

6.2.2 燃料性能維持（CIPS 対策）

CIPS は、クラッドが燃料の軸方向に不均一に付着し、ほう素の不均一析出により、炉心の軸方向の線出力分布（偏差）に異常を生じる事象である^[6.2.2-1、6.2.2-2]。本事象の進行に伴い、炉心の安全性に支障を来す恐れや、燃料の健全性に問題を生じる可能性がある。また、軸方向のピーク位置での出力を抑えるため、炉心全体の出力を下げる必要が生じ、場合によっては、プラントや燃料の運用効率に支障を来すことになる。

CIPS は PWR 固有の事象で、米国や欧州ではその発生が確認されている。特に、600 合金製の SG 伝熱管を有するプラントのうち、炉心燃焼指数の高い（HCIDI 値 >150 ）プラントで CIPS が多く発生している。CIPS の発生には、被覆管表面でサブクール沸騰が発生するような熱水力条件、燃料被覆管表面での十分な厚みのクラッド層の形成及びクラッド層内へのほう素の取り込みと蓄積の 3 条件が関与しているとされている。

現在、我が国の PWR では CIPS の発生は認められていない。これは燃料表面でサブクール沸騰が生じるような高負荷条件で運用されていないことや、厚いクラッド層の形成やクラッド内へのほう素の蓄積が顕在化するような環境下で運転されていないためと考えられる。

CIPS を抑制するための通常運転時の水質管理は、プラントの安全性維持に必要な深層防護のレベル 1「異常・故障の発生防止」に該当する。また、通常運転時の状態を逸脱した場合の対応はレベル 2「異常・故障の拡大防止」に該当する。一方、設計基準事故やシビアアクシデント発生時のサンプスクリーン、及び事故時の燃料プール内の燃料の CIPS 対策に果たす水化学の役割は殆どないため、水化学レベル 3「事故の影響緩和」には該当しない。また、シビアアクシデントの前後における被覆管の Zr-水反応、炉心溶融後の水素発生挙動、炉心溶融に伴う FP の核種、性状、放出・移行挙動に対する CIPS の関与は非常に小さいことから、レベル 4「設計基準を超す事故への施設内対策」にも該当しない。

我が国においては、FP 放出低減/温度上昇抑制ペレットの開発と通常時材料劣化低減被覆管の開発が加速されるとともに、事故時（LOCA、Post-DNB）高温酸化劣化抑制部材（被覆管/集合体）や事故耐性燃料（Accident Tolerant Fuel、以下 ATF）の開発と実機への早期導入が検討されている。2011 年 3 月の 1F 事故以降も、従来の軽水炉利用高度化（出力向上、最適運転サイクル）及び燃料高度化（高燃焼度、MOX）もプラント運用のオプションとして残されている。このため、これら技術開発は、日本原子力学会核燃料部会で検討中の『燃料高度化に関するロードマップ』にも位置づけられている。

運転サイクルの変更に伴い、一次冷却材水質を変更（pH 低下等）する場合や、炉出力向上によりサブクール沸騰が生じる場合、またこれらが複合的に生じる場合には、従来燃料、ATF 等の改良型燃料を問わず、被覆管表面へのクラッド付着が促進され CIPS に至る可能性がある。PWR の再稼働後もこのような運転管理の変更に対応し、構造材の健全性や被ばく線量率の上昇を抑制しながら燃料の性能維持ならびに CIPS 対策を講じ、プラントの安全性・信頼性維持、高効率化を図る役割が水化学に新たに求められるようになった。

このため、標準化やガイドライン等の作成も視野に入れた上で、熱水力の因子等も考慮した CIPS モデルの構築と評価手法の開発による合理的かつ効率的な燃料性能維持、及び CIPS 対策が重要となった。被覆管表面へのほう素の取り込み、チムニーを有するクラッド

の異常成長メカニズムに立脚したモデルが開発され、それを包含した機構論的評価手法が確立されれば、水化学高度化や ATF 等の改良型燃料の開発等に対し、実証的な健全性評価手法の全部または一部を省略でき、加えて加速試験による簡易評価も可能となる。このようなモデルに基づく評価手法を規格基準化することにより、検査・補修・取替等の維持管理の合理化と併せ、被覆管や燃料部材の変更、運転管理の変更等に対し、迅速かつ的確に対応できる。

