

「原子炉を冷やす対策」に関する回答要旨

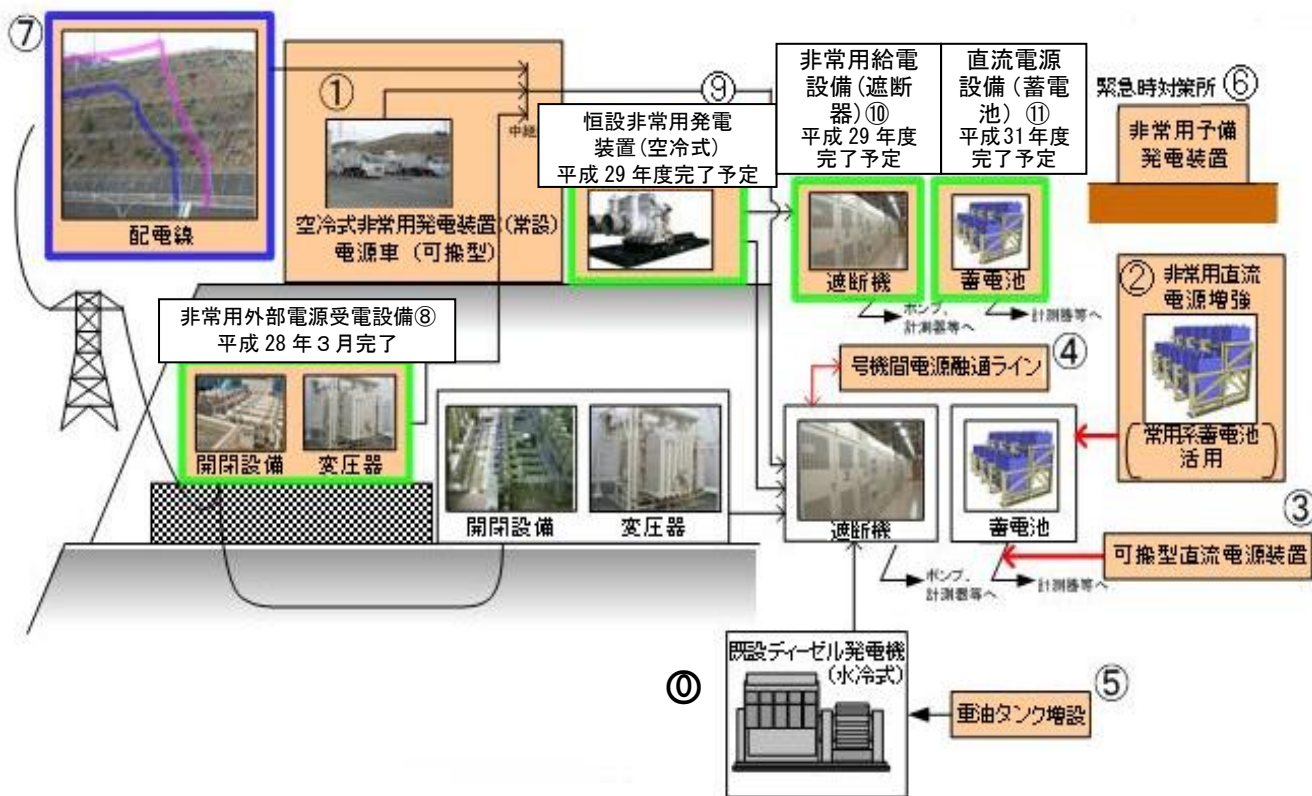
○原子力発電所を運転したり、停止時に原子炉等を安定的に冷却したりするためには、ポンプなどの動力用の電源や、計測制御装置を動かす電源を常に確保する必要があります。

伊方発電所では、万が一の事故により外部や発電所内の電源が使用できなくなった場合に備え、運転開始当初より1号機から3号機までの各号機に2台の非常用ディーゼル発電機（図中⑩）を設置しています。1号機から3号機間はケーブルで接続（図中④）しており、相互に電力を融通できるようにしています。最低限必要な電力は、1台の非常用ディーゼル発電機で賄え、その燃料（図中⑤）は最大14日間使用できるだけの量を確保しており、その間に外部から補給を行います。

