

## 2. 東京電力㈱柏崎刈羽原子力発電所の概要と耐震設計の考え方

### 2. 1 発電所の概要・規模

柏崎刈羽原子力発電所は、新潟県柏崎市と刈羽郡刈羽村に跨る約 420 万 m<sup>2</sup> の敷地に立地する東京電力の原子力発電所である。1号機から7号機までの合計出力は 8,212,000 kW になり、世界最大の原子力発電所である。発電された電気は 50 万 V の送電線により群馬県の西群馬開閉所を経由し主に首都圏に送電されている。

	原子炉形式	運転開始	定格出力
1号機	沸騰水型軽水炉 (BWR)	1985年9月18日	110万kW
2号機	沸騰水型軽水炉 (BWR)	1990年9月28日	110万kW
3号機	沸騰水型軽水炉 (BWR)	1993年8月11日	110万kW
4号機	沸騰水型軽水炉 (BWR)	1994年8月11日	110万kW
5号機	沸騰水型軽水炉 (BWR)	1990年4月10日	110万kW
6号機	改良型沸騰水型軽水炉 (ABWR)	1996年11月7日	135.6万kW
7号機	改良型沸騰水型軽水炉 (ABWR)	1997年7月2日	135.6万kW



図-2.1.1 柏崎刈羽原子力発電所敷地配置図 (東京電力㈱提供)

1号機から5号機までは、沸騰水型原子炉(BWR; Boiling Water Reactor)であり、6,7号機は、運転性および経済性に改良を加えた改良型沸騰水型軽水炉 (ABWR: Advanced Boiling Water Reactor)である。

沸騰水型原子炉は、核分裂反応によって生じた熱エネルギーで軽水を沸騰させ、高温・高圧の蒸気として取り出す原子炉であり、発電炉として広く用いられている。原子炉から取り出された蒸気はタービン発電機を回し電力を発生する。発電に利用された蒸気は復水器で冷却され、再び原子炉への給水として再循環されるが、放射能を帯びている為タービン建屋はコンクリートで覆われている。

日本国内では東京電力、東北電力、中部電力、中国電力、北陸電力、日本原子力発電が採用している。

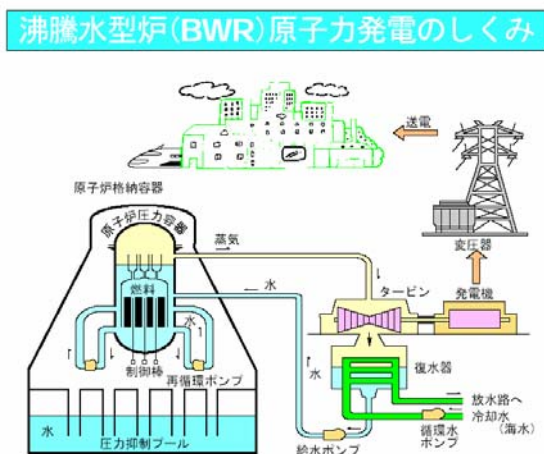


図-2.1.2 沸騰水型原子炉(BWR)の仕組み

出典: 沸騰水型炉(BWR)原子力発電の仕組み、「原子力・エネルギー」図面集、電気事業連合会 広報部

## 2. 2 発電所設備の配置状況

運転開始は1号機が1985年(柏崎市)で、2号機(柏崎市)、5号機(刈羽村)が1990年、3,4号機(柏崎市)が1993,1994年、6,7号機(刈羽村)が1996,1997年の順である。

岩盤支持性能については、ボーリング調査、試掘坑調査、各種物理・力学試験を踏まえた数値解析を実施し、通商産業省、科学技術庁の設置許可申請において、支持岩盤(西山層)の妥当性について確認されている。

