

PSA を援用した非常用ディーゼル発電機 機関ターニング操作廃止に関する検討について

Study about Abrogation of Emergency Diesel Generator Turning Operation using PSA

日本原子力発電（株）東海第二発電所 矢吹 健太郎

茨城県那珂郡東海村白方 1-1 日本原子力発電（株） 東海第二発電所 発電室
029-282-1211（代表）
kentaro-yabuki@japc.co.jp

This study evaluates quantitatively emergency diesel generator turning operation before start using PSA. We decide to quit turning operation by this study.

Keywords : PSA , Turning , Emergency Diesel Generator

1. はじめに

東海第二発電所は定格電気出力 1100MW の BWR5 型の発電所である。外部電源系統へは 275kV 系で 2 回線、154kV 系で 1 回線接続しており、外部電源喪失時のバックアップとして 3 台の非常用ディーゼル発電機 (DG) を備えている。

非常用ディーゼル発電機については 1 ヶ月に 1 回以上定期試験にて健全性を確認することが保安規定により求められており、定期試験手順書により機関始動前にはハイドロロック^{注 1}防止の為、ターニング操作を実施することとなっていた。

ターニング操作は約 30 分程度の非常用ディーゼル発電機の機能喪失を伴うが、定期試験実施中は当該系統を待機除外とみなさないという保安規定の条文によりターニングの実施は認められていた。

但し、ターニングの効果（メリット、デメリット）について、定量的に評価・検討した結果が無く、ハイドロロック防止という定性的な理由によりターニングを実施していた。

そこで、本検討においてターニング操作をメリット、デメリットの両面から定量的（半定量的）に評価し、ターニング操作の実施可否についての意思決定を行った。

その結果として、東海第二発電所ではターニング操作の廃止を決定した。

注 1: ハイドロロックとはシリンダ内に溜まった水分、油分により正常な圧縮ができないことをいう。

2. ターニングの効果について

表 1 に示すようにターニング操作にはプラントの安全性に対して正負両面の効果があり、定性的な評価のみでは実施の可否を判断することが難しい。

| | デメリット | メリット |
|------|------------------------|--------------------------------|
| 主効果 | 約 30 分間の DG 機能喪失を伴う。 | 機関始動前にハイドロロックの発生を確実に予見し、防止できる。 |
| 副次効果 | 定期試験において機関始動条件を緩和している。 | 非常時以外の始動において機関摺動部の磨耗を極力低減する。 |

表 1：ターニング操作の効果について

2.1 ターニングのデメリット

定期試験に伴いターニング操作を実施することの最大のデメリットは 1 ヶ月に 1 回、約 30 分間非常用ディーゼル発電機が機能喪失することである。

また、非常用機器の定期試験という観点から考えると、機関始動前に行うターニング操作は機関摺動部への予潤滑行為を含んでおり、機関の始動条件を多少なりとも緩和していることとなる^{注 2}。その為、厳密に非常時を模擬した試験とは言い切れないというデメリットも含んでいる。

注 2：但し、機関は非常時には予潤滑をしなくても問題なく始動するよう設計されている。

2.2 ターニングのメリット

ターニング操作の主たる目的はハイドロロック発生防止である。なんらかの原因（不具合）によりシリンダ内部に侵入した水分、油分を機関始動前に確実に検知し、それらによって生じるハイドロロックによるピストン、シリンダ、連接棒、クランクシャフト等の損傷を未然に防止する役割を担っている。つまり、非常時以外の始動における機関の損傷確率を低減する（＝非常用機器の信頼性向上）という面からプラントの安全性向上に貢献していたと考えられる。

また、非常時以外の始動時にはターニングにより機関の予潤滑を行うことにより、摺動部の磨耗を極力低減することも期待されていた。

3. ターニングの効果に関する定量的（半定量的）な評価結果について

これまで述べてきたように、ターニング操作には正負両面の効果があり、定性的な評価のみでは実施の可否を判断できない。

よって本検討においては PSA を援用することにより、ターニング操作が炉心損傷頻度（CDF）をどの程度増加させているか定量的に評価した。またその結果と対比させるために、ハイドロロックの発生状況を調査し、半定量的にハイドロロックの発生確率を求めた。

ターニング操作を実施することのリスク（ Δ CDF）に対するリターン（ハイドロロックの発生を防止＝ハイドロロックの発生確率がゼロ）を数値で比較した。

その結果、支払うリスクに対するリターンが有意でないことが確認されたため、東海第二発電所ではターニング操作の廃止を決定した。

3.1 ターニングのデメリットに関する定量的な評価結果について

3.1.1 PSA 評価モデルについて

本評価には出力運転時内的事象レベル 1PSA モデルを用いた。このモデルに使用した入力パラメータは、故障率データについては主として米国データ、起因事象発生頻度については主として平成 17 年度末国内運転実績データを用いている。

