

安全設備の運用改善について

2020年9月25日
原子力エネルギー協議会

1. 検討の背景及び方針
 2. 運転上の制限（LCO）
 3. 今回の検討対象
 4. EDGに関するLCOの改訂箇所
 5. LCO改善検討手順
 6. 事例①
 - ・EDGのLCO逸脱時の措置の改善検討例
 - ・PRA評価
 - ・PRA評価結果
 - ・保安規定改善案
 7. 事例②
 - ・EDGの停止時LCOの改善検討例
 - ・保安規定改善案
 8. 今後の課題
- ・参考資料

- 伊方3号機で2019年8月に発生した事象「格納容器スプレイ系サーベイランス実施時のテストライン弁の操作不能」に端を発し、原子力規制委員会にて運転上の制限（LCO）逸脱の判断やSA設備/特重施設を踏まえた運用の改善が必要との認識が示された。
- 新規制基準では、発電所の安全性向上を目的にDB設備に加え、SA設備/特重施設が要求されており、DB設備と類似の機能を有している。しかし、保安規定では、SA設備/特重施設は、LCO逸脱時の措置としてDB設備が動作可能であることの確認が要求されているが、DB設備は新規制基準施行前と同じで、LCO逸脱時の措置としてSA設備/特重施設が動作可能であることの確認が要求されていない。
- 今回、DB設備のLCO逸脱時の措置として、SA設備/特重施設が動作可能であることの確認などの改善案について検討する。

➤ 運転上の制限を定める必要性

- 事業者は、設計基準事象やシビアアクシデントに対処できるように設備設計を行い、設計条件を安全解析で確認し、設置許可を申請している。規制庁はそれら設計条件が運転中も維持されることを前提に許可している。
- 事業者は、プラント運転時にもそれら設計条件を維持する必要がある、そのための遵守事項を「運転上の制限」として保安規定に定めている。

➤ 「運転上の制限」には、以下のようなものがある。

- 通常待機状態にある設備（待機系設備）が設計条件通りに動作可能である状態を維持する。
例：非常用電源（EDG）、ECCS、SA設備、等
- 原子炉の運転状態を設計で想定した運転上の範囲内に維持する。
例：1次冷却材の温度・圧力及び温度変化率、等
- その他（異常の早期検知、手順の規定、等）

➤ LCOを設定する機器（詳細は、別添1のLCO設定対象リスト参照）

- DB設備……安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するもの（PS-1、MS-1、MS-2）
- SA設備……すべて対象（安全重要度が決定されていないため）

- 通常待機状態にある設備のうち、DB設備と類似の機能を有するSA設備/特重施設でバックアップが可能なDB設備のLCO及びLCO逸脱時の措置及び完了時間（AOT）の運用改善について、次のサンプルを用いて検討する。

○非常用の電源（EDG）

⇒スライド

7

～

15

4. EDGに関するLCOの改訂箇所

事例① : EDGのLCO逸脱時の措置として、大容量空冷式発電機等の動作確認等を要求するとともに、PRA評価の結果を活用しAOTを延長する。
 (大容量空冷式発電機等には、LCO逸脱時の措置としてEDGが動作確認が要求されているが、EDGに対しては大容量空冷式発電機等の動作確認の要求はない。)

事例② : 非常用電源に大容量空冷式発電機等も含める。

EDGに関するLCO (PWR)	
運転モード※	1～4 (運転～高温停止) / 1～4以外 (低温停止～燃料取出)
求められる安全機能	LOCA時等にEDGが自動起動し、ECCSポンプなどに電力を供給する / 外部電源喪失時に非常用電源を起動し、燃料冷却に必要な電力を供給する
LCO	EDG2台が動作可能であること / EDG2台*が動作可能であること * : 非常用電源1台を含めてよい
逸脱時の措置とAOT	速やかに健全側EDGの動作確認 / 速やかに復旧するなど 10日以内にEDGを復旧
動作可能確認	毎月一回動作確認 / 毎月一回動作確認

大容量空冷式発電機のLCO (運転モード1～4)
 (LCO)
 大容量空冷式発電機による電源系1系統が動作可能であること
 (逸脱時の措置とAOT)
 1基のEDG1台起動し、動作可能であることを確認など

