原子力委員会定例会議
2026年 7月 8日

令和8年第27回原子力委員会
資料第１号

学術界における軽水炉の長期安定運転のための活動

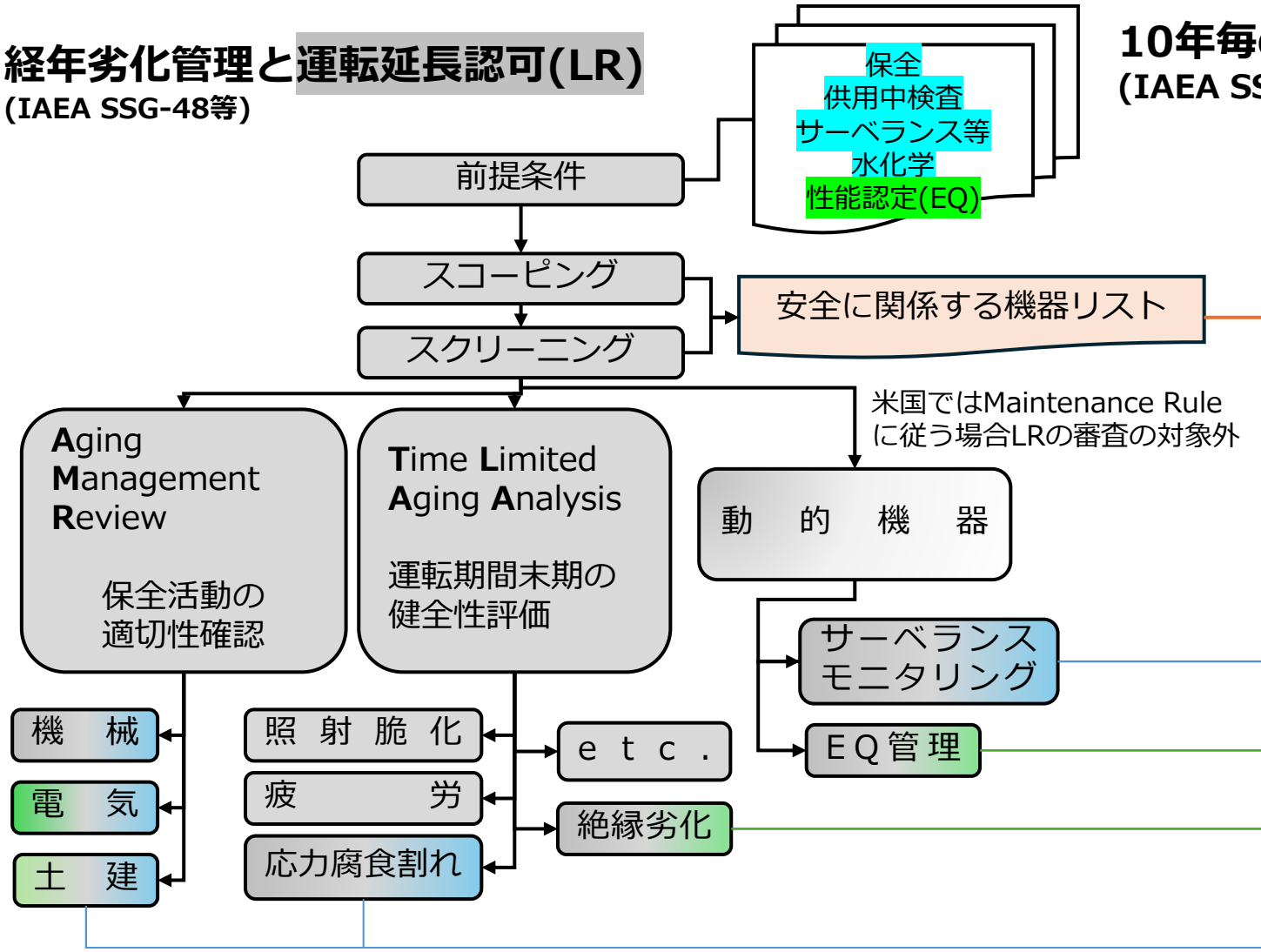
東京大学大学院工学系研究科レジリエンス工学研究センター
准教授　村上健太
murakami@n.t.u-tokyo.ac.jp

原子力発電所の長期運転のための制度的枠組み (国毎に異なる)

物理的な経年劣化 & 製造中止品 への対応

左に加えて、基準/設計/知識のオブソレッセンスに対応

経年劣化管理と運転延長認可(LR)
(IAEA SSG-48等)



10年毎の安全再評価(定期安全レビュー: PSR)
(IAEA SSG-25)

1. プラント設計
2. 機器の現状
3. 機器の性能認定
4. 経年劣化
5. 決定論的安全解析
6. 確率論的リスク評価 (PRA)
7. ハザード解析 (起因事象や外的事象)
8. 安全実績
9. 運転経験 & 研究成果
10. 組織・マネジメントシステム・安全文化
11. 手順
12. ヒューマンファクター
13. 緊急時計画
14. 放射性物質の環境影響

⇩

総合評価

After IAEA Safety Report Series 121 (2022)

(参考) 経年劣化管理に係る国内規制と対応する慣行・標準類

日本には元々プラントの運転年限を規定する制度はなかったが、2013年7月にバックフィットと運転期間の規制が炉規法に導入された。2025年6月より運転期間に関する規定は電気事業法に移管された。

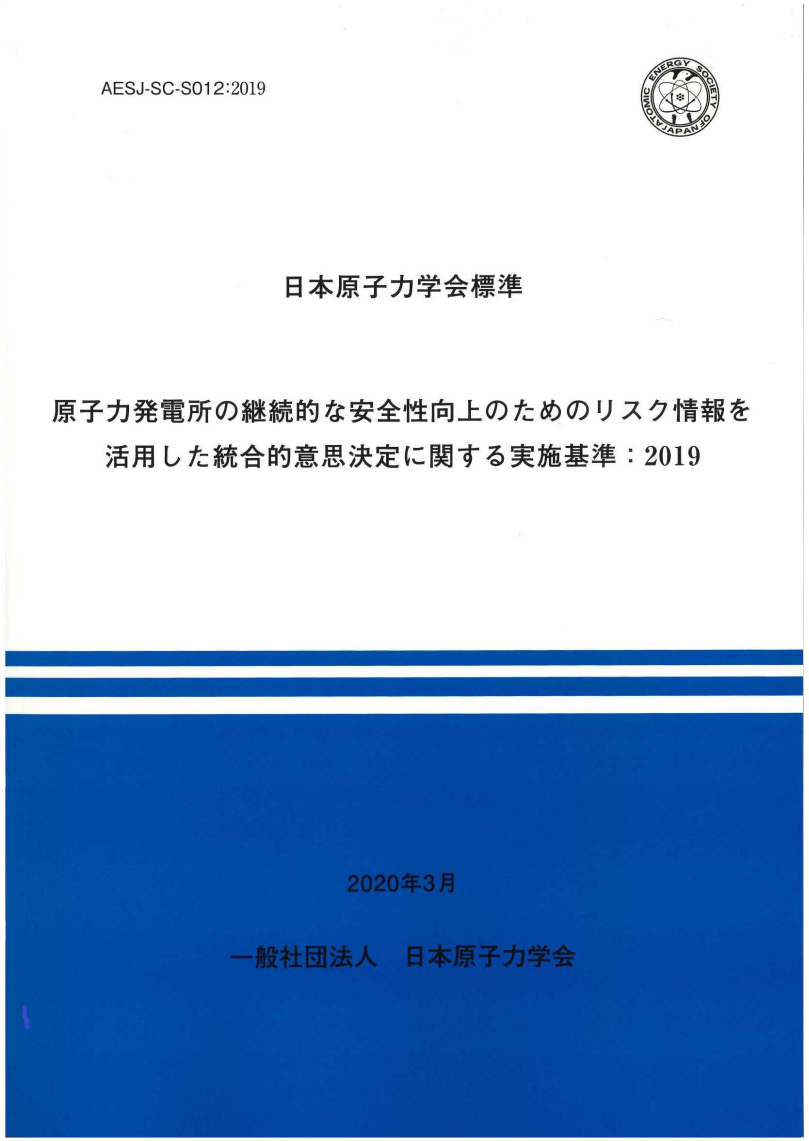
バックフィット (新知見を規制に反映し、その規制を既存の施設にも適用すること。NRAでは13回実施)
- AESJ 原子力発電所のリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準（**AESJ IRIDM標準, 改定中**)

