

令和7年度技術士試験「原子力・放射線部門」対策講座

令和6年度技術士二次試験「原子力・放射線部門」

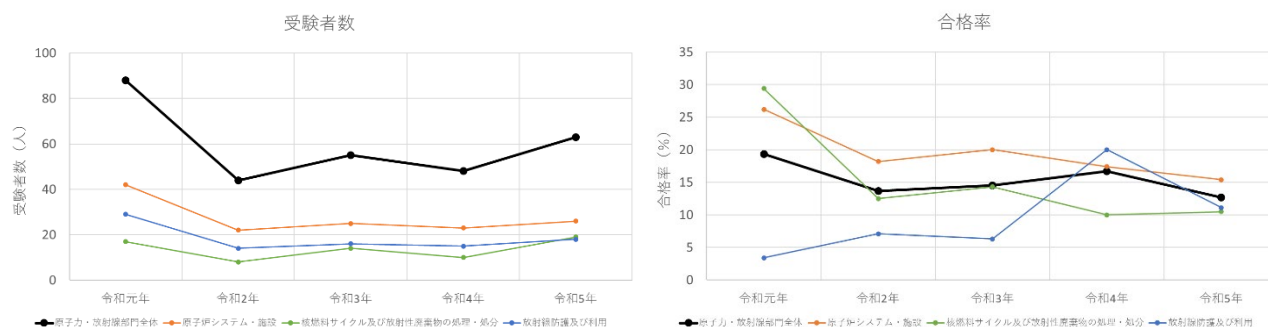
ーそのポイントを探る～全体解説，必須科目及び選択科目の設問と解説ー

一般社団法人 日本原子力学会 教育委員会 技術者教育小委員会 監修

1. はじめに

令和6年（2024年）7月15日に技術士第二次試験「原子力・放射線部門」の筆記試験が実施された。2004年に本部門が新設されてから2024年度で21回目を数える。その間、試験制度は何度か見直されているが、直近では、令和元年度（2019年度）の見直しで大きく変わった。選択科目の統合・再編がなされ、技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）を直接的に問うような設問が増えている。

現在の試験制度になった令和元年度～令和5年度の過去5年で、298名が受験し、47名が合格しており、15.8%の合格率となっている。令和元年度～令和5年度における技術士 原子力・放射線部門の受験者数と合格率の推移を下図に示す。令和5年度（2023年度）の原子力・放射線部門の受験者数は63名であり、COVID-19の流行後に実施された令和2年度以降で最も多い受験者数となっている。一方、原子炉システム・施設や核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分については、令和2年度以降大きく変わっていないことから、COVID-19蔓延の影響から脱していないとも考えられる。2023年度の合格者を選択科目別にみると、原子炉システム・施設4名、核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分2名、放射線防護及び利用2名の合計8名であり、合格率は12.7%であった。近年15%程度の合格率となっており、原子炉システム・施設と核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分では合格率が低下してきており、放射線防護及び利用では合格率が上昇してきているが、ともにおよそ15%程度の合格率となっていることから、試験の難易度は同等のものが続くと考えられる。合格のハードルは依然として高いことから、受験生は入念な試験対策を実施する必要がある。



令和元年から令和5年までの受験者数及び合格率の推移

技術士になれようとしていて、これから試験を受けられる方は、技術士に求められる資質能力とは何か、試験で何が問われているのかを理解することが重要となる。これらを踏まえて、技術士に求められる資質能力を鍛えることを想定しながら、解答・解説を活用頂き、試験で何を問われて、何を解答するべきなのかを掴んでいただきたい、また、業務や情報収集の際にどのような視点で知見を広げ、どう研さんすればよいのか参考にして頂きたい。

