

熱水力ロードマップ 技術マップ(最終版)

No. 21-1-4

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型炉	PWR (次世代軽水炉)	先進安全系	SG積極減圧	<p><u>これまでの知見</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・小LOCA時に積極減圧で蓄圧注入系作動圧力まで低下させることを解析で確認 ・小型の自然循環ループ試験により、非凝縮性ガスが存在する状況でも自然循環が継続すること、減圧が可能なことを確認 <p><u>主な課題</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・大きなスケール(自然循環に影響の大きい高さ方向、多数の伝熱管など)による、除熱特性、減圧特性の把握 ・ループ間の減圧にアンバランスがある場合の除熱特性、減圧特性の把握 ・SG積極減圧の現象を適切に模擬できる安全解析コードの整備 ・規制側として解析コード整備 	<ul style="list-style-type: none"> ・産業界(電共研、メカ自社研)の研究 ・公開資料として以下のようなものあり ・原学会 01 年秋の大会 G17~G20 ・原学会 02 年秋の大会 L47 ・混相流学会の発表、等 	<ul style="list-style-type: none"> ①これまで得られている知見の整理、分析 ②除熱特性に与える要因の抽出 ③上の検討に基づく、要素試験(個別効果試験)、大型装置による総合試験など ④解析モデル、解析コードの開発 ⑤次世代軽水炉システム全体の成立性、安全性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ①、② [産(学)/産] ③ 試験条件検討、要素試験、個別効果試験等 [産(学)/産]、クロスチェック準備[官/官] ④ 設計用コード、安全解析コード[産/産] ⑤ [産/産] 	<ul style="list-style-type: none"> ・SG積極減圧概念の成立性確認 ・次世代軽水炉の成立性、安全性の確認 ・設計用解析コード、安全解析コードの高度化

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型炉	大出力PWRの静的シビアアクシデント(SA)対策	溶融炉心の圧力容器内冷却ないし保持(IVR)	大型炉での成立性評価 <u>性能目標</u> ・ 下部ヘッド構造が破損しない ・ 下部ヘッド外部沸騰冷却の熱的余裕確保	[1] ベッセル壁から外部冷却水の熱伝達について、ULPU-2000 Configuration IVの試験でAP1000の限界熱流束増加の実現可能性を証明 ^[1] 。 [2] MITにおいてナノフルイドを用いた限界熱流束の向上及びIVRへの適用が研究されている ^[2] 。 [3] 溶融炉心の逆成層化を仮定した場合でも大型炉でIVRが成立するか検討する必要あり。	[1] NUREG/CR-6849 [2] ICAPP '07-7106 [3] OECD/MASCA 試験	<ul style="list-style-type: none"> 大型炉でのIVR成立に向けた限界熱流束向上方策の検討 上記に関わる一つの方策としてナノフルイドに関わる研究の実施 <ul style="list-style-type: none"> ①限界熱流束向上効果の検討 ②熱伝達係数及び限界熱流束データ取得試験。 ③ナノフルイドによる限界熱流束向上メカニズムの検討と解析手法の開発 	産(学)/産(官) 産(学):設計用及び評価用データ取得 官:クロスチェック準備	<ul style="list-style-type: none"> 次世代軽水炉の安全性向上 次世代軽水炉安全性の行政判断の円滑化
	地震に起因したSA時でも静的に格納容器閉じこめ機能を維持する安全系の開発 <u>性能目標</u> (外的事象を含めて) 格納容器破損頻度 $<10^{-6}/RY$							

