

「もんじゅ」におけるナトリウム漏えい検出設備の保全活動

Maintenance activities for sodium leak detection system in Monju

JAEA 武藤 啓太郎 Keitaro MUTO Non-Members

Monju is sodium cooled Fast Breeder Reactor. Monju resumed operations on May 5th, 2010 after an intermission for about 14 years following a sodium leak accident. During the shut-down period, sodium system was operated and there were some troubles of sodium leak detectors. To improve leak detectors performance and reliability, detectors modification and improved maintenance activities were applied. For example, a contact type sodium leak detector (CLD) in the secondary sodium system was modified to increase to ion-migration resistance and periodical insulation measurement was added to the maintenance activities. Based on the maintenance and operation experience and the technology development will be reflected to the improvement of the performance and reliability of sodium leak detectors.

Keywords: Fast Breeder Reactor, Monju, Sodium Leak Detector, Maintenance Activities

1. もんじゅ概要

「もんじゅ」はナトリウム冷却高速増殖原型炉であり、昭和60年10月に建設工事を開始し、平成6年4月に初臨界、平成7年8月初伴入を達成した。同年12月ナトリウム漏えい事故が発生して以来原子炉を停止し、安全総点検、再発防止対策の実施、設置変更許可を経て平成22年5月に臨界を再度達成している。実施した再発防止・ナトリウム漏えい対策は、漏えいの早期検知を目的とした検知システムの追加、漏えい量の抑制を目的としたドレン系の改造、影響緩和を目的とした窒素ガス注入設備の追加等である。

「もんじゅ」の停止期間においては水・蒸気系は保管あるいは停止していたが、ナトリウム系である1,2次系は多くの期間運転を継続していた。

ナトリウム系運転時においては、ナトリウム漏えい検出器は作動状態であり、この間誤警報等のトラブルを経験した。ナトリウム漏えい検出器の誤警報の発報抑制及び故障の未然防止のため検出器の改善等のハード面及びトラブル経験に基づく点検頻度、内容の改善等を行ってきた。

2. ナトリウム漏えい検出器の位置づけ

「もんじゅ」におけるナトリウム漏えい検出器に関する設計の考え方について、「もんじゅ」では配管等に SUS304 等靱性の高い材料が用いられ、また内部流体圧力が常圧のため熱膨張による2次応力が主体となるという荷重条件の特徴から、漏えい先行型

破損(Leak Before Brake)に基づく設計が可能である。このことから、貫通き裂が起きた場合でも安定的で緩慢に進展するため漏えい発生を瞬時に検出する必要は無い。原子炉の安全性に影響を及ぼす恐れのある漏えいとしてナトリウムのインベントリが有意に減少しない規模でのナトリウム漏えいを検出する設備は安全保護系設備とし、漏えいの拡大防止をし、プラントの保全を図る検出設備は安全保護系以外としている。

2.1 安全保護系としての漏えい検出器

1次冷却材漏えい事故に対して原子炉を保護し放射性物質拡散の抑制または防止をするため、2out of 3 のロジック構成、チャンネルの独立性、計測制御系からの分離等の設計がなされたナトリウム液面計、圧力検出器、温度検出器、放射線検出器等により自動的に原子炉格納容器を隔離するとともに、原子炉をトリップする検出信号を発することを目的とし設置されている。

2.2 安全保護系以外の漏えい検出器

ナトリウムを内蔵する機器配管における外部雰囲気へのナトリウム漏えいを監視する検出器であり、接触型(CLD)、ガスサンプリング型、煙感知型、熱感知型等のナトリウム漏えい検出器及び温度計、液面計により漏えいを検出する。安全保護系とは異なり2 out of 3 のロジック構成、チャンネルの独立性、計測制御系からの分離等の設計はなされていない。

3. ナトリウム漏えい検出器のトラブル事例及び対策

安全保護系のナトリウム漏えい検出器である、圧力検出器、放射線検出器、温度検出器等は「もんじゅ」特有の設備ではなく、軽水炉でも使用され、こ

連絡先:武藤 啓太郎, 〒914-0821 福井県敦賀市白木2-1, 高速増殖炉研究開発センター プラント保全部, 電話: 0770-39-1031, E-mail:muto.keitaro@jaea.go.jp

