

# 炉底部洗浄点検装置の開発

## Development of Vacuum Cleaning and Visual Inspection Device in BWR

株式会社	東芝	島村	光明	Mitsuaki SHIMAMURA	Non-Member
株式会社	東芝	穂積	久士	Hisashi HOZUMI	Non-Member
株式会社	東芝	菅沼	直孝	Naotaka SUGANUMA	Non-Member
株式会社	東芝	向井	成彦	Naruhiko MUKAI	Member
株式会社	東芝	湯口	康弘	Yasuhiro YUGUCHI	Member

This paper describes development of the remotely operated device for vacuum cleaning and visual inspection in boiling water reactors to enhance the availability of operating nuclear power plants. Fuel damage can occur if loose debris inside the reactor vessel flows through the fuel and it can become a serious issue affecting plant reliability and radiation levels, therefore, removing the small debris on the bottom head is significant activities in nuclear power plants. While it is difficult to remove small debris on the surface of bottom head of reactor pressure vessel because of many control rod guide tube, the cleaning device which has capability to deliver the cleaning nozzle widely on the bottom head is essential. By applying this device to the bottom head of Reactor pressure vessel, the wider inspection coverage and reducing critical pass can be acquired. The configurations, specifications and applicability to the RPV bottom are shown in the paper.

**Keywords:** BWR, Reactor bottom, Fuel damage, Vacuum cleaning, Visual inspection.

## 1. 緒言

原子力プラントを健全に運転するには燃料破損の防止が重要であり、Institute of Nuclear Power Operations

(INPO)は2010年までに燃料破損をゼロにする目標を掲げている。INPOは、燃料破損の原因の一つとして燃料集合体内部へ流入する異物によるフレッチング損傷を挙げている[1]。このような損傷を防ぐために、炉内に混入した異物を吸引洗浄によって取り除くことが検討されており、定期検査時にオペレーションフロアから圧力容器下部へ小型の吸引装置を降ろし吸引洗浄する方法などが提案されている[2]。

しかし、提案されているような装置では、Fig. 1に示すように沸騰水型原子炉の圧力容器下部に存在するスタブチューブ周辺の限られた範囲しか吸引洗浄できない。そこで、吸引ノズルを送り出すと共に、ワイヤ駆動のスイング機構で吸引ノズルをスタブチューブ間へ回り込ませて広範囲を吸引洗浄できる装置を開発した。

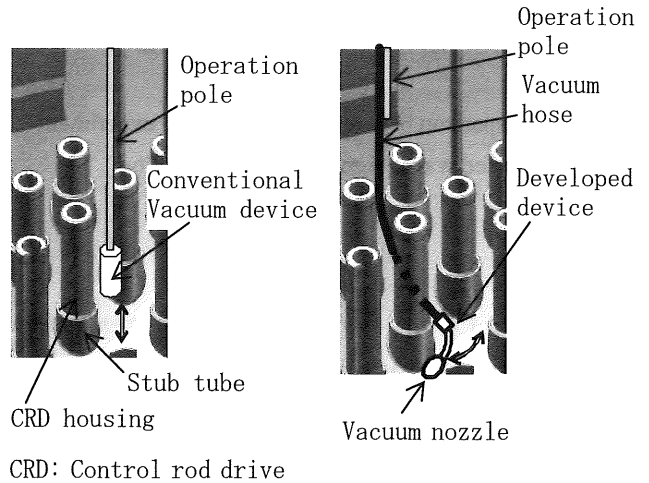


Fig. 1 Concept of the developed Device

## 2. 炉底部洗浄点検装置

### 2.1 装置概念

Fig. 2に装置の全体構成を示す。短時間で広範囲の洗浄と点検を行うために以下の作業が可能な装置とした。

- 1) 炉心最外周の制御棒案内管のみを撤去して装置を設置し、重力により下鏡上の中心まで先端を送り込む。

連絡先: 島村光明、〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町8、  
 (株)東芝 電力・社会システム技術開発センター、電話:  
 045-770-2127、e-mail: mitsuaki.shimamura@toshiba.co.jp

- 2) 装置先端の吸引ノズルを積極的に曲げて、スタブチューブ外周に沿って回り込ませる。
- 3) 先端部の曲げ動作は手動で行い所望の位置への位置決めを行なう。
- 4) カメラを搭載し下鏡上の異物や溶接線を確認する。