燃料性能維持（CIPS 対策）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

<加圧水型軽水炉(PWR)>

CIPS の発生は、クラッド付着・剥離と密接に関連している。クラッド付着・剥離メカニズムは、水化学因子（Ni やほう素濃度、Ni/Fe 比、pH 等）や熱水力因子（沸騰、流況等）が複雑に関与する。さらに、CIPS の発生は、炉水中のほう素濃度にも影響され、ほう素取り込み機構をはじめ、全体のメカニズムは明確になっていない。

(1) CIPS 発生メカニズムの解明

CIPS に及ぼす水質変更の影響に関する統一的な機構論は明確になっていない。影響因子ごとの現知見を以下に示す。

クラッド付着・剥離に及ぼす燃料棒線出力及び沸騰状況の影響

最近の実機調査やラボ研究によると、CIPS の直接の原因となるクラッド付着に関し、水化学影響因子として、炉水中のニッケル（Ni）濃度、Ni/Fe 比、ほう素濃度、pH 等が、熱水力因子として被覆管表面での沸騰や流況が、加えて放射線の影響も考えられるとの報告がある。

現在、CIPS を経験している米国、フランス、韓国等において、実機調査とラボ試験を中心にクラッド付着及び CIPS 発生原因の検討と対策が検討されている。米国電力中央研究所(EPRI)やフランス原子力庁(CEA)は、クラッドの沸騰析出や物質移動を考慮した溶解・析出モデルを提案しているが、クラッドの溶解・析出挙動や化学形態についても諸説があり、統一的なモデルの構築には到っていない。日本では、電中研が基礎研究に着手しており、非照射下ではあるものの、ラボ内でのクラッド付着の再現と水化学及び熱水力(沸騰、流況)因子の影響評価を行った。

クラッド付着・剥離に及ぼす燃料棒線出力の影響を評価するには、付着・剥離挙動を定量的かつ正確に把握する必要がある。しかしながら、現状は、燃料の照射後試験から過度のクラッドが存在しないことの確認に留まっている。

ほう素取り込み機構の解明

CIPS メカニズム解明の観点からは、クラッドの付着挙動だけでなく、クラッド中に取り込まれるほう素の析出挙動の評価が重要である。CIPS 発生プラントでは、クラッドのかきとり調査を行っているが、ほう素の取り込み形態等の分析結果がプラント間で異なる。米

国の EPRI^[6.2.2-3]、CEA^[6.2.2-4]、スウェーデンの Studsvik^[6.2.2-5]、韓国の KAERI^[6.2.2-6]、及び電中研^[6.2.2-7]が、ほう素取り込みに関する基礎研究を実施している。しかしながら、ほう素取り込み挙動は、炉水中のほう素濃度、Ni 濃度、pH 等の水化学因子や放射線の影響以外に、被覆管表面での沸騰や流況にも影響されるとの報告があり、また、沸騰析出や結晶析出、化学形態についても諸説があるため、いまだ統一的なモデルの構築には到っていない。

(2) CIPS 対策技術の開発

CIPS 発生メカニズムに立脚した水化学対策技術は確立されていない。

(3) データや評価技術の検証

CIPS と水化学との相関に係わるデータの整備や評価技術は確立されていない。

(4) CIPS に係わる規格基準の策定

通常運転時の水質変化が燃料被覆管のクラッド付着に及ぼす影響に関する最新知見について、日本原子力学会指針「PWR 一次冷却系水化学管理指針：2017」の解説に規定している。

<沸騰水型軽水炉(BWR)>

CIPS の発生には、燃料被覆管付着クラッド内へのほう素の取り込みが深く関与すると考えられており、BWR プラントでは発生していない。現状では PWR プラント固有の課題とされている。

(B) 研究方針と実施にあたっての問題点

PWR 再稼働後も軽水炉利用高度化（出力向上、最適運転サイクル）及び燃料高度化（高燃焼度、MOX）が計画されており、プラントや燃料に対する負荷は徐々に増加していくと考えられる。ここ数年間に適用される運用条件においては、CIPS 発生の可能性は比較的低いものと予想される。従って、至近では、現象論的（経験的）評価手法により、先行プラントの実績から悪影響がないことの確認で充分と考えられる。しかしながら、長期で見た場合、燃料への過度なクラッド付着が懸念され、CIPS の発生リスクは高まる可能性がある。このため、従来の現象論的（経験的）評価手法でなく、機構論的（メカニズム）評価手法を確立することにより、実機先行試験に依存するのではなく、AOA リスク、及びリスクを最小限に抑えるのに最適な運用条件を検討する必要がある。これにより、プラントの安全性確保、高効率化、公益性向上に大きく貢献できるものと考えられる。