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型炉	BWR (次世代軽水炉)	<p>[先進安全系]</p> <p>地震時の深層防護強化のため、地震に起因したシビアアクシデント時でも静的により格納容器閉じこめ機能を維持する安全系の開発</p> <p>性能目標 (外的事象を含めて) 格納容器破損頻度 <math>10^{-6}</math>/RY</p>	<p>コアキャッチャの開発</p> <p>性能目標 溶融炉心を冷却保持できること</p> <p>・熱的余裕の確保</p> <p>・浸食等により破損しない (溶融炉心と格納容器コンクリートの接触回避)</p>	<p>これまでの知見</p> <p>下向き加熱沸騰冷却や溶融炉心の自然対流熱伝達に関して IVR 等の知見あり</p> <p>・仏/CEAのSULTAN試験により4m長の傾斜加熱矩形流路での限界熱流束データ取得^[1]</p> <p>・傾斜チャンネルにおける二相流動様式の観察及び核沸騰熱伝達係数の基礎データ取得^{[2][3][4]}</p> <p>・溶融炉心自然対流伝熱挙動について、FIN/FORTUMのCOPO II 試験、米/ACOPO試験、SWE/KTHのSIMECO試験、仏/CEAのBALI試験などで溶融プールから下部ヘッドへの熱伝達を評価。^[5]</p> <p>主な課題</p> <p>・実スケールコアキャッチャ冷却流路形状での限界熱流束と自然循環流動の確認</p> <p>・半球状下部ヘッド体系ではないコアキャッチャ形状での溶融炉心対流熱伝達挙動の把握 (CFDコードによる予測)</p> <p>[1] 溶融炉心と耐熱材等の相互作用 [2] コアキャッチャ全体性能解析</p>	<p>[1] Nucl.Eng.Des.169, 185-195 (1997)</p> <p>[2] 原子力学会 2007 年秋の大会 K54</p> <p>[3] 原子力学会 2008 年春の年会 M17</p> <p>[4] ICAPP'08 8151</p> <p>[5] Nucl.Eng.Des.169, 49-87(1997)</p>	<p>① コアキャッチャ冷却チャンネル体系での除熱能力確認試験</p> <p>② 自然循環及び二相流動安定性の検討</p> <p>③ コアキャッチャ容器内での溶融炉心自然対流熱伝達模擬試験または評価 (CFDコード)</p> <p>④ 溶融炉心-耐熱材相互作用試験</p> <p>⑤ 総合試験</p> <p>⑥ コアキャッチャ体系での溶融炉心の自然対流熱伝達、固化クラスト成長、耐熱材侵食挙動、冷却チャンネルでの自然循環及び沸騰熱伝達挙動の全体挙動解析コードの開発</p> <p>⑦ 実機事故シナリオ解析とPSAへの反映</p>	<p>①②③④産(学)/産官:コアキャッチャー開発のための要素試験]</p> <p>⑤産/産官 コアキャッチャー設計及び技術検証のためのデータ取得</p> <p>⑥⑦産(学)官/産官 産:設計用コード検証 官:クロスチェック準備 (学)ピア・レビュー</p>	<p>[1] 次世代軽水炉の安全性向上</p> <p>[2] 次世代軽水炉安全性の行政判断の円滑化</p>
			<p>静的格納容器冷却系(PCCS)</p> <p>性能目標 格納容器からの除熱により格納容器の過圧破損を回避</p>	<p>これまでの知見</p> <p>横型 PCCS の単体性能は確認されている</p> <p>・GIRAFFE 試験装置などを用い、縦型 PCCS のスケール試験、システム挙動試験を実施</p> <p>・原電/JAEAにより横型PCCS性能確認のためのLSTF実験を実施^{[1][2]}</p> <p>主な課題</p> <p>横型 PCCS の事故時雰囲気でのシステム挙動の確認。(格納容器 D/W 及び W/W の水蒸気と非凝縮性ガスの分布を想定し、PCCS での蒸気凝縮>非凝縮性ガス蓄積・伝熱劣化>差圧増による非凝縮性ガス排出>伝熱回復の静的除熱メカニズムを格納容器内システム挙動として確認)</p>	<p>・ ICONE10-22442 (2002)</p> <p>・ ICAPP'03-3133 (2003)</p>	<p>① 格納容器と PCCS を模擬したシステム総合試験</p> <p>② 解析コードの検証</p> <p>③ 実機事故シナリオ解析とPSAへの反映</p>	<p>①産(学)/産官:設計及び技術検証のためのデータ取得</p> <p>②産(学)官/産官 産:設計コードの検証 官:クロスチェック準備 全般 (学)ピア・レビュー</p>	<p>[3] 次世代軽水炉の安全性向上</p> <p>[4] 次世代軽水炉安全性の行政判断の円滑化</p>

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型炉	BWR (次世代軽水炉)	省ウラン	スペクトルシフト燃料(SSR)	<p>熱水力特性</p> <p>1MPa 迄の試験実施済(日立)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定常時の基本動作原理(流量によるSSR内水位制御) ・定常時での水位安定性 ・過渡時の水位変化速度 <p>炉心特性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1.5倍大型格子炉心体系で、省ウラン効果6~8% 	ABWR-II大型炉心体系での安定性、過渡特性評価(ICAPP04(2004), Paper 4050)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱水力特性 実機運転条件における定常および過渡試験、ならびに解析(集合体核設計、炉心設計、起動・過渡特性、熱的余裕評価)により、SSRの効果及び解析精度を評価する。 ・腐食・照射・強度試験 ・限界出力試験 	産/産+官	<ul style="list-style-type: none"> ・SSRの基本特性に関するデータベース拡充 ・次世代炉の炉心設計へ反映
		次世代燃料集合体	熱水力評価手法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・高燃焼度化、高クォリティ条件となる次世代燃料開発のため、二相流の3次元挙動を考慮した最適設計が必要 ・特に、従来の一次元相関式に替わる三次元二相流挙動(液膜、クロスフロー等)を反映した相関式、解析技術の開発が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・沸騰水型原子炉に用いられる9行9列型の燃料集合体について(安全委員会専門部会報告書) ・10×10燃料のような水力等価直径が小さい場合や、部分長燃料を採用した体系でのデータは不足している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○二相流熱水力試験 集合体内の複雑な二相流現象を機構的に予測する解析技術高度化のため、現象・機構を分離した試験 <ul style="list-style-type: none"> ・クロスフロー ・液膜挙動 ・ドライアウト・リウエット ・サブクール沸騰 	産/産+官	<ul style="list-style-type: none"> ・新型燃料設計データベース拡充、燃料熱水力性能評価技術の高度化 ・設計余裕合理化による燃料経済性向上
		大型燃料開発 性能目標 現行燃料の1.2~1.5倍格子を実現し、燃料集合体数及び制御棒体数を低減	燃料バンドル大型化による熱流動等の影響確認と関連機器の開発	<p>これまでの知見</p> <p>大型バンドル燃料の概念検討を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1.2倍C格子概念を検討(東芝)^[1] ・1.5倍K格子概念を検討(ABWR-II電力共研)^[2] <p>主な課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・熱水力、流動特性の確認 ・構造健全性、機械的健全性の確認 ・関連周辺機器開発及び制御棒挿入性の確認 	<p>[1]THE DEVELOPMENT OF THE EVOLUTIONARY BWR (AB1600) (ICONE16-48599,2008)</p> <p>[2]1.5倍K格子概念の概要、SSR適用時の全引き抜き運転の評価 (ICAPP04(2004) Paper 4069)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○熱水力設計・流動試験 熱水力設計とバンドル大型化による効果(流量配分の偏り、ポイド率分布)の確認。安定性の確認。 ○大型燃料集合体構造設計 集合体部材(スペーサ、上下タイプレート、チャンネルボックス)の構造設計、健全性評価/試験 ○大型制御棒等周辺機器開発(含む制御棒挿入性検証) 	産/産+官 産:設計用・評価用データ取得 官:クロスチェック準備	<ul style="list-style-type: none"> ・制御棒/制御棒駆動機構の大幅削減(建設費/保守費低減) ・稼働率向上(燃料交換ステップ減)

