

# 解説 記事

## 3.11 東北地方太平洋沖地震時の 東海第二発電所でのグッドプラクティス

日本原子力発電株式会社 発電管理室  
竹内 公人 Kimihito Takeuchi

### 1. はじめに

東海第二発電所は、1978年11月に運転を開始した電気出力110万kWの沸騰水型軽水炉（BWR-5）である。東海第二発電所は定格熱出力一定運転中、東北地方太平洋沖地震（茨城県東海村での観測震度「6弱」）により、平成23年3月11日14時48分に「タービン軸受振動大（トリップ設定値0.25mm以上）」による主発電機自動停止（タービン主蒸気止め弁閉）の信号により原子炉が自動停止した。この地震の影響により、「外部電源喪失」となったものの非常用ディーゼル発電機（D/G）3台は使用可能であったが、その後の津波の浸水によりD/G冷却用海水ポンプ3台のうち1台が使用不能となった。

しかしながら、その他の安全上重要な設備の機能は健全に維持されたこと、発電所員はじめ、関係者の協力と的確な判断により、3月15日0時40分に冷温停止を達成している。

### 2. 地震・津波の状況と対応

#### 2.1 地震・津波の状況

東北地方太平洋沖地震における原子炉建屋の基礎版上で観測された最大加速度値は、当初設計時及び耐震バックチェックにおける基準地震動Ssによる最大応答加速度を下回っていた。（表1）

また、この地震により発生した津波は、3月11日16時50分頃に最大水位標高約+4.6mが確認された。発電所敷地内の遡上高は標高約+5.3m程度と評価している。（図1）

#### 2.2 地震・津波の影響

地震による発電所への影響については、耐震重要度が低い（耐震指針B、Cクラス）タービン設備等の一部の機器に損傷が認められているが、耐震設計上重要な設備（耐震指針Sクラスの設備）の損傷は認められていない。原子炉建屋の地震観測記録による床応答スペクトルは、

地下2階～地上6階において一部の周期帯（約0.65秒～約0.9秒）で工認設計波による床応答スペクトルを上回っているが、主要な設備の固有周期帯では、地震観測記録が工認設計波による床応答スペクトルを下回っており、耐震安全上重要な機器・配管系は概ね弾性状態にあったと評価されている。

表1 地震観測記録と基準地震動Ssに対する最大応答加速度値の比較

単位:ガル

		地震観測記録			当初設計時		基準地震動Ss-D		
		NS	EW	UD	NS	EW	NS	EW	UD
R/B	6F	492	481	358	932	951	799	789	575
	4F	301	361	259	612	612	658	672	528
	2F	225	306	212	559	559	544	546	478
	B2F	214	225	189	520	520	393	400	456

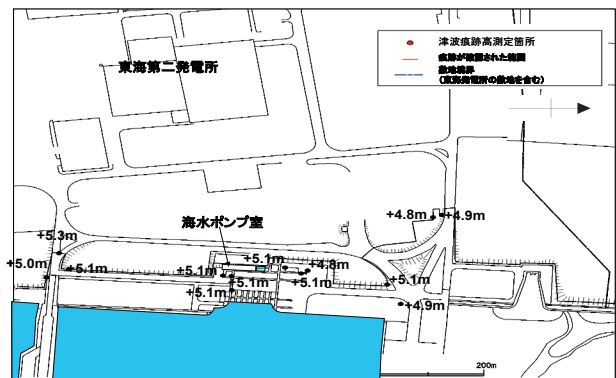


図1 津波の浸水時の津波痕跡高

津波による発電所への影響については、地震発生から約5時間後の19時20分に津波の影響による北側非常用海水ポンプ室の浸水により、D/G(2C)冷却用海水ポンプが自動停止している。D/G冷却用海水ポンプ及び残留熱除去系（RHR）冷却用海水ポンプは、多重性を有し、南北の非常用海水ポンプ室に分離して配置されていたが、