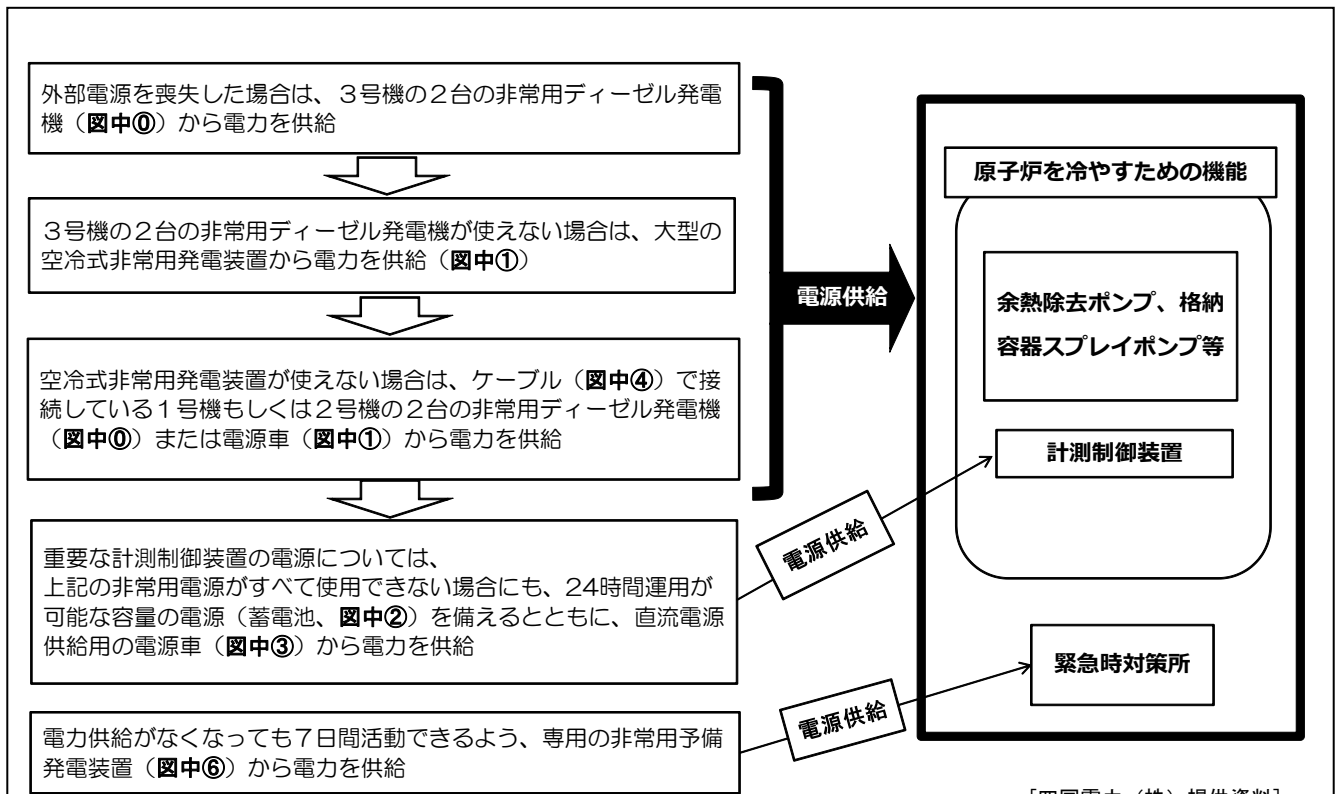
非常用のディーゼル発電機が使用できない場合に備え、海拔32mの高台には大型の空冷式非常用発電装置を4台、電源車を3台（図中①）配備しており、海拔15mの高台には非常用外部電源受電設備（図中⑧）を設置しております。今後さらなる対策として、海拔32mに非常用ガスタービン発電機（図中⑨）を設置します。

重要な計測制御装置の電源については、これらが使用できない場合にも、24時間運用が可能な容量の電源（蓄電池、図中②）を備えるとともに、直流電源供給用の電源車（図中③）を配備しています。

