
火災時安全停止回路解析に係る検討のうち LER情報分析結果について

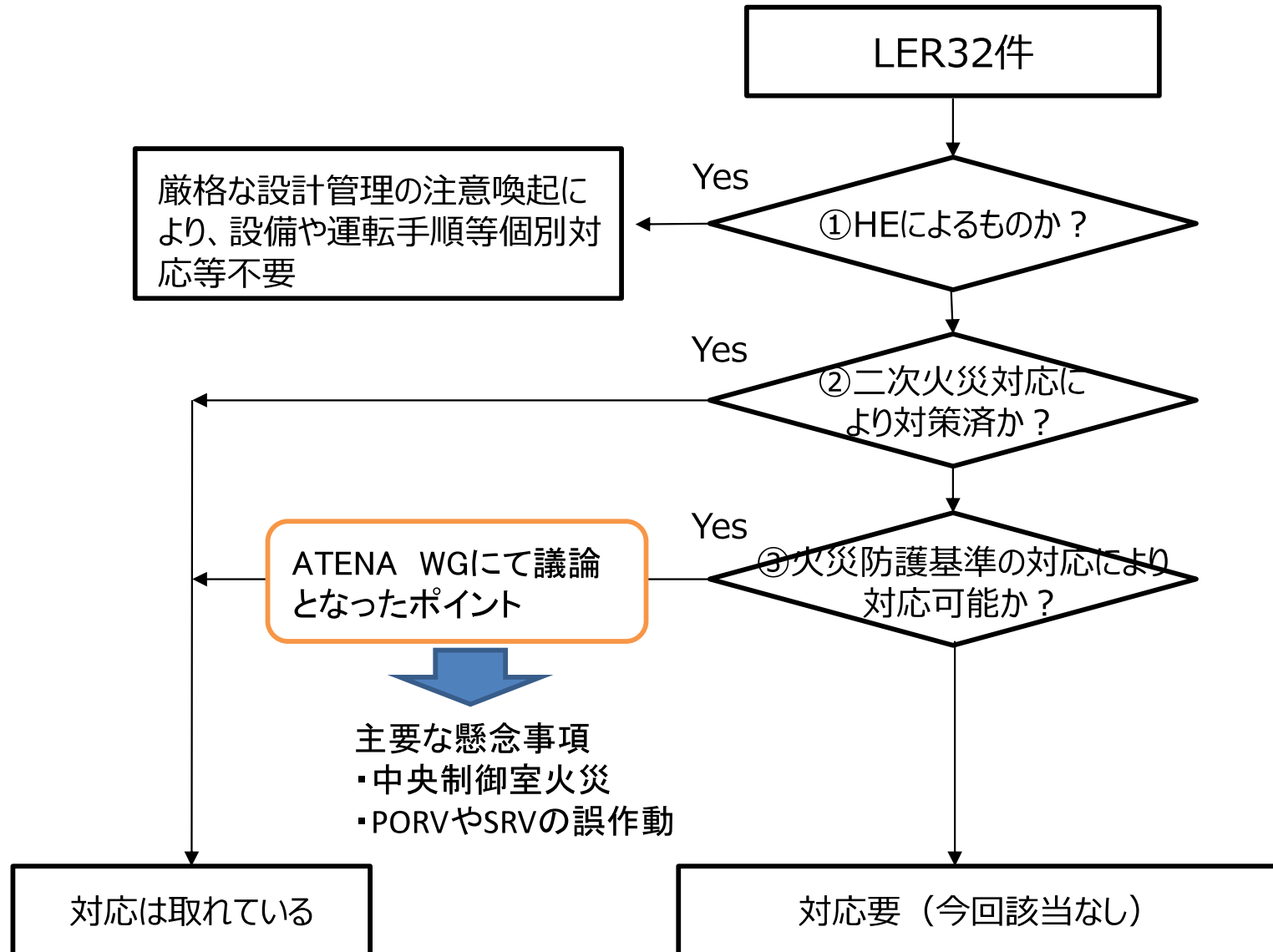
2023年7月6日

原子力エネルギー協議会

電力中央研究所 原子力リスク研究センター (NRRC)