以下の理由により、北側の非常用海水ポンプ室に海水が浸入し、設置されていたD/G(2C)冷却用海水ポンプが水没し自動停止したものである。

東海第二発電所では、津波対策として側壁の嵩上げ工事（標高+4.91mの既設側壁の外側に標高+6.11mまでの側壁を新たに設置）や、壁の貫通部の封止（浸水を防ぐ）工事が実施されており、地震発生当時、側壁の嵩上げ工事は完了していたが、北側の非常用海水ポンプ室に隣接するエリアに通じるケーブルピットと、同じく隣接するストレナ室間の排水溝の穴塞ぎ工事を実施中であった。このため、ケーブルピット等の封止未完了部を通じて、新たに設置した側壁と従来の仕切り壁の間に海水が浸入し、従来から設置してある仕切り壁を乗り越え、北側非常用海水ポンプエリアへ浸水した。（図2）

### 2.3 地震発生後の発電所の運転状況

東海第二発電所は、地震発生直後に『タービン軸受振動大』により主発電機が自動停止し、主蒸気止め弁閉により原子炉が自動停止した。また、地震の影響により3系統の外部電源（275kV:2系統、154kV:1系統（予備）

も同時に喪失したが、3台のD/Gが自動起動し、発電所の安全停止に必要な設備への電源供給に成功している。

原子炉自動停止後の原子炉からの崩壊熱の除去については、主蒸気逃がし安全弁（SRV）から原子炉格納容器下部に設置されている圧力抑制プール（S/P）へ高压高温の蒸気を導き、S/P水を2系統あるRHRにより冷却することにより原子炉からの崩壊熱除去が実施された。原子炉への注水については、原子炉隔離時冷却系（RCIC）及び高压炉心スプレイ系（HPCS）の2系統が確保されていた。（図3）

その後、津波の影響によりD/G(2C)冷却用海水ポンプが自動停止したことに伴い、S/Pの冷却に用いていたRHR-A系を停止すると共に、D/G(2C)を停止している。D/G(2C)が機能喪失したものの、健全なD/Gからの電源供給により、原子炉からの崩壊熱除去に必要な機器への電源供給が維持され、原子炉の減圧操作は継続された。（図4）

