

日本原子力学会

水化学部会 第13回定例研究会

PWRの1次系水質管理について

平成23年6月28日

三菱重工業株式会社

水化学技術課

著作権についてのお断り

本資料の著作物(画像、文章等)の著作権その他権利は、三菱重工業(株)並びに三菱重工業(株)の関連会社に帰属します。当社への断りが無い限り、コピー・複製・再発行・掲示・配布することはできません。

目 次

- 1 . はじめに
- 2 . 1次系水質管理の概要
- 3 . 1次系水質管理における計測方法紹介
- 4 . まとめ

2 PWRの1次系水質管理

炉心制御(ケミカルシム) ほう素濃度管理

1次系水化学(水質管理)

1. 材料健全性保持(SG伝熱管、燃料被覆管等)

PWSCC 抑制

AOA (Axial Offset Anomaly) 抑制 等

2. 被ばく低減

SG伝熱管の腐食抑制(Ni発生抑制)

炉内 炉外の腐食生成物移行抑制

炉外表面への放射性Co沈着抑制

Ni及び放射性Coの除去促進 等

2 ケミカルシム

PWRの特徴

1次系(放射能あり)と2次系(放射能なし)に分離

1次系 : 放射能あり、水のみ^{の単層流}
2次系 : 放射能なし、水と蒸気^{の二層流}

1次系は単層流であり、水質管理が容易



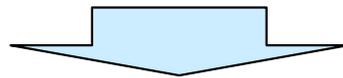
ほう素添加による反応度制御が可能(ケミカルシム)

現行 : 天然ほう酸使用(B-10:約18%)

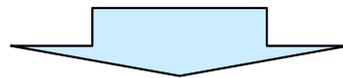
将来 : 濃縮B-10使用(B-10:約90%)

2 pH管理

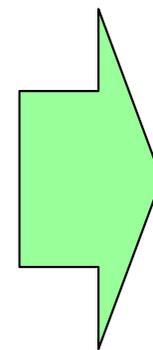
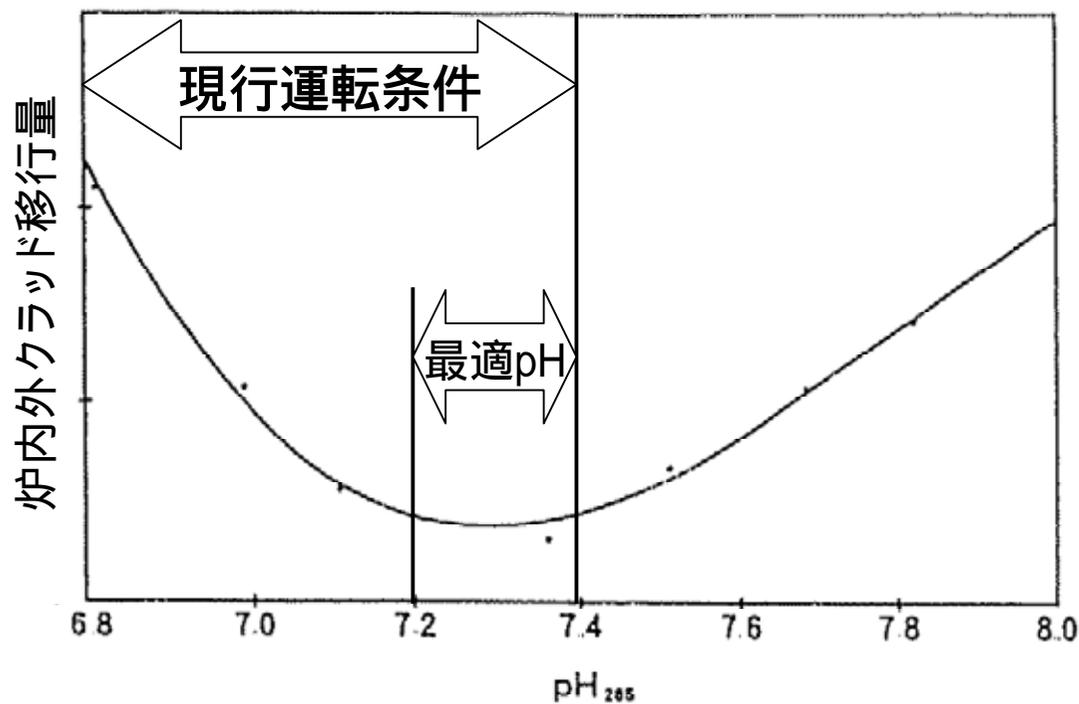
ケミカルシムによりほう酸を使用している



pHが酸性側に 腐食環境



pH調整剤としてLiOHを添加



材料腐食と被ばく
低減の観点から最
適pH管理を実施
(Li濃度管理)

