

炉内配置および燃料外観検査用ハイビジョン水中カメラの開発

Development of underwater High-Definition camera for the confirmation test of core configuration and visual examination of BWR fuel

中部電力株式会社	渡邊 将人	Masato WATANABE	Member
中部電力株式会社	辻 建二	Kenji TUJI	Member
中部電力株式会社	伊藤 圭介	Keisuke ITO	Member

The purpose of this study is to develop underwater High-Definition camera for the confirmation test of core configuration and visual examination of BWR fuels in order to reduce the time of these tests and total cost regarding to purchase and maintenance. The prototype model of the camera was developed and examined in real use condition in spent fuel pool at HAMAOKA-2 and 4. The examination showed that the ability of prototype model was either equaling or surpassing to conventional product expect for resistance to radiation. The camera supposes to be used in the dose rate condition of under about 10 Gy/h.

Keywords: VT, Digital High-Definition camera, Non-resistance to radiation, Feasibility

1. 背景・目的

沸騰水型原子炉（BWR）の定期検査等に、燃料集合体の外観などを水中カメラで観察する項目がある。これらの検査は、（1）燃料集合体炉内配置検査および燃料プール棚卸（以下、炉内配置検査等と言う。）、（2）燃料集合体外観検査（以下、燃料外観検査と言う。）と呼ばれている。本研究の目的は、これらの検査に、現行の標準画素である水中カメラに代えて、民生用ハイビジョンカメラを適用することで、検査時間の短縮、検査品質の向上、カメラの取得・保守費用を削減することである。

（1）炉内配置検査等は、原子炉（Fig. 1）または燃料プール（Fig. 2）において正しい位置に燃料が保管されているかを確認するために、水中カメラで燃料ハンドル部（Fig. 3）に刻印された最大6文字の番号（例：HAX123）を読むものである。現行は、耐放射線カメラ（撮像管または撮像板）を使用しており、画素数が少なくかつコントラストが低いので、テレビ画面に1体毎に拡大表示して検査している。ハイビジョンカメラを導入することで、画面に2体以上同時に表示して燃料番号の読み取り速度の倍速化を図るものである。なお、検査物量としてはABWRの例で、定検毎に、炉内配置検査の場合、原子炉に装荷する872体全数、燃料プール棚卸の場合、燃料プールに貯蔵する最大約3,000体が番号確認の対象となる。

一方、（2）燃料外観検査は、使用中の燃料のうち最高燃焼度の燃料を燃料プール脇の水中の検査台（Fig. 2）に載せて、チャンネルボックス（Fig. 3）を外した後、燃料棒などに有意な変形・損傷などが無い

ことを水中カメラで確認するものである。現行は、燃料外観用の専用 CCD カメラ（ただし、耐放射線ではない。）または前述の耐放射線カメラを使用するが、両者とも取得費用と保守費用が高価であり、トータルコストの低減が望まれている。検査物量としては定検毎に数体程度である。

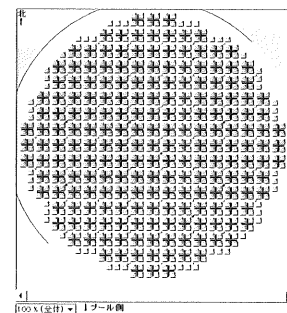


Fig. 1 Configuration of BWR core (ABWR)

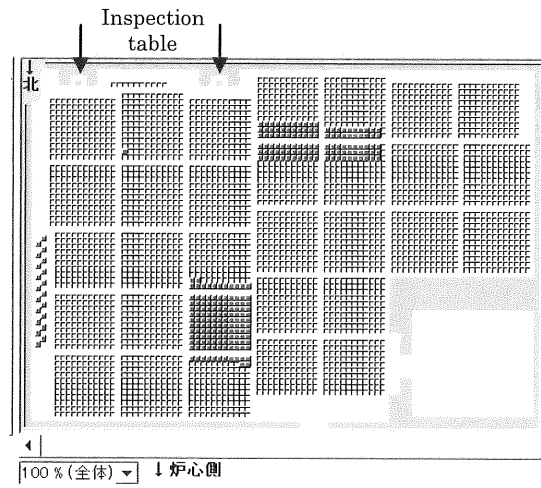


Fig. 2 Configuration of spent fuel pool (ABWR)

