

§ 4 4-1 電源確保対策

4-1-1 発電用原子炉施設において、電源はどういう役割を果たし、それに対してもどういう規制を行っているのか。

1 発電用原子炉施設に必要とされる電源について

発電用原子炉施設内で必要とされる電源は、交流電源と直流電源がある。また、通常運転時に利用される常用電源と、事故等の発生時に必要とされる非常用電源に区分される。

炉心を冷却するために水を供給する大型ポンプ等の機器を動作させるためには、交流動力電源からの電力供給が必要である。通常運転時は、常用交流動力電源として、原子炉からの蒸気で駆動する発電機からの所内電力供給や敷地外の発電所等から電線路（送電線のこと）を通って供給される外部電源系^{*1}が利用される。事故等の発生時には、非常用交流動力電源として非常用ディーゼル発電機を待機させ、外部電源系が喪失した場合には、非常用ディーゼル発電機から電力を供給する。

また、各機器の制御や原子炉の各種パラメータを監視する計測制御用の機器等を動作させるためには、直流の電力が主に必要となる。通常は外部電源系等から供給される交流電流を直流に整流して供給される。事故等の発生時には、外部電源系が喪失し、非常用ディーゼル発電機の機能も喪失した場合の非常用直流電源として、蓄電池等が必要とされる。

2 東京電力福島第一原子力発電所事故における教訓について

*1 なお、原子力発電所外の電線路、変電所等は、発電用原子炉施設の設備ではない。

(1) 東北地方太平洋沖地震後に東京電力福島第一原子力発電所が炉心損傷に至るまでの経緯

東京電力福島第一原子力発電所は、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により敷地内の送電鉄塔が倒壊する等して所外からの給電が途絶する状態となった。運転中であった1から3号機では、速やかに原子炉が停止するとともに、所内の非常用電源と冷却設備が作動し、「冷やす・止める・閉じ込める」機能は正常に働いた。

しかし、その後に到来した巨大な津波により、海側に設置されていた海水ポンプは全てその機能を喪失した。更に、非常用ディーゼル発電機、配電盤、蓄電池等の電気設備の多くは、海に近いタービン建屋等の1階及び地下階に設置されていたため、建屋の浸水によりほとんどが同時に水没、被水してその機能を喪失した。

ほとんどの電源及び配電の機能を喪失した1から3号機の原子炉で生き残った冷却機能は、交流動力電源に依らなくとも駆動できる設備であり、1号機では非常用復水器、2号機では原子炉隔離時冷却系、3号機では原子炉隔離時冷却系と高圧注水系のみであった。1号機の非常用復水器では、操作に必要な直流電源の喪失により隔離弁の開操作等が十分に機能せず、早期に原子炉の水位が維持できない状況になった。2及び3号機においては、原子炉隔離時冷却系又は高圧注水系が作動して水位が維持されていたが、その間に適切に減圧し、低圧の代替注水に移行することができなかった。それらの結果、1から3号機はいずれも、水位の低下により炉心が露出し、炉心損傷に至った。

(2) 東京電力福島第一原子力発電所事故から得られた教訓

ア 東京電力福島第一原子力発電所では、前記(1)で述べたとおり、津波により所内の電気設備が水没、被水したことにより機能喪失したため、外部電源系が機能していたとしても受電を継続することは難しかったと考えられ

る。しかし、外部電源の喪失が、その後の事故の進展防止を阻害する要因のひとつであり、地震後に外部電源を含む交流電源を利用することができた東北電力株式会社女川原子力発電所及び日本原子力発電株式会社東海第二発電所では、冷温停止に移行する等の緊急時対応を実施できたことを踏まえると、外部電源について複数の回線からの給電を確保するなどにより、1つのルートを失っても当該発電所が外部電源喪失にならないよう外部電源系の一層の信頼性を高めることが重要である（設置許可基準規則33条4項から6項）。

イ 非常用交流電源設備については、津波により非常用ディーゼル発電機等の冷却系の一部である海水ポンプが機能喪失したため、非常用ディーゼル発電機自体が水没、被水していなかつたとしても機能しなかつた。

また、各種の安全設備に電力を供給する配電盤等の電気設備は、津波による被水等により機能を喪失しており、その代替機能を短時間で用意することができず復旧に時間を要した。

燃料供給、起動、制御に必要な直流電源、配電盤等の電気設備のいずれかが機能喪失しても使用できなくなるおそれがあるため、津波等による共通要因故障を防止する対策を強化することが重要である（設置許可基準規則3条から9条）。さらに、従来より非常用電源設備等に対して多重性又は多様性及び独立性を要求していたが、更なる交流電源設備、所内電気設備の独立性等を強化することが重要である（設置許可基準規則57条1項）。

ウ 加えて、非常用電源設備用の十分な燃料を確保することが重要である（設置許可基準規則33条7項）。

エ さらに、福島第一原子力発電所事故では、交流電源を長期にわたって復旧させることができず、これに備えるべき非常用直流電源の蓄電容量が十分に確保できなかつたために冷却機能等を長時間維持することができなかつたことを踏まえると、交流電源が使用できない状況下では直流電源を維持する

ことが必要不可欠である（設置許可基準規則 5 7 条 1 項）。

3 福島第 1 原子力発電所事故の教訓を踏まえた発電用原子炉施設の電源に係る規制の考え方について

2 の教訓を踏まえ、新規制基準における設置許可基準規則では、発電用原子炉施設の電源に係る主な規制は以下のとおりとなっている。

（1）設計基準対象施設に係る規制

ア 設計基準対象施設の共通要因故障を防止すること（設置許可基準規則 3 条から 9 条）

非常用電源設備を含む設計基準対象施設は、津波等による共通要因故障によりその安全機能を喪失することができないように設計することを要求している。

具体的には、設計基準対象施設を十分に支持できる地盤に設けること（設置許可基準規則 3 条）、地震による損傷の防止（同 4 条）、津波による損傷の防止（同 5 条）、想定される自然現象による外部からの衝撃による損傷の防止（同 6 条）、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止（同 7 条）、火災による損傷の防止（同 8 条）、溢水による損傷の防止等（同 9 条）を要求している。

本要求は、前記 2 （2）イ）の教訓を踏まえ、規制を強化している。

イ 発電用原子炉施設には、非常用電源設備を設けること（設置許可基準規則 3 3 条 2 項）。

非常用電源設備には、事故等の発生時には、炉心冷却のためのポンプ等へ電力の供給を行う交流動力電源の非常用ディーゼル発電機や、計測制御用の機器等へ電力の供給を行う蓄電池等がある。

なお、外部電源系による電力供給は、遠く離れた発電所等から電線路等を経由して供給されるものであるが、長大な電線路全てについて高い信頼性を確保することは不可能であり、また、電力系統の状況によりその信頼性が影

響を受けるため、原子力発電所側からは管理できない。さらには発電所外の電線路等は発電用原子炉施設の設備ではないことから、事故等の発生時は、外部電源系による電力供給は期待すべきではない。

ウ 非常用電源設備及びその附属設備は、多重性または多様性を確保し、及び独立性を確保し、その系統を構成する機械等の单一故障が発生した場合であっても、事故等に対処するための設備がその機能を確保するために十分な容量を有すること（設置許可基準規則33条7項）。

十分な容量とは、必要とする電力を供給できる発電容量があること及び外部電源系が長期間復旧できないことに備え、発電所への燃料補給等の外部支援がなくとも、7日間連続で非常用ディーゼル発電機等を運転するのに必要な容量以上の燃料を敷地内に貯蔵できることを指している。

貯蔵する燃料を7日間分以上としたのは、東京電力福島第一原子力発電所事故の例では、免震重要棟のガスタービン発電機の燃料供給に3日程度を要したため、より保守的に、少なくとも7日間と設定したものである。

本要求は、前記2(2)ウ)の教訓を踏まえ、規制を強化している。

エ 原子力発電所の設計基準対象施設に接続する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こと（設置許可基準規則33条4項）。

電線路のうち少なくとも一回線は、設計基準対象施設において他の回線と物理的に分離して受電できるものでなければならない（設置許可基準規則33条5項）。

設計基準対象施設に接続する電線路は、同一の発電所にある2つ以上の発電用原子炉施設を電力系統に連携する場合には、いずれの二回線が喪失した場合においても電力系統からこれらの発電用原子炉施設への電力の供給が同時に停止しないものでなければならない（設置許可基準規則33条6項）。

事故等の発生時には、信頼性の低い外部電源系には期待しないものの、信頼性の向上を図るため、発電所内に接続する電線路を、少なくとも二回線は独立したものとし、一回線が機能を喪失したとしても、残りの回線で電力の供給ができるように要求している。

また、その電線路は、単一の送電鉄塔の倒壊等により同時に機能を喪失しないよう、少なくとも1回線は、別の送電鉄塔に架線することにより、他の回線と物理的に分離して受電できるものとすること、同一の変電所に接続するものでないこととしている。

さらに、発電所内に複数号機の発電用原子炉が設置されているような場合には、三回線以上の電線路を発電所へ接続し、その各電線路から供給される電力が、各号機の発電用原子炉施設全てに接続できるように所内で接続し（タイラインという）、そのうち二回線が喪失しても複数の発電用原子炉施設が同時に外部電源喪失に至らないように設計することを要求している。

本要求は、前記2(2)アの教訓を踏まえ、規制を強化している。

オ 発電用原子炉施設には、全交流動力電源喪失時から重大事故等に対処するために必要な電力の供給が交流動力電源設備から開始されるまでの間、原子炉を停止し、炉心の冷却や原子炉格納容器の健全性を確保のための設備が動作することができるよう、これらの設備の動作に必要な容量を有する蓄電池等の電源設備をもうけること（設置許可基準規則14条）。