また、大規模災害時に比較的短時間で復旧が期待できる配電線（図中⑦）を至近の亀浦変電所から敷設しており、電源の多様化を図っています。（詳細は問④）



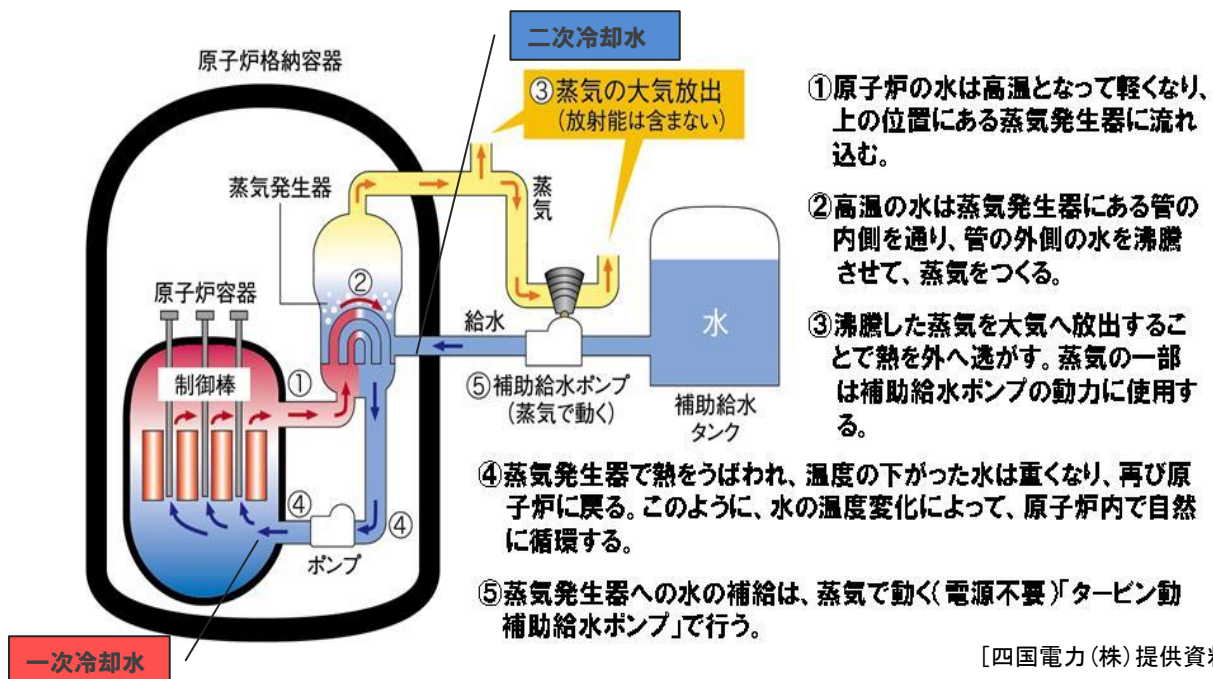
[四国電力(株)提供資料に加筆]



[四国電力（株）提供資料]

○万が一、全ての電源が失われた場合でも、蒸気発生器で発生する蒸気を利用して原子炉の冷却を行うことができます。

制御棒の挿入もしくはほう酸水の注入により原子炉が停止した後も、燃料の崩壊熱により蒸気発生器では蒸気が発生しています。その時、電源が失われていたとしても、発生する蒸気で動くタービン動補助給水ポンプを作動させ、蒸気発生器に「二次冷却水」を供給します。供給された「二次冷却水」は、原子炉と蒸気発生器の間を循環する「一次冷却水」と蒸気発生器の中で金属の細管（**図の②**、逆U字型の部分）を介して接触しているため、蒸気となる過程で「一次冷却水」から熱を奪い、燃料を徐々に冷却することができます。（詳細は問⑤【全電源喪失時の対策】）



問④ 長時間にわたり、電源が喪失する恐れはないのですか。

【原子炉の冷却】

原子炉を停止し核分裂反応が止まっても、核分裂反応により発生した物質（核分裂生成物）は、崩壊※という反応を起こしており、それに伴い熱が発生します。そのため、原子炉は継続的に冷却する必要があります。

福島第一原発事故では、原子炉の停止には成功しましたが、原子炉を冷やすことができなかったため、炉心が損傷する事態となりました。

※崩壊：核分裂生成物は不安定なため、放射線を放出し別の物質に変わります。これを、放射性崩壊といい、その際に生じる熱を崩壊熱といいます。

【原子力発電所で使用する電源】

原子力発電所を運転したり、停止時に原子炉等を安定的に冷却したりするためには、ポンプなどの動力用の電源や、計測制御装置※を動かす電源を常に確保する必要があります。通常は発電所内で発電する電力や発電所外から送電線により受電する電力を使用しています。

しかしながら、万が一の事故により、これら所内の電源や、送電線を経由する外部の電源がいずれも使用できなくなった場合に対応するために、電源の多重化・多様化を図っています。

※計測制御装置：「一次冷却水」の温度や圧力を測定し、結果を表示する装置や、測定結果をもとに弁の開閉状態などを自動的にコントロールする装置などの総称

【伊方発電所における電源確保対策】（図④-1、表④-1）

伊方発電所では、運転開始当初より1号機から3号機までの各号機に2台の非常用ディーゼル発電機（図中③）を設置しているとともに、1号機から3号機間をケーブルで接続（図中④）し、相互に電力を融通できるようにしており、例えば、3号機で、2台の非常用ディーゼル発電機が使えなくなった場合でも、1号機あるいは2号機の2台の非常用ディーゼル発電機を電源として使用できます。

