

原子炉物理分野の研究開発ロードマップ 2017 年版
(RM2017)

2017 年 10 月

日本原子力学会炉物理部会

「炉物理ロードマップ調査・検討」ワーキンググループ

目次

1. はじめに	1
2. これまでの経緯と今回の活動の概要	3
3. ロードマップ策定に向けた議論.....	5
3.1. 原子力を取り巻く環境についての整理.....	5
3.2. 「炉物理のあるべき姿」と達成目標に関する意見交換	9
3.3. 炉物理の Vision と Mission	12
3.4. 2012RM の振り返り結果	13
3.5. 2017RM 策定の過程	15
4. 2017RM.....	16
4.1. 2017RM の概要.....	16
4.2. 制度基盤	24
4.3. 人材基盤	26
4.4. 施設基盤	30
4.5. 技術基盤	33
5. 2017 ロードマップの具現化に向けて.....	41
5.1. 総論	41
5.2. 制度基盤	42
5.3. 人材基盤	44
5.4. 施設基盤	54
6. まとめ.....	56

1. はじめに

日本原子力学会炉物理部会では、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、「東電福島第一事故」と記述）の後、原子炉物理分野で取り組むべき課題について「炉物理ロードマップ」策定委員会において議論を行った。2012年3月に議論の成果を原子炉物理分野の研究・開発ロードマップとして策定し、炉物理部会の部会報である「炉物理の研究」第64号にて公開した¹。このロードマップは東電福島第一事故後、約1年でとりまとめられたものであるが、事故後約6年半が経過した現在の原子力界の状況は、このロードマップ策定時の状況や予想とは大きく異なっている。

そこで、炉物理部会では、2012年3月に策定したロードマップのローリング（更新）作業を2016年度に開始した。このローリング作業の目的は、最新の状況を取り込んで炉物理分野のロードマップを改定するとともに、現在の炉物理の状況および将来の炉物理の姿を関係者と議論し、共有することである。すなわち、2012年のロードマップ策定時と同じく、ロードマップの策定のみならず、策定に向けた議論そのものが極めて重要であるとの位置づけで作業を進めた。

炉物理分野の将来を考える際、社会とのかかわり方を含めて、炉物理分野に期待されること、炉物理分野がなすべきことを明確にしておく必要がある。そこで、今回のローリング作業においては、最初に炉物理分野の「あるべき姿」について議論し、これに基づいて炉物理分野のVisionとMissionを策定した。その後、現時点で認識されている課題や問題意識をベースとしたロードマップの項目検討に加え、VisionとMissionを達成するために解決すべき項目の検討を行った。前者は、現状を外挿するForecastに基づく検討であり、後者は、目的の達成から逆算するBackcast²に基づく検討となる。このようなアプローチにより、VisionとMissionに適合し、なおかつ現実的な課題解決のためのロードマップを策定することを試みた。また、今回のロードマップ改定にあたっての入力情報とするため、前回のロードマップの達成状況について、振り返りを実施した。ロードマップは、策定すること自体にも大きな意義があるが、具体的な取り組みを進めるためのアクションも重要である。この点についても議論を行った。

一般的に、研究開発ロードマップの位置づけとしては様々なものが考えられるが、今回の炉物理研究開発ロードマップは、炉物理関係者が今後必要となる研究開発課題について議論し、認識を共有することが大きな目的であると位置づけた。また、社会とのコミュニケーションのツールとしてロードマップを用いることも考えられるが、今回のロードマップでは対象外とした。さらに、一般的なロードマップでは項目の優先度が示されている場合が多いが、今回のロードマップにおいて項目として取り上げられたものは、いずれも重

¹ http://rpg.jaea.go.jp/else/rpd/annual_report/RPDNo64.html

² Forecastは、現在の状態を外挿することで、将来を予測・検討する方法であり、Backcastは、ある将来像（ゴール）に到達するために必要なことをゴールから逆算して検討する手法である。

要な課題であり、優先度は立場により異なり得ると考えられたため、優先度については、明示的に議論していない。

第 2 章では、今回のロードマップ策定及び策定に至る経緯を取りまとめる。第 3 章では、まず現状認識として現時点の原子力を取り巻く環境を取りまとめる。引き続き炉物理分野の「あるべき姿」と、それを入力情報とする炉物理分野の Vision と Mission の策定について述べる。また、2012 年に策定した前回の炉物理ロードマップの振り返りの結果を取りまとめる。第 4 章では、今回策定したロードマップについて説明する。ロードマップは、前回と同様、①制度基盤、②人材基盤、③施設基盤、④技術基盤の 4 カテゴリに分類した形で策定した。第 5 章では、策定したロードマップに基づき、炉物理部会として実施すべきと考えられるアクション案について説明する。最後に、第 6 章でまとめを述べる。

2. これまでの経緯と今回の活動の概要

日本原子力学会炉物理部会における研究・開発ロードマップの策定は、原子力政策大綱の改定と時を同じくして2010年度に開始された。しかし、その開始直後の2011年3月の東電福島第一事故により原子力を取り巻く状況が劇的に変化したことから、その目的や方法論を白紙から見直し、計3回の全体会合を経て、東電福島第一事故から1年後の2012年3月に「原子炉物理分野の研究・開発ロードマップ」（以下、「2012RM」と記述）として策定された。

その後、2016年9月の原子力学会秋の大会の期間中に行われた炉物理部会全体会議において、名古屋大学の山本から「炉物理ロードマップのローリングについて」という提案が行われた。ここでは、2012RMの策定から5年程度経過し、原子力を取り巻く環境が非常に大きく変化したことから、ロードマップのローリング（更新）作業を通して日本の炉物理界が今後進むべき道を改めて議論することの重要性和意義が指摘されるとともに、再びロードマップを検討する組織を立ち上げて議論を行おうという提案が行われた。この提案が部会員により支持されたため、提案者の山本を主査として「炉物理ロードマップ調査・検討」WGが炉物理部会に設置され、ロードマップのローリング作業が開始されることになった。

このWGは、策定作業を効率的に進めるという観点から、主査と複数の幹事で構成される幹事団を中心として組織・運営することとした。幹事は産業界（メーカー）、研究機関、大学から計4名が担当することになり、WGメンバーは幹事団も含めて計21名で構成されることとなった（内訳は産業界が7名、研究機関が4名、大学関係者が10名である）。また、豊富なキャリアを有するアドバイザー3名及び多くのオブザーバーも議論に加わった。オブザーバーも含むWGのメンバーリストを付録1に示す。

WGの活動を始めるにあたり、大まかな進め方として、2020年、2030年、2050年において原子力技術を支える炉物理が目指す姿（あるべき姿）の議論から出発し、それを達成するためになすべきことを議論する（Backcastに基づくアプローチ）とともに、現在の課題を解決するためになすべきことを議論する（Forecastに基づくアプローチ）こと、そして、これらの議論および前回策定したロードマップとその振り返り結果を入力情報として新しいロードマップを作成することが合意され、基本的にはそれに従って作業を進めることとした。

2016年12月に行われた第1回会合では、まずWGの活動を進めるうえでの基本的な考え方が確認された。共通の認識として、①このWGではロードマップの策定そのものに加えて炉物理の将来について議論することが大きな目的であること、②「観察（Observe）・方向付け（Orient）・決心（Decide）・実行（Act）」のOODAサイクルの「決心・実行」の具体化を図るところまでWGが実施すること、③ロードマップの主な役割は炉物理に従事する技術者・研究者が今後の技術・研究開発の方向性を検討する際の指標となること、の3点を確認された。また、原子力の現在の状況認識をメンバーで共有するとともに、将来の

炉物理が目指す姿について議論が行われた。これらについては本報告書の 3.1、3.2 節に詳細に記述されている。

2017 年 2 月に行われた第 2 回会合では、第 1 回会合で議論された「将来の炉物理が目指す姿」を基にして、「炉物理とは何をする学問か」について意見の集約を図り、炉物理部会の基本方針の位置付けとなる「炉物理の Vision と Mission」を作成した（3.3 節に詳述）。また、2012RM について策定後の具体的なアクション実績の確認を行い、アクションに至った動機もしくはアクションに至らなかった原因を考察する振り返り作業の集約を行った（3.4 節に詳述）。そして、これら（炉物理の Vision と Mission、及び 2012RM 振り返り結果）を入力情報として、新たなロードマップ（以下、「2017RM」と記述）の策定方針が決められた。議論の中で、Backcast アプローチ、すなわち炉物理分野の Vision に到達するために解決すべき課題を掘り下げる必要性が強調された。

2017 年 5 月に行われた第 3 回会合では、Backcast アプローチによる課題抽出結果も反映した 2017RM の草案について議論を行うとともに、報告書の構成や 2017RM の外部への発表方法に関して認識を共有した。

第 4 回（最終）会合は 2017 年 8 月に行われ、2017RM の最終案を作成するとともに、OODA サイクルの「決心・実行」に対応する部分となる 2017RM に基づくアクションプランの検討を行った。

この後、2017 年 9 月の原子力学会秋の大会の炉物理部会企画セッションにおいて、2017RM の最終案が紹介され、その内容について議論を行った。そして、炉物理部会のメンバーリングリストで意見聴取を行ったのち、最終的に 2017RM を策定した。

なお、文中で記述した通り、WG の活動を通してまとめられた内容は第 3 章に詳述している。また、各会合と部会企画セッションの議事録は付録 2 として添付している。

3. ロードマップ策定に向けた議論

3.1. 原子力を取り巻く環境についての整理

新たに 2017RM を策定するに当たり、2012RM 制定から 5 年が経過した間に、原子力を取り巻く環境がどのように変化してきたかを、客観的視点に立ち認識することが重要であると考え、本WGの第1回会合において現在の状況と5年間の状況の変化について整理を実施した³。以下の各節において、枠囲みが現在の状況、本文がそれを踏まえてWGで議論した2012年からの変化である。

(1) 国内、エネルギー政策に関する動向

- 原子力発電所の停止（燃料費の増加）と再生可能エネルギー固定価格買取制度の導入等に伴い電気料金が上昇した。
- 2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」を受け、2015年7月に「長期エネルギー需給見通し」が経済産業省で決定された。同見通しでは、2030年の1次エネルギー供給における自給率（再生可能エネルギーと原子力）は24.3%となり、電源構成に占める原子力の比率は、震災前の約3割から20～22%に低減される見通しである。

(2012年からの変化)

エネルギー基本計画（2014年4月）では、「原発依存度については、省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる。その方針の下で、我が国の今後のエネルギー制約を踏まえ、安定供給、コスト低減、温暖化対策、安全確保のために必要な技術・人材の維持の観点から、確保していく規模を見極める。」と示されているが、2012年当時より原子力に関する国内環境や世論はさらに厳しく、原子力利用の縮小の流れが強まっていることを認識すべきである。その後（2015年7月）の「長期エネルギー需給見通し」では、2030年時点でのベースロード電源として原子力の活用方針が明示された。

国内における既存軽水炉プラントについては、新規制基準に基づく原子力規制庁による審査が進みつつあり、PWRは順次再稼働（川内、高浜、伊方）している。BWRについても、PWRよりは遅れてはいるものの再稼働の手続きは進むものと考えられる。ただし、安全性への懸念、事故時の住民避難の手続きへの懸念、災害リスク（特に地震とそれに伴う津波）再評価の必要性といった観点からの、自治体（首長）・周辺住民による再稼働反対の意思表示がなされ、また、司法判断がプラントの再稼働に影響を与える状況も発生している⁴。また、いくつかの高経年（40年寿命超）かつ小出力のプラントでは廃炉が決定して

³ 検討にあたっては、原子力委員会2016年（平成28年）度第7回定例会議の配布資料などを入力情報として議論を行った。

⁴ 川内原子力発電所や柏崎刈羽原子力発電所に対する知事の懸念表明や、高浜発電所、伊方発電所における住民からの運転差し止め請求における仮処分など。

おり、東電福島第一事故の前に比べると、国内原子力プラント数は減少する情勢である。さらに、経済成長や電化率の向上等により電力需要の増加が見込まれるとされている一方、東電福島第一事故以降の積極的な省エネ化や実際には経済成長が低迷していることにより、今後大きくエネルギー需要が拡大しない可能性も併せて認識すべきである。上記の状況を踏まえつつ、エネルギーセキュリティや温室効果ガス排出抑制などの観点からメリットがあると考えられる原子力が2030年に発電量の20～22%を担うためにはどうするべきか、という視点で議論することが重要と考えられる。

また、高速炉分野では「もんじゅ」の廃炉が決定され、今後、高速炉開発方針の見直しが行われていく予定である。資源の少ない我が国として高速炉・核燃料サイクル路線を堅持していく場合、それと整合した方策を国内外に示していくことがより重要であると考えられる。

(2) 社会的状況

- 東電福島第一事故は、多大な被害を発生させ、国民の原子力への不信・不安が高まった。

(2012年からの変化)

大きな変化はないものの、東電福島第一事故後においても原子力関連のトラブルが少なからず発生しており、不信・不安の解消には全く至っていない状況と考えられる。経済界は安全審査に合格した原発は速やかに再稼働すべきと国に要請しているものの、大多数の一般国民から原子力が支持されていないという構図には、変化はないものと考えられる⁵。

(3) 電力・原子力事業を巡る環境

- 電力小売全面自由化に代表される電力事業の競争環境の変化が原子力事業環境に影響を及ぼしている。またメーカーを中心に、国内外の市場状況の変化（海外における原子力事業の変化と国内原子力事業の見通しの不透明感）も踏まえ、海外展開が検討されている。

(2012年からの変化)

電力会社の発送電分離、小売全面自由化などにより、原子力エネルギーの他のエネルギーに対する優位性を明確化することが求められる状況になってきている。一方、核不拡散上の観点でプルトニウムの消費が要求され、既存軽水炉でのプルサーマル化拡大の動きとなりつつあるなど、原子力には経済的合理性だけで議論できない側面もある。メーカーの海外展開は、東電福島第一事故前から動きがあったものの、各国における事故後の規制強

⁵ 原子力委員会2016年度第7回定例会議の配布資料によると、原子力の必要性について「そう思う(9.8%)」「どちらかといえばそう思う(15.1%)」に対し「そう思わない(22.6%)」「どちらかといえばそう思わない(13.4%)」であり、「どちらともいえない」が最多で38%となっている。

化や一部の国における脱原発の動き、米国におけるシェールガス革命による天然ガス価格の低落などの環境変化により、新規プラントの建設が減速したり、新規建設市場がシフトしたりする等の状況が発生している。

(4) 我が国を取り巻く国際社会の経済・社会的状況

- 近年、中国、東南アジア、インド、中近東、アフリカをはじめとする新興国や、英国、米国等で原子力発電の導入やその計画が検討されている。IAEAによる2030年における原子力発電の見通しは、高位ケースでは2012年比で1.9倍の増加となっている。一方、東電福島第一事故後、ドイツ、イタリアなど原子力発電からの撤退を再確認した国もある。
- 原子力利用の拡大は、同時に核拡散のリスクの高まりをもたらす可能性があり、平和利用、核不拡散の重要性はより高まっている。

(2012年からの変化)

上記の通り、中国の原子力発電所建設が拡大している。また、新興国の原子力導入が進んできているものの、ベトナムの原発計画の撤回等の動きも見られる。一方、原子力利用の拡大が進む場合、ウラン資源の有効利用を検討することは避けて通れず、高速炉開発や核燃料サイクルの議論が引き続きなされていくことになると考えられる。核不拡散は、従来から重要なものであるが、北朝鮮やインド、パキスタンなど多くの核保有国が出現するに至ったこと、ISIS(Islamic State of Iraq and Syria)など国家以外のテロ組織への拡散も阻止する必要があることなど、従来の前提や枠組みが大きく変化している現状がある。

(5) 地球温暖化への対応

- 地球温暖化のリスクは人類共通かつ最大の課題との認識が定着しつつある中、2015年7月に、温室効果ガスの排出削減目標を2030年度に2013年度比26%減(2005年度比25.4%)とする「日本の約束草案」を地球温暖化対策推進本部にて決定し、同年12月には「パリ協定」が採択された。

(2012年からの変化)

東電福島第一事故以降、停止した原子力発電を代替するため石炭・石油・天然ガスなど火力発電による電力が増大し、温室効果ガスの排出量が継続して増加している。我が国は欧州に遜色のない温室効果ガス削減目標を掲げ、世界をリードする気概を示す観点から上記の26%減の削減目標を国際的にコミットしている。火力発電の効率化や省エネの徹底に加え、可能な限り再生可能エネルギーを導入することで目標達成を目指すと考えられるが、電力コストや系統安定性の観点から、再生可能エネルギー導入にも現実的な課題が存在する。

地球温暖化対策として更なる温室効果ガスの排出削減が求められる中、安全性の確保を大前提とした上で、原子力のメリットの一つである温室効果ガス排出が少ない点に再度焦

点があたる可能性があると考えられる。

以上の視座を踏まえ、炉物理の観点から我々が何をすべきか、「あるべき姿」や達成目標について議論を行った結果を次節以降に述べる。

3.2. 「炉物理のあるべき姿」と達成目標に関する意見交換

今回のローリング作業に向けた準備として、「炉物理のあるべき姿」に関する意見交換を行った。この意見交換を始めるにあたり、アドバイザー、オブザーバーを含むWGメンバー全員に対してアンケートを行った。このアンケートは、「2020年、2030年、2050年の炉物理のあるべき姿」に関して意見を記述する自由形式で実施した。このアンケートの回答結果を集約し、第1回会合において炉物理のあるべき姿について意見交換を行った。

このアンケートで得られた個々の意見は様々な分野にわたっており、また、将来の状況変化に対する予測やあるべき姿が達成される時期等についても意見が分かれる部分も多くあった。このため、会合では活発な議論が行われたが、得られた意見には共通する内容も多く、この議論によって、「炉物理のあるべき姿」の大枠の方向性については共有されているとの共通認識が得られた。この意見交換と議論の結果を受けて、各人が考える「炉物理のあるべき姿」をミッションステートメント（共有すべき価値観や果たすべき使命等を示す簡潔な文章）の形で改めて意見集約することとした。この集約結果は最終的に3.3節の「炉物理のVisionとMission」としてまとめられた。

このミッションステートメントの検討の入力情報とするため、アンケート結果は最終的に、(1)一般的に期待される「あるべき姿」（炉物理に期待される内容）、(2)2012RMの分類に対応する「あるべき姿」、の二つの観点から整理した。この結果を以下に示す。

(1) 「炉物理のあるべき姿」（炉物理に期待される内容）の要約

- ・ 他のエネルギー源に比べて魅力的なエネルギー源としての原子力
- ・ 原子炉を中心とした原子力システムの安全性を評価し、それを向上させるための基盤技術であり続けること
- ・ 福島第一原子力発電所の燃料デブリの取出の完了と、燃料デブリの安定的な管理
- ・ 既存軽水炉の再稼働と、再稼働炉心の安定運用
- ・ 軽水炉のリプレースと、既存軽水炉（健全炉心）の廃炉作業の順調な進展
- ・ 国内再処理・MOX燃料の導入による国内余剰プルトニウムの低減
- ・ 高速増殖炉の実用化と核燃料サイクルの実現
- ・ 長寿命放射性廃棄物の社会的課題の解決（毒性低減方策の確定、核変換技術の確立等）

(2) 2012RMの分類に対応する達成目標の要約

大分類[1] 制度基盤

- ・ 燃焼欠損反応度の簡易計測のみに基づく燃焼度クレジットの導入による合理化
- ・ 廃止措置の効率化とコスト削減。計画的な廃止措置、合理的なクリアランス評価の実現
- ・ 燃料デブリ除去の作業手順の策定に寄与する臨界性評価の考え方や評価手法の確

立

- ・ 東電福島第一事故を契機にスタートした Accident tolerant fuel/control rod の導入

大分類[2] 人材基盤

- ・ マルチフィジックス解析ツールを用いた人材育成。他領域（例えば、核データ、熱水力、核燃料、材料基盤等）との連携による人材育成
- ・ 国産コードの整備を担う人材の育成
- ・ 新規の研究炉・臨界実験装置による実験データ拡充と人材育成

大分類[3] 施設基盤

- ・ KUCA、KUR、近大炉等の利用再開
- ・ 中小型施設で模擬できる実験範囲の拡張。例えば、未臨界実験で臨界実験を模擬する手法等の確立
- ・ 大規模な共用施設（臨界集合体、研究炉等）と、維持管理の負荷を抑えた中小型施設（核燃料の使用施設（未臨界）等）の併用
- ・ NUCEF 施設での MOX 燃料や使用済み燃料を用いた反応度測定の本格実施
- ・ TEF-P の完成。ADS 実験炉における基礎的な炉心特性の研究の推進
- ・ 実証炉級プラントにおける核変換性能の研究（FR・ADS とともに）の推進

大分類[4] 技術基盤

中分類[4-1] 解析技術

- ・ 計算機能力の進化に沿った解析手法の高度化や、計算コストの低減
- ・ モンテカルロコードによる全炉心解析の実現と、炉心設計への適用の実用化。原子炉建屋全域を対象とした放射化放射エネルギー評価の実現
- ・ 国産コード（核データ処理、集合体定数作成、感度解析、不確かさ定量評価、連続エネルギーモンテカルロコード、臨界安全関連コード等）の整備
- ・ マルチフィジックス解析ツールの構築による技術の進展。例えば、安全性向上への貢献や、安全評価手法における説明性の向上への寄与、機構論に基づくことによる外挿性、安全性及び経済性に優れた高速増殖炉設計の実現等。究極的にはバーチャルリアクターの実現
- ・ 核データ起因不確かさの定量化と低減。解析手法起因不確かさの手法の高度化。

V&V 技術の確立

- ・ 崩壊熱の精度の高い予測計算手法の構築。安全性向上への貢献等を期待
- ・ 臨界安全・臨界事故評価手法の発展。臨界事故時の核分裂出力推定法の発展等
- ・ 廃炉作業に向けた検討としてのクリアランス評価に資する技術開発
- ・ 加速器駆動未臨界システムに関連した解析手法の発展。未臨界炉物理に関連した

理論の発展や物理の理解

- ・ AI や機械学習・深層学習等の先進自動化技術の導入による最適化技術の進展。例えば、燃料装荷パターン自動作成の実現等

中分類[4-2] 実験技術

- ・ 核計装技術の発展。ガンマ線を放出する中性子吸収反応率の実測法の開発等
- ・ 核変換対象核種の同位体のサンプル製造の進展と、微分核データの計測の進展
- ・ 中性子エネルギースペクトルの測定技術の確立
- ・ 福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出に関連した未臨界度監視技術の進展
- ・ 加速器駆動未臨界システムにおける測定手法の発展

中分類[4-3] データベース

- ・ 炉物理側の知見の核データ側へのフィードバックの継続。新技術（第一原理に基づく解法の導入等）による核データ起因不確かさの低減
- ・ 産官学が共有できるデータベースの整備。商用実機運転データ、MOX 燃料 PIE の蓄積。臨界集合体や実験炉による臨界実験・反応度実験
- ・ PWR 用の熱水力フィードバックを考慮した通常運転時全炉心燃焼計算ベンチマークモデルの開発
- ・ BWR 用の沸騰二相流を含む熱水力連成計算によって評価された通常運転時全炉心燃焼計算のベンチマークモデルの開発
- ・ 事故耐性・環境負荷低減、MA 核種の核データの収集等、次世代炉に用いられるデータの整備や検証、評価

中分類[4-4] 革新炉の設計技術

- ・ 放射性廃棄物生成量のより少ない燃料・炉心の実現
- ・ Th 炉の原型炉の開発

3.3. 炉物理の Vision と Mission

炉物理の将来のあるべき姿を考え、さらにその実現のために何をすべきかを考えるためには、「炉物理は何をするための学問か？」という基本的な問いに対する明確な回答が必要である。そのような観点から、炉物理の Vision (果たすべき役割・目的) と Mission (Vision を達成するために行うべきこと) を、WG の議論を通して、以下のように作成した。この「炉物理の Vision と Mission」は炉物理部会の基本方針の位置付けとなるものである。

=====

炉物理の Vision と Mission

炉物理の Vision

原子核分裂反応を主とした中性子と原子核の相互作用を中核とする学術分野において、原子力システムで発生する様々な物理現象を深く理解し、安全に制御することにより、人類社会の健全かつ持続的な発展に寄与する。

炉物理の Mission

- [1] 人類社会に対する核燃料物質の資源価値を最大化し、客観的な指標とともに人類社会にとって最善な原子力利用のあり方を提示する。
- [2] 安全性の向上を最優先とすることを前提に、原子力利用のライフサイクルを通じたエネルギー安全保障性・環境調和性・経済性を向上させる利用方法を追求する。
- [3] 原子力システムで生じるマイクロレベルからマクロレベルに至る様々な物理現象を対象とし、その理解の精度を高める。
- [4] 原子炉が原子炉たる理由を説明できる唯一の学術分野であることを念頭に、学術及び技術分野としての炉物理を発展させながら後世に引き継いでいく。
- [5] 人類社会にとって有益な原子核反応の活用方法を追及する。

=====

以下は、上記の Vision と Mission に関するいくつかの補足である。

- ・ Vision 及び Mission[3]に記載されている「物理現象」には、熱水力挙動や燃料の機械的挙動など、従来の炉物理の範疇の外にあるものも含んでいる。
- ・ Mission[1]の「客観的な指標」は、具体的には「社会の立場に立って、社会に対して責任を持って発信できる情報」と考える。
- ・ Mission[5]については、「原子力エネルギー利用を中核としつつも炉物理の裾野を広げる」という意味でその対象範囲を拡張する」とも言い換えられる。

3.4. 2012RM の振り返り結果

(1) 振り返りの考え方

2012RM の振り返りにあたっては、OODA サイクルの「O：観察」の一端を担うと共に、2017RM への Forecast の入力となる事を意識し、次の考え方に基づき振り返りを行った。

①具体的なアクション実績の確認

2012RM の基礎基盤技術マップまとめ表と、各基盤のとりまとめ表について「各項目について何らかの具体的なアクション⁶があったか」を確認した。これは、2012RM で示した方向性に合ったポジティブなアクションはもちろんのこと、2012RM 策定時点で既に現在進行形であったものが完了を待たずに停止となった等のネガティブなアクションも含めた。これにより現状を実績に基づき確認した。なお、実績の有無は、「○：有、△：有ったが不十分、×無」で示すこととした。

②アクションに至った動機の考察

アクションがあったとされた項目についてアクションに至った動機を考察した。これにより 2012RM 策定時と現時点のバックグラウンドの違い、あるいは合致点を抽出した。また、アクションがあったものの、依然目標に達していない項目について、重要度と緊急度のパラメータに基づいた整理も行い、その課題を抽出した。なお、重要度と緊急度は炉物理の将来に対する影響度として考察し、「S：特に重要/緊急性有、A：重要性/緊急性有、B：重要性/緊急性無」で示すこととした。

③アクションに至らなかった原因の考察

次にアクションがなかった項目について、「なぜアクションがなかったか」考察した。この考察の中でも、重要度と緊急度のパラメータに基づいた整理を行った。これにより当該項目の課題抽出を行い、パラメータ上重要度も緊急度も高いものについては課題の根深さ、深刻さを確認した。

(2) 振り返り結果

付録 3 に 2012RM 振り返り結果を示す。

アクション実績の有無の観点では、ほとんどの項目でアクションがあった、あるいはアクションがあったが不足と判断された。これは 2012RM が策定当時の状況をしっかりと見据えていたことを示している。なお、アクション実績有としたものでも課題が多く挙げられており、今後も継続的な取り組みが求められていると判断され、アクションが不十分とした項目と併せ、ほとんどの項目が目標に向けアクション中と考えられる。

⁶ アクション：実際に何らかの結果に向けて作業がなされているものだけでなく、作業の働きかけ（方針等への記載）も含む。

アクションに至った動機としては、東電福島第一事故対応に係る喫緊の課題であることがまず挙げられ、他には不確かさ評価、あるいは評価技術高度化といった技術的要求に合うこと、学生や若手技術者といった人材育成に合うことが挙げられた。また施設基盤では、東電福島第一事故後、施設の有り方を問う機運があり、アクションに繋がったと考えられる。

重要度、緊急度の区分も概ねアクションに至った動機で挙げた項目に係るものが重要度、緊急度共に高いと判断された。なお、特徴的な点として、施設基盤に係る項目では、人材育成の観点を強く挙げており、若手研究者を対象とした次世代育成のみならず、実験技術や測定技術の継承の観点から評価されている。

アクションに至らなかった原因として、緊急度あるいは重要度が高くともアクションが無かった、あるいは滞ったとされた項目について、東電福島第一事故後の再稼働ニーズにリソースが割かれたこと、また目的が合理化といったもので、既存の考え方、手法でも対応出来ることから、アクションに至らなかったと考察している。

以上の振り返りが行われ、**Forecast** の入力情報となると共に、**WG** メンバー間での現状の把握、課題の共有に繋がった。

3.5. 2017RM 策定の過程

本節では、第4章で示す2017RMの策定過程についてまとめる。

2017RMの入力情報となったものは、原子力を取り巻く環境の整理、炉物理のあるべき姿と達成目標、炉物理のVisionとMission、2012RMの振り返り結果であるが、これらのうち2012RMの振り返り結果を除いたものについては、WGメンバーが各々の考え、認識を整理し、それを幹事団がとりまとめた。また、2012RMの振り返り作業については、WGメンバーを各基盤（施設基盤、人材基盤、施設基盤、技術基盤）に振り分け、各々の基盤で担当幹事を中心に結果をとりまとめた。

2017RM及びそれに基づくアクションプランの策定作業については、2012RMの振り返り作業と同様に、WGメンバーを各基盤に振り分け、その中で決められた正・副担当、及び担当幹事を中心として実施した（2012RMの振り返り作業とは基盤毎のWGメンバーの配置は異なる）。また、各基盤で作成されたドラフトは、WG全体に諮る前に別途基盤毎に設定したレビュアーが内容を精査し、フィードバックを与えるということも行った。

なお、2017RM策定の過程では、WGに参加したオブザーバーもWGメンバーと同等の貢献をしたことを付記する。

4. 2017RM

4.1. 2017RM の概要

2017RM は、2012RM と同様に 4 つの大分類（制度基盤・人材基盤・施設基盤・技術基盤）に分けられ、それらがさらに中分類・小分類に区分される構造となっている。表 4.1.1 から表 4.1.4 に 2017RM の中・小分類を大分類毎にまとめたものを示す。詳細は大分類毎に 4.2 節から 4.5 節に示す。また、炉物理の Vision と Mission を図 4.1.1 に、Mission と 2017RM の各項目との対応を整理したものを図 4.1.2 から図 4.1.6 に示す。

表 4.1.1 2017RM の概要一覧（制度基盤）

中分類	小分類
[1-1] 法令・指針	[1-1-1] 指針体系見直しに対する貢献
	[1-1-2] 規制体系における国際基準との整合性確認
[1-2] 民間規格・基準	[1-2-1] 解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大
	[1-2-2] 臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に関わる標準の策定
	[1-2-3] クリアランス判定基準の高度化
	[1-2-4] 臨界事故評価手法標準の策定
	[1-2-5] 燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定

表 4.1.2 2017RM の概要一覧（人材基盤）

中分類	小分類
[2-1] 人材像の提示	[2-1-1] 炉物理を専門とする人材に対する人材像の提示
	[2-1-2] 炉物理を専門としない人材に対する人材像の提示
[2-2] 公衆理解・初等教育	[2-2-1] 一般公衆向けの、原子力技術・放射線・核反応に関する平易な教材の開発
	[2-2-2] 炉物理に興味を持った人向けの情報発信ツールの開発
	[2-2-3] 炉物理の基礎学習のための導入的な教材の開発
[2-3] 専門教育	[2-3-1] 原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発
	[2-3-2] 臨界安全を学ぶための教材の開発
	[2-3-3] 炉物理教材のデータベース化
	[2-3-4] 炉物理講義要領の作成
	[2-3-5] 炉物理の様々な話題に関する教育機会の提供
[2-4] 技術継承	[2-4-1] コード開発・整備分野における技術継承
	[2-4-2] 炉物理実験分野における技術継承
	[2-4-3] 原子炉設計に関する設計思想・技術の継承
[2-5] 機関・分野横断的な活動	[2-5-1] 炉物理分野における機関横断的な人材育成環境の整備
	[2-5-2] 核データ・放射線工学・熱水力・材料基盤等の他分野と連携した分野横断的な人材育成
[2-6] 国際的活動の推進	[2-6-1] 国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援
[2-7] 炉物理実験施設の利用・提案	[2-7-1] 人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理研究施設の提案