現在、CIPS を経験している米国やフランスを中心に、クラッドの沸騰析出や物質移動を考慮した溶解・析出モデルが提案されているが、クラッドの付着・剥離挙動及び CIPS の主要因とされるほう素の取り込み挙動については諸説があり、いまだ統一的なモデルの構築には到っていない。その一因として、限られた実機データのみで検討せざるを得ず、これら挙動を定量的かつ正確に把握できていないことが挙げられる。

この問題解決のためには、CIPS 事象をメカニズムの視点から捉え、技術基盤を用いた試験結果に基づき、各因子の相関性をモデル化し、新しい評価手法を開発することが肝要で

ある。このようなモデル及び新評価技術の開発は、水化学による CIPS 抑制効果の有効性評価、CIPS 発生リスク評価に基づくプラント運用条件及び水化学の最適化・高度化に繋がると考えられる。

燃料やプラントの信頼性及び運用効率の観点から、CIPS に関する課題解決は産官が共有するニーズとなる。モデルの構築とそれに基づく対策の立案には、情報、知見、人材、施設基盤の拡充が必要であり、産官学が適宜協力した体制で臨むことが肝要である。

実施にあたっての課題全体の問題点としては、原子力安全とも大きく関連することから、課題解決には緊急性を要する。また、研究開発のための資金確保が必要である。

以下に具体策を示す。

(1) CIPS 発生メカニズムの解明

通常運転時の水質変化が CIPS に影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることがないように、CIPS に及ぼす水質変更の影響を、機構面から明らかにする。

従来知見の整理

CIPS の主たる原因であるほう素を含むクラッド付着・剥離挙動を定量的かつ正確に把握するため、これまでの燃料棒の照射後試験等の調査結果、国内外のプラントデータ、ラボデータを含め、従来知見を整理する。

クラッド付着・剥離メカニズムの解明

燃料被覆管へのクラッド付着・剥離は水化学因子と熱水力因子等が重畳する事象である。このため、クラッド付着・剥離モデルは、被覆管表面へのクラッドの析出・物理付着、成長、化学溶解・物理剥離等を考慮した定性的なものにとどまっている。燃料被覆管へのクラッド付着・剥離を適切に制御するためには、クラッド付着・剥離メカニズムを解明し、メカニズムに基づいて、付着・剥離に及ぼす水化学及び熱水力因子に対し個別の影響度と重畳効果による影響度を定量化する必要がある。

CIPS 発生メカニズム（ほう素取り込みメカニズム）の解明

CIPS メカニズム解明の観点からは、燃料付着クラッド内へのほう素の取り込み挙動の評価が重要である。今後、長期サイクル運転の導入により、CIPS リスクが増加する可能性があることから、ほう素の取り込みメカニズムを解明し、メカニズムに基づいて、ほう素の取り込みに及ぼす水化学及び熱水力因子に対し個別の影響度と重畳効果による影響度を定量化する必要がある。

(2) CIPS 対策技術の開発

通常運転時の水質変化が CIPS に影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることがないように CIPS 対策を検討する。

CIPS 普遍モデルの構築

新しい評価手法を確立するためには、(1)に示すように、各因子の影響を定量的に検討した上で、各相関をモデル化し、総合的なモデルを開発する必要がある。これらモデルは、ATF等の改良型燃料被覆管に対しても適用できるよう普遍的なものとする必要がある。

a.燃料棒表面へのクラッド付着・剥離に及ぼす影響

- ・ 燃料棒線出力との相関、沸騰状況(サブクール沸騰)との相関
- ・ 水質条件が及ぼす影響

b.燃料付着クラッド内へのほう素の取り込みに及ぼす影響

- ・ 燃料棒表面のクラッド付着状態との相関
- ・ 沸騰状況(サブクール沸騰)との相関
- ・ 水質条件との相関

CIPS 評価方法の適用

従来の現象論的(経験的)評価は、計画している水化学対策やプラント運用条件を一部のプラントで先行運用し、悪影響が無いことを確認する手法である。ATF等の改良型燃料の採用や新たな水化学の採用に際し、CIPSへの影響を効率的に評価するには、従来の現象論的評価手法と新たに検討する機構論的評価手法とを選択・組み合わせた評価方法の導入が望まれる。これにより、様々なケースについてCIPS発生リスクを前もって評価できるとともに、実証的な確認を最小限行うことで合理的に運用条件の最適化が図れる。

