

6.4 環境負荷低減

原子力の平和利用が始まって半世紀が過ぎ、現在原子力はエネルギー利用と放射線利用により、様々な分野で有効に活用されている。エネルギー利用としての原子力発電は、その他の化石燃料を使用する発電と比較して温室効果ガスである二酸化炭素をほとんど放出しないエネルギー源であり、地球環境への負荷軽減に大きく貢献できる可能性がある。しかし、原子力発電は放射性廃棄物が副次的に発生することが広く認知されており、その発生量の低減が原子力安心を獲得するために必要である。

このような背景のもと原子力発電プラントでは、安全・安定運転に資するため、これまで水化学側面からの系統構成材料、ならびに燃料に対する信頼性・健全性の維持確保や公衆、ならびに運転業務従事者の被ばく低減等を目的とした技術開発が進められており、現時点での最適な水化学制御が適用されている。それら水化学制御を運用していくなかで、副次的に放射性廃棄物（使用済樹脂、フィルタ等）や制御用薬品を含む排水等が発生してくる。現状、既存技術を用いて適切な処置・処理を実施しているが、長期サイクル運用や出力向上運転等プラント高度化と新たな水化学制御の適用に鑑み、水化学技術改善と両立させた廃棄物/排水処理の最適運用を目指し、環境負荷の少ない発電プラントとして環境への影響を低減すること（例えば、バックエンドへのリスク軽減や平準化、地域共生・共存、作業被ばく線量低減等）が重要である。

この環境への影響低減に関する現状、研究方針と課題、及び、産官学の役割分担について以下に述べる。

(A) 現状分析

(1) 廃棄物発生抑制（PWR、BWR）

一次系においては、材料健全性維持、被ばく低減や環境放出低減のため、イオン交換樹脂やフィルタを使用して一次冷却材中の放射性腐食生成物や核分裂生成物を除去している。イオン交換樹脂は除染係数（DF）の低下、酸化劣化等により新樹脂に取替えられ放射性廃棄物となる。また、フィルタは経年劣化に加え、放射性腐食生成物等により発生する差圧等により取替えられて放射性廃棄物となる。これらの取替えはプラントの運転管理の一環で各原子力発電事業者の経験により運用されている。

イオン交換樹脂やフィルタの浄化性能維持と廃棄物発生量低減とはトレードオフの関係がある。例えばイオン交換樹脂の使用期間延長は粒子状成分に対するDF低下とともに樹脂劣化に伴い発生するTOC等の放出による影響もある。また、フィルタの細メッシュ化は微小粒子に対しても除去可能となるが、差圧上昇等の取替本数増大を招くことになる。

イオン交換樹脂は過酸化水素を含む水の通水等により酸化し、TOCの放出量が多くなる。そのため、イオン交換容量に余裕があっても取替える場合があり、脱塩塔の使用期間を短くしている。大気開放され放射線が存在する使用済み燃料ピット（SFP）水の浄化系で特に顕著である。

また、放射性廃棄物中に存在する ^{14}C は、半減期が5730年と埋設後も長期にわたり放射線を放出するため、環境への影響が大きい核種である。原子力発電所における ^{14}C の生成源としては、冷却材（水）や燃料ペレット中の酸素（ UO_2 として）の ^{17}O （n, α ） ^{14}C 反応

によるもの、構造材料や燃料ペレット中に不純物として含まれる炭素の $^{13}\text{C}(\text{n}, \gamma)^{14}\text{C}$ 反応によるもの、及び燃料の製造過程において不純物として混入する窒素の $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ 反応によるものがある。このうち、燃料内部で発生する ^{14}C は燃料被覆管の破損が発生していない通常運転プラントにおいては問題とならず、また、構造材料の不純物成分の放射化により発生する ^{14}C も微量であり、軽水炉における ^{14}C の主な生成源は、原子炉水自身が持つ酸素であると言われている^[6.4-1]。この原子炉水中の酸素の放射化によって発生した ^{14}C は原子炉水中で反応により化学種を生成し、構造材表面に付着する。