そこで、ここでは、技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）と各設問でどのコンピテンシーが問われているのかを解説する。令和元年に試験制度が大きく見直された後、令和5年（2023年）1月25日第11期技術士分科会における技術士制度改革の検討報告にて初めてコンピテンシーが改訂されている。このため、令和7年度試験においては、この新しいコンピテンシーに留意する必要がある。改訂前のコンピテンシーと改訂後コンピテンシーの比較を下表に示す。改訂で追記されている部分を赤字で記載している。これは、技術士が海外でも活躍できるよう、技術士資格の国際的な実質的同等性の確保の観点が加味されており、技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）については、国際エンジニアリング連合（IEA）が定める「修士生としての知識・能力（GA; Graduate Attributes）と専門職としてのコンピテンシー（PC; Professional Competencies）」に準拠することが求められている。2021年6月にIEAにより「GA&PCの改訂（第4版）」が行われ、国際連合による持続可能な開発目標（SDGs）や多様性、包摂性等、より複雑性を増す世界の動向への対応や、データ・情報技術、新興技術の活用やイノベーションへの対応等が新たに盛り込まれた。これにより、コンピテンシーの項目は変わっていないものの、データおよび情報技術の活用、多角的視点、ステークホルダーの意見取り入れ、包摂的な意思疎通、協働すること、持続可能な成果の達成、新しい技術とともに絶えず変化し続ける仕事の性質への適応が追記されていることに留意頂きたい。

これに合わせて、令和5年（2023年）3月8日に技術士倫理綱領も更新されており、参照頂きたい。また、技術士倫理綱領への手引きに記載

されている解説を合わせて読んでいただくと技術者倫理について理解が深まるので有益である。

令和5年改訂前後のコンピテンシーの比較（改訂追記部分を赤字で記載）

コンピテンシー	令和5年改訂前	令和5年改訂後
専門的学識	・技術士が専門とする技術分野（技術部門）の業務に必要な、技術部門全般にわたる専門知識及び選択科目に関する専門知識を理解し応用すること。 ・技術士の業務に必要な、我が国固有の法令等の制度及び社会・自然条件等に関する専門知識を理解し応用すること。	・技術士が専門とする技術分野（技術部門）の業務に必要な、技術部門全般にわたる専門知識及び選択科目に関する専門知識を理解し応用すること。 ・技術士の業務に必要な、我が国固有の法令等の制度及び社会・自然条件等に関する専門知識を理解し応用すること。
問題解決	・業務遂行上直面する複合的な問題に対して、これらの内容を明確にし、調査し、これらの背景に潜在する問題発生要因や制約要因を抽出し分析すること。 ・複合的な問題に関して、相反する要求事項（必要性、機能性、技術的実現性、安全性、経済性等）、それらによって及ぼされる影響の重要度を考慮した上で、複数の選択肢を提起し、これらを踏まえた解決策を合理的に提案し、又は改善すること。	・業務遂行上直面する複合的な問題に対して、これらの内容を明確にし、<u>必要に応じてデータ・情報技術を活用して定義し</u>、調査し、これらの背景に潜在する問題発生要因や制約要因を抽出し分析すること。 ・複合的な問題に関して、<u>多角的な視点を考慮し、ステークホルダーの意見を取り入れながら</u>、相反する要求事項（必要性、機能性、技術的実現性、安全性、経済性等）、それらによって及ぼされる影響の重要度を考慮した上で、複数の選択肢を提起し、これらを踏まえた解決策を合理的に提案し、又は改善すること。
マネジメント	・業務の計画・実行・検証・是正（変更）等の過程において、品質、コスト、納期及び生産性とリスク対応に関する要求事項、又は成果物（製品、システム、施設、プロジェクト、サービス等）に係る要求事項の特性（必要性、機能性、技術的実現性、安全性、経済性等）を満たすことを目的として、人員・設備・金銭・情報等の資源を配分すること。	・業務の計画・実行・検証・是正（変更）等の過程において、品質、コスト、納期及び生産性とリスク対応に関する要求事項、又は成果物（製品、システム、施設、プロジェクト、サービス等）に係る要求事項の特性（必要性、機能性、技術的実現性、安全性、経済性等）を満たすことを目的として、人員・設備・金銭・情報等の資源を配分すること。
評価	・業務遂行上の各段階における結果、最終的に得られる成果やその波及効果を評価し、次段階や別の業務の改善に資すること。	・業務遂行上の各段階における結果、最終的に得られる成果やその波及効果を評価し、次段階や別の業務の改善に資すること。
コミュニケーション	・業務履行上、口頭や文書等の方法を通じて、雇用者、上司や同僚、クライアントやユーザー等多様な関係者との間で、明確かつ効果的な意思疎通を行うこと。 ・海外における業務に携わる際は、一定の語学力による業務上必要な意思疎通に加え、現地の社会的文化的多様性を理解し関係者との間で可能な限り協調すること。	・業務履行上、<u>情報技術を活用し</u>、口頭や文書等の方法を通じて、雇用者、上司や同僚、クライアントやユーザー等多様な関係者との間で、明確かつ<u>包摂的な</u>意思疎通を<u>図り</u>、<u>協働すること</u>。 ・海外における業務に携わる際は、一定の語学力による業務上必要な意思疎通に加え、現地の社会的文化的多様性を理解し関係者との間で可能な限り協調すること。
リーダーシップ	・業務遂行にあたり、明確なデザインと現場感覚を持ち、多様な関係者の利害等を調整し取りまとめることに努めること。 ・海外における業務に携わる際は、多様な価値観や能力を有する現地関係者とともに、プロジェクト等の事業や業務の遂行に努めること。	・業務遂行にあたり、明確なデザインと現場感覚を持ち、多様な関係者の利害等を調整し取りまとめることに努めること。 ・海外における業務に携わる際は、多様な価値観や能力を有する現地関係者とともに、プロジェクト等の事業や業務の遂行に努めること。
技術者倫理	・業務遂行にあたり、公衆の安全、健康及び福利を最優先に考慮した上で、社会、文化及び環境に対する影響を予見し、地球環境の保全等、次世代にわたる社会の持続性の確保に努め、技術士としての使命、社会的地位及び職責を自覚し、倫理的に行動すること。 ・業務履行上、関係法令等の制度が求めている事項を遵守すること。	・業務遂行にあたり、公衆の安全、健康及び福利を最優先に考慮した上で、社会、経済及び環境に対する影響を予見し、地球環境の保全等、次世代にわたる社会の<u>持続可能な成果の達成を目指し</u>、技術士としての使命、社会的地位及び職責を自覚し、倫理的に行動すること。 ・業務履行上、関係法令等の制度が求めている事項を遵守し、文化的価値を尊重すること。