経年劣化管理に係る通常時の規制
(品質マネジメント)
- ✓ 原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則（**品管規則**）
  - JEAC4111 原子力安全のためのマネジメントシステム規程

(運転・保守)
- ✓ 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（**技術基準規則**）
- ✓ 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（**実用炉規則**）
  - **保全プログラム** (JEAC4209/JEAG4210 原子力発電所の**保守管理規程/指針**)
  - **供用中検査プログラム** (JSME 発電用原子力設備規格 **維持規格**)
    - 電気協会で整備される具体の規格類。(例：JEAC4201 原子炉構造材の監視試験方法、JEAC4203 原子炉格納容器の漏えい率試験規定、等)
  - ✓ **検査制度,** 定期事業者検査，是正処置プログラム，安全実績指標の監視
- ✓ **安全性向上評価届出制度** (定期事業者検査終了後 6か月以内に、プラントの現状 & 運転経験を評価して提出)

中長期的な規制
- ✓ 安全性向上評価のうち「ハザード評価、決定論的安全評価、PRA、ストレステスト」（5年毎）
- ✓ 安全性向上評価のうち「中長期的な評価」(10年毎) → **AESJ PSR⁺ 標準**
- ✓ **長期施設管理計画の認可制度** (30年目から10年毎) → **AESJ PLM標準, 改定中**
  - ✓ 特別点検 (40年目)、追加点検（60年目）

