

# BWR水化学管理値の設定根拠 (現状までの議論)

2012年 6月 1日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

## ◆ 構造材健全性の確保

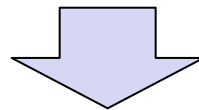
炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼などが使用されている炉内構造物のSCC低減対策を図り、構造材料の健全性を確保する。

## ◆ 燃料健全性の確保

燃料被覆管の破損による炉水への放射性物質の漏えいを防止するため、炉水環境下における燃料被覆管の腐食を抑制し、材料の健全性を確保する。

## ◆ 従事者の被ばく低減

原子力発電所従事者に対する放射線被ばく低減を図るため、放射性腐食生成物質の発生抑制、配管への放射性腐食生成物の付着抑制など、水化学からの被ばく線源を抑制する。



現在、構造材健全性の確保面からの水化学管理値設定を議論中(今回発表)

## ◆ 管理系統

- ①原子炉
- ②復水系
- ③給水系

## ◆ 系統水

- ①原子炉水
- ②復水脱塩塔出口水
- ③給水

## ◆ 運転状態

- ①通常運転時
- ②起動・停止時・冷温停止時
- ③改良水化学技術適用時  
(水素注入時、貴金属注入時)

## 【管理レベル3、2】

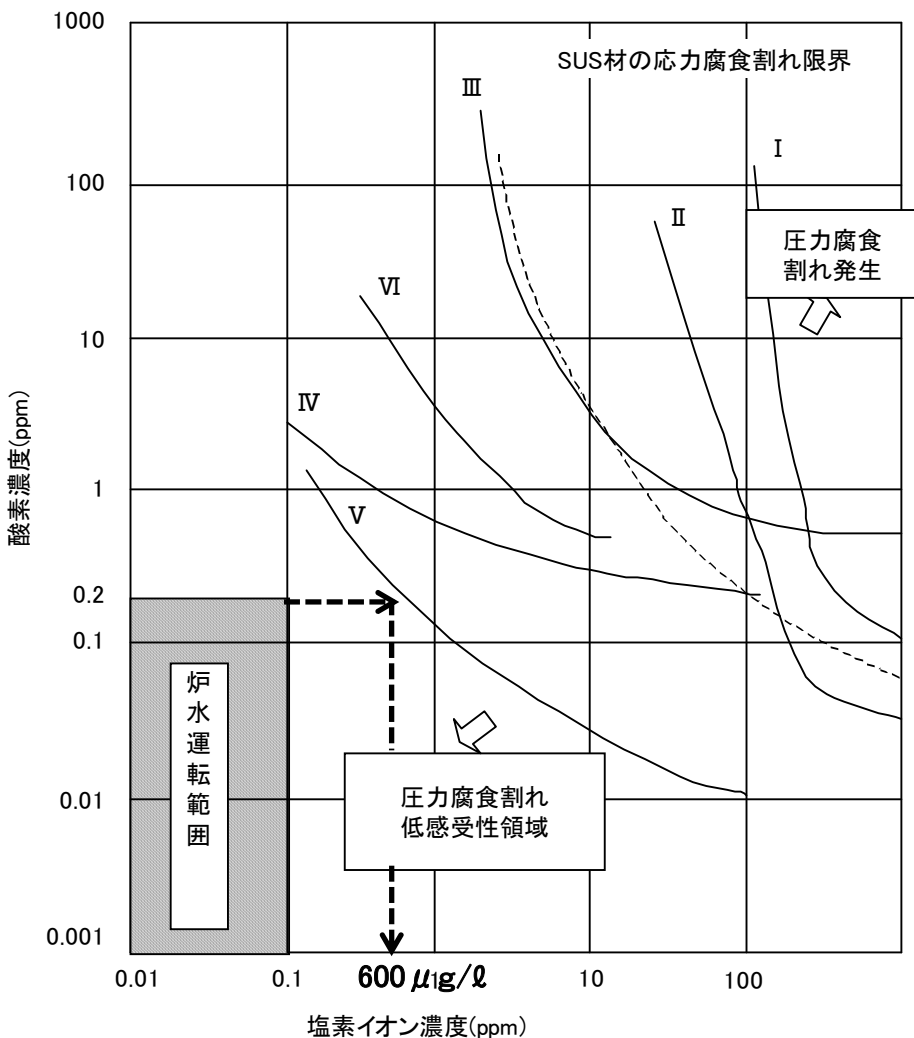


図 1 ステンレス鋼の応力腐食割れ感受性領域

■ 図1で最も保守的な試験データ(V: Hubner AE-NK-304)では溶存酸素濃度 $200 \mu\text{g/l}$ で腐食割れ感受性が低領域となる塩素イオン濃度は $600 \mu\text{g/l}$ であることから、塩化物イオン濃度の管理レベル3の値は、本値に余裕を見て、 $500 \mu\text{g/l}$ 以下とした。

■ 管理レベル2の値はプラントの水質管理上の基準とする値として、管理レベル3の1/5である $100 \mu\text{g/l}$ とした。

■ なお、最近データでも溶存酸素濃度 $200 \mu\text{g/l}$ において塩化物イオン濃度 $500 \mu\text{g/l}$ 以下であればSCC感受性は低下している。