- 2022年5月11日に日本版IN(第51回技術情報検討会で紹介された、米国の火災時安全停止回路解析に関連する**32件のLER情報**)が発出。
- 新規制基準に適合しているプラントは、**火災時に安全停止に必要な機器に対して系統分離対策を実施**しているため、火災時の安全停止機能は確保されていると考えているが、事業者としては自主的安全性向上の取り組みとして今後**短期対応（LER情報分析による現状把握）を行うとともに、中長期的対応（火災PRA、回路解析手法検討）**について検討を実施していく方針。
- 今回、短期対応としてのLER情報分析結果について報告する。

- 32件のLER情報の分析に際し、フローを作成。
- フローは以下の観点で場合分けを実施
 - ① **HE（ヒューマンエラー）や設計管理不備等によるものか**
 - ✓ 分離要求の対応不足、NFPA805へ移行する際のケーブルルート調査・評価時の見落としやケーブル敷設時の誤配線等、ヒューマンエラーや設計管理不備等によるものはスクリーングアウト可能と判断
 - ✓ 但し、同様の事象が起こることのないよう各事業者に周知、内容を確認
 - ② **米国IN（2014-10）二次火災対応にて対応済みか**
 - ✓ 米国IN2014-10の発出に伴い、事業者は自主的に直流電流計回路へのヒューズ設置等を実施し対応していることにより、スクリーングアウト可能と判断
 - ✓ 事業者の自主的対応の内容は、4ページ参照
 - ③ **火災防護審査基準の系統分離対策にて対応可能か**
 - ✓ 新規制基準である火災防護審査基準の要求に基づき系統分離対策が実施されており、安全停止機能が確保される場合はスクリーングアウト可能と判断
- 上記①～③のいずれも該当しない場合は、短期的な対応が必要な情報として運用、設備面での改善を検討する。



- 米国NRCは、回路の故障が2次火災事象又は設備の損傷を誘発させる可能性に関連した最近の運転経験を知らせるために、情報通知（IN2014-10）を発行。
 - ✓ 直流電流計回路の設計における電气的分離の不十分（Browns Ferry, Clinton）、又は直流動力及び制御回路の回路分離の不十分（Nine Mile Point）により、現地で発生した火災によって中央制御室の制御盤等で2次的火災が発生する可能性あり。
（詳細は次ページ参照）
 - ✓ 火災発生時のプラント安全停止能力に影響を与える可能性について注意喚起するため、2014年9月16日付でIN2014-10を発行。
- NRAは、第12回技術情報検討会（2015年1月19日）にて米国IN2014-10を紹介、国内の火災時における安全停止は基本的には系統分離の徹底によって担保されると考えられるものの、本件は要対応技術情報とし、引き続き調査することとした。
- その後、2015年5月19日に、JANSIより重要度文書「（重要度Ⅱ）火災時の直流電流計回路損傷による2次的火災または機器損傷への対応」が発出され、直流電流計回路へのヒューズ設置等が提言された。



各事業者にて、水平展開対象の検討及びヒューズの追加設置等、対応計画済。

➤ 米国IN (IN2014-10) における回路設計の不備は以下の通り。

(JANSI重要度文書より抜粋)

