
EDG24時間運転について (案)

2023年10月5日

原子力エネルギー協議会

全体構成

◆ 目次

	項目	スライドNo
1	はじめに	2、3
2	海外における24時間運転の取組み状況	4
3	保守管理の方法・頻度の違いについて	5～8
4	保全の組み合わせと故障検知の考え方	9、10
5	メーカーとしての見解	11～13
6	電源の多重性、設備構成（国内・外の差異）	14
7	国内外のトラブル情報分析結果	15、16
8	今後の対応方針	17、18

1. はじめに (1/2)

◆ 経緯

非常用ディーゼル発電機（EDG）について、「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台以上を選定し、2021年度より、EDG24時間運転を実施した。（次ページの試験結果一覧参照）

上記取り組みに加えて、海外の状況、海外との保全や設備構成の違い、国内外のEDGトラブル事例の分析等を行い、EDGの設計を行っているプラントメーカーの見解も踏まえ、EDGの連続運転試験に対する産業界の考え方を取り纏めた。

これまでも産業界では、EDGの設備信頼性向上のため様々な取り組みを実施してきたが、今回検討したEDG連続運転試験の今後の対応方針に基づき、事業者として安全性向上に資するデータを蓄積し、更なる設備信頼性向上の取り組みを実施していく。

1. はじめに (2/2)

◆ 24時間運転の試験結果一覧

会社名	プラント名	結果/実施日
北海道	泊 1 (A)	良好 (2021/6)
東北	女川 3 (H)	良好 (2022/1)
	東通 1 (B)	良好 (2021/12)
東京	福島第二 3 (B)	良好 (2022/11)
	柏崎刈羽 6 (A)	試験中断 (2022/3) ⇒ 良好 (2023/3)
	柏崎刈羽 7 (A)	良好 (2022/12)
	柏崎刈羽 7 (B)	良好 (2022/11)
	柏崎刈羽 7 (C)	良好 (2022/10)
北陸	志賀 2 (A)	良好 (2022/2)

会社名	プラント名	結果/実施日
中部	浜岡 3 (A)	良好 (2022/7)
	浜岡 4 (B)	良好 (2023/3)
	浜岡 4 (H)	未実施 (4号機起動前)
	浜岡 5 (A)	試験中断 (2021/5) ⇒ 良好 (2023/6)
関西	大飯 2 (A)	良好 (2021/12)
中国	島根 2 (A)	良好 (2022/6)
四国	伊方 3 (A)	良好 (2021/5)
九州	玄海 3 (B)	良好 (2022/2)
	川内 2 (A)	良好 (2022/4)

※東通、福島第一、東海第二、敦賀 2、再処理施設、使用済燃料受入貯蔵施設のEDGについては、実機における24時間以上の運転実績あり。

- 対象とした18台のうち、試験を実施した15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り、運転継続可能であったことを確認した。
- 試験再開した浜岡5(A)及び柏崎刈羽6(A)については問題なく試験完了した。

2. 海外における24時間運転の取組み状況

海外においては、規制ガイドやIEEE387-2017に基づき、EDG24時間運転について規定されていることから、米国NEI（Nuclear Energy Institute）を通じて、海外事業者の24時間運転に対する取組み状況の実態調査を行った。

調査結果の概要については以下の通り。【全9社（米7社、南ア1社、英1社）】

< 法令・規格要求を“24時間”としている理由 >

“24時間”の明確な技術的根拠については確認できなかった。

また、プラントによっては24時間ではなく8時間運転を採用していることが確認された。

(24時間運転、8時間運転の実施状況)

- 24時間運転を行っている。【5社】
- IEEE387-1995に従い8時間運転が実施要求だが、24時間運転を実施している。【1社】
- 24時間運転ではなく8時間運転を行っている。【2社】
- 24時間、8時間とも行っていない。【1社】

< 法令要求以外に海外事業者が24時間運転に期待している事項 >

法令要求以外に、以下の効果も期待して24時間運転を実施していることが確認された。

- EDGが介入なしで安定した状態を維持できることを確認する。【プラントA】
- 大量の燃料が使用されるときに燃料使用量の検証を行っている。【プラントB】
- 排気ラインの吹き抜けを促進することで、機関の健全性維持に効果がある。【プラントB】
- 燃料貯蔵タンク内の燃料を循環させるのに役立つ。【プラントC】

3. 保守管理の方法・頻度の違いについて（1/4）

（1）保全計画と保全内容の比較（点検内容・点検頻度）

- ・国内の保全方式はTBMを選定し、劣化、故障モード等を考慮した点検内容・頻度を定めている。また、点検後は試運転（負荷試験）を行い、系統全体の健全性を確認している。
- ・一方、米国では多くの発電所が保全方式としてCBMを選定し、運転中もしくは停止中に保全を行っている。

