

## 振動式樹脂洗浄装置 (ARCS)

三 浦 信 二\* 菊 地 香 織\* 上 野 修 一\*\*

### Advanced Resin Cleaning System (ARCS)

by Shinji MIURA, Kaoru KIKUCHI, & Syuichi UENO

Ebara's novel and unprecedented ion exchange resin cleaning system, for use in BWR plants and featuring a vibration separator and basic design factors of Radiological Solutions, Inc., had been delivered to Tokai No. 2 Power Station, Japan Atomic Power Company, in October 2005. This compactly-designed system effectively separates crud and resin fines from ion exchange resins, with no clogging of separation screens. It generates minimized waste liquid and has a specially designed over-pack cleaning tank. The system has been in operation for about a year now and favorable operational data and evaluation results are being reported from the owner-side.

**Keywords:** Condensate demineralizer, Ion exchange resin, Crud, Resin fines, Vibration separator, Back wash, Separation efficiency, Spray, Liquid phase radioactive waste

### 1. ま え が き

沸騰水型原子力発電所では、タービンからの復水を原子炉へ送水する過程で可能な限りこれを浄化するために復水脱塩装置が設置されている。当社では現在まで国内の原子力発電所に合計10ユニットを納入してきた。復水から除去すべき対象は主に配管等から発生する不純物イオン及び腐食生成物（以下クラッド）であり、これらを含む復水を強酸性陽イオン交換樹脂と強塩基性陰イオン交換樹脂の混床塔である復水脱塩塔へ通水することにより浄化している。

一方、イオン交換樹脂（以下樹脂）は逆洗操作や通薬再生の繰返しにより、ある程度破碎される傾向がある。この破砕片（以下破砕樹脂）は逆洗操作の過程で健全な樹脂と分離され、放射性廃棄物処理系に送られるが、極微細な破砕樹脂が健全樹脂に残留していると、復水脱塩塔内のストレーナを通過し原子炉へ流入後、分解して硫酸イオン、硝酸イオンを生成し、原子炉構造材の応力腐食割れの進展を助長すると言われている。したがって復水脱塩塔に装荷されたイオン交換樹脂の逆洗操作は、表

面や粒子間に存在するクラッドの除去と共に、破碎樹脂の分離も重要な目的となっている。

従来の逆洗操作は樹脂を再生塔に移送後、樹脂層下部から空気と水を注入することで、スクラビング効果によるクラッドの樹脂表面からはく離と、上昇水流によるクラッドと破碎樹脂の樹脂層からの追出し効果を狙ったものである。しかしこの方法では、樹脂表面のクラッドの除去には限界があり、微細な破碎樹脂も完全には分離できない傾向にあった。このため樹脂をできるだけ清浄な状態に保つため逆洗頻度を増加したり、より効果的な通薬再生を行ったりする結果、発生する廃液が発電所全体の液体放射性廃棄物の大部分を占める場合もあることが報告されている<sup>1)</sup>。

このようななか、当社では2005年10月に双日(株)経由で日本原子力発電(株)東海第二発電所に全く新たなコンセプトに基づく樹脂洗浄装置を納入した。その後約1年の順調な運転後、2007年1月に1回目の定期点検を終了した機会をとらえ、この振動式樹脂洗浄装置 (ARCS) の概要につき紹介する。

### 2. 振動式樹脂洗浄装置 (ARCS) の概要

#### 2-1 導入経緯

本装置は米国Radiological Solutions, Inc (以下RSI社)の装置基本設計と樹脂洗浄機の供給に基づき、当社が周

\* 風水力機械カンパニー エネルギー事業統括部 原子力事業室  
システム設計グループ

\*\* 同 同 同

辺機器や計測制御装置類の供給、現地工事及び詳細エンジニアリングを行ったものであり、国内では第1号機となる。

RSI社は元々1979年に創設された原子力発電所のサンプリングシステムや燃料検査システム、水処理装置のエンジニアリング等を手掛ける会社であるが、米国製の振動ふるいを樹脂の洗浄及び破碎樹脂の分離用として初めて実用化し、現在まで米国内の3箇所の原子力発電所に合計4基の納入実績を有し、その良好な導入効果につき米国原子力エネルギー協会等から表彰を受けている。

