

女川原子力発電所保安規定審査資料	
資料番号	TS-81
提出年月日	2022年11月2日

女川原子力発電所2号炉

保安規定第48条（格納容器内の酸素濃度） の変更について

2022年11月

東北電力株式会社

目 次

1. はじめに
2. 原子炉格納容器内の窒素置換による火災防護対策について
3. 有効性評価（水素燃焼）における初期条件について

添付資料－ 1（設置変更許可申請書 補足説明資料）

女川原子力発電所 2 号炉における原子炉格納容器内の火災防護について

添付資料－ 2（設置変更許可申請書 添付書類十）

7. 重大事故に至るおそれがある事故及び重大事故に対する対策の有効性評価
7. 2. 4 水素燃焼

1. はじめに

保安規定第 48 条（格納容器の酸素濃度）は，原子炉冷却材喪失時の原子炉格納容器の健全性を確保するため，原子炉格納容器内の酸素濃度を可燃性ガス濃度に関する解析条件以下に維持し，維持基準を満たすことができない場合に適切な措置を講じることを目的としている。

【運転上の制限の考え方（従来）】

原子炉の状態が運転において，原子炉冷却材喪失事故が発生し可燃性ガスが発生しても，第 47 条（可燃性ガス濃度制御系（2 系列が動作可能であること））と相まって，原子炉格納容器内の酸素または水素の濃度のいずれかが，それぞれ 5%または 4%以下であることを維持するため，原子炉格納容器内の酸素濃度が解析条件の 4%以下であること

を運転上の制限としている。

女川原子力発電所 2 号炉について新規制基準により，有効性評価（水素燃焼）における解析条件及び原子炉格納容器内の窒素置換による火災防護対策を踏まえ，保安規定を変更する。

2. 原子炉格納容器内の窒素置換による火災防護対策について

女川原子力発電所2号炉の原子炉格納容器内は、プラント運転中については、窒素が封入され雰囲気の不活性化されていることから、火災の発生は想定されない。

一方で、窒素ガスが封入されていない期間のほとんどは原子炉が冷温停止に到達している期間であるが、わずかではあるものの原子炉が冷温停止に到達していない期間もあることを踏まえ、火災防護対策を実施する。

原子炉格納容器内の窒素置換（窒素封入・排出）は、プラント起動時及びプラント停止時において以下のとおり実施される。

【プラント起動時】

- ・ 制御棒引き抜き（原子炉の高温・冷温停止状態の外へ移行）
- ・ 出力上昇・起動試験・出力低下・制御棒挿入（未臨界状態へ移行）
- ・ 原子炉格納容器内点検
- ・ 制御棒引き抜き・出力再上昇
- ・ 窒素封入

【プラント停止時】

- ・ 制御棒挿入・出力低下
- ・ 高温停止状態へ移行
- ・ 制御棒全挿入後、窒素排出開始
- ・ 原子炉格納容器内点検
- ・ 冷温停止状態へ移行

なお、起動時のプラント状態について火災防護の観点から以下のように分類する。（図1）

- | | |
|----------------------|--------------------|
| ①原子炉の低温停止 | （制御棒引き抜きまで） |
| ②起動中 | （制御棒引き抜き～窒素封入完了まで） |
| ③起動、運転及び停止過程（窒素封入期間） | （窒素封入完了～制御棒全挿入まで） |
| ④停止過程（窒素排出期間） | （制御棒全挿入～冷温停止まで） |

火災の発生リスクを低減するためには、原子炉の起動時において窒素置換されない期間をできるだけ少なくすることが有効である。

このため、従来は原子炉の状態が「運転」（原子炉起動時の「運転」になってからの24時間及び原子炉停止時の「起動」になる前の24時間を除く）において運転上の制限を適用していたが、原子炉の状態が「運転」、「起動」及び「高温停止」において運転上の制限を適用することに変更する。

なお、原子炉起動時にドライウェル点検を実施する場合は、窒素ガス封入作業を考慮し、ドライウェル点検後の原子炉の状態が「起動」以降、「運転」になってからの24

時間後までの期間は運転上の制限を適用しないこととする。

原子炉の停止時にドライウェル点検する場合は、原子炉が高温停止の状態において、ドライウェル点検を実施する必要^{*}があることから、制御棒全挿入後の「高温停止」は運転上の制限を適用しないこととし、窒素排出操作を実施する。

※ 原子炉が高温停止状態において、原子炉格納容器内の機器及び弁は、系統が高温状態であることから、金属製である配管や弁の伸びなどの温度影響から、配管と機器の接続部や弁グランド部等からの漏えいの有無を早期に発見することが可能。万一、漏えいが発生していた場合には放射性物質の流出を早期に停止させることが可能。

