

# 高速増殖原型炉もんじゅの点検期間に関する課題の分析 ～(1) プラントの運用方法に関する分析～

Analysis of issues related to maintenance period of the fast breeder prototype reactor Monju

～(1) Analysis of plant operation for maintenance of cold shutdown Monju～

原子力機構	橋立 竜太	Ryuta HASHIDATE	Member
原子力機構	豊田 晃大	Kodai TOYOTA	Member
原子力機構	高橋 慧多	Keita TAKAHASHI	Non Member
原子力機構	矢田 浩基	Hiroki YADA	Non Member
原子力機構	高屋 茂	Shigeru TAKAYA	Member

## Abstract

In order to achieve both safety and economic efficiency of a nuclear power plant, it is necessary to realize rational maintenance based on characteristics of the plant. The fast breeder prototype reactor, Monju, spent most of the year for the maintenance. It is important to identify causes of the prolonged maintenance of Monju and to investigate countermeasures for implementation of rational maintenance of a next fast reactor. In this study, causes of the prolonged maintenance of Monju during reactor cold shutdown were investigated based on the plant operation of Monju. In addition, proposals for the maintenance optimization idea of a next generation fast reactor were presented to address the revealed issues.

## Keywords:

Fast reactor, Monju, Maintenance, Sodium, Diesel generator, Maintenance optimization

## 1. はじめに

原子力発電所の安全性と経済性を両立させるためには、プラントの特徴を踏まえた合理的な保全を実現する必要がある。

研究開発段階発電用原子炉である高速増殖原型炉もんじゅ（以下、もんじゅ）も、平成21年1月の保全プログラム導入以降、実用発電用原子炉並みの保全が要求された。平成22年8月の炉内中継装置の落下事故以降プラント停止期間が続いていたもんじゅであったが、プラント停止中においても、燃料が炉心に装荷された状態であり、燃料の崩壊熱を除去するため、低温停止中の徐熱機能を確保する必要がある。もんじゅの低温停止中の特徴として、冷却材であるナトリウムが常温で固体であるため、

徐熱機能を確保するためにはヒータにて200℃に昇温し冷却材を循環させる必要がある。そのためもんじゅでは低温停止中の状態でも付帯設備も含め多くの設備が稼働状態で設備の保全を行ってきた。またその保全に要する期間は長期化していた。

もんじゅでの経験を次世代の高速増殖炉に活かし、合理的な設計や保全を実現するためには、もんじゅの点検期間が長期に及んだ要因を分析し、課題を整理するとともに、その対策について検討する必要がある。

もんじゅの保全に要する期間の長期化の要因としては、大きく作業物量に関するものと個々の作業に要する時間に関するものが考えられる。本報告では、個々の作業に要する時間について分析した結果及び保全最適化の案を報告する。もんじゅの作業物量に関する分析については、「高速増殖原型炉もんじゅの点検期間に関する課題の分析～(2) 保全計画の分析～」[1]にて報告する。

連絡先: 橋立 竜太  
〒311-1393 茨城県大洗町成田町4002番地  
日本原子力研究開発機構  
E-mail: hashidate.ryuta@jaca.go.jp

## 2. もんじゅの概要

もんじゅの主な仕様を Table 1 に、概要図を Fig.1 に示す。主冷却系は独立した3ループ（A ループ、B ループ及びC ループ）で構成されている。炉心で発生した714MW の熱は、1 次ナトリウム冷却材（1 ループ当たりの流量は5,100t/h×3 ループ）で熱輸送され、中間熱交換器を介して非放射性的の2 次ナトリウム冷却材（1 ループ当たりの流量3,700t/h×3 ループ）に伝達される。この熱はさらに蒸気発生器（分離貫流ヘリカルコイル型）で2 次ナトリウム冷却材から水・蒸気への熱交換を行い、ここで発生した蒸気（温度483℃、圧力12.5MPa（127kg/cm<sup>2</sup>）、3 ループ合計の全蒸気量約1,100t/h）で発電機の蒸気タービンを駆動し発電する。