国内では数年前から日本原子力発電株がその効果に着目し、自社で小型の試験装置をRSI社から導入してその効果を検証した結果、2004年末に東海第二発電所への導入を決定、以前からRSI社とのコンタクトをもち、技術調査を行ってきた当社へ双日株経由で発注されたものである。

## 2-2 装置概要

図1に本装置の中心部である樹脂洗浄機の概要図を示す。この機器は食品等のふるい分けに用いられる振動ふるい

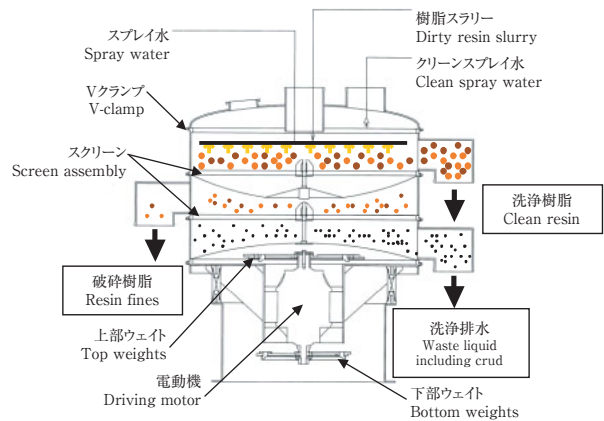


図1 樹脂洗浄機の概要  
Fig. 1 Outline of vibration separator

と同じ原理であり、上下左右に振動するふるい上で粒子のサイズによる分離と、強力なスプレイ水によるクラッドのはく離を同時に行うものである。

ふるいを構成するステンレス金網製スクリーンは上下2段で構成されており、上部からのスプレイ水で樹脂を

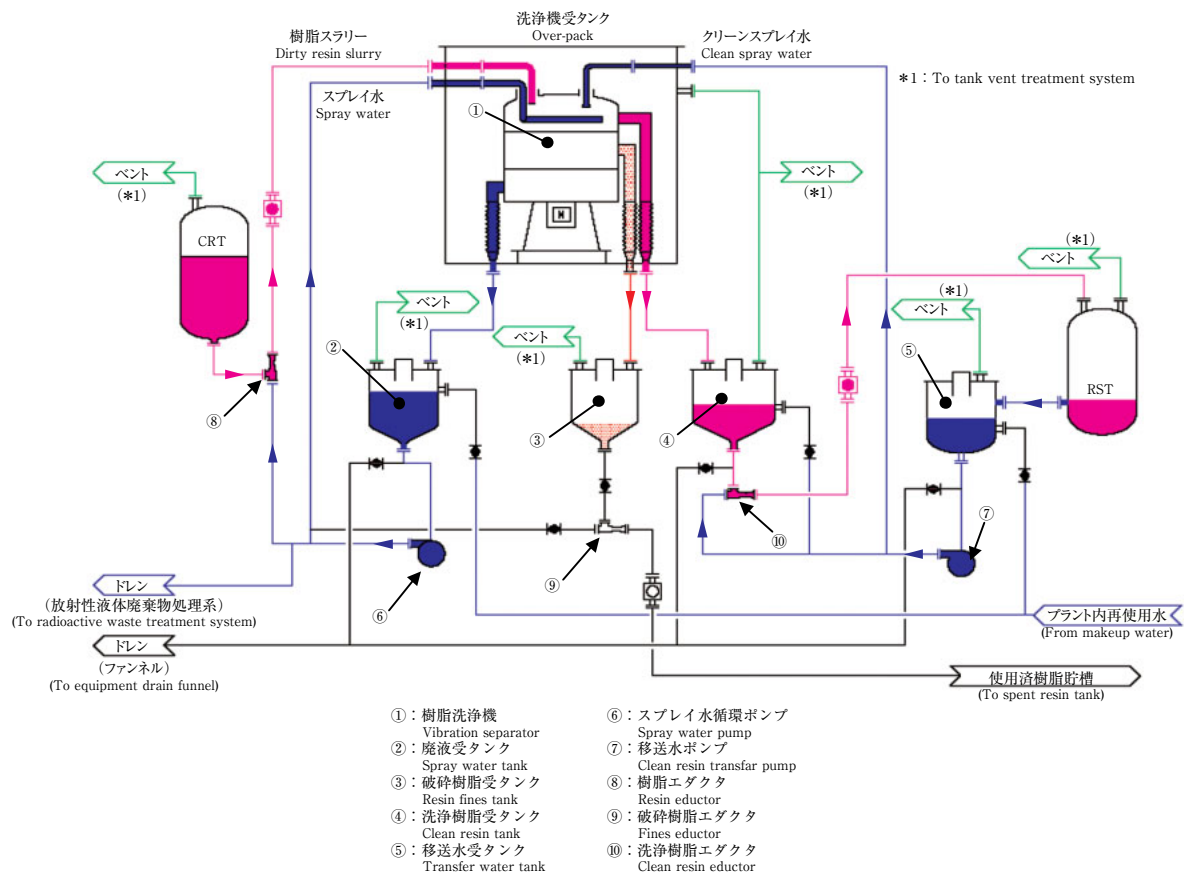


図2 振動式樹脂洗浄装置系統概要図  
Fig. 2 Flow sheet of resin cleaning system

洗浄しつつ、1段目のふるいで健全樹脂を破碎樹脂及びクラッドから分離回収し、2段目のふるいで破碎樹脂をクラッドから分離回収する。クラッドを含む洗浄排水は最下部のトレイから廃液受タンクへ集められ、スプレイ水等として装置内で循環使用される。

樹脂洗浄機本体は、ベースフレームに取り付けられた12組のスプリングアッセンブリにより支持される構造であり、樹脂洗浄機下部の電動機 (1.86 kW) で駆動される2組の偏芯ウエイトにより、上下左右の振動を生み出している。

図2に振動式樹脂洗浄装置の系統概要図を示す。