また、女川2号炉では原子炉格納容器内配管の耐震性向上のため、配管サポート（メカニカルスナッパ）を複数増設しており、高温状態でのサポート伸び率が設計範囲内であること、及び設備干渉の有無を点検し、異常がないことを確認することが可能。

以上より、冷温停止中（定期検査中）における格納容器内とは温度環境が異なる状態で、異常を早期に発見・補修することにより、プラントの安全運転に万全を期すため、原子炉が高温停止状態において原子炉格納容器内点検を実施する。

【保安規定記載事項】

原子炉の状態が運転，起動および高温停止において，格納容器内の酸素濃度は，表48-1で定める事項を運転上の制限とする。ただし，次の（1）または（2）の期間は除く。

- （1）原子炉を起動する時にドライウエル点検を実施する場合であって，原子炉の状態が起動以降，運転になってからの24時間後までの期間
- （2）原子炉の停止する時にドライウエル点検を実施する場合であって，制御棒全挿入後の原子炉の状態が高温停止の期間

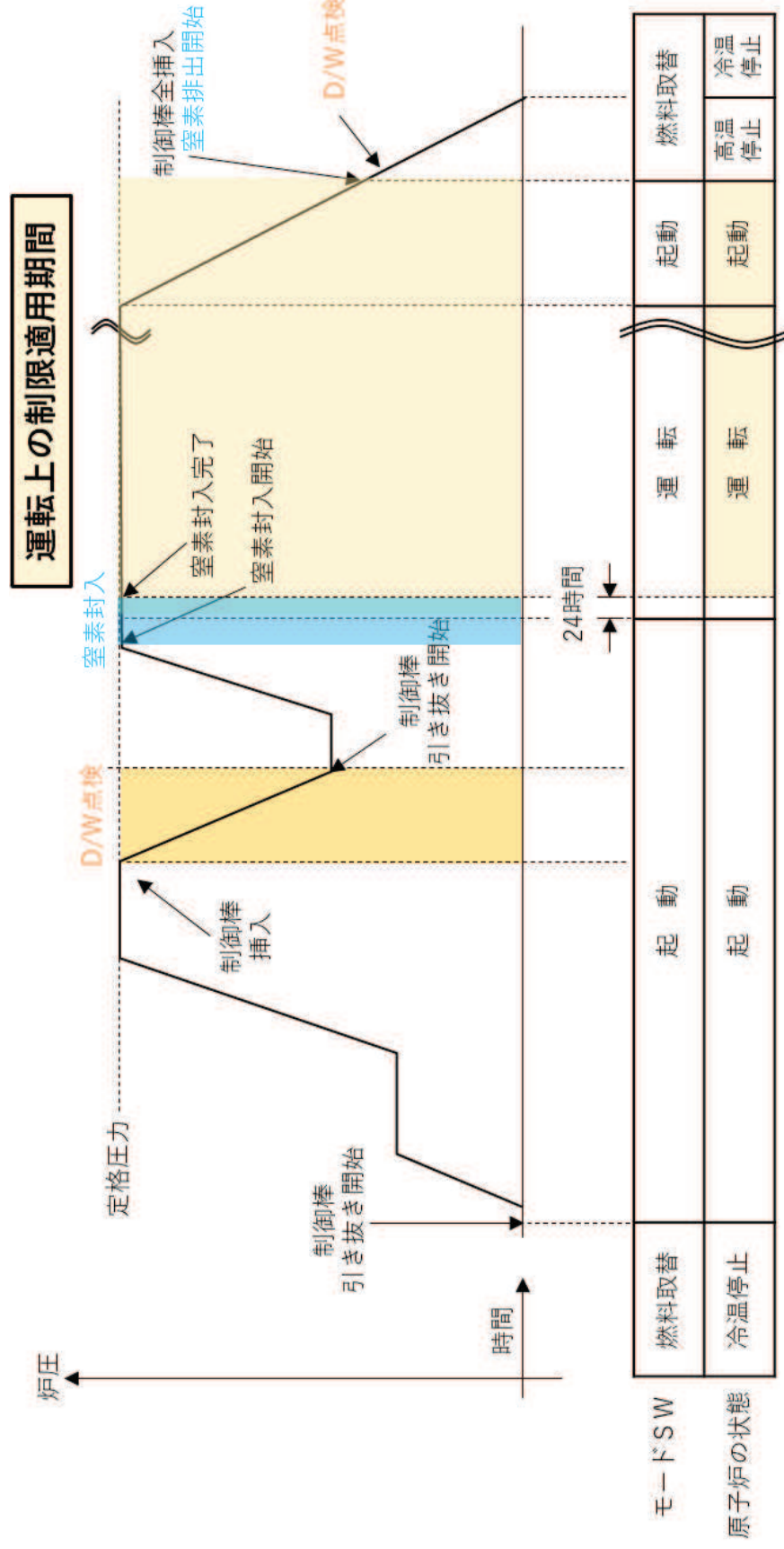


図1 火災発生リスクの低減を考慮した原子炉の運転サイクル

3. 有効性評価（水素燃焼）における初期条件について

「1. はじめに」に記載のとおり，原子炉格納容器内酸素濃度については，保安規定第 48 条において，解析条件の初期酸素濃度である 4.0%を運転上の制限として定めている。