表 4.1.3 2017RM の概要一覧（施設基盤）

中分類	小分類
[3-1] 臨界実験装置の維持・高度化及び新設	[3-1-1] 臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持
	[3-1-2] 臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大
[3-2] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設	[3-2-1] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設
[3-3] ホットラボの維持・高度化及び新設	[3-3-1] ホットラボの維持・高度化及び新設
[3-4] 加速器施設の維持・高度化及び新設	[3-4-1] 加速器施設の維持・高度化及び新設
[3-5] 実機を活用した測定技術開発及びデータ採取	[3-5-1] 実機プラントの研究のための有効利用

表 4.1.4 2017RM の概要一覧（技術基盤）

中分類	小分類
[4-1] 解析技術	[4-1-1] 安全余裕の定量評価技術
	[4-1-2] 不確かさ評価技術
	[4-1-3] 原子カシステム安全性向上のためのマルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術
	[4-1-4] マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術を用いた他分野への貢献
	[4-1-5] インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術
	[4-1-6] 未臨界と判定できる実効増倍率の決定方法
	[4-1-7] 炉心解析技術の高度化
	[4-1-8] 不定形体系の解析手法の高度化
	[4-1-9] 臨界事故評価手法の開発
[4-2] 実験技術	[4-2-1] 実験測定技術の高度化及び現有施設の活用
	[4-2-2] 未臨界度の絶対測定手法
	[4-2-3] 臨界実験以外の実験データの拡充
	[4-2-4] 既存の実験データや測定データを利用した検証ベンチマークの拡充
	[4-2-5] 今まで測定できなかった項目や検討してこなかった体系に関する新たな実験の提案
	[4-2-6] 核セキュリティ対策
[4-3] データベース	[4-3-1] 核設計コードの標準（検証用）ベンチマーク問題の整備
	[4-3-2] 核データ評価技術の継承と高度化
	[4-3-3] 共分散を含む高品質の核データ整備
	[4-3-4] 国産標準コードシステムの開発、国産断面積処理コードの整備
	[4-3-5] MAや長寿命核種などを対象とした微分実験（核データ測定）及び臨界実験の拡充
[4-4] 将来的なニーズを満たす原子炉に関する技術	[4-4-1] 核変換
	[4-4-2] 固有安全炉
	[4-4-3] Thサイクル
	[4-4-4] 高速炉サイクル
	[4-4-5] 医療利用や放射線利用を目的とした原子炉・中性子源

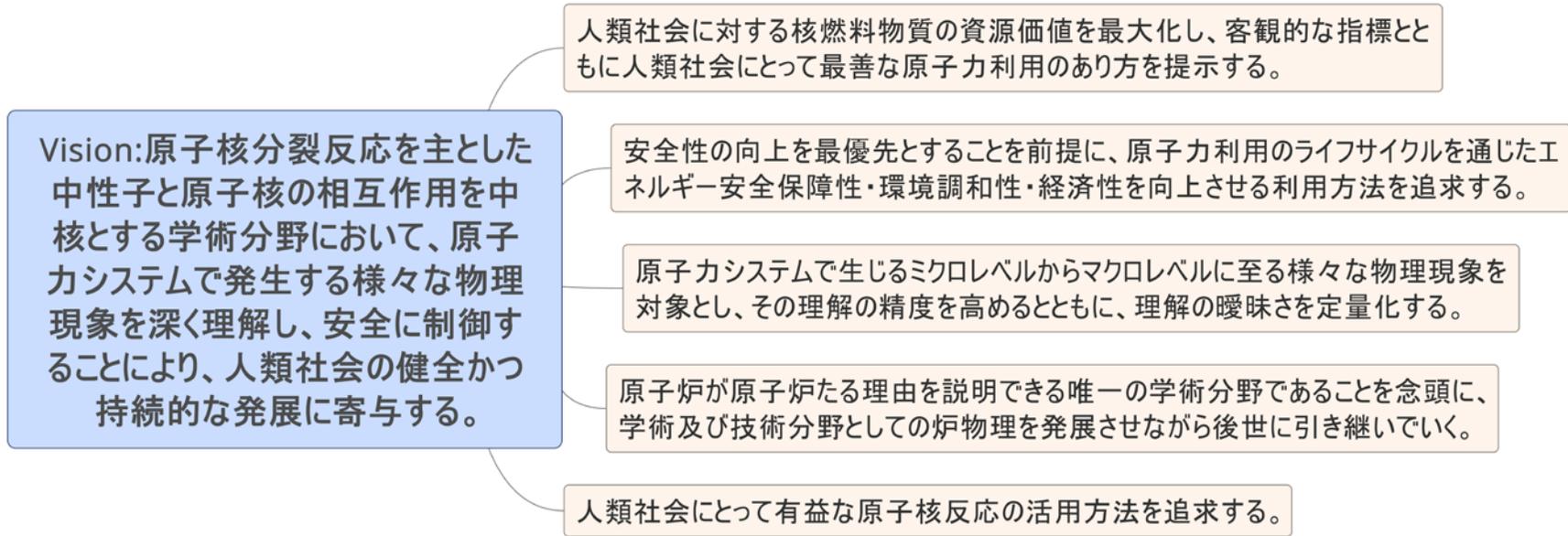


図 4.1.1 炉物理の Vision と Mission

人類社会に対する核燃料物質の資源価値を最大化し、客観的な指標とともに人類社会にとって最善な原子力利用のあり方を提示する。

「客観的な指標」の検討	社会的な指標: 安全目標(健康リスク、社会リスク、QOL、デュアルユースリスク)	工学的な指標: 発生エネルギー量、廃棄物量/発生エネルギー量、リスク/発生エネルギー量、エネルギー供給期間、核不拡散性、核セキュリティ耐性など。炉物理的な「性能目標」の検討。(転換比など)	4-4
「資源価値を最大化する」の意味を検討	ライフサイクルを含めた発生エネルギー/投入エネルギー比	4-4	
社会的受容性から出発したときの炉物理の説明方法	判断する知識ベース	初等教育	2-2

図 4.1.2 炉物理の Mission と 2017RM との対応関係(1)

安全性の向上を最優先とすることを前提に、原子力利用のライフサイクルを通じたエネルギー・安全性・環境調和性・経済性を向上させる利用方法を追求する。



図 4.1.3 炉物理の Mission と 2017RM との対応関係 (2)

原子カシステムで生じるマイクロレベルからマクロレベルに至る様々な物理現象を対象とし、その理解の精度を高めるとともに、理解の曖昧さを定量化する。



図 4.1.4 炉物理の Mission と 2017RM との対応関係 (3)

原子炉が原子炉たる理由を説明できる唯一の学術分野であることを念頭に、学術及び技術分野としての炉物理を発展させながら後世に引き継いでいく。

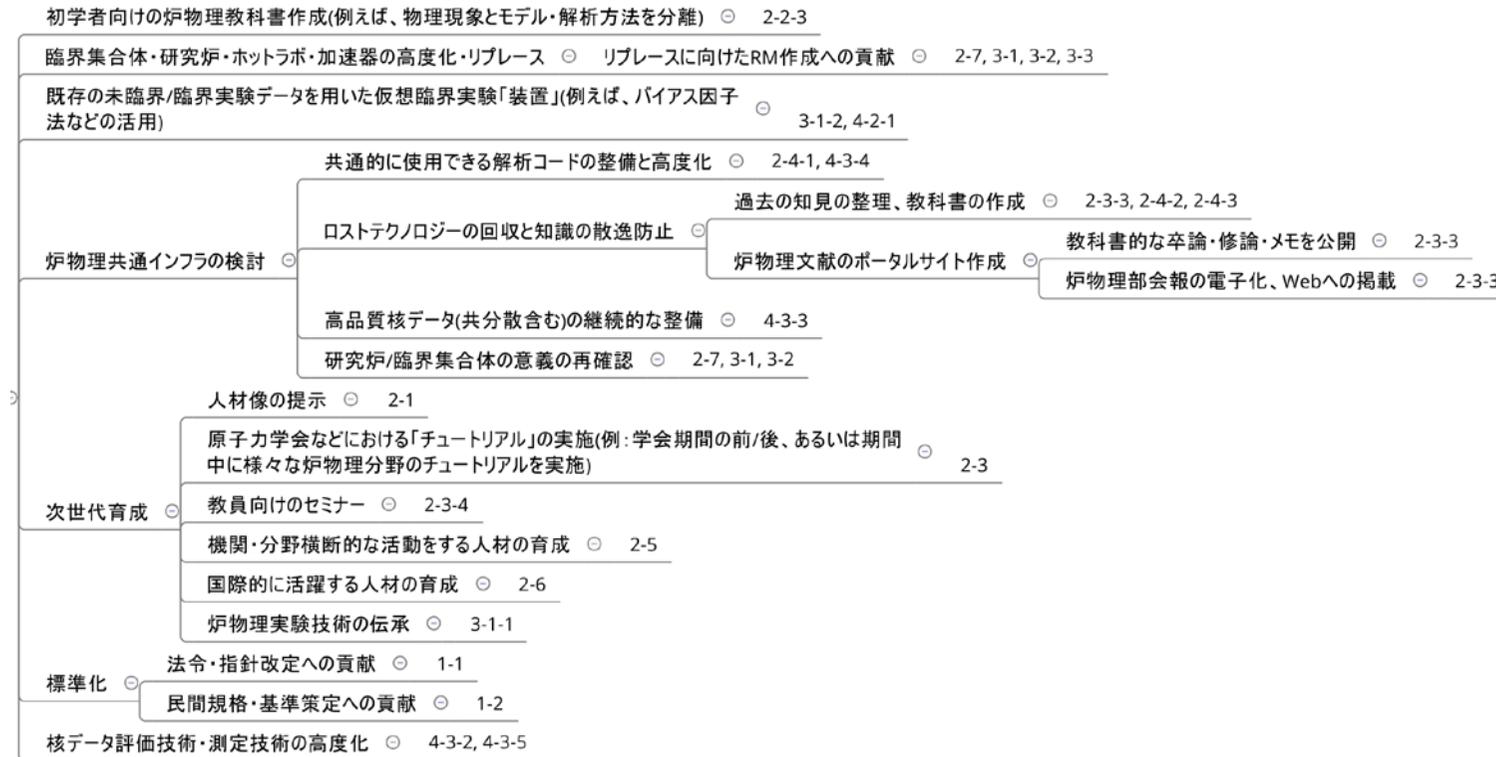


図 4.1.5 炉物理の Mission と 2017RM との対応関係 (4)

人類社会にとって有益な原子核反応の活用方法を追求する。

	重イオンと原子核の相互作用の高精度シミュレーション	重粒子線治療	4-4-5
医療応用	BNCT		4-4-5
	CT		4-4-5
	医療用RI		4-4-5
核セキュリティ対策	即発γ線分析		4-2-1, 4-2-5
	秘匿核燃料物質探知	雑音解析	4-2-1, 4-2-5, 4-2-6
核変換による高付加価値物質の生成			4-4-1

図 4.1.6 炉物理の Mission と 2017RM との対応関係(5)

4.2. 制度基盤

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[1-1] 法令・指針	[1-1-1] 指針体系見直しに対する貢献	規制基準では常に最高レベルの安全を追求し続ける事を目指しており、炉物理の視点から、最新知見や実績データが規制に反映される仕組みを構築し、規制の高度化に積極的に貢献する。	原子力を取扱う上で、炉物理はその根幹を担う核反応を制御する技術である。このため、原子力安全の向上に資するための知識や技術を生み出すことが、炉物理には大いに期待される。 その観点から、炉物理は率先して最新知見・実績データを反映した民間規格の検討、規定を進め、規制にエンドースを促してゆくことが望まれる。 また、原子力安全の向上という目的に対し炉物理の知識や技術が適切に活用されていることの確認が求められる。	[1]制度基盤全体に寄与する。 [2-1-1]炉物理を専門とする人材に対する人材像の提示	「国民の健康で文化的な生活を合理的に確保することに資する」ことを最重要に考える必要がある。
	[1-1-2] 規制体系における国際基準との整合性確認	我が国の継続的な安全向上への取り組みにおいて、海外規制体系やIAEA安全基準をはじめ、最新の知見(安全性強化のみならず合理化も含む)について、炉物理の視点から定期的なレビューを行う。また、我が国における知見について、世界レベルで共有、レビューされることで更なる原子力安全を目指す。	炉物理は原子力安全の根幹をなす技術の一つである。原子力安全を目指す上で、想定を超えた場合の対応の柔軟性を広げるため、視野を広げることが必要である。また、視野が広がっていることを確認する観点で、ISOなどの国際標準を活用し、世界レベルで情報を共有し、定期的なレビューおよび最新知見を反映することが必要である。	[1]制度基盤全体に寄与する。 [2-6-1]国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援	IAEA NS-R-1、WENRA reactor harmonization、EURなど、国・地域毎に策定されていた基準の整合性を検討する動きがある。
[1-2] 民間規格・基準	[1-2-1] 解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大	トピカルレポート制度について、炉物理分野としては特に炉心解析コードに関する技術要件を明確化し、制度の活用と拡大を図る。	原子力安全を向上させるための継続的な取り組みにおいて、最新知見の迅速な反映は重要である。この取り組みの一つとして、安全評価に使用される解析コードごとにその適用範囲に対するモデル、V&V及び品質管理をトピカルレポートとして文書化し、規制認証を受ける審査制度の活用と拡大が必要である。これにより、解析技術の高度化を促進し、解析手法の精度・信頼性向上を迅速に設計に反映させることが可能となる。	[1-1]法令・指針全体に寄与する。 [4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-3-1]核設計コードの標準(検証用)ベンチマーク問題の整備 [4-3-3]共分散を含む高品質の核データ整備 [4-3-4]国産標準コードシステムの開発、国産断面積処理コードの整備	炉心解析コードだけでなく、[1-2-2]や[1-2-5]に示される臨界安全評価や[1-2-3]に示される放射化評価にて使用されるコードにおいてもニーズが高まっている。
	[1-2-2] 臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に関わる標準の策定	燃焼度クレジットや毒物クレジットといった反応度クレジットを適用する際の臨界安全設計と運用管理の手順について、評価の考え方、計算条件の設定、考慮する核種の選定、核データ、燃焼計算コードの妥当性確認法などを標準として規定する。	臨界安全担保には、燃焼度計測装置など運用面の向上とともに、各種設備の効率的な設計の合理化の観点で反応度クレジットの導入が重要である。健全性が保たれている通常の燃料に加え、東電福島第一の燃料デブリを含む廃棄物燃料についても適切に反応度クレジットを考慮することが望まれる。	[1-1]法令・指針全体に寄与する。 [1-2-1]解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大 [1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定 [3-1-2] 臨界実験装置で模擬できる境界及び未臨界状態の範囲拡大 [4-1-5]インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術 [4-1-6]未臨界と判定できる実効増倍率の決定方法 [4-1-8]不定形体系の解析手法の高度化	関連ISO : ISO27468“Nuclear criticality safety - Evaluation of systems containing PWR UOX fuels - Bounding burnup credit approach” (2011).

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[1-2] 民間規格・基準	[1-2-3] クリアランス判定基準の高度化	放射性廃棄物の減容による処理・処分の合理化を進めることを目的として、放射能レベル(処分カテゴリーの分類)設定時の、解析・測定技術にて求められる精度を明確にする。その上で、炉物理・核計算分野にて得られた最新知見に基づく高精度な放射能濃度測定・評価手法を規格・標準に反映する。	放射性廃棄物の最終的な処理・処分は、廃棄物の放射能レベルの分類に応じて、十分に安全性が確保される手法により行われる。廃棄物の放射能レベルは、第一義的には対象とする廃棄物の放射能濃度の測定・評価によって決定されるが、廃棄物となる対象物の使用時における詳細な環境条件に基づく高精度核計算および表面線量等の実測データの活用により放射化量・放射能濃度を予測・評価できれば、廃棄物の処理・処分の合理性を高めることが可能である。そのため、炉物理・核計算の立場からは、高精度・高信頼性を有する解析技術、解析による不確かさおよび実験測定における誤差を低減するための新しい手法・知見を、放射性廃棄物レベルに関連する規格・標準に対して逐一反映できるように取り組むことが重要である。	[1-1]法令・指針全体に寄与する。 [1-2-1]解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大 [4-1-5]インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術	METIが主催する「次世代再処理ガラス固化技術基盤研究事業」において、クリアランス判定のための放射線計測による標準策定の動きがある。
	[1-2-4] 臨界事故評価手法標準の策定	臨界事故に関する評価の考え方や評価項目、評価手法等について標準化を行う。例えば、臨界事故の影響度と発生頻度の双方を精査し、事故リスクの定量化を行うための基準事象や標準的なモデルならびに評価方法等を規定する。	臨界事故リスク評価を行うことにより、リスクの大きさに応じたグレーデッド・アプローチに繋げるためには、従来の臨界安全の考え方を見直す必要がある。ただし、リスク評価手法(影響度と頻度の積をリスクと定義)を臨界事故に適用する場合、影響度が高い反面、発生頻度は極めて低いため、各因子の数値と不確かさにより評価結果が大きく左右される。今後、臨界事故リスクの定量化がより求められると推測されるが、このような低頻度・高影響度事象に対するリスクの標準的な評価方法(仮想臨界事故の設定方法、被ばく線量評価)や結果の取り扱いについて検討が必要である。	[1-1]法令・指針全体に寄与する。 [1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定 [4-1-9]臨界事故評価手法の開発	
	[1-2-5] 燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定	東電福島第一事故の燃料デブリ除去に関して必要となる臨界安全設計、臨界安全管理に関して、評価の考え方(統計的な手法を含む)、評価ツールや使用データ、評価項目、評価基準等について標準を提示する。	東電福島第一事故においては様々な形状、形態の燃料デブリが炉内に存在することが想定される。これらを除去するにあたっては、未臨界を維持する作業手順の策定、作業中の未臨界監視、輸送・保管時の未臨界管理など、様々な局面で未臨界性の評価・測定技術が必要となり、それらの適切な運用管理の考え方を定める必要がある。また、燃料デブリの種々の不確かさに対し、統計的な手法を始めとする新たな未臨界管理の考え方が必要となる。	[1-1]法令・指針全体に寄与する。 [1-2-1]解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大 [1-2-2]臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に関わる標準の策定 [1-2-4]臨界事故評価手法標準の策定 [3-1-2]臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大 [4-1-6]未臨界と判定できる実効増倍率の決定方法 [4-1-8]不定形体系の解析手法の高度化 [4-1-9]臨界事故評価手法の開発 [4-2-2]未臨界度の絶対測定手法	

4.3. 人材基盤

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[2-1] 人材像の提示	[2-1-1] 炉物理を専門とする人材に対する人材像の提示	炉物理を専門とする原子力人材のあるべき人材像を提示し、有すべき素養を規定する。これには、炉心安全解析や臨界安全性評価等、炉物理の専門的な知識を活かした技術者・研究者や原子力利用の安全と方針を様々な見地から確認する管理者が想定される。これらの人材に対して、炉物理の知識およびスキルに加え、総合工学である原子力として安全の観点から身につけておくべき工学的知識や原子力関連法規に関する知識を提示する。また、炉物理研究者・技術者・管理者としての心構えを提示する。	原子力利用は炉物理以外の分野も含む総合工学に基づいている。従って、炉物理の知識やスキルのみでは原子力安全は達成できないことを認識し、管理者として必要な原子力関連法規の知識を含め、原子力工学全体を俯瞰する能力が重要であることを示す必要がある。	[1-1-1]指針体系見直しに対する貢献 [2-3-4]炉物理講義要領の作成 [3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持	
	[2-1-2] 炉物理を専門としない人材に対する人材像の提示	炉物理を専門としない原子力人材が有すべき炉物理の素養を規定する。これには、原子力利用の安全と方針を様々な見地から確認する管理者、原子力利用に携わる技術者・研究者が想定される。これらの人材に対して、管理者に必要な原子力安全の観点からの炉物理の知識、技術者・研究者に必要な標準的な炉物理の知識およびスキルを提示する。	炉物理は、原子炉の定義から考えると原子力工学の中で欠かすことの出来ない重要な分野であり、安全性の観点を含む全ての原子力利用の基礎となる。従って、原子力に従事する者の基礎的な素養として、炉物理の基礎を習得していることは必須であると考えられる。	[2-3-4]炉物理講義要領の作成	
[2-2] 公衆理解・初等教育	[2-2-1] 一般公衆向けの、原子力技術・放射線・核反応に関する平易な教材の開発	中学生・高校生を含む一般公衆に対して、原子力技術の正確な理解を促進し、興味・関心を喚起することを目的として、原子力技術・放射線・核反応に関する分かりやすい教材の開発を行う。	炉物理は、原子炉の定義から考えると原子力工学の中で欠かすことの出来ない重要な分野であるが、これまでに炉物理の専門家が表立って原子力に関する説明を行う機会は多くなかったと言える。原子炉の専門家として、正確かつ適切な情報の発信ならびに原子力技術への興味・関心を喚起するための活動を行うことは、一般社会の人々と関わるための1ステップとして重要な事項であると考えられる。		
	[2-2-2] 炉物理に興味を持った人向けの情報発信ツールの開発	炉物理に興味を持った世間一般の人に対する最初の窓口として、ホームページやデータベースを整備する。	現在、炉物理に興味を持った人が簡単にアクセスできる情報は、研究機関・グループの紹介や大学の講義資料といった散発的な情報が多い。そこで、炉物理に興味を持った人の関心をさらに喚起できるように、炉物理の基本的な知識から炉物理の各分野の関係等についての系統立てた説明がなされたホームページ・データベースの整備が必要である。	[2-3-3]原子炉物理の教材のデータベース化	
	[2-2-3] 炉物理の基礎学習のための導入的な教材の開発	これから炉物理を専門とするような初修者や原子力工学の他分野を専門とする人向けの、炉物理の基礎をまとめた導入的な教材を開発する。	炉物理は原子炉内で発生する様々な物理現象の基礎であるにも関わらず、現在、学部・大学院学生等の炉物理の初修者に向けた導入的な教材は皆無と言ってよい。そのため、炉物理を、分かりやすく、かつ興味を持って学習できるような教材が必要である。	[2-3-4]炉物理講義要領の作成 [2-3-3]炉物理教材のデータベース化	

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[2-3] 専門教育	[2-3-1] 原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発	原子力安全に対する理解を深めた原子力技術者の養成のため、原子炉における核・熱・機械工学に基づくマルチフィジックス性を考慮した、定常・過渡・過酷事故時の原子炉挙動を学習するための教材を開発し、教育現場に提供する。	原子炉プラントにおける安全性の確保のためには、原子炉で起こり得る多様かつ複合的な物理現象を直感的に理解できる能力が求められる。そのため、定常時、過渡時、過酷事故時における原子炉の核的挙動は勿論のこと、熱・機械的挙動を含むマルチフィジックスを把握・理解することが重要である。臨界集合体等を利用した実習は、原子炉のマルチフィジックス性を学習する上で重要なステップとなるが、使用できる機会は限定的であり、また原子炉での複合的な物理現象を網羅的に学習することは難しい。そこで、このような教材を開発し、教育現場に提供することで、様々な原子炉の状況下で柔軟な考え方が出来るような人材の育成に貢献する。	[2-3-4]炉物理講義要領の作成 [4-1-3]原子力システム安全性向上のためのマルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術	
	[2-3-2] 臨界安全を学ぶための教材の開発	臨界安全の考え方を学習するための講義と、教育利用可能な解析コード等を用いた実習で構成される学習パッケージツールを整備する。	核燃料管理は今後の原子力利用の動向に関わらず必要な技術であり、適切な管理に必須となる臨界安全の考え方・技術は、炉物理技術者が有しておくべき重要なものであり、これまで以上に、より系統的に取り上げられるべきである。また、核燃料の安全管理などに携わる人材の育成の観点としても、臨界安全を分かりやすく、系統立てて理解できるようにするための学習ツールを整備することは重要である。	[2-3-4]炉物理講義要領の作成	
	[2-3-3] 炉物理教材のデータベース化	炉物理の教材をホームページ等でデータベース化する。	炉物理は、基礎的な事柄については知識・スキルが共通であるものの、特定の技術分野ではそれぞれの目的に応じた知識・スキルが必要となる。現在、例えば臨界安全等の細分化された特定の分野について、系統立てて説明されているようなホームページ・データベースは無い。そのため、炉物理に関する情報が系統立てて整理・掲載されたホームページ・データベースを整備し、炉物理の学習等に役立てることが望ましい。	[2-3-4]炉物理講義要領の作成 [2-2-3]炉物理の基礎学習のための導入的な教材の開発	現在、炉物理のウェブ教材は各機関が所有しているものがあるが、ここではそれらの教材を一括で取りまとめることを念頭に置いている。
	[2-3-4] 炉物理講義要領の作成	標準的な炉物理教材を用いた講義要領の作成を行い、炉物理の専門教員がいない大学等での炉物理教育を支援するための講義要領を作成する。	全国的に炉物理を主たる研究分野としている研究室が減ってきており、炉物理を体系的に教えることが出来る教員の減少が見込まれる。一方で、炉物理は原子力工学の基盤であることを勘案すると、炉物理を履修しない状態が発生することは避けなければならない。そこで、炉物理を主たる研究対象としない教員をサポートするための講義要領を作成する。	[2-2-3]原子炉物理の基礎学習のための導入的な教材の開発 [2-3-1]原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発 [2-3-2]臨界安全学習のための教材と学習ツール開発 [2-3-3]原子炉物理の教材のデータベース化	
	[2-3-5] 炉物理の様々な話題に関する教育機会の提供	炉物理分野における特定の話題・技術分野に関連した、チュートリアルやセミナー等の教育イベントを開催する。	炉物理分野においては、年々、様々な革新的計算手法・実験測定手法等の発表・提案等が学会発表・論文等を通して行われている。それらの革新的な発表・提案を理解するためには、過去の発表・文献に対する理解を深める必要があるが、効率的に学習するためには有識者の説明を受けて議論を行うことも重要となる。そこで、炉物理分野における特定の話題・技術分野を取り上げた教育イベントを開催することで、過去の手法等との関連や違いに関する理解を深める手助けをすることが可能となるものと考えられる。	[2-2-3]原子炉物理の基礎学習のための導入的な教材の開発 [2-3-1]原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発 [2-3-2]臨界安全学習のための教材と学習ツール開発	

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[2-4] 技術継承	[2-4-1] コード開発・整備分野における技術継承	炉物理コード開発の技術継承を促進させるため、コード開発に関する大型プロジェクトの立案と実施を積極的に行う。また、既存コードの情報ならびに各機関が有する解析コード（公開コードの改良版含む）のノウハウのオープン化・共通化・標準化・情報共有を行い、少ないリソースで効果的に計算手法の詳細な知識やコード開発・整備技術の継承が可能となるような体系の構築を行う。	現在もいくつかの機関で炉物理解析コードの開発が行われているが、開発に携わる国内の人材は過去と比べて減少しており、炉物理コードの開発・整備の技術が失われることが危惧されている。コード開発の技術継承の観点からは、実際にコードの開発を行うことが最良の方法といえ、そのような機会を作り出すことが重要である。例えば米国ではCASLプロジェクトを通して多くの新たなコードが開発され、若手技術者の育成に大きく貢献している。また、米国MITのOpenMC、OpenMOCや、フィンランドVTTのSerpentといったコード開発では、専門家が有する知見の共有、各機関で所有する炉物理解析コードのオープン化・共通化・標準化、新たなコードの共同開発が実現されている。既存の公開コードに関して言えば、先人の知識・アイデアがソースの中に多く含まれているものの、近年ではそれらの情報が顧みられることも少なく、加えて各機関で独自に行われたコードの改良の情報が共有されることが少ないが、これらの情報を改めて“掘り起こす”ことも技術継承のための一つの手段として考えられる。このような方策により、効果的なコード開発技術の継承を行うことが可能となると考えられる。また、将来的なマルチフィジックスコードへの進展や原子力全体の人材のリソースの有効活用を図るという意味では、他分野コード開発・整備との連携も検討の余地はある。さらに、解析手法の知識を継承することで、計算手法をブラックボックスとして用いることの防止が可能である。	[4-3-4]国産標準コードシステムの開発、国産核データ処理コードの整備	
	[2-4-2] 炉物理実験分野における技術継承	各機関が有する実験施設における炉物理実験の実験測定技術等のノウハウを集約し、効果的に炉物理実験の技術継承を行うための枠組みを構築する。	既存の炉物理実験施設は30年以上前に建設されたものが多く、近年廃炉が決定または検討されている施設も少なくない。このような状況を踏まえると、今後ますます炉物理実験施設が縮小し、現在までに培われてきた炉物理実験技術が失われることが危惧される。また、そのような技術が失われれば、例えば今後の新型炉・新型燃料の開発においても実験的な検証が出来ない等の弊害が生まれることが考えられる。そのため、各機関が有する炉物理実験技術のノウハウを集約し、効果的に次代へ継承するための取り組みが必要である。	[3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 [3-2-1]研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設 [4-2-3]臨界実験以外の実験データの拡充 [4-2-4]既存の実験データや測定データを利用した検証ベンチマークの拡充 [4-3-5]MAや長寿命核種などを対象とした微分実験(核データ測定)及び臨界実験の拡充	臨界集合体装置における炉物理実験のノウハウについては、KUCA院生実験で使用するテキスト「原子炉物理実験」に内容が良く整理されており、炉物理実験技術に関する書籍の出版は取り組みの一つとして有効であると考えられる。また、KUCAに限らず、臨界実験施設を有する研究機関・企業では、有益な知見を含むテキストをそれぞれ所有しており、公開可能な文献については積極的に公開していくことが有効であると考えられる。
	[2-4-3] 原子炉設計に関する設計思想・技術の継承	過去の原子力開発に関わる社会環境、意思決定基準、具体的なアクション、原子炉の設計思想・哲学等の歴史を理解し、現存の原子炉の設計思想・技術を継承するための教材・教育機会を整備する。	現行の原子炉の革新的な改良や新型原子炉の開発、原子炉設計技術の継承のためには、現存の原子力システムが現存するに至った経緯や歴史的背景、技術的背景を理解することが重要である。そのために、過去の原子力開発の歴史、現存の原子力システムの設計思想・哲学に関する教材の作成を行い、教育機会を提供する。		

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[2-5] 機関・分野 横断的な活動	[2-5-1] 炉物理分野における機関横断的な人材育成環境の整備	各機関が有する解析技術などのソフトウェアおよび臨界集合体などのハードウェアに関するリソースをピックアップし、それらを組み合わせた機関横断的な教育インフラの整備を行う。また、各機関における炉物理教育環境に関する情報を提供しあう。	炉物理実験、数値解析による原子炉解析は炉物理教育において重要であるが、各機関においてはそれぞれ得意分野があり、それぞれの機関の特色を活かした教育インフラの整備が望まれる。特に、臨界集合体を含めた教育施設や、原子炉解析を教えることのできる人材は限られており、これらのリソースを共通の財産として活用する方策が重要である。	[3-1-1] 臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 [3-2-1] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設	
	[2-5-2] 核データ・放射線工学・熱水力・材料基盤等の他分野と連携した分野横断的な人材育成	他分野を学ぶことの出来る教育基盤を整備し、原子炉で発生する現象をマルチフィジックス的視野で捉えることの出来る人材を育成する。	原子炉において発生する現象は炉物理だけでなく、様々な物理学の複合的な事象である。原子炉で起こる現象を様々な視野で見ることの出来る人材は、原子炉設計のみならず、様々な事故事象のシナリオおよび進展を柔軟に考えることができることが期待され、今後の安全かつ安定した原子力システムの構築のために必要である。そのような人材育成基盤の構築を他分野と連携して行うことが重要である。	[2-3-1] 原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発	
[2-6] 国際的活動 の推進	[2-6-1] 国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援	国際的に活躍する炉物理分野の若手研究者の育成のために、海外の研究機関との交流・国際会議での発表等の機会の支援を行う。	現在、炉物理に関する様々な革新的な解析・測定技術の開発や既存炉・新型炉の設計・提案が世界中の原子力研究機関等により行われている。とりわけ、新型炉開発に関して言えば、国際的に各国が持つリソースを最大限に利用し、共有するような枠組みが出来つつある。そのため、炉物理研究者の国際的な活動の重要性は、今まで以上に今後ますます大きくなるものと想定される。このような現状を踏まえると、とりわけ今後の原子力を担う若手研究者が国際的に活躍するための支援を行うことは炉物理分野のみならず我が国の原子力人材育成において大変有意義であると考えられる。	[1-1-2] 規制体系における国際基準との整合性確認 [3-1-1] 臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持	
[2-7] 炉物理実験 施設の利用・提案	[2-7-1] 人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理研究施設の提案	炉物理の人材育成に対して、既存の研究炉ならびに各種関連施設を積極的に活用する仕組みを整備するとともに、教育ならびに研究上必要となる新しい炉物理実験施設の提案を積極的に行うための体制を整備する。	炉物理研究者の育成のためには、炉物理実験を通して炉物理を実際に肌で感じ、学習することは大変有意義である。そのため、現在利用可能な研究炉ならびに関連施設の積極的な活用の推進が求められる。しかしながら、既存の炉物理実験施設は30年以上前に建設されたものが多く、廃炉が決定・検討されている施設も多い上、建設当時のニーズに合わせた設計であるために、実施可能な実験には限りがある。そのため、今後の炉物理教育・研究に活用できるような、幅広い視野(シーズとニーズ)に先端技術を組み合わせ、様々な炉物理実験が可能な新たな施設が必要である。	[2-4-2] 炉物理実験分野における技術継承 [3-1-1] 臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 [3-2-1] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設	