国内では保守的に頻度を決めて分解点検を行っているのに対し、米国は状態監視により、分解点検が必要な部位、頻度を見極めながら点検を実施（シリンダ開放はサンプル点検）している。

点検機器	国内プラント（例）		米国プラント（例）	
	点検内容	点検頻度	点検内容	点検頻度
ディーゼル機関 （付属設備含む）	<ul style="list-style-type: none"> ・各部の分解点検 ・ガバナー点検 ・主軸受開放点検 	毎定検（部分分解） （1回の点検では1～2気筒ずつ点検を実施し、8サイクルで全気筒の点検を行っている）	状態監視※ ・潤滑油診断、振動診断等、サーモグラフィー診断 ・ボアスコープ点検、エンジン分析、ガバナー油診断 数カ月毎 2～6年毎	
	<ul style="list-style-type: none"> ・シリンダ開放点検 ・燃料噴射弁の点検・試験 ・消耗品取替 		<ul style="list-style-type: none"> ・シリンダ開放（サンプル点検） ・燃料噴射試験等 ・消耗品取替（シール材、リレー） 	10～18年毎
	<ul style="list-style-type: none"> ・各部の分解点検（フィルタ点検他） ・消耗品取替 	毎定検（全数分解）	<ul style="list-style-type: none"> ・エアフィルタ点検 ・各種フィルタ交換等 	2～6年毎
ディーゼル発電機	<ul style="list-style-type: none"> ・各部の分解点検 ・絶縁抵抗測定 ・軸受開放点検 ・発電機開放点検（固定子・回転子点検） ・消耗品取替 	毎定検（部分分解）	状態監視※ ・ボアスコープ点検 2～6年毎	
	<ul style="list-style-type: none"> ・各部の分解点検 ・消耗品取替 	毎定検（全数分解）	<ul style="list-style-type: none"> ・消耗品取替（シール材、リレー） 	10～18年毎
機能確認	<ul style="list-style-type: none"> ・試運転（負荷試験） →詳細は③にて説明 	毎定検		

※国内の一部プラントにおいても、状態監視（潤滑油診断、振動診断、サーモグラフィー診断）を実施している。

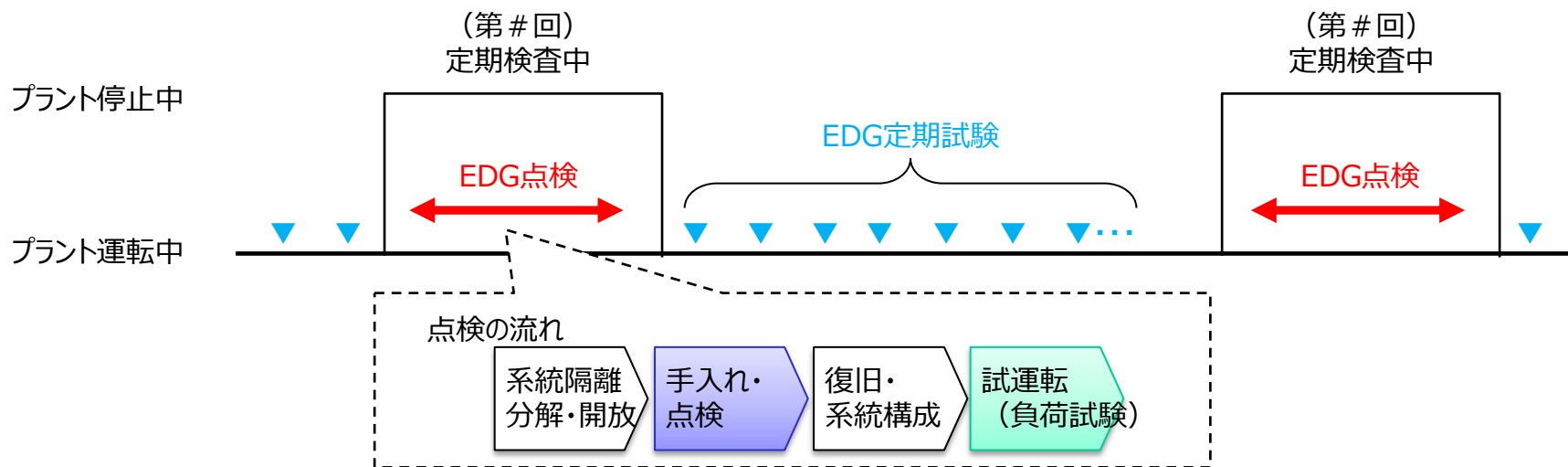
3. 保守管理の方法・頻度の違いについて（2/4）

（2）国内EDGにおける保守管理

国内におけるEDGは、安全上重要設備であることを踏まえ、予防保全による時間基準保全（TBM）を選定し、定期検査時に分解点検を実施し、分解点検後の試運転により機器の健全性を確認している。