処理される樹脂は、既設の復水脱塩装置陽イオン交換樹脂再生塔 (以下CRT) から振動式樹脂洗浄装置内を循環する廃液により駆動されるエダクタにより吸引され、樹脂洗浄機に移送される。樹脂洗浄機では処理済樹脂を樹脂洗浄機出口の手前でクリーンスプレイ水により最終洗浄を行った後、洗浄樹脂受タンクに回収し、その後既設の復水脱塩装置樹脂貯槽 (以下RST) にエダクタにより移送する。エダクタの駆動水はRSTから移送水受タンクへの戻り水であり、クラッド等を含まない清浄な水である。一方、破碎樹脂は破碎樹脂受タンクで受けた後、装置内で発生する洗浄排水により駆動するエダクタにより使用済樹脂貯槽に移送する。

装置内を循環する洗浄排水は樹脂から除去された放射性クラッドが濃縮されるため、装置の1サイクルの運転が終了後、他のタンク内の残留液とともに放射性液体廃棄物処理系に移送される。

本装置の運転条件を表1に、機器の主要仕様を表2に示す。

### 3. 装置の特長

本装置は樹脂の洗浄と、破碎樹脂の分離特性のほか、ふるいの目詰まり対策、処理に伴い発生する廃液量の低減、及び放射性物質の封じ込めの観点から、以下の特長を有している。また、装置が非常にコンパクトであり、既設建屋の狭いスペースにも配置可能である点も特長の一つである。

#### 3-1 樹脂の洗浄及び破碎樹脂の高効率分離

図3に樹脂洗浄機内での樹脂の動きの模式図を示す。樹脂洗浄機の中心部に供給された樹脂は渦巻きを描きながら薄い層となってスクリーン上を放射状に移動し、樹脂洗浄機の外周に沿ってロープと呼ばれる堆積層を形成する。樹脂の洗浄と破碎樹脂の分離は、このスクリーン上での移動中に上部からの強力なスプレイ水を得て、高効率かつ効果的に行われる。一方、ロープはゆっくりと洗浄樹脂出口シュート方向へ移動し、清浄な洗浄水により粒子間に残留したクラッド含有水を洗い流した後で、洗浄樹脂受タンクへ自由落下する。これら樹脂の移動パターンや速度は、樹脂洗浄機下部に設置された

