

1 相開放故障事象（OPC）自動検知システムの実機検証結果について

2022年8月3日
原子力エネルギー協議会

目次

1. はじめに	1
2. 国内におけるこれまでの取組みと今後の計画	2
3. 代表プラントのOPC自動検知システム設置概要	3
4. 試運用・現地検証内容	4
5. 試運用・現地検証結果	5
6. 検証結果及び米国の状況を踏まえた誤検知に対する対応方針	7
7. システム導入に伴う手順書の整備及び教育・訓練	8
8. 各社の設置計画（PWR・BWR）	9
9. 設置計画の進捗状況確認	11
10. 最後に	12

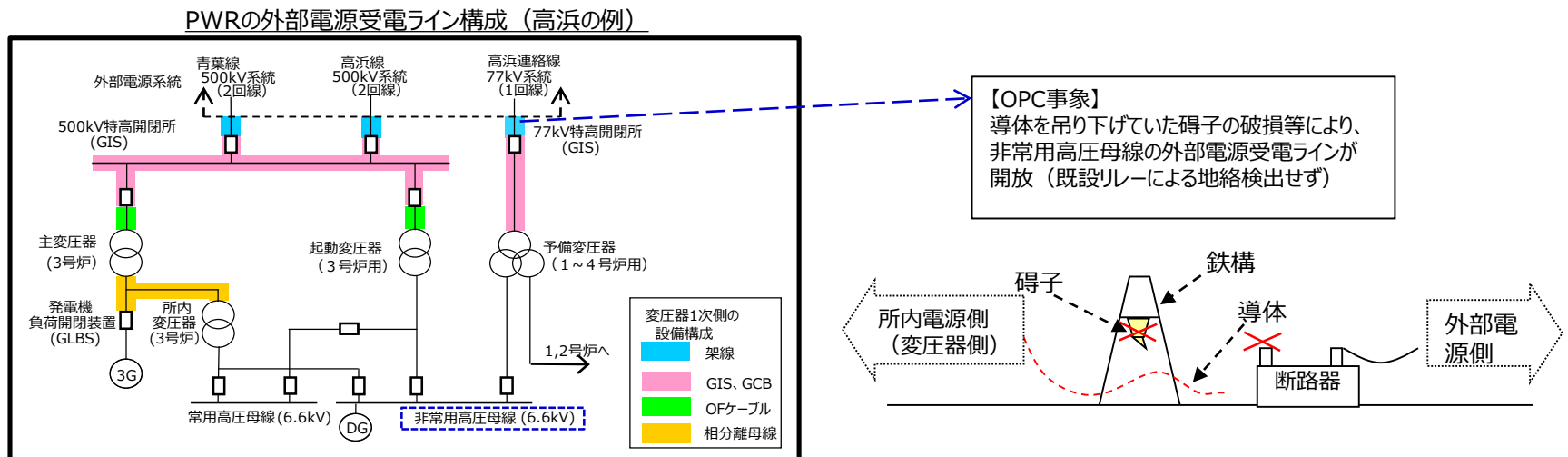
1. はじめに

1. 経緯

1 相開放故障事象（OPC : Open Phase Condition）への対応については、設置許可基準規則第33条に基づき既設の保護リレー等で検知できない箇所について、運転員の巡視点検や受電ライン切替前後の点検等により事象を検知する運用としており、また、OPC発生時の兆候及びその対応を運転員に教育し、手順として定める等、OPCによるプラント影響を防止できる体制を構築している。したがって、仮に常時外部電源を受電している起動変圧器のラインでOPCが発生したとしても、非常用高圧母線の電動機が連続的に過電流トリップする等の兆候にて、速やかに非常用ディーゼル発電機等の健全な電源に切り替えることが可能であり、リスク上喫緊の問題はないと考えている。

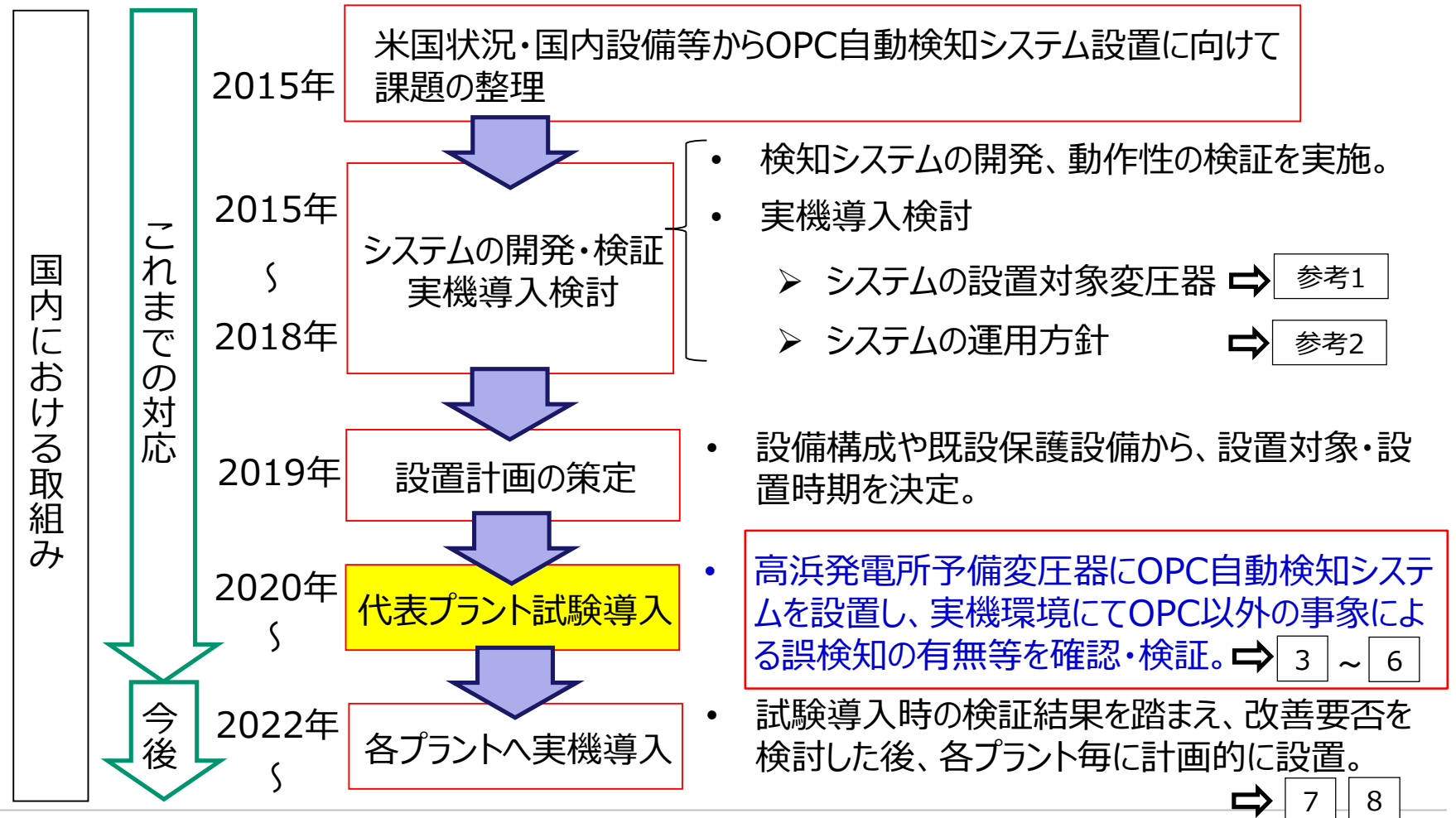
ただし、非常用高圧母線への外部電源受電ラインに架線を含む場合で、OPCを既設の保護リレー等で検知できない変圧器については、事象発生から把握までにタイムラグがあることから、機械的にOPC事象を検知可能なOPC自動検知システムの開発・検証を行い、実機導入に向けて検討・準備を進めてきた。

今回、代表プラントへのOPC自動検知システムの設置ならびに試運用・現地検証が完了したため、その結果について報告するものである。



2. 国内におけるこれまでの取組みと今後の計画

- 国内では、これまで海外情報等の収集を行いながら、OPC自動検知システムの開発・検証及び実機導入について検討し、設置計画の策定まで実施済である。（2020年8月5日の公開会合にてご説明済）
- その後、設置計画に基づき、代表プラントとして高浜発電所予備変圧器にOPC自動検知システムを設置し、試運用・現地検証を実施したので、その結果について報告する。今後、各プラントへの実機導入を進めていく。



