

非常用ディーゼル発電機の 24 時間連続運転試験に関する 事業者の対応方針と国外調査結果の概要

令和 5 年 5 月 25 日
技術基盤課

1. はじめに

非常用ディーゼル発電機（以下「EDG」という。）の 24 時間連続運転試験については、事業者が「施設管理 PDCA のインプットとする」として自主的に実施していた¹。

今般、事業者が令和 4 年度に計画した試験が終了したことから、原子力エネルギー協議会（以下「ATENA」という。）よりその結果について資料を受領した（参考参照）。また、原子力規制庁において、国際的な対応状況の概要についても調査を行ったことから、これらの概要について報告する。

2. ATENA より受領した資料の概要

2. 1 EDG の 24 時間連続運転試験結果

- 対象とした 18 台のうち、試験を実施した 16 台については各パラメータで異常は確認されず良好な結果となった。
- 試験中に 2 台の EDG で不具合が発生し、試験中断しているが、電源供給機能に影響しない事象であることを確認した。

表 1 試験結果一覧

会社名	プラント名	試験予定/結果	会社名	プラント名	試験予定/結果
北海道	泊 1 (A)	良好 (2021/6)	中部	浜岡 3 (A)	良好 (2022/7)
東北	女川 3 (H)	良好 (2022/1)		浜岡 4 (B)	良好 (2023/3)
	東通 1 (B)	良好 (2021/12)		浜岡 4 (H)	未実施 (4 号機起動前)
東京	福島第二 3 (B)	良好 (2022/11)		浜岡 5 (A)	試験中断 (2021/5) ⇒2023/6 に実施予定
	柏崎刈羽 6 (A)	試験中断 (2022/3) ⇒ 良好 (2023/3)		関西	大飯 2 (A)
	柏崎刈羽 7 (A)	良好 (2022/12)	中国	島根 2 (A)	良好 (2022/6)
	柏崎刈羽 7 (B)	良好 (2022/11)	四国	伊方 3 (A)	良好 (2021/5)
	柏崎刈羽 7 (C)	良好 (2022/10)	九州	玄海 3 (B)	良好 (2022/2)
北陸	志賀 2 (A)	良好 (2022/2)		川内 2 (A)	良好 (2022/4)

¹ 事業者は、令和 3 年 2 月 19 日の面談資料において、「長時間運転に関する実績は必ずしも多くないため、現状のメンテナンスの妥当性を確認及び運転実績の蓄積を目的に 24 時間運転を実施し、その結果は、各社適切に、施設管理 PDCA のインプットとする。」としていた。

2. 2 試験目的の達成状況

(1) 現状のメンテナンスの妥当性確認

- 24 時間運転中の各パラメータについて異常は確認されなかった。
- 試験中に 2 台の EDG で不具合が発生したことから試験中断し、原因調査を行ったうえで設備対策等を講じることで、EDG の信頼性向上を図ることができた。
- 各社にてメンテナンス体制毎に代表 1 台以上の 24 時間運転を実施し問題なく完了したことを踏まえると、メンテナンスの妥当性は確認できており、今後も計画的な保全を行っていくことで設備健全性は確保できる。

(2) 運転実績の蓄積

- 24 時間運転中の各パラメータについて異常は確認されなかった。
- 24 時間運転に起因する新たな劣化モードは確認されなかった。
- 今回、定期検査時の試運転と 24 時間運転実績を比較し、EDG の運転状態に有意な差がないことを踏まえると、国内 EDG は十分な運転実績を蓄積していると考えられる。

(3) 長時間運転の実績蓄積

- 今回の試験結果を踏まえると、24 時間運転の定期的な実施は不要。
- 長時間運転の実績を蓄積し、EDG の機関性能の安定性、持続性を継続して確認していくことは重要。
- 定期検査時の EDG 試運転等において、下記の条件²に従い長時間運転を計画的に実施し、継続して運転実績を蓄積する。

表 2 試験条件

運転時間	各部の温度が安定状態になった後、3～8 時間連続運転(定格 100%)。
実施頻度	・機関点検が一巡(8～10 定検相当)ごとに各社抜き取りで 1 台以上実施 ・EDG の大幅な設備改造時、等
その他	・EDG24 時間運転において、1～2 時間でパラメータが安定することを確認済み。 ・また、排気管貫通部(海外プラントにおける火災発生箇所。国内では不燃物を使用のため火災発生リスクなし)については、定格運転開始から約 3 時間で安定することを確認している。