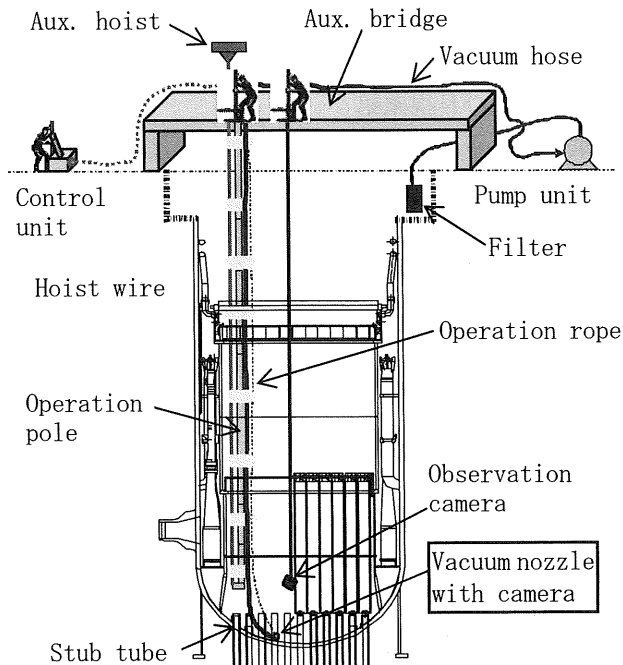


Fig. 2 System configuration

## 2.2 構成

Fig. 3 に装置先端部の外観と構成を示す。装置は、吸引ホースと先端に首振り機構を備えた吸引ノズル、およびライト内蔵の目視点検用カメラからなる。吸引ノズルとノズルベースは吸引ホースのまわりに等間隔で配置された4本のコントロールワイヤで連結されており首振り機構を構成している。ノズルベースには下鏡上の移動と安定性を考慮し車輪を取り付けている。コントロールワイヤは床上のコントロールユニットで手動操作される。レバーを倒すことによってコントロールワイヤの相対的な長さを調整し、吸引ノズルを任意の方向に曲げることができる。ノズルベースには照明を内蔵した目視点検用のカメラが搭載され、吸引ノズルの吸引状態を監視すると共に下鏡上の炉内構造物の目視点検が可能である。搭載したカメラはLED照明付きの38万画素カラーCCDカメラとした。

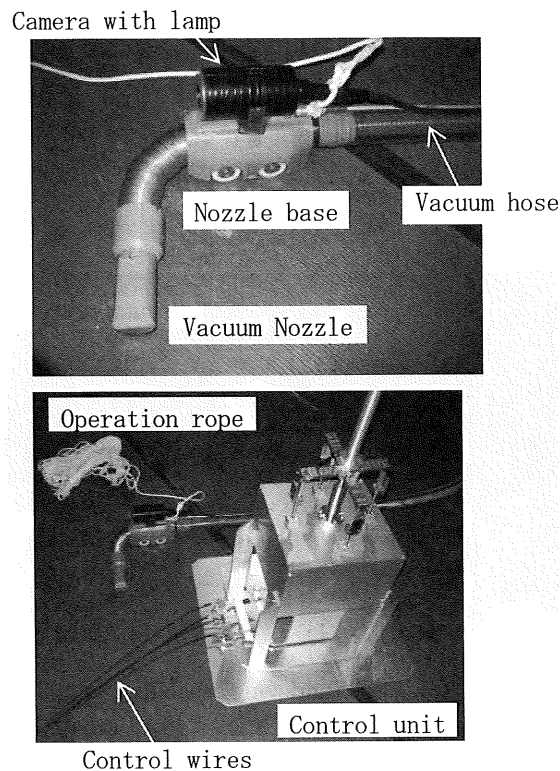


Fig. 3 Cleaning and inspection device

## 2.3 使用方法

Fig. 2 に示したように、装置は作業台車上の補助ホイストによって下鏡上に設置される。吊り下ろす際には操作ポールを順次継ぎ足しながら、吸引ホースを添わせて固縛する。下鏡上の装置の高さは、別途設置した監視カメラの画像を見ながら補助ホイストによって調整する。先端の吸引ノズルからの水流は、吸引ホースで吸引ポンプに導かれ、先端にフィルタを取り付けた吐出ホースにより原子炉内へ戻される。