まず、インベントリ低減の観点からは、軽水炉である以上は原子炉水からの ^{14}C の生成を抑制することは困難である。しかしながら、添加薬品やガス、イオン交換樹脂に含まれる窒素は中性子吸収断面積が大きく、 $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ 反応による生成も無視できない可能性があり、この場合は水化学の改善により低減できる可能性がある。また、構造材料の放射化によって生成する ^{14}C は材料の腐食に伴って炉水中に溶出する可能性があるため、材料の腐食抑制が放射性廃棄物中の ^{14}C の低減に繋がる可能性がある。

次に、廃棄物発生量低減の観点からは、放射化により生成した ^{14}C の放射性廃棄物中への移行・付着を抑制することが必要である。すなわち、 ^{14}C のインベントリ低減に加え、放射性廃棄物へ移行する経路を断つ、または放射性廃棄物から除去することが出来れば、環境への影響を軽減することができる。しかしながら、炉内で生成した ^{14}C が放射性廃棄物へ移行する経路及びそのメカニズムが明確となっていないことから、現段階においては移行経路を遮断するための有効な手段は見出されていない。従って、冷却材中での ^{14}C の挙動解明、すなわち、 ^{14}C の発生から廃棄物への取り込みに至る過程での化学形態を含めた挙動解明が重要な課題となる。

(2) 環境への放出低減 (PWR)

PWR 二次系においては、設備・機器の腐食防食等の観点から、制御用薬品としてアミン (アンモニアやエタノールアミン) 脱酸素剤としてヒドラジンといった窒素含有の化学薬品を使用している。また、蒸気発生器伝熱管等へ付着したスケールを改質 / 除去する技術として、キレート剤 (例として EDTA : エチレンジアミン四酢酸) 等を用いた化学洗浄の適用が考えられる。このようなプラント保全活動の中で発生する化学薬品等を含む排水は、既存の技術により適切に無害化処理等を行い、問題ないことを確認したのちに放出している。

(B) 研究方針と実施にあたっての問題点

放射性廃棄物を低減させる手法としては、廃棄物の濃縮や高効率化による減容対策も挙げられるが、浄化システム運用の合理化・最適化や新技術の導入 (樹脂やフィルタ開発等) による発生量抑制も有効な手法であることから、水化学的側面からの廃棄物発生低減方策を検討する必要がある。

水質汚濁に関する環境基準は、化学的酸素要求量 (COD) の他に指定海域について全窒素の規定がある。アミンの一部は COD 管理対象薬剤となり、また、全てアミン基を有していることから窒素管理対象薬剤となる。このため、これら薬剤の使用量低減手法並びに脱窒手法の高度化について検討していく必要がある。また、ヒドラジンについてはがん原性

が認められ、使用量を低減し環境への放出を低減するか、ヒドラジン代替剤が求められている。制御薬品の選択や処理技術の開発においては、廃棄物発生抑制や環境負荷低減を効率的かつ効果的に達成するため、プラント高度化や新たな水化学管理の影響も同時並行で評価し、改善策を立案する。さらに、実機適用実績を踏まえたPDCAサイクルを確立する。

(1) 一次系浄化脱塩塔、フィルタの運用の最適化 (PWR、BWR)

イオン交換樹脂、フィルタについては、廃棄物発生量軽減を図るため、高交換容量イオン交換樹脂及び耐酸化性イオン交換樹脂の開発とその適用、脱塩塔樹脂運用及びフィルタ形状選定の更なる最適化検討を行う。これにより、現在の年間廃棄物発生量に比べて1割低減を目標とし、原子力安心の獲得と廃棄物処理費用の低減による発電コストの低減を目指す。また、プラントの安定・安全運転のために原子力発電所における廃棄物管理のあるべき姿として、廃棄物量の増加によるプラント運転に支障を来さない状態を維持するためにも1割低減が必要。

(2) 環境への放出低減 (PWR)

アミンを含む廃液については、実機適用可能な全窒素の低減手法、処理手法の高度化について技術的な検討を行う。ヒドラジン使用量については、SG伝熱管の電位に影響のないレベルまで低減可能な濃度を評価し、実機試験を行う。ヒドラジン代替剤については、国内プラントへの適用に向け、低温での脱酸素性、還元性、ならびに、定常運転時の高温環境での構成材料への適合性評価を行うことが重要である。

