Sr 吸着の阻害因子となる Ca 及び Sr をあらかじめ除去すると共に、核種の吸着を阻害する有機物や油の除去を行なっている。また、沈殿物の除去に使用している限外ろ過が可能なセラミックスフィルタにより、汚染水中に存在するファインを合わせて取り除いている。

吸着工程では核種をそれぞれの化学形態に応じて除去するために 6 種類の吸着材を使用している。当初はいくつかの核種の除去性能が十分ではなかったが、その後の改良により、除去性能が向上している。今後も廃棄物低減のために、より高性能で、より長持ちする吸着材を今後も継続して検討していく。



図 3 SARRY™ 外観



図 4 MRRS™ 外観

※SARRY 及び MRRS は株式会社 東芝の商標です。

池田 昭 (いけだ あきら)

(e-mail akira8.ikeda@toshiba.co.jp)

福松 輝城(ふくまつ てるき)

鈴木 翔(すずき しょう) 沖田 壮史(おきた たけし)