



## 「もんじゅ」特集

# 「もんじゅ」の設計

## 1. 安全設計

高速増殖炉開発本部・原型炉建設部・原子炉課

資料番号：51-2

### 1. Safety Design

Reactor Section, Monju Construction Division,  
FBR Development Project

高速増殖炉原型炉「もんじゅ」の安全設計の方針について、適用すべき法令、指針を示すと共に、基本的考え方を述べる。  
更に、「もんじゅ」の安全設計において特に考慮された設計の方針等について、それぞれの考え方を述べる。

**Key Words:** LMFBR, Safety design, Inherent stability, Single failure, Structures, Systems and components important to safety, Design criteria, Engineered safety features, Independence, Redundancy, Reactor coolant boundary, Sodium.

### 1.1 安全設計の基本方針

「もんじゅ」発電所は以下の基本方針のもとに安全設計を行い、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(以下「原子炉等規制法」という)、「電気事業法」等の関係法令の要求を満足することはもとより、原子力安全委員会の「高速増殖炉の安全性の評価の考え方について」に従うと共に、次の指針に適合する構造とする。更に、発電用軽水炉を対象とした指針等についても参考にした設計としている。

「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」

「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針について」

「プルトニウムを燃料とする原子炉の立地評価上必要なプルトニウムに関するめやす線量について」

(1) 通常運転時、発電所周辺の一般公衆及び発電所従業員に対し、「原子炉等規制法」に定められている許容基準を超える放射線被曝を与えないようにする。

更に、国際放射線防護委員会の勧告の精神を尊重し、発電所から放出される放射性廃棄物による発電所周辺の一般公衆に対する被曝線量を、合理的に達成できる限り低くするとの考え方にに基づき、設計を行っている。

(2) 原子炉施設は、燃料内に発生する放射性物質が発電所周辺に放散されるのを防ぐための防壁を何重にも設け、万一事故が起こった場合にも発電所周辺の一般公衆の安全を確保する。

(3) 原子炉施設は、十分に信頼性の高い設計とする。また、たとえ運転員が誤った操作をしても、警報により運転員が措置しうるようにすると共に、もし運転員が警報に気がつかない場合でも、原子炉の固有の安全性並びに安全保護系の動作により、自動的に安全が確保できるように設計する。

(4) 原子炉施設が設置される場所の地震、気象、水理等の自然現象及び火災、爆発等の人為事象によって、原子炉施設の安全性が損なわれないように設計する。

(5) 原子炉の運転に際し、軽微な異常の発生を早期に検知し、軽微なうちに処置できるように設計する。

(6) 原子炉の運転に際し、機器の故障、誤操作等が生じてその影響で、燃料が壊れたり、重要な機械類が故障することがないように設計する。

(7) 事故等の発生を想定しても、事故の拡大を防止し、放射性物質の放出を抑制できるように設計する。

### 1.2 原子炉固有の安全性

プルトニウム・ウラン混合酸化物燃料を用いるナトリウム冷却の高速炉である「もんじゅ」発電所では、ナトリウム特有の高熱伝導度、圧力変動に対して安定な性質、单相流運転が通常期待できる特性及び燃料自身がドブドラ効果に基づく負の反応度係数及び燃料膨張に基づく負の反応度係数などの固有の安全性を持っている。これらの特性により、すべての運転範囲で、固有の負の反応度フィードバック特性を有する設計とする。

### 1.3 原子炉施設の設計、製作における安全上の考慮

原子炉の安全性並びに運転の信頼性を確保するために、設計においては適切な余裕が見込まれており、製作の過程においては材料が吟味され、極めて慎重な検査が行われると共に、設置時並びに運転開始後も主要機器については必要に応じて試験を行いその性能が立証できるようにする。

安全上重要な構築物、系統及び機器は、その果たすべき機能について安全上の重要度に応じて、以下の各設計方針を適切に考慮した設計とする。

- (1) 安全上重要な構築物、系統及び機器は、地震により機能の喪失や破損を起こした場合の安全上の影響を考慮して、重要度により耐震設計上の区分がなされると共に、発電所敷地及び周辺地域における過去の記録、現地調査等を参照して、最も適切と考えられる設計地震動に十分耐える設計とする。
- (2) 安全上重要な構築物、系統及び機器は、地震以外の自然現象に対して、寿命期間を通じてそれらの安全機能を失うことなく、自然現象の影響に耐えるように、発電所敷地及び周辺地域において過去の記録、現地調査等を参照して予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる自然力及びこれに事故荷重を適切に加えた力を考慮した設計とする。
- (3) 安全上重要な構築物、系統及び機器は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時において、それらの環境条件に適合できる設計とする。
- (4) 安全上重要な構築物、系統及び機器は、想定される飛来物、配管のむち打ち又は流出流体の影響等から生じるおそれのある動的影響、熱的影響又は溢流によって原子炉の安全性を損なうことのない設計とする。
- (5) 安全上重要な系統は、非常用所内電源系のみ