【毎定検】

プラント運転中は定期試験（サーベイランス）による運転状態の確認を実施している。【1回／月】



① 保全計画と保全内容（点検内容・点検頻度）

下記項目を踏まえEDG機能確保のために必要な保全計画を策定している。

- a. 運転実績、事故および故障事例などの運転経験
- b. 使用環境および設置環境
- c. 劣化、故障モード
- d. 機器の構造等の設計的知見
- e. 科学的知見

3. 保守管理の方法・頻度の違いについて (3/4)

【点検内容・点検頻度の設定の具体的イメージの例】

機器	点検部位	点検周期		
ディーゼル機関	ピストン及び連接棒	8C	毎定検 部分分解	
		16C		
	クランクピン軸受	8C		
	シリンダライナ	8C		
	シリンダヘッド	8C		
	給気弁及び排気弁	8C		
	燃料噴射ポンプ	8C		
	燃料噴射弁	8C		
	燃料噴射管	1C		毎定検 全数分解
	揺れ腕装置及び動弁装置	1C		
		

●点検部位毎に詳細な点検・作業内容を設定 (例：ピストン)

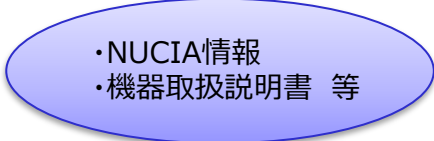
点検部位	点検内容	作業内容	頻度
ピストン及び連接棒	ピストンおよびピストンスカートの摩耗, 損傷の有無	目視点検	8C
ピストン及び連接棒	ピストンの摩耗, 損傷の有無	寸法測定	8C
ピストン及び連接棒	ピストンの付着物の有無	目視点検	8C
ピストン及び連接棒	各リングの摩耗, 損傷の有無	寸法測定	8C
ピストン及び連接棒	各リングの摩耗, 損傷の有無	取替	16C
ピストン及び連接棒	ピストンクラウン, 連接棒のき裂, 摩耗等の有無	目視点検	8C
ピストン及び連接棒	ピストンクラウン, 連接棒のき裂, 摩耗等の有無	ピストンクラウン, ピストンロッドボルトの浸透探傷検査	8C
ピストン及び連接棒	球面軸受の損傷の有無	当り面の目視点検	8C
ピストン及び連接棒	球面軸受の損傷の有無	浸透探傷検査	8C
ピストン及び連接棒	球面軸受の損傷の有無	間隙測定	8C
ピストン及び連接棒	回転機構の爪及び爪歯車の摩耗, 損傷の有無	目視点検	8C



●劣化、故障モードを考慮 (経年劣化メカニズムまとめ表／例：ピストン)

機能達成に必要な項目	点検部位	材料	想定される経年劣化事象	点検内容
発電機駆動機能確保	ピストン	合金鋼、低合金鋼、アルミニウム合金	摩耗	目視点検
			疲労割れ	目視点検
			カーボン堆積	目視点検
			腐食 (全面腐食)	目視点検
		疲労割れ (高サイクル疲労割れ)	目視点検	
		鋳鉄

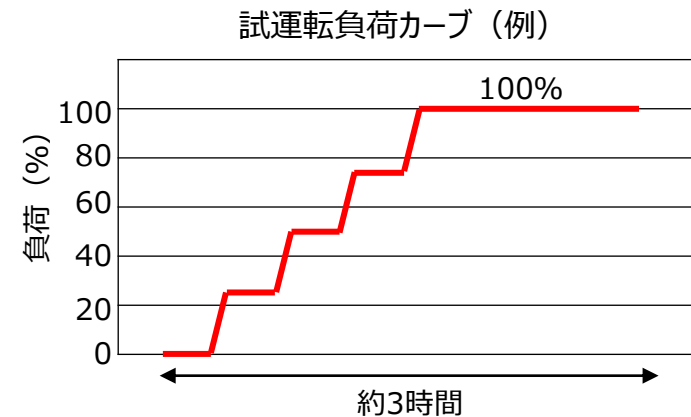
- 運転実績、事故および故障事例などの運転経験
- 機器の構造等の設計的知見 等



