

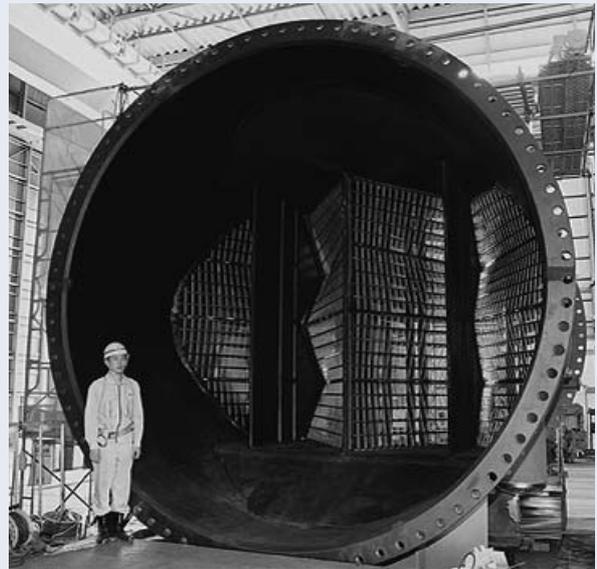
# 高性能・大容量復水器連続ボール洗浄装置

## High-Performance Condenser Tube Cleaning System Featuring Advanced Ball Collecting Technology

鈴木 智人 Akihito Suzuki 武井 武雄 Takeo Takei



(a)  
可動式スクリーン付きボール捕集器(胴径 3,500 mm)



(b)  
大容量ボール捕集器(胴径 4,400 mm)

### 高性能ボール捕集器と大容量ボール捕集器の外観

東北電力株式会社納め東通原子力発電所1号機用可動式スクリーン付きボール捕集器(a)と、北陸電力株式会社納め志賀原子力発電所2号機用大容量ボール捕集器(b)の外観を示す。日立グループは、復水器連続ボール洗浄装置を自社製作している唯一の国内企業であり、これまで国内外の火力・原子力発電所に多数の納入実績がある。

電力分野の規制緩和、自由化の急進、および環境に優しい発電事業を展開するために、電力事業を取り巻く環境は厳しい時代に突入しており、発電効率に大きく影響する復水器の性能維持が大きな課題となっている。

わが国の多くの発電所では海水が使用されるため、多量の冷却水を必要とする復水器では、海水中の生物の流入と付着を防止し、冷却管の清浄度を保つことにより、高性能を維持することが求められる。復水器連続ボール洗浄装置は、これを確保するためのものである。

日立グループは、各電力会社の指導の下に種々の技術開発を進め、高回収率達成のための高性能ボール洗浄装置を開発し、電源開発株式会社磯子火力発電所新1号機ならびに東北電力株式会社東通原子力発電所1号機用に納入した。

また、これらで蓄積した高い技術力により、世界最大級のボール捕集器を開発、実用化し、北陸電力株式会社志賀原子力発電所2号機への据付けが完了している。

## 1 はじめに

復水器は、蒸気タービンの排気蒸気を冷却、凝縮させるた

めに多数の冷却管を内蔵している。復水器連続ボール洗浄装置(以下、ボール洗浄装置と言う。)は、復水器冷却水(循環水)中にスポンジボールを投入し、このスポンジボールを洗浄媒体(以下、洗浄ボールと言う。)として、復水器の冷却管

内面を洗浄する装置である。洗浄ボールは、復水器冷却水配管の下流側に設置されたボール捕集器によって回収され、ボール循環ポンプで復水器の入口側へ再投入、循環される。

近年は環境保全への意識の高まりから、ボールの系外流出防止が強く求められており、この洗浄ボールの回収率を高くすることが重要となっている。

そのため、日立グループは、常時格子閉運転ができる新型ボール捕集器と貝・ボール分離装置により、洗浄ボールの系外流出がなく、連続運転が容易なボール洗浄装置を考案した。すでに実機に適用し、良好な結果を得ており、これを基に、大容量復水器への適用を図っている。

