

敦賀発電所2号機の定期検査状況について (原子炉補機冷却水冷却器からの漏えいの原因と対策)

敦賀発電所2号機(加圧水型軽水炉:定格電気出力116万キロワット)は、本年7月13日から第15回定期検査の調整運転中のところ、原子炉補機冷却水系統^{※1}の冷却器(全4台)のうち、A冷却器で冷却水が海水側に漏れていることが確認されたため、当該冷却器を隔離し、海水が流れる伝熱管の漏えい調査を実施したところ、7本で漏えいを確認しました。

詳細点検や補修作業を行うため、平成18年10月5日0時から出力降下を開始し、同日8時に発電停止、11時に原子炉を手動停止しました。

当該冷却器について漏えいの認められた伝熱管1本を含めた3本を抜管し、詳細な調査を行うとともに、伝熱管3,092本(抜管した3本と既施栓管1本を除く)の渦流探傷試験(以下、「ECT」という。)を実施した結果、伝熱管1,514本で施栓基準(40%以上の減肉:社内基準)を上回る減肉信号を確認しました。

また、他の冷却器(B、C、D)の伝熱管全数(3,096本×3台)についてもECTを実施することとしました。

なお、本事象による周辺環境への放射能の影響はありません。

※1 原子炉補機冷却水系統:

原子炉補機と呼ばれる機器(1次冷却材ポンプの軸封部、使用済燃料プールの熱交換器等)を冷却している系統。事故時における冷却容量を想定して100%容量を2系統(各系統冷却器2台)備えている。冷却水は、冷却器の伝熱管(黄銅製:全3,096本)内を流れる海水により冷やされており、この冷却水に放射能は含まれていません。

(平成18年9月15日、10月3日、4日、13日発表済み)

1. 原子炉補機冷却水系統冷却器の調査結果

(1) B、C、D冷却器伝熱管のECTの結果

- ・B、C冷却器では、施栓基準を上回る減肉信号は認められませんでした。施栓基準未満の減肉信号がB冷却器で3本、C冷却器で9本認められました。
- ・D冷却器では、施栓基準を上回る減肉信号が2本、施栓基準未満の減肉信号が1,088本で認められました。

(2) 抜管した伝熱管の減肉状況

- ・今回漏えいが発生したA冷却器と、今定期検査で施栓基準未満ではありましたが減肉信号が多数認められたD冷却器の伝熱管を抜管して断面観察を行った結果、エロージョン・コロージョン^{※2}による波状や窪み状の減肉形状が多数認められました。
- ・また、減肉による窪み形状は段階的に進展した様相が見られ、特に、漏えいが認められたA冷却器では、初期の減肉が深い様相を呈していました。

※2 エロージョン・コロージョン:

機械的作用による浸食(エロージョン)と、化学的作用による腐食(コロージョン)との相互作用により起こる減肉現象。

(3) 過去の点検結果等について

①冷却器伝熱管の点検作業

- ・冷却器の伝熱管は、毎定期検査時に1基ずつ、ECTを行っています。ECTを実施するにあたって、試験用のプローブ(探触子)が伝熱管内を通りやすくするため、伝熱管内面の付着物を除去していますが、この方法として第11回定期検査(平成12年度)以降、ブラシによる洗浄に加え、ノズルから高圧水を噴射して洗浄する方法(高圧水洗浄)を採用していま

す。

- ・この高圧水洗浄作業により、付着物とともに伝熱管内面に付いている薄い保護被膜※3(酸化膜)も剥離することから、ECT後、冷却器を復旧して海水を通水する際には、伝熱管内面に新たに保護被膜を形成させるため、1日1時間、海水に硫酸第一鉄水溶液を専用タンクで濃度調整し注入しています。また、冷却器使用(海水通水)中も、保護被膜を維持するため、同様の方法で注入しています。

※3 保護被膜:

黄銅管の内表面に生成している数十ミクロン程度の酸化層で、この層により海水の流れによるエロージョン・コロージョンを防いでいます。ブラシ洗浄では、この保護被膜が剥離することはなく、過去の点検でも全く減肉指示は認められていません。

②過去のECT結果

- ・A冷却器は第14回定期検査(平成16年度)、B冷却器は第12回定期検査(平成14年度)、C冷却器は第13回定期検査(平成15年度)でECTを行っています。減肉信号は確認されていませんでした。
- ・D冷却器は、今定期検査でECTを実施(試験時期は5月)しましたが、この時、施栓基準未満ではありますが、減肉信号が1,070本で確認されました。なお、前回(第11回定期検査:平成12年度)のECTでは、減肉信号は確認されていませんでした。
このため、今定期検査でD冷却器の伝熱管1本を抜管し、詳細調査を行いました。