4.4. 施設基盤

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[3-1] 臨界実験装置の維持・高度化及び新設	[3-1-1] 臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持	<p>今般、臨界集合体は震災後の新規制基準への対応等による管理コストの増大、限られた人的資源、核セキュリティ・サミットの声明に基づく核物質の最小化といった制約等の多くの困難に直面しているが、これらの困難に対応し炉物理分野として臨界実験装置を維持していく施策を検討する。</p> <p>技術維持の点から、稼働している施設の存在は不可欠であり、現行施設の再稼働・及び施設の改良は必須である。</p> <p>また、個別の施設の維持管理に留まらず、今後どのような臨界集合体が必要であるか炉物理分野全体で議論し、維持管理費用等の有効活用の観点から、現行施設の試験機能の集約、及び臨界実験装置の新たな可能性も含めた新施設の提案、それら施設の利用形態等についても検討する。</p>	<p>臨界実験装置は、炉物理研究能力を向上させる上で最も重要な施設基盤の一つである。臨界実験による人材育成とデータの取得を通じて、人材基盤及び技術基盤の確立を支える役割を持つ。</p> <p>臨界実験を用いた技術開発を通して得られる、炉心設計、臨界制御等の要素技術は、炉物理研究に携わる人材が備えるべき基本的な技術であり、炉物理分野の人材育成・技術力向上のためには、臨界実験装置を維持することが不可欠である。</p> <p>臨界実験で得られるデータは、新たな概念や材料を用いた炉心、例えば軽水炉における事故耐性燃料やADS等のTRU消滅炉等の設計精度検証、また、輸送・貯蔵施設の臨界安全設計精度の検証や未臨界度モニタなどの監視装置の実証等に必要である。</p> <p>したがって、このような炉物理上もっとも基本的な実験データを取得する施設である臨界実験装置を、それを運用しデータを得る技術・人材を含め、炉物理分野として保持し続けることは極めて重要である。</p>	<p>臨界実験装置は、炉物理の基本的な現象である核分裂連鎖反応にスコープを当てた実験施設であり、人材育成の場として活用される。</p> <p>[2-1-1]炉物理を専門とする人材に対する人材像の提示</p> <p>[2-4-2]炉物理実験分野における技術継承</p> <p>[2-5-1]炉物理分野における機関横断的な人材育成環境の整備</p> <p>[2-6-1]国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援</p> <p>[2-7-1]人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理研究施設の提案</p> <p>測定・実験技術の実証の場として重要であり、また核データの検証に用いられる積分実験施設として活用される。</p> <p>[4-2-1]実験測定技術の高度化及び現有施設の活用</p> <p>[4-2-2]未臨界度の絶対測定手法</p> <p>[4-2-5]今まで測定できなかった項目を検討してこなかった体系に関する新たな実験の提案</p> <p>[4-3-1]核設計コードの標準（検証用）ベンチマーク問題の整備</p> <p>[4-3-5]MAや長寿命核種などを対象とした微分実験（核データ測定）及び臨界実験の拡充</p>	<p>現行施設においては、高経年化への対応が課題となっており、施設の継続利用に多額の対応費用が発生する状況も顕在化してきている。一部では、新たな施設の検討も行われているが、予算獲得の観点から依然としてその計画は不透明な状況にある。</p>
	[3-1-2] 臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大	<p>臨界及び未臨界実験では、対象とする実機体系を模擬して測定が行われるが、体系を模擬する技術そのものの開発を行うとともに、それを実現する装置の導入や、施設の管理規程などのあり方を検討する。特に、各プロジェクトで対応可能な範囲の小規模装置よりも、臨界実験装置の可能性を広げる大規模装置を含めた、複合施設として高度化された臨界実験装置を検討する。</p> <p>模擬する対象としては、臨界状態のみならず、様々な状態における臨界安全技術の開発に向け、例えば燃料デブリなど多様な形態を持つ未臨界状態を模擬できる施設・設備を検討する。</p>	<p>炉心燃料は、例えば軽水炉では事故耐性燃料としてセラミックス複合材被覆管など従来の燃料概念の延長ではないものが現在検討されており、将来にわたりにさらに多様な炉心燃料の形態へと広がりを見ることが考えられる。また、新材料のみならず、それによって運転燃料温度域も変化する可能性があるなど、臨界実験装置としてはこれら多様な形態における実証データ取得が求められることになり、その要求に対応できる施設としていくことが必要となる。</p> <p>また、燃料デブリなど、多様な形態を持つ状態の臨界安全技術開発が今後必要となり、臨界状態のみならず、未臨界状態において模擬できる範囲も拡充していく必要がある。</p>	<p>核種組成・形状・化学形など多様な形態に対応した臨界管理技術の開発・実証の場として活用される。</p> <p>[1-2-2]臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に関わる標準の策定</p> <p>[1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定</p> <p>施設高度化の例として、時間応答を得るために加速器中性子源などのパルス運転可能な中性子源との併設が考えられ、未臨界度測定手法開発などへの適用に活用できる。</p> <p>[3-4-1]加速器施設の維持・高度化及び新設</p> <p>測定技術の高度化に加え、革新炉に現れる多様な核種組成などの形態に対応できる形で臨界実験装置を維持・高度化していく必要がある。</p> <p>[4-2-1]実験測定技術の高度化</p> <p>[4-2-2]未臨界度の絶対測定手法</p> <p>[4-2-4]既存の実験データや測定データを利用した検証ベンチマークの拡充</p> <p>[4-4-1]核変換</p> <p>[4-4-2]固有安全炉</p> <p>[4-4-3]Thサイクル</p>	

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[3-2] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設	[3-2-1] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設	新規制基準への対応のために多くの研究炉・実験炉が停止している中、本来の役割を果たせるように、早期に新規制基準をクリアし再稼働できるようにする。原子力安全性向上研究から中性子の産業利用まで広い利用分野を考慮し、必要となる研究炉・実験炉の機能の強化及びリプレース、新興国への輸出も視野に入れた新たな研究炉・実験炉を提案していく。	試験炉は、原子力エネルギー利用から学術、医用、産業利用までをカバーする基盤施設としての役割を負うとともに、人材育成においても不可欠である。一方、既存施設はその多くが昭和年代に整備されたものであり、老朽化が進み近年の高経年化への対応が課題となっている。また、1Fの事故を契機に、耐震化に係る基準や原子炉施設に対する規制基準が見直された結果、施設の継続利用に多額の対応費用が発生する状況が顕在化している。このような背景もあり、原子力分野に加えてシリコン半導体や医療用アイソトープ製造のような幅広い分野に貢献してきたJMTRは廃止検討施設と位置付けられた。JMTRの代替炉の要望は多方面であるが、その計画は不透明である。また、研究炉・実験炉の停止が長期化する中、技術者・運転員の力量及び士気の維持確保が課題となっている。	KUR、KUCAおよびUTR-Kinkiに対する新規制基準対応の経験から、原子力規制人材の育成が試験炉の維持・運営を通して行うことが可能である。 [2-4-2] 炉物理実験分野における技術継承 [2-5-1] 炉物理分野における機関横断的な人材育成環境の整備 [2-7-1] 人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理研究施設の提案 [4-4-5] 医療利用や放射線利用を目的とした原子炉・中性子源	課題①国内の研究炉が廃炉、または数年後の廃炉が確実な中、中性子源としての、炉物理の研究、燃料・材料の開発、高度な医療にも広く役立つ最先端の研究炉の理想像を決定することが望ましい。②JAEA関連の試験炉の新規制基準対応を迅速に進め、早期の再稼働を目指す。③大学が保有する試験炉（KUR、KUCAおよびUTR-Kinki）が順次再稼働しているが、今後予想される規制の強化に向けて、また数年後の廃炉が決定している試験炉についての、規制対応の担い手の育成が急務である。
[3-3] ホットラボの維持・高度化及び新設	[3-3-1] ホットラボの維持・高度化及び新設	燃焼を伴う炉物理の検証に必要な照射後試験、ホットラボの機能強化を提案していく。特に1F燃料デブリの性状把握、臨界管理に向け、1F燃料デブリのサンプル分析が可能なホットラボの整備、照射後試験による燃焼計算精度の検証等が求められる。また、例えばホットセルと加速器を組み合わせた複合施設など、既存施設の枠組みにとらわれず、より自由度の高い実験が可能となるよう施設の高度化・新設を提案していく。	実機・研究炉での照射後試料の研究において、ホットラボは必要な施設である。燃焼計算精度の検証には照射後試料の核種組成測定データが必要不可欠であり、不確かさを含めた測定精度の向上及び検証に利用可能な測定データの整備・拡充が求められている。技術維持・継承という観点から、照射後試験に係る研究者の確保・育成が重要である。直近の課題としては、燃焼計算精度の検証及びホットラボにおける1F燃料デブリサンプルの組成分析は1F燃料デブリの臨界管理に向けた重要かつ緊急性を要する取り組みであり、これらを迅速に進めるためのホットラボの整備・機能強化が必要である。	燃焼度クレジット導入には照射後試験データを用いた燃焼計算コードの検証が必要である。燃料デブリの未臨界管理には、ホットラボにおけるサンプル分析によるデブリ性状範囲の把握や、照射後試験による臨界評価に用いる核種組成の計算精度の確認等が重要となる。 [1-2-2] 臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に関わる標準の策定 [1-2-5] 燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定 [4-1-5] インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術 [4-2-3] 臨界実験以外の実験データの拡充	課題として、研究活動における施設利用と並行して施設の安全性向上（新規制基準対応）や老朽化対策が求められており、施設を利用する研究者の確保だけでなく、施設を運用する技術者の十分な確保が必要である。

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[3-4] 加速器施設の維持・高度化及び新設	[3-4-1] 加速器施設の維持・高度化及び新設	核データの精度向上・検証には加速器施設が不可欠であり、原子炉物理の観点から必要な核データの反応種類、エネルギー範囲、精度の確保等のための施設・設備の維持・拡充について提案を行っていく。放射性廃棄物の減容化等の観点から、特にMAやLLFPの断面積精度の高度化やADSの基礎研究を進める。	臨界実験施設等と比べると加速器施設は順調に稼働しているものの、依然としてMAやLLFPの核データ（特に、中性子捕獲反応）には誤差が大きいものやデータが皆無の核種が多数存在している。また、FFAG加速器を用いた世界初の陽子入射によるADS研究の環境が整ってきており、引き続き、ADS研究、特に核変換処理の実現に向けた研究が急務となっている。その他にも、重イオンビームを用いた多核子移行反応を利用した代理反応手法によりMA核種についても高エネルギー領域のデータが取得可能となり、加速器施設のニーズは高まっている。このような状況の中で、加速器施設を用いた実験を行う若手研究者・学生の育成や、安定した運転のための十分な維持費と運転員の確保の必要性がある。	革新炉を含む原子炉システムの核特性予測において、コンピュータ性能の向上及び計算手法の進歩により計算に伴う誤差の割合が減少し、核データの誤差の占める割合が支配的になりつつある。そのため、核データの誤差そのものの低減に加え、共分散を含めた核データの評価の重要性が増している。 [4-3-2]核データ評価技術の継承と高度化 [4-3-3]共分散を含む高品質の核データ整備 [4-4-1]核変換 [4-4-2]固有安全炉 [4-4-3]Thサイクル 臨界実験装置で得られた積分データを活用したベンチマークを通して、相補的な核データの品質保証を行う必要がある。 [3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 [3-1-2]臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大	課題として、以下が挙げられる。 ①加速器を用いた若手研究者および学生の育成が重要である。特に、ADS研究に関しては、炉物理分野のみならず、核データおよび放射線計測分野の三位一体となった研究分野を担う人材が必要である。 ②研究炉・臨界集合体に比べて、加速器施設は順調に稼働しているが、安定した運転のための十分な運転員及び維持費に加えて、施設の拡充に向けた開発費の確保が必要である。
[3-5] 実機を活用した測定技術開発及びデータ採取	[3-5-1] 実機プラントの研究のための有効利用	実機プラントを使用した安全研究のためのデータ採取や、廃止措置プラントの廃炉過程における放射化量の詳細な測定、使用済燃料の崩壊熱測定や非破壊分析、その他炉物理に係る種々パラメータの測定場としての利用の推進を通じて、実機プラントの最大限の有効利用を図る。また、新設プラントの研究利用に配慮した設計の推進や廃止措置予定プラントの実機ならではの測定データ取得への取り組みなど、実機の特性を生かした研究や教育の場として限られた設備を最大限に有効利用することを目指す。	新規制基準対応や運転延長申請対応の高コスト化に鑑み、一部の老朽化した実機プラントは廃炉を決定している。同様の理由から、老朽化した研究炉・研究施設の廃止措置も決定しており、それを補うだけの新設計画は無いため、今後、安全研究の推進や教育のために必要な設備が徐々に減少する。一方では、稼働プラントの運用や廃止措置に対する厳しい規制要求に加え、自主的安全性向上活動を推進するため、今後の安全研究や教育のためのデータ採取は非常に重要な活動となる。そこで、限られた稼働プラントや廃止措置プラントにおいては、今後の安全研究のための測定データ採取に積極的に活用し、有用なデータやそれに基づく知見の蓄積を効率的に図ると共に、教育の場として活用することを目指す。	評価技術の高度化に資するデータの取得・蓄積の場として有効活用するとともに、実機を対象とした測定技術の開発・実証の場としての活用が期待できる。 [4-1-5]インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術 [4-2-1]実験測定技術の高度化及び現有施設の活用 [4-2-3]臨界実験以外の実験データの拡充	

4.5. 技術基盤

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[4-1] 解析技術	[4-1-1] 安全余裕の定量評価技術	炉心設計や安全解析で利用される炉物理技術を抽出し、炉物理的な解析値に対して安全余裕を見込むべきパラメータ、材料/寸法のスペックに反映するべきパラメータ、解析の前提条件に反映するべきパラメータなどに整理し、それぞれの定量化方法を定める。	安全解析に見込む余裕は、対象によって、非現実的ながら想定される最も厳しい条件による解析結果と通常運転範囲の解析結果の差に基づくもの、あるいは、製造公差や測定誤差及び物性値の不確かさからの伝播誤差によるもの、工学的な観点によるもの等、様々な方法で設定される。このように設定されている安全余裕の内訳を定量的に把握することは、原子力安全を科学的・合理的に確保する観点から重要である。 なお、こうした定量化の実施においては、実機PWR及びBWR炉心を含む検証マトリックスやベンチマーク問題の整備とデータベース化も必要となり、安全性を高める技術や実験の明確化も期待できる。 近年の学会大での炉心・燃料分野での取り組みの成果により、現行軽水炉を対象とした炉心・燃料に関する安全上の要求事項から安全評価事象とその入力となる炉物理パラメータ及び炉物理（核設計）への要求事項について体系的に整理された。今後、抽出された各炉物理パラメータに対する安全裕度の定量化方法の検討が進展することが期待される。 また、将来的には個々の安全余裕に対し、解析結果と真値との差異を定量的に評価し、解析技術の高度化に合わせて安全余裕を見直していくことが重要である。	[1-2-1]解析コードに対するトピカルレポートの活用と拡大 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-1-3]マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術 [4-3-1]核設計コードの標準（検証用）ベンチマーク問題の整備	
	[4-1-2] 不確かさ評価技術	不確かさ評価技術は、安全余裕の定量化の基礎となるべき技術であり、炉物理の入力となる物理量、炉物理で生成（計算）される物理量に対し、それぞれの不確かさの伝播および評価技術を確立する。併せて、検討するべき不確かさを整理し、不確かさ評価が可能な物理量、現時点で評価不可能なもの、実験等を実施すれば評価可能となるもの等に仕分けする。	物性値（断面積、崩壊定数等）、製造スペック、計算手法、検証に用いる測定手法や実験手法等に不確かさが含まれる。現在の原子炉の設計手法では、これら個々の入力の不確かさを評価して対象パラメータの誤差を評価するのではなく、対象パラメータに対する保守性や安全余裕を設定し、安全性を担保している。一方、解析手法を高度化することにより、モデルが詳細化し、安全評価に用いられる従来の代表的かつ巨視的パラメータ（炉心パラメータ）に加え、局所出力応答のような微視的な解析結果を精度よく評価可能となり、燃料破損などの安全性評価の判断基準との対応が明瞭になる。従って、こうした解析評価技術の高度化に適合した不確かさの評価技術が必要となる。 これまで、高速炉分野において炉物理の入力となる核データに起因する不確かさの評価技術が精力的に研究されており、近年、軽水炉分野への応用研究が行われている状況にあり、核データ誤差（共分散データ）の更なる高品質化が望まれるものの、核データ起因不確かさ評価技術としては、一定レベルに到達していると考えられる。今後は、「炉物理で生成（計算）される物理量」の不確かさ評価技術の研究の進展が期待される。特に一次摂動近似が適用しにくい体系での解析など、現在の解析技術では困難な体系に対する不確かさ評価技術の適用は解析コードの信頼性を向上させることが期待できる。	[1-2-1]解析コードに対するトピカルレポートの活用と拡大 [4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-3]マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術 [4-1-6]未臨界と判定できる実効増倍率の決定方法 [4-3-3]共分散を含む高品質の核データ整備	断面積伝播誤差に関する感度解析が学問的にも設計手法としても研究されている。
	[4-1-3] 原子力システム安全性向上のためのマルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術	通常運転、過渡・事故における炉内の核・熱・流動現象を詳細に模擬するマルチフィジックス統合解析を、メゾからマクロ、ミクロスケールまでのマルチスケールで実施するため、炉物理の解析技術を高度化する。	原子力システムの安全高度化のためには、通常運転過渡・事故時の挙動を正確に把握し、その結果をシステム設計にフィードバックしていく必要がある。 安全余裕の定量化、不確かさ評価技術の高度化のために、実験的に直接的には検証できない事象を数値シミュレーションで代替する技術が必要であり、実験や測定と計算科学技術が相補的に作用することで原子炉の状態把握や予測精度に大きな向上をもたらす。現在は解析体系の規模によって計算手法を変えて計算を実施しているが、原子核や原子の相互作用といったミクロスケールから炉心解析規模のメゾスケールまでを統一した計算手法で解析できるシステムの開発が世界中で研究されている。 また、マルチフィジックスシミュレーションにモンテカルロ中性子輸送計算を適用することが検討されているが、そのためには、モンテカルロ中性子輸送計算の高速化や、動特性解析や事故解析への適用が重要である。 これらの技術研究は、中長期の大規模なものとなることが予想され、研究テーマとして炉物理分野における人材育成の観点からも重要である。 これらの活動の成果から、事故時の解析や、今まで評価できなかった事象の解析などが実現可能になることが期待できる。また、既存の評価ツール・コードの評価精度向上や計算速度向上などの波及効果が期待される。	[2-3-1]原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発 [4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-1-7]炉心解析技術の高度化	米国では軽水炉における実験代替シミュレーションの研究（CASL）が進められている。

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[4-1] 解析技術	[4-1-4] マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術を用いた他分野への貢献	照射場での材料への影響（照射成長、腐食加速など）や水化学への影響などを低減するため、照射場の高速フラックスを下げる炉心燃料を検討するなど、マルチフィジックスシミュレーション技術を用いて炉物理以外の設計余裕の低減に寄与する。また、核反応そのものに関して、中性子入射の反応のみではなく、例えばγ線や反跳陽子、コンプトン反跳電子など、他の粒子を含む核反応の定量化にも寄与する。	被ばく量の低減、プラントの健全性及び放射性廃棄物の低減等のため、構造物や水への照射量や配管の温度・流量・圧力履歴等の多角的な視点による評価、または、照射量を低減するための炉心・燃料の検討が重要である。この検討において、マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーションにより、予測精度が向上し、単一の視点のみで解析していたために過大に設定せざるを得なかった設計余裕が低減されることが望まれる。	[4-1-3]マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術 [4-1-5]インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術	
	[4-1-5] インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術	計量管理、臨界監視、保障措置、クリアランスなどの観点から核種インベントリに対し信頼性の高い評価を与える技術開発を行う。また、廃炉作業等の被ばく量低減や遮蔽評価の効率化のため、軽水炉や高速炉で採り入れられている最新の解析手法を応用し、遮蔽計算技術を高度化できる手法を開発する。	燃焼や放射化による核種の生成量の精度検証を測定値との比較により実施する方法は有効な手段であるものの、労力とコスト面の課題もある。非破壊測定と解析との融合による経済的かつ信頼性の高い評価技術を代替手段として有することは意義がある。また、臨界評価において燃焼度クレジットを導入する際の品質保証としても期待できる。 更に、ストリーミング効果を高精度に評価できる手法開発等による評価手法の高度化を通じ、クリアランスの評価における放射化精度を向上させることは、廃棄物低減の観点からも有用である。 また、長期間停止している原子炉炉心の核特性パラメータ予測精度向上、SA時の原子炉炉心やSFPIにおけるFPインベントリや崩壊熱の予測精度向上、使用済み燃料再処理の受け入れ時におけるインベントリ予測誤差SRD (Shipper/Receiver Difference) 低減、核燃料施設の臨界安全評価における燃焼度クレジットの導入による過度な保守性の排除、廃止措置における過度な保守性を排除した現実的な放射化レベル評価の開発への波及効果が期待されている。	[1-2-2]臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に係る標準の策定 [1-2-3]クリアランス判定基準の高度化 [3-3-1]ホットラボの維持・高度化及び新設 [3-5-1]実機プラントの研究のための有効利用	
	[4-1-6] 未臨界と判定できる実効増倍率の決定方法	臨界安全ハンドブックによると、対象系が未臨界であると計算により判定するために用いられる中性子増倍率である「最大許容増倍率」は、臨界になると思われる値（推定臨界値）を推定する際の誤差を考慮して定めた「推定臨界下限増倍率」（未臨界であると判断してよいと考えられる中性子増倍率の上限）に安全裕度を考慮して定めることとなっている。この最大許容増倍率の設定方法を最新知見に基づいて検討する。	最大許容増倍率は、核燃料の臨界安全（臨界事故防止）において最も重要なパラメータであり、その設定については高い説明性が求められるため、最新知見に基づいた検討を行う。 核燃料取扱施設の安全設計において、最新コードを使うことで従来実効増倍率0.95未満で設計したものが実効増倍率が0.95を超える箇所が出たことが、0.95の根拠となった推定下限増倍率とそこに安全余裕をとった最大許容増倍率の再検討の動機となっている。推定臨界増倍率については、2012年夏期セミナー「不確かさ評価の基礎」に考え方が詳述されている。また、解析手法と、核データ起因の不確かさ、ベンチマーク実験データからのバイアスの適切な評価について検討が進み、米国ではSCALEコードや評価支援ツールWhisperが開発され、これを用いてupper subcritical limitを求めることが可能となってきた。これらと同等のコードを国内でも整備するべきである。一方で推定下限増倍率導出は前記夏期セミナーによればある割合の事故リスクを認めることを前提にしているが、その合意形成が明確にはなっていない。それ以上に、安全余裕を0.05未満とするに足ると判断する、もしくはそもそも0.05でよいという明確な説明が米国標準等でも見られない。軽水炉燃料集合体を扱う施設であれば、照射に伴う燃料の変形や偏芯、水密度条件、誤装荷、燃料落下、福島第一事故であれば燃料形状と水との分布が不定でかつ変化していくという状況下で、いずれも変化の確率と投入反応度のリスクとして考え、リスクを裾切りできる反応度をもって余裕と見るといったprocedureで決めるべき数値である。もしくはリスクの量そのもので管理まで行ってしまおうという考えもある。前記リスクを前面に出すとすると、指針体系・規制基準の国際化、臨界事故リスク評価等、制度基盤分野の小分類と関係すると考えられる。	[1-2-2]臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に係る標準の策定 [1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定 [4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-1-3]マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術 [4-3-1]核設計コードの標準（検証用）ベンチマーク問題の整備 [4-3-2]核データ評価技術の継承と高度化 [4-3-3]共分散を含む高品質の核データ整備 [4-3-4]国産標準コードシステムの開発、国産核データ処理コードの整備	ANSI/ANS-57.2-1983は、未臨界評価における余裕を、通常は0.05とするが、妥当性が示されれば、0.02を限度に余裕を小さくとも良いとしている。

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[4-1] 解析技術	[4-1-7] 炉心解析技術の高度化	マルチフィジクスシミュレーションの応用や、並列化技術、他分野の高速化手法などの取り込みによって軽水炉及び高速炉解析手法を高度化し、炉心設計の効率化や安全性向上、運転コストを低減させる。 また、機械学習技術等の利用によって解析・作業コストを低減させる。	解析起因不確かさの低減に寄与する活動は安全性及び経済性の向上に総合的に資するものであり、軽水炉や高速炉での炉心解析技術の高度化はもちろんのこと、小型炉やADSなどの設計においても炉心解析技術の高度化は常時、継続的に取り組むべき課題である。 炉物理計算の基本計算機能となる実効核定数計算機能、中性子輸送計算機能、核種燃焼計算機能等に関するモデルを詳細化することで高度化し、解析起因不確かさを低減し、予測精度を向上することで、炉心設計の効率化や安全性向上、運転コストの低減が期待できる。 高精度解を得るためには高負荷な計算を必要とするが、それを短時間で得るため、計算科学技術分野や他分野での研究成果と炉物理的なアプローチを組み合わせることが有効と考えられる。また、高精度解を再現する低計算負荷モデルや、機械学習技術を組合せた最適設計（燃料設計、燃料装荷パターン設計等）も有効な方策として期待される。	[4-1-3]マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術	具体的な解析モデルの高度化としては、実機炉心に対する3次元燃料格子内非均質体系での多群中性子輸送計算・燃料格子単位マイクロ燃焼計算により空間及びエネルギーの均質化といった計算誤差を排除、などが挙げられる。
	[4-1-8] 不定形体系の解析手法の高度化	燃料デブリのように不定形の燃料が含まれる体系や大型炉心での局所臨界、複数ユニットの結合体系の評価手法の高度化を図る。	燃料デブリなど燃料の形状が不確実な体系に対する臨界評価では、実効増倍率の最確値と最大値を評価することが必要である。不定形な形状に対する評価技術としてモンテカルロコードに導入されているSTGMがあるが、STGMモデルの理論の限界、適用できる範囲の限界の把握することが重要である。局所臨界と全炉心臨界の場合は基本モード中性子束分布が大きく変わることから、局所臨界への近接とその中性子束分布の把握が臨界監視等で重要である。また複数ユニットの問題では、一点炉動特性パラメータが意味があるのか、そもそもそのような体系を適切に計算できるのか、中性子束は常に高次モードばかりで基本モードが見えないものなのか、臨界監視の仕方はどうするか、多点炉動特性の検討など、課題が山積みである。	[1-2-2]臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に係る標準の策定 [1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定 [4-1-7]炉心解析技術の高度化	
	[4-1-9] 臨界事故評価手法の開発	臨界事故リスク評価やシナリオ構築など、臨界事故の評価手法について検討を行う。	「技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する対策を講じる」といった、一見ゼロリスクを要求するような従来の臨界安全の考え方には限界がある。例えば、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出時には従来の臨界安全を適用することは現実的ではない。そのため、深層防護の考え方に基づいた臨界管理技術の開発がIRIDにより検討されている。 燃料デブリだけでなく、現行施設の臨界安全についても、動力炉における原子力安全の考え方とも合致するように再検討し、リスク評価・深層防護・グレーデッドアプローチの導入などの具体的な評価手法を検討し、より現実的な臨界事故評価手法を開発する必要がある。	[1-2-4]臨界事故評価手法標準の策定 [1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定	手法的に未熟であることに起因して規制だけが厳しくなり、現行施設の運用が困難にならないように十分な検討を行う必要がある。

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[4-2] 実験技術	[4-2-1] 実験測定技術の高度化 及び現有施設の活用	事故時評価や将来炉設計を見据えた体系の模擬性や測定技術の高度化に資する関連技術を開発する。 また、臨界実験装置や研究炉などの実験施設の拡充も重要である一方、施設の維持管理・規制対応の負荷の増大から、現有施設の能力拡大、維持負荷の低い施設での利用も検討する。	事故時/事故後の炉心状態を正確に把握するために、測定可能な中性子と γ 線、放出核種等を活用した高精度な測定技術が必要となる。 また、一般に実験体系と実機体系は異なったものにならざるを得ないが、実験で実機をできるだけ正確に模擬するため、実機体系の特徴を客観的に再現する指標がどのようなものであるべきかについて研究を進める必要がある。 改造STACY等新たな臨界実験施設は限られ、燃料棒や規制上の制約から模擬したい炉心を全領域で構成することは困難となる場合も、部分的な模擬でも検証としても有効であることを示す理論が必要となってくる。また、使用済み燃料貯蔵プールや、維持負荷の低い施設として未臨界実験施設や加速器中性子源施設の利用についても検討が進められるべきである。燃焼燃料の非破壊測定、ペレットレベルの測定技術、ドップラー反応度、中性子スペクトル測定などのニーズがあり、新たな実験技術開発も検討すべきである。 また、未臨界と臨界をつなぐ理論や、未臨界や加速器でも可能な炉物理実験技術を検討し、臨界炉との組み合わせによる柔軟な運用、実験技術の伝承が重要である。	[3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 [3-1-2]臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大 [3-5-1]実機プラントの研究のための有効利用 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-2-2]未臨界度の絶対測定手法 [4-3-2]核データ評価技術の継承と高度化	代表性因子等の研究がなされているが、実験計画への応用等の手法確立が望まれる。
	[4-2-2] 未臨界度の絶対測定手法	核燃料を含んだ種々の体系に対して、未臨界度の絶対値を測定する手法を開発する。	福島第一事故を踏まえると、原子炉起動前などの通常運転で現れる未臨界状態の原子炉に加え、異常時の炉心、燃料プール等の貯蔵施設、加工施設を対象とした未臨界度の絶対測定技術は、核燃料を取り扱う施設一般の安全性向上に貢献すると考えられる。 また、起動前の原子炉の特性を測定することにより、原子炉の設計の妥当性を起動前に確認することが可能となり、安全性の向上につながる。なお、未臨界度の絶対測定技術は、現在に至るまで原子炉物理の未解決の問題の一つであり、その開発は学術的にも大きな意義を持つ。 例えば福島第一事故の様に形状が不定の燃料に対して炉雑音法の検討が進んでいる。ADS等を中心に、未臨界炉心の炉物理理論の検討と相補的に未臨界度測定手法の開発が必要であり、2012年以降も検討が続けられている。また未臨界度測定では従来中性子計装のみで実施されてきたが、中性子核反応に付随する γ 線の実測等で核反応度を定量する手法も研究されている。未臨界に関する測定可能なパラメータを増やし、設計や計算への依存度の低い測定法を開発することは、臨界安全や炉心設計の信頼性・説明性向上のため意義がある。未臨界度測定法には実測可能量である炉雑音、中性子計数率変化(パルス中性子法、反応度計等)、計数率(中性子源増倍等)があるが、いずれも実効増倍率の導出に「組成を仮定した計算」による補正値を要しており、この「補正値」が未臨界度や燃料形状、組成に強く依存しない手法の構築が必要となる。補正値の例としてGeneration timeについては、未臨界条件に対する厳密な計算法は未開発であるし、また臨界条件の値であっても、局所臨界の発生しうる条件ではどの臨界条件を使うのかを整理する必要がある。また、作業をする箇所での臨界安全性確保としては、ある操作での臨界近接可能性を操作前に知ることが望ましい。この点では移動する予定の物質の組成に着目した測定こそ有用で、中性子計測よりも物質情報を含む核反応付随 γ 線測定を志向することが適当である。 開発した技術を利用することにより、使用済み燃料保管施設、核燃料取扱施設、再処理施設や廃炉作業時の原子炉での臨界事故を防ぐための未臨界度常時監視技術や、テロリスト対策ための核物質の非破壊検知技術の開発が実現できる。	[1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定 [3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 [3-1-2]臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大 [4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-1-4]マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術を用いた他分野への貢献 [4-2-1]実験測定技術の高度化及び現有施設の活用	