	・業務履行上行う決定に際して、自らの業務及び責任の範囲を明確にし、これらの責任を負うこと。	・業務履行上行う決定に際して、自らの業務及び責任の範囲を明確にし、これらの責任を負うこと。
継続研さん	・業務履行上必要な知見を深め、技術を修得し資質向上を図るように、十分な継続研さん（CPD）を行うこと。	・CPD 活動を行い、コンピテンシーを維持・向上させ、 <u>新しい技術とともに絶えず変化し続ける仕事の性質に適応する能力を高めること。</u>

各試験問題で問われているコンピテンシーを下表に示す。各設問を解答する際には、問われているコンピテンシーを理解していると設問の意図に沿った解答がしやすいので、参考にして頂きたい。筆記試験においては、すべての問題で専門的学識とコミュニケーションが求められており、これらについては常に念頭に置いておくことが必要である。一方、必須科目Ⅰ、選択科目Ⅲでは、問題解決と評価が求められていることに注意頂きたい。また、必須科目Ⅰについて技術者倫理が求められていることに留意頂きたい。選択科目Ⅱ-2においては、マネジメントとリーダーシップが求められているため、これらの視点で解答することで問われているコンピテンシーに対応することとなるため、参考にすることで解答しやすくなるため念頭においておくことをお勧めする。

各試験問題で問われているコンピテンシー

コンピテンシー	必須科目Ⅰ	選択科目Ⅱ-1	選択科目Ⅱ-2	選択科目Ⅲ	口頭試験
専門的学識	○	○	○	○	
問題解決	○			○	
マネジメント			○		○
評価	○			○	○
コミュニケーション	○	○	○	○	○
リーダーシップ			○		○
技術者倫理	○				○
継続研さん					○

必須問題においては、原子力・放射線分野の幅広い知識が求められ、専門科目においても時事問題のような最新の動向からの出題が多くなっているため、原子力学会誌などの学会誌に掲載されているトピックス、原子力・放射線に関連する社会動向などの時事問題なども出題されることがあるので、アンテナを張っておくことが大いに役に立つ。また、原子力の動向としては、原子力白書などの白書に目を通しておくことも原子力の現状を把握するためには良い手段であり、さらに、2024 年は第7次エネルギー基本計画が議論されてきており、第7次エネルギー基本計画が2025 年2 月18 日に閣議決定され注目を集めているが、このようなメガトレンドを把握しておくことも重要であり、試験でも問われるポイントとなっている。