## 【管理レベル1】

塩化物イオン濃度の分布

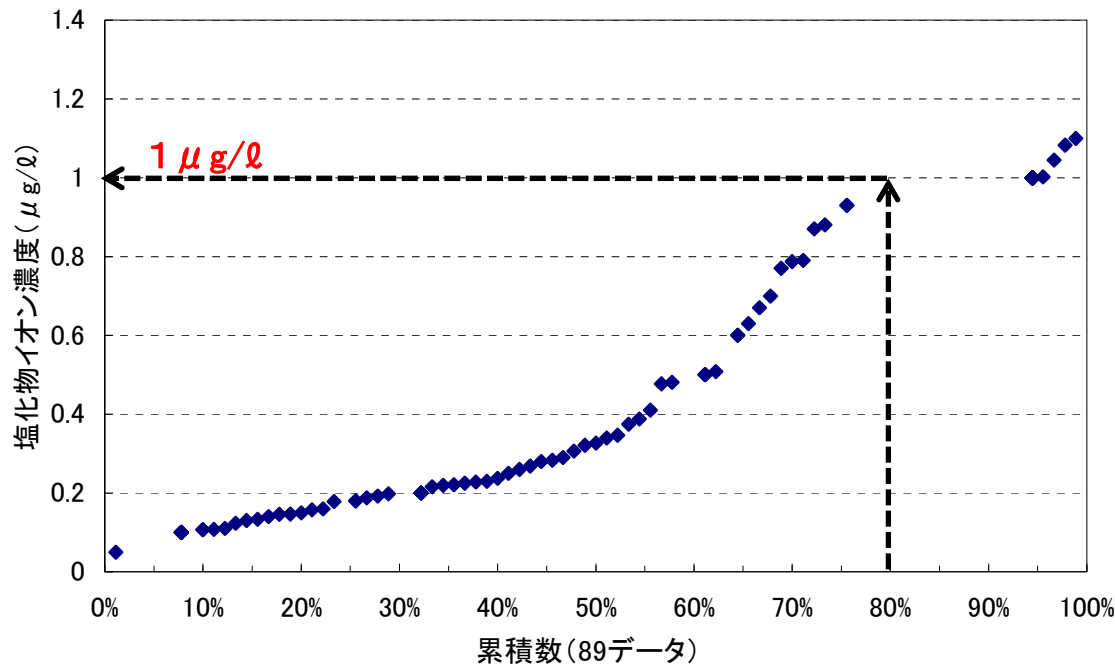


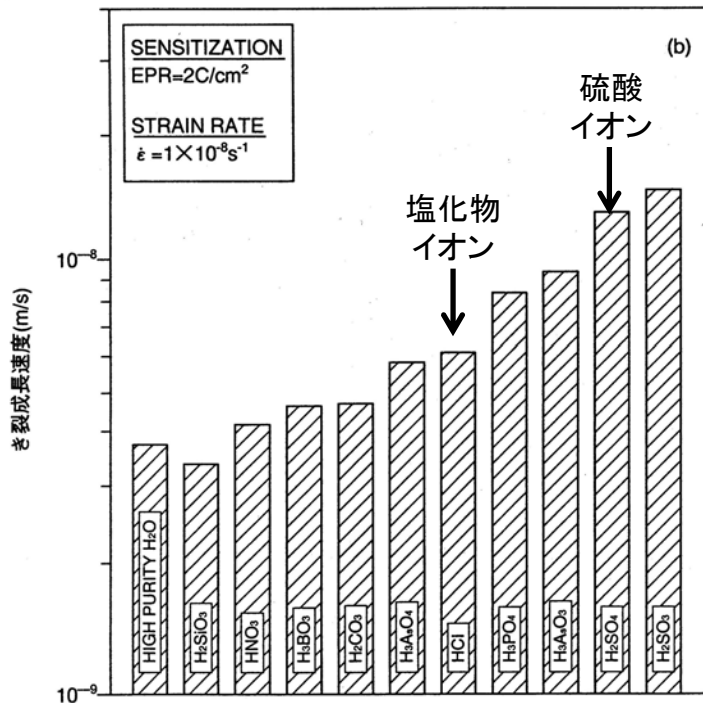
図 2 国内プラント炉水塩化物イオン濃度分布

注記) (1) 2009年度における調査。  
 (2) 調査時点における直近3運転サイクル(原則)についての各サイクル平均値。  
 (3) 濃度が測定下限であった場合は測定下限値を採用。

■ ステンレス鋼表面への強加工施工のような厳しい条件が重なると表面に硬化層が生じ、TGSCCを通じてIGSCCが進展し得るということが確認されていることから、塩化物イオンをはじめとした不純物イオンは極力低レベルで管理することが必要である。