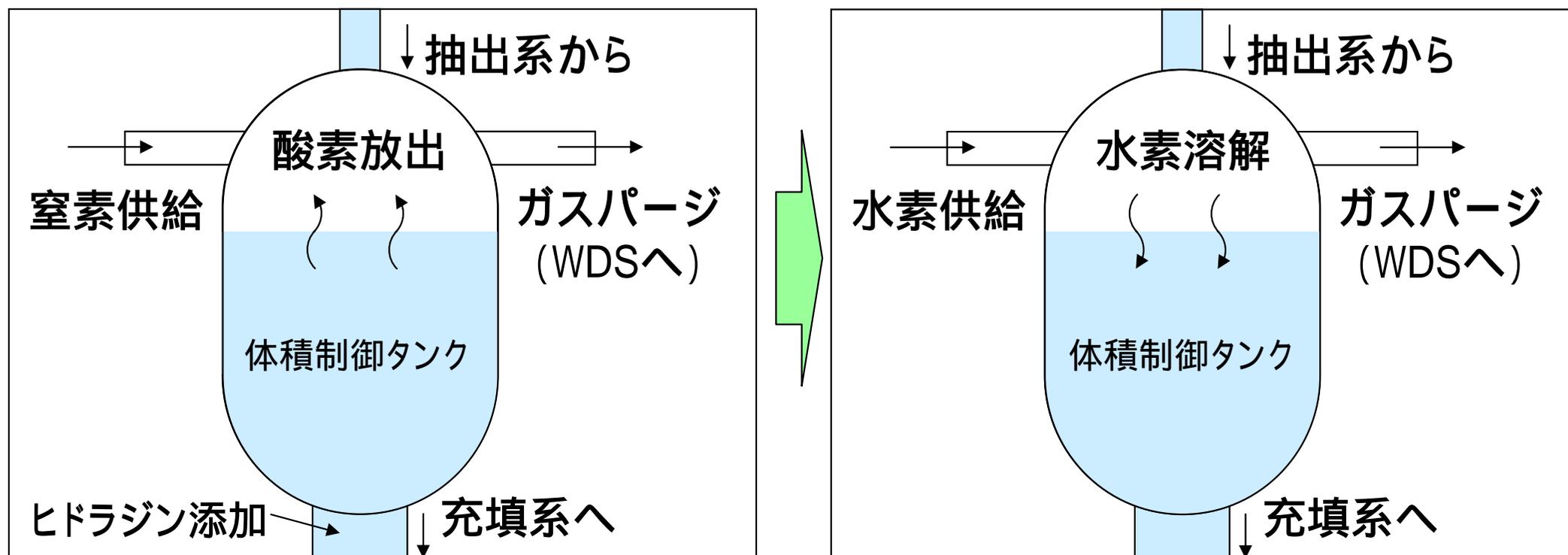
将来的には濃縮B-10
採用により更なる最適
化が可能

2 酸素濃度管理

炉心にて水の放射性分解により酸素が発生

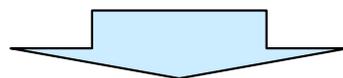
腐食環境形成