蒸気発生器二次側化学洗浄廃液については、実機適用可能な効率的且つ合理的な廃液処理手法の確立について技術的な検討を行う。

(3) ^{14}C の生成・移行抑制 (PWR、BWR)

前述の通り、 ^{14}C による環境への影響を軽減するためには、炉内で生成する ^{14}C のインベントリ低減に加え、放射性廃棄物への移行経路の遮断及び放射性廃棄物からの除去が有効であるが、その技術開発のためには先ず ^{14}C 発生源の特定と発生量に及ぼす各々の寄与割合の推定に加え、放射性廃棄物中への ^{14}C の移行メカニズムを解明する必要がある。

^{14}C 発生源の特定と寄与割合の推定に対しては、冷却材、材料からのものに加え、添加薬品やガス、イオン交換樹脂に含まれる窒素から生じる ^{14}C 量を推定し、各々から生じる ^{14}C 量を比較し水化学面からの低減策を検討する。

放射性廃棄物中への ^{14}C の移行メカニズムの解明に対しては、炉水中 (BWR では主蒸気、復水も含む)、液体、固体、気体廃棄物中における炭素の化学形態を詳細に調査し、それに基づき移行メカニズムを推定し、放射性廃棄物への移行経路の遮断及び放射性廃棄物からの除去法について検討する。

(C) 産官学の役割分担の考え方

産業界の役割

- ・ 一次系浄化脱塩塔、フィルタの運用の更なる最適化
- ・ 高交換容量イオン交換樹脂及び耐酸化性イオン交換樹脂の開発と適用性評価

- ・ヒドラジン使用量低減のためのラボ試験と実機適用性評価
- ・ヒドラジン代替剤の定常運転環境におけるラボ試験と実機適用性評価
- ・効率の且つ合理的な洗浄廃液処理手法の高度化
- ・廃棄物中の¹⁴C低減
- ・新技術の開発促進
- ・環境リスク低減
- ・地域との共生・共益
- ・積極的な情報公開・情報提供

国・官界の役割

- ・基盤整備
 - 環境負荷の低い原子力発電に対する国民理解促進
 - 原子力への投資の確保（インセンティブの付与等）
- ・環境リスク低減のための制度構築・運用
- ・海外規制動向等の把握と国内への反映

学会の役割

- ・化学物質等の科学的リスクの基礎データ、新知見の蓄積
- ・エネルギー・原子力教育の充実と強化
- ・研究の活性化と充実
- ・人材の育成及び供給

学協会の役割

- ・ロードマップ策定・維持
- ・人的交流と育成

産官学の連携

- ・資金の効率的且つ効果的な運用と成果の共有
- ・実用化までの期間短縮、開発資金の重複の削減
- ・成果の透明性と客観性、規制への迅速な対応
- ・人的交流と育成

図 6.4-1 に環境負荷低減に係わる導入シナリオ、表 6.4-1 に技術マップ、図 6.4-2 にロードマップを示す。

参考文献

- [6.4-1] 日本原子力学会標準, “放射性廃棄物の放射能濃度決定方法 - 原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の放射能濃度決定方法に関する基本手順：2007 - 浅地中ピット処分廃棄物について - ”, 日本原子力学会 (2008).