【改定中】原子力学会標準委員会 IRIDM実施基準


AESJ-SC-S012:2019

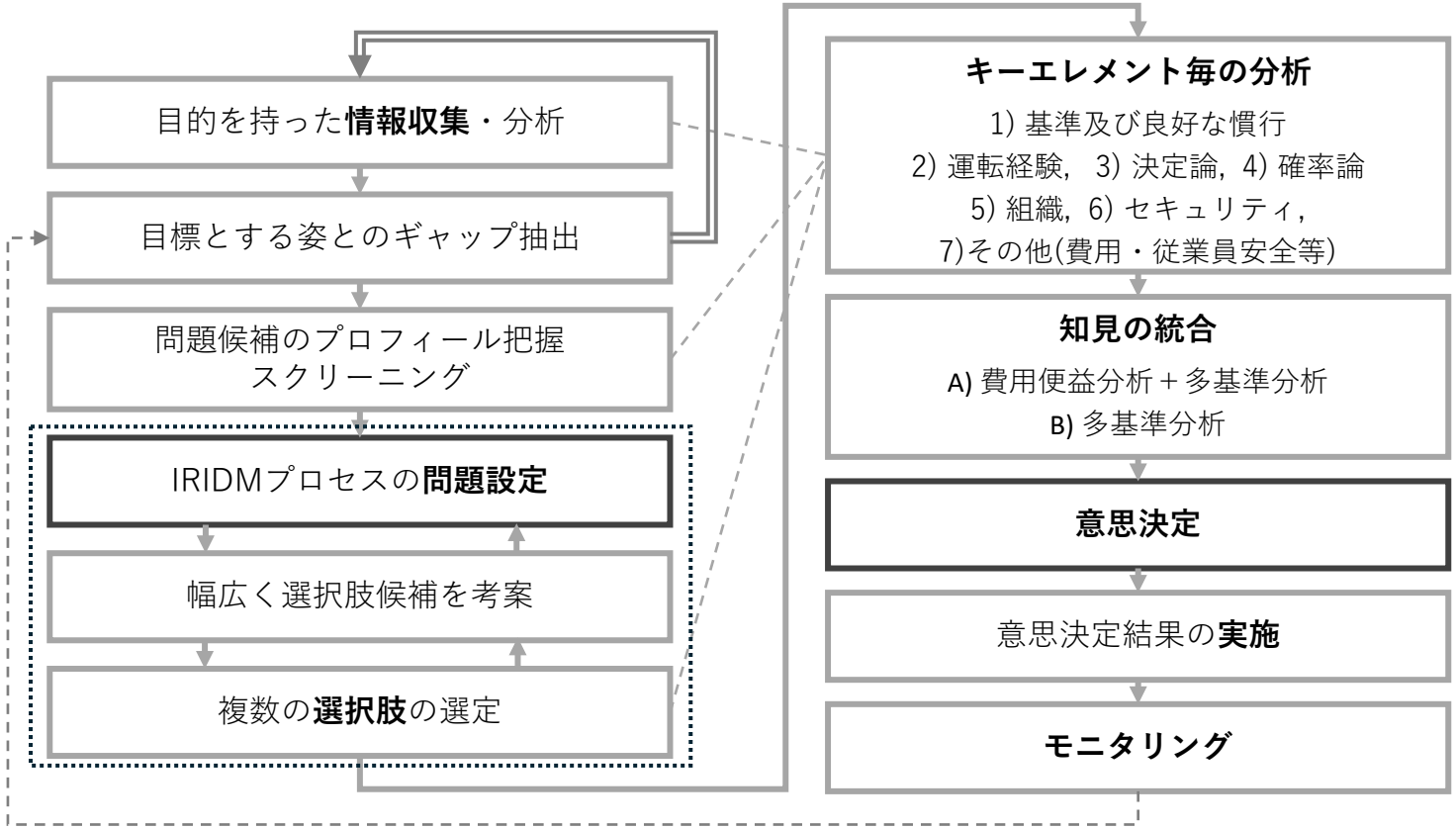
日本原子力学会標準

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

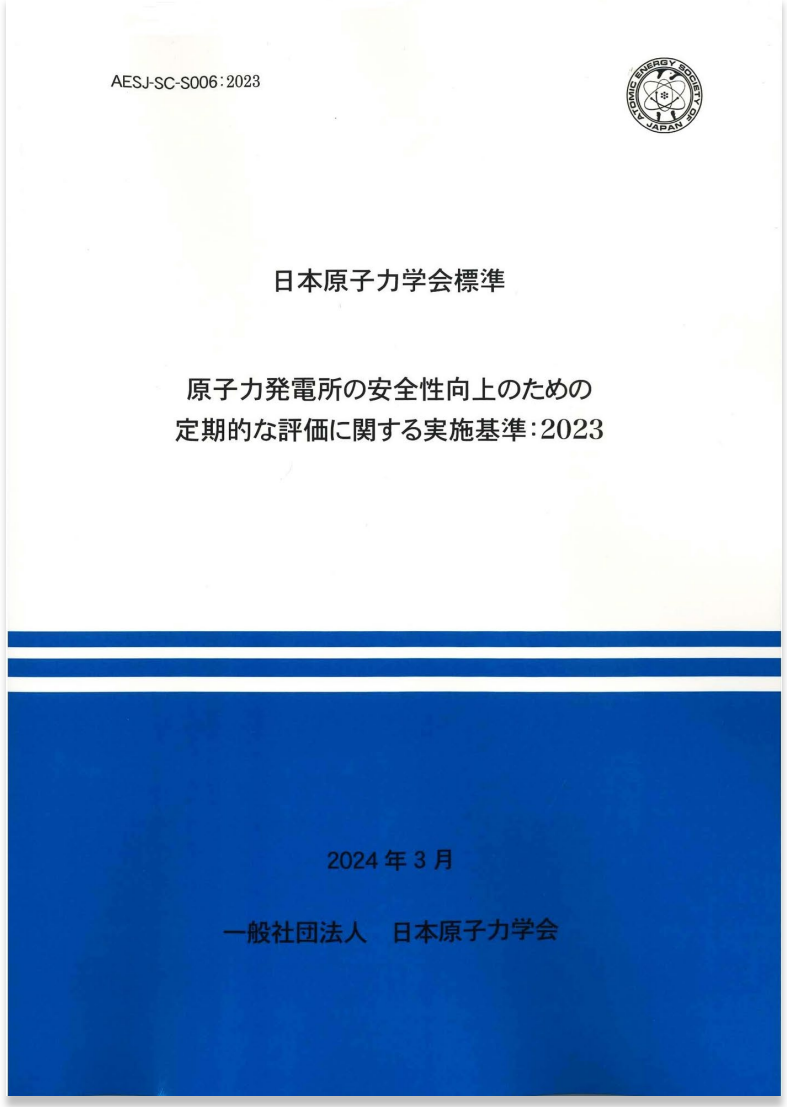
2020年3月

一般社団法人　日本原子力学会

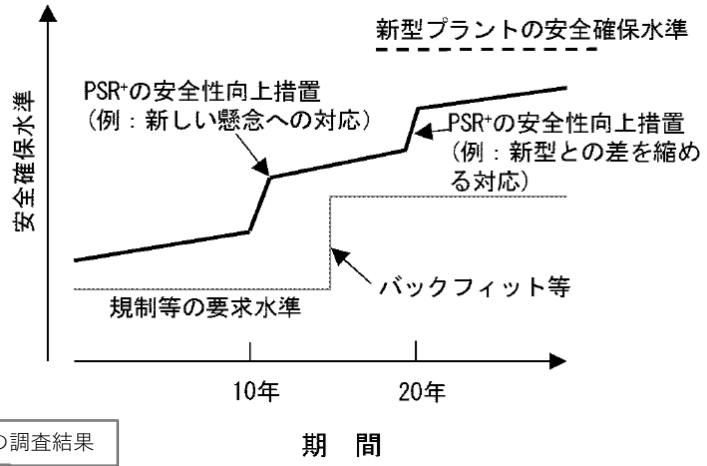
- **INSAG-25** の推奨事項を具体化するために整備
- 安全に係る多様な意思決定に対して汎用的に利用することが可能
- これまでの利用実績を踏まえ、ISO31000との関係を再整理したうえで、使いやすい標準へと改定

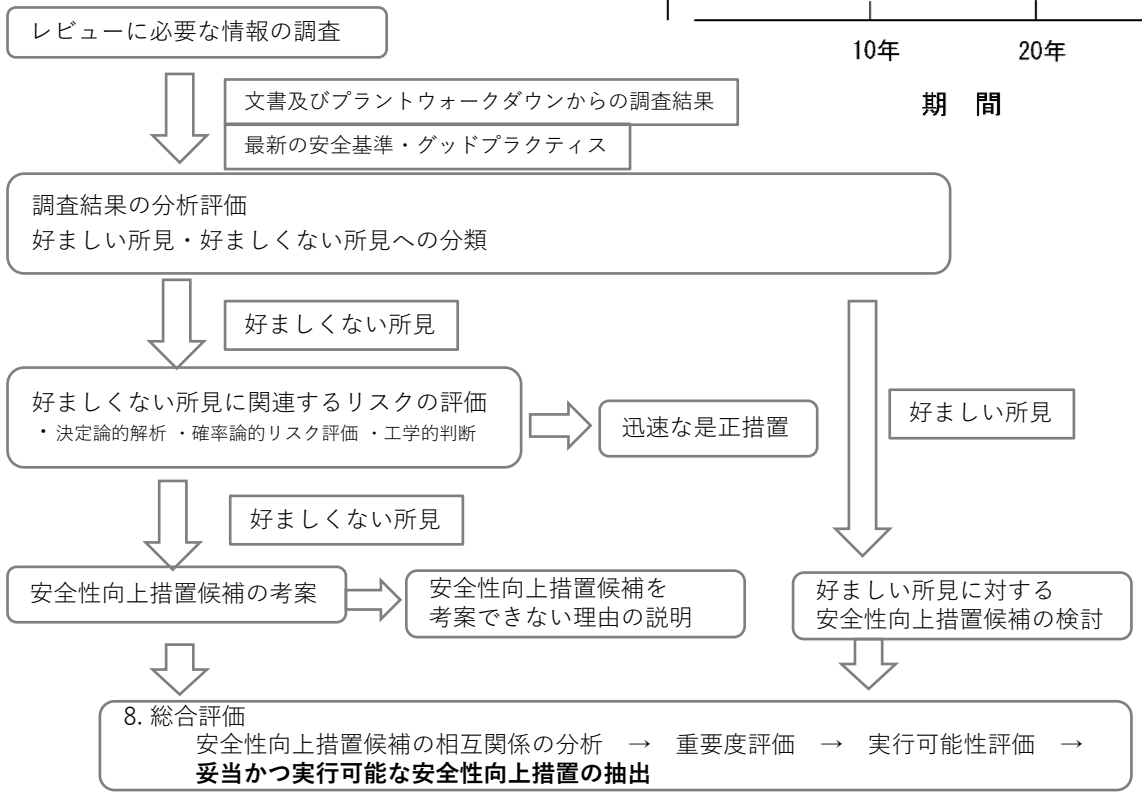


原子力学会標準委員会 PSR⁺実施基準

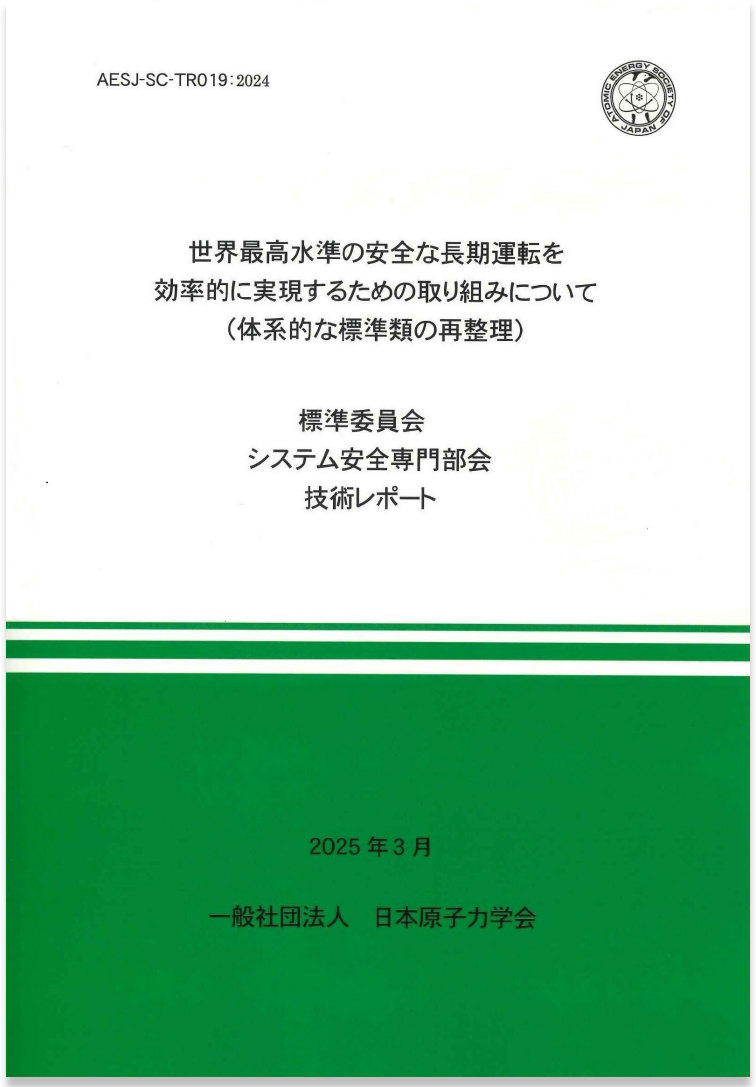


IAEA安全指針 “原子力発電所の定期安全レビュー” (**SSG-25**)相当の標準を整備
安全性向上評価等に活用





原子力学会標準委員会 長期運転タスク (AESJ-SC0TR019:2024)