■ 管理レベル1はBWRプラントの運転実績および経験等に基づき、より良い水化学管理を目指す観点から、図2に示した国内プラント原子炉水塩化物イオン濃度の実績(2009年度での最近データ)から、累積頻度80%である  $1 \mu\text{g/l}$  とした。なお、本データはプラント運転実績の蓄積により適宜見直すものとする。

## 【管理レベル3、2】



■ 硫酸イオンは、再生薬品として使用する硫酸や、硫酸基を持つ樹脂のリーク、イオン交換樹脂の劣化により溶出する樹脂基材の硫黄分の溶出によるものが主要な発生源であり、BWRの運転中最も存在しやすい不純物である。

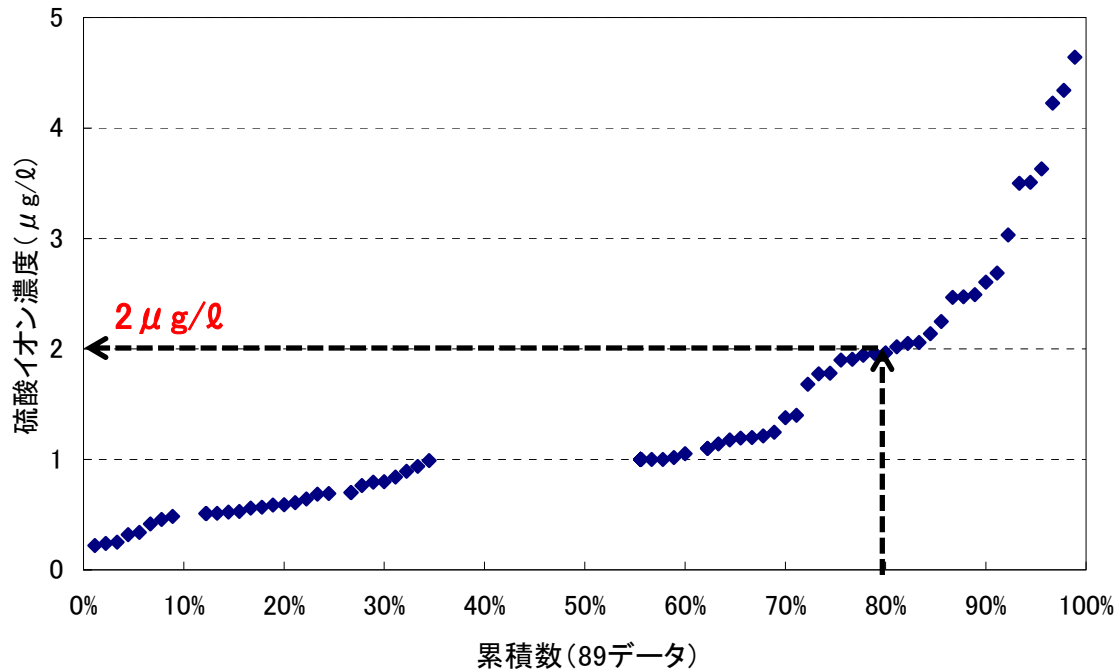
■ 硫酸イオンのSCCへの影響程度は図3に示すように不純物イオンの中で、塩化物イオンと同等と判断されることから、塩化物イオンと同じ値を管理レベル3(500 μg/l)、および2(100 μg/l)として設定した。