3. 代表プラントのOPC自動検知システム設置概要

1. 対象変圧器

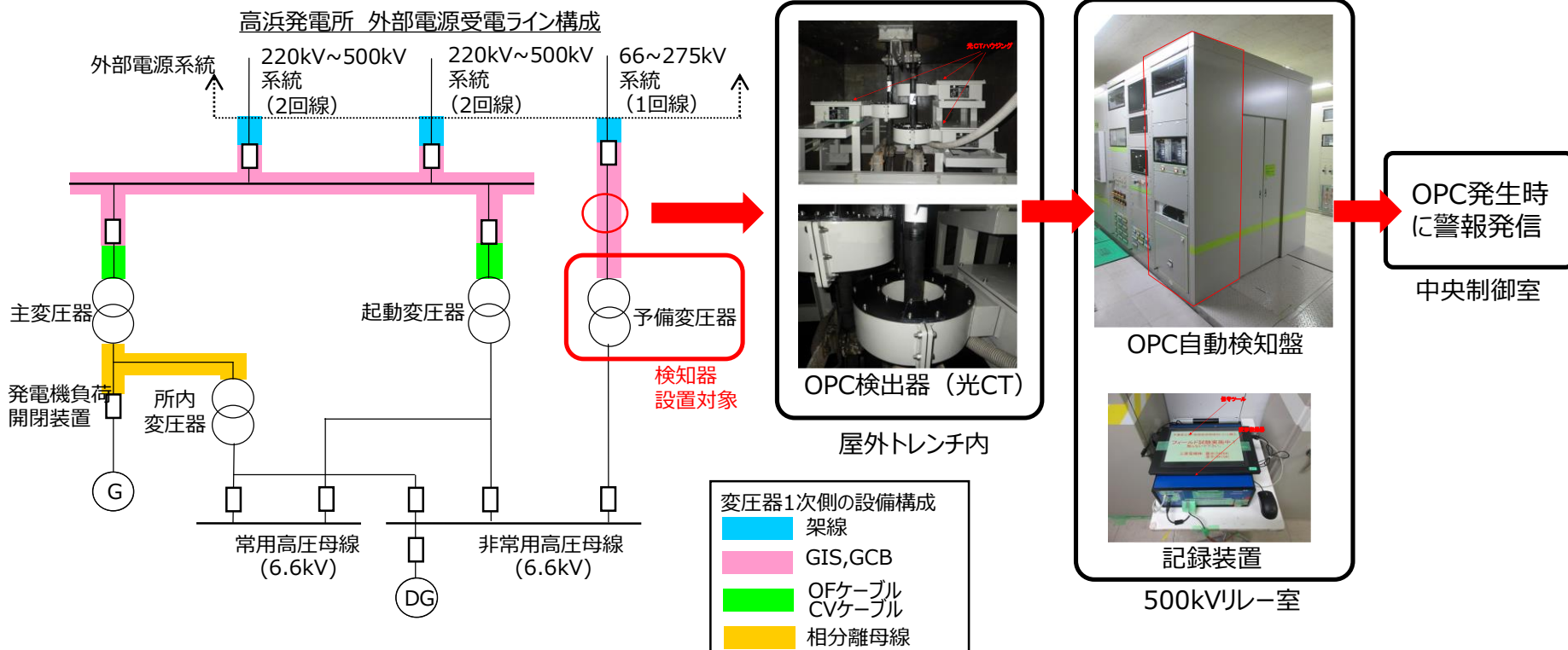
高浜発電所 予備変圧器

2. 工事期間

2020年9月～2021年3月（現地施工は2021年2月～2021年3月）

3. 工事内容

OPC検出器（光CT）及び自動検知盤を現場に設置し、OPC警報発信機能を追加。



4. 試運用・現地検証内容

1. 現地検証の目的

以下の項目を確認することを目的に現地検証を実施した。

①これまでの開発において前提としてきた実機環境*に大きな相違がないこと。

②現地での誤検知の有無等。 *：開発段階での想定事象は、①雷・開閉サージ、②変圧器の短絡・地絡、③系統電圧・周波数の変動、④単相再開路、⑤系統切替によるループ潮流、⑥安全系負荷の負荷一斉脱落、⑦励磁突入電流の7事象。下線部の③⑤⑥⑦は現地試験により検証、①②④は自然現象又は事故によるものであり、試運用中の発生状況に応じて検証を実施することとした。

2. 検証期間

2021年3月度に現地設置を完了し、2021年3月～2022年3月の約1年間を検証期間とした。

現地検証期間中は、検知システム動作時の要因調査のために記録装置を設置し、**試運用では外乱影響を幅広く採取するため、本来は数秒程度に設定する不要動作防止タイマーの設定値を0秒として検証**した。

3. 検証内容

(1) システム設計の妥当性に関する検証

①現地試験による動作検証

実機環境において実施する可能性がある運転操作を行い、警報発信（不要動作）の有無を確認し、システム設計への反映の必要性を検討した。

②通常運用状態における動作検証

実機環境での通常運用状態において、警報発信（不要動作）の有無を確認し、システム設計への反映の必要性を検討した。

(2) システムの監視性や運転操作に関する検証

通常運用状態及び誤検知等による監視性や運転業務への影響を聞き取り等により確認した。

5. 試運用・現地検証結果 (1/2)

1. 検証結果

(1) システム設計の妥当性に関する検証結果

① 現地試験による動作検証

開発段階での想定事象

- ①雷・開閉サージ、②変圧器の短絡・地絡、③系統電圧・周波数の変動、
④単相再開路、⑤系統切替によるループ潮流、
⑥安全系負荷の負荷一斉脱落、⑦励磁突入電流

No	試験項目	試験内容 (試験日)	検証結果 (不要動作の有無)	対応する開発段階での想定事象
1	予備変圧器しゃ断器 E10投入	予備変圧器しゃ断器E10投入時の励磁突入電流による不要動作の有無を確認 (2021.3.11)	不要動作あり (動作時間6.7秒)	③⑦
2	補機起動・停止	大型補機 (1次系冷却水ポンプ) 起動時の起動電流による不要動作の有無を確認 (2021.3.11)	不要動作なし	③⑥
3	動力変圧器しゃ断器投入	動力変圧器投入時の励磁突入電流による不要動作の有無を確認 (2021.3.11)	不要動作なし (負荷の状態により不要動作可能性あり)	③⑦
4	電源切替 (非常用DG⇔予備変圧器)	非常用DGから予備変圧器への負荷切替による不要動作の有無を確認 (2021.3.11)	不要動作あり (動作時間71.4秒)	③⑤

・開発段階での想定事象③⑤⑥⑦については、試験項目No.1、No.4は不要動作あり、No.3は負荷の状態により不要動作の可能性ありであり、不要動作を防止するためには、タイマーの設定値を100秒程度とする必要があることを確認した。ただし、これらの不要動作は運転操作にあたり予め想定し得るもので警報発信時に即時対応が可能であることを考慮し、不要動作防止より1相開放故障事象の検知を優先し、タイマー設定はメーカー設定値※に従い、短時間の設定として本格運用を開始することとした。

※：メーカー設定値は機密情報のため開示不可

・開発段階での想定事象①②④については、システム開発の段階で事象継続時間 (10秒以内) を評価済みであり、タイマー設定で不要動作を防止できることを確認している。⇒ 参考3

・以上より、システム設計へ反映が必要な事項は確認されなかった。

5. 試運用・現地検証結果（2/2）

1. 検証結果（前頁の続き）

（1）システム設計の妥当性に関する検証結果

②通常運用状態における動作検証

- ・検証期間中における不要動作（誤検知）なしであり、システム設計へ反映が必要な事項は確認されなかった。
ただし、今回の検証は、誤検知の可能性のある事象について網羅的に動作確認したものではないため、本格運用開始以降も引き続き、誤検知の可能性を念頭に対応が必要である。

（2）システムの監視性や運転操作に関する検証

- ・実機環境での運用において監視性や運転業務に影響するような懸案は抽出されなかった。

（発電所意見・要望等の調査結果）

項目	所管課／室	調査結果	設計反映／意見要望の有無
監視操作性	第一発電室 第二発電室	監視操作性への問題なし	無
運転業務への影響	第一発電室 第二発電室	運転業務への支障、問題点なし	無
設計変更の見直し必要性	電気保修課	設計段階での想定事象、検知ロジック等の見直し必要性なし	無

以上の（1）（2）の検証結果より、システム設計及び運用面へ反映が必要な事項がないことを確認した。なお、誤検知に対する対応方針は、次ページに示す。

6. 検証結果及び米国の状況を踏まえた誤検知に対する対応方針

1. 誤検知に係る検証結果の考察

検証期間中、運転操作時を除き、通常運用状態において誤検知は確認されなかったが、落雷やシステムショック等の突発事象に対するシステム挙動を十分に確認できていないため、今後も誤検知がないとは言い切れないため、運用面で誤検知を考慮した対応が必要である。 ⇨ 参考16

2. 米国における誤検知対応状況

(1) 誤検知の発生状況

NRCがこれまでに発行しているOPC検査レポートでは、43発電所の内、少なくとも8発電所が誤検知を経験しており、原因が分かっていないものもあるとされている。そこで、ATENAとして誤検知の原因を把握するため、2020年7月から9月にかけて独自にNEIのシステムエンジニアと面談し、OPC検出器に係る誤検知の経験について聞き取りを行った。その結果、OPC検知器の運用開始後における電源系統の変更を設定値に反映できていなかったケース、非常用ディーゼル発電機の系統並列運転を考慮したOPC検知器の設定ができていなかったケース等、OPC判断の閾値設定に関する問題が誤検知の主な原因であることが分かった。

(2) OPC警報発信時の対応

2021年度に新たにNRC検査レポートが発行された30発電所のすべてが、リスク情報を活用してOPC警報発信時に運転員が手動で対応する意向であり、これまでに発行されたNRC検査レポートから、43発電所のうち約7割が運転員による手動対応を適用又は適用する予定であることを確認した。

3. 国内における誤検知に対する対応方針

上記の状況を踏まえ、国内ではOPC警報発信時に運転員が誤検知か否かを判断し、OPCと判断した場合は手動でしゃ断器を開放し、OPC警報とSI/BO信号が重畳した場合は、原子炉の安全停止を優先して、誤検知か否かに関わらずしゃ断器を開放し、速やかに非常用DGからの受電に切替えることを社内マニュアルに明記する。