課題調査票

課題名	環境負荷低減
マイルストーン 及び 目指す姿との関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物量軽減に向けた技術の整備 → 廃棄物量軽減により、発電所での保管量縮小による安全性、信頼性向上を図るとともに、環境への漏えいリスク低減を図る必要がある。 ・ 環境影響低減に向けた技術の整備 → 水処理薬剤変更や運用方法の最適化により、環境への放出量を低減し、環境の安全性に貢献する必要がある。
概要（内容）	<p>PWR 一次系浄化脱塩塔、フィルタの運用の最適化</p> <p>イオン交換樹脂、フィルタについては、廃棄物発生量軽減を図るため、高交換容量イオン交換樹脂の開発とその適用、脱塩塔樹脂運用及びフィルタメッシュ選定の更なる最適化検討を行う。</p> <p>PWR 一次系浄化耐酸化性イオン交換樹脂の適用</p> <p>イオン交換樹脂は過酸化水素を含む水の通水等により酸化し、TOC、硫酸イオンの放出量が多くなる。そのため、イオン交換容量に余裕があっても取替える場合があり、架橋度を高くした耐酸化性イオン交換樹脂の実機適用性を評価する。</p> <p>BWR の CUW・FPC 系ろ過脱塩器樹脂の交換頻度の延長</p> <p>イオン交換樹脂は、廃棄物発生量軽減を図るため、高交換容量イオン交換樹脂の開発とその適用、及び樹脂寿命を勘案した樹脂交換の最適化検討を行う。</p> <p>BWR 耐酸化性樹脂及び高浄化性能樹脂の開発</p> <p>イオン交換樹脂は酸素等の酸化剤を含む水の通水等により酸化し、TOC、硫酸イオンの放出量が多くなる。そのため、イオン交換容量に余裕があっても取替える場合があり、架橋度を高くした耐酸化性イオン交換樹脂の実機適用性を評価する。</p> <p>ヒドラジン代替剤の実機適用性評価</p> <p>ヒドラジンの代替剤に関して、防食性能並びに高温での系統材料とのコンパチビリティに関するデータを取得し、定常運転時の代替剤実機適用を目指す。</p> <p>PWR アミン系水処理廃液の低減と処理技術の向上</p> <p>PWR 二次系の pH 調整剤として用いられるアミンは、一部のものは COD 管理対象薬剤となり、また、全てアミン基を有していることから窒素管理対象薬剤となる。このため、これら薬剤の使用量低減手法並びに脱窒手法の高度化を行う。</p> <p>PWR 蒸気発生器二次側化学洗浄廃液処理技術の向上</p>

	<p>蒸気発生器の長期保全において、60年運転を達成するためには、蒸気発生器二次側の化学洗浄は必要な工程となりつつある。このため、化学洗浄で発生する廃液の処理手法の高度化を行う。</p> <p>廃棄物中の¹⁴C低減</p> <p>¹⁴C生成インベントリ低減の観点では、原子炉水中の酸素からの生成については、プラントの運転方法を大きく変えることは出来ないことから対応が困難である。一方、窒素からの生成に着目した生成原因を特定し、廃棄物中の¹⁴C低減方策の検討を行う。また、廃棄物発生量低減の観点では、放射性廃棄物中への¹⁴Cの移行・付着メカニズムを解明し、放射性廃棄物への移行経路の遮断及び放射性廃棄物からの除去法について検討する。</p>
<p>導入シナリオとの 関連</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物量軽減に向けた技術の整備 → 廃棄物量軽減により、発電所での保管量縮小による安全性、信頼性向上とともに、環境への漏えいに対するリスク低減となる。 ・環境影響低減に向けた技術の整備 → 環境への放出を低減でき、環境の安全性に貢献できる。
<p>課題とする根拠 (問題点の所在)</p>	<p>イオン交換樹脂やフィルタは、プラント状態に対応した運用の最適化を検討し、廃棄物発生量抑制を図る必要がある。</p> <p>耐酸化性イオン交換樹脂使用に向け、長期使用による劣化や使用済み樹脂の処理方法等、全体的な検討し、廃棄物発生量抑制を図る必要がある。</p> <p>CUW・FPC系ろ過脱塩器樹脂の長期間使用を検討し、廃棄物発生量抑制を図る必要がある。</p> <p>イオン交換樹脂の劣化速度や浄化率低下を防ぐ新樹脂の開発を行い、出力増強等に備えておく必要がある。</p> <p>ヒドラジンは変異原性が認められていることから、環境への放出の低減が求められていることから、使用量を減らす必要がある。</p> <p>水質汚濁に関する環境基準を遵守するために、アミン系水処理廃液の低減手法及び処理手法の高度化を検討する必要がある。</p> <p>洗浄廃液の処理手法を確立し、環境への洗浄薬品等の放出量を削減する必要がある。</p> <p>¹⁴C生成原因及び移行経路を特定し、廃棄物中の¹⁴C発生抑制を図る必要がある。</p>
<p>現状分析</p>	<p>イオン交換樹脂やフィルタは、プラント固有差があることから、最適化の余地があると考えられる。</p> <p>架橋度を高めたイオン交換樹脂は一部のプラントで使用が始まっている。</p> <p>CUW・FPC系ろ過脱塩器の樹脂は、残交換容量を確認していない</p>