連絡先: 渡邊 将人
中部電力(株) 電力技術研究所 原子力チーム
〒459-8522 名古屋市長区大高町字北関山 20-1
E-mail: Watanabe.Masato@chuden.co.jp

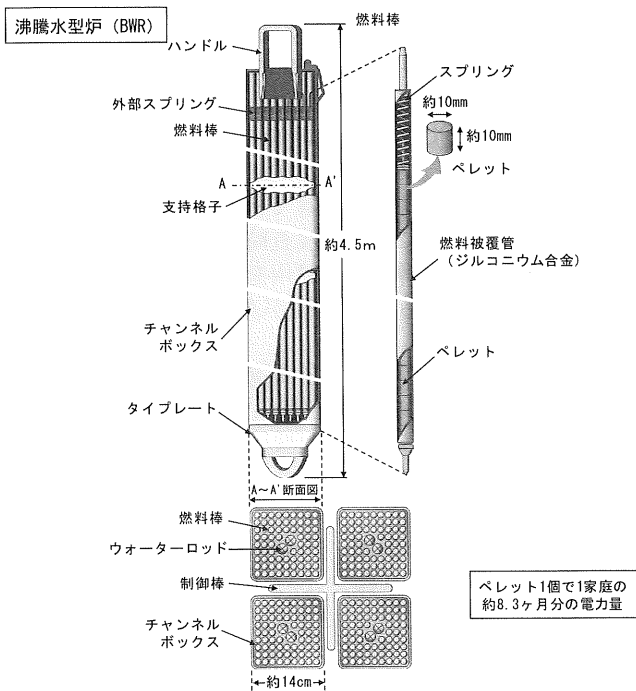


Fig. 3 Geometry of BWR fuel

2. ハイビジョン水中カメラの開発

ハイビジョン水中カメラの開発方針は、全ての部品を汎用品で構成して、安価でかつ信頼性の高いものを構築することとした。なお、本カメラは線量率で10Gy/h以下の環境下で使用することを前提としており、耐放射線カメラの代用品となることを想定していない。開発された試作品を Fig. 4 に示す。

(1)カメラ

- ・カメラ：民生用ハイビジョンカメラ
- ・耐圧容器：汎用ステンレス管を加工
- ・照明：水中ハロゲン灯2から4灯
- ・フレーム：各種試験用に大型化のものを採用
(製品版は軽量化の予定)

(2)モニター：フルスペックハイビジョン液晶テレビ

(3)操作盤：燃料プール脇からの遠隔操作（ズーム、フォーカス、アイリス、色温度調整）が可能

(4)録画機：民生用ブルーレイ録画機

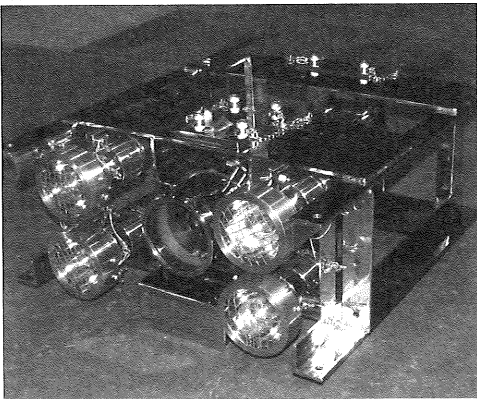


Fig. 4 Prototype model of underwater High Definition camera

そのほか、開発にあたっての特記事項を示す。

- ・カメラの選定については、民生用ハイビジョンカメラの中から事前に耐放射線試験を行い、放射線ノイズが少なく、耐放射線が比較的強いものを選定した。なお、寿命としては積算線量で200Gy程度である。
- ・画面における放射線ノイズ量と線量率の関係を事前に計測して、カメラの積算線量を推定可能であることを示した。
- ・映像信号の伝送については、アナログ系とデジタル系の2回線として信頼性を高めた。
- ・耐圧容器については、小型化できるように容器内のレイアウトを工夫した。
- ・鉛遮蔽の配置や照明方法を最適化した。