なお、2017年7月に中部電力浜岡4号機で発生した誤検知事象の原因は、落雷による系統電圧の瞬時低下であることが分かっており、誤検知防止の観点からOPC判断の閾値設定と同様に、不要動作防止タイマーの設定も重要であり、プラント毎に必要な試運用・現地検証を行い設定値の妥当性を確認した上で、本格運用を開始する方針とする。

7. システム導入に伴う手順書の整備及び教育・訓練

1. 手順書の整備

OPC自動検知システムの導入にあたり、以下の社内標準（手順書）を整備した。OPC検知システム導入に伴う改定内容は以下のとおり。

社内標準名称	システム導入前	システム導入後	改定のポイント
(1)発電室業務所則	<ul style="list-style-type: none"> 変圧器の巡視点検（1回／日）時にOPCの発生がないことを確認する。 OPCを検知した場合、故障箇所の隔離または非常用母線を健全な電源系に切替える。 当直課長は、予備変圧器から所内負荷へ給電時は、<u>77kV送電線の電流値測定を電気保修課長に依頼し、その結果を確認する。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 変圧器の巡視点検（1回／日）時にOPCの発生がないことを確認する。 OPCを検知した場合、故障箇所の隔離または非常用母線を健全な電源系に切替える。 当直課長は、予備変圧器から所内負荷へ給電時は、<u>77kV送電線の電流値を確認する。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 高浜の保安規定第73条（外部電源）の「予備変圧器から所内負荷へ給電時は、77kV送電線の電流値を確認する。」の対応について、電気保修課員が電流値を測定し運転員が確認する方法から、運転員が直接電流値を確認する方法に変更（OPC検知盤で電流値を確認）
(2)運転操作所則	<ul style="list-style-type: none"> 予備変圧器受電前に巡視点検を行い、OPCの有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 予備変圧器受電前に巡視点検を行い、OPCの有無を確認する。 	変更なし
(3)警報時操作所則	記載なし	<ul style="list-style-type: none"> OPC警報発信時の確認、操作 OPC警報とSI/BO信号が重畳した場合は予備変圧器しゃ断器を開放 	<ul style="list-style-type: none"> OPC警報発信時の対応手順を追加

2. 警報発報時の対応

- OPC警報を確認後、中央制御室で77kV送電線の各相電圧ならびに所内負荷給電時は運転パラメータを確認し、現場のOPC検知盤で各相電流を確認する。異常がない場合は、OPC検知盤で警報リセット操作を行い、警報がリセットできた場合は誤検知と判断する。
- 警報がリセットできない場合は検知盤の故障又は実際にOPC発生と考えられるため、電気保修課に検知盤の点検を依頼するとともに、現地で予備変圧器および架線設備の目視点検を行い、断線等の異常がないか確認する。点検、確認の結果、OPC発生と判断した場合は予備変圧器しゃ断器を開放する。
- OPC警報とSI/BO信号が重畳した場合は、速やかに予備変圧器しゃ断器を開放し、予備変圧器を待機除外とする。

3. 教育・訓練

社内標準（教育訓練要綱）に基づき、運転員に対して定期的（1回／年以上）にOPC対応の机上教育及び実技訓練を実施している。

8. 各社の設置計画 (1/2)

PWR電力工程概要

2020年8月5日公開会合時からの変更点と理由を併せて記載

電力	2020年度 (令和2年度)												2021年度												2022年度												2023年度												2024年度												2025年度												2026年度																																																											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3																																																
北海道電力																																					泊P/S 1・2号機共用 予備変圧器 ▲ ★ 再稼働審査の進捗を踏まえた発電所全体工程の見直しにより設置完了時期を2024.1から2025.1へ見直し																																																																																															
																																																	泊P/S 共用号機 後備変圧器 ※ ※ 後備変圧器の設置時にOPC設備対策を実施する。																																																																																			
関西電力	高浜P/S 共用号機 予備変圧器 ▲ ★												試運用・現地検証												美浜P/S 共用号機 予備変圧器 ▲ ★												美浜P/S 3号機 No2起動変圧器 ▲ ★												大飯P/S 共用号機 予備変圧器(No1) ▲ ★												プラント工程、設備点検計画最新化と半導体不足により設置完了時期を2023.3から2024.3へ見直し												プラント工程、設備点検計画最新化と半導体不足により設置完了時期を2023.3から2024.3へ見直し																																																											
四国電力																																																																																																																																				
九州電力																																																	玄海P/S 3/4号機共用 予備変圧器 ▲ ★												玄海P/S 3/4号機共用 予備変圧器 ▲ ★												川内は外部電源設備の改造により対応可能であり、追加対策なし												プラント工程、設備点検計画最新化と半導体不足により設置完了時期を2024.3から2024.11へ見直し																																															
日本原電																																																	敦賀P/S 2号機 予備変圧器 ▲ ★												敦賀P/S 2号機 予備変圧器 ▲ ★												再稼働審査の進捗を踏まえた発電所全体工事の見直しにより設置完了時期を2023.12から2024.12へ見直し												敦賀P/S 2号機 後備変圧器 ※ ※ 新規基準適合のため新設に合わせてOPC設備対策を実施する。																																															

〔凡例 :計画工程 :実績工程 ▲ :現地工事着手 ★ :設置完了(試運用の開始) 〕

注) 各社の設置計画は最新の工程より見直しを実施、今後も再稼働時期や関連機器の点検時期等に伴い変更の可能性あり

8. 各社の設置計画 (2/2)

BWR電力工程概要

2020年8月5日公開会合時からの変更点と理由を併せて記載

電力	2020年度 (令和2年度)			2021年度			2022年度			2023年度			2024年度			2025年度			2026年度																
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
東北電力							女川P/S 共用号機 予備変圧器 ▲ (東通は既存設備により対応可能であり、追加対策なし)			再稼働工程の見直しにより設置完了時期を 2023.3から2023.11へ見直し ★																									
東京電力 ホールディングス							柏崎刈羽P/S 共用号機 予備変圧器			▲			★ 選定検討の遅延と半導体不足により設置完了時期を 2023.3から2024.5へ見直し																						
中部電力							(浜岡は既存設備により対応可能であり、追加対策なし)																												
北陸電力							志賀P/S 2号機 予備電源変圧器			▲ ★ 設計進捗により着手時期を 2023.6から2024.2へ見直し																									
中国電力				島根P/S 共用号機 予備変圧器			▲ ★ 当初計画通り						運転計画の見直しにより、設置完了 時期を2024.6から2026.10へ見直し						島根P/S 3号機 補助変圧器 ▲ ★																
													東海第二P/S 予備変圧器			▲ ★ 工事計画(安全対策工事完了時期)変更に伴う停電工程 変更より設置完了時期を2023.3から2024.9へ見直し																			
電源開発										大間P/S 予備変圧器			(建設中に実施)																						

〔凡例 :計画工程 :実績工程 ▲ :現地工事着手 ★ :設置完了(試運用の開始) 〕

注) 各社の設置計画は最新の工程より見直しを実施、今後も再稼働時期や関連機器の点検時期等に伴い変更の可能性あり

9. 設置計画の進捗状況確認

各社の設置計画については、ATENA会員の責任者が出席するATENAステアリング会議でコミットし、責任を持って自律的かつ計画通りに実施するよう、ATENAで引き続き進捗状況のフォローを行う。

- ① ATENAから事業者に対し、設置計画の提出を要求。
- ② 事業者は年に一度、ATENAへ「**最新の設置計画（現地着工時期、工事完了時期、試運用完了時期）**」および「**実績**」について報告する。計画変更が必要となった場合は、その理由を付して適宜報告する。
また、試運用完了時には、「**本格運用開始日**」および「**システム導入に伴い整備した手順書類名**」についてATENAへ報告する。
- ③ ATENAは②の進捗情報について、ATENAホームページへ公開する。
- ④ ATENAは年に一度および計画変更時、各社の進捗状況について原子力規制庁へ報告する。

1 相開放故障自動検知システムの設置計画・実績管理（例）

事業者	発電所名	設置対象 変圧器	設置計画／実績					備考 ・システム導入に伴い整備した 手順書類名 ・その他特記事項	
			現地着工	工事完了	試運用完了 (手順整備含む)	本格運用開始	計画変更の 理由		
A 電力	高浜 発電所	予備 変圧器	計画	2020年9月	2021年3月	2022年4月	2020年4月	-	<ul style="list-style-type: none"> ・発電業務所則 (電流計測) ・警報時所則 (警報時対応、SI/BO信号 発信時操作手順等)
			実績	2020年9月	2021年3月	2022年4月	2022年4月12日		
B 電力	□ 発電所	□ 変圧器	計画	2022年9月	2024年〇月 ※	2025年〇月 ※	2025年〇月 ※	※〇〇による 着工時期 変更のため	
			実績	2022年12月 ※					
C 電力	△ 発電所	△ 変圧器	計画	2023年10月	2024年5月	2025年5月	2025年5月		
			実績						

10. 最後に

・代表プラントでの試運用・現地検証結果

国内メーカーにより設計開発されたOPC自動検知システムの実機適用にあたり、代表プラントの高浜発電所（予備変圧器）に設置し、2021年3月より試運用・現地検証を実施した結果、システム設計及び運用面へ反映が必要な事項がないことを確認した。

