

水化学管理標準に係る取組みについて —水化学管理標準の概要—

平成24年6月1日

日本原子力発電株式会社
久宗 健志

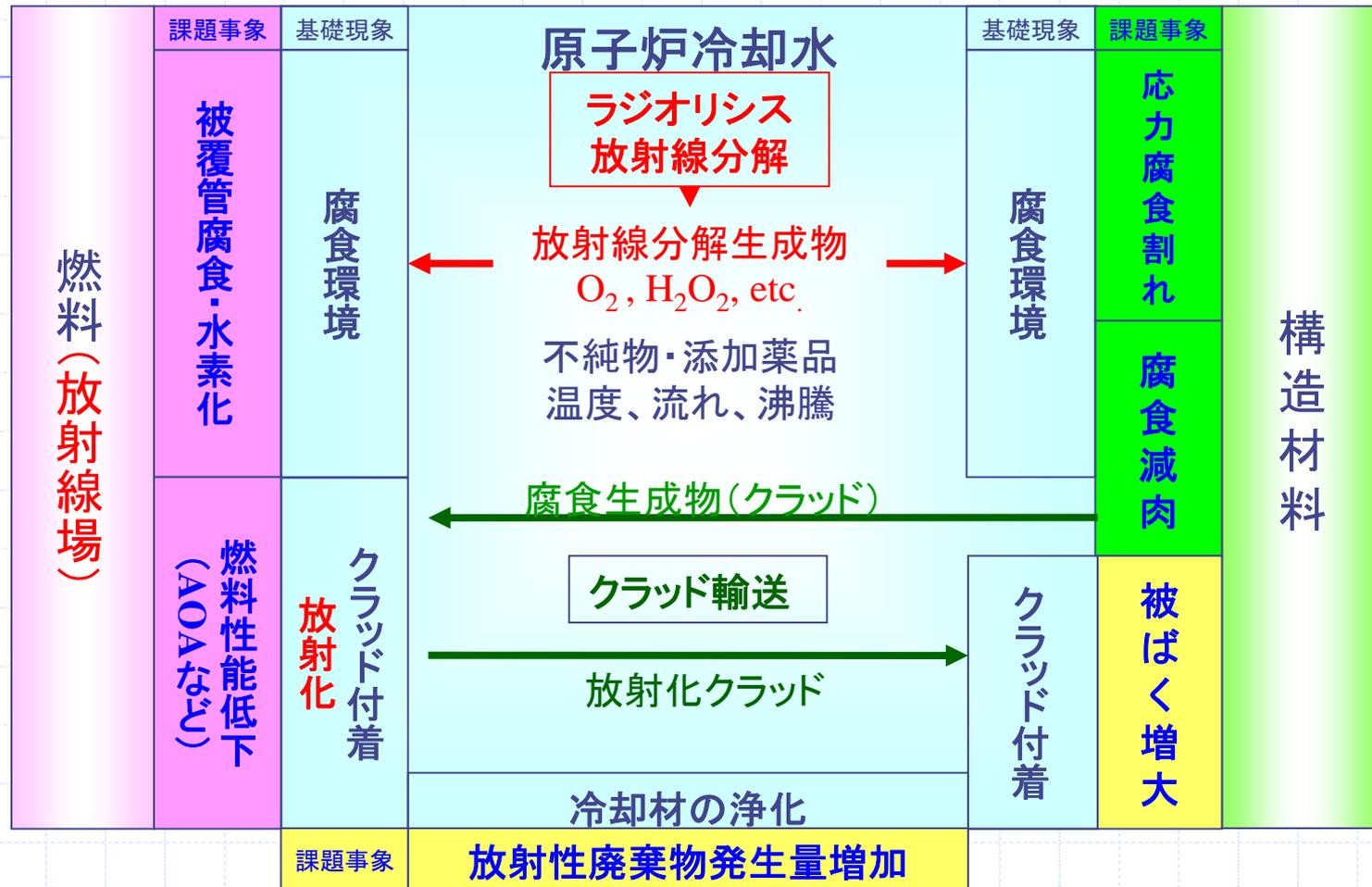
水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

水化学が果たすべき役割・使命

1. 安全上重要な構造・系統・設備の健全性を維持するため、腐食（供用期間中に生じる経年劣化）による損傷を、使用環境（水化学）の制御により抑制する。【構造材料の腐食損傷抑制】
2. 燃料被覆管の健全性を維持するため、腐食・水素化による損傷を使用環境（水化学）の制御により抑制する。【燃料の腐食・水素化の抑制】また、損傷の有無・程度を監視し、適切な原子炉の運転操作に反映する。【燃料健全性の監視】
3. プラント線量率およびこれに伴う被ばく、放射性廃棄物、および、計画的な環境放出放射能を低減するため、プラント内の放射性物質の蓄積を最小化する。【被ばく線源の低減】・【放射性廃棄物の低減】
4. 想定される事故の影響を最小化する。
 - 原子炉を確実に未臨界状態とするため、安全注入系のほう酸水濃度を管理する。
 - 放射性よう素の大气放出を最小化するため、格納容器スプレー系のアルカリ濃度を管理する。（PWR）
5. その他
 - 爆鳴気形成を防止するため、冷却材などに含まれる水素濃度を管理する。
 - 熱交換器・燃料の熱効率維持および腐食抑制のため、付着物の蓄積を抑制する。
 - 自然環境に有害な薬品の使用および放出を抑制する。

水化学が取り組む諸課題とそれらの相互関係



水化学が扱う諸課題は、冷却材を介して通じているため、ある課題に対してこれを改善するための技術が、別の課題に対しては逆に作用するケースもあり、常に課題間のバランスを考慮した、システム全体にとって最適な水化学制御を目指す必要がある。

水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

原子力学会における水化学標準策定のねらい

1. 国（規制）／国民／地元のメリット

- リスク軽減・継続的改善による原子力発電への安心・信頼
- 科学的合理性のある安全規制
- 地球環境保全・継続的に発展可能な社会の実現
- 安価で良質なエネルギー源の確保（国際競争力強化・国民生活の質向上）
- 地元産業の発展、雇用の創出

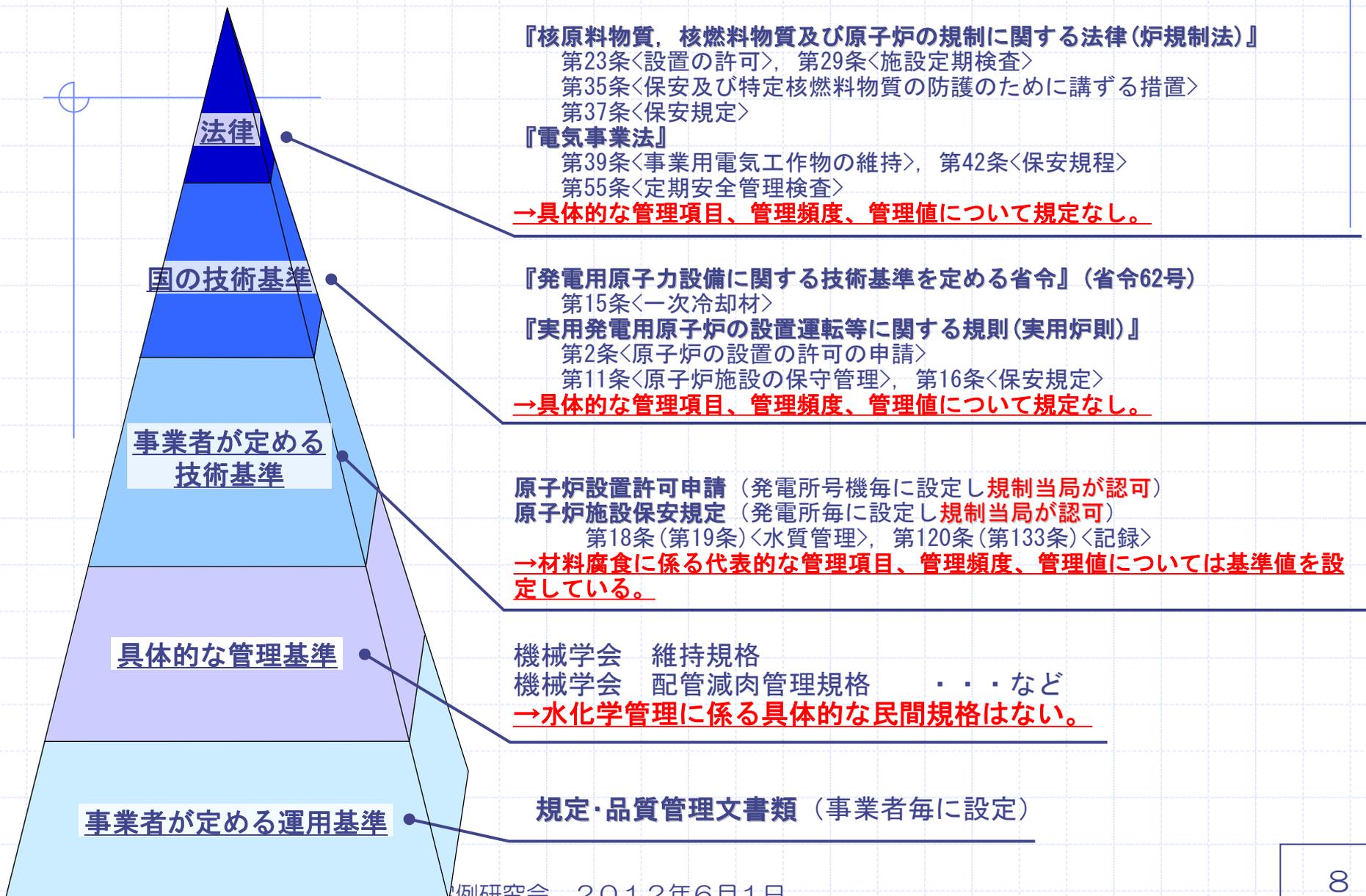
2. 事業者のメリット

- 科学的合理性のあるプラント維持管理の実現
- 継続的改善へのインセンティブ向上
- 計画外停止、定検期間延長の回避によるプラント稼働率向上
- 使用者の利益保護、公共の安全確保、環境保全に資するより良い電気事業運営

水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. **化学管理に係る法令などの体系**
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

原子力発電所水化学管理に係る法令などの体系概要図



具体的な管理基準

原子力発電の安全性を確保するために、事業者が遵守すべき水化学管理事項を詳細規定(仕様)として設けることで、**技術基準の遵守**はもとより材料(構造材, 燃料被覆管)の健全性確保の活動=**保安活動の充実・透明性**が図られる

※『省令62号の詳細規定』と『より良い水質管理』の策定

○材料健全性管理, 被ばく線量低減を目的とした管理基準の考え方と適切な管理方法の策定のためには, 事業者による**技術基準**ではなく, **透明性が高く関係する業種が利害関係を超えて議論**を行った学協会規格が必要

○環境保護の観点から, 原子力発電の安全性を確保したうえで**高稼働率化の実現**には, より良い水質管理としての**詳細な管理項目の設定**が必要となっている



水化学管理指針などは・・・

○原子力発電の**システム安全の確保**を目的とした**詳細規定(仕様)**としての位置付け

○詳細規定は, 上位規定などを補間するための**良好な運転管理**を裏付ける**具体的な管理項目, 管理頻度, 管理値**から構成

発電所水化学管理に係る法令および詳細仕様

一次冷却材

電気事業法

第39条 事業用電気工作物の維持
発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（省令62号第15条）