【検討ステップ】

1. 運転上の制限の改善を検討するDB設備について、SA設備/特重施設からバックアップ候補設備を選定する。
2. DB設備に対する要求事項毎に、バックアップ候補設備による代替可能性（充足性）を整理する。（右表参照）
3. 上記整理に基づき、バックアップ候補設備による安全性向上について定性的な評価を行う。
4. 定性的評価の結果、LCOの改善が可能と判断した場合は、LCO改善案を作成する。

機能整理表（例）

DB設備への設計要求		代替候補設備A	代替候補設備B	● ● ● ●
		代替可能性(充足性) 評価結果	代替可能性(充足性) 評価結果	
設置許可判断基準	過渡事象			
	設計基準事象			
設計方針	容量			
	自動起動			
	物理的分離			
	● ● ●			
外的事象の考慮	耐震			
	耐津波			
	耐その他外的事象			

【運転モード1～4（運転～高温停止）】

➤ 検討ステップ1：バックアップ候補設備の抽出

- 非常用電源設備であるディーゼル発電機のバックアップ候補設備としては、代替電源設備である、①大容量空冷式発電機、②中容量発電機車、③特重施設電源、を抽出した。

➤ 検討ステップ2：代替可能性（充足性）整理

- ディーゼル発電機に対する設計要求を、設置許可申請書より以下のとおり抽出した。
 - ✓ 外電喪失時の電源供給
 - ✓ 事故時の電源供給
 - ✓ 設計方針：自動起動、単一故障、物理的分離、必要容量、・・・等
 - ✓ 外部事象に対する防護：地震、津波、火災、・・・等
- これらに対する、上記バックアップ候補設備の代替可能性を機能整理表（別添2）に整理した。

➤ 検討ステップ3：定性的な安全性評価

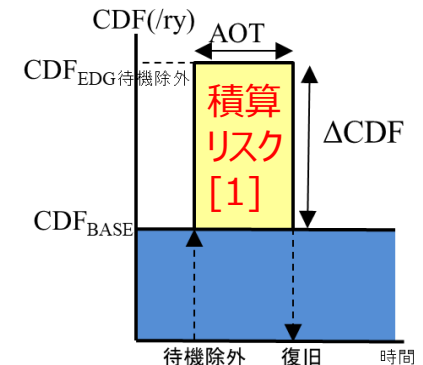
- バックアップ候補設備は、自動起動しないこと、外電喪失時及び事故時の必要容量を満足しないことから、LCOの待機設備として期待することはできない。
- しかしながら、LOCAのような進展の早い事象を除けば、多くの事故シナリオに対応可能であり、所要時間内に必要な電力供給が出来ることから、定性的には安全性向上していると判断した。

➤ 検討ステップ4：LCO改善可否の判断、改善案の作成

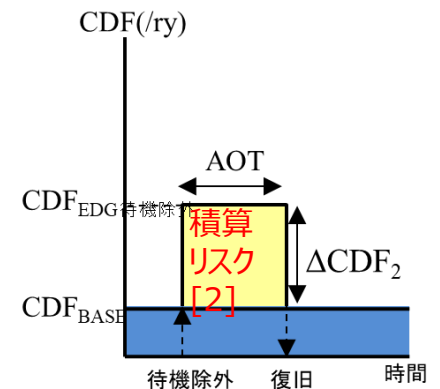
- 検討ステップ3の結果より、この場合はLCO逸脱時の措置及び完了時間の改善を行うこととした。
- バックアップ候補設備によるバックアップによる安全性向上を定量的に把握するため、プラント出力運転時の内的事象PRA評価を実施した。（スライド10、11）
- バックアップ候補設備に対するLCO逸脱時の措置にはEDGの起動確認要求があるが、EDGのそれにはバックアップ候補設備の動作確認要求等はない。そこで、LCO逸脱時の措置としてバックアップ候補設備の動作確認等を求めることとした。一方、PRA評価結果も参考に完了時間の延長が可能であると評価した。
- 以上より、LCO逸脱時の措置及び完了時間、改善案を作成した。（スライド12）