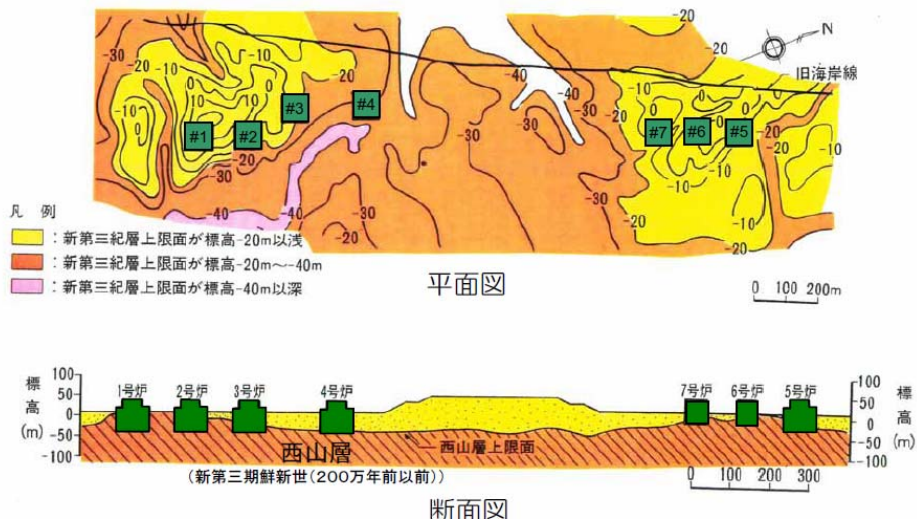


図-2.2.1 柏崎刈羽原子力発電所原子炉建屋の設置状況

各建物、構築物は、原子力発電所耐震設計技術指針に基づき耐震設計上の重要度分類がなされ、重要度分類に応じた設計荷重に対して十分な支持性能を有する地盤に設置されている。原子炉建屋、タービン建屋は岩盤支持（直接基礎）に、変圧器基礎は岩盤支持（杭基礎）が設定されている。

Aクラス	Bクラス/Cクラス	
岩盤支持 ・直接基礎	岩盤支持 ・直接基礎 ・杭基礎	岩盤支持 ・直接基礎 ・杭基礎 埋戻し土支持 ・直接基礎
原子炉建屋、タービン建屋など	変圧器基礎など	

図-2.2.2 耐震設計上の重要度分類に応じた建物・構築物の支持形式

出典： 柏崎刈羽原子力発電所における中越沖地震による地盤変動とそのメカニズムについて，平成 20 年 2 月 27 日，[http://www.jaif.or.jp/pdf/2008\\_11\\_Sakai\\_ja.pdf](http://www.jaif.or.jp/pdf/2008_11_Sakai_ja.pdf)

## 2. 3 原子力発電所の耐震設計の基本的な考え方

現在まで適用されていた「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（旧）」は昭和56年7月20日に原子力安全委員会によって決定されたものであり、これまでの原子力発電所はこの指針に基づき建設されていた。本指針は、耐震設計に関する安全審査を行なうに当たって、その設計方針の妥当性を評価するため、これまでの経験を踏まえ、地震学、地質学等の知見を工学的に判断して定めたものである。したがって、今後更に新たな知見と経験の蓄積によって、必要に応じて見直される必要があると述べられている。

その後、日本列島を襲った幾つかの大地震から得られた知見や地震学及び地震工学における新たな知見の蓄積並びに発電用軽水型原子炉施設の耐震設計技術の著しい改良及び進歩を反映し、旧指針を全面的に見直した「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（新）」が平成18年9月19日に原子力安全委員会で決定された。

これに基づき、電力事業者においては原子炉施設の耐震バックチェック（見直し）が行なわれており、中越沖地震は丁度この最中に発生した事象である。尚、当調査チームは、旧指針に基づいて柏崎刈羽原子力発電所の被害状況の調査を行なったものである。

### 2. 3. 1 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（旧）の概要

原子力発電所の安全確保は原子炉を「止める」、「冷やす」、放射能を「閉じ込める」の3つの機能が重要であり、その機能を果たす設備が地震の影響を受けることなく正常に機能することが要求される。また、建物・構築物は原則として剛構造にするとともに、重要な建物・構築物は岩盤に支持させねばならない。

原子力発電所の設備は、地震による機器損傷等による放射性物質の放出を防止する観点から設備の重要度（As、A、B、Cクラス）に応じて下記に示す耐震設計を実施している。