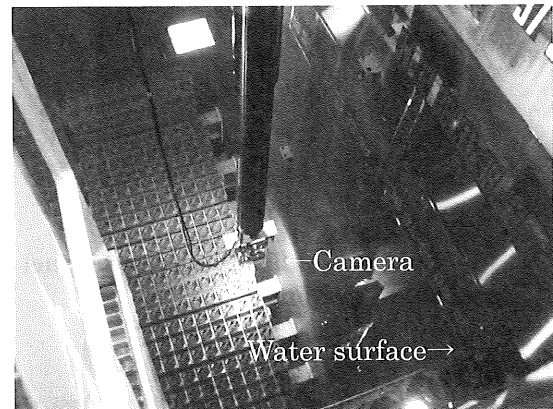


Fig. 5 Picture of confirmation test for fuel pool configuration (reading the fuel bundle ID)

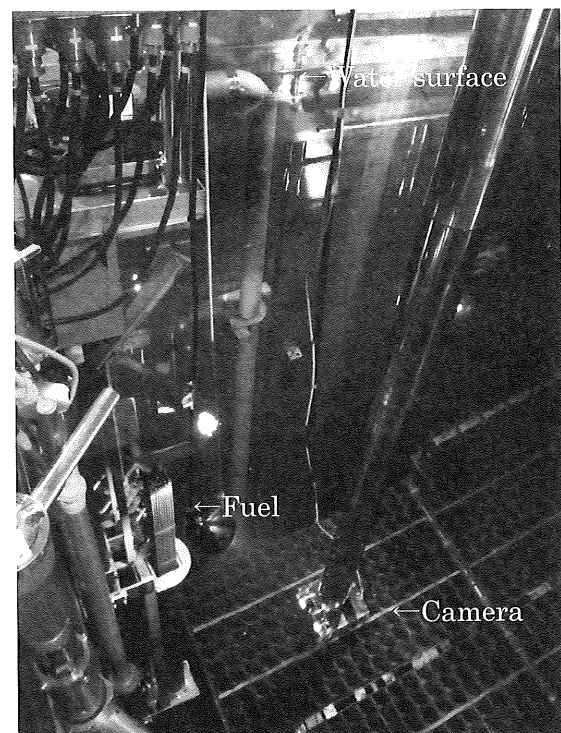


Fig. 6 Picture of visual examination for BWR fuel

3. 発電所でのホット試験結果

(1) 炉内配置検査等

浜岡2号機にて、Fig. 5に示すような炉内配置検査等を模擬するようなホット試験を行った。原子炉ではなく燃料プールに保管されている燃料のハンドル部の刻印を確認した。このときは、16:9型の液晶テレビをFig. 7に示すように縦にして、検査速度の倍速化について検証した。

その結果、Fig. 9に示すように、使用済燃料のハンドルの刻印などクラッドが付着して低コントラストとなり、非常に読みにくくなっているにもかかわらず、ハイビジョンで撮影する限りには、2体同時に確認できることが分かった。

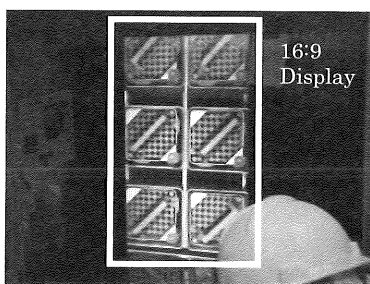


Fig. 7 TV display of confirmation test for fuel pool configuration

(2) 燃料外観検査

浜岡4号機にて、Fig. 6に示すような燃料外観検査を模擬するようなホット試験を行った。この試験では、検査対象の燃料は前回定検で取り出された最高燃焼度の燃料を選定した。その時の様子をFig. 8に示す。本試験の目的は、開発した試作品の水中カメラが現行のカメラと同等の性能を有することを確認することである。

その結果、Fig. 10に示すように、所要の性能を満足していることを確認できた。なお、本カメラは検査対象燃料から2~3メートル離れたところから撮影することを想定している。(線量率で数 Gy/h 程度)

