

国内初の PWR 廃止措置系統除染工事について

The nation's first FSD for PWR decommissioning

三菱重工業(株)	沖村 浩司	Koji OKIMURA	Non-member
三菱重工業(株)	上田 剛史	Takeshi UEDA	Non-member
三菱重工業(株)	新田 義一	Yoshikazu NITTA	Non-member
三菱重工業(株)	鬼塚 博徳	Hironori ONITSUKA	Non-member
三菱重工業(株)	上野 怜子	Reiko UENO	Non-member
原子力サービスエン 지니어リング(株)	宮井 勲	Isao MIYAI	Non-member
原子力サービスエン 지니어リング(株)	藤田 隆之	Takayuki FUJITA	Non-member
原子力サービスエン 지니어リング(株)	野村 厚夫	Atsuo NOMURA	Non-member

Abstract

Mihama Unit 1 & 2 are the first decommissioned nuclear power plants in the Japanese PWR (Pressurized Water Reactor). FSD (Full System Decontamination) in PWR has never been conducted in Japan before. FSD in Mihama Unit 1 & 2 is the first one in the Japanese PWR. On the other hand, heat transfer tubes of steam generator are made of nickel alloy 690. Chemical decontamination for nickel alloy 690 has never been conducted in the world. As the result, the target which DF (decontamination factor) is over 30 is achieved in FSD of Mihama Unit 1 & 2. DF in the heat transfer tubes of steam generator made of nickel alloy 690 is well over 30.

Keywords: FSD, Decommissioning, PWR, Mihama Unit 1 & 2, Nickel alloy 690, DF

1. 諸言

関西電力(株)は、美浜発電所1、2号機は2015年3月に廃止を決定し、国内初のPWR廃止措置プラントとなった。その廃止措置は、解体準備、原子炉周辺設備解体撤去、原子炉領域解体撤去、建屋等解体撤去の4段階に区分して段階的に進める計画で、最初の解体準備の一環で、三菱重工業は美浜発電所1、2号機の系統除染工事を受注し、1号機は2017年8月、2号機は11月下旬~12月下旬に工事を実施した。PWRプラントの系統除染工事はこれまで国内では実施されておらず、今回が国内初のPWR廃止措置系統除染工事となった。

系統除染工事は、系統中に循環させた薬品による化学的作用を利用して、機器内表面に付着した放射性物質を除去する工事であり、将来の機器解体時の作業環境改善(作業員の被ばく低減)、放射性廃棄物の放射能レベルの低減を期待して解体準備の段階で実施した。ここでは、その工事の概要を報告する。

2. 系統除染工事の計画

2.1 系統除染範囲

放射性物質は、原子炉運転期間中に原子炉を通過した1次冷却材に接液する機器内表面に多く残存していると考えられるため、PWRプラントで運転期間中に1次冷却材が主に循環する原子炉冷却系統、化学体積制御系統、余熱除去系統を系統除染工事の対象範囲とした(Fig.1)。

また、美浜発電所1、2号機における系統除染範囲の容積及び表面積をTable1に示す。Table1に示すように系統除染範囲の表面積のうち、約80%をニッケル基合金が占めており、このニッケル基合金の殆どは蒸気発生器伝熱

連絡先:上野 怜子
〒652-8585 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号
三菱重工業(株)
E-mail: reiko_ueno@mhi.co.jp

管である。そのため、系統除染工事において、蒸気発生器伝熱管の除染効果を得ることが必須となる。しかし、ニッケル基合金はクロムやニッケルを多く含有しており、他の金属材料（ステンレス鋼等）と比較して、除染効果を得難い材料である上、美浜発電所1、2号機の蒸気発生器伝熱管に使用されている690系ニッケル基合金は国内外での化学除染実績がない材料であり、今回の系統除染工事では、690系ニッケル基合金に対する国内外初の化学除染でもあった。