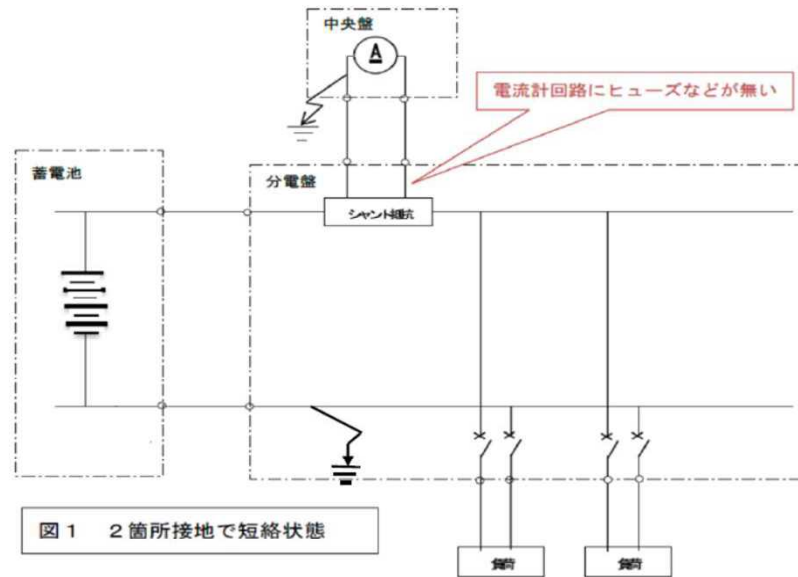


図1 2箇所接地で短絡状態

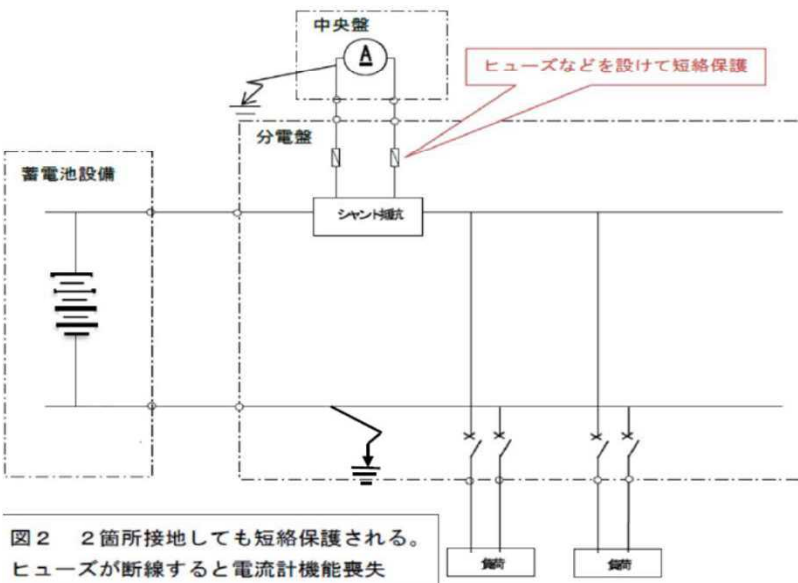
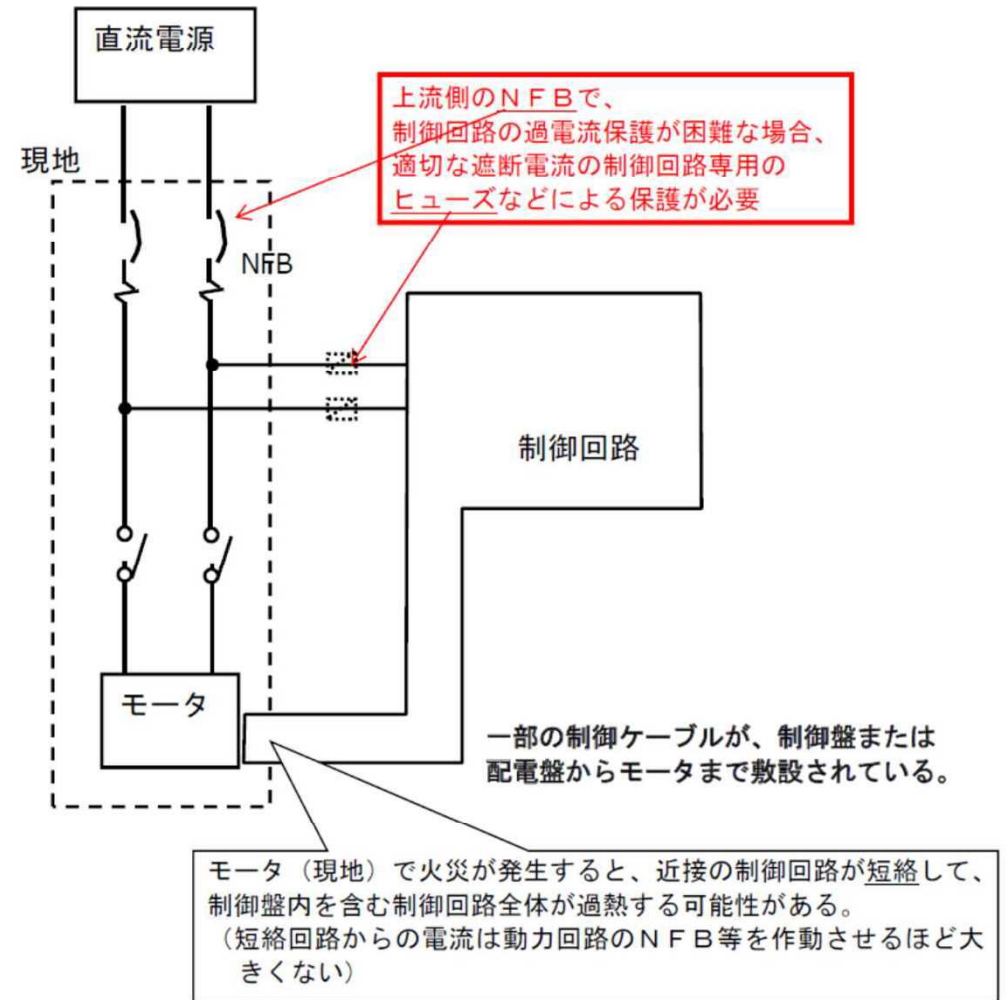