Table 1 Main specification of MONJU

原子炉の形式	ナトリウム冷却高速増殖原型炉
熱出力	714 MW
電気出力	280 MW
燃料の種類	プルトニウム・ウラン混合酸化物

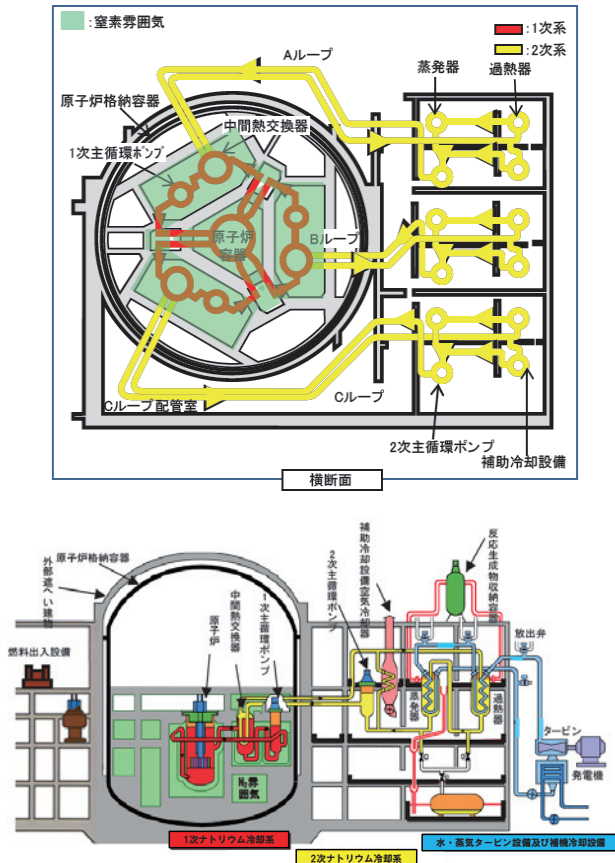


Fig.1 Outline of Monju

低温停止中は、原子炉容器内に制御棒が挿入されているため、制御棒駆動機構や中性子計装などの炉心関係の設備や水・蒸気タービン設備は休止しており、補助冷却設備の空気冷却器により原子炉容器内に有する燃料を冷却する。また、原子炉容器及び1次ナトリウム冷却系設備が設置されている部屋は、1 次ナトリウム冷却材漏えい時のナトリウム火災の防止のため、低酸素濃度の窒素雰囲気環境を維持している。

## 3. 分析方法

本研究ではまず、もんじゅで実際に運用されたプラント工程を基に、主要な点検にどのようなものがあり、点検を実施するために必要なプラント操作（以降制約条件と記載）にどの程度日数が必要であったか調査・分析する。分析の対象は、平成29年度に運用されたプラント工程とした。平成29年度の工程を対象とした理由は、平成30年4月からもんじゅは廃止措置に移行しプラントに要求される保全内容も大きく変化しているため、廃止措置移行前の保全計画に基づき保全を実施してきた最新の情報を用いるためである。また、平成27年12月に日本原子力研究開発機構のオールジャパン活動にて保全計画は見直しが行われ[2]、廃止措置に移行する以前に見直された保全計画にて運用された時期が平成29年度であることも対象とした理由である。

次に、主要な点検の中でも特に工程への影響が大きいことディーゼル発電機設備の点検に着目し、もんじゅ（高速増殖炉）でのディーゼル発電機設備の設備要求、点検の制約条件の必要性、保全計画の点検項目、実施された点検の日数等を調査・分析する。

## 4. プラント工程に関する分析結果

平成29年度のプラント工程の概略図を Fig.2 に示す。ここで、図中の「セル室」は原子炉容器及び1次ナトリウム冷却系設備が設置されている窒素雰囲気部屋を示し、「D/G」はディーゼル発電機設備、「RCW」及び「RCWS」はそれぞれ原子炉補器冷却水系及び原子炉補器冷却海水系を示す。Fig.2 より、ループ毎にナトリウムドレンが実施され、各ループの主要な点検が実施されていることがわかる。また、これらのループ毎の点検の中にはクリティカルと定義される点検があり、点検に必要なナトリウムドレンの期間を決める上で重要な点検である。平成29年度の工程では、ディーゼル発電機設備の点検が、全てのループの点検でクリティカルとして挙げられている。