酸素発生抑制として水素を添加

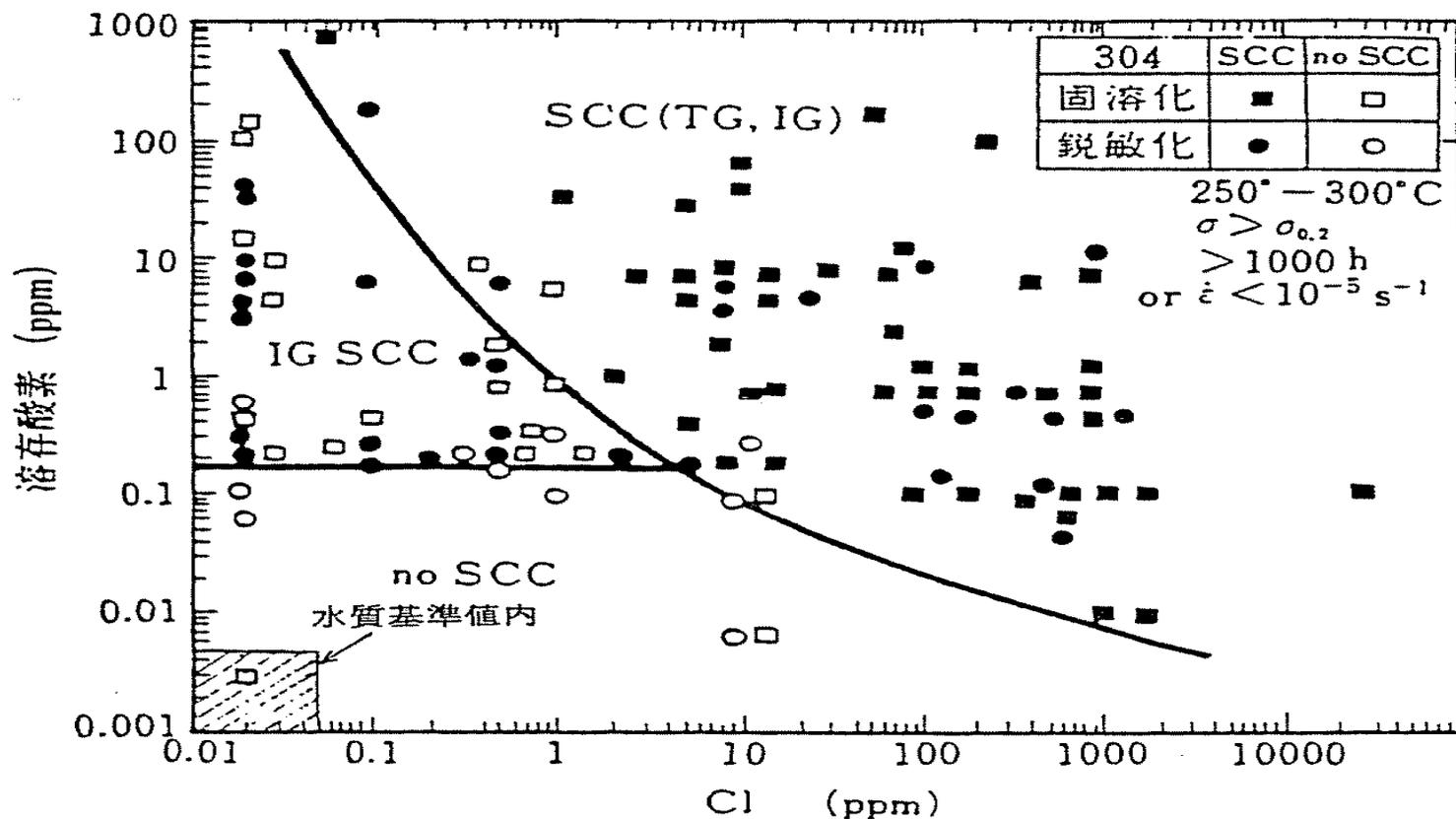


2 不純物濃度管理

ハロゲン元素 (F、Cl) 濃度、溶存酸素上昇



SG伝熱管 (インコネル)、SUS部にて
PWSCC感受性上昇 (割れ発生)



2 1次系水質管理基準 (CH-1)