↓

詳細仕様となる民間規格が整備されていない。

省令に対応する民間規格の整備を関連分野および産官学が協力して進める必要がある。

使用中のき裂等による破壊の防止

電気事業法

第39条 事業用電気工作物の維持
発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（省令62号第9条2）

↓

日本機械学会 維持規格を技術評価し、詳細仕様として適用する。

維持規格ではSCC予防保全として水化学技術（BWR水素注入など）の効果が見込めることになっているが規制規格では認められていない。
これは、水化学技術の適用方法やその効果・有効性をプラントの維持管理に活用するための評価法が確立されていないためと考えられ、科学的合理性のある安全規制・プラント管理を推進する観点から、このような水化学技術の適用方法と関連規格とのインターフェイスを構築する必要がある。

保安規定

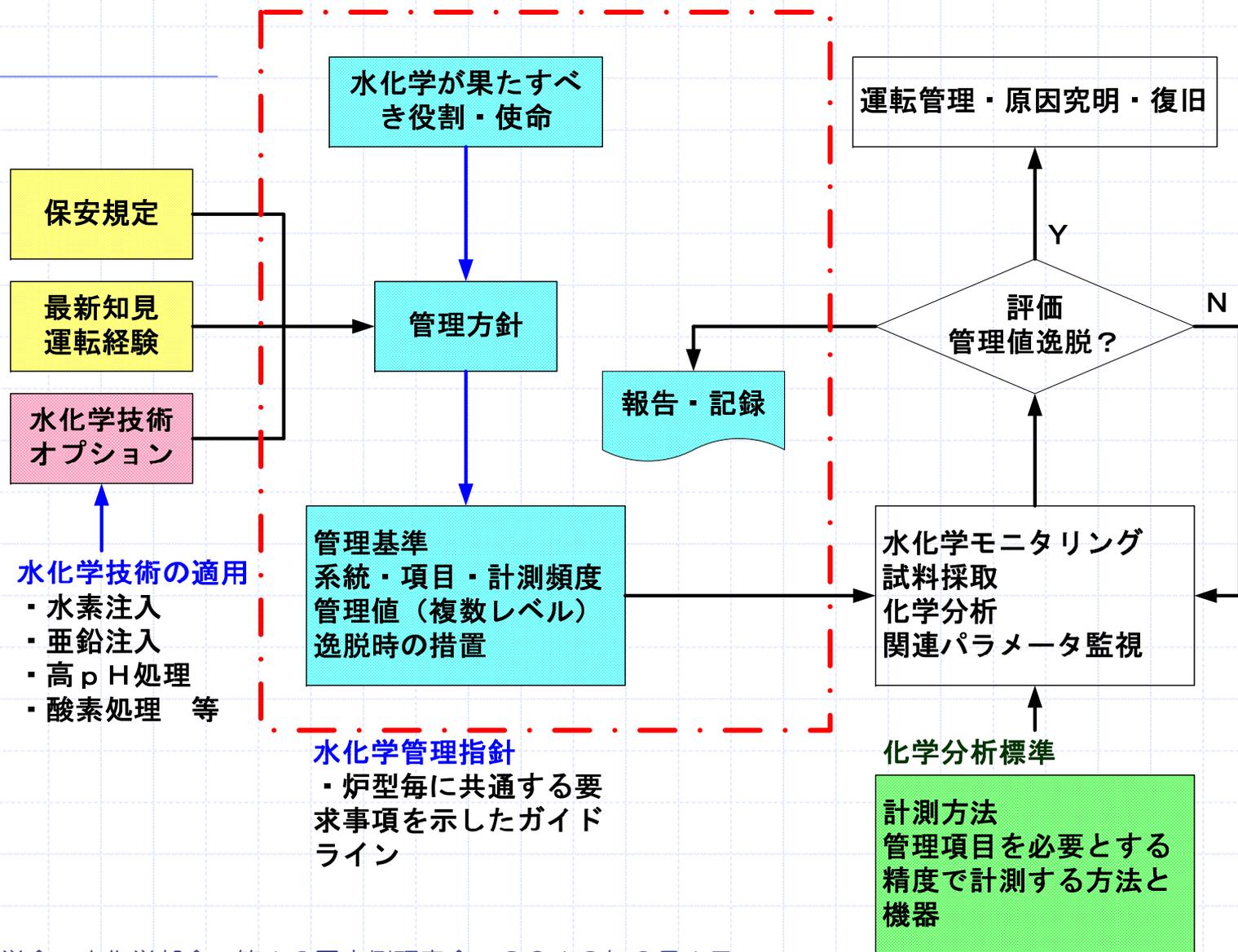
核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
実用発電用原子炉の設置運転等に関する規則（実用炉則第16条）

↓

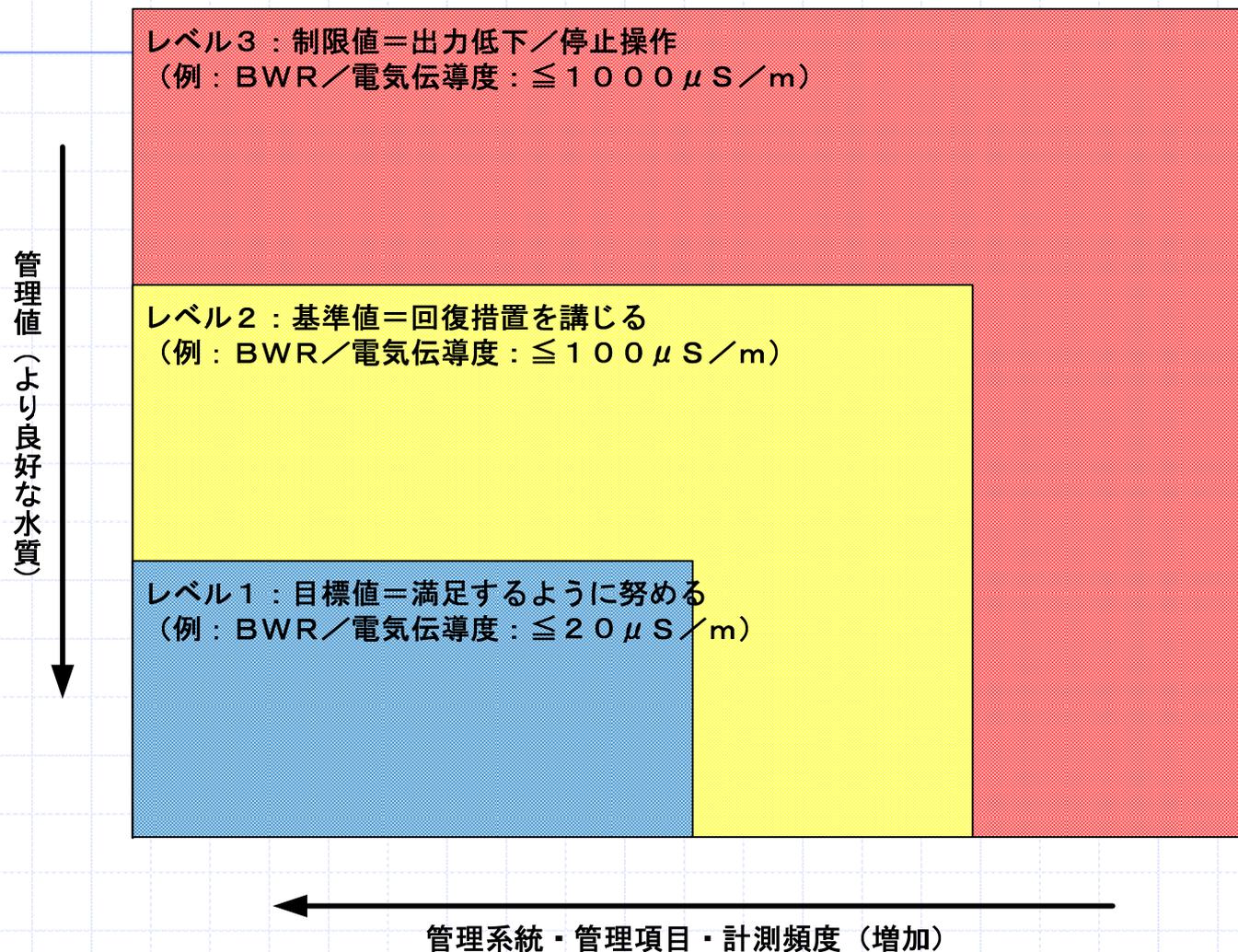
事業者が保安規定に運転管理の一環として水質管理の基準・方法を記載し、主務大臣の認可を受けている。

保安規定では、「設置の許可」および「設計および工事の方法の認可」で前提とした水質条件が運転段階において満足していることを確認することが主眼となっている。
発電所の運転管理指標として活用し、水化学改善のインセンティブ強化を図るため、燃料・構造材料の腐食損傷抑制、被ばく低減の調和的推進の観点から、良好と言える水化学管理の方法に関するガイドラインを策定し、広く社会に示していく必要がある。

軽水炉発電所における水化学管理の実際



軽水炉発電所における水化学管理基準のイメージ



水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. **日本機械学会／維持規格の適用上の課題**
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

維持規格における予防保全の考慮

予防保全の種類	試験実施時期の取扱い
耐食材肉盛	予防保全時期を供用開始時期として、試験規定に基づき試験実施時期を定めることができる
ピーニング	同上
脱鋭敏化处理	同上
水素注入 (HWC)	試験部位の腐食電位を評価し、規格に添付されているき裂進展速度式を用いてき裂進展量を求め、試験程度の算出規定に基づき、試験程度及び試験実施時期を定めることができる。
貴金属表面処理	同上

水化学技術(オプション)

日本機械学会／維持規格適用上の課題

□通常炉内水質環境中

- 導電率 $<0.2\mu\text{S}/\text{cm}$
- $\text{ECP} \geq 150\text{mVSHE}$

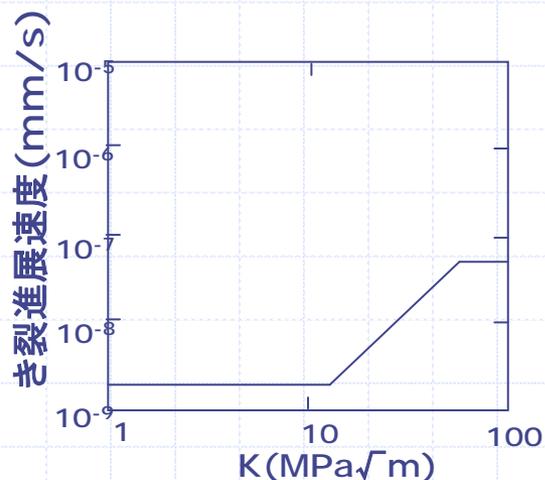
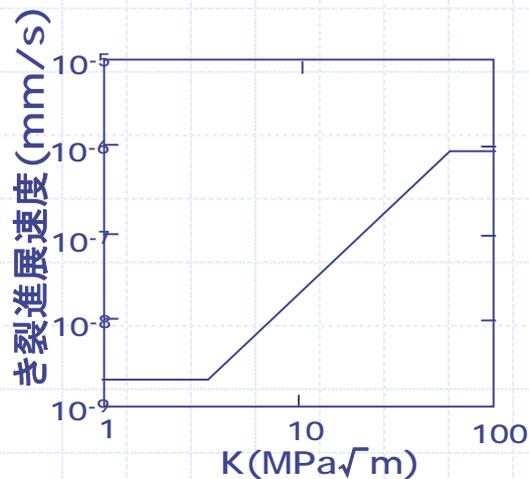
NWC

