

# 高速実験炉「常陽」の保守経験(1) 「常陽」における保守活動の概要

## Maintenance experience of Experimental Fast Reactor Joyo (1) The outline of maintenance activities in Joyo

日本原子力研究開発機構	住野 公造	Kozo SUMINO	Non Member
日本原子力研究開発機構	小林 哲彦	Tetsuhiko KOBAYASHI	Non Member
日本原子力研究開発機構	磯崎 和則	Kazunori ISOZAKI	Non Member
日本原子力研究開発機構	吉田 昌宏	Akihiro YOSHIDA	Member

In the experimental fast reactor Joyo, maintenance work was conducted based on the classification of safety importance over thirty years. Through the experience, it was confirmed that particular effort was not necessary for the maintenance of sodium cooling systems by controlling the coolant purity properly. Additionally, as a result of the technical review on aging for whole plant, significant aging phenomenon that is particular with sodium cooled fast reactor was not observed.

**Keywords:** Joyo, Fast Reactor, Liquid Sodium Coolant, Maintenance

### 1. 緒言

高速実験炉「常陽」は、国のプロジェクトとして国産技術により設計、建設および運転されてきたナトリウム（以下、Na）冷却型の高速中性子炉である。1970年に建設を開始し、1977年にMK-I炉心として初臨界を達成した後、MK-II炉心、MK-III炉心への2度の炉心改造を経て、積算運転時間は約7万1千時間に達している。この間、高速増殖炉に関する技術的経験を蓄積するとともに、高速中性子照射炉として燃料・材料の開発に活用され、数多くの成果を上げてきた。ここでは、主に、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下、炉規法）に基づき、原子炉施設に対して建設以来40年にわたって行ってきた保守経験について報告する。

### 2. 保守業務の概要

「常陽」は熱出力140MWの実験炉である。発電のためのタービン系を持たず、発生した熱出力を主冷却機により冷却している以外、基本的に発電炉と同等の設備・機器を有している。図1に「常陽」の設備概要を示す。

軽水炉と異なる高速炉の保守の特徴として以下があげられる。

(1) 主要な動的機器である主循環ポンプ及び制御棒駆動軸は、Arカバーガス層を通過してNa中に装

荷されているため、それらのシール部は直接Naに接しない。さらに、主循環ポンプのNa中にあるインペラ部の軸受は、メンテナンスフリーに設計されているため、これらの系外引き抜き点検が不要。したがって、それらの保守点検の範囲は、駆動部等の冷却材に接しない部分に限られ、保守の負担が小さい。

(2) 1次冷却系は、点検時においてもArガスによって常に外気と隔離されているため、作業員の内部被ばくのリスクが小さい。同様に外部被ばくについても軽水炉等に比べて少なく、放射線作業管理の負担が小さい。

(3) 廃液の発生源は、使用済燃料及び保守に伴う機器に付着したNaの洗浄によるものに限られ、発生廃棄物の量が少ない。

(4) 一方、定期点検期間中であっても、予熱ヒータ設備、カバーガス系、メンテナンス冷却系、1次系セル空調換気設備及びこれらの電源設備を一括して停止することができないため、これらの運転停止

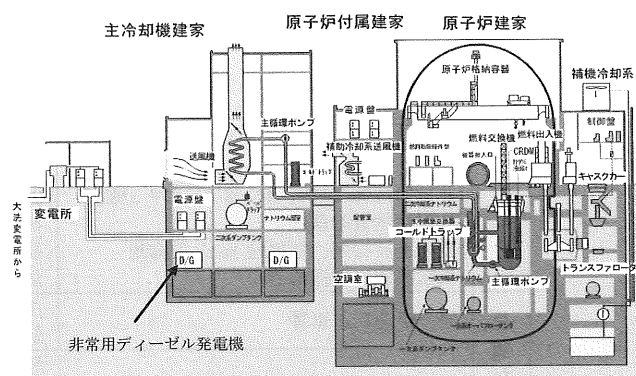


図1 「常陽」の設備概要

連絡先: 吉田昌宏、〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002、(独)日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 高速実験炉部 高速炉第2課  
電話: 029-267-4141、E-mail:yoshida.akihiro@jaea.go.jp

にかかわる管理の負担が比較的大きい。

冷却材に Na を使用している高速炉は、(1)～(3)に示した保守上の大きなメリットを有しており、これらのメリットを最大限に活用した保守に係るシステム設計と保守方策により、高い保守性を発揮できる。

