

関電 PWR 原発の「蒸気発生器伝熱管損傷」トラブル発生推移について

20200917 西川 榮一

高浜 3, 4 号機について、関電は近々にも運転再開と報道されているが、この 2 つの原発は、とくに蒸気発生器 SG の伝熱管について、毎年のようにトラブルを起こしている。そこで関電など日本の加圧水型原発での同種のトラブルの発生推移をみて、高浜 3, 4 号機はどのような状態にあるのか比較してみた。

1. 日本の PWR 原発の「SG 伝熱管損傷」トラブル発生の年度推移 (図 1)

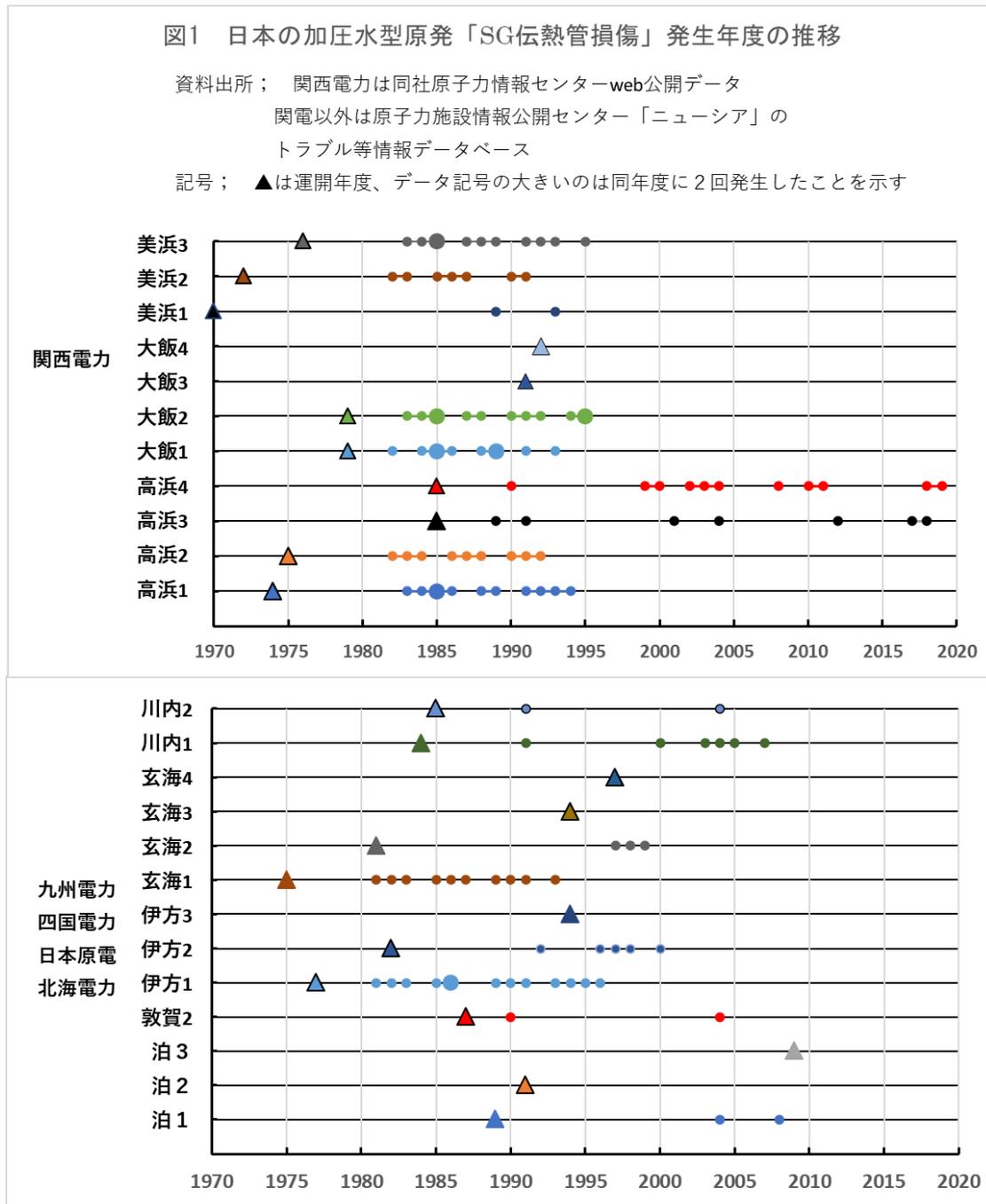


図1から次のような特徴が読み取れる

11. 1970年代運開した原発のほとんどは頻繁にトラブルを起こしている（例外は美浜1のみ）
 [ノート] 美浜1は日本最初のPWRであり、設計製造などはアメリカメーカが主導で建設
12. 1980年代(特に中頃) 運開した原発は、運開後十数年はトラブル少ないがその後トラブルを起こすか、繰り返す。(その典型が高浜3, 4号機)
13. 1990年代以降運開原発はトラブルを起こしていない。