原子炉冷温停止に向けては、RHR-A系を運転可能としてRHRを2系統確保し、より確実な冷却を達成するために、RHR-A系の電源としてHPCS D/Gからの電源

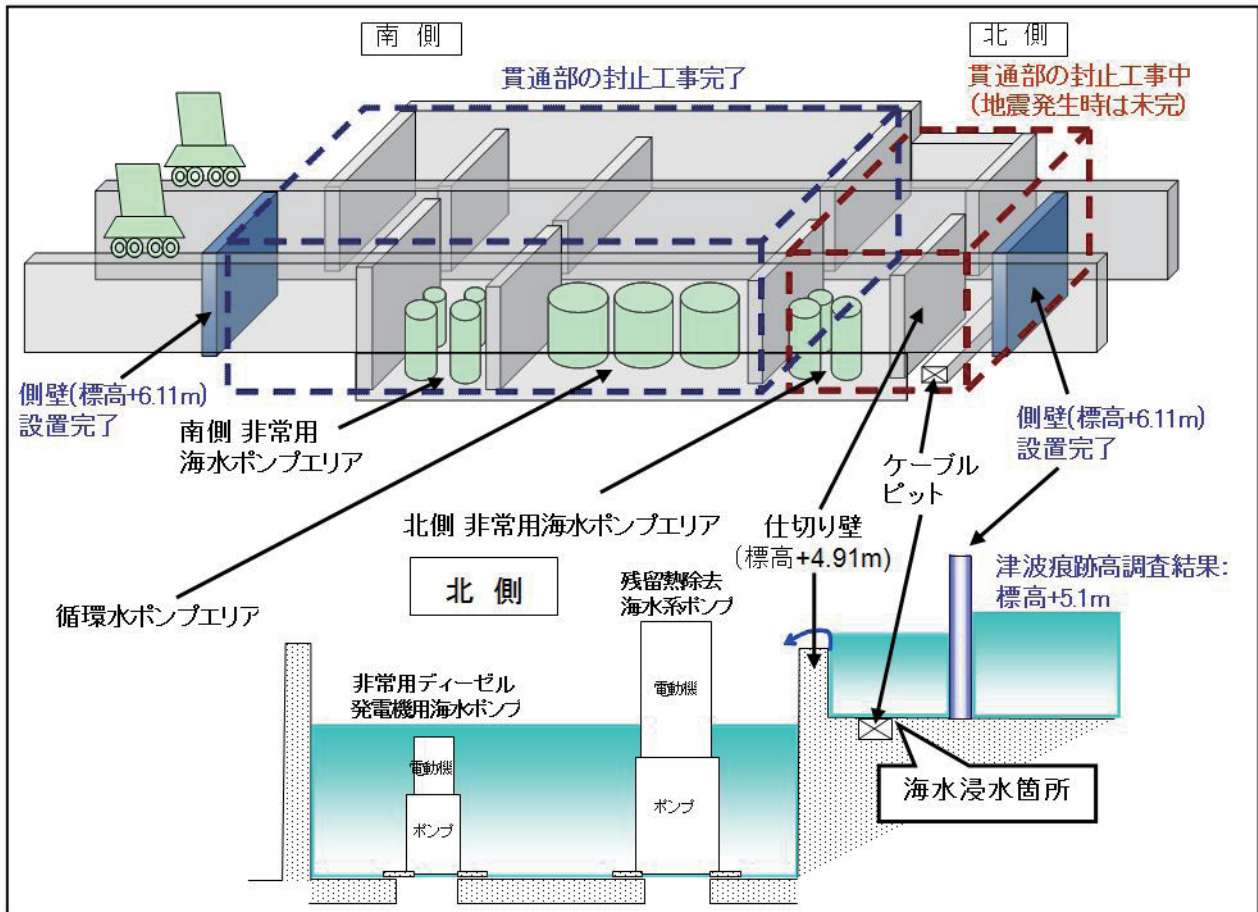


図2 津波による海水の浸水経路と浸水状況

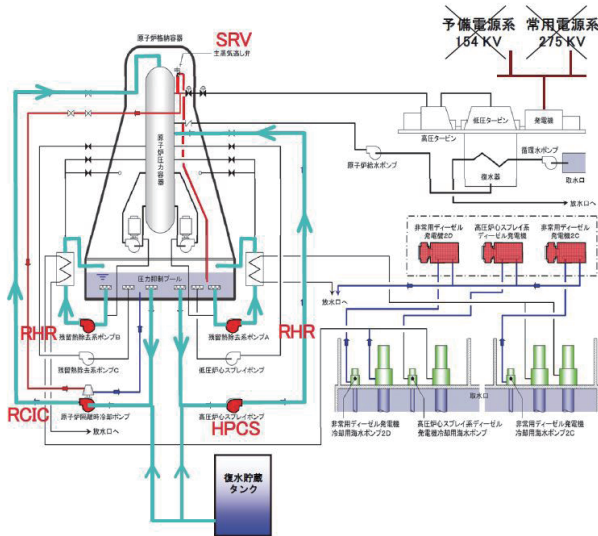


図3 地震直後の運転状況 (その1)

融通や、D/G(2C)の復旧もしくは外部電源の復旧などを検討していた。

この際、HPCSについては原子炉冷温停止に至るまではRCICと合わせ複数の高圧系の原子炉水位維持手段として確保することが最善と判断し、また、RHR-B系については格納容器圧力を安定した状態で維持するためにS/P冷却を継続することとし、当面は、SRVによる減圧とRCIC（原子炉圧力が低下して、RCICが運転継

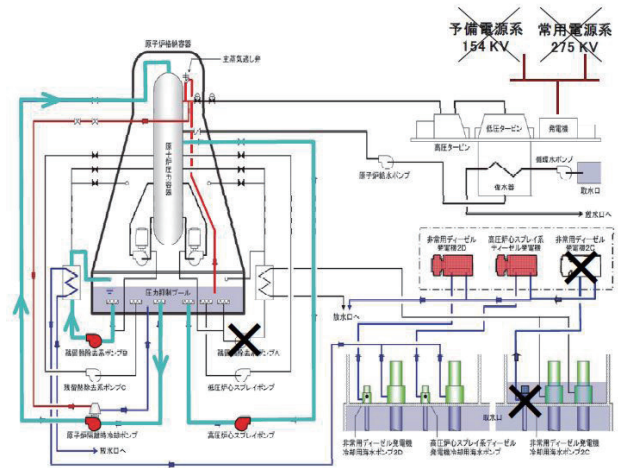


図4 地震直後の運転状況 (その2)