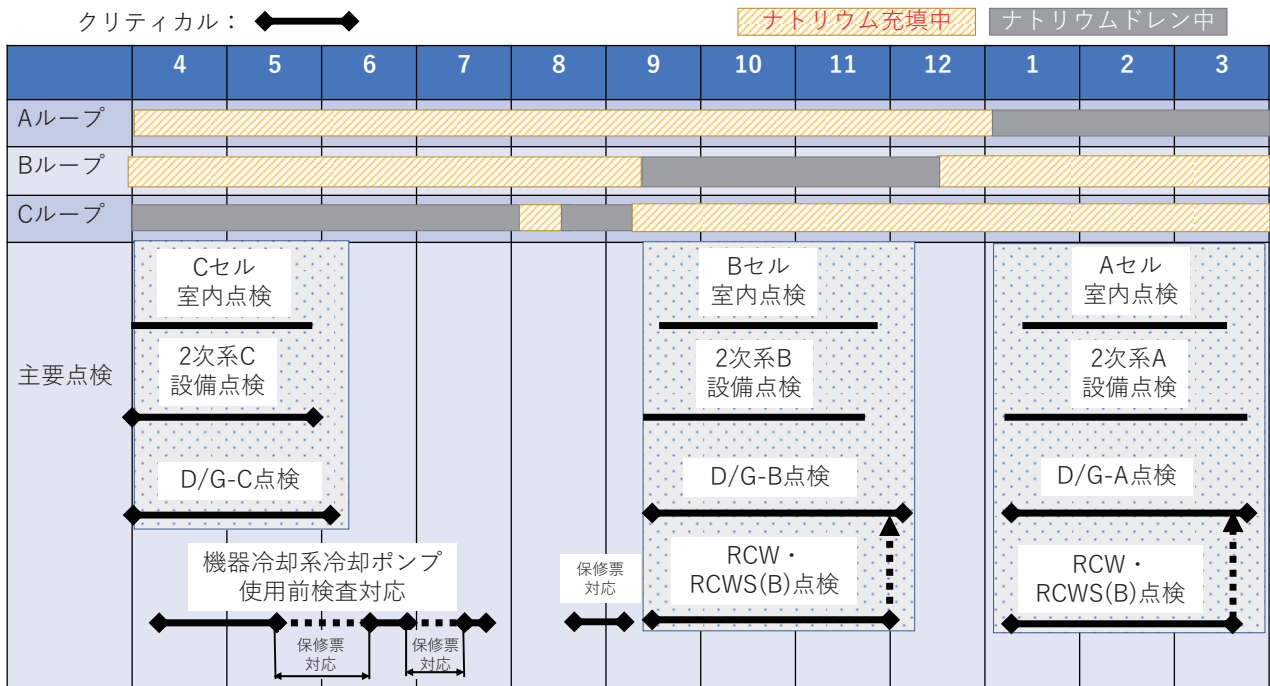


Fig.2 Plant operation history (2017)

主要な点検を実施するためにはナトリウムドレン等の制約条件が必要であり、その操作のために作業期間を要したと考えられる。そこで制約条件に必要な日数について分析を行った。

ナトリウムドレンを含む主要な点検を開始するまでのフローを Fig.3 に、主要な点検復旧後ナトリウムを充填し冷却材循環ポンプ起動するまでのフローを Fig.4 に示す。尚、フローに記載の日数は平成 29 年度の実際の操作期間を示す（休日の期間や、トラブル等による操作期間の延長は含まない）。Fig.3、Fig.4 より、セル室内点検を行うための「床下空気置換」や RCW・RCWS、DG の点検を行うための「D/G 待機除外」の制約条件は、ナトリウムドレン後にプラント操作や保持時間が必要であり、点検期間を長期化させる要因となることが分かった。このことは、次世代高速増殖炉設計に当たり、主要な点検の制約条件の合理化（制約条件期間の短縮や制約条件が不要になるような設計の反映）、主要な点検の合理化（期間の短縮）が、保全の合理化に有効な手段であるといえる。