AESJ-SC-TR019:2024

世界最高水準の安全な長期運転を
効率的に実現するための取り組みについて
（体系的な標準類の再整理）

標準委員会
システム安全専門部会
技術レポート

2025 年 3 月

一般社団法人　日本原子力学会

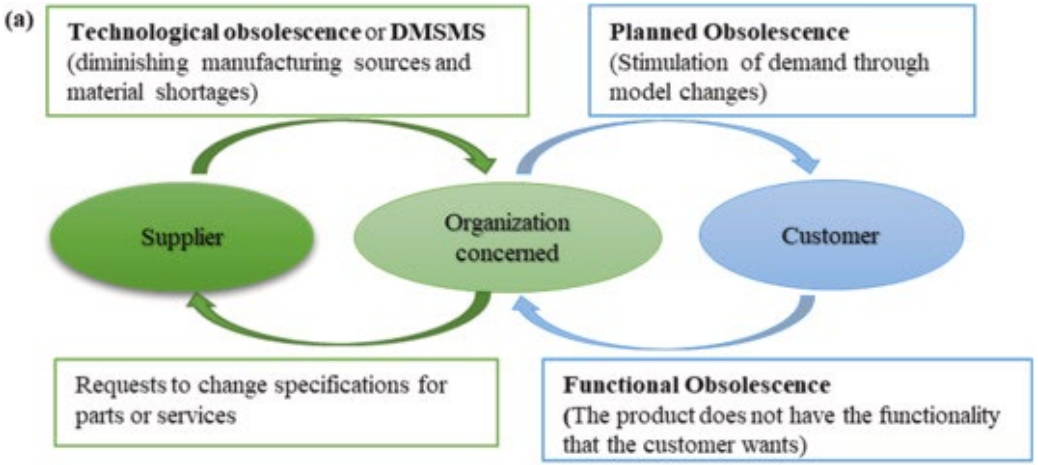
日本の規制制度を反映した標準体系を，IAEA 安全指針“原子力発電所の長期運転のための経年劣化管理とプログラムの策定”（**SSG-48**）と逐条的に比較

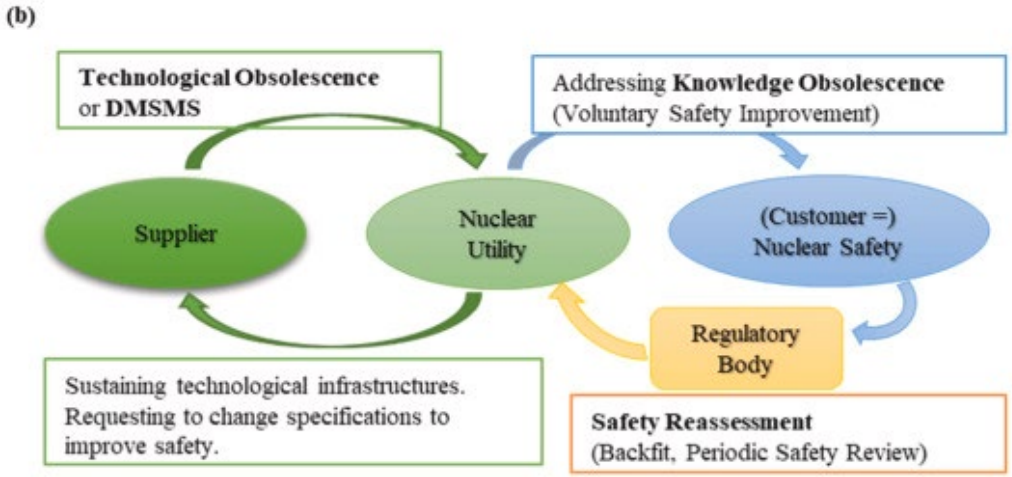
→　**SSG-48の推奨事項を国内標準で達成する方法を提示**

今後の充実が期待される４つの取り組みを提示

1. 運転期間全体を通じた機器の性能検証
   - 性能検証の維持状況の可視化と耐震性能の検証の効率化
2. リスク情報の活用
   - リスク情報を活用したAMP, 大型構築物に対する管理目標の設定
3. プラントの長期停止リスクへの対処
   - 特に基準地震動超の地震発生への事前の備え
4. 旧式化（オブソレッセンス)への対応
   - 安全性向上評価等で使える”Good Practice”の定義の明確化
   - 抽出される安全性向上措置の数
   - 知識の旧式化への対応

オブソレッセンス管理のケーススタディ（国際動向調査）





Murakami, et al., Prog. Nucl. Energ 2026
https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2025.106199

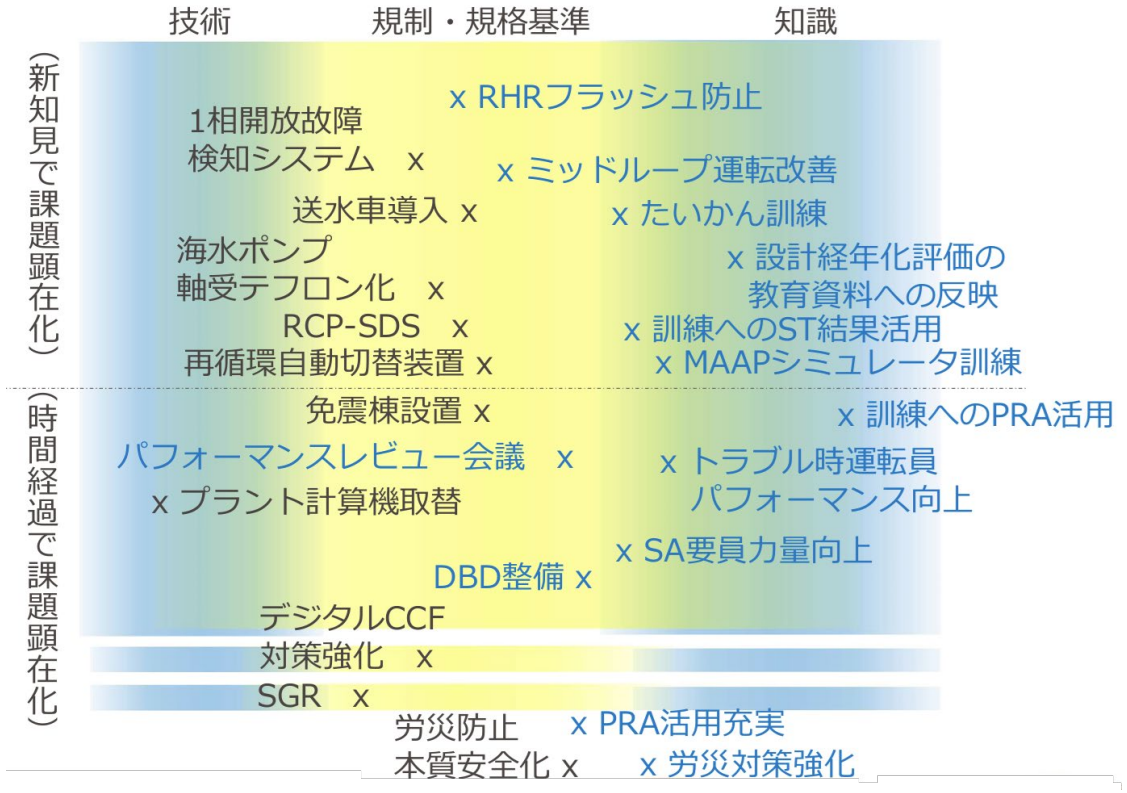
- 原子力におけるオブソレッセンスの３形態(技術/基準/知識)を一般産業と比較
- IAEA PLiM-5 (2022)等の情報を基に、オブソレッセンス管理の理論を概説し、６つの事例を分析。QMSとの関係を整理