ここでは、このボール洗浄装置の概要と成果について述べる。

## 2 対象装置の概要

### 2.1 復水器仕様

ボール洗浄装置の洗浄対象となる復水器は、発電所の容量によっても異なるものの、最大級の容量となる原子力発電所向けのものでは、冷気面積が10万2,000 m<sup>2</sup>、冷却管の総延長(長さ×本数)は1,100 kmを超えるものとなる(表1参照)。

### 2.2 ボール洗浄装置

ボール洗浄装置は、冷却管の内径よりわずかに大きい洗浄ボールを冷却水に浮遊させ、復水器を運転しながら冷却管内面を洗浄するものである。運転頻度は、通常、1日当たり1、2回が標準で、洗浄ボールの循環経路の長さを冷却管有効長の4、5倍、1回の運転で洗浄ボールが冷却管内を約5回貫通すると仮定すると、1回の運転で洗浄装置ボールが流動する総距離は、2万2,000 kmを超える。

循環させる洗浄ボールの標準個数は冷却管本数の約10%であり、運転後の洗浄ボールの回収率は100%が求められる。一般的なボール洗浄装置の基本構成を図1に示す。

ボール洗浄装置は、(1)復水器冷却水の入口部にボールを投入するためのボール投入管、(2)復水器出口で洗浄ボールを捕集するボール捕集器、(3)ボール捕集器で捕集されたボールを搬送するボール循環ポンプ、および(4)ボ-

表1 135万kW級原子力発電設備用復水器の主な仕様

冷気面積は10万2,000 m<sup>2</sup>で、冷却管の総延長(長さ×本数)は1,100 kmを超える大容量復水器である。

項目	仕様(3胴分)	
型式	表面接触3区分式(3胴式)	
冷気面積	10万2,000 m <sup>2</sup>	
冷却管	外径	28.58 mm
	肉厚	0.5 / 0.7 mm
	有効長	1万7,790 mm
	本数	6万3,864本

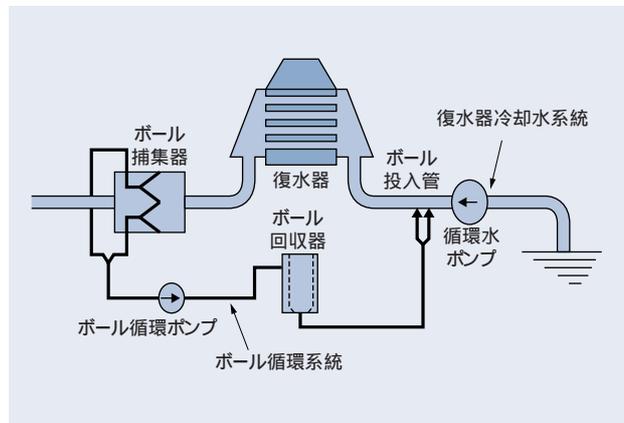


図1 ボール洗浄装置の基本構成

ボール捕集器、ボール循環ポンプ、ボール回収器、ボール投入管、および配管・弁から成る系統構成を示す。

ルの回収・再投入を行うボール回収器の主要機器で構成する。

## 3 最新鋭機器の機能と特徴

### 3.1 ボール捕集器

復水器の下流側の冷却水配管中に設置してあるボール捕集器は、洗浄後のボールを捕集し、ボール循環系統に戻すもので、装置中で最も重要な機器である。その構造は、2枚構成のV字形格子を内蔵し、洗浄装置運転中は格子を閉(捕集)状態とし、格子の谷部でボールを集約してボール循環系統に導く。標準運転時間は1、2時間で、運転時間以外にはボールが循環しないので、ボール捕集器格子への海生生物のたい積による圧力損失の上昇を防ぐため、開放される。