図 3 鋭敏化SUS304鋼のIGSCCに及ぼすイオン種の影響  
(290 °C, SSRT試験, DO 200 ppb, アニオン100 ppb)

W. E. Ruther, W. K. Soppet, and T. F. Kassner, Corrosion, 44, 791 (1988).

## 【管理レベル1】

硫酸イオン濃度の分布



■ 管理レベル1については塩化物イオンと同様により良い水質管理を目指す観点から、図4に示した国内プラント原子炉水硫酸イオン濃度の実績(2009年度での最近データ)から、累積頻度80%である $2 \mu\text{g/l}$ とした。なお、本データはプラント運転実績の蓄積により適宜見直すものとする。

図 4 国内プラント炉水硫酸イオン濃度分布

- 注記) (1) 2009年度における調査。  
 (2) 調査時点における直近3運転サイクル(原則)についての各サイクル平均値。  
 (3) 濃度が測定下限であった場合は測定下限値を採用。





## 【管理レベル1】

国内BWRの原子炉水電気伝導率

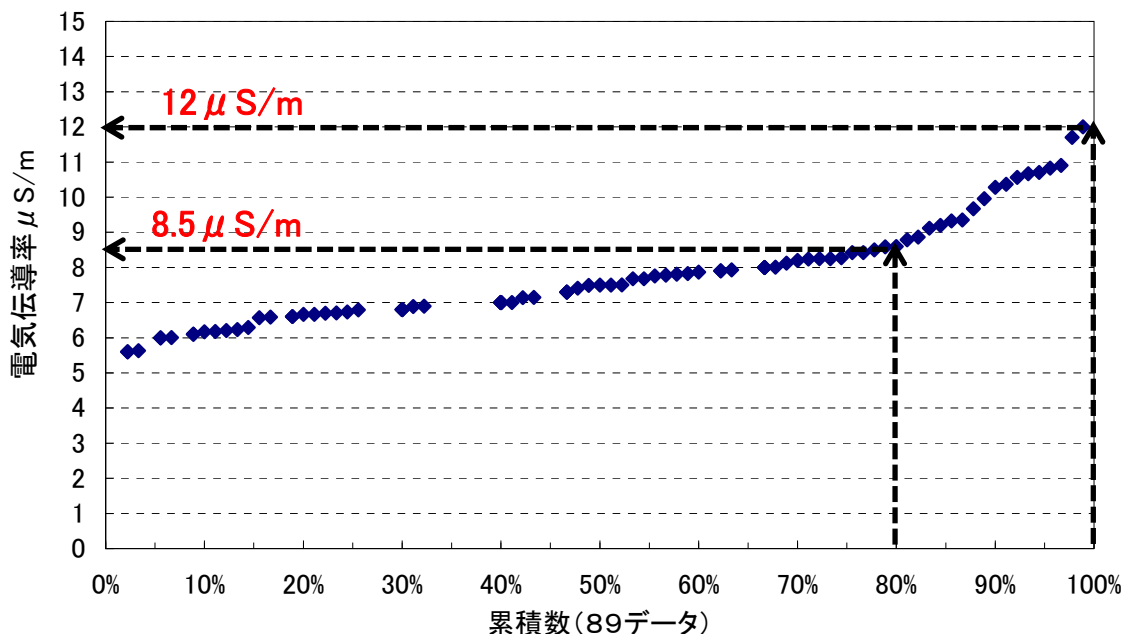


図 6 国内プラント炉水電気伝導度分布

注記 (1) 2009年度における調査。  
 (2) 調査時点における直近3運転サイクル(原則)についての各サイクル平均値。  
 (3) 濃度が測定下限であった場合は測定下限値を採用。

