

国内原子力発電所における 非常用ディーゼル発電機不具合の 傾向と改善策について

2019年7月23日

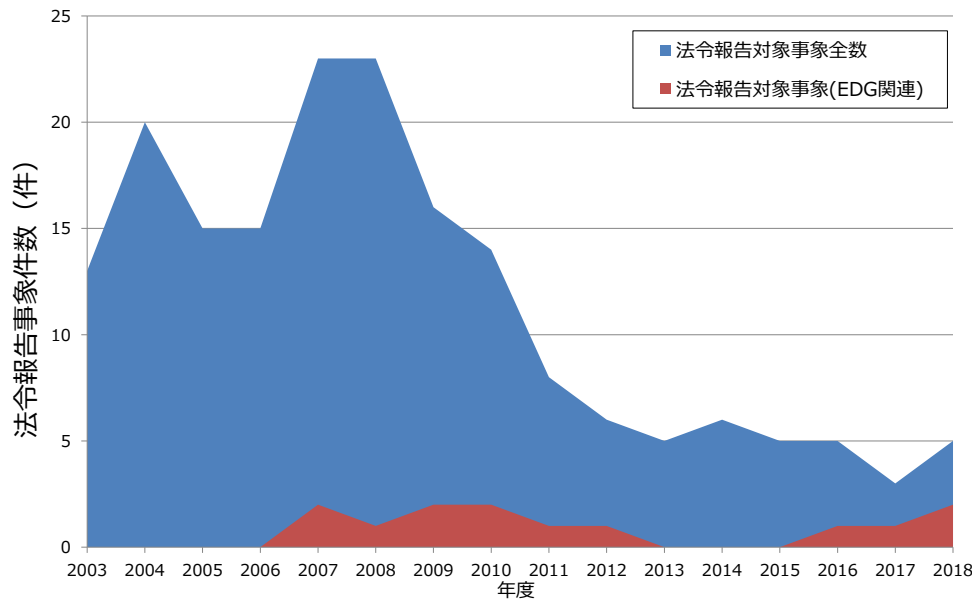
原子力エネルギー協議会

- 非常用ディーゼル発電機（以下「EDG」という）は安全上重要な設備であり、プラント停止期間中においても動作可能であることが求められている。原子力エネルギー協議会（以下「ATENA」という）は、原子力産業界の自主的な取り組みとして、EDGの更なる信頼性の向上を課題としてとらえ、過去のトラブル等情報を分析して、課題を再確認することとした
 - EDG事象に係るトラブル等情報の分析は、原子力施設情報公開ライブラリー（以下「ニューシア」という）運用開始以降（2003～2018年度）の16年間における、
トラブル情報※1 [T情報] + 保全品質情報※2 [M情報] の120件
について、ATENAにおいて原子力発電所の保全業務、予防処置検討業務に従事した経験を有する専門家が、原子力安全推進協会（以下「JANSI」という）の協力を得て、各事業者に事象概要・原因・対策を個別詳細に確認しながら進めた
- ※1： 実用炉規則第134条及び原子力発電工作物に係る電気関係報告規則第3条に基づく国報告対象事象
※2： 国へ報告する必要がない軽微な事象（「トラブル情報」を除く）であるが、保安活動向上の観点から各事業者はもとより産官学で情報共有することが有益な情報（安全上重要な機器等に損傷又はその兆候があったとき、保安規定違反があったとき、運転上の制限を逸脱したとき、火災が発生したとき等）
- なお、2019年1月10日に開催されたNRA-CNO意見交換会において、NRAから「最近3年間の非常用ディーゼル発電機的主要なトラブル事例（2016～2018年）」が提示され、トラブル情報や運転経験について調査分析し、その情報を事業者全体で共有する取り組みの必要性が示されている

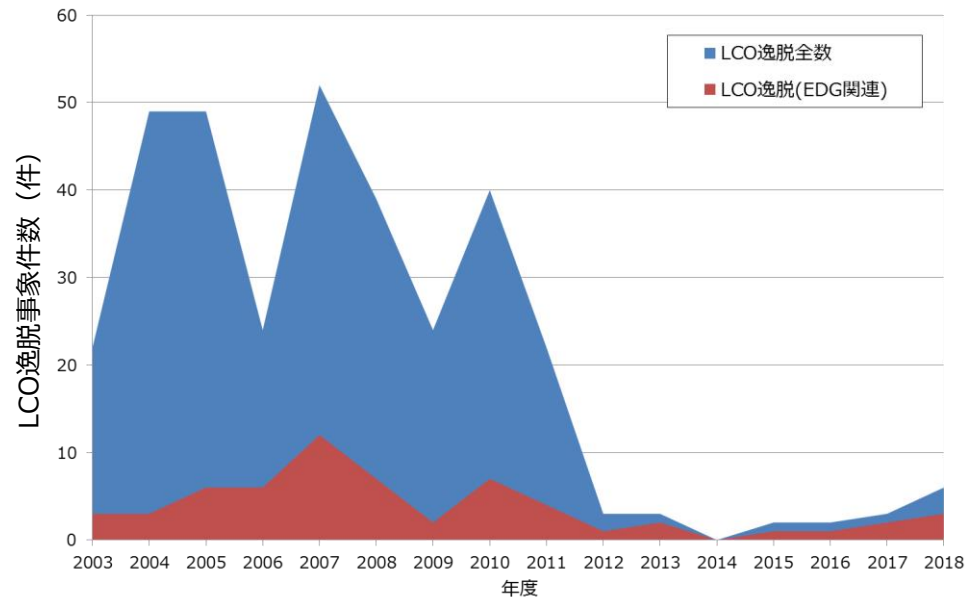
<余 白>

○ EDGに係る法令報告事象※1及び保安規定LCO逸脱事象※2の発生推移（■で表示）は、至近16年間において、横ばいないしは減少傾向。ただし、2011年の震災以降、全体に対して相対的に高くなっていることを確認。これは、震災以降の国内原子力発電所の長期停止状況におけるEDGとEDG以外の安全上重要な機器等の待機要求の違いが、比率の違いとして現れているものと思われる