2. 第二次試験の試験要領

第二次試験の試験要領は、前年度と同様であり、詳細は日本技術士会ホームページの試験・登録情報の「令和7年度 技術士第二次試験の実施について」、「発表資料（技術士試験合否判定基準）」及び「技術士第二次試験実施大綱」を参照いただきたい。

(1) 筆記試験

- ① 必須科目及び選択科目は、いずれも記述式により行う。
- ② 筆記試験の問題の種類及び解答時間は、次のとおりとする。

問題の種類	解答時間	配点	合否判定基準（注）
Ⅰ 必須科目 「技術部門」全般にわたる専門知識、応用能力、問題解決能力及び課題遂行能力に関するもの	2時間	40点満点	60%以上の得点
Ⅱ 選択科目 「選択科目」についての専門知識及び応用能力に関するもの Ⅲ 選択科目 「選択科目」についての問題解決能力及び課題遂行能力に関するもの	3時間30分	60点満点 30点 30点	60%以上の得点

（注）：令和6年度技術士試験合格決定基準に基づく

(2) 口頭試験

- ① 口頭試験は、筆記試験の合格者に対してのみ行う。
- ② 口頭試験は、技術士としての適格性を判定することに主眼をおき、筆記試験における記述問題の答案及び業務経歴を踏まえ実施するものとし、筆記試験の繰り返しにならないように留意する。
- ③ 試問事項及び試問時間は、次のとおりとする。なお、試問時間を10分程度延長することを可能とするなど受験者の能力を十分確認できるよう留意する。

試問事項	試問時間	配点	合否判定基準（注）
I 技術士としての実務能力	20分	1. コミュニケーション、リーダーシップ 30点満点	60%以上の得点
		2. 評価、マネジメント 30点満点	60%以上の得点
II 技術士としての適格性		3. 技術者倫理 20点満点	60%以上の得点
		4. 継続研さん 20点満点	60%以上の得点

（注）：令和6年度技術士試験合格決定基準に基づく

3. 第二次試験での出題傾向とポイント

過年度の解説にも記載しているところではあるが、各設問のポイントについては、「平成31（2019）年度 技術士試験の概要について」が、各設問で問われている資質能力を理解する上で参考になると考えられることから、各設問の傾向と併せて記載する。令和6年度に出題された問題に類似する問題を色付して表示している。過去に類似している問題も多く出題されているが、全く同じ出題というものはあまりなく、関連する問題を多角的な視点を考慮することが求められる。共通する大きな話題や時事問題、また、内容が特化した設問も出題されていることから、幅広い知識とともに専門とする分野についても関連する内容についてはしっかり押さえておくことが求められる。各設問については、問われているコンピテンシーを理解して、各設問に対して適切に解答できるよう準備しておいて頂きたい。また、各設問をしっかり読み、問われている出題に対して確実に解答するようにすることにも注意いただきたい。

(1) 必須科目 I

平成31（2019）年度 技術士試験の概要《「技術部門」全般にわたる専門知識、应用能力、問題解決能力及課題遂行能力に関するもの》

概 念	専門知識 専門の技術分野の業務に必要で幅広く適用される原理等に関わる汎用的な専門知識
	应用能力 これまでに習得した知識や経験に基づき、与えられた条件に合わせて、問題や課題を正しく認識し、必要な分析を行い、業務遂行手順や業務上留意すべき点、工夫を要する点等について説明できる能力
	問題解決能力及課題遂行能力 社会的なニーズや技術の進歩に伴い、社会や技術における様々な状況から、複合的な問題や課題を把握し、社会的利益や技術的優位性などの多様な視点からの調査・分析を経て、問題解決のための課題とその遂行について論理的かつ合理的に説明できる能力
出題内容	現代社会が抱えている様々な問題について、「技術部門」全般に関わる基礎的なエンジニアリング問題としての観点から、多面的に課題を抽出して、その解決方法を提示し遂行していくための提案を問う。
評価項目	技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）のうち、専門的知識、問題解決、評価、技術者倫理、コミュニケーションの各項目