14. トラブルは運開直後には発生せず、ある程度の運転期間を経てから最初のトラブルが生じる。
 そしていったん生じると繰り返し生じる。運開から最初のトラブルまでの時間は
 1970年代運開原発・・・数年であり、10年もった原発はほとんどない(美浜1のみ19年)
 1980年代運開原発・・・15年程度、この間発生しても1, 2件
 1990年代以降原発・・・2019年度時点でトラブルなし

2 SG 伝熱管損傷の主な原因と SG の改良

- 21 1970年代運開で頻繁にトラブルを繰り返していた原発は、1995年頃以降は全くトラブルを起こさなくなっている。これらは、後で述べるように、改良型SGに取り換えられたためである。
- 22 SG改良についてはすでに多くの報告(たとえば三宅・向井(2003)、金氏(2012))が公表されているし、ATOMIKAにも記載されている・図2はATOMIKAのSG改良点の概略である。

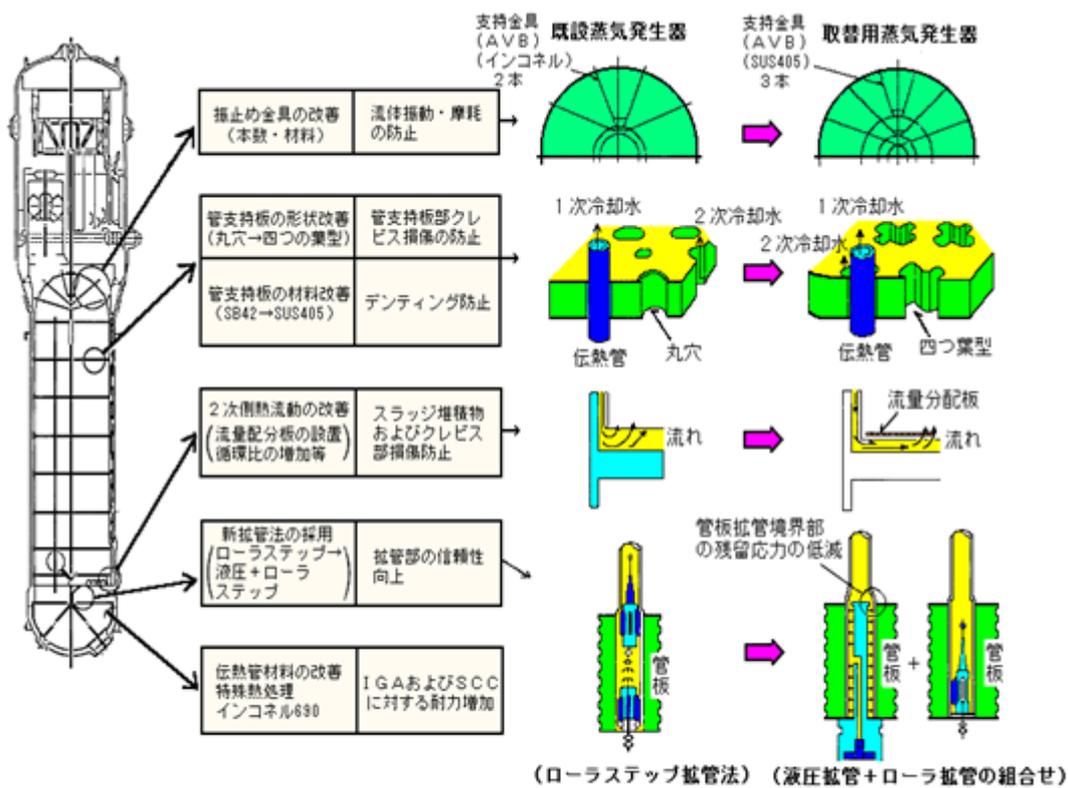


図2 蒸気発生器の改良点

[出典] 木村精之、百々隆ほか: 関西電力における原子力プラント(PWR)蒸気発生器の取替え、火力原子力発電、46(3)、40(1995)