従って、国内の各プラントへの実機導入に問題はないと判断する。

・各プラントへの実機導入計画

代表プラントでの試運用・現地検証結果を踏まえ、今後、国内各プラント※にOPC自動検知システムの実機導入を進め、OPC検知に係る人的運用の信頼性向上を図る。

なお、プラントによって採用する1相開放故障検知システムのメーカー及び実機環境に違いがあることを踏まえ、プラント毎に設置及び必要な試運用・現地検証を実施し、本格運用を開始することとする。

※：電源開発を含む9社のプラント。中部,四国,原燃は既存設備により対応可能であり、追加対策なし。

・事業者としては、技術基準規則第45条の要求事項に基づき、現在実施している運転員の巡視点検等によるOPC検知運用はそのまま継続し、OPC自動検知システムを人的運用の信頼性を向上・補完するものと位置付け、自主的かつ計画的にシステムを導入していく予定である。

・ATENAにて、引き続き工事進捗状況のフォローを行う。

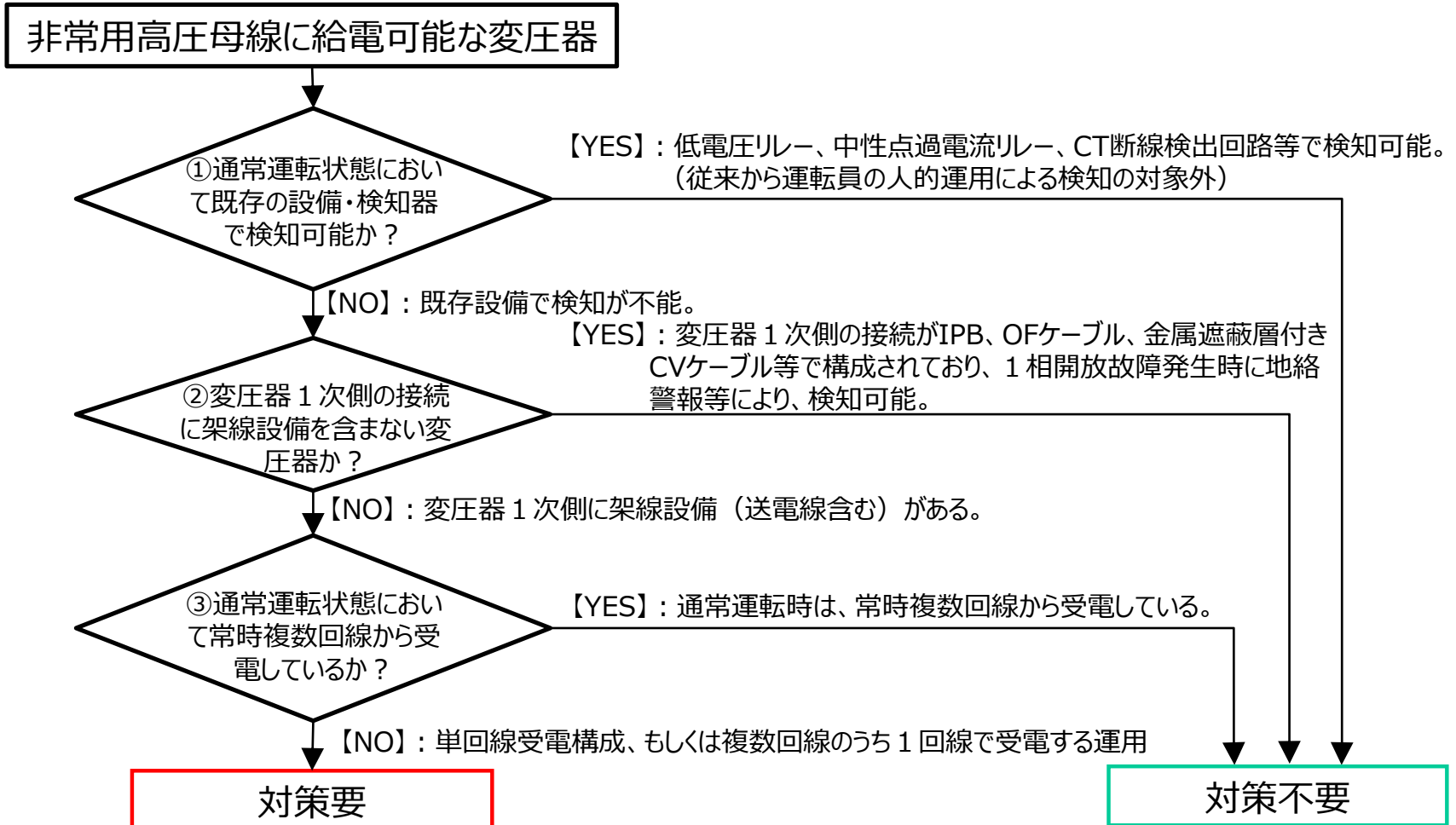
以下、參考資料

OPC自動検知システムの設置対象変圧器の選定

(2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲)

設置対象として、1相開放故障を人的運用によって検知する必要がある変圧器を以下のフローにより選定。PWR / BWR 共に主に通常運転中は待機状態の予備変圧器が対象になる。

設置対象変圧器の選定フロー



OPC自動検知システムの運用方針

(2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲)

システムの運用方法

以下の点より、OPC自動検知システムは、警報発信用としての使用を考えている。
(警報発信運用による設置で十分な効果が得られると考えている。)

①警報発信（自動的な検知）による効果

現状、1相開放故障の機械的検知（低電圧リレーの動作、中性点過電流リレーの動作、CT断線検出回路等）ができない外部電源受電ラインは、運転員の巡視点検や受電ライン切替前後の点検等により1相開放故障を検知する運用のため、事象発生から把握までにタイムラグがあるが、OPC自動検知システムの設置により、即時の警報発信が可能となり、従来より、早く、確実な検知が行える。

（電源系の手動切替操作は、非常に容易な操作で中央から実施可能である）

仮に誤検知によって警報が発信しても、運転員はOPC検知器における検知状態の継続有無、3相の電圧・電流計指示値のバランス状況、安全系補機の運転状態や現場架線設備の健全性を確認した上で、最終的に遮断器の開放操作を行うことから誤検知による悪影響はない。また、OPC警報発信中にSI信号又はBO信号が発信した場合は、誤検知が否かに関わらず即座に遮断器を開放する運用とする。

②検知後の自動インターロック化による懸念

1相開放故障発生と至急注水を行うべき事象（大LOCA等）が重畳して発生した場合、短時間で炉心注入を実施する観点では、OPC自動検知システムの信号を遮断器切替のインターロックに組み込むことは有効である。

しかし、OPC自動検知システムの動作しきい値は、事象の早期把握の観点で保守的な（動作しやすい）設定とすることから、自動化インターロックを組み込んだ場合、システムの誤動作で健全な電源が自動的に系統から切り離され、非常用電源系の冗長性が不要に失われる可能性があることも併せて考慮する必要がある。

OPC自動検知システムの検証試験結果

(2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲)

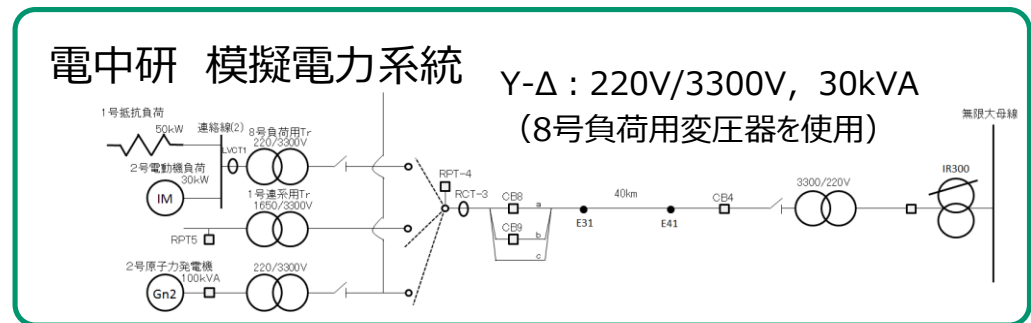
○以下、2017年度に実施した検証試験概要

- 3メーカー（日立GE、東芝ESS、三菱電機）とも電中研の模擬電力系統にて実際に欠相を模擬、検知器による検証可否を確認した結果、ロジックどおりの検知が可能との検証結果を得た。
- 2017年度の第1Q（4月～6月）にて、既存改造/新規検知器による、1相開放故障事象の検出性についてP/B全電力共同委託にて、検証試験を実施完了。
- 現地適用時には、模擬電力系統で確認した検知ロジックどおりに、各実プラント構成にておいても動作可能である事の確認や、検知器の動作しきい値、プラント毎の時限設定等のために、個別の電気解析等にて確認する事が必要となる。

検証結果	
三菱電機製品	検知率 100% (128/128)
日立GE製品	検知率 100% (128/128)
東芝ESS製品	検知率 100% (128/128)

(試験概要)

- 1相、2相欠相において、事故点・接地方式・負荷状況等を変化し128ケースを実施
- 試験は実系統（模擬）において、検知器がメーカーの社内における試験内容と同様の挙動を示すかを、代表例で確認する位置づけで実施。