1. 核燃料の供給と新型燃料の開発
   燃料サプライチェーンの変化
   新型核燃料の採用・燃料試験施設
2. 計装・制御機器の更新
   計装デジタル化・出力向上との関係
3. 大型構築物の更新
   SG・燃料チャネル、サプライチェーンとの関係
4. 外的事象の再評価
   バックフィット・ストレステスト・IPEEE
5. 安全系における多重性・多様性の強化
   1F事故後の安全対策（特にスイス）
6. 設計拡張状態の設定
   1F事故後の対策（日本, WENRA,フランス）

(例示) オブソレッセンス管理の国内事例
原子力学会・安全部会で議論 (2023年)

長期運転に入った事業者における取組

安全性向上評価では30件程の対策を報告



長嶋, 原子力学会 2024年春の年会

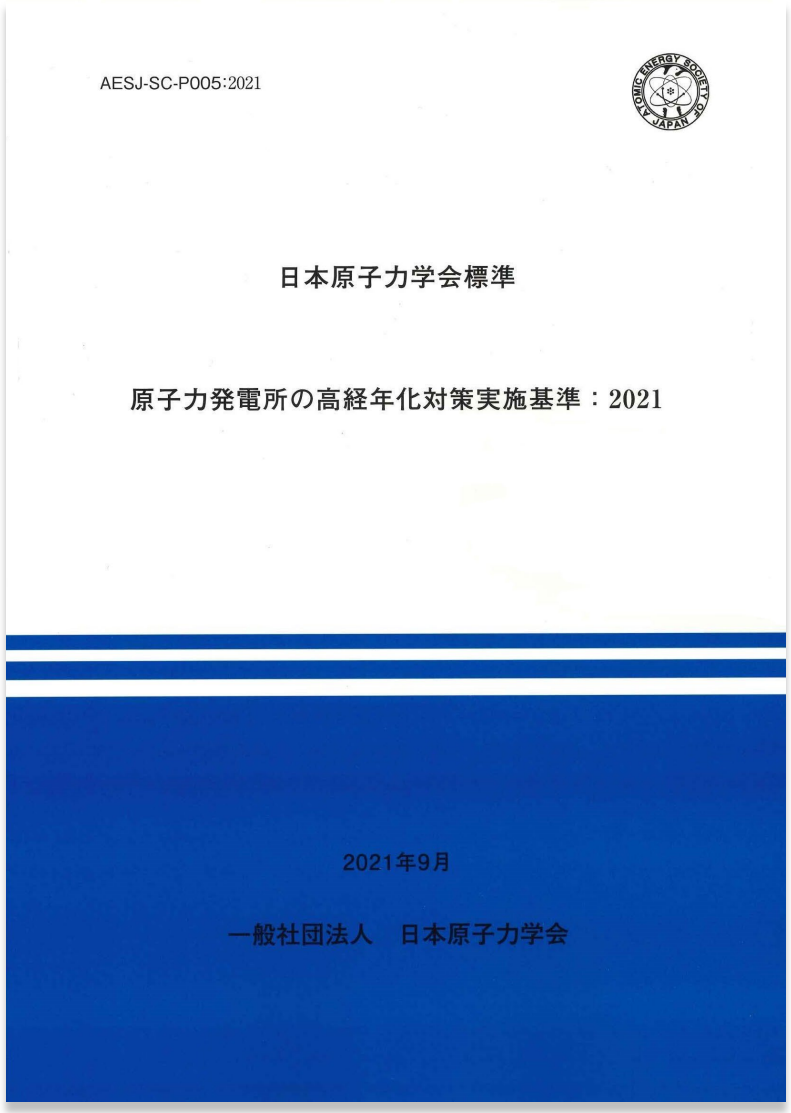
プラント建設中の事業者における事前の取組

PSR+標準等の安全因子に紐づけて、将来のための対応を事前に抽出

SSG-25 安全因子14項目	知識のオブソレッセンスに対する対策
1. プラント設計	• 構成管理（CM）の基盤整備（DBD・様式-８）【14頁】
2. 安全上重要なSSCの現状	
3. 機器の性能保証	
4. 経年劣化	
5. 決定論的安全評価	• 最適評価コードを用いた統計的安全評価手法に関するノウハウの蓄積【23頁】
6. 確率論的安全評価	• リスクリテラシー向上を目指したPRA教育の実施【21頁】
7. ハザード解析	
8. 安全実績	
9. 他プラントでの経験及び研究成果の利用	• 電力ベンチマーキングと使用前事業者検査（模擬検査）による知識のアップデート【13頁】 • フルMOX炉心設計のための研究開発【24頁】
10. 組織、マネジメントシステム及び安全文化	• エクセレンスの言語化と共有【10頁】
11. 手順	
12. ヒューマンファクター	• 保守訓練センター等を活用した保全技量の伝承【11頁】
13. 緊急時計画	• ＳＡ対応を考慮したシミュレータと運転訓練の導入【19頁】 • 建設段階における緊急時対応訓練の導入【20頁】
14. 放射性物質が環境へ与える影響	

小川, 原子力学会安全部会 2024年春の年会FUセミナー

【改定中】原子力学会標準委員会 高経年化対策実施基準


AESJ-SC-P005:2021

日本原子力学会標準

原子力発電所の高経年化対策実施基準：2021

2021年9月

一般社団法人　日本原子力学会

- 運転初期からの経年劣化管理の実施
- 10年ごとの経年劣化管理
- 高経年化対策検討
  - **経年劣化事象のスクリーニング**
  → **<u>80年間</u>**に発生する可能性のある経年劣化事象を対象とする
  - **経年劣化事象の評価**
  → 30、40、50年時点の評価は、60年を評価対象期間とする
  → **<u>60年以降の評価は、80年</u>**を評価対象期間とする
  → 評価期間の延長、短縮を許容する。
  （審査では、予見性を得るため50年目に70年相当の評価を実施）
  - **長期保守管理方針**の策定
  → 10年間の方針を策定する
  - 技術開発課題の抽出
- 長期保守管理方針に基づく保守管理
- 高経年化対策検討の再評価

経年劣化のスクリーニングのための知識基盤構築

経年劣化メカニズムまとめ表の例　(P01-02 ターボポンプ
横置うず巻/1次冷却剤/低合金鋼, ステンレス鋼)

	Required Function	Location	Material	Ageing Degradation
1	Pump Capacity and Head	main shaft	stainless steel	wear
2				fretting
3				high-cycle fatigue
4		vane wheel	cast S.S.	cavitation
5		vane ring	—	wear
6		casing ring	—	expendable
7		bearing box	cast iron, cast carbon steel	Corrosion (all)
8		bearing (sliding)	—	expendable
9		bearing (rolling)	—	expendable
10		gasket	—	expendable
11		shaft joint	low alloy steel, carbon steel	wear
12		lubrication oil unit	carbon steel, cast iron	corrosion (all)
13		speed increasing gear	low alloy steel	wear
14		Bearing of speed increasing gear (sliding)	white metal	Expendable
15		casing of speed increasing gear	cast iron	corrosion (all)
16	Boundary	casing	low alloy steel with S.S. liner	Not expected
17			Cast S.S.	fatigue
18				SCC
19		casing cover	low alloy steel with S.S, liner	Not expected

Murakami, OECD/NEA Workshop 2023

機器毎に80年運転を想定して発生可能性のある経年劣化を幅広に収集
（発生しない劣化もある→定性的なリスク評価）

情報源として次を活用

- 過去の高経年化技術評価 (延べ66基)
- 米国の運転期間延長申請(SLR含む)
- International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), Phase 6 (全部) 及び Phase 7 (AMPのみ)

- 国際機関の報告書執筆等にも参加
  例) Status Report on Long-Term Operation of Nuclear Power Plants Beyond 60 years (OECD/NEA, 2025)