3. 保守管理の方法・頻度の違いについて（4/4）

② 分解点検後の試運転

分解点検後の試運転では、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の確認により、EDGの系統全体の健全性を確認している。（約3時間）



③ 定期試験の内容と頻度

プラント運転中は、以下のとおり定期試験を実施

実施頻度	1回/月
試験内容	<ul style="list-style-type: none"> EDGを起動し、負荷運転（段階的に出力を上昇させ定格出力状態とする）を行い、運転状態を確認する。 試験時間は約1～2時間

④ EDG24時間連続運転後の点検結果を踏まえた保全の有効性評価

2021年度～2023年度に実施したEDG24時間連続運転後のEDG分解点検を実施したプラントにおいて、機器の異常等は確認されておらず、保全の有効性評価により保全内容を見直した実績はない。※

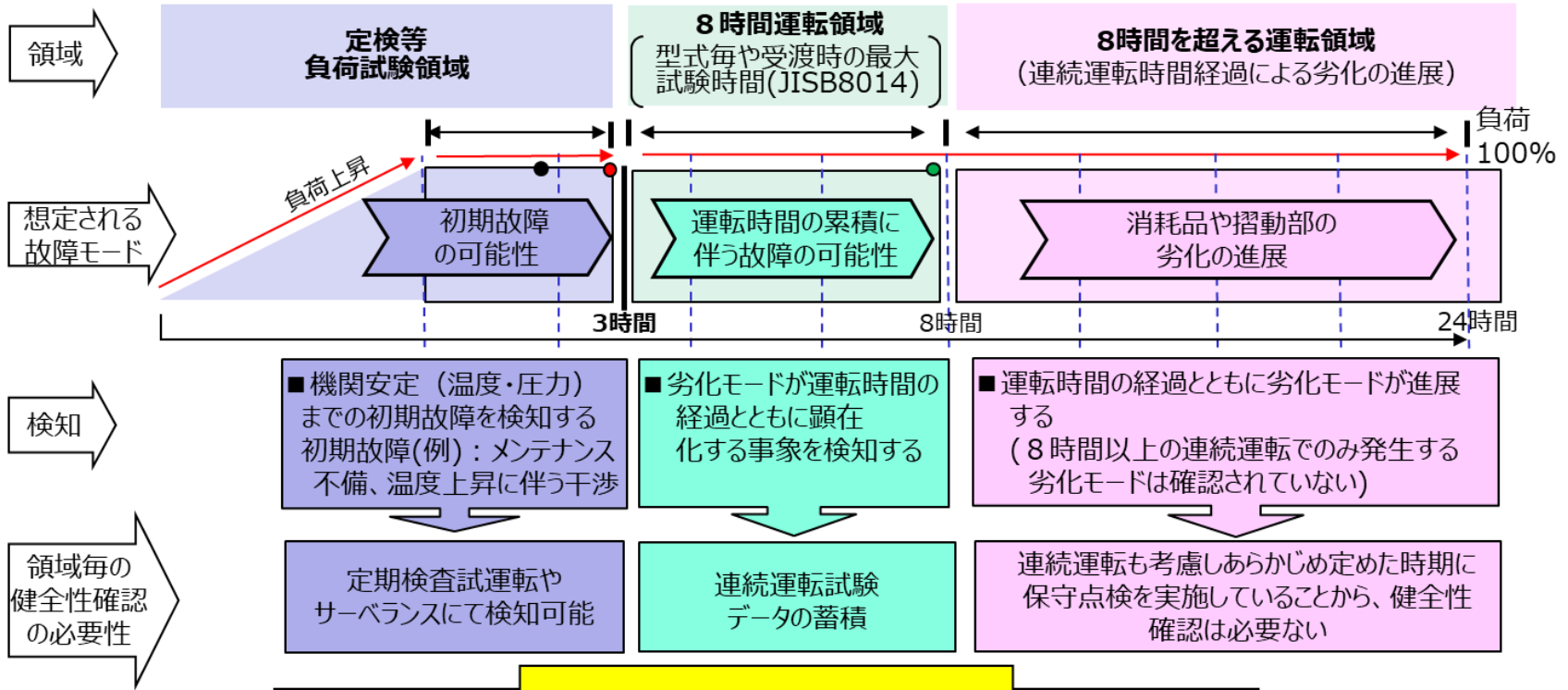
※EDG24時間連続運転時に発生した2事象（排気管伸縮継手破損事象、軸受部からの潤滑油漏えい事象）については、設計・製作に起因したものであり、ここでは、EDG24時間連続運転後の分解点検から得られた結果のみをいう。