非常用ディーゼル発電機が機能を喪失し、また外部電源系による給電もできない全交流動力電源喪失の場合、重大事故等に対処するための電源設備からの電力が供給されるまでの一定時間、電力を使用しない冷却方法（BWRでは原子炉隔離時冷却ポンプ、PWRではタービン動補助給水ポンプ。いずれも炉心等からの蒸気を駆動源とする。）で炉心を冷却できるよう、当該ポンプを制御するために必要な十分な容量の非常用直流電源を備えることを要求している。

(2) 重大事故等対処施設に係る規制基準

重大事故等対処施設に係る規制基準としては、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれないよう、可能な限り多様性を考慮する（設置許可基準規則解釈43条第4項）とともに、発電用原子炉施設には、設計基準事故対処設備の電源が喪失したことにより重大事故等が発生した場合において炉心の著しい損傷、原子炉格納容器の破損等を防止するために必要な電力を確保するために必要な設備を設けることを要求している（設置許可基準規則57条）。本要求に対する解釈は、以下の通りである。

カ 代替電源設備を設けること。

- 1) 可搬型代替電源設備（電源車及びバッテリ等）を配備すること。
- 2) 常設代替電源設備として交流電源設備を設置すること。
- 3) 設計基準事故対処設備に対して、独立性を有し、位置的分散を図ること。

全交流動力電源喪失に至った場合、非常用ディーゼル発電機に代わって交流動力電源として機能するための代替電源設備として、常設型の空冷式非常用ディーゼル発電機や、可搬型の電源車、バッテリー等を用意することとしている。

また、これらの代替電源設備は、非常用ディーゼル発電機等の設計基準事故対処設備と、共通の要因によって同時に機能が喪失することがないよう、独立性を有し、位置的分散を図るものとすることとしている。

本要求は、前記2(2)イの教訓を踏まえ、規制を強化したものである。

キ 所内常設蓄電式直流電源設備は、負荷の切り離しを行わずに8時間、電気の供給が可能であること。その後必要な負荷以外を切り離して残り16時間の合計24時間にわたり電気の供給を行うことが可能であること。

24時間にわたり、重大事故等の対応に必要な設備に電気（直流）の供給を行うことが可能である可搬型直流電源設備を整備すること。

全交流動力電源、非常用直流電源設備等の機能が喪失し、また代替電源設備も機能が喪失した場合は、蒸気を動力源とするポンプにより炉心冷却を行う設計となっている。当該ポンプを制御し、その他必要な設備を作動させるための直流電源として、24時間にわたり電気の供給が可能な、常設蓄電池式直流電源設備及び可搬型直流電源設備を用意することとしている。

本要求は、前記2(2)イの教訓を踏まえ、規制を強化している。

ク 複数号機設置されている工場等では、号機間の電力融通を行えるようならかじめケーブル等を敷設し、手動で接続できること。

発電用原子炉が複数号機設置されている発電所においては、ある号機の非常用電源、代替電源設備等が機能喪失し、電力が供給できなくなった場合に、その他の号機の非常用ディーゼル発電機などから電力が融通できるよう、ならかじめケーブル等を敷設しておくこと、また、手動でケーブルを接続し、電力供給できるようにしておくこととしている。

本要求は、前記3(2)イの教訓を踏まえ、規制を強化している。

ケ 所内電気設備は、代替所内電気設備を設けることなどにより共通要因で機能を失うことなく、少なくとも1系統は機能の維持及び人の接近性の確保を図ること。

各種の安全設備に電力を供給するための配電盤等を備えた所内電気設備について、代替所内電気設備を設けることなどにより、たとえば津波による水没等の共通の要因によって同時に機能が喪失する事がないようにし、また、所内電気設備または代替所内電気設備のどちらかには、人がたどり着き操作等ができるようにすることとしている。

本要求は、前記2(2)イの教訓を踏まえ、規制を強化している。

以上の通り、福島第一原子力発電所事故における教訓を踏まえた電源設備に関する規制の強化をしているが、さらに全ての電源の機能が喪失したとしても

原子炉の冷却を行うため、以下の通り要求している。

コ 発電用原子炉施設には、原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧の状態であつて、設計基準事故対処設備が有する発電用原子炉の冷却機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷を防止するため、発電用原子炉を冷却するため必要な設備を設けなければならない（設置許可基準45条）。

本要求の解釈として、現場での人力による弁の操作により、原子炉隔離時冷却系（R C I C）等の起動及び十分な期間の運転継続を行うために必要な設備を整備することとしている。

全交流動力電源及び直流電源が全て喪失した場合においても、電気を動力源としないポンプを稼働させるための弁を人力で操作し、原子炉冷却材圧力バウンダリの減圧対策及び原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時の冷却対策の準備が整うまでの間、炉心の冷却ができるることを要求している。