燃料（図中⑤）は2台の非常用ディーゼル発電機を7日間使用できるだけの量を確保しており、その間に外部から燃料の補給を行います。

最低限必要な電力に限れば、非常用ディーゼル発電機1台で十分賄えますので、14日間使用できるだけの燃料を確保していることとなります。

【バックアップの電源】

非常用のディーゼル発電機が使用できない場合には、海拔32mの高台に大型の空冷式非常用発電装置を4台配備しているほか、電源車も3台配備しています。（図中①）

また、更なる信頼性向上対策（自主対策）として、敷地内の高所（標高32m）に非常用ガスタービン発電機（図中⑨）と非常用給電設備（遮断器）（図中⑩）※の設置を予定しています。当初の計画では平成27年度に設置する予定でしたが、自主対策とはいえ、安全性を考慮して新規制基準に適合するよう耐震性等を見直すこととしたため、設置は平成29年度内の予定となりました。

※ 非常用給電設備（遮断器）：非常用ガスタービン発電機（図中⑨）からポンプ、計測器等へ給電するための設備で、通常時は遮断されています。

【計測制御装置の電源】

重要な計測制御装置の電源については、これらの非常用電源がすべて使用できない場合にも、24時間運用が可能な容量の電源（蓄電池、図中②）を備えるとともに、直流電源供給用の電源車（図中③）からも電力を供給できるようにしています。

このほか、バックアップ電源として、新規制基準において直流電源設備（蓄電池）（図中⑪）の設置が要求されています。この設備は、蓄電池（図中②）や直流電源供給用の電源車（図中③）のバックアップ設備であることから設置までに猶予が認められており、平成 31 年度に設置する予定です。

【外部電源を確保するための追加対策（四国電力独自の取組）】

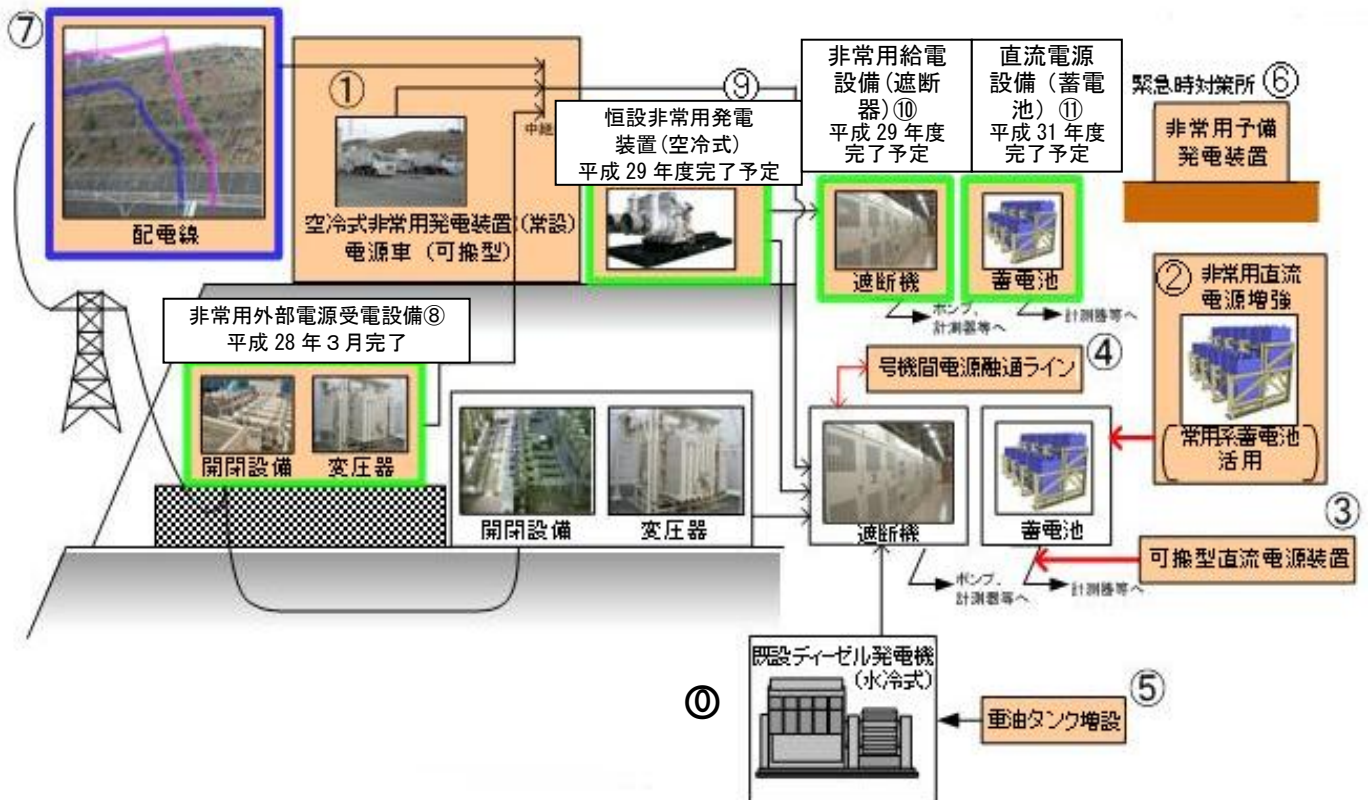
新たに、津波および地震に対する外部電源の信頼性を向上させるため、非常用の外部電源受電設備（図中⑧）を平成 28 年 3 月に設置しました。