	<p>ため、交換頻度を延長する余地があると考えられる。</p> <p>原子炉出力増大に伴う復水温度の上昇等により現状の樹脂では寿命が短くなることが想定され、廃樹脂発生量増加が懸念される。また、プラント長期停止による廃樹脂発生量増加も懸念される。</p> <p>実機温度条件での材料に関する材料健全性データを取得し、ヒドラジン代替剤の定常運転中への適用性評価を行う必要がある。</p> <p>全窒素については、必ずしも低減対策が取られていない状況にある。</p> <p>蒸気発生器性能回復のために化学洗浄が行われており、環境負荷低減を図るためにも効率的な廃液処理手法を構築する必要がある。</p> <p>インベントリ低減の観点では、酸素からの発生抑制はプラント運転上困難なことから、窒素に着目した¹⁴C発生抑制方策を構築する必要がある。また、廃棄物発生量低減の観点では、放射性廃棄物中への¹⁴Cの移行メカニズムを解明し、放射性廃棄物への移行経路の遮断及び放射性廃棄物からの除去法について検討する。</p>
<p>期待される効果 (成果の反映先)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・被ばく線源の増加を避けながら廃棄物発生量の低減が可能となる。 ・環境の安全性に貢献できるとともに環境負荷の低減が可能となる。
<p>実施にあたっての 問題点</p>	<p>系統水中の粒径分布等を測定するには時間を要するため、プラント間で比較可能な調査要領を準備しておく必要がある。</p> <p>樹脂の性能確認だけでなく、使用済み樹脂の処理方法や樹脂移送上の物理的な性質も確認しておく必要がある。</p> <p>実機での効果確認に時間を要する。</p> <p>海外動向を把握する必要がある。</p> <p>ヒドラジン代替剤の定常運転時に関するデータを拡充するには、PWR環境を模擬した高温・高圧水環境下で長時間試験が必要である。</p> <p>PWRに実機適用可能な全窒素の低減手法、処理手法の高度化について技術的な検討が必要である。</p> <p>化学洗浄廃液処理手法の高度化について技術的な検討が必要である。</p> <p>¹⁴C発生原因及び移行経路の特定が必要である。</p>
<p>必要な人材基盤</p>	<p>(1)人材育成が求められる分野</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水化学、放射線防護 <p>(2) 人材基盤に関する現状分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境影響低減のための水化学管理技術はメーカーや電気事業者が

	<p>開発を継続してきており、現在は十分な人材の確保に努めているが、継続して開発を進めるために人員の維持が必要である。官・学には水化学の専門家が少ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 技術の実証のためには実験炉や高温高圧環境下での長時間試験を行う必要があるが、必ずしも十分ではない。 <p>(3) 課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 必要とされる人材規模は、原子力発電に関する国の方針に依存し、これに対応して、計画的かつ継続的な人材確保が必要である。 ・ 東電福島第一事故後の原子力プラントの長期停止により、実際に経験を積む場が損なわれている。 ・ 優秀な人材を惹きつけるという意味において、東電福島第一事故とそれに続く原子力プラントの長期停止は、若い世代の原子力離れを招いている。
他課題との相関	<ul style="list-style-type: none"> ・ S111_d32：状態監視・モニタリング技術（予兆監視・診断、遠隔監視・診断等）の高度化 ・ S111_d33-1 被ばく低減技術の高度化（水質管理技術、遠隔操作・ロボット技術、放射線防護技術） ・ S111_d39 検査・補修技術の高度化 ・ M107_d34 保守・運転管理の合理化・省力化による保守・運転員負荷軽減 ・ S113_d45 処分場の設計・評価技術の確立による社会的受容性の向上
実施時期・期間	中期（2030年）
実施機関／資金担当 ＜考え方＞	<p><u>産業界・学協会／産業界</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物量軽減に向けた技術の整備 ・ 環境影響低減に向けた技術の整備 <p>＜考え方＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 電気事業者は、事業主体としてプラント要件を取り纏めるとともに、プラントへの適用性評価を行う。 ・ メーカーは、プラント設計を熟知していることから、具体的な設計とプラントに合った技術開発を行うとともに、電に事業者が実施するプラントへの適用性評価を支援する。 ・ 研究機関は、技術開発に必要な要素技術を開発する。 ・ 大学は、技術開発に必要な要素技術を開発する。 ・ 実施主体が資金担当となることが適当と考える。 <p><u>原子力規制委員会／原子力規制委員会</u> （必要に応じ、規制の枠組みの整備、技術評価）</p> <p>＜考え方＞</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・電気事業者は、新規制基準及び軽水炉安全技術・人材ロードマップに則り、事業主体として安全性向上に努める。 ・電気事業者は、事業主体として保全の信頼性向上に努める。 ・メーカーは、必要な技術開発に努める。 ・原子力規制委員会は、電気事業者のニーズを踏まえて規制基準及び導入の枠組みを定め、技術評価を行う。 ・実施主体が資金担当となることが適当と考える。
その他	