一方，表 1 に示すとおり，新規制基準適合性審査における原子炉格納容器破損防止（水素燃焼）の有効性評価において，初期酸素濃度を 2.5%としていることから，保安規定第 48 条に定める原子炉格納容器内酸素濃度の運転上の制限を 2.5%に変更する。具体的には，次頁【保安規定記載事項】のとおり。

表 1 主要解析条件（水素燃焼）

項目		主要解析条件	条件設定の考え方
初期条件	酸素濃度	2.5vol%	酸素濃度4.3vol%（ドライ条件）到達を防止可能な初期酸素濃度として設定（運転上許容される値の上限）
事故条件	炉心内のジルコニウム－水反応による水素発生量	全炉心のジルコニウム量の約 13%が水と反応して発生する水素量	解析コードMAAPによる評価結果
	金属腐食等による水素発生量	考慮しない	酸素濃度を厳しく評価するものとして設定
	水の放射線分解による水素及び酸素の発生割合	水素：0.06 分子/100eV 酸素：0.03 分子/100eV	重大事故時における格納容器内の条件を考慮して設定

【保安規定記載事項】

表 4 8 - 1

1. 2号炉

項 目	運転上の制限
格納容器の酸素濃度	2. 5%以下

表 4 8 - 2

1. 2号炉

条 件	要求される措置	完了時間
A. 格納容器の酸素濃度が制限値を満足していないと判断した場合	A1. 酸素濃度を制限値以内に復旧する。	2 4 時間
B. 条件 A で要求される措置を完了時間内に達成できない場合	B1. 高温停止にする。 および B2. 冷温停止にする。	2 4 時間 3 6 時間

女川原子力発電所 2号炉における
原子炉格納容器内の火災防護について

1. はじめに

女川原子力発電所2号炉の原子炉格納容器内は、プラント運転中については、窒素が封入され雰囲気の不活性化されていることから、火災の発生は想定されない。

一方で、窒素が封入されていない期間のほとんどは原子炉が低温停止に到達している期間であるが、わずかではあるものの原子炉が低温停止に到達していない期間もあることを踏まえ、以下のとおり火災防護対策を講じる。

2. 原子炉格納容器内の状態について

原子炉格納容器内の窒素置換（窒素封入・排出）は、プラント起動時及びプラント停止時において以下のとおり実施される。

【プラント起動時】

- ・制御棒引き抜き（原子炉の高温・低温停止状態の外へ移行）
- ・出力上昇・起動試験・出力低下・制御棒全挿入（原子炉の高温停止状態へ移行）
- ・原子炉格納容器内点検
- ・窒素封入
- ・制御棒引き抜き・出力再上昇（原子炉の高温・低温停止状態の外へ移行）

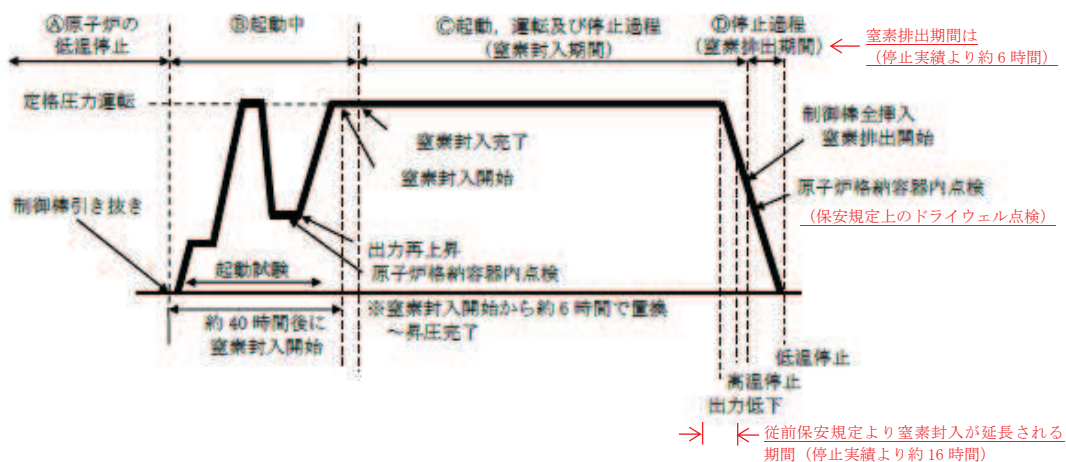
【プラント停止時】

- ・制御棒挿入・出力低下
- ・高温停止状態へ移行
- ・制御棒全挿入後、窒素排出開始
- ・原子炉格納容器内点検
- ・低温停止状態へ移行

まとめ資料からの追記箇所を赤字にて示す

なお、起動時のプラント状態について、火災防護の観点から以下のように分類する。(第8-1図)