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新 型 炉	PWR 自然循環炉	高温高圧二相 自然循環炉	蒸気発生器(SG)内蔵型自然循環炉	<p>これまでの知見</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実温・実圧の水-蒸気試験で、炉心冷却システムの成立性確認 ・低圧状態で核加熱した場合の安定的起動方法の確立 ・既存データベースに基づくSG除熱特性評価、仕様設定 <p>主な課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低流量領域におけるDNBデータの充実 ・SG除熱特性データの拡充と実機スケールへの相似則の確立 ・METI 公募研等で構築された設計評価モデルに対する規制側検証ロジックの構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・産業界の研究 ・METI 公募研究(H13～H19) 概要版公開 ・上記研究に基づく学会等への発表(H20 年度発表予定のもの) ・第17回混相流シンポジウム ・原子力学会 2008 年秋の年会 ・U.S.-Japan Seminar on Two-Phase Flow Dynamics ・NUTHOS-7 ・第6回混相流計測会議 	<ul style="list-style-type: none"> ①低流量領域における DNB データの取得、DNB 相関式の確立 ②SG除熱特性データの拡充とスケール則の確立 ③解析モデル、解析コードの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ①、② [産,官(学)/産,官] ③ 設計用コード、安全解析コード[産/産] クロスチェック準備[官/官] 	<ul style="list-style-type: none"> ・高温高圧二相自然循環炉の適正化 ・設計用解析コード、安全解析コードの高度化
	BWR 自然循環炉	自然循環特性の 確認	気水分離特性	<ul style="list-style-type: none"> ・設計オプションとして、気水分離器を削除する自由液面気液分離方式の概念を検討している。 ・自由液面からのキャリーオーバー特性を高精度に予測する技術開発が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 原学会 2008 年会 M52～54 ・自由液面下でのボイド率計測 ・液滴の径、速度分布 	<ul style="list-style-type: none"> ○熱流動特性基礎試験 <ul style="list-style-type: none"> ・自由液面下でのボイド率計測 ・液滴飛散特性 ・キャリーオーバー特性 ・二相水位特性 	産・官 (連携研究) ／官	<ul style="list-style-type: none"> ・自由液面気液分離方式の性能予測技術の高精度化、成立性確認
			チムニー内流動	<ul style="list-style-type: none"> ・自然循環炉では、炉心上部にチムニーを設置して、自然循環力を増大させる。 ・特に、チムニー内のボイド率分布の把握が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 原学会 2008 秋の大会D36 ・矩形流路内ボイド率計測 	<ul style="list-style-type: none"> ○チムニー内流動試験 <ul style="list-style-type: none"> ・流路内ボイド率計測 ・流力振動特性 	産／産	<ul style="list-style-type: none"> ・自然循環流量予測精度向上によるプラント経済性向上