2. 3 今後の対応方針

- 定期検査ごとの 24 時間運転は不要と考える。
- 今後、EDG の 24 時間運転に起因する新たな劣化モードや新知見が確認された場合や、現状のメンテナンスを大きく見直す(状態監視を主とした保全の導入等)際には、24 時間運転の実施について検討する。
- 定期検査時の EDG 試運転等において、長時間運転(各部の温度が安定状態になった後、3～8 時間連続運転)を、機関点検が一巡(8～10 定検相当)ごとに各社抜き取りで 1 台以上実施し、継続して運転実績を蓄積する。

² JIS B 8014:1999_ 定格回転ディーゼル機関性能試験方法

3. 国際的な試験状況の概要

原子力規制庁において、国際的に EDG の連続運転試験をどのように実施しているのかについて調査した概要を以下に示す³。

日本を含む 11 ヶ国から回答があり、24 時間以上の連続運転試験を定期的に行っている国は 9 ヶ国、実施していない国は日本を含み 2 ヶ国であった。

表 3 24 時間連続運転試験（耐久・負荷試験）の概要

番号 ⁴	実施の有無	対象 EDG	頻度
1	○	全て	54 ヶ月毎
2	○	全て	10 年毎
3	○ (72 時間)	全て	8 年毎
4 (日本)	×	×	×
5	○	全て	18 ヶ月毎
6	○	未確認	未確認
7	○	全て	18 ヶ月毎
8	○	全て	2 年毎
9	○	全て	1 年毎
10	×	×	×
11	○	全て	18 ヶ月毎

4. 今後の対応(案)

事業者が自主的に行った EDG の 24 時間連続運転試験の結果、ATENA は、3～8 時間連続運転(定格 100%)を、機関点検が一巡(8～10 定検相当)毎に各社抜き取りで 1 台以上実施するとしている。しかし、事業者は、これまで 30 分から 2.5 時間の連続運転試験(定格 100%)を定検毎に実施⁵しており、3～8 時間連続運転を 10 年以上の間隔(8～10 定検相当)で実施する意図は説明されていない。また、設置許可基準規則⁶第 12 条は、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有する安全施設は、外部電源が利用できない場合においても機能できるように求めており、同規則の解釈において、その際の短期間と長期間の境を 24 時間としていることとの関係も説明を受ける必要がある。さらに、国際的には、全ての EDG について 24 時間以上の連続運転試験を実施するのが主流である。

以上を踏まえ、連続運転試験の時間、頻度、抜き取り試験としたこと、規制要求との関係、国際的な試験内容と比較した場合の妥当性について、公開で意見を聴取することとしたい。

参考 EDG24 時間運転の実施結果について(令和 5 年 4 月 27 日面談資料)

³ Organisation for Economic Co-operation and Development, Nuclear Energy Agency, Committee on the Safety of Nuclear Installations, Working Group on Electrical Power Systems においてアンケート調査を実施

⁴ 1 つの番号は 1 つの国を示す。

⁵ 第 45 回技術情報検討会資料 4 5 - 4 - 4

⁶ 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則

EDG24時間運転の実施結果について

2023年4月27日

原子力エネルギー協議会

1. はじめに (1/2)

◆ 経緯

年月日	項目
2020年 10月29日	第43回技術情報検討会 海外でEDG24時間運転中の排気管貫通部付近で小火が発生したことを受け、EDG24時間運転の必要性について議論があり、事業者の見解を確認する方針となった。
11月25日	第40回原子力規制委員会 技術情報検討会と同様の議論。
2021年 2月4日	EDG24時間運転の実施方針決定 事業者大で検討した結果、海外の状況や国内で長時間運転の実績が必ずしも多くないという背景を踏まえ、「 現状のメンテナンスの妥当性確認 」及び「 運転実績の蓄積 」を目的として、各社メンテナンス体制毎に代表EDG1台以上を選定のうえ、24時間運転を実施することとした。
5月～	EDG24時間運転を順次実施中 (実施状況の詳細はP3参照)。

1. はじめに (2/2)