6. 事例①：PRA評価

- SA設備等によるバックアップ（以下バックアップ）がない設備構成で、以下の状態を想定したPRA評価を行う。
 - 全ての設備が健全な状態（Base）
 - ディーゼル発電機1基が待機除外となった状態（その他は健全）（EDG待機除外）
- ディーゼル発電機1基が待機不能となった場合のリスク増分（ ΔCDF ）を求める。
- AOT期間中の積算リスク[1]を求める。（右上図黄色部分）
- 1.～3.と同様の手順でバックアップがある設備構成での積算リスク[2]を求める。（右下図黄色部分）
- バックアップすることにより積算リスクが低下するのであればAOT延長を検討する。



【バックアップなし】



【バックアップあり】

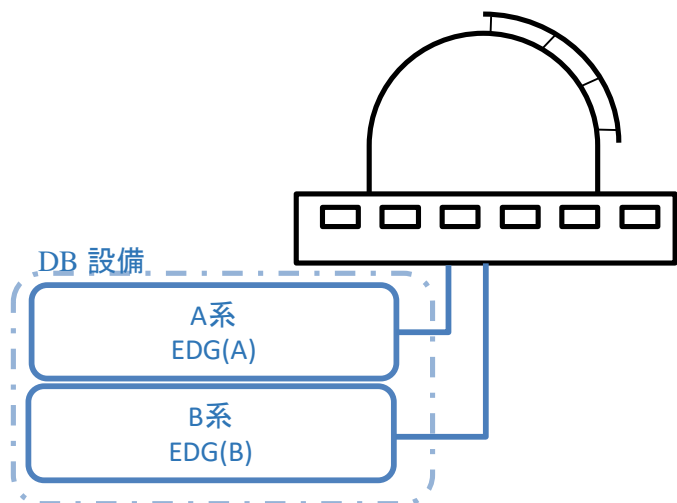
6. 事例① : PRA評価結果

- SA設備等でバックアップすることで、積算リスクが減少する。
(積算リスク[2] < 積算リスク[1])
- バックアップありのAOTを47日に延長すると、積算リスクが等しくなる。

バックアップなし

	EDG(A)	EDG(B)	CDF1(/y)	Δ CDF1(/y)	積算リスク [1]
Base	○ (待機)	○ (待機)	2.3×10^{-6}	—	—
EDG(A) 待機除外	× (待機除外)	○ (待機)	1.1×10^{-5}	8.7×10^{-6}	2.4×10^{-7}

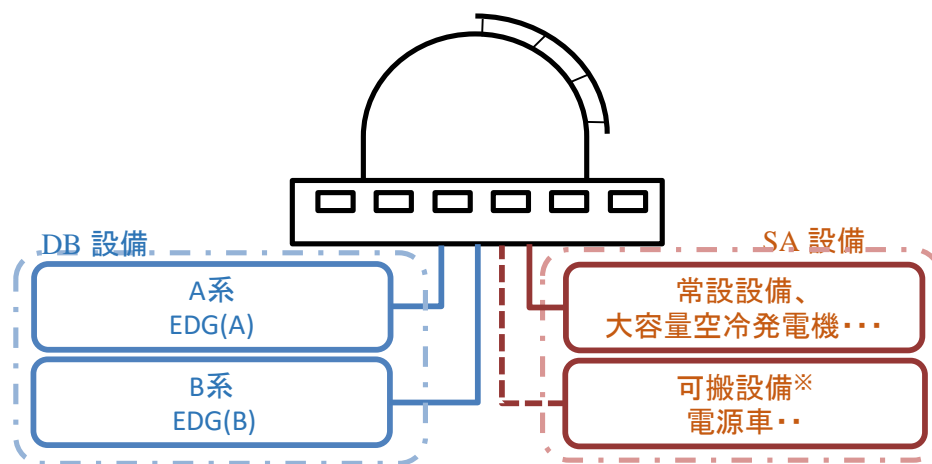
注: 積算リスク[1]= Δ CDF1 × AOT(10日)



バックアップあり

	EDG(A)	EDG(B)	SA 機器 (大容量空冷発 電機含む)	CDF2(/y)	Δ CDF2(/y)	積算リスク [2]
Base	○ (待機)	○ (待機)	○ (待機)	1.3×10^{-6}	—	—
EDG(A) 待機除外	× (待機除外)	○ (待機)	○ (待機)	3.1×10^{-6}	1.8×10^{-6}	5.0×10^{-8}

注: 積算リスク[2]= Δ CDF2 × AOT(10日)