□水素注入環境中

- 導電率 $<0.2\mu\text{S}/\text{cm}$
- $\text{ECP} \leq -100\text{mVSHE}$

HWC

JSME維持規格では
水素注入を考慮した
き裂進展速度評価を
行うことが可能



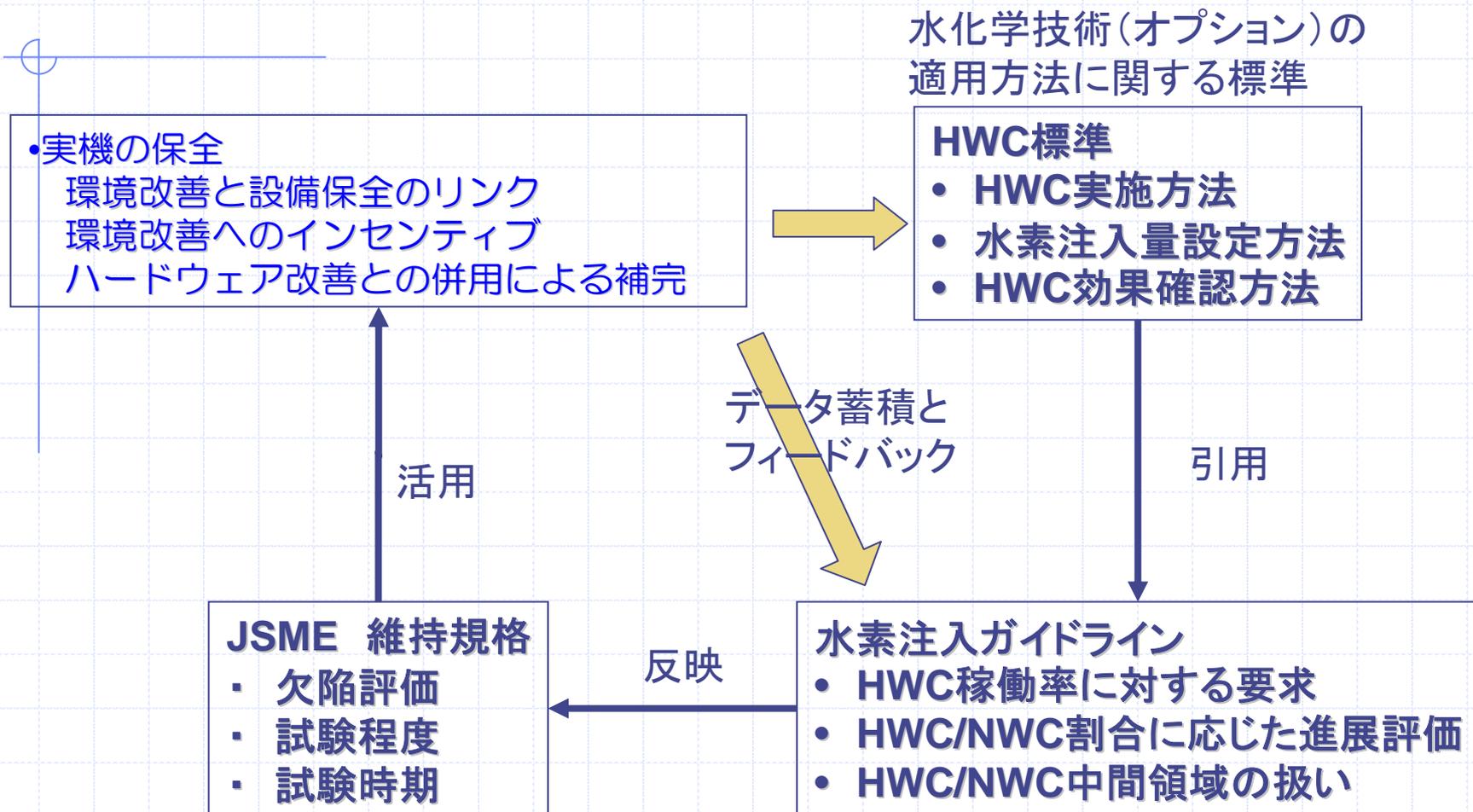
き裂進展速度の比
 $\text{HWC}/\text{NWC}=1/18$

オーステナイト系ステンレス鋼(鋭敏化SUS304)のSCC進展速度線図

国内では水素注入によるECP低下の直接測定の場合もなく、SCC進展速度線図の適用実績もない。

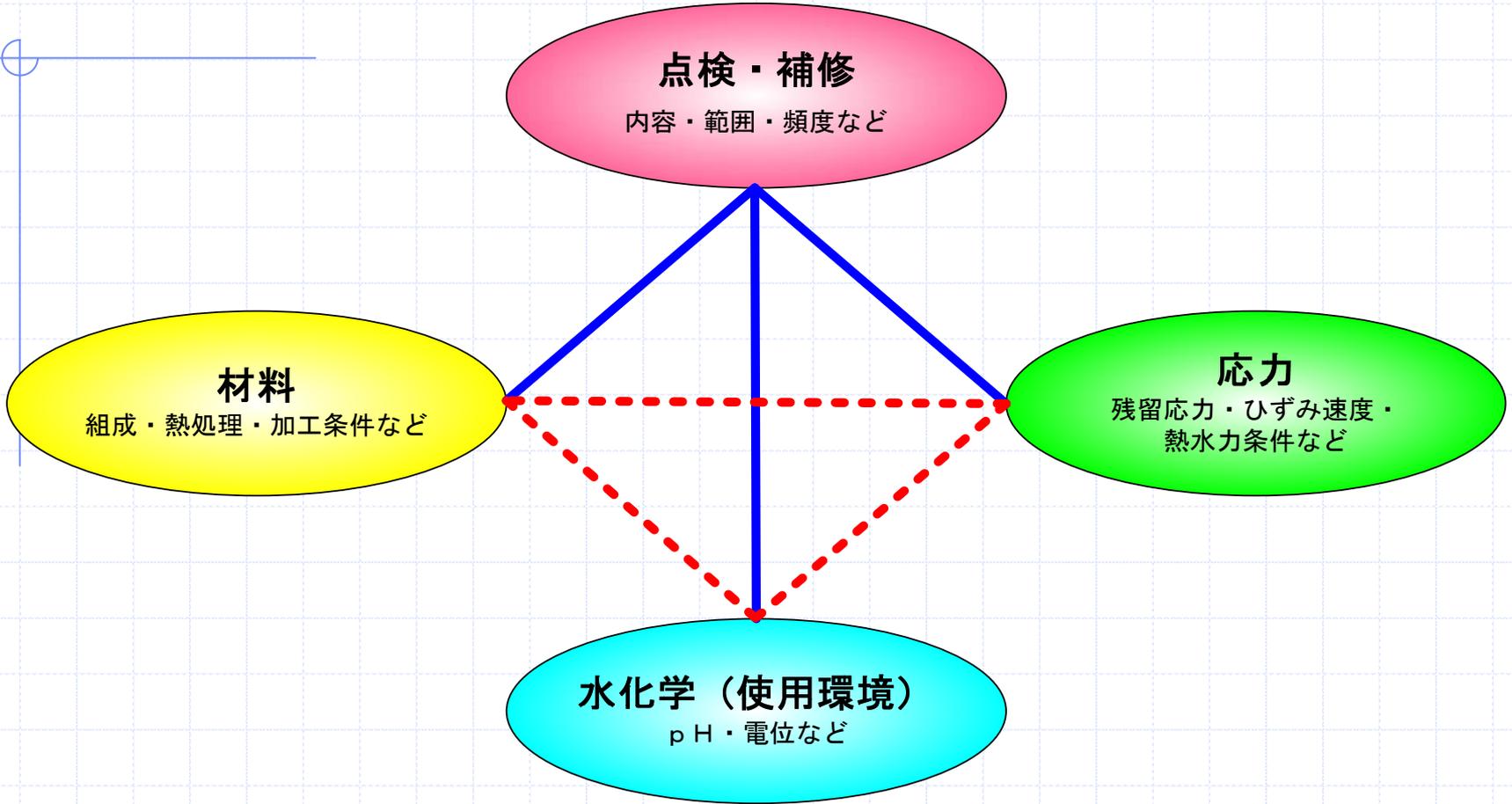
今後は直接モニタリングデータを用いて解析評価モデルの精度を向上するとともに、解析評価による確認方法を標準化することが期待されている。

設備保全における水化学技術（HWC）の活用



プラント維持管理とのインターフェイス
(PLM分野・水化学分野の連携・協力)

プラント保全活動における水化学の位置づけ



材料にやさしい使用環境(=水化学条件)への改善を保全活動の一環ととらえ、設備・機器・燃料の寿命を延伸するという考え方を取り入れることで、より科学的合理性の高いプラントの維持管理の実現に貢献できる。

水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

システム安全合同タスクグループの目的

1. 発電用軽水炉の安全性確保の観点から、燃料および構造材料の健全性維持、被ばく低減を推進するため、策定すべき水化学標準とその体系化を検討すると共に、策定の優先順位を検討し、標準委員会／システム安全専門部会に答申する。
2. このため、科学的合理性のある安全規制／プラント管理と整合する水化学標準のあり方について、我が国の状況を踏まえ、産官学および関連の深い燃料分野およびPLM分野の認識を共有する。
3. 水化学標準に対する燃料分野およびPLM分野からのニーズを把握すると共に、これらの分野と連携して水化学標準を有効活用するための仕組みについて議論する。
4. 高経年化対応、燃料高度化、軽水炉利用高度化など、今後我が国の軽水炉発電所取り巻く状況の変化を見据え、強化すべき技術基盤・情報基盤について、関連分野間・産官学の認識共有を図る。

水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. **水化学標準の体系と活用（案）**
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

