

BWR／PWR水化学管理指針の概要

日本原子力学会水化学部会
第16回定例研究会

平成24年6月1日
中国電力株式会社



BWR／PWR水化学管理指針

策定の目的

水化学が果たすべき役割・使命

- ・ 構造材料の腐食損傷抑制
- ・ 燃料健全性の監視
- ・ 被ばく線源の低減・放射性廃棄物の低減
- ・ 事故の影響の最小化
- ・ 安全注入系のほう酸水濃度の管理
- ・ 格納容器スプレー系のアルカリ濃度の管理 (PWR)
- ・ 冷却材などに含まれる水素濃度の管理
- ・ 付着物の蓄積を防止する。
- ・ 自然環境に有害な薬品の使用および放出の抑制

水化学管理に係わる法令や技術基準

法令，国の技術基準は具体的な管理項目，管理頻度等の規定はなく，事業者が定める技術基準，運用基準については事業者毎に材料腐食に係わる代表的な管理項目や管理頻度等について設定している。



構造材料の腐食損傷抑制，燃料健全性の監視，被ばく線源の低減等の水化学が役割・使命を果たすための管理項目や管理値が法令や技術基準に規定されていないことからBWR／PWR水化学管理指針を策定する。

BWR水化学管理指針

構成

BWR水化学管理指針の作成方針

【系統設計の遵守】

設備・機器・燃料使用時における水質条件の遵守

+

【品質向上のための管理】

設備・機器・燃料腐食抑制、被ばく低減、廃棄物発生抑制面からの「より良い水化学管理」

指針への展開

・保安、経済性、透明性、社会性を総合的に評価し、
調和のとれた合理的な水化学管理指針の策定

透明性のある議論による共有化・標準化

他部門との連携

設計思想の共有化(解説)

新知見・技術の反映

軽水炉発電所を取り巻く状況の反映(高経年化、燃料高度化、出力向上等)

長年の運転経験、研究成果の適用

透明性のある議論による共有化・標準化

他部門との連携

BWR水化学管理指針

BWR水化学管理指針の構成

BWR水化学管理指針は「本文」、「付属書」、「解説」で構成する。

本文:管理対象, 管理項目, 管理値等を記載する。

付属書:水化学管理指針の目的である原子炉構造材の健全性確保, 燃料健全性確保, 被ばく線源低減の技術根拠を記載する。

解説:「本文」および「付属書」に関する技術的知見を解説する。

BWR水化学管理指針の構成 本文

序文

1. 適用範囲

2. 用語の定義

3. 水化学管理値

3.1 管理値の設定区分

管理値に区分を設け、管理値を逸脱あるいは逸脱の可能性がある場合の措置を定義

3.2 冷却材水化学管理

管理値を設定する運転状態および系統を定義

3.3 管理値および測定頻度の設定

運転状態および系統ごとに、管理項目、設定区分、管理値、測定頻度を定める。

4. 監視方法

4.1 サンプルング

4.2 分析

4.3 記録

BWR水化学管理指針の構成 附属書

1. 通常運転時

- 1.1 原子炉構造材の健全性確保
- 1.2 燃料被覆管の健全性確保
- 1.3 線源低減

2. 起動・停止時

- 2.1 原子炉構造材の健全性確保
- 2.2 燃料被覆管の健全性確保
- 2.3 線源低減

3. 改良水化学技術適用時（*）

- 3.1 原子炉構造材の健全性確保
- 3.2 燃料被覆管の健全性確保
- 3.3 線源低減

（*：「改良水化学技術」：国内適用実績のある水素注入，貴金属注入，亜鉛注入である。）

BWR水化学管理指針の構成 解説

1. 原子炉等構造材の健全確保
 - 1.1 BWRにおけるSCC歴史
 - 1.2 通常運転時のSCC対策
 - 1.3 起動停止時のSCC対策
 - 1.4 改良水化学技術適用によるSCC対策
2. 燃料被覆管の健全性確保
 - 2.1 通常運転時の水質
 - 2.2 起動停止時の水質
 - 2.3 水素注入
 - 2.4 貴金属注入
 - 2.5 亜鉛注入
3. プラント線源強度低減
 - 3.1 放射線量の状況
 - 3.2 通常運転時の水質
 - 3.3 起動停止時の水質
 - 3.4 水素注入
 - 3.5 貴金属注入
 - 3.6 亜鉛注入