具体例として、平成 29 年度のプラント工程の中で特にクリティカルとして扱われていたもんじゅのディーゼル発電機設備の点検の場合、A 号機で点検前後に 12+9=21 日、B、C 号機で 9+9=18 日必要なことがわかり、年間でみると、18+18+21=57 日（約 2 か月）点検のためのプラント操作期間が必要であった（Fig.5）。

次節では、3 機あわせて制約条件に必要な期間に年間で約 2 か月要し、平成 29 年度のプラント工程の中で 3 基と

もクリティカルとして取り扱われているディーゼル発電機設備点検に着目し、もんじゅ（高速増殖炉）のディーゼル発電機設備の機能要求、点検の制約条件の必要性、保全計画の点検項目、実施された点検の日数等を調査し、点検の長期化の要因を分析する。

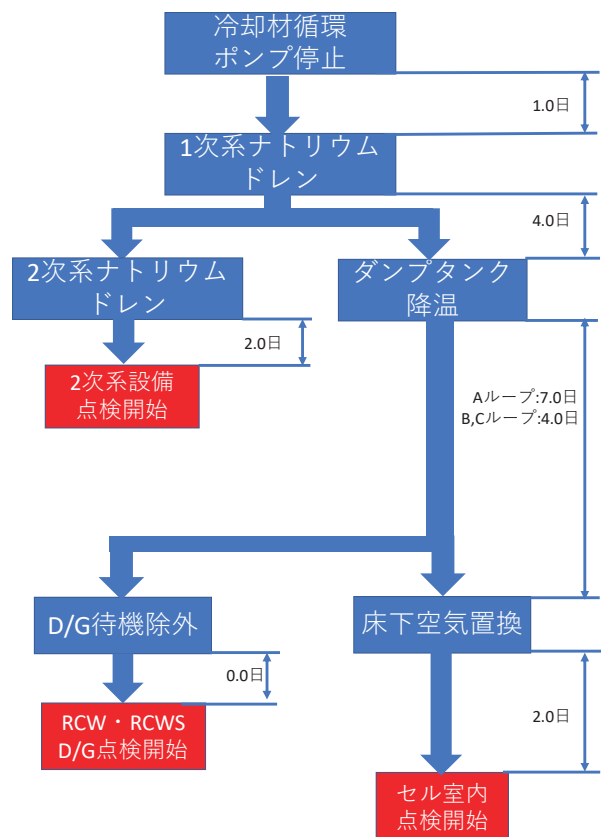


Fig.3 Flow chart of plant operation before maintenance

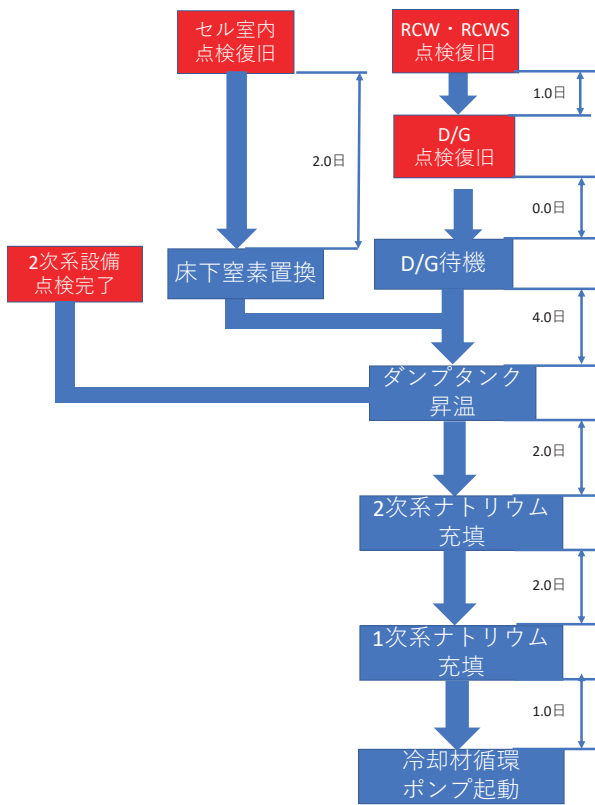


Fig.4 Flow chart of plant operation after maintenance



Fig.5 Preparation period for D/G inspection

## 5. ディーゼル発電機設備に関する分析結果

### 5.1 もんじゅのディーゼル発電機設備の機能要求

もんじゅでは外部電源喪失に対して、原子炉を安全に停止し、かつ、原子炉停止後の冷却を確保できる設計としてディーゼル発電機設備を設けるとともに、短時間の全動力電源の喪失に対しても炉心の崩壊熱及び残留熱を除去できる自然循環徐熱能力を持つ設計がなされている。

もんじゅのディーゼル発電機設備はFig.6の単線結線図に示すように各々の非常用母線と対応しており、1系統の単一故障がしても残る他の系統で工学的安全施設に関する補機や発電所の保安に必要な非常用補機への電力を供給し安全性を確保できるようにするため、互いに分離、独立した3系統で構成されている。