れまでトラブル事例はない。「もんじゅ」におけるトラブルは「もんじゅ」特有の設備である接触型漏えい検出器 (CLD)、ガスサンプリング型漏えい検出器に多く発生している。「もんじゅ」停止中に経験したナトリウム漏えい検出器の誤警報のトラブル事例及び誤警報対策を以下に紹介する。

3.1 誤挿入による CLD 誤警報

平成 20 年 3 月 1 次メンテナンス冷却系 CLD(接触型ナトリウム漏えい検出器 Contact type sodium Leak Detector)において漏えい警報が発報した。

CLD はナトリウムが導体である性質を利用し、シースと電極間にナトリウムが付着し回路を形成することで漏えいを検出する装置である。当該 CLD は弁の漏えい監視のために設置されているが、Fig.1 に示すように、取付け不良のためシースが弁棒に接触し、磨耗することにより電極の先端部が弁棒に触れたため警報が発報した。

誤警報対策として誤警報が発報した同型の CLD については、シーラント型から固定に関する管理方法が明確に定められている Swagelok®継ぎ手タイプに全数 (252 個) 交換をし、ケガキ線により差込深さの測定・記録を実施した。

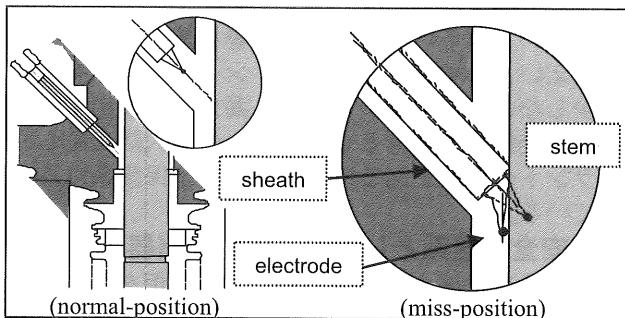


Fig.1 CLD : Contact type sodium Leak Detector

3.2 イオン・マイグレーションによる CLD 誤警報

平成 20 年 9 月 2 次系オーバフロータンクに据え付けられた CLD が動作し、ナトリウム漏えい警報が発報した。当該 CLD を引き抜き、目視によりナトリウムの付着がないことから誤警報と判断した。

当該検出器はセラミック端子表面の元素分析により端子金属(鉄、ニッケル、コバルト)及び銀が確認され、これらの金属による絶縁抵抗の低下から警報の発報に至ったものと推定した。これらのメカニズムは以下のとおりである。

- 1) 当該 CLD の検出部に結露水が発生した。
- 2) CLD 端子-シース間には直流電圧が印加されているため、端子の接合に用いている銀ロウの電気分解が起きた。
- 3) 電気分解により、ニッケル、コバルト、銀がセラミック表面に析出した。
- 4) 平成 20 年 9 月においてオーバフロータンクの

ナトリウム温度を 200℃一定から 325℃までの昇温したことにより、CLD 廻りの温度も上昇し、銀のイオン・マイグレーションが促進された。

- 5) 析出した金属により回路が形成され、誤警報が発報した。

対策として銀ロウ付けである従来品からイオン・マイグレーションの起こりにくい金ロウ付けの対策品に交換を順次実施し、平成 21 年 9 月に全数の交換を完了している。交換後同型の CLD の絶縁抵抗基準、絶縁抵抗値測定頻度を見直し、金ロウ対策品の健全性評価を行っており、健全性が維持されていることを確認している。また金ロウ付け CLD のイオン・マイグレーション対策の有効性評価として実機 CLD を模擬した試験体 (銀ロウ付けタイプ、金ロウ付けタイプ) を製作し、イオン・マイグレーションの発生過程を模擬した条件 (DC50V, 325℃, 120 時間, 結露, 高湿度) にて加速試験を実施した。結果 Fig.2 に示すように、銀ロウ付けの試験体では銀イオン・マイグレーションによる短絡が確認されたが、金ロウ付けの試験体は絶縁抵抗値の低下が確認されず、対策品は有効であることを確認した。