※可搬機器はPRA評価上考慮していない

6. 事例①：保安規定改善案

【 LCO逸脱時の措置及び完了時間の改善案（例） 】（下表参照）

- ディーゼル発電機1台が待機除外となった場合の措置として、従来から要求されている“残りのディーゼル発電機”の動作確認に加え、①大容量空冷式発電機（又は②特重施設電源）の動作確認等を要求する。
- PRA結果より、バックアップ有無での積算リスクが等しくなるAOTは47日と評価されたことから、完了時間（AOT）を30日とする。

	LCO逸脱時の措置	完了時間(AOT)
※1 現行	<ul style="list-style-type: none"> • 当直課長は、残りのディーゼル発電機を起動（無負荷運転）し、動作可能であることを確認する。 • 当直課長は、当該ディーゼル発電機を動作可能な状態に復旧する。 	4時間 その後の1日に1回 10日
※2 改善案	<ul style="list-style-type: none"> • 当直課長は、残りのディーゼル発電機を起動（無負荷運転）し、動作可能であることを確認する。 • 当直課長は、大容量空冷式発電機（又は特重施設電源）が動作可能であることを確認する。 • 当直課長は、当該ディーゼル発電機を動作可能な状態に復旧する。 	4時間 その後の1日に1回 速やかに 30日

※1：当該措置が期限内に完了しない場合、ディーゼル発電機を負荷運転状態とすることで、AOTを30日まで延長可能

※2：申請プラントの系統構成、運用等に応じた記載で、事業者毎に申請する。

【運転モード1～4以外（低温停止～燃料取出）】

➤ 検討ステップ1：バックアップ候補設備の抽出

- 非常用ディーゼル発電機のバックアップ候補設備としては、代替電源設備である、①大容量空冷式発電機、②中容量発電機車、③特重施設電源、を抽出した。

➤ 検討ステップ2：代替可能性（充足性）整理

- ディーゼル発電機に対する設計要求を、設置許可申請書より以下のとおり抽出した。
 - ✓ 外電喪失時の電源供給
 - ✓ 事故時の電源供給
 - ✓ 設計方針：物理的分離、必要容量、・・・等
 - ✓ 外部事象に対する防護：地震、津波、火災、・・・等
- これらに対する、上記バックアップ候補設備の代替可能性を機能整理表（別添3）に整理した。

7. 事例②：EDGの停止時LCOの改善検討例

➤ 検討ステップ3：定性的な安全性評価

- バックアップ候補設備は、プラント停止時には、ディーゼル発電機と同等の性能と評価した。

➤ 検討ステップ4：LCO改善可否の判断、改善案の作成

- 検討ステップ3の結果より、この場合はLCO改善を行うこととした。
- EDGのプラント停止時のLCOは2台待機であるが、注釈で非常用電源を含めてよいとされている。これは、プラント停止時にEDGの保守作業を行うためであることから、バックアップ候補設備もこの非常用電源として考慮してもよい設備と位置づけた。
- 以上より、LCO改善案を作成した。（次スライド）

7. 事例②：保安規定改善案

【プラント停止時のLCO改善案（例）】（下表参照）

- 待機要求設備として要求される非常用発電機として、①大容量空冷式発電機（SA）、②中容量発電機車2台（SA）及び③特重施設電源を追加する。（現行は他の号炉のディーゼル発電機、移動式発電装置）

	LCO（モード1～4以外）
現行	<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機2基が動作可能であること。*
	<p>*:ディーゼル発電機には、非常用発電機1基を含めることができる。非常用発電機とは所要の電力供給が可能なものをいう。なお、非常用発電機は複数の号炉で共用することができる。</p>
改善案※	<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機2基が動作可能であること。*
	<p>*:ディーゼル発電機には、所要の電力供給が可能なディーゼル発電機、大容量空冷式発電機、中容量発電機車(2台)、又は特重施設電源のうち1基を含めることができる。なお、これらの設備は複数の号炉で共用することができる。</p>