◆ 背景・目的

国内のEDGについては、以下の観点から、長時間運転に対する健全性は確保できていると考えていた。

- 各機器の点検では、劣化・故障モード等を踏まえ計画的に点検を実施し、各機器の健全性を確認している。
- 毎定期検査時の分解点検後のEDG試運転では、まず、起動前確認事項として燃料系統、冷却水系統、空気系統、潤滑油系統の各系統に問題ないことを確認し、その後、EDGを起動し、負荷を段階的に上昇させ、本体および付属系統の圧力・温度等の各種パラメータが安定するまで（約2時間）の確認により、EDGの系統全体の健全性を確認している。
- 国内原子力発電所においては、24時間以上のEDG連続運転実績があるが、何れも問題なく連続運転できている。

一方、長時間運転に関する実績は必ずしも多くないことから、「**現状のメンテナンスの妥当性確認**」及び「**運転実績の蓄積**」を目的として、各社メンテナンス体制毎に代表DG1台以上を選定のうえ、24時間運転を実施することとした。

この度、EDG24時間運転について、各社代表1台以上の実施が完了したことから、次頁以降に、**試験結果**、**試験目的の達成状況**及び**今後の対応方針**について評価・整理を行った。

2. 各プラントの試験結果について

◆ 試験結果一覧

会社名	プラント名	試験予定/結果	会社名	プラント名	試験予定/結果
北海道	泊1(A)	良好 (2021/6)		浜岡3(A)	良好 (2022/7)
東北	女川3(H)	良好 (2022/1)	中部	浜岡4(B)	良好 (2023/3)
	東通1(B)	良好 (2021/12)		浜岡4(H)	未実施 (4号機起動前)
東京	福島第二3(B)	良好 (2022/11)		浜岡5(A)	試験中断 (2021/5) ⇒2023/6に実施予定
	柏崎刈羽6(A)	試験中断 (2022/3) ⇒良好 (2023/3)	関西	大飯2(A)	良好 (2021/12)
	柏崎刈羽7(A)	良好 (2022/12)	中国	島根2(A)	良好 (2022/6)
	柏崎刈羽7(B)	良好 (2022/11)	四国	伊方3(A)	良好 (2021/5)
	柏崎刈羽7(C)	良好 (2022/10)	九州	玄海3(B)	良好 (2022/2)
北陸	志賀2(A)	良好 (2022/2)		川内2(A)	良好 (2022/4)

- 対象とした18台のうち、試験を実施した16台については各パラメータで異常は確認されず良好な結果となった。
- また、試験中に2台のEDGで不具合が発生し、試験中断しているが、電源供給機能に影響しない事象であることを確認した（詳細はP4,5参照）。
- 試験再開した柏崎刈羽6(A)については問題なく試験完了し、浜岡5(A)についても6月に実施を計画している。

3. 試験中に発生した不具合事象について（1/2）

◆ 浜岡5（A号機）

事象概要

- ✓ 定格出力運転到達から約3時間後に**排気管伸縮継手が破損した。**
- ✓ 各パラメータ（発電機出力等）に異常は確認されなかったが、**設備保護の観点から試験を中断した。**

時刻	時系列
2021/5/11 10:04	起動
10:20	並列
10:50	定格出力到達
13:40	伸縮継手(A-7)付近の保温材にバタつきを確認
14:25	伸縮継手(A-7)付近の保温材の破れおよび排ガスの漏えいを確認
14:30	停止判断
14:35	出力降下開始
14:40	停止

原因と対策

- ✓ 当該伸縮継手には、**ブローホール**が確認されており、ブローホールにより疲労寿命が低下し、**き裂の起点**となったと推定（設置後13年使用）
- ✓ 排気管伸縮継手を**全数新品へ取替済み**（放射線透過試験により、**ブローホールがないことを確認**）。今後の定期取替時には、放射線透過試験により、ブローホールがないことを確認した上で取付を行う。

不具合事象の機能影響評価

- ✓ 2018年6月5日、**浜岡5号B-D/G**において、本件と類似の「排気管伸縮継手破損事象」が発生し、LCO逸脱となったことから故障等報告書を提出。報告書の中では、排気管伸縮継手破損がD/Gの機能へ与える影響について、**伸縮継手1台が全周破損した場合においても、以下のD/G機能を満足すると評価している。**