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新 型 炉 と 現 行 炉	安全解析 (BE)手法 の高度化	最適評価手法 +統計不確か さ評価	BE手法の精度 確認	<ul style="list-style-type: none"> TRACEコードの整備及びLOCA解析モデル開発中(JNES) OECD/BEMUSEタスクに参加し、検証ベンチマーク解析実施中(JNES) 原子力学会標準策定作業 OECD/ROSA(JAEA主催、JNES参加)でLSTF実験実施(PWRでの事故を主対象に12実験)、BEやCFDの精度評価・向上 許認可適用規準の整備 	<ul style="list-style-type: none"> OECD/BEMUSEタスク報告書(Phase 1~3) CSAU手法報告書(NUREG5249) CSNI/UMS(BE2000報告) EMDAP(RG.1.203) 原子力学会標準(予約中) 「OECD/NEA ROSA プロジェクト」(原学会2008年会、K05~09)など 	<ul style="list-style-type: none"> OECD/BEMUSEタスクの完了(2009予定) OECD/ROSA第2期計画でのLSTF実験の継続実施—PWR中口径破断LOCA、SGTR、主蒸気管破断等 LOCA以外の事象への適用拡張(JNES) トピカルレポートレビュー(TRAGG等) 安全審査指針への最適評価手法+統計不確かさ評価適用規準の明確化 	官/官 産/産 学協会	<ul style="list-style-type: none"> 最適評価手法の精度向上と安全評価への適用 安全余裕の評価と評価精度の向上 次世代軽水炉の安全評価(世界標準への対応) 指針の策定
			主要パラメータ 選定法の策定	<ul style="list-style-type: none"> OECD/BEMUSEタスク 原子力学会標準策定作業 	<ul style="list-style-type: none"> 原学会標準(予約中) 	<ul style="list-style-type: none"> 不確かさパラメータの定量化と精度向上 		
		数値流体力学 (CFD)手法の 導入	単相CFDの開 発	<ul style="list-style-type: none"> 汎用CFDコードSTAR-CD、FLUENT等を用いた解析例有り 米、欧でボロン希釈、加圧熱衝撃等に関する実験及び解析あり 高精度計算のための計算機資源、性能不足、グリッド作成の効率化、計算の高速化が課題 	<ul style="list-style-type: none"> OECD/NEA:CFDの安全課題への適用性検討 NEA/CSNI/R(2007)13等 FLOMIX-Rプロジェクト(EUの共同プロジェクト、ホームページ)等 	<ul style="list-style-type: none"> 乱流モデルの開発 グリッド作成、高速計算等の計算機利用技術の開発 検証用詳細計測データベースの整備 	産官学/官 官/官 産/産 学協会	<ul style="list-style-type: none"> 事象の 詳細説明 安全評価手法の高精度化や合理性、妥当性の向上 学会標準、 指針の策定
			3次元二相流 解析手法の開 発	<ul style="list-style-type: none"> 汎用CFDコードに自由界面機能を導入し、ある程度の範囲で3次元二相流動を解析 ACE-3D、TPFIT等の3次元二相流コード開発(JAEA) 非常サブチャンネル解析コードNASCAの開発(民間、大学) NEPTUNEコード、SALOMEプラットフォーム等の開発(フランス) 二相界面での運動量及びエネルギー輸送モデル、界面近傍での乱流パラメータ設定等が課題 	<ul style="list-style-type: none"> OECD/NEA:CFDの二相安全課題への適用性検討 (NEA/SEN/SIN/AMA(2006)2、OECD/NEAホームページ)等 ECORA、NURESIMプロジェクト(EUの共同プロジェクト、ホームページ)等 Nucl. Engng. Des., 238(3)(2008)やOECD/NEA XCFD4NRS(2008)会議論文集など 	<ul style="list-style-type: none"> 大規模流動に適用可能な解析手法の開発 モデルの開発(二相流モデルと界面での輸送モデル、界面近傍での乱流モデルなど) 検証用詳細計測データベースの整備 		
			実機サイズ解 析への適用と BE手法の高精 度化	<ul style="list-style-type: none"> 配管内流動、炉心流動、ボロン希釈、温度成層等に関して、領域を限定した解析例あり 実機事故の現象解明用解析への適用(美浜3号、浜岡1号炉など) 計算機資源、グリッド作成、詳細解析モデル等が課題 	<ul style="list-style-type: none"> NURETH 会議論文集やNED誌等の文献 実機事故の報告書(美浜3号炉、浜岡1号炉など) 	<ul style="list-style-type: none"> 効率的な数値解法アルゴリズムの検討 グリッド作成、高速計算等の計算機利用技術の開発 BE手法との結合や解析モデルとの置き換えの検討 検証用詳細計測データベースの整備 		

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型炉と現行炉	事故後長期冷却	ストレーナ閉塞	デブリ発生量予測(破断流影響含む)	二相ジェットによる空間圧力評価に用いられている ANSI/ANS モデルは低圧領域で過度に保守的である可能性。米国では、ペイントの劣化や破損領域(ZOI)をより現実的に評価するには個別プラント試験が要求されており、一部のプラントで実施。	<ul style="list-style-type: none"> NEI 04-07 Regulatory Guide 1.82rev3 NUREG/CR-6808 	<ul style="list-style-type: none"> ANSI/ANS モデルの見直し ZOI 試験の実施 	官/官産/産	<ul style="list-style-type: none"> 審査基準の見直し(ガイド作成) デブリ生成量評価の保守性の見直し
			CV 内流動とデブリ移動	国内事業者の圧損試験では、サンプルでのデブリ沈降が含まれており、その保守性を示す必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> NEI 04-07 Regulatory Guide 1.82rev3 	<ul style="list-style-type: none"> デブリ沈降の妥当性を示す試験等または、圧損試験方法の見直し 	官/官産/産	<ul style="list-style-type: none"> 審査基準の見直し(ガイド作成) 移行量の保守性の見直し
			化学効果	米 ICET や JNES 試験により主要なパラメータが明らかにされつつあるが、十分な現象解明には至っていない。WCAP-16530 手法で評価される化学析出物量は大きく、圧損の主要因子となっている。また、JNES 試験や独 AREVA 社の試験から中性領域(BWR が含まれる)での化学影響も重要である可能性が示された。	<ul style="list-style-type: none"> JNES SS レポート NEI 04-07 NUREG/CR-6913, 6914 NUREG-1918 WCAP16530 	<ul style="list-style-type: none"> 中性領域での化学影響試験 WCAP 手法の国内プラントに対する適用性検討及び保守性見直し 	官/官産/産	<ul style="list-style-type: none"> 審査基準の見直し(ガイド作成) WCAP 手法の見直し
			下流側影響	独 AREVA 社試験で、スクリーンを通過したデブリが炉心グリッドに堆積し圧損上昇。	<ul style="list-style-type: none"> NEI 04-07 WCAP16793 WCAP16793 の SER(ドラフト) 	<ul style="list-style-type: none"> 通過デブリによる流路閉塞や炉心冷却性を把握する下流側影響試験 	官/官産/産	<ul style="list-style-type: none"> 審査基準の見直し(ガイド作成)
			圧損評価	NUREG/CR-6224 等の圧損評価式が作成されたが、珪酸カルシウム等の圧縮性粒子や繊維と粒子が不均一混合時には不十分。	<ul style="list-style-type: none"> JNES SS レポート NEI 04-07 NUREG/CR-6224, 6808 NUREG-1862 	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮性及び繊維と粒子の不均一混合を考慮した圧損評価式の検討 	官/官産/産	<ul style="list-style-type: none"> 審査基準の見直し(ガイド作成)