※:申請プラントの系統構成、運用等に応じた記載で、事業者毎に申請する。

➤ PRAモデルの品質

- AOTのような許認可マターへRIDMを適用していくためには、PRAモデルの品質が重要。
- その観点から、当面この評価に用いるPRAモデルは、事業者が原子力リスク研究センターの支援のもと進めている高度化の成果を取り入れ、NRA殿にて原子力規制検査に用いるための適切性確認を受けたものを用いることとしたい。
- PRAモデルについて、適切性確認が終わっていないものの扱いが課題。

➤ AOT延長可否の判断条件

- 事業者は「リスク情報活用の実現に向けた戦略プラン及びアクションプラン」（2020年6月改定）に則ってリスク情報活用を進めていく所存。
- 今回、AOTの延長可否の判断条件として、積算リスクがバックアップありのほうが小さいという基準を目安に判断した。
- 一方で、米国ではRG-1.177（AN APPROACH FOR PLANT-SPECIFIC, RISK-INFORMED DECISIONMAKING: TECHNICAL SPECIFICATIONS）では $1E-6$ 未満という絶対値を判断基準として与えている。
- 今後、DB設備、SA設備、特重施設のバランスを考慮して、さらにリスク情報活用を進めていくための判断基準等が課題。

- 原子炉による災害の防止を図ることを目的に、原子炉施設の保安活動を定めたもの。
 - 法令及び保安規定の遵守
 - 安全文化（安全文化醸成活動の実施）
 - 適切な品質保証活動（品質マネジメントシステムの確立）

【保安規定 目次】

- 第1章 総則
- 第2章 品質保証
- 第3章 保安管理体制
- 第4章 運転管理
 - 第1節 通則
 - 第2節 運転上の留意事項
 - 第3節 運転上の制限
- 第5章 燃料管理
- 第6章 放射性廃棄物管理
- 第7章 放射線管理
- 第8章 保守管理
- 第9章 非常時の措置
- 第10章 保安教育
- 第11章 記録及び報告
- 附則

項目	EDGの例	
1. 制限をかけるべき運転モード※	<ul style="list-style-type: none"> ・運転モード 1 ～ 4 (運転～高温停止) 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転モード 1 ～ 4 以外 (低温停止～燃料取出)
2. 動作可能であることが必要な機器	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機2台が動作可能であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機2台が動作可能であること ※非常用発電機 1 台を含めてよい
3. LCOの確認 (LCO逸脱の判断)	<ul style="list-style-type: none"> ・動作確認試験 (サーベランス) にて確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・動作確認試験 (サーベランス) にて確認
4. 動作不能の機器が見つかった場合の措置 (LCO逸脱時の措置及び完了時間 (AOT))	<ul style="list-style-type: none"> ・多重性のあるもう一方の機器の健全性確認 ・10日以内に復旧 ・これらの条件が満足されない場合、プラント停止等の措置に移行 	<ul style="list-style-type: none"> ・照射済燃料の移動中止 ・1次冷却材中のほう素濃度が低下する操作中止 ・速やかに、非常用ディーゼル発電機2台及び非常用電源1台のうち、少なくとも2台復旧

○2019年8月21日 規制委員会

- テストラインが使えないからというだけで、ポンプが故障している、使えない可能性は限りなく低い。確認できないだけ。だから、スプレイング側の弁を開けてポンプを動かせば、CV（原子炉格納容器）スプレイを噴ける状態なわけです。だけれども、月に1回の点検ができていませんと。そのために逸脱になって、AOTも過ぎました。本当かと。
それも、かつてこれが、この後段に、新規制基準で適合している以上はSA（シビアアクシデント）施設でCVスプレイを噴けるようになっている。更に言えば、今後、特重施設が整備されたら、特重施設もある。今のLCOの設定が全く実態に即していないのではないかとも思える。
- テストラインがだめでポンプが動かさないからというのは、後段にSA施設もない時代、更に言えば、特重施設もない時代の話だし、テストライン閉固着でというのもそもそも極めて保守的なLCOだし、とてもいい教訓材料というか、勉強材料であったように思っています。
重要なのは、繰り返しますけれども、1系統のポンプの機能が喪失している可能性が疑われるのだったら、判断としてSA施設のラインナップを行うという判断があってもいいのではないか。
- LCO、保守的であれば、それでより安全だというものでもないと思うし、非現実的なLCOが設定されているということは決していいことではないし、更に言えば、後段の施設が整備された時代なのだから、前段が疑われるときに、後段のラインナップというのは対処できるようにしておいてもらった方がいいと思いますので、少し勉強して、検討してみてもらいたいと思います。