この設備は、送電線から受電するための既設の設備が被災した場合に、受電可能な送電線から受電するための設備で、耐震性を高めた設計となっています。また、敷地内の高所（標高 15m 以上）に設置されているため、津波等の影響が無く、事故時に既設の開閉設備、変圧器が使用できなくなった場合に、当該設備を使用し、所外から電気を受電するものです。

さらに、大規模災害時に比較的短期間で復旧に優れる配電線（図中⑦）（2ルート（3回線））※を至近の亀浦変電所から敷設しており、電源の多様化を図っています。

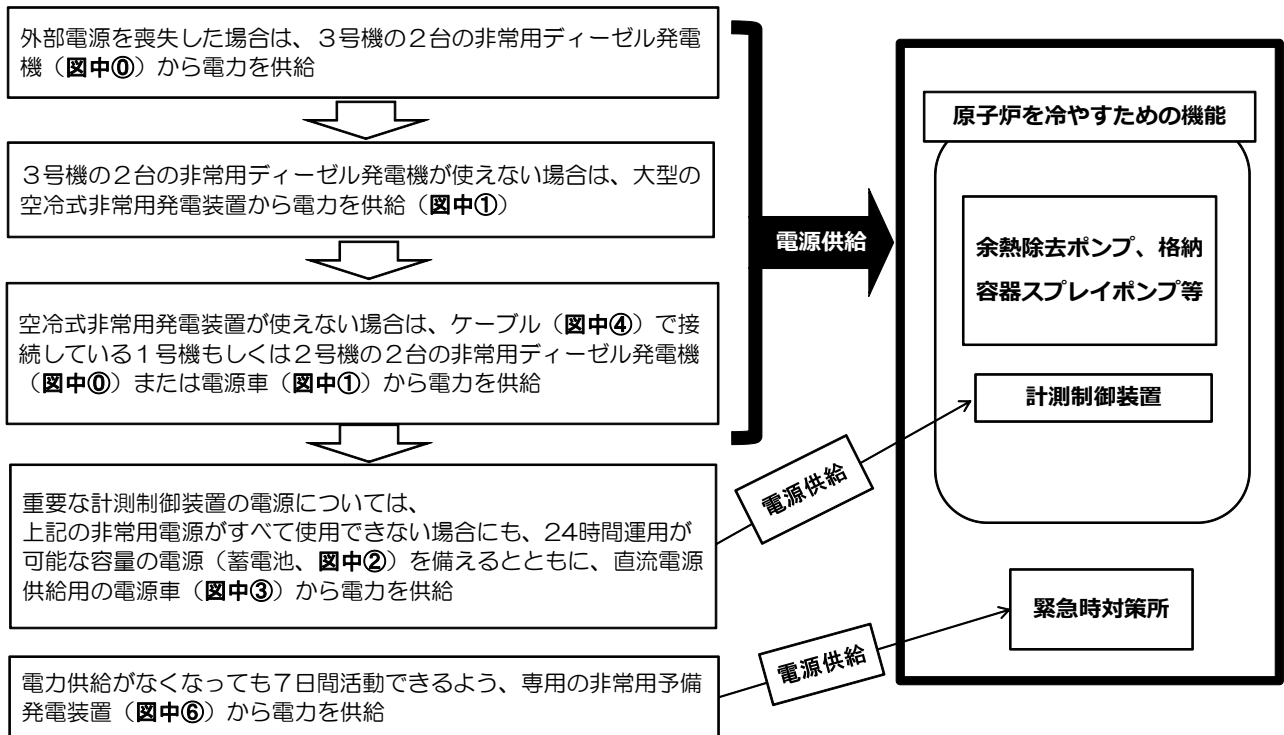
※3号機用に1ルート、1・2号機用に1ルートの計2ルートを新たに敷設しました。

図④-1 電源確保対策



[四国電力(株)提供資料に加筆]

図④-2 外部電源喪失時の対応



[四国電力(株)提供資料]