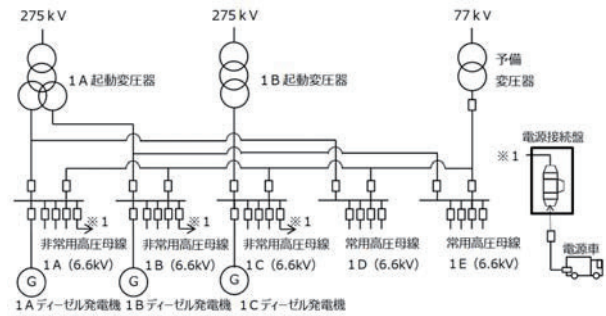


Fig. 6 skeleton diagram[3]

### 5.2 ディーゼル発電機設備点検の制約条件の分析

Fig.3のフローで示すように、もんじゅのディーゼル発電機設備の点検を実施するためには、ディーゼル発電機を待機除外する必要があり、そのためにナトリウムドレン及びナトリウム降温が必要とされている。5.1章で述べたディーゼル発電機設備の運転上の制限は原子炉停止後の冷却を確保するための冷却材循環ポンプを停止した時点で不要となるが、もんじゅの運用上の制約として冷却材であるナトリウム特性を考慮し、ナトリウムドレン後の降温後にディーゼル発電機の待機除外が行われている。もんじゅでこのような措置が行われている理由は、液体ナトリウムのナトリウム火災の防止のためである。冷却材であるナトリウムは空気と触れると発熱反応を起こすため[4]、ナトリウム漏えい検出器による早期発見及び対処(消火)が必要である。ナトリウムドレン中に外部電源喪失事象が発生した場合にナトリウム漏えい検出器の機能を確保し早期発見及び対処を実施するために、ナトリウム降温後にディーゼル発電機の待機除外が行われている。

### 5.3 ディーゼル発電機設備点検の保全計画の分析

もんじゅのディーゼル発電機設備に対してどのような点検項目が実施されているか把握するため、保全計画の項目についても分析を行った。もんじゅの保全計画の対象は、平成29年度に運用されてきた保全計画を対象とした。

ディーゼル発電機設備の点検タスク数(点検の項目数)は約1600タスクあり、点検の項目には巡視点検、外観点検、機能・性能試験(特性試験)、簡易点検、分解点検、開放点検、交換等の項目がある。約1600タスクの内約200タスクは事後保全(Break Down Maintenance (BDM))で管理されている。