一方、前述のようにボールは長い距離を循環するため、系

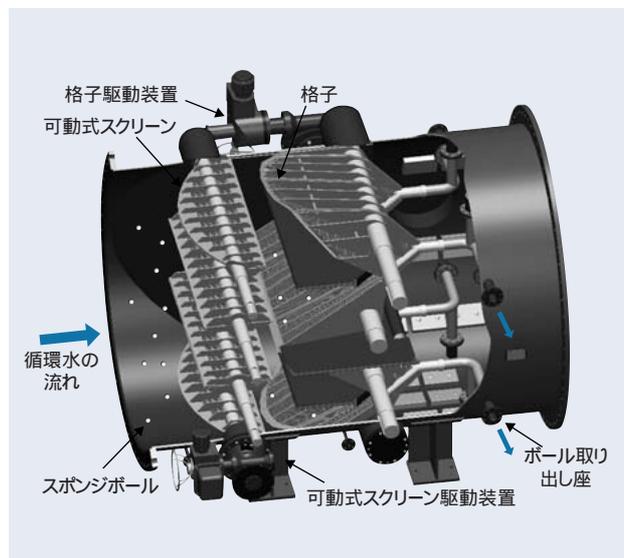


図2 可動式スクリーン付きボール捕集器の概略構造

高性能ボール捕集器では、従来のボール捕集器の上流側に可動式スクリーンを設けた。

統内の途中で滞留した場合、遅れ回収ボールとなり、上述の運転時間中にボール捕集器まで回収されない可能性がある。そのような場合でも、回収率の低下や系外への流出を防ぐため、可動式スクリーン付きボール捕集器を考案した(図2参照)。

前述の遅れ回収ボールを回収するためには、ボール捕集器の格子を常時閉(捕集)状態にしておく必要がある。しかし、従来のボール捕集器で常時閉(捕集)運転を実施すると、以下のような問題が発生していた。

- (1) 長時間の閉(捕集)運転により、格子面に海生生物などの異物がたい積する。これによって洗浄ボールが停滞し、未回収ボールとなってしまう。
- (2) 流入異物のたい積によって格子の圧力損失が増大し、ボール洗浄装置の運転状態に関係なく、不定期に格子を開放することになる。

上述の課題に対し、可動式スクリーン付きボール捕集器は、従来のV字形格子の上部に左右に回転する可動スクリーンを設置したもので、このスクリーンのフラッピング(可動)により、格子上に停滞したボールをはく離、回収することを可能とした。また、可動式スクリーンを閉(捕集)位置にした状態で格子を開(開放)状態にすることにより、ボールを系外へ流出させることなく、格子の異物除去ができる画期的な構造として

いる。可動式スクリーン付きボール捕集器の作動原理を図3に示す。

### 3.2 貝・ボール分離装置

ボール捕集器格子の常時閉(捕集)運転を実施するうえで、もう一つ問題となるのが、海生生物など異物の流入である。異物が洗浄ボールといっしょに再循環することにより、復水器の入口側へ再投入されると、復水器冷却管入口での海生生物の停滞に伴い、ボールの停滞が発生し、回収率低下の大きな要因となる。これを解決するために、ボール捕集器で洗浄ボールといっしょに回収される異物を分離して、洗浄ボールだけを再循環させる「貝・ボール分離装置」を開発した。

貝・ボール分離装置の原理は、ボール捕集器で集められた洗浄ボールと混在する異物を、内部に設けた巡回翼とらせん状のスリットにより、貝とボールの比重差を利用して分離するというものである。ボールは連続的にボール投入管に送られて再循環し、分離された異物は装置の底部に集められ、一定量がたまった時点でボール捕集器の下流側に排出される。

