



日本原子力学会 三部会合同夏期セミナー

水化学部会の概要

2021年8月10日

水化学部会
部会長
渡邊 豊

アウトライン

□ 水化学部会とは

- 設置趣旨など
- 規模と体制

□ 水化学部会の主な活動の紹介

- 定例的活動(定例研究会、国際会議など)
- 水化学ロードマップ(改定@2020年)
- 水化学ハンドブック(新版発刊予定@2022年)
- 水化学標準(標準委員会の活動として、水化学部会員が多数参加)

水化学部会

設立：2007年6月（初代部会長：内田俊介(JAEA)）

前身：6期にわたる水化学関連の研究専門委員会（1982年～2007年）

第1表 原子力学会の水化学関連研究専門委員会の活動経緯

研究専門委員会 (設置期間)	主査 (委員数)	主たる成果
1期 水化学 (1982～86)	石樽顕吉 (50)	原子炉の水化学('87)
2期 高温水化学 (1987～91)	石樽顕吉 (60)	原子力発電プラントの水 化学管理と基盤技術('91)
3期 原子炉水化学 (1991～95)	石樽顕吉 (70)	原子力発電プラントの水 化学の実績と将来展望 ('95)
4期 水化学高度化 (1995～99)	石樽顕吉 (100)	「原子炉水化学ハンド ブック」コロナ社(2000)
5期 水化学最適化 (1999～03)	石樽顕吉 (140)	原子力発電プラントの水 化学最適化の実績と将来 展望('03)
6期 水化学標準 (2003～07)	乙葉啓一 (100)	水化学ロードマップ ('07)

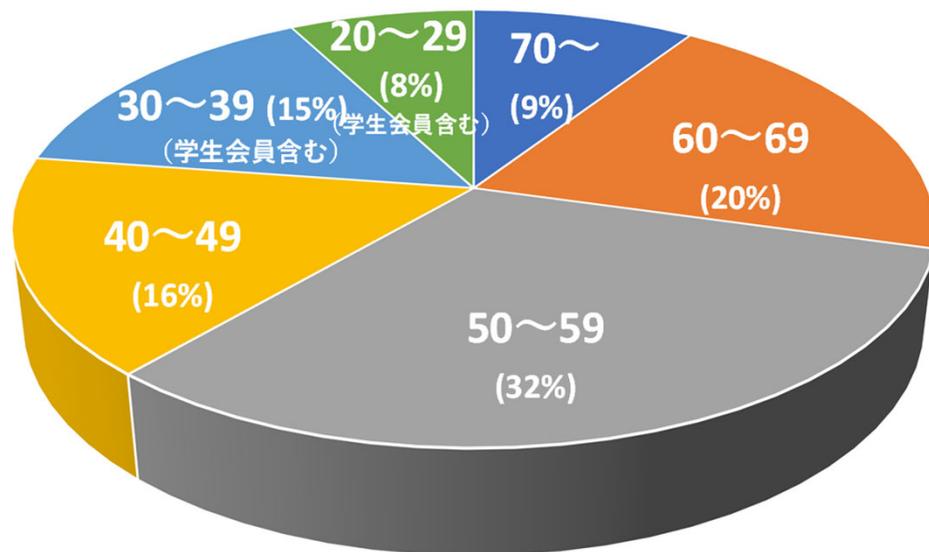
出典：日本原子力学会「水化学」部会(内田俊介, 他), 「原子力発電プラントにおける水化学の課題への取組みー水化学部会ゼロ歳の抱負」, 日本原子力学会誌, Vol.50, No.8 pp.30-34(2008).

水化学部会設置趣旨(設立趣意書から抜粋)

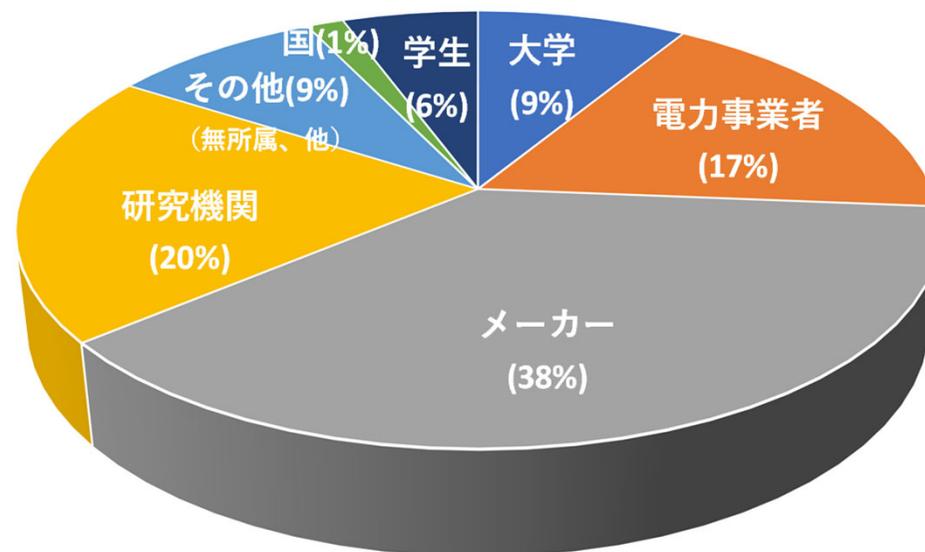
- ◆ 水化学技術は、構造材料・燃料の腐食損傷を環境面から予防する、腐食生成物の移行・放射化を制御して被ばく線量や放射性廃棄物を低減する、等を通じて原子力プラントの安全性と経済性向上ならびに社会的受容性の向上に貢献する役割がある。
- ◆ 軽水炉では、利用高度化、高経年化対応に貢献する視点から、水化学技術を一層高度化する。また、次世代軽水炉および高速増殖炉を含む新型炉、ならびに、使用済み燃料の貯蔵・保管、再処理設備などにおける安全性確保や高度化に貢献する。
- ◆ 新しい水化学技術の開発と適用、基盤整備と標準化、知的資産の共有化、基礎研究の育成・支援、人材育成と技術伝承、を推進する。
- ◆ 燃料・構造材料など関連する分野・部会との間、ならびに、国際間の協力と連携に取り組み、軽水炉の安全性・経済性を更に総合的に向上する。
- ◆ これらの活動に継続して取り組むため、中長期的視点に立って活動可能な連続性のある体制を構築することが必要である、との認識に立ち、水化学部会を設置する。

水化学部会の部会員構成

水化学部会会員数：194名（うち、学生会員11名） ※2021年7月現在
部会員の所属：大学、電力事業者、メーカー、研究機関、国、その他



部会員の年齢構成



部会員の所属

水化学部会の体制

- 部会運営で核となる業務には責任者を選任
- 個別運営業務はワーキンググループ体制とし、必要に応じてワーキンググループを設置、または廃止することで課題に対してフレキシブルに対応

運営小委員会委員 (敬称略)

部会長	渡邊 豊【東北大学】
副部会長	高木 純一【東芝エネルギーシステムズ】
	久宗 健志【世界原子力発電事業者協会】
庶務委員	(責任者) 杉野 亘【日本原子力発電】
企画担当委員	(責任者) 河村 浩孝【電力中央研究所】
広報・編集担当委員	(責任者) 大橋 伸一【オルガノ】
財務担当委員	(責任者) 伊藤 剛【日立製作所】
委員	阿部 博志【東北大学】
	長瀬 誠【日立GENE】
	塙 悟史【日本原子力研究開発機構】
	藤原 和俊【電力中央研究所】
	宮澤 晃【東京電力ホールディングス】
	室屋 裕佐【大阪大学】
	山下 真一【東京大学】
	山本 誠二【東芝エネルギーシステムズ】
監事	荘田 泰彦【三菱重工業】
顧問	勝村 庸介【東京大学名誉教授】

委員が分担

ワーキンググループ

定例研究会WG	2名
ホームページ管理WG	3名
原子炉水化学ハンドブック改訂WG	16名
AWC2022WG	11名
リモート化推進WG	4名
サマーセミナーWG	2022年夏頃 設置予定

※各WGでは、オブザーバーとして積極的に活動に協力いただける若手のメンバー(水化学部会員)を募集中

水化学部会の定常活動(最近10年間)

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
水化学国際会議 ラジオリスWS	仏(9/24-28) ▼		札幌(10/26-31) ▼		英(10/2-7) ▼		米(9/9-14) ▼		仏(9/27-10/2) ▼	仏(9/27-10/2) ▼
アジア水化学 シンポジウム		台湾(10/14-17) ▼		インド(9/2-4) ▼		中国(9/26-28) ▼		韓国(9/24-27) ▼		仙台(10/19-22) ▼
原子力学会 企画セッション 部会総会	広島大学 ▼ SG長期信頼性	八戸工業大学 ▼	京都大学 ▼	静岡大学 ▼ 電子線加速器	久留米シテイ ▼ 1F廃止措置	北海道大学 ▼ 1F廃止措置	岡山大学 ▼	富山大学 ▼ 水化学ロードマップ	九州大学 ▼	北海道大学 ▼
	近畿大学 ▼	東京都市大学 ▼ 事故時のソー スターム評価	茨城大学 ▼ 汚染滞留水 処理	東北大学 ▼ FP学動&ソー スターム解析	東海大学 ▼	大阪大学 ▼	茨城大学 ▼	福島大学 ▼	オンライン ▼ 福島廃炉への 水化学	神戸大 ▼
サマー・セミナー 夏期見学会	日立GENE+中国電力 ▼ 三部会合同夏季セミナー @松江(7/11-13)				MHI+九州電力 ▼ 第七回薩摩川内 (7/13-15)		東芝+中部電力 ▼ 三部会合同夏季セミナー @掛川(8/6-8)		日立GENE+東京電力 ▼ 第八回いわき (8/3-5)	三部会合同夏季セミナー(8月) ▼ (核燃料部会主催)
定例研究会	日本原電 ▼ 標準	MHI ▼ スケール付着抑制	電中研 ▼ 最新分析技術	オルガノ ▼ 除染・廃炉技術	東芝 ▼ 1F関連	JAEA ▼ SWIS	電中研 ▼ FAC	日立GENE ▼ ラジオリス	東芝 ▼	Web ▼ PWR二次系
	北海道電力 ▼ 被ばく低減	九州電力 ▼ 長期停止に伴う 水質管理		四国電力 ▼ 再稼働対応	関西電力 ▼ 被ばく低減	四国電力 ▼ 再稼働対応	東北電力 ▼ 被ばく低減	北陸電力 ▼ 補機冷却水系	中部電力 ▼	Web ▼
	JAEA ▼ 福島事故後の 水化学と材料	東京電力 ▼ 1F関連	電源開発 ▼ NPC2014, 標準	日立GENE ▼ 人材育成	日本原電 ▼ NPC2016, 水化学RM	東京電力 ▼ 廃炉・ 廃止措置	オルガノ ▼ 水化学の 最新動向	日本原電 ▼ PWR二次系	東芝(Web) ▼ 燃料材料と 水化学	Web ▼

- 水化学国際会議(NPC)
米国・欧州・アジアで2年に1度持ち回り開催。2014年札幌開催時は水化学部会が運営を担当。会議翌日に放射線化学と電気化学のワークショップを開催。
- アジア水化学シンポジウム
日・台・韓・中・印で2年に1度持ち回り開催。2022年は仙台で開催予定。
- 原子力学会企画セッション
- 原子力学会サマーセミナー
部会単独／三部会合同で開催
- 定例研究会
次頁で説明

定例研究会

➤ 歴史

水化学部会発足日(2007/6/25)に第1回を開催。2021/6/30に第40回開催。

➤ 目的 (設立総会資料より)

特定課題について集中的に討議する研究会を開催し、水化学部会会員間の情報交換や関連分野の研究動向を学ぶ機会を提供する。

➤ 活動内容

◆ 基調テーマを設定し、講師数名を招いて講演を行う。参加費は無料。

◆ 実施頻度

年3回(春、夏、秋)開催、午後半日を利用

◆ 開催場所: 新型コロナウイルス発生以前は、電力・研究機関・メーカーが主催する形で、会場を準備し全国各地で開催。新型コロナウイルス発生以降は、定例研究会WGとリモート化推進WGが協力し、オンラインで開催。