表1 振動式樹脂洗浄装置の運転条件

Table 1 Operating conditions of resin cleaning system

項目 Item	運転条件 Operating condition
イオン交換樹脂処理速度 Resin feed rate (m <sup>3</sup> /h)	1.72
1バッチ当たりイオン交換樹脂処理量 Batch processing resin volume (m <sup>3</sup> )	6.9
1バッチ当たりイオン交換樹脂処理時間 Batch resin processing time (h)	約9

表2 主要機器仕様

Table 2 Specifications of major components

機器名 Name	基数 Quantity	種類 Type	容量 Volume	主要材料 Main material
樹脂洗浄機 Vibration separator	1	円形ふるい Round separator	1.72 m <sup>3</sup> /h (樹脂処理速度) (Resin feed rate)	ASTM A240
洗浄機受タンク Over-pack	1	たて置円筒形 Cylindrical type	0.72 m <sup>3</sup> (接液部) (Liquid contact part)	SUS304
洗浄樹脂受タンク Clean resin tank	1	たて置円筒形 Cylindrical type	0.66 m <sup>3</sup>	SUS304
移送水受タンク Transfer water tank	1	たて置円筒形 Cylindrical type	0.67 m <sup>3</sup>	SUS304
廃液受タンク Spray water tank	1	たて置円筒形 Cylindrical type	0.88 m <sup>3</sup>	SUS304
破碎樹脂受タンク Resin fines tank	1	たて置円筒形 Cylindrical type	0.19 m <sup>3</sup>	SUS304
スプレイ水循環ポンプ Spray water pump	1	立軸渦巻式 Vertical type volute pump	32 m <sup>3</sup> /h × 74 m	SUS304
移送水ポンプ Clean resin transfer pump	1	立軸渦巻式 Vertical type volute pump	16 m <sup>3</sup> /h × 70 m	SUS304

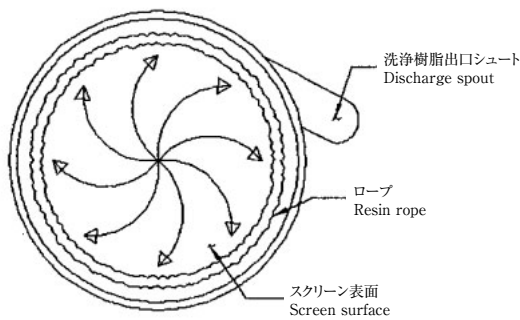


図3 樹脂洗浄機内の流動パターン

Fig. 3 Flow pattern of vibration separator interior

1450 min<sup>-1</sup>で回転する2組の偏芯ウエイトの開き角度調整により決定される。

### 3-2 ふるいの目詰まり対策

1段及び2段のふるいは各々上部スクリーンと下部スクリーン又は多孔板の二重構造となっており、隙間に1段目はボール状、2段目は中空円筒状のプラスチック部品が多数充填され、これらが振動に伴う動揺の結果、上部スクリーン下面に衝突し、その振動により目詰まりを防止している。

### 3-3 廃液発生量の低減

装置内で樹脂の洗浄や移送に使用する水は、洗浄済樹脂用以外、樹脂洗浄機から排出される洗浄排水を循環使用する。このため従来の逆洗操作と比べ廃液発生量を1/2から数分の1に減少できる。

### 3-4 放射性物質の封じ込め機能

本装置を構成する機器のうち樹脂洗浄機はその構造の特殊性から、日本の原子力施設向け容器の構造規格を満足することは困難である。また、樹脂洗浄機自体が強制振動するものであることから、耐震性の評価も同様に難しい。もちろん、このことは樹脂洗浄機が構造体としての強度上、及び液体のシール上、通常の使用に耐えないということの意味するものではないが、監督官庁への許認可手続き上、何らかの形で放射性物質の封じ込め機能を担保する必要がある。

このため、日本原子力発電(株)のご指導により樹脂洗浄機全体を図4に示す平底円筒容器(以下オーバーパック)内に収納すると共に、万一の流体の漏洩に備え、オーバーパック底部のドレン配管ポケット部に漏洩検知器を設置し、漏洩液は洗浄樹脂受タンクへ収集することとした(日本原子力発電(株)特許出願中)。また、配管との取り合いはすべてJISフランジを用い、動力ケーブルは給電端子での取り合いとし、水密性を確保した。