※1： 実用炉規則第134条及び原子力発電工作物に係る電気関係報告規則第3条に基づく国報告対象事象
 ※2： 原子炉施設保安規定の運転上の制限からの逸脱事象



法令報告事象の発生推移



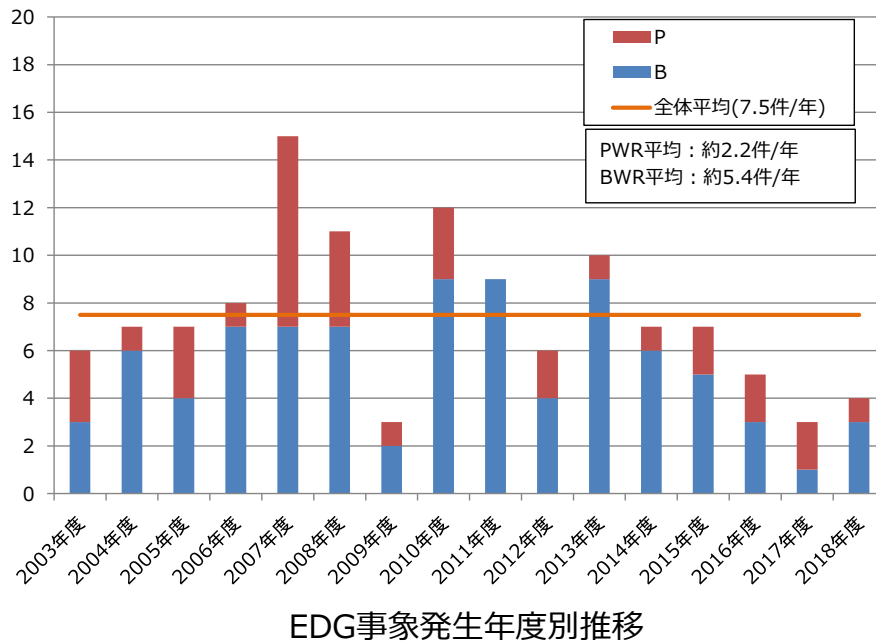
保安規定LCO逸脱事象の発生推移

EDG事象の発生傾向

- EDG事象に関し、ニューシア運用開始以降（2003～2018年度）のトラブル情報〔T情報〕 + 保全品質情報〔M情報〕120件の傾向を分析

<確認された傾向>

- ・全体的にはEDG事象は減少傾向

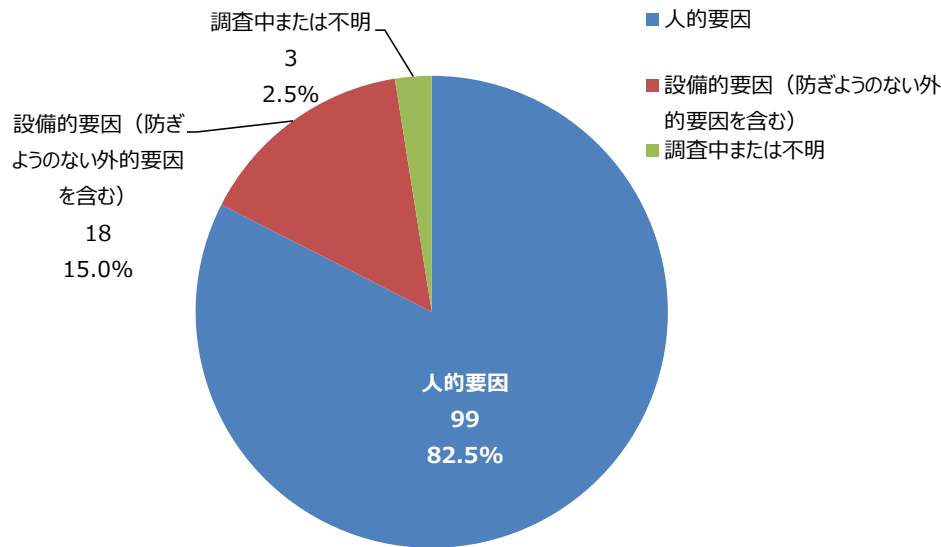


項目	分析結果
原子炉1基あたりの事象発生件数 (件/炉・年) (2003～2018年度)	約0.14
【参考：米国データ※1 (件/炉・年)】 (2005～2009年)	約0.16
EDGデマンド故障率 (回/デマンド) (2003～2018年度)	2.46E-03
【参考：米国データ※2 (回/デマンド)】	2.84E-03

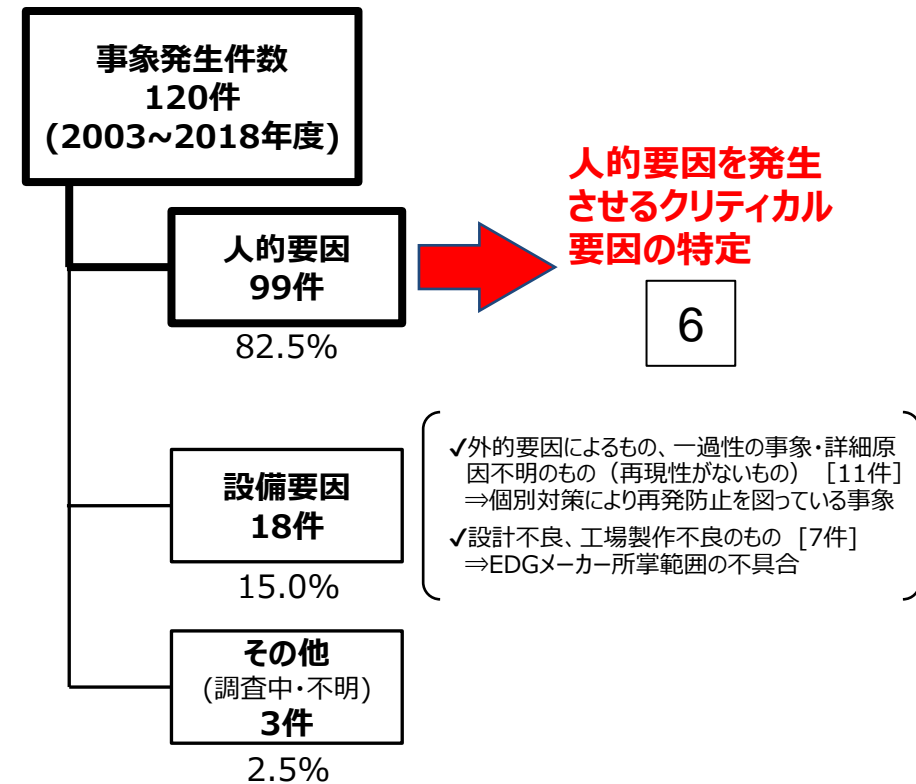
- ※1：嶋田善夫「日米の原子力発電所における非常用ディーゼル発電機不具合の傾向分析」、INSS JOURNAL、Vol18(2011) 2005年～2009年のLER(Licensee Event Report)のうち、非常用ディーゼル発電機不具合事象を分析したデータ
 ※2：NRCホームページ掲載、Component Reliability Data Sheets 2015 Update 3.1 Emergency Diesel Generator(EDG) による