CIPS 防止対策技術の開発

軽水炉利用高度化(出力向上、最適運転サイクル)及び燃料高度化(高燃焼度、MOX)に対応しつつ、CIPSの防止等燃料性能を維持していくには、水化学による対策も求められている。これに応えるには、高Li適用、溶存水素最適化等の水化学によるCIPS防止対策を検討する必要がある。なお、これら水化学高度化対策の適用にあたっては、新しい評価手法を用いたCIPS発生リスクの検証を合理的に行えると考えられる。また、クラッド付着・剥離挙動の把握は、被ばく線源強度低減等の対策立案に密接に関連するため、水化学高度化全体において重要度が高く、それらとの技術的な連携が必要である。

(3) データや評価技術の検証

通常運転時の水質変化がCIPSに影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることがないように、CIPSに係わるデータや評価技術を検証する。また、燃料性能維持(CIPS対策)技術について、各種試験やモニタリング等により予防保全としての有効性を検証する。

軽水炉利用高度化(出力向上、最適運転サイクル)及び燃料高度化(高燃焼度、MOX)に対応しつつ、CIPSの防止等燃料性能の維持に最適な水化学改良策の有効性を評価するには、クラッド付着・剥離挙動及びほう素取り込み挙動の再現性をチェックしながら、モデルや評価手法を検証する必要がある。必要に応じ評価手法を見直すことも重要である。このためには、照射試験設備を活用するとともに、クラッド付着・剥離及びほう素取り込みモニタリング技術を開発し、関連のデータベースを構築・拡充し、ラボデータと実炉現象との乖離を小さくする必要がある。また、照射試験炉を用いたモニタリング技術の開発や

クラッド層内の核種移行モデル、燃料被覆管表面近傍のラジオリシスモデルの精緻化を図ることにより、燃料性能維持(CIPS 対策)に関する評価技術を高度化するとともに、高度化した技術をプラントの維持管理に反映させるため、照射試験炉や実機において有効性を検証する。

(4) CIPS に係わる規格基準の策定

通常運転時の水質変化が CIPS に影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることを防ぐことを目的とし、標準化に適した水化学技術を学会指針に取り入れる。また、燃料被覆管・部材の健全性に係わる最新知見に基づき、必要に応じ水化学管理指針の管理項目等の設定値を見直す。

(C) 産官学の役割分担の考え方

産業界の役割

- ・燃料性能維持（CIPS）評価手法の開発・高度化・標準化
- ・燃料性能維持（CIPS 対策）技術の開発・高度化・標準化
- ・燃料性能維持（CIPS）に及ぼす環境因子の影響に関するデータ整備・高精度化

国・官界の役割

- ・データや評価技術の検証
- ・安全規制行政
- ・学協会基準のエンドース・規制基準の整備
- ・基盤の整備（知識、人材、照射試験炉、制度の整備）

学術界の役割

- ・CIPS 発生メカニズム解明への支援
- ・燃料性能維持（AOA 対策）に関する基盤研究（反応機構、速度定数、表面・隙間における照射、被覆管表面の沸騰・流況の影響等）

学協会の役割

- ・規格基準の作成・精緻化
- ・産官学の連携
- ・CIPS 発生メカニズム解明（環境因子の効果・影響）
- ・燃料性能維持（CIPS 対策）に関する基盤研究
- ・CIPS 発生メカニズムの解明及び対策立案を担う人材の育成
- ・照射試験炉の整備・利用
- ・照射試験炉を用いた各種モニタリング技術の開発

(D) 関連分野との連携

燃料高度化

CIPS は、その程度によっては出力低下を引き起こす可能性が大きい。このため、下記の

ような連携を図る必要がある。

- ・被ばく低減対策としての水化学の高度化(水化学条件の変更)が腐食生成物の発生・移行・付着挙動、及び CIPS に及ぼす影響について、メカニズム解明、照射試験を含む試験・評価技術分野、モニタリング技術の開発等の分野で連携を行い、効率的かつ合理的に技術開発を行う必要がある。
- ・燃料高度化(高燃焼度、MOX、最適運転サイクル)及び軽水炉利用高度化(出力向上)が腐食生成物の発生・移行・付着挙動、及び CIPS に及ぼす影響について、メカニズム解明、照射試験を含む試験・評価技術分野、モニタリング技術の開発等の分野で連携を行い、効率的かつ合理的に技術開発を行う必要がある。