図2 2箇所接地しても短絡保護される。
ヒューズが断線すると電流計機能喪失



直流電動機制御回路を主回路と共用している例

直流電源計回路の過電流保護未設置例

- 32件のLERについて、分析フローによる整理結果概要は下表のとおり。（詳細は参考資料を参照のこと）

分類	事例	評価	備考
①HEによるもの(3件)	多重誤作動改造のためにケーブルを追加したが、当初のルートでない場所に追加した。	設計管理の注意喚起を図る	
②二次火災対応により対策済（6件）	直流電流計回路にヒューズが無いことからヒューズを追加する設計対応を行った。	IN2014-10に関連したJANSI提言により対応済	
③火災防護基準の対応により対応可能（23件）	RHR停止時冷却隔離弁が誤解放し、IS-LOCAとなる可能性。（6件）	健全側の安全系1区分により安全停止可能	誤作動に対する検討がATENA WGにて議論となった →中長期的に検討要
	中央制御室火災によるホットショートでMOVの誤作動が発生する（11件）		
	加圧器逃し弁のホットショートによる誤作動他（6件）		

- 現時点で短期的な対応が必要と考えられる情報は得られなかったが、火災に伴う機器の誤作動について、今後どのように対応すべきかがATENA WG※にて議論となった。

※ATENA、事業者、メーカ、NRRC等が参画するWG

- この確認の過程において安全停止上の懸念では無いものの、以下の事象についてどのように対応すべきかATENA WGにて議論となった。
- ✓ 中央制御室火災による多重誤作動 (Multiple Spurious Operation。以下「MSO」という。) 事象や加圧器逃がし弁 (PWR) や主蒸気逃し安全弁 (BWR)の誤作動による冷却材喪失

<事例>

通番	LER No. プラント名	件名	懸案	フロー分類	検討結果
10	293/2015-010-00: Pilgrim	電動弁制御回路の脆弱性	IN92-18 で指摘されたMOV の問題 (トルク・リミットスイッチがないと、ホットショートにより MOV が損傷、手動操作も不能となり得る) の代償措置である火災監視が未確立であることが 2015 年の火災防護検査の準備中に判明した。	③-Yes	中央制御室火災のホットショートによりMOVが誤作動して損傷する事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】
11	305/2012-001-00: Kewaunee	加圧器逃がし弁と原子炉ベント弁に対する附則R誤動作の懸念	加圧器逃し弁のソレノイド用の制御室から格納容器に至る制御ケーブルが、専用の電線管で引き回されておらず、ホットショートの状態次第では、弁が誤開放し得る。原子炉ヘッドベント弁でも同様の問題が見つかった。I/F LOCA となり得る。	③-Yes	ホットショートにより加圧器逃し弁が誤開放し、I/FLOCAとなる事象【過渡事象の起因となる事象】 【PORVが誤解放】 (【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要])

<これらの事例のATENA WGにおける受け止め、理解、議論について>

中央制御室での火災は早期検知、消火を行い、系統分離された緩和系により安全停止機能は確保されるものの、米国では制御室での火災の懸念が示されている。また、火災による加圧器逃し弁の誤動作などの冷却材喪失事象に繋がる事象については、系統分離された緩和系により安全停止機能は確保されるものの、米国ではそれら起因事象に係る懸念が示されている。