BWR水化学管理指針

管理对象，管理目的，考え方

管理対象と考え方

- ・管理対象とする系統は、プラント構造材の健全性、燃料被覆管の健全性および被ばく低減の観点から最重要となる**一次系である原子炉、復水系および給水系を対象とする**。なお、将来的には一次系以外も対象に含める。
- ・管理対象とする**運転状態は、運転時、起動・停止時、冷温停止時とする**。
- ・運転時、起動・停止時は国内適用実績がある水素注入、貴金属注入、亜鉛注入の改良水化学技術適用時も含めることとする。
- ・**プラント構造材の健全性や燃料被覆管の健全性に影響を与える項目を対象とする**。
- ・放射性腐食生成物の発生源抑制や配管への放射性物質の付着抑制など、**被ばく低減の観点から管理することが望ましい項目を対象とする**。

管理項目（例）

1. 運転状態：通常運転時，改良水化学技術適用時

- ・原子炉水の管理項目は，電気伝導率，pH，塩素イオン，硫酸イオン，金属不純物とする。
- ・復水脱塩塔出口水の管理項目は，電気伝導率，溶存酸素，金属不純物とする。
- ・給水の管理項目は，電気伝導率，溶存酸素，銅，金属不純物とする。

2. 運転状態：起動・停止時および冷温停止時，改良水化学技術適用時

- ・原子炉水の管理項目は，電気伝導率，pH，塩化物イオン，硫酸イオンとする。
- ・給水の管理項目は，銅，金属不純物とする。

管理項目は，今後の作業会において議論する。

BWR／PWR水化学管理指針

管理値の設定区分

管理値の設定区分

プラント設備の健全性への影響を考慮して、管理値に「設定区分」を設けるとともに、管理値を逸脱した場合の「措置」を定義する。「措置」については、プラント運転停止も含めて作業会において今後議論する。

管理値の設定区分		管理値逸脱時の措置について
レベル3	プラント設備の健全性確保のため許容できる値	原子炉の出力を低下または通常停止操作を開始し、冷温停止状態とする措置を講じる。（基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間帯については、作業会で検討する）
レベル2	プラント設備の健全性確保・線源低減の観点から維持するよう努める値	原因究明に努め、プラントの安全・安定運転に与える影響を評価し、必要な回復措置を講じる。（基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間帯については、作業会で検討する）
レベル1 (推奨値)	よりよい水化学を目指として設定する値	これまでの知見、過去の経験、実績等を踏まえて原因を調査し、長期的観点から技術的対抗および経済性を考慮し、推奨値満足するよう適切な措置を講じる。（基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間帯については、作業会で検討する）