構造材料の腐食損傷抑制に係る水化学標準の体系と活用（案）

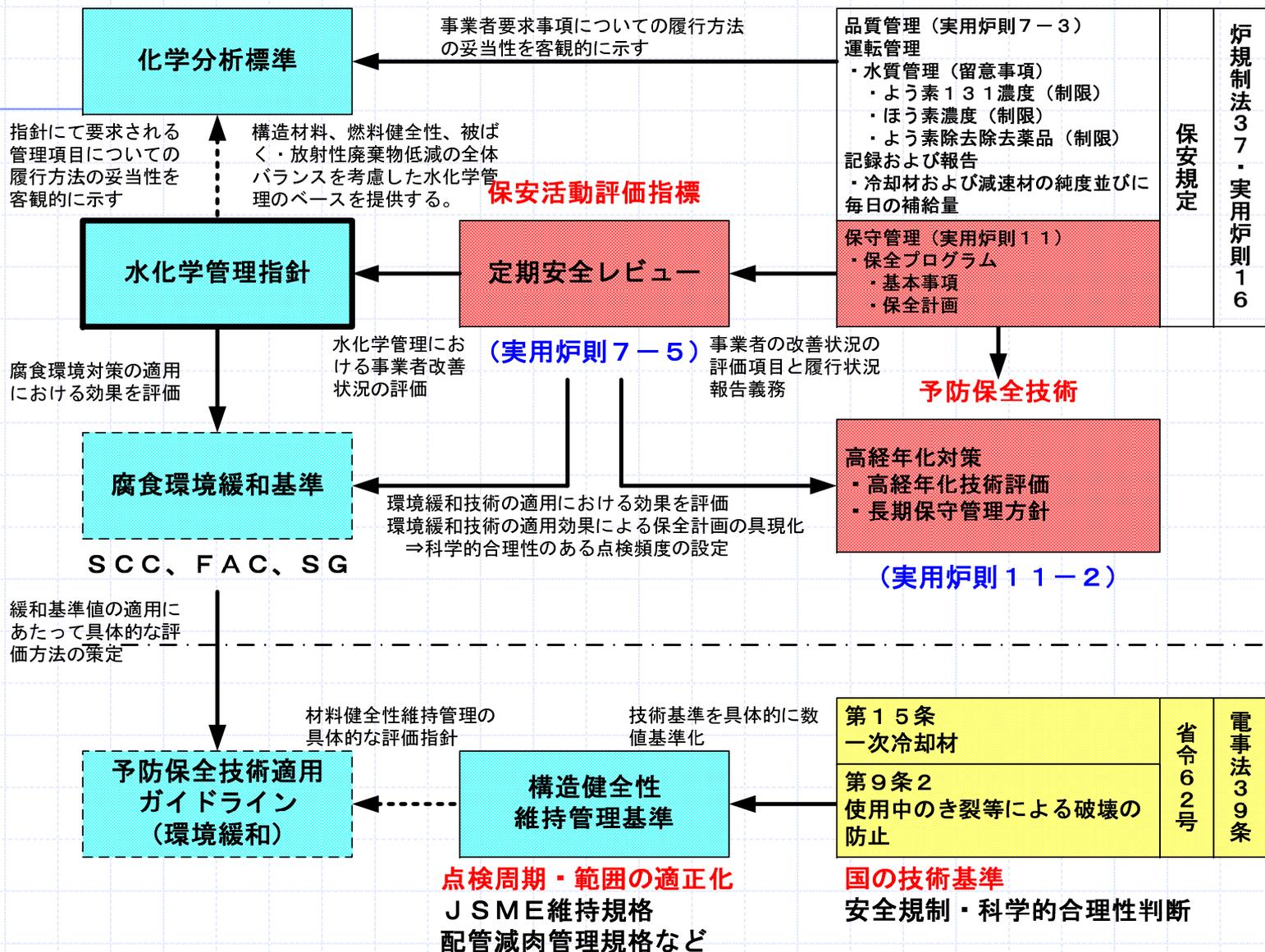
＜水化学管理指針＞

- (1) 【燃料の腐食・水素化の抑制】、【被ばく線源の低減】などを考慮し、プラントシステムの安全性・信頼性を調和的な維持向上を図るための、より良い水化学管理の方法について、炉型（BWR、PWR一次系・二次系）ごとに共通する要求事項を示した **ガイドライン**として「**水化学管理指針**」を策定する。
- (2) 水化学管理指針は、設備保全との直接のリンクは持たないが、定期安全レビューにおける **保安活動評価指標**として活用し、**水化学改善のインセンティブ強化に役立てる**ことを目指す。また、後述する**腐食環境緩和基準のベース**として用いる。

＜腐食環境緩和基準＞

- (1) 構造材料の腐食損傷を抑制する目的で開発された水化学技術（オプション）を、安全かつ効果的に適用するために、**守らなければならない考え方、実施方法、判断基準などを定めたもの**。
- (2) 設備保全との関係を明確化した「**予防保全技術的用ガイドライン**」を**インターフェース**として、**J S M E 維持規格、配管減肉管理規格などの構造健全性維持管理基準とリンク**することで、発電所の安全性・公益性の向上、科学的合理性のあるプラント維持管理/安全規制の実現、および腐食環境改善のインセンティブ強化に役立てる。
- (3) このような取り組みには、広範囲な試験データや実機データの体系的な取得、メカニズムに立脚した解析技術の構築・検証に加え、これを活かす**仕組みの構築が不可欠**である。
- (4) このような取り組みは、最近、BWRのSCC抑制においてようやく端緒についたばかりである。今後、高経年化対応を目的に、PWSCC抑制、配管減肉緩和などへの展開について、**P L M分野と水化学分野が協力して検討**していく必要がある。

構造材料の腐食損傷抑制に係る水化学標準の体系と活用（案）



燃料の腐食・水素化の抑制に係る水化学標準の体系と活用（案）

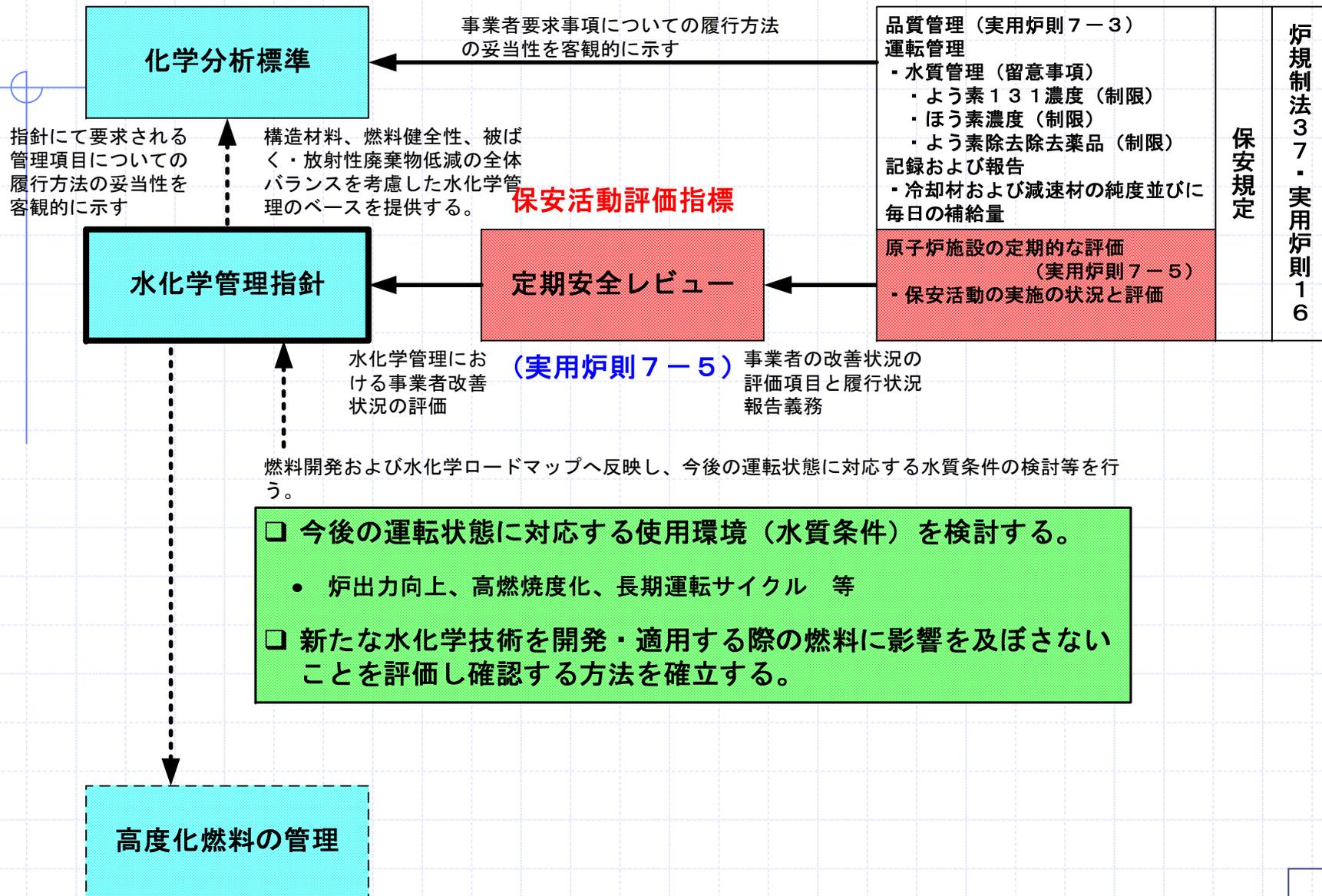
＜水化学管理指針＞

- (1) 【構造材料の腐食抑制】、【被ばく線源の低減】などを考慮し、プラントシステムの安全性・信頼性を調和的な維持向上を図るための、より良い水化学管理の方法について、炉型（BWR、PWR一次系・二次系）ごとに共通する要求事項を示した **ガイドラインとして「水化学管理指針」**を策定する。
- (2) 水化学管理指針は、設備保全との直接のリンクは持たないが、定期安全レビューにおける **保安活動評価指標として活用し、水化学改善のインセンティブ強化に役立てる**ことを目指す。

＜課題＞

- (1) 燃料被覆管・部材の腐食・水素化抑制に係る現在の水化学管理の技術的根拠は、主に1980年代以前の炉外試験データに基づいている。このような水化学管理下においても、これまでは腐食・水素化は問題となっていなかったため、その後は水質因子の更に詳細な効果・影響の把握やメカニズムの更なる検討は、あまり進んでいない。
- (2) しかしながら、今後の炉出力向上や高燃焼度化・長サイクル運転が、冷却材の変化を介して燃料自身および構造材料の腐食を加速する可能性があり、このような変化に適切に対応する観点からも、水化学管理を最適化できるようにしておくことが重要である。また、構造材料の腐食損傷防止や被ばく線源低減を目的として、**新たな水化学技術を開発・適用する際に、それが燃料に悪影響を及ぼさないことを評価あるいは確認する方法を確立しておく**ことが望まれる。
- (3) これらに対応するために、水化学分野と燃料分野が協力して、中長期観点から、**被覆管・部材の腐食・水素化のメカニズム解明と、使用環境（水質条件）の効果・影響を把握のための方法論（加速試験の開発を含む）**を検討していく必要がある。

燃料の腐食・水素化の抑制に係る水化学標準の体系と活用（案）



被ばく線源の低減に係る水化学標準の体系と活用（案）

＜水化学管理指針＞

- (1) 【構造材料の腐食抑制】、【燃料の腐食・水素化の抑制】などを考慮し、プラントシステムの安全性・信頼性を調和的な維持向上を図るための、より良い水化学管理の方法について、炉型（BWR、PWR一次系・二次系）ごとに共通する要求事項を示した **ガイドライン**として「**水化学管理指針**」を策定する。
- (2) 水化学管理指針は、設備保全との直接のリンクは持たないが、定期安全レビューにおける **保安活動評価指標**として活用し、**水化学改善のインセンティブ強化に役立てる**ことを目指す。また、後述する被ばく線源低減技術基準のベースとして用いる。