■ 塩化物イオン、硫酸イオンの管理レベル1設定値(塩化物イオン:  $1 \mu\text{g/l}$  硫酸イオン:  $2 \mu\text{g/l}$ )での電気伝導率は  $6 \mu\text{S/m}$ 、塩化物、硫酸イオンで規定した累積頻度80%での値は  $8.5 \mu\text{S/m}$  となる。

■ 材料健全性への影響が小さいFeイオン等の金属イオン、およびクロム酸イオンの影響を考慮するとともにより良い水質管理を目指す観点から国内プラントでの実績(2009年度での最近データ)から、図6で示す最大値  $12 \mu\text{S/m}$  を管理レベル1とした。

■ pHは電気伝導率の管理レベル1である  $12 \mu\text{S/m}$  に相当する  $6.5 \sim 7.5$  を管理レベル1の設定値とした。



管理項目		管理 レベル3	管理 レベル2	管理 レベル1
名称	単位			
塩化物イオン	$\mu\text{g}/\ell$	$\leq 500$	$\leq 100$	$\leq 1$
硫酸イオン	$\mu\text{g}/\ell$	$\leq 500$	$\leq 100$	$\leq 2$
電気伝導率	$\mu\text{S}/\text{m}(25\text{ }^\circ\text{C})$	$\leq 1000$	$\leq 100$	$\leq 12$
pH	— (25 °C)	4~10	5.6~8.6	6.5~7.5

## 【管理レベル3、2、1】

■ 復水(復水脱塩塔出口)の水質管理目的は (1)復水浄化系性能監視 (2)復水・給水系構造材料の健全性維持 (3)原子炉への不純物持込抑制。

■ 原子炉水での濃縮倍率(50~100倍)より、炉水管理レベルを満足するための復水脱塩塔出口での塩化物、硫酸イオンはかなり低い値(0.01  $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下)の管理が必要となる。従って、原子炉水への不純物混入の管理、監視は原子炉水の方が得策であることから、復水(復水脱塩塔出口)においては塩化物イオン、硫酸イオンの管理値は設定しない。

■電気伝導率については復水浄化系性能監視の観点、および十分純度の高い水質であることを確認するため、管理レベル1として理論純水での値(5.5  $\mu\text{S}/\text{m}$ )に計器誤差を考慮した6  $\mu\text{S}/\text{m}$ を設定。

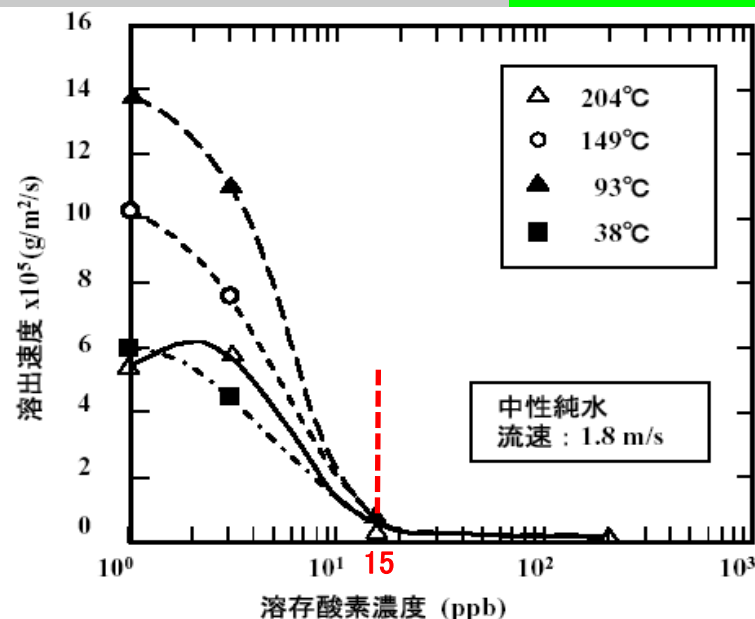


図 6 炭素鋼の腐食速度に与える溶存酸素濃度の影響

U.S.NRC, Regulatory Guide 1.56, Rev.1, July 1978.