③過去の使用実績

- ・冷却器使用(海水通水)中に行っている硫酸第一鉄水溶液の注入実績を調査したところ、注入設備の配管詰まりにより注入が行われないケースが確認されました。
- ・さらに、点検終了後の保護被膜形成時の注入実績を調査したところ、A冷却器の点検後(第14回定期検査)において、配管詰まりにより24日間、硫酸第一鉄水溶液の注入が行われない状態で海水の通水が行われていました。
- ・B、C、D冷却器については、点検終了後の硫酸第一鉄水溶液の注入は問題なく行われていました。

2. 原因

(1)A冷却器の漏えいについて

- ・第14回定期検査時、A冷却器伝熱管のECTを実施した後、管内面の保護被膜を形成させるための硫酸第一鉄水溶液の注入が適切に行われない状態(伝熱管内面の保護被膜が十分形成されない状態)で海水の通水が24日間あったことから、その際、伝熱管内面でエロージョン・コロージョンが発生し、深く減肉しました。
- ・その後の使用時においては、硫酸第一鉄水溶液の注入が行われましたが、既にある減肉部で流れの乱れが生じたことから、段階的に減肉が進展し、貫通に至ったものと推定されました。
- ・注入設備の配管詰まりについては、配管清掃作業のための準備と作業自体に時間を要していました。
- ・また、過去の注入設備の配管詰まりでは減肉が発生していなかったことから、点検終了後に行う硫酸第一鉄水溶液の注入に対する重要性の認識が希薄でした。

(2)D冷却器の減肉について

- ・第11回定期検査のD冷却器の点検時に、当該冷却器として初めて高圧水洗浄作業を実施しましたが、洗浄の回数が多かったため、保護被膜の剥離が大きく、点検終了後、硫酸第一鉄水溶液を注入しましたが、保護被膜の形成が十分でない状態であったため減肉が進行し、その一部がその後の通水時に進展し、施栓基準未満の減肉を生じさせたものと推定されました。

3. 対策

- ・A冷却器については、施栓基準を上回る減肉信号が確認された1,514本と、予防保全として施栓基準未満ではありますが30%以上の減肉信号が確認された347本、調査のために抜管した4本、既施栓管1本の合計1,866本を新品の伝熱管に取り替えます。
- ・D冷却器については、施栓基準を上回る減肉信号が確認された2本と、予防保全として施栓基準未満ではありますが30%以上の減肉信号が確認された174本、調査のため抜管した1本の合計177本を、新品の伝熱管に取り替えます。
- ・保護被膜を確実に形成するため、
 - ①海水通水前に硫酸第一鉄水溶液注入設備の健全性を確認すること。
 - ②硫酸第一鉄水溶液注入設備の配管詰まりを防止するため、使用後は配管を水で十分洗浄すること。
 - ③冷却器点検後は保護被膜を短期間に形成するため、運転開始後の1ヶ月間、通常の倍の濃度(1ppm)の硫酸第一鉄水溶液を注入すること。を運転操作手順書に明記するとともに、硫酸第一鉄水溶液注入の重要性について関係者に周知します。
- ・次回定期検査において、全冷却器の伝熱管全数についてECTを実施し、その結果を踏まえ点検頻度について検討します。
- ・次回定期検査までは、B、C冷却器を優先して使用するため、施栓基準未満ではありますが減肉信号が確認されたB冷却器の3本とC冷却器の9本、合計12本を新品の伝熱管に取り替えます。

(全冷却器で合計2,055本の伝熱管の取り替え)

伝熱管取替作業は11月下旬に完了する見込みであり、その後、原子炉を起動し、調整運転を再開する予定です。

(経済産業省によるINESの暫定評価)