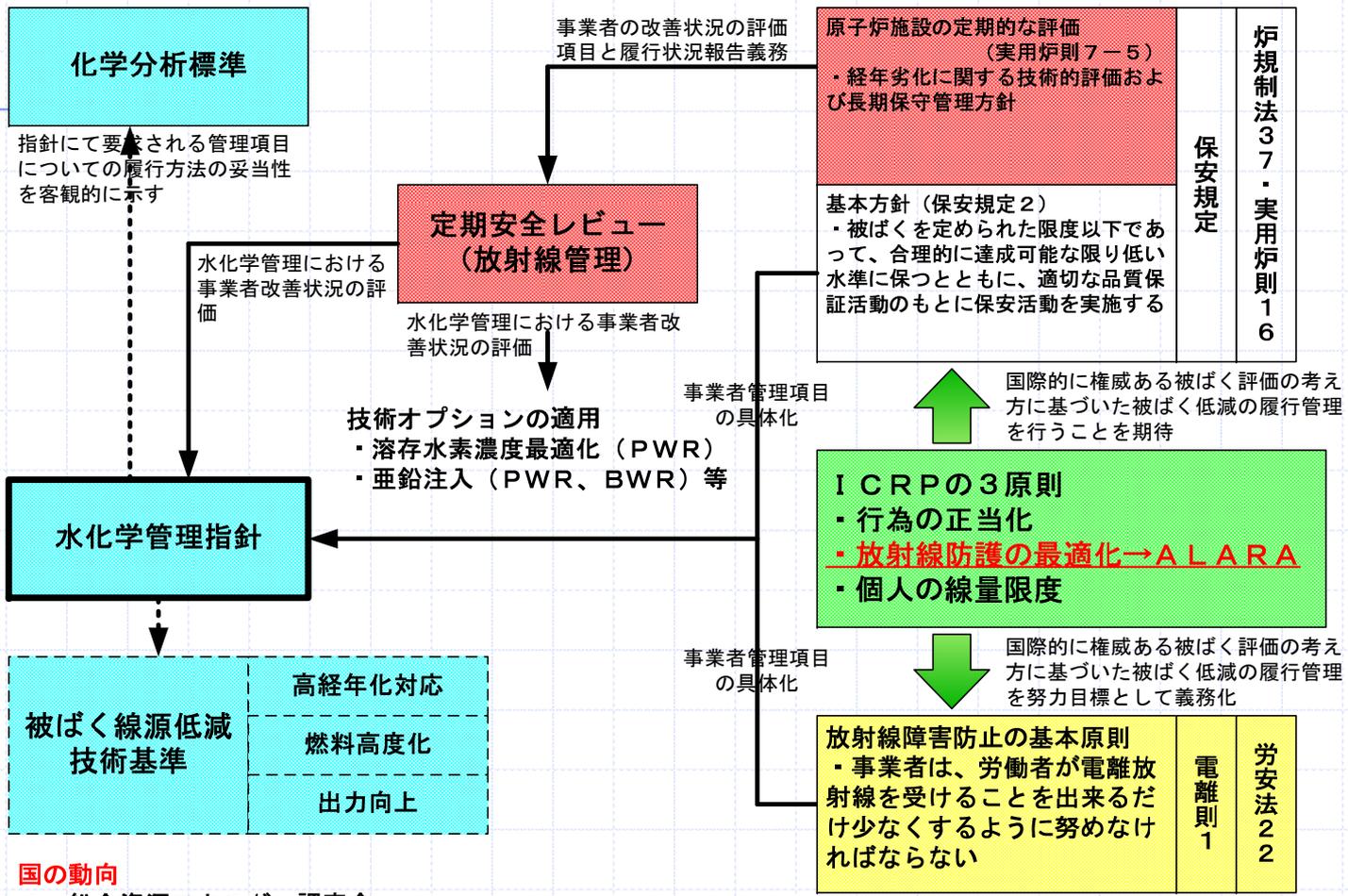
＜被ばく線源低減技術基準＞

- (1) 被ばく線源を低減する目的で開発された水化学技術（オプション）を、安全かつ効果的に適用するために、**守らなければならない考え方、実施方法、判断基準などを定めたもの**。保安活動における放射線管理の評価指標として活用し、**被ばく低減のインセンティブ強化に役立てる**。
- (2) 将来的には、高経年化対応、燃料高度化、炉出力向上などに伴う、被ばく線量の上昇抑制において、これを活かす**仕組みの構築が不可欠**である。

＜課題＞

- (1) 被ばく線量（集団線量）の低減は、①水化学技術による【被ばく線源の低減】、②点検・保守作業方法の改善（ALARA）、および、③点検保守に係わる作業量の適正化によって達成される。
- (2) 被ばく線量が高い原因が、上記（1）①～③のいずれによるものかを定量的に把握し、適切に対処する必要がある。特に、①②については、新たな技術の開発・適用を推進する観点から、**インセンティブの働く仕組みが必要**と考えられる。

被ばく線源の低減に係る水化学標準の体系と活用 (案)



国の動向

1. 総合資源エネルギー調査会：
原子力安全・保安部会傘下に放射線管理小委員会を設置
(H22/5頃、委員長：石樽先生)
⇒放射線業務従事者の集団線量低減対策を調査・審議
2. 放射線防護の高度化検討
⇒規制当局指導の下、平成16年度から放射線業務従事者の被ばくに係る原因究明とその対策を検討

水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. **PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項**
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

燃料健全性の観点からの水化学管理に対する 要求事項のまとめ（PWR）

1. 基本方針

- 現状、燃料健全性の観点から、**現行の水化学管理に対する変更ニーズは無い。**
- 原子炉材料健全性や被ばく低減の観点から、**水化学の高度化**(管理・運用条件の変更)**が行われる場合には、燃料の健全性確保の点で、事前の確認や導入スキームに対する十分な対応**(事前：判断材料となる知見整備、燃料設計の前提条件との整合、導入スキーム：段階的な先行導入とそれに合わせた腐食や水素吸収量への影響確認)**が必要と考えられる。**

2. 補足

- 燃料の健全性確認に関する作業は、多大なリソースと時間を費やす性格を持っており、軽微な水化学改良にまでその都度、確認が必要とするのは合理的ではない。ただし、確認要否の判断基準となる情報も乏しい。
- **従来、多くの水化学高度化について海外先行事例があり、これを実質的な判断材料としてきた経緯がある。今後も、有効なスキームである。**
- ただし、海外先行事例がないケースも考えられる。**短期的には慎重なスキーム、中長期的にはRMによる計画の早期共有と試験炉等を用いた確認試験などが望まれる。また、燃料の腐食・水素吸収やクラッド付着が温度などどのような条件で進行するか等を適切に捉え、注目すべき課題とそうでない課題を適切に識別することも重要と考えられる。**
- AOAについては、これまで国内で発生していないが、将来の炉出力向上運転に併せてプロアクティブな水化学管理検討が想定される。

燃料健全性の観点からの水化学管理に対する 要求事項のまとめ（BWR）

1. 原子炉水に対する水質管理項目
電気伝導度、pH、塩素イオン、硫酸イオン、
シリカ、溶存酸素、金属不純物、
よう素131濃度、よう素131増加量、ほう素
2. 原子炉給水に対する水質管理項目
電気伝導度、pH、塩素イオン、硫酸イオン、
シリカ、溶存酸素、金属不純物、金属不純物
（銅）
3. BWRにおいても、燃料健全性の観点から、現行
の水化学管理に対する変更ニーズは無く、現行の
管理を確実に実施していくことが重要だと考える。

PLMの観点からの水化学管理に対する 要求事項のまとめ

1. 高経年化技術評価で健全性を評価する担保に使っている水質管理値については、**プラント通常運転中の大部分において、維持**してもらう必要がある。
2. 高経年化技術評価で用いている実験データや実機データは、現状の水質管理のもとで想定されているものであり、**変更する場合は、経年劣化事象に対する影響評価**を行う必要がある。(長期間の予測データは、データの取り直しが難しくあまり水質を変更しないことを望むが、水質変更する場合には、実験データの採取やモニタリングを行う必要がある)
3. SCCなどの経年劣化事象では、**水質変更による劣化緩和策**を実施、検討している。
4. 酸素型SCCに影響を与える溶存酸素濃度などは、プラント起動時に温度による管理も行われており、それらも健全性評価の担保としている。つまり、**通常運転時に加え、起動時や停止時の管理**も必要である。
5. 炉水、給水などのメインの系統の他、優先度は低い**がCCWの防錆剤や廃棄物処理の廃液などの管理**についても、管理の検討が必要である。

水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. **PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理**
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

BWR原子炉水の水化学管理項目と管理目的に係る影響と効果（例）

赤字：影響が懸念される項目、青字：効果を期待する項目、斜体：管理の結果として与えられる項目

名称	管理項目			標準（案）	
	材料健全性	燃料健全性	被ばく低減		
基本水化学管理項目（純水管理）	電気伝導度	電気伝導度が高い＝不純物濃度が高い場合には、構造材のSCCの発生・進展および孔食や隙間腐食を生じさせる可能性がある。	電気伝導度が高い＝不純物濃度が高い場合には、燃料被覆管の腐食を生じさせる可能性がある。	電気伝導度が高い＝不純物濃度が高い場合には、配管表面への 60°C 等の付着増加＝再循環系配管の線量率を上昇する可能性がある。	水に溶解する不純物イオンの総和を示す尺度であり冷却材の純度として低レベルで管理する。
	pH	構成する陽イオンと陰イオン種は、材料の腐食を加速する因子となる場合がある。	構成する陽イオンと陰イオン種は、材料の腐食を加速する因子となる場合がある。	pHによって腐食生成物の溶解度が変化し、腐食生成物の意向・蓄積が影響を受ける可能性がある。	電気伝導度に加えてpHを測定することにより、構成する陽イオンと陰イオン種の影響を判断することができる。
	塩素イオン	構造材のSCCの発生・進展および孔食や隙間腐食を生じさせる化学因子である。	燃料被覆管の腐食を生じさせる化学因子である。	—	腐食を加速する因子として、極力低レベルで管理する。（主復水器細管の海水漏えい対策等による）
	硫酸イオン	構造材のSCCを発生・進展する化学因子である。	—	—	腐食を加速する因子として、極力低レベルで管理する。（イオン交換樹脂の再生薬品、硫酸基を持つ樹脂のリークの影響を抑制する）
	溶存酸素	構造材のSCC発生・進展を加速する因子である。	—	—	SCC環境緩和技術の適用における評価を行う。
	金属不純物	構造材の腐食により冷却材中に溶出した金属元素の指標となる。	給水から持ち込まれたクラッドが燃料被覆管に付着することにより、燃料健全性に影響を与えることがある。	燃料被覆管に付着したクラッドが照射により放射化した後、剥離や溶出することにより被ばく線源となる。	給水系から持ち込まれた金属不純物が燃料、炉内構造物表面に付着したり、原子炉浄化系で除去された結果として管理する。
	放射性腐食生成物濃度	構造材の腐食により冷却材中に溶出した金属元素が燃料被覆管に付着し放射化した放射能濃度の指標となる。	—	ステンレス鋼の内表面に生成する酸化被膜中に放射性イオンが取り込まれ、放射性クラッドはステンレス鋼表面に付着し、定期検査時の作業線量の線源となる。	原子炉内の腐食生成物の挙動と線源挙動や線源強度の予測評価のため監視する。
	よう素131	—	燃料破損が生じた場合の指標となる。	—	燃料破損が生じた場合、上昇することから、燃料破損を早期検知する観点から監視項目とする。
新技術に基づく改良水化学管理項目（純水管理＋添加物で最適化）	水素注入（HWC）	炉水中の酸化環境（酸素、過酸化水素）を改善することにより、ECPを低下させてSCC環境を緩和する。	ジルカロイ中の水素濃度上昇の可能性がある。	炉内が還元性雰囲気となり酸化被膜の形態が変化し配管表面線量率が上昇する可能性がある。	SCC環境緩和効果の評価手法を定める。実運用に当たっては、期待するSCC環境緩和効果とプラントへの影響（主蒸気管線量上昇）を考慮してプラント毎に管理する。
	亜鉛注入	—	注入量が多い場合、燃料被覆管に付着することによりジルカロイの耐食性に影響する可能性がある。	ステンレス鋼の腐食抑制効果および酸化被膜への 60°C 取込みを抑制し配管表面線量率を低減する。	将来的には、運用のガイドラインを定めることを検討する。実運用に当たっては、期待する線源強度低減効果とプラントへの影響を考慮してプラント毎に管理する。
	貴金属注入（NMCA）	水素注入量が制限される対策として、構造材料表面での水素反応の活性を上げて、ECPを効果的に低下させる。	注入量が多い場合、燃料被覆管に付着することにより酸化膜厚さが増加する可能性がある。	ECP低下により酸化被膜が再構築され、酸化被膜から放射性腐食生成物が炉水中に放出され、配管に再付着する可能性がある。	SCC環境緩和効果の評価手法を定める。実運用に当たっては、期待するSCC環境緩和効果とプラントへの影響を考慮してプラント毎に管理する。