（2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲）

各メーカー製品のOPC検出アルゴリズム

	三菱電機製	日立GE製	東芝ESS製
検出箇所	<p>変圧器 1 次側</p> <p>Ia Ib Ic</p> <p>保護継電器</p>	<p>変圧器 1 次側</p> <p>Ia Ib Ic</p> <p>保護継電器</p>	<p>変圧器 1 次側</p> <p>Ia Ib Ic</p> <p>保護継電器</p>
電流検出用設備	微小な電流の検出が可能な光CT※1を新規に設置	微小な電流の検出が可能な光CT※1を新規に設置	既設の変流器の精度※2を評価し、適用可能な場合、既設の変流器を使用
検出アルゴリズム	電流がしきい値以下の場合 1 相開放故障と判定 $\min(I_a , I_b , I_c) < \text{しきい値 (相電流)}$	3 相の電流の偏差以上の場合 1 相開放故障と判定 $\max(I_a , I_b , I_c) - \min(I_a , I_b , I_c) > \text{しきい値 (電流偏差)}$	電流がしきい値以下の場合 1 相開放故障と判定 $\min(I_a , I_b , I_c) < \text{しきい値 (相電流)}$

※ 1 .光CT：既設の変流器は巻線型であり、一次側に流れる大電流を二次側接続機器に応じた小電流に変成する方式である。従って、一次通電電流が微小なケースでは二次電流が更に小さくなるが、光CTは、ファラデー効果による光の偏波を電気量に変換する方式のため、一次通電電流を一律に変成するのではなく、二次側接続機器に必要な電流情報に変換して伝達することができる。

※ 2 .精度：電流が流れているか流れていないかを判定できることであり、具体的には、励磁電流（変圧器定格電流の約0.1%の電流値）の有無を判別可能なことを要求精度としている。

(2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲)

(1) 三菱電機製品概要

【欠相検知システム概要】

<検知方法>

本システムは、変圧器高圧側電流及び対称成分の大きさから欠相を検知。

<機器構成>

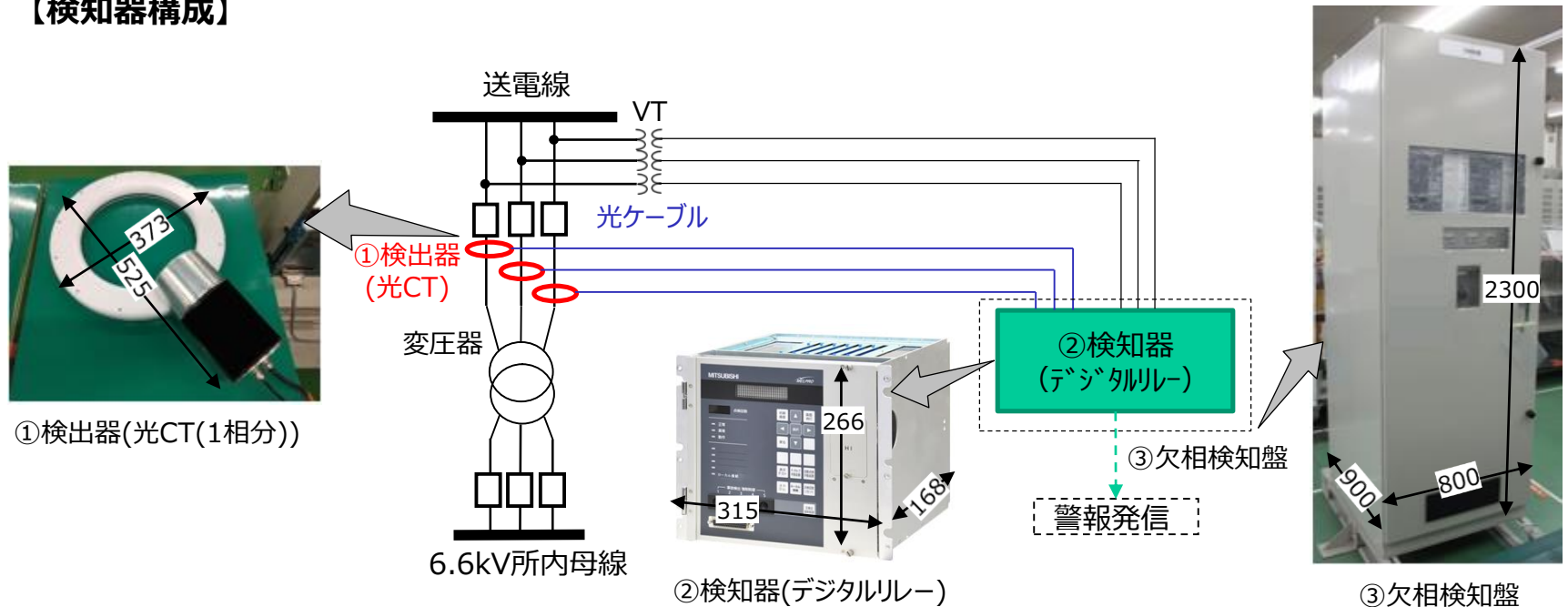
検出器：変圧器励磁電流(約0.1A)を測定可能な光CTを採用。

検知器：光信号を入力可能なデジタルリレーを採用

<発信信号>

検出器からの信号を検知器に入力し、検知器から欠相検知・警報信号等を発信。

【検知器構成】



(2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲)

(2) 日立GE製品概要

【欠相検知システム概要】

<検知方法>

本システムは、変圧器高圧側電流、所内側電圧の3相偏差およびその挙動変化から欠相を検知する。

<機器構成>

検出器：変圧器励磁電流(約50mA以上)を計測可能。

主機の改造無く取付可能なケーブル型光電流センサを使用。

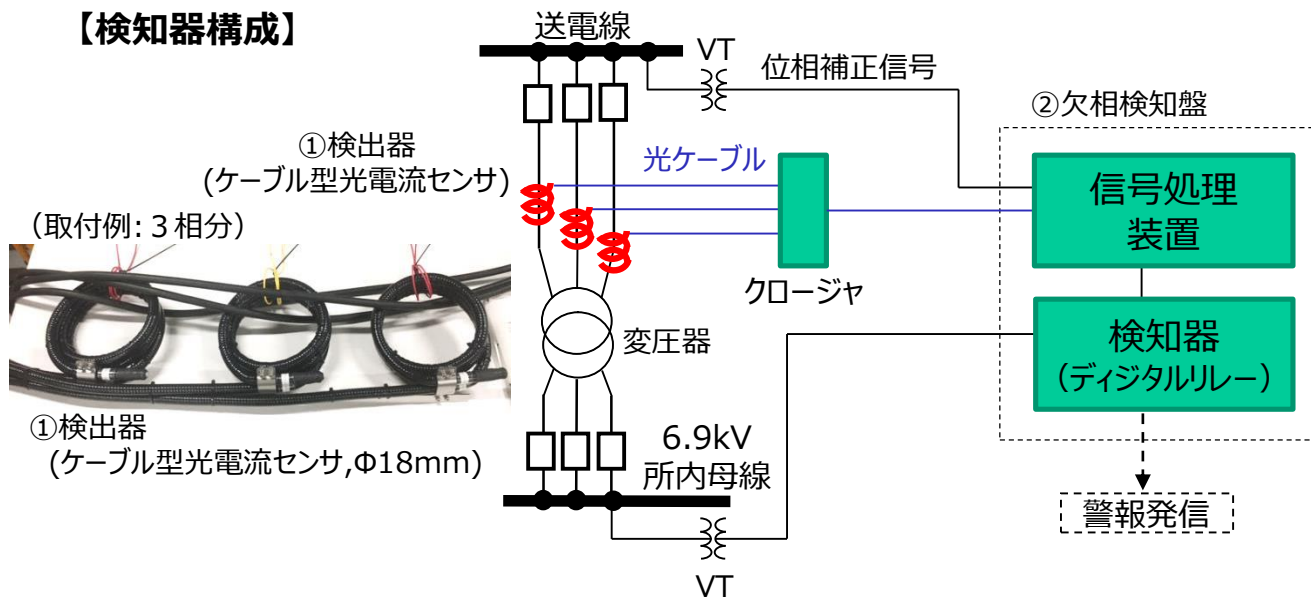
同径にてセンサ部多重化対応可能。

検知器：事象判定ロジックを装荷したデジタルリレーを使用。

<発信信号>

検出器からの信号を欠相検知盤に入力し、欠相検知盤から欠相検知・警報信号等を発信。

【検知器構成】



②欠相検知ラック (試作品)
(W700×H2200×D1000)