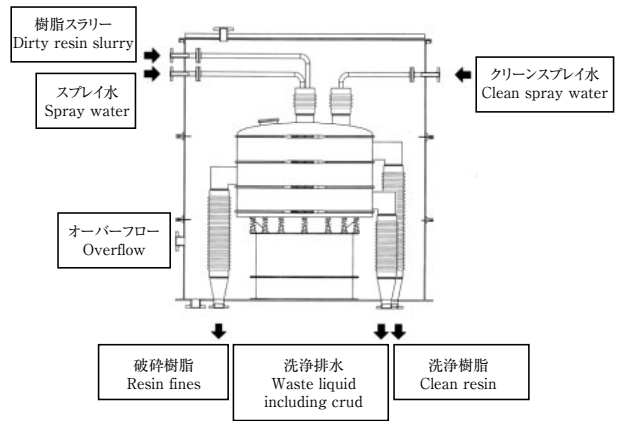


図4 樹脂洗浄機と洗浄機受タンク

Fig. 4 Vibration separator with over pack

### 3-5 コンパクトな配置

東海第二発電所では、その建設当時に設置され、その後遊休設備となっていた超音波式樹脂洗浄装置を撤去したスペース(W2.45 m × L6.1 m × H8.8 m)が、本装置の設置場所となった。主要機器の配置を図5に示すが、図のように本装置を構成する機器は上下方向に展開して据え付けることが可能であり、必要な水平投影面積は多くを要しない特長がある。

## 4. 運転結果

以下に当社で試運転時に確認した運転結果の概要を示す。

### 4-1 樹脂の処理速度

樹脂洗浄機への樹脂供給速度は、既設CRTの覗き窓で測定した樹脂面の下降速度によって算出した。樹脂処理速度が樹脂洗浄機の定格値である1.72 m<sup>3</sup>/hを超えないように、樹脂エダクタの駆動水圧力を調整し、処理速度を1.5～1.7 m<sup>3</sup>/hに設定した。

### 4-2 廃液の発生量

振動式樹脂洗浄装置での処理と従来の逆洗操作との廃液発生量の比較を表3に示す。

振動式樹脂洗浄装置での処理は従来の逆洗操作に比べ、廃液発生量を1/3以下に抑えられることが確認できた。

### 4-3 クラッドの除去効率

振動式樹脂洗浄装置での処理前後の樹脂をサンプリングし、クラッドの付着量を測定した。

結果を表4、5に示すが、樹脂の粒間に存在するクラッドは振動式樹脂洗浄装置での処理により顕著な除去効果が得られた。

一方、樹脂の表面に付着したクラッドは、処理前後で

表3 廃液発生量比較  
Table 3 Comparison in generated waste liquid volume

工程区分 Treatment step	洗浄方法 Cleaning method	振動式樹脂洗浄装置 New system	逆洗操作 Conventional system
CRTでの逆洗 Back wash at CRT	(m <sup>3</sup> )	14.4	14.4
ARCS処理 ARCS treatment	(m <sup>3</sup> )	24.9	-
樹脂分離後逆洗 Back wash after resin separation	(m <sup>3</sup> )	-	139.5
RST混合洗浄 Mixing and washing in RST	(m <sup>3</sup> )	8.3	8.3
合計廃液量 Waste liquid total volume	(m <sup>3</sup> )	47.6	162.2

表4 ARCS処理前後での粒間クラッド  
Table 4 Intergranular crud before and after treatment

状態 State	サンプル名 Sample	A	B	C	平均 Average
処理前 Before treatment	(g as Fe/L-resin)	1.16	1.38	1.02	1.19
処理後 After treatment	(g as Fe/L-resin)	0.16	0.06	0.28	0.17

表5 ARCS処理前後での表面クラッド  
Table 5 Surface crud before and after treatment

状態 State	サンプル名 Sample	A	B	C
処理前 Before treatment	(g as Fe/L-resin)	0.03	0.02	0.03
処理後 After treatment	(g as Fe/L-resin)	0.01	0.01	0.02

顕著な差が見られない。これは現在使用している樹脂が最近新品と交換されたものであり、振動式樹脂洗浄装置の試運転時に約1年程度しか使用されておらず、クラッドによる汚染が少ないためである。現在、顧客にて継続的なデータ収集及び評価が行われている。