貝・ボール分離装置の原理を図4に示す。

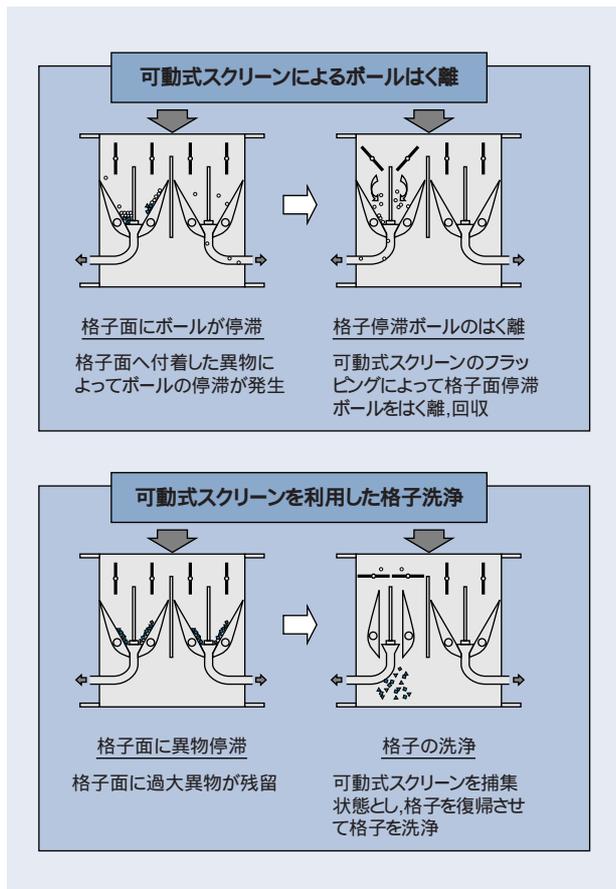


図3 可動式スクリーン付きボール捕集器の作動原理  
可動式スクリーンのフラッピング(可動)により、格子停滞ボールの回収と格子の洗浄が可能となる。

## 4 新技術の適用

電源開発株式会社磯子火力発電所新1号機用に納入した可動式スクリーン付きボール捕集器と貝・ボール分離装置を備えた高性能ボール洗浄装置の初号機は、現在、営業運転中である。その後、東北電力株式会社東通原子力発電所1号機用に、原子力発電所向け大容量の可動式スクリーン付きボール捕集器を納入し、プラント試運転中である。

両プラントの復水器とボール洗浄装置の仕様を表2に示す。

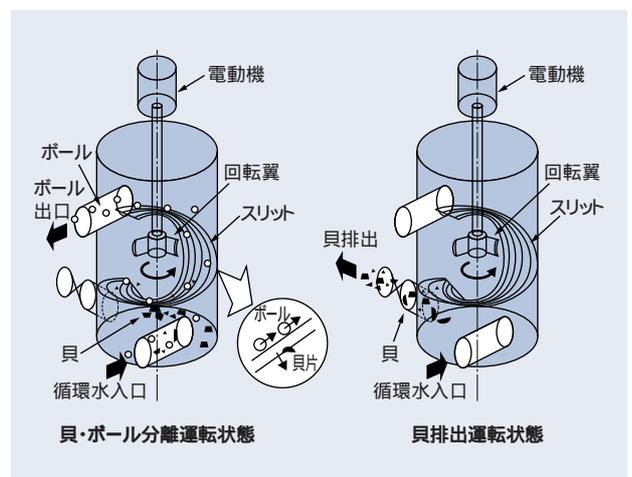


図4 貝・ボール分離装置の原理  
貝とボールの比重差を利用し、巡回流とらせんスリットにより、貝とボールを分離する。

表2 高性能ボール捕集器の仕様比較

電源開発株式会社磯子火力発電所新1号機と東北電力株式会社東通原子力発電所1号機の主要仕様を示す。

項目		磯子新1号機	東通1号機
プラント概要	出力	60万 kW	110万 kW
	運転開始	2002年4月	2005年10月予定
復水器	製造者	富士電機株式会社	株式会社東芝
	台数	1胴2水室	3胴6水室
	冷却管	チタン(TTH340W)	チタン(TTH340W)
	冷却水	海水	海水
ボール捕集器	型式	整流板付き単段曲面格子式 (可動式スクリーン付き)	整流板付き単段曲面格子式 (可動式スクリーン付き)
	胴径	2,400 mm	3,500 mm
	胴体長	3,500 mm	4,500 mm
	台数	2台	3台
	流量	4万2,000 m <sup>3</sup> /h	9万1,200 m <sup>3</sup> /h
貝・ボール分離装置	型式	かくはん分離式	かくはん分離式
	胴径	1,000 mm	1,000 mm
	台数	2台	6台
	流量	160 m <sup>3</sup> /h	320 m <sup>3</sup> /h

