

浜岡原子力発電所 5号機 塩分除去装置によるプラント系統水の浄化について

Summary of the purification with the desalination plant of the seawater which invaded to a condenser of the
HAMAOKA Nuclear Power Station No.5

中部電力(株)	堀内 秀晃	Hideaki HORIUCHI	Member
中部電力(株)	高柳 省治	Shouji TAKAYANAGI	Member
中部電力(株)	寺井 啓祐	Keisuke TERAJ	Member
日立 GE ニュークリア・エナジー (株)	根本 清司	Seiji NEMOTO	Member

In Hamaoka Nuclear Power Station No.5, condenser tube broke on May 14, 2011, and a large quantity of seawater invaded in the wide area of the plant. The seawater contained a highly-concentrated chloride ion. Because the corrosion influence on equipments which constituted a plant was concerned about, we decided to remove a chloride ion in a desalination plant. The desalination plant was manufactured from the quality of the general industrial product, we adopted some design changes and special inspection procedure to conform to nuclear technical standard and passed the construction permission and inspection of government in May, 2012. Desalination plant operation is started in June, 2012.

Keywords: condenser tube broke, desalination, reverse osmosis membrane, electro dialysis, solidification

1. 緒言

浜岡原子力発電所 5号機は、2011年5月14日の原子炉停止過程において、復水器細管が損傷した。その結果、大量の海水が復水器ホットウェルに流入しプラント系統内全体に亘り海水が浸入した。

海水は高濃度の塩化物イオンを含有しており、機器等への腐食影響が懸念されるため、系統水の塩化物イオン濃度を低減させる必要があった。

この塩化物イオン濃度の高い系統水を、既設の廃棄物処理設備で処理できるようにするため、前処理設備として塩分除去装置を設置することとした。塩分除去装置は廃棄物設備として工事計画届出を行い、2011年12月から設置工事を着手し、2012年5月に設置が完了した。同設備は6月から浄化運転の予定である。

本報告では、塩分除去装置によるプラント系統水の浄化計画概要について述べる。

2. 海水浸入状況

2.1 海水浸入範囲

復水器細管損傷により海水が浸入した範囲を Fig.1 に示す。

復水器細管が損傷し細管内の海水が復水器ホットウェルに流入した。その後、復水系（復水器ホットウェル～復水ブースタポンプ）に浸入した系統水は、初期段階では復水脱塩装置にて水中の不純物（主に塩化物イオン）を除去できていたが、時間経過とともに除去することができる容量を超え、海水を含んだ水が給水系（復水ブースタポンプ～原子炉压力容器）や復水ブースタポンプ入口配管につながる制御棒駆動系を通じて、原子炉系機器に浸入した。

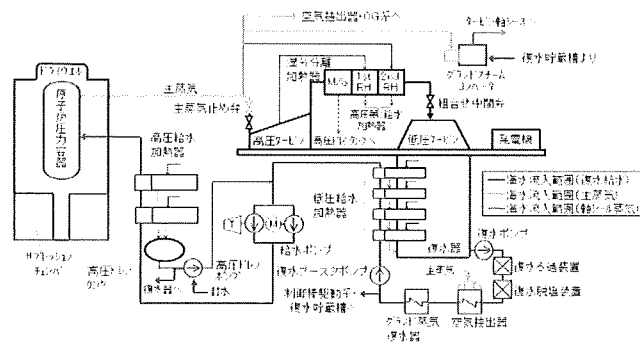


Fig.1 Seawater invaded in the wide area of the plant

連絡先: 寺井啓祐, 〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561,
中部電力(株) 浜岡原子力発電所保修部タービン課,
電話: 050-7772-8242,

E-mail: Terai.Keisuke@chuden.co.jp

2. 2 現状の塩分濃度分布

海水が浸入したプラント系統水については、塩化物イオン濃度に応じて計画的に浄化をおこなった。

比較的塩化物イオン濃度が低かった原子炉系は、脱塩水による希釈、既設浄化系による浄化を実施した。

復水給水系のうち給水系については、復水器ホットウェルへ系統水の移送を行ったのち、脱塩水置換を実施した。

復水系については未だ塩化物イオン濃度が高い系統水を保有したままである。

現状の系統水の浄化状況と塩化物イオン濃度分布をTable.1に示す。

Table.1 Salinity distribution in the plant

No	系統	浄化状況	塩化物イオン濃度(ppm)
1	原子炉压力容器、余熱除去系及び原子炉冷却材浄化系	浄化運転中	約 0.002
2	制御棒駆動機構	脱塩水置換	約 0.02
3	復水器ホットウェル	未実施	約 9700
4	復水系	未実施	約 6000
5	給水系	脱塩水置換	約 65