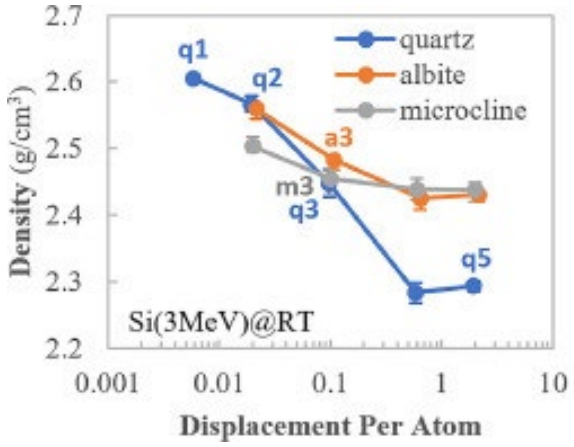
照射影響に関する最近の知見（コンクリート）

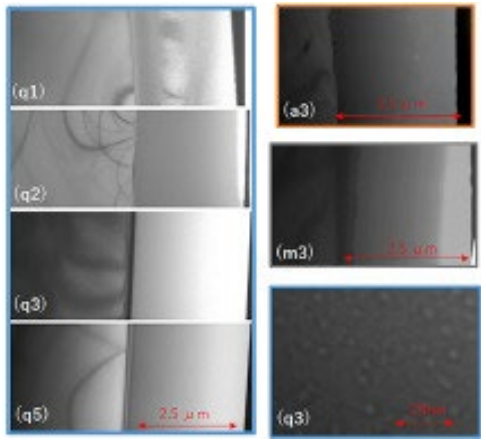
- 米国の加速試験データに基づいて、コンクリート照射劣化のスクリーニング基準が変更　($10^{20} \rightarrow 10^{19}$ n/cm^2)

コンクリート照射劣化(圧縮応力・ヤング係数低下)は、

- ➢ 骨材が照射により非晶質化
- ➢ 非晶質した骨材が(やや遅れて)体積膨張
- ➢ 体積膨張により、骨材・セメントへ亀裂が導入

という機序で進行することを実験＋解析で確認

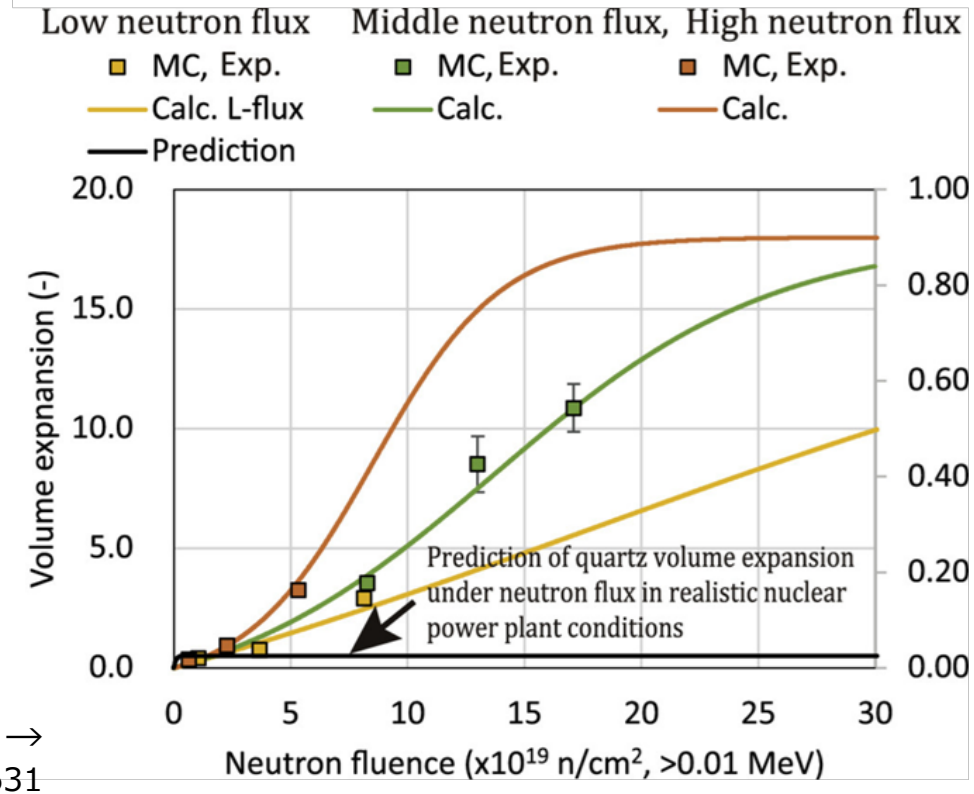




↑ Murakami, et al., JNM 2024
https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2024.155326

- LVR-15を利用し、米国よりも系統的な照射試験を実施
- 加速試験が非晶質化を促進するメカニズムを分析
- 商用炉の中性子束では劣化が小さいことを示した

$$\varepsilon(\Phi) = \left\{1 - \frac{\varepsilon_\infty}{\varepsilon_\infty + 1}\left(1 - \frac{\sigma_1 - A}{\sigma_1 e^{(\sigma_1 - A)\Phi} - A}\right)\right\}^{-1} - 1$$

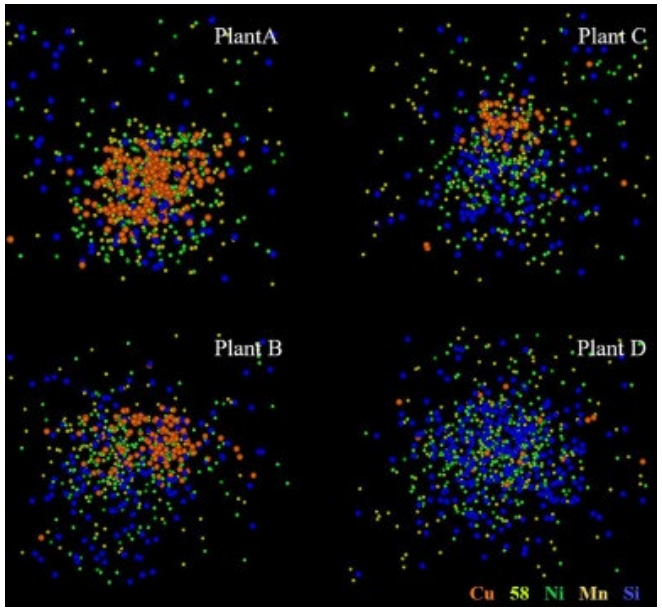


Maruyama, et al., JNM 2025 →
https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2025.155631

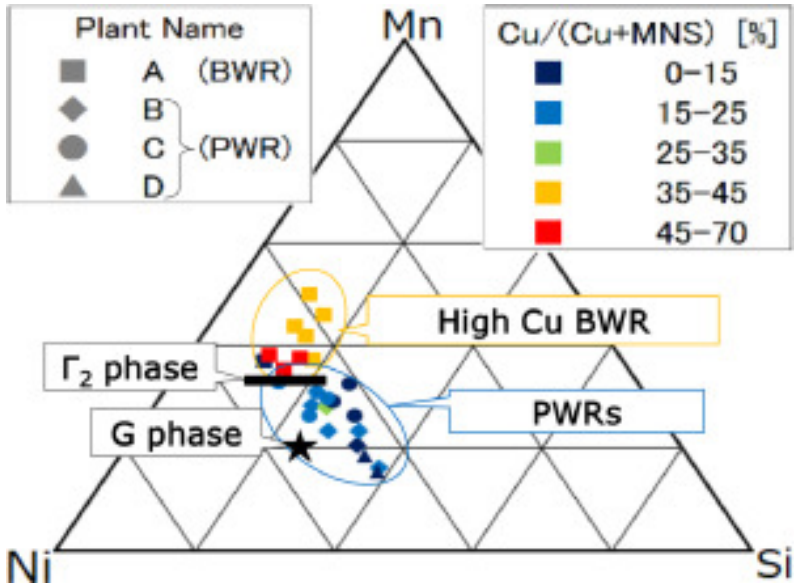
照射影響に関する最近の知見（原子炉圧力容器材）

- 監視試験データ(脆化量) ＋ミクロ組織(溶質原子集合体や転位ループ)観察結果が充実
  → 脆化相関式の微調整 (Hashimoto, et al., JNM 2021, https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2021.153007)
- 不純物量の少ない原子炉容器における経年劣化メカニズム理解の進展
  → 長い潜在時間を経て発現するような劣化因子を見落さないための基礎研究
- 確率論的破壊力学、マスターカーブ法等の利用 → 供用中検査の合理化（特にBWR）