本要求は、前記2(2)イの教訓を踏まえ、規制を強化している。

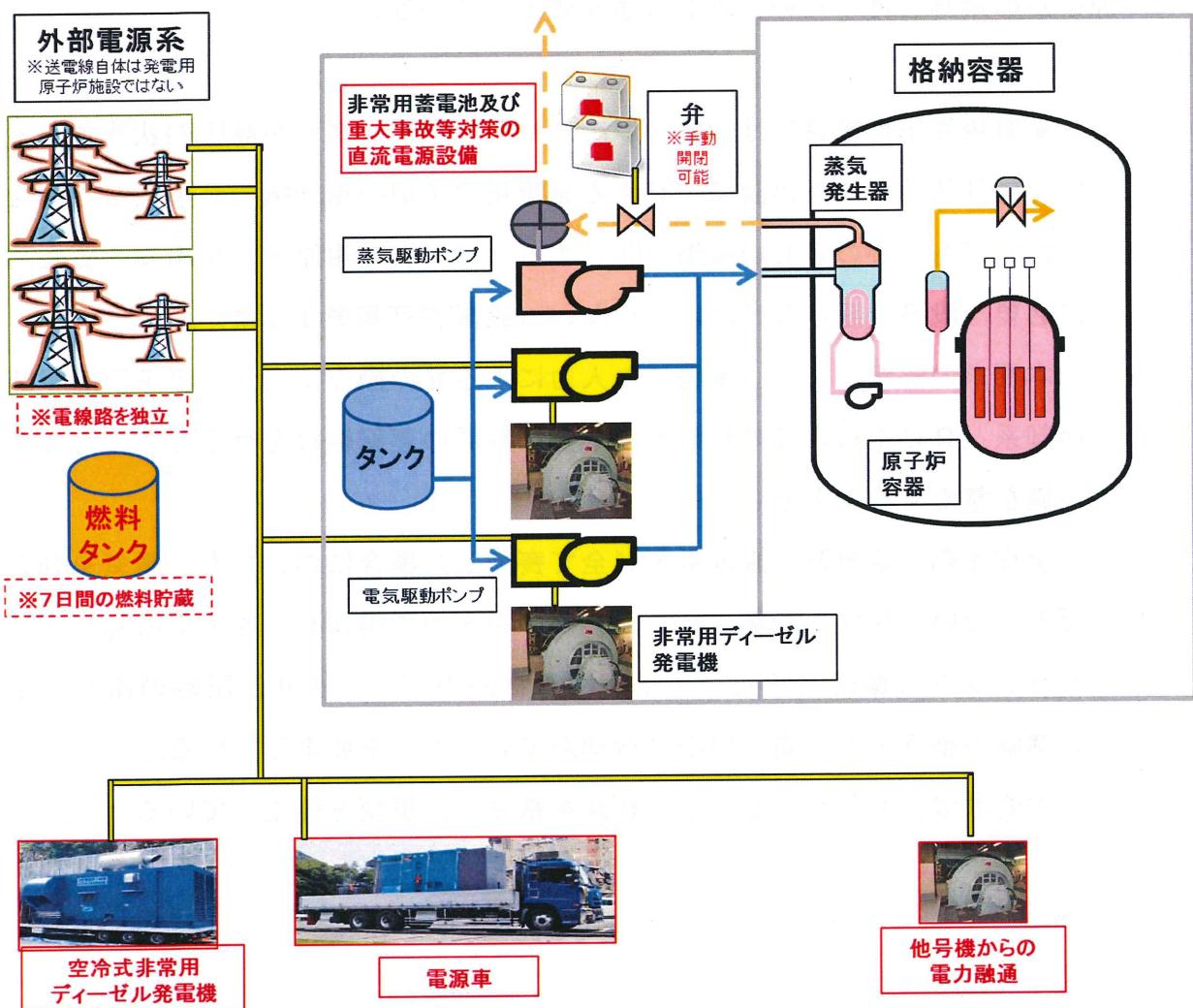


図 1 設置許可基準規則における電源確保に係る設備の概要

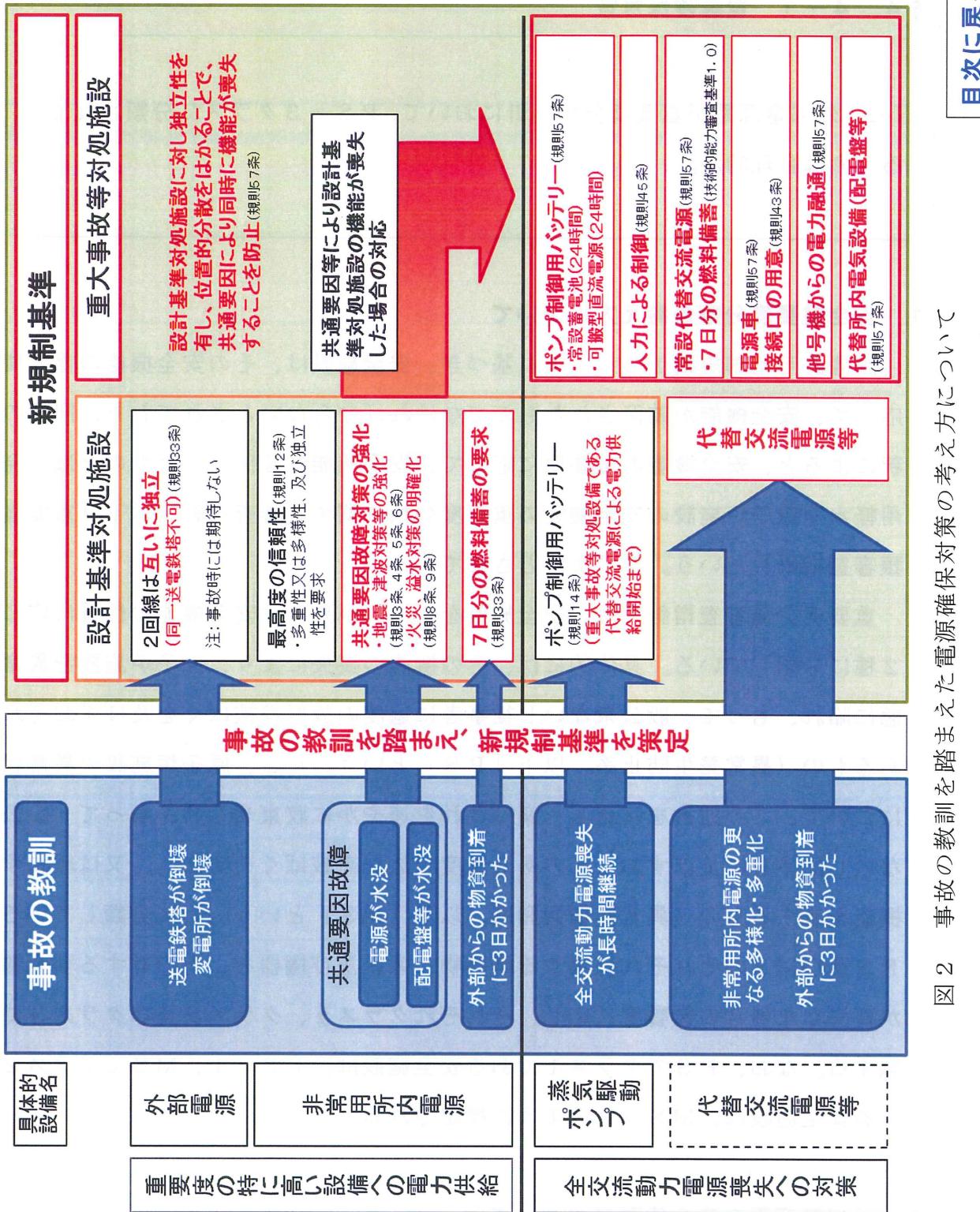


図2 事故の教訓を踏まえた電源確保対策の考え方について

次に戻る

§ 4 4-1 電源確保対策

4-1-2 外部電源系が重要度分類指針において、P S - 3 クラスに分類されているのは合理的か。

1 安全重要度分類の考え方について

設置許可基準規則 12 条 1 項に基づき、安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならないとされており、同条の解釈によると、安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものとは、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（以下「重要度分類審査指針」という。）によるとされている。

重要度分類審査指針では、安全施設を、それが果たす安全機能の性質に応じて 2 種に分類している。具体的には、その機能の喪失により、原子炉施設を異常状態に陥れ、もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの（異常発生防止系。以下「P S」という。）と、原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又はこれを速やかに収束せしめ、もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し、又は緩和する機能を有するもの（異常影響緩和系。以下「M S」という。）に分類している。P S 及び M S のそれぞれに属する構築物、系統及び機器を、その有する安全機能が喪失した場合の影響度に応じ、それぞれクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に分類する。なお、P S でクラス 1 である安全施設は、P S - 1、M S でクラス 2 である安全施設は、M S - 2 のように標記される。

2 外部電源系の安全重要度について

外部電源系による電力供給は、遠く離れた発電所等から電線路等を経由して供

給されるものであるが、長大な電線路や経由する変電所全てについて高い信頼性を確保することは不可能であり、また、電力系統の運用の状況によりその信頼性が影響を受けるため、原子力発電所側からは管理できない。さらには発電所外の電線路等は発電用原子炉施設の設備ではないことから、事故等の発生時は、外部電源系による電力供給には期待すべきではない。

以上により、外部電源系のうち発電所内にある開閉所等の設備は、非常用ではない電源供給機能を有する安全施設であり、重要度分類審査指針において、PS-3（異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器）に分類し、外部電源系のうち発電所外にある電線路等は、重要度分類の対象外であることは、合理的である。

なお、事故等の発生時には、非常用交流動力電源である非常用ディーゼル発電機から電力の供給を行う設計となっており、非常用ディーゼル発電機による電力供給機能は、MS-1に分類される。

また、外部電源の喪失を想定し、非常用電源を規制要求することはIAEA安全基準の原子力発電所の安全要件：設計（SSR-2/1（Rev. 0）等とも整合する、世界共通の考え方である。

[目次に戻る](#)

§ 4 4-1 電源確保対策

4-1-3 外部電源系が耐震設計上の重要度分類において、C クラスに分類されているのは合理的か。

1 耐震重要度分類の考え方について

設置許可基準規則 4 条 2 項に基づき、設計基準対象施設が耐えるべき地震力は、地震の発生によって生じるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならないとされており、設置許可基準規則の解釈別記 2 によれば、設計基準対象施設は、それぞれの耐震重要度に応じて、S クラス、B クラス、C クラスに分類される。

上記分類において、S クラスは、地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失による事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいものをいう。また B クラスは、安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響が S クラス施設と比べ小さい施設をいう。C クラスは、S クラスに属する施設及び B クラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。

2 外部電源系の耐震重要度について

外部電源系による電力供給は、遠く離れた発電所等から電線路等を経由して供給されるものであるが、長大な電線路や経由する変電所全てについて高い信頼性を確保することは不可能であり、また、電力系統の運用の状況によりその信頼性が影響を受け、原子力発電所側からは管理できず、さらには発電所外の電線路等は発電用原子炉施設の設備ではないことから、事故発生時は、外部電源系による電力供給は期待すべきではない。

以上により、耐震重要度分類の考え方従えば、外部電源系のうち発電所内にある開閉所等の設備は非常用電源設備ではないため、Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設または公共施設と同等の安全性が要求される施設にあたり、Cクラスに分類し、外部電源系のうち発電所外にある電線路等は、耐震重要度分類の対象外であることは、合理的である。

なお、事故発生時には、非常用電源設備として、非常用ディーゼル発電機から電力の供給を行う設計となっており、非常用ディーゼル発電機はSクラスに分類されている。

[目次に戻る](#)

§ 4 4-2 使用済燃料の貯蔵施設

4-2-1 使用済燃料の貯蔵施設等に係る設置許可基準規則の内容はどのようなものか。

1 設計基準対象施設に関する要求事項の概要

(1) 使用済燃料の特徴

使用済燃料とは、原子炉内で使用した燃料であり、原子炉の運転中に消費されなかった核分裂性物質があるので、臨界に達することができないように臨界管理が必要である。また、使用済燃料には運転中に生成、蓄積された核分裂生成物等が存在するため、崩壊熱^{*1}及び放射線が発生している。ただし、この崩壊熱は、時間とともに減少する。

例えば、ウラン燃料の場合、原子力発電所が発電をしている定格出力時に発生する熱と比べると、崩壊熱は原子炉の停止直後に約7%、24時間後に1%未満になる。

*1 核分裂の結果生じた核分裂生成物は、アルファ線、ベータ線又はガンマ線等の放射線を出しながら別の原子核に変化していく（放射性崩壊）が、その際に放出されるエネルギーが周辺の物質に吸収されて、最終的に熱となったもの。

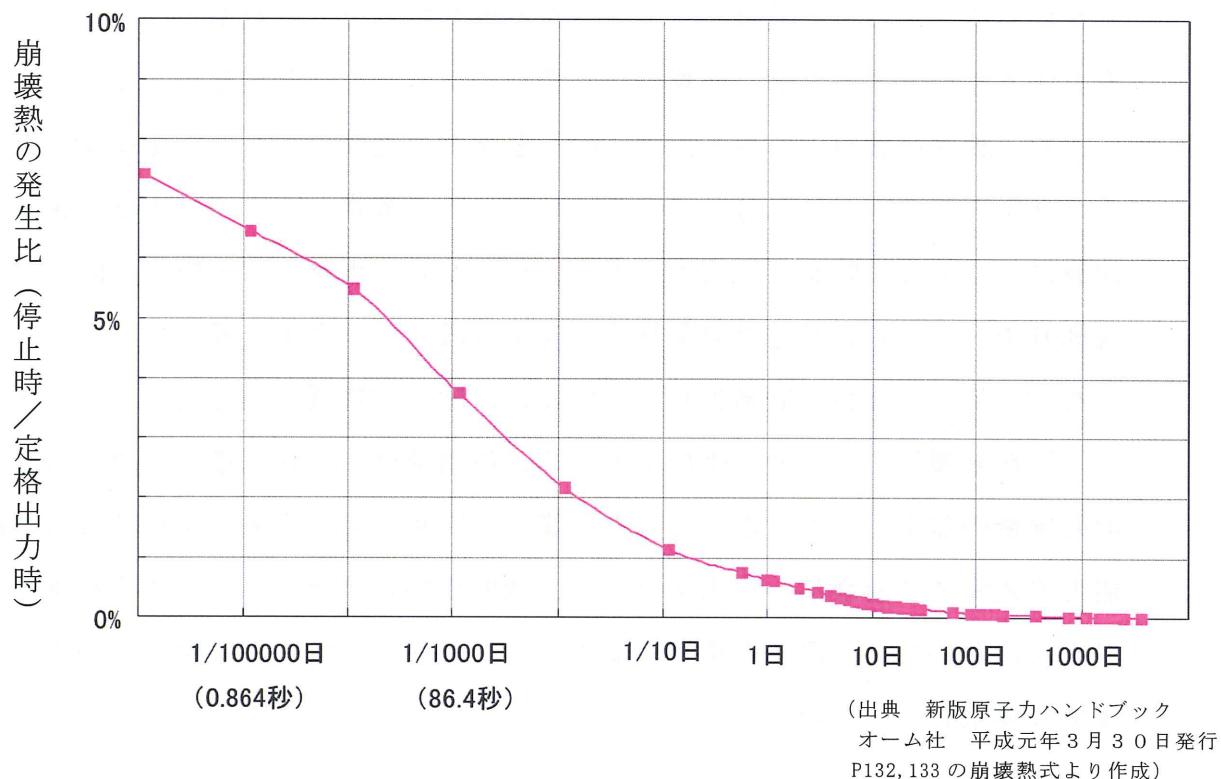


図1 ウラン燃料の崩壊熱の時間変化
(ウラン燃料の燃焼期間は1000日として作成)