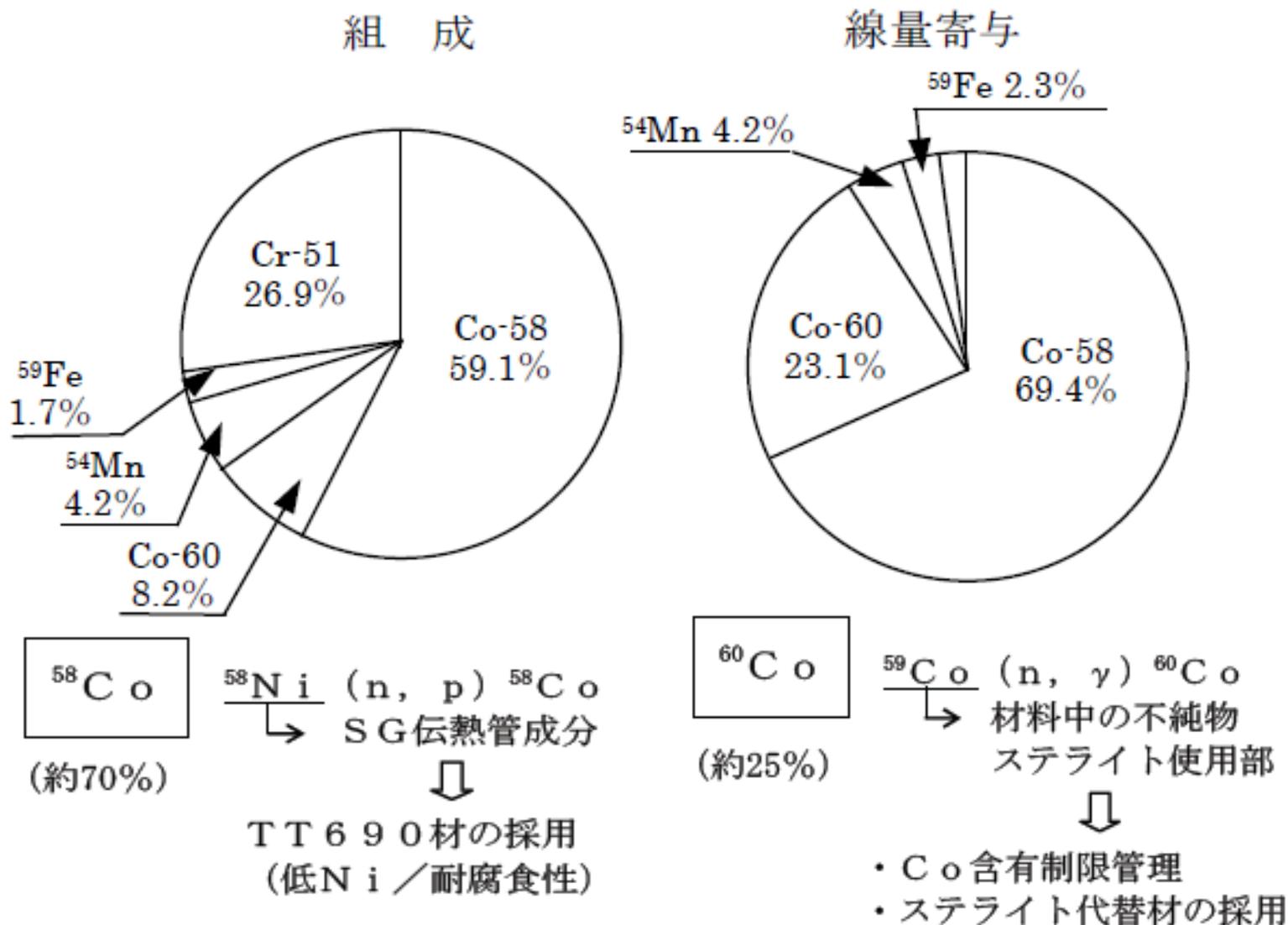
1 次系水質管理基準 (RCS)

1 次冷却系統

分析項目		単位	基準値	制限値	推奨分析項目 基準値	実績値	
1	pH ¹⁶	at 25 °C	4.2~10.5				
2	導電率 ¹⁷	μ S/cm at25°C	1~40				
3	ほう素	ppm	0~4000				
4	塩化物イオン	ppm	≤ 0.05	≤ 0.15		<0.05	
5	ふっ化物イオン	ppm	≤ 0.05	≤ 0.15		<0.05	
6	溶存酸素	ppm	≤ 0.005	≤ 0.1		<0.005	
7	溶存水素	cc-STP/kg-H ₂ O	25~35	≥ 15 ≤ 50		~30	
8	リチウム	ppm	0.2~3.5				
9	濁度	ppm	≤ 1			<0.1	
10	酸可溶鉄	ppm				≤ 0.05	<0.01
11	シリカ	ppm				≤ 0.5	~0.3