2019年度以降の問題でテーマとされる事項のキーワードを整理したものを下表に示す。

2019年度以降テーマとされた事項（必須科目 I）

設問	R1/2019	R2/2020	R3/2021	R4/2022	R5/2023	R6/2024
I-1	技術継承と人材確保	事故の汚染土壌を含む廃棄物管理	国際原子力機関の深層防護第5層（防災対策）	国内におけるエネルギー供給	GX基本方針に係る放射性物質の集約管理	原子力発電容量の増大、既存の原子炉の有効活用
I-2	使用済燃料問題	原子力に関するリスクコミュニケーション	国際原子力機関の基本安全原則を踏まえたリスク情報活用	ALPS処理水の海洋放出	放射線測定等の信頼性確保	原子力施設の廃止措置の作業

必須科目は、上記のように技術部門全般に渡ることとされるが、特定の選択科目に有利に働くような設問も少なくない。したがって、いずれか得意な方を選択し、解答することになるが、運悪く2問とも不得意な問題である可能性がある。特に令和2年度から令和4年度の問題では、原子力の側に少し偏った印象の出題となっている。放射線防護、環境モニタリングなどの観点では解答できそうなものの、「放射

線利用」(従来の選択科目)を専門とする者には解答が難しかったと思われる。放射線利用を専門とする場合には、福島事故関係、エネルギー情勢、防災、放射線防護の分野でも論述できる(ある程度広く論述できる)よう、情報を収集し知識として吸収しておく必要があるだろう。令和5年度は、放射線測定を話題としており、その辺りに配慮されたものかもしれない。令和6年度においても原子力の側に少し偏った印象の出題となっているが、上記対策がされていれば、放射線防護などの議論に展開可能である。背景を把握した上で、多角的な視点で課題を抽出して、専門とする科目の内容に解答を展開していくことが解答するポイントとなる。

もう少し詳しく場面設定を調べてみる。過去3年で想定されている場面、立場を並べてみると

設問	R4/2022	R5/2023	R6/2024
I-1	エネルギー基本計画を引用し、「原発依存度の低減」の方針、東欧地区の政情不安、エネルギー資源高騰の状況に触れた上で、 <u>国内におけるエネルギー供給に関する原子力分野における技術者の立場</u> での解答を要求	GX基本方針を引用し、原子力の平和利用、核セキュリティ、核不拡散の項に誘導した後に「利用実態のない放射性物質の集約管理の具体的方策の検討」の必要性に触れた上で、 <u>集約管理の実現にあたって技術者の立場</u> での解答を要求	COP28での世界全体の原子力発電容量を増やしていこうという共同宣言を背景に、日本国内では、既存の原子炉を有効活用することが重要であることに触れ、日本において <u>火力発電を脱炭素電源で置換することを目指すときに解決すべき電力需給</u> に関して、さらに、 <u>既存の原子炉を用いた解決策</u> について、 <u>技術者の立場</u> での解答を要求
I-2	IF建屋内の汚染水管理の状況、関連する政府方針で海洋放出を選択しARALAの原則に基づくリスク低減、風評被害の抑制が示された背景に触れた上で、 <u>大規模原子力災害時の汚染水浄化処理後の処理水の海洋放出について、技術者の立場</u> での解答を要求	多種多様な放射線測定・分析が行われていること、環境モニタリング、食品中の放射能測定が社会的に利用されるようになったこと、放射線測定の信頼性確保に係る法改正の背景に触れた上で、 <u>放射線測定の設計・開発又はサービス提供に新たに行う場合の技術者の立場</u> での解答を要求	発電用原子炉や大規模放射線発生施設などの多くの施設の廃止措置が今後進められることになっているが、事例は少なく、技術や知識の蓄積が十分ではない背景に触れ、 <u>廃止措置の作業従事者の安全と健康の確保などを踏まえ作業を着実に進める場合の原子力施設の作業管理を担当する技術者としての立場</u> での解答を要求

令和4年度から、問題文中の背景に係る記述のところが長文化している傾向がある。背景の説明がほとんどないケース、詳細に記述されているケース、どちらの形式で「場面設定」がなされても解答できるように準備する必要があり、その対策が必要である。背景の説明の記述がほとんどない場合には、テーマとされている事項についての予備知識があれば、問題文で触れられていないような切り口とすれば多面的な観点で課題を挙げたという解釈を採りうるので、比較的幅広い視点を自由に指摘しやすい。仮に受験者の思いで他の資料などに記載されていないような事項を挙げていたとしても、論述に論理性があれば、応用能力を示すものとして評価される。