◆ 講演資料: 講演者の許可が得られた場合、水化学部会ホームページで公開。参加できなかった方も、情報を広く活用できるようにしている。

定例研究会開催実績（基調テーマ、主催、開催日）

基調テーマ		主催	開催日	基調テーマ		主催	開催日
第1回	我が国の高経年化対策と産官学の連携について	東京電力、 日本原電	2007/6/25	第21回	1 F 事故後の水処理に係る対応（経過報告）	東京電力	2014/3/6
第2回	試験・研究に係る基盤技術研究	三菱重工業	2007/10/26	第22回	最新分析技術	電中研	2014/6/17
第3回	被ばく線源低減	東芝	2008/3/5	第23回	水化学管理標準 + NPC2014札幌報告	電源開発	2015/3/12
第4回	水化学標準	電中研	2008/6/13	第24回	除染・廃炉技術 + 軽水炉安全技術・人材ロードマップ	オルガノ	2015/6/15
第5回	流れ加速型腐食の管理、研究、モデル、規格	JAEA	2008/10/20	第25回	長期停止後の再稼働対応	四国電力	2015/10/22
第6回	状態基準保全の支援	日本原電	2009/3/9	第26回	人材育成・情報整備	日立GENE	2016/3/1
第7回	燃料部材 - 水相互作用研究の国際的動向	三菱マテ	2009/6/16	第27回	福島第一原子力発電所廃止措置の現状と今後の取り組み	東芝	2016/6/3
第8回	スケール付着抑制技術	関西電力	2009/11/25	第28回	被ばく線源低減	関西原電	2016/11/18
第9回	環境への影響	日立GENE	2010/3/9	第29回	水化学に係る深層防護 + NPC2016報告	日本原電	2017/3/1
第10回	人材育成・情報整備に係る産業界の取り組み	東京電力	2010/5/31	第30回	水と材料の相互作用（廃炉に向けた課題と取り組みの現状）	JAEA	2017/6/23
第11回	燃料漏えい管理	北陸電力	2010/10/25	第31回	プラント再稼働後の水化学	中国電力	2017/10/13
第12回	材料健全性	電中研	2011/3/7	第32回	原子力発電所の廃炉 / 廃止措置に関する廃棄物と水化学の関わり	東京電力	2018/3/20
第13回	計測技術	電源開発	2011/6/28	第33回	流れ加速型腐食に関する研究の動向と関連研究設備の見学	電中研	2018/6/19
第14回	水処理技術	中部電力	2011/10/18	第34回	被ばく線源低減の取り組み	東北電力	2018/10/5
第15回	1 F 事故後の水処理に係る対応	東芝	2012/3/7	第35回	水化学の最新動向	オルガノ	2019/3/8
第16回	水化学管理標準	日本原電	2012/6/1	第36回	ラジオリシス	日立GENE	2019/7/9
第17回	被ばく線源低減	北海道電力	2012/10/22	第37回	補機冷却水系の水化学と最新計測技術	北陸電力	2019/11/14
第18回	1 F の廃炉に向けた取り組み	JAEA	2013/3/8	第38回	PWR二次系（開催中止）	日本原電	2020/3/6
第19回	スケール付着問題とその対応	三菱重工業	2013/6/27	第39回	燃料材料と水化学	WG	2021/3/12
第20回	長期停止に伴う水質管理	九州電力	2013/10/29	第40回	PWR二次系	WG	2021/6/30

- プラントの水化学の他、燃料、材料など、幅広いテーマも取り上げています。
- 震災以降は、汚染水処理や廃炉に関するテーマも取り上げています。

『水』の特異性

— 便利に利用できるが注意も必要 —

➤ 中性子減速と遮蔽

➤ 熱に関する物性

比熱容量@18°C (kJ/kg·K)

水	4.2
エタノール	2.4
ベンジン	1.7
水銀	0.14
鉄	0.44

蒸発熱@1気圧下沸点 (kJ/kg·K)

水	100°C	2,250
エタノール	80.3°C	393
エーテル	34.5°C	327
水銀	357°C	285

沸点@1気圧

	分子量	沸点(°C)
水(H ₂ O)	18.0	100
硫化水素(H ₂ S)	34.1	-60.7
セラン(H ₂ Se)	81.0	-41.3
メタン(CH ₄)	16.0	-164
シラン(SiH ₄)	32.1	-112

熱搬送

➤ 溶解力(多様な物質が水溶する)

気体 有機物 無機物

⇒ 純度の本当に高い水を作り維持するのは結構大変

超純水 = Hungry water(食欲旺盛)

物質輸送 + 電荷移動(電気化学反応)

⇒ 腐食

クラッド付着

廃棄物発生

FP移動

地下水シナリオ

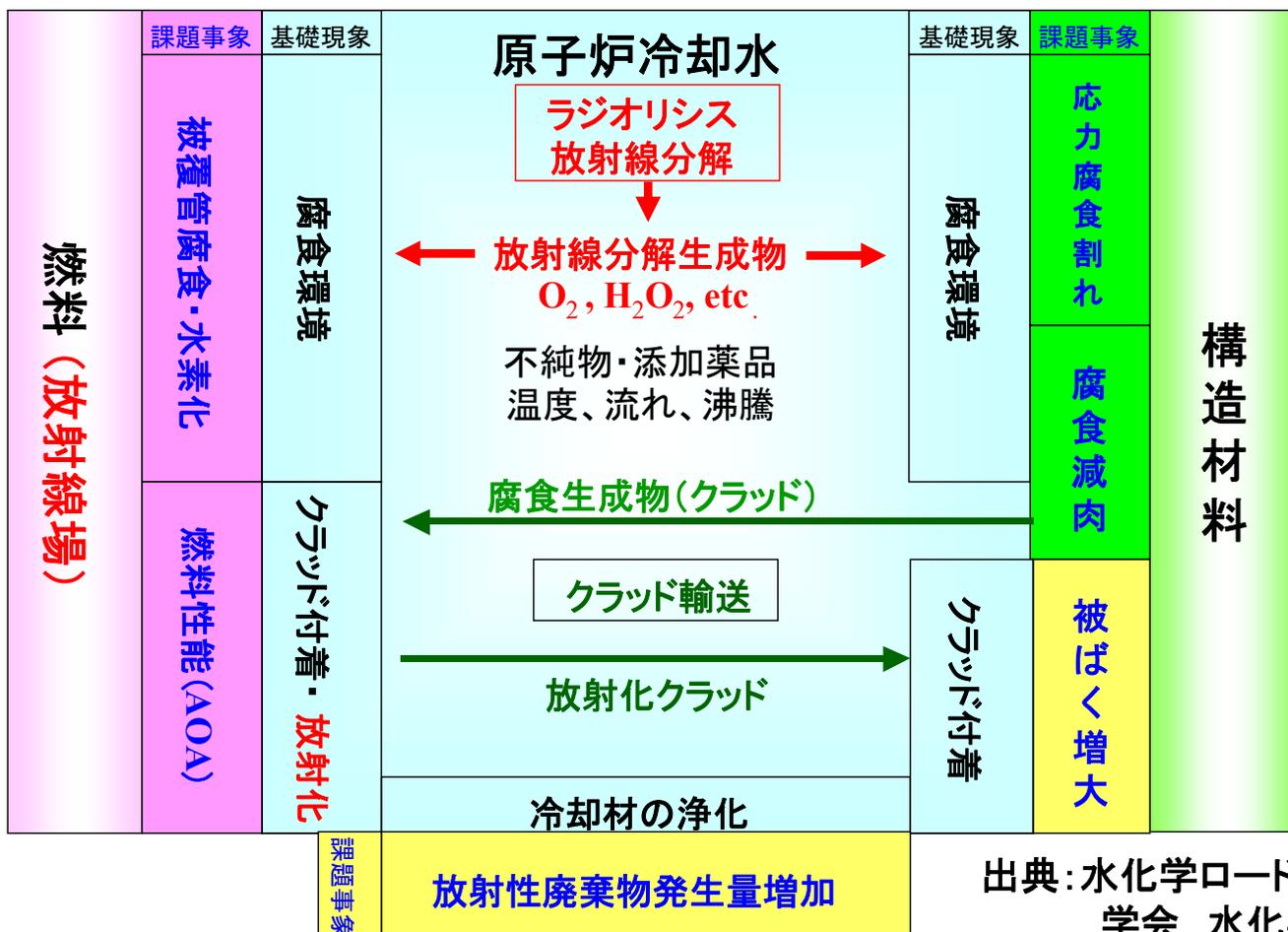
— 『水』の性質は水分子の極性と水素結合に基づく —

水化学ロードマップ2020

水化学管理の主目的 (水化学の諸課題とそれらの相互関係)

- 作業従事者の被ばく低減 (被ばく線源強度低減)
- 構造材料および燃料の健全性維持
- 廃棄物低減

これらを高い
レベルで同時達成
↓
より良い水化学



経済性と廃棄物発生量についても考慮する必要があり、俯瞰的に水化学の影響を判断し、管理条件を最適化することが事業者に求められる

出典: 水化学ロードマップ2009, 日本原子力学会 水化学部会 (2009).

水化学ロードマップフォローアップ検討WG

◆水化学部会内に設置

✓ 主査: 渡邊豊部会長(東北大学)

✓ 幹事: 河村浩孝(電中研)

✓ 委員:

・大学: 内田俊介(JAEA), 阿部博志(東北大学), 室屋裕佐(大阪大学)

・電力: 箭内健司(東京電力), 赤峰浩司(関西電力), 稲垣博光(中部電力),
小野昇一(元東京電力), 杉野亘(日本原電)

・メーカー: 高木純一, 山本誠二(東芝), 長瀬誠(日立GE), 荘田泰彦(三菱重工)

・研究機関: 寺地巧(INSS), 佐藤智徳(JAEA), 藤原和俊(電中研)

✓ 元委員: 宮澤晃(東京電力), 久宗健志(WANO、元原電)

フォローアップの概要

◆ 基本方針

- 事故未然防止のための水化学に加え，エネルギー庁の「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」と整合し，深層防護に立脚した水化学の確立

◆ 活動概要

- このため，自主的安全性向上に向けた新たな研究・技術課題を抽出
- 課題の必要性，背景，目的と達成時期，実施概要，実施体制を検討

◆ 構成

- 課題整理票，導入シナリオ，技術マップ，ロードマップ

◆ 新たな検討項目の例

- 被ばく線源低減（既設炉の廃止措置等，保管時の水化学の追加）
- 核燃料被覆管の健全性維持（ATF等の腐食対策の追加）
- 環境負荷低減，化学物質の影響低減（ N_2H_4 代替剤，水質汚濁の追加）
- 事故時対応の水化学（SA時の核分裂生成物挙動を含む）の追加
- 福島廃炉推進対応の水化学の追加