（2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲）

（3）東芝ESS製品概要

（1）検知方法

3相の電圧、電流を監視し、欠相した相で生じる電圧または電流変動により欠相を検知する。

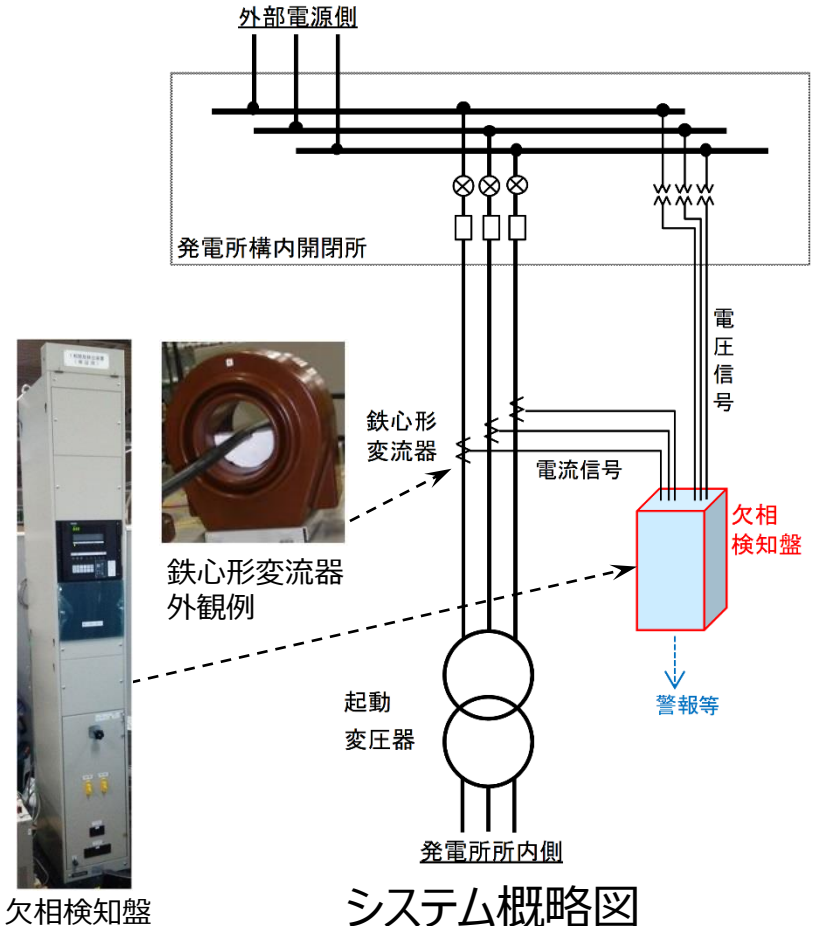
（2）検知システム構成

● 変流器

検知対象変圧器が無負荷時などの微小電流においても、鉄心形変流器を用いて欠相検知が可能。そのため、既設変流器の特性や設置位置等の条件によっては、既設変流器を使用できる可能性がある。

● 欠相検知盤

開閉所の系統保護盤等で使用実績があるデジタルリレーを搭載。欠相検知時には、盤面や中操への警報信号を出力する。



三菱電機製品概要

（1）目的

OPC検知システムは開発検証が完了し、今後はプラント個別に所内回路を模擬したシミュレーションで整定値の検討を実施することで計画している。

- 但し、米国での誤検知等の状況を踏まえ、実プラントでのフィールド試験を行い、そこで新たな知見が得られる場合は、OPC検知システムへフィードバックさせることが、より確実なOPS検知システムを構築するうえで望ましいことから、現地検証を行う。

（2）検証内容概要

- ①対象回路 : 発電所 変圧器
- ②導入機器 : OPCリレー盤(保護リレー、光変換器)、光CT、記録用デバイス
- ③システム : 既設警報回路への組込みは行わず、スタンドアロンのシステムとする
(但し、直流電源の引込み、GIS信号取込み等の改造は発生)
- ④検証内容 : 通常プラント操作、欠相以外の事故、外的要因(振動、外部ノイズ)によりリレーが不要動作しないこと(整定値の妥当性)を確認する(次頁参照)
 - リレー動作した場合は、保護リレーが記録した動作時の波形データ、プラント運転状態から要因を特定
- ⑤実施期間 : 以下2ケースのいずれかで対応
 - ・最長 プラント起動～停止の運転1サイクル
 - ・最短 OPCシステム導入後の現地試験にて完結
 - 不要動作有無を確認する上では、運転1サイクルの中で試運転することが望ましい。
(なお、製品性能の確認は現地試験で完結するため、1サイクルの期間は必須でない)

三菱電機製品概要

（3）確認項目

No.	項目	内容	確認時期		備考
			運転中	現地試験	
1	補機起動・停止動作時におけるOPCリレー動作有無確認	通常、待機状態にある予変に対して、現在停止中の高浜1/2号機のいずれかの母線を利用し、補機の起動・停止操作を実施し、OPCリレー不要動作有無を確認	○	○	
2	動変励磁突入電流流入時のOPCリレー不要動作有無確認	現在停止中の高浜1/2号機のいずれかの母線を利用し、無電圧の動変に電圧印加し、励磁突入電流を発生させ、OPCリレー不要動作有無を確認	○	○	実施方法・時期はユーザー側（電力）との調整結果による
3	落雷時の再開路によるOPC動作有無確認	落雷による再開路を模擬した瞬時遮断器開閉操作を実施し、OPCリレー動作有無を確認	—	○	
4	その他電気事故の影響によるOPCリレー動作有無確認	予変受電時における短絡、地絡等電気事故の影響でOPCリレーが不要動作しないかを確認	※	—	※：電気事故は偶発的な自然現象のため意図的な模擬・確認は不可

（4）補足

フィールド試験では、保護リレー動作時の要因特定のためプラント運転状態のデータを用いる必要がある。

➤ 補機運転状態や電源構成等の各種必要なパラメータについては、ユーザー側（電力）より情報提示する。

日立GE製品概要

（1）目的

- OPC発生時に、確実に検知できることを確認する。（期間内に発生した場合）
- 系統擾乱発生時等、OPC以外の事象で本機器が誤動作しないことを確認する。
- 設計時の想定条件と実機適用時の条件（想定外を含む）による本機器への影響有無を確認する。
- その他、初期不良の有無等、機器の不具合発生状況をモニタリングし、本運用前に改善を図る。

（2）検証内容概要

- 試験期間は、季節による系統条件の変動、季節要因事象の検証、屋外機器に対する環境条件の影響
- 評価を考慮して、最低1年間を前提とする。
- 対象プラントは、系統条件や環境条件が各プラントで異なり、この間の試験結果をもとに、運用前の改善を図ることを本試験の目的としていることから、メーカーとしては全プラント対象を基本とする。

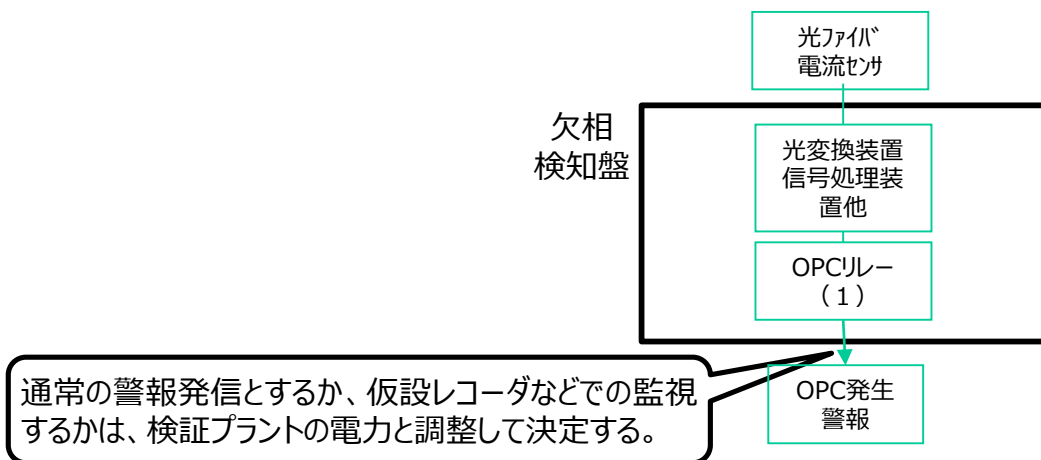


図1 回路構成

日立GE製品概要

（3）確認項目

項目	内容
<p><u>リレー健全性確認</u></p>	<p>OPC検知システムには複数の誤動作防止ロジックを組み込んでおり、基本的にはシステムの過渡的事象によって影響を受けることは無いが、本ロジックがいかなる条件においても適切に動作し、誤動作しないことを確認するため、以下の試験を実施する。</p> <p>【検証項目】 （短期試験）</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 励磁突入電流による影響評価のため、変圧器遮断器の開閉を実施 ② 開閉サージによる影響評価のため、系統側の遮断器及び断路器の開閉を実施 ③ 負荷変動による影響評価のため、大型電動機の始動、負荷遮断を実施 <p>（長期試験）</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 系統の静電容量等による影響評価のため、環境条件の季節変動等考慮し、1年以上設置運用する。 ② プラント通常運転時における負荷変動による影響評価のため、定検間隔以上の期間（約1年）設置運用する。 <p>誤動作した際は、原因を検討したうえで、改善案を検討・整定値の見直し等を実施する。</p>
<p><u>光変換装置からのデータの分析</u></p>	<p>本試験期間中に光変換装置からのデータを収集し、内部の各リレー要素の動作を検証する。ロジックを見直すことで、更なる誤動作の防止と精度の向上を見込むことが可能であれば、改善案を検討し、ロジックや整定値の見直し等を実施する。</p>

東芝ESS製品概要

（1）目的

- OPC 検知システムの開発検証は完了し、今後の実機導入における各プラント個別検討は解析および工場試験により検討・確認を行う。ただし、検知対象として新規性があるOPCを扱うことから、電源システムで生じる想定事象によるシステムへの影響をフィールドレベルで検証する。

（2）検証内容概要

- 電源システムの運用時には、以下に示すような電氣的な過渡事象が想定されることから、OPC 検知システムはこれら事象による不要動作を防止する構成としている。そのフィールドレベルでの確認として、システムを実際に導入したうえで一定期間の試運用により不要動作が生じないことを確認する。