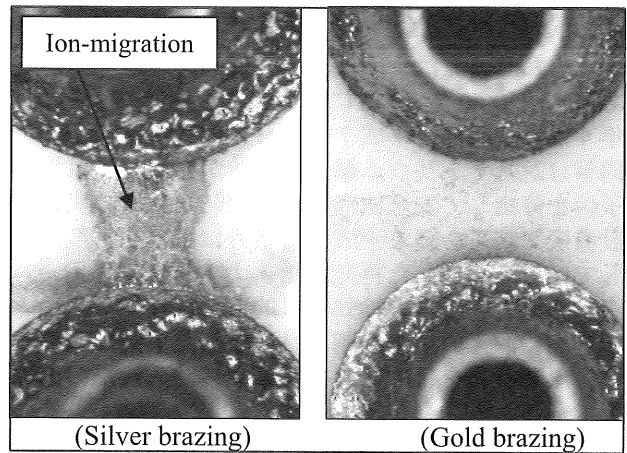


Fig.2 CLD Ion-migration aging test

3.3 温度変化による RID 誤警報

平成 20 年 1 月 2 次系 A ループ蒸発器及び過熱器周りを監視している RID(ガスサンプリング型ナトリウム漏えい検出器 Radioactive Ionization Detector)が警報発報した。現場及び遠隔監視用 ITV カメラによる確認、フィルタ分析において異常は認められないため誤警報と判断した。RID はシステムの機器、配管について微少漏えいを検出するため、機器、配管と保温層間のガスをサンプリングし監視するための設備であり、RID はナトリウムエアロゾルを Am-241 によりイオン化されたガスに付着させ、イオン電流の変化により微少ナトリウム漏えいを検出するもので空気雰囲気中の検出に適しており、約 10^{-10} gNa/cc 以上のナトリウムエアロゾルに有意な反応を示す。誤警報発報当時 RID は現在値と 24 時間前値を比較し警報判断をしていたが、RID 検出感度は非常に高く検出器内におけ

るサンプリングガスの温度、圧力、流量の変化、ナトリウム以外の揮発性物質によっても指示値を変動させる。当該警報発報時は Fig.3 に示すように外気温度が 24 時間前の同時刻に対して約 10 度低下しており、環境温度の変化によってナトリウム漏えいの誤警報が発報したのが原因である。誤警報対策として外気温度変化による影響を小さくするため、RID のシーケンサ処理を変更し、警報発報を判断している指示値比較を 24 時間前値から 1 時間前値に変更した。

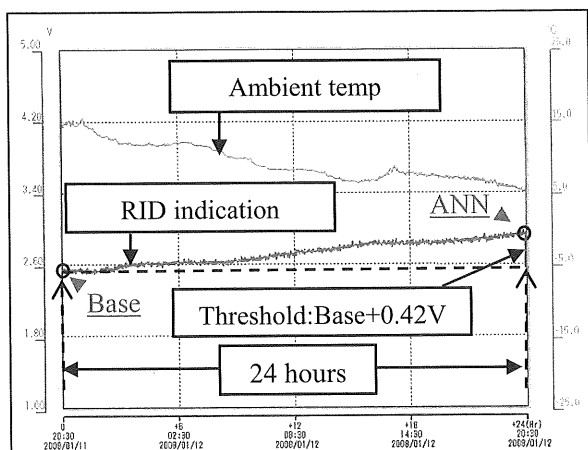


Fig.3 RID indication change

3.4 その他誤警報

平成 21 年 1 月 2 次系 C ループの RID においてナトリウム漏えいの誤警報が発報した。誤警報は外気取入フィルタ近傍で実施していた屋外の塗装作業の揮発性ガスが建屋内に流入し、その結果、揮発性ガスが RID 検出器に吸い込まれ、指示値が上昇したことにより警報が発報したものと特定された。