3. 塩分除去装置の概要

3. 1 処理計画

高濃度の塩分が含まれる復水器ホットウェル、復水給水系の系統水は、多量の貯水が可能な復水器ホットウェルに一度貯留したあと塩分除去装置へ移送し、既設の廃棄物処理設備で処理することが可能な塩分濃度まで浄化する計画とした。

処理対象水

- ・系統水の総量：約 1825m³
- ・系統水塩分濃度：1.27%TDS
- ・系統水の放射性物質濃度：約 0.07Bq/cm³

浄化された水は液体廃棄物処理系で処理するものとし、濃縮水は、蒸発固化容器にて蒸発乾固し塩塊化する。

塩分除去の方式としては、海水淡水化装置として産業分野で広く使用され実績のある逆浸透膜装置を採用

し、濃縮水を塩塊化する方式については、廃液処理設備として実績のある蒸発装置を採用する事にした。

逆浸透膜装置と蒸発装置からなる塩分除去装置による浄化システムをFig.2に示す。

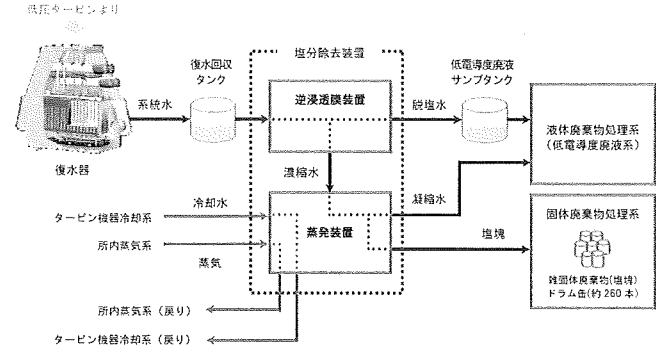


Fig.2 System configuration of desalination

3. 2 塩分除去装置の構成と仕様

(1) 逆浸透膜装置

a. 構成

逆浸透膜装置の構成をFig.3に、高濃度ROユニット、電気透析装置の写真をFig.4に示す。

逆浸透膜装置は、海水成分を含んだ系統水を逆浸透膜(以下RO)処理により塩分を除去し、低電導度廃液サンプタンク(LCWサンプタンク)へ移送する。ROで処理した脱塩水は低電導度廃液系で処理することから、塩分濃度は20ppmTDS以下まで低減する必要があるためROは高濃度ROユニットと低濃度ROユニットの2段構成としている。ROユニットで処理された濃縮水は仮受タンクに戻る。仮受タンクでは、ろ過処理された系統水やROの濃縮水を仮受し塩分濃度を一定に保つことにより後段の電気透析装置(以下ED)の安定運転を可能にしている。