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[4-2] 実験技術	[4-2-3] 臨界実験以外の実験データの拡充	崩壊熱測定や、燃料ペレットのPIE試験（核種組成化学・質量分析・燃焼度分布測定、γスキャン測定、燃料棒反応度測定試験など）の測定データを増やす。	臨界固有値や制御棒価値、ポイド反応度係数、温度反応度係数などは臨界実験で得られるが、臨界実験の結果だけで解析コードの妥当性確認を行うことはできない。しかし、臨界実験以外のデータは測定された件数も少ないことから、これらの実験データの拡充が求められている。例えば、崩壊熱データでは、MOX燃料などの崩壊熱測定実験データの拡充が求められている。 また、PIE試験（核種組成化学・質量分析）、γスキャン測定については精度の出にくいケースや、高燃焼度燃料など従来の測定では取り扱われてこなかった燃料に対する測定が求められている。国内の実験データという観点では、REBUSやMINERVEのような使用済み燃料反応度測定試験の改造STACYでの実施が求められる。また、ホットセル施設での燃料ペレットを使った実験はここまではせいぜい、γ線/中性子測定に限られているが、プルトニウムスポットの燃焼変化をα線サーベイで確認するとか、ペレットを昇温して中性子源と組み合わせて透過・捕獲・散乱事象を計測する、など、核計算の妥当性確認につながるデータが得られる可能性がある。また、国外の燃焼度クレジット導入では、炉心サイクル運転終了時に制御棒パターンを変えて臨界確認をし、それを以て燃焼度の確認にしているケースも見られることから、これらのデータを公開・整備することも解析コードの妥当性確認の観点からは重要である。	[2-4-2]炉物理実験分野における技術伝承 [3-3-1]ホットラボの維持・高度化及び新設 [3-5-1]実機プラントの研究のための有効利用 [4-1-5]インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術 [4-2-1]実験測定技術の高度化及び現有施設の活用 [4-2-2]未臨界度の絶対測定手法	
	[4-2-4] 既存の実験データや測定データを利用した検証ベンチマークの拡充	模擬性評価技術の高度化や、従来の実験データや、今まで利用されていなかった実験データの有効活用を図る。 また、併せて臨界実験以外の実験データの活用も進め、解析コードの検証に役立てる。	臨界実験装置や研究炉などの実験施設の拡充の重要性が叫ばれる一方、施設の維持管理・規制対応の負荷の増大から、実験施設の拡充は現実的には困難である。そこで、模擬性評価技術の高度化や実験データの見直しによる従来の実験データの再活用や、発電所や使用済み燃料貯蔵プールの測定データの活用など、今まで利用されていなかったデータの有効活用を進めることで、新たな実験をすることなく、必要な実験データが得られることが期待できる。 また、臨界実験以外の実験データの活用も重要である。例えば、未臨界実験で測定される即発中性子減衰定数α、未臨界状態における中性子計数率、中性子反応起因のγ線測定などの実効増倍率以外の核特性パラメータを活用した解析コードの検証手法を開発し、実効増倍率以外の計算結果についての検証を充実させることは、解析コードの信頼性向上に大きく寄与する。	[2-4-2]炉物理実験分野における技術伝承 [3-1-2]臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-2-2]未臨界度の絶対測定手法 [4-3-2]核データ評価技術の継承と高度化	
	[4-2-5] 今まで測定できなかった項目や検討してこなかった体系に関する新たな実験の提案	炉内の中性子束エネルギースペクトルや二領域炉心における二領域間の結合係数など、今まで測定できなかった項目の実験について検討する。具体的には中性子検出よりも時間分解能に優れたγ線測定等をベースとしていく。 また、今後解析精度の検証が求められる、燃料デブリのような不定形な燃料や大型炉心での局所臨界、複数ユニットの結合体系などに対する実験についても検討する。 燃料デブリの臨界管理の観点では、孔のある物質での水からホウ酸水への置換時間測定や、孔のある燃料物質の水上昇時と下降時の水位反応度の測定も意味がある。	原子炉における中性子のスペクトルは軽水炉で1meVから10MeVと9桁もの広がりを持つものの、これを適切に計算して臨界条件等を評価することがこれまでの原子炉物理の主たる取組みであった。一方で、炉内中性子スペクトルや反応を起こす中性子のスペクトルの測定はエネルギー感度の異なる放射化箔を用いた手法程度であり、説明性にかけるところがあった。中性子スペクトルを精度良く測定できれば、核計算コードや評価手法の更なる精度向上、説明性向上に寄与することが期待される。多領域間の結合係数については、昨今時間依存核分裂行列が計算できるようになりつつある。この計算の時間積分は、燃料集合体列等での臨界安全性を議論する上で有用であり、この評価によって燃焼度クレジット採用体系の設計の安全余裕を適正化することができるようになる。 不定形の燃料の中でも、孔があることが予想される燃料デブリでは、孔からの泡の脱離、孔での水-燃料置換等が臨界上の関心事であり、これの実測も重要である。	[3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 [4-1-7]炉心解析技術の高度化 [4-1-8]不定形体系の解析手法の高度化	
	[4-2-6] 核セキュリティ対策	核セキュリティ技術の開発のため、新しい測定手法と測定技術の開発が必要である。また、RIや核物質を抱える施設は、今後の核セキュリティ関連の規制強化対策として、ソフト・ハード両面の整備が不可欠である。	核関連施設からの核物質の不法な移転や各地で頻発するテロの発生を受け、核物質だけでなくその他の放射性物質の防護を含めた核セキュリティの強化に対して国際的にも高い関心が払われている。我が国としても、国際社会の一員として、自国の核セキュリティ対策の強化に加え、核セキュリティ対策技術の開発等、国際貢献にも取り組む必要がある。核セキュリティ対策の強化は、今後の原子力の発展と継続のために必要不可欠であり、安全対策と対となって進めていくことが求められている。 核セキュリティ対策技術の開発には、放射線計測分野とともに、炉物理分野で得られた経験と技術が応用可能ではあるが、例えば核物質の探知では、これまで炉物理が対象としていなかった少量の核物質、深い未臨界状態を測定対象とするため、新しい測定手法の開発や測定技術の高度化が必要である。核セキュリティ対策で開発された技術は、炉物理分野へのフィードバックも可能であり、未臨界測定法の確立等、炉物理分野への貢献が期待できる。	[4-2-1]実験測定技術の高度化及び現有施設の活用 [4-2-2]未臨界度の絶対測定手法	IAEA核セキュリティ勧告文書等、国際的な動向に十分配慮する必要がある。

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
	[4-3-1] 核設計コードの標準 (検証用)ベンチマーク問題の整備	核計算コード(核データを含む)の信頼性評価(検証)に利用できるベンチマーク問題を整備し、標準的な検証手法の確立を目指す。今後20-30年程度に許認可の対象になり得ると考えられる炉等(サイクル施設も含む)について、規制も交えた場でベンチマーク問題の選択を行い、各炉等に対する「標準」として提供する。「標準」としての検証用問題の整備では、対象となる炉型や(燃料サイクル)施設に応じて適切なベンチマーク問題を選択する必要があるが、その際にどのような観点で対象とする炉等との類似性を判断するのが重要となる。また、実証性の観点から実機商業炉のデータに基づくベンチマーク問題や炉心規模(PWR/BWR)のベンチマーク問題の整備について検討する。	炉物理解析分野において、最新知見の取り込みを迅速化するために、その標準的な検証方法を確立する必要がある。標準的な検証法は、解析コードの型式認定にも使用することが可能であると考えられる。このような標準的な検証方法を整備することにより、新たなコードを開発した場合に、客観性、透明性のある検証が可能となり、説明性と安全性の向上に寄与することができる。 炉心規模のベンチマーク問題としては、MITが提案しているBEAVRSベンチマークがあるが、計算コードのVerificationの向上として、BEAVRSの平衡炉心相当のものなどをPWR、BWR、複数種類の燃料に対して用意することが求められる。	[1-2-1]解析コードに対するトピカルレポートの活用と拡大 [3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持	NEAを中心とした国際的な取組み(1CSBEP、IRPhE)が行われており、日本からもベンチマークデータが提供されている。貴重な炉物理解験データは国際的な財産として、広く共有されるべきであり、今後も日本からのデータ提供を継続すべきである。
[4-3] データベース	[4-3-2] 核データ評価技術の継承と高度化	実験的研究により得られた測定値と理論的研究により得られる計算値を基にして、最も適切と考えられる核データの値を評価するための技術について、その標準化を図り、次世代に継承するとともに、高度化(改良)を進める。また、ここでの核データ評価技術には、核データ測定や理論計算も含めて考えるものとする。	核データ評価はノウハウに依拠するところが大きく、その継承が課題となっている。核データは、炉物理を支える基礎データとして不可欠のものであり、その評価技術が維持され続けることが必要である。しかしながら核データ評価者が世界的に少なくなってきたこと、核データ評価者の育成が急務である。特に以下のデータについては、既に評価者がほとんどおらず、または炉物理解析から拡充が強く求められていることから、これらの核データの評価者の育成が求められている。 1. 熱中性子散乱則の評価 2. 分離共鳴パラメータの評価 3. 核分裂収率の評価 4. 遅発中性子放出に関するデータの評価 5. 崩壊熱に関するデータの評価 このため、核データ評価技術を継承されやすい形に標準化する。さらに、標準化により、核データの品質向上に寄与する。 また、核データの高度化のためには、核データ側に炉物理側からの要望を積極的に伝える必要がある。そのためには核データの高度化を核データ評価者の仕事と見なすのではなく、炉物理と核データが共同で行うものという認識を持ち、また積分実験解析などで得られた知見を核データ評価者側に伝えていくことが重要である。炉物理側から核データ評価者側に積分実験解析などで得られた知見を伝えることにより、ベンチマーク問題の整備や不確かさ評価技術の高度化にも貢献できると考えられる。	[3-4-1]加速器施設の維持・高度化及び新設 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-3-1]核設計コードの標準(検証用)ベンチマーク問題の整備 [4-3-3]共分散を含む高品質の核データ整備 [4-3-4]国産標準コードシステムの開発、国産核データ処理コードの整備	シグマ委員会において核データの品質保証WGが設置され、核データ評価の際の手法や用いたデータ等の品質に係る記録の作成・管理についての議論が行われ、基本方針がまとめられている。
	[4-3-3] 共分散を含む高品質の核データ整備	共分散データを含めた核データについて、その品質を管理し、より高精度の核データとして整備する。MA等のサンプル入手の問題を考えると、国際的な枠組みでの取り組みが望ましい。	核データは、原子力利用の初期よりその整備が進められており、これまでもかなりの精度向上が図られてきてはいるが、いまだに積分実験との乖離がみられる場合もあり、特にMA核種については、評価済ライブラリ間で有意な差異が存在しているものもある。また、核データ由来の核計算誤差評価は、今後の核設計において必須のものとなりつつあり、共分散データの整備への期待は高い。JENDL-4.0においてアクチノイド核種を中心に共分散の拡充が図られているものの、今後も実験データ取得や評価を通じて継続的にデータ拡充と信頼性の向上を図る必要がある。J-PARCのANNRIを用いた共鳴断面積の測定データなどが得られており、測定データとその測定誤差からJENDL独自の共鳴断面積の共分散データを作成することが期待されている。またANNRIでは、ADSの実現を目的としたMAの断面積測定が予定されており、MAの共分散データの拡充が期待される。 現在共分散データの存在しない核種については共分散データの拡充が求められており、また共分散データの存在する核種については共分散データの信頼性向上が求められている。しかし、共分散データの評価者は日本はもろろんのこと、世界的に見てもほとんどいないことから、共分散データ評価者の育成が求められている。 また、炉物理からのアプローチとして、炉物理の知見の核データへのフィードバックの継続や、分子動力学などの厳密論の導入といった新技術による核データ起因の不確かさの低減なども今後の重要な課題の一つである。 共分散データの整備や高度化を進めることで、不確かさ評価技術や安全余裕の低減に貢献できる。	[1-2-1]解析コードに対するトピカルレポートの活用と拡大 [3-4-1]加速器施設の維持・高度化及び新設 [4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-3-1]核設計コードの標準(検証用)ベンチマーク問題の整備 [4-3-2]核データ評価技術の継承と高度化 [4-3-4]国産標準コードシステムの開発、国産核データ処理コードの整備	核データコミュニティにおいては、ブライオリティリストを作成し、その上位のものを中心に核データの測定・評価が進められつつあるが、現状ではサンプル入手の困難さなど十分に測定が実施できない核種もある。

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[4-3] データベース	[4-3-4] 国産標準コードシステムの開発、国産核データ処理コードの整備	炉心設計の検証に資する国産標準コードシステムと核データ処理コードを整備する。	<p>実験的な実証性を補足するためにモンテカルロコード等が参照解とされている。JAEAのMVPや米国のMCNP等がよく利用されているが、炉心設計全般を解析するためのコードではなくベンチマークの参照解としての利用が主である。この参照解としてのコードシステムの研究開発は継続されるべきであるが、メーカーや電力会社の炉心設計や安全解析の妥当性を規制当局が客観的に確認するための標準コードシステムが必要である。</p> <p>特に連続エネルギーモンテカルロコードMVPは広く使われているが、多群の輸送計算コードであるSRACは、現在の核計算のニーズを十分に満たしておらず、最新知見を取り込んだ解析コードの整備が望まれる。</p> <p>また、その入力となる核データについては、処理コードと合わせ、その信頼性実証と品質保証を含む整備が必要である。今後の原子力プラントの輸出を考慮すると、国産コードの開発の必要性は高く、そのコードを維持管理していく仕組み(組織)が必要である。</p> <p>核データ処理コードについては、国産の核データ処理コードFRENDYが開発されているが、NJOYに代わるコードとなるには、多群定数の作成や共分散データの処理、KERMA因子やDPA断面積の計算など様々な処理機能を追加する必要がある。また、核データの検証のため、VACANCEを開発しているが、核設計解析への適用等の観点から、原子力学会標準に準拠したV&Vプロセス等に効率的・効果的に対応するための検証システムの開発や汎用性向上に関する整備が必要である。</p> <p>さらには安全評価に標準的に利用可能なSCALEコードと同等な評価システム(集合体定数作成、炉心計算、燃焼解析/崩壊熱評価、感度解析、不確かさ定量評価など)の開発が求められている。</p> <p>現在、MCNPコードが米国外にはソースコードは開示されていない状況を鑑みると、連続エネルギーモンテカルロコードや核データ処理コード等の標準的に使用されるコードについては、他国の輸出規制等の制約を受けない国産コードであることが必要である。</p> <p>さらに、国産コードの開発は、国産コードによるマルチフィジクスシミュレーションを可能とし、またADSなどの新型炉の設計にも大きく貢献すると考えられる。また、国産コード開発を通じ、次世代のコード開発者を育成することにも貢献できる。</p>	<p>[1-2-1]解析コードに対するトピカルレポートの活用と拡大</p> <p>[2-4-1]コード開発・整備分野における技術伝承</p> <p>[4-1-3]マルチフィジクス・マルチスケールシミュレーション技術</p> <p>[4-3-1]核設計コードの標準(検証用)ベンチマーク問題の整備</p> <p>[4-3-2]核データ評価技術の継承と高度化</p> <p>[4-4-1]核変換</p> <p>[4-4-2]固有安全炉</p> <p>[4-4-3]Thサイクル</p>	<p>特に核データ処理コードは米国のNJOYに全面的に頼っており多様性の面から脆弱な構造となっている。従来はJAEAが主体となって開発を進めてきたが、開発したコードの利用実績などが問われており、JAEAとしてはユーザーの貢献が無ければ開発を続けられない状態である。今後もJAEAを主体として国産コード開発を行うのであれば、日本のコミュニティとして(これまでに活用してきた海外コードではなく)国産の炉物理・核データ処理コードの利用を積極的に進めていく覚悟があるかどうかを議論する必要がある。</p>
	[4-3-5] MAや長寿命核種などを対象とした微分実験(核データ測定)及び臨界実験の拡充	MAや長寿命核種、被ばく評価上重要な核種など、高レベル放射性廃棄物の低減や被ばく量の低減のため、これらの核種の核データ測定を拡充させるとともに、測定データの少ない核種を対象とした臨界実験データを増やす。	<p>ADSや高速炉を用いたMAや長寿命核種の核変換処理などが検討されているが、これらの核種の断面積データには不確かさが大きく、また実験データもほとんど得られていなかった。J-PARCのANNRIや京大炉のLINACなどを用いた断面積データの測定(微分実験)が行われているが、解析コードの検証のためには微分実験だけでなく、臨界実験などの積分実験が不可欠である。ADSの設計やMAや長寿命核種の減少量の評価の高精度化のためには、臨界実験データの拡充が世界的にも強く求められており、本実験で得られた結果は、長年に渡り世界中で活用され、解析コードの精度向上や検証に貢献することが期待される。</p>	<p>[2-4-2]炉物理実験分野における技術伝承</p> <p>[3-1-1]臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持</p> <p>[4-1-2]不確かさ評価技術</p> <p>[4-3-2]核データ評価技術の継承と高度化</p> <p>[4-3-3]共分散を含む高品質の核データ整備</p> <p>[4-4-1]核変換</p>	

中分類	小分類	概要	取り組むべき理由	他項目との関連	補足
[4-4] 将来的な ニーズを満 たす原子炉 に関する技 術	[4-4-1] 核変換	将来の核変換に係る技術を整備（維持、高度化）する。	放射性廃棄物の負担軽減（減容、短寿命化）の観点から重要である。今後の炉型戦略に対応した核変換技術の研究が必要となる。原子力エネルギー利用の大きな負の遺産を解決（負担軽減）するための技術であり、その影響は経済的にも社会的にも非常に大きい。 核変換技術としてはADSや高速炉の利用が現在検討されているが、核融合炉由来の中性子を用いた核融合炉とのHybrid炉心による核変換など、既存の概念を超えた原子炉についても検討することが求められる。また、ADSや高速炉のみならず、軽水炉における有害核種生成低減技術の進展も期待される。	[3-1-2]臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大 [3-4-1]加速器施設の維持・高度化及び新設	
	[4-4-2] 固有安全炉	将来の革新的原子炉に係る技術を整備（維持、高度化）する。	福島第一のシビアアクシデントの反省として、「想定外」にも耐えられる原理的に安全性の高い原子炉の開発が求められている。原子炉物理は、このような革新炉開発にあたり、先導的な役割を果たすべきである。例えば、原子力発電の社会的受容性向上のため、 ・事故時の水素発生が少ないZr以外の金属やセラミクス等の非金属を使用した事故耐性燃料（ATF） ・ADS以外でのMAや長寿命核種、高レベル放射性廃棄物の低減手法や、高レベル放射性廃棄物の発生量の少ない原子炉 ・崩壊熱の発生が小さい、もしくは高い崩壊熱除去性能を持つ原子炉 ・事故発生時にCs、Srといった周囲の環境への影響が大きい核種の飛散防止のため、放射性核種の閉じ込めが期待される原子炉 などの開発を行うことが求められる。 また、事故だけでなく、核セキュリティも想定し、燃料交換不要かつメンテナンスフリーな原子炉として、TWRやCANDLE燃焼炉をベースとしたSmall Modular Reactor (SMR)、資源利用率向上のための高転換炉についても開発を進めるべきである。	全項目の応用となる。	国際的なATF開発に関する取り組みやGIFでの取り組みを中心に国際的な将来炉開発に日本として貢献する。
	[4-4-3] Thサイクル	将来のエネルギーリソース多様化に係る技術としてThサイクルの技術を整備（維持、高度化）する。	エネルギーリソースの多様化として、U-Puサイクルに加え、Th (U-Th) サイクルについても、その技術基盤を失うことのないように研究を継続する必要がある。Th溶融炉の他、現在の軽水炉利用、将来の高速炉利用にもとづく核燃料サイクルに適合した酸化燃料の検討が重要。Th酸化物は従来のビューレックス法では処理が困難という面もあり、炉心・燃料だけでなく、燃料サイクル全体を見据えたコスト評価が重要。また、単純なコストだけでなく、環境負荷低減を目指した有害度低減なども考慮する必要がある。これらの評価の中心となるのは、炉物理解析技術であり、炉心設計だけにとどまらず、サイクル全体と連携できるような統合的な解析技術が重要となってくる。Th関連の実験データの拡充・実験検証技術も必要である。	[3-1-2]臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大 [3-4-1]加速器施設の維持・高度化及び新設	
	[4-4-4] 高速炉サイクル	今後の高速炉の研究開発のため、高速炉サイクルに関する技術を整備（維持、高度化）する。	核燃料（ウラン）の資源量は有限であることから、原子力をエネルギー資源として長期間に渡り享受していくためには、プルトニウム資源の活用は必須である。我が国の高速炉開発を取り巻く状況は不透明ながら、核燃料サイクルを推進するとともに、高速炉の研究開発に取り組むとの方針を堅持しており、高速炉の実用化の着実な推進が必要である。また、各国で高速炉の実用化を目指した開発競争が行われている状況にあり、将来のエネルギーセキュリティ確保のために開発競争の中で優位を得るためには、今後も高い技術レベルを維持するための対応が必要である。 炉物理分野においては、高速炉の実用化に向けた解析手法の高度化による設計精度向上、高速炉の中性子スペクトルを活用したMA、LLFP消滅などの核変換としての利用等による放射性廃棄物の有害度低減、炉心の自己制御性を高めるための炉心高度化等を通じて、高速炉の安全性、付加価値を高めるための技術開発を進めていくことが必要である。	[4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-1-5]インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術 [4-1-7]炉心解析技術の高度化	
	[4-4-5] 医療利用や放射線利用を目的とした原子炉・中性子源	BNCTや重粒子線などの放射線治療、原子炉を利用した ⁹⁹ Tcやレアアースなどの生成、シリコンドーピングなどのエネルギー利用以外の放射線利用が可能な研究炉・照射炉に係る技術を整備（維持、高度化）する。 原子炉以外の候補として、核分裂反応の利用を最小限にとどめた中性子源の開発なども併せて実施する。 また、将来的には研究炉・照射炉の減少は避けられないことから、既存プラントの照射炉としての利用など、発電以外での有効利用方法も検討する。	炉物理が人類社会の健全かつ持続的な発展に寄与していくためには、発電炉を対象とした核特性解析等の従来の用途に加えて、新たな用途での炉物理の活用が重要である。現在進められている医療利用や放射線利用等に限らず、広い視野を持って炉物理の有効的な利用方法を継続して模索していくことは、炉物理の適用先の拡大につながり、人類社会への貢献の可能性をさらに高めることが期待できる。 また、医療利用や放射線利用では、炉心外の中性子束や放射線量を正確に評価することが求められる。このように、既存の炉心解析とは異なるニーズがあることから、医療利用や放射線利用を目的とした炉心の設計を通じ、炉心解析手法の発展（拡張）が期待できる。	[3-2]研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設 [4-1-1]安全余裕の定量評価技術 [4-1-2]不確かさ評価技術 [4-1-5]インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術 [4-1-7]炉心解析技術の高度化	

5. 2017 ロードマップの具現化に向けて

5.1. 総論

第2章で述べたように、本WGでは、「観察・方向付け・決心・実行」のOODAサイクルのうち、「決心・実行」の具体化を図るところまで実施することを目指して活動した。本章では、新たに策定した2017RMのうち、炉物理部会としての活動や部会員が参画するプロジェクトを通して貢献できる可能性があるものとして、制度基盤、人材基盤及び施設基盤について具体的なアクションプランの候補の検討を行ったのでそれについて述べる。なお、技術基盤については基本的には部会員が個別に取り組むべきものであるとの判断から具体的なアクションプランの検討は行わなかった。ただし、本2017RMで提示された内容について、複数の部会員が協同して研究公募事業等へ応募するなど、具体的なアクションに向けて有効に活用されることを強く期待する。

また、本章では「時間スケール」として、短期・中期・長期という用語を使用しているが、それぞれ、現在～2020年頃、2030年頃、2050年頃に対応している。

5.2. 制度基盤

制度基盤項目としては、各項目に対する進め方の提案が主となっており、現時点で具体的な炉物理部会としてのアクションを示してはいない。一方で、何らかのアクションを促す必要性については共通認識があり、またそのアクションに積極的に関わりを持っていくことが必要と考えた。

一例として、[1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定について考えると、既に東電福島第一事故の廃炉研究を進める技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID) が主体となって精力的に検討を進めており、日本原子力学会炉物理部会において標準を検討する組織を立ち上げる意義は小さい。ただし、IRID における検討活動に炉物理部会員が積極的に協力すると共に、そこでの検討内容について炉物理部会員有識者で構成される組織がレビュー及び意見交換する価値はあり、そのような組織体を炉物理部会に形成することには意義があると考えられる。

また、例えば[1-2-4]臨界事故評価手法標準の策定については、現状、そのモデルや評価方法に関する技術的知見の蓄積が乏しく、現段階で標準を検討する組織を立ち上げても、標準策定に関する有意義な議論は難しい。このような項目については、標準の検討以前に、その土台となるモデルや評価方法に関する技術知見を検討するアクションが必要であり、技術基盤[4-1-9]臨界事故評価手法の開発が先行される。この技術的検討にて十分な知見を得た後、標準検討に関する組織体の形成など適切なアクションを実施することが望ましい。

このように小分類項目ごとに技術的知見の深さ及び指針や標準を検討する母体が異なり、また、時間スケールや要求の強さなどの個別事情もあり、それぞれの項目に適した目的や時機、組織体で具体的にアクションを行うこととなる。その際には出来るだけ多くの炉物理部会員が自身の技術的知見を通じ積極的に貢献することが重要である。

以下に項目毎のアクションプランを示す。

中分類	小分類	概要	時間スケール	取り組み主体・方法の例、イメージ
[1-1] 法令・指針	[1-1-1] 指針体系見直しに対する貢献	規制基準では常に最高レベルの安全を追求し続ける事を目指しており、炉物理の視点から、最新知見や実績データが規制に反映される仕組みを構築し、規制の高度化に積極的に貢献する。	中長期的に継続して取り組む	「産・学・官」 民間規格として「産」「学」が取りまとめ、「官」にエンドースを促してゆく。また、震災前に検討されていた「指針体系見直し」の議論を再開する。
	[1-1-2] 規制体系における国際基準との整合性確認	我が国の継続的な安全向上への取り組みにおいて、海外規制体系やIAEA安全基準をはじめ、最新の知見(安全性強化のみならず合理化も含む)について、定期的なレビューを行う。また、我が国における知見について、世界レベルで共有、レビューされることで更なる原子力安全を目指す。	中長期的に継続して取り組む	「産・学・官」 民間規格として「産・学」が取りまとめ、「官」にエンドースを促してゆく。また、OECD/NEAと連携を深め、最新規制の動向や技術開発について情報共有を図る(産から人材派遣、学からインターン派遣、定期的ワークショップ開催など)。
[1-2] 民間規格・基準	[1-2-1] 解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大	トピカルレポート制度については、炉物理分野としては特に炉心解析コードに関する技術要件を明確化し、制度の活用と拡大を図る。	短期	「産・学・官」 民間規格として「産」「学」が学会標準などで取りまとめ、積極的に使用するとともに、「官」にエンドースを促してゆく。特に「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン」の炉物理分野における具体化を民間規格として取り組む。
	[1-2-2] 臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に関わる基準の策定	燃焼度クレジットや毒物クレジットといった反応度クレジットを適用する際の臨界安全設計と運用管理の手順について、評価の考え方、計算条件の設定、考慮する核種の選定、核データ、燃焼計算コードの妥当性確認法などを基準として規定する。	中期	「産・学・官」 民間規格として「産」「学」が学会標準などで取りまとめ、積極的に使用するとともに、「官」にエンドースを促してゆく。
	[1-2-3] クリアランス判定基準の高度化	放射性廃棄物の減容による処理・処分の合理化を進めることを目的として、放射能レベル(処分カテゴリの分類)設定時の、解析・測定技術にて求められる精度を明確にする。その上で、炉物理・核計算分野にて得られた最新知見に基づく高精度な放射能濃度測定・評価手法を規格・基準に反映する。	短期	「産・学・官」 民間規格として「産」「学」が学会標準などで取りまとめ、積極的に使用すると共に、「官」にエンドースを促してゆく。先行する計測による基準策定の動きに同調し、放射能濃度評価に炉物理的観点から貢献する。
	[1-2-4] 臨界事故評価手法基準の策定	臨界事故に関する評価の考え方や評価項目、評価手法等について標準化を行う。例えば、臨界事故の影響度と発生頻度の双方を精査し、事故リスクの定量化を行うための基準事象や標準的なモデルならびに評価方法等を規定する。	中期	「産・学・官」 民間規格として「産」「学」が学会標準などで取りまとめ、積極的に使用するとともに、「官」にエンドースを促してゆく。ただし、まずは技術的知見の蓄積に努め、十分な技術的基盤を構築する。
	[1-2-5] 燃料デブリ除去に関する未臨界管理基準の策定	東電福島第一事故の燃料デブリ除去に関して必要となる臨界安全設計、臨界安全管理に関して、評価の考え方(統計的な手法を含む)、評価ツールや使用データ、評価項目、評価基準等について標準を提示する。	短期	「産・学・官」 検討が進められている民間規格などを「産」「学」にて取りまとめ、積極的に使用するとともに、「官」にエンドースを促してゆく。

5.3. 人材基盤

はじめに、2017RM（人材基盤）に基づき行動を起こすためには、いつ・誰が・何を・どのように行うか、について検討する必要がある。各個人が独自の取り組みを行うことに対しては制約しないものの、人的・時間的リソースを考慮すると、ある程度アクションについての方向性を検討する主体があることが理想的であると考えられる。そのため、アクションの方向性を検討する主体として、炉物理部会の下部組織に部会長をリーダーとする炉物理分野の有識者5名程度のコアメンバーにより構成される「人材基盤WG」を立ち上げることを提案する。そして、実際のアクションに対する詳細な検討については、図5.3.1に示すイメージのような、人材基盤WG本体、もしくは炉物理部会の有志で構成されるサブグループ（以下SGと表記する）にて行うことを提案する。人材基盤WGの役割については、炉物理部会として取り組むべき項目のアクションの実施、SGメンバーの任命および承認、アクションの方向性の提示ならびに助言、アクションにて必要となる費用に関する炉物理部会運営委員会との折衝等とし、SGについては、人材基盤WGにて決定されたアクションに対する具体的な取り組みを行うこととする。

以降では、2017RM人材基盤カテゴリにて検討された細かな分類を踏まえて、人材基盤WG本体およびSGにて起こすべきアクションとその優先度ならびに時間的スケールについて検討を行う。