国内においても中央制御室における火災リスクや冷却材喪失事故などの起因事象に係るリスクについて着目して評価していく必要があるのでは無いか。

- LER32件について確認検討した結果、過去の取り組み（米国 IN2014-10発出に伴う事業者の自主的対応）並びに現状の火災防護基準の対応により安全停止機能は確保されていることを確認した。
- この確認の過程において安全停止上の懸念では無いものの、以下の事象についてどのように対応すべきかATENA WGにて議論となった。
 - ✓ 中央制御室火災によるMSO事象
 - ✓ 加圧器逃がし弁（PWR）や主蒸気逃し安全弁（BWR）の誤作動による冷却材喪失など過渡事象の起因となる事象
- これらは火災発生時においても現状の火災防護基準により安全系1区分が確保されることから原子炉施設の安全停止機能は確保されており安全停止に係る懸念事項ではないが、本件の対応については潜在的なリスクと捉えて引き続き今後の中長期対応の中で検討する。

参 考

➤ 32件のLERについて、分析フローによる整理結果は下表のとおり。

フローNo.	件数	LER 通番
①HEによるもの	3	7,12,19
②二次火災対応により対策済	6	1,2,3,22,26,32
③火災防護基準の対応により 対応可能	23 (17)※	4,5,6,13,15,20 (8,9,10,11,14,16,17,18,21,23,24, 25,27,28,29,30,31)
合計	32	

※ATENA WGにおける検討時議論となった項目数

➤ 32件のLERについて、分析フローによる整理結果は下表のとおり。

通番	LER No. プラント名	件名	懸案	フロー分類	検討結果
1	220/2014-002-00: Nine Mile Point	ヒューズのないMOV制御回路	MOVのヒューズ（保護）のないDC回路のホットショートにより、ケーブルの過電流・自己加熱により2次火災が発生し得る。	②-Yes	制御回路のホットショートにより二次火災が発生する事象。国内では直流設備の制御回路へのヒューズ未設置はIN2014-10への水平展開として対応済み。ただし、国内BWRでは、直流設備の制御回路に万一異常があっても当該機器の運転継続を優先するとのプラント設計思想であることからヒューズを設置していない場合がある。 （以下ニューシア情報） http://www.nucia.jp/nucia/kg/KgTroubleView.do?troubleId=263
2	244/2014-002-00: Ginna	複数の火災区画に影響するDC制御回路が絡むホットショート火災事象	非安全系のDC制御回路に過電流保護がないと、ホットショートでケーブルが過熱し、2次火災が発生し得る。	②-Yes	制御回路のホットショートにより二次火災が発生する事象。 【No.1と同様、水平展開対応済】
3	259/2011-010-00: Browns Ferry 1	適切に隔離されなかったDC電流計ケーブル	火災により制御室退避した際に使う現場のバッテリー盤の安全系電流計回路が、制御室の遠隔電流計回路と適切に隔離されていない。制御室の非安全系電流計の回路が火災時ホットショートの影響で、2次火災を発生させ得る。	②-Yes	充電器電流計回路が、安全系である現場と非安全系である制御室で電気的な分離がされていなかった事象。未解析状況であった。（制御室に充電器電流計回路が設置されているプラントが対象） 【No.1と同様、水平展開対応済】
4	259/2012-004-01: Browns Ferry 1	火災区画でのケーブル火災損傷によりRHRサービス水ポンプが起動する可能性	制御室火災時に適切に遮断されない制御回路が見つかった。その回路がホットショートすると、補機冷却水系からの誤信号でRHRサービス水ポンプが誤起動し得る。	③-Yes	ホットショートによりRHRサービス水ポンプが誤起動し、EDGの負荷投入に影響を与える事象。 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
5	259/2013-008-00: Browns Ferry 1	火災区画におけるケーブルの火災損傷によりRHRポンプが誤動作する可能性	制御室火災時に適切に遮断されない制御回路が見つかった。その回路がホットショートすると、RHRポンプが誤起動し得る。	③-Yes	現場盤のホットショートによりRHRポンプが誤起動し、EDGの負荷に影響を与える事象。 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
6	260/2012-005-00: Browns Ferry 2	NFPA805移行中に特定された第2区分RHR系統に影響する未解析状態	制御室火災時にホットショートによりLPCIの格納容器内弁の開失敗が発生し得る。	③-Yes	ホットショートによりRHR低圧注水内側隔離弁が誤閉止し、閉固化する事象。IN 92-18の事象に類似している。 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】