水化学に係る深層防護

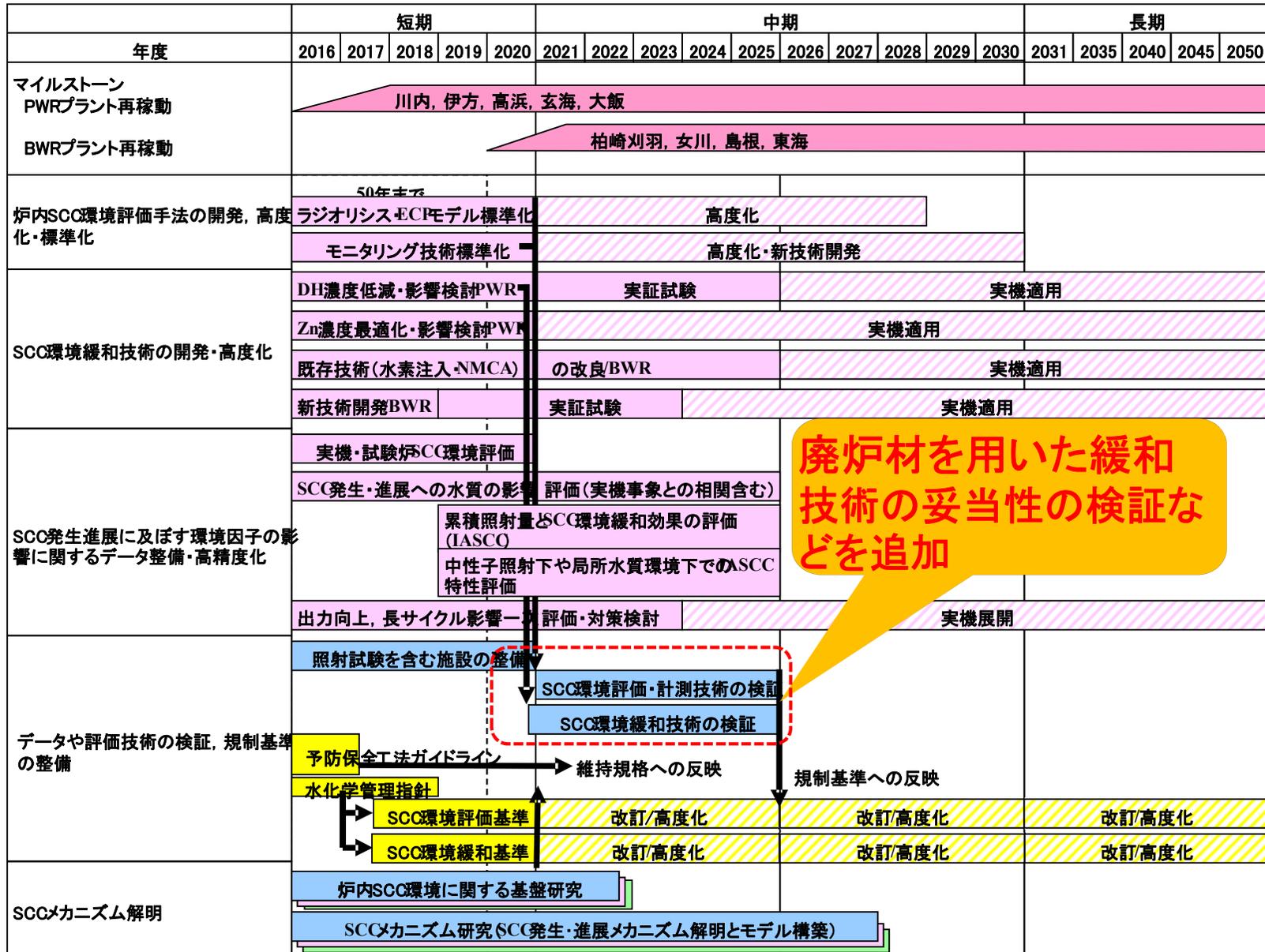
深層防護	レベル1	レベル2	レベル3		レベル4		レベル5
日本原子力学会における定義	異常・故障の発生防止	異常・故障の事故への拡大防止	事故の影響緩和		設計基準を越す事故への施設内対策		防災（核燃料RMでは地震時）
			Non LOCA	LOCA	SA前	SA後	1Fの廃止措置
	異常や故障等のトラブル発生防止のため、実証された技術に基づいて十分裕度のある設計を行うこと	トラブル発生時に直ちに検知、対応すること	事故に備え、その影響を緩和すること 設計基準事象に基づいて準備すること		シビアアクシデントを防止するための対策		—
水化学の安全目標	異常・事故の未然防止	異常・事故の早期検知	炉心損傷防止 溶解前のペレットのFP放出挙動の把握	冷却性能維持 FP放出抑制 溶解後のペレットのFP放出挙動の把握	公衆被ばく低減 事故後のFP挙動把握 炉心損傷防止	冷却性能維持 ペレット、燃料デブリからのFP放出抑制	—
水化学に求められる防止対策	構造材料の経年劣化の抑制と管理を目的とし、実証された技術や知見に基づいて十分な裕度を考慮した水化学管理、品質管理等に基づいた保守管理を行うこと	機器・配管等の腐食に起因した冷却材の漏えい等の機能喪失が起きた場合、直ちに検知し、冷却材の漏えいによる環境放出等の拡大を防ぐことを目的とした対策を講じること	環境への放射線放出を抑制し、環境への影響を緩和すること		設計基準を越すような事故状態に備え、SAを防止するための対策およびSAに至った後の影響を緩和するための対策を講じること		水化学の寄与は小さい

水化学の諸課題とそれらの相互関係

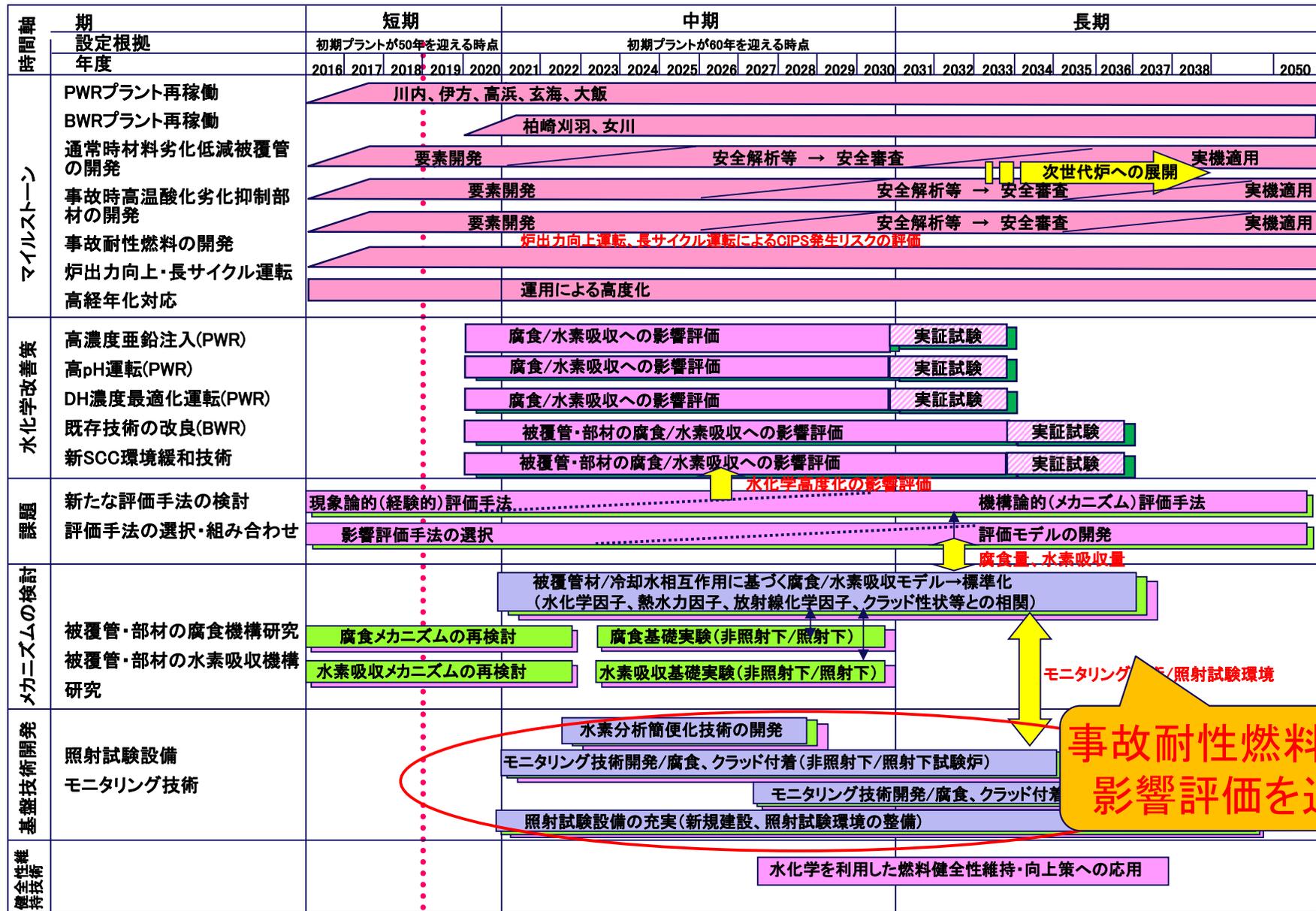
水化学による原子力発電プラントの安全性・信頼性維持への貢献

①構造材料の高信頼化		②燃料の高信頼化		③被ばく線源低減	④環境負荷低減
応力腐食割れ (SCC)の抑制 ・環境計測手法・評価手法の検証・標準化 ・環境緩和技術の開発 ・環境因子の影響に関するデータ整備 ・データや評価技術の検証、規制基準の整備 ・SCCメカニズム解明	配管減肉環境緩和 ・配管減肉環境緩和技術の開発・標準化 ・配管減肉予測評価手法の構築・標準化 ・規格・基準の整備	被覆管・部材の腐食/水素吸収対策 ・被覆管・部材の腐食/水素吸収メカニズム解明 ・被覆管・部材の腐食/水素吸収対策技術開発 ・データや評価技術検証 ・被覆管・部材の健全性評価に係る規格基準の策定	燃料性能維持 (CIPS対策) ・CIPS発生メカニズムの解明 ・CIPS抑制策の開発 ・データや評価技術の検証 ・CIPSに係る規格基準の策定	被ばく線源低減 ・既存線源低減技術の高度化 (高Li運用, 濃縮B-10運用, 除染法, 亜鉛注入など) ・革新的線源技術の開発 (被ばく線源生成メカニズム解明に基づく革新的技術の開発)	環境負荷低減 ・浄化脱塩塔, フィルタの運用最適化 (高交換容量, 耐酸化性イオン交換樹脂の開発等) ・環境への放出低減 (ヒドラジンの使用量低減・代替材適用, 2次側化学洗浄廃液の処理)
PWR 蒸気発生器 長期信頼性確保 ・メカニズムの解明 ・SGクレビスの環境評価, 酸性環境緩和等 ・SGへの鉄持込み抑制, スケール付着影響緩和・抑制評価等 ・新技術の開発, 適用性評価, 導入	状態基準保全の支援 ・環境モニタリング技術の高度化 ・実機材劣化評価手法 ・状態基準保全手法	⑥事故時対応の水化学			
		事故時に水化学が関与する事象とその対策 ・水素蓄積防止技術の最適化・高度化 ・FP 挙動の解明と解析コードの高度化 ・pH 制御技術の開発・高度化 ・フィルタベントシステムの開発・高度化 ・SA 対策設備の保守・管理方法の確立	事故炉の廃炉推進対応の水化学 ・汚染水処理対策と二次廃棄物処理 (放射能除去メディアの開発等) ・燃料デブリ取出し時水処理対策 (取出し時の水質環境評価等) ・水素発生量評価 (ラジオリシスによる水素発生挙動の評価等) ・材料健全性評価 (海水注入時の材料健全性評価等) ・被ばく低減対策 (核種移行挙動解析評価等)		
⑤共通基盤技術 (深層防護の考え方(自主的安全性向上)の反映)					
水化学, 腐食に関わる共通基礎技術 ・腐食環境評価技術(プラント全体および局所的な腐食環境の定量化) ・腐食メカニズム(腐食・溶出・酸化物形成のメカニズム, 放射線照射の効果) ・酸化物およびイオン種の付着/脱離メカニズム ・実験技術(実機条件の模擬, 複数の腐食影響因子の再現, 加速実験法)		核分裂生成物挙動に関する共通基礎技術 ・事故時のFP 挙動の解明 ・1F事故時のFP 挙動の実態解明 ・事故時FP 挙動解析コードの整備と標準化 ・アクシデントマネージメントへの対応		人・情報の整備 ・研究基盤の確保 ・技術情報基盤の整備と技術伝承 ・水化学関連の規格・基準化, 標準化 ・国際協力の推進	