代表的なミクロ組織 (脆化量は同程度)
(Plant Aは古いBWR,
Plant B-DはPWR. Dは低不純物)

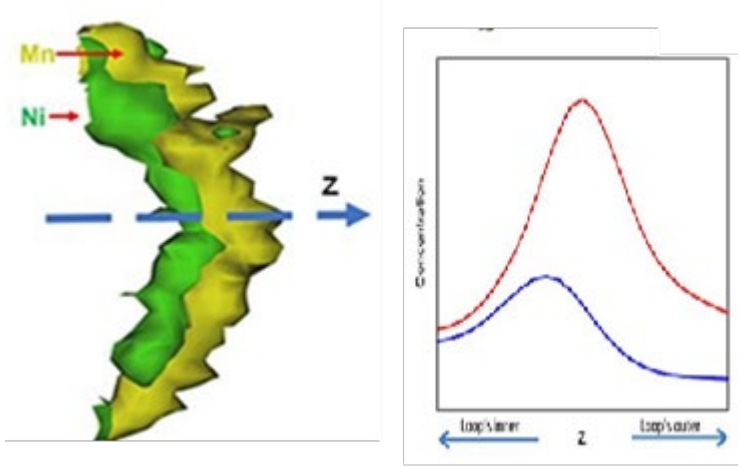


形成したミクロ組織の組成は、計算状態図から推定される 300度前後で安定な金属間化合物の組成とかなり近い
→ 劣化の最終形態の予測を合理的に実施できる！



新しい顕微鏡法を駆使して、
転位ループと溶質原子の相互作用を確認

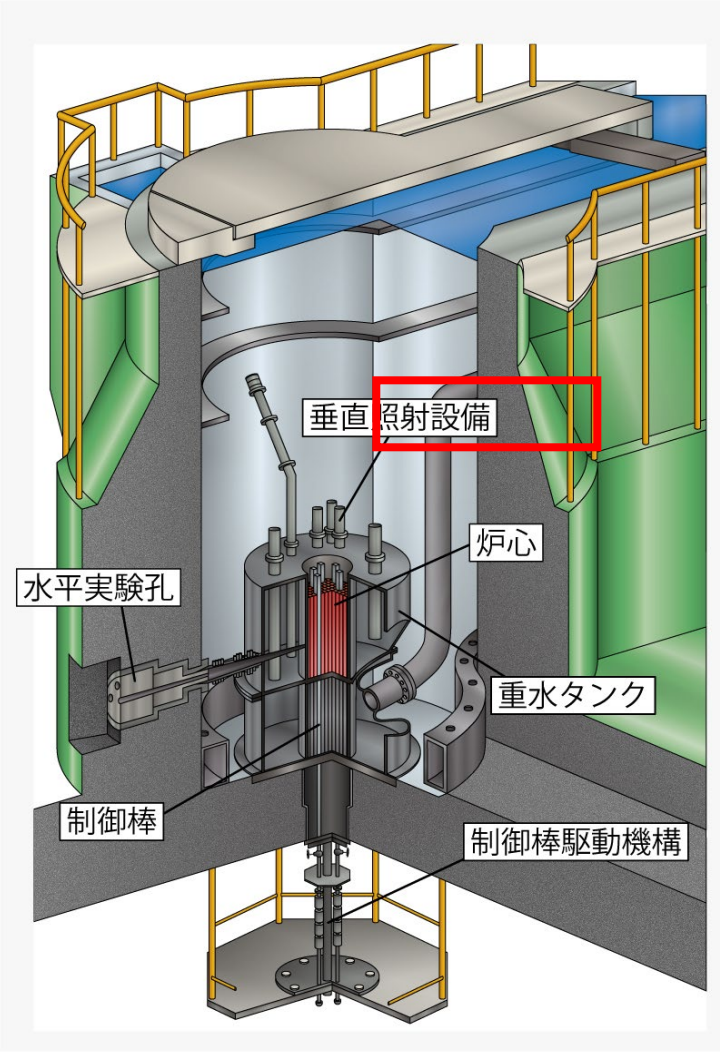
Mn, Ni等の添加元素がどのような機序で
転位ループに集合するかの評価



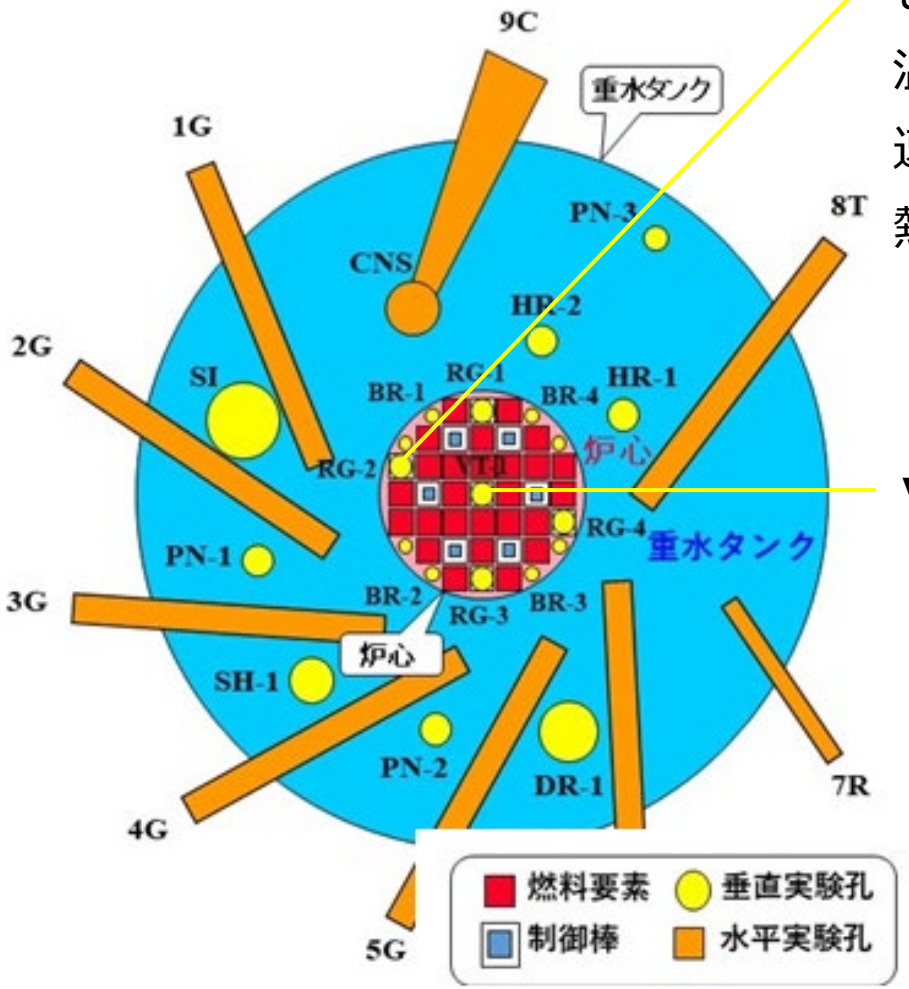
Murakami JNM, 2020, https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2020.152508

Ngyuen, JME, 2024, https://doi.org/10.1016/j.nme.2024.101639

研究基盤の現状（JRR-3照射）



https://jrr3uo.jaea.go.jp/



RG-2孔 290℃ 2サイクル照射あり

ヒータ・He内圧による温度制御

温度モニタリング (TP 15本)