余談ではあるが、従来からこの検査を助勢している作業員の方からは、あまりの綺麗な画像に対して驚嘆の声が上がった。

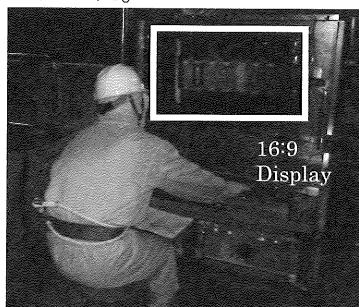


Fig. 8 TV display of visual examination for BWR fuel

4. 結言

沸騰水型原子炉(BWR)の定期検査で行われる炉内配置検査等と燃料外観検査に使用する水中ハイビジョンカメラを新たに開発した。開発した試作品は、原子力発電所にてホット試験を行うことにより、その有効性を確認することができた。

本開発は、現行の標準画素であるカメラを民生用ハイビジョンカメラにして、検査時間の短縮や信頼性の向上とカメラの取得・保守費用を削減することを目的としており、これらの実現性が高まったと言える。

今後の目標として、改良型沸騰水型原子炉(ABWR)の炉内配置検査時における有効性を検証したいと考えている。

謝辞

本研究は、当社浜岡原子力発電所の原子燃料課のご協力により、浜岡2号機および4号機の燃料プールにてホット試験することができました。本紙面をお借りして、お礼申し上げます。

また、水中カメラの試作品の製作には㈱アトックス殿のご協力を頂きました。開発完了の際には、ハイビジョン水中カメラの販売元となる予定です。

参考文献

- [1] 渡邊 将人 他, "燃料体番号確認用ハイビジョン水中カメラの開発", 平成20年度火力原子力発電大会.
- [2] 辻 建二 他, "市販カメラを利用した原子力発電所の燃料集合体番号確認用水中カメラの開発", 電気評論 平成21年1月号.

(次頁に続く)