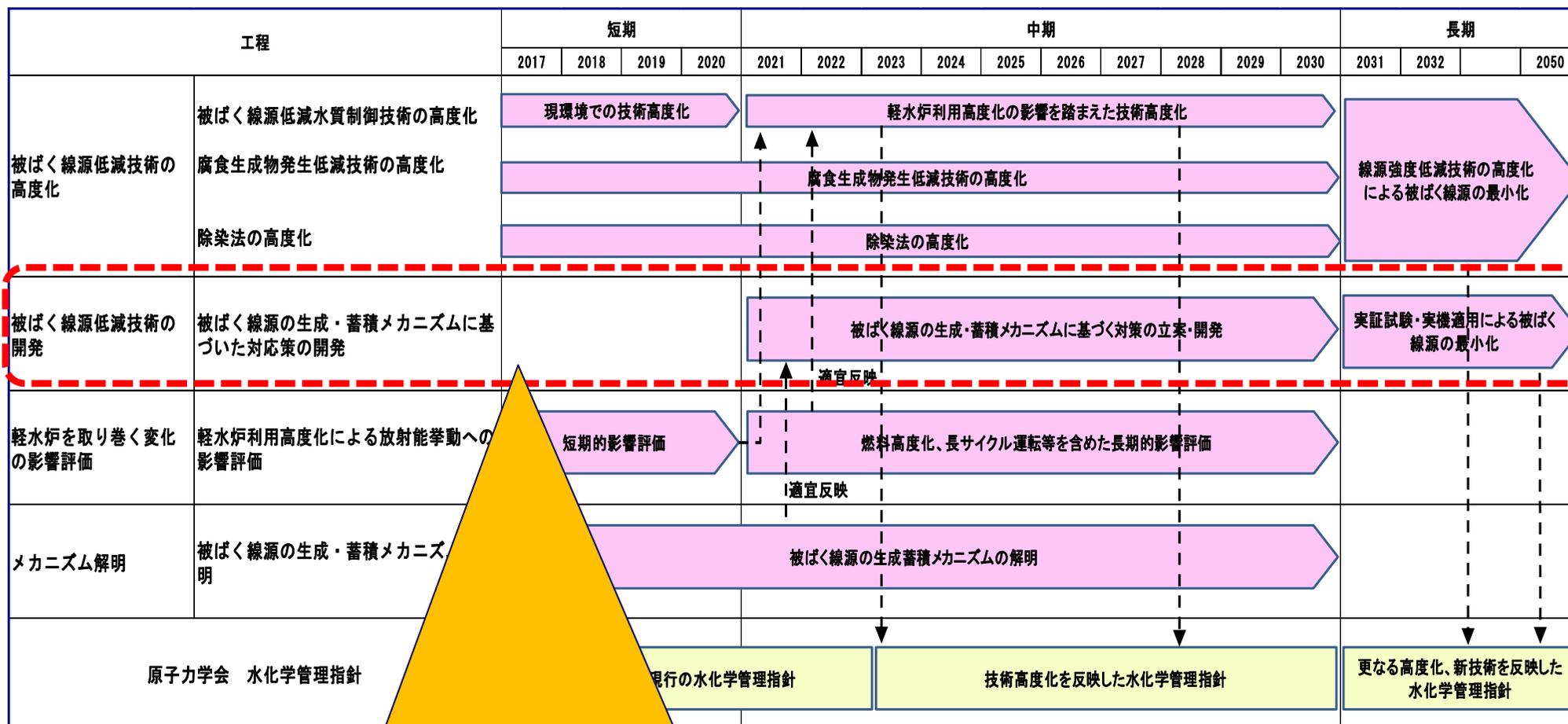
応力腐食割れ (SCC) のロードマップ



被覆管・部材の腐食・水素吸収対策のロードマップ



被ばく線源低減のロードマップ



- ・亜鉛注入プラントの材料表面観察による線源低減機構の検討
 - ・分散剤添加による線源除去技術の開発
- を追加

環境負荷低減のロードマップ

年度	短期				中期										長期					
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	50	
PWR1次系浄化脱塩塔、フィルタの運用の最適化	クラッド濃度、粒径等の把握				高交換容量イオン交換樹脂の開発と実機適用 + フィルタメッシュ選定の更なる最適化と実機適用試験						実機展開									
PWR1次系浄化耐酸化性イオン交換樹脂の適用	DF,TOC,SO4等の把握				高交換容量イオン交換樹脂との比較実機適用試験						実機展開									
BWRのCUW・FPC系ろ過脱塩器樹脂の交換頻度の延長	クラッド濃度、粒径等の把握				高交換容量イオン交換樹脂の開発と実機適用, 更なる最適化と実機適用試験						実機展開									
BWR耐酸化性樹脂および高浄化性能樹脂の開発	DF,TOC,SO4等の把握				耐酸化性樹脂, ならびに高交換容量イオン交換樹脂の開発と実機適用試験						実機展開									
ヒドラジン代替剤の実機適用性評価	代替剤調査・海外関連事例調査										高温・高圧水環境下での長期試験									
PWRアミン系水処理廃液の低減と処理技術の向上	アミン使用量低減のための高温・高圧水環境下での長期試験										高度脱窒処理手法の開発									
PWR蒸気発生器化学洗浄廃液処理技術の向上	蒸気発生器化学洗浄廃液処理手法の開発				実機展開															
廃棄物中の ¹⁴ C低減	¹⁴ C生成原因の特定				¹⁴ C生成抑制方策の検討と実機適用試験						実機展開									

SG化学洗浄廃液処理技術の高度化を追加

廃棄物中へのC-14移行量抑制に係る検討を追加

事故炉の廃炉推進対応の水化学

主な改訂点：

- ◆ 福島事故後の廃炉推進に向けて取り組むべき水化学の課題として、新たに、**汚染水処理対策と二次廃棄物処理，デブリ取り出し時水処理対策，水素発生量評価，材料健全性評価**について、**新規に記載**

深層防護との関連：

- ◆ これらは事故後の対応であり、深層防護の**レベル1**「水化学による信頼性の確保」，**レベル2**「異常運転や故障の防止」には**非該当**
- ◆ **設計基準を超える事故を想定**しており，**レベル3**「事故の影響緩和」に**非該当**
- ◆ 事故炉の廃止措置開始後に実施される**廃炉推進対応**の水化学対策は、直接的にSAの影響緩和につながらないものも含まれるが、広義の意味で，**レベル4**「設計基準を越す事故への施設内対策」に**該当**
- ◆ 具体的には、放射能の閉じ込め，除去，処理，処分を適切に行う必要があり，**汚染水，二次廃棄物，燃料デブリの適切な処理**を行う必要あり
- ◆ **水素発生防止，材料健全性維持**のため，**適切な対策**を行う必要あり

2020年3月に発刊

- 定例研究会，原子力学会2019秋の大会の企画セッション等を通じ，部会員，核燃料部会，材料部会および原子力安全部会の有識者からのコメントを反映
- 水化学部会HPより閲覧可能

<http://wchem.sakura.ne.jp/wcrm2020/>

原子炉水化学ハンドブックの改訂

原子炉水化学ハンドブックの改訂（1/2）

- 2000年に水化学部会から発刊した「原子炉水化学ハンドブック」は、軽水炉の水化学を学ぶ者にとってのバイブルとして長年愛読されてきた。
- 初版発刊から20年が経過しており、記載内容の更新、**1F事故の経験で得られた重要知見を追記**することとし、2018年2月に「原子炉水化学ハンドブック改訂WG」を発足。

【WG主担当委員】

主査	： 室屋 裕佐（大阪大学）
幹事	： 杉野 亘（日本原子力発電）
基礎編 分科会リーダー	： 河村 浩孝（電力中央研究所）
PWR 分科会リーダー	： 莊田 泰彦（三菱重工）
BWR 分科会リーダー	： 長瀬 誠（日立GE）

- **2022年夏頃に発刊予定**

原子炉水化学ハンドブックの改訂（2/2）

— 2022年版の内容（予定） —

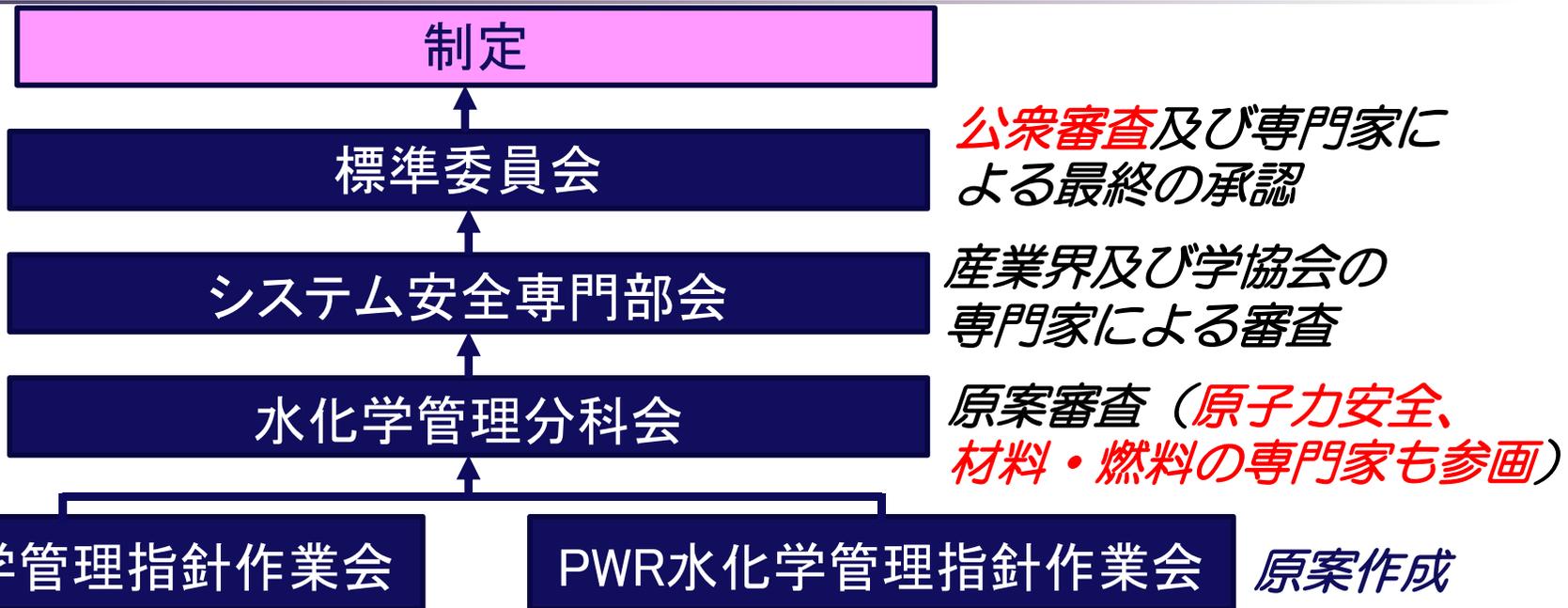
章		主な内容	備考
I.基礎編	第1章 水化学の基礎	高温水の基礎物性, 電気化学など	
	第2章 原子炉における水の役割	減速材, 冷却材, 遮蔽材など	
	第3章 原子炉材料の基礎	構造材, 燃料被覆管材の腐食など	
	第4章 核分裂生成物挙動	FPの生成, ふるまい, 燃料デブリなど	新たに追加
II.応用編	第5章 原子力発電プラントの概要	我が国の軽水炉の変遷, 冷却システムなど	
	第6章 PWR一次冷却系の水化学管理	材料, 燃料健全性確保, 化学分析など	
	第7章 PWR二次冷却系の水化学管理	材料健全性確保, 化学分析など	
	第8章 BWR一次冷却系の水化学管理	材料, 燃料健全性確保, 化学分析など	
	第9章 その他炉型での水化学管理	VVER, CANDU, FBRなどの化学管理概要	
	第10章 除染	除染の目的, 実績など	
	第11章 福島第一原子力発電所事故後の水化学管理	1F事故概要, 材料腐食抑制策, 汚染水対策など	新たに追加

- 最新技術を反映するとともに、1F事故で得られた知見など安全性向上に役立つ情報を網羅。
- 水化学管理に携わる者だけでなく、材料、燃料分野の技術者、研究者にも役立つ内容。

水化学管理指針の概要

(標準委員会の活動、水化学部会員が多数参加)

原案作成・審議フロー



<制定手順>

1. 原案の作成 (産学界の専門家で構成される作業会)
2. 原案の審査 (学識経験者を含めた担当分科会)
3. 案の審査 (学識経験者を含めた専門部会及び標準委員会)
4. 投票 (専門家で構成される専門部会及び標準委員会)
5. 公衆審査 (学会のHPに掲載, 公衆からの意見聴取)
6. 修正, 審議 (作業会, 分科会, 専門部会)
7. 審議, 制定 (標準委員会)

指針原案の検討メンバー（水化学管理分科会）

2019年11月時点

水化学管理分科会

主査：河村 浩孝（電力中央研究所） 2018年11月より

勝村 庸介（元東京大学） 2018年11月まで

副主査：室屋 裕佐（大阪大学） 2018年11月より

内田 俊介（元東北大学） 2018年11月まで

幹事：北島 英明（原子力安全推進協会）

委員：大橋 伸一（オルガノ株式会社）

委員：岡田 英俊（エネルギー安全技術研究所）

委員：河合 宣夫（中部電力）

委員：篠原 靖周（ニュークリア・デベロップメント）

委員：荘田 泰彦（三菱重工業）

委員：高木 純一（東芝エネルギーシステムズ）

委員：長瀬 誠（日立GEニュークリア・エナジー）

委員：埴 悟史（日本原子力研究開発機構）

委員：杉野 亘（日本原子力発電）

委員：赤峰 浩司（関西電力）

委員：飯田 圭（東京電力）

委員：宇井 淳（電力中央研究所）

委員：梅原 隆司（原子力安全推進協会）

常時参加者：

佐藤 正俊（原子力規制庁）

手塚 稔也（北海道電力株）

高橋 誠（東北電力）

片桐 峰一（東京電力HD）

石丸 洋志（北陸電力）

出来島 誠（中部電力）

佐藤 玉光（中国電力）

大鹿 浩功（四国電力）

古賀 優一（九州電力）

山田 浩巳（電源開発）

西村 孝夫（三菱重工業）

甲川 憲隆（ニュークリア・デベロップメント）

指針原案の作成メンバー（作業会）

BWR水化学管理指針作業会（2018年3月時点）

主査：平野秀朗（元電中研）2018年11月まで
副主査：碓井 直志（日立ニュークリアエナジー）
2019年6月まで
幹事：北島 英明（原子力安全推進協会）
2020年3月まで
委員：六沢 隼人（東北電力）
委員：箭内 健司（東京電力HD）
委員：河合 宣夫（中部電力）
委員：石丸 洋志（北陸電力）
委員：佐藤 玉光（中国電力）
委員：山田 浩巳（電源開発）
委員：杉野 亘（日本原子力発電）
委員：河村 浩孝（電力中央研究所）2018年11月まで
委員：浦田 英浩（東芝エネルギーシステムズ）