EDGの更なる信頼性の向上を図るために、共通的な要因の分析を実施

- ✓ 傾向分析の対象となるEDG事象120件について、人的要因※1・設備的要因※2の分類を行った結果、**人的要因によるものが99件と全体の82.5%を占めていることを確認**



EDG事象 発生要因別件数 (人的要因、設備的要因)



※1：【人的要因】EDGの現地作業の要求事項が明確でなかった、又は要求事項を満足するように作業が行われなかったことが起因となり事象発生に至ったもの。操作誤り等の人的過誤によるものだけでなく、設備故障のうち、設計／製作／保守点検における要求事項が人的な要因（作業内容が不十分等）により満足されなかったことにより事象発生に至った場合も、人的要因に分類している

※2：【設備的要因】一過性の事象、外的要因、設計不良（人的要因が確認されないもの）、製作不良（人的要因が確認されないもの）

人的要因を発生させるクリティカルとなる要因の特定

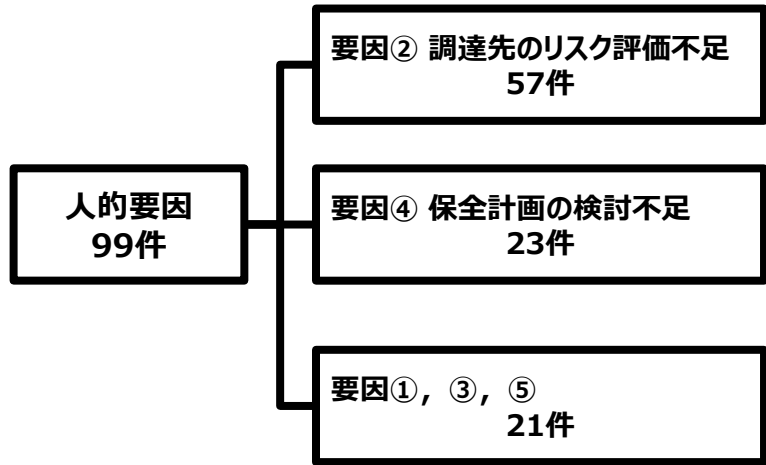
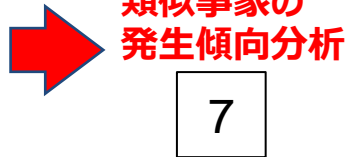
✓ 人的要因を発生させるクリティカルとなる要因を特定するために、99件を対象に5つの要素に分解し分析を行った結果、

② 調達先のリスク評価不足(57件)

④ 事業者の保全計画の検討不足(23件)

が支配的であることを確認

✓ 類似の作業プロセスに起因しているものが多く見られる



補足：①～⑤の複数要因により発生している事象もあるため、①～⑤の件数と総数は一致しない

EDG事象 人的要因のクリティカル要因別分析結果

人的要因		2003.4~2019.2	
総数		99件	
内訳	①	12件	12%
	②	57件	58%
	③	0件	0%
	④	23件	23%
	⑤	9件	9%

人的要因		具体例	
①	事業者の調達要求事項不足	事業者の事前検討不足	・仕様書にトルク管理を明記していない ・必要な点検項目が仕様書に記載されていない 等
②	調達先のリスク評価不足	調達先の施工不良	・ボルトの締め付け不良 ・組み立て時の異物混入 等
③	技術指導員の力量不足	・技術指導員の関与が明記されている工程（手順）での施工不良 等	
④	事業者の保全計画の検討不足	・想定される腐食（錆び等）が点検計画上で考慮されていない ・点検計画に反映されていない設備（部品）がある 等	
⑤	運転員に関わる力量不足	・ベント（エア抜き）が不十分 等	

補足：割合(%)は小数点以下を四捨五入。①～⑤の複数要因により発生している事象もあるため、①～⑤の件数、割合は、総数と一致しない

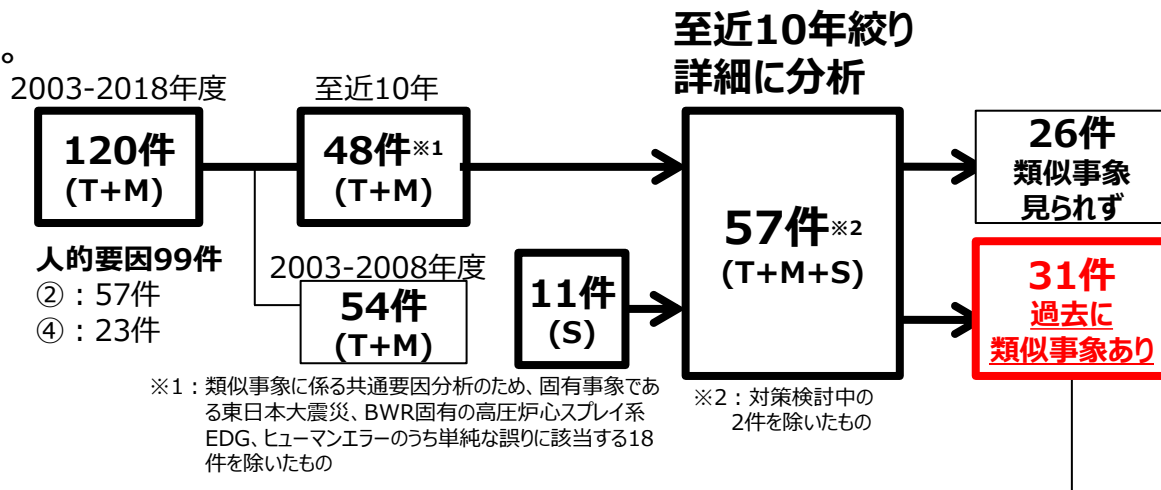
類似事象の発生傾向の分析

- ✓ 類似事象の発生傾向に係る詳細分析を実施。JANSIの「情報活用プログラム」の活動の中で傾向分析が行われていた至近10年間の48件 (T+M情報) に加え、類似事象に係る分析のため、M情報未済である「その他情報 (S情報) ※」の11件を加えた59件から対策検討中の2件を除いた57件を分析対象とし、個別事象毎の原因に類似した過去事象をニューシア登録情報よりキーワード検索し、抽出された事象と当該事象が類似事象に該当するか、1件ずつ突合せ確認を実施した