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型炉と現行炉	シビアアクシデント対策	ソースターム	ヨウ素挙動(再放出等)	<ul style="list-style-type: none"> ・ソースターム評価上重要なヨウ素挙動に関してこれまでに多くの研究が実施され、OECDヨウ素WS等を通じた継続的に検討を実施 ・水相内不純物の影響、高水温条件下のヨウ素化学や壁面へのヨウ素吸着挙動に大きな不確かさあり ・低酸素濃度雰囲気条件下(BWR)のデータが不十分 	<ul style="list-style-type: none"> ・'70年代のCVスプレーによる除去研究 ・'80-'90年代のOECDヨウ素WS、ISP41関連資料 ・RTF試験(カナダ)、PHEBUS試験(仏)等のデータ(一部公開文献あり、PHEBUS、ISP41で旧原研入手) ・OECD/BIP(JNE参加)で壁面吸着、有機ヨウ素生成の実験を実施中 ・OECD/THAI(日本不参加)でCV内水素燃焼のヨウ素化学に及ぼす影響について実験を実施中 ・JNESとJAEAが、SA晩期の照射下のヨウ素再放出挙動に関する実験を実施中 	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎実験によるパラメータ効果に関するデータの拡充とシビアアクシデント解析に使用できるヨウ素化学モデルの構築(PWR/BWR条件)。 ・有機ヨウ素生成モデルの不確かさの低減(OECD/BIPで実施予定)。 ・寄与が大きい壁面吸着の詳細機構の検討(OECD/BIPで実施予定)。 	官/官	<ul style="list-style-type: none"> ・現実的ソースターム評価 ・解析手法の整備と事故現象の解明や設計、SA・防災対策、規制への利用 ・事業者自主規格や学協会規格の策定

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型 炉と 現行 炉	シビア アクシ デント 対策	格納容器 健全性	水素挙動	<u>水素分布予測</u> ・OECD 国際標準問題 ISP47 (ThAI 実験) で CFD コードにより He 成層化が再現できず、乱流混合や凝縮等に課題残存	・NUPEC の分布及び燃焼実験。爆轟限界水素濃度の評価が目的。 ・CV 内水素分布につき実験、CFD 解析など公開文献あり ・JNES における CFD 解析 (DEFINE コード、~H17)。 ・OECD/THAI (日本不参加) で格納容器 (CV) 内水素分布、3D 流動、ヨウ素化学等に関する複合実験を実施中	・シビアアクシデント時 CV 内の流動(水素混合・成層化)に関する CFD 解析コードの検証と改良	官/官	・解析手法の整備と事故現象の解明や設計、SA・防災対策、規制への利用 ・産業界自主規格や学協会規格の策定
				<u>水素処理技術</u> ・欧州: CV 内に触媒式再結合器 (PAR) 設置 ・日本: BWR は窒素ガス置換による不活性化で燃焼防止、PWR はアイスコンデンサ型 PWR のみイグナイタ設置、大型乾燥 CV は対策不要と結論 ・蓄積した水素の処理(減圧)は未検討 ・欧州ではフィルターベント実装済	・PAR の効果につき実験、CFD 解析など公開文献あり ・ベント関連でスクラビング等による FP 除去の研究多数 ・水素エネルギー関連で水素蓄積技術につき多数の研究があるが、事故後対策用には難あり	・シビアアクシデント後および晩期の水素残圧の処理対策の検討 ・高機能 PAR その他、対策に係わる機器の開発 ・シビアアクシデント解析コードへの水素処理モデル(例えば PAR モデル)の導入と水素処理対策の有効性に関する総合的な評価	産/産官/官	・解析手法の整備と事故現象の解明や設計、SA・防災対策、規制への利用 ・産業界自主規格や学協会規格の策定