2 水質維持管理による被ばく低減

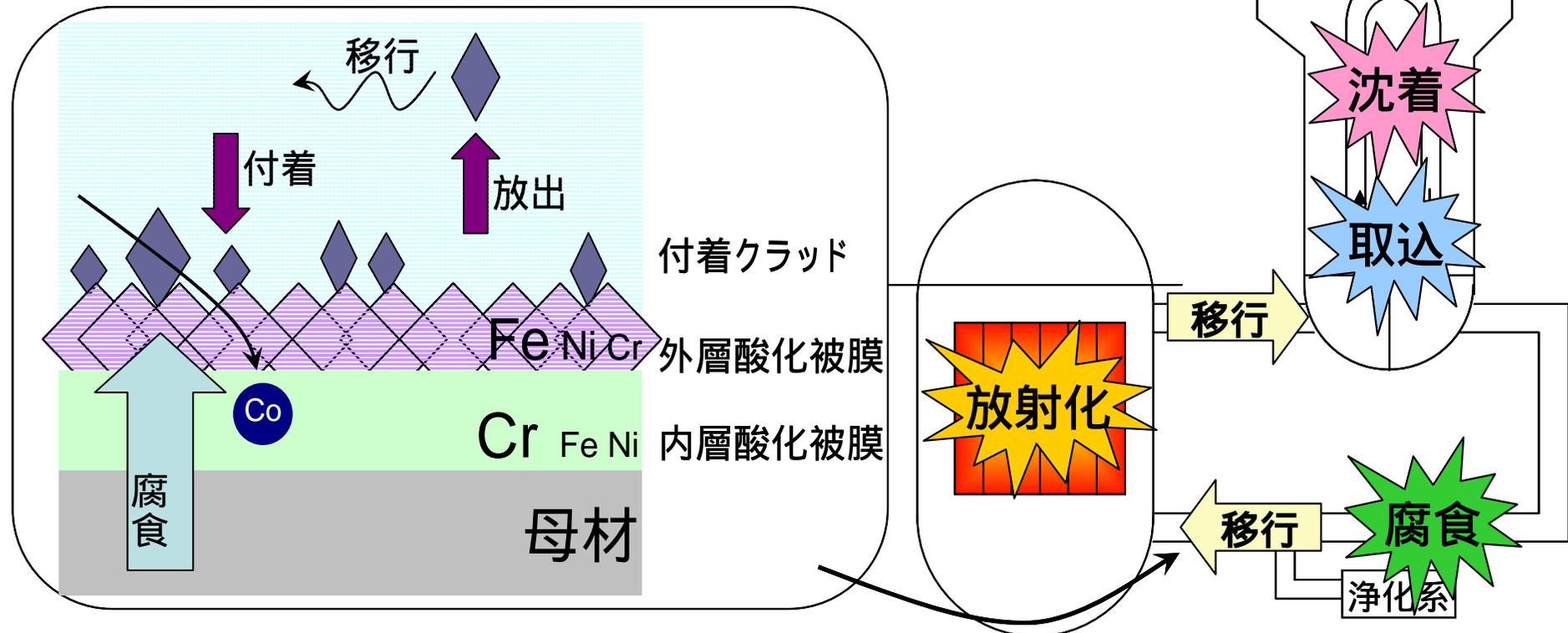
PWR主要線源



2 水質維持管理による被ばく低減

- 一次系構成材料が腐食し、冷却材中に放出
原子炉内で放射化し、炉外へ移行・取込

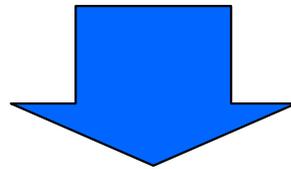
被ばく線源(放射性Co)の蓄積



2 水質維持管理による被ばく低減

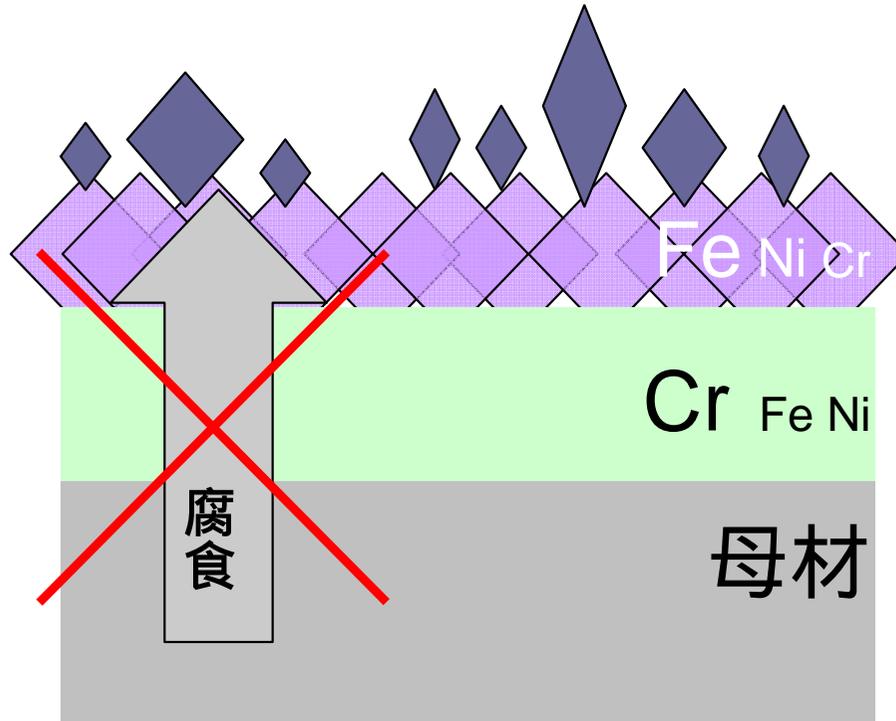
腐食抑制

被ばく線源の元を絶つ！



放射化される大元が減少するため被ばく低減！！

付着クラッド
外層酸化被膜
内層酸化被膜



対策の例

- ・材料改善
- ・改良HFT
- ・初期からの亜鉛注入

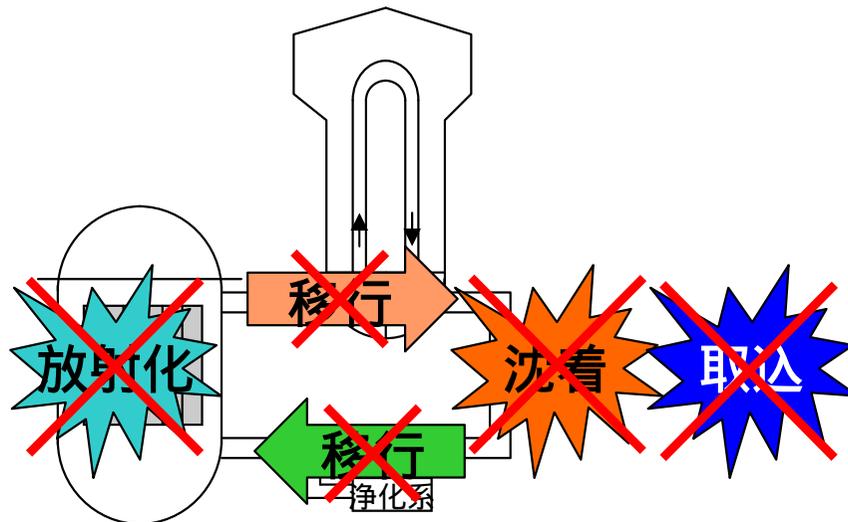