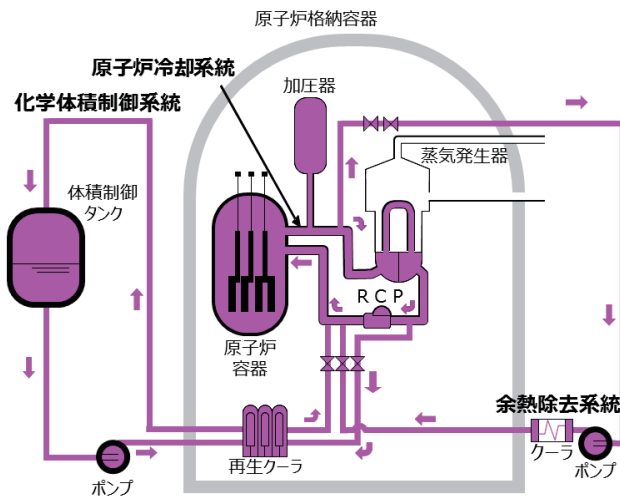


Fig.1 Coverage of FSD (Full System Decontamination)

Table1 Volume and Area for FSD in Mihama Unit 1&2

プラント	容積 [m ³]	表面積 [m ²]	
		ステンレス鋼	Ni基合金
美浜1号機	約180	約1470	約6250
美浜2号機	約220	約1930	約8080

2.2 系統除染工法

系統除染範囲の面積の約80%を占める蒸気発生器伝熱管の除染効果が期待できること、除染による二次廃棄物量が少ないこと、除染で使用する薬品等が発電所内の設備で処理できること等を考慮して、美浜発電所1、2号機の系統除染工事では、海外でのPWRプラントに対する系統除染工事において豊富な実績を持つAREVA（現：Framatome）のCORD法（Chemical Oxidation Reduction Decontamination）を採用した。

CORD法では、①酸化工程、②除染工程、③分解工程、④浄化工程を1サイクルとし、複数サイクル繰り返すことで、目標とする除染効果を得る。1サイクルの施工期間

は約1週間前後である。各工程の内容については以下に示す。

①酸化工程

主にクロム酸化物を溶解する工程である。酸化剤として使用する薬品は、過マンガン酸または過マンガン酸カリウム+水酸化ナトリウムであり、施工温度は約95℃または125℃である。

②除染工程

鉄の酸化物を溶解し、かつ酸化工程で使用した酸化剤を還元して生成されるマンガンイオンを除去する工程である。使用する薬品はシュウ酸であり、施工温度は約95℃である。

③分解工程

廃棄物量を低減するために除染工程で使用したシュウ酸を分解する工程である。使用する薬品は過酸化水素水（+紫外線）であり、施工温度は約60℃である。

④浄化工程

除染工程や分解工程で生成された金属イオン等を除去する工程である。イオン交換樹脂に吸着させて除去する。

2.3 系統除染設備

系統除染工事ではプラント設備を有効活用しており、除染液の循環や温度維持、圧力調整等をプラント設備にて実施し、薬品の注入等を仮設備にて実施する（Fig.2）。

プラント設備では、1次冷却材ポンプは温度維持のための熱源及び除染液の循環、充てんポンプ周辺設備は1次冷却材ポンプへの封水注入及び除染液の循環、余熱除去系統設備は温度維持のための冷却及び除染液の循環、アキュムレータは圧力制御として使用するが、国内PWRプラントにおける系統除染は初めてとなるため、各除染工程における各設備の運転要領や系統操作要領については、プラントメーカーとしての知見を踏まえて詳細に検討を行い、国内PWRプラントへの最適化を図った。

仮設備では、主要な設備として、減圧装置、フィルタ、タンク、ポンプ等の複数の装置から構成されているAREVAのAMDA（Automated Modular/Mobile Decontamination Appliance）を使用する（Fig.3）。AMDAでは、薬品の注入、除染液の分解・浄化、除染液サンプルの採取を実施する。

Fig.3に示すように、プラント設備とAMDAは余熱除去系統の弁を利用して接続し、AMDAの減圧装置と高圧

ポンプによって、出入口の圧力を調整している。

AMDA を構成する設備は基本的に原子炉格納容器内のオペレーションフロアに設置し、イオン交換樹脂塔は除染作業中に高線量となる設備であるため、被ばく影響を考慮して原子炉格納容器内の底部へ設置した。また、各設備は非常に多くの仮設ホースで接続されているが、

放射能を含む除染液の漏えいを防止するために、ホースの接続時は確実な施工管理を行うと共に、万一の場合に備えて漏えい拡大防止の堰を設置するなどのバックアップ対策も実施し、接続部からの漏えいを発生させることなく、全工程を終了することができた。