仮受タンクからの濃縮水は、イオン交換膜を並べた電気透析装置でさらに濃縮することで廃液量を低減している。

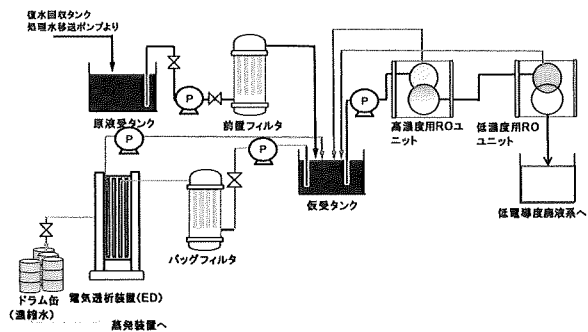


Fig.3 Configuration of RO¹/ED² system

*1 RO Reverse Osmosis membrane

*2 ED Electro Dialysis

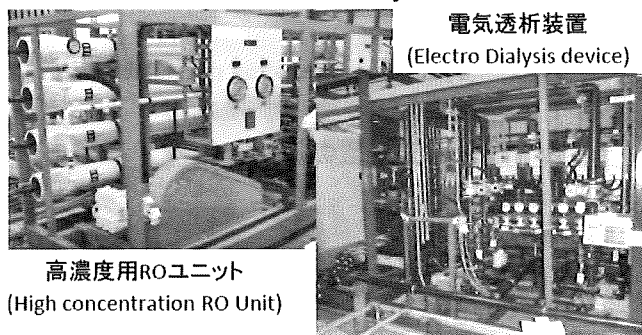


Fig.4 High Concentration RO Unit & ED device

b. 主要仕様

逆浸透膜装置の主要仕様を Table.2 に示す。

Table.2 RO/ED system specification

項目	仕様
装置入口流量	3m ³ /h
RO ユニット流量 (高濃度/低濃度)	25.2 m ³ /h/4.2 m ³ /h
ED ユニット流量	1.1 m ³ /h
脱塩水濃度 (低濃度 RO 出口)	20ppmTDS 以下
濃縮水濃度 (ED 出口)	8%TDS

(2) 蒸発装置

a. 構成

蒸発装置の構成を Fig.4 に示す。

蒸発装置は、濃縮水を蒸気室下部に取り付けた加熱管を内蔵した蒸発固化容器に導入し蒸気で加熱し水分を蒸発させ塩塊を作製する。塩塊作製後の蒸発固化容器は、容器ごとドラム缶に詰め一時保管した後、固体廃棄物として処理する予定である。

蒸発過程で安定して塩塊が生成できるように、前処

理として濃縮水の水質調整を行っている。

塩塊作製過程で発生した蒸気は、凝縮器で水に戻され、その凝縮水は水質を確認し低電導度廃液系で処理するようにしている。

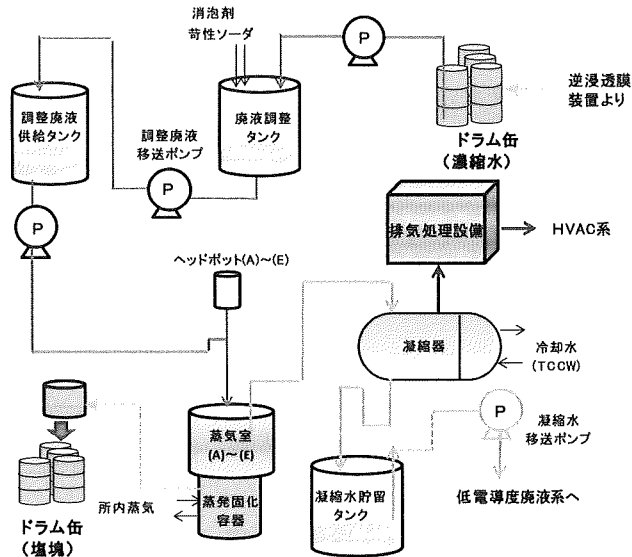


Fig.5 Configuration of Evaporative solidification system

b. 主要仕様

蒸発装置の主要仕様を Table.3 に示す。

Table.3 Evaporative solidification system specification

項目	仕様
蒸発器 (蒸気室+固化容器)	5 缶
濃縮水処理量	6m ³ /1 工程
固化容器 1 個当りの塩塊重量	100kg

(3) 設置場所

逆浸透膜装置、蒸発装置を集中配置するスペース確保が可能なこと、および設置作業の利便性からタービン建屋 3 階面に設置することにした。

3. 3 許認可適合設計

塩分除去装置は、廃棄設備として工事計画届出の必要性があった。そのため、以下の対応を実施した。

(1) 適合性確認内容

逆浸透膜装置は、海水淡水化装置として国内外で十分な使用実績がある一般産業品を採用したが、耐海水性材料である強化プラスチック、ポリエチレン、塩化

ビニル等が使用されており、発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令に定められた基準によれないことから、特殊設計施設認可申請を行い以下の適合性確認を実施した。

a. 材料適合性

使用材料が日本工業規格（JIS）、米国機械学会（ASME）規格等で規定され、同装置の使用条件での強度を有することを確認した。

b. 構造及び強度確認

樹脂製の円筒形容器、開放タンクなどは、発電用原子力設備規格設計・建設規格（以下「JSME 規格」という）で規定された強度評価手法により十分な厚さを有していることの確認をおこなった。