BWR原子炉水の水化学管理基準値の考え方の比較

	水化学管理指針（案） （日本）	EPR I 水化学ガイドライン （米国）	VGB水化学ガイドライン （ドイツ）
レベル3	各系統及び設備の予防保全を図るため維持すべき値であり、これを超えるか超えるおそれのある場合は、回復措置等を講じる必要のある値 （基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間等については、水化学管理分科会で検討する）	「短期間で系統材料が重大な損傷をひき起こす上限値」 ・可能な限り速やかにAction Level 3以内に回復する措置を講ずる。 ・6時間以内にAction Level 3以内に復旧しない場合は、通常操作により冷温停止させる必要があるが、停止/起動操作期間に起こるであろう材料損傷よりも影響が小さいと判断できる場合には出力運転を継続できる。 ・通常停止操作に要する時間以内にAction Level 2以内に回復することが予測される場合は、出力運転を継続できる。 ・Action Level 3逸脱後には、事象を評価し対策を実施する。プラント停止に至った場合は再起動前に対策を実施しなければならない。	「知見からプラント運転継続が望ましくない値の範囲」 ・12時間以内に速やかにプラント停止操作を行うべき値 ・炉水温度が100℃に到達するまでの期間にAction Level 3未満になることが予測できる場合は出力運転を継続できる。 ・当該事象の原因が除去されるまではプラントは再起動しない。
レベル2	運転実績及び経験等から設定された値であり、通常運転時において維持するよう努める必要のある値 （基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間等については、水化学管理分科会で検討する）	・「短期間に重大な系統損傷を引き起こす恐れがあり、迅速な回復が要求される値」 ・可能な限り速やかにAction Level 2以内に回復する措置を講ずる。 ・24時間以内にAction Level 2以内に復旧しない場合は、通常操作により冷温停止させる必要があるが、停止/起動操作期間に起こるであろう材料損傷よりも影響が小さいと判断できる場合には出力運転を継続できる。 ・通常停止操作に要する時間以内にAction Level 2以内に回復することが予測される場合は、出力運転を継続できる。 ・Action Level 2逸脱後には、事象を評価し対策を実施し、プラント停止に至った場合は再起動前に対策を実施しなければならない。	「知見から中期的な腐食の問題が除去できない値の範囲」 ・腐食リスク最小化のため、逸脱原因の評価と対策の実施に要する時間は制限される。 ・特に定めがない限り、36時間以内に許容範囲内に復旧させる。 ・復旧できない場合は通常操作によるプラント停止を行う。 ・炉水温度が100℃に到達するまでの期間にACTION LEVEL 2未満になることが予測できる場合は出力運転を継続できる。
レベル1	推奨値 （基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間等については、水化学管理分科会で検討する）	「長期的に系統の信頼性を損なう恐れがあり、運転操作・装置の改善が要求される値」 ・可能な限り速やかにAction Level 1以内に回復する措置を講ずる。 ・96時間以内に回復しない場合、長期のシステム信頼性への影響を評価し、文書化した計画に基づき回復措置を実施・評価する。	「知見から長期的な腐食の問題が除去できない値」 ・適切な期間内にAction Level 1逸脱の原因を評価し除去する。
その他			通常運転中に達成可能な値に対する余裕を示すNOV (Normal Operating Value) が示されている。

Action Level : EPR I およびVGB規格では、Action Level を超えたら是正措置等のアクションするレベルと規定している。

BWR原子炉水の水化学管理基準値（例）の比較

管理項目		管理値例										
		水化学管理指針（案）（日本）			E P R I 水化学ガイドライン（米国）（*4）				V G B 水化学ガイドライン（ドイツ）			
名称	単位	レベル 3	レベル 2	レベル 1	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	Good Practice	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	NOV（*3）
電気伝導度	$\mu S/m$ (@25°C)	≤ 1000	≤ 100	≤ 20	> 500	> 100	> 30	≤ 8	> 500	> 100	> 25	< 15
pH	— (@25°C)	4~10	5.6~8.6	6.0~8.0								
塩素イオン	ppb	≤ 500	≤ 100	≤ 20	> 100	> 20	> 5	< 1	> 50	> 20	> 5	< 2
硫酸イオン	ppb	—	—	≤ 5	> 100	> 20	> 5	< 2	> 100	> 40	> 10	< 5
シリカ	ppb			≤ 1000				≤ 300				< 200
溶存酸素	ppb			≤ 400				Plant Specific				
金属不純物	ppb			≤ 200 (*2)								
よう素131	Bq/g	(*1)										
ほう素	ppb			≤ 200								

- *1：管理値の例
 6.6×10^3 (Bq/g) (460MWe級)
 7.7×10^3 (Bq/g) (784MWe級)
 4.6×10^3 (Bq/g) (1, 100MWe級)
 1.3×10^3 (Bq/g) (1, 356MWe級)