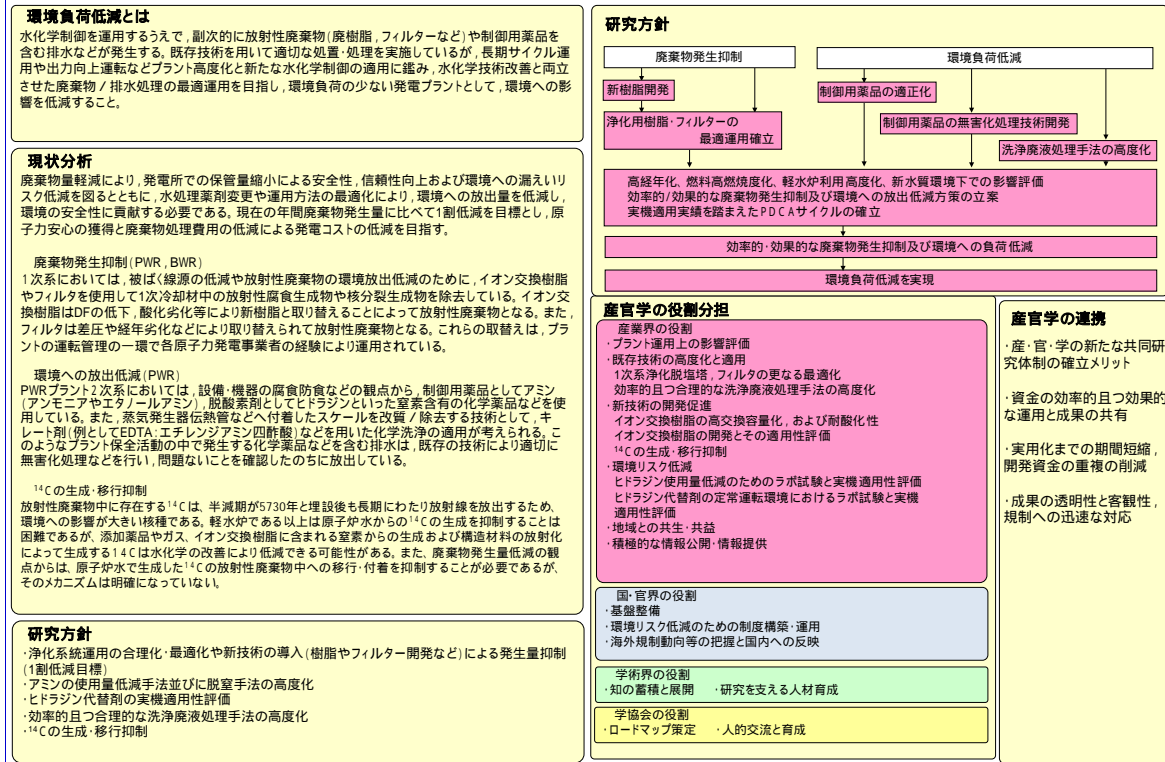


図 6.4-1 環境負荷低減の導入シナリオ

表 6.4-1 環境負荷低減に係わる技術マップ

課題調査票の概要	技術課題	概要	実施時期 / 期間	役割分担 (実施/資金)
PWR1次系浄化脱塩塔、フィルタの運用の最適化	イオン交換樹脂及びフィルタの使用期間延長	イオン交換樹脂、フィルタについては、廃棄物発生量軽減を図るため、高交換容量イオン交換樹脂の開発とその適用、脱塩塔樹脂運用およびフィルタメッシュ選定の更なる最適化検討を行う。	長期 / 2050年	産 / 産
PWR1次系浄化耐酸化性イオン交換樹脂の適用	耐酸化性イオン交換樹脂の実機適用性評価	イオン交換樹脂は過酸化水素を含む水の通水などにより酸化し、TOC、硫酸イオンの放出量が多くなる。そのため、イオン交換容量に余裕があっても取り替える場合があり、架橋度を高めた耐酸化性イオン交換樹脂の実機適用性を評価する。	長期 / 2050年	産 / 産
BWR CUW・FPC系ろ過脱塩器樹脂の交換頻度の延長	イオン交換樹脂の使用期間延長	イオン交換樹脂は、廃棄物発生量軽減を図るため、高交換容量イオン交換樹脂の開発とその適用、および樹脂寿命を勘案した樹脂交換の最適化検討を行う。	長期 / 2050年	産 / 産
BWR 耐酸化性樹脂および高浄化性能樹脂の開発	耐酸化性イオン交換樹脂の実機適用性評価	イオン交換樹脂は酸素等の酸化剤を含む水の通水などにより酸化し、TOC、硫酸イオンの放出量が多くなる。そのため、イオン交換容量に余裕があっても取り替える場合があり、架橋度を高めた耐酸化性イオン交換樹脂の実機適用性を評価する。	長期 / 2050年	産 / 産
ヒドラジン代替剤の実機適用性評価	定常運転時のヒドラジン代替剤の実機適用性評価	ヒドラジンの代替剤に関して、防食性能並びに高温での系統材料とのコンパチビリティに関するデータを取得し、定常運転時の代替剤実機適用を目指す。	長期 / 2050年	産・学 / 産