JSME 規格計算によれない角型開放タンク、高濃度/低濃度 RO ユニットなどは、耐圧漏えい検査を行い強度上問題ないことを確認した。

以上のいずれの手法で評価できない塩化ビニル管などは、設備の最高使用圧力が JIS や製品カタログ等に示されている設計圧力を超えない範囲で使用されることを確認した。

c. 漏えい監視の強化

塩分除去装置エリア堰内に複数の監視カメラ、漏えい検知器及び出力モニタからなる漏えい監視システムを設置した。この出力モニタを現場と中央制御室で監視することにより、漏えい箇所の早期把握および隔離措置が可能となり、漏えい拡大防止を図っている。

3. 4 材料検査における確認結果

塩分除去装置を構成する機器に採用したような一般産業品の製作にあっては、機器メーカーでの品質マネジメントシステムの下に材料管理は行われている。しかしながら、原子力発電所に供給される材料としては、材料証明書と現品の識別表示など使用材料の管理が十分でないものがあつた。

これらについては以下の確認方法を追加して行い、使用材料の検証を実施した。

(1) トレース確認

機器メーカーの材料発注伝票まで遡り、準備されたミルシートが当該部材のものであることを確認した。特に、複合材料である樹脂製品については、各素材の材料証明書の内容が適用規格に適合していること、材料調達のトレース、及び品質管理についてメーカ

一の管理状況の確認を行った。

(2) 冶金調査

識別表示管理していない部材について、硬さ試験、化学成分分析をおこないミルシートと使用材料との比較調査を実施した。

硬さ試験では、硬さ測定結果から引張強さを換算しミルシートのデータと比較することで使用材料との照合を実施した。

化学成分分析は、PMI (Positive Material Identification) 試験あるいは、切粉採取による成分分析を行い、分析結果とミルシートとを照合することで、使用材料の照合を実施した。

3. 5 試運転結果

実液による逆浸透膜装置の試運転結果を Table.4 に、同装置で濃縮された廃液を蒸発固化した結果を Table.5 にそれぞれ示す。Fig.6 に、塩塊作製前後の蒸発固化容器内部写真を示す。

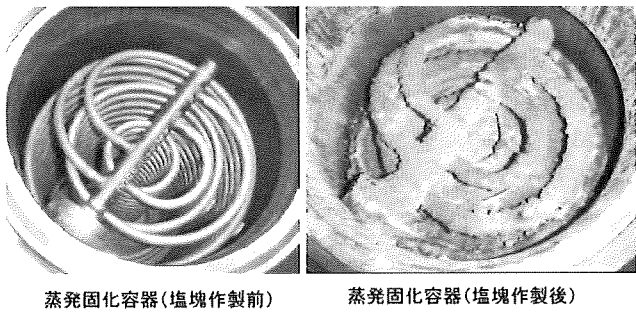
海水が浸入したプラント系統水を液体廃棄物処理系で処理可能であることを確認した。また、濃縮水は、塩塊化し固体廃棄物処理系で処理可能であることを確認した。

Table.4 Performance test result of RO/ED system

確認項目	設計目標	試運転結果
脱塩水濃度 (低濃度 RO 出口)	20ppmTDS 以下	13~15ppm
濃縮水濃度 (ED 出口)	8%TDS	8~9%TDS

Table.5 Performance test result of Evaporative solidification system

確認項目	設計目標	試運転結果
塩塊重量	100kg/1 個	114~117kg/1 個
処理時間 (1 工程当り)	36 時間以内	27~28 時間



蒸発固化容器(塩塊作製前) 蒸発固化容器(塩塊作製後)

Fig.6 Solidification container before and after solidified salt generation

3. 6 海水浸入水浄化運転計画

プラント系統水の浄化計画を Table.6 に示す。
 海水浸入したプラント系統水は復水器に移送・貯留した後、塩分除去装置にて塩化物イオンを除去する。塩分除去装置の運転は4ヶ月程度を予定している。

Table.6 Schedule of purification which invaded seawater to plant

年月	2012年度											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
塩分除去装置設置工事	■											
塩分除去装置運転 (脱塩水置換含む)	■											
系統フラッシング	■											
点検	■											

4. 結 言

塩分除去装置による復水器細管損傷により海水浸入したプラント系統水の浄化概要について紹介した。
 逆浸透膜装置と蒸発装置からなる塩分除去装置は、一般産業界で実績のある装置をベースに原子力許認可適用設計を図ることで使用前検査を受け、また試運転結果からは所期の性能を発揮することを確認した。

(平成 24 年 6 月 6 日)