逆に、細かく背景が記載されていた場合に、問題文に記載された事項を上塗りするような課題を挙げるような解答構成とすると、多面的な観点から受験者本人が知識・経験に基づいて挙げたものとは評価しにくい。別の切り口で課題を挙げるか、背景で述べられたものを少し深く掘り下げた項目を挙げるなど、工夫する必要がある。状況に応じてではあるが、ある種の制約を受けることになる。逆に、背景で挙げられた事柄の関係性とか共通的な視点に目を向ければ、複合的な課題の捉え方、全体を俯瞰できるという課題解決能力を示す上で、有効な論理での答案構成が可能になると考えられる。

一方、専門分野を限定するような「立場」の設定はほとんどなく、広く技術者の立場で解答することを要求されている傾向にある。今年度の問題がどのような出題のされ方、場面設定、立場設定とされるかは分からないが、試験当日、準備した勉強の範囲外であったとしても、諦めずに解答したいところである。

技術部門全体を対象としているため、問題としては比較的広く認知されているものが題材として出題される傾向にあると考えられる。深い専門知識のみを問う内容ではなく、幅広い知識は必要であるため、原子力を取り巻く状況を日頃から覚知し、それに対する多面的な意見や社会的な取り組みと、それに紐づく知識をセットで身につけておくことは、必須科目Iへの対策になると思われる。

令和4年度からは、条件設定の後の設問の記載で「専門技術用語を交えて」という要求がされていること、提案した解決策に対して「波及効果と懸念事項」、「新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策」、「新たに生じるリスクとそれへの対応策」を問われている。

一方で、技術者としての倫理、社会の持続可能性の観点からの要件、留意点を問われることに関しては、一貫して出題されている。

ここで、2023年3月に改訂された技術士倫理綱領と、その手引きに記載されていることについては、目を通して頂きたいところである。倫理といっても単なるコンプライアンス的なイメージのものではなく、公益確保や持続可能な社会の実現への貢献などが含まれることを十分認識し、答案の中にそうしたことに配慮するような記述をする必要がある。

選択問題の学習とも共通することだが、過年度出題された試験でテーマとされた事項を参考に、近年の時事問題を整理し、こうした話題が出題された場合に自己の見解として論理展開できるよう、答案作成の訓練、準備しておくことをお勧めする。

昨年度のテーマ例からも以下、いくつか出題されており、カーボンニュートラルと原子力・放射線分野(I-1、核燃料サイクルⅢ-1)、革新炉(原子炉Ⅱ-1-1)、核セキュリティ対応不備への対策(原子炉Ⅱ-2-1)、耐震対策・津波対策等の検討における最新知見の取り込み(能登半島地震)(原子炉Ⅲ-1)、加速器・放射線を利用した物質研究・材料開発に関連する施設の利用拡大(放射線防護Ⅲ-2)、注目されている題材が出題されている傾向があることが分かる。

《テーマの例》(赤字は昨年度の解説から追加した項目)

耐震対策・津波対策等の検討における最新知見の取り込み(能登半島地震)、カーボンニュートラルと原子力・放射線分野での個別具体的事項(革新炉、核燃料サイクル、再処理事業、安全な長期運転、廃止措置、廃棄物処分、高レベル放射性廃棄物処分(堅置き・ブロック方式、横置き・PEM方式)、地層処分、農業利用、工業利用等)との関係、グリーントランスフォーメーション、データ・情報技術の活用、デジタルトランスフォーメーション、AI(生成AIを含む)の活用、1F関係(燃料デブリの取出し時、その後の保管管理、海洋放出と環境モニタリング、放射性廃棄物の取り扱い、国際的対応)、加速器・放射線を利用した物質研究・材料開発に関連する施設の利用拡大～地域共生や産学官連携、核セキュリティ対応不備への対策、核不拡散体制、検査制度の効果的運用、原子力事業者としての自主管理と事業者間の共通目標・基準の設定(ATENA/JANSI、設計の経年化評価、安全な長期運転に向けた経年劣化、水素防護対策、安全実績指標(PI)、緊急時対応、デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障、地すべりの識別、電磁両立性(EMC))国産化(サプライチェーンの不安からくる消耗部品・機器設備の確保など、RI利用の観点(利便性、利用の拡大)からのRI製造)、甲状腺がん健診の在り方、放射線の生体への影響、革新炉の選択、事故耐性燃料開発、内部脅威(核セキュリティ)への対策、安全文化の評価(組織文化の有効性確認)の方法、リスク評価・管理とリスクコミュニケーション、ステークホルダーの意見の取り入れ、プラントの再稼働、SDGs(持続可能な開発目標)、エネルギー政策、第7次エネルギー基本計画、新しい技術で変化する仕事の性質に適応する能力、原子力人材育成、ダイバーシティ、技術継承