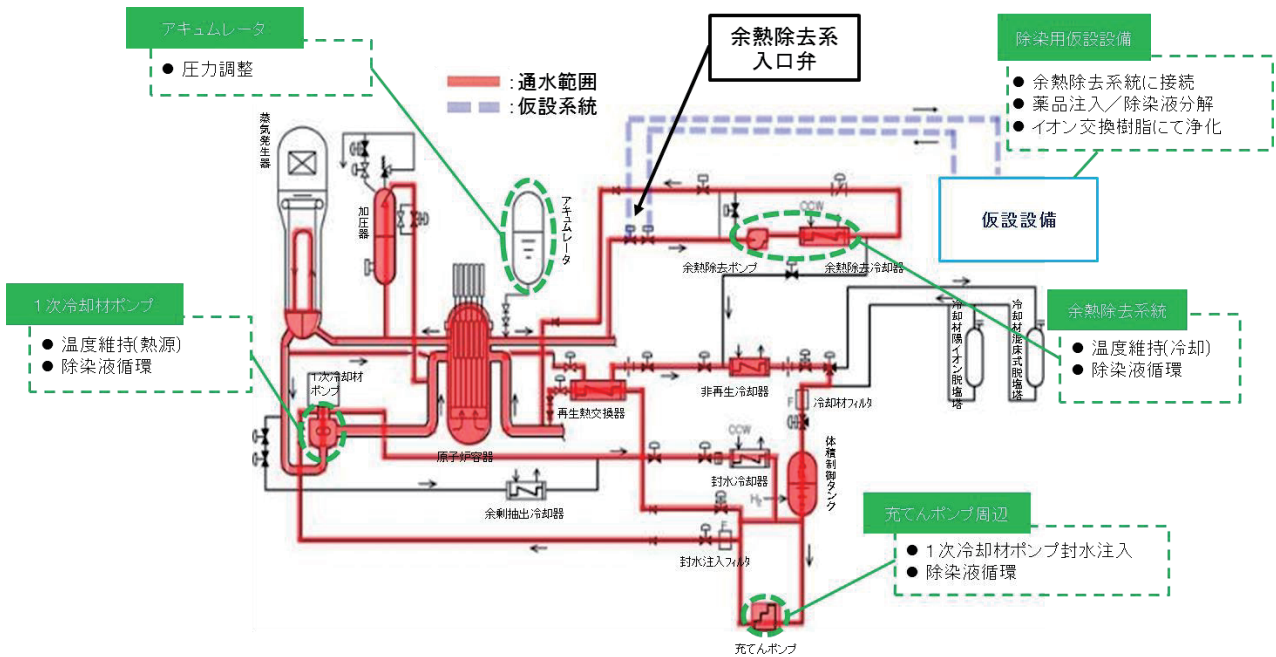


Fig.2 Schematic illustration of systems for FSD in Mihama Unit 1&2

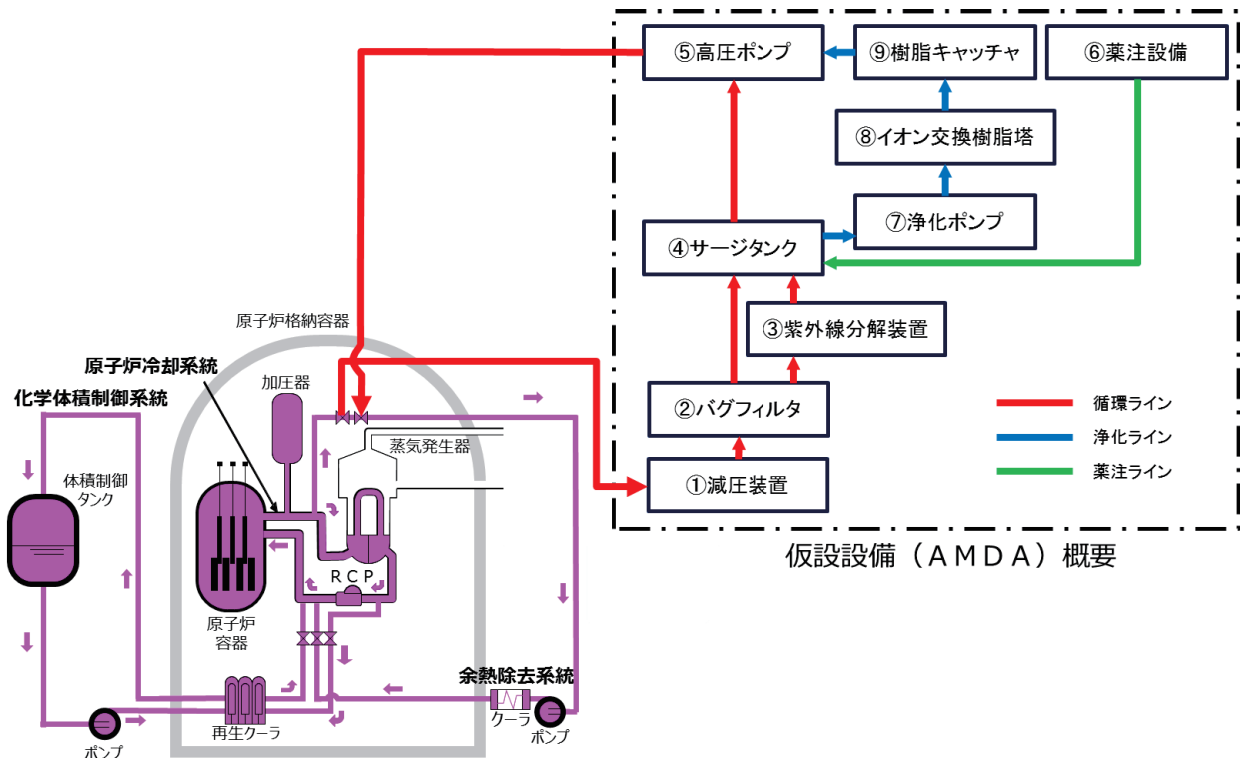


Fig.3 Schematic illustration of auxiliary systems (AMDA)

3. 系統除染工事の結果

今回の系統除染工事で得られた除染効果を Table 2 に示す。当初の目標であった除染係数 30 以上（除去率 97%以上）を達成しており、系統除染前の線量当量率が比較的低い一次冷却材系統配管他については 0.05mSv/h 以下も達成した。また、今回、国内外で初の化学除染となる 690 系ニッケル基合金製の蒸気発生器伝熱管についても、目標以上の除染係数を達成し、線量当量率も系統除染前後で二桁程度低減することができた。

これにより、将来のプラント解体時の作業員の被ばくを大幅に低減できると共に、解体時に発生する放射性ダストを減少させることによって、作業員の内部被ばくのリスク低減にも十分寄与できたと評価できる。

4. 結言

今回の美浜発電所 1、2 号機における系統除染工事での主要な成果を以下に示す。

- (1) 当初の目標であった除染係数 30 以上（除去率 97%以上）を達成した。
- (2) 690 系ニッケル基合金製の蒸気発生器伝熱管についても、目標以上の除染係数を達成し、線量当量率も系統除染前後で二桁程度低減することができた。