※T情報、M情報以外の情報で、事業者がプレス発表やホームページへの掲載等により公表している情報

<結果>

- ✓ **再発率は54.4% (31件) であり、半数以上は過去に経験したトラブルの類似事象**
- ✓ **再発事象のうち人的要因によるものは77.4% (24件)**。以下の要因が支配的であることを確認
 - ② 調達先のリスク評価不足(15件)
 - ④ 事業者の保全計画の検討不足(6件)



設備的要因 7件

人的要因 24件 (77.4%)

人的要因		件数	
①	事業者の調達要求事項不足	2件	8.3%
②	調達先のリスク評価不足	15件	62.5%
③	技術指導員の力量不足	0件	0%
④	事業者の保全計画の検討不足	6件	25.0%
⑤	運転員に関わる力量不足	2件	8.3%

①~⑤の複数要因により発生している事象もあるため、①~⑤の件数及び割合は、総数と一致しない

人的要因に係る時系列分析

- ✓ 人的要因による事象99件について、**事象発生推移**を分析。**PWRは分析対象期間の前半と後半を比べると、有意な減少が見られることを確認。**
特に、**②調達先のリスク評価不足が13件→3件で顕著に減少**している
- ✓ **PWRの保守点検体制強化に係る以下の取り組みが、EDG事象削減に効果があったものと思われる**
 - ① PWR事業者においては、施工不良に起因するEDGに関する保安規定のLCO逸脱事象を経験したことから、保守点検体制の充実（原子力品質でのメンテナンス確立）を指向し、従来、船舶用DGで使用実績のあったEDGメーカーが元請会社であったものを、原子力仕様の品質管理が採用されているプラントメーカーを元請会社とする体制へ変更（2009～2011年度にて技術移管）
 - ② PWR全体の取り組みとして、定期的な情報共有、プラントメーカーによる保全提案及び点検の強化、不具合発生時における工場バックアップ体制の充実等により事象発生抑制、対応迅速化
- ✓ **BWRはPWRの取り組みに追いつくべく、EDG事象の削減に努めることが必要**

人的要因によるEDG事象発生件数の推移

【PWR】

人的要因		全期間 (2003.4~2019.2)		前半 (2003.4~2011.3) 【96か月間】		後半 (2011.4~2019.2) 【95か月間】	
総数		29件		21件		8件	
内訳	①	3件	10%	2件	10%	1件	13%
	②	16件	55%	13件	62%	3件	38%
	③	0件	0%	0件	0%	0件	0%
	④	9件	31%	6件	29%	3件	38%
	⑤	2件	7%	0件	0%	2件	25%

【BWR】

人的要因		全期間 (2003.4~2019.2)		前半 (2003.4~2011.3) 【96か月間】		後半 (2011.4~2019.2) 【95か月間】	
総数		70件		37件		33件	
内訳	①	9件	13%	8件	22%	1件	3%
	②	41件	59%	20件	54%	21件	64%
	③	0件	0%	0件	0%	0件	0%
	④	14件	20%	7件	19%	7件	21%
	⑤	7件	10%	5件	14%	2件	6%

補足：割合(%)は小数点以下を四捨五入。①～⑤の複数要因により発生している事象もあるため、①～⑤の件数、割合は、総数と一致しない

120件のEDG事象に対し、要因分析を行い、共通的な要因の特定を行った。分析結果から得られた対策の方針は以下のとおり

分析結果総括

(1) 人的要因のうち、「②調達先のリスク評価不足」、「④事業者の保全計画検討不足」が支配的

【事象発生原因】

- ②：作業実施段階における基本的な作業が十分な品質で行われなかった
- ④：計画段階における点検内容・周期の検討が不十分であったことによるもの。保守管理活動を通じた保全計画の継続的改善により今後とも対応

(2) 類似事象の再発率が高い（人的要因②、④とも）

【事象発生原因】

- ✓ 事業者間でのトラブル情報の連携が十分でない
- ✓ 事業者内部での情報連携も重要

対策方針

- (1) 十分な力量がある人を固定して確保し、作業品質を高める
- (2) 過去のトラブル事例とその対応要領を事業者間で確実に連携する

ATENAはEDG事象に係る共通的な要因の特定を行い、以下の対策を抽出し、事業者に対し対策導入を求めた。ATENAは、各事業者の対策実施計画を確認し、不十分なものがあれば必要な修正を求める

(1) 「②調達先のリスク評価不足」への対応

○保守点検体制強化

- ✓ **作業員確保【BWR固有】**（中長期EDG工程を策定し、EDGメーカーと共有。十分な力量を保有する作業員を確保するための対策として、PWRで導入されている内容を参考にBWRも実施）
- ✓ **技量要求【PWR・BWR共通】**（EDG点検に特化した技量認定を活用して力量を確認する等）

(2) 類似事象の再発防止（人的要因②、④とも）

○トラブル等情報水平展開の高度化【PWR・BWR共通】

✓「故障トラブル情報検討会」の取り組み強化

「故障トラブル情報検討会」が、①ニューシア情報の十分性や対策完了登録等を管理するとともに、②安全上重要な機器等に係る法令トラブル事象等については、一連の情報について、事業者の運用管理や設備保全に係る専門家のWGと情報共有し、水平展開の検討を促進する

✓ JANSIによるOE情報分析・評価プロセスの迅速化

JANSIは、運転経験に関する情報（OE情報）の分析・評価を行い改善提案事項を抽出するプロセスに迅速性を欠いていた面があり、改善を図る

○請負会社の品質管理能力向上【PWR・BWR共通】

✓ トラブル水平展開として検討している作業要領書の改訂内容に係る事業者・元請会社間共有

○保守点検体制強化

- ✓ **品質管理【BWR固有】**（事業者－EDGメーカー間の情報共有充実化等。十分な作業品質を確保するための対策として、PWRで導入されている内容を参考にBWRも実施）