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新 型 炉 と 現 行 炉	シビア アクシ デント 対策	格納容器 健全性	FCI(水蒸気爆 発含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力容器内(炉内)水蒸気爆発に起因するαモード破損の確率は極めて小(ROAAM(Risk Oriented Accident Analysis Methodology)手法による評価)。 ・圧力容器外(炉外)水蒸気爆発に関してはUO_2酸化物では発生しにくいことが明らかになっているが、サブクール度大で水深が深い場合や金属成分の影響に関するデータは十分と言えない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気爆発の有無や粗混合過程は ALPHA, FARO, KROTOS, COTELS 実験データが有り(公開文献)。 ・OECD/SERENA2(JNES 参加)で、コリウム組成等の影響評価中。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現在実施中の SERENA2 計画のフォローと解析コード整備による水蒸気爆発負荷評価の不確かさ低減 ・MCCI軽減策としての水張りの有効性評価(水蒸気爆発の発生可能性や影響、床面へのデブリベッドの堆積と冷却性) ・蒸気爆発に対する溶融物の金属成分(特に金属ウラン)の影響の検討 	官/産+官 (国際協力)	<ul style="list-style-type: none"> ・現実的ソースターム評価 ・解析手法の整備と事故現象の解明への利用 ・次世代炉の安全評価(SA 関連) ・原賠法に関する検討
			MCCI	<ul style="list-style-type: none"> ・OECD/MCCI-2 計画のクラスト破損試験と解析により、実機では注水冷却時に形成されるクラストが破損する可能性が高いことが明らかとなったが、解析コードによるコンクリート侵食試験結果の予測制度は十分とは言えない。 ・溶融炉心の全量落下を想定すると、注水冷却による MCCI 抑制は必ずしも可能ではない。 ・MCCI の発生回避策を考慮した設計(EPR 等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・WETCORE, SWISS, MACE, COTELS, MCCI-1 試験が公開データとして有り。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現在実施中の MCCI-2 計画のフォローと解析モデルの検証 ・MCCI 回避策(コアキャチャー等)の性能評価試験 ・シビアアクシデント解析コードへの MCCI 回避策モデルの導入と有効性評価 	官/産+官 (国際協力)	<ul style="list-style-type: none"> ・現実的ソースターム評価 ・解析手法の整備と事故現象の解明への利用 ・次世代炉の安全評価(SA 関連) ・原賠法に関する検討
			DCH	<ul style="list-style-type: none"> ・ROAAM 手法等による評価から、炉心溶融物が格納容器内に飛散しても、格納容器の限界圧以上に加圧される可能性が低いことが示されている。また、一次系の減圧により DCH 自体の発生を回避することが可能。 ・AM 策として1次系の減圧が強化されており、DCH が発生しない圧力レベルの検討もなされている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・PWR を対象とした試験が SNLANL,FAI で実施されており、公開文献有り。 ・Purdue 大学では DCH 時の液滴挙動に関する基礎試験を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・次世代炉における DCH 発生時の格納容器圧力・温度の急上昇が生じないような格納容器内の配置上の考慮 	産/産	<ul style="list-style-type: none"> ・格納容器内の配置上の考慮による DCH 問題の回避
		実機影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ・OECD/MASCA(JNES 参加)において溶融炉心の逆成層化が示されたが、JNES データベースを用いた熱力学解析で評価可能。 ・ただし、実機評価では、温度分布による影響やトランジェントについて検討する必要有り。 	<ul style="list-style-type: none"> ・MASCA 試験レポート ・原学会論文(熱力学データベース構築、MASCA 試験解析、下部ヘッド内デブリ伝熱流動解析) 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶融炉心成層化に関するトランジェント試験 	産+官 /産+官 (国際協力)	<ul style="list-style-type: none"> ・次世代炉の AM ・次世代炉の安全評価(SA 関連) 	
		溶融炉心の圧力容器内冷却ないし保持(IVR/IVC)						

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新 型 炉 と 現 行 炉	非凝縮性 (可燃性) ガス対応	BWR 蒸気配管内で の水素ガス燃 焼	爆轟挙動評価 手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> 右記ガイドラインにて、水素・酸素の混合ガスが蓄積する配管形状や、不燃限界濃度等の知見がまとめられた。 混合ガスの燃焼/爆轟挙動評価手法を確立し、配管の強度評価条件として提示する必要がある。 	BWR 配管における混合ガス(水素・酸素)の燃焼による配管損傷防止に関するガイドライン(H19、火力原子力発電技術協会)	<ul style="list-style-type: none"> 爆轟試験、評価手法確立 配管継手/反射端の影響を把握する爆轟試験 CFDによる爆轟特性解析手法 	試験、評価手法確立、ガイドライン改訂 産(学,官)/産 事例規格化 学協会	<ul style="list-style-type: none"> 爆轟特性、強度評価も含めたガイドライン策定 事例規格
	火災	PWR+BWR 火災影響評価	火災 PSA 評価 法確立	<ul style="list-style-type: none"> 火災による炉心損傷頻度(CDF)は、内的事象による CDF の約 10 倍程度と評価(JNES の試算) 高い精度で確認するためには最新技術をとりにれた評価手法の高度化研究が望まれる。 	<ul style="list-style-type: none"> 米国では最新知見や技術を反映した火災 PSA 手法(NUREG/CR-6850)を整備 OECD/PRISM 計画(大規模火災試験) OECD/FIRE 計画(火災データベース) 	<ul style="list-style-type: none"> 火災試験データ及び火災 PSA 評価に必要な火災データベースの蓄積 火災伝播解析コード開発・検証 	官/官	<ul style="list-style-type: none"> 火災防護設計評価への火災 PSA の活用 中央制御室居住性評価(Phase2)
	炉心健全 性	BWR 異常過渡変化	Post-BT	<ul style="list-style-type: none"> 原子力学会 Post-BT 標準(右記)により異常過渡時における被覆管温度評価手法や燃料健全性の判断基準を規定 リウエット挙動に関するデータベースの拡張と既存モデルの適用範囲等の評価が必要 機構論的な解析手法を整備する上では、過熱蒸気温度、液膜厚さ、液滴径等、これまでに十分に得られていないデータの取得やバンドル体系での 3 次元効果の解明が課題 放射線照射表面活性(RISA)によるリウエット挙動の促進などの確認が課題 	<ul style="list-style-type: none"> 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) 実バンドル体系実機条件試験(NUPEC) 電力共同研究における試験データベース 主にリウエット挙動に着目した実機条件試験(JAEA で実施中) 過熱蒸気温度・液滴径に関しては非常に低流量(実機の 1/10 以下)での計測例あり 	<ul style="list-style-type: none"> 解析モデルやコードの高度化と検証に活用可能な実機条件データベースの拡充 最適解析手法の予測性能評価と精度向上 	官/官 産/産	<ul style="list-style-type: none"> 最適評価手法、解析手法の精度向上 燃料健全性や安全余裕の正確な評価 学界標準の改訂
		炉心の限界出力評価	放射線照射表面活性(RISA)による沸騰熱伝達の向上	<ul style="list-style-type: none"> ガンマ線照射下で超親水性等の表面特性となる日本発の現象 JMTR 実験(低圧低流量)で CHF 向上を確認(JAEA) ドライアウト型の沸騰現象と濡れ性を含む伝熱面表面性状の関係の解明が課題 実機炉心(高ガンマ線照射下)での限界出力向上などの確認が課題 	<ul style="list-style-type: none"> RISA による濡れ性やプール沸騰 CHF 等のデータ(海洋大、東大、京大、神戸製鋼、電中研、JAEA、東芝など) JMTR 照射下、低圧低流量条件での CHF データ(JAEA) 	<ul style="list-style-type: none"> 伝熱面表面性状とドライアウト熱流束の系統的調査 照射下濡れの計測 など 実機炉心条件(照射下、高圧、高流量)での CHF 試験 最適解析手法の予測性能評価と精度向上 	産官学/官 産学/産 官/官 学協会	<ul style="list-style-type: none"> 最適評価手法、解析手法の精度向上 安全余裕の正確な評価 炉心の限界出力評価と燃料設計への反映 学会標準の策定