改良点は主に4つ。図2に示されている改良点を上から順に示すと、

*伝熱管振動に起因する繰返し応力による損傷や、接触による摩耗

逆U字形曲線部の振動防止金具付近や管支持板貫通部に発生しやすい。対策は、

- ・曲線部振れ止め金具の改良(材質、形状)
- ・管支持板貫通穴形状の改良(形状)
- ・拡管方法の改良

*冷却材水質管理に起因する伝熱管や管板の腐食

1 次冷却材(管内側)、2 次冷却材(管外側) いずれでも生じ得るが拡管による残留応力との相乗効果も加わるので拡管部分、ついで管支持板貫通部で生じやすい。対策は水質管理の改良。

[ノート] 図2の改良では示されていないが、SGやSG外部配管系の内部構造物・付着品などの損傷による固体離脱物が冷却材の流れにエントレインされて、伝熱管に衝突損傷するという可能性はないのだろうか。

23 これら諸対策が年々講じられて改良型SGが作られてきた。改良の程度に応じて改良型SGは1970年代SGは第1世代、1980年代SGは第2世代、1990年代SGは第3世代と呼ばれたりしている。

改良を重ねることで腐食の抑制、伝熱管の振動抑制などが進み、それだけ劣化速度を低減できるが、完全にはなくせない。第1世代)、第2世代)、第3世代)になるほど、運開からトラブルが発生するまでの期間は長くできるが、何時までもトラブルフリーということにはならない。

24 損傷トラブル発生した場合の対策

- ・施栓……劣化が進行して損傷トラブルが発生し始めた当初は、損傷した伝熱管を施栓して1次冷却水を流さないようにする対策をとる。損傷トラブルが繰返し発生すると、施栓伝熱管の本数が増えて行く。
- ・SGの取替え……損傷が度重なる事態になったら、SG全体をそっくり改良型SGに取替える
現在では第1世代の原発はすべて1990年頃に第3世代SGに取替えられている。第2世代も一部は取り換えが進められている

3 高浜3, 4号機のSG伝熱管損傷について

31 図1をみると、現在このトラブル問題を起こしている商用PWRは高浜3,4号機のみである

32 高浜3,4は運開後15年頃までは少なかったがそれ以後トラブルを繰返すようになっている。

33 高浜3,4と同じ第2世代で他社のSGの発生推移を図1の下側図でみると、運開後15年間ぐらいまではほとんどトラブル発生しないが、それ以後はトラブルを繰返すようになっている。つまり高浜3,4と同じ傾向を示しているわけで、第2世代SGの一般的傾向が表れているとみることができる。

これら第2世代SGについては、伊方2および玄海2は2001年に、川内1は2008年にすでに第3世代のものに更新している。また川内2はトラブル発生は少ないが、2016年にSG取替え計画を規制庁に申請している。

34 以上の傾向をみると、第2世代SGは、運開後15年程度は経年劣化によるトラブル発生は抑制できているが、それ以後はトラブルを繰返す状態になっており、トラブルフリー寿命は15年ぐらいい、それ以後は経年劣化トラブルが生じてくると認識しておかねばならない。

他社ではそれを見極めてすでに SG 取替を済ませており、高浜 3, 4 のようにトラブルを繰り返している第 2 世代 SG で、なお取替せずに運転を続けようとしているのは関電のみである。