続不可能となった後はHPCS)による原子炉水位制御、RHR-B系によるS/P冷却を継続することとした。

SRVは原子炉格納容器内にある原子炉圧力容器からタービンに蒸気を送る主蒸気配管に18台が設置されているが、減圧操作では、原子炉水位、圧力の変化、あるいはS/Pの水位・水温の分布状況、原子炉格納容器内圧力等を確認しながら、原子炉の急激な水位や圧力低下、S/Pの急激な水位上昇や不均一な水温分布を回避すべ

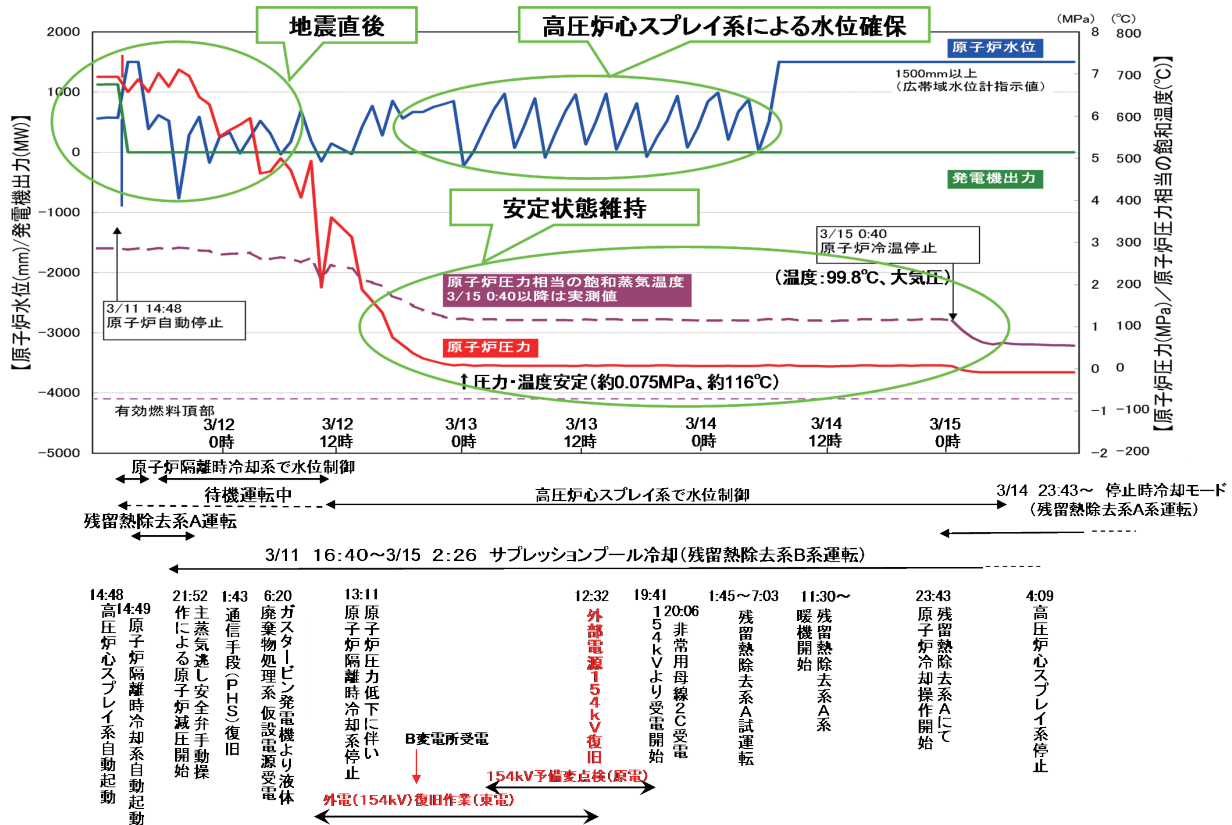


図5 地震直後から冷温停止までの原子炉関連パラメータ

く、使用回数が約 170 回にも及ぶ、きめ細かな手動操作を繰り返した。これらの操作は基本的に手順書にも定められている事項ではあるが、確実かつ正確な操作は日頃からの訓練や教育の結果であると思われる。