PWR一次冷却材の水化学管理項目と管理目的に係る影響と効果 (例)

赤字：影響が懸念される項目、青字：効果を期待する項目、斜体：管理の結果として与えられる項目

名称	管理項目			標準 (案)	
	材料健全性	燃料健全性	被ばく低減		
基本水化学管理項目 (純度管理、水質改善 他)	電気伝導度	ほう素濃度およびリチウム濃度の組み合わせで決まる。	ほう素濃度およびリチウム濃度の組み合わせで決まる。	ほう素濃度およびリチウム濃度の組み合わせで決まる。	電気伝導度はほう素濃度およびリチウム濃度に支配され、両者の相関範囲から逸脱した場合は不純物の混入を検知することが出来る。
	pH	ほう素濃度に応じてリチウム濃度を調整し、一次冷却材のpHを管理し、腐食生成物の発生を抑制する。	水酸化リチウムによるpHが約12以上となるとジルカロイの腐食速度が急激に増加する。	ほう素濃度に応じてリチウム濃度を調整し、一次冷却材のpHを管理し、腐食生成物の発生を抑制する。	一次系材料の腐食抑制および腐食生成物の溶解度はpHと温度に依存することから、燃料表面に析出させないよう冷却材のpHを適切な値に管理する。
	塩化物イオン	構造材のSCCの発生・進展する化学因子である。	燃料被覆管の腐食を生じさせる化学因子である。	-	腐食を加速する因子として、極力低レベルで管理する。
	ふっ化物イオン	構造材のSCCの発生・進展する可能性のある化学因子である。	燃料被覆管の腐食を生じさせる化学因子である。	-	腐食を加速する因子として、極力低レベルで管理する。
	溶存水素	構造材のSCCの発生・進展を抑制するため、水の放射線分解を抑制する。(酸素の生成を抑制する)	燃料被覆管の腐食を生じさせる化学因子である。	-	水の放射線分解による酸素の発生を抑制に必要な濃度を下限値、ジルカロイ燃料被覆管の腐食加速を低く抑える観点から上限値として管理する。
	溶存酸素	構造材のSCCの発生・進展する可能性のある化学因子である。	-	-	塩素イオン濃度と溶存酸素濃度の組み合わせにより管理する。
	リチウム	ほう素濃度に応じてリチウムを添加し、pHを上昇することにより、構造材の腐食を抑制する。	水酸化リチウムによるpHが約12以上となるとジルカロイの腐食速度が急激に増加する。	高温でのpHを高めに管理することにより、線源強度の上昇を抑制する。	インコネル材に対するSCC試験結果および海外の適用事例から上限濃度を設定する。実際の管理運用においては、ほう素濃度に応じたりチウム濃度をコントロールする。
ほう素	ほう素濃度は核設計側からの要求で定まる。	ほう素濃度は核設計側からの要求で定まる。	ほう素濃度は核設計側からの要求で定まる。	ほう素濃度は核設計側からの要求で定まる。	
金属不純物	-	-	燃料被覆管に付着したクラッドが照射により放射化した後、剥離・溶出することにより被ばく線源となる。	金属不純物が燃料、炉内構造物表面に付着したり、浄化系で除去された結果として管理する。	
よう素131	-	燃料破損が生じた場合の指標となる。	-	燃料破損が生じた場合、上昇することから、燃料破損を早期検知する観点から監視項目とする。	
希ガス	-	燃料破損が生じた場合の指標となる。	-	燃料破損が生じた場合、上昇することから、燃料破損を早期検知する観点から監視項目とする。	
新技術に基づく改良水化学管理項目 (添加物で最適化)	亜鉛注入	-	注入量が多い場合、燃料被覆管に付着することによりジルカロイの耐食性に影響する可能性がある。	構造材の腐食抑制効果および酸化被膜への放射性コバルト取込みを抑制し配管表面線量率を低減する。	プラントへの影響と効果 (線源強度低減) を考慮してプラント毎に管理する。

PWR蒸気発生器器内水の水化学管理項目と管理目的に係る影響と効果（例）

名称		管理項目			標準（案）
		材料健全性	燃料健全性	被ばく低減	
基本水化学管理項目（純度管理、水質改善他）	pH	pHを上昇することにより鉄およびニッケル溶出を抑制するが、銅の溶出が増加する。	—	—	SG健全性維持の観点から、期待するSG器内の腐食環境緩和効果を得るため、プラント構成材料に応じて、最適なpHをプラント毎に管理する。
	カチオン導電率	不純物はSGへ持ち込まれ濃縮し、厳しい腐食環境となる。	—	—	強酸性カチオン樹脂により水処理薬品を除去した後の導電率により純度を管理する。
	塩素イオン	SG伝熱管の腐食を加速する化学因子である。	—	—	腐食を加速する因子として、極力低レベルで管理する。
	ナトリウムイオン	SG伝熱管のIGAを発生させる主要因となる可能性がある。	—	—	腐食を加速する因子として、極力低レベルで管理する。
	硫酸イオン	硫酸イオンがフリーで存在すると硫酸として作用し、クレビス部のpHを低下させる。	—	—	腐食を加速する因子として、極力低レベルで管理する。

赤字：影響が懸念される項目、青字：効果を期待する項目、斜体：管理の結果として与えられる項目

PWR蒸気発生器給水の水化学管理項目と管理目的に係る影響と効果（例）

名称		管理項目			標準（案）
		材料健全性	燃料健全性	被ばく低減	
基本水化学管理項目 （純度管理、水質改善他）	pH	pHを上昇することにより鉄およびニッケル溶出を抑制するが、銅の溶出が増加する。	—	—	二次系系統およびSG健全性維持の観点から、期待するSG器内の腐食環境緩和効果を得るため、プラント構成材料に応じて、最適なpHをプラント毎に管理する。
	溶存酸素	不純物との共存により系統構成材料の腐食を増大させる。	—	—	系統構成材料の腐食抑制の観点から管理する。
	ヒドラジン	系統内の脱酸素を目的として添加する。	—	—	溶存酸素濃度管理に併せて、酸素とヒドラジンの反応効率を考慮して管理する。
	全鉄	SG二次側への鉄酸化物の付着および堆積し熱効率や腐食環境へ影響する。	—	—	二次系系統での鉄系材料の腐食を監視する。
	全銅	酸化銅としてSG伝熱管表面に存在した場合、当該部環境の電位を上昇させ、SG伝熱管腐食発生の要因となる。	—	—	二次系系統での銅系材料の腐食を監視する。

赤字：影響が懸念される項目、青字：効果を期待する項目、斜体：管理の結果として与えられる項目

基本水化学管理項目および新技術に基づく改良水化学管理項目

＜基本水化学管理項目＞

1. 構造材・燃料材料の健全性を損なう恐れがあること、あるいは被ばく線源の増加の原因となることが明らかとなっている化学成分濃度を規制する。
2. 材料健全性の状態の指標となる化学成分、あるいは被ばく線源強度の推移の評価に要する化学成分を監視する。
3. 基本水化学管理項目については水化学管理標準を早急に策定する。

水化学管理標準の項目

（１）BWR原子炉水の例

- ① 管理項目：電気伝導率、pH、塩素イオン、硫酸イオン、溶存酸素
- ② 監視項目：よう素－131、放射性腐食生成物濃度

（２）PWR一次冷却材の例

- ① 管理項目：電気伝導率、pH、塩化物イオン、ふっ化物イオン、溶存酸素
- ② 監視項目：よう素－131、放射性腐食生成物濃度

＜新技術に基づく改良水化学管理項目＞

1. 化学成分の添加により構造材健全性の改善あるいは被ばく線源の低減を図る。
2. 改良水化学管理項目はより良い水化学を目指すものである。
3. 改良水化学の適用に当たっては、構造材・燃料材料・被ばく線源への影響を確認し、運用のガイドラインを策定する。
4. 改良水化学管理項目については順次水化学標準に取り入れていく。

水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. **海外主要国における業界組織と規制当局の関係**
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

水化学ガイドラインに係る業界組織と規制当局の関係比較

	規制当局名称 役割	指針作成部門 規制当局の関与	改訂 頻度	逸脱時の 拘束力	管理レベル	備考
日本	NISA 設置許可 保安規定履行管理	原子力学会 標準委員会(?) 関与あり	5年毎	(検討中) 時間内の 復旧要	2段階 + 目標値	原子力学会標準(?)
米国	NRC 技術仕様履行管理 指針遵守状況確認(PWR)	EPRI 関与なし(BWR) 関与なし(PWR) ^{※1}	4年毎 ^{※2}	時間内の 復旧要	3段階 + 目標値(GP) ^{※3} Good Practice	BWR: BWRVIP190 PWR: 1008224 1002884 BWRとPWR個別作成 作成スキームが異なる レベル3超過時に当局 への報告を実施 ^{※4}
独国	BMU/各州政府規制官庁 技術仕様履行管理	VGB 関与なし	特に規定 なし	時間内の 復旧要	3段階 + 目標値(NOV) Normal Operating Value	VGB report R401
仏国	ASN 技術仕様履行管理	EdF CEIDRE 当局は当事者	特に規定 なし	時間内の 復旧要	3段階 + 目標値	対象はPWRのみ