PWR水化学管理指針作業会（2020年3月時点）

主査：赤峰 浩司（関西電力）2018年11月以降
河村浩孝（電中研）2018年10月まで
副主査：荘田 泰彦（三菱重工業）
幹事：梅原 隆司（原子力安全推進協会）
委員：手塚 稔也（北海道電力）
委員：高須賀 仁（四国電力）
委員：古賀 優一（九州電力）
委員：杉野 亘（日本原子力発電）
委員：西村 孝夫（三菱重工業）

これまでに制定した日本原子力学会標準の例 (システム安全専門部会制定分)

担当分科会 注1)	標準名称	番号	発行日
炉心・燃料分科会	BWRにおける過渡的な沸騰遷移後の燃料健全性評価基準:2003	AESJ-SC-P002:2003	
	BWRの核熱水力安定性評価基準:2007	AESJ-SC-P007:2007	
PLM分科会	原子力発電所の高経年化対策実施基準:2015	AESJ-SC-	講習会:2021年1月14日 (Web開催)
	原子力発電所の高経年化対策実施基準:2019追補4	AESJ-SC-	
水化学管理分科会	加圧水型原子炉一次冷却材の化学分析方法—ほう素:2010	AESJ-SC-S002:2010	2010年12月8日
	加圧水型原子炉一次冷却材の化学分析方法—溶存水素:2010	AESJ-SC-S003:2010	2010年12月8日
	加圧水型原子炉一次冷却材の化学分析方法—放射性よう素:2010	AESJ-SC-S004:2010	2010年12月8日
	加圧水型原子炉一次系の水化学管理指針:2019	AESJ-SC-S008:2019	2019年11月22日
	加圧水型軽水炉二次系の水化学管理指針:2020	AESJ-SC-S013:2020	2020年11月10日
	沸騰水型原子炉の水化学管理指針:2019	AESJ-SC-S007:2019	2019年10月25日
	沸騰水型軽水炉の水化学分析方法—放射性よう素:2018	AESJ-SC-S009:2018	2019年12月26日
	沸騰水型軽水炉の水化学分析方法—金属不純物:2018	AESJ-SC-S010:2018	2019年12月26日
	沸騰水型軽水炉の水化学分析方法—コバルト60イオン:2018	AESJ-SC-S011:2018	2019年12月26日
定期安全レビュー(PSR)分科会	原子力発電所の安全性向上のための定期的な評価に関する指針:2015	AESJ-SC-	講習会:2020年8月25日 (Web開催)
統合的安全評価向上、PRA分科会	原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準:2019	AESJ-SC-S012:2019	
統計的安全評価手法標準分科会	原子力発電所におけるシビアアクシデントマネジメントの整備及び維持向上に関する実施基準:2019	AESJ-SC-S005:2019	

注1) 制定当時の名称

出典:”日本原子力学会標準委員会 発行標準一覧(2020年6月25日現在)”, 日本原子力学会標準委員会,

<http://aesj.net/hp/documents/STDLIST20200625.pdf>

制定の趣旨

- 水化学管理は、国内外の運転実績及び従来知見などを基に**事業者が独自検討し運用**しており、標準化したものはなかった。
- 近年、国外では腐食に関する試験データ及び原子力発電所の運転実績をベースにまとめたガイドライン^{(1),(2)}が発行され、過去の知見の共有とより良い水化学管理の運用が図られている。
- **国際原子力機関**から、**水化学管理の考え方に係る安全指針**が発行されている⁽³⁾。
- そこで、**現行の水化学管理の規範**となるべく水化学管理方法を日本原子力学会標準として規定することにより、**原子力安全の継続的な改善に寄与**することとした。

(1) PWR Secondary Water Chemistry Guidelines:, Revision 6, EPRI 1008224, Palo Alto, (2004).

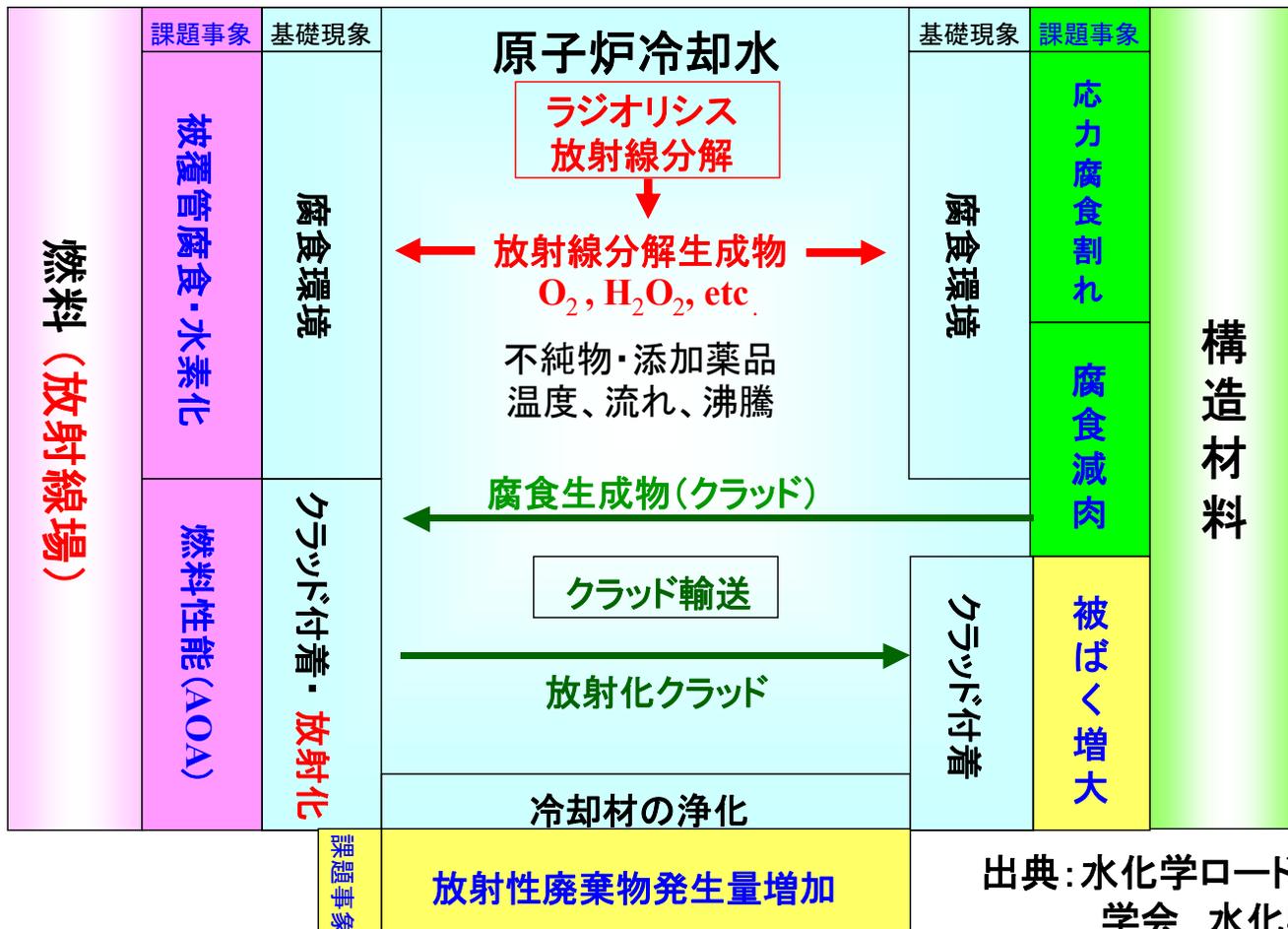
(2) H. Neder, M. Juergensen, D. Wolter et al., "VGB primary and secondary side water chemistry guidelines for PWR plants", *Proc. International Nuclear Plant Chemistry Conference, NPC2006*, Paper 1.3, (2006).

(3) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Chemistry Program for Water Cooled Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-13, IAEA, Vienna (2011).

水化学管理の主目的 (水化学の諸課題とそれらの相互関係)

- 作業従事者の被ばく低減 (被ばく線源強度低減)
- 構造材料および燃料の健全性維持
- 廃棄物低減

これらを高い
レベルで同時達成
↓
より良い水化学



経済性と廃棄物発生量についても考慮する必要があり、俯瞰的に水化学の影響を判断し、管理条件を最適化することが事業者に求められる

出典:水化学ロードマップ2009, 日本原子力学会 水化学部会 (2009).

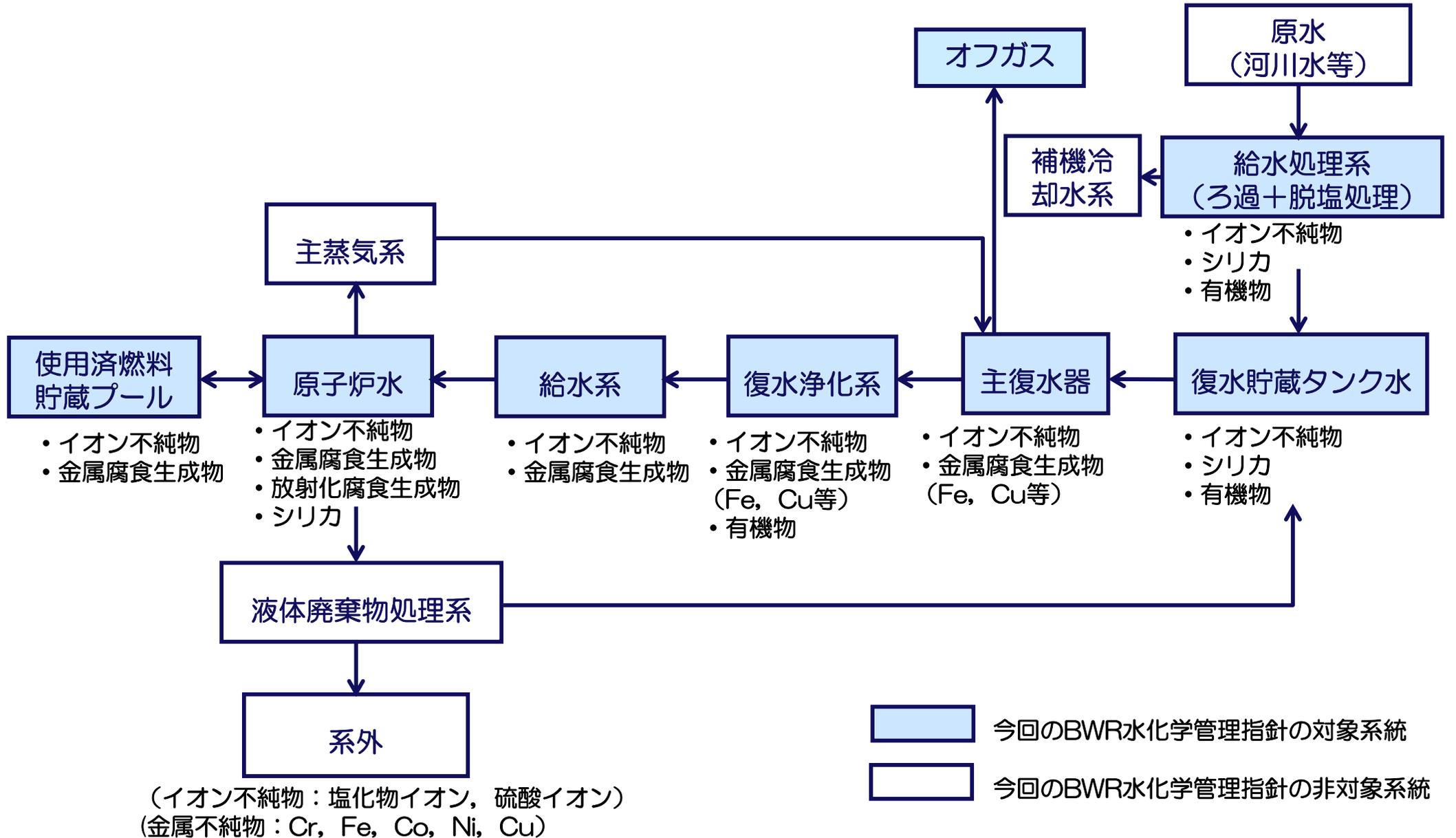
水化学管理指針の具体的検討

- 通常運転を主とし，水化学管理実績，材料・燃料分野の技術開発動向，国外動向など原子力発電所の安全性確保に係る最新知見を反映し，**管理項目，制御項目，診断項目，アクションレベル1～3，アクションレベルに至った場合の措置，制御値，推奨値の設定及び測定頻度などを設定**
- PWRでは，**薬品添加などにより適切に水質制御を実施すべき水質項目として新たに“制御項目”を導入**
- システム安全専門部会及び標準委員会での審議を受け，**さらなる安全性向上に向け，1F事故の教訓反映，新知見導入など継続的な検討を解説に追記**
- 規定の考え方，技術的根拠，国外指針との差異，今後の戦略などを**英文学術論誌^{(4),(5)}に投稿し，国外専門家のレビューを受ける**

(4) Hiroataka Kawamura, Hideo Hirano, Yousuke Katsumura, Shunsuke Uchida, Takayuki Mizuno, Hideaki Kitajima, Yasuo Tsuzuki, Takumi Terachi, Makoto Nagase, Naoshi Usui, Junichi Takagi, Hidehiro Urata, Yasuhiko Shoda, Takao Nishimura, "BWR Water Chemistry Guidelines and PWR Primary Water Chemistry Guidelines in Japan - Purpose and Technical Background -", *Journal of Nuclear Engineering and Design*, 309, 161-174, (2016).