「定格出力の維持」「定格回転数の維持」「発電機電圧確立までの時間」「燃料使用量の上限」「燃料貯蔵量7日間の確保」「負荷変動時の周波数および電圧の維持」「作業環境への影響(消防服等の着用により室内作業可能)」

以上のことから、設備保護の観点から試験は中断したものの、**長時間運転に起因しない不具合であったものと評価。**

なお、発生した不具合については、確認されたブローホールから得られた知見を踏まえて、放射線透過試験によりブローホールがないことを確認した上で取付を行うプロセスへと変更しており、EDGの信頼性向上を図ることができたと考える。

3. 試験中に発生した不具合事象について（2/2）

◆ 柏崎刈羽6（A号機）

事象概要

- ✓ 定格出力運転到達から約8時間後に**軸受部から潤滑油が漏えいした。**
- ✓ 各パラメータ（発電機出力等）に異常は確認されなかったが、**潤滑油の飛散（危険物漏えい）防止の観点から試験を中断した^{※1}。**

時刻	時系列
2022/3/17 9:07	起動
9:30	定格出力到達
17:15	軸受部からの潤滑油漏れ発生
18:52	停止判断
19:13	停止

原因と対策

- ✓ EDG発電機内部の潤滑油漏出を抑制するために設置している**Oリングが破断**したことが原因（接着剤で接着し使用する仕様であり、接着箇所破断していることを確認。設置後10年使用）。
- ✓ 調査の結果、接着剤は施工のバラつきで耐用年数が変化することが判明し、この施工のバラつきがOリング破断の背後要因にあるものと推定。
- ✓ アブラキリの仕様を**OリングからVリング^{※2}に変更**するとともに、**同型式の7A,7B,7Cについて追加で試験を実施。**

不具合事象の機能影響評価

- ✓ 油漏えい発生～EDG停止までの時間は約2時間。その間の漏出量は保守的に試算して360ccであり、**24時間の漏出量を評価すると約4.3L**となる。潤滑油系統が**機能喪失する漏えい量は約1,250L**であり、EDGの要求期間における運転継続に影響を及ぼす事象ではないと評価。
- ✓ 当該油には毒性がなく、過度に揮発する環境ではないことから、**人身災害リスクを増加させるものではないと評価。**
- ✓ 可燃物を仮置きしない運用であること、非常用空調設備があることから、**火災発生リスクは高くないと評価。**

以上のことから、油の飛散（危険物漏えい）防止の観点から試験を中断したものの、**長時間運転に起因しない不具合であったものと評価。**

なお、本試験とその後の調査で得られた施工のバラつきに関する知見を踏まえ、同一型式のDGアブラキリはVリングに設計変更することとしており、EDGの信頼性向上を図ることができたと考える。

※1 試験中断後、復旧のため直営でOリング交換を実施し試運転を行ったところ複数回油漏れが発生している。原因は最初の復旧作業時にカバーを変形させたためであり、カバーを新品に交換した上で当該DGは復旧済み。

※2 断面にV溝があり、溝部にハリガネを巻き付け固定することで接着箇所破断の際も形状保持が可能

4. EDG24時間運転の今後の対応方針について（1/3）

◆【目的1】現状のメンテナンスの妥当性確認について【達成状況評価】

- 24時間運転中の各パラメータについて異常は確認されなかった。また、24時間運転後の分解点検においても、24時間運転に影響を与えるような不具合は検出されていない（順次実施中）。
- 試験中に2台のEDGで不具合が発生したことから試験中断し、原因調査を行ったうえで設備対策（Vリングへの変更）等を講じることで、EDGの信頼性向上を図ることができた。なお、原因調査の結果、いずれも電源供給機能に影響しない事象であり、また、24時間運転を起因とする事象ではないことを確認した。試験再開した1台については問題なく試験完了しており、もう1台についても2023年6月に試験予定である。
- 現状においても、メンテナンス後のインサービス前には試運転を実施し、機関の圧力・温度等が安定した後に、種々の運転データを採取の上、これらが適正值内に入っていることを確認すると共に、これまでの運転データとの比較等を行なうことで、適正にメンテナンスが行われていることを確認している。
- 海外で発生した貫通部における火災事象について、国内プラントでは当該箇所には可燃物は使用しておらず、同様の事象は発生しないことを確認した。