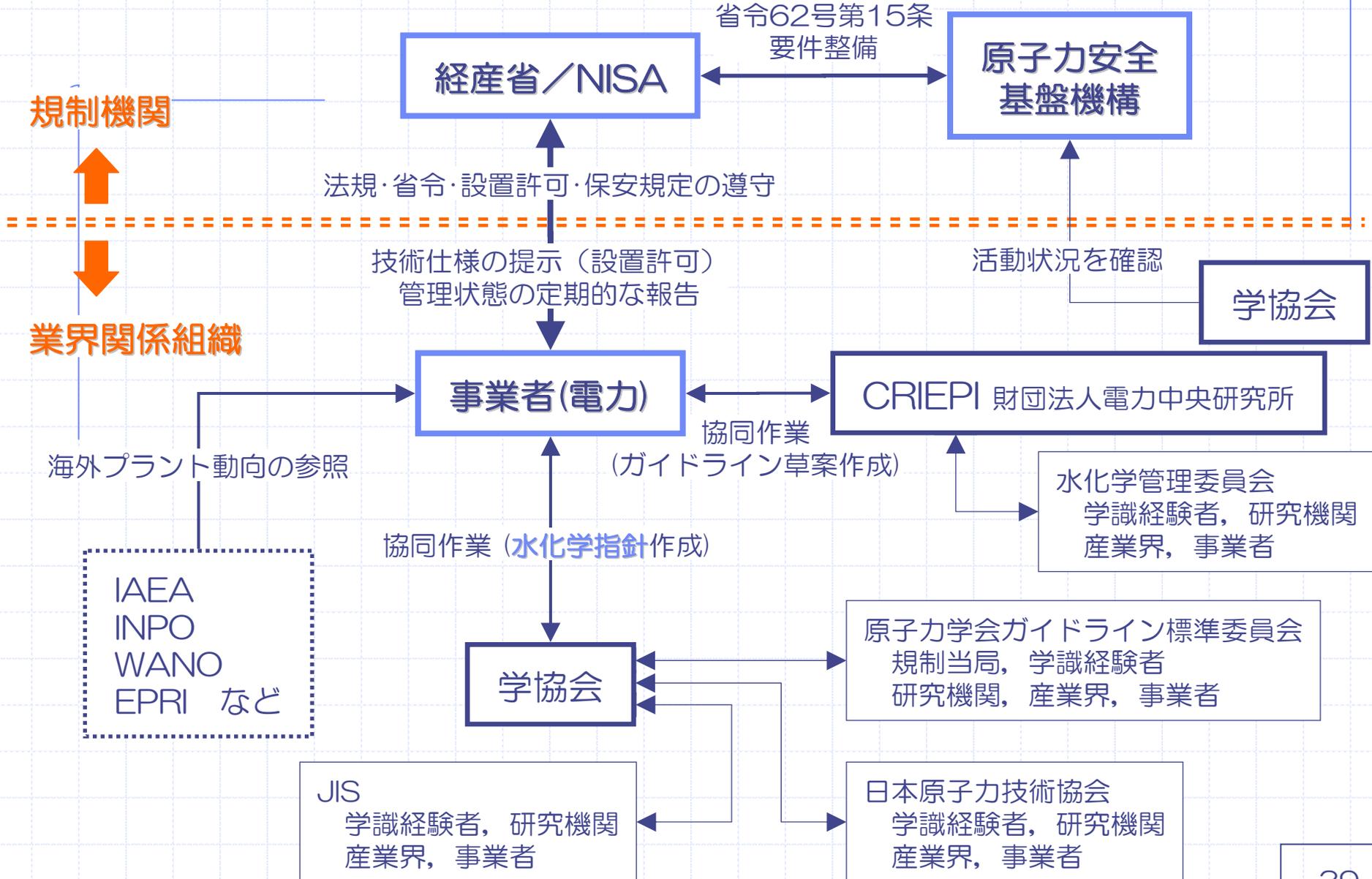
※1 レビューを実施(コメント実績なし)