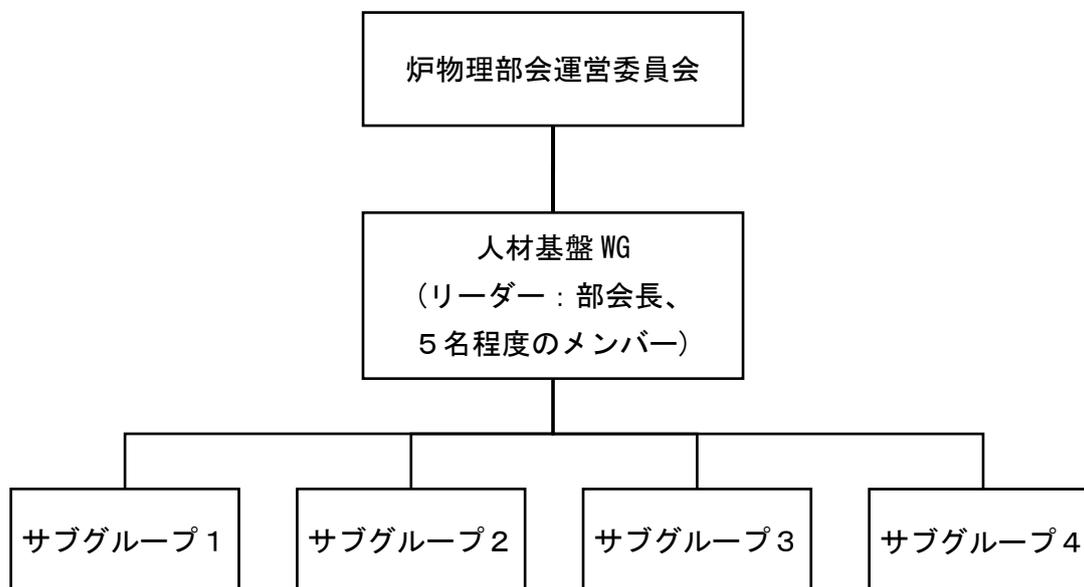


図 5.3.1： 人材基盤WGのイメージ

○人材基盤 WG が中心となって取り組むべき項目

● [2-1] 人材像の提示

- [2-1-1] 炉物理を専門とする人材に対する人材像の提示
- [2-1-2] 炉物理を専門としない人材に対する人材像の提示

人材像の提示は、原子力分野における人材育成を考える上で根幹となるものである。そのため、炉物理を専門とする人材に対する人材像については、様々な組織の炉物理有識者により検討されることが望ましい。また、炉物理を専門としない人材に対する人材像については、炉物理以外の他分野の意見を取り込むことが必要であると考えられることから、炉物理部会運営委員会の直下の組織である人材基盤 WG にて取り組むことが望ましい。

優先度ならびに時間的スケールの観点からは、前述の通り、人材像の提示は人材育成における根幹となることから、最も優先して早期に取り組むべき項目であると考えられる。

(参考：2012RM 振り返りにて、重要度・緊急度ともに S)

● [2-3] 専門教育

- [2-3-4] 炉物理講義要領の作成

ここで作成する炉物理講義要領は、今後の炉物理教育の軸となるものであり、前述の人材像とも密接に関わるものである。そのため、人材像の検討を行う人材基盤 WG にて同じく取り組まれることが望ましいと考えられる。

なお、本項目は、将来的な炉物理専門教員の不足を見据えた項目であることから、人材像ほど早急に取り組む必要は無いと考えられるが、人材像の検討に引き続いて、数年内に作成されるべきものであると考えられる。

(参考：2012RM 振り返りにて、重要度・緊急度ともに S)

● [2-4] 技術継承

- [2-4-1] コード開発・整備分野における技術継承

コード開発・整備分野における技術継承においては、米国 DOE の CASL プロジェクト、米国 MIT の OpenMC および OpenMOC、フィンランド VTT の Serpent 等のように、新規コード開発プロジェクトや既存の公開コードの情報の共有、各機関が有する解析コードのオープン化等の実施が効果的であると考えられるが、その時点での環境を踏まえてより効果的な技術継承スキームを検討する必要がある。例えば、コード開発・整備における技術継承のためにどのような制度・方法・手続きが適切で、どのような技術・プラットフォームにおいて技術継承を行うべきか、という点について人材基盤 WG が検討を行い、それに基づいて有志や SG がプロジェクトの立ち上げやコードの開発・整備を行う、といった方法が考えられる。また、技術やプラットフォームの議論についても SG 等が担うという方法もあり得るだろう。

コード開発・整備には長い時間がかかるものの、昨今のコード開発が出来る人材の減少を踏まえると重要度・優先度は高く、なるべく早急に技術継承の枠組みを検討し、提示する必要がある。

- [2-5] 機関・分野横断的な活動

- [2-5-2] 核データ・放射線工学・熱水力・材料基盤等の他分野と連携した分野横断的な人材育成

本項目は、炉物理分野単独ではなく他分野との調整が必要となる。現在においても、四部会合同の日韓サマースクールなどは炉物理部会運営委員会を通して運営・議論が行われていることから、炉物理部会運営委員会直下の組織である人材基盤 WG にて、本項目はサマースクールを含め、一旦、状況・内容を整理したうえで取り組むことが望ましい。

本項目の重要度は高いと考えられるが、時間的スケールの観点からは緊急性は無く、短～中期的に取り組むべき項目であると考えられる。

(参考：2012RM 振り返りにて、「機関のリソース・特徴を合理的に組み合わせた教育インフラの整備」は重要度 A、緊急度 B)

- [2-6] 国際的活動の推進

- [2-6-1] 国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援

若手研究者の海外研究交流支援については、費用面にて大きな金額を取り扱う必要がある。そのため、炉物理部会運営委員会に近い組織にて取り扱われることが望ましく、運営委員会直下の人材基盤 WG にて取り扱うことが適切である。人材基盤 WG では、既に運営委員会主導にて行われている国際学会渡航支援を含めた、幅広い海外研究交流の支援について検討する。

既に運営委員会主導の元で国際学会渡航支援が行われているように、本項目の重要度・優先度は高く、これからも継続して行われることが望ましいが、費用面の兼ね合いや他の支援方法、支援事業の実効性などについては定期的にチェック&レビューする必要があると考えられる。

○SG が中心となって取り組むべき項目

はじめに、SG については、2017RM にて提示された人材基盤における小分類を元に、人材基盤 WG が決定・承認したアクション毎に設置することを提案する。これは、同じ中分類の中でも技術分野等の方向性が小分類毎に異なること、中分類毎に1つの SG では、多くの小分類を抱える中分類において人的・時間的リソースの問題から活動が円滑に進まないなどの弊害が発生することが考えられるためである。

また、2017RM の大分類 人材基盤は主に炉物理人材育成のために必要な活動等をまとめたものとなっており、例えば 2017RM を元に開発・検討された事柄を如何に人材育成のた

めの教育に活かすかが重要である。そのため、開発・検討を行う SG とは別に、人材育成のための教育アプローチについて検討する SG を設置することを提案する。

以下では SG を設置するための目安となる指標を提示するために、小分類ごとの優先度および時間的スケール等を検討する。

- [2-2] 公衆理解・初等教育

- [2-2-1] 一般公衆向けの、原子力技術・放射線・核反応に関する平易な教材の開発
- [2-2-2] 炉物理に興味を持った人向けの情報発信ツールの開発
- [2-2-3] 炉物理の基礎学習のための導入的な教材の開発

中分類「公衆理解・初等教育」にて挙げられた 3 項目については、一般公衆や炉物理初修者へのアプローチとしてどれも重要であるが、まずは炉物理分野に近い人に対して炉物理を分かりやすく学習できる環境を整備することが重要であり、それを踏まえて一般公衆へアプローチの範囲を広げていくことが望ましい。そのため、優先度としては[2-2-3] > [2-2-2] > [2-2-1]と設定し、2017RM の時間スケールで提示されているように、[2-2-3]はなるべく早く開発へ着手すること、[2-2-2]は短～中期的な実施、[2-2-1]は中期的な実施とすることを提案する。

- [2-3] 専門教育

- [2-3-1] 原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発
- [2-3-2] 臨界安全を学ぶための教材の開発
- [2-3-3] 炉物理教材のデータベース化
- [2-3-5] 炉物理の様々な話題に関する教育機会の提供

マルチフィジックスを含む炉物理教材[2-3-1]について、原子炉での複合的な物理現象を網羅的に理解するための教育機会をなるべく早く提供するためには、早期に整備することが望ましい。また、核燃料管理のためには臨界安全に関する知識は必須であり、臨界安全を系統立てて理解するための教材[2-3-2]を早期に作成することは重要である。炉物理教材のデータベース化[2-3-3]については、教材の整備状況等を踏まえて継続的に実施することが望ましい。炉物理における特定の分野を取り上げた教育機会の提供[2-3-5]は手法等の理解を深める助けとなるため、適宜実施すべきであると考えられる。

以上を踏まえると、優先度としては[2-3-1]・[2-3-2]が高く、[2-3-3]・[2-3-5]は中程度と考えられる。また、[2-3-1]・[2-3-2]については短期的、[2-3-3]は短～中期的、[2-3-5]は期間全体にわたって継続的に適宜に実施することを提案する。

(参考：2012RM 振り返りにて、「原子力安全のための炉物理教材の開発」は重要度、緊急度ともに B、「炉心設計学習のための炉心解析用ツールの開発(核・熱・機械連成解析)」は

重要度 A、緊急度 B、「臨界安全学習のための教材と学習ツール開発」は重要度 A、緊急度 B)

- [2-4] 技術継承

- [2-4-1] コード開発・整備分野における技術継承
- [2-4-2] 炉物理実験分野における技術継承
- [2-4-3] 原子炉設計に関する設計思想・技術の継承

コードの開発に携わる人材は過去と比べて減少していることから、人材基盤 WG にて検討されるコード開発・共通化に関するフレームワークを元に、コード開発・整備分野の技術継承[2-4-1]は早期に実施すべきである。また、昨今の炉物理実験施設の高経年化ならびに廃炉の議論が行われていることを鑑みると、炉物理実験分野における技術継承[2-4-2]の重要性は特に高く、早期に実施すべきであると考えられる。新型原子炉の開発、原子炉設計技術の継承のためには、原子炉設計に関する設計思想・技術の継承[2-4-3]を継続して実施することが重要となる。

以上を踏まえると、優先度としては[2-4-2]が高く、[2-4-1]・[2-4-3]は中程度と考えられる。また、[2-4-2]については短期的、[2-4-1]は WG の技術継承の枠組みの立案から継続的に短～中期的に、[2-4-3]は中期的に実施することを提案する。

- [2-5] 機関・分野横断的な活動

- [2-5-1] 炉物理分野における機関横断的な人材育成環境の整備

本アクションプランにて開発する炉物理教材ならびに各機関が有する解析技術などのソフトウェアおよび臨界集合体などのハードウェアを活用する教育インフラを整備することで、人材に限られている現状でも効果的な人材育成環境を構築することが可能であると考えられる。このため、本項目の緊急性はないものの、教材の開発状況および各機関の教育インフラの整備状況を踏まえて継続的に実施するべきと考えられる。

以上を踏まえ、本項目の優先度は中程度であり、教材開発・教育インフラ整備に関する情報交換を継続的に行いつつも、全体としてのアクションは動向を踏まえつつ中期的に実施することを提案する。

(参考：2012RM 振り返りにて、「各機関のリソース・特徴を合理的に組み合わせた教育インフラの整備」は重要度 A、緊急度 B)

- [2-7] 炉物理実験施設の利用・提案

- [2-7-1] 人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理研究施設の提案

炉物理研究者の育成のためには炉物理実験を通じた学習が有効であるものの、既存の炉物理実験施設の中には廃炉が決定・検討されている施設も多く、建設当時のニーズに合わ

せた設計であるために実施可能な実験には限りがある。このため、炉物理実験による効果的な炉物理教育を持続的に実施するためには、既存の研究炉・関連施設の活用を推進し、かつ今後の炉物理教育・研究に活用できる新たな施設を早期に提案することが必要である。

以上を踏まえ、本項目の優先度は高く、短期～中期的に実施することを提案する。

● 炉物理人材育成のための教育的アプローチ検討 SG

前述の通り、2017RM を基に、教材開発・技術継承・人材育成基盤の整備のためのアクションが今後行われていくものと考えられる。しかしながら、教材開発で言えば、教材を開発することが最終的な目的ではなく、開発した教材を使用して如何に炉物理人材育成に活かすかが重要である。そのため、「[2-3-5] 炉物理の様々な話題に関する教育機会の提供」が示されているように、各アクションの進行状況等に応じて、炉物理夏期セミナー等の教育機会を利用する、大学間の連携を図る等の具体的な教育的アプローチについて検討する必要がある。

本 SG の活動については、SG が承認され次第開始することとし、継続的に活動を行うことを提案する。

以上を踏まえ、各 SG におけるアクションと時間的スケールを表 5.3.1 のようにまとめる。優先度が高いと考えられるアクションについては、下線付きで表記する。

以上では 2017RM の人材基盤に基づくアクションプランについて述べた。新たに有効なアクションを起こすこと、すなわち「ビルド」することが重要であるのは論を俟たないが、これまで実施されてきたアクションについて、その内容を精査し、適宜「スクラップ」することも重要であるため、こういった検討も人材基盤 WG にて実施することが望ましい。

また、人材基盤に関するアクションについては、国が行っている原子力分野の人材育成事業を活用することも有効であると考えられる。

表 5.3.1 人材基盤に関するアクションの時間的スケールについて

(a) 人材像の提示、公衆理解・初等教育

項目	短期 (現在～2020年頃)	中期 (2030年頃)	長期 (2050年頃)
<p>[2-1] 人材像の提示</p>	<p>↔ [2-1-1], [2-1-1] 炉物理/炉物理以外 の人材に対する人材 像の検討(WG)</p>		
<p>[2-2] 公衆理解 ・初等教育</p>	<p>↔ [2-2-3] 炉物理の基礎学習の ための導入的な教材 の開発(SG)</p> <p>↔</p> <p>[2-2-2] 炉物理に興味を持った 人向けの情報発信ツ ールの開発(SG)</p>	<p>↔</p> <p>[2-2-1] 一般公衆向けの、原子力技 術・放射線・核反応に関する 平易な教材の開発(SG)</p>	

(b) 専門教育

項目	短期 (現在～2020年頃)	中期 (2030年頃)	長期 (2050年頃)
<p>[2-3] 専門教育</p>	<p>←→</p> <p>[2-3-4] 炉物理講義要領の 作成(WG)</p>		
	<p>←→</p> <p>[2-3-1] 原子力安全を学ぶための マルチフィジックスを含 む炉物理教材の開発(SG)</p>		
	<p>←→</p> <p>[2-3-2] 臨界安全を学ぶための教 材の開発(SG)</p>		
	<p>←→</p> <p>[2-3-3] 炉物理教材のデータベ ース化(SG)</p>		
		<p>←→</p> <p>[2-3-5] 炉物理の様々な話題に関 する教育機会の提供(SG)</p>	

(c) 技術継承、機関・分野横断的な活動

項目	短期 (現在～2020年頃)	中期 (2030年頃)	長期 (2050年頃)
<p>[2-4] 技術継承</p>	<p>[2-4-1] コード開発・整備分野における技術継承 <u>(継承フレームワーク立</u> 案：WG, 実務作業：SG)</p> <p>[2-4-2] <u>炉物理実験分野における</u> <u>技術継承(SG)</u></p>	<p>[2-4-3] 原子炉設計に関する設計 思想・技術の継承(SG)</p>	
<p>[2-5] 機関・分野 横断的な活動</p>	<p>[2-5-1] 炉物理分野における機関 横断的な人材育成環境の 整備(SG)</p> <p>[2-5-2] 核データ・放射線工学・熱 水力・材料基盤等の他分野 と連携した分野横断的な 人材育成(WG)</p>		

(d) 国際協調、炉物理実験施設の利用・提案。炉物理人材育成のための
教育的アプローチの検討

項目	短期 (現在～2020年頃)	中期 (2030年頃)	長期 (2050年頃)
<p>[2-6] 国際的活動の推進</p>	<p>[2-6-1] <u>国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援(WG)</u> (支援のあり方の検討)</p>	<p>[2-6-1] 国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援(WG) (支援のあり方のチェック&レビュー)</p>	
<p>[2-7] 炉物理実験施設の利用・提案</p>	<p>[2-7-1] <u>人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理研究施設の提案(SG)</u></p>		
<p>炉物理人材育成のための教育的アプローチの検討</p>		<p>開発教材・資料の活用方法に関する検討、 教育機会の検討(SG)</p>	

5.4. 施設基盤

施設基盤のアクションプランについては、各組織の保持する施設によってそれぞれ事情が異なることもあって、基本的に各組織が 2017RM を受けてどのような施設利用・維持・高度化の活動を行うか、に委ねられていると考えられる。このため、現時点では炉物理部会としての具体的なアクションは示していない。しかしながら、各施設でできることは限られており、各施設の方向性が必ずしも同じではないので、まずは共通の課題を見つけて協力して取り組むための体制を構築することが重要との共通認識がある。このような共通の課題を抽出するための活動の一例として、以下のようなものが考えられる。

(活動案)

1. 各組織における炉物理 RM の活用事例や RM への要望などを共有し、定期的に RM へフィードバックする。例えば、メーリングリストを利用したアンケート等を定期的に実施する。
 - 施設基盤に限らず、まずはこのような活動を通じて、RM のあり方や WG 活動の方向性、各組織の状況などを検討・整理することが重要である。その後、状況に応じて、下記のような活動を学会として検討してもよいと考えられる。

2. 炉物理 RM 活動の延長として、WG による活動を行う。
 - ・ 施設・装置等について、今後新たに必要となるもの、維持が必要なもの等をリストアップし、理由、重要度、緊急度等を設定する。例えば、研究炉・実験炉に関しては、2017RM で言及されているように、廃止検討施設と位置付けられ、代替炉の要望が多方面からあるにもかかわらず、その計画が不透明なもの等がある。このように、特に緊急度が高いと考えられる施設・装置等に関しては、より優先的に検討を進める必要があると考えられる。
 - ・ 施設利用者としてどういった技術を維持・継承していくべきか検討・リストアップし、技術維持や人材育成等を目的とした研修・実習を提案する。
 - 1. の活動等を通じて、産学官のベクトルの違いや施設所有・非所有の立場の違いなどを検討した上で、最善の形で進める必要がある。

また、2017RM の各項目の取り組みに対する時間スケールと取り組む主体等についてまとめたものを表 5.4.1 に示す。いくつかの項目については、議論の中でより具体的な進め方(方法)のイメージが示されたものもあるので、併せて示した。

表 5.4.1 施設基盤のアクションプラン

中分類	小分類	概要	時間スケール	取り組む主体・方法の例、イメージ
[3-1] 臨界実験装置の維持・高度化及び新設	[3-1-1] 臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持	<p>今般、臨界集合体は震災後の新規基準への対応等による管理コストの増大、限られた人的資源、核セキュリティ・サミットの声明に基づく核物質の最小化といった制約等の多くの困難に直面しているが、これらの困難に対応し炉物理分野として臨界実験装置を維持していく施策を検討する。</p> <p>技術維持の点から、稼働している施設の利用は不可欠であり、現行施設の再稼働・及び施設の改良は必須である。</p> <p>また、個別の施設の維持管理に留まらず、今後どのような臨界集合体が必要であるか炉物理分野全体で議論し、維持管理費用等の有効活用の観点から、現行施設の試験機能の集約、及び臨界実験装置の新たな可能性も含めた新施設の提案、それら施設の利用形態等についても検討する。</p>	長期	<p>取り組む主体：学・産・官</p> <p>方法のイメージ： 今後必要な臨界実験装置イメージの例として、下記のような測定が可能な施設が挙げられる。 燃焼度クレジットの観点からは、MOX燃料や燃焼燃料などが扱え、燃料の形状としてペレット、棒、複数棒での反応度が測定できることが望ましい。</p> <p>炉心設計の検証データの観点からは、様々なウラン濃縮度の異なるデータや、異なる種類の核分裂性物質、燃料親物質のデータ、将来型の燃料に向けては非酸化ウラン燃料など様々な形態の燃料が測定できることが望ましい。</p>
	[3-1-2] 臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大	<p>臨界及び未臨界実験では、対象とする実機体系を模擬して測定が行われるが、体系を模擬する技術そのものの開発を行うとともに、それを実現する装置の導入や、施設の管理規程などのあり方を検討する。特に、各プロジェクトで対応可能な範囲の小規模装置よりも、臨界実験装置の可能性を広げる大規模装置を含めた、複合施設として高度化された臨界実験装置を検討する。</p> <p>模擬する対象としては、臨界状態のみならず、様々な状態における臨界安全技術の開発に向け、例えば燃料デブリなど多様な形態を持つ未臨界状態を模擬できる施設・設備を検討する。</p>	中期	<p>取り組む主体：学・産・官</p> <p>方法のイメージ： 測定できる項目について様々な構成が考えられるが、複数種類の起動用中性子源、炉心構成要素の多様化、安全棒などの運転形態の多様化が望まれる。また、ドブラー反応度測定のための加熱装置や地震動模擬のための加震装置、加圧装置・ボイド発生装置やホウ酸水濃度を制御する装置などの多様な装置との複合が例として挙げられる。</p>
[3-2] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設	[3-2-1] 研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設	<p>新規基準への対応のために多くの研究炉・実験炉が停止している中、本来の役割を果たせるように、早期に新規基準をクリアし再稼働できるようにする。原子力安全性向上研究から中性子の産業利用まで広い利用分野を考慮し、必要となる研究炉・実験炉の機能の強化及びリプレース、新興国への輸出も視野に入れた新たな研究炉・実験炉を提案していく。</p>	中期	<p>取り組む主体：学・産・官</p>
[3-3] ホットラボの維持・高度化及び新設	[3-3-1] ホットラボの維持・高度化及び新設	<p>燃焼を伴う炉物理の検証に必要な照射後試験、ホットラボの機能強化を提案していく。特に1F燃料デブリの性状把握、臨界管理に向け、1F燃料デブリのサンプル分析が可能なホットラボの整備、照射後試験による燃焼計算精度の検証等が求められる。また、例えばホットセルと加速器を組み合わせた複合施設など、既存施設の枠組みにとらわれず、より自由度の高い実験が可能となるよう施設の高度化・新設を提案していく。</p>	短期・中期	<p>取り組む主体：学・産・官</p>
[3-4] 加速器施設の維持・高度化及び新設	[3-4-1] 加速器施設の維持・高度化及び新設	<p>核データの精度向上・検証には加速器施設が不可欠であり、原子炉物理の観点から必要な核データの反応種類、エネルギー範囲、精度の確保等のための施設・設備の維持・拡充について提案を行っていく。放射性廃棄物の減容化等の観点から、特にMAやLLFPの断面積精度の高度化やADSの基礎研究を進める。</p>	中期	<p>取り組む主体：学・産・官</p> <p>方法のイメージ： 施設高度化の例として、加速器施設に、RIに加えて核燃料が取り扱えるホットセル等が併設されることが望ましい。</p>
[3-5] 実機を活用した測定技術開発及びデータ採取	[3-5-1] 実機プラントの研究のための有効利用	<p>実機プラントを使用した安全研究のためのデータ採取や、廃止措置プラントの廃炉過程における放射化量の詳細な測定、使用済燃料の崩壊熱測定や非破壊分析、その他炉物理に係る種々パラメータの測定場としての利用の推進を通じて、実機プラントの最大限の有効利用を図る。また、新設プラントの研究利用に配慮した設計の推進や廃止措置予定プラントの実機ならではの測定データ取得への取り組みなど、実機の特性を生かした研究や教育の場として限られた設備を最大限に有効利用することを目指す。</p>	中期・長期	<p>取り組む主体：学・産・官</p>

6. まとめ

日本原子力学会炉物理部会において、「炉物理ロードマップ調査・検討」WG を立ち上げ、炉物理部会が 2012 年に策定した炉物理研究開発ロードマップ（2012RM）のローリング作業を行い、2017 年版炉物理研究開発ロードマップ（2017RM）を策定した。

今回のローリングにおいては、まず、研究開発ロードマップを策定する際にもっとも根本となる「炉物理のあるべき姿」から議論をはじめ、炉物理の Vision と Mission を策定した。そして、これらの議論、現在の原子力界の状況及び 2012RM の振り返りを入力情報として、ロードマップの改定作業を行った。

2017RM は、前回と同様、①制度基盤、②人材基盤、③施設基盤、④技術基盤の 4 カテゴリーに分類し、それぞれの分類において、詳細なロードマップの策定を実施した。また、ロードマップとして策定された課題のうち、個別の技術課題である④技術基盤を除き、①制度基盤、②人材基盤、③施設基盤において、炉物理部会として取り組むべきアクションの検討を行った。

本ロードマップは、今後の炉物理分野の研究開発を検討する際に有益な情報となるはずであり、策定 WG メンバー以外にも本ロードマップが共有され、様々な主体が研究開発の方向性を検討する際の情報として活用されることが期待される。

また、炉物理部会として議論されたアクションに今後取り組んでいくとともに、外的環境の変化に合わせ、定期的にロードマップを改定していくことが望まれる。

付録 1. WG メンバーリスト

	氏名	所属	
主査	山本章夫	名古屋大学	
	桐村一生	三菱重工	
幹事	三木陽介	テプコシステムズ	
	千葉豪	北海道大学	
メンバー	横山賢治	日本原子力研究開発機構	
	相澤直人	東北大学	
	竹澤宏樹	東京都市大学	
	小原徹	東京工業大学	
	亀山高範	東海大学	
	遠藤知弘	名古屋大学	
	竹田敏	大阪大学	
	卞哲浩	京都大学原子炉実験所	
	ファン・ローイエン	福井大学	
	福島昌宏	日本原子力研究開発機構	
	多田健一	日本原子力研究開発機構	
	名内泰志	電力中央研究所	
	松宮浩志[1]	東芝	
	吉岡研一[2]	東芝	
	光安岳	日立製作所	
	岩田智樹	GNF-J	
	大岡靖典	原子燃料工業	
田淵将人	原子力エンジニアリング		
オブザーバ	藤田達也	原子力規制庁	
	吉岡研一[1]	東芝	
	山崎正俊	スタズビック・ジャパン	
	馬野琢也	東芝	
	深堀智生	日本原子力研究開発機構	
	青木繁明	三菱原子燃料	
	山根祐一	日本原子力研究開発機構	
	外池幸太郎	日本原子力研究開発機構	
	郡司智	日本原子力研究開発機構	
	渡邊友章	日本原子力研究開発機構	
	石谷和己	原電エンジニアリング	
	吉井貴	テプコシステムズ	
	阿萬剛史	テプコシステムズ	
	黒田祐輔	テプコシステムズ	
	アドバイザー	岡嶋成晃	日本原子力研究開発機構
		竹田敏一	福井大学
		佐治悦郎	MHI NSエンジニアリング

[1] 2017/5/28まで

[2] 2017/5/28から

付録 2. 会合の議事録

以下に、計 4 回の WG 会合の要約を示す。

○第 1 回会合

日時：2017 年 12 月 22 日（木） 13:30-17:00
場所：株式会社テプコシステムズ 11F-M4 会議室
参加者数：30

○第 2 回会合

日時：2017 年 2 月 23 日（木） 13:30-16:30
場所：東京工業大学 大岡山キャンパス北 1 号館 1 階会議室
参加者数：24

○第 3 回会合

日時：2017 年 5 月 23 日（火） 13:30-17:00
場所：株式会社テプコシステムズ 11F-M4 会議室
参加者数：23

○第 4 回会合

日時：2017 年 8 月 7 日（月） 15:00-18:00
場所：株式会社テプコシステムズ 11F-M4 会議室
参加者数：22

以降に、各会合の議事録を掲載する。また、日本原子力学会 2017 年秋の大会期間中に開催された部会企画セッション「原子炉物理分野の研究・開発ロードマップの更新」で行われた議論の内容をまとめたものも会合議事録のあとに掲載する。

「炉物理ロードマップ調査・検討WG」第1回会合議事録

日時：2011年12月22日（木） 13:30-17:00

場所：株式会社テプコシステムズ 11F-M4 会議室

参加者(敬称略)：山本章夫、千葉豪、横山賢治、桐村一生、三木陽介、相澤直人、竹澤宏樹、遠藤知弘、竹田敏、卞哲浩、ファン・ローイエン、福島昌宏、多田健一、名内泰志、松宮浩志、光安岳、岩田智樹、大岡靖典、田渕将人、藤田達也、吉岡研一、馬野琢也、青木繁明、山根祐一、渡邊友章、石谷和己、吉井貴、阿萬剛史、黒田祐輔、岡嶋成晃、計 30 名

配布資料

1. 「炉物理ロードマップ調査・検討」WG 第一回会合のご案内 (RPRM2016-1-00)
2. 炉物理ロードマップ調査・検討WG メンバーリスト (RPRM2016-1-00)
3. 「WGにおける進め方の基本的な考え方」に関して (RPRM2016-1-01)
4. 原子力を取り巻く環境変化について(ドラフト) (RPRM2016-1-02)
5. 炉物理の「あるべき姿」についての意見集約 (RPRM2016-1-03)
6. 2012RM 振り返り方法(案) (RPRM2016-1-04)
7. スケジュール概要 (RPRM2016-1-05)

議事

配布資料1の議事次第に沿って議事を進行した。

○WGの趣旨説明

山本主査よりWGの主旨について説明があった。本WGの主目的は意見を交わすこと自体にあり、それによって自ずと今後の炉物理研究、教育、そのために必要な活動などのベクトルが合ってくることを期待するものである旨述べられた。ロードマップ自体はその議論のアウトプットの一部という位置づけではあるが、2012RMは自主的安全性向上・人材育成ロードマップで引用されており、国レベルで役立っている。コミュニケーションという意味では、炉物理、原子力、一般の三つが考えられるが、今回は主要なターゲットを炉物理分野とし、必要に応じて様々な原子力分野を対象としたい。

(質疑)

ベクトルを合わせることに目的なのか。何かを強いるものではないという認識だが。

→ 何かを強いるわけではなく、それぞれの多様性を活かしつつ議論を重ねてゆくうちに、方向性が集約されてゆくという考えである。そもそも炉物理部会で行う議論に、何かの強制力が生じるものではない。

○ロードマップ改訂にあたっての基本的な考え方

千葉委員より WG における進め方の基本的な考え方および事前収集コメントに対する回答が示された。以下議論を行い、基本的な考え方、進め方について共通認識を得た。

(意見)

- ・ 学生時代に過去の炉物理界の方向性、考え方を知ることは無かった。学生に対し大人はこういう目標、覚悟を持って炉物理をやっているということを示すことをイメージした作りとすべき。
- ・ 炉物理の必要性を検討する際に、炉物理の内々でやり取りをしていると、自身の殻に籠った議論になりがちである。他分野の方の意見も踏まえ本当に必要なものを洗い出すことが必要ではないか。
→ アドバイザーとして原子力の広い分野に精通されておられる方に入っていただき、バランスを欠かないようご指導頂く。
- ・ 2020 年、2030 年、2050 年という時期設定の背景として、2020 年は手が届く未来、2030 年は廃炉、再稼働などの実績が現れ状況転換が起こりうる未来、2050 年はエネルギープロファイルが変わるなど大きな変化が起こりうる未来という考えがある。
- ・ RM の使い方として RM を根拠にすると対外説明性が高いという実利もあるが、RM の議論自体においては、説明性等を主として考慮せず、純粋に炉物理の未来、やるべきことに焦点をあて検討する。
- ・ 世界トップレベルを目指すという考えがあるが、現メンバーが集まって議論すれば世界トップレベルのものになるのではないか。その意味で、世界トップレベルを目指すというのは、デフォルトであり、強調する必要はないのでは。

○原子力の現状認識について

桐村委員より「原子力を取り巻く環境変化について」が示され、議論を行った。現状について大枠で共通認識を得るとともに、課題抽出を行った。

(意見)

- ・ これまで「生まれる」部分に注目された議論が多かった。今後は原子炉のライフサイクル(ゆりかごから墓場まで)を通じた議論がなされるべき。
- ・ 人材育成の観点で「論文を書く、(論文を書く経験を積んだ人が)レビューする、(レビュー経験を積んだ人が)著者を育てる」という流れが上手く出来ておらず、将来論文を書ける人が居なくなる。
- ・ 人材育成の課題抽出の観点から 3.11 以降の学生の志望動機を考えてはどうか。実際に学生の話を見ると廃炉をやりたい、事故の原因究明をしたいという特定の意思を持っている方が多い。
- ・ 既存の技術についても必要な技術・人が失われている。失っては困る技術領域(基幹技術)についてもふれるべき。

- ・製品、マーケットが無くてはドライビングフォースが発生しないのが現実。
- ・核燃料サイクルが上手く行っていない現実があり、処分場も決まらない中では、いくら再稼動を行っても、近い将来プールが一杯になり運転が出来なくなる。

○2020、30、50年の炉物理の目指す姿について

横山委員より炉物理の「あるべき姿」についての意見集約が示され、議論がなされた。「あるべき姿」について活発な議論がなされ、意見交換がなされた。また、より大きな視点から考える事を目的に、各人が考える「炉物理とは何をするための学問か」をミッションステートメント、ビジョンなどの形で意見集約し、それを基に目指す姿を議論することとなった。

(意見)