2 水質維持管理による被ばく低減

移行抑制

腐食生成物の放射化を防ぐ！
放射能の沈着・取込を防ぐ！
(放射能を炉内に閉じ込める！)



定検時に作業員が近づく範囲に放射能を溜めない！



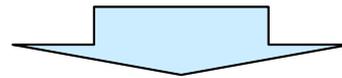
対策の例

- ・改良pH管理
- ・DHバンド管理
- ・亜鉛注入

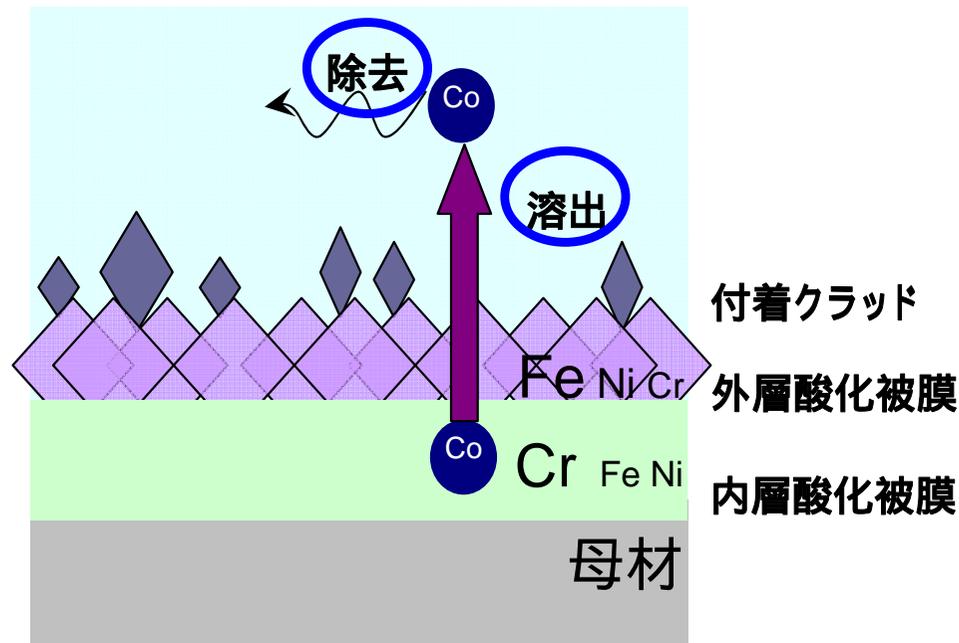
2 水質維持管理による被ばく低減

除去促進

被ばく線源の元を減らす！
放射能を除去する！



作業員が近づく前に放射能を減らし被ばく低減！



対策の例

- ・外層クラッド除去
- ・浄化流量アップ
- ・亜鉛注入

3 分析方法 ほう酸

手分析 : 中和適定法(主流)