(2) 使用済燃料の特徴を踏まえた設計基準対象施設に係る要求事項

以上の特徴より、使用済燃料を保管する施設は、使用済燃料の臨界を防止する設計であること、使用済燃料からの放射線を遮蔽する設計であること、使用済燃料の損傷を防止するために崩壊熱を除去する設計であることが求められる。

よって、設置許可基準規則16条2項では、発電用原子炉施設には、使用済燃料の貯蔵施設を設けることを求め、その具体的な設計に対する要求として、使用済燃料が臨界に達するおそれがないものとすること（同規則16条2項1号ハ）、使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする

こと（同規則16条2項2号イ）、貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであって、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとすること（同規則16条2項2号ロ）などを要求している。

また、使用済燃料の貯蔵施設は、設計基準対象施設であり、安全機能を有することから安全施設に区分しており、地震による損傷の防止（同規則4条）、津波による損傷の防止（同規則5条）、外部からの衝撃による損傷の防止（同規則6条）などの設計基準対象施設、安全施設に係る事項も要求している。

なお、使用済燃料の貯蔵施設については、放射性物質を閉じ込める役割を果たす燃料被覆管の健全性を維持するため、使用済燃料の貯蔵槽の水位、水温、放射線量の監視、制御を求めており、臨界の防止、冠水状態の維持による遮蔽能力の確保及び崩壊熱の除去を行えば、放射性物質が放出されるような事態は考えられないため、原子炉格納容器のような堅固な容器による閉じ込めることまでは要求していない。

（3）福島第一原子力発電所事故を踏まえた要求事項

福島第一原子力発電所事故における教訓としては、事故発生時に外部電源が利用できなくなった際に使用済燃料貯蔵槽の水位が把握できなかつたことが挙げられる。

この教訓を踏まえ、外部電源が利用できない場合においても、使用済燃料貯蔵槽の温度、水位その他の発電用原子炉施設の状態を示す事項を監視することができるものとすること（設置許可基準規則16条3項2号）を要求している。

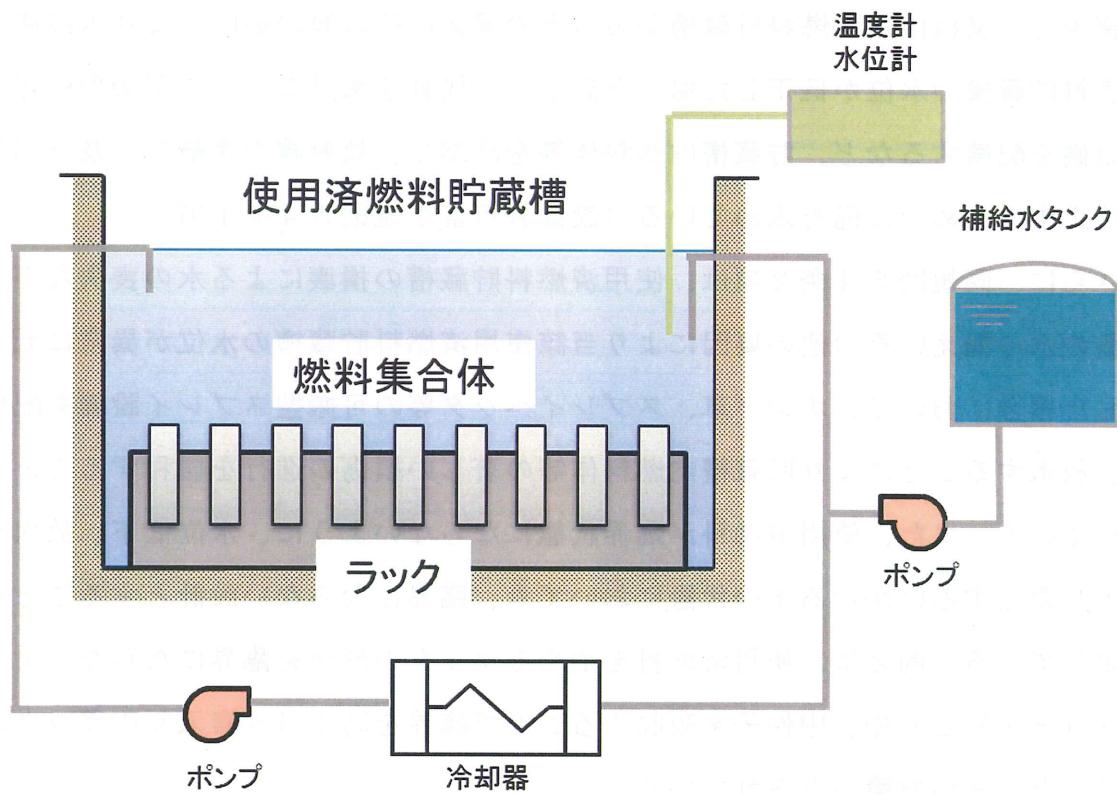


図2 使用済燃料の貯蔵施設（設計基準対象施設）の例

2 重大事故等対処施設に関する要求事項の概要

使用済燃料貯蔵槽内の水が喪失し使用済燃料が冷却できない状態になると、核燃料を覆う燃料被覆管が高温になり、破損し、放射性物質が放出されるおそれがある。ただし、使用済燃料は炉内の燃料と比較すると発熱量が小さく、使用済燃料貯蔵槽への補給水系が失われた場合においても損傷が生じるような事態に至るには長時間を要する。

福島第一原子力発電所事故における教訓の一つとして、使用済燃料の貯蔵施設の補給水系が損傷した場合の代替手段が用意されていなかったことがある（なお、実際には使用済燃料貯蔵槽からの水の喪失には至っていない）。

この教訓を踏まえ、設置許可基準規則では、重大事故等対処施設として、補給水系が損傷することなどにより使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能

が喪失し、又は使用済燃料貯蔵槽からの水の漏えいその他の要因により当該使用済燃料貯蔵槽の水位が低下した場合を想定し、代替注水設備として可搬型代替注水設備を配備するなど、貯蔵槽内燃料体等を冷却し、放射線を遮蔽し、及び臨界を防止するための設備を求めている（設置許可基準規則54条1項）。

さらに、同規則54条2項は、使用済燃料貯蔵槽の損壊による水の喪失など、大量の水の漏えいその他の要因により当該使用済燃料貯蔵槽の水位が異常に低下した場合において、ポンプ車、スプレイヘッダ等の可搬型スプレイ設備を配備し、放水することにより貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷の進行を緩和することを求めている。また、使用済燃料が臨界状態にならないように、水位低下、放水等により変化するいかなる水の状態においても、臨界にならない設計とすることを要求している。例えば、使用済燃料を納めるラックの形状を臨界にならないような設計とすることや、中性子を吸収することで臨界を防ぐほう素入りのラックにすることなどの方策がとられている。

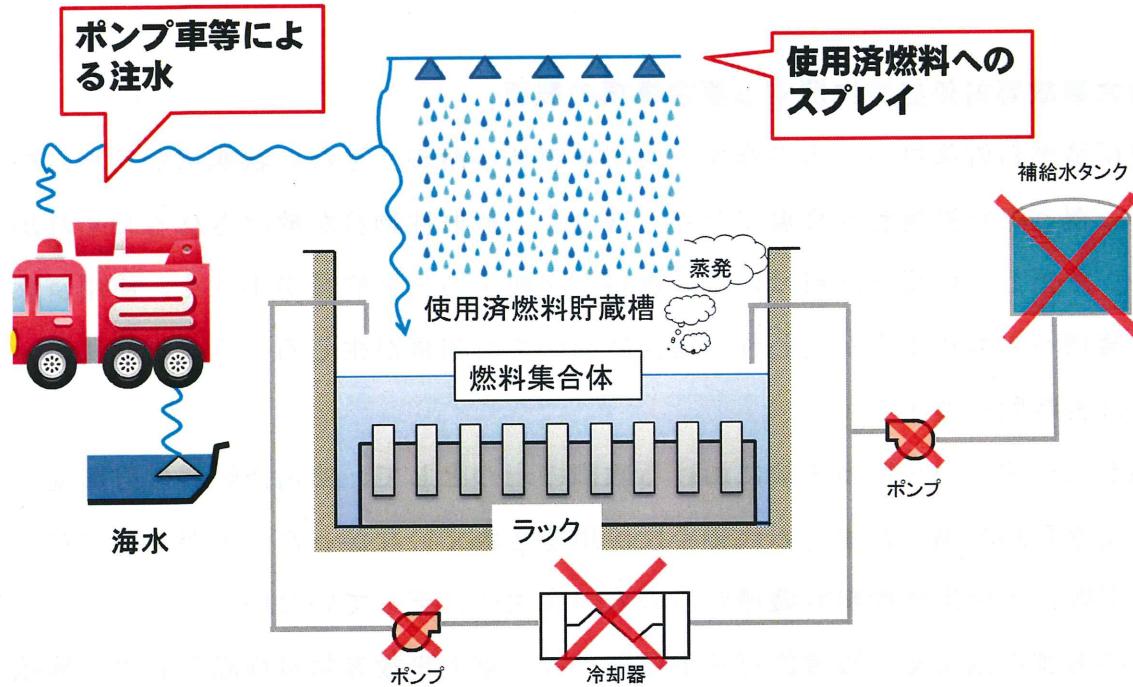


図3 使用済燃料貯蔵槽の重大事故等対処施設の例

[目次に戻る](#)