*2：金属不純物 5 元素 (Fe, Cu, Ni, Cr, Co) の合計値

*3：NOV=Normal Operationg Value (通常運転値) の略

*4：NWC運転条件の例

BWR給水の水化学管理基準値（例）の比較

管理項目		管理値例										
		水化学管理指針（案）（日本）			EPRI水化学ガイドライン（米国）				VGB水化学ガイドライン（ドイツ）			
名称	単位	レベル 3	レベル 2	レベル 1	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	Good Practice	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	NOV (*3)
電気伝導度	$\mu\text{S/m}$ (@25°C)	—	—	≤ 10	—	—	> 6.5	≤ 6	—	—	> 7	ca. 6
金属不純物 (*1)	ppb	—	≤ 15	≤ 5	—	—	—	—	—	—	—	—
全鉄 (*2)		—	—	—	—	—	> 5	0.1~1.0	—	—	> 5	< 2
銅	ppb	—	≤ 2	—	—	—	> 0.2	≤ 0.05	—	—	> 0.75	< 0.3
溶存酸素	ppb	—	—	20~200	—	—	< 30 > 200	—	—	—	< 20 > 200	20~200

*1：金属不純物5元素(Fe, Cu, Ni, Cr, Co)の合計値

*2：VGB水化学ガイドラインは、金属不純物としてではなく、全鉄(Total Iron)として規定

*3：NOV=Normal Operationg Value (通常運転値)の略

PWR一次冷却材および二次冷却材の水化学管理基準値の考え方の比較

	水化学管理指針 (案) (日本)	EPR I 水化学ガイドライン (米国)	VGB水化学ガイドライン (ドイツ)
レベル3	各系統及び設備の予防保全を図るため維持すべき値であり、これを超えるか超えるおそれのある場合は、回復措置等を講じる必要のある値 (基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間等については、水化学管理分科会で検討する)	(一、二次系共通) 「データや工学的判断から、逸脱した場合、プラント運転継続が望ましくない値の範囲」 ・速やかにプラント停止操作を行う。	(一、二次系共通) 「知見から、プラント運転継続が望ましくない値の範囲」 ・12時間以内に速やかにプラント停止操作を行う。
レベル2	運転実績及び経験等から設定された値であり、通常運転時において維持するよう努める必要のある値 (基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間等については、水化学管理分科会で検討する)	(一次系) 「データや工学的判断から、逸脱した場合、短期間に系統に大きなダメージを受ける可能性がある値の範囲」 ・24時間以内にパラメータを適切な制限内に戻す努力を行う必要がある値 ・回復しない場合、停止操作を行う。 (二次系) 「逸脱した場合の是正処置中に、出力を低下して運転することにより腐食を最小限に抑えることを目的として設定」 ・Action Level 2を超えて8時間以内(安全停止操作が許す限り早く)にプラント出力を約30%まで低下させる必要がある。	(一、二次系共通) 「知見から、短期的な腐食の問題が除去できない値の範囲」 (一次系) ・1週間以内にパラメータを適切な制限内に戻す努力を行う必要がある。 ・回復しない場合、出力降下操作を行う。 (二次系) ・出力を30%に降下させて2週間以内にパラメータを適切な制限内に戻す努力を行う必要がある。
レベル1	推奨値 (基準値を逸脱した場合の復旧まで許容する時間等については、水化学管理分科会で検討する)	(一次系) 「データや工学的判断から、逸脱した場合、長期的な系統信頼性に影響を与える可能性がある値の範囲」 (二次系) 「出力降下を行わずに逸脱の原因を速やかに特定し是正することを目的として設定。 逸脱せずに運転することで、腐食条件が最小限となることが保証できると考えられる」 (一、二次系共通) ・7日以内にパラメータを適切な制限内に戻す努力を行う必要がある。	(一、二次系共通) 「知見から、長期的な腐食の問題が除去できない値の範囲」 (一、二次系共通) ・4週間以内にパラメータを適切な制限内に戻す努力を行う必要がある。
その他			通常運転中に達成可能な値に対する余裕を示すNOV (Normal Operating Value) が示されている。