その後、外部電源（154kV）の復旧可能連絡を給電所より受けた（3月13日10時40分）ことから、RHR-A系を停止時冷却モードとして使用することとし、154kVからの受電準備を開始、線路充電（3月13日12時32分）を経て準備が整った後に、受電操作を実施した（3月13日19時37分）。154kV復旧後、RHR-A系の停止時冷却モードによる運転を開始（3月14日23時43分）し、原子炉を冷温停止とした（3月15日0時40分）。

なお、154kVが復旧した3月13日には、HPCSでの原子炉水位維持とSRVによる減圧、RHR-B系によるS/P冷却の継続により原子炉圧力は低下し、原子炉は安定（圧力1MPa以下、水位は燃料有効長頂部上4m以上）な状態を保っていた。（図5）

### 3. 東海第二発電所でのグッドプラクティス

#### 3.1 継続的な津波対策

東北地方太平洋沖地震での東海第二発電所の経験を踏まえて、今後の参考となるとと思われる事例について以下にまとめた。

##### (1) 継続的な津波対策

東海第二発電所の津波評価とその対策については、1971年12月の原子炉設置許可申請以降、当時の知見、国内の津波評価に関する動向を踏まえ、その都度自主的な評価を行うと共に対策を講じてきている。（図6）

東海第二発電所の設置許可申請当時は、津波に関する明確な基準がなく、既往の文献、近隣の最高潮位の記録等を基に1958年の狩野川台風による潮位H.P.(日立港平均海面)+2.35m(標高約+1.46m)を設計想定としていた。その後も北海道南西沖地震（1993年5月）や土木学会の津波評価技術の発刊（2002年2月）等、新たな知見の反映と対策を継続して実施してきている。

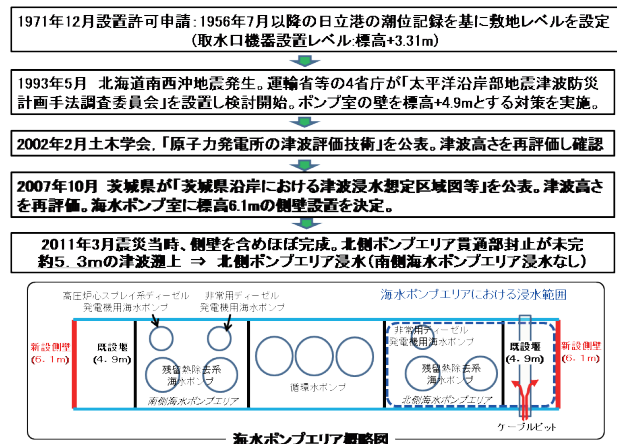


図6 継続的な津波評価と対策の概要

東北地方太平洋沖地震発生時にも新たな知見に対する対策工事が実施されているところであり、その前提条件は、2007年10月に茨城県が公表した「茨城県沿岸における津波浸水想定区域図等」であった。この評価に用いられた津波規模を新知見として反映した津波評価を行い、発電所に最も影響がある結果として、海水ポンプエリアで標高約+5.7mの評価結果を得ると共に、対策として非常用海水ポンプ室の側壁を標高+6.11mまで嵩上げするといったものであった。

一部の機器の浸水は免れなかったものの、この対策工事が奏功し、これまでの継続的な津波対策への取組が、東北地方太平洋沖地震に伴う大規模な津波から安全上重要な機器を防ぐことができた要因となっている。

#### 3.2 事象を先取りした早めの対応と的確な判断

##### (1) D/G (2C) 機能喪失時の炉心冷却についての判断

既に述べたように津波によるD/G (2C) の機能喪失に伴いRHR-A系の機能が喪失した。この際、原子炉を冷温停止へ導くためには2つの選択肢が考えられた。1つは、RHR-B系をS/P冷却から炉心冷却に切り替えること。もう1つは、HPCS-D/Gから非常用の2C母線へ電源を供給してRHR-A系を起動させ、RHR-A系で炉心を冷却することであった。（図7）

両選択肢ともに設備、手順等は確立していたが、社内で議論を重ねた結果、結果的にいずれの選択肢も採用しなかった。いずれの選択肢を取っても現状の安定した状態を変えることになり、外部電源がなく使用できる系統・機器に限られる中で、系統切り替えによる不測の事態（健全に動作している設備を一度停止し、系統構成等を変更して再起動させる場合の故障等）により、プラン