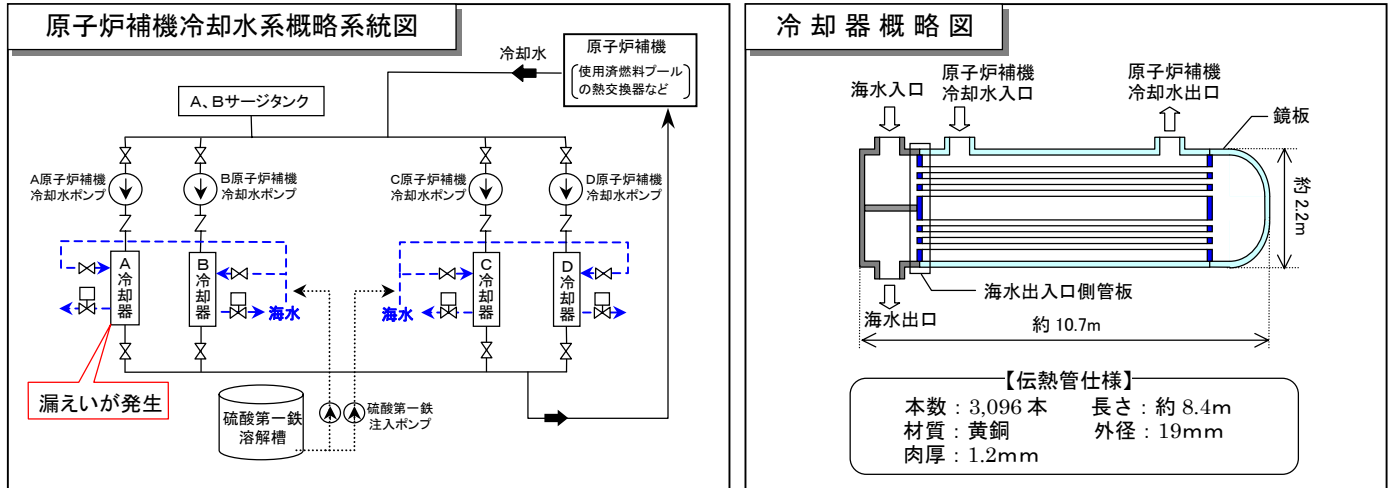
基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

INES:国際原子力事象評価尺度

以 上

添付図:原子炉補機冷却水冷却器伝熱管漏えいの調査結果

原子炉補機冷却水冷却器伝熱管漏えいの調査結果



渦流探傷試験結果

(単位:本)

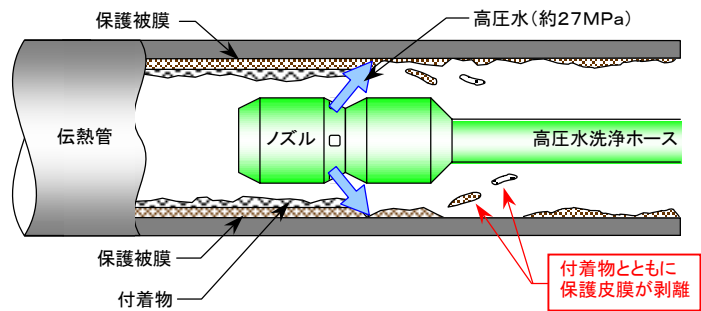
	A	B	C	D
施栓基準(40%)以上の減肉管数	※1 1,514	0	0	2
施栓基準未満の減肉管数 ※2	592 (347)	3 (0)	9 (0)	1,088 (174)

※1:漏えい管6本を含む

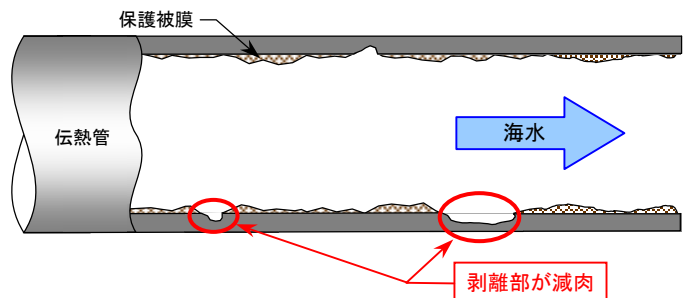
※2:()内は30~39%の減肉管数

伝熱管減肉発生の推定メカニズム

①付着物除去のため実施した高圧水洗浄により、伝熱管内面の保護被膜が部分的に剥離。



②点検後の運転初期(保護被膜が十分形成されていない状態で、エロージョン・コロージョンにより減肉)



伝熱管(A冷却器)の減肉状況

①内面の保護被膜の部分的剥離



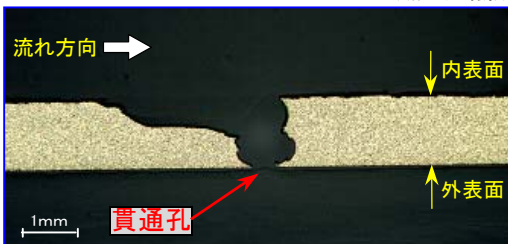
②波状の減肉形態

(断面マイクロ撮影)



③段階的に減肉・貫通

(断面マイクロ撮影)



伝熱管貫通までの推定メカニズム