4. 保全の組み合わせと故障検知の考え方 (1/2)

(1) 運転時間と故障検知の整理について

国内EDGの24時間連続運転試験結果、約1~2時間で運転パラメータは安定。以降の連続運転領域での変化もなく安定した運転であったことから、運転時間は主に3つの領域に分類されると考える。(下表)

- 運転パラメータ(温度、圧力等)が安定したポイント
- 浜岡5号機 (伸縮継手保温材バタつき検知: 約3時間後)
- 柏崎刈羽6号機 (軸受部潤滑油漏えい検知: 約8時間後)



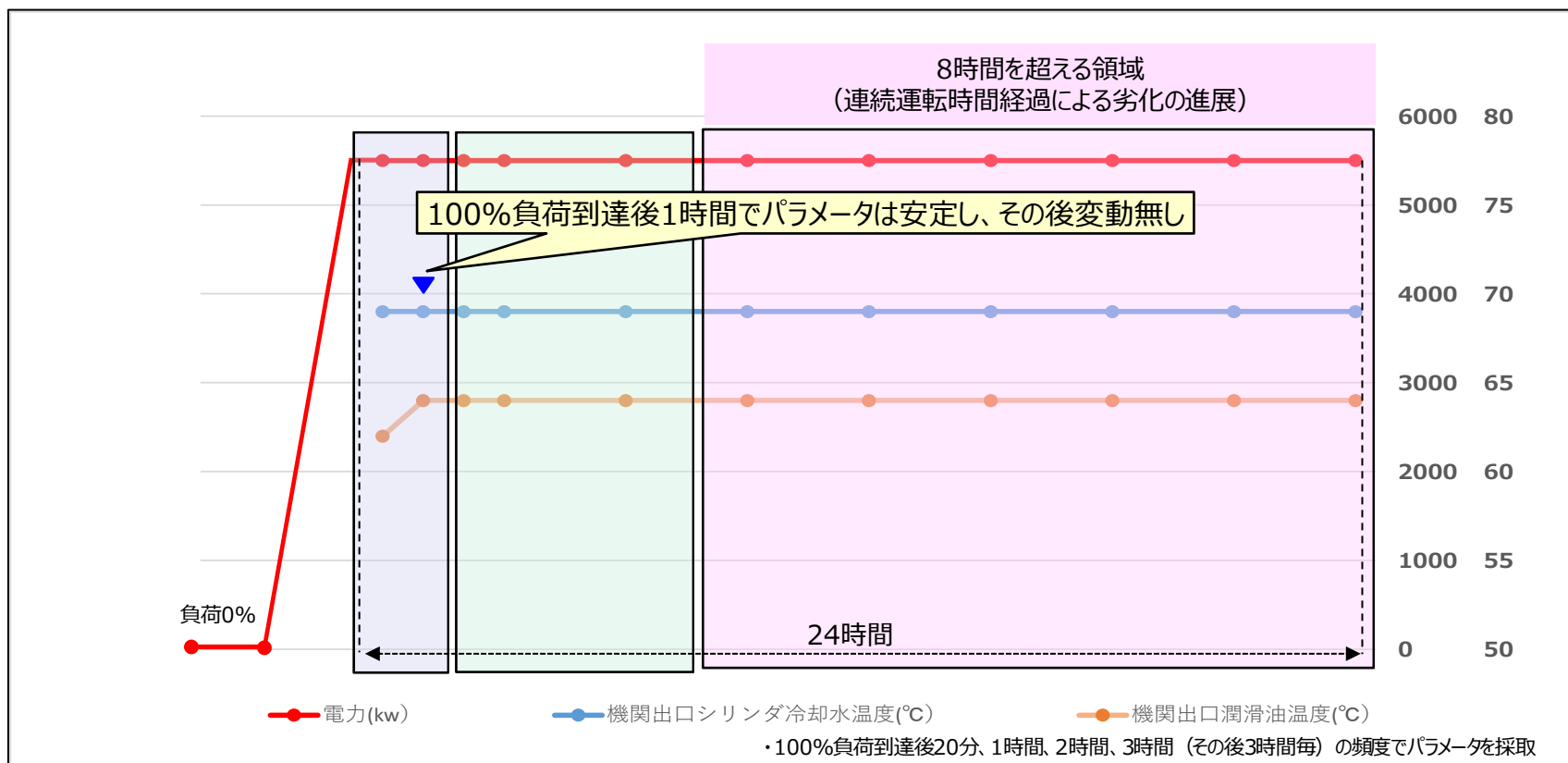
8時間を超える運転領域は、**連続運転時間増加に伴う部品の摩耗や、消耗品の劣化が進展する領域**であり、国内EDGはこれまでの**運転知見から、想定される劣化モードに対し連続運転も考慮のうえ、あらかじめ定めた時期に保守点検を実施**していることから、健全性確認は必要ないとする。