表④-1 電源確保対策

電源	設置場所	耐震性	燃料（種類/保管量）		燃料設置場所
⑩非常用ディーゼル発電機	海拔 10m	Sクラス	⑤重油	7日間分※ ¹	海拔 10mおよび 海拔 84m
①空冷式非常用発電装置	海拔 32m	Sクラス			
②蓄電池	海拔 10m	Sクラス	—	—	—
③電源車	海拔 10m、 32m、84m	Sクラス	軽油	7日間分	海拔 32m
④号機間電源融通ライン	—	—	—	—	—
⑤重油タンク	海拔 84m	Sクラス	重油	—	—
⑥非常用予備発電装置 （緊急時対策所）	海拔 10m、 20m、32m	Sクラス	軽油	7日間分	海拔 32m
⑦配電線	—	—	—	—	—
⑧非常用外部電源受電設備	海拔 15m	Sクラス	—	—	—
⑨非常用ガスタービン発電機	海拔 32m	Sクラス	※ ²	※ ²	海拔 32m
⑩非常用給電設備（遮断機）	海拔 32m	Sクラス	—	—	—
⑪直流電源設備（蓄電池）	※ ²	※ ²	—	—	—

※¹ 海拔 84mの重油タンク 3基及び海拔 10mの非常用ディーゼル発電機貯油槽 2基の合計量により、非常用ディーゼル発電機 2基または空冷式非常用発電装置 2基を最低 7日間運転が可能。

最低限必要な電力に限れば 14日間の運転が可能。

※² 現在検討中

【緊急時対策所の電源】

また、緊急時対策所※についても、電力供給がなくなっても7日間活動できるよう、**専用の非常用予備発電装置（図中⑥）**とそれに軽油を補給することができる燃料タンクを設置しています。

伊方発電所では、免震構造の総合事務所（海拔 10m）内に緊急時対策所を設置していましたが、原子力規制委員会での審査の過程で基準地震動が変更となったため、変更後の基準地震動に耐えられるSクラスの耐震性を持つ、新しい緊急時対策所（海拔 32m）を設置しました。（平成 27 年 3 月完成）

※緊急時対策所：非常時に所員が集まり事故対策を行う施設。発電所の温度・圧力・放射線レベルなどのデータが確認でき、情報発信のための通信設備も完備している。また放射線遮蔽設計が施され、約 100 人が 1 週間活動できるよう水や食料も保管されている。

問④－１ 南海トラフ地震などにより、四国全体で数ヶ月の長期間にわたり外部電源が復旧しない場合でも電源は大丈夫ですか。

【外部電源の長期喪失】

伊方発電所では、南海トラフ地震のような大規模な災害により四国各地の火力発電所が被災し、外部からの電源供給が受けられない場合にも必要な電源を確保できるようになっています。

具体的には、伊方発電所3号機には非常用ディーゼル発電機2基を設置しており、各々7日間稼働させる燃料を備えています。3号機を冷却するために最低限必要な電力は非常用ディーゼル発電機1機で賄えますので、燃料は最大14日分確保していることとなります。非常用ディーゼル発電機が使えない場合は、大型の空冷式非常用発電装置（電源車）により電源を最大14日間供給します。

その間に、陸路、海路、空路などあらゆる手段を使って外部から燃料を補給することとなっており、燃料会社との契約により災害時には優先的に燃料を購入できるようになっています。

また、仮に電力事業者による外部から燃料の補給が難しいような状況が発生したとしても、陸海空すべての運用手段をとって、燃料を調達することにより電源を確保します。

問⑤ 全ての電源が失われた場合でも、原子炉を冷やすことはできるのですか。

【全電源喪失時の対策】(図⑤-1)