トがよくない方向に行くことを避けるため、冷温停止状態になるまでには多少時間を要するが、より確実で慎重な対応（安定した高温停止状態を維持し、外部電源復旧後に RHR-A 系で原子炉を冷温停止）を選択した。

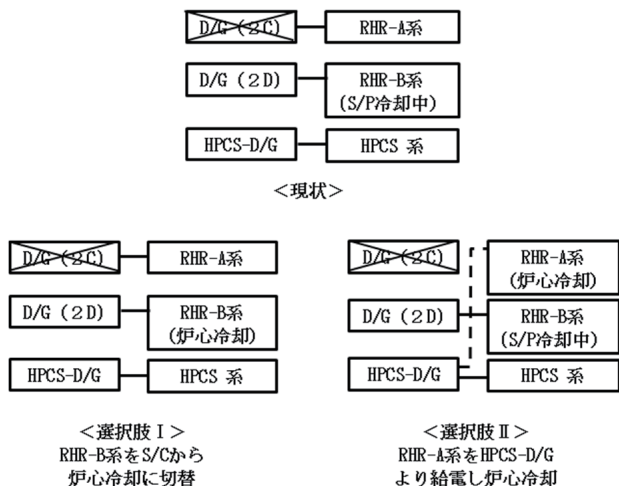


図 7 D/G(2C) 機能喪失時の炉心冷却の選択肢

(2) 早期の電源と燃料確保

<電力事業者からの応援>

電源確保の手段の 1 つとして、地震発生当日中に中部電力殿から応援を受け、翌 12 日の正午前には、中部電力松本営業所からの電源車 (300KVA, 3 台) と多数の技術者が発電所に到着し、154kV-A 系の外部電源が復旧するまでの期間、お世話になった。

結果的に本電源車は発電設備への給電には使用しなかったが、地震発生翌日の 12 日夕方から事務本館や協力会事務所等へ電源供給が開始され、迅速な事故対応が可能となった。改めて中部電力殿にお礼を申し上げる。

<プラントメーカーからの応援>

低圧電源積載車による予備電源として、700KVA, 3 台が、3/11 当日、23 時頃に発電所に到着している。結果的に本電源車は使用されなかったが、地震発生日から予備電源が確保できた。

<電源車等の燃料 (軽油, ガソリン) >

電源車等に必要となる軽油については、3 台の非常用ディーゼル機関 (D/G(2C),D/G(2D),HPCS-D/G) を定格負荷で 7 日間連続運転できるだけの容量が確保されていたが、常に軽油貯蔵タンクを満タン状態に維持すべく、近隣製油所等から発電所に直接輸送いただいた。3/11 ~

3/14 の 4 日間で合計 10 回、約 109 kℓ を搬入いただいた。また、輸送時には茨城県警による先導も実施いただいた。

(3) 廃棄物処理系への電源確保

地震直後からの原子炉への注水は RCIC ポンプ及び HPCS ポンプにより実施され、最初の水源は屋外にある復水貯蔵タンクであった。原子炉からの除熱は、SRV を通して蒸気を S/P に導き、S/P 水を RHR-B 系にて冷却していたため、S/P 水位の上昇が懸念された。また、万一の大量の水が必要となった場合も想定し、復水貯蔵タンクの水位回復も望まれた。

S/P から回収した水は、一旦廃棄物処理系のタンクに導かれるが、この先、復水貯蔵タンクへ移送するためには廃棄物処理系のポンプ類を起動させる必要があった。しかしながら、廃棄物処理系は通常電源から給電されているため、後述する緊急時対策室建屋に設置されていたガスタービン発電機から廃棄物処理系への電源融通を実施することとし、現場を知り尽くした当社の保守室員と協力会社社員が一致協力し、迅速に手順等を検討し、仮設ケーブルの敷設を実施した。その結果、翌 12 日午後から廃棄物処理系による S/P 水の回収が可能となった。

(図 8)