「保安規定運用の手引き」(平成7年)

【考え方】健全側システムの信頼性を確保することリスクを抑制する。

- 健全側システムの動作確認頻度を、全システムが健全であった時点と同程度の信頼度を確保する観点から設定。(ex. PWR ECCS 8時間)
- 上記頻度で健全側システムの動作確認を継続する限り、AOTを設定する必要はないが、いたずらに長くすることは好ましくないとの判断からAOTを設定。(ex. ECCS 10日)

「原子炉施設保安規定に係る技術資料」(平成17年)

【考え方】健全側システムの動作可能性を確保することでリスク増分を抑制しつつ、その状態の継続期間を抑制し、リスク全体を抑制する。

- 最初の動作確認を行うまでの時間(CT)とその後の動作確認頻度は、それまでの日本の実績から現実的な値として設定。(ex. PWR ECCS 4時間/8時間)
- 上記試験によって健全側システムの動作可能性を確保した上で、AOTとして運転実績に基づき合理的と判断できる期間を設定。(ex. ECCS 10日)

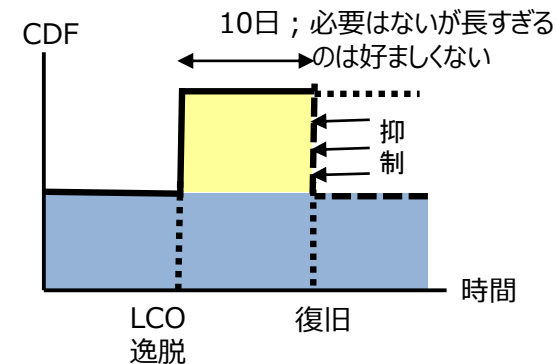
「米国 Standard Technical Specifications Rev.4」
(例; NUREG-1431 Westinghouse Plants)

【考え方】故障システムを復旧させる期間を設定しリスクを抑制する。(健全側システムの動作確認に関する要求はない)

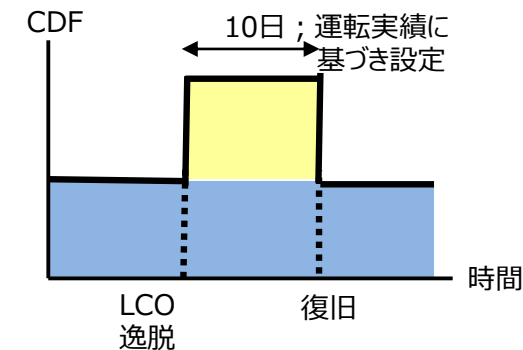
- 米国NRCの信頼性評価に基づき、AOTを72時間と設定。

【参考】

- 米国では、原子力導入当初は運転継続する方が停止操作をするよりリスクも低いという判断とシナリオ分析に基づき、工学的判断によってAOTが設定された。(ベースには、運転継続が望ましいという共通認識やそれを受け入れる素地が存在したためと思われる。)
- NRCは、停止時と出力運転中が原子炉の安全な状態であり、この二つの状態間の移行はリスク増加を伴うとしている。
(Ref; NUCLEAR REGULATORY COMMISSION ENFORCEMENT MANUAL App.F, 2019)



「保安規定運用の手引き」での考え方



「原子炉施設保安規定に係る技術資料」での考え方

【参考5】運転モード（PWR）

モード	原子炉の運転状態	原子炉容器スタッドボルトの状態
1	出力運転（出力領域中性子束指示値 5 %超）	全ボルト締付
2（停止時）	出力運転（出力領域中性子束指示値 5 %以下） ～ 制御グループバンク全挿入による原子炉停止	全ボルト締付
2（起動時）	臨界操作のための制御グループバンク引抜き操作開始 ～ 出力運転（出力領域中性子束指示値 5 %以下）	全ボルト締付
3	1次冷却材温度 177 °C以上	全ボルト締付
4	1次冷却材温度 93 °C超177 °C未満	全ボルト締付
5	1次冷却材温度 93 °C以下	全ボルト締付
6※	1次冷却材温度 93 °C以下	1本以上が緩められている

※：全ての燃料が原子炉格納容器の外にある場合を除く。