(2) 選択科目Ⅱ

選択科目Ⅱについては、Ⅱ-1とⅡ-2を合わせて、その傾向を探ってみよう。

平成31(2019)年度 技術士試験の概要《(1)「選択科目Ⅱ」についての専門知識に関するもの》

概 念	「選択科目」における専門の技術分野の業務に必要で幅広く適用される原理等に関わる汎用的な専門知識
出題内容	「選択科目」における重要なキーワードや新技術等に対する専門知識を問う。
評価項目	技術士に求められる資質能力(コンピテンシー)のうち、専門的学識、コミュニケーションの各項目

平成31(2019)年度 技術士試験の概要《(2)「選択科目Ⅱ」についての応用能力に関するもの》

概 念	これまでに習得した知識や経験に基づき、与えられた条件に合わせて、問題や課題を正しく認識し、必要な分析を行い、業務遂行手順や業務上留意すべき点、工夫を要する点等について説明できる能力
出題内容	「選択科目」に係る業務に関し、与えられた条件に合わせて、専門知識や実務経験に基づいて業務遂行手順が説明でき、業務上で留意すべき点や工夫を要する点等についての認識があるかどうかを問う。
評価項目	技術士に求められる資質能力(コンピテンシー)のうち、専門的学識、マネジメント、コミュニケーション、リーダーシップの各項目

上記の表題を見る限り、Ⅱでは、問題解決能力及び課題遂行能力が評価されるように見えない。しかし、Ⅱ-2では実際に出題の中で業務遂行手順が問われるため、リーダーシップやマネジメントと関連付けて業務遂行能力が評価されている可能性がある。問題文を良く読むと、設問の仕方に求めている解答、コンピテンシーの特徴が現れているように思われる。

Ⅱ-1については、従来各選択科目で4つの設問から1つを選んで解答する形式で出題されている。いずれの設問も説明を求めるような設問であるが、「単純な用語の説明」の場合のほか、「役割」、「重要なポイント」、「具体的運用例」、「留意点」、「現状」、「効果的運用」、「～の観点から」、「性能」、「従来との比較」、「種類」、「原因と対策」、「概念」、「効果」、「有害度の変化」、「原料と製品」、「方法と期待される効果」、「理由」、「簡潔に」のように、解答する範囲や述べ方に関して要求が加えられたような問われ方をする場合も多い。こうした限定したような記述が求められるため、その対策を考えておく必要がある。やや深い専門知識が身につけていることを示すためには、知識を収集し整理しておく段階で、こうしたキーワードを意識した体系的整理をしておきたいところである。

Ⅱ-1は基本的には説明を求められている。原子力百科事典ATOMICA、原子力白書等の現状や課題が整理されているものは、伝え方、記載のボリューム、伝える内容の深さを考慮する上で参考になる。

ただし、各選択科目は統合された関係であるので、その科目に該当する知識の範囲はかなり広く、全てを把握、整理することは困難である。4つの設問から1つを選ぶことを考えて、ある程度の範囲をカバーする程度で整理しておけば、全ての範囲をカバーする必要はなくなる。なるべく広い範囲をカバーしておく方が良いのは当然であるが、自らの専門知識、専門分野から説明できる範囲を徐々に広げるようなイメージ

で、知見を積み上げていくような学習方法で問題ない。

情報の収集、体系化をする前に、必要な専門知識が身についているかどうか、自分で確認しておくといい。その方法としては、得意そうな分野の問題について、過去問のどれか取り上げ、何も資料をみずに、一度解答案を作成してみると良い。経験や知識があっても意外と書けないと感じる方が多いと思う。合格者の体験を聞くと、こうしたアウトプット学習が有効であった方が多いので、勉強法に悩んでいる方があれば、一つのヒントにしてみたい。