最も古典的な方法であり、優れた分析精度を持つ
分析に際し、熟練した技術が必要となる

連続監視装置 : 中性子吸収式分析装置

熱中性子の減衰を測定することでB-10濃度を分析
閉ループでの運用、連続監視が可能
分析精度が劣るデメリットがある

自動分析装置 : 手分析の自動化

サンプリング 適定を自動化した装置(バッチ処理)
分析精度は手分析と同等であり、熟練も不要

3 分析方法 その他の元素(金属元素等)

原子吸光分析装置(主流)

ppmオーダーの金属元素を精度良く分析可能

誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)

pptオーダーの元素濃度を高精度で分析可能

B-10減損率の測定に使用されている

レーザーブレイクダウン分析装置(B、Li等)

レーザー照射によりプラズマ化 発光分析

連続監視が可能

B、Liはppm、元素によってはppbオーダーの検出下限

3 分析方法 アニオン種

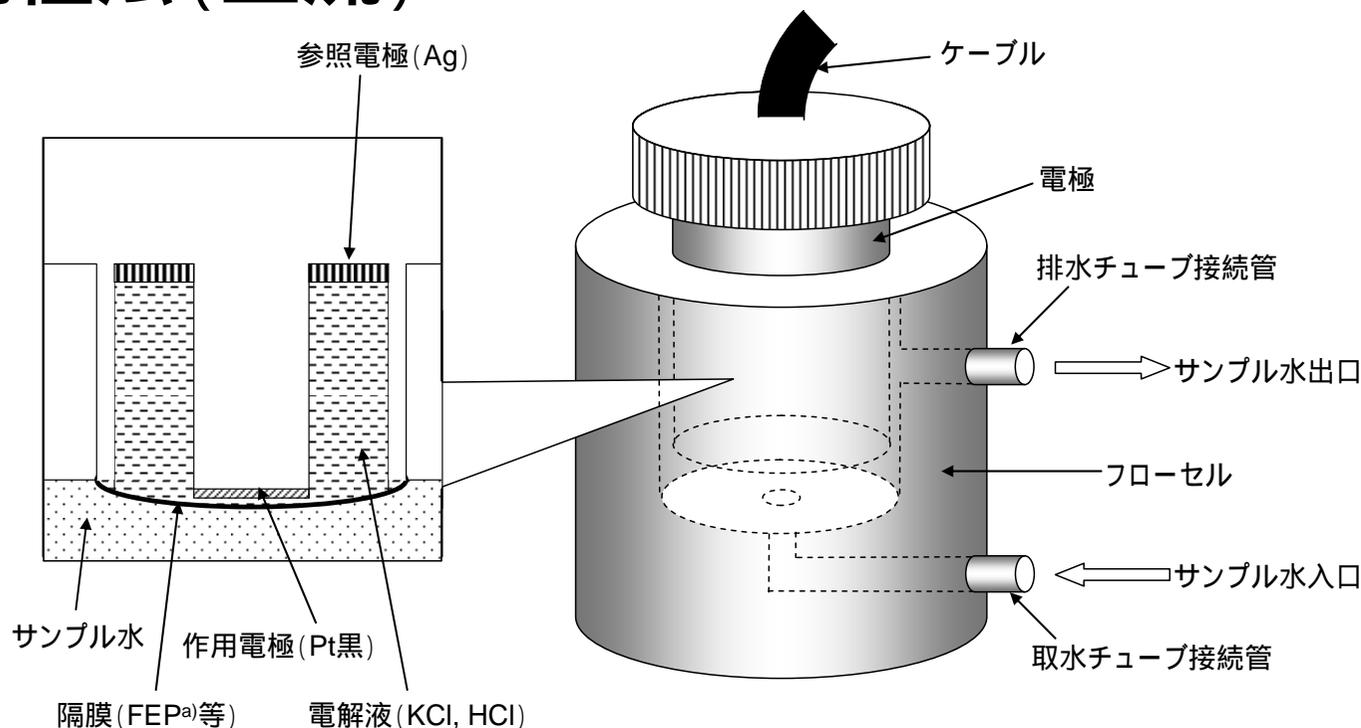
PWSCC発生抑制のためCl、F濃度を監視
樹脂劣化監視のためSO₄濃度を監視

イオンクロマトグラフ分析装置(主流)
ppbオーダーのアニオン種を精度良く分析可能
カチオンカラムによりアンモニア分析を実施している
例もある

手分析 : 吸光光度法、適定法
高ほう酸濃度条件での分析において吸光光度法
高濃度分析において適定法が使用される

3 分析方法 溶存ガス(溶存酸素、溶存水素)