速中性子 1×10^{14} n/cm^2

熱中性子 2×10^{14} n/cm^2

VT孔 照射実績なし

ガンマ発熱による温度制御

温度モニタリングなし (**要開発**)

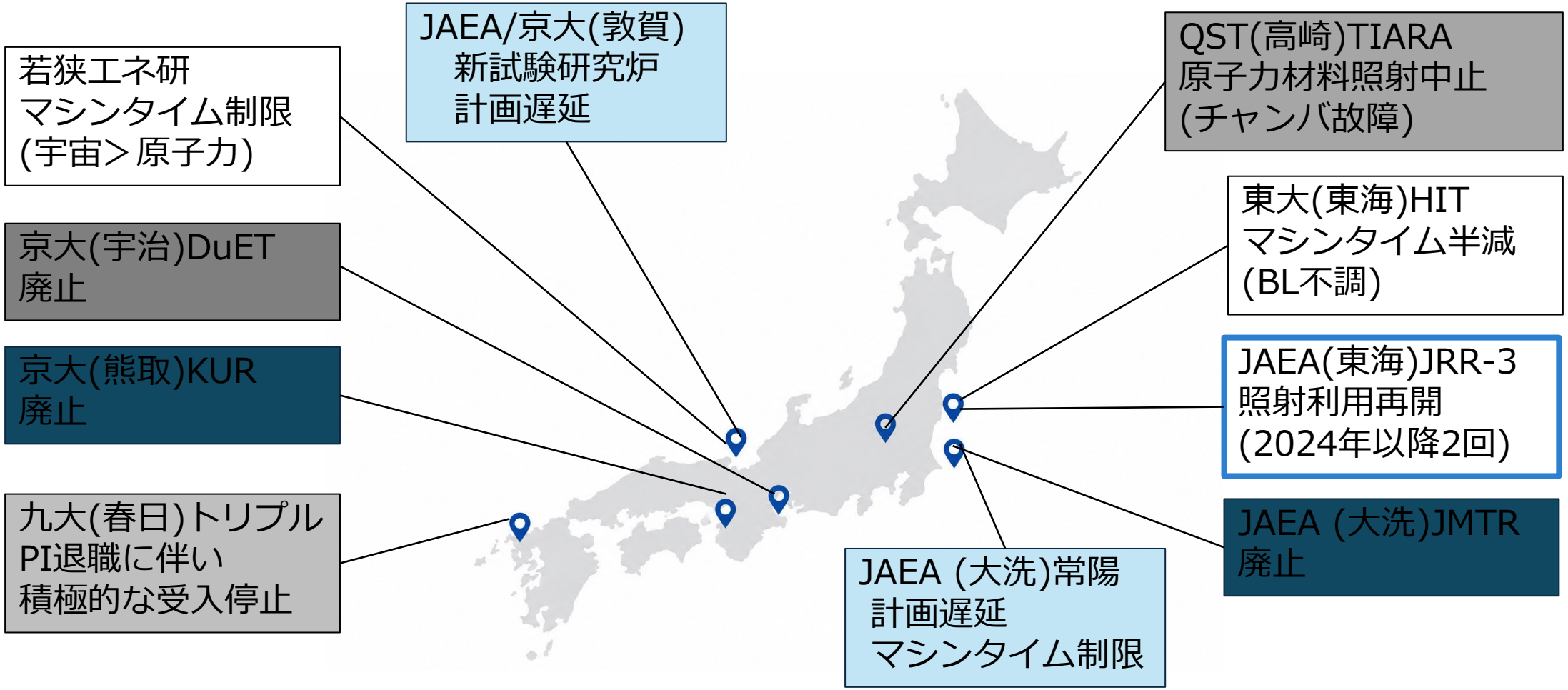
速中性子 2×10^{14} n/cm^2

熱中性子 3×10^{14} n/cm^2

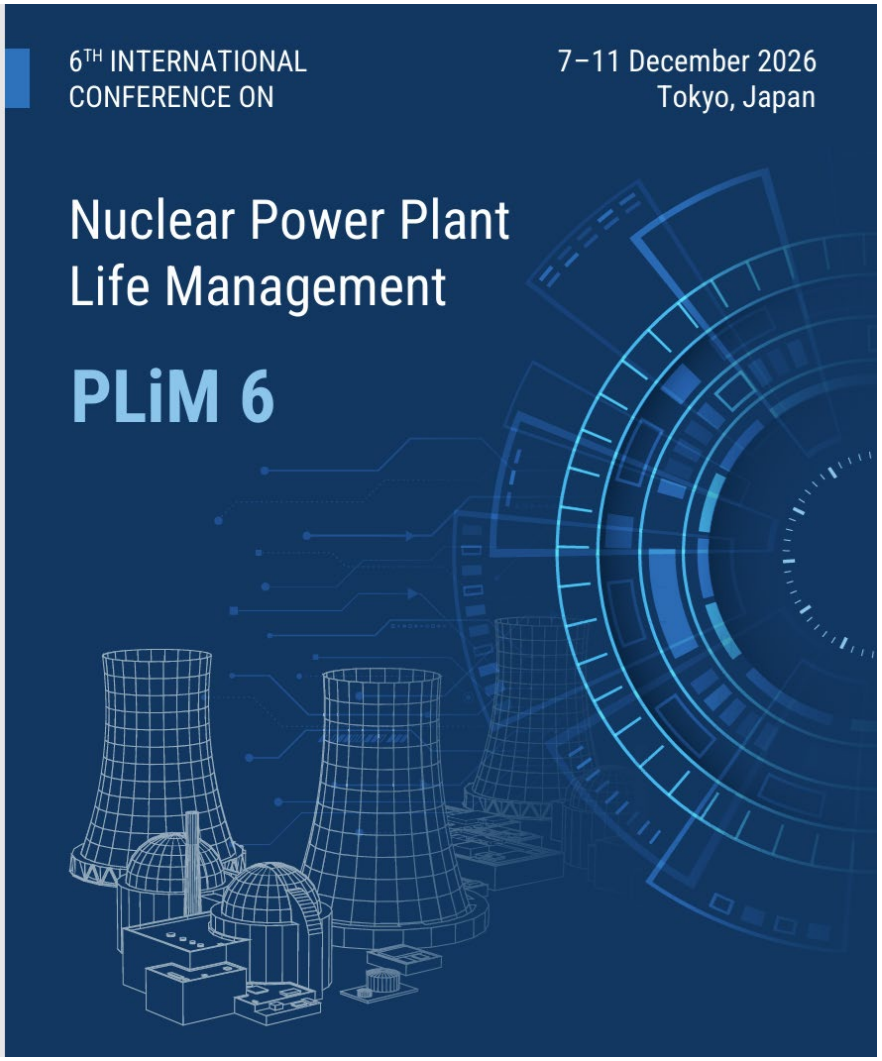
放射化が少なく、高温で中レベル照射量を得られる

（参考）原子力材料照射施設の廃止が続いている

(発表者の私見）日本は材料照射技術（特にイオン照射）で世界をリードしていたが、震災以降、研究インフラに投資しなかったせいで、10年間で完全に劣後した



（参考）Plant Life Management Conference 2026



- IAEA主催の国際会議 (NE局とNS局が共同事務局)
- 2026年12月7-11日に東京（都市センターホテル)で開催
- 次の発表を募集
  - PLMに関する良好事例
  - PLMに関するイノベーション
  - 経年劣化管理と長期運転の準備
  - PLMに関する工学的側面（改造、保全等）
  - ステークホルダー、人財開発、知識・能力管理
  - 長期運転に関する規制アプローチ
- パネルディスカッションも企画
  - PLMの必要性
  - 80年超運転
  - 新規プラントにおけるPLM
  - 長期停止／建設中断プラントにおけるPLM
  - 人材育成と知識管理