- (3) 解体準備の一環として系統除染工事を実施したことにより、今後の廃止措置作業における作業環境の大幅な改善（作業員の被ばく低減、解体設備内部の粉じん吸い込みによる内部被ばくリスクの低減）、

放射性廃棄物の放射性レベルの低減が期待できる。

謝辞

美浜発電所 1、2 号機の系統除染工事実施にあたり、関西電力（株）原子力事業本部廃止措置技術センター殿、美浜発電所機械工事グループ殿をはじめとする関西電力（株）殿の関係者各位の多大なご指導を頂き、また、今回の系統除染工事の共同企業体を構成した AREVA 殿及び丸紅ユティリティ・サービス（株）殿の関係者各位に多大なご協力を頂きましたこと、厚く御礼申し上げます。

Table2 Decontamination factor & dose equivalent rate in Mihama Unit 1&2

部位	美浜1号機			美浜2号機		
	除染係数 ^{※1} 平均値	(参考) 代表部位の線量率 [mSv/h]		除染係数 ^{※1} 平均値	(参考) 代表部位の線量率 [mSv/h]	
		除染前	除染後		除染前	除染後
蒸気発生器 伝熱管	89	36	0.43	174	20	0.36
蒸気発生器 胴部 ^{※2}	140	0.21	0.001	67	0.11	<0.001
一次冷却材 系統配管他	32	1.7	0.025	30	0.7	0.015

※1: 除染係数 = (除染前の機器の表面線量率)/(除染後の機器の表面線量率)

※2: 蒸気発生器胴部自体は除染していないが、蒸気発生器伝熱管の除染により胴部の線量率も低下。