

# 浜岡原子力発電所 5号機における制御棒駆動水系配管 溶接継手の漏えい事象に関する原因調査について

Investigation on leakage point of welding part of control rod drive system piping of Hamaoka NPS unit5.

中部電力(株)	服部 宗仁	Munehito HATTORI	Non-Member
中部電力(株)	今井 富康	Tomiyasu IMAI	Non-Member
中部電力(株)	黒野 晃平	Kouhei KURONO	Non-Member
中部電力(株)	江上 次孝	Tsugitaka EGAMI	Non-Member
中部電力(株)	丹羽 勇太	Yuuta NIWA	Non-Member

## Abstract

In this research, research into the causes of the event of piping micro leakage of Hamaoka Nuclear power plant Unit 5 was carried out. Due to main condenser tube damage in May, 2011, seawater flowed into the reactor and other facilities of Unit 5. After that, piping purification was carried out and kept filled with water. Crevice corrosion was confirmed at the leakage piping and it was estimated to happen at purification process. The leakage piping would not be cleaned sufficiently in the purification process. Three factors were found to be related to corrosion of stainless steel. Chloride ion by seawater, piping weld and influence of internal deposits. Lateral spread inspection is also carried out for places having similar conditions.

**Keywords:** SUS weld metal cladding, corrosion, sea water intrusion, condenser pipe break

## 1. 序論

2017年2月中部電力浜岡原子力発電所5号機(以下、5号機)(定格電気出力138万kW)のタービン建屋において、空調用ダクト上面2箇所が変色している事およびダクト直上の制御棒駆動水系配管溶接継手下部がそれぞれ変色し、水滴が付着していることを確認した。当該配管を調査した結果、溶接継手(以下、継手)からの漏えいである事を確認した。

5号機においては、経済産業大臣からの運転停止要請「浜岡原子力発電所の津波に対する防護対策の確実な実施とそれまでの間の運転の停止について」を受け、2011年5月14日に発電を停止し、原子炉減圧操作中に発生した復水器細管の損傷により原子炉施設内に海水が混入する事象が発生している。

漏えいを確認した配管も海水混入時の経路であり(海水混入時：温度約40℃、塩化物イオン濃度

(以下Cl<sup>-</sup>濃度)5340ppm)海水混入を踏まえてすきま腐食の発生・進展を防止するために定めた水質浄化の目標値であるCl<sup>-</sup>濃度10ppm以下を満足するように、配管内の水を脱塩水に置換して満水状態で保管していた。

本稿では、海水混入による影響も考慮した原因調査について報告する。

## 2. 漏えい箇所状況および保管状況

### 2.1 漏えい箇所

漏えいを確認した配管周辺の系統概要を、以下にFig.1として示す。

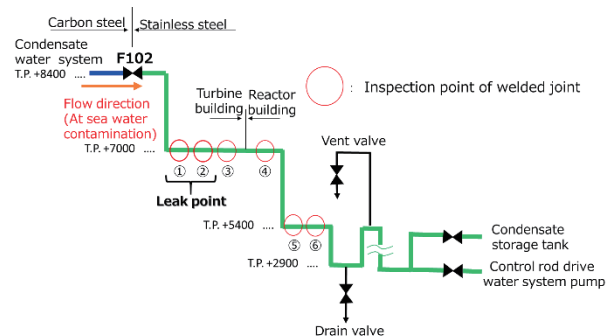


Fig.1 System outline

連絡先：服部 宗仁、〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉5561、中部電力株式会社浜岡原子力発電所 保守部原子炉課

E-mail: Hattori.Munehito@chuden.co.jp



継手①、継手②については、継手下部の漏えい箇所から海水由来成分（Cl<sup>-</sup>、カルシウムイオン等）を確認した。また、配管の内面状況の確認を実施したところ、腐食が確認された箇所にはクラッド堆積（鉄成分由来の堆積物）を含む溜まり水が確認された。この時、クラッドの堆積量は上流側から減少していく傾向が確認された。箇所別のクラッド量は以下の通りであった。