§ 4 4-2 使用済燃料の貯蔵施設

4-2-2 使用済燃料の貯蔵施設に閉じ込め機能を要求していないのはなぜか。堅固な施設で囲い込む等の措置を必要としないのはどのような理由か。

1 使用済燃料の特徴を踏まえた合理的な要求事項

使用済燃料の貯蔵施設は、保管する使用済燃料の特徴を踏まえた設計をすることが合理的である。使用済燃料の貯蔵施設は、耐震重要施設であることから、基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならぬ。そのため、使用済燃料貯蔵槽は鉄筋コンクリート製でできており、使用済燃料の貯蔵施設自体、堅固な施設として設計されている。

また、使用済燃料は、原子炉運転中の炉心の燃料のように高温・高圧の環境下になく、大気圧の下、崩壊熱を除去するため、常温程度以下に保たれた使用済燃料貯蔵槽内の水により冠水状態で貯蔵すればよい。

なお、崩壊熱は原子炉の停止後、時間とともに減少するものであり、使用済燃料を炉心から取り出し、使用済燃料の貯蔵施設へ移動する段階では原子炉の停止から数日経過しているため、崩壊熱はかなり小さくなっている。

また、使用済燃料が冠水さえしていれば、使用済燃料の発する崩壊熱は、大量に存在する周囲の水に伝達されるため、その崩壊熱は十分除去される。

したがって、使用済燃料は放射性物質を閉じ込める役割を果たす燃料被覆管の健全性を維持するために使用済燃料の冠水状態の維持を行い、崩壊熱を除去すれば、放射性物質が放出されるような事態は考えられないため、原子炉容器、原子炉格納容器のような耐圧性を有する施設として設計することまでは必要ではない。

なお、新規制基準では、重大事故に至るおそれがある事故の想定として、使用

済燃料貯蔵槽の冷却機能又は注水機能の喪失などにより使用済燃料貯蔵槽の水位が低下した場合の対策として、代替注水設備として可搬型代替注水設備を配備することなどにより、使用済燃料の冠水状態を維持することを求めている。

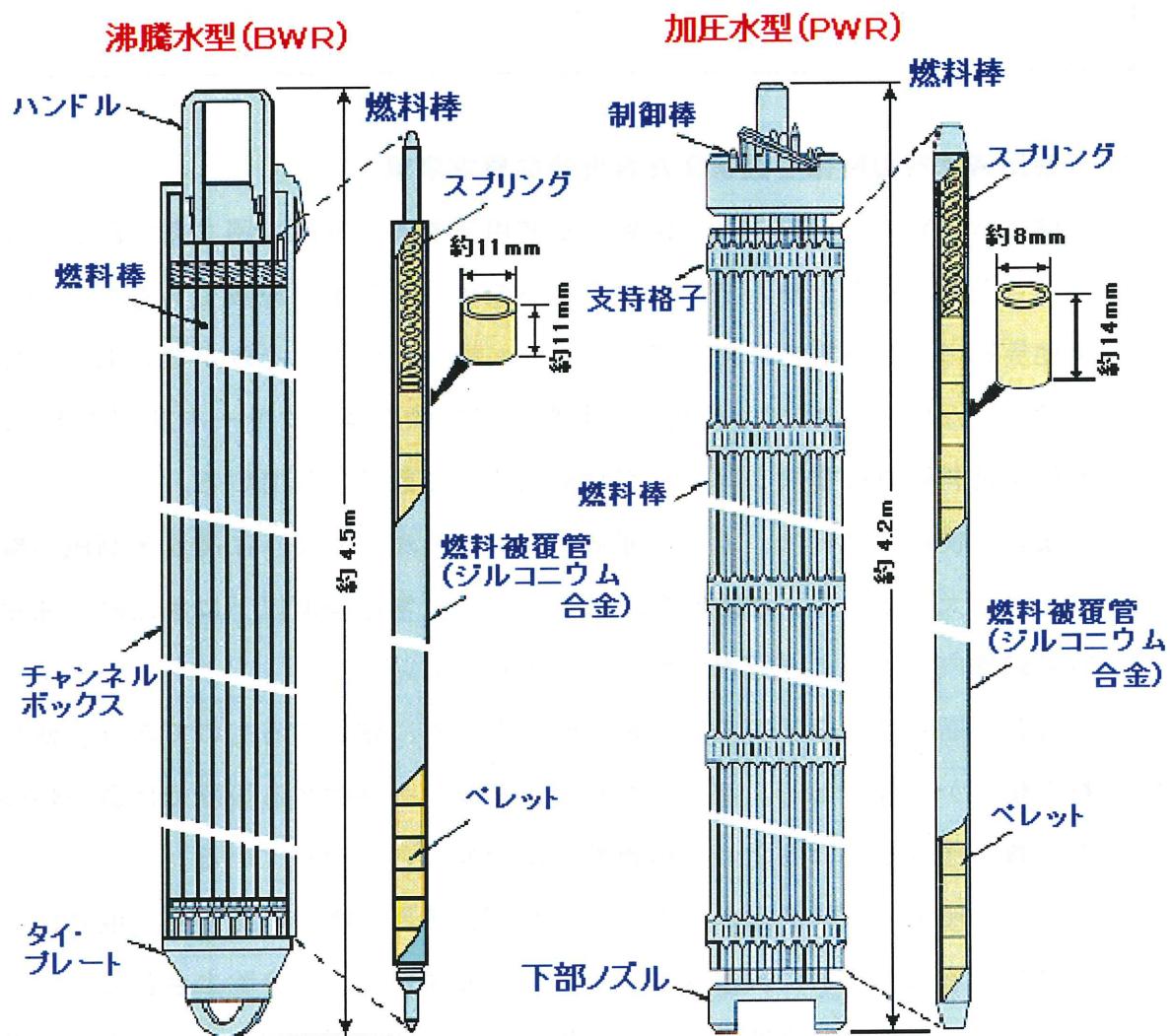


図 1 燃料体の概要

[目次に戻る](#)

§ 4 4－2 使用済燃料の貯蔵施設

4-2-3 使用済燃料の貯蔵施設等について、耐震重要度の分類は適切に判断され、それは合理的であるか。

1 使用済燃料の貯蔵施設等に関する耐震重要度分類について（概要）

耐震重要度分類は、地震による損傷の防止について定める設置許可基準規則4条が規制する事項であり、使用済燃料の貯蔵施設にも適用される。設置許可基準規則4条第2項に基づき、設計基準対象施設が耐えなければならない地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならないとされており、同条の解釈別記2によれば、設計基準対象施設は、それぞれの耐震重要度に応じて、Sクラス、Bクラス、Cクラスに分類される。

上記分類において、Sクラスは、地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失による事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいものとしている。

またBクラスは、安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設としている。

Cクラスは、Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設または公共施設と同等の安全性が要求される施設としている。

2 設置許可基準規則においては、使用済燃料の貯蔵施設等についてその施設等の機能を踏まえた適切な耐震重要度分類がなされている

上記の分類に従えば、使用済燃料貯蔵槽は自ら放射性物質を内蔵している施設であり、同解釈別記2にSクラスの施設として明記されている「使用済燃料を貯蔵するための設備」として、Sクラスに分類される。また、補給水設備は、使用済燃料貯蔵槽の安全機能を維持するために必要な「使用済燃料を貯蔵するための設備」の補助設備として、同じくSクラスに分類される。

なお、使用済燃料貯蔵施設の冷却系は、その機能を喪失したとしても使用済燃料貯蔵槽に上記の補給水設備により水が補給できれば崩壊熱の除去及び放射線の遮蔽等が可能であることから、補給水設備により機能を代替できるため、その影響がSクラス施設と比べ小さい施設にあたり、別記2にBクラスの施設として明記されている「使用済燃料を冷却するための施設」として、Bクラスに分類される。

このように設置許可基準規則は、使用済燃料貯蔵施設について、その施設及び設備の機能等を適切に考慮した、合理的な耐震重要度分類をしている。

[目次に戻る](#)

§ 4 4－2 使用済燃料の貯蔵施設

4-2-4 使用済燃料の貯蔵施設等について、安全重要度の分類は適切に考慮され、合理的であるか。

1 使用済燃料の貯蔵施設等に関する安全重要度分類について（概要）

安全重要度分類は、安全施設、すなわち設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものに関して設置許可基準規則12条が規制する事項であり、使用済燃料の貯蔵施設にも適用される。設置許可基準規則12条1項基づき、安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならないとされている。同条の解釈第1項によると、安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものとは、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（以下「重要度分類審査指針」という。）によるとされている。

重要度分類審査指針では、安全施設を、それが果たす安全機能の性質に応じて2種に分類している。具体的には、その機能の喪失により、原子炉施設を異常状態に陥れ、もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの（異常発生防止系。以下「P S」という。）と、原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又はこれを速やかに収束せしめ、もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し、又は緩和する機能を有するもの（異常影響緩和系。以下「M S」という。）に分類している。

そして、P S及びM Sのそれぞれに属する構築物、系統及び機器を、その有する安全機能の重要度に応じ、それぞれ重要なものから、クラス1、クラス2及びクラス3に分類する。なお、P Sでクラス1である安全施設は、P S-1、M Sでクラス2である安全施設は、M S-2のように標記される。