①想定事象

- 落雷
- 送電システムまたは発電所構内の地絡、短絡事故
- 系統変動（電圧変動、周波数変動、高調波）
- 変圧器受電時（励磁突入電流）
- 開閉サージ
- 負荷電動機始動、停止時（始動電流）
- 周囲設備からの誘導ノイズ など

②試運用期間

上記の想定事象がプラント運用、系統側電力潮流および季節変動に起因する部分もあることを考慮し、試運用期間はプラント運転期間 1 サイクル分を目安として、電力側との協議により決定する。

東芝ESS製品概要

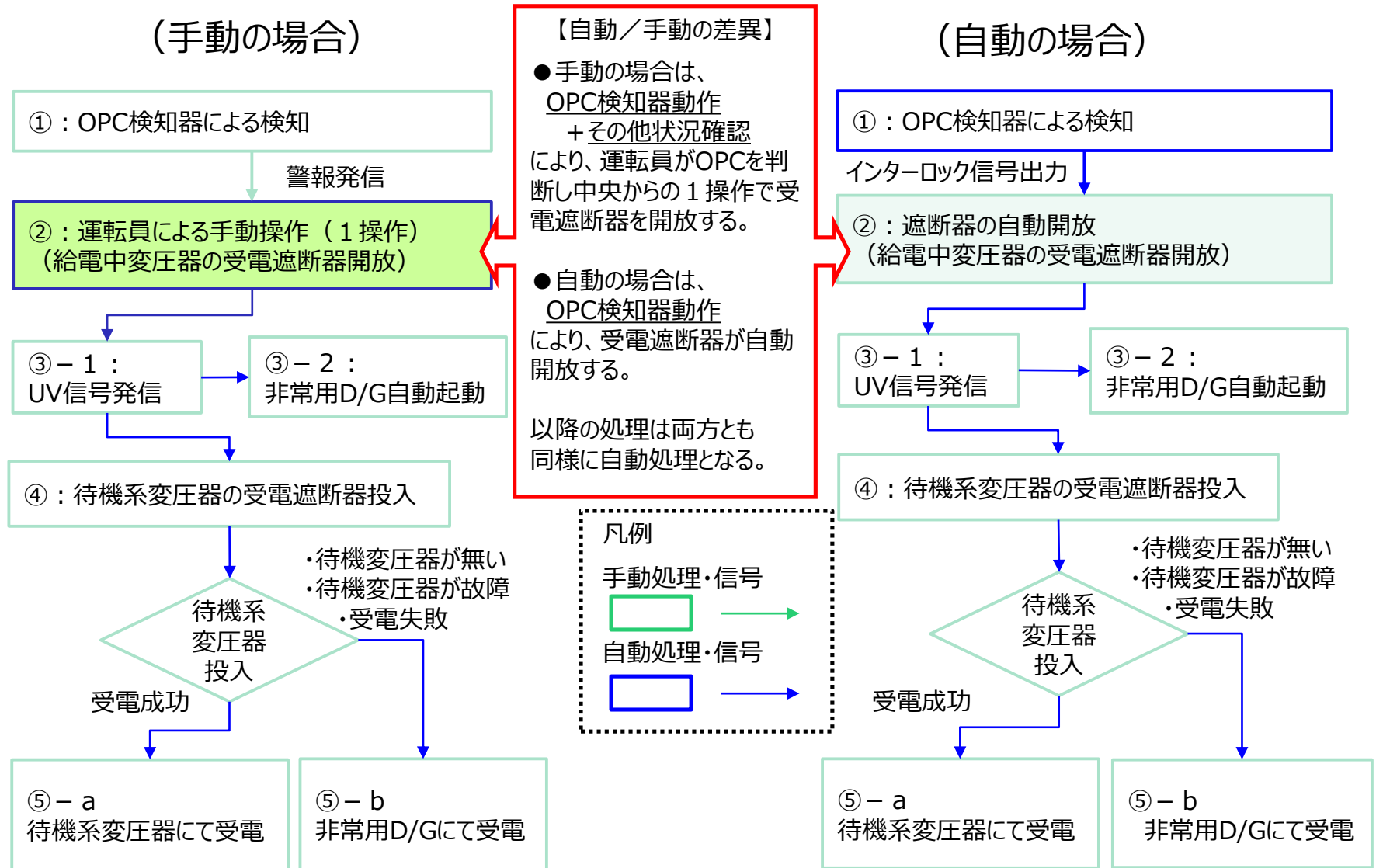
（3）確認項目

- ①想定事象のうち、人為的に再現可能な、変圧器受電時、線路遮断器開閉時および電動機始動・停止時の影響に関し、試験による確認についても実施する。

No.	試験項目	内容
1	変圧器受電時の不要動作確認	検知対象変圧器に運転電圧を印加し、通常運用時の変圧器受電時に発生する励磁突入電流に対し、OPC検知リレーが不要動作しないことを確認する。
2	遮断器開閉サージによる不要動作確認	送電線事故時の再閉路による開閉サージを想定し、遮断器を開閉し、不要動作しないことを確認する。
3	電動機始動・停止時の不要動作確認	検知対象変圧器から二次側母線へ給電している状況で、当該母線に接続される電動機を始動・停止させ、その際の電流変動に対して、OPC検知リレーが不要動作しないことを確認する。

OPC検知時の自動隔離有無（自動／手動）による運転操作の差異

(2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲)



国内においてOPC検知器を先行設置し、誤検知が発生した事例

(2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲)

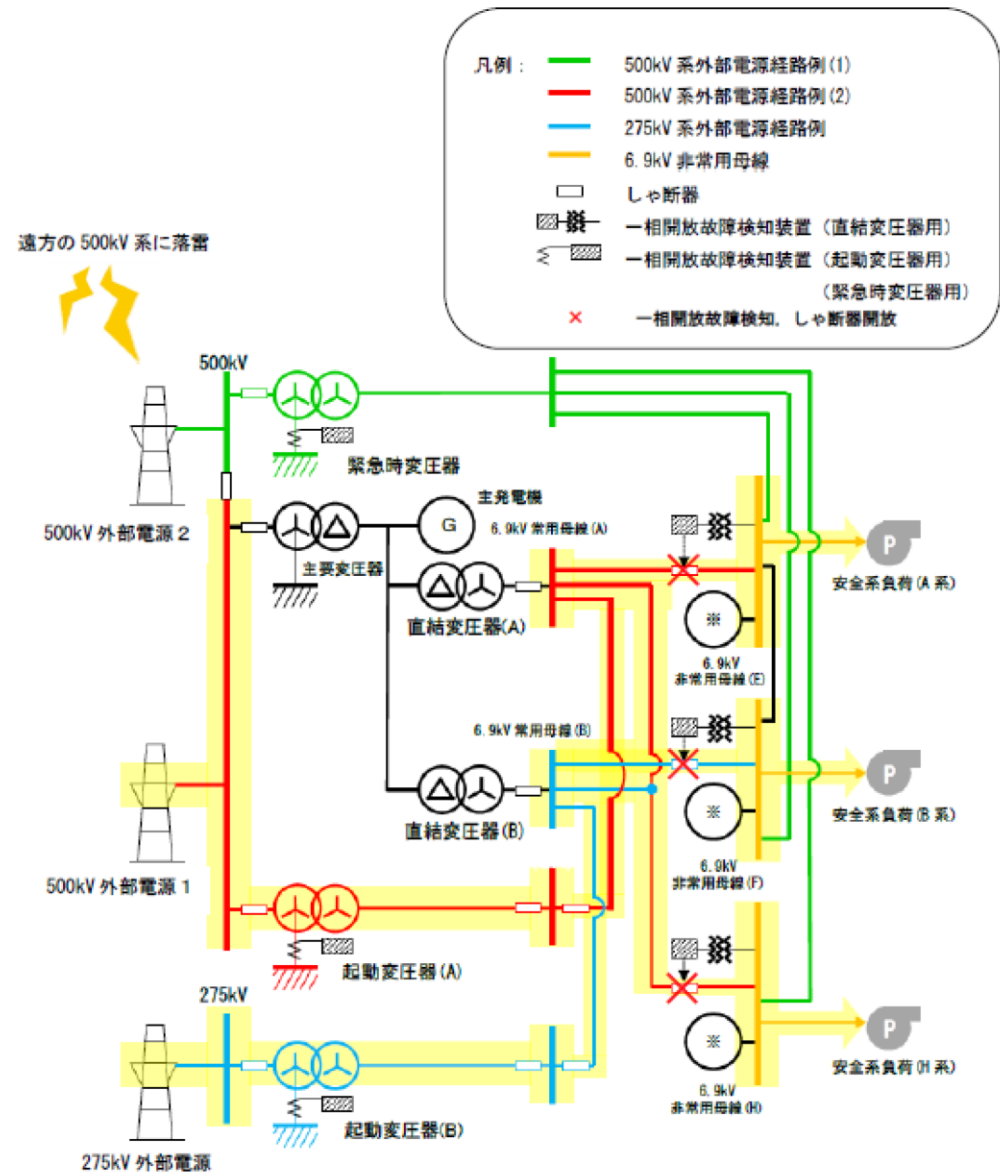
浜岡発電所 4号機の事例 (ニューシア情報2017-中部-S002より)

2017年7月14日7時59分、落雷の影響により、愛岐幹線(500kV送電線)1号線、2号線をルート遮断し、中速再閉路する事象が発生した。その影響を受け、浜岡原子力発電所の所内電源の電圧が瞬時低下した。浜岡4号機6.9kV非常用母線(E),(F),(H)については、その電圧低下を一相開放事象対策※1として設置した検出器が検知し、常用と非常用母線の間に設置された遮断器が開放し、6.9kV非常用母線