○炉内配置検査等

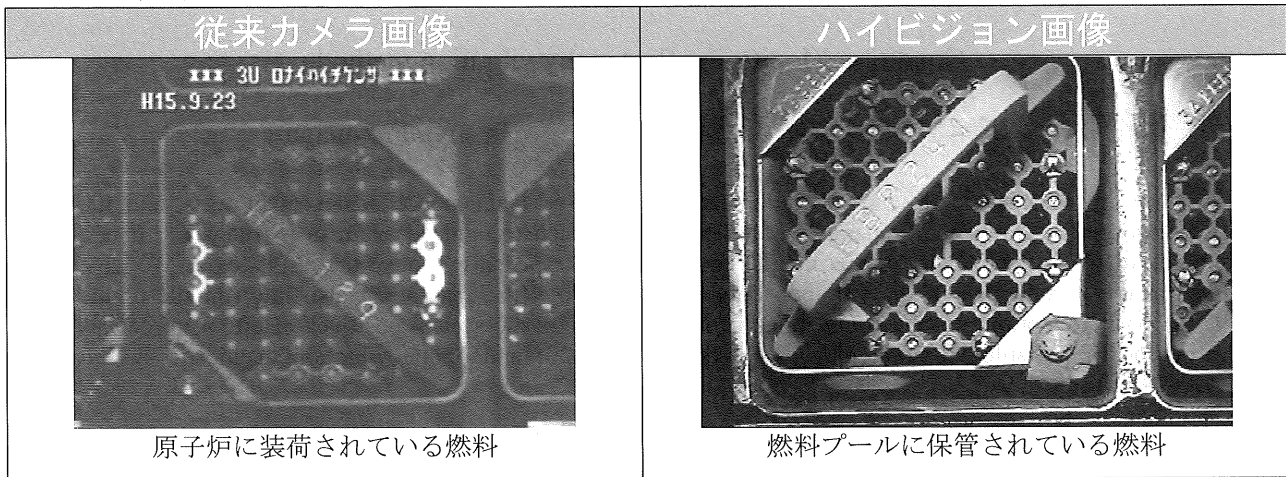


Fig. 9 Picture of confirmation test for fuel pool configuration

○燃料外観検査

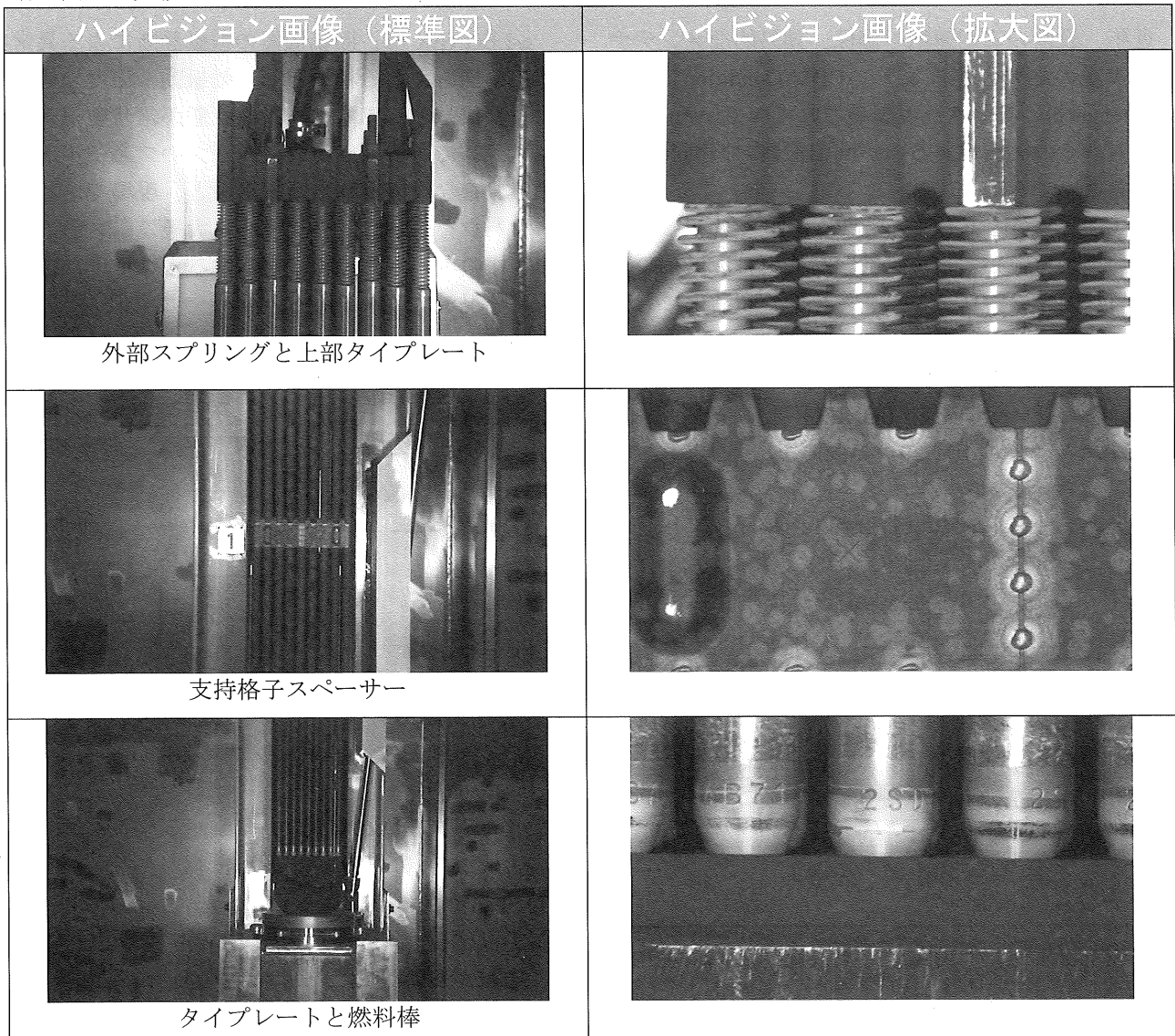


Fig. 10 Picture of visual examination for BWR fuel