3.1.2 評価パラメータの選定について

本検討における評価パラメータとして 2 つのパラメータを選定した。

①条件付炉心損傷確率の増加量（ICCDP）

運転管理状態が変更となった期間が継続する間のリスク増分の積算値。保安規定で運転上の制限が課されている機器の許容待機除外時間（AOT）中のリスク増加量を評価する場合などに用いられる。

本検討ではターニング操作 1 回当たり、つまり 30 分間の DG の機能喪失による ICCDP を評価した。

$$ICCDP = \Delta CDF \times (OT/365) [-]$$

$$\Delta CDF = CDF_x - CDF_{BASE} [/\text{炉年}]$$

CDF_x : 運転管理状態に変更があった場合の CDF

CDF_{BASE} : 通常プラント運転状態における CDF

OT : 運転管理状態変更継続期間 [日]

②年間の炉心損傷頻度増分 (ΔCDF)

本検討では ΔCDF として上記①で求めた ICCDP についての DG 3 台、12 ヶ月間の積算値として用いた。つまりターニング操作を 1 運転サイクル継続した際の ΔCDF として評価した。

$$\Delta CDF = \sum_{DG=1}^3 ICCDP_{DG} \times 12 \text{ヶ月} [/\text{炉年}]$$

3.1.3 評価結果について

東海第二発電所の通常運転状態での CDF (CDF_{BASE}) は上記モデルにより以下のように評価されている。

$$CDF_{BASE} = 2.8 \times 10^{-8} [/\text{炉年}] \text{ (点推定値)}$$

本検討では 3 台の DG それぞれについて 3.1.2 で述べた①、②のパラメータに関する評価を行ったが、①の ICCDP については代表的に最も影響の大きかったものを表 2 に示す。

| | |
|--------------|--------------------------------|
| ICCDP | 1.7×10^{-11} [/1 回] |
| ΔCDF | 4.2×10^{-10} [/炉年] |

表 2 : DG ターニング操作に関する PSA の結果

3.1.4 評価結果の規制への適合性について

参考として、3.1.3 のターニング操作のリスクに関する PSA の結果について、現在規制側で検討中のリスク許容基準値案への適合性を確認した。

「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」(平成 15 年 12 月、原子力安全委員会安全目標専門部会) 及び「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について—安全目標案に対応する性能目標について—」(平成 18 年 3 月 28 日、原子力安全委員会安全目標専門部会) によると発電炉における安全目標及び性能目標について以下のように評価すべき項目と定量的な評価基準の案が示されている。

| | | |
|------|--|-----------------------|
| 安全目標 | 施設の敷地境界付近の公衆の個人の平均急性死亡リスク | 10^{-6} /年 程度 未満 |
| | 放射線被ばくによって生じ得るがんによる、施設からある範囲の距離にある公衆の個人平均死亡リスク | 10^{-6} /年 程度 未満 |
| 性能目標 | CDF (炉心損傷頻度) | 10^{-4} /年 程度 未満 |
| | CFR (格納容器機能喪失頻度) | 10^{-5} /年 程度 未満 |

表 3 : リスクの低減目標値

表 3 の CDF、CFR の性能目標を同時に満たすことが発電炉に対する性能目標の適用条件となっている。

また「原子力発電所の安全規制における『リスク情報』活用の基本ガイドライン (試行版)」(平成 18 年 4 月、原子力安全・保安院) によるとリスクの変化量及び変化割合については“リスクが有意に増加しないことを原則とする”という表現にとどまっておらず、更に“その抑制水準については、安全規制への「リスク情報」の活用経験等を踏まえて定めることとする”となっている。

更に「保安規定記載事項の妥当性評価に関する報告書」(平成 19 年 2 月、原子力安全基盤機構) によると、我が国でのリスク許容基準の検討例として

- ・待機除外 1 回当たりのリスク暫定抑制水準 :
条件付炉心損傷確率増分 ($ICCDP_0$)

- ・年間の許容リスク増分 :
年間の炉心損傷頻度の増分 (ΔCDF_0)

が示されており、具体的な基準値として表 4 のように記載されている。

| | |
|----------------|-----------------------------|
| $ICCDP_0$ | 5×10^{-7} [/1 回] |
| ΔCDF_0 | 1×10^{-6} [/炉年] |

表 4 : リスク許容基準値の検討例

本検討では一つの検討対象として表 4 のリスク許容基準値への適合性を確認した。

| 評価パラメータ | 規制側許容基準値 (案) | 東海第二発電所における DG ターニング操作のリスクに関する PSA 結果 |
|--------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| ICCDP | 5×10^{-7} [／1回] | 1.7×10^{-11} [／1回] |
| Δ CDF | 1×10^{-6} [／炉年] | 4.2×10^{-10} [／炉年] |