運転下又は外部電源系のみで、単一故障を仮定しても、その系統の安全機能を失うことのない設計とする。

- (6) 安全上重要な構築物、系統及び機器は、それらの健全性及び機能を確認するために、その重要度に応じ、原子炉の運転中に試験及び検査ができるか又は原子炉の定期点検停止若しくは燃料取替停止中に適切な方法により試験及び検査ができる設計とする。
- (7) 原子炉保護上必要な計装、原子炉保護設備は多重性、独立性を持たせた構成とし、且つ、フェイルセーフ特性を持たせる。このようにして原子炉寿命期間中のいかなる事態においても、原子炉の安全性が損なわれないようにする。
- (8) 原子炉の炉心及びそれに関連する原子炉冷却系及び中間冷却系、計測制御系並びに原子炉保護設備は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、燃料の許容設計限界を越えることなく、それぞれの機能を果たし得る設計とする。

### 1.4 核設計及び熱流体力設計の基本方針

#### (1) 核設計の基本方針

- (i) 炉心は、高さ対等価直径比が約0.52の六角柱形状で、198体の断面が六角形の燃料集合体で構成する。炉心の上下及び半径方向にブランケット燃料領域を設ける。

炉心は、ほぼ等体積の内側炉心と外側炉心の2つの領域に分割し、外側炉心燃料の富化度を高くして出力分布の平坦化を図る。

- (ii) 燃料交換方法は、炉心燃料集合体及びブランケット燃料集合体とも分散方式を採用し、約半年ごとに燃料交換を行う。
- (iii) 炉心の反応度制御は制御棒で行う。原子炉停止系は反応度調整機能と緊急炉停止機能を兼ね備える主炉停止系と、緊急炉停止機能のみ備える後備炉停止系の2系統で構成する。

2つの原子炉停止系のうち、1系統が動作しない場合でも他の系統で高温出力状態から低温の炉停止状態まで緊急炉停止し、臨界未満状態に維持するのに十分な反応度停止余裕が得られるように設計する。

- (iv) 炉心の出力分布に関連して、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において燃料最高温度が混合酸化物ペレットの融点に達しないようにするため、定格出力時の最高線出力密度が、

360 W/cm以下となるように設計する。

- (v) 炉心が負の反応度フィードバック特性を持つよう出力係数が負となるよう設計する。

## (2) 熱流体力設計の基本方針

燃料破損を生じることなく所定の原子炉熱出力を達成し、また、ナトリウムの沸騰による過大な反応度の添加を防止するため、以下の方針に従って熱流体力設計を行う。

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、

- (i) ナトリウムの沸騰が生じないようにする、  
 (ii) 燃料の許容設計限界に達しないようにする。  
 原子炉で発生した熱を効率良く除去するための炉心内の出力分布に従って流量領域区分を設ける。

## 1.5 放射性物質放散の防止対策

### (1) 放散防止の多重防護

プルトニウム及び燃料内で生成した核分裂生成物の発電所周辺への放散は、次の多重防護によって防止する。

- (i) プルトニウム・ウラン混合酸化物ペレットは、それ自体核分裂生成物を保持する能力を有している。  
 (ii) プルトニウム・ウラン混合酸化物ペレットから放出された核分裂生成物は、燃料被覆管により密封する。  
 (iii) 燃料被覆管が損傷しても、漏えいした放射性物質は、原子炉冷却材バウンダリ内及び原子炉カバーガス等のバウンダリ内に保持する。  
 (iv) 原子炉冷却材バウンダリ等の破損により放射性物質が放散される場合に備えて、原子炉格納施設を設ける。原子炉格納容器と外部しゃへい建物の間にはアニュラス部を設け、二重格納施設を形成する。

### (2) 放射性物質放出の低減

1次冷却材及びそのカバーガス中の放射性物質濃度を抑え、また、発電所周辺への放射性物質の放出を合理的に達成できる限り低減するため、次の対策を行う。

- (i) 1次ナトリウム純化系及び常温活性炭吸着塔、減衰タンク等を設け、1次冷却材及びそのカバーガスの純度を高く保ち、放射性物質の濃度を低減する。  
 (ii) 原子炉施設の運転に伴い発生する放射性廃棄