継手① > 継手①と②間の配管 > 継手② > 継手③となっていた。また、継手③についてはクラッドの堆積が確認されなかった。

### 3.2 漏えい継手の詳細観察結果

継手①を切断し腐食箇所の断面観察を実施した。以下に断面観察により確認された漏えい経路概要を Fig.4 として示す。また、漏えい継手の SEM (Scanning Electron Microscope) 結果を Fig.5 として以下に示す。

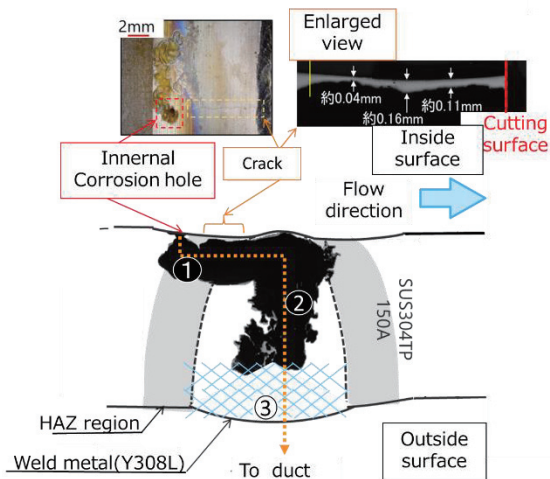


Fig.4 Welded joint No.①  
(Outline of leakage route)

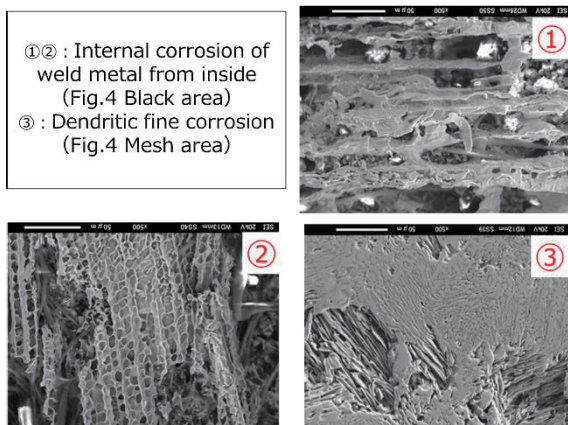


Fig.5 SEM result

漏えい継手の詳細観察より以下の事を確認した。

#### (ア) 配管内表面

継手上にクラッドの堆積を確認した。また、溶接熱影響部（以下、HAZ 部）と考えられる箇所に腐食孔を確認した。また、腐食進展に伴う配管内表面と腐食間の肉薄化による配管内表面の外力起因のひびも確認した。

#### (イ) 配管材内部

内表面 HAZ 部の腐食孔を起点とし、腐食孔直下から溶接金属に向け壺状の腐食が進展した後に、溶接金属部から外表面側へ進展している事を確認した。また、外表面近傍では微細な樹枝状の腐食と腐食孔を確認した。

#### (ウ) 配管外表面

研磨材を用いた外表面研磨後、SEM 観察により、溶接金属部に樹枝状の腐食と腐食孔を確認した。

腐食の特徴は継手②においても同様であり、配管内表面、配管材内部、配管外表面および直下ダクト表面の変色部にて、海水由来成分を確認した。

### 3.3 腐食時期の推定

腐食が発生・進展した時期について Table 1 より考察する。

#### (1) A 期間

過去の文献において Cl<sup>-</sup>濃度 19,000 ppm（人工海水）、温度 50 °C における SUS304 の腐食発生までの期間は、0.66 年（約 7.8 ヶ月）であることが確認されている。<sup>[1]</sup>

そのため漏えい発生配管においては、海水混入後の約 2 ヶ月については、文献の試験環境と比較して低い Cl<sup>-</sup>濃度 5,340 ppm であり且つ、常温であったことから、本期間において腐食の発生には至らないと推察した。