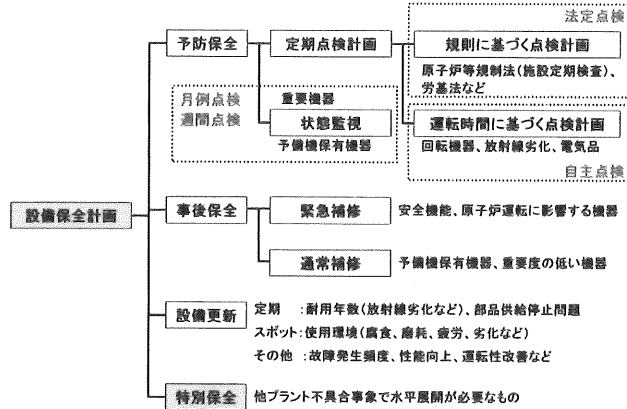


図2 高速実験炉「常陽」の保全活動

「常陽」では、安全上の重要度分類に基づき予防保全／事後保全の分類を行い、文部科学省が行う施設定期検査を中心に図2示す保全活動を展開している。重要度分類では、「発電用軽水型原子炉施設の重要度分類」指針を参考に、施設の安全を確保するために必要とされる安全機能を有する構築物、系統及び機器を分類するとともに、対象となった設備・機器以外でも、原子炉運転に直接あるいは間接的に影響するものを予防保全対象としている。「常陽」重要度分類と代表的な機器の例を表1に示す。

一例として、2009年度の原子炉施設保安規定に基づく年間保守計画書の記載項目を表2に示す。こ

で、検査数は燃料取扱系が最多であるが、これは、新燃料貯蔵設備、格納容器、原子炉容器、使用済燃料貯蔵設備への集合体の搬出入に個別の機器を使用することに加え、取扱中一貫して集合体を視認できないこと、Naに浸漬させた状態で取り扱うため個々の機器にバウンダリ確保と温度制御が必要であること及び放射性の付着NaやNa蒸気への対策が必要なこと等による。

同じNa取扱系ではあるが、冷却系については前述の通り保守の負担が小さく、主な検査が起動前の作動確認であることから、保守業務全体に係る比重は小さい。Naは、融点が98℃、沸点が881℃と高く、常圧の広い液体温度領域を持っているので冷却系は低圧(10数kg/cm<sup>2</sup>以下)であり、また、ステンレス鋼との共存性に優れているため、水を使用する場合と比較して腐食が格段に小さい。さらに「常陽」では、運転初期からNa中の不純物である酸素濃度を1～2ppmと極めて低い値に維持しており、これまで、構造材のサーベイランス試験、循環ポンプのメンテナンスや冷却系改造工事を通じ、その健全性を確認してきた結果、Na冷却型高速炉特有の経年事象であるNa環境効果、高速中性子照射効果、高温環境における疲労、クリープについて、設計寿命中間題となることはないことを確認している。

計測制御系には、Na冷却型高速炉特有の計測機器として、Naの導電性を利用した電磁流量計(鞍型コイル式及び永久磁石式)や誘導型Na液面計、圧力伝達媒体にNaKを使用し、冷却系への混入時にも影響を与えない構造としているNaK封入式圧力計等がある。これらは、案内管を用いるなどしてNaと非接触で計測を行っており、一般的な電氣的劣化を除き良好な保守実績を有している。また、Na漏えい検出器には、主に接触式のものを使用していることから、検査対象が1次系216ユニット、2次系59ユニット

表1 「常陽」の重要度分類例

	機器の安全機能	対象機器例
I	原子炉冷却材バウンダリ、炉心形成 原子炉緊急停止、未臨界維持 崩壊熱除去、冷却材液位確保 放射性物質閉じ込め機能 上記作動に必要な補助機能	原子炉容器、炉内構造物、1次冷却系 制御棒、制御棒駆動機構・案内管 1次主循環ポンプ、ポニーモータ、安全容器 格納容器、アンユラス排気・非常用換気設備 安全保護系、非常用ディーゼル発電機(D/G)、無停電電源設備
II	原子炉冷却材内包機能 放射性物質保持機能 燃料取扱、使用済燃料冷却機能 事故後プラント状態把握機能	オーバーフロー系、1次Na純化系、回転プラグ、1次Arガス系 1次Na充填ドレン系、気体廃棄物処理系、水冷却池 燃料取扱設備、使用済燃料取扱設備 原子炉制御設備
III	冷却材循環、流量配分機能 プラント計測機能、外部電源供給機能 非放射性Na保持、カバーガスバウンダリ機能 放射性物質貯蔵機能 出力上昇抑制、放射性Na火災抑制 異常事象の把握機能	1次及び2次主循環ポンプ関連設備 プロセス計装(安全保護系以外)、一般電源系 2次Na純化系、2次充填ドレン系、2次Arガス系 液体廃棄物処理設備、アルコール廃液設備 制御棒引抜き阻止、格納容器雰囲気調整系、消火設備 放射線監視設備、燃料破損検出設備、プロセス計装
分類なし	原子炉運転に影響	主送風機関連機器、廃棄物処理建屋空調設備 補機冷却系統(補機系、空調系、D/G系)、圧縮空気供給設備
	原子炉運転に間接的に影響	原子炉附属建屋・主冷却機建屋・使用済燃料貯蔵建屋空調設備 予熱ヒータ設備、予熱室素ガス系、Ar、N <sub>2</sub> ガス供給系 脱塩水供給設備、メンテナンス設備、ボイラ設備