ディーゼル発電機設備の点検の内、半数以上の 744 タスクの点検が 1 年毎に実施されている。1 年毎の点検項目には、外観点検や機能・性能試験等の簡易的な点検が大多数を占めるが、分解点検や開放点検等の点検項目も含まれている。16M の分解点検や開放点検の対象を Table.2 に示す。

Table.2 に示すように、ディーゼル発電機本体の分解点検、開放点検のみではなく、冷却器や始動弁等のディーゼル機関本体に付属された設備の分解点検や開放点検が毎年計画されていることがわかる。

**Table 2 The restricting conditions of the maintenance**

点検項目	機器名称
分解点検	ディーゼル発電機設備 ディーゼル機関 A,B,C (クランク軸)
	ディーゼル発電機設備 ディーゼル機関 A,B,C (カム・ローラ・カム軸)
	ディーゼル発電機設備ディーゼル機関 A,B,C (始動弁)
	ディーゼル発電機設備ディーゼル機関 A,B,C (始動空気分配弁)
	ディーゼル発電機設備機関付動弁注油タンク A,B,C
	動弁注油フィルタ A,B,C
	動弁注油 2 連フィルタ A,B,C
開放点検	ディーゼル発電機設備 ディーゼル機関 A,B,C (空気冷却器)
	ディーゼル発電機設備清水冷却器 A,B,C
	ディーゼル発電機設備潤滑油冷却器 A,B,C
	ディーゼル発電機設備空気だめ (自動) A,B,C
	ディーゼル発電機設備空気だめ (手動) A,B,C
	ディーゼル発電機設備機関付動弁注油タンク A,B,C
	ディーゼル発電機設備潤滑油フィルタ A,B,C
	ディーゼル発電機設備燃料フィルタ A,B,C

#### 5.4 ディーゼル発電機設備点検の実績の分析

もんじゅで実際に実施された平成 29 年度のディーゼル発電機設備-A の点検を調査、分析した。なお、平成 29 年度は、A、B、C の 3 機とも点検は実施されているが点検項目に大きな相違はないため代表として 1 機分の点検実績を分析した。

ディーゼル発電機設備-A の点検は、平成 28 年 1 月 25 日にディーゼル発電機設備の待機除外が行われ点検が開始され、平成 28 年 3 月 23 日に復帰している。作業期間は約 60 日 (2 か月) であった。

平成 29 年度点検実績に基づくと、1 機分で約 60 日 (2 か月) 必要であり、年間 (3 機) で考えると 60 日×3 回=180 日 (約 6 か月) 点検期間が必要になる。

### 6. ディーゼル発電機設備の点検に関する分析から得られた保全最適化に関する考察

5 章のディーゼル発電機設備の点検に関する分析で得られた結果から、次世代高速増殖炉の合理化に寄与するディーゼル発電機設備の保全最適化の方法について考察

した。

#### 6.1 制約条件の合理化

ディーゼル発電機設備点検の制約条件であるディーゼル発電機の待機除外の合理化の案を提案する。

##### ① ディーゼル発電機待機除外の実施時期の変更

5.2 章よりもんじゅでは、液体ナトリウムのナトリウム火災の防止を考慮し、ナトリウム降温後にディーゼル発電機の待機除外を実施している。ナトリウム火災の拡大防止対策もしくはナトリウム火災の発生温度やナトリウム漏えいの発生可能性の評価をすることで、Fig.3 の循環ポンプ停止後速やかにディーゼル発電機の待機除外が可能になり、制約条件の合理化に有効である。

##### ② 高速増殖炉の全交流電源喪失に対するディーゼル発電機設備の機能要求の変更

5.1 章よりもんじゅでは、短時間での外部電源喪失に対して、ディーゼル発電機設備により原子炉停止後の冷却性能を確保している。次世代高速増殖炉の設計に当たり、外部電源喪失事象に対する冷却性能を自然循環徐熱により確保することにより、保安規定等に定める運転上の制限は軽減されることが想定されるため、制約条件が緩和されディーゼル発電機設備の点検が工程策定のクリティカルにならない設計が可能であり、制約条件の合理化に有効である。