スタブチューブ間を一箇所から連続して洗浄するには炉心最外周に装置を設置して炉底部中央へ向かって洗浄するのが合理的である。異物が堆積しやすいと考えられる下鏡の傾斜30度以内の中央領域に対しては、炉心最外周の制御棒案内管を12本撤去すれば良い。本装置による想定洗浄範囲は約70%であった。さらに設置位置を増やすことで洗浄範囲を広げることができる。

## 3. 機能試験

### 3.1 吸引機能

小径ワイヤ（径約0.5mm、長さ約6mm）を水平面上に

散布して試作ノズルの吸引機能を確認した。試作ノズルの周囲の約 10mm が吸引回収可能であった。Fig. 4 に下鏡上周辺部の傾斜を模擬した試験体での吸引状況を示す。試作ノズルが傾斜面上に設置された場合でも同サイズの小径ワイヤを吸引可能であることを確認した。

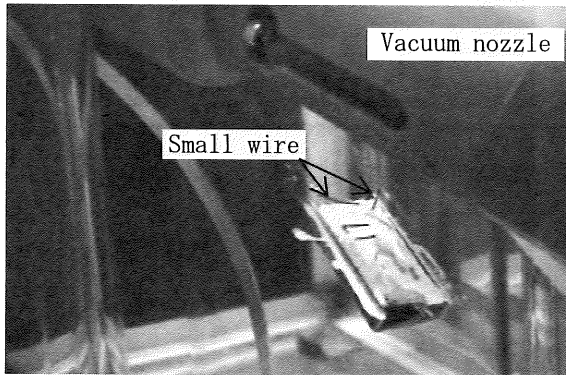


Fig. 4 Retrieving capability

### 3.2 取扱い性

下鏡上での取扱い性を確認するために、上部格子板や炉心支持板を模擬したモックアップ設備において実機同等の水深に下鏡上の模擬体を設置して機能確認を行った。Fig. 5 に示す中央部と周辺部の模擬体を用いた。

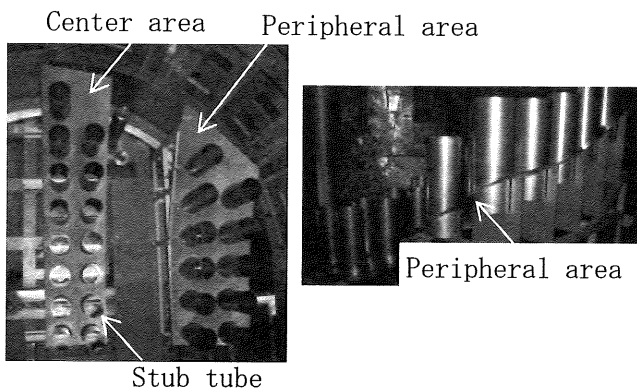


Fig. 5 Partial mock up of bottom area

取扱い性は以下の手順により確認した。

#### 1) 設置

補助ホイストにより作業台車から装置を吊り下ろした。操作ポールに吸引ホースを添わせて固縛しながら吊り下ろし、先端が上部格子板や炉心支持板を通過する時には搭載のカメラや別途吊り下ろした監視カメラ

ラによって位置を確認しながら通過させた。

#### 2) 送り込み

周辺部のスタブチューブ位置から、炉底部の中央まで吸引ノズルとカメラを送り込んだ。吸引ホースを固縛した操作ポールによって装置全体の上下位置の調整と全体のねじり操作を行った。またノズルベースに取り付けた操作ロープで先端部のみを上下させて送り込んだ。

#### 3) 洗浄および目視確認

補助ホイストにより装置全体を引き上げ、吸引ノズルおよびカメラを炉底部中央から周辺まで引き上げた。その都度、コントロールユニットのレバーを操作して吸引ノズルの首振り動作を行いスタブチューブ側面に沿わせて回り込ませた。必要に応じ装置全体を戻して先端のノズルを送り込んだ。

#### 4) 回収

作業台車上の補助ホイストによって装置全体を引き上げて回収した。

Fig. 6 に中央部の下鏡模擬体へのノズル送り込みの様子を示す。炉底部の中央まで吸引ノズルの送り込みが可能であり、スタブチューブの側面に吸引ノズルを回り込ませることが可能であった。

Fig. 7 に周辺部の下鏡模擬体へのノズル送り込みの様子を示す。吸引ノズルの進行方向に対し下鏡上は大きく傾斜しており、先端が常に右側へ偏るが炉底部の中央まで吸引ノズルの送り込みが可能であった。さらに、先端の首振り動作によってスタブチューブの側面に吸引ノズルを回り込ませることが可能であった。

