

国際会議トピックス速報（案）

資料 39-1-3

令和元年 11 月 20 日

技術基盤課

1. 韓国ハンビット 1 号機補助給水ポンプ作動

- [1] 原子力安全セキュリティ委員会 (NSSC) 発行のプレスリリース (2019-08-09)
- [2] IAEA、OECD/NEA 共催 運転経験国際報告システム (IRS) に関する定例技術会合 (2019-10-7～11)

(1) 概要

ハンビット 1 号機 (PWR、900 MWe) 主制御室では、5 月 9 日 (木) に起動過程で臨界到達後、制御棒価値試験 (炉物理試験) を行ったところ、14 年間実施してきた方法である動的制御棒価値測定法が失敗したため、他の方法であるホウ素希釈法および制御棒交換法で試験を進めた。5 月 10 日 (金) の試験中に、2 つのグループで構成された基準制御群 (B) でグループ間に 2 ステップ (step) の位置偏差が生じたため、整備部署の者が合流してこれを調整した。その後、試験を再度行うために制御棒を引き抜く過程 (0→66 ステップ) で 1 つの制御棒 (M6) が 12 ステップの偏差がある状態で引き抜かれたため、当時の勤務者らはこれを解決しようと 100 ステップまで一度に引き抜くことにし、これを実行した。

当時の勤務者らは、制御棒の 12 ステップの位置偏差を解消するために、66 ステップから 100 ステップまで制御棒を過度に引き抜くことにしたが、これは原子炉次長の誤った反応度計算に基づいて判断したものであったことを確認した。原子炉次長は反応度を -697 pcm で計算したが、事件調査時に計算した値は +390.3 pcm であった。

そのため、熱出力が 18% まで急上昇して蒸気発生器の水位が高くなり、主給水ポンプ停止信号が発生して補助給水ポンプが自動起動した。主制御室に様々な警報音が鳴り、運転員らは直ちに制御棒を挿入して安定状態を維持したが、熱出力が制限値 (5%) を超えて 18% まで急増したので、技術仕様書 (保安規定) に基づき直ちに原子炉手動停止を行うべきであったが、これを履行しなかった。

表1 保安規定：炉物理試験例外 (モード2)

図 運転パラメータの推移

(2) 原因

① 保守作業手順の不遵守

- 保守作業手順によれば、試験中に制御棒の 2 ステップ偏差のような問題が起こった場合、作業指示か作業計画が準備されていなければならない。
- 事業者は保守作業手順書を遵守していなかったし、制御棒を無許可の作業員に操作させた。② 保安規定の認識失敗
- 作業前打合せが不十分:13 時間の制御棒試験の間に 3 シフトチームが試験に参加。第 1 シフトを除いて、シフト交代の際に注意項目や試験の制限について伝達するための作業前打合せが行われなかった。
- 保安規定の運転上の制限の理解不足

③ 制御棒駆動機構の健全性

- 2 ステップ偏差:制御棒試験の初期段階操作を行った原子炉運転者の技量不足。基準制御群(B)を抜くためには 2 つの連続操作が必要だが、一度に両操作を行った。
- M6 制御棒の一時的な不良:ラッチの引っ掛かりクラッドのせいで、M6 制御棒が一時的に固着したと推定される。

•

(3) 安全性評価

- 燃料の健全性:燃料損傷の兆候はない。シミュレーションの結果、燃料中心温度と被覆管ひずみには十分な余裕があった。核沸騰限界率(DNBR)も許容値より十分に高い。
- 安全機能の状況:蒸気発生器水位は高高。蒸気発生器の逃し安全弁は開放状態。

- 放射性物質の漏えいはない。

(4) 教訓

本事象は、以下の重要性を示している。

-
-
-

(5) 主要是正措置

-
-
-
-

2. フラマトム社のサン＝マルセルサイトにおける熱処理温度幅に係る逸脱

- [1] 仏国放射線防護・原子力安全研究所 (IRSN) プレス記事 (2019 年 9 月 12 日)
- [2] フランス電力 (EDF) プレス記事 (2019 年 9 月 18 日)
- [3] OECD/NEA 規格基準ワーキンググループ (WGCS) 定例会合 (2019-10-1～2)
- [4] ASN ニュース (2019 年 10 月 24 日)

(1) 概要

EDF は 2019 年 9 月 2 日、原子炉の特定設備機器の電気抵抗体による溶接の応力除去熱処理 (TTD) における逸脱に関する最初の評価結果を原子力安全機関 (ASN) に報告した。その後 EDF とフラマトム社により継続された調査の結果、運転中の 6 基の原子炉、すなわちルブレイエ 3、4 号機、ビュージェイ 3 号機、フェッセンハイム 2 号機、ダンピエール 4 号機及びパリュエル 2 号機に設置された 16 基の蒸気発生器を特定することができた。これらの設備に関する技術的検証の現段階での成果に鑑み、EDF は、確認された逸脱により供用適合性が損なわれることはなく、対応を急ぐ必要はないと考えている。

一方、フラマンビル 3 号機として建設中の欧州加圧水型原子炉 (EPR) の蒸気発生器 4 基と加圧器、グラブリーヌ 5、6 号機の蒸気発生器を交換するために新規に製造された蒸気発生器 3 基はまだ設置されていない。

IRSN は 2019 年 9 月 12 日、フラマトム社が特定した原子炉の設備機器の製造過程に係る逸脱に関するインフォメーションノートを公表した。この逸脱は、それらの設備機器の様々な構成要素の組立のために溶接部に対して行われる応力除去熱処理に係るものである。熱処理には内外面に設置する加熱ヒータが用いられた。フラマトム社が最近、このプロセスでは溶接部の全長にわたり十分に均質な熱を確保できないことを確認し、溶接部の特定の環状箇所については規定最高温度を超過してしまい、他の箇所については規定最低温度に達さないという状態が発生していることが明らかになった。