PWRアミン系水処理廃液の低減と処理技術の向上	アミンの使用量最適化並びに排水処理時の脱窒手法の高度化	PWR2次系のpH調整剤として用いられるアミンは、一部のものはCOD管理対象薬剤となり、また、全てアミン基を有していることから窒素管理対象薬剤となる。このため、これら薬剤の使用量低減手法並びに脱窒手法の高度化を行う。	中期 / 2025年	産・学 / 産
PWR蒸気発生器2次側化学洗浄廃液処理技術の向上	蒸気発生器2次側化学洗浄廃液処理手法の高度化	蒸気発生器の長期保全において、60年運転を達成するためには、蒸気発生器2次側の化学洗浄は必要な工程となりつつある。このため、化学洗浄で発生する廃液の処理手法の高度化を行う。	長期 / 2050年	産・学 / 産
¹⁴ Cの生成・移行抑制	¹⁴ C生成原因の特定	¹⁴ Cの生成は原子炉水中の酸素からの生成が多くを占めるが、プラントの運転方法を大きく変えることは出来ないことから、添加薬品やガス、イオン交換樹脂に含まれる窒素から生じる ¹⁴ C量を推定し、水化学面からの低減および液体、固体、気体廃棄物中における炭素の化学形態に基づく移行メカニズムを推定し、放射性廃棄物への移行経路の遮断、除去による ¹⁴ Cの生成抑制対策の検討を行う。	長期 / 2050年	産・学 / 産

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					実機展開				
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															
¹⁴ Cの生成・移行抑制	¹⁴ C生成原因、生成量の特定と廃棄物への 移行メカニズムの推定				¹⁴ C生成抑制方策の検討と実機適用試験										実機展開					

図 6.4-2 環境負荷低減のロードマップ