○事業者のリスク予見性の向上【PWR・BWR共通】

✓ 事業者工事監理員の現場作業管理の充実に係る取り組みを確実にする

（事業者工事監理員のTBMへの参加、作業管理の着眼点を定めたハンドブックの作成・現場での活用、立会ポイントの充実化等）

トラブル情報共有

現場管理

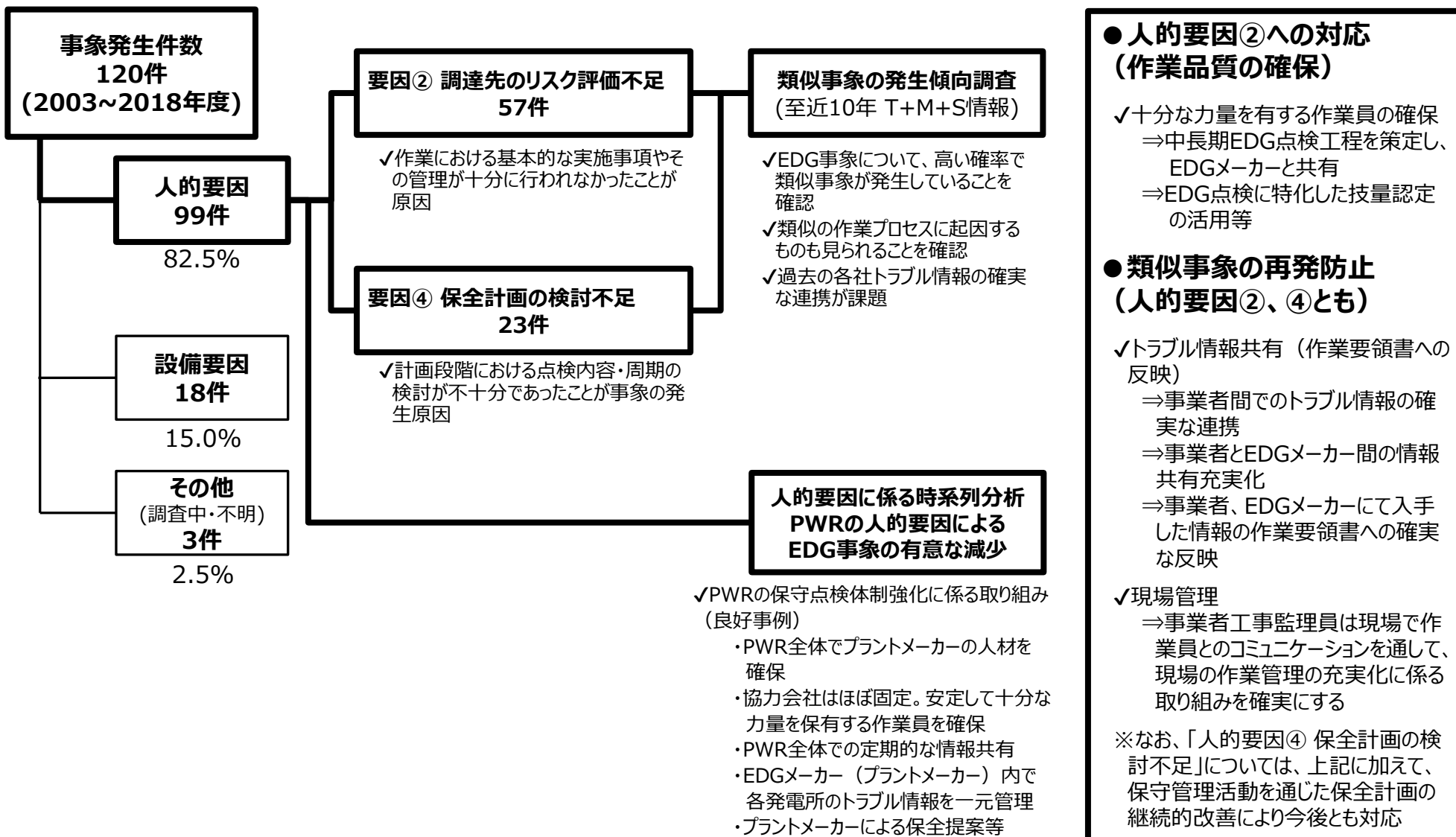
参考資料

<余 白>

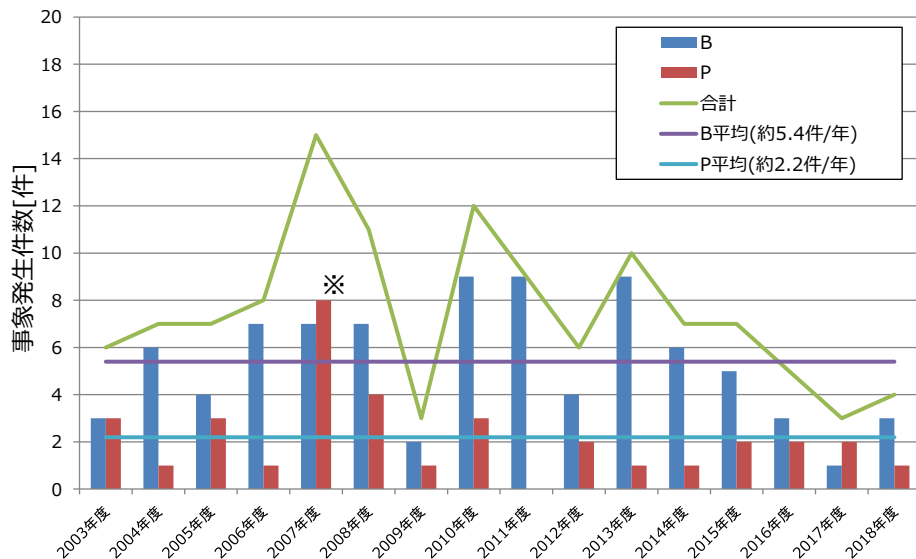
分類

分析

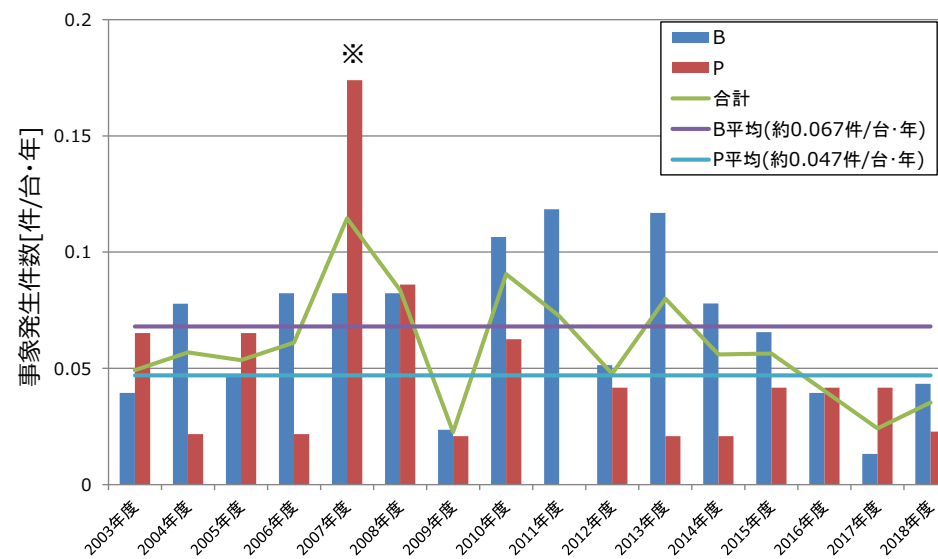
対策



分析結果	対策方針		個別対策
<p>「調達先のリスク評価不足」によるEDG事象の発生</p> <p>⇒作業における基本的な実施事項やその管理が十分に行われなかったことが原因 (点検手入れ・復旧・試運転等で発生する部品レベルの取り付け・取り外し、状態確認等の基本的な作業が十分な品質で行われなかった)</p> <p>⇒自社・他社における過去のトラブル事例が十分認識されていなかったことが原因 (類似の作業プロセスに起因するものを多数確認)</p>	<p>人的要因②への対応 (作業品質の確保)</p>	<p>十分な力量がある人を固定して確保し、作業品質を高める</p>	<p>対策③ 保守点検体制強化 (1)作業員確保【BWR固有】</p> <p>⇒中長期EDG点検工程を策定し、EDGメーカーと共有</p> <p>対策③ 保守点検体制強化 (3)技量要求【PWR・BWR共通】</p> <p>⇒EDG点検に特化した技量認定を活用して力量を確認する等の方法について、調達要求事項として追加</p>