Action Level : EPR I およびVGB規格では、Action Levelを超えたら是正措置等のアクションするレベルと規定している。

PWR一次冷却材の水化学管理基準値（例）の比較

管理項目		管理値例									
		水化学管理指針（案）（日本）			E P R I 水化学ガイドライン（米国）			V G B 水化学ガイドライン（ドイツ）			
名称	単位	レベル 3	レベル 2	レベル 1	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	NOV (*5)
pH	— (@25°C)		4~11					—	—	—	—
電気伝導度	$\mu S/m$ (@25°C)		1~40	(*1)	≤ 500	≤ 100	≤ 30	—	—	—	—
塩化物イオン	ppm	≤ 1.5	≤ 0.15	≤ 0.05	> 1.5	> 0.15	—	> 1.0	> 0.2	> 0.1	< 0.01
ふっ化物イオン	ppm	≤ 1.5	≤ 0.15	≤ 0.05	> 1.5	> 0.15	—	—	—	—	—
硫酸イオン	ppm	—	—	—	> 1.5	> 0.15	—	> 1.0	> 0.2	> 0.1	< 0.01
溶存水素	cm^3/kg		15~50		< 5	< 15	< 25 > 50	< 6 > 56	< 11 > 45	< 17	< 17 > 4
溶存酸素	ppb		≤ 100	≤ 5	> 100	—	> 5	—	—	—	< 5
リチウム	ppm		0.2~3.5	(*3)	(*3)	(*3)	(*3)	(*4)	(*4)	(*4)	$> 0.2 < 2$ (*4)
よう素131	Bq/cm^3		(*2)		—	—	—	—	—	—	—
ほう素	ppm				—	—	—	—	—	—	—

*1：ほう素濃度およびリチウム濃度の組み合わせで決まる。

*2：プラント毎に設定しており、燃料棒の破損率1%に燃料数、一次冷却材保有水量および浄化流量から求めるよう素131濃度の管理値となる。

*3：ほう酸—リチウム管理バンドによる。

*4：燃料ベンダーにより認可された値

*5：NOV=Normal Operating Value（通常運転値）の略

PWR蒸気発生器器内水の水化学管理基準値（例）の比較

管理項目		管理値例									
		水化学管理指針（案）（日本）			E P R I 水化学ガイドライン（米国）			V G B 水化学ガイドライン（ドイツ）			
名称	単位	レベル 3	レベル 2	レベル 1	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	Action Level 3	Action Level 2	Action Level 1	NOV (*4)
pH (*1)	— (@25°C)		≧8	8.5~9.3 (*3)				—	—	—	>9.5
カチオン 電気伝導度 (*2)	mS/m (@25°C)		≦3	≦0.2 (*3)	通常値 +>0.4	通常値 +>0.1	—	>0.7	>0.2	>0.1	<0.02
塩化物 イオン	ppb		≦2000	≦100	>250	>50	>10	—	—	—	<10
ナトリウム イオン	ppb			≦40	>250	>50	>5	>500	>100	>50	<5
硫酸イオン	ppb		—	≦100	>250	>50	>10	—	—	—	<10

*1：給水処理条件(pH)を管理することにより、管理範囲に維持する。

*2：蒸気発生器の伝熱管への影響の大きい塩素イオンを主成分として管理値を設定

*3：アンモニア型AVT処理条件下の管理値の例

*4：NOV=Normal Operatiog Value（通常運転値）の略

BWR水化学管理指針

水化学管理の運用方法

水化学管理の運用方法

1. 監視頻度の考え方

- ・ プラント構造材の健全性維持，燃料被覆管の健全性維持および被ばく低減の観点から管理対象，管理項目等を選定し，管理値の設定区分（レベル1～3）の逸脱を適切に検知するとともに，逸脱時に速やかな対応ができる監視頻度を設定する。

2. 管理値逸脱時の対応方法の考え方

- ・ 管理値の設定区分に応じて，措置や必要な回復措置を講じる。
- ・ 制限値逸脱時には適切な時間以内に原子炉出力低下または停止操作による冷温停止状態などによる。

BWR水化学管理指針

今後の検討課題

今後の検討課題

- ・福島第一原子力発電所の事故により，法令や技術基準が整備・強化されることが考えられ，BWR水化学管理指針への取り込みについては今後の検討課題とする。
- ・BWR水化学管理指針は，システム安全専門部会，標準委員会，公衆審査後に制定されるが福島第一原子力発電所の事故により指針作成が一時的に中断されたため，スケジュールについて再検討する。