物は、廃棄物処理設備を設け、適切な処理及び管理を行うことにより、周辺環境に対する放出放射性物質の濃度及び量を低減する。

## 1.6 ナトリウムに対する設計上の考慮

- (1) ナトリウムを内包し、内部に液面を有する機器は、その液面上を不活性ガス雰囲気とすると共にナトリウムが空気と接触しない構造とする。  
 (2) ナトリウムを循環する安全上重要な系統及び機器は、ナトリウムの凍結により安全機能を失うことがないように考慮された設計とする。  
 (3) 蒸気発生器伝熱管からの水漏えいに伴うナトリウム-水反応が発生した場合においても、原子炉の冷却が安全に行えるように、ナトリウム-水反応の影響を抑制できる設計とすると共に、崩壊熱等の除去に必要な設備は系統分離を行う。  
 (4) 安全上重要な構築物、系統及び機器は、ナトリウムの漏えい時においても、ナトリウムの化学反応の影響により安全機能を失うことがないように考慮された設計とする。

機器で安全上重要なものについては、系統分離を行ってナトリウム漏えいの影響を抑制する。ナトリウムを保有する系統、機器を収納する部屋には必要に応じて、ナトリウムとコンクリートが直接接触することを防止するため、鋼製のライナ等を設置すると共に、水などナトリウムと反応しやすい物質を可能な限り隔離するよう設計する。

- (5) 事故時に一般公衆及び従事者が放射線被曝を受けるおそれのある1次冷却材の漏えいに対しては、その化学反応又は反応生成物による過度の影響を緩和するよう適切な手段を備える。

このため放射性のナトリウムを保有する系統、機器を収納する部屋には適切な場所にナトリウム漏えい検出設備を設け、1次冷却材漏えい事故に対処できるようにする。

更に、運転時の雰囲気を下酸素濃度窒素雰囲気とするよう設計上考慮する。

原子炉容器及び1次主冷却系の配管、機器は原子炉格納容器の内部に設置すると共にアニュラス循環排気装置を設置することにより1次冷却材漏えい事故に対しても一般公衆の放射線災害を防止できるようにする。

## 1.7 計測制御系統施設設計の基本方針

- (1) 計測制御系は、通常運転時及び運転時の異常な

過渡変化時において、次の事項を十分考慮した設計とする。

- (i) 原子炉の炉心、原子炉冷却材バウンダリ及び格納容器バウンダリ並びにそれらに関連する系統の健全性を確保するために必要なパラメータは、適切な予想範囲に維持制御されること。
  - (ii) 上記のパラメータについては、予想変動範囲内での監視が可能であること。
- (2) 計測制御系は、事故時において、事故の状態を知り対策を講じるのに必要なパラメータを監視できる設計とする。
  - (3) 運転時の異常な過渡変化時にその異常を検知し、原子炉停止系を含む適切な系の作動を自動的に開始させるための原子炉保護設備を設ける。  
また、事故時に大量の放射性物質の放出を防止若しくは抑制して、発電所周辺の一般公衆の安全を確保するため、工学的安全施設を作動させる工学的安全施設作動設備を設ける。
  - (4) 安全保護系は、必要な場合に確実に作動するように多重性及び独立性を備え、単一故障によってその機能を喪失しない設計とすると共に、駆動源が喪失した場合には安全側に動作するなどのフェイルセーフ設計とする。また、その機能が喪失していないことを運転中に確認できるような設計とする。

#### 1.8 工学的安全施設設計の基本方針

原子炉施設の事故時に大量の放射性物質の放出を防止若しくは抑制して、発電所周辺の一般公衆の安全を確保するため、原子炉格納施設、補助冷却設備等の工学的安全施設を設ける。これらの施設は次の方針に基づき設計する。

- (1) 工学的安全施設の作動が必要となったときに、設計どおりの機能を発揮できるよう信頼性の高い設計とし、想定される単一故障に対しても対処できるような十分な多重性を備える。
- (2) 工学的安全施設は原子炉施設の寿命を通じ、必要ときにその機能を発揮できることを確認するため、施設の設置時及び運転開始後も、原子炉運転中あるいは停止時に、その機能確認の試験、検査が行えるようにする。
- (3) 工学的安全施設には、必要ときに機能が発揮できるように、電源やその他の駆動源を常に確保できるようにする。

#### 1.9 崩壊熱及び他の残留熱の除去に対する設計上の考慮

崩壊熱及び他の残留熱の除去に係る系統は、1次主冷却系及び2次主冷却系の一部並びに補助冷却設備よりなる相互に独立な3系統で構成し、下記の方針を満足するように設計する。