通番	LER No. プラント名	件名	懸案	フロー分類	検討結果
7	278/2011-004-00: Peach Bottom 3	HPCIの不適切なケーブルルートにより火災後安全停止解析に悪影響	2010年代のHPCIタービン蒸気供給弁制御回路の改造により、想定火災区画でのホットショートによりHPCIが動作不能となり得ることが判明した。	①-Yes	MSO改造のためにケーブルを追加したが、当初のルートではない場所に追加した事象。設計エラー。HPCIタービン蒸気供給隔離弁が誤作動し、故障する事象。 【HEとして整理】
8	282/2016-001-00 Prairie Island 1	不適合火災防護手動運転員操作	IN92-18「制御室火災時に遠隔停止能力を喪失する可能性」で指摘されたMOVのホットショートによる故障が、制御室火災以外でも発生し得ることがわかった。	③-Yes	中央制御室火災のホットショートに関する運転経験IN 92-18の事象。ホットショートによりMOVが誤作動して損傷する可能性が多数確認された事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】
9	285/2015-006-00: Fort Calhoun	不適切な設計による未解析の火災脆弱性	1983年に改造した加圧器バックアップヒーターバンクの制御回路の遮断設計に問題を発見。制御室火災時の制御室側でのホットショートにより、ヒータが意図したように動作しない可能性がある。	③-Yes	中央制御室火災時のホットショートにより、加圧器ヒータの制御回路が隔離できず、現場からの操作ができない事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】
10	293/2015-010-00: Pilgrim	電動弁制御回路の脆弱性	IN92-18で指摘されたMOVの問題（トルク・リミットスイッチがないと、ホットショートによりMOVが損傷、手動操作も不能となり得る）の代償措置である火災監視が未確立であることが2015年の火災防護検査の準備中に判明した。	③-Yes	中央制御室火災のホットショートによりMOVが誤作動して損傷する事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】
11	305/2012-001-00: Kewaunee	加圧器逃がし弁と原子炉ベント弁に対する附則R誤動作の懸念	加圧器逃がし弁のソレノイド用の制御室から格納容器に至る制御ケーブルが、専用の電線管で引き回されておらず、ホットショートの状態次第では、弁が誤開放し得る。原子炉ヘッドベント弁でも同様の問題が見つかった。I/F LOCAとなり得る。	③-Yes	ホットショートにより加圧器逃がし弁が誤開放し、I/FLOCAとなる事象 【過渡事象の起因となる事象】 【PORVが誤解放】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
12	361/2009-005-00: San Onofre 2	DGの配線ミスにより火災隔離能力を喪失	EDG-Aの保全作業で火災時遮断（隔離）フューズを誤配線した。この状態では、制御室火災時に遠隔操作ができなくなる可能性がある。	①-Yes	中央制御室火災時にホットショートが発生した場合、現場での非常用ディーゼル発電機起動ができなくなる事象。配線ミスにより、火災隔離のヒューズをバイパスする配線となっていた。 【HEとして整理】
13	366/2013-004-03: Hatch 2	RHR停止時冷却系隔離弁に対する想定火災時ケーブル間電気故障の脆弱性	格納容器内RHR停止時冷却系隔離弁の制御ケーブルが想定火災でホットショートすると、同弁が誤開放し得る（I/F LOCA）。	③-Yes	RHR停止時冷却系隔離弁が誤開放し、I/FLOCAとなる可能性がある事象。リスク評価の結果、安全上の影響は低いとされている。 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】