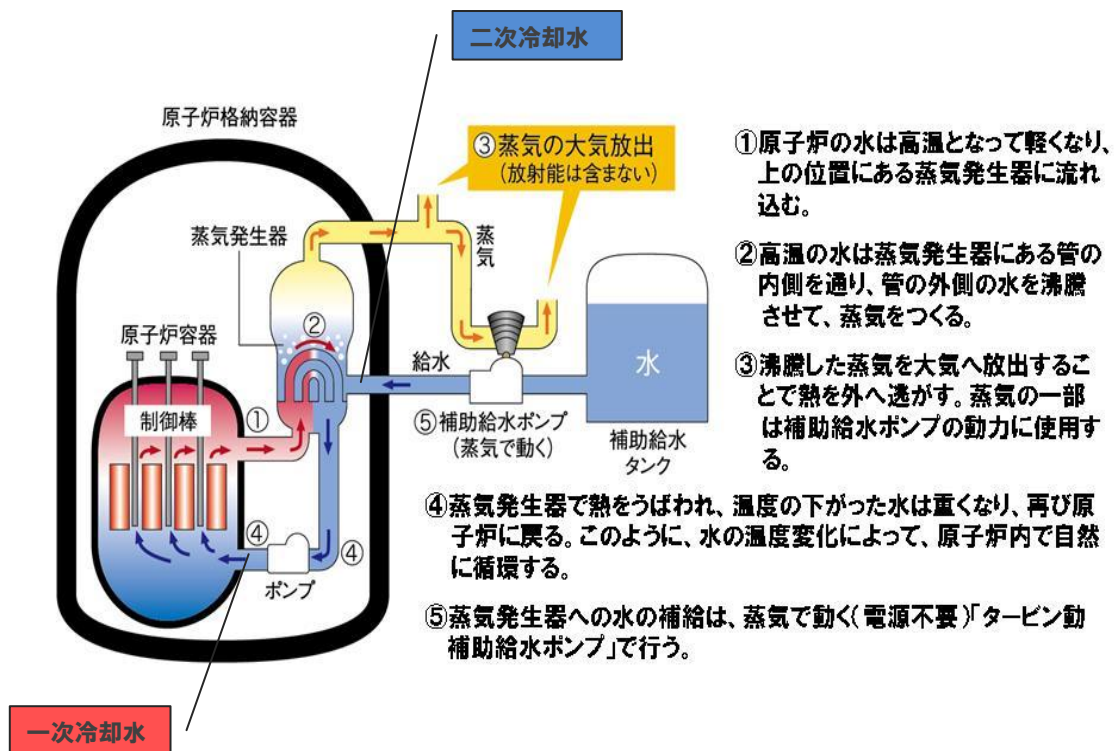
伊方発電所では、原子炉内でウランなどの核燃料物質が中性子を吸収して核分裂する際に発生する熱を利用しており、この熱で高温高圧になった「一次冷却水」を蒸気発生器とよばれる装置に送り、そこで別の系統で流れている「二次冷却水」を蒸気に変えてタービン発電機を回して発電します。

万が一、全ての電源が失われた場合は、この熱を取り出す仕組みを利用して、原子炉内の燃料を冷却します。

具体的には、蒸気発生器で発生する蒸気により補助給水ポンプを作動させ、蒸気発生器に「二次冷却水」を供給します。供給された「二次冷却水」は、原子炉と蒸気発生器の間を循環する「一次冷却水」と蒸気発生器の中で金属の細管を介して接触し、加熱されて蒸気になる過程で「一次冷却水」から熱を奪い、燃料を徐々に冷却できるようになっています。補助給水タンクへ水を補給することにより、継続的に冷却を行うことが可能です。

また、蒸気は大気中へ放出し、熱を逃がしますが、「二次冷却水」は放射性物質を含まないきれいな水なので、放出による影響はありません。

図⑤-1 電源が喪失した場合の燃料を冷却する仕組み



[四国電力(株)提供資料]

さらに、福島第一原子力発電所の事故を受け、中型ポンプ車および加圧ポンプ車（いずれもエンジン駆動）を配備しており、電源がなくとも原子炉内に冷却水を直接供給することが可能です。※

※一次冷却系統へポンプ車で直接水を供給するのは、一次冷却材配管の破断などで冷却水が失われ、かつ、既設の非常用炉心冷却設備がすべて故障や電源喪失等により使用できない場合です。
一次冷却系統が健全であれば、補助給水系統から既設のポンプもしくは中型ポンプ車を用いて蒸気発生器の二次側へ給水を行い、発生する蒸気を放出することにより間接的に原子炉を冷却します。

【電源復旧後の対策】（図⑤-2）

電源復旧後は、長期的に安定した冷却操作の継続が可能となります。

具体的には、従来から設置されている余熱除去系統（余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器他）や格納容器スプレイポンプ、高圧注入ポンプなどを用いた冷却操作を実施します。※