- (1) 崩壊熱及び他の残留熱の除去に係る系統は、原子炉の停止時に燃料の許容設計限界を超えないように、また、原子炉冷却材バウンダリの設計のための条件を超えないように、原子炉の炉心からの核分裂生成物の崩壊熱及び他の残留熱を除去できる設計とする。
- (2) 崩壊熱及び他の残留熱の除去に係る系統は、1次冷却材漏えい事故を含む想定される事故に対して、燃料の重大な損傷を防止できる設計とする。
- (3) 1次及び2次主冷却系は、それぞれ非常用母線に接続されたポンプモータにより駆動される循環ポンプにより、冷却材を循環できる設計とする。  
また、1次冷却材漏えい事故時においても、炉心冷却を行うのに必要な原子炉容器内最低液位を確保するため、1次主冷却系機器設備は所定の基準高さ以上に配置するものとし、やむを得ず低所に配置する機器設備については必要に応じてガードベッセルを設置する設計とする。

#### 1.10 火災に対する設計上の考慮

火災により原子炉施設の安全性が損なわれることを防止するため、火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の3方策を適切に組合せて設計する。

このため、「発電用軽水型原子炉施設の火災防護に関する審査指針について」を参考として設計すると共に原則として「消防法」、「建築基準法」等の国内法に基づく設備とする。

- (1) 火災の発生を防止するため、原子炉施設を構成する系統及び機器は実用上可能な限り不燃性、難燃性材料を用いる設計とする。また、落雷を防護した設計とする。
- (2) 早期に火災を検知して早期消火を行うため、適切な火災感知器、消火設備、消火器具を設置する。また、消火設備は、破損、誤動作等により安全上重要な系統及び機器の安全機能を失わないよう設計する。
- (3) 安全上重要な系統及び機器を設置する区域は、隣接区域の火災による影響を軽減する対策を講じ

る設計とする。

なお、ナトリウム火災の防止のため「1.6 ナトリウムに対する設計上の考慮」に述べる対策をとった設計を行う。

また、ナトリウムの燃焼を停止し、熱的影響の拡大波及を防止するため、ナトリウム用消火設備を設ける。

#### 1.11 電源喪失に対する設計上の考慮

電源設備は高度の信頼性を有するものを複数設け、それらが同時に機能を失うことのない設計とする。

このため、下記の設備対策を行う。

- (1) 発電所の所内動力用電源としては、電力系統に強固に連けいされた外部電源系と非常用所内電源系を設ける。

外部電源系は特別高圧送電線2回線を設けると共に、更に非常用所内電源系として、ディーゼル発電設備3系統を設け、定期的なディーゼル発電機の起動試験を行って、その信頼性を確認する。

以上のようにすることにより、短時間といえども全動力電源が喪失することがないように設計する。

- (2) 安全保護系は蓄電池3組を電源とすると共に、原子炉停止系の制御棒は電源喪失に対してフェイルセーフとすることにより、外部電源喪失時にも確実に原子炉を停止できるようにする。

また、原子炉施設は短時間(30分程度)の全動力電源喪失に対して、原子炉を安全に停止し、且つ、停止後の冷却を確保できる設計とする。

すなわち、万一、全動力電源が喪失しても1次主冷却系、2次主冷却系及び補助冷却設備の自然循環

除熱能力により、炉心の崩壊熱及び他の残留熱を除去できるように設計する。

#### 1.12 物理的分離

工学的安全施設、安全保護系等の安全上重要な系統で、多重性、独立性のある系統は、必要に応じて各系統それぞれ互いに機器、配管、ケーブル等を十分な距離をとって分離配置するか又は障壁を設ける等によって万一、一方の系統が火災や機器、配管等の破損等により運転不能になっても他の系統にその影響が波及して、その安全機能が喪失しないように設計する。

#### 1.13 強度設計の基本方針

安全上重要な構築物、系統及び機器の設計、材料の選定、製作及び検査については、安全上適切と認められる規格及び基準によると共に、自重・内圧・外圧・熱荷重・地震荷重等の条件に対し、十分な強度を有し、且つその機能を維持できるように設計する。

また、荷重の組合せと許容応力については、「建築基準法」、「日本建築学会各種構造設計及び計算規準」、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」等に従うものとする。

ただし、国の定める技術基準の適用範囲を超える設計の部分については、研究開発の結果から導かれた知見等に基づき、国外の規格、基準を十分参照して「構造設計方針」を定め、これにより設計を行う。なお、国内法令、規格、基準に規定されないものについては、必要に応じて十分使用実績があり、信頼性の高い国外の規格、基準に準拠する。