2 設置許可基準規則においては、使用済燃料の貯蔵施設等についてその施設等の機能を踏まえた適切な安全重要度分類がされている

使用済燃料の貯蔵施設は、設置許可基準規則 12 条 1 項の解釈で引用する重要度分類審査指針において、原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能を有する安全施設であり、その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質放出のおそれのある構築物、系統及び機器として PS-2 に分類されている。また、補給水設備は、燃料プール水の補給機能を有する安全施設であり、PS-2 の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようとする構築物、系統及び機器として MS-2 に分類されている。

使用済燃料は、原子炉運転中の炉心の燃料のように高温・高圧の環境下にある必要はなく、大気圧の下、崩壊熱を除去するため、常温程度以下に保たれた使用済燃料貯蔵槽内の水により冠水状態で貯蔵するものである。その崩壊熱は原子炉の停止後、時間とともに減少するものであり、使用済燃料を炉心から取り出し、使用済燃料の貯蔵施設へ移動する段階では原子炉の停止から数日経過しているため、崩壊熱はかなり小さくなってしまい、冠水さえしていれば崩壊熱は十分除去される。また、使用済燃料の貯蔵施設が故障又は損傷しても、直ちに臨界状態になることや、水がなくなり放射線が遮蔽できなくなることはない。

かかる特徴を踏まえれば、使用済燃料の貯蔵施設は PS-2 に分類され、また、補給水設備は、MS-2 に分類されていることは合理的である。

目次に戻る

§ 5 5-1 自然現象による損傷の防止

5-1-1 設置許可基準規則は、自然現象に対する発電用原子炉施設の防護についてどのようなことを要求しているか。

1 自然現象に対する発電用原子炉施設の防護における合理的な要求の考え方について

自然現象が発電用原子炉施設に与える影響は、その施設の立地条件によって、その大きさが異なる。例えば、発電用原子炉施設を設置する敷地高さが低ければ、敷地への津波の遡上のおそれがあり、津波の遡上を防ぐための対策が必要になるが、一方、発電用原子炉施設を設置する敷地高さが高ければ、同程度の津波高さでも津波の遡上はなく、相応の設計で十分となる。これは津波だけに限らず、地震や火山等の他の自然現象についても、同じことが言える。

よって、自然現象に対する発電用原子炉施設の防護については、発電用原子炉施設を設置する位置における各種の自然現象が当該発電用原子炉施設に与える影響を、科学技術的知見に基づく合理的な手法で評価した上で、設計を行うことが必要となる。

設置許可基準規則においては、設計基準対象施設、重大事故等対処施設に分けて、地震、津波、その他の自然現象などが与える影響の評価及びその対策を要求している。

2 設計基準対象施設に係る自然現象による損傷の防止

設置許可基準規則第2章では、設計基準対象施設に対して、自然現象による損傷を防止することを求めている。

具体的には、同規則3条は、設計基準対象施設は、地震の発生によって生ずる

おそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定した地震力等が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けること、耐震重要施設^{*1}は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならないこと、耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならないことを要求している。

また、同規則4条は、設計基準対象施設は、地震力^{*2}に十分に耐えることができるものでなければならないこと、耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならないこと、耐震重要施設は、上記のような地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して、安全機能が損なわれるおそれがないものであることなどを要求している。

同規則5条は、設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波（以下「基準津波」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならないことを要求している。

（なお、地震及び津波による損傷の防止に関する規制の内容については、本資料「§ 5 5-2 (地震)」及び「§ 5 5-3 (津波)」において述べる。）

同規則6条1項は、安全施設^{*3}は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないこと等を要求している。同規則の解釈6条では、「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、

*1 設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの（設置許可基準規則3条1項）

*2 上記地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定される（設置許可基準規則4条2項）

*3 設計基準対象施設のうち、安全機能を有するもの（設置許可基準規則2条2項8号）

火山の影響、生物学的事象（例えば、くらげの大量発生により海水の取水が制限されることなど）又は森林火災等から適用されるものをいう、としている。「想定される自然現象」は、その発電用原子炉施設の立地により異なるため、原子炉設置者は、本件解釈に記載されている自然現象以外にも想定すべき自然現象があれば、その設計の際に考慮する必要がある。

3 重大事故等対処施設に係る自然現象による損傷の防止

設置許可基準規則第3章では、重大事故等対処施設に対して、自然現象による損傷を防止することを求めてている。

具体的には、

- ①同規則38条は、常設耐震重要重大事故防止設備^{*4}や、常設重大事故緩和設備^{*5}が設置される重大事故等対処施設は、基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤に設けることなどを要求している。
- ②同規則39条は、常設耐震重要重大事故防止設備や、常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設は、基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故（常設耐震重要重大事故防止設備の場合）や、重大事故（常設重大事故緩和設備の場合）に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことなどを要求している。
- ③同規則40条は、重大事故等対処施設は、基準津波に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことを要求している。

また、重大事故等対処施設に対する地震、津波以外の自然現象による損傷の防

*4 重大事故防止設備のうち常設のものであって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの（設置許可基準規則38条1項1号）

*5 重大事故緩和設備のうち常設のもの（設置許可基準規則38条1項3号）

止については、同規則6条のように、独立した条文で要求されているわけではないが、この点については、同規則43条に基づいて、実質的に要求されている。

④同規則43条は、重大事故等対処設備についての要求を規定しており、同規則43条1項1号は、重大事故等対処設備について、想定される重大事故等が発生した場合における温度、放射線、荷重その他の使用条件において、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮するものであることを要求している。実際の審査においては、「荷重その他の使用条件」を検討する際に、台風や竜巻、積雪などの自然現象による荷重も考慮している。

さらに、重大事故等対処設備は、重大事故防止設備^{*6}と重大事故緩和設備^{*7}に分類される。同規則43条2項3号は、常設重大事故防止設備は、共通要因によつて設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであることを要求している。同条の解釈では、「適切な措置を講じたもの」とは、可能な限り多様性を考慮したものという、としている。この要求における「共通要因」は、地震、津波、台風、竜巒、積雪などの自然現象も含んでいる。具体的には、水冷式の非常用ディーゼル発電機（設計基準事故対処設備）とは別に、空冷式の非常用ディーゼル発電機（常設重大事故防止設備）を設置することなどの対策がある。

この同規則43条2項3号は、重大事故防止設備の機能は、炉心への注水機能や各設備への電源供給など設計基準事故対処設備の機能と同様の機能を持つため、共通要因により設計基準事故対処設備と同時にその機能が失われないように

*6 重大事故等対処設備のうち、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合であって、設計基準事故対処設備の安全機能又は使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能が喪失した場合において、その喪失した機能（重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能に限る。）を代替することにより重大事故の発生を防止する機能を有する設備（設置許可基準規則2条2項15号）

*7 重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備（設置許可基準規則2条2項16号）

する必要があるため要求するものである。

一方、重大事故緩和設備にはこのような規定はない。これは、重大事故緩和設備は、例えば、重大事故により発生した格納容器内の水素の濃度を低減する機能（静的触媒式水素再結合装置）など、重大事故が発生した後に必要になる機能であり、そのような機能を有する設計基準事故対処設備がないためである。

同規則43条3項5号は、重大事故等対処設備のうち可搬型のものについて、地震、津波その他の自然現象又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる影響、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備の配置その他の条件を考慮した上で常設重大事故等対処設備と異なる保管場所に保管することを要求している。

また、同規則43条3項7号は、重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基準事故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能又は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであることを要求している。同規則43条2項3号と同様の理由により、可搬型の重大事故緩和設備については、このような規定はない。

4 大規模な自然災害による発電用原子炉施設の大規模な損壊が発生した際の対応について

設計基準対象施設及び重大事故等対処施設は、自然現象による損傷を防止できるよう十分考慮した上で設計することを求めている。

しかし、その設計にあたり、想定する自然現象を超える大規模な自然災害が発生し、発電用原子炉施設の大規模な損壊が発生した場合についても、炉心の著しい損傷や格納容器の破損などの影響を緩和するための対策等を要求している。

(なお、大規模損壊対策については、本資料「§ 3 3-4」において述べる。)

[目次に戻る](#)

§ 5 5-2 地震

5-2-1 設置許可基準規則における地震対策に係る規制上の要求事項は何か。

1 地震対策の規制の経緯

(1) 昭和53年耐震設計審査指針策定時

北米プレート、ユーラシアプレート、フィリピン海プレート及び太平洋プレートの境界に位置する世界有数の地震国である我が国において、原子力施設の耐震安全性を確保することは極めて重要な課題である。そのため、海外から原子力発電技術を導入するに当たり、耐震性に関する検討が行われ、我が国独自の高度な耐震設計法が構築されてきた。原子力発電所の耐震設計の基本方針として、「施設の重要度に応じて設計する」、「原子炉建屋は剛構造とする」、「原子炉建屋などの重要な施設は建築基準法で定める地震力の3倍とする」という考え方方が導入され、昭和53年に設計用地震力の取り方など耐震設計上の基本的な考え方について取りまとめられた「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「耐震設計審査指針」という。）が地震対策の審査基準とされてきた。

(2) その後の耐震設計審査指針の改訂履歴

まず、昭和56年7月、建築基準法の改正（昭和55年）を受け、その当時における新たな知見として建築基準法に取り入れられた静的地震力^{*1}の算定法等について見直しがされた。

その後、平成7年兵庫県南部地震の検証を通じて、断層の活動様式、地震動

*1 時間とともに変化する地震力（動的な力）を、時間的に変化しない力（静的な力）に置き換えて耐震設計を行う際に用いる地震力をいう。

特性、構造物の耐震性等に係る知見が得られたことを踏まえ、原子力施設の耐震安全性に対する信頼性を一層向上させるため、平成18年9月に耐震設計審査指針が改訂（以下「改訂耐震設計審査指針」という。）された。