通番	LER No. プラント名	件名	懸案	フロー分類	検討結果
14	369/2012-001-00: McGuire 1,2	附則R不適合により冷温停止に影響する可能性	IN92-18 で指摘されたMOV の問題が、両号機のSG の動力作動逃し弁（PORV）にあることがわかった。想定火災区画での制御回路ホットショートで、弁が損傷し手動操作も不能となり得る。	③-Yes	中央制御室火災のホットショートによりMOVが誤作動して損傷する事象。 【中央制御室で早期検知消火により対応不要】
15	390/2013-005-00: Watts Bar 1	CVCS遠心充てんポンプの想定火災起因故障	補助建屋火災により CVCS 充てんポンプ（CCP）のサクシオン弁が偽閉止（正しい閉信号なしに閉）し、RWST 弁は開かないことから、CCP 故障、RCPシール喪失となり得ることがわかった。	③-Yes	ホットショートによりCCP故障、RCPシール喪失による小LOCAとなる事象。 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
16	390/2014-002-00: Watts Bar 1	附則R解析により特定された非保守的運転員手動操作	附則R 解析（安全停止能力に対する火災防護プログラム）で想定した加圧器過充填を防ぐための運転員余裕時間が保守的ではなかった。	③-Yes	運転員の操作時間による対応想定時間に不備があった事象 【安全停止能力の系統分離は運転員の操作時間に期待していないため、対応不要】
17	390/2015-002-00: Watts Bar 1	附則R火災時の加圧器PORVに偽開放に関する未解析の状態	加圧器 PORV の制御ケーブルが想定火災区画を通っている場合は、ホットショートにより PORV が偽開放すると仮定しなければならない。PORV 隔離が遅れると、SI 信号が出て、加圧器がソリッドになるおそれがある。時間余裕等の確認要。	③-Yes	ホットショートによりPORV誤開放する事象。 【過渡事象の起因となる事象】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
18	395/2011-001-00: Summer	附則Rに従う安全停止システムの1系列維持失敗の可能性	制御室、ケーブル室または制御建屋火災によるホットショートで安全母線の過電流リレーが作動し得る（給電遮断）。EDG-B の給電遮断器が閉じない可能性もある。当該リレーをリセットする手順が火災時緊急手順に入っていることを確認要。	③-Yes	制御室等の火災によるホットショートにより安全系母線が影響を受ける事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
19	395/2011-002-00: Summer	附則Rに従う安全停止システムの1系列維持失敗の可能性	1985 年の改造によって、火災によって制御室退避した際に EDG-B の制御回路を制御建屋から隔離（遮断）できるようになった。しかし、1992 年の EDG制御回路の改造によって、ホットショートにより制御電源のリレーが停電して、EDG の現場制御が妨げられ得るようになった。	①-Yes	ホットショートがよりEDGの自動起動が無効となる事象。火災による影響を防止するために改造を実施したものの、誤った変更が行われた。 【HEとして整理】
20	397/2015-006-01: Columbia	火災後安全停止に悪影響し得る想定多重誤作動（MSO）シナリオ	HPCS の複数の電動弁がホットショートにより偽開放することを MSO シナリオに想定していなかった。SP から CST への流れが形成され、SP 保有水量が減る（安全停止に影響し得る）。	③-Yes	ホットショートによりSP保有量が減り安全停止機能が影響を受ける事象。 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】