(E),(F),(H)が停電した。これにより非常用ディーゼル発電機(A),(B)が自動起動し、6.9kV非常用母線母線(E),(F)は受電された。非常用ディーゼル発電機(H)については、非常用ディーゼル発電機(H)関連の作業により、安全措置として停止としていたため、6.9kV非常用母線(H)は停電状態が継続した。

なお、3,5号機については、一相開放事象対策が未実施であることから非常用母線の停電には至らなかった。

※1 外部電源に直接接続している変圧器の一次側において3相のうち一相の電路の開放が生じた場合に、安全施設への電力の供給が不安定になったことを検知し、故障個所の隔離又は非常用母線の接続変更その他の異常の拡大を防止する対策。



米国におけるOPCに係る対応状況について（1/2）

参考16

NRC及びNEIを代表とする産業界のOPCに係る対応について、過去からの経緯を含め、以下にまとめる。

- 2012年1月 Byron2号機において定格出力運転中にOPC発生
- 2012年7月 NRCは、Bulletin 2012-01を発行
- 2013年12月 NEIは、OPCへの対応について産業界ガイダンスNEI 13-12及びその付属文書として産業界の対応とスケジュールを示したOPCイニシアチブ（自主的措置）を発行 ←対策完了は2017年12月31日
- 2014年11月 NRCは、各事業者にOPCイニシアチブに従い対策完了した場合はNRCに通知するようレターを発行
- 2015年3月 NEIは、OPCイニシアチブの改訂1版をNRCに提出 ←対策完了は2018年12月31日
- 2017年5月 NRCは、8プラントを対象にOPCによる炉心損傷頻度（CDF）への寄与、OPC隔離システム（OPIS）のリスク低減効果を評価し、OPISの使用によりOPCの脆弱性は大きく低減できるとした評価結果を公表
- 2017年10月 NRCは、OPCイニシアチブの実施状況確認を目的とした暫定検査要領（TI 2515/194）を公表
→NRCがOPC対応不要と判断したプラント、10CFR50.90「変更、検査、試験」に基づく変更申請中のプラント、2020年1月30日までに廃炉予定を通知したプラントを除く全プラントが検査対象
- 2018年9月 NEIは、OPISの設置を完了した複数のプラントにおいて、設置後のモニタリング期間中にOPISの誤作動が発生していることを踏まえ、モニタリング期間を1年延長するため、OPCイニシアチブの改訂2版をNRCに提出 ←対策完了は2019年12月31日
- 2019年5月 NEIは、OPISの自動電源切替機能の代替オプションとして運転員の手動対応を採用する場合のリスク評価手法をまとめた産業界ガイダンスNEI 19-02を発行し、各事業者がNEI 19-02を使用できるよう、OPCイニシアチブの改訂3版をNRCに提出
- 2019年7月 NRCは、NEI 19-02の使用を承認
- 2020年1月 NRCは、8プラントを対象にOPISの自動電源切替機能のリスク低減効果を評価し、OPISの自動電源切替機能による安全性の向上は高くないと結論付けた報告書を公表
- 2020年4月 NRCは、OPCイニシアチブの改訂3版でリスク情報を活用するオプションが追加されたことを踏まえ、暫定検査要領（TI 2515/194）の改訂1版を公表

これまでに発行されたNRC検査レポートから、43発電所のうち約7割が運転員による手動対応を適用又は適用する予定であることを確認している。

米国では、①変圧器中性点注入方式（PSSTec）、②巻線CT+デジタルリレー（PCS2000）、③巻線CT+デジタルリレー（SEL）、④磁界による光の偏向を利用した方式（光CT方式）、⑤Class1Eの既設低電圧リレー（既設UVリレー）が採用されている。

現状、①PSSTec、②PCS2000、③SELにて、誤検知があったとの情報を入手している。

- NEI加盟プラントのうちの4割が採用している①PSSTecは、EPRIが開発した変圧器の高圧側中性点に探査電流（周波数、電流値可変）を注入し、欠相発生による零相電流の変化を監視するものであるが、誤検知の発生が確認されている。これについては、実機に応じた探査電流の設定と欠相判断のしきい値設定に苦慮しているものと考えられる。（なお、当該検知器は高圧側中性点がない変圧器には適用できない検出方式である。）
- また、②PCS2000を採用する一部のプラントにおいては、試運用期間中（モニタリング期間中）でも、運転員の弊害になるほど誤検知があり、検知発信をバイパスする電力も確認されている。これについては、採用されているデジタルリレーは実績があるものだが、巻線CTから入力される微弱な電流変化から、欠相を判断するしきい値設定に苦慮しているものと考えられる。

国内では、変圧器の型式に左右されない汎用性と高い検知信頼性の確保を目標に、米国の状況も踏まえて誤検知に配慮した検知器開発、具体的には、2メーカーがノイズ影響を受けにくく、電流検出精度が高い光CT方式（米国の④光CT方式に類似）を、1メーカーが巻線CTからの信号入力部高精度化などOPC検知用に改良したデジタルリレーを採用した検知器開発を実施している。

なお、OPC検知の有効性については電中研の実証試験にて確認している。

現行の技術基準における位置付け（1 / 2）

（2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲）

現状、規則の解釈は、以下のとおりである。OPC自動検知システムを人的運用の信頼性を向上・補完するものとし、現在解釈の中で、事業者として計画的に取り組んでいく。

○実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（抜粋） 1/2

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則	実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈
<p>(保安電源設備)</p> <p>第四十五条 発電用原子炉施設には、電線路及び当該発電用原子炉施設において常時使用される発電機からの電力の供給が停止した場合において発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な装置の機能を維持するため、内燃機関を原動力とする発電設備又はこれと同等以上の機能を有する非常用電源設備を施設しなければならない。</p> <p>2 設計基準対象施設の安全性を確保する上で特に必要な設備には、無停電電源装置又はこれと同等以上の機能を有する装置を施設しなければならない。</p> <p>3 保安電源設備（安全施設へ電力を供給するための設備をいう。）には、第一項の電線路、当該発電用原子炉施設において常時使用される発電機及び非常用電源設備から発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な装置への電力の供給が停止することがないよう、次に掲げる措置を講じなければならない。</p> <p>一 高エネルギーのアーク放電による電気盤の損壊の拡大を防止するために必要な措置</p>	<p>第45条（保安電源設備）</p> <p>1 第1項に規定する「発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な装置」とは、以下の装置をいう。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第2条第2項第9号ホに規定される装置 ・燃料プール補給水系 ・第34条第1項第6号に規定する事故時監視計器 ・原子炉制御室外からの原子炉停止装置 ・PWRの加圧器逃がし弁（手動開閉機能）及び同元弁 ・非常用電源設備の機能を達成するための燃料系 <p>2 第2項に規定する「特に必要な設備」とは、非常用炉心冷却系の計測制御用電源設備等をいう。</p> <p>「同等以上の機能を有する装置」とは、直流電源装置をいい、第16条に規定する蓄電池を兼ねて設置してもよい。</p> <p>3 第3項に規定する「常時使用される」とは、主発電機又は非常用電源設備から電気が供給されている状態をいう。</p> <p>4 第3項第1号に規定する「高エネルギーのアーク放電による電気盤の損壊の拡大を防止するために必要な措置」とは、重要安全施設</p>

現行の技術基準における位置付け（2 / 2）

（2020年8月5日公開会合資料より抜粋再掲）

○実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（抜粋） 2/2

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則	実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈
	<p>（設置許可基準規則第2条第2項第9号に規定する重要安全施設をいう。以下同じ。）への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤（安全施設（重要安全施設を除く。）への電力供給に係るものに限る。）について、遮断器の遮断時間の適切な設定等により、高エネルギーのアーク放電によるこれらの電気盤の損壊の拡大を防止することができることをいう。</p>
<p>二 前号に掲げるもののほか、機器の損壊、故障その他の異常を検知し、及びその拡大を防止するために必要な措置</p>	<p>5 第3項第2号に規定する「異常を検知し、及びその拡大を防止するために必要な措置」とは、短絡、地絡、母線の低電圧又は過電流などを検知し、遮断器等により故障箇所を隔離し、保安を確保するために必要な装置への影響を限定できる設計及び外部電源に直接接続している変圧器の一次側において3相のうちの1相の電路の開放が生じた場合に、安全施設への電力の供給が不安定になったことを検知し、故障箇所の隔離又は非常用母線の接続変更その他の異常の拡大を防止する対策（手動操作による対策を含む。）を行うことによって、安全施設への電力の供給が停止することがないように、電力供給の安定性を回復できる設計とすることをいう。</p>
<p>4 設計基準対象施設に接続する第一項の電線路のうち少なくとも二回線は、それぞれ互いに独立したものであって、当該設計基準対象施設において受電可能なものであって、使用電圧が六万ボルトを超える特別高圧のものであり、かつ、それにより当該設計基準対象施設を電力系統に連系するように施設しなければならない</p>	<p>6 第4項に規定する「少なくとも二回線」とは、送受電可能な回線又は受電専用の回線の組み合わせにより、電力系統と非常用所内配電設備とを接続する外部電源受電回路を2つ以上設けることにより達成されることをいう。</p> <p>7 第4項に規定する「互いに独立したもの」とは、2回線以上の電</p>