#### (2) B 期間

海水混入に伴う漏えい配管以外の配管点検において、当該箇所と同等の環境において有意な腐食がないことを確認しているため、当該配管についても腐食が発生・進展する可能性は低い。また、空気抜き用のベント位置が他工程により適切な場所を選択することが難しく、十分な浄化がされていない事が推測されるが、A 期間と同等の条件であり、Cl<sup>-</sup>濃度の急激な上昇が起こる可能性が低いと推察した。



### (3) C 期間

配管内の水抜きの実施により、溜まり水およびクラッドが残っていることを確認した。B 期間において浄化されなかった  $\text{Cl}^-$  がクラッドを有する溜まり水にて濃化したとすると、クラッド下においてすきま腐食が発生・進展し、貫通に至る可能性が高い。

### (4) D 期間

満水保管中では、復水器等の大量のクラッドが堆積していた箇所を除き、クラッドはすきま構造を形成しないこと、および浄化目標である  $\text{Cl}^-$  濃度 10 ppm 以下を満足していることから、腐食の発生・進展はないと推察した。

以上より、C 期間中の溜まり水環境下にて  $\text{Cl}^-$  の濃化が進み、堆積したクラッド下において、すきま腐食が発生・進展した可能性が最も高い。また、Fig.2 の変色部は、漏えい確認時に滴下が確認されていないことから、水張り時の配管内加圧時の漏えいにより形成されたと推定した。

## 4. 推定原因

漏えいが確認された箇所および配管の管理状況、体積検査および継手の詳細結果を総合的に判断すると漏えいに至る腐食の要因は単一要因ではなく、複数要因の重畳により発生したと推定した。以下に要因を示す。

- ステンレス鋼の継手
- 海水混入による  $\text{Cl}^-$  の混入
- 溜まり水内のクラッド堆積

腐食を確認したのは、局部腐食（すきま腐食）の感受性が高いステンレス鋼の継手（HAZ 部を含む）であった。ステンレス鋼は海水混入の影響としてすきま腐食の発生・進展が懸念される。漏えい配管については、浄化過程において十分浄化できていない箇所が存在したことにより、長期の水抜き期間中に溜まり水内の  $\text{Cl}^-$  が濃化したものと推測する。また、クラッド堆積量が多い上流ほど腐食が大きく、クラッド堆積が無い部分については腐食が確認されていない。これらの事を考慮すると、水抜き期間に  $\text{Cl}^-$  が濃化しクラッドとステンレス鋼のすきまにおいてすきま腐食が発生・進展した結果、漏えいとなったと推察した。

以上より、複数要素の重畳により漏えいに至る腐

食が発生と推定した。

## 5. 腐食の進展防止対策

当該部については、引き続き浄化目標である  $\text{Cl}^-$  濃度 10 ppm 以下を維持監視することにより、すきま腐食の進展を防止することが出来るため、調査時に切断を実施した箇所を新たな配管で復旧した後、水質の維持を実施する。

## 6. 類似箇所への展開

これまでの調査結果より、継手①、②については、水抜き時の  $\text{Cl}^-$  濃度および期間が長いことから、最もすきま腐食が発生・進展しやすい箇所であることを確認した。そのため調査展開についても、類似環境である  $\text{Cl}^-$  濃度 10 ppm 以下を満足しない状態で水抜き期間を経験し、溜まり水およびクラッド堆積の可能性が高いステンレス配管の継手の点検を実施している。

## 7. まとめ

5号機の制御棒駆動水系配管溶接継手からの漏えい事象の原因調査を実施した。本事象におけるステンレス配管の腐食は、海水混入に起因する  $\text{Cl}^-$  が、溜まり水内で濃化し、クラッド堆積によるすきま構造が継手に形成されたことより腐食が発生・進展したと推定した。そのため漏えい配管と類似の環境条件を有する箇所について点検を実施している。また、漏えい箇所については、今後取替を実施し管内の水質を  $\text{Cl}^-$  濃度 10 ppm 以下に維持することにより腐食の発生・進展を防止する。

## 参考文献

- [1] 松橋 亮、松橋 透，“50°C 人口海水中での各種ステンレス鋼（板厚 5 mm）の腐食発生時間と板厚貫通期間の評価例”，第 167 回腐食防食シンポジウム、2010、p.20