主な改訂点として、

- ① それまで耐震設計審査指針において基本方針とされていた「原子炉建屋は剛構造とする」という考え方について、免震構造等に関する設計技術の進歩及び原子力施設における適用実績を踏まえ、剛構造以外の設計であっても同程度以上の耐震安全性の確保が可能であることから剛構造に限定しないこと、
- ② 詳細な調査を適切に実施することを前提とした「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動^{*2}」を策定することを規定した上で、敷地近傍の地震に対する備えに万全を期すとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動^{*3}」を別途策定することを規定したことに伴い、「直下地震M 6.5」という地震規模による設定を廃止したこと、
- ③ 耐震設計審査指針において「活断層」を、第四紀全体（約180万年前（平成21年より約258万年前に変更）～現在）で活動が認められるものと定義した上で、第四紀の中でも地殻変動の様式や速度が異なることや地表地震断層や活断層のトレーニング調査の結果から得られる再来期間（活断層の活動間隔）を考慮して「耐震設計上考慮する活断層」として5万年前以降に活動したもの、又は再来期間が5万年未満のものを活断層評価の目安としていた。平成7年兵庫県南部地震以降に行われてきたトレーニング調査の結果から確認される再来期間は最長3万年であった

*2 敷地に大きな影響を与えると予想される地震を複数選定し、それぞれの地震ごとに「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を実施して、耐震設計の基準として用いる地震動を策定することをいう。

*3 震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味して地震動を設定することをいう。

が、再来期間が5万年を超える可能性を考慮するとともに、それまでの審査実績を踏まえ、「耐震設計上考慮する活断層」は、第四紀後期の後期更新世以降（12～13万年前以降）の活動が否定できないものとしたこと

等が挙げられる。

（3）平成23年東北地方太平洋沖地震後の変遷

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震及びそれに付随して発生した津波に関する検証を通じて得られた、プレート間地震及び海洋プレート内地震の震源域の連動に係る考え方のほか、改訂耐震設計審査指針に基づく既設原子炉施設の耐震安全性評価（耐震バックチェック^{*4}）において得られた経験、平成19年新潟県中越沖地震から得られた教訓等を踏まえて設置許可基準規則4条及び同規則の解釈別記2が制定された。

2 地震対策に係る設置許可基準規則の内容

発電用原子炉施設が、地震に対する安全性を確保し得るものであるためには、事故防止対策として、設計基準対象施設^{*5}が算定される地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲^{*6}に留まるように設計し、耐震重要施設^{*7}が基準地震動^{*8}

*4 平成18年9月19日に耐震設計審査指針が改訂された際、稼働中又は建設中の原子力施設の当該指針に基づく耐震安全性の再評価を実施した。

*5 発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるものをいう（設置許可基準規則2条2項7号）

*6 物体に力（応力）を加えると変形する（歪みが生じる）が、力を除くと元の状態に戻る力の範囲をいう。なお、弾性範囲の限界（降伏点）を超えると、物体は変形したままで元の状態に戻らなくなる範囲を塑性範囲という。（参考図参照）

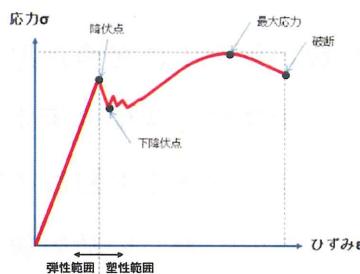
による地震力に対して安全機能を損なうおそれがないように設計することに加え、万一の重大事故等対策として、基準地震動による地震力に対して重大事故等対処施設^{*9}が重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれないように設計することが必要である。

このような観点から、設置許可基準規則は、設計基準対象施設等の地震に対する安全性に係る規定（設置許可基準規則4条）及び重大事故等対処施設等の地震に対する安全性に係る規定（設置許可基準規則39条）を設けている。

そして、発電用原子炉施設のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の地震に対する安全性に係る設置許可基準規則適合性審査では、主に、

- ①耐震設計に用いられる基準地震動の策定の妥当性
- ②耐震設計方針の妥当性

の2点を確認することとされている。



参考図 弾性範囲と塑性範囲

*7 設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいものをいう（設置許可基準規則3条）。後述する耐震重要度分類の最上位クラスであるSクラスと同義。

*8 最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定する地震動をいう（設置許可基準規則の解釈別記2の5）。

*9 重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故に対処するための機能を有する施設をいう（設置許可基準規則2条2項11号）。

(1) 設置許可基準規則における事故防止対策

前述のとおり、発電用原子炉施設のうち設計基準対象施設は、施設の耐震重要度に応じて算定される地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲に設計され、耐震重要施設が基準地震動による地震力に対して安全機能を損なうおそれがないように設計されなければならない。

そこで、設置許可基準規則 4 条 1 項は、発電用原子炉施設の事故防止対策のうち地震に関する基本設計ないし基本的設計方針について、「設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。」、同条 2 項は、「前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。」、同条 3 項は、「耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」、同条 4 項は、「耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」と定めている。

同条は、発電用原子炉施設の供用中に発電用原子炉施設に大きな影響を与えるおそれがあると考えられる地震動を適切に策定し、この地震動を前提とした耐震設計を行うことにより、主に耐震重要施設の安全機能の喪失を防止し、地震を起因として周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくの危険を与えないようにするとの基本的考え方に基づくものである。

ア 耐震設計に用いられる基準地震動の策定の妥当性

設置許可基準規則 4 条 3 項は、「耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機

能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」と規定する。

基準地震動は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定される（設置許可基準規則の解釈別記2の5）。基準地震動の策定方針に係る基本的な考え方は、以下に述べるとおり、「震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を敷地における解放基盤表面^{*10}において水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定するという、改訂耐震設計審査指針における基準地震動の策定方針（改訂耐震設計審査指針5）と同一である。

そして、基準地震動は、（ア）「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び（イ）「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として、以下の方針に基づいて、それぞれ策定される（設置許可基準規則の解釈別記2の5一）。

（ア）敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」とは、敷地ごとに当該施設敷地周辺の地質状況、活断層の状況、プレート境界との関係等を考慮した当該敷地固有の特性に基づく地震動である。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については、検討用地震^{*11}を複数選定する。そして、選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して、「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施し、震源から解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して基準地震動を策定する旨定めている

*10 基準地震動を策定するために、基盤面上の表層及び構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここで言う「基盤」とは、おおむねせん断波速度 $V_s = 700 \text{ m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないものとする（設置許可基準規則の解釈別記2の5一）。

*11 内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震をいう（設置許可基準規則の解釈別記2の5二）。

(設置許可基準規則の解釈別記2の5二)。(「応答スペクトルに基づく地震動評価」については、本資料「§ 5 5-2 5-2-3」、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」については、「§ 5 5-2 5-2-4」を参照)

また、検討用地震の選定については、「内陸地殻内地震^{*12}」、「プレート間地震^{*13}」及び「海洋プレート内地震^{*14}」について、敷地周辺の活断層の性質や過去の地震の発生状況を精査するほか、敷地周辺の中・小・微小地震の分布、応力場^{*15}、地震発生様式（プレートの形状、運動、相互作用を含む。）に関する既往の研究成果等を総合的に検討し、複数選定することとされている（設置許可基準規則の解釈別記2の5二①）。

さらに、基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさについては、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータ^{*16}について分析した上で、必要に応じて偶然的不確実さと、認識論的不確実さを組み合わせるなど適切な手法を用いて不確かさを考慮することが求められる（設置許可基準規則の解釈別記2の5二⑤）。

(イ) 震源を特定せず策定する地震動

「震源を特定せず策定する地震動」については、震源と活断層を関連

*12 陸のプレートの上部地殻地震発生層に生じる地震をいい、海岸のやや沖合で起こるものも含む（設置許可基準規則の解釈別記2の5二）。

*13 相接する2つのプレートの境界面で発生する地震をいう（設置許可基準規則の解釈別記2の5二）。

*14 沈み込む（沈み込んだ）海洋プレート内部で発生する地震を言い、海溝軸付近又はそのやや沖合で発生する「沈み込む海洋プレート内の地震」又は海溝軸付近から陸側で発生する「沈み込んだ海洋プレート内の地震（スラブ内地震）」の2種類に分けられる（設置許可基準規則の解釈別記2の5二）。

*15 地層にどのような力が加わっているかを示すもので、水平方向を基準にして押されていれば圧縮応力場、引っ張られていれば引張応力場という。応力場の変化は、プレートの運動に關係しており、日本のような沈み込み帯では、海洋プレートの沈み込みの方向と角度が応力場を変化させると考えられている。

*16 断層の長さ、幅、傾斜角、応力降下量等の断層の性状を数値で示すものをいう。活断層評価結果に基づいてこれらのパラメータを設定し、不確かさを考慮した際に相対的に解に与える影響の大きいものを「支配的なパラメータ」という。

づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトル^{*17}を設定して策定することが求められる（設置許可基準規則の解釈別記2の5三）。

なお、「震源を特定せず策定する地震動」は、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な活断層等の調査を実施してもなお、敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、考慮すべき地震動と位置づけられている。

イ 耐震設計方針の妥当性

設置許可基準規則4条1項及び2項は、設計基準対象施設が、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定する地震力に十分耐え得るよう設計すること、すなわち、設計基準対象施設を耐震設計上の重要度に応じてSクラス、Bクラス及びCクラスの3クラスに分類し、より上位のクラスには、より大きい地震力を設定し、それぞれのクラスごとに設定される地震力に十分耐え得るように設計することを求めている（設置許可基準規則の解釈別記2の2ないし4）。