※通常は、余熱除去ポンプにより炉心の崩壊熱を除去し、原子炉を冷温停止に導きます。余熱除去ポンプが故障等で使用できない場合は、格納容器スプレイポンプで代用します。

一方、一次冷却水の漏えい等が発生し、高圧の一次冷却系へ冷却水を注入する必要がある場合には、高圧注入ポンプによる原子炉への注水を行います。

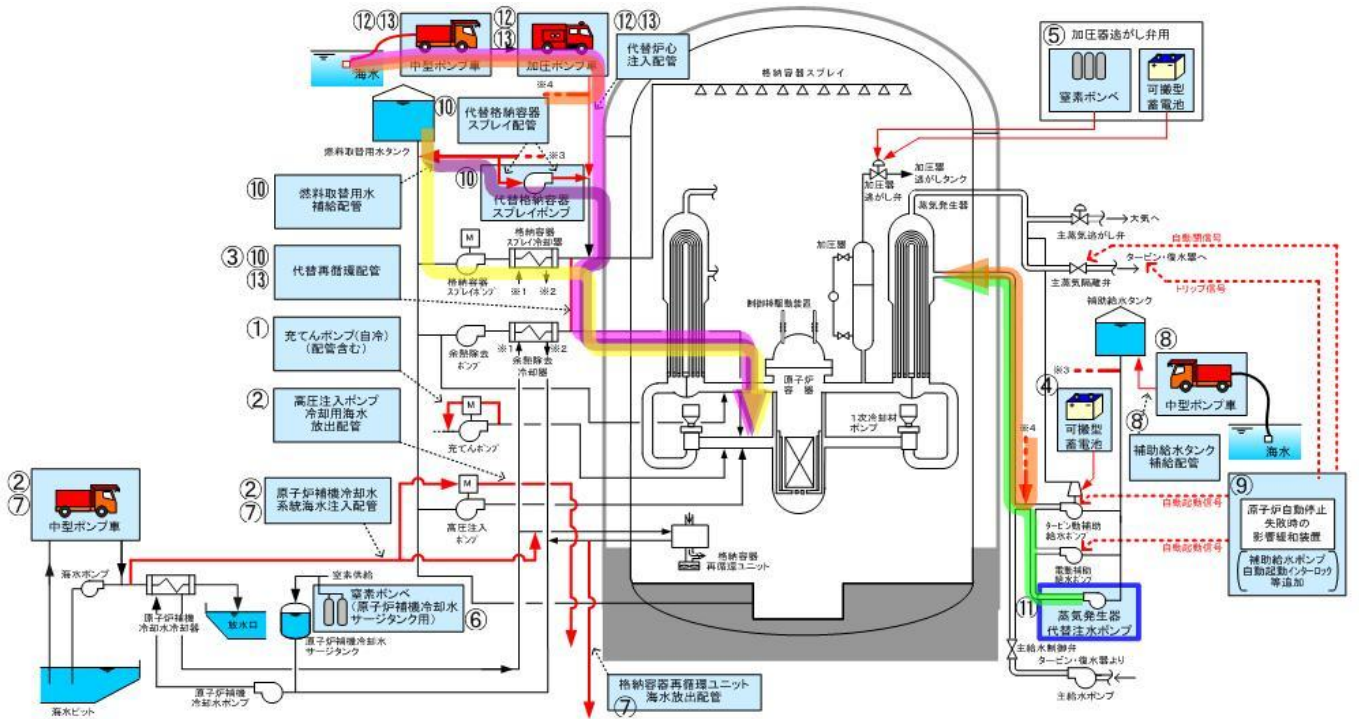
また、漏えいした蒸気により格納容器内の温度や圧力が上昇し、格納容器が破損する恐れがある場合には、格納容器スプレイポンプを使用し、蒸気を凝縮させて圧力を下げます。

なお、こうした既設設備の利用が困難な場合は、バックアップ機能として整備した代替格納容器スプレイポンプ、蒸気発生器代替注水ポンプなどを用いて冷却操作を行うこととなります。

このように原子炉を「冷やす」ために必要な設備については、すべて耐震**Sクラス**となっており、基準地震動はもちろん、概ね 1000 ガルの揺れによる力を受けても機能を維持できる耐震余裕があることを確認しています。

電源ケーブル、制御ケーブル、水配管などの冷却設備が能力を発揮するために必要な付帯設備についてもすべて耐震**Sクラス**の一番厳しい耐震基準が要求されています。

図⑤-2 炉心等へ注水する仕組み



[四国電力(株) 提供資料]

対策	
①	充てんポンプの冷却手段の追加
②	高圧注入ポンプの冷却手段の追加
③	格納容器スプレイポンプによる原子炉への注水手段の追加
④	タービン動補助給水ポンプ起動のための電源確保
⑤	加圧器逃がし弁駆動源の多様化
⑥	原子炉補機冷却水の沸騰防止
⑦	格納容器再循環ユニットへの冷却水供給手段の追加
⑧	原子炉冷却のための水源の確保
⑨	原子炉自動停止失敗時の影響を緩和
⑩	代替格納容器スプレイポンプによる原子炉への注水手段の追加
⑪	蒸気発生器代替注水ポンプによる蒸気発生器への給水手段の追加
⑫	ポンプ車による蒸気発生器への給水手段の追加
⑬	ポンプ車による原子炉への注水手段の追加

自主対応設備・対策

[四国電力(株) 提供資料より作成]