<p>「保全計画の検討不足」によるEDG事象の発生</p> <p>⇒個別対策により再発防止を図っている事例であり、追加対策を要する共通要因は抽出されていないが、他社における類似事象抑制のため、各社トラブル情報の確実な連携は重要</p>	<p>類似事象の再発防止 (人的要因②、④への対応)</p>	<p>各社トラブル情報の確実な連携</p> <p>作業要領書への反映</p>	<p>対策④ トラブル等水平展開の高度化【PWR・BWR共通】</p> <p>⇒「故障トラブル情報検討会」の取り組み強化</p> <p>対策② 請負会社の品質管理能力向上【PWR・BWR共通】</p> <p>⇒トラブル水平展開として検討している作業要領書の改定内容等について、事業者間で共有して改善事項を抽出し、元請会社等と共有</p> <p>対策③ 保守点検体制強化 (2)品質管理【BWR固有】</p> <p>⇒事業者－EDGメーカー間の情報共有充実化等</p>
		<p>現場管理</p> <p>事業者工事監理員は現場で作業員とのコミュニケーションを通して、現場の作業管理の充実化に係る取り組みを確実にする</p>	<p>対策① 事業者のリスク予見性の向上【PWR・BWR共通】</p> <p>⇒事業者工事監理員のTBMへの参加</p> <p>⇒保守点検の作業管理の着眼点を定めたハンドブックの作成・現場での活用</p> <p>⇒立会ポイントの充実化等</p>



事象発生年度別推移
(BWR、PWR、BWR・PWR合計)

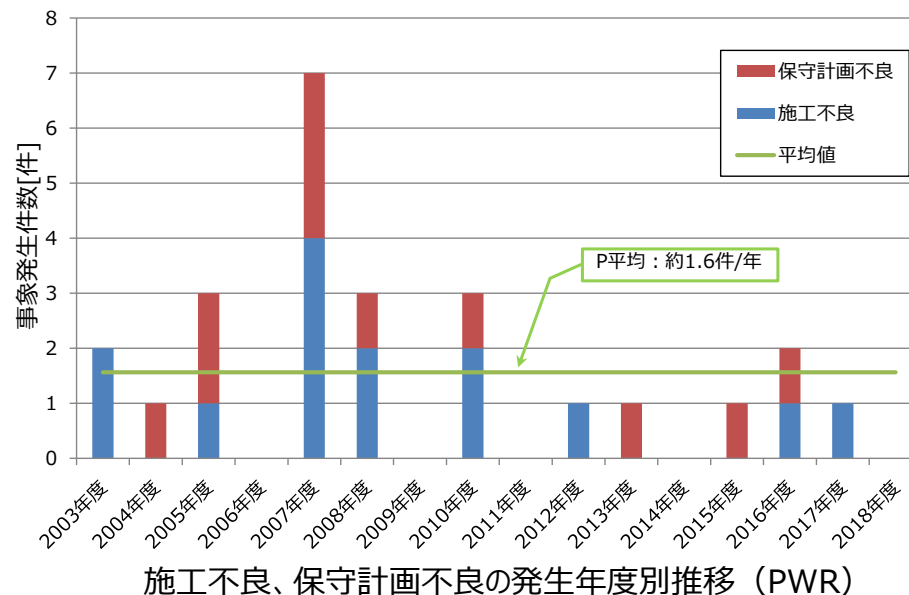
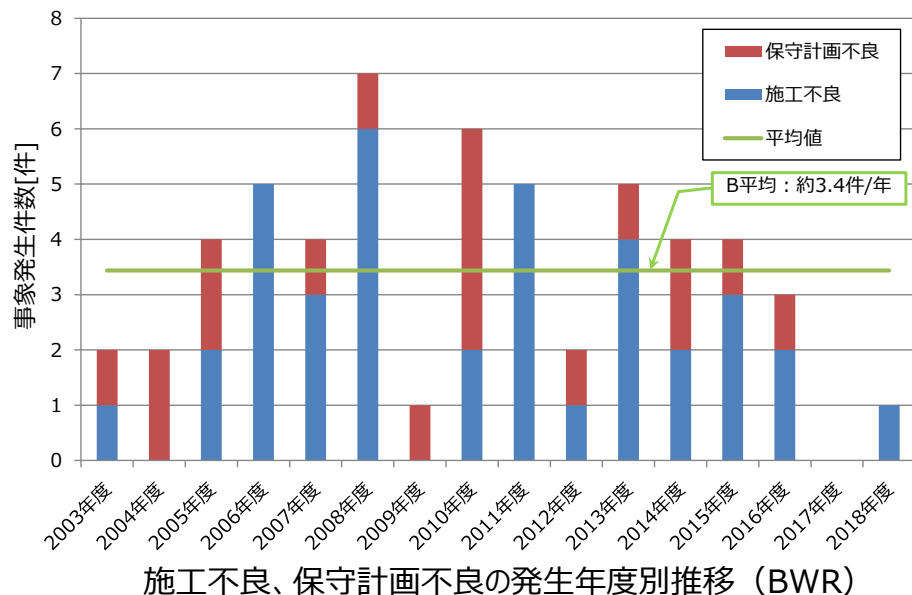