4. 保全の組み合わせと故障検知の考え方 (2/2)

(2) 24時間連続運転試験時の運転パラメータについて

- 24時間運転試験において**100%負荷到達後**、機関本体・補機類の温度・圧力・振動データ等を採取したが**約1～2時間で安定した**。
- 運転パラメータ安定後の**連続運転領域も運転状態に変化はなく、異常はなかった**。

【24時間運転時の負荷カーブおよびパラメータ】(代表例)



5. メーカーとしての見解 (1/3)

プラントメーカー及び機関メーカーの見解

◆ 原子力用DGの設計について

- 原子力用DGは、船用、発電用等の常用機関として一般産業用で実績のあるディーゼル機関を採用しており、点検、整備を前提に長時間の運転ができるように設計されている。
- エンジン性能においては、常用、非常用の使い方に影響されるものではない。
- 船用、発電用の常用機関として2,000時間毎※の整備間隔、また非常用発電としての最低保守期間である1年に対して、3～8時間の運転で確認しておけば、機関の各部品に許容される範囲内で連続運転ができるものとする。

※連続運転する一般産業用の常用機関での一般的な整備時間間隔で一番短い部分は燃料噴射弁の整備間隔

◆ 非常用DGの設計について

- 原子力施設向け非常用DGについては、機関選定時に一般産業等で実績のある機関に対し、設計要求機能確認のため、負荷運転(24h連続を含む)、無負荷運転、過負荷運転、負荷遮断、100回始動及び負荷投入等の試験を行い、要求機能が満足した機関を選定している。
- 発電所での運転においては、一般汎用のキュービクルタイプ非常用発電設備等とは異なり、非常時以外の待機状態時には始動失敗の低減や起動時熱的影響の軽減等を目的に、機関を常に暖気運転する対策等を図った設計としている。また、耐震要求の対応として、耐震評価等を実施している。

5. メーカーとしての見解 (2/3)

プラントメーカー及び機関メーカーの見解

◆ 24時間運転の必要性について

以下の理由から**24時間運転は不要**と考える。

- 一般産業向けで多数の使用実績を有し、信頼性が高いエンジンであり、**納入前に同型のテストエンジンで200時間連続運転等の複数の試験を実施**し、信頼性を確認している。
- 現状の保全においては、計画的に機関点検を実施し、**経年劣化する部品は予防保全の観点から事前に取替えている**。
- 原子力用DGは、**機関選定時試験等で始動性試験や負荷試験及び24時間運転を行っており、また、異常の傾向は概ね比較的短時間（サーバランス運転や点検後の試運転等）で顕在化するため、「サーバランス運転＋定期的な点検・部品交換」にて機能維持を図ることで、機関性能を維持できる認識**。特に機関点検後の試運転等で**機関各部の温度が安定した状態となれば、基本的にはそれ以降の機関の運転状態に変動はない**と考えている。

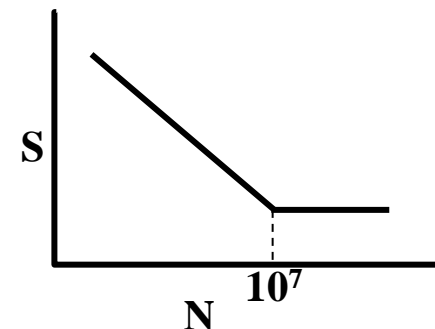
5. メーカーとしての見解 (3/3)

プラントメーカー及び機関メーカーの見解

◆ 24時間運転の必要性について (補足)

- 仮に、**8時間以上の長時間運転を実施する場合、機関の高サイクル疲労や摩耗を検証するための耐久試験**を目的とすることが想定される。
- 高サイクル疲労試験による耐久試験の場合、機関の回転数によるガス圧による繰返し数Nが10の7乗回**となったとき、**疲労限が一定の領域**に達する。

		船用2サイクル ディーゼル機関		発電機用4サイクル ディーゼル機関		鉄道用ディーゼル機関		
		rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm
回転数	rpm	80	230	450	720	1500	1800	2100
10の7乗までかかる日数	日	87	30	31	19	9	8	7
10の7乗までかかる時間	時間	2083	725	741	463	222	185	159