(2) 製造過程における応力除去熱処理の役割

蒸気発生器胴部は主に、下から上へ、半球形の底部、管板、2 体または 3 体の円筒形胴、1 体の円錐台形胴、2 体の円筒形胴、頂部楕円形ドームで構成されている。これらの構成要素は溶接により組み立てられている。

(3) 蒸気発生器の溶接部の応力除去熱処理

溶接を行う際、2 つの部材を接合するために添加される溶融金属の温度は、組み立てられる部材の温度よりもはるかに高い。冷却時、添加された金属と部材の金属は収縮するが、溶接時の温度が異なるので、収縮率は同じではない。このため、冷却後の溶接部には機械的ストレス、いわゆる残留応力が生じる。さらに、溶接の熱的条件のために部材の変形が生じ、局所的に非常に硬く脆い冶金構造が形成される。設備機器の製造過程では、溶接後に応力除去熱処理を施すことが想定されている。応力除去熱処理とは、熱的な影響を受ける部位の最も硬い冶金化合物を弛緩させるように温度を調整し、応力をある程度まで緩和することである。

蒸気発生器の胴部の鋼材について、PWR のニュークリアアイランドの機械部材の設計・建設に際してフラマトム社が従う規則(フランス原子炉資材設計・建設規則協会:AFCEN の RCC-M 規格)では、この応力除去熱処理の実施時の温度の幅は 595~620°Cと定められている。

(4) 加熱ヒータを用いた応力除去熱処理のプロセスと逸脱の性質

応力除去熱処理のために必要な溶接部領域の過熱は、誘導加熱や環状炉など様々な方法で行うことができる。これら様々な方法は、処理の質を確保するために、適用温度と過熱・冷却速度を制御できるものでなければならない。

フラマトム社は 2008 年以降、加熱ヒータを用いて応力除去熱処理を行ってきた。それらのヒータは、発熱抵抗体と断熱コーティングで構成されている。蒸気発生器の胴部の溶接部の外周全体を覆うには、たとえば 8、9 体のヒータが必要であり、内周を覆うにも同様の数のヒータが必要となる。処理すべき部位の全体、すなわち溶接部とその周囲を覆うことができるように、4 列のヒータが境を接して配置される。

フラマトム社が最近実施したシミュレーションにより、このプロセスの適用温度が不均一であり、製造過程の温度幅に関する規定が場所によっては遵守されていないことが明らかになった。一連の研究により、最も低い温度は規定最低温度を著しく下回り、最も高い温度は規定最高温度を著しく超過することが証明された。

(5) 潜在的な影響

上述の温度異常は、溶接部の部材の性質に影響を及ぼす。処理温度が不足した場合、残留応力の緩和が不十分になる。逆に処理温度が過度に高かった場合は、降伏強度、引張強度及び部材の靱性が損なわれる。したがって、確認された逸脱のために、処理温度が不足あるいは過剰な部位については、蒸気発生器の胴部の機械的挙動に関する設計時の分析において考慮された機械的性質が損なわれるおそれがある。

設計時に実施された機械的挙動に関する評価は、原子炉の平常時あるいは事故時の様々な運転条件において生じる応力への設備機器の耐性の証明に資する。特に、過度な変形、塑性不安定あるいは急激な破断のような障害を排除できるようなサイジングであるか検証しなければならない。この検証を行うためには、様々な状況において部材がこうむる応力を明確にし、機械的基準と比較する必要がある。

今般のケースでは、残留応力が存在し、部材の靱性が減じられているので、急激な破断のリスクに関する評価を見直す必要がある。また、降伏強度と引張強度が不足しているため、過度な変形及び塑性不安定についても再検証しなければならない。

(6) WGCS 定例会合情報

-
-
-

影響を受けた機器

- 蒸気発生器
- 加圧器

サン＝マルセルサイトで取られた是正措置

-
-
-
-

サン＝マルセルサイト製造機器

-
-

ASN からの情報告知

-
-

(7) ASN ニュース(2019-10-24 付、抜粋仮訳)

サン＝マルセルサイトにて溶接の際に、均一温度に保つ管理が不十分だったことにより影響を受けた可能性があるのは、以下のフラマトム製の原子炉の 18 基の蒸気発生器である(2008 年以降に据え付けられたもの)。さらに、製造中もしくは適合確認中のものが 20 機器あり、フラマンビルの EPR の蒸気発生器と加圧器が含まれる。

運転中: Bugey 3, Fessenheim 2, Dampierre 4, Blayais 3, Blayais 4, Paluel 2

据付け前: Gravelines 5

ASN に送られた EDF とフラマトムによる正当化報告書によると、それらの機器の健全性には問題がない。その報告書に対する IRSN の支援を受けた ASN の評価は、Fessenheim 2 の蒸気発生器については補足要求があるものの、原子炉は運転継続可能というものである。

ASN は EDF に対して、それらの原子炉の 2020 年夏までの計画停止中に、問題となる溶接部の特性を見極めるよう依頼した。特に、EDF による仮定を確認するために、非破壊検査と厚み測定を要求している。

さらに、EDF はこれらの問題がある機器が製造されたときの製造状況を詳しく調べるプログラムを開始しなければならない。調査や関連する試験の条件について、ASN や IRSN により確認されることになる。

ASN は、製造者と運転者にこの状況(据付け前の熱処理プロセスにおける性能保証が不十分だったこと)の分析を要請した。