(5) Hiroataka Kawamura, Yasuhiko Shoda, Takumi Terachi, Yousuke Katsumura, Shunsuke Uchida, Takayuki Mizuno, Yusa Muroya, Yasuo Tsuzuki, Ryuji Umehara, Hideo Hirano, Takao Nishimura, "PWR Secondary Water Chemistry Guidelines in Japan - Purpose and Technical Background -", *Journal of Progress in Nuclear Energy*, Volume 114, Pages 121-137, (2019).

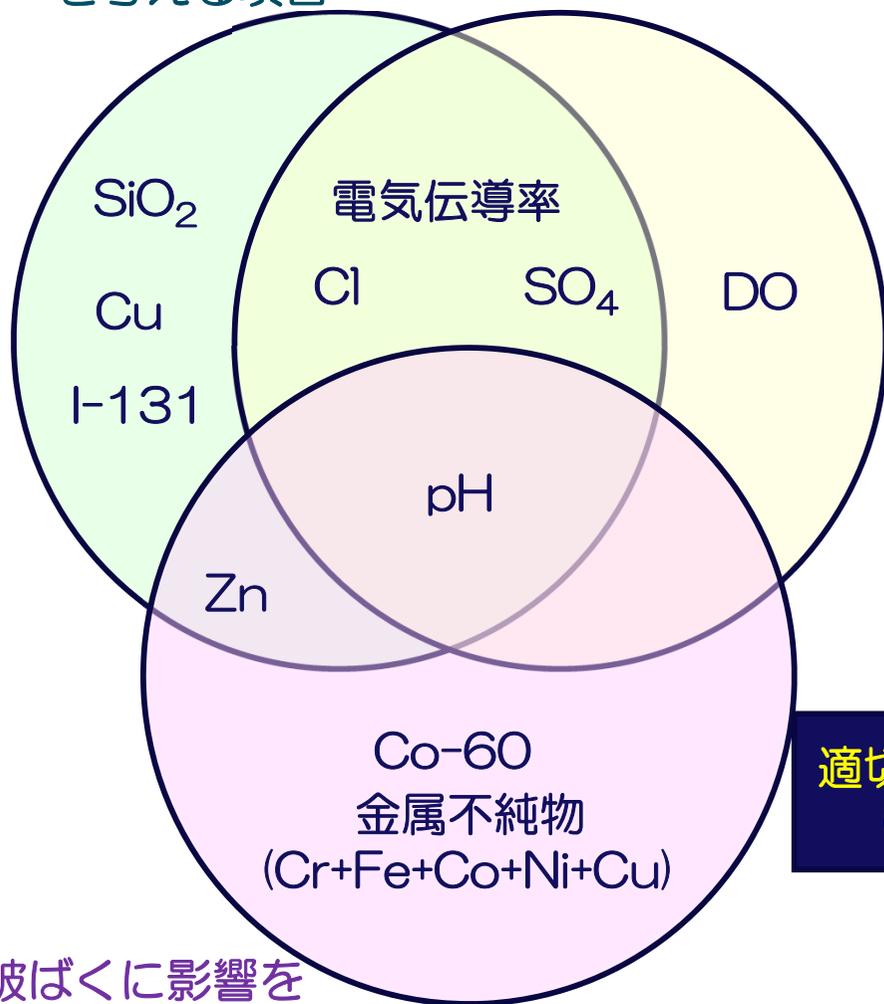
BWRにおける水処理の概要



BWRの管理項目，診断項目，制御項目の 設定の基本理念

燃料健全性に影響
を与える項目

構造材料健全性に影響
を与える項目



被ばくに影響を
与える項目

構造材料健全性及び燃料
健全性を損なうおそれの
あることが明らかになっ
ているもの

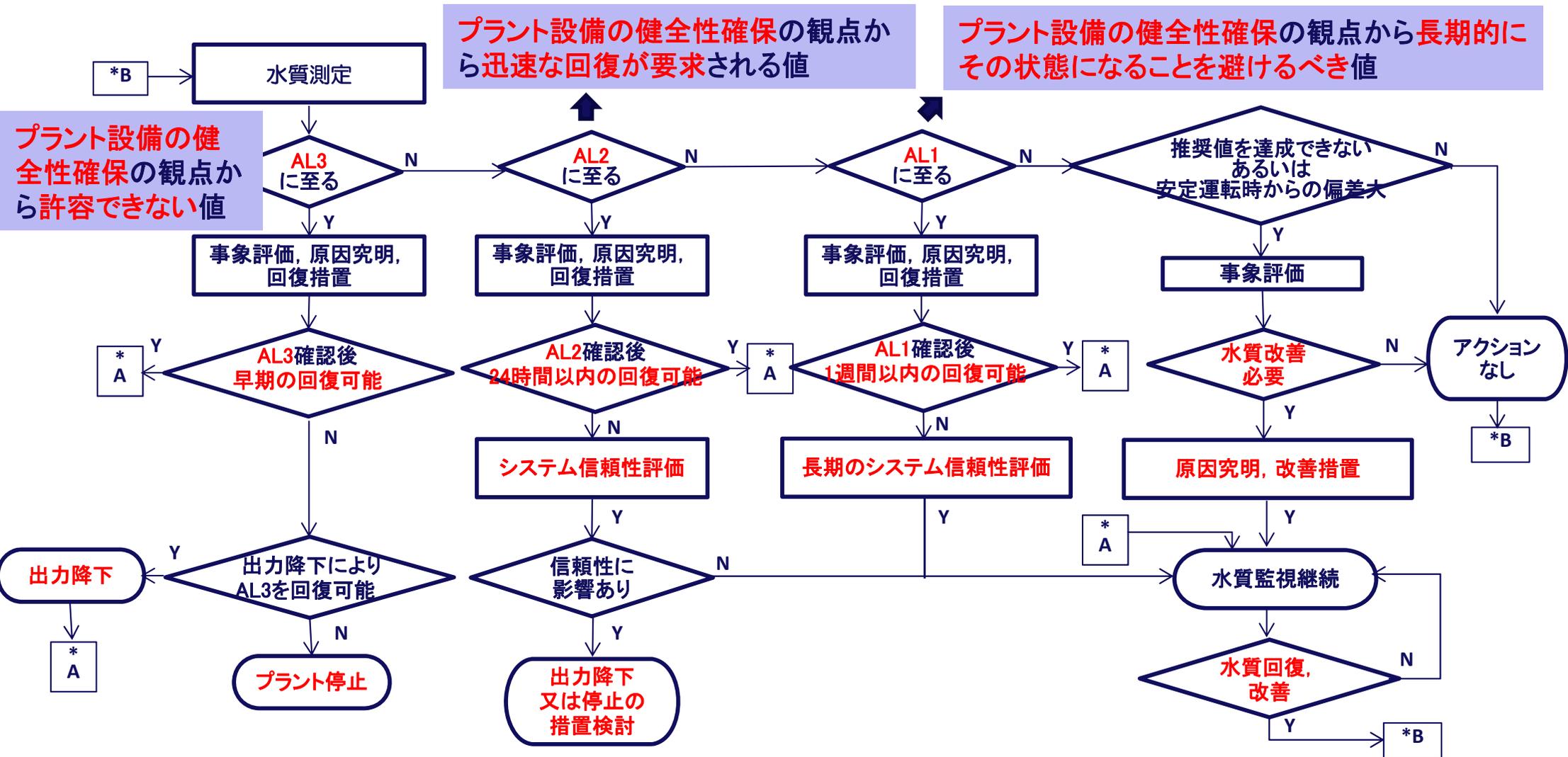


適切に制御する必要のあるもの
(管理項目との重複あり)



出典: H. Kawamura, et. al., "BWR Water Chemistry Guidelines and PWR Primary Water Chemistry Guidelines in Japan - Purpose and Technical Background -", *Journal of Nuclear Engineering and Design*, 309, 161-174, (2016).

水質データ評価方法 (PWR, BWR共通)



通常運転時の原子炉水の管理項目に対する アクションレベル，推奨値及び測定頻度(表2)

構造材のSCCの発生，進展及び孔食や隙間腐食の発生に影響を与える不純物を管理する観点から設定

国内プラントの平均値の上限を指標に設定

溶存酸素濃度 200 $\mu\text{g/L}$ においてSCC感受性が低下する濃度を指標に設定

国内プラントの平均値の累積頻度80%値を指標に設定

測定が比較的容易で，実用的な運用が可能

項目		アクションレベル			推奨値	測定頻度
名称	単位	1	2	3		
電気伝導率 (at 25 °C ^{a)})	$\mu\text{S/m}$	>20	>100	>1 000	≤ 10	連続 ^{b)}
塩化物イオン	$\mu\text{g/L}$	>5	>100	>500	≤ 1	1回/週 ^{c)}
硫酸イオン	$\mu\text{g/L}$	>5	>100	>500	≤ 2	1回/週 ^{c)}