薄膜電極法(主流)



注^a) FEP:テトラフロオロエチレン ヘキサフロオロプロピレン 共重合体

自動監視装置 (pH計・電気導電率計も内臓)

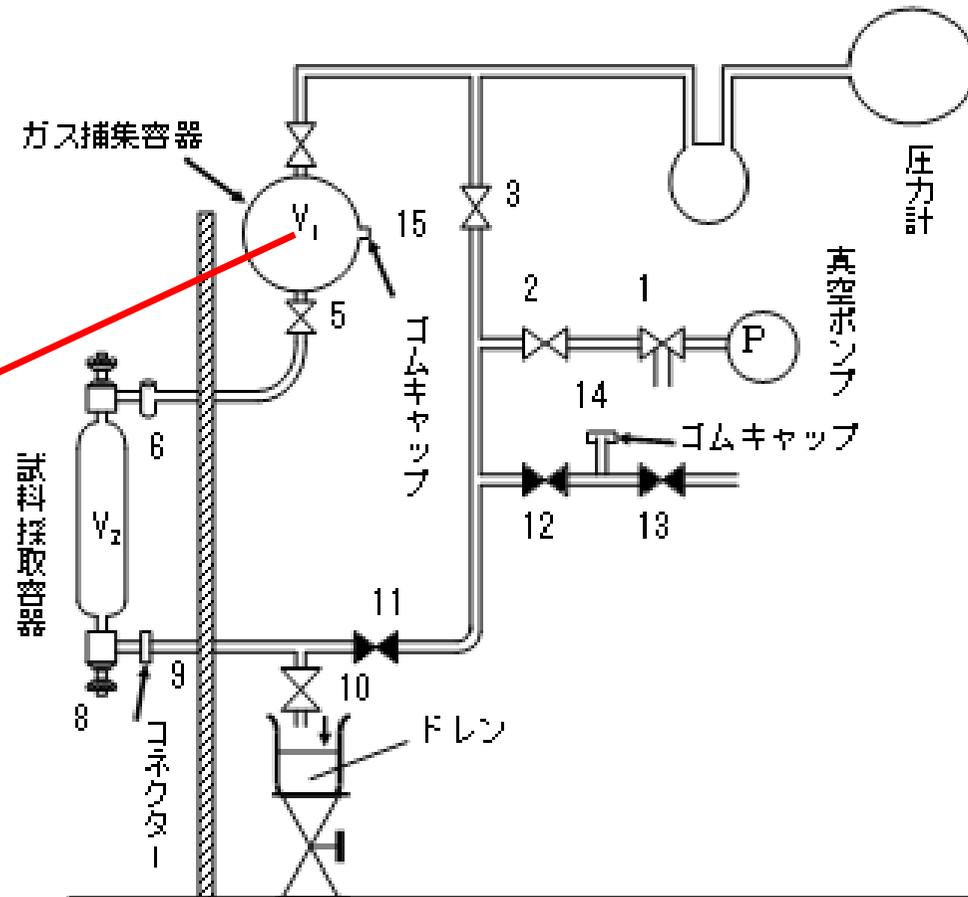
薄膜電極を系統内に設置し、連続監視を可能とした
主に起動・停止時の過渡変化時に使用する

3 分析方法 溶存ガス(溶存水素、放射性希ガス)

ガスクロマトグラフ分析装置

溶存水素の手分析と称し、精密分析時に使用

ガスクロマトにて
水素濃度分析
Ge測定装置にて
放射能測定



注記 ☒ はバルブを示す。

3 分析方法 ガス(酸素、水素、窒素)

ガスクロマトグラフ分析装置

専用のガス捕集管に採取したガスをシリンジにて抜き出しガスクロにて分析する
日常監視に使用する例が多い

自動ガス分析装置

各種タンクの気相部についてガス濃度を連続監視
プラント起動時のO₂スカベンジング(脱酸素操作)や
水素添加時において連続監視目的で使用
主に体積制御タンク気相部のガス濃度を監視

4 まとめ

PWRの1次系においては、プラント材料の健全性保持のため、各種水質監視を実施している。

分析方法としては、一部自動化されているものがあるものの、大部分が手分析によるものであり、分析員の技術に頼る面が大きい。

分析負荷、廃液発生量共に軽微な分析も多く、全てを自動化するニーズは無い。

自動化に際しては、現場分析員の意見を広く取り入れ、ニーズの高いものを抽出して進める必要がある。