EDG1台あたりの事象発生年度別推移
(BWR、PWR、BWR・PWR合計)

※：2007年度のPWR事象発生件数は8件であり、年度平均約2.2件/年に比べて有意に多くなっている。事象の内訳を確認すると、施工不良、保守計画不良を起因とし、時間経過により顕在化した運転中の事象が6件となっており、前後の年度で発生した同事象の件数と比較しても際立って多くなっている。

PWR事業者においては、施工不良に起因するEDGに関する保安規定のLCO逸脱事象を経験したことから、保守点検体制の充実（原子力品質でのメンテナンス確立）を指向し、従来、船舶用DGで使用実績のあったEDGメーカーが元請会社であったものを、原子力仕様の品質管理が採用されているプラントメーカーを元請会社とする体制への変更を行った（2009～2011年度にて技術移管）。

PWR全体では、プラントメーカーによる保全提案及び点検の強化、定期的な情報共有、不具合発生時における工場バックアップ体制の充実等によりトラブル発生抑制、対応迅速化を図っている。



- ✓ BWRは約3.4件/年であり、PWRを上回る水準であるが、近年減少傾向にある。
- ✓ PWRは約1.6件/年。2007年度の特異点（7件）への対応（施工体制充実）により、2011年度以降の事象発生件数は、年平均0.75件/年で少ない。

施工不良：現地作業の不備に起因する場合。改造工事、据付工事、点検手入等の作業の種別に拠らず、作業上の不備はすべて含む。

保守計画不良：保守プログラムの不備、またはその管理不良に起因する場合。実作業に関連する不備は含まれない。保守管理に関連する手順書不備、教育訓練の不備を含む。

「②調達先のリスク評価不足」を要因とする事象57件の個別原因分析結果

原因		件数	個別事例
(A)	点検手入れ・復旧作業が十分な品質で行われなかったもの	54件	<ul style="list-style-type: none"> ・パッキン類の取付不良（取付方向誤り等） ・ボルト類の取付不良（締付不足、不均一な力による取り付け、緩み止め塗布範囲不十分、割りピンなしで取り付け等） ・機器復旧時の品質確認不十分（芯出し、隙間管理） ・計装品復旧時の品質確認不足（配管への空気残存） ・消耗品の取替未実施（Oリング、塑性変形した部品） ・不十分な絶縁施工（ケーブル保護被覆の露出等） ・機器に影響を及ぼすような外力の付与 ・電気計装品への誤接触（リミットスイッチ、タイマー） ・機器の振動により損傷する可能性のある施工 ・計装品校正誤り ・異物等混入（バリ等、水、空気）
(B)	試運転等が十分な品質で行われなかったもの	2件	<ul style="list-style-type: none"> ・試運転手順の確認不十分
(C)	その他	1件	<ul style="list-style-type: none"> ・グラインダ使用に伴う火花の防災シート隙間からの飛散

- ✓ 事象のほとんどが点検手入れ・復旧・試運転等で発生する部品レベルの取り付け・取り外し、状態確認等の**基本的な作業が十分な品質で行われなかったことが事象発生の原因**であることを確認
- ✓ 個別事例の発生原因には、パッキン類の取付不良やボルトの取付不良といった**類似の作業プロセスに起因するものを多数確認**

「④事業者の保全計画の検討不足」を要因とする事象23件の個別原因分析結果

	原因	件数	個別事例
(A)	具体的な点検項目（予備品、消耗品の交換、潤滑油・グリースの劣化状況や摩耗状況の確認等）の検討不足によるもの	10件	潤滑油配管パッキン、シリンダ冷却水補給用弁フロート、潤滑油サンプタンク油面フロートテープ、EDGロックアウトリレー、シリンダ注油器ポンプ、内燃機関各部位、しゃ断器リンク機構
(B)	保全周期中に腐食、摩耗等が生じたもの	8件	電磁弁、軽油タンク周辺配管、DG海水流量計検出配管
(C)	当該箇所を点検対象としていなかったもの	3件	電磁弁、清水加熱器補助蒸気配管、冷却水系統配管
(D)	その他	2件	雨水・消火水浸入対策の不足

- ✓ 半数程度が、機器を構成する部品に対する具体的な点検項目の検討不足によるもの（A）であり、事象発生を踏まえ、点検計画の見直し（取替周期の見直しや点検項目の明確化等）を行うことで再発防止を図っている。保全周期中に腐食、摩耗等が生じたもの（B）も保全周期の見直しを行うことで再発防止対策を図っている
- ✓ 点検対象として考慮されていなかったもの（C）は3件で、これについても、事象発生を踏まえ、点検対象に追加する等の対策を行っている
- ✓ 個別事例の発生原因を見ると、屋外配管の腐食、雨水浸入防止対策の不足、テープ型レベル計の折損といった事象は、過去に原子力施設で発生した事象との類似点が見られる