- 最も早く10の7乗回に達するのは2100rpmの鉄道用ディーゼル機関で7日であるが、**形式試験などでそのような連続試験は実施していない**。形式試験のある機関形式の代表機関について、形状を決める設計段階から**3次元FEMによる解析技術により構造設計**を行い、その**初号機の社内試験**にて、**部材の温度や応力を直接に計測し、材料のデータベースと照合し、疲労限以下となることを確認**しているために**長時間の連続試験は不要**であると考えます。
- 摩耗**については、形式試験のある機関形式の代表機関について、その**初号機の社内試験後、機関を開放し、摺動面の金属組織観察による摩耗形態**(凝着摩耗のような進展の早い摩耗の形態)**や実際の摩耗量により余寿命を把握**するので、**実際の時間をかけて摩耗させることはない**。

6. 電源の多重性、設備構成（国内・外の差異）

- ◆ 新規制基準において、国内の非常用交流電源設備は、以下の通りD/Gだけでなく他の交流電源設備も備えている。
- ◆ 設置許可基準、技術基準により、D/GとD/G以外の非常用電源は可能な限り、多重性又は多様性・独立性・位置的分散を図る要求があり、満足するように設計・製作されている。

<交流電源設備>

◎新規制により設置

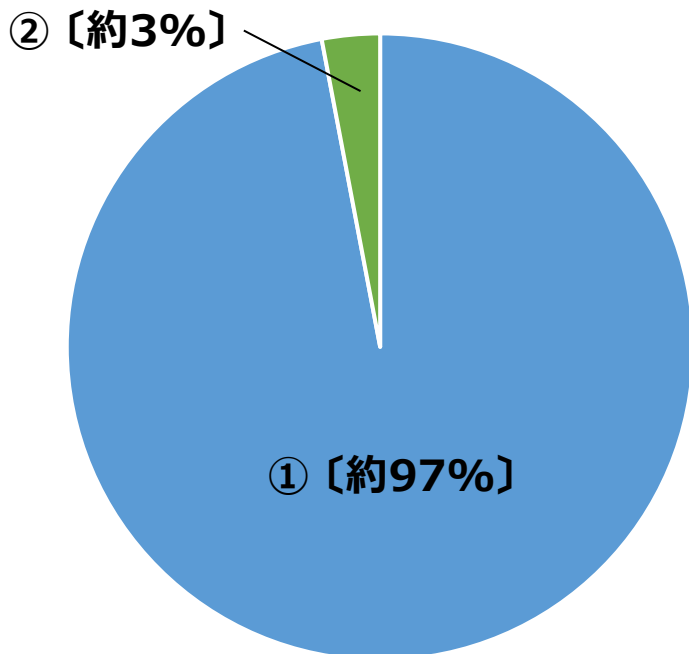
電源設備	項目	国内プラント（例）	米国プラント（例）
D/G	保有台数	2台	同等設備 あり
DG以外の常設の事故対応設備（常設SA設備）	具体的な設備例・保有台数	大容量空冷式発電機: 1台（◎）	同等設備 なし
DG以外の可搬の事故対応設備（可搬SA設備）	具体的な設備例・保有台数	<ul style="list-style-type: none"> ・中容量発電機車 2台、高圧発電機車 4台（6台のうち予備 2台）（◎） ・緊急時対策所用発電機車 1台（+予備 2台）（◎） ・可搬型電動ポンプ用発電機 4台（◎） ・使用済み燃料ピット及び復水タンク補給用発電機 4台（+予備 2台※）（◎） ・取水用水中ポンプ用発電機 4台（+予備 2台※）（◎） ※使用済み燃料ピット及び復水タンク補給用発電機と取水用水中ポンプ用発電機の予備は兼用	同等設備 あり
テロ対策設備（特重設備）	保有台数	十分余裕をもって配備（◎）	同等設備 なし

7. 国内外のトラブル情報分析結果（1/2）

過去に発生した国内外のEDGトラブル事象について

- 過去に発生した国内外のEDGトラブル情報（WANOデータベース）**1,156件**について分析した結果、**EDG運転中又は待機中に発生したトラブルは約470件**となった。これらのEDG不具合事象に対して、トラブル発生のタイミングが読み取れるものを分析した結果は以下グラフの通り。
- **8時間～24時間で14件のトラブル事象が確認**されたことから、これら事象の詳細分析（長時間運転により発生した事象か否かの分析）を実施。