高経年化対応

- ・ SCC 及び配管減肉の環境緩和対策としての水化学の高度化(水化学条件の変更)が腐食生成物の発生・移行・付着挙動、及び CIPS に及ぼす影響について、メカニズム解明、照射試験を含む試験・評価技術分野、モニタリング技術の開発等の分野で連携を行い、効率的かつ合理的に技術開発を行う必要がある。
- ・燃料高度化(高燃焼度、MOX、最適運転サイクル)及び軽水炉利用高度化(出力向上)と SCC 及び配管減肉の環境緩和対策としての水化学の高度化(水化学条件の変更)が重畳する場合、腐食生成物の発生・移行・付着挙動、及び CIPS に及ぼす影響について、メカニズム解明、照射試験を含む試験・評価技術分野、モニタリング技術の開発等の分野で連携を行い、効率的かつ合理的に技術開発を行う必要がある。

図 6.2.2-1 に燃料性能維持(CIPS 対策)に係わる導入シナリオ、表 6.2.2-1 に技術マップ、図 6.2.2-2 にロードマップを示す。

参考文献

- [6.2.2-1] “NRC Information Notice Effects of CRUD Buildup and Boron Deposition on Power Distribution and Shutdown Margin”, NRC Information Notice Vol.97-85 (1997).
- [6.2.2-2] B. Armstrong, J. Bosma, P. Frattini, K. Epperson, P. Kennamore, T. Moser, K. Sheppard, and A. Strasser, “PWR Axial Offset Anomaly (AOA) Guidelines”, EPRI Report TR-110070 (1999).
- [6.2.2-3] J. Deshon, D. Hussey, J. Westacott, M. Young, J. Secker, K. Epperson, J. McGurk, and J. Henshaw, “Recent Development of BOA Version 3”, Proc. Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems 2010, Paper No. 8.03 (2010).
- [6.2.2-4] F. Dacquait, C. Andrieu, M. Berger, J. L. Bretelle, and A. Rocher, “Corrosion Product Transfer in French PWRs during Shutdown”, Proc. Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, Chimie 2002 (2002).
- [6.2.2-5] Jiaxin Chen, Chuck Marks, Bernt Bengtsson, John Dingee, Daniel Wells, and Jonas Eskhult, “Characteristics of Fuel CRUD from Ringhals Unit 4 -A Comparison of CRUD Samples from Ultrasonic Fuel Cleaning and Fuel Scrape”, Proc. Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems 2014 (2014).
- [6.2.2-6] W. Y. Maeng, B. S. Choi, D. K. Min, H. M. Kwon, I. K. Choi, J. W. Yeon, J. I. Kim, H. S.

Woo, Y. K. Kim, and J. Y. Park, “The Status of AOA in Korean PWR and a study on the CRUD Deposition on Cladding Surface”, Proc. of Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems 2008, Paper No. L14-1, Berlin (2008).

[6.2.2-7] H. Kawamura, “Empirical Fuel CRUD Deposition Model in Simulated PWR Primary Water”, Proc. Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems 2016 (2016).

課題調査票

課題名	CIPS 対策による核燃料の性能維持
マイルストーン 及び 目指す姿との関連	<p>短V. 保全・運転の負荷軽減・品質向上</p> <p>自主的安全性向上の効果的・継続的な取り組みにより、保全・運転管理の高度化を図る必要がある。さらに、安全性向上を図りながら、我が国の原子力発電所従事者の被ばく量を低減する取組を行う必要がある。</p> <p>中II. 既設プラントの高稼働運転と長期安定運転の実現</p> <p>電力安定供給性かつコストバランスに優れたエネルギー源としての利用に向け、高稼働運転や適切な高経年化対策を前提とした長期安定運転が必要となる。</p>
概要（内容）	<p>(1) CIPS 発生メカニズムの解明</p> <p>通常運転時の水質変化が CIPS に影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることがないように、CIPS に及ぼす水質変更の影響を、機構面から明らかにする。</p> <p>(2) CIPS 対策技術の開発</p> <p>通常運転時の水質変化が CIPS に影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることがないように、CIPS 対策を検討する。</p> <p>(3) データや評価技術の検証</p> <p>通常運転時の水質変化が CIPS に影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることがないように、CIPS に係わるデータや評価技術を検証する。</p> <p>(4) CIPS に係わる規格基準の策定</p> <p>通常運転時の水質変化が CIPS に影響を与え、その結果、被覆管の破損等が生じ、異常状態や事故に至ることを防ぐことを目的とし、標準化に適した水化学管理技術を学会指針に取り入れる。また、燃料被覆管・部材の健全性に係わる最新知見に基づき、必要に応じ水化学管理指針の管理項目等の設定値を見直す。</p>
導入シナリオとの 関連	水化学による CIPS 対策による核燃料の性能維持
課題とする根拠 (問題点の所在)	水化学 RM と深層防護との関連付けの検討結果を参照
現状分析	<p>(1) CIPS 発生メカニズムの解明</p> <p>CIPS に及ぼす水質変更の影響に関する統一的な機構論は明確になっていない。</p> <p>(2) CIPS 対策技術の開発</p>