この分類を耐震重要度分類といい、その具体的な内容は次のとおりである。

Sクラスに分類される施設とは、「地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能

*17 評価地点における地震動の周期毎の最大応答を算出し、周期と最大応答値をグラフ化したもの。応答値としては、加速度、速度、変位があるが、強震動予測においては加速度の応答スペクトルを指すことが多い。

喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの」である（設置許可基準規則の解釈別記2の2一）。

Bクラスに分類される施設とは、「安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設」である（設置許可基準規則の解釈別記2の2二）。

Cクラスに分類される施設とは、「Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設」である（設置許可基準規則の解釈別記2の2三）。

そして、設計基準対象施設は、耐震重要度分類のクラス別に、後記（ア）ないし（ウ）に示す耐震設計に関する方針を満足することが求められる。

（ア） 基本的な方針

a Sクラスに分類される設計基準対象施設

Sクラスに分類される設計基準対象施設のうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備以外のものについては、算定される地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲に留まるように設計されるものであるとともに、基準地震動による地震力に対して安全機能を損なうおそれがないものであるかどうかを確認することとされている。

具体的には、弾性設計用地震動^{*18}による地震力又はSクラスに適用する静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾

*18 施設が地震力に対して耐えるために、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲に留まるよう設計する際に用いる地震動をいう。（弾性範囲については、脚注6の参考図参照）

性状態にとどまる範囲で耐えることなどが求められる（設置許可基準規則4条1項、同規則の解釈別記2の3一）。また、基準地震動による地震力に対して安全機能を保持できるものであることが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の6一及び7）。なお、「おおむね弾性状態」とは、局部的に弾性限界を超えたとしても施設全体としては、弾性範囲に留まることをいう。

また、Sクラスに分類される設計基準対象施設のうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備については、基準地震動による地震力に対して、それぞれ津波防護機能、浸水防止機能又は津波監視機能が保持できるものであることが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の6二）。

b Bクラスに分類される設計基準対象施設

Bクラスに分類される設計基準対象施設は、Bクラスに適用する静的地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐え、また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行うことが求められる（設置許可基準規則4条1項、同規則の解釈別記2の3二）。

c Cクラスに分類される設計基準対象施設

Cクラスに分類される設計基準対象施設は、Cクラスに適用する静的地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐えることが求められる（設置許可基準規則4条1項、同規則の解釈別記2の3三）。

d 施設相互の関係

前記aの耐震重要施設は、下位の分類に属する施設の破損によって波及的に安全機能を損なうことのないことなどが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の6）。

(イ) 地震力の算定法

施設の耐震設計に用いる地震力の算定は、主に後記 a ないし c の方法による求めている。

基準地震動は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定しなければならないとしている。この基準地震動による地震力に対して耐震安全上重要な施設の安全機能が保持されることが、耐震安全上の要求事項として基本となる考え方である。

また、基準地震動に対する施設の安全機能保持をより高い精度で確認するため、別途、弹性設計用地震動を設定し、この弹性設計用地震動による地震力に対し施設全体としておおむね弹性範囲に留まっていることを確認することとしている。構造物の弹性設計では、地震入力と構造物の応答は比例関係にあり、算定される応答値の精度も比較的高い。一般的に構造物の弹性限界と終局強度の間には大きな差があり、弹性設計された構造物は、弹性設計で考慮した地震動を超える地震動に対しても余裕をもった設計となり、これにより基準地震動による弹塑性解析結果の信頼性を担保し、安全機能の保持を高い精度で確認できる。

さらに、一般建築物で広く用いられている静的地震力による設計手法がある。この手法は、原子力施設の設計においても古くから用いられ設計実績も豊富であり、一般建築物の構造基準である建築基準法との対比も分かりやすいことから、基準地震動や弹性設計用地震動による動的な解析と併せて S クラス施設の耐震設計の信頼性を高める役割を担っている。原子力施設では、耐震重要度に応じて、上位のクラスにはより大きい静的地震力を設定しており、静的地震力に対して施設全体としておおむね弹性範囲に留まるように設計している。

a 基準地震動による地震力

基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定することなどが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の7）。

b 弹性設計用地震動による地震力

弾性設計用地震動は、基準地震動に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確認するためのものとして、基準地震動との応答スペクトルの比率の値が、目安として0.5を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定することなどが求められる（設置許可基準規則4条2項、同規則の解釈別記2の4一）。

c 静的地震力

静的地震力は、建物・構築物の振動特性、地盤の種類、施設の耐震設計上の重要度等を踏まえて設定することなどが求められる。具体的には、一般産業施設と同等の安全性が要求されるCクラス施設には一般産業施設と同じ水平地震力^{*19}を、より上位のBクラス及びSクラスには、それぞれ1.5倍、3倍の地震力を設定することが求められる。（設置許可基準規則4条2項、同規則の解釈別記2の4二）。

(ウ) 荷重の組合せと許容限界

耐震設計方針の妥当性の評価に当たって考慮すべき荷重の組合せと許容限界についての基本的な考え方は、後記aないしeに示す内容のとおりである。地震は、他の外部事象と異なり、建物だけでなく内部の機器・配管系にも地震による荷重が作用する。一方、それぞれの施設には、

*19 水平方向の揺れによって施設に作用する力（水平方向の加速度を重力加速度で除したものに施設の重量を掛け合わせたもの）をいう。

プラントの状態によって地震以外の荷重も生じている。そのため、地震により施設に作用する荷重のみならず、プラント状態による荷重も考慮する必要がある。

a S クラスの建物・構築物（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

基準地震動との組合せと許容限界については、浸水防止設備が設置された建物・構築物以外のものは、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力^{*20}時の変形）^{*21}について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していることが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の6一）。

弾性設計用地震動等との組合せと許容限界については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度^{*22}を許容限界とする（設置許可基準規則4条1項、同規則の解釈別記2の3一）。

b 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備

津波防護施設については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該施設が構造全体として変形能力について十分な余裕を有するとともに、

*20 構造物に対する荷重を漸次増大した際、構造物の変形又は歪みが著しく増加する状態を構造物の終局状態とし、この状態に至る限界の最大荷重負荷を意味する。（改訂耐震設計審査指針 解説 IV. (2)）。

*21 変形能力とは、終局状態（脚注20を参照）に至る限界まで変形できる能力のこという。

*22 建物・構築物を構成する構造部材の材料について、荷重の作用する状態ごとに設定されている発生応力の制限値のことをいう。

その施設に要求される津波防護機能及び浸水防止機能を保持することが求められる。また、これらの荷重組合せに関しては、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮することが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の6二）。

浸水防止設備及び津波監視設備については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、浸水防止機能及び津波監視機能を保持することが求められる。また、これらの荷重組合せに関しては、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮することが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の6二）。

c B クラス及びC クラスの建物・構築物

B クラス及びC クラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする（設置許可基準規則4条1項、同規則の解釈別記2の3二及び三）。

d S クラスの機器・配管系

基準地震動との組合せと許容限界については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時^{*23}及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持することが求められる。なお、上記により求

*23 通常運転時に予想される機械又は器具の单一の故障若しくはその誤作動又は運転員の单一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には発電用原子炉の炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう（設置許可基準規則2条2項3号）。

められる荷重により塑性ひずみ^{*24}が生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界^{*25}に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないことが求められる。また、動的機器^{*26}等については、基準地震動を受けても、その施設に要求される機能を保持することが求められる（設置許可基準規則4条3項、同規則の解釈別記2の6一）。

弾性設計用地震動等との組合せと許容限界については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力を組み合わせた荷重条件に対して、施設全体としておおむね弾性状態にとどまることが求められる（設置許可基準規則4条1項、同規則の解釈別記2の3一）。

e Bクラス及びCクラスの機器・配管系

Bクラス及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時の荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、応答が全体的におおむね弾性状態にとどまることが求められる（設置許可基準規則4条1項、同規則の解釈別記2の3二及び三）。

（2）設置許可基準規則における重大事故等対策

重大事故等対処施設は、当該施設の区分に応じて、後記アないしエの地震力に対し、十分に耐えることができること又は重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであることを満たすものでなければなら

*24 降伏点（脚注6を参照）を超える範囲におけるひずみのこと。

*25 鋼構造物の破壊モード（現象）は、塑性ひずみによる延性破壊であり、材料等の変形が微小なレベルに留まり延性破壊に至らない限界をいう。

*26 ポンプ、弁、モーター等の作動要素を含む機器をいう。

ない（設置許可基準規則39条1項各号）。

ア 常設耐震重要重大事故防止設備^{*27}が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設^{*28}を除く。）

常設耐震重要重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）は、基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことが求められる（設置許可基準規則39条1項1号）。

イ 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）

常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）は、常設重大事故防止設備が代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラスに適用される地震力と同等なものに十分に耐えることができるものであることが求められる（設置許可基準規則39条1項2号、同規則の解釈同号部分）。

ウ 常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）

常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）は、基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであることが求められる（設置許可基準規則39条1項3号）。

エ 特定重大事故等対処施設

*27 重大事故防止設備のうち常設のものであって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するものをいう（設置許可基準規則38条1項1号）。

*28 重大事故等対処施設のうち、故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムにより炉心の著しい損傷が発生するおそれがある場合又は炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉格納容器の破損による工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を抑制するためのものをいう（設置許可基準規則2条2項12号）。

特定重大事故等対処施設は、設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のSクラスに適用される地震力と同等なものに十分に耐えることができ、かつ、基準地震動による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであることが求められる（設置許可基準規則39条1項4号、同規則の解釈同号部分）。

なお、基準地震動に対する耐震性については、多様性、すなわち設計基準における措置とは性質の異なる対策を講じること等により、基準地震動を一定程度超える地震動に対して頑健性を高めることが求められる（設置許可基準規則の解釈39条1項4号）。

これらに加え、重大事故等対処施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震（設置許可基準規則第4条第3項）の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことが求められる（設置許可基準規則39条2項）。

[目次に戻る](#)