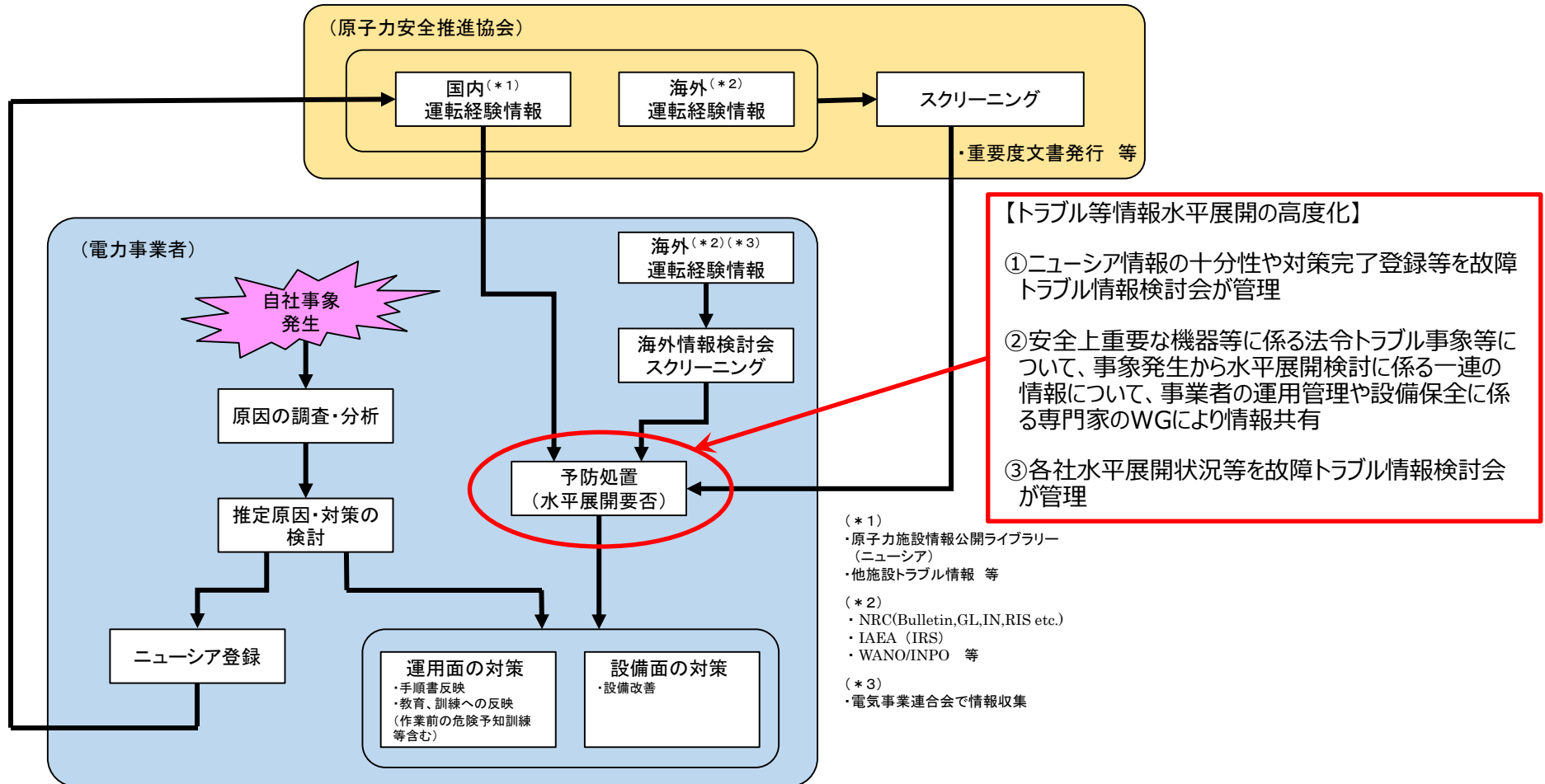
⇒事業者においては、今後も、機器の保全周期や点検計画を継続的に見直すことで対応する

また、過去に発生した事象と類似した原因で発生した事象が見られることも踏まえると、保守管理活動を通じて保全計画を継続的に改善していくためには、トラブル等情報の共有と当該情報等を元にした水平展開の検討を適時的確に行っていく取り組みが重要

⇒なお、調査期間中の事象において、EDGを構成する主要機器の経年劣化に起因する不具合は見受けられず、主要機器の経年劣化に対する対策の検討は特に必要ないと評価する

- ✓ EDG事象削減に係るPWRの取り組みを踏まえ、BWRの保守点検体制の現状から見た、作業体制や作業品質確保に関する課題を確認

分類	PWR	BWR	課題
十分な力量を有する作業員確保	<ul style="list-style-type: none"> ・PWR全体でプラントメーカーの人材を確保。協力会社についてはほぼ固定しており、安定して十分な力量を保有する作業員の確保が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・EDGメーカーとしては、<u>震災後の長期停止に伴う点検機会の減少により、BWR全体の作業を請け負えるだけの作業員確保の計画が立てづらい状況が見られる</u> ・EDGメーカーが調達する協力会社については、<u>力量維持の観点から、地元とは異なるサイトの作業にあたっている例も見られる</u> 	<p>【BWR】 中長期のEDG点検工程を策定し、EDGメーカーと共有する取り組みを通じて、十分な力量を保有する作業員確保の必要性</p>
品質管理	<ul style="list-style-type: none"> ・元請会社はEDGメーカー（プラントメーカーと同一。以降同じ）又は電力関係会社 ・2007年度のEDG事象ピーク以降、保守点検体制の充実（原子力品質でのメンテナンス確立）を指向し、プラントメーカーを元請会社とする体制への変更 ・EDGメーカーは、各PWR電力の設計情報/定期検査情報を一括把握するとともに、PWR電力大での定期的な情報共有、コミュニケーションによりトラブル情報等の共有化を図っている 	<ul style="list-style-type: none"> ・元請会社は、プラントメーカー、EDGメーカー又は電力関係会社 ・いずれのケースも、EDGメーカーが保守点検の実作業やトラブル対応に関与（元請、一次請又は技術指導員） ・<u>EDGメーカーは、作業品質の向上に関する取り組みに関し、重要な設備を点検するという観点で、更なる作業品質確保について、事業者と認識を合わせる必要がある</u> 	<p>【BWR】 EDGメーカーの特性を踏まえた、EDGメーカー及びその下請会社の作業品質を確実にするための追加的取り組みの必要性</p>
技量要求	<ul style="list-style-type: none"> ・EDGメーカー、協力会社とも技量認定制度を適用（作業責任者、作業管理者、品質管理者）。作業員に対しても、作業責任者、熟練作業員の指導の元で技量向上を図っている 	<ul style="list-style-type: none"> ・技量認定制度の適用は各社による ・点検の機会が減少しているサイトにおいては、作業員の技量維持・技術継承のため、自社火力等のEDG点検で経験を積ませている 	<p>【BWR・PWR】 コアとなる作業員のEDG点検に特化した技量要求を調達要求事項に織り込み、高い水準の保守点検品質を目指す</p>



国内事業者における運転経験情報の活用状況