	<p>CIPS 発生メカニズムに立脚した水化学対策技術は確立されていない。</p> <p>(3) データや評価技術の検証 CIPS と水化学との相関に係わるデータの整備や評価技術は確立されていない。</p> <p>(4) CIPS に係わる規格基準の策定 通常運転時の水質変化が燃料被覆管のクラッド付着に及ぼす影響に関する最新知見について、日本原子力学会指針「PWR 一次冷却系水化学管理指針」の解説に規定している。</p>
期待される効果 (成果の反映先)	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電所の高稼働運転における核燃料の健全性維持及び環境負荷軽減が可能となる。 ・燃料等の炉心構成要素の高度化や、原子炉の運転条件が見直された場合においても、運転上の制限を遵守し安全余裕を確保した状態で原子炉の運転が可能となる。
実施にあたっての問題点	<p>課題全体の共通問題として下記がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力安全とも大きく関連することから、課題解決には緊急性を要する。 ・研究開発のための資金確保が必要である。
必要な人材基盤	<p>(1)人材育成が求められる分野</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水化学、状態監視技術 <p>(2)人材基盤に関する現状分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業者においては、現在導入している状態監視技術に関する知識・技能を有した人材の育成が行なわれてきた。 ・メーカーでは原子力設備の海外輸出等を通じて、必要な技術開発にかかる人材の育成を行っている。 ・大学等では、共同研究やインターンシップ等により、人材育成や人的交流を図ってきた。 ・水化学技術は、原子力発電所の保全のみならず、リスクの概念を併用すれば、安全の確保の基本となる技術の一つであり、必要な人材基盤を継続して確保していくことが重要である。今後も人材基盤を維持していくためには、大学等の教育段階から優秀な人材を集め、かつ、人材を計画的に育成していくとともに、実際に炉心設計、運用管理の経験を積んでいくことが必要である。 ・海外の実用化技術の反映にとどまらず、その改良をもって、更なる原子力安全に役立つ運用管理技術を国際的に展開できる人材を育成し、活躍してもらうことが必要。 ・特に海外で豊富な実績を有する解析手法等については、その迅速かつ円滑な導入を促す仕組みの充実（国際共同研究、国際会議、

	<p>人的交流等の活性化等)。</p> <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。 ・1F 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、1F 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"> ・「炉心・熱水力設計評価技術の高度化」(ロードマップ) ・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 ・M107_d38 建屋構造・材料の高度化 ・S111M107_d36：高経年化評価手法・対策技術の高度化 ・M107_d25：運転性能の高度化(事象進展抑制、停止機能、L/F等) ・S103_b07：廃棄物長期保管に向けた健全性評価技術、管理技術の高度化 ・M106_c01：計測技術・解析技術の高度化
実施時期・期間	中期(2030年)
実施機関/資金担当 当 <考え方>	<p><u>産業界/産業界</u></p> <p>CIPS 発生メカニズムの解明、CIPS 対策技術の開発、データや評価技術の検証等に必要な技術開発を実施</p> <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></p> <p>(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。

	<ul style="list-style-type: none"> ・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切と考える ・原子力規制委員会が規制の観点からが主体となる事項について資金担当となることが適切。 <p><u>産業界・学協会 / 産業界</u></p> <p>対 CIPS に係わる規格基準の策定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業界（電気事業者、メーカー）が主体となって核燃料の健全性維持に必要な水化学技術の高度化を図る。 ・学協会は、核燃料の健全性維持及び付随して必要となる水化学技術に係わる規格基準等について検討を行う。 ・原子力規制委員会は、核燃料の健全性維持及び付随して必要となる水化学技術に係わる規格基準を整備し、技術評価及び認可を行う。
その他	