[ノート] 九電 Web http://www.kyuden.co.jp/genkai_history_b.html

九電は SG 更新について「蒸気発生器の細管損傷が発生しております。この細管損傷は、補修しながら使い続けても技術的にも安全上も問題がありません。しかし、補修作業に伴って作業者が受ける放射線量の低減や定期検査期間の長期化を避けるために、蒸気発生器の取替えを行いました。」と述べている。原発の本体の安全だけでなく、総合的な安全管理の視点に立つ措置も重要であろう。

35 SG 伝熱管損傷トラブルを引き起こす主要な原因事象は、管板拡管部における残留応力による応力腐食割れである。このため高浜 3, 4 の SG では、残留応力を緩和するショットピーニング処理を施しているが、ショットピーニング処理済みの伝熱管でもこの事象による損傷が発生している。

36 伝熱管以外の SG トラブルについても見て

「伝熱管以外の事象」トラブルも含めてみると、ニューシアのデータベースでは、運開以来 2020/9/13 までの期間に登録されたトラブルは、高浜 3, 4 では、それぞれ 17 件、19 件である。

これらの発生年度の推移をみると図 3 のようである。図を見て注目される点は 2 つ。

* 1 つは、経年劣化事象トラブルはほとんどが SG 伝熱管である。

* 2 つは、ごく最近、従来経験されてきた経年劣化事象とは異なる原因で 2 件の伝熱管損傷が生じていることである (2020/2/19 高浜 3, 2019/10/17 高浜 4)。この 2 件について関電は、検査作業中に外部から混入した異物が原因ではないかと推定している。しかし疑問を感じる。

このような外部から異物が混入してのトラブルは、ニューシアのデータベースでも見当たらないまれなトラブルで、しかもそれが 2 年続けて生じたというのである。「23」の [ノート] でも述べたが、配管系内部で何らかの現象で異物が生じた可能性も捨てきれないと思われる。そうだとすれば、このトラブルも経年劣化事象の 1 つかもしれない。

[ノート] 外部からの異物混入という、検査時の突発的な作業ミスという推定が正しかったとしたら、それはそれで問題である。安全を確かめるべき検査作業のミスが 2 度も立て続けに生じてトラブル原因になっているということは、関電の安全管理体制が緩んでいることを意味するからである。

37 高浜 3, 4 号機の SG 伝熱管損傷トラブルの推移をみて指摘できる点をまとめると以下である。

- ・高浜 3, 4 号機 SG は、いずれも運開から 15 年経った 2000 年頃から繰り返し伝熱管損傷トラブルが生じてきている、
- ・ショットピーニング処理済み伝熱管でも損傷が生じている、
- ・他社の動向も合わせて見ると、第 2 世代 SG の伝熱管は、運開から 15 年程度はトラブルフリーといえるが、それ以後は経年劣化事象による損傷トラブルを繰り返すようになる。このような状態になると、改良型 SG に更新すると認識されているようである。この認識に立てば、高浜 3, 4 号機の SG は更新されるべき状態になっているといえよう。

4 おわりに

高浜 3, 4 号機 SG は 経年劣化事象のためこれ以上使用すべきでないほどに信頼性が低下しており、少なくとも SG の更新無しに運転再開することは絶対に避けるべきである。しかも、2019 年、2020 年には、従来経験されてきた経年劣化事象とは異なる原因事象の伝熱管損傷も生じており、原

発プラント全体の信頼性低下の検討が不可欠と考えられる。再稼働断念すべき事態ではないか。

[ノート] 福井新聞 2019.03.16 朝刊 2 頁に「**蒸気発生器の交換検討 高浜3、4号 関電「安全性を向上**」という見出しの記事をみると、「3月15日開催の福井県原子力安全専門委員会で、**高浜**3、4号機について、関電原子力事業本部大塚茂樹・副事業本部長は『信頼性、安全性向上のために、蒸気発生器の取り換えは必須。検討している』と述べた。委員の一人が『3年前の報告書でも蒸気発生器の交換を含めた検討をするとの記述があるが現状は』とたまた。大塚副事業本部長は『定検時に（ひび割れなどの）信号が検出されて細管に施栓する工事をしている』として、2基とも交換を検討しているとした。」などとある。

この記事によれば、関電は4～5年も前から高浜3、4のSG取替えを検討していると表明している。しかしその後SG取替えの動きについては、関電や規制庁のウェブをさがしても全く見当たらない。