#### 6.2 ディーゼル発電機設備点検の合理化

1 機あたり約 2 か月の点検期間を要しているディーゼル発電機設備点検の合理化案を提案する。

##### ① 運転中保全 (オンラインメンテナンス) の導入

もんじゅのディーゼル発電機設備点検は 1 年毎に 3 機で 744 タスク以上も点検を実施しなければならないが、運転中保全 (オンラインメンテナンス) の導入により点検の時期を分散化することで点検期間の短縮に寄与することが可能である。運転中保全 (オンラインメンテナンス) については、保全学会[5]や機械学会[6]で検討が進められているため、次世代高速増殖炉の設計の際にも考慮することは、点検の合理化に有効である。

##### ② ディーゼル発電機設備の並行作業の実施

平成 29 年度のプラント工程では、ディーゼル発電機設備の各号機毎に対応するナトリウムループがドレンされ

ているため点検期間が長期化している。これはもんじゅの設置許可申請書や当時の保安規定で定める運転上の制限に、「停止時はディーゼル発電機2基以上が動作可能であること」と定められており、3機のディーゼル発電機を保有するもんじゅでは、並行作業は実施できないためである。

次世代高速増殖炉の設計の際にメンテナンス用ディーゼル発電機や電源車等の他の予備電源を導入することで、保安規定におけるディーゼル発電機に対する運転上の制限を緩和し、ディーゼル発電機設備の並行作業を可能とすることは、点検の合理化に有効である。

## 7. まとめ

もんじゅの点検期間が長期化してしまった要因を分析するため、個々の作業に要する時間に関する分析を進めてきた。

個々の作業に要する時間に関する分析は、平成29年度のプラント工程に基づき、年間のプラント運用及び工程にどのように影響したかという観点で分析を行い、制約条件の必要な主要な点検が点検期間を長期化している要因であることを確認し、制約条件の合理化や主要な点検の合理化が保全の合理化に有効な手段であることを示した。

また制約条件が必要で、さらに平成29年度の工程で特にクリティカルとして扱われているディーゼル発電機設備の点検に着目し分析を行った。もんじゅのディーゼル発電機設備は保全計画にて毎年744タスク以上の点検を実施する必要がある、3機あわせて制約条件に必要な期間に年間で約2か月、低温停止状態の点検に6か月の合計8か月以上の期間が必要であることが分かった。プラントを運転させるためには、燃料交換や原子炉起動前の検査等の期間等も考慮し十分な出力運転期間を確保する必要がある。そのため今回の分析で得られた課題を整理し、次世代高速増殖炉の設計、運転、保守の合理化に寄与する保全最適化の案を提案した。

本稿の分析では平成29年度の工程策定のクリティカルパスとして扱われているディーゼル発電機設備の点検に着目し分析を進めたが、次世代高速増殖炉の保全の合理化に向け、長期化の要因となる他の設備の合理化についても分析する必要がある。今後も原型炉であるもんじゅから得られる知見を分析することは重要である。

## 参考文献

- [1] 豊田他: “高速増殖原型炉もんじゅの点検期間に関する課題の分析(2)～保全計画の分析～”,第16回保全学会学術講演会予稿集 (2019)
- [2] 日本原子力研究開発機構: “「もんじゅ」保守管理不備に関する取組みと課題の整理”,「もんじゅ」の在り方に関する検討会 (第1回) (2015)
- [3] 日本原子力研究開発機構: “高速増殖原型炉もんじゅディーゼル発電機の維持台数について”,平成30年2月02日 日本原子力研究開発機構高速増殖原型炉もんじゅの廃止措置計画認可申請書に係る面談 (2018)
- [4] 核燃料サイクル開発機構: “ナトリウム技術読本”, JNC-TN9410 2005-011, (2005)
- [5] 日本保全学会: “国内原子力発電所における運転中保全(オンラインメンテナンス)の適用について”,原子力安全規制関連検討会 (2017)
- [6] 小林他: “運転中保全の適用検討”,原子力の安全規制の最適化に関する研究会発表会 (2010)