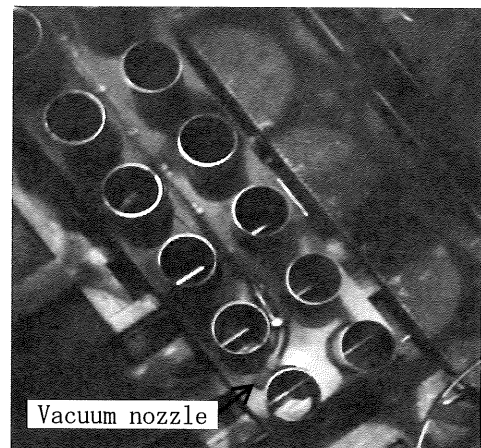


Fig. 6 Nozzle accessibility (center area)

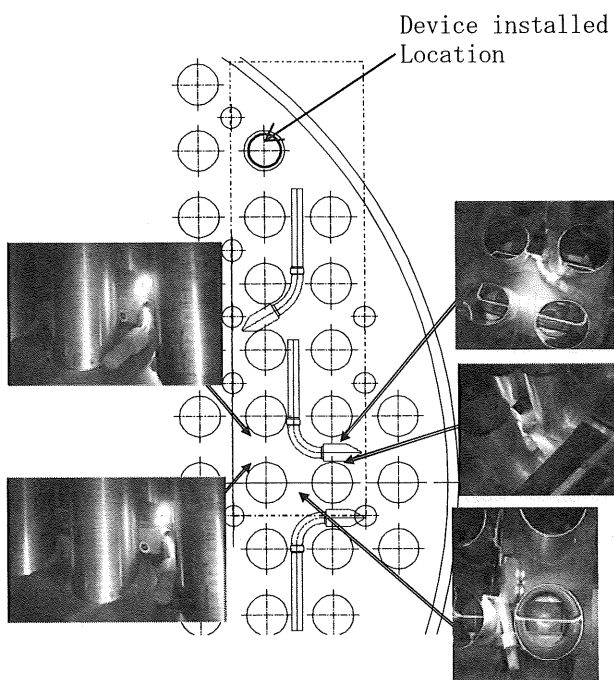


Fig. 7 Nozzle accessibility (peripheral area)

Fig. 8 に搭載した CCD カメラによる下鏡上の画像を示す。下鏡模擬体上の周辺部でもスタブチューブの模擬溶接線が明確に確認できた。

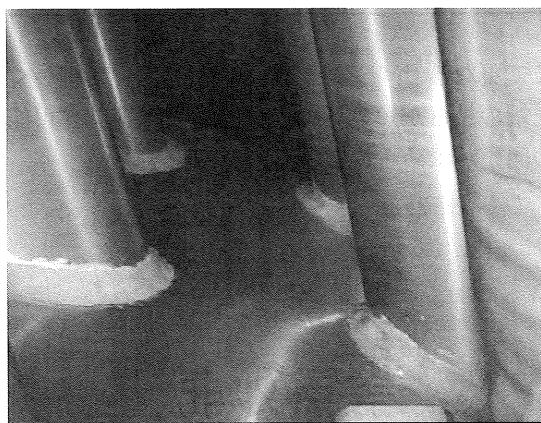


Fig. 8 View of RPV bottom by the mounted camera

以上の結果から 2.1 で述べた 1)から 4)の作業を実現できることを確認した。

#### 4. 結言

本稿では、圧力容器下部の吸引洗浄作業を効率的に行なう装置について紹介した。本装置は、電動モータ等を用いずに 4 本のコントロールワイヤを手動で調整して先端の吸引ノズルのみを任意方向に動かすことができる。試作機による機能試験の結果、下鏡上で吸引ノズルを送り出すと共に、スタブチューブ間に回り込ませて広範囲の吸引洗浄が行えることを確認した。

#### 参考文献

- [1] <http://www.neimagazine.com/story.asp?sc=2050914>, "Fuel failure phaseout", Nuclear Engineering International, September 01, 2008.
- [2] Troy A. Wilfong et al., "Development of a Lightweight Underwater Vacuum System for Foreign Object Search and Retrieval", Proceedings of 9th ANS Topical Meeting on Robotics and Remote Systems, Seattle, WA, Mar. 2001.