一方、Ⅱ-2では、業務遂行を問われる形が多く、類似業務の進め方が適用できるような実務経験がないと解答が難しいと感じられる設問が多い。また、4問から選択すれば良いⅡ-1と異なり、Ⅱ-2では、2設問から1つを選ぶことになるため選択肢が少ない。また、Ⅱ-1で求められる資質能力に加えて、マネジメント、リーダーシップの資質能力を示すことが求められている。ただし、こうした問題に即した業務経験のある者の方がレアケースであり、その意味で自らの類似の業務経験（手順が類似するもの）から進め方や留意点を挙げる応用能力が問われているものと理解しておけば良いだろう。必須問題同様、過去の出題キーワードを選択科目ごとに整理し、以下に示す。

2019年度以降テーマとされた事項（選択科目Ⅱ：原子炉システム・施設）

設問	R1/2019	R2/2020	R3/2021	R4/2022	R5/2023	R6/2024
Ⅱ-1-1	原子力災害対策特別措置法	原子力発電所の安全目標	原子炉の反応度に影響を与える核分裂生成物	放射線検出器の動作モードと適用例	ドップラー効果の断面積への影響と原子炉における役割	革新的原子炉の基本的な構成要素の違い、特徴、利点
Ⅱ-1-2	トリチウムの原子力発電所内管理	原子炉圧力容器鋼材の照射脆化と構造健全性評価	安全機能の重要度分類	新型炉の崩壊熱除去システムに自然循環を適用する際に考慮すべき事項	基準地震動の設定に係る地震、地盤の考慮にかかわるポイント	深層防護の思想に基づく安全対策
Ⅱ-1-3	原子炉の反応度測定法	原子炉施設における個人の信頼性確認制度	原子炉施設のコンフィグレーション管理(CM)	事故耐性燃料の特徴と課題	原子力発電所におけるEQ管理	流力振動による損傷の防止、メカニズム
Ⅱ-1-4	軽水炉の経年劣化と保守管理	原子炉施設の廃止段階における安全確保	配管溶接継手の疲労割れ	応力腐食割れの種類、発生機構・原因及び防止対策	負荷追従運転方法	LOO逸脱について規制要求内容及び運用
Ⅱ-2-1	リスク情報を活用した意思決定(RIDM)	原子炉施設における火災防護	特定重大事故等対処施設の基本設計	試験研究用原子炉の新設に係る許認可取得	許認可対象製品の品質管理(製作ミスへの対応)	原子力発電の核セキュリティ
Ⅱ-2-2	廃止措置実施方針	是正処置プログラム(CAP)	既設原子炉設備の再稼働のための試験・点検計画	発電用原子炉の設備利用率向上	高サイクル熱疲労による配管・機器の損傷防止	新型軽水炉における被ばく軽減

2019年度以降テーマとされた事項（選択科目Ⅱ：核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分）

設問	R1/2019	R2/2020	R3/2021	R4/2022	R5/2023	R6/2024
Ⅱ-1-1	ウラン資源の利用から高レベル処分までの概要	ウラン濃縮の目的、原理、手法、装置構成	計量管理におけるMUF	高レベル放射性廃液のガラス溶融炉	わが国の核燃料サイクル（ウラン資源利用の観点）	ウラン濃縮方法と六フッ化ウラン利用の理由
Ⅱ-1-2	燃料製造段階における燃料破損防止対策	使用済燃料の中間貯蔵の方式	ウラン濃縮の前段階で行われる転換工程	核燃料物質の臨界安全管理	PUREX法の技術的概要	軽水炉用MOX燃料の製造プロセス
Ⅱ-1-3	再処理工場の工程フロー	核燃料再処理におけるトリチウムの工程内挙動と環境放出	高レベル放射性廃棄物の処分場建設地の選定	高レベル放射性廃棄物の地層処分	ウラン廃棄物の埋設処分	核燃料物質取扱施設の安全機能
Ⅱ-1-4	低レベル放射性廃棄物の区分と処分方法(L1、L2、L3)	ウラン廃棄物の埋設処分の現状の課題	高レベル放射性廃棄物の核変換技術	ウラン濃縮の性能評価	クリアランス制度を効果的に運用するための留意点	第二種廃棄物埋設事業の概要と現状
Ⅱ-2-1	オフサイト環境修復	放射性物質を含む水溶液(汚染水)の吸着剤の性能評価	核燃料サイクル施設の再稼働	使用済燃料の中間貯蔵容器の設計	新規規制基準対応（安全対策工事）