- ・炉物理に関わるどんな状況、対象に対しても「評価のニーズ」に対応出来る状況にする。
- ・評価コードだけがあってもだめ。コードを使える人も必要であり、これらを育成できる人も必要。また人材の育成を望む人も必要。このような状況を構築するためにもビジョンを示しておく必要がある。
- ・人口が減っていくのは確実であり、AI技術を用いた自動化によりそれらを補うという観点も必要。
- ・原子炉物理に関するビジョンを各自示してはどうか。大元の炉物理の目的は昔から変わっていない。炉物理は原子炉の1丁目1番地で、計算科学のトップランナーと思っているが、今回挙がっているあるべき姿の半分以上はこの観点に合致している。ビジョンから見方を広げるとマルチフィジックスにつながると考えることも出来ると思う。
- ・「ビジョン・ミッション・ストラテジ」の考え方からもビジョンから見方を広げるのは有効。炉物理は何をするための(何のための)学問か意見集約したい。

○2012RMの振り返り分担案

三木委員より事前アンケート結果に基づく2012RM振り返り方法案が提示され、議論を行った。議論の結果内容が具体化され、実施方法が明確化された。また、振り返り作業の実施について共通認識を得た。

(意見)

- ・2012RM振り返りのアウトプットは2016RM更新への入力の一つである。そのため今回は2012RMの枠組みでの課題抽出に望んで頂き、追加項目や新たなアイデアがあれば次回の会合において更新作業方法について議論を行うので、そこでご提案頂く。
- ・重要度は炉物理の将来にとっての重要性に基づき設定する。
- ・重要度、緊急度について絶対評価は困難であるので相対評価を行う。なお、各個人で評価を行った後、各Gr、さらに第2回会合での調整・合意というプロセスを踏むことから、相応の相場観を持った評価となるものと考えている。

- ・ ポジティブなアクションがあったものの進まなかったものについても、重要度、緊急度による評価を行うと共に、アクションが進まなかった理由の考察を行う。
- ・ 1月末に各 Gr の評価結果を幹事間で取りまとめるため、各 Gr の作業はそれまでに完了する。
- ・ Gr メンバーは各項目を評価するのに加え、各 Gr の評価結果を纏め上げる役割がある。
- ・ 希望の項目があれば他 Gr の項目評価にも参加可能。
- ・ オブザーバも希望の項目があれば評価に参加可能。
- ・ 作業の効率化のため 2012RM 振り返りのフォーマットを用意する。

○今後のスケジュール

次回の会合は 2/23(木)東京開催を予定。議事は 2012RM 振り返り作業の集約と、新 RM 策定作業方法の検討、作業分担協議。

<アクション事項>

【幹事】

- ・ 現在までに頂いている「あるべき姿」についての意見集約を大枠(ビジョン)でくくり再整理する。[~1/25]
- ・ 2012RM 振り返り評価結果のフォーマットを委員に提示する。[各 Gr 幹事対応]
- ・ 2012RM 振り返り結果をとりまとめる。[~1/31]
- ・ 2/2 に幹事会を行う。(2012RM 振り返りの調整と、2016RM 更新作業の進め方について議論)

【委員】

- ・ 各割当 Gr の 2012RM 項目について振り返りを行う。[各 Gr で締め切り設定(~1/25)]
- ・ 「炉物理とは何をするための学問か」を幹事に送付する。(2~3 行程度で簡潔に)[~1/25]
- ・ 炉物理の「あるべき姿」について、追加でご意見を頂く。[~1/25]

以上

「炉物理ロードマップ調査・検討WG」第2回会合議事録

日時：2017年2月23日（木） 13:30-16:30

場所：東京工業大学 大岡山キャンパス北1号館1階会議室

参加者(敬称略)：山本章夫、桐村一生、三木陽介、千葉豪、横山賢治、相澤直人、竹田敏、
下哲浩、ファン・ローイエン、福島昌宏、多田健一、名内泰志、松宮浩志、光安岳、岩田
智樹、大岡靖典、田渕将人、柴茂樹、吉岡研一、山崎正俊、深堀智生、渡邊友章、石谷和
己、佐治悦郎、計24名

配布資料

1. 「炉物理ロードマップ調査・検討」WG 第二回会合のご案内 (RPRM2016-2-00)
2. 「炉物理ロードマップ調査・検討」WG 第一回会合議事録 (RPRM2016-2-01)
3. WGの基本的な考え方と大まかな進め方 (RPRM2016-2-02)
4. 炉物理の Vision と Mission (RPRM2016-2-03)
5. 炉物理の「あるべき姿」についての意見集約(再整理) (RPRM2016-2-04(1))
6. 炉物理の「あるべき姿」についての意見の詳細(前回会合からの追加分)
(RPRM2016-2-04(2))
7. 2012RM 振り返り結果について (RPRM2016-2-05(1)~(5))
8. 2016RM の策定方針について (RPRM2016-2-06)

議事

配布資料1の議事次第に沿って議事を進行した。

1) 前回議事録の確認

第一回会合議事録を確定させた。

2) 「WGにおける進め方の基本的な考え方」について

WGの基本的な考え方及び大まかな進め方を述べた文書「WGにおける進め方の基本的な考え方」について、第一回会合での議論を反映させた改訂版について内容を確認し、確定させた。

3) 「炉物理は何をするための学問か？」集約結果について

第一回会合後にWGメンバに提示された宿題「炉物理は何をするための学問か？」に対する回答を、炉物理の Vision と Mission (Visionを実現するためになすべきこと)として主査・幹事がまとめた文書について議論が行われた。本文書が「炉物理部会の経営方針のような位置づけ」になるものであることが主査より補足された。以下、議論の内容を箇条

書きでまとめる。

- ・2012RMは現在からの外挿が主となっているが、その一方で、目標を決めてそこに辿り着くための課題を抽出するという観点も重要であり、VisionとMissionはそのための材料となる。

- ・核燃料施設における臨界安全を含めるとするならば「原子炉」という用語は限定的であるので、用語について主査・幹事で検討する。

- ・Missionの1項目目における「客観的な指標」とは、Public Acceptanceというよりも、「社会に立場に立って、社会に対して責任を持って発信できる情報」と考えればよい。

- ・Missionの2項目目において、安全性と経済性、環境調和性が並列の扱いとなっているので、安全性が最重要であることを明示する。

- ・Missionの4項目目における括弧書き中の「原子力利用」とは「中性子と原子核の相互作用の活用」そのものであるので、混乱を招くため、括弧書き自体を削除する。

- ・Vision、Missionを通して、原子力エネルギー利用に特化したものという印象が強い一方で、Missionの4項目目のみが対象範囲を拡大する位置づけとなっているので、4項目目を最後の項目に移動する。また、この4項目目については、「原子力エネルギー利用を中核としつつも原子炉物理の裾野を広げるという意味でその対象範囲を拡張する」というように考える。

- ・Visionの「様々な物理現象」やMissionの3項目目の「物理現象」には、熱水力計算や燃料計算といった従来の炉物理の範疇の外にあるものも含んでいることを強く認識する必要がある。

4) 「あるべき姿（既定の枠組みベース）」の再整理結果について

第一回会合前および後にWGメンバーより収集した「原子力のあるべき姿」について、2012RMの大分類、中分類、小分類で分類し直した結果が示された。2016RM策定の参考資料として使われることになる。高速炉については「革新炉」よりは現実的であるので、項目として配置する場所を工夫する必要があることが指摘された。また、他の分野の技術をどうとりこむか、という観点から整理するのはどうかという提案があった。

5) 「2012RM 振り返り」結果について

第一回会合後に実施された2012RMの振り返り作業の結果のレビューを行った。なお、重要度と緊急度は議論の対象外とすることが確認された。各々の項目に関するコメント等は以下の通り。

- ・制度基盤における指針体系、標準化の見直しについて、このような活動に対して炉物理の専門家としての積極的な参加が推奨される旨のコメントがあった（炉物理分野としての貢献、規制側へのフィードバックという観点から）。

- ・人材基盤に関連して、文部科学省の調査では原子力を専攻する学生の人数が減少してい

るという事実は無いというコメント、炉物理の教科書に関して原子力学会の剰余金や部会の Physor 剰余金の活用を考えてはというコメントがあった。また、制度基盤の議論に関連して、外部の委員会等で発言・貢献できる人材を育てるという点が入っていないのではという指摘があった。

・施設基盤に関連して、数年後には KUR や KUCA が廃止となって RM の対象となる施設自体がなくなる可能性がある旨、ホットラボについては JAEA が福島で2つ建設中である旨、コメントがあった。

・技術基盤に関連して、核データ評価側に炉物理側に関心をもってもらう働きが必要である旨、不確かさ評価技術における解析モデル誤差の設定に取り組んでいる点がもれている旨、臨界実験における部分モックアップの模擬性の評価が重要となる旨のコメントがあった。また、国産コードの国内での活用の懸念が指摘された点について、そもそも開発のモチベーションは「海外コードが使えなくなったときに備える」ことだった旨が確認された一方、国産コード開発主体（JAEA）としては、「第二のコード・保険のためのコード」というよりも「利用されるコード」としての実績が重要である旨、コメントがあった。

2012RM 見直しの結果は 2016RM の報告書の添付資料として利用する予定なので、最終的には担当者、重要度、緊急度等、公開されることを考慮した修正が必要となることが確認された。

6) 2016 策定方針について

RM 策定にあたっての2つの考え方として、ボトムアップ (Forecast) とトップダウン (Backcast) について説明があった。Backcast では、Vision から Mission、課題、課題が解決されるべき時期、という流れで整理を行う。時間軸は短期、中期、長期という大まかな括りで落とし込むものとする。2012RM はほぼ Forecast で作ったので、2016RM では Forecast の見直しを行うとともに、Backcast により抽出された課題を新たに追加するという流れで行うことが確認された。また、2016RM は技術的にしっかりしたものとし、例えば外部向けへの活用（若手・学生を惹きつけるための材料とするなど）を考えると時には、2016RM をベースに別途準備すればよいということとなった。2012RM では「原子炉物理が原子力安全に貢献できていなかったことへの反省」という大きな目的があったが、2016RM でもその流れがベースとしてあるものの、それだけに限定せず、炉物理の Vision・Mission に立ち返って RM を作成する方針であることが合意された。

2016RM は 2012RM と同じ基盤分類で構成することが合意された。2016RM の策定にあたって Backcast による課題抽出が重要となるので、その作業を各 WG メンバが行うこととした。また、それと並行して 2016RM 作成作業を開始し、Backcast で抽出された課題を取り込むこととした。

なお、2016RM は4つの基盤分野毎に以下の正・副担当を決め、原案作成を中心となって進めていくことが確認された。

(制度基盤) (正) 大岡・(副) 遠藤

(技術基盤) (正) 多田・(副) 田渕

(人材基盤) (正) 相澤・(副) 竹田

(施設基盤) (正) 渡辺・(副) 松宮

7) 次回会合までの宿題について

・ Backcast による課題抽出は 3/10 までに実施することとした。Vision、Mission を実現するための解決すべき課題を、2012RM の小分類程度の粒度で提示する。

・ 2016RM の原案作成は 4/7 までに実施する

・ 作成された 2016RM 原案をもとに幹事団で内容を調整し、第三回会合を 5/23 (火) の午後に行う予定とした。

・ 第二回幹事会は 4 月下旬に実施する。

8) その他

第四回会合は 8 月頃に実施し報告書を準備、9 月に学会特別セッションで最終報告する予定とした。また、3 月の次回学会の炉物理部会総会で進捗報告を行うこととした。

以上

「炉物理ロードマップ調査・検討WG」第3回会合議事録

日時：2017年5月23日（火） 13:30-17:00

場所：株式会社テプコシステムズ 11F-M4 会議室

参加者(敬称略)：山本章夫、桐村一生、千葉豪、横山賢治、三木陽介、遠藤知弘、相澤直人、ファン・ローイエン、福島昌宏、多田健一、名内泰志、光安岳、岩田智樹、大岡靖典、田淵将人、山根祐一、吉岡研一、藤田達也、深堀智生、渡邊友章、石谷和己、佐治悦郎、黒田祐輔、計23名

配布資料

1. 「炉物理ロードマップ調査・検討」WG 第三回会合のご案内 (RPRM2016-3-00)
2. 「炉物理ロードマップ調査・検討」WG 第2回会合議事録(案) (RPRM2016-3-01)
3. 2016RM 制度基盤 (案) (RPRM2016-3-02)
4. 2016RM 制度基盤 策定の考え方 (RPRM2016-3-02 補)
5. 2016RM 人材基盤 (案) (RPRM2016-3-03)
6. 2016RM 施設基盤 (案) (RPRM2016-3-04)
7. 2012RM 技術基盤 (案) (RPRM2016-3-05)
8. 炉物理 RM 報告書目次案 (RPRM2016-3-06)
9. 2017年秋の大会企画セッション提案書 (RPRM2016-3-07)

議事

配布資料1の議事次第に沿って議事を進行した。

1) 前回議事録の確認

第2回会合議事録を確定させた。

2) 2016RM (案) の内容確認

基盤毎の2016RM (案) について各基盤担当者より内容紹介を行い、WGメンバにてレビューを行った。レビューコメントを受けて各2016RM (案) を各担当 Gr で修正し、幹事団に提示することとなった。

以下に各基盤での議論を箇条書きに示す。

2-1) 制度基盤

- ・クリアランス判定基準について、「放射性廃棄物」という言葉を用いると測定が先行し、炉物理(評価)の関与の余地がないように感じられる。現状実測データを用いたクリア

ランス判定を行っており、不確かさの同定を行う(特定核種の測定だけで代表させているので、他核種生成量の評価値)など炉物理の寄与は可能。こういった事が読み取れるように修文する。

- ISO は独自にしっかりとした基準があれば準拠する必要は無い。輸出入等の国際的なやり取りの中で準拠を求められる、あるいは準拠していることでやり取りが円滑になるといった位置づけ。
- 反応度クレジットによる未臨界管理に六ヶ所再処理工場における燃焼度測定による担保法についても触れてはどうかとコメントがあった。
- 規制体系の国際標準化という題名は、各国で規制の考え方、体系が全く異なっている中でイメージと合わない。国際的に確立した基準(コンセンサス)と整合していることの確認という方がよい。また、「規制に反映する」というのは NRA のミッションであり、炉物理 RM のミッションではないので、「最新知見の反映」と言うことが分かるように、修文する。
- 臨界事故評価で「現行の臨界安全の考え方そのものについて再検討の必要がある」と前段で再検討というと、現行手段に課題があるととられるが、主旨はグレーデッドアプローチの採用とそれに伴う考え方の再検討であり、修文する。
- 「許容されるリスクレベル」を安全目標と、性能目標を分けて考え、安全目標は炉物理での議論は難しいが、性能目標あるいは設計目標の策定に関しては炉物理として寄与が出来るとのコメントがあった。

2-2) 人材基盤

- ロードマップでは必要性を示すまでとするが、炉物理部会で実施可能と判断されたアクションについては、アクションプランにて主体、手順を明確化する方針が示された。
- アクションプランは是非立ち上げるべきであるが、一方でリソースが無い状況であるので取捨選択を行うと共に、既にアクションがあるものの機能が低下している活動はクローズすることも必要とのコメントがあった。
- データベース化は各機関で散発的に行われているが、それらをポータルサイト等で一括して取りまとめる意図であることが示された。
- 2016RM には優先度が無いが、これは 2012RM 振り返りにおいて優先度が低いものは落としたためであり、記載項目は皆優先度が高い。アクションプラン策定においては優先順位を考慮する方針が示された。
- ロードマップの策定にあたり、必要最低限の項目を記載したコンパクトなものにするのか、あるいは理想を網羅的に掲げたものとするのかという議論があり、どういった課題があり、その中からアクション項目として選択したという過程が分かることが、将来ローリングを行う際に重要となることから、網羅的に掲げたものとすることで決定した。
- 炉物理実験分野における技術継承の観点で、KUCA に限らず各機関の持つテキストは多

くの知見が含まれる貴重なものであることから、出せるものは出すという姿勢がよいとのコメントがあった。

2-3) 施設基盤

- ・ 臨界実験装置の新規設置や臨界実験装置の維持は難しい実態がある。一方で、未臨界でも炉物理特性の把握が可能な実験もあり、臨界に限らない燃料の有効利用方法を検討することも重要との意見が挙げられた。
- ・ 廃止措置プラントの実験炉としての活用は規制的には厳しいが、部会として提案することが施設活用の助けになる可能性がある。なお、今回の主旨としては、炉としての利用に限らず、炉物理パラメータを測定することが目的ととれるので、その旨修正する。
- ・ 基礎データをとるには様々な技術が必要であることは皆認識しているが、実験をシミュレーションで代替出来る部分もある。そもそも何故実験を通した基礎データが必要なのかを共有する必要があるとの問題提起があり、革新的なもの(新型炉はもちろん安全性向上対策等含む)の導入には基礎データが必要との認識が示された。
- ・ 実験によって必要な基礎データを取得することのできる人材・技術を維持していくためには実験装置の維持が欠かせないので、この点をより強調するようにした方がよいとのコメントがあった。

2-4) 技術基盤

- ・ マルチフィジックスは炉物理を中心とした他分野発展(炉内現象の網羅的解析)と、炉物理の他分野応用(他分野ニーズへの適合)に分割したとの見解が示された。
- ・ 国産コード開発に人材育成を絡めて推進する必要があるとの見解が示され、海外事例としてNJOYの開発を博士課程の学生が行っていることが挙げられた。これに対し国内の状況としては学位取得のための研究深堀とコード開発のニーズが合致していれば実施可能であるものの、複数年度に跨る長期的な開発計画が示されていなければテーマ選定は困難との意見が挙げられた。
- ・ コード開発(論文化出来るもの)は評価されるが、保守管理は評価されず、お金も付かないといった課題があり、コードが作りっぱなし(維持管理出来ない)とならないようにすべきとの問題提起があり、維持を認めるというマインドの醸成、新規性の枠を大きくとらえるというマインドを持つことが重要との認識が示された。

3) 報告書構成・分担案の確認

- ・ 報告書は部会報(3月発行)に掲載することが決定した。
- ・ 部会報では炉物理部会員しか見ないため、報告書のエッセンスを学会誌に載せるべきとの意見が挙がり、その方向で進めることで決定した。
- ・ 主査・幹事で報告書ドラフトを作成し、次回会合でドラフトを示す。

4) 持ち帰り作業依頼

- 本日のレビューを踏まえて 2016RM 案を各担当グループで修文する。
- 技術基盤以外についてアクションプランを各担当グループで検討する。アクションプランの具現化レベルは、誰がどの程度スケジュールで手続きを含めてアクションを示す。
- 技術基盤項目は各機関の具体的なニーズが示されており、部会のアクションプランとはマッチしない。一方で、優先度が高いものが多いので、優先度が低くアクションを設定していないと誤解を招かないよう「炉物理部会が取り組むアクションプラン」と記す。
- 部会としては秋の大会の総会において、ロードマップおよびアクションプランについて審議頂き承認を得る。

5) 今後のスケジュール

- 8/7(月)13:30-17:00 : 第4回会合
(報告書ドラフト版の審議、アクションプランのレビュー)
- 9/13-15 : AESJ 秋の大会
総会で報告書の承認を得る&企画セッションの実施

以上

「炉物理ロードマップ調査・検討WG」第4回会合議事録

日時：2017年8月7日（月） 15:00-18:00

場所：株式会社テプコシステムズ 11F-M4 会議室

参加者(敬称略)：山本章夫、千葉豪、横山賢治、三木陽介、佐治悦郎、卞哲浩、福島昌宏、渡邊友章、石谷和己、山崎正俊、吉岡研一、光安岳、田淵将人、相澤直人、竹田敏、藤田達也、岩田智樹、大岡靖典、名内泰志、青木繁明、吉井貴、阿萬剛、計 22 名

配布資料

1. 「炉物理ロードマップ調査・検討」WG 第四回会合のご案内 (RPRM2016-4-00)
2. 「炉物理ロードマップ調査・検討」WG 第3回会合議事録(案) (RPRM2016-4-01)
3. 2017RM 報告書(案) (RPRM2016-4-02)
4. AESJ 秋の大会企画セッション発表予稿 1 (RPRM2016-4-03)
5. AESJ 秋の大会企画セッション発表予稿 2 (RPRM2016-4-04)
6. AESJ 秋の大会企画セッション発表予稿 3 (RPRM2016-4-05)

議事

配布資料1の議事次第に沿って議事を進行した。

1) 前回議事録の確認

第3回会合議事録を確定させた。

2) 2017RM (案) の内容確認

基盤毎の2017RM (案) について各基盤担当者より第3回会合の指摘事項反映内容について説明を行い、WGメンバにてレビューを行った。

以下に議論を箇条書きに示す。

- ・「他項目との関連」について、項目間の関係理解促進のため、相互で引用するよう留意することとする。
- ・技術基盤についてバックキャストに基づく項目として核セキュリティ項目の追加を予定。京大炉・高橋先生に協力を依頼中。
- ・[4-3-4]国産標準コードシステムの開発、国産核データ処理コードの整備について、補足にある海外にコードに依存している脆弱性は、過去に開示制限がかかったことも含め、取り組むべき理由にする。実際に開示制限が大きな動機になっている。
- ・安全性向上と安心感の醸成が直接的に示されていない。想いは内容を読めば分かるが、もう少し顕に記載したほうがよい。

3) アクションプランの確認

基盤毎のアクションプランについて各基盤担当者より説明を行い、WGメンバーにてレビューを行った。

以下に議論を箇条書きに示す。

<制度基盤>

- ・技術や手法構築があつての制度への反映であり、技術的には個々の対応に期待する。すなわち、個々人での活動を推奨し、炉物理部会でレビューや意見交換を行うのが現実的。委員会の立ち上げについては、既に各所で活動が行われており、非効率となる。各所で活動をレビューするような位置づけが適切。このような考え方が読み取れるように加筆を行う。
- ・[1-2-5]燃料デブリ除去に関する未臨界管理標準の策定については、超短期的位置づけでグレードも異なると考える。一方で IRID 等において既に精力的に活動がなされている。こういった活動に対しては、個々人が様々な立場で協力していくことが求められる。炉物理部会としては、そういった活動のレビュー等で応えていくというのが現実的。

<人材基盤>

- ・スクラップの考え方を示している点について、考え方はよいが今の書きかたでは炉物理夏期セミナーについてスクラップの必要があるととれてしまう。例示のつもりであるので、当該箇所の記載を削除することとする。
- ・WG は方針のようなマクロな議論を行うとともに、各 SG での議論の横通しの目的があり、1つだけ設置される。
- ・資金の調達方法として MEXT の人材育成に応募するという手もあるが、その場合は MEXT の制限が多くかかることにも留意する必要がある。特に教材といったモノを扱う場合には、著作権上取扱がかなり厳しくなる。
- ・予算的、リソース的な観点をアクションプランに含まないこととする。
- ・2017RM は部会の承認を得るが、例えば人材基盤における WG、SG の設置等、本アクションプランの具体的な内容についても承認も得るといふことかという質問があり、このアクションプランの内容はあくまで今後の行動計画の候補という位置づけであると回答があった。

<施設基盤>

- ・2017RM の時点で具体的なアクションプランを示すのは難しく、各施設で個別に対応してゆくのが適当。ただし、施設の維持にはニーズが必要であり、炉物理部会としてはニーズを示してゆくことがアクションとの考えが示された。

4) 2017RM 報告書(案)確認

- ・【2 節】「これまでの経緯」は 2017RM 更新作業が始まるまでの背景ととれる。「これまで

の経緯と、今回の活動の概要」とする。

- ・【3節】のフォントが斜体となっている。他のフォントと合わせる。
- ・原子力委員会第7回定例会議の配布資料は原子力委員会の正式な合意事項ではないので、あくまで議論のネタとしたという位置づけとする。四角囲みの原文の引用も、あくまで事実に基づくものだけを記載する。

5) その他

- ・2017RM 報告書の公開方法として、炉物理部会 HP に掲載することとする。掲載後学会メーリングリストで周知も行う。学会誌投稿については炉物理部会で承認を得ることとする。

6) 今後のスケジュール

- ・8/17(木)：2017RM 報告書案 WG コメント締切り
 - ・8/25(金)～9月上旬：炉物理部会メーリングリストにてコメント募集
 - ・9/14(木)：AESJ 秋の大会炉物理部会総会で報告書の承認を得る&企画セッションの実施
- 以上

企画セッション「原子炉物理分野の研究・開発ロードマップの更新」議事録

日時：2017年9月14日（木） 13:00-14:30

場所：北海道大学 C棟 C213 講義室

登壇者(敬称略)：山本章夫、三木陽介、横山賢治、桐村一生、計4名

発表内容

8. ロードマップ更新の経緯・方針および原子炉物理分野のビジョン・ミッション
9. 更新されたロードマップの概要（制度基盤、施設基盤）
10. 更新されたロードマップの概要（人材基盤、技術基盤）
11. 総合討論

議事

資料1～3にもとづき、策定されたロードマップ(RM)案の概要について報告を行い、意見交換が行われた。以下に会場から頂いた主な意見を示す。

<RMの定義>

- ・いつまでに誰がやるというのを明記しなくていいのか。項目を挙げただけで完了できないのではないか。
 - 学会はボランティアな性格のもので強制力を持たせることは困難で、いつまでに誰がというのを示すのは難しい。今回のロードマップは、迷った時に立ち戻る海図的なものであり、できるだけ広い範囲で課題およびこれらの関係性の見える化を行った。また、比較的若い人たちに炉物理分野全体を見てもらったことにも意義があると考ええる。
- ・経済産業省の軽水炉安全技術・人材ロードマップの炉物理版という位置づけと捉えるが、約束はしないものの、重点項目の提示は必要である。また10年後程度の大まかな目標を示しておいてはどうか。
 - 重点項目の提示は必要と考える。部会として全ての項目に直接取り組むのは難しいと思うが、このような課題があると言うことで、部会から課題にチャレンジするチャンスを提供することは出来ると考える。
- ・RMに社会学的な側面を示す必要はないか。「PA」のアプローチが求められている。
 - 今回炉物理の学問としての観点に特化し、議論の中でPAという観点は削除した経緯がある。なお、「炉物理のMission」の「客観的な指標」を社会に提示する、という点がこれに対応しているとも言える。RMに具体的に明示していなくても、社会学的

な側面を意識しておくことは重要。

<アクションプラン>

- ・人材基盤がうまく回れば他基盤が整ってゆくと考える。部会としても取り組みやすいこともあり、優先的に取り組んではどうか。まずは人材基盤のアクションプランに対する戦略の構築を行う必要がある。
- ・コード開発と人材育成の関係について、「人が育つコード開発」というものがあるはずである。
- ・施設は人材育成目的では維持は出来ない。研究目的を示す必要があり、部会としてニーズを示し貢献する必要がある。またその前提としてそれぞれの施設を理解して頂き、何が出来るのか考える基盤作りが必要。
- ・人材基盤については優先度を設定することが重要と考える。
- ・施設を用いて実習等を行う際には、施設の運営側としては、実習を行う側にも主体的に関わってもらいたい（実験前の講義など）と考えている。
- ・人材育成の観点では学生がいろいろなことを経験できる場の提供が必要。聞いたことよりやってもらう事の方が大事。
- ・人材像という観点では産業界や学术界と同様に、規制という立場で要求される資質を提示することも必要。
- ・教材の作成は重要と考えるが、教材を作ることになるであろう教員の立場からすると、教材作成は大学の評価が低いという現実があり、進め方を考える必要がある。

<今後の予定>

現在報告書のレビューを炉物理部会メーリングリストにて意見募集中であり、企画セッションでの議論などを反映し、10月上旬を目処に取りまとめの予定である。取りまとめた報告書は、炉物理部会のHPに公開予定。

以上

付録3. 2012RM 振り返り結果

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
制度基盤	法令・指針	指針体系見直し	東電福島第一での事故を踏まえて今後想定される安全審査指針見直しに積極的に貢献し、規制体系の中における炉物理の位置づけの見直しにつなげる。	△	・動力炉に対する新規規制基準が策定され、2013年7月に施行された。 ・核燃料サイクル施設に対する新規規制基準が策定され、2013年12月に施行された。	1F事故を踏まえた規制基準の抜本的見直し	A	B	新規規制基準に基づく体制では科学的な最新知見を不断に取り込むことになっており、炉物理の最新知見を反映できる観点から、重要度は高い(A)。一方、現状で規制基準は策定済みであり、緊急性は低い(B)。	原子力規制委員会の新規規制基準策定にあたって、炉物理分野が何を基準にもりこむべきか、どのように主張すべきか、誰が行うか、具体的な手続きについて議論がなされていなかったことによる。	アクションの具体化。新知見創出時の現行規制見直しと提言、規制基準の国内/国外でのギャップの把握(安全性強化のみならず合理化も含む)、規制が基準を変更する際のパブリックコメント対応など、定期的に動向を把握し、答申すべきものをまとめ、答申していくシステムを用意する必要がある。規制基準の改訂に直接寄与すると言うより、炉物理分野に関する原子力学会の標準の改訂に炉物理部会として積極的に寄与し、その規格のエンドースを行うことで規制基準として反映することが現実的。また、規格基準類一般に言えることであるが、炉物理分野のみでの貢献は難しいが、炉物理分野抜きでの議論も難しい。このような案件に対して寄与できる人材を炉物理分野として確保しておくことが重要。
		規制体系の国際標準化	我が国の規制体系の見直し、シビアアクシデント対策の拡充を実施するにあたり、各国規制体系やIAEA安全基準を反映し、世界最高水準の原子炉安全を実現するための規制体系として国際標準化していく。	△	・原子力学会標準委員会の原子力安全分科会において、原子力安全の基本原則、深層防護の基本的考え方/実装について議論し、レポート(AESJ-SC-TR005:2012)として取りまとめた。また、規格基準の体系化について詳細な検討を行い、技術レポートとして取りまとめた(AESJ-SC-TR007:2014)。 ・原子力学会標準委員会システム安全専門部会において、原子力安全確保の考え方を整理し、基準の国内外ギャップを分析した技術レポートを作成した(AESJ-SC-TR009:2015)。特に第II分冊は、原子力安全確保と核計算の関連を詳細に検討している。	原子力安全確保のあり方について、根本から見直すべきことが重要と認識されたことが大きいと考える。	A	B	原子力基本法にも「国際的に確立された基準に則り」規制を行うこととされており、重要度をAとする。一方、国際標準に則った規制の体系化は時間を要するものであり、現時点では、他に優先度の高い案件が存在すると考えられる従って緊急度はBと判断する。	「指針体系見直し」でも同じ理由を記したが、炉物理分野が何を規制にもりこむべきか、誰がどのように規制に働き掛けていくかの具体的な議論がなされていない。この小分類に関しては炉物理RMでなく、原子力RMとして位置づけるほうが適当と思える。	2012RMで手本扱いされているIAEA安全基準では、炉心、核分裂反応、放射線源またはその他すべての放射線源に関する制御の喪失につながる事象の可能性を制限し、それに失敗した場合の影響緩和をとることを求めている。例えば炉心停止機能強化、燃料再配置-再臨界等の想定事故の設定、シミュレーション、それらへの対応策の立案(あるいはそのガイダンスの作成)、放射能インベントリ及び崩壊熱の評価、遮蔽計算等は炉物理関係者が活動すべきところである。また、セキュリティとして核不拡散を掲げるなら、燃料-原子炉-サイクル設計による核不拡散抵抗性の向上、集合体内U-Pu組成評価手法の向上とその実測評価技術の準備等が貢献できるポイントであろう。いずれも炉物理として技術検討を行うことは可能だが、それを基準作りに反映させる道筋をどうつけるかが課題である。一方で、IAEA安全基準においてもGraded Approach等合理的なsafety、Security対策をもとめているし、米国規制も過度な保守性を再検討する動きは見られる。安全基準の国外からの導入、国外への普及にあたっては地理的条件の違い等も考慮する必要があるし、新型炉の設計にあたってはあらたに合理的な規制基準を策定する必要もある。つまるところ、「合理的に安全を達成する基準を創出する人材の育成」が炉物理分野の役割かもしれない。なお、このような活動は、炉物理分野のみで実施することは困難であるが、炉物理分野抜きでも実施できないことから、このような活動を実施する力量を持った人材を育成しておくことが重要。
		プラント輸出に伴う安全規制	原発新興国に我が国からプラントを輸出するにあたり、3S(Safety、Security、Safeguards)を確保するための規制体系を構築・整備する。	○	・輸出先の安全規制を審査する機関を内閣府に設置した。 *：原子力資機材の輸出にかかわる安全配慮確認に関する検討会議	「OECD環境及び社会への影響に関するコンメンタローチ」(2001年)遵守の一環として本検討会議が設置された。 本検討会議において、輸出先の国の安全規制を審査することで、3Sの確保が図れる。	-	-	-	-	2017RMからは削除される予定。
民間規格・基準		解析コードに対するトピカルレポート制度の活用と拡大	トピカルレポート制度について、炉物理分野としては特に解析コードに関する技術的要件と検証方法(標準ベンチマーク問題の設定)を明確化し、制度の活用と拡大を図る。	×	-	-	A	A	従来の解析コードの認証は、個別の設置許可申請の中で行われていたが、新しい型式の設置許可申請が長期間なかった。そのため、より高度化した解析コードがあるにも関わらず実用化されていない状況にあった。しかし、トピカルレポート制度の導入により、この状況は改善される。そのため、重要度はAとした。 トピカルレポート制度が無くても従来通り解析コードの個別審査は可能であるが、トピカルレポート制度による審査の効率化・最新知見の反映の観点からも、緊急度をAとした。	東日本大震災があり、その後の再稼働に向けて産業側・規制側共に注力しているため、トピカルレポート制度に関する活動は活発ではなかった。	・日本の共通となる実機模擬の標準ベンチマーク整備(実機データやメーカーの設計情報の開示が必要) ・核計算コードに対するトピカルレポート評価要領書がない。 ・本制度がないと、解析コードへの新知見取り込みハードルが高くなる。