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
新型炉と現行炉	高経年化	加圧熱衝撃(PTS)事象の高精度熱水力解析	熱水力境界条件の提供	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器の照射脆化評価に関しては、'91年に規格化された脆化予測評価手法に基づき、供用60年までの健全性が'04年に定められた試験方法で確認されている 供用60年を越える長期供用に対しては、評価法の保守性に対する合理的な見直しが必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 高経年化対応技術戦略マップ 2008 08 基高報-0003(JNES) 原子炉圧力容器の中性子照射脆化 JNES-SS-0507-01 平成18年(JNES 高経年化技術評価審査マニュアル) 原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 JEAC 4206-2004(日本電気協会) 	<p><u>現行炉+新型炉</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器内壁での冷却材温度分布詳細評価手法(3次元CFD等)の開発 検証用データベースの整備 <p><u>新型炉</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器内壁での冷却材温度分布詳細評価手法の構造設計への反映 	官/官産/産	<p><u>現行炉+新型炉</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 詳細評価手法の精度向上 原子炉圧力容器健全性の正確な評価 JNES 高経年化対策技術資料の見直し 日本電気協会規程の見直し <p><u>新型炉</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 80年供用に対応した健全性評価手法の最適化

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
現行炉	出力向上	BWR 蒸気流量増大	流力振動	<ul style="list-style-type: none"> ・米国の出力向上プラントにおいて、ドライヤが損傷した事例が発生した。 ・このため、主蒸気流量の増大に伴う音響・流動振動評価手法を整備していく必要がある。 	原学会 2008 年会(春) M43~45 原学会 2008 年会(秋) E19~21 空気系での縮尺基礎試験 主蒸気系の音響解析	<ul style="list-style-type: none"> ○主蒸気管・ドライヤ音響振動試験(蒸気試験) ・単一閉止分岐管の音響共鳴 ・音圧予測手法の整備 ・圧力変動伝播特性試験 	産/産	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライヤ振動健全性評価指針の作成 ・ドライヤ振動健全性評価の高度化
		BWR 炉出力の増大 /分布変化	炉心安定性	<ul style="list-style-type: none"> ・現行炉、自然循環運転となる ESBWR、次世代軽水炉を含め、高出力密度炉心、大型格子燃料炉心等ではボイド率、圧力損失も増加し、安定性に係わる余裕が低減することが予想される。従来と異なる炉心に適用可能な汎用性の高い解析評価手法の整備が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・BWR の安定性評価基準(原子力学会、予約中) ・「BWR 核熱水力安定性評価の現状と課題」(原子力学会、2001) ・密度波振動下での CHF 測定データ(神戸大) ・自然循環炉のシミュレーション試験(電中研 SIRIUS) ・燃料特性を模擬した個別効果試験(JAEA の THYNC) 	<ul style="list-style-type: none"> ・三次元核熱結合解析コードを含めた解析評価手法の高度化と手法の開発・検証に用いるデータベースの整備 	官/官 産/産	<ul style="list-style-type: none"> ・トピカルレポート及びそのレビュー ・安全余裕の正確な評価
		PWR+BWR 流量計精度保証	高 Re 実証と CFD 解析による 検証技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ASME 等の規格に基づいた製作と実流試験(Re~10⁷)での精度確認 ・MU(計測の不確かさ)型出力向上への利用を対象とした超音波流量計の計測不確かさ検討(原学会) ・CFD 解析の精度確認は不十分 	<ul style="list-style-type: none"> ・原学会「超音波流量計に関する技術検討評価」分科会最終報告書など 	<ul style="list-style-type: none"> ・不確かさ評価の標準的手法の確立 ・産総研国家標準設備を用いた系統的精度評価とデータ利用 ・流速分布式超音波流量計の実用化 ・CFD 解析精度の保証 	官/官 産/産	<ul style="list-style-type: none"> ・安全余裕の正確な評価 ・ECCS 性能評価指針の見直し ・出力向上の実施