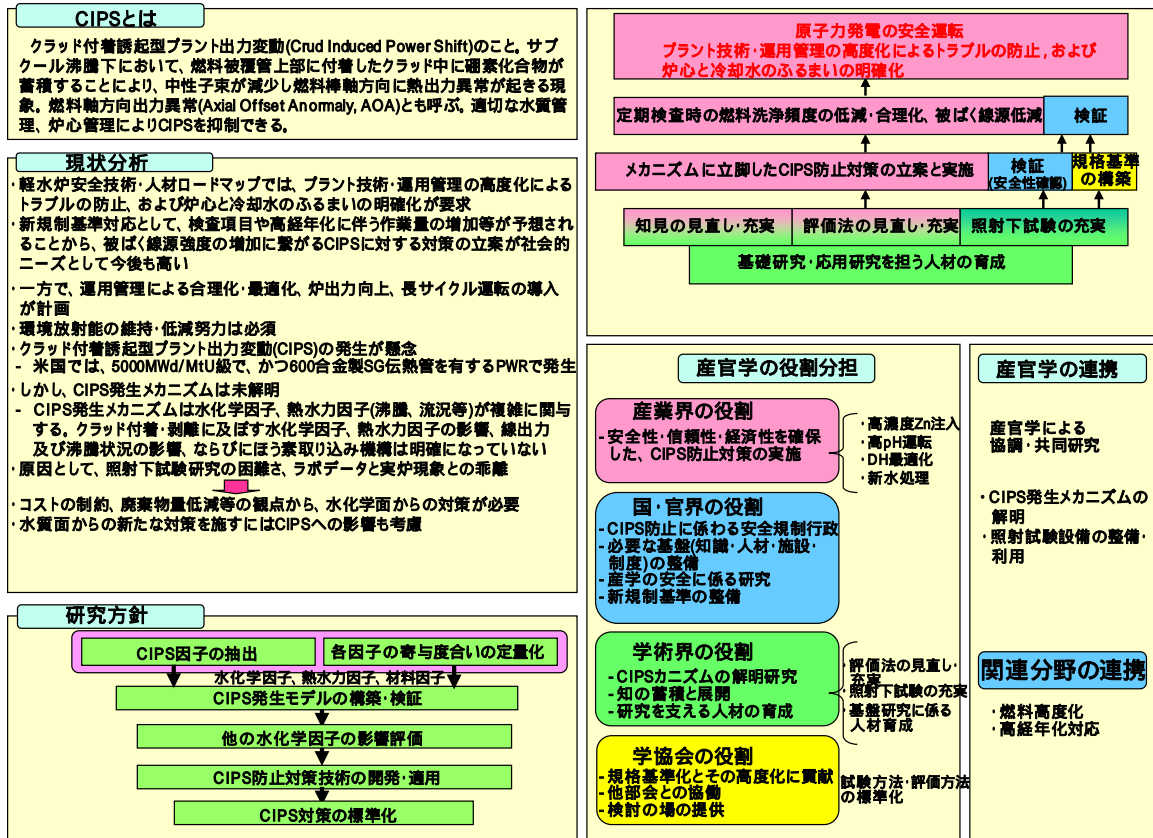


図 6.2.2-1 CIPS 対策による核燃料の性能維持の導入シナリオ

表 6.2.2-1 CIPS 対策による核燃料の性能維持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)
CIPS発生メカニズムの解明	CIPS発生に及ぼす水化学因子の影響評価	AOA発生に及ぼす炉水のpH、B濃度、Ni濃度、Ni/Fe比、DH等の水化学因子の抽出と寄与度合いの定量化	中期/2030年	産・学/産・学
	CIPS発生に及ぼす熱水力因子の影響評価	AOA発生に及ぼす沸騰、熱流束、流況等の熱水力因子の抽出と寄与度合いの定量化	中期/2030年	産・学/産・学
	クラッド付着・剥離に及ぼす水化学因子の影響評価	クラッド付着・剥離に及ぼす水化学因子、熱水力因子の抽出と寄与度合いの定量化	中期/2030年	産・学/産・学
	クラッド付着・剥離に及ぼす熱水力因子(線出力及び沸騰状況)の影響評価	クラッド付着・剥離に及ぼす線出力及び沸騰状況の影響評価と寄与度合いの定量化	中期/2030年	産・学/産・学