と多数に及ぶが、ガスサンプリング式のものと比較して構造が単純で可動部もないことから、定期的な部品交換もなく、保守の負担は小さい。

表2 「常陽」年間保守計画書記載項目(2009年度)

系統	分類	計		
		施設定期検査	施設定期自主検査	自主検査
燃料取扱系		13	15	47
冷却系		11	13	11
計測制御系		9	17	8
放射性廃棄物の廃棄施設		7	3	45
放射線管理施設		2	8	22
原子炉格納施設		10	7	11
非常用電源・その他附属施設		5	5	48
計		57	68	192

### 3. 高経年化対策

「常陽」では、炉規法の規定に基づき、平成17年に高経年化に関する評価を実施し、その結果を基に中長期保全計画を策定した。高経年化評価にあたっては、「常陽」に設置されている主要な設備、機器を機器種別毎に分類し、更に構造(型式、設置方式)、使用環境(使用条件、内部流体)、材料等によりグループ化を行い、「常陽」において考えられる経年変化事象を抽出した。抽出した経年変化事象は、放射線劣化、ナトリウム環境、冷却水環境及び大気環境における腐食、磨耗、浸食、熱時効、クリープ疲労、疲労、応力腐食割れ、絶縁劣化、一般劣化であり、これらに対して、代表となるべき評価対象機器等を選定し、実績調査を行った。

調査を通じ、高速炉特有のNa環境、高速中性子照射環境、高温環境下における熱時効、疲労、クリープについては、設計寿命期間中間題ないことが確認でき、定期的に分解点検を実施する際の部品交換などの一般劣化を除き、定期的な監視、一部更新等が必要となる経年変化事象は、放射線劣化、冷却水及び大気環境による材料の腐食・侵食、絶縁劣化にほぼ集約された。

以上の結果を踏まえ、最終的に安全機能上問題となるような経年変化傾向はないことを確認するとともに、定期的監視等が必要として抽出された機器について137件からなる中長期保全計画を策定した。2005年の計画策定以降、これまでの実施件数を表3に示す。

現在、「常陽」では、原子炉内に設置した実験設備のトラブルにより原子炉を起動できない状態であり、原子炉運転状態でなければ状態監視を行えない1項目(表3の短期一般劣化項目)を除き、計画通り状態監視とそれに伴う高経年化対策を進めてきた。これより、経年劣化により対策を必要とした項目は、一般劣化を除けば、腐食(冷却水及び大気環境によ

る)と絶縁劣化に集中していることが確認できた。

表3 中長期保全計画に基づく高経年化対策実績

系統	分類	定期		短期		中長期		不定期		合計	
		計画	実施	計画	実施	計画	実施	計画	実施	計画	実施
放射線劣化		—	—	1	1	7	0	3	0	11	1
腐食		6	6	15	15	12	2	2	0	35	23
磨耗・侵食		1	1	2	2	—	—	—	—	3	3
絶縁劣化		—	—	9	9	22	11	—	—	31	20
一般劣化		—	—	6	5	51	20	—	—	57	23
合計		7	7	33	32	92	33	5	0	137	72

定期：定期的に実施 短期：2009年度までに実施 中長期：2014年度までに実施  
不定期：監視を通じ環境変化等が確認された場合実施

### 4. まとめ

「常陽」では、重要度分類に基づき、これまでの経験・知見を反映して、効率的・効果的な保全計画を策定して30年以上にわたり保守業務を展開してきた。その結果、系統が複雑で遠隔操作に確実性が求められ、放射性Na付着等が伴う燃料取扱系の保守業務の比重が大きいものの、Na冷却系に関しては、保守範囲が駆動部等の冷却材に接しない部分に限られていることに加え、Naの純度管理を適切に行うことにより、腐食に起因する保全活動も負担とならないことが実証された。

また、高経年化に関する評価を行い、中長期保全計画を策定し、これに基づく保全業務を展開した結果、主な経年劣化事象は、冷却水及び大気環境による材料の腐食・侵食、絶縁劣化によるものであり、高速炉プラント特有のものはないことが確認された。

### 参考文献

- [1] 伊藤他, “連載講座 高速炉の変遷と現状 第6回 日本的高速炉開発の歴史(1)”, 日本原子力学会誌, Vol.50, No.1, pp44~79, 2008
- [2] 砂押他, “高速増殖炉工学基礎講座 12.運転と保守(その2)”, 日本工業新聞社発行「原子力工業」, 第37巻, 第8号, pp76~49, 1989
- [3] 実験炉部, “特集「常陽」20周年 IV.高速炉の運転管理及び保守技術の開発”, 動燃技報 No.104, pp43~58, 1997
- [4] 磯崎他, “プラント改造設計と冷却系機器の交換”, サイクル機構技報 No.21, pp49~61, 2003
- [5] 磯崎他, “総合講演・報告 11「試験研究炉における定期的な評価」高速実験炉「常陽」の定期的な評価”, 日本原子力学会 2006年秋の大会