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
		取替炉心の安全性評価手法	取替炉心毎に安全性を確認する評価項目を再整理するとともに、その根拠についてまとめ、評価手法を民間規格化する。	○	・「取替炉心の安全評価規定(JEAC4211)」の策定 ・AESJ標準委員会技術レポート「発電用軽水型原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書」発行 ・日本電気協会「取替炉心の安全性確認規定」策定作業	2012RMで示された必要性は概ね変わっておらず、かつ原子炉の運転に直結するため、継続的な活動がなされている。 また説明性、透明性の向上による円滑な運転管理にも資するため、実機プラント運用の面からもニーズがある。	-	-	-	-	前項「解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大」に似た議論として、取替評価用の解析コードに対する考え方が現在検討項目として挙がっているものの、棚上げ状態となっている。
		燃料サイクル施設における仮想臨界事故解析手法	臨界安全の観点から、事故シナリオの設定、シナリオ毎の未臨界度の評価、臨界の検知、終息手段の検討、事故時の被ばく線量評価等の手法を開発し、より安全性・説明性の高い燃料サイクル施設の設計に資する。	×	-	-	A	A	燃料サイクル施設の新規基準において臨界事故の対策が求められており、施設の稼働のためには、臨界事故対策の重要度・緊急度はいずれも高いと考える。ただ、必ずしも標準的な手法が必須とまでは言えないため、規格基準策定の重要度・緊急度はいずれもA程度であると考えられる。	燃料サイクル施設を有するいずれの機関においても、施設の稼働に向け、臨界事故の対策を進めているはずであるが、各施設に固有の構造・条件がある点や機密情報の取扱いの観点から、標準的な手法を検討せずに各機関が個別に検討を実施しているものと考えられる。	核燃料施設の臨界事故解析における物理モデルの改良が課題として挙げられる。また、非均質系の評価において、デブリの問題と同様に炉物理上の課題がある。
		燃焼度クレジットによる未臨界管理	燃焼度クレジットを適用する際の臨界安全設計と運用管理の手順について、評価の考え方、計算条件の設定、考慮する核種の選定、核データ、燃焼計算コードの妥当性確認法などを標準として規定する。	△	・再処理施設の臨界安全管理における燃焼度クレジット適用手順:2014(AESJ-SC-F025:2014)の策定 ・OECD/NEAのPhase3C燃焼計算ベンチマーク問題の策定及び解析	施設や設備における臨界安全管理の合理化や従来より高い濃縮度の燃料の導入の観点から、燃焼度クレジットの適用が重要であるため、精力的に活動が進められた。一方で、対象が再処理施設に限られており、使用済み燃料プール等におけるBUCの標準制定には至らなかった。	A	B	燃焼度クレジットの導入は、各種設備設計の合理化の観点から重要であり、炉物理としても核データ、燃焼計算コードの精度評価等課題も多く重要度は高いと判断。 現行設備については、一部を除きBUC適用無しに設計されており、その設計手法等も整備されているため、緊急性は低いと判断。	震災以降は施設の再稼働に注力しており、新規評価項目や評価手法の整備の方が緊急度が高く、手法の高度化の優先順位は低くなっている。	燃焼計算のベンチマークとなる試験やPIEのサンプルが少なく(あっても評価核種が限られている)、標準手法の制定が難しい側面がある。
		クリアランスレベル設定のための高精度インベントリ評価	低レベル廃棄物のクリアランスレベル設定にあたり、炉物理・核計算の立場から放射能濃度測定・評価の高精度化に貢献する。	△ ○	・原子力学会原子燃料サイクル専門部会のLLW放射能評価分科会では低レベル廃棄物の放射能濃度決定方法の基本手順に関する標準の改定、LLW廃棄物等製作・管理分科会では低レベル廃棄物の製作・検査方法に関する標準の改定の検討が行われている。 ・JAEAの継続的なインベントリ評価手法の検討 ・エネ庁事業にて、クリアランス測定方法について、成果の標準化を行う予定。 http://www.meti.go.jp/comittee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_saisyori/pdf/002_02_00.pdf	・低レベル放射性廃棄物の埋設処分に向けて、廃棄物の放射能レベルごとに応じた処分を行うための評価・手法の標準が必要となるため。 (高精度インベントリ評価に対するアクションとは言い難いが、関連分野であることから△とした。) ・廃棄物量の低減という重要課題に対し、国が責任者としてプロジェクト化している。	A	A	多くの商業用発電プラントの廃炉が決まりつつあり、今後排出される大量の低レベル廃棄物を適切に区分し、処理・処分を行う必要がある。 (重要度、緊急度共にA)	-	炉物理分野では、直接的に低レベル廃棄物を対象とした実験的分析・数値的解析を扱った研究が殆ど行われていない。しかし、核燃料を対象としたTIMSやICP-MSによる組成分析、新たな数値解析手法等を導入した燃焼計算コードの開発等が行われており、これらは低レベル廃棄物に対しても応用可能であると考えられる。低レベル放射性廃棄物の放射能レベルの設定に対する貢献に対しては、様々な分野の専門家と議論の上、研究が行われている手法や技術等が指針や標準に対して盛り込むことが出来るかどうかを吟味する必要がある。今後、低レベル廃棄物を対象とした研究に対してのフィードバックが望まれるが、その場合はクリアランスレベルだけでなく、L1、L2、L3を含めた分類に対する寄与がなされることが望ましい。
		臨界事故リスク評価手法	臨界事故の影響度と発生頻度の双方を精査し、事故リスクの定量化を行う。許容されるリスクレベルについても説得力のある設定根拠を提示する。	△	臨界時挙動解析コードに関して、一点炉モデルをベースとしたコードを拡張する動きがみられた。	1F事故を踏まえ、臨界事故を含め、様々な事故シナリオにおける原子炉挙動を模擬し、状況を把握可能なシステムが求められているため。	A	B	アクシデントマネジメントの観点から、臨界事故の影響度の定量化を行うことは重要である。しかしながら、現時点では事故防止のためのプラントの改良、バックフィットが最優先であることから、緊急度をBに置いた。	-	臨界に至る事象ならびにその時の幾何モデル等については、実験・解析において個々の条件をある程度設定することが可能であり、また、それに伴うエネルギー発生量などの影響度の算出は可能である。しかし、臨界事故の対象とする炉型及び事象が広範囲に渡り、対象を絞り込めないこと、臨界事故シナリオならびに各シナリオの発生頻度の定量化のために必要な情報が乏しいことから、2012RM以降では臨界事故が発生する頻度を定量的に導出するような研究は行われなかった。 今後、臨界事故のリスク評価を行っていくためには、影響度の観点では実現象を踏まえたうえで適切な臨界事故シナリオのモデル化を行うこと、発生頻度の定量化に関しては、モデルの構成と構成要素に関する詳細な情報(機器の種類、故障頻度等)が必要である。 そもそも、臨界安全分野における安全確保の考え方を現在の状況に合わせて再構築する必要がある。特に、深層防護、リスクインフォームドの考え方を取り入れる必要がある。
		燃料デブリ除去に関する未臨界管理	東電福島第一事故の燃料デブリ除去に関して必要となる臨界安全設計、臨界安全管理に関して、評価の考え方、評価ツールや使用データ、評価項目、評価手法等について標準を提示する。	△	・IRID燃料デブリ臨界管理技術の開発や、NRA福島第一原子力発電所燃料デブリの臨界評価手法の整備、その他各組織(産官学)による継続的な検討。 ・OECD/NEAのBWR集合体形状をターゲットとした国際ベンチマーク問題の実施。	福島第一原子力発電所のデブリ取出しという喫緊の課題があり、精力的な活動がなされている。	S	S	福島第一原子力発電所事故後の廃止措置において必須技術である。臨界管理という炉物理上極めて重要なミッションであり重要度、緊急度共にSとした。 炉物理に注目した場合、未臨界度評価、臨界近接検知、臨界性評価、臨界時挙動評価と総合的な技術が求められる。	アクションは多く実施されているが、標準の制定には至っていない。(制定に至らない理由は課題参照)	デブリそのものの性状等の解析条件の不確かさが大きく、炉物理(核計算)のみで完備性を持つことが困難であり、目標としている標準の提示が難しい。 従来の安全側評価のみでは臨界管理(燃料取出し作業)が困難であり、ベストエスティメイト評価が求められるが、BUCや計算コードの精度等、従来課題とされている複数の領域を考慮した評価が必要となり、一度に進めることが難しい。 臨界近接検知について新手法の適用性確認試験も必要であるが、国内の臨界実験試験施設の多くが軒並み再稼働申請中であり、試験計画の立案が困難。

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
人材基盤		あるべき人材像の提示	炉物理分野から輩出すべき人材像を提示する。これには、①原子力安全を大所高所から確認する管理者、②原子力一般に携わる技術者・研究者と、③炉心安全解析や臨界安全性評価など、炉物理の専門的な知識を活かした技術者・研究者の三通りが想定される。①に対しては、原子力安全の観点からの炉物理の知識を、②に対しては、標準的な炉物理の知識およびスキルを提示する。③に対しては、炉物理の知識およびスキルに加え、総合工学としての原子力として、安全の観点から身につけておくべき知識および炉物理研究者・技術者としての心構えを提示する。	△	<ul style="list-style-type: none"> ・KURでは、燃料の低濃縮化の達成後、大学院生・電力事業者による実験実習が行われた。 ・KUCAでは、院生実験およびアジア炉物理実験を通して、炉物理実験をこれまで同様に継続して行っている。 ・UTR-Kinkiでは、韓国のKyunghee Univ.研究炉と共同で、国際人材育成事業を行い、日韓の学部生・大学院生の炉物理実験実習を行った。 ・2014秋の大会企画セッションの一環として、学生・若手研究者・技術者に対して、炉物理分野を志望した理由等のアンケート調査が行われ、結果が報告された。 ・2015年秋の大会企画セッションでは、若手研究者からの炉物理分野に対する提言がなされ、議論が行われた。 ・2016年の炉物理専門研究会では、MHI NSエンジンの佐治氏から、“炉物理をめぐる最近の動向、そして若手の皆さんに伝えたいこと”との題目にて講演が行われた。 ・「炉物理分野の人材育成の現状と今後の課題(2015年3月部会報)」 ・「炉物理は役に立つのか？(2014年7月部会報)」 	<ul style="list-style-type: none"> ・KURでは、低濃縮ウランを用いた中規模研究炉での実験実習を行うことで、臨界集合体とは異なる研究炉の特性を把握することが動機となった。 ・KUCAでは、日中韓の大学院生の炉物理実習の拠点としての重要性が認識されている。 ・UTR-Kinkiは、学部生を対象とした炉物理の基礎を実験を通して学ぶ施設としての重要性が認識されている。 ・「1F事故後の厳しい状況下で炉物理の今後を支える人材をどのように育成していくべきか」という課題を解決する必要がある」という統一された認識があった。 ・学生や若手研究者・技術者のモチベーションを高め、技術力を向上させていくため 	S	A	<ul style="list-style-type: none"> ・KUR、KUCA、UTR-Kinkiはいずれも、炉物理の基礎および炉心内の物理現象を実験を通して学ぶ重要な施設として位置づけられている。 ・今後の炉物理人材の育成は、1F事故対応や今後の原子力安全確保等のためにも不可欠であることから、重要度が極めて高い。 ・現時点ではある程度の人材が確保されているものの、今後多くの経験を持つ研究者・技術者が退職等を迎えるまでの時間的猶予等を踏まえ、緊急度が高い。 ・現時点では、日本の炉物理分野において、相応の研究者、技術者が存在しており、短期的に技術が失われるという恐れが小さいため、重要度、緊急度ともに高いとの意見あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・対応するアクションを実施する主体が明確ではない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来のカリキュラムでは炉物理の基礎を学ぶことに重点が置かれているため、あるべき人材像で提示されている項目をKUR、KUCA、UTR-Kinkiの3施設で達成することは難しいと考えられる。 ・①、②、③それぞれに対してそれぞれに適した人材像の提示が行われたかという点、必ずしもそうではないと考えられる。(社内教育等で受け継がれる部分はあると考えられるが。) ・今後は細分化された分野に必要な人材像をいかに提示するかが課題。 ・主に若手を対象として人物像の提示はいくつかなされているが、①、②、③のように分類をした上での人物像の提示はなされていないか、もしくは広まっていない。 ・アクションを実施する主体(炉物理部会?)を明確にする必要がある。 ・規格基準類の策定に対し寄与できる人材を育成する必要がある。
		原子力安全のための炉物理教材の開発	原子力安全の観点から、原子炉のマルチフィジックス性を切り口にした新たな原子炉物理の教材を開発する。	△	<ul style="list-style-type: none"> ・炉物理夏期セミナーテキストの公開に向けた手続き(JAEA多田氏) ・名大では、原子力規制庁人材育成事業(物理現象から原子力安全を構築・確保できる原子力規制人材の育成)を通じて実施中、シビアアクシデントの進展解析、シミュレータを用いた演習など、マルチフィジックス性を考慮したカリキュラムになっている。社会人の再教育枠あり。 ・東北大学の取り組みとしては、原子力発電プラントシミュレーションソフトPCTRANを使用し、プラントの構造及び冷却材流量等の熱水力特性に変化が生じた際の炉心特性(簡易な1点炉ベース)に関する講義・実習を行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・炉物理夏期セミナーで集約された知見を有効利用するため ・原子力発電所内で発生する基礎的な物理現象の理解をベースとして、複雑な原子力プラントの挙動を把握・俯瞰し、原子力安全の確保に貢献できる人材育成を目指す。 	B	B	<ul style="list-style-type: none"> ・炉物理が原子力安全の基盤であることを広く認識してもらうことは重要ではあるが、逆に、炉物理のみが原子力安全の大きな支配因子とは言えないという点からは重要度・緊急度は低いと言える。 ・現在の教育カリキュラムの中でも対応可能である部分があることから、緊急度としては低い。 ・プラント挙動に伴う原子炉物理的な挙動を分かりやすく教えるためという観点から、重要度は高いとの意見あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・そもそも、重要度・緊急度が低かったものと考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・マルチフィジックス性を切り口にした教材の中でのマルチフィジックス性の範囲と炉物理的な理論をどこまで詳細に組み込むか明確でない。 ・炉物理周辺の教材となる資料の続きがなされているものの、公開には至っていない。 ・学生だけでなく、社会人(若手研究者・技術者)の再教育も必要。
		炉心設計学習のための炉心解析用ツールの開発(核・熱・機械連成解析)	プラント設計の基礎の基礎を理解した技術者をproject based learningなどで養成するため、簡単な炉心(プラント)設計演習に用いることが出来る解析ツールを開発し、教育現場に提供する。	○	<ul style="list-style-type: none"> ・産業界では、教育用炉心シミュレータを開発しているケースがあり、それに使用するための汎用炉心過渡解析コードの開発を行い、韓国の大学に納入した実績がある。 ・大学では、PCTRANなどの原子炉シミュレータを導入した例あり。人材育成に使用されている。 ・大学において、核・熱計算が弱く結合した演習を行っている例がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・民間企業で蓄積した高い技術と計算を元に、原子力発電の基本原理解から発電所設備の役割や事故挙動までをわかりやすく学ぶため 	A	B	<ul style="list-style-type: none"> ・現在の教育カリキュラムの中でも対応可能である部分があることから、緊急度は低い。 ・プラント挙動に伴う原子炉物理的な挙動を分かりやすく教えるためという観点から、重要度は高い。 		
		臨界安全学習のための教材と学習ツール開発	臨界安全の考え方を学習するための1～2コマ分の講義資料と、臨界安全を体感するための学習ツール(簡易な実効増倍率解析コード)を整備する。	△	<ul style="list-style-type: none"> ・福島第一の廃止措置研究・人材育成等強化に関わる教育プログラムが実施されている。 ・高校生を対象とした出前講義として、臨界安全に関する講義1コマを実施した例がある。ただし演習については未実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・1F廃炉における課題解決に貢献できる高い知識と社会貢献意識を持った広い専門分野の若手人材を継続的に育成するため ・1F燃料デブリ臨界安全管理に関連し将来的に需要あり。にもかかわらず、臨界安全分野の若手研究者は不足、技術伝承が十分にできていない。 	A	B	<ul style="list-style-type: none"> ・現在の状況を踏まえると、臨界安全教育の重要性は今後、相対的に高まっていくと考えられ、重要度は高い。 ・現在の教育カリキュラムの中でも対応可能である部分があることから、緊急度は低い。 ・臨界安全における原子炉物理的な挙動を分かりやすく教えるためという観点から、重要度は高い。 		<ul style="list-style-type: none"> ・人材育成プログラムでは、講義の後に核計算の実施により臨界安全を体感する内容となっているが、講義資料や学習ツールが公開される方針にはなっていない。 ・大学内での講義にまで繋げることができていない(名大・北大・東北大)。 ・学生だけでなく、社会人(1F廃炉作業従事者)の教育も視野に入れた活動が必要

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
		炉物理講義指導要領の作成	標準的な炉物理教材を用いた指導要領の作成を行い、原子炉物理を教育できる教員の数を増加させる。この指導要領は、国際展開にも貢献できると考えられる。	△	・KUCAアジア炉物理実験およびUTR-Kinkiの国際人材育成事業において、炉物理実験の原理および内容を英語で行う機会が数多く提供された。	・KUCAおよびUTR-Kinkiでは海外からの学生を受け入れる国際的な実験プログラムを運営しているため。	S	S	・炉物理教育を担う教員の育成および炉物理実験教材の国際展開の貢献という観点から、英語による教材の作成は極めて重要である。 ・炉物理を専門とした教員が配置されていない原子力系の学科が存在する昨今、このような活動は緊急性が高い。 ・特に国公立大学では、予算削減として教員の退職後に当該分野の教員を補充しない傾向が見えてきており、重要かつ緊急性を要する。	・対応するアクションを実施する主体が明確ではなかった。 ・そのようなニーズがある大学を調査することが第一である。	・炉物理実験および教科の内容を英語で行える教員の育成が急務であり、大学教員のKUCAおよびUTR-Kinkiでのアジア炉物理実験および国際人材育成事業への積極的な参加が望まれる。 ・何を以て“標準”とするかによって、指導要領の中身が変更される可能性がある。 ・教育機関間における情報交換の必要性がある。 ・原子炉物理を教育できる教員について、学校での教員校の問題も存在。炉物理を専門としない(必然的に他分野の)教員に広げるための、原子力の他分野に対する働きかけが必要。 ・特に初学者向けの懇切丁寧な炉物理の教科書を作成する必要がある。原子力学会のコアカリキュラムで作成した炉物理教科書は、著作権の関係から、出版に至っていない。
		原子力工学を専攻する学生数の維持	原子力工学を専攻する学生数を維持する。	△	・大学では、近年、専攻として高専への説明会を開催し、高専の専攻科から進学者を取り込めるように働きかけを行っている例がある。 ・大学ではオープンゼミ、セミナーなどを実施している例がある。	・大学院定員の確保と高専専攻科卒の優秀な人材を入学させることにより、専攻のレベルを向上させるため。	S		・原子力業界に携わる人材は長期間にわたって相応数が必要であり、原子力工学を専攻する学生が相応数必要であることから重要度は極めて高い。	・対応するアクションを実施する主体が明確ではなかった。	・学生の人数については大幅な減少は見られていない。
		各機関のリソース・特徴を合理的に組み合わせた教育インフラの整備	各機関が有する解析技術などのソフトウェアおよび臨界集合体などのハードウェアに関するリソースをピックアップし、それらを組み合わせた機関横断的な教育インフラの整備を行う。	○	・KUCAで行われたADS実験のベンチマークを作成し、IAEAによる国際共同ベンチマークとして採用された。 ・京都大学臨界集合体を用いた院生実験を継続して実施。 ・国際原子力人材育成大学連合ネット(大学が中心)、原子力人材育成ネットワーク(産学官連携)の構築等の活動があった。 (いずれも2012年以前から存在) ・福島第一の廃止措置研究・人材育成等強化に関わる教育プログラムが実施されている。 ・大学では、PCTTRANなどの原子炉シミュレータを導入した例あり。人材育成に使用されている。	・KUCAで実施したDT加速器およびFFAG加速器を用いたADS実験は、世界的にも稀有で重要な実験データであり、それらを積極的に公開することで、ADSの基礎研究の発展に貢献できると考えたためである。 ・1F廃炉における課題解決に貢献できる高い知識と社会貢献意識を持った広い専門分野の若手人材を継続的に育成するため	A	B	・KUCAで取得されたADS基礎実験データは、未臨界体系の炉物理を体系的に整理し、未臨界炉物理の理論の再構築と確率論および決定論的手法の計算精度の再確認に適していると考えられ、重要度は高い。 ・KUCA院生実験が継続される限りは、大きな問題はなく、緊急度は低い。 ・各機関が所有するインフラを活用し、多様な教育プログラムを構築することは理想的である。ただし、各大学の独自性・裁量もあるため、緊急度は低い。		・JAEAのTEF施設という新たな実験施設の建設を念頭に、ADSの基礎研究を充実させADSの工学的な研究への橋渡しを行うための実験研究、例えば、核データ起因による感度および不確かさ解析や実験データを用いた新たな計算手法の検証などの今日的な研究の進展が今後期待される。 ・各機関の教育の独自性を阻害する。 ・継続した予算の確保の必要性(現時点では国の人材育成プログラムの公募に依存しており、自立した予算が無い。)
		国際的原子力エンジニアを育成するための施設・設備の整備	原子力新興国の原子力研究機関との連携を考慮した教育プログラム、教育インフラの整備を行う。	△	・国際原子力教育ネットワークを活用した原子力人材育成事業が実施されている。 ・大学では、外国人を対象とした英語の授業による大学・大学院カリキュラムを提供しており、原子力を取り扱う専攻としても、原子力系志望学生がいる場合にはそれに応じた講義を提供している例がある。	・国内外において質の高い国際原子力人材を育成するため	B	B	・具体的なニーズが明確ではないので重要度、緊急度ともに低い。 ・国際協力の観点で言えば重要であるが、緊急性は無い。	・具体的なニーズが明確ではない。	
		国際展開のための標準炉物理・炉心設計カリキュラムの開発	原子力安全の観点から必要な炉物理と炉心設計に必要な炉物理を区別し、これらについて標準的な英語の教材を作成する。	△	・KUCAおよびUTR-Kinkiでは、各施設の教材を日本語に加えて英語でも作成した。また、KUCAでは韓国語による教材も併せて用意されている。 ・国際原子力人材育成プログラムにて英語版「原子力教科書シリーズ(原子炉物理学・放射線安全)」が整備されている。	・韓国および中国の学生への事前講義および実験実習を行う必要性から、KUCAおよびUTR-Kinkiでは英語による教材を用意する必要があるため ・国際的に有効な教育コンテンツを作成するため ・KUCAおよびUTR-Kinkiで長年に亘って蓄積した炉物理実験のノウハウを海外の学生にも提供するため。	B	B	・具体的なニーズが明確ではないので重要度、緊急度ともに低い。 ・国際協力の観点で言えば重要であるが、緊急性は無い。	・具体的なニーズが明確ではない。	・KUCAおよびUTR-Kinkiで作成された英語教材の改訂版の作成と、講義資料の共有を行って他大学の教員でも講義および実験実習が運営できるシステムの構築が課題として挙げられる。 ・英語の炉物理教材を作成しているが、原子力安全の観点から必要な炉物理と炉心設計に必要な炉物理を区別していない。 ・国際展開の前に、我が国での標準炉物理・炉心設計カリキュラムの開発(上記の炉物理講義指導要領など)が必要である。
		原子力新興国の人材育成支援、解析コード提供	プラント輸出対象国に対し、講師の派遣、研修生の受け入れ等の観点から人材育成の支援を行う。また、核計算に関する基礎的な解析システムを提供し、人材育成に使用する。	△	・国際原子力教育ネットワークを活用した原子力人材育成事業が実施されている。 ・輸出対象国ではないが、東北大学では、アジア地域の大学・研究機関との連携を見据え、大学教員がタイ・香港等の大学・研究機関を訪問し、交流等の検討を行っている例がある。 ・JAEA開発解析コードについてNEAデータバンクに登録を進めている。	・国内外において質の高い国際原子力人材を育成するため	B	B	・具体的なニーズが明確ではないので、重要度、緊急度ともに低い。 ・国際協力の観点で言えば重要であるが、緊急性は無い。	・具体的なニーズが明確ではない。	

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
施設基盤											
		臨界集合体の維持・高度化 (KUR、KUCA、近大炉)	原子炉物理の観点から、核燃料サイクル全体を通して、必要となる基礎データ、その重要性、不足している実証実験をまとめ、各施設の特徴を考慮し、実験の実施計画の提案、施設の改良を提案していく。また、今後どのような臨界集合体が必要であるか議論し、新たな施設提案についても検討する。	△	京都大学原子炉(KUR)では原子炉物理の研究に資する施設としての役割は乏しく、近畿大学原子炉(UTR-Kinki)は主として原子炉物理の教育を行う施設として位置づけられている。京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)では、加速器駆動システム(ADS)を用いた次世代の中性子源およびADSによる核変換処理の実現に向けた基礎研究が精力的に行われている。ただし、研究炉の新規制基準対応のため、いずれの施設も2013年以降原子炉の再稼働が行われていない。	KUCAの次期中性子源開発は、KURの2026年までの運転を念頭に、KURIに代わる中性子源をADSによって実現しようとする計画があった。また、ADSによる核変換処理の実現は、JAEAで検討されているTEF施設での工学的なADS研究に先駆けて、KUCAという炉物理実験設備でのADSの成立性評価などを、実験的に行える環境が整っているためであった。	S	S	研究炉等は原子力研究及び人材育成にとって必須の基盤施設であること。また、現存する研究炉等は一部を除き高経年化していることと新規設置には長い時間と多くの経費がかかること。さらに、施設を建設・維持できる人材が減少していること。		研究炉等の必要性は広く認識されているが、その設置には規制対応の困難さも含めて、多くの労力と時間、さらに多額の経費が必要という問題点を抱えている。特に、研究炉や臨界集合体での炉物理実験を行う研究者の減少と、それを担える人材の枯渇は極めて重要な課題である。TEFなどの新たな実験施設の建設の要望もあるが、実験を通じた炉物理実験の基礎研究に従事する人材の育成は急務である。
		臨界集合体の維持・高度化 (NCA)	原子炉物理の観点から、核燃料サイクル全体を通して、必要となる基礎データ、その重要性、不足している実証実験をまとめ、各施設の特徴を考慮し、実験の実施計画の提案、施設の改良を提案していく。また、今後どのような臨界集合体が必要であるか議論し、新たな施設提案についても検討する。	△	各機関、組織による継続的な検討(NCA: 現状施設の今後の維持管理の検討と、将来の次期施設構想に関して、内部的に検討を行っている。)	既存施設(NCA)の高経年化	S	A	臨界実験データは原子炉における核反応工学という点で炉物理上もとても基本的な実験データの一つであり、当該データを取得する施設である臨界集合体を原子力業界として維持・高度化することは極めて重要。さらに、次期炉次世代炉においては新たな材料や新たな構造が適用されることも考えられ、それらの適用においては実証データを取得する施設として臨界実験装置は非常に重要な意味を持つ。また、設計精度の向上は、測定技術の向上と同時に進むものであるが、新たな測定技術の実証としても重要である。一方で実証データとしては極めて重要であるものの、計算資源や手法の発展により現行炉に関しては詳細な計算が比較的高精度で可能となっており、同施設がなければ炉物理の研究開発が進められない、というのではない。ただし現状の通常運転で稼働している施設が国内にほとんど無い状況は看過できず、緊急に検討を進めていくべきである。		震災後の新規制基準への対応など、管理コストの増大。限られた人的資源の中で、効率的に施設運用していくことが必要となり、必要な実証データを最小限の管理コストで得られる(かつ汎用性も犠牲にしない)実験施設概念を構築することが重要。施設毎の特色を活かし、実験の住み分けも場合により必要。管理コスト低減のため未臨界の核燃料使用施設での実験による実証を検討することも考えられ、未臨界実験で臨界実験を模擬する手法の開発なども今後重要と考えられる。
		臨界集合体の維持・高度化 (JAEA施設)	原子炉物理の観点から、核燃料サイクル全体を通して、必要となる基礎データ、その重要性、不足している実証実験をまとめ、各施設の特徴を考慮し、実験の実施計画の提案、施設の改良を提案していく。また、今後どのような臨界集合体が必要であるか議論し、新たな施設提案についても検討する。	△	1) STACYでは、平成27年3月に原子炉設置変更許可を申請し、更新改造及び新規制基準適合性に係る対応が進められている。また、燃料デブリに関する臨界実験を行うための計画が進められている。 2) JAEAの施設中長期計画案(平成28年10月18日公表)において、STACYは継続利用される計画が示された。また、同計画案において、FCAIは廃止検討施設と位置付けられ、試験機能の集約先として、核変換研究ニーズは計画中のTEF-PIに移行されることが示された。 参考 https://www.jaea.go.jp/02/press2016/p16101801/s01.pdf https://www.jaea.go.jp/02/press2016/p16101801/s02.pdf	1) 現在、JAEAの全ての臨界集合体が、新規制基準への対応等のために停止しており、役割を全く果たせない状況であり、新規制基準による安全審査を早期に終了して再稼働を果たすことは急務である。 2) JAEAが保有する施設に関して、試験機能は可能な限り集約化するとともに、安全対策費用等の視点から継続利用が困難な施設は廃止するとの方針が打ち出された。	A	S (STACY) A	1) 臨界集合体は、原子炉物理における基礎データを取得する重要な施設であると共に、人材育成においても不可欠である。 2) 既存施設は、その多くが昭和年代に整備されたものであり、老朽化が進み、近年の高経年化への対応が大きな課題となっている。また、1Fの事故を契機に、耐震化に係る基準や原子炉施設に対する規制基準が見直された結果、施設の継続利用に多額の対応費用が発生する状況が顕在化してきた。		・核物質の最小化を目的とした核セキュリティ・サミットの声明に基づき、高濃縮ウラン及びプルトニウムが返還される(FCA/28年3月までに完了)。核物質の最小化は、今後の新規施設の検討及び改良、実験計画の策定等に影響すると考えられる。 ・新たな施設(TEF-P)の検討が進められているが、依然予算獲得が不透明な状況である。 その計画は不透明である。 ・施設の安全確保及び維持管理に必要な運転員・技術者の力量と士気を確保する必要がある。
		研究炉・実験炉の維持・高度化 (JAEA施設)	原子炉物理の観点から、核燃料サイクル全体を通して、必要となる基礎データ、その重要性、不足している実証実験をまとめ、各施設の特徴を考慮し、実験の実施計画の提案、施設の改良を提案していく。また、今後どのような臨界集合体が必要であるか議論し、新たな施設提案についても検討する。	△	1) JRR-3、JMTR、NSRR、HTTR、は平成27年3月までに原子炉設置変更許可を申請し、新規制基準適合性に係る対応が進められている。また、常陽は平成28年度中に申請する予定となっている。 2) JAEAの施設中長期計画案(平成28年10月18日公表)において、JRR-3、常陽、HTTRは継続利用される計画が示された。また、JMTRIは、原子力分野に加えてシリコン半導体や医療用アイソトープ製造のような幅広い分野に貢献することを目的として改修及び再稼働を目指していたが、上記の施設中長期計画案において廃止検討施設と位置付けられた。	1) 現在、JAEAの全ての研究炉が新規制基準への対応のために停止しており、役割を全く果たせない状況であり、新規制基準による安全審査を早期に終了して再稼働を果たすことは急務である。 2) JAEAが保有する施設に関して、試験機能は可能な限り集約化するとともに、安全対策費用等の視点から継続利用が困難な施設は廃止するとの方針が打ち出された。	A	A	1) 試験炉は、原子力エネルギー利用から学術、医用、産業利用までをカバーする基盤施設としての役割を担うと共に、人材育成においても不可欠である。 2) 既存施設は、その多くが昭和年代に整備されたものであり、老朽化が進み、近年の高経年化への対応が大きな課題となっている。また、1Fの事故を契機に、耐震化に係る基準や原子炉施設に対する規制基準が見直された結果、施設の継続利用に多額の対応費用が発生する状況が顕在化してきた。		・JMTRの代替炉の要望が多方面からあるが、その計画は不透明である。 ・施設の安全確保及び維持管理に必要な運転員・技術者の力量と士気を確保する必要がある。