※2 PWRは原則として設定

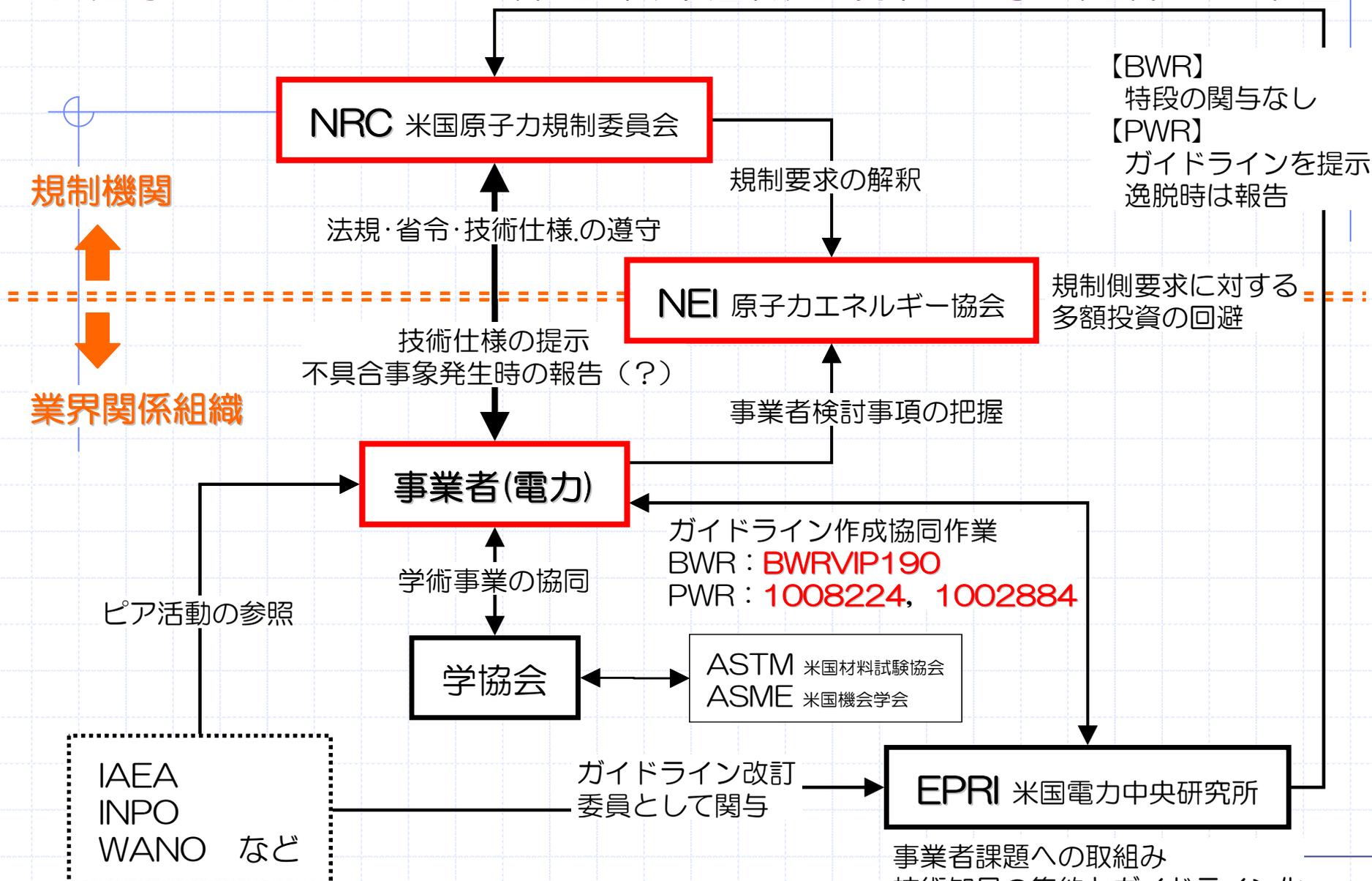
※3 BWRのみ設定

※4 PWRのみ実施

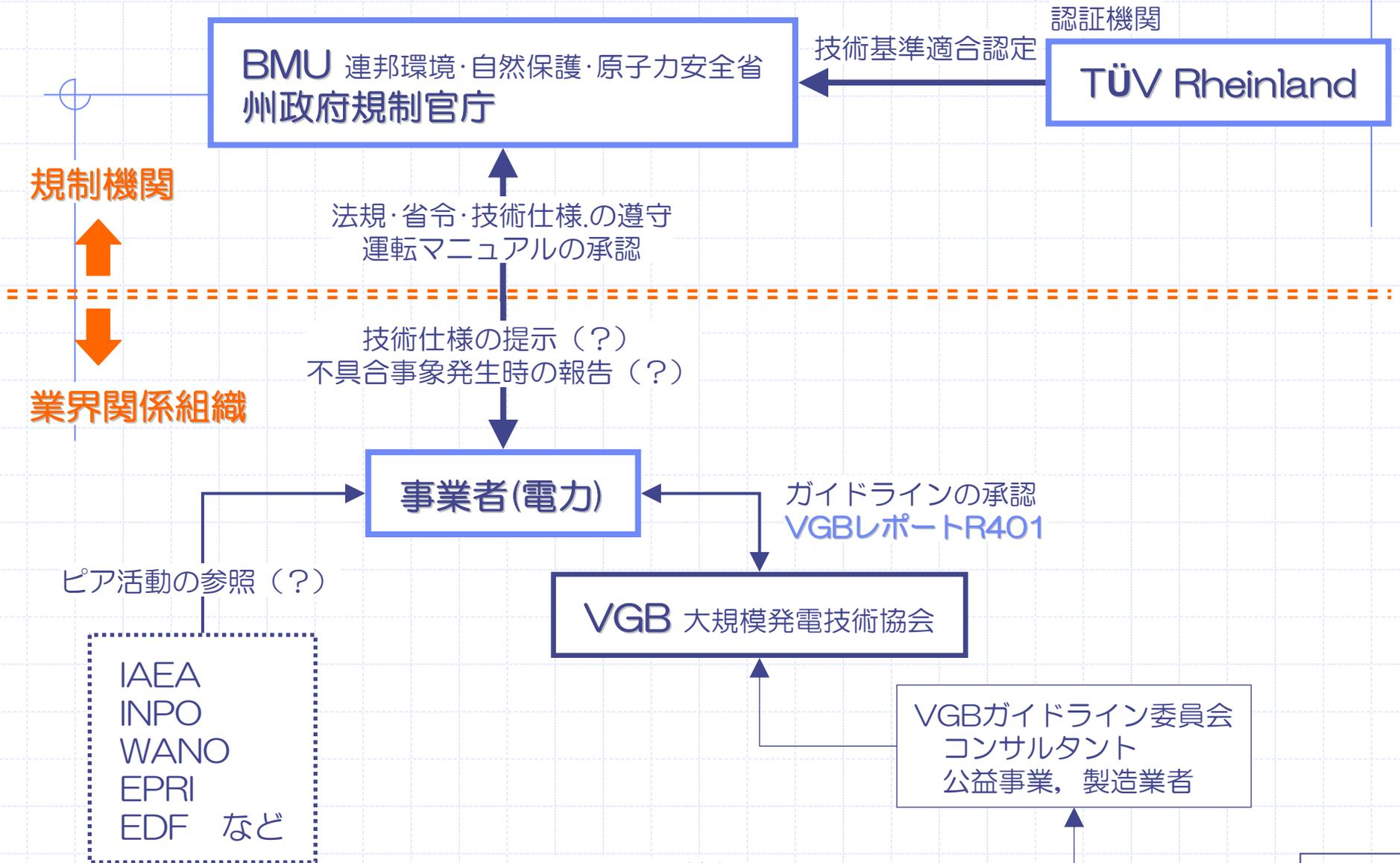
水化学ガイドラインに係る業界組織と規制当局の関係：日本



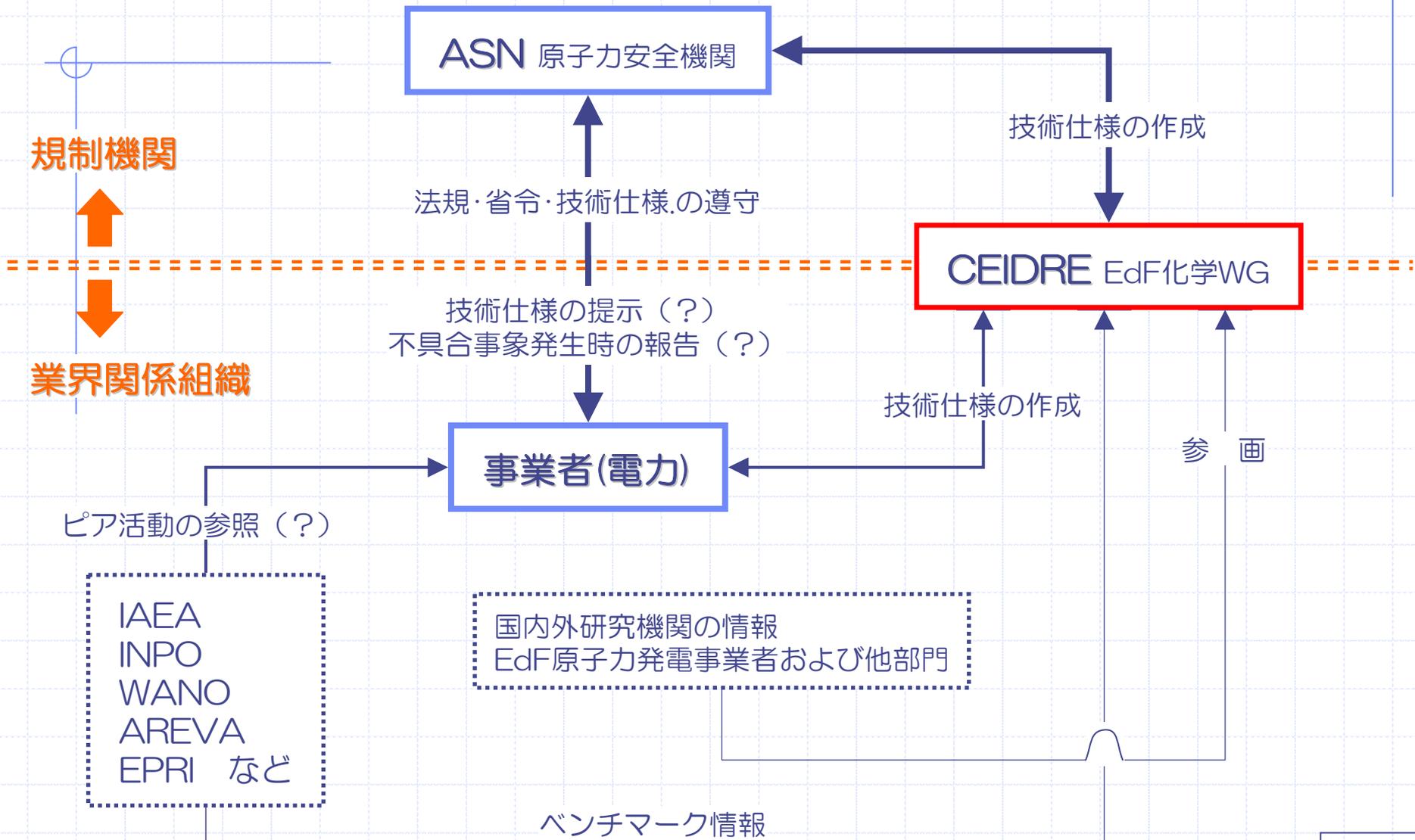
水化学ガイドラインに係る業界組織と規制当局の関係：米国



水化学ガイドラインに係る業界組織と規制当局の関係：ドイツ



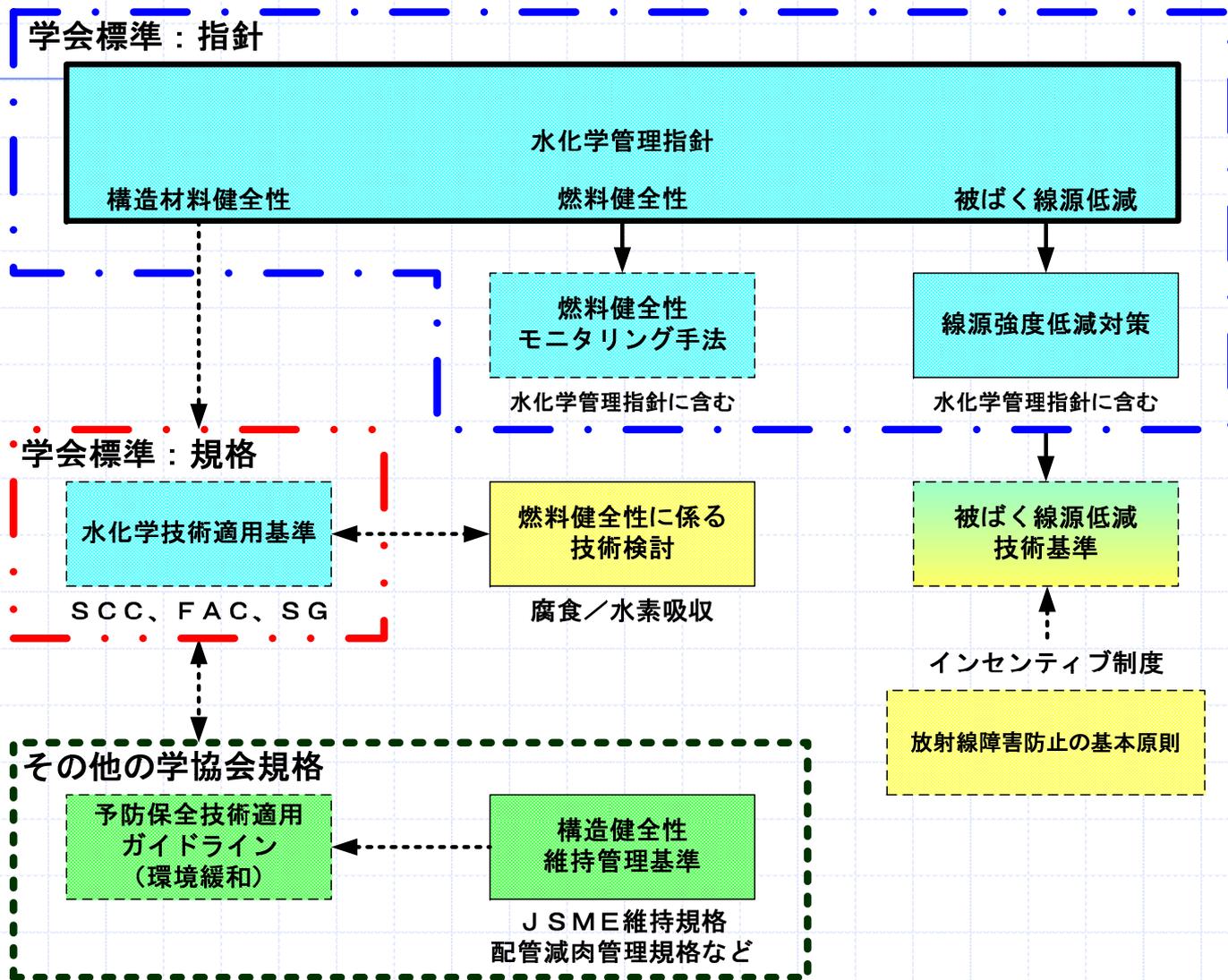
水化学ガイドラインに係る業界組織と規制当局の関係：フランス



水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

システム安全合同タスクグループの成果イメージ（案）



水化学管理標準策定の目的

1. 水化学が果たすべき役割・使命
2. 原子力学会における水化学標準策定のねらい
3. 化学管理に係る法令などの体系
4. 日本機械学会／維持規格の適用上の課題
5. システム安全合同タスクグループの目的
6. 水化学標準の体系と活用（案）
7. PLMおよび燃料分野からの水化学管理への要求事項
8. PLM、燃料および水化学に関連する水化学管理
9. 海外主要国における業界組織と規制当局の関係
10. システム安全合同タスクグループの成果のイメージ
11. 今後の検討方針

システム安全合同タスクにおける今後の検討方針（案）

1. 発電用原子力設備に関する技術基準（省令62号）第15条一次冷却材の詳細仕様としての学協会規格を策定するため、前提となる考え方の検討

＜条文＞

一次冷却材は、通常運転時における圧力、温度及び放射線によって起る最もきびしい条件において、必要な物理的及び**化学的性質**を保持するものでなければならない。

＜解釈＞

第15条の「必要な物理的性質」は、核的性質と熱水力的性質に分けられ、核的性質としては核反応断面積が核反応維持のために適切であること、熱水力的性質については冷却能力が適切であること。また、「**必要な化学的性質**」は、**燃料体及び構造材の健全性を妨げることはない性質であること**及び通常運転時において放射線に対して化学的に安定であること。

＜検討事項＞

軽水炉の構造材・燃料が一次冷却材との相互作用によって、その健全性を妨げられる代表的な事象は「腐食」である。**腐食は経年劣化事象**であり、時間と共に発生・進展し、また、**水化学因子以外に材料・応力・照射・熱などの因子にも依存する複雑な現象**である。

このため、一次冷却材の化学的性質に係る詳細仕様を検討するにあたっては、水化学の観点からだけでなく、

点検方法、周期・補修、取替えとの関係

水化学以外の因子（材料・応力など）の考慮方法

などについて、**燃料分野、PLM分野と連携し、予め産官学による検討の前提となる考え方について合意を形成しておく必要がある。**

システム安全合同タスクにおける今後の検討方針（案）

2. 水化学技術適用基準（例：BWR水素注入標準など）

構造材料の腐食損傷抑制、燃料の腐食・水素化抑制、あるいは被ばく線源蓄積抑制など、特定の目的のために

オプションとして用いようとする個別の水化学技術について、その適用に際して利用者が守らなければならない考え方、実施方法、判断基準などを定めた基準

- 科学的合理性のあるプラント管理/安全規制（構造健全性、燃料健全性・被ばく低減）に活用するための関連規格とのインターフェースについて検討
- 有効性をより高める観点から、今後強化すべき技術基盤・情報基盤について検討

3. 水化学管理指針（BWR水化学管理指針、PWR一次系/二次系水化学管理指針）

構造材料の腐食損傷抑制、燃料の腐食・水素化抑制および健全性監視、ならびに被ばく線源蓄積抑制を調和的に達成する「良好な水化学管理」ため、

利用者が守るべき水化学管理の方法（考え方、管理系統、管理項目、計測頻度、管理値ならびに管理値逸脱時にプラントへの影響を最小化するための運転操作）について、

炉型ごとに共通する基本事項を定めたガイドライン（化学管理のベース）

- 目的達成のためのアプローチに関する基本的な考え方について検討
- 有効性をより高める観点から、今後強化すべき技術基盤・情報基盤について検討
- 良好な水化学管理の実現に寄与するだけでなく、保安活動充実、改善インセンティブ強化への活用について検討

今後の検討課題

1. 整備すべき水化学管理標準と活用の仕組み
 - 安全規制との連動
 - 関連規格基準との連動
2. 必要な技術基盤／情報基盤の抽出
 - 現状の基盤強化
 - 将来に向けた基盤整備
 - 関連分野の技術戦略マップ・RMへのフィードバック
3. 1F事故を踏まえた水化学標準

水化学管理標準策定スケジュール（案）