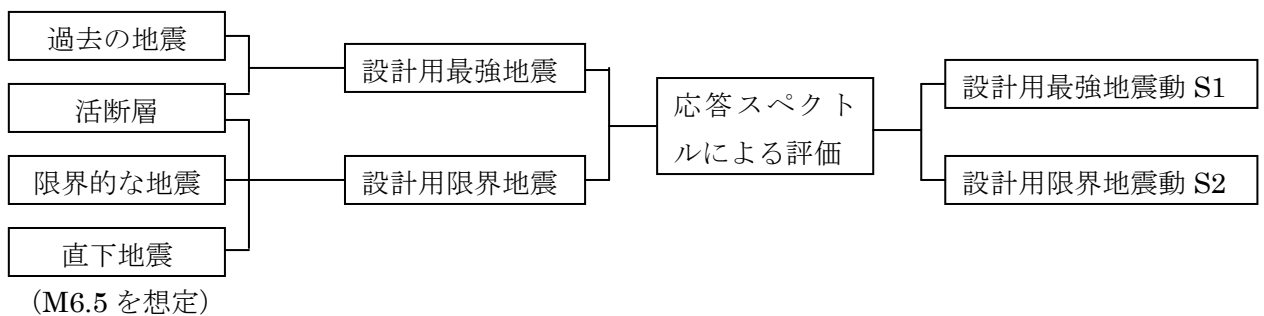
- A クラス：水平地震力は次の a 又は b のうち大きい値の地震力に耐えること
  - a 建築基準法に定める震度の3倍から定まる水平地震力
  - b 設計用最強地震力  $S_1$  による動的解析から定まる水平地震力  
鉛直地震力も考慮すること(例) 非常用炉心冷却系、炉内構築物、原子炉建屋、ホウ酸水注入系 等
- As クラス：Aクラスのうち特に重要なもの。上記 b は、設計用限界地震動  $S_2$  による動的解析から定まる水平地震力  
(例) 原子炉圧力容器、原子炉格納容器、制御棒、制御棒駆動機構 等
- B クラス：建築基準法に定める震度の1.5倍から定まる水平地震力  
(例) タービン設備、給復水系統、等
- C クラス：建築基準法に定める震度の1倍から定まる水平地震力  
(例) 変圧器、タービン補機冷却系、消火系設備、主排気ダクト 事務本館、飲料水タンク 等

### 2.3.2 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(新)の改定内容

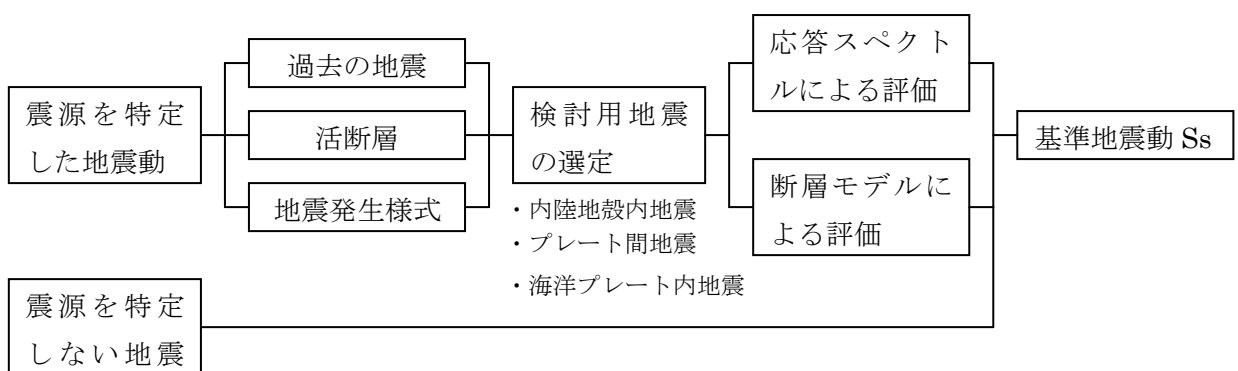
安全確保の基本的な方針は旧耐震指針と同じであるが、旧指針が「重要な建物・構造物は岩盤に支持させねばならない」とされていたが、新指針では「建物・構築物は十分な支持性能を持つ地盤に設置されなければならない」とされた。これは旧指針の重要な建物・構築物だけではなく、全ての建物・構築物に適用されることを意味し、また、免震構造の採用が可能となる。

耐震設計上の重要度分類については、旧指針の  $A_s$ 、A、B、C 4 分類から、安全上重要な  $A_s$ 、A を S クラスに一本化し、S、B、C の 3 分類で、それに応じた耐震設計を行なうことが求められている。また、これに使われる基準地震動については、旧指針では設計用最強地震力  $S_1$  と設計用限界地震動  $S_2$  が用いられたが、新指針では検討用地震の選定、地震動評価等の高度化を図るため基準地震動  $S_s$  に一本化された。

旧指針の基準地震動の考え方



新指針の基準地震動の考え方



施設の重要度分類の定義は下記の通りである。

S クラス：自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している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放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの、並びにこれらの事故発生の際に外

部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響の大きいもの

Bクラス：上記において、影響が比較的小さいもの

Cクラス：Sクラス、Bクラス以外であって、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよいもの

また、各重要度ごとの耐震設計基準は以下の通りである。

Sクラス：基準地震動  $S_s$  による地震力（水平+鉛直）に対してその安全機能が保持できること。また弾性設計用地震動  $S_d$ （基準地震動  $S_s$  に基づき、工学的判断により設定する。水平+鉛直）による地震力又は建築基準法に定める震度の3倍から定まる静的地震力（水平+鉛直）のいずれか大きい方の地震力に耐えること。