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
		ホットラボの維持・高度化	燃焼を伴う炉物理の検証には、照射後試験が重要であり、必要となる照射後試験、ホットラボの機能強化を提案していく。	△	1) 核燃料使用施設(炉規法施行令第41条該当)では新規規制基準に係る対応(安全上重要な施設の特等)が進められている。 2) JAEAでは、原子力科学研究所のRFEF、BECKY、WASTEF等の核燃料使用施設を利用して、1F燃料デブリの臨界管理に資するための燃焼計算コードの精度確認を目的とした照射後試験を行っている。 3) JAEAの施設中長期計画案(平成28年10月18日公表)において、大洗研究開発センターの照射燃料試験施設(AGF)は廃止検討施設と位置付けられ、その試験機能は同センターの照射燃料集合体試験施設(FMF)に移管予定であることが示された。 4) 上記のJAEAの施設は平成24年10月より組織名に「福島」が冠され、1F燃料デブリ受け入れのための核燃使用の許可変更等、1F事故に関する利用及びその準備が進められている。 5) 1Fサイト隣接地に2棟建設中	1) 核燃料使用施設は新規規制基準へのバックフィットは法令で定められていないものの、安全性の更なる向上の観点から対応が求められている。 2.4) 1F事故による研究・施設利用のニーズの変化が生じた。 3) JAEAが保有する施設に関して、試験機能は可能な限り集約するとともに、安全対策費用等の観点から継続利用が困難な施設は廃止するとの方針が打ち出された。	A	S	1F燃料デブリの組成分析や燃焼計算の精度を担保するための照射後試験等は、1F燃料デブリの臨界管理さらには廃止措置へ向けた重要かつ緊急性を要する取り組みである。		JAEAにおいては、研究者によるホットラボの利用の需要は数多く存在する一方で、施設を運用する技術者が不足しているという課題がある。
		加速器施設の維持・高度化(KUR、KUCA、近大炉)	核データの精度向上・検証のためには、微分実験施設としての加速器施設が不可欠であり、原子炉物理の観点から必要な核データの反応種類、エネルギー範囲、精度の確保等のための施設・設備の維持・拡充についての提案を行っていく。	△	京都大学原子炉実験所の電子線加速器(KUR-LINAC)では、マイナーアクチノイド(MA)の核データに関する実験研究が行われている。FFAG加速器は、KUCAと組み合わせたADS研究に利用されており、陽子加速器入射による世界初のADS実験や、高エネルギー陽子および中性子の核データの精度検証に大きく貢献している。	ADSを含む革新炉においてMAに関する断面積精度の高度化が要求されていた。FFAG加速器はKUCAへの陽子入射を行う加速器であり、ADSの基礎研究を行うための施設として設置された。	S	S	世界初の陽子入射によるADS研究を行う環境が整っており、引き続きFFAG加速器を用いたADS研究、特に核変換処理の実現に向けた研究が急務である。		KUCAおよびFFAG加速器を用いたADS実験を行う若手研究者および学生の育成が重要である。特に、炉物理分野のみならず、核データおよび放射線計測分野の三位一体となった研究分野を担う(実験を自ら行うことの出る)人材が必要である。
		加速器施設の維持・高度化(JAEA施設)	核データの精度向上・検証のためには、微分実験施設としての加速器施設が不可欠であり、原子炉物理の観点から必要な核データの反応種類、エネルギー範囲、精度の確保等のための施設・設備の維持・拡充についての提案を行っていく。	○	1) JAEA・タンデム加速器施設においては、重イオンビームを用いた多核子移行反応による代理反応研究が行われている。 2) J-PARC・大強度パルス中性子を用いたMAやLLFPの中性子捕獲反応断面積の測定が行われている。	1) 取得したデータは核データ分野に資するのみならず、核分裂や重イオン反応のメカニズム、さらには超重元素生成の可能性を持っているため。(実際に多方面から注目を集めるに至っている。) 2) MAやLLFPの核データ(特に、中性子捕獲反応)には、誤差が大きいものやデータが皆無の核種が多数存在している。	A	A	1,2) MAやLLFPの核データの整備は、核変換技術において極めて重要である。		1) JAEAタンデム加速器本体に加え、既存のプースタ加速器を動かすことができれば、中性子エネルギー換算で200MeVを超えるまでのデータ取得が可能である。しかし、現在、予算と人員の関係でプースターの運転が停止している状況である。

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションがなかった理由	課題	
技術基盤	解析技術	安全余裕の定量評価技術	炉心設計や安全解析で利用される炉物理技術を抽出し、炉物理的な解析値に対して安全余裕を見込むべきパラメータ、材料/寸法のスペックに反映するべきパラメータ、解析の前提条件に反映するべきパラメータなどに整理し、それぞれの定量化方法を定める。	○	・シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン：2015(AESJ-SC-A008:2015)が日本原子力学会標準として発行された。本ガイドラインは解析コードのV&Vや不確かさ評価に関する一般論としてまとめられたものであり、個別分野への適用が今後進められてくる。高速炉核設計分野では、同ガイドに基づくV&V/UQの方法論の検討が実施されている(JAEA、産業界)。 ・日本原子力学会・炉心燃料分科会にて「発電用軽水炉原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書」として、炉心・燃料に関する安全上の要求事項から安全評価事象とその入力となる核設計パラメータ及び核設計への要求事項について体系的に纏められた。	・シミュレーション技術の高度化・複雑化に伴い、シミュレーションに対するV&VやUQの重要度が高まっているため。 ・原子炉の安全性を一層高めていくことを目的として、炉心・燃料が安全に設計されていることを説明性を向上させるため。	A	A	・安全性への関心の高まりを受けて、重要度・緊急度ともに高い。		・当面は不確かさ評価技術の高度化を図りつつV&VやUQ方法論の個別分野への適用を進めていくことが必要。	
		不確かさ評価技術	不確かさ評価技術は、安全余裕の定量化の基礎となるべき技術であり、炉物理の入力となる物理量、炉物理で生成(計算)される物理量に対し、それぞれの不確かさの伝播および評価技術を確立する。併せて、検討するべき不確かさを整理し、不確かさ評価が可能な物理量、現時点で評価不可能なもの、実験等を実施すれば評価可能となるもの等に仕分けする。	○	・SCALEシステム(v6.2)において、ランダムサンプリング法に基づく、核データ起因不確かさ評価機能が整備され、日本国内においても利用可能となった。 ・大学を中心に感度解析もしくはランダムサンプリング法による核データ起因不確かさ評価技術、データ同化技術(炉定数調整・バイアス因子法)の開発・研究が実施され、規制組織、産業界でもこれらの技術に基づく不確かさ評価技術が検討されている。 ・高速炉については、炉定数調整法等の不確かさ評価技術に適用することを目的として、実験誤差や解析モデル誤差のマトリックス(標準偏差と相関係数のセット)の評価手法を提案し、利用可能な実験解析データに適用して評価を行った(JAEA-Research 2012-013)。 ・現時点では、炉物理コードにのつての入力である核データ起因不確かさの研究がほとんど。	安全審査でのV&V、不確かさ評価への要求の高まりを受け、最新知見に基づいた、best estimate+不確かさ評価を実施できるように、大学、産業界を中心に、高速炉分野にて研究されてきた核データ起因不確かさ評価技術を軽水炉応用するための研究が行われている。	A	A	・安全性への関心の高まりを受けて、重要度・緊急度ともに高い。		・国外計算コードに頼っており、国内計算コードシステムが十分に整備されていない。 ・共分散データの整備が十分とは言えない状態であり、核データ分野との情報交換などを通じて、拡充が必要。 ・核データ起因以外(計算不確かさ、形状等入力条件)の不確かさ項目に対する検討が必要。 ・測定誤差・相関も含めた実験結果の整備を実施する必要がある。 ・解析手法起因の不確かさ評価が課題。	
		マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術	通常運転、過渡・事故における炉内の核・熱・流動現象を詳細に模擬するマルチフィジックス統合解析を、メソからマクロスケールまでのマルチスケールで実施できる技術を開発する。	○	・米国CASLに代表されるマルチフィジックスコードの開発 ・燃料棒単位の炉心シミュレータをベースとした過渡解析コードの開発	炉内の複雑な現象を模擬するためには単一の物理だけでなく、複数の物理を組み合わせた解析が必須である。近年では、核熱水力だけでなく、材料や水化学まで広がっている。計算速度の向上が発展の一因である。	A	A	・実験を代替できる大規模シミュレーションのニーズは高い。 ・大型の研究開発プロジェクトとして、研究テーマとしても人材育成の面でも有望である。異分野間の協調によるブレークスルーの実現も可能と考えられ、重要である。		・現時点では実験を代替するには、考慮する範囲が限定的であり、一方、一部の安全上の現象のメカニズムをはあくすることへの活用も期待される。 ・特にマイクロな特性については、実験データの取得が難しいためV&Vが進まない。	
		インベントリ・放射化高精度評価技術	計量管理、臨界監視、保障措置、クリアランスなどの観点から核種インベントリに対し信頼性の高い評価を与える技術開発を行う。	○	核データ分野における核種燃焼データの高度化 □JENDL-4.0uの整備(JAEA、JENDL委員会) □PIE同位体組成データ採取・情報DB整理の進展(JAEA、産業界) □燃焼感度法等による不確かさ定量化研究の進展(JAEA、大学) 核種燃焼計算モデル・手法の高度化 □燃料集合体定数計算時の詳細チェーンモデルの採用(産業界) □炉心計算時のミクロ燃焼モデルの採用(産業界) □CRAM(Chevyshev Rational Approximation Method)適用研究等不確かさ低減手法研究の充実(JAEA、大学、産業界) 非破壊測定技術開発 □燃焼度測定のためのガンマ線スペクトル法研究の進展(電中研、JAEA) 放射化評価手法の高度化 □遮蔽効果を考慮した放射化評価手法の検討(JAEA) □炉外漏洩スペクトルを考慮した炉外構造物放射化評価の検討(JAEA) □放射化評価ライブラリの高度化(JAEA) ・核データ共分散データに起因した放射化量不確かさ評価手法	□新規制基準対応のために長期間停止している原子炉炉心の核特性パラメータ予測精度向上のため、長期冷却期間における崩壊計算モデルの厳密化研究が行われ、炉心計算時の主要核種予測精度向上研究が進んだ。 □SA時の原子炉炉心やSFPにおけるFPインベントリや崩壊熱の予測精度を向上し、SA解析条件の説明性向上(十分なマージンが設定されていること)を図るとともに、炉心だけでなくSFPにおける核特性パラメータ監視などの事故時早期対応のための高度化研究が進んだ。 □AEAより使用済み燃料再処理の受け入れ時における計算によるインベントリ予測誤差SRD(Shipper/Receiver Difference)低減要求が示され、燃焼計算の高度化における継続的なモチベーションになっている。 □核物質防護のため、使用燃料も含めた燃料中の核種インベントリに対する計量管理時の精度を向上することは継続的なモチベーションになっている。 □核燃料施設の臨界安全評価において、燃焼度クレジットの導入により過度な保守性を排除することは、設備の効率的な使用に資することから、継続的なモチベーションになっている。 □プラントの廃炉や放射性物質利用施設の廃止に伴い、過度な保守性を排除した現実的な放射化レベル評価の開発と、説明性の高いクリアランスレベルの設定は、放射性廃棄物の物量低減による処理コストの削減に資することから、継続的なモチベーションになっている。	動機において示された長期冷却炉心、SFP未臨界、SRD、核物質計量管理、燃焼度クレジット、放射化評価、クリアランスレベル設定は、いずれもニーズが高く、インベントリ予測精度が各種観点に多大な影響を与える。	A	A			□クリアランスレベルの設定はニーズが高く重要ではあるが、実現には技術開発だけでない多くの技術外プロセスが存在することからスムーズに進めにくい要素を持つ。誰がどのようなアクションで進めていくのかを官主導で検討を進める必要がある。 □燃焼計算に対するV&VIにおいて、PIE解析による妥当性確認が説明性の観点で最も重要であるが、商用プラントが停止している状況ではプロジェクトの立案が難しい。また、PIEによる同位体組成データ採取に対する技術伝承のためにも、PIEプロジェクトの機会創出が望まれる。 □燃焼チェーンの詳細化は巨大な燃焼行列を指数関数で取り扱うため、計算コストが莫大になり、計算コスト削減のため、タイムメッシュや核種選定に多くの工学的判断が含まれるが、物理現象が複雑であることからロバストなモデルの構築が難しい分野である。Krylov部分空間法やCRAMのような計算手法分野におけるイノベーションやHPC(High Performance Computing)の発展が望まれる。 ・放射化量の計算において、連続エネルギーモンテカルロ計算を用いた場合、実用的な時間で放射化量不確かさ評価を実施することができない。決定論的手法の場合、摂動論に基づいた手法が十分に研究されていない(品質保証された計算コードシステムが無い)。

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
		未臨界と判定できる実効増倍率の決定方法	臨界安全ハンドブックによると、対象系が未臨界であると計算により判定するために用いられる中性子増倍率である「最大許容増倍率」は、臨界になると思われる値(推定臨界値)を推定する際の誤差を考慮して定めた「推定臨界下限増倍率」(未臨界であると判断してよいと考えられる中性子増倍率の上限)に安全裕度を考慮して定めることとなっている。この最大許容増倍率の設定方法を最新知見に基づいて検討する。	△	・2012年炉物理夏期セミナーの「不確かさ評価の基礎」のAppendixとして、既存の推定臨界下限増倍率の求め方について理論がまとめられた。 ・米国ではUpper Subcritical Limit(USL)評価支援ツールWhisperが開発されているもの、国内では評価ツールを開発するには至っていない。	評価済み核データ&計算コードシステムとして最新知見のものを用いた場合、過去の核データ&計算コードの結果から変化する。最新知見の反映に応じた、合理的な判定基準の設定法を考える必要がある。	A	B	至急対応すべき事項ではないが、将来において合理的な臨界安全を実施するために重要だと考えられる。		国内用の評価ツールの開発にあたっては、臨界安全解析に使用する計算コード(例MVP)を選定した上、その計算コード用の入力ファイル式を整備する必要がある。加えて、keff感度係数評価可能な連続エネルギーモンテカルロ計算コードも必要となる。 臨界下限推定値などの臨界安全パラメータの設定は、どのように安全確保を行うかという基本的な考え方に依存する。その意味では、臨界安全における安全確保の考え方から、現在の状況に合わせて見直す必要がある。
	実験技術	実験測定技術の高度化	事故時評価や将来炉設計を見据えた体系の模擬性や測定技術の高度化に資する関連技術を開発する。	○	1) 廃液処理、冷却設備の未臨界監視システムの開発、炉内の燃料デブリの再臨界に対する再臨界検知システムの開発が進められている。また、溶融燃料デブリの核物質量を把握するための手法の開発が進められている。 2) 高速炉分野における断面積調整法やバイアス因子法等に加え、軽水炉分野における代表性因子等の研究により実験計画への応用が進められている。	1) 福島第一原子力発電所の溶融した核燃料(デブリ)を解体するにはデブリが未臨界であることを監視しながら作業を進めることが必要不可欠である。また、我が国の核物質が平和利用以外の目的に転用されていないことを国際社会に対して示すため、溶融燃料デブリ等の複雑な組成物に含まれる核物質を計量する技術開発が必要不可欠である。 2) 臨界実験と実機の模擬性を定量的に判断するための指標に関する研究が必要である。	S	S	1) 福島第一原子力発電所の廃止措置を安全かつ着実に進めていくことが必要不可欠であり、これらの重要度及び緊急性は極めて高い。 2) 利用可能な臨界実験装置は世界的に減少傾向にあり、今後ますます既存データの有効活用が不可欠となる。		1) 未臨界監視システムに関しては、広く分布している燃料デブリの部分的な実効増倍率の上昇を検出できることが要求される。再臨界検知システムに関しては、燃料デブリの分布が十分に把握できていない現状では中性子増倍率の監視は容易ではない。また、検知するまでの時間遅れが存在し、検知後の対策にも時間を要することが課題である。 2) 実験施設が減ってゆく中で模擬性は重要度が増してゆく。
		未臨界度の絶対測定手法	核燃料を含んだ種々の体系に対して、未臨界度の絶対値を測定する手法を開発する。	○	1Fにおける臨界検知システムとして、ガスサンプリング系システムで測定された放射性希ガスを利用した手法が開発された。 炉雑音解析に基づいた測定手法についても検討が進められている。	1Fにおける未臨界監視・臨界近接検知技術として必要性が生じた。	S	S	福島第一原子力発電所の廃止措置を安全かつ着実に進めていくことが必要不可欠であり、重要度及び緊急性は極めて高い。		測定結果の不確かさ評価が課題。
	データベース	核設計コードの標準(検証用)ベンチマーク問題の整備	核計算コード(核データを含む)の信頼性評価(検証)に利用できるベンチマーク問題を整備し、標準的な検証手法の確立を目指す。今後20-30年程度に許認可の対象になり得ると考えられる炉等(サイクル施設も含む)について、規制も交えた場でベンチマーク問題の選択を行い、各炉等に対する「標準」として提供する。「標準」としての検証用問題の整備では、対象となる炉型や(サイクル)施設に応じて適切なベンチマーク問題を選択する必要があるが、その際にどのような観点で対象とする炉等との類似性を判断するのが重要となる。また、実証性の観点から実機商業炉のデータに基づくベンチマーク問題の整備について検討する。	○	□JENDL委員会 炉定数専門部会「リアクター積分テストWG」において2013～2016年度に検討されており、「JENDL開発のための軽水炉ベンチマークの整備」としてICSBEP及びIRPhEから軽水炉を対象としたベンチマーク問題が整備された結果が報告書としてまとめられている。これによりベンチマーク問題選定の型が整備され、基本的なプロセスが完成している。 ・高速炉については、MA関連以外については既にベンチマークのMVP入力と検証に利用可能な実験の選定を終え、2012年度にJAEA報告書として公開済み(JAEA-Research 2012-013)。 ・OECD/NEAの「WPRS Expert Group on Reactor Physics and Advanced Nuclear Systems」に「Sodium-cooled fast reactor (SFR) Benchmark Task Force」が設けられ、Na冷却高速炉のベンチマークが行われた。世界各国の各機関の燃焼も含めた核特性のベンチマークを行った結果、ほぼ満足できる一致が見ることが確認できた。各機関の結果の差異は説明可能であり、ほとんどは核データの差によるものであることが分かった。 □各機関における開発中の次世代コードによる臨界集合体解析、PIE解析結果や実機燃焼追跡結果の学会等による公開は適宜行われている。最近ではMITが整備したPWRベンチマーク問題BEAVRSが各機関で実施され、学会等で広く報告されている。	核データの観点 □今までのJENDLの検証で用いてきたMVPの入力データは入力の検証およびベンチマークの選定基準・評価が不十分であったため、JENDLの検証に用いるMVPの入力の信頼性および妥当性向上を目的として、JENDL委員会及びJAEA内で入力データの検証とベンチマークの拡充が進められている。 核計算コードの観点 □コードV&VIに対する説明性向上のため。	A	A	核データ開発やコード開発において説明性向上のため重要度は高い。特にコード認証審査においては各機関における共通ベンチマークによる確認は審査の効率化に資する。		□産業界では各機関において新型燃料の導入等に対する適用範囲拡張のための妥当性確認実験への投資が行われている。これらは当然ながら非公開であるものも多いが、目的に対する適合性が高いことから、公開データベースだけでV&Vを完結することは無い。また、コードの適用範囲(利用目的)、コードが有するモデルや機能に応じてV&Vメニューが整備されるべきであると考えられ、またそのコードに特有のモデル化に関するノウハウ等も含むことから、全メニューの統一化は難しいと考える。 □過去の実験データには、アグレッシブな実験であることから現代の風潮に馴染まず実施が難しいが、現代でもV&Vメニューとして貴重な実験もある。しかし、そのような実験において、実験誤差が評価されていないものや、不純物や製造公差が不明瞭なものも多く、説明性の観点でV&Vセットに採用することができない問題がある。そのような実験について業界全体で有効化手法の検討や代替実験・ベンチマークの検討を行う必要がある。 ・核データの検証のため、溶液系や溶融塩炉などの商業炉以外のベンチマークや、MA関連のベンチマークにおけるMVP入力作成と検証に利用可能な実験を選定していく必要がある。 近い将来、今までベンチマーク問題を用いた核データ及び核計算コードを検証してきた技術者がいなくなることが懸念されることから、核データ及び核計算コードを検証できる技術者の育成も重要である。
		核データ評価技術の継承と高度化	実験的研究により得られた測定値と理論的研究により得られる計算値を基にして、最も適切と考えられる核データの値を評価するための技術について、その標準化を図り、次世代に継承するとともに、高度化(改良)を進める。また、ここでの核データ評価技術には、核データ測定や理論計算も含めて考えるものとする。	○	J-PARCの中性子核反応測定装置(ANNRI)における断面積測定 核データ評価技術の高度化	次期JENDL開発のため、継続的な活動がなされている。また、核計算の高精度化のためにも核データの高度化は非常に重要である。	A	A	核データ評価技術の高度化は、炉心解析の信頼性に大きな影響を与えることから、非常に重要度が高いと考えている。但し、人材育成には長期的な視点が必要となることから、緊急度はSではなく、Aとした。		・核データ評価者が世界的に少なくなってきており、核データ評価者の育成が急務である。特に以下のデータについては、既に評価者がほとんどいない、もしくは炉物理分野から拡充が強く求められていることから、これらの核データの評価者の育成が求められている。 1. 熱中性子散乱則の評価 2. 分離共鳴パラメータの評価 3. 核分裂収率の評価 ・核データ側に炉物理からの要望を積極的に伝える必要がある。
		共分散を含む高品質の核データ整備	共分散データを含めた核データについて、その品質を管理し、より高精度の核データとして整備する。MA等のサンプル入手の問題を考えると、国際的な枠組みでの取り組みが望ましい。	△	鉛などの共分散データを新たに整備すると共に、共鳴領域に対する共分散データ評価手法の開発が進められている。 (但し、ほとんどの核種はJENDL-4.0から変わっていない) また、OECD/NEA/WPECなどで、国際的に核データ共分散の妥当性を評価する動きが始まっている。	次期JENDL開発のため、継続的な活動がなされている。また、核計算の高度化に伴い、感度解析が重要視されるようになったため、共分散データの重要性は高まっている。	A	A	核データの高度化、炉心解析の信頼性に大きな影響を与えることから、重要度が高いと考えている。但し、人材育成には長期的な視点が必要となることから、緊急度はSではなく、Aとした。		J-PARCのANNRIの測定データとその測定誤差から核データの共分散データを作成することが期待されている。特にANNRIでは、ADS炉の実現を目的としたMAの断面積測定が予定されており、MAの共分散データの拡充が期待される。現在共分散データの存在しない核種については共分散データの拡充が求められており、また共分散データの存在する核種については共分散データの信頼性向上が求められている。しかし、共分散データの評価者は日本はもちろんのこと、世界的に見てもほとんどいないことから、共分散データ評価者の育成が求められている。

大分類	中分類	小分類	概要	アクション実績の有無	具体的なアクション内容	アクションに至った動機	重要度	緊急度	重要度、緊急度設定根拠	アクションが無かった理由	課題
		国産標準コードシステムの開発、国産断面積処理コードの整備	炉心設計の検証に資する国産標準コードシステムと断面積処理コードを整備する。	○	<ul style="list-style-type: none"> 国産核データ処理システムFRENDYの開発がJAEAを中心に進められている。 汎用炉心解析システムMARBLE第2版の開発を完了し、国内配布を2015年8月より開始した。 決定論的核計算コードSRACの最新バージョンであるMOSRA-SRACが2016年に公開され同年6月にはNEAデータバンクを通じて海外への提供も可能となった。 連続エネルギーモンテカルロMVPの第3版の開発がすみ、2015年7月からβ版の配布を開始した。正式版は2017年度にリリースされる。 ベクトルマシンに最適化されたMVPの問題点を克服する事を目的とした新しいモンテカルロソルバーの開発にも着手している。 統合的ベンチマーク実施環境VACANCEの開発を行い、核データ及び計算コードの妥当性確認が必要となる計算を自動的に実施する環境の整備が進んだ。 	核計算コードの整備は我が国の原子力開発を支える根幹部分とも言える。そのため将来を見据えて、様々なシステムを整備を進めている。特に核データ処理コードについては、米国で開発され広く利用されてきた核データ処理コードNJOYではJENDLを処理できない問題が存在していた。この問題を根本的に解決することで、核計算コードが必要とする最新の断面積ライブラリをタイムリーに供給するとともに、今後のJENDLの普及に資する事を目的とし、国産核データ処理システムの開発を開始した。モンテカルロコードにおいては、MVP第3版の公開に留まらず、品質保証の観点からニーズの高い、並列度が異なっても計算結果が一致する計算手法に基づいたソルバーや、デブリの臨界安全のような様々な物質が分布をもって混在しているような体系のモデル化への対応も必要とされた。ベンチマーク実施環境は、入力データのデータベース化と共有化の観点から必須であり、今後の核データ及び計算コード開発の基盤となることを目途として着手した。	A S	A	断面積ライブラリは核計算の基礎データであり、断面積ライブラリが適切に作成できない事態に陥った場合、JENDLだけでなく、核計算コードの信頼性も損なわれてしまうため、重要度は非常に高い。FRENDYの開発が進捗し、連続エネルギーモンテカルロ用ライブラリの作成までが出来るようになったため、緊急度はAとした。		<ul style="list-style-type: none"> 現時点では連続エネルギーモンテカルロ計算用の断面積ライブラリ作成が可能となっている。FRENDYで国内で使われている計算コードの断面積ライブラリの多くを作成するため、今後は以下の実装が求められている。 <ol style="list-style-type: none"> 多群ライブラリ作成機能 共分散データ処理機能 KERMA因子・DPA断面積計算機能 現在国内で使用されている汎用の核計算コードであるSRACは、現在の核計算のニーズを十分に満たしておらず、最新知見を取り込んだ解析コードの整備が望まれる。 核データベンチマークへの適用等の観点から、熱中性子体系で利用可能な感度解析ソルバーの開発・公開が必要である。 国内ではJENDLをベースとしたORIGEN2用のライブラリが広く利用されているが、ORIGEN2コードの代替となる国産の燃焼・崩壊熱計算ソルバーの開発・公開が必要である。 全炉心解析に必要な効率的な計算機資源の利用に注意をはらったモンテカルロコードなどが今後求められる。 国産コードの中で連続エネルギーモンテカルロコードが多く使われる中で、多群法に基づく中性子輸送コードに対するニーズもある。 VACANCEにより妥当性検証に必要な環境を整えられつつあるとは言っても、核設計解析への適用等の観点から、原子力学会標準に準拠したV&Vプロセス等に効率的・効果的に対応するための検証システムの開発や汎用性向上に関する整備が必要である。 日本のコミュニティとして、(これまでに活用してきた海外の便利なコードを捨てて)国産の炉物理コード、断面積処理コードの利用を積極的に進めていく覚悟があるかと動機付けがあるか。 JAEAとして貢献が無ければ開発を続けられない。(バックアップコードの位置づけではなく、現在のコードを代替する位置づけが必要)
革新炉の設計技術	核変換	将来の核変換に係る技術を整備(維持、高度化)する。	○	<ul style="list-style-type: none"> 長寿命マイナーアクチノイド(MA)原子核を核分裂によって核変換する高速炉、加速器駆動型炉(ADS)及び革新炉の設計検討が進められている。また、積分実験としてKUCAにおいてADSを模擬した炉物理実験が行われている。加えて、微分実験として重イオン多核子移行反応を用いた代理反応による即発中性子数と中性子のエネルギーベクトル等の測定、MA及び長寿命核分裂生成核種(LLFP)に対する中性子核データの高精度化が進められている。 加速器駆動システム(ADS)に関する数値解析手法、未臨界度測定手法技術について、継続的にR&Dを実施している。 OECD/NEAでMAマネジメントのための積分実験データ向上に関する専門家会合が開催され、国際共同実験の可能性が議論されている。 	核変換技術は、高レベル放射性廃棄物(HLW)の最終処分という原子力利用最大の課題の一つが膠着状態にあるなか、放射性廃棄物の減容及び有害度低減を行い、社会受容性を高める可能性を持っているため。	A	B	今後の原子力利用のあり方が不確実性を増す中で、どのような選択肢においても、HLW処理処分は着実に進められなければならない。そのような中で、分離・核変換技術の研究開発を推進していくことは極めて重要である。		<ul style="list-style-type: none"> 炉物理分野における課題として、MA装荷炉心の核設計、未臨界度測定手法の高度化(高精度、リアルタイム測定)が挙げられる。両者とも解析のみならず、実験を行うことが必要である。既存のKUCA等を用いた実験に加えて、TEF-P等の新たな実験環境の整備を着実に進めていくことが求められる。 数値解析:核破砕反応に起因した20MeV超の中性子輸送については、PHITSなどのモンテカルロ計算に依っており、全エネルギー範囲を決定論的手法で解けない。不確かさを低減するためには、評価済み核データの更新も必要。 実験:数値解析によるADSの核特性不確かさを低減するため、評価済み核データ(例えばPb,Bi)の更新に資するような、積分実験(Pb,Biサンプルワース等)が必要。 未臨界度測定:出力炉(熱的フィードバック効果有り、計数率が高い)に対する、パルス中性子法および炉雑音解析手法による未臨界度測定法の適用可能性について十分検討できていない。 	
		固有安全炉	将来の革新的原子炉に係る技術を整備(維持、高度化)する。	○	<ul style="list-style-type: none"> 国プロとしてATF(accident tolerant fuel)候補在の既存軽水炉への適用性の検討・開発が進められている。 固有安全炉の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 福島第一事故を受けて本質的に安全な原子炉開発が望まれた。 開発の方向としては、シビアアクシデント時の水素ガス発生を抑制するATFと、本質安全を追求した固有安全炉が指向されている。 	S	A	平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では「いかなる事情よりも安全性を全てに優先させ、国民の懸念の解消に全力を挙げると」されており、本件は重要項目の一つである。		<ul style="list-style-type: none"> プラント安全性向上にはこれまでの運転経験からのノウハウも含まれるため、安全性の高いプラント概念を提案したとしても、即座に現行炉より高い安全を実現できるとは限らない。 他電源と比較したときにメリットがなければ、安全性の観点で原子力を選択する必要はないため、メリットを示すことが必要。
		Thサイクル	将来のエネルギーリソース多様化に係る技術としてThサイクルの技術を整備(維持、高度化)する。	○	<ul style="list-style-type: none"> 各種炉型へTh燃料を装荷した場合の核特性評価(不確かさ評価を含む)。 使用済みTh燃料の放射性毒性評価(炉型:PWR)。 Th熔融塩炉のSA時ソースターム評価。 Th断面積測定。 	<ul style="list-style-type: none"> 重水増殖炉の核的成立性の評価。 Th装荷炉心性能の定量評価(内部転換比、核的安全パラメータの改善度合い、燃料欠損反応度)。 SA時の燃料挙動に関する知見不足。 断面積データの信頼性向上。 	A	B	エネルギーセキュリティを強化するうえで、増殖炉燃料を多角化することは極めて重要である。一方、レッドブック2014によると、2013年度のU既知資源量は2012年のU資源需要量をおよそ120年満たすと見積もられている。	N/A	<ul style="list-style-type: none"> Th資源確保。 Th酸化物燃料の製造方法として、現行の商用化工法である粉末ペレット法が有望。しかしながら、商用化にはペレット密度向上技術(低温焼結、ThO2の融点:3350℃)の研究開発が必須。