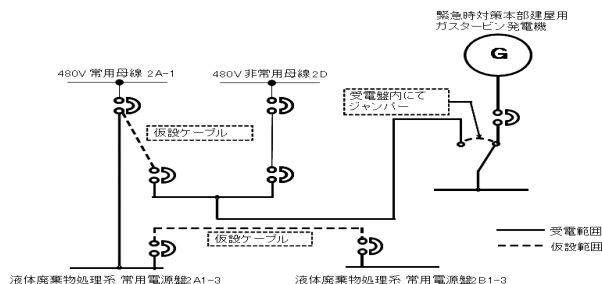


図 8 廃棄物処理系の電源確保の概要

3.3 先行事例・経験の着実な反映

(1) 免震構造の緊急時対策室建屋の設置

新潟県中越沖地震 (2007 年 7 月) の東京電力殿の運転経験をもとに、免震構造の緊急時対策室建屋を設置していた (図 9)。このことが、余震が続くなか、中央制御室の運転員を補助、支援する発電所本部門員や関係者の冷静な対応を可能とした一助となったものと思われる。



図9 免震構造の緊急時対策室建屋

### (2) 中央制御室蛍光灯ルーバーの固定

新潟県中越沖地震の東京電力殿の運転経験をもとに、中央制御室天井の蛍光灯ルーバーをインシュロック（結束バンド）で固縛し、地震時にルーバーが落下することを防止していたことが、余震が続くなか、運転員の冷静な事象対応の一助となったものと思われる。

### (3) 地震等を想定した中央制御室対応訓練

新潟県中越沖地震の東京電力殿の運転経験をもとに、フルスコープシミュレータを用いた地震、火災、人災等の複合事象の対応訓練を実施していたことが、これまでに経験のない揺れのなかでの落ち着いた初動対応につながったものと思われる。（図10）



図10 中央制御室対応訓練の状況

### 3.4 その他（部門間連携等）

- 中央制御室の運転員が運転操作に専念できるよう、中央制御室へプラントパラメータを本部に適時、報告するための専任の要員を派遣し、プラントパラメータを10分おきに本部へ報告させた。
- D/G冷却用海水ポンプ1台が停止したことを受け、大津波警報が発報されるなかで、必要な装備・物品（ハンディ無線、ライフジャケット、ロープ等）を準備した上で洋上監視役などの役割分担を決め、北側海水ポ

ンプ室は海水の浸水があること、南側海水ポンプ室へは海水の流入はないこと等海水ポンプピットの状況を速やかに確認した。これにより浸水した海水ポンプ室の排水作業に速やかに着手することができ、被害の拡大防止に努めている。なお、24時間体制で排水作業を実施した結果、浸水したD/G(2C)冷却用海水ポンプ用電動機は早期の点検に着手でき、工場での分解点検後、被水10日後に復旧されている。

- 東京の本店にある敦賀3,4号機の設計部門より、電気技術者3名を電源融通等の検討要員として、地震翌日である12日朝、パトカー先導のもと発電所に派遣した。電源融通検討や仮設ケーブル敷設作業等で電気技術者が不足する中で速やかな事故対応を実施した。
- 通信設備維持（電話交換機バッテリーやPHSアンテナバッテリー枯渇対策）方策として、非常系電源等より仮設ケーブルを引き給電するとともに、保守室員が通信設備に着目し、交代で常時監視する体制をとり、通信連絡設備の健全性維持に努めた。
- 所員や協力会社社員の通勤用ガソリンの不足が懸念されたことから、バス会社と調整し、関係者の誰もが乗れる巡回バス「チーム原電号」を手配し、周辺市町村を回る4ルートを設定し、朝夕運行することにより、関係者の通勤手段を確保した。

## 4. おわりに

平成23年3月11日14時48分に発生した東北地方太平洋沖地震による津波により、東海第二発電所は、D/G冷却用海水ポンプ3台のうち1台が使用不能となり、2系統ある残留熱除去系のうち片方の機能が喪失した。しかしながら、発電所員、常駐協力会社をはじめ、多くの関係者の協力と的確な判断により、冷温停止を達成している。これは日頃からの協力会社を含めた発電所の運営管理や対応過程で発生した課題に的確に対応した結果である。

3.11から間もなく6年が経過するが、当時の経験を風化させることなく、更なる安全性の向上に努めていきたいと考えている。

（平成28年11月26日）

### 著者紹介

著者：竹内 公人  
 所属：日本原子力発電株式会社  
 専門分野：設備管理、設備設計