注^{a)} 測定後に25 °Cに換算した値とする。

^{b)} 連続測定計器による連続測定値を監視する。

^{c)} 電気伝導率やpHに大きな変動が生じた場

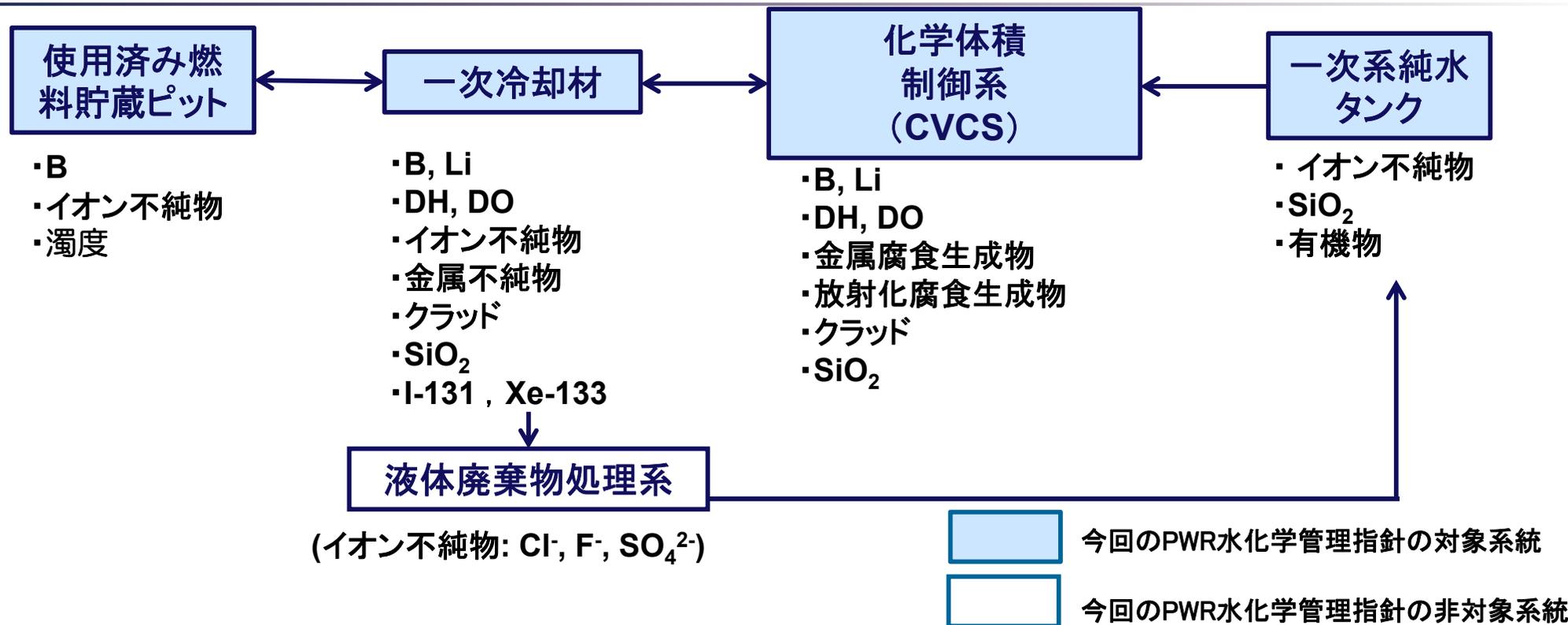
変動をモニタリングするため

更に応じて確認のための測定を実施する。

AL2はAL3の1/5と設定

硫酸イオンは塩化物イオンと同等

PWR一次系における水処理の概要と指針の対象

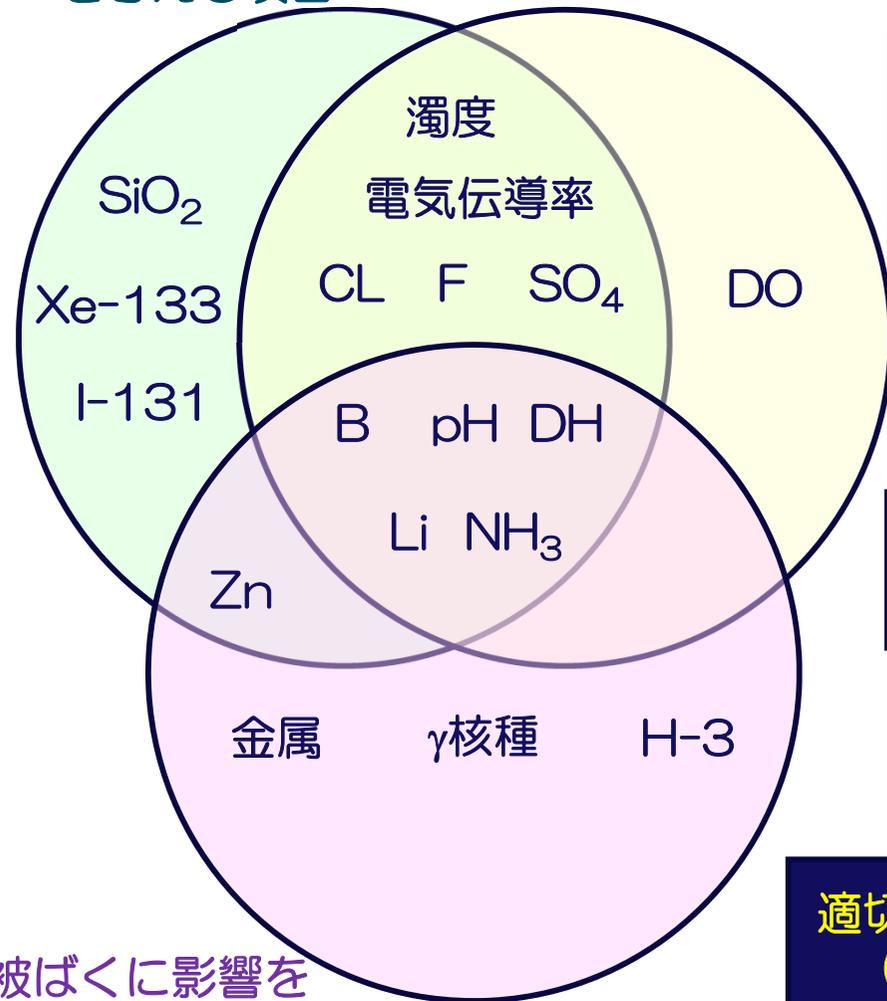


対象	通常運転	起動時	停止時	運転モードに依存しない	改良水化学適用時
原子炉一次冷却材	○	○	○		○
一次冷却補給水				○	
使用済み燃料ピット水				○	

PWR一次系の管理項目，診断項目，制御項目の 設定の基本理念

燃料健全性に影響
を与える項目

構造材料健全性に影響
を与える項目



被ばくに影響を
与える項目

構造材料健全性及び燃料
健全性を損なうおそれの
あることが明らかになっ
ているもの

状態を把握しておく必要が
あるもの

適切に制御する必要のあるもの
(管理項目との重複あり)

管理項目

- 電気伝導率
- CL F SO₄
- DO DH
- pH Li

診断項目

- SiO₂ NH₃
- Xe-133 γ核種
- I-131 H-3
- 濁度

制御項目

- B
- DH
- Li
- Zn

出典: H. Kawamura, et. al., "BWR Water Chemistry Guidelines and PWR Primary Water Chemistry Guidelines in Japan - Purpose and Technical Background -", *Journal of Nuclear Engineering and Design*, 309, 161-174, (2016).

通常運転時一原子炉一次冷却材における管理項目の アクションレベル，推奨値及び測定頻度

項目		アクションレベル			推奨値	測定頻度
名称	単位	1	2	3		
電気伝導率(at 25 °C ^{a)})	mS/m	>推定値+0.5 <推定値-0.5	>4		—	1回/日
pH	—	>推定値+0.5 <推定値-0.5 (at 25 °C ^{a)})	<4 >11 (at 25 °C ^{a)})	—	7.2~7.4 (at 285 °C ^{b)})	1回/日
塩化物イオン	µg/L	>50	>150	>1500	≤10 又はプラントごとの低い方	1回/週 ^{c)}
ふっ化物イオン	µg/L	>50	>150	>1500	≤10 又はプラントごとの低い方	1回/週 ^{c)}
硫酸イオン	µg/L	>50	>150	>1500	≤10 又はプラントごとの低い方	1回/週 ^{c)}
リチウムイオン	mg/L	<0.2 >3.5	>6	—	—	1回/週
溶存水素	cm ³ /kg	<25	<15 >50	<5	—	1回/週
溶存酸素	µg/L	>5	>100	>1000	—	1回/月

注^{a)} 不純物管理を目的とし，常温で測定する。

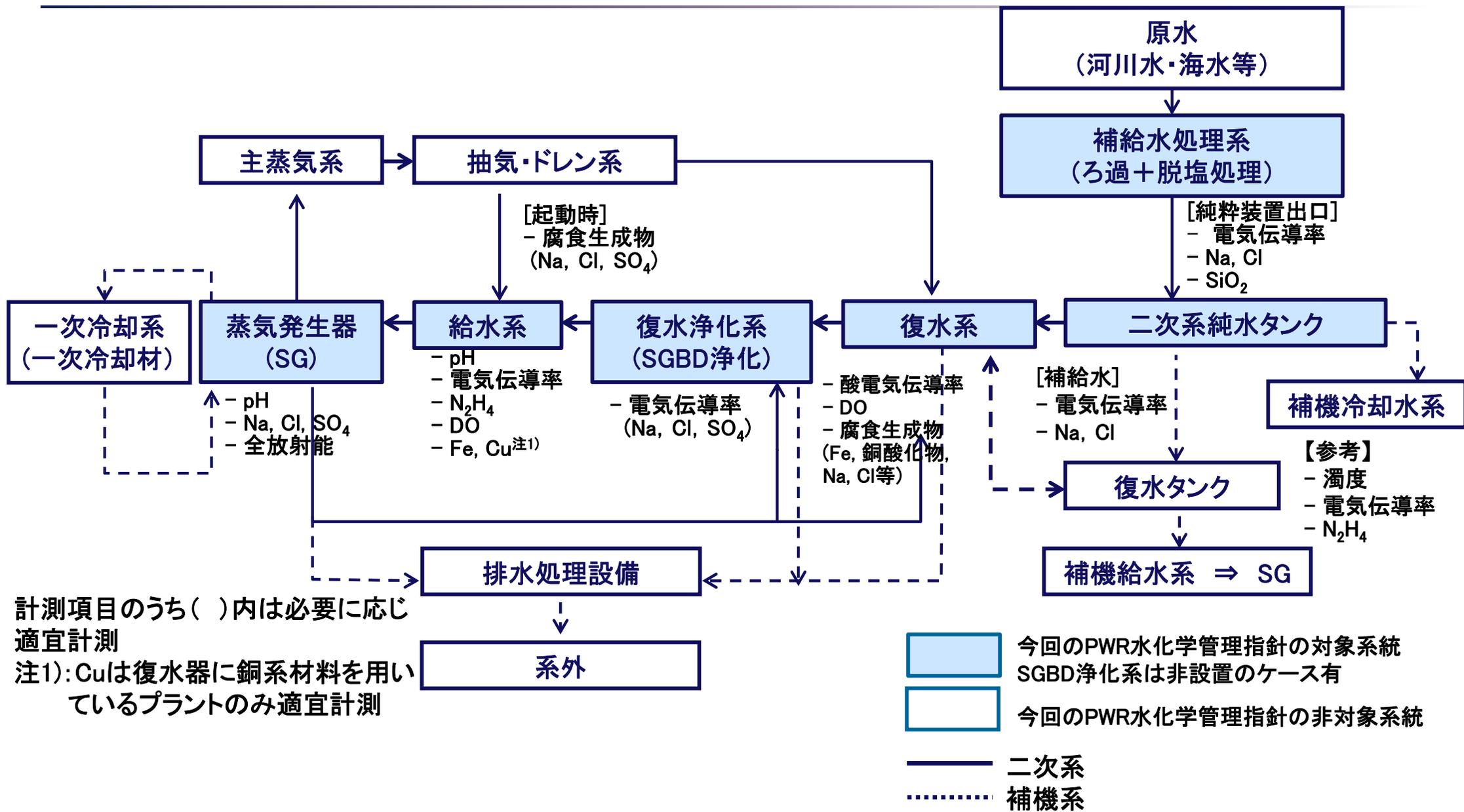
注^{b)} 被ばく低減を目的とし，ほう素，リチウム，アンモニア濃度から算出する。

注^{c)} 電気伝導率又はpHがアクションレベル1に至った場合，必要に応じて確認のための測定を実施する。

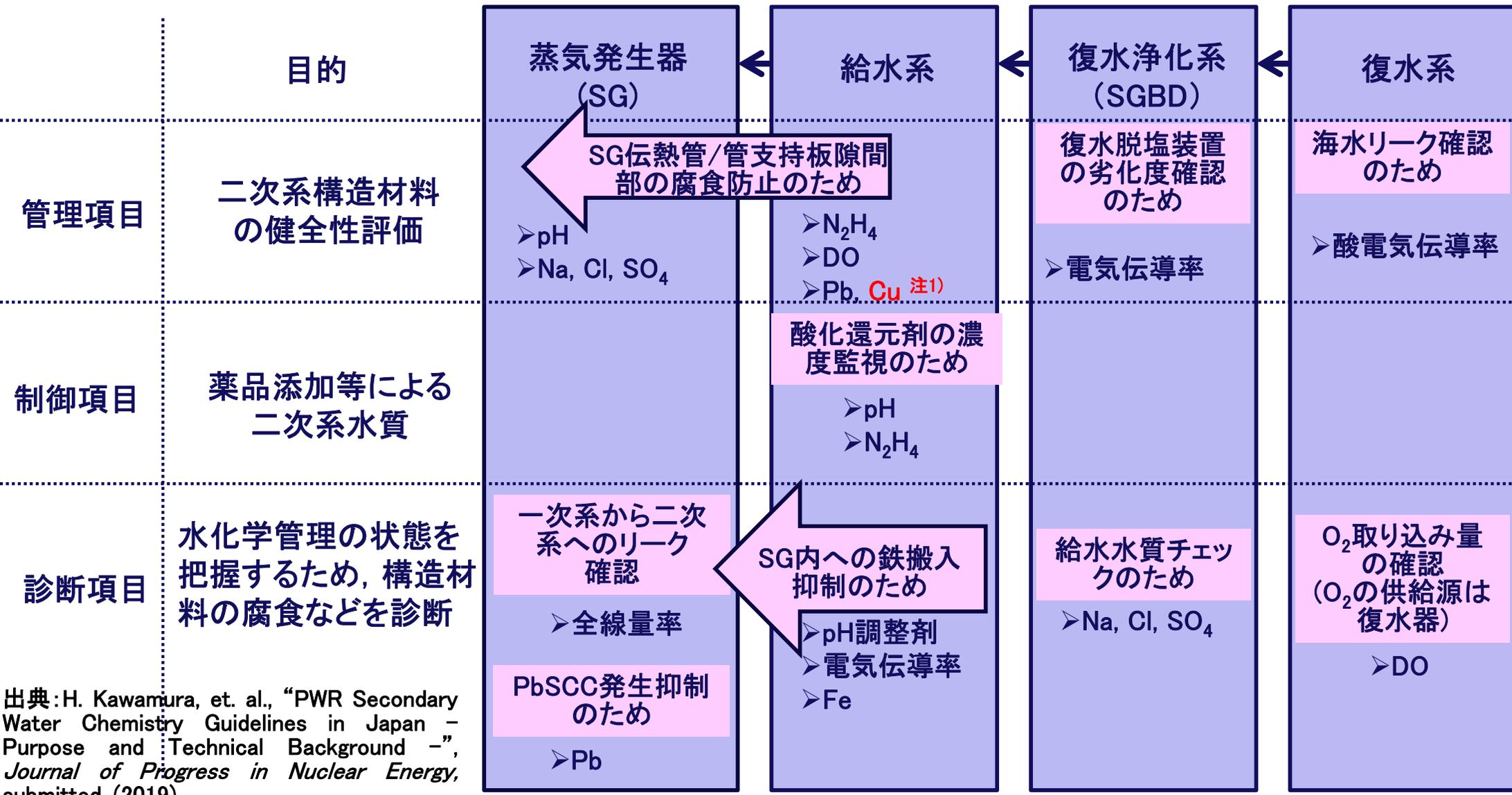
原子炉一次冷却材における管理項目のアクションレベル設定値及び測定頻度に関する国外指針との差異 (PWR指針)