4-4 破碎樹脂の分離効率

振動式樹脂洗浄装置での処理前後の樹脂をサンプリングし、350 μm未満の樹脂の存在率を測定した。

結果を表6に示すが、処理前後の350 μm未満の樹脂存在率は3回の平均で各々0.051%と0.021%であり、1回の処理で350 μm未満の樹脂が約59%除去される結果となった。振動式樹脂洗浄装置での処理回数を重ねる

表6 ARCS処理前後での破碎樹脂除去性能  
Table 6 Removal efficiency of resin fines

状態・項目 State & Item	サンプル名 Sample	A	B	C	平均 Average
処理前 Before treatment	サンプル量 Sample volume (cm <sup>3</sup> )	1065	1080	1170	1105
	350 μm未満樹脂量 Less than 350 μm resin volume (cm <sup>3</sup> )	0.6	0.5	0.6	0.57
	存在率 Existing (%)	0.056	0.046	0.051	0.051
処理後 After treatment	サンプル量 Sample volume (cm <sup>3</sup> )	1160	1330	1260	1250
	350 μm未満樹脂量 Less than 350 μm resin volume (cm <sup>3</sup> )	0.3	0.3	0.2	0.27
	存在率 Existing (%)	0.026	0.023	0.016	0.021

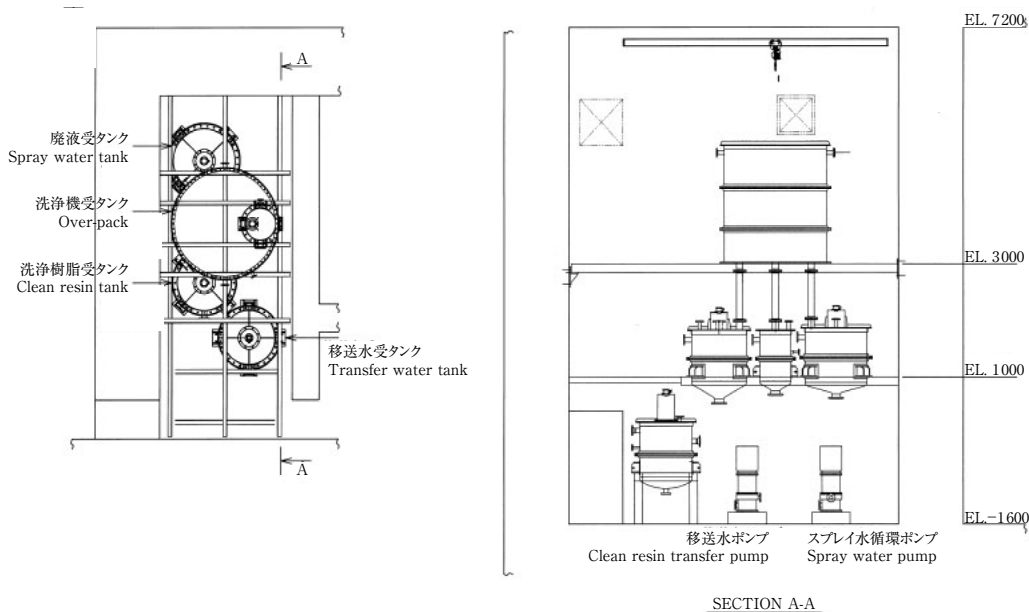


図5 振動式樹脂洗浄装置主要機器配置図  
Fig. 5 General arrangement of major components

ことで、樹脂中に存在する破砕樹脂の存在率を更に低減することが可能である。

## 5. あとがき

振動式樹脂洗浄装置は本稿で述べたような斬新なコンセプトに基づく装置であり、2005年に本装置を納入した東海第二発電所では、運転実績が着実に蓄積され導入効果も現れつつある<sup>1)</sup>。

最後に、非常に短期間かつ既設設備内への設置工事という制約の中で、無事プロジェクトが完遂するまで多大なご指導とご協力を頂いた日本原子力発電㈱の関係各位に厚く感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 笹木ら、「復水脱塩装置イオン交換樹脂の洗浄方法改良」, (株)日本原子力学会「2006年春の年会」要旨集, pp.340