## 5 新技術の適用効果

試運転では、両プラントともに高いボール回収率を記録し、ボール捕集器格子の常時閉(捕集)運転では、復水器冷却水系統内に滞留していた未回収ボールが遅れ回収ボールとして捕集、回収され、ボールの系外流出の防止が確認された。

## 6 大容量ボール捕集器

上述の実績により、北陸電力株式会社志賀原子力発電所2号機では、従来型のボール捕集器に貝・ボール分離装置を有するボール高回収システムを構築し、世界最大級のボール捕集器として納入し、据え付けを完了した。その仕様を表3に示す。

表3 大容量ボール捕集器の主な仕様

北陸電力株式会社志賀原子力発電所2号機の主要仕様を示す。

項目		志賀2号機
プラント概要	出力	135.8万 kW
	運転開始	2006年3月予定
復水器	製造者	日立製作所
	台数	3胴6水室
	冷却管	チタン(TTH340W)
	冷却水	海水
ボール捕集器	型式	整流板付き単段曲面格子式
	胴径	4,400 mm
	胴体長	5,500 mm
	台数	2台
	流量	15万9,500 m <sup>3</sup> /h
貝・ボール分離装置	型式	かくはん分離式
	胴径	1,000 mm
	台数	1台
	流量	267 m <sup>3</sup> /h

## 7 おわりに

ここでは、日立グループが開発した復水器連続ボール洗浄装置について述べた。

地球温暖化による環境問題を考えた場合、今後もいっそうの発電効率の向上が求められ、発電効率に大きく影響を及ぼす復水器の性能維持が求められる。

日立グループは、復水器連続ボール洗浄装置を自社製作している唯一の国内企業として、今後もさらに高性能な装置を開発し、多様なニーズに対応していく考えである。

なお、高性能・大容量復水器連続ボール洗浄装置の開発・納入は、各電力会社の関係各位のご指導とご協力によるものであり、ここに深く敬意と感謝の意を表する次第である。

### 参考文献など

- 金子,外: 特許番号 第3302897号, 熱交換器洗浄装置およびその運転方法(登録日: 2002年4月26日)
- 金子,外: 特許番号 第3318224号, 旋回螺旋式異物・洗浄体分離装置(登録日: 2002年6月14日)

### 執筆者紹介



鈴木 智人

1992年日立製作所入社, 電力グループ 日立事業所 火力プラント設計部 所属  
現在, 復水器, 給水加熱器, および復水器連続ボール洗浄装置のエンジニアリングに従事  
E-mail: akihito\_suzuki @ pis. hitachi. co. jp



石 建中

1997年日立製作所入社, 電力グループ 日立事業所 火力プラント設計部 所属  
現在, 復水器, 給水加熱器, および復水器連続ボール洗浄装置のエンジニアリング取りまとめに従事  
工学博士  
E-mail: kenchu\_seki @ pis. hitachi. co. jp



武井 武雄

1990年日立機械エンジニアリング株式会社入社, 株式会社日立エンジニアリングサービス 火力・水力本部 火力プラント部 所属  
現在, 復水器連続ボール洗浄装置と除じん装置のエンジニアリングに従事  
E-mail: takei\_takeo @ mail. hesco. hitachi. co. jp



堀部 羊春

1962年日立製作所入社, 日立エンジニアリングコンサルティング株式会社 所属  
現在, 復水器, 給水加熱器, および復水器連続ボール洗浄装置のエンジニアリングに従事  
E-mail: youshun\_horibe @ pis. hitachi. co. jp