Bクラス：建築基準法に定める震度の1.5倍から定まる静的地震力に耐えること。また共振の影響を検討すること。

Cクラス：建築基準法に定める震度の1.0倍から定まる静的地震力に耐えること。

## 2. 4 柏崎刈羽原子力発電所の被害状況

### 2. 4. 1 地震発生時の運転状況

中越沖地震発生時は、柏崎刈羽原子力発電所 3 号、4 号、7 号が定格運転中、2 号が定検の終了に向けて起動中であった。いずれのプラントについても、地震加速度大によるスクラム信号で、すべての制御棒が自動的に全挿入され、原子炉停止に至った。1 号は定期検査中で全燃料が炉心から取り出され燃料プールに保管中であり、同じく定期検査中の 5 号、6 号では未臨界状態が維持されていた。

自動停止した 3 号、4 号、7 号、2 号は、それぞれ原子炉水温度を 100℃未満に冷やすところまでの原子炉の減圧、除熱等の運転操作が適切に行われた。また、定期検査中で炉心に燃料が入っていた 5 号、6 号については、除熱の系統が継続的に正常に動作し、1 号の使用済燃料プールの除熱も正常になされた。

「閉じこめる」という機能は、ヨウ素濃度の測定結果などから、燃料破損がないこと、また、主排気筒モニタ、モニタリングポスト、海水モニタの信号から環境への放射性物質の放出がないことが速やかに確認されていた。

このように、地震発生時に原子力発電所の安全を確保する上で最も重要な「止める」、「冷やす」、「閉じこめる」という 3 つの機能は確保された。

参考； 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会（第 25 回）議事録，平成 19 年 12 月 26 日 <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0002400/gijiroku25.html>

### 2・4・2 発電所の被害状況

地震発生直後の 10 時 15 分に運転員が 3 号機所内変圧器からの発煙を確認し、12 時 10 分に消防署により鎮火が確認されたが、この間黒煙をあげる映像が TV 生中継され、マスメディアに大々的に取り上げられた。この他にも、原子炉システムの安全性には直接係わらないものの、原子力発電所構内において、様々な被害が報告されている。

東京電力では、発電所における不適合管理状況を 6 グレード（As～対象外）に分類して定期的に公表しており、1 月末までの地震の影響による不適合事象は 3,300 件弱にのぼるが、そのほとんどが C グレード以下の軽微な事象となっている。

## ■不適合グレードの定義および地震による不適合件数

(平成19年7月26日現在)

区分	定 義	件数	備考
As	法令、安全協定に基づく報告事象 プラントの性能、安全性に重大な影響を与える事象など	10	事例1
A	品質保証の要求事項に対する重大な不適合事象 定期検査工程へ大きな影響を与える事象 など	33	事例2
B	国の検査等で指摘を受けた不適合事象 運転監視の強化が必要な事象 など	23*	事例3
C	品質保証の要求事項に対する軽微な不適合事象 など (管理区域内の漏えい、主要な箇所のはび、等) 通常のメンテナンス範囲内の事象 など	489*	事例4
D	(非管理区域内の漏えい(汚染なし)、蛍光灯や扉の破損 等)	706	事例5
対象外	消耗品の交換等の事象 など	2	—
—	小 計	1263	—

\*8月3日不適合管理委員会においてグレード変更した結果を反映



7

出典； 柏崎刈羽原子力発電所の地震後の状況等について（第13報）

— 原子炉開放・炉内点検の実績と状況 等について —、平成20年2月19日、日本原子力技術協会

[http://www.gengikyo.jp/Zentai/Jishin/info\\_13\\_080219.htm](http://www.gengikyo.jp/Zentai/Jishin/info_13_080219.htm)

主な被害事象としては、次のようなものがあげられている。

(1) ～放射性物質に係わる事象～

- 1～5号機 主排気筒に接続されているダクトのズレ
- 原子炉建屋オペレーティングフロアへの水のあふれ
- 1号機 屋外消火系配管から原子炉複合建屋への水の流入
- 6号機 非管理区域への微量の放射能を含んだ水の漏えいおよび海への放出
- 7号機 主排気筒からのヨウ素および粒子状放射性物質の検出

(2) ～放射性物質に係わらない事象～

- 3号機 所内変圧器の火災
- 固体廃棄物貯蔵庫内のドラム缶の転倒
- 6号機 原子炉建屋天井クレーンを駆動させる軸の継手の破損
- その他変圧器からの絶縁油の漏えいなど
- 1号機原子炉複合建屋地下5階への浸水
- 基礎の不等沈下による建屋の傾斜