表 5 : PSA 結果の規制への適合性確認結果

その結果、表 5 に示す通り ICCDP、 Δ CDF それぞれについて表 4 の基準値を大幅に下回る値であり、無視し得る程度のリスク上昇であるとの結論を得た。

3.2 ターニングのメリットに関する半定量的な評価結果について

ハイドロロックの発生確率を半定量的に評価する為、国内プラントのハイドロロックの発生事例を調査した。その結果、表 6 の 2 件の事例が確認された。

表 6 の国内での現在までのハイドロロック発生状況を考えると、表 2 で示した東海第二発電所におけるターニング操作のリスクについての PSA 結果に対してハイドロロックの発生確率は同程度かそれ以下の

水準であると考えられる。

また、原因まで考慮すると東海第二発電所の DG はキリ穴加工構造ではないので、キリ穴加工ミスによるハイドロロックは発生しない。更に表 6 の 2 件ともヒューマンエラーに起因するハイドロロック事例であるため、異物混入防止の徹底、作業の品質向上等の努力により当該ヒューマンエラーの発生を抑制することが可能であり、同時にハイドロロックの発生確率を低減することが可能であると考えられる。

4. ターニング操作以外のハイドロロック防止策について

機関始動前にハイドロロックの予兆を発見し、未然に防止するにはターニング操作を実施することが一番確実な方法である。

しかし、ターニング操作以外にもシリンダ内に液体が漏れこんでいないか確認する方法が表 7 の通りあり、以前から実施されていた。

また、保全技術の向上ともあいまってターニング操作を廃止しても、ハイドロロックが起きる可能性はきわめて低いと考えられる。

| 発生事象 | ハイドロロック | ターニング時にインジケータコックより油排出確認 |
|------------|---------------------------------|--|
| 原因 | 製造時のキリ穴加工ミスにより、一部薄くなっていた箇所から漏えい | 注油ポンプ出口鋼球（逆止弁）及びシート部に異物混入し、油が連続注入されていた |
| 被害 | ・ 接続棒曲がり ・ シリンダーライナー割れ | なし (始動前に発見した為) |
| 処置 | 接続棒、シリンダーの交換 | 異物除去 |
| ターニングの実施状況 | × | ○ |

表 6 : 国内プラントのハイドロロック発生事例

| ハイドロロック防止策 | 確認頻度 | 確認し易さ | 検知の確実性 |
|------------|---|--------------------------|---|
| ターニング操作 | ○ 1回/1ヵ月 (定期試験) 但し、非常時以外の機関始動前には常時実施 | ◎ インジケータコックからの排出により確認 | ◎ 同左 |
| シリンダ浸水警報 | ◎ 常時 | ◎ 警報発報にて確認 | × ピストンの位置により検知性能が変化 (上死点にあるピストンは検知しづらい) |
| 注油装置鋼球位置 | ○ 1回/1日 (巡視) | ○ 目視により確認 | △ 潤滑油以外の漏えいには無効 |

表7: ハイドロロック防止策について

5. ターニング廃止に伴う影響について

東海第二発電所ではターニング操作廃止後、1 運転サイクル未滿しか経過しておらず、今後ターニング操作廃止による機関への影響について状態監視保全等により機関摺動部の劣化速度をはじめとするパラメータを注意深く監視していくことが必要である。また監視により劣化速度の上昇等、有意な変化が見られた場合には速やかにその変化がプラントの安全性に与える影響を定量(半定量)評価し、再度ターニングの実施可否に関する意思決定を行うことが肝要であると考えられる。

また、本論とは少しそれる話ではあるが、東海第二発電所ではターニング操作に関するヒューマンエラーにより過去に数回の非常用ディーゼル発電機の待機除外による運転上の制限逸脱を経験している。ターニング操作は夏場には室温が 40℃を超えるような劣悪な環境下で行う作業であり、また繰り返し作業も多いことからヒューマンエラーの発生し易い操作であり、潜在的に DG の信頼性を低下させる可能性があった。

更に定期検査時には所内電源切替操作時や非常用ディーゼル発電機の試運転時、DG 総合性能試験時(LOCA+LONPA 信号を同時に投入し、DG 起動後の各負荷が自動起動していく状態を確認する試験)にも機関始動前にターニング操作を行っていたことから、DG

や所内電源系がクリティカル工程となるような定期検査時には、ターニング操作廃止が定検短縮にも微力ながら貢献するものと考えられる。よってターニング操作の廃止は発電所の業務負荷低減という観点からも非常に有用であると考えられる。

6. まとめ

東海第二発電所では非常用ディーゼル発電機のターニング操作について支払うリスク(炉心損傷頻度の上昇)に対して、得られる効果(ハイドロロックによる DG の損傷を防止=非常用機器の信頼性向上)が有意でないとの判断からターニング操作の廃止を決定した。

本検討では操作廃止という結論に至ったが、最も重要な点は正負両面の影響をもたらす運転操作、作業等について定量的な検討結果に基づき意思決定を行ったという点であると考えられる。

以上