■ 炭素鋼の腐食速度は溶存酸素15  $\mu\text{g}/\text{l}$ 以上において低く抑えられる。一方、溶存酸素濃度が増加すると孔食の発生が懸念される(図6)。

■ 復水・給水系構造材料の健全性維持の観点から管理レベル2の溶存酸素濃度を15~200  $\mu\text{g}/\text{l}$ とした。また、運用実績から運用目安値である管理レベル1を20~50  $\mu\text{g}/\text{l}$ と設定。



管理項目		管理 レベル3	管理 レベル2	管理 レベル1
名称	単位			
電気伝導率	$\mu\text{ S/cm}(25\text{ }^\circ\text{C})$	—	—	$\leq 6$
溶存酸素	$\mu\text{ g/l}$	—	15~200	20~50



- 電気伝導率は炉水への供給水質を最終的に確認する観点から復水(復水脱塩塔出口)と同じ値とした。
- 溶存酸素は給水系にて酸化皮膜生成による溶存酸素の消費の可能性は小さいが確実に濃度範囲に入っていることを確認するため、復水(復水脱塩塔出口)と同じ値として設定。

管理項目		管理 レベル3	管理 レベル2	管理 レベル1
名称	単位			
電気伝導率	$\mu\text{ S/cm}(25\text{ }^\circ\text{C})$	—	—	$\leq 6$
溶存酸素	$\mu\text{ g/l}$	—	15~200	20~50

- 起動・停止時については通常の運転時との移行期間にあることから、原子炉構造材の健全性を維持する観点より、管理レベル2、3は通常運転時の管理値と同一とする。
- 管理レベル1は長期的には満足することが望ましい管理値であることから起動・停止時では設定しない。このことから、復水(復水脱塩塔出口)、給水の電気伝導率は管理項目から除く。
- 復水脱塩塔出口、および給水の溶存酸素濃度についてはトランジェントに伴う濃度のバラツキが予想されること、および既に酸化皮膜が形成されており短期間であれば酸化皮膜への影響も無いことから管理項目からは除いた。

## <原子炉水>

管理項目		管理	管理	管理
名称	単位	レベル3	レベル2	レベル1
塩化物イオン	$\mu\text{g/l}$	$\leq 500$	$\leq 100$	—
硫酸イオン	$\mu\text{g/l}$	$\leq 500$	$\leq 100$	—
電気伝導率	$\mu\text{S/m}(25\text{ }^\circ\text{C})$	$\leq 1000$	$\leq 100$	—
pH	—(25 $^\circ\text{C}$ )	4~10	5.6~8.6	—

- 冷温停止時は温度、圧力とも原子炉運転時と比較して緩和状態にあること、給水系からの不純物の持込みが無いことから、急激な水質悪化の可能性は低いため、冷温停止時には管理値を設定せず、通常運転時に規定した項目を監視するのみとする。
- 原子炉停止時に発生する腐食生成物は、起動後、剥離・溶出し一部炉内へ持ち込まれ放射化されることにより、プラントの線量当量率を上昇させる原因となっている。したがって、原子炉停止時には線量当量率抑制、および腐食抑制の観点から配管、機器を腐食環境にしない保管方法が必要であることから、本指針では保管方法について記載する。