	ほう素取り込み機構の解明	燃料被覆管付着クラッド内へのほう素取り込み機構の解明	中期/2030年	産・学/産・学
	CIPS発生モデルの構築	各影響因子を考慮したモデルの構築	中期/2030年	産・学/産・学
CIPS対策技術の開発	CIPS対策技術の開発	被覆管の腐食・水素化に悪影響を及ぼさないAOA対策技術の開発と実機適用	中期/2030年	産/産・官
	水化学管理技術の影響評価	高濃度亜鉛注入、高pH運転、DH濃度最適化運転等がCIPSに及ぼす影響の評価	中期/2030年	産/産・官
データや評価技術の検証	モニタリング技術の開発	照射試験炉を用いたECP等のモニタリング技術の開発、ラジオリスモデルの検討	中期/2030年 長期/2050年	産・官/学/産・官・学
	照射試験設備の整備・利用	照射試験設備の有効利用法の検討	中期/2030年 長期/2050年	産・官/学/産・官・学
AOAに係る規格基準の構築	CIPSに係る規格基準の構築	試験方法・モデリング・評価方法の標準化	中期/2030年 長期/2050年	産・官/学/産・官・学

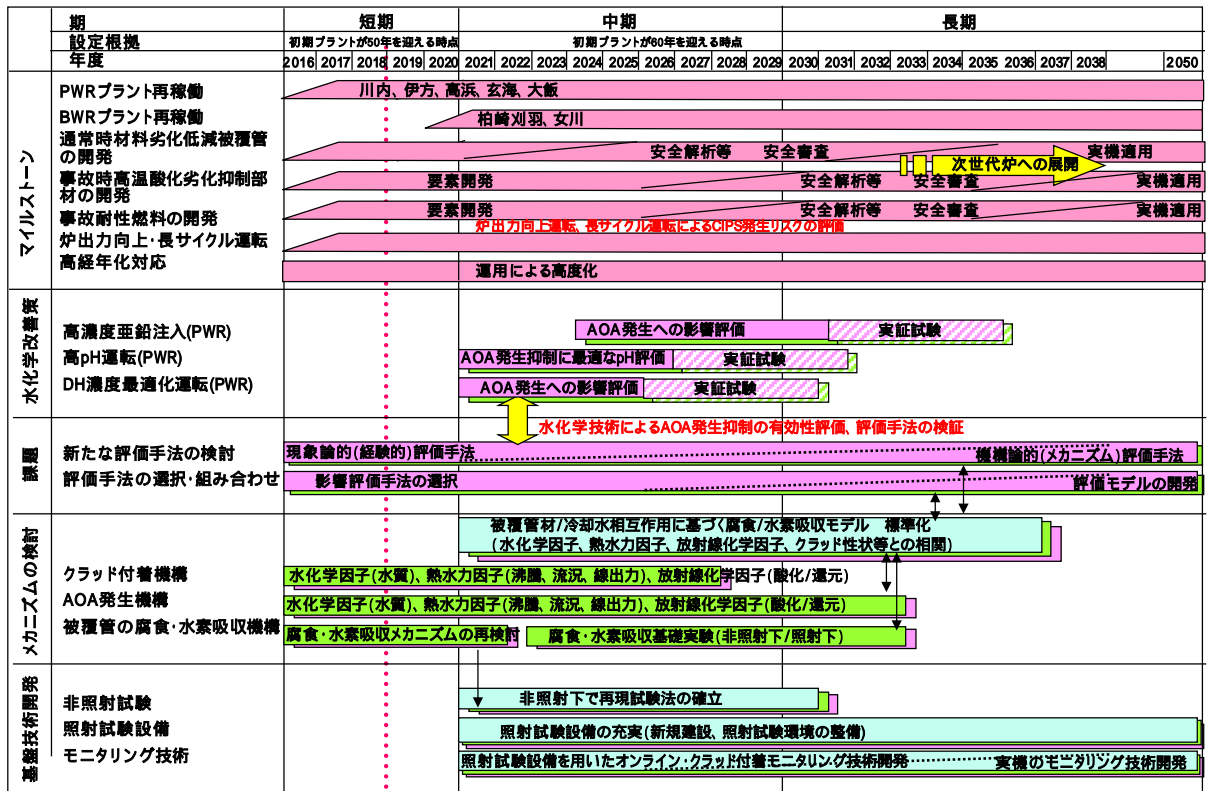


図 6.2.2-2 CIPS 対策による核燃料の性能維持のロードマップ