〔国内外で発生したEDGトラブル件数（運転中又は待機中）〕



【凡例】トラブル発生のタイミング

- ① 起動直後～定格8時間まで※
- ② 定格8時間～定格24時間まで（14件）

※【内訳】

起動直後	: 24.4%
運転後～定格運転まで	: 9.0%
定格運転～定格8時間まで	: 63.7%

7. 国内外のトラブル情報分析結果 (2/2)

- 8時間～24時間で生じたトラブル事象 (全14件) を分析した。
- 14件の内訳については、5件が偶発事象、8件が累積運転時間に依存する事象、1件が1回あたりの試験時間に依存する事象※であった。

事象要因分析結果 (保全不良・製造欠陥重複件名 1件)

要因	保全不良	設計不良	製造欠陥	偶発的事象 (電気品故障等)
事象数	9	1	3	2
例	異物混入 組立手順誤り	ナット構成不良	出荷時梱包不足 加工不良	リレー誤作動

事象分析

事象分類	試験時間の長短と無関係 (偶発事象)	累積の運転時間に依存するため、試験時間が長い方が当該試験時に顕在化する確率はあがる。 (但し、兆候の検知は困難)	試験時間に依存するが長時間運転ではなくとも兆候検知は可能
事象数	5	8	1
例	リレー誤作動 振動計誤作動	疲労割れ 締付けボルト緩み	異物による冷却水供給不足のため、温度上昇※

※：本事象は冷却水管に異物があり、その影響で起動後約 1 2 時間後に冷却水の温度が上昇した事象である。
異物の形状によっては、長時間運転で顕在化する場合もあるが、基本的には温度上昇・振動増加等短時間で検知可能であると判断する。

8. 今後の対応方針（1/2）

◆ これまでの運転実績、調査結果を踏まえた連続運転に対する考え方

- EDGの信頼性は、「**点検計画（分解点検含む）**」と「**機能確認・試運転**」の組み合わせにより**維持・管理**しており、機能要求（有事の際は7日間）に対して**連続運転が可能な状態**である。機能確認・試運転の**運転時間延長**によって、EDGの信頼性向上に直接的に繋がるものではない。

保守管理

点検計画（分解点検含む）

- ・メーカー推奨や、これまでのメンテナンスデータの蓄積を踏まえて、**保守的に計画・実施**している。
- ・連続運転すると、**機関摺動部の摩耗・消耗品の劣化が促進されるが、事故時の7日間運転を想定した上で**、これら劣化を見込んで基準を定め、**定期的（10定検など）に取替え**を行っている。
なお、取替基準は、起動・停止を繰り返す運転条件も想定のうち、保守的に定めている。



機能確認・試運転

- ・通常のEDGの試運転においても、**開始後1～2時間後に運転パラメーターは安定**する。
- ・EDG24時間連続運転試験実施した結果、**約1～2時間後に運転パラメーターは安定。以降の連続運転領域も変化なく安定した運転**であった。
- ・24時間運転を中止した2台についても、国内公的規格であるJIS B 8014「定速回転ディーゼル機関性能試験方法」に基づいた規格要求時間である**8時間以内に不具合兆候が検知可能**であった。

* 機能確認頻度：1回/月（約60分/回）、定期検査時約3時間で定期的に機能を確認実施）

9. 今後の対応方針 (2/2)

◆ 連続運転試験に対する対応方針

現在の国内EDGの信頼性は十分に確保されていると考えているが、米国においては、24時間運転データを活用した状態監視保全を行っていることから、保全プログラムにおいて**長時間運転を追加し、そのデータを蓄積することで、今後の「保守管理」に活かしていく。**

実施の考え方

現状のEDG定期検査時の試運転において長時間運転試験を実施することで、**連続運転試験データの蓄積・評価し、連続運転データを用いた保全プログラムの更なる高度化による設備信頼性向上**を目的とする。併せて、知見拡充のため**燃料使用量の検証**^{※1}も実施する。

更に、状態監視を主とした保全の導入など、保全方法を大幅に見直す場合は、**当該EDGの連続運転性能等を確認することで、メンテナンス内容の見直し要否を確認する。**

※1 海外実態調査で得られた取組みの反映（P4参照）。

実施内容

運転時間、実施頻度、実施台数については下記を最低限とし、これを超える対応は各社にて個別に判断するものとする。

運転時間	8時間連続運転 ^{※2} （定格100%になった後）
実施頻度	至近の保全サイクルで1回 ^{※3}
実施台数	サイト毎で、同一仕様かつ同一保全プログラム毎に1台 （機能要求のあるDG）

※2 大幅に保全方法を見直す場合等は、24時間連続運転により機関の性能を確認する。

※3 実施頻度は、8時間連続運転の実施結果を踏まえて継続的な連続運転試験について判断する。