項目	日本原子力学会指針			EPRI ガイドライン(rev.4)			VGB ガイドライン (WC2006)					
	アクションレベル		頻度	アクションレベル		頻度	アクションレベル					
	レベル	値		レベル	値		レベル	値				
電気伝導率 (mS/m) (at 25°C ^a)	1	想定値±0.5	D	日本原子力学会指針のコンセプト - 不純物イオンに関しては、電気伝導率とpH測定からも監視できる - 国外指針に比べ測定頻度が少ないのは、電気伝導率とpH測定である程度推測可能であるため - 不純物イオンの連続監視は重要								
	2	>4										
	3	-										
pH (at 25°C)	1	想定値±0.5	D									
	2	<4, >11										
	3	-										
塩化物イオン (μg/L)	1	>50	W	1		3/w	1	>100				
	2	>150		2	>150		2	>200				
	3	>1500		3	>1500		3	>1000				
硫酸イオン (μg/L)	1	>50	W	1		3/w						
	2	>150		2	>150							
	3	>1500		3	>1500							
硫酸イオン (μg/L)	1	>50	W	1		1/w	1	>100				
	2	>150		2	>150		2	>200				
	3	>1500		3	>1500		3	>1000				
リチウムイオン (mg/L)	1	<0.2, >3.5	W	1		3/w	1					
	2	>6		2	-		2					
	3	-		3	-		3					
溶存水素 (cm ³ /kg)	1	<25	W	1	<25, >50	3/w	1	<1.5(ppm)				
	2	<15, >50		2	<15		2	<1, >4(ppm)				
	3	<5		3	<5		3	<0.5, >5(ppm)				
溶存酸素 (μg/L)	1	>5	M	1	>5	3/w	1					
	2	>100		2			2					
	3	>1000		3	>100		3					

PWR二次系における水処理の概要



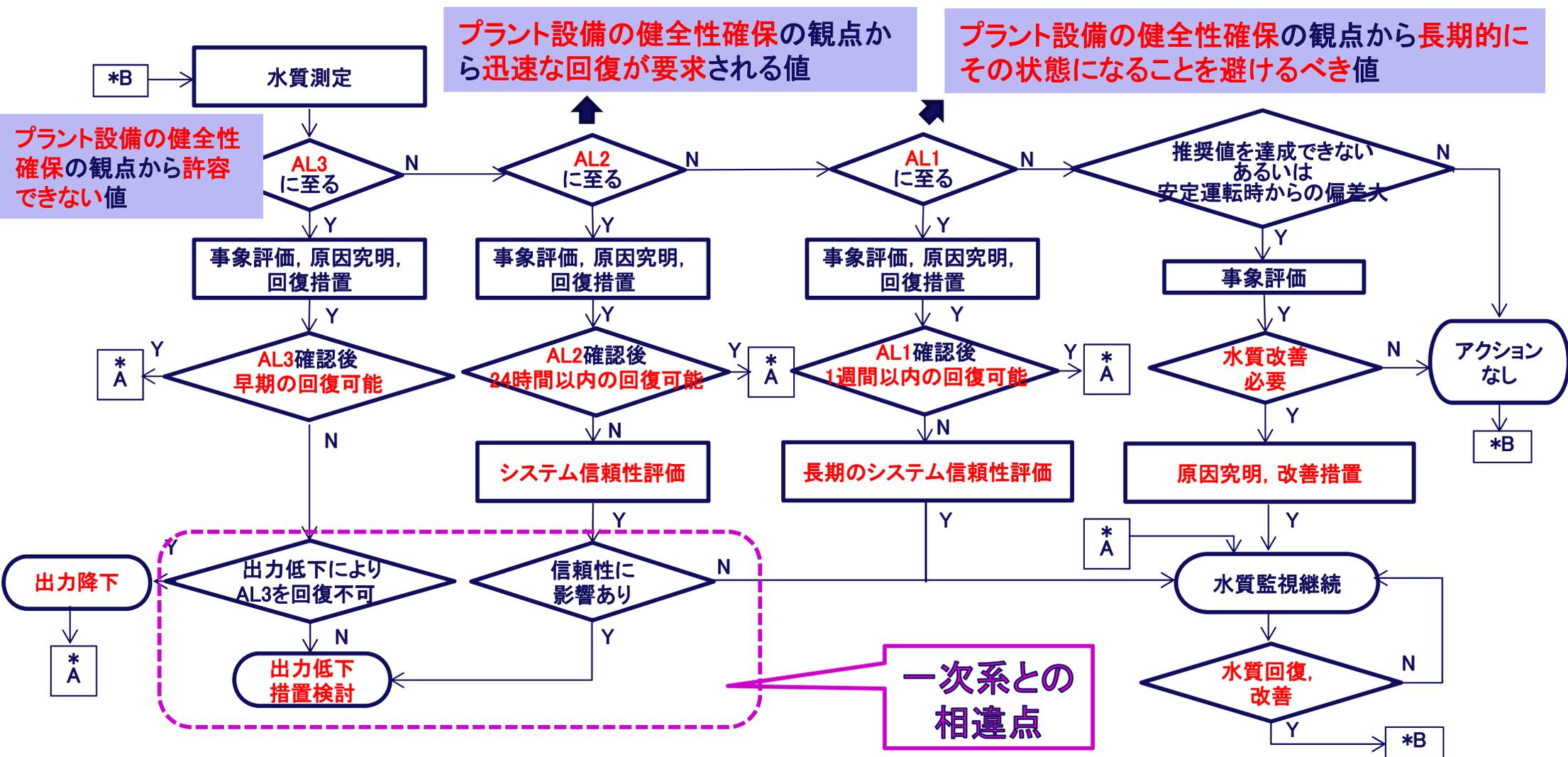
PWR二次系の管理項目，診断項目，制御項目 の設定の基本理念



出典: H. Kawamura, et al., "PWR Secondary Water Chemistry Guidelines in Japan - Purpose and Technical Background -", *Journal of Progress in Nuclear Energy*, submitted, (2019).

注1): 復水器に銅合金を使用しているPWRでは, Cu濃度を測定

水質データ評価方法 (PWR二次系)



PWR二次系水化学管理指針の対象

運転モード	起動時			通常運転時			停止時			停止中			運転モードに 依らない		
	管理項目	制御項目	診断項目	管理項目	制御項目	診断項目	管理項目	制御項目	診断項目	管理項目	制御項目	診断項目	管理項目	制御項目	診断項目
項目															
SG器内水			○	○		○						○			
高圧給水加熱器 出口水			○	○	○	○			○			○*1			
復水ポンプ 出口水			○	○		○			○						
二次系純水タンク水						○						○			
復水脱塩装置 出口水				○		○									
補給水処理装置 出口水													○		○

(*1): クリーンアップ時等の二次系純水における管理指針。対象系統は脱気器器内水、または高圧給水加熱器出口水とする。

通常運転時—SG器内水における 管理項目のアクションレベル，推奨値及び測定頻度

SG二次側最大濃縮倍率でのクレビス部pHが伝熱管のIGA発生環境となる濃度を設定

pH 8 ~ 8.5 以下で炭素鋼腐食が大きくなるため設定

項目		アクションレベル			推奨値	測定頻度
名称	単位	1	2	3		
pH (at 25°C ^{a)})	—	—	< 8	—	—	1回 / 週
ナトリウム	μg/L	> 5	> 50	> 300	≤ 1	1回 / 日 ^{b)}
塩化物イオン	μg/L	> 10	> 100	> 2,000	≤ 2	1回 / 日 ^{b)}
硫酸イオン	μg/L	> 10	> 100	—	≤ 2	1回 / 日 ^{b)}

注 ^{a)} 測定後に25 °Cに換算した値とする。

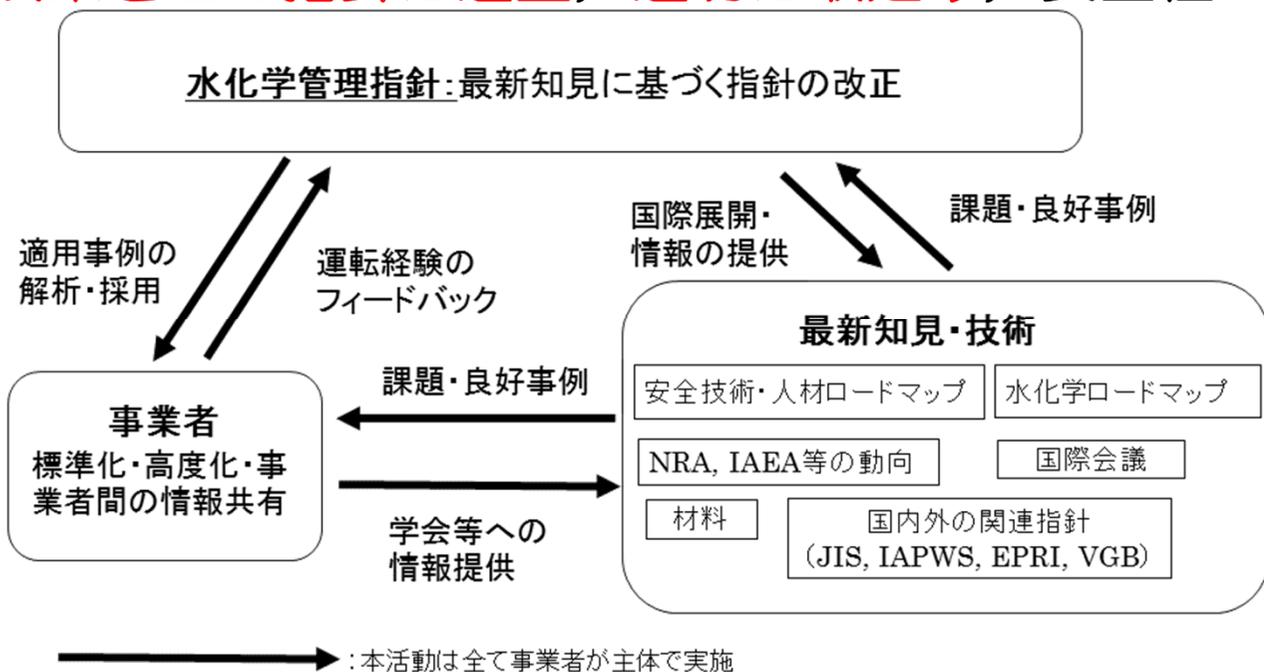
^{b)} 水質監視計器が設置されている場合は，計器による傾向監視を推奨する。

Na共存下で，クレビス部pHが伝熱管のIGA発生環境に急激に近づく濃度を設定

酸素又は酸化剤が共存下で孔食発生の可能性が大きくなる濃度を設定

制定後のフォロー

- 自主的安全性向上に向け、改良水化学の導入及び耐食性に優れた材料への変更などにより水化学管理の設定条件の変更が可能となった場合、又は新たな知見により水化学管理の設定条件の変更が必要となった場合には、適宜アクションレベル、推奨値などを見直す。
- 1F事故後の安全性向上への取り組みを取り纏めた“軽水炉安全技術・人材ロードマップ”に示された研究開発の成果をこの指針に適宜、適切に取り込み、安全性向上を目指す(図)。
- 構造材料の選定及び交換に際しては、事前に構造材料の健全性に及ぼす水化学管理の影響を予測することにより、保全活動に留まることなく、リスクの程度を勘案しつつ水化学面から、原子力安全の継続的な改善への寄与を目指す。
- 制定後、5ヶ年間毎に見直す。
- 見直しが必要と判断された場合、改正を行う。



水化学管理指針におけるPDCAサイクル

ご清聴有難うございました!

水化学部会