対策として今後の塗装作業においては、揮発性ガスが建屋内に流入しないよう、局所排風機等により外気取入フィルタから離れたところに排気することとした。

4. 設備改善及び運用の改善

上述のトラブル事例を受けた対策の他、保全活動として Na 漏えい検出器の設備及び運用の改善を行っており以下に改善例を示す。

4.1 点検頻度、内容の見直し

ナトリウム漏えい検出器に係る過去に発生した故障、不具合データを整理し取扱の手引きとしてマニュアル化するとともに、保全計画の点検頻度、内容を見直した。

4.2 電源関係に係る信頼性向上対策

安全保護系以外のナトリウム漏えい計装の信頼性向上対策として、ナトリウム漏えい計装に係る制御電源の無停電化対策として以下を進めている。

・1 次主冷却系ナトリウム漏えい計装の制御電源において一般計装電源と並列に無停電電源装置 (UPS) を設置した。また、ブロウ電源を非常系電源からの

受電とすることを計画している。

・2 次主冷却系ナトリウム漏えい計装の制御電源を無停電電源系統からの受電に改造を行った。

5. 今後の計画

安全保護系以外のナトリウム漏えい検出設備のうち、2 次系ナトリウム漏えい検出設備である RID は、誤警報の発報を抑制することや、常時監視し監視不能時間を無くすこと等、高い信頼性が求められてきている。しかし既存の RID は揮発性物資や環境条件 (温度、圧力、流量等) の影響を受ける特徴や冗長性が無く代替監視ができない問題があり、既存の設備ではその要求には応えにくくなっている。そのため、次期新型ナトリウム漏えい検出器を開発し、より信頼性の高い検出器に置き換えることの検討を行っている。メーカーにおいて新型漏えい検出器として開発・試作した LLD (Laser Leak Detector)、及び MID (Micro Ionization Detector) のフィールドテストを平成 21 年に「もんじゅ」において実施している。LLD はサンプリングガスにレーザー光を集光し、レーザーブレイクダウンにより発生したプラズマ中のナトリウム原子が励起状態から基底状態に遷移する際に発するナトリウム固有の蛍光を測定するため、ナトリウム選択性があり、環境条件、揮発性物質による誤警報抑制や検出感度向上が期待される。MID は既存の RID と同様の検出原理ながら、イオン反応部とイオン検出部を分離しイオン反応時間を既存の電場ではなく流速で制御することで問題となる温度、湿度、流量等による影響を低減させる構造となっている。MID のフィールドテストにおける結果の一例を以下に示す。サンプリングガス温度が 25 度～33 度の範囲における MID, RID の指示値を 10^{-10} gNa/cc の漏えいに相当する出力により除算することで規格化した値に対する温度の依存性を Fig.4 に示す。指示値の温度に対する傾きは MID が 0.027°C 、RID は -0.077°C となり、MID が RID に対して同一環境における温度変化に伴う指示値変化が約 1/3 に抑制されることを確認した。今後継続してこれら新型のナトリウム漏えい検出器の適用性を検討し、検出設備の信頼性向上を図っていくことを計画している。

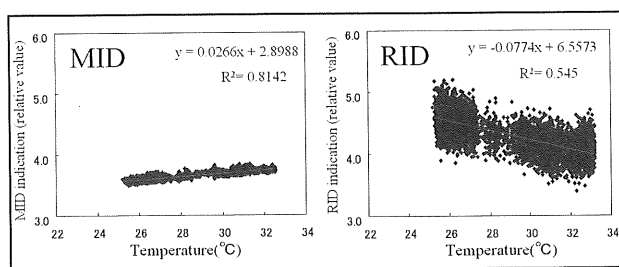


Fig.4 Temperature dependence of MID, RID

参考文献

[1] 高速増殖炉もんじゅ建設所, 高速増殖炉原型炉「もんじゅ」設備概要, ページ 12.27-30 (平成 10 年 3 月)