各社にてメンテナンス体制毎に代表1台以上の24時間運転を実施し問題なく完了したことを踏まえると、メンテナンスの妥当性は確認できており、今後も計画的な保全を行っていくことで設備健全性は確保できると考える。なお、発生した不具合については、原因調査を行ったうえで設備対策等を講じており、今回の試験を通じてEDGの信頼性向上を図ることが出来たと考える。

4. EDG24時間運転の今後の対応方針について（2/3）

◆【目的2】運転実績の蓄積の十分性について【達成状況評価】

- 24時間運転中の各パラメータについて異常は確認されなかった。
- 各パラメータや運転状態について、現行の定期検査時（点検後）の試運転と比較しても同等であった。また、各パラメータは100%負荷到達後1時間程度で安定していた。
- 国内で試験を実施した結果、24時間運転に起因する新たな劣化モードは確認されなかった*。また、海外情報（米国プラントのOE情報）についても追加調査した結果、24時間運転で顕在化するようなEDG設備の劣化モードは確認されていない。
- 国内プラントでは、運開以降、定期検査毎に試運転を行ってきているが、今回、定期検査時の試運転と24時間運転実績を比較し、EDGの運転状態に有意な差がないことを踏まえると、国内EDGは十分な運転実績を蓄積していると考えられる。

*2件発生した不具合事象のOE情報については施設管理のPDCAに各社取り込み、反映

EDGの24時間運転に起因する新たな劣化モードは国内外で確認されていない。また、24時間運転を行った結果、現行の定期検査時（点検後）の試運転で健全性確認は十分可能であるとの知見が得られたことから、引き続き現行の定期検査時（点検後）の試運転を実施することで、運転実績は毎定検蓄積されていくものとする。一方、長時間運転により、将来発生し得る異常を検知できる可能性も確認できたことから、計画的に長時間運転を行い、運転実績を蓄積することは意味があるとする。

4. EDG24時間運転の今後の対応方針について（3/3）

◆ 長時間運転の実績蓄積について【今後の自主的取組み】

- 今回の試験結果を踏まえると、**24時間運転の定期的な実施は不要**と考えるが、**長時間運転の実績を蓄積し、EDGの機関性能の安定性、持続性を継続して確認していくことは重要**と考える。
- 「**JIS B 8014:1999 定格回転ディーゼル機関性能試験方法**」において、**連続運転試験**の項目が定められており、**事業者が考える試験目的と合致**している。

「JIS B 8014:1999 定格回転ディーゼル機関性能試験方法」より

- 目的：定格出力で連続運転を行い、機関性能の安定性、持続性を確認
- 運転時間：各部の温度が安定状態になった後、3～8時間連続運転(定格100%)

以上より、**定期検査時のEDG試運転等**において、下記の条件に従い**長時間運転を計画的に実施し、継続して運転実績を蓄積**することとする。

運転時間	各部の温度が安定状態になった後、3～8時間連続運転(定格100%)。
実施頻度	・機関点検が一巡（8～10定検相当）ごとに各社抜き取りで1台以上実施 ・EDGの大幅な設備改造時、等
その他	・EDG24時間運転において、1～2時間でパラメータが安定することを確認済み。 ・また、排気管貫通部（海外プラントにおける火災発生箇所。国内では不燃物を使用のため火災発生リスクなし）については、定格運転開始から約3時間で安定することを確認している。

5. まとめ

今後の対応方針（まとめ）

- EDG24時間運転の実施に当たって目的としていた、「**現状のメンテナンスの妥当性**」及び「**運転実績の蓄積**」は**達成された**と考えることから、**定期検査ごとの24時間運転は不要**と考える。
- 今後、**EDGの24時間運転に起因する新たな劣化モードや新知見**が確認された場合や、**現状のメンテナンスを大きく見直す（状態監視を主とした保全の導入等）**際には、**24時間運転の実施**について検討する。
- 一方で、今回の試験により、**将来発生し得る異常を検知できる可能性**も確認できた。**長時間運転の実績を蓄積し、EDGの機関性能の安定性、持続性を継続して確認していくことは重要**と考えることから、**定期検査時のEDG試運転等において長時間運転（各部の温度が安定状態になった後、3～8時間連続運転）を計画的に実施し、継続して運転実績を蓄積**することとする。