大分類	個別項目	対応すべき技術テーマ	技術課題	類似技術の主な検討結果 残存課題 ないし 現象	データや 知識ベース	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
現行炉	燃料高度化	BWR RIA 過渡ボイド	安全解析手法の整備	<ul style="list-style-type: none"> 過渡的サブクールボイドモデルの開発 (JNES) 三次元核熱結合解析コードの整備 (JNES) 	<ul style="list-style-type: none"> 過渡ボイド挙動試験 (JAEA) 	<ul style="list-style-type: none"> 過渡的サブクールボイドモデルの検証及び実機適用評価 	官学/官産学/産	<ul style="list-style-type: none"> トピカルレポート及びそのレビュー 安全余裕の正確な評価
		柔軟運転サイクル	運転期間延長に伴う安全性の確認	<ul style="list-style-type: none"> 安全審査(核・熱・安全設計) 	<ul style="list-style-type: none"> 核・熱・安全性解析手法 	<ul style="list-style-type: none"> 核・熱・安全性解析手法の高度化(必要に応じて) 	官学/官産学/産	<ul style="list-style-type: none"> 新検査制度での適合性確認
		PWR 高燃焼度化等	高燃焼度化対応等と規格基準の高度化(熱流動分野は境界条件を提示)	<ul style="list-style-type: none"> 熱水力、流動特性、限界熱流束(DNB)特性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 加圧水型原子炉に用いられる17行17列型の燃料集合体について(原子炉安全専門審査会報告書) 発電用加圧水型原子炉の炉心熱設計評価指針 	<ul style="list-style-type: none"> 限界熱流束(DNB)比評価用関連式の評価等 解析コード及び手法整備(熱流動分野は境界条件を提示) 	官学/官産学/産	<ul style="list-style-type: none"> トピカルレポート及びそのレビュー 燃料熱水力評価技術の高度化
		BWR 高燃焼度化等	高燃焼度化対応等と規格基準の高度化(熱流動分野は境界条件を提示)	<ul style="list-style-type: none"> 熱水力、流動特性、限界出力比(MCPR)特性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 沸騰水型原子炉に用いられる9行9列型の燃料集合体について(安全委員会専門部会報告書) 	<ul style="list-style-type: none"> 限界出力比(MCPR)評価用関連式の評価等 解析コード及び手法整備(熱流動分野は境界条件を提示) 	官学/官産学/産	<ul style="list-style-type: none"> トピカルレポート及びそのレビュー 燃料熱水力評価技術の高度化

大分類	個別項目	課題	現状	実施する内容	役割分担 (実施/資金)	期待される成果 (反映先)
基盤の確保・整備	知識	国民の理解獲得のため、 ・必要な知識(情報)基盤の検討と整備 ・広報活動の充実	・産官による各種の広報活動 ・学協会による教科書やハンドブックの作成・改訂	・教科書、ハンドブック等の作成 ・研究ワークショップ等の開催 ・研究・開発成果の社会的な広報活動の実施	学協会 + 学/学	熱水力技術に係る知識基盤の整備と社会的周知
	人材	技術の継承と発展に必要な研究・開発・評価の能力を備えた人材の継続的養成(急務)	・原子力分野からの大学離れが進行 ・技術の継承・発展に必要な研究・開発・評価の能力を養成する教育・研究の実施を産官学で系統的に取り組む必要性の喚起 ・技術継承のための大学院大学の開設(東大) ・JAEA や原安協、各国の研究開発機関や OECD/NEA、IAEA 等による研修やセミナーの実施 ・MEXT と METI による人材育成予算の確保と重点テーマ(FBR 等)への配分	・系統的な研究・開発の実施 ・知識基盤セミナーの開催 ・産官学の積極的交流の促進 ・人材育成予算の継続的確保と客観的な配分	学/官 + 学/学 + 産/産 + 学協会	優秀な人材の継続的確保
	施設	研究基盤施設(LSTF、THYNG 等)の維持・活用と廃止決定法を含む在り方の検討	・過渡、事故模擬実験データの蓄積によって、試験装置の大部分が閉鎖され、実機条件(高温高圧)の大型試験設備は世界的にも限定。 ・OECD/NEA は SESAR/FAP と SFEAR の 2 度、専門家グループ検討を行ない、国際協力利用が有効な設備をランク付リストアップ NEA/GSNI/R(2007)6 ・OECD/NEA プロジェクト等による国際共同研究への設備利用の促進	・設備性能に応じた具体的利用課題、スケジュールの明確化と利用制度の整備 ・設備の廃止規準の策定	官/官 + 産/産	・次世代軽水炉など新たな設計の安全性実証に必要な実規模施設基盤の整備と利用 ・国際共同利用研究を通じた安全向上と規制支援
	制度	・技術評価プロセスに関する検討 ・産官学協力の在り方に関する検討 ・指針の体系化に関する検討	・学会標準委員会等の設置と学会標準(民間規準)策定のタイムリーな実施 ・分野における研究ロードマップの策定と実施、ローリングの実施	規制課題に対する学協会規格の策定、指針などへの適用、定期的な見直し など	学協会 + 官/官	最新知見に基づいた体系的指針の策定と検査、安全評価の実施