## 『主な保管方法』

### (1)水抜き保管

系統水の水抜きを行い保管する。機器・配管の表面を極力乾燥することが好ましい。

### (2)満水保管

満水状態で保管する。本保管方法は他の保管に比べ腐食が進行することから、系統改造などやむを得ない場合をのぞき、極力、本保管法は適用しない。

### (3)満水再循環保管

系統水の水抜きを実施しない場合、最終給水ヒーター出口からホットウェルへの戻り配管を利用して、常時循環させる。

### (4)起動前浄化運転

起動前に給、復水を最終給水ヒーター出口からホットウェルへの戻り配管を利用して循環させ、復水浄化系でプラント停止中に生成した腐食生成物を除去することで、プラント起動時での炉内への腐食生成物の持込量の低減を図る。

### (5) 原子炉廻り

原子炉廻り系統(原子炉浄化系、残留熱除去系等)は通常の運転状態とする。

## 【水素注入適用時】

■原子炉水の酸化環境を改善し、SCCを防止する目的で国内外プラントにおいて水素注入が適用されている。水素注入は水素をガス状で復水浄化系の下流側に注入し、化学量論的に1/2の酸素をオフガス系に注入する。

■水素注入時には通常運転時の管理値を適用する。

## 【貴金属注入時】

■水素注入を行うと、水素量によっては原子炉水中のN-16が揮発性の高い化学成分となり主蒸気中に移行しやすくなるため、タービン系の線量率が上昇する。この対策として、少ない水素量でSCC環境緩和効果があるとされる貴金属注入が行われている。

■貴金属注入時についても通常運転時の管理項目を適用する。

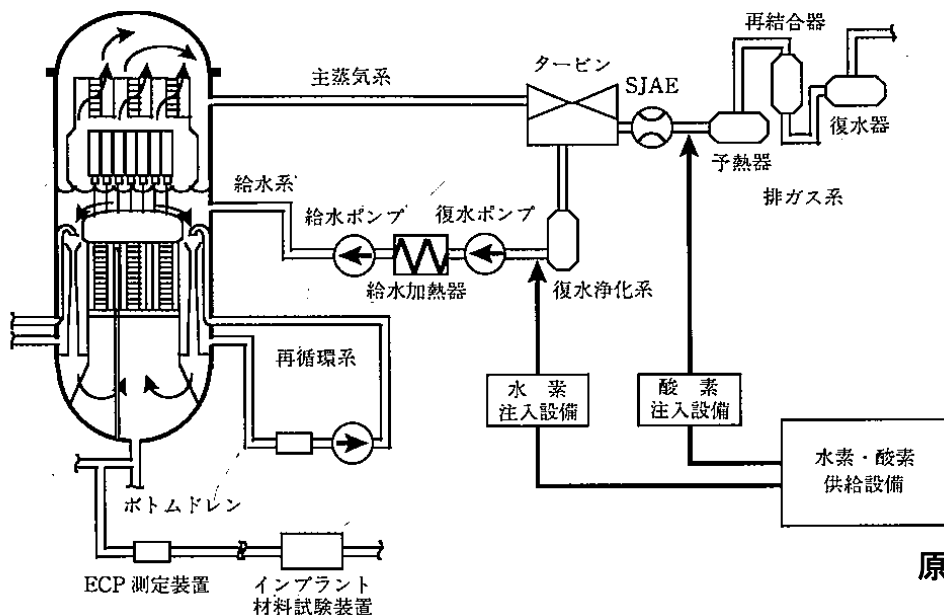


図 7 水素注入設備の概要

原子炉水化学ハンドブック」:原子力学会編、コロナ社、(2000)



## ◆ 構造材健全性の確保

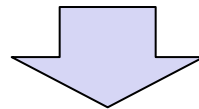
炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼などのSCC低減対策、腐食抑制対策を図り、構造材料の健全性を確保する。

## ◆ 燃料健全性の確保

燃料被覆管の破損による炉水への放射性物質の漏えいを防止するため、炉水環境下における燃料被覆管の腐食を抑制し、材料の健全性を確保する。

## ◆ 従事者の被ばく低減

原子力発電所従事者に対する放射線被ばく低減を図るため、放射性腐食生成物質の発生抑制、配管への放射性腐食生成物の付着抑制など、水化学からの被ばく線源を抑制する。



燃料健全性、従事者の被ばく低減からの検討含め水化学管理値の設定を推進。