通番	LER No. プラント名	件名	懸案	フロー分類	検討結果
21	440/2011-001-00: Perry 1	火災防護設計脆弱性による未解析の状態	制御室の 2 つの電流計回路に配線欠陥があり、制御室火災によるホットショートで、それらの電流計遮断器の保護リレーが作動し、安全停止に要するA系列ESW ポンプと A 冷凍機の電源が切れ得る。	③-Yes	中央制御室のホットショートにより安全停止機能が影響を受ける事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
22	445/2013-002-00: Comanche Peak 1,2	無保護の電流計ケーブルからの2次火災	クラス 1E のバッテリー制御室電流計に過電流保護が付いていないことが判明。制御室外での火災によるホットショートで故障電流が流れると、ケーブルトレイ上で 2 次火災が発生し得る。	②-Yes	No.1と同様、水平展開対応済み。
23	454/2015-004-00: Byron 1	誤開放した弁の手動閉止を妨げ得る加圧器電動逃がし弁回路の設計欠陥	火災防護点検の際に加圧器 PORV のブロック弁制御回路に設計欠陥が見つかった。制御室火災時のホットショートにより、フューズがバイパスされ制御回路隔離が失敗し得る。	③-Yes	中央制御室またはケーブル処理室での火災のホットショートにより 加圧器PORV誤開放した場合、PORVブロック弁を現場MCCから閉止できない事象。 【過渡事象の起因となる事象】 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
24	456/2015-003-00: Braidwood 1	誤開放した弁の手動閉止を妨げ得る加圧器電動逃がし弁回路の設計欠陥	火災防護点検の際に加圧器 PORV のブロック弁制御回路に設計欠陥が見つかった。制御室火災時のホットショートにより、フューズがバイパスされ制御回路隔離が失敗し得る。	③-Yes	中央制御室またはケーブル処理室での火災のホットショートにより 加圧器PORV誤開放した場合、PORVブロック弁を現場MCCから閉止できない事象。 【過渡事象の起因となる事象】 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
25	461/2011-001-00: Clinton	想定されるHPCS誤作動	電線管内の自動起動ロジック計装ケーブルのホットショートによって、HPCS が誤起動し得る。HPCS 停止ポンプと注水弁も閉するので、RPV 満水後に HPCS を止められない可能性もある。	③-Yes	中央制御室のホットショートにより安全停止系が影響を受ける事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
26	461/2011-007-00: Clinton	ヒューズなしの電流計回路	フューズ（保護）のない DC 回路のホットショートにより、接地ループが構成され、過電流により隣り合うケーブルに熱損傷を与え得る。	②-Yes	No.1と同様、水平展開対応済み。
27	482/2010-003-00: Wolf Creek	EDG-B電圧制御回路に係る火災時安全停止の課題	制御室火災のホットショートでユニット・パラレルリレーが通電され、EDG が意図しないモードで運転され、電圧制御にも悪影響し得ることが判明。	③-Yes	中央制御室のホットショートにより非常用電源が影響を受ける事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】

通番	LER No. プラント名	件名	懸案	フロー分類	検討結果
28	482/2010-007-01: Wolf Creek	火災時安全停止火災に起因するMSO問題	5件のMSO問題が特定された。例：火災区画での火災で1台のRHRポンプ喪失と同時に火災起因の偽SISにより両RHRの作動が妨げられ得る。加圧器スプレイ弁が誤開放し、4台のRCPが制御室から停止できない可能性がある。	③-Yes	ホットショートにより安全停止系の機能喪失や加圧器スプレイ弁の誤開放、ホウ酸充填ポンプが誤起動する事象。 【過渡事象の起因となる事象】 【その他機器の誤動作】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
29	482/2010-013-00: Wolf Creek	火災時安全停止回路解析で特定された未解析の状態	制御室火災によるホットショートでEDG-Bの励磁器／電圧制御器のフェーズが切れ、給電できない可能性がある。制御室火災で加圧器PORVが誤開し、熱水力解析で要求する3分間以内の閉止ができない可能性。制御室火災でEDG-B室の換気ダンパーが故障し、室温が設計温度範囲から出るおそれがある。	③-Yes	中央制御室のホットショートにより非常用電源が影響を受ける事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
30	482/2011-008-00: Wolf Creek	火災時安全停止設計の隠れた課題が引き起こすESW流動不均衡	制御室火災でCCW熱交換器からのESWリターンラインの弁（安全停止には要閉）が開き得ることが判明。重要機器へのESW流量が減るおそれがある。	③-Yes	中央制御室のホットショートにより安全停止機能が影響を受ける事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
31	528/2012-005-01: Palo Verde 1,2,3	RSS制御回路欠陥によるTS禁止状態	制御室火災時にB系列加圧バックアップヒータの制御回路が隔離されない可能性が判明。CVCS隔離弁にも同様な問題が見つかった。	③-Yes	中央制御室のホットショートにより安全停止機能が影響を受ける事象。 【中央制御室での早期検知消火により対応不要】 【系統分離対策により安全停止機能は確保されており、対応不要】
32	528/2013-003-00: Palo Verde 1,2,3	過電流保護のないDC電流計	系列BとDのクラス1Eバッテリーと充電器の電流計回路に過電流保護がついていない。制御室火災によるホットショートで同回路に故障電流が流れると、ケーブルトレイ上でケーブルが2次火災し得る。	②-Yes	No.1と同様、水平展開対応済み。