- ④原子炉の低温停止 (制御棒引き抜きまで)
- ⑤起動中 (制御棒引き抜き～窒素封入完了まで)
- ⑥起動、運転及び停止過程(窒素封入期間) (窒素封入完了～制御棒全挿入まで)
- ⑦停止過程 (窒素排出期間) (制御棒全挿入後～低温停止まで)



第 8-1 図：火災発生リスクの低減を考慮した原子炉の運転サイクル

火災の発生リスクを低減するためには、原子炉の起動時において窒素置換されない期間をできるだけ少なくすることが有効である。よって、原子炉の停止過程においては、原子炉が高温停止の状態において、原子炉格納容器内点検を実施する必要[※]があることから、制御棒全挿入後の高温停止状態にて窒素排出操作を実施する。

※ 原子炉が高温停止状態において、原子炉格納容器内の機器及び弁は、系統が高温状態であることから、金属製である配管や弁の伸びなどの温度影響から、配管と機器の接続部や弁グランド部等からの漏えいの有無を早期に発見することが可能。万一、漏えいが発生していた場合には放射性物質の流出を早期に停止させることが可能。

また、女川2号機では原子炉格納容器内配管の耐震性向上のため、配管サポート(メカニカルスナッパ)を複数増設しており、高温状態でのサポート伸び率が設計範囲内であること、及び設備干渉の有無を点検し、異常がないことを確認することが可能。

以上より、低温停止中（定期検査中）における格納容器内とは温度環境が異なる状態で、異常を早期に発見・補修することにより、プラントの安全運転に万全を期すため、原子炉が高温停止状態において原子炉格納容器内点検を実施する。

7.2.4 水素燃焼

7.2.4.1 格納容器破損モードの特徴、格納容器破損防止対策

(1) 格納容器破損モード内のプラント損傷状態

格納容器破損モード「水素燃焼」に至る可能性のあるプラント損傷状態は、確率論的リスク評価の結果からは抽出されない。このため、「6.2 評価対象の整理及び評価項目の設定」に示すとおり、「水素燃焼」の観点で評価することが適切と考えられる評価事故シーケンスを選定する。

(2) 格納容器破損モードの特徴及び格納容器破損防止対策の基本的考え方

格納容器破損モード「水素燃焼」では、ジルコニウム-水反応、水の放射線分解、金属腐食、溶融炉心・コンクリート相互作用等によって発生する水素によって格納容器内の水素濃度が上昇し、水の放射線分解によって発生する酸素によって格納容器内の酸素濃度が上昇する。このため、緩和措置がとられない場合には、ジルコニウム-水反応等によって発生する水素と格納容器内の酸素が反応することによって激しい燃焼が生じ、格納容器の破損に至る。

したがって、本格納容器破損モードは、窒素置換による格納容器内雰囲気の不活性化によって、格納容器内の水素濃度及び酸素濃度が可燃領域に至ることを防止することにより、格納容器の破損を防止する。また、溶融炉心・コンクリート相互作用による水素発生に対しては「7.2.5 溶融炉心・コンクリート相互作用」のとおり、格納容器下部注水によって水素発生を抑制する。

なお、2号炉において重大事故が発生した場合、ジルコニウム-水反応によって水素濃度は13vol%^{*1}（ドライ条件）を大きく上回る。このため、本格納容器破損モードによる格納容器の破損を防止する上では、

第 7.2.4-1 表 主要解析条件（水素燃焼）

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
初期条件	酸素濃度 2.5vol%	酸素濃度 4.3vol%（ドライ条件） 到達を防止可能な初期酸素濃度として設定（運転上許容される値の上限）	
事故条件	炉心内のジルコニウム-水反応による水素発生量	全炉心のジルコニウム量の約 13%が水と反応して発生する水素量	解析コードMAAAPによる評価結果
	金属腐食等による水素発生量	考慮しない	酸素濃度を厳しく評価するものとして設定
	水の放射線分解による水素及び酸素の発生割合	水素：0.06 分子/100eV 酸素：0.03 分子/100eV	重大事故時における格納容器内の条件を考慮して設定

第 7.2.4-2 表 事象発生から 7 日後（168 時間後）の酸素濃度*

	ウェット条件(vol%)	ドライ条件(vol%)
ドライウエル	約 2.4	約 2.8
サプレッションチェンバ	約 2.1	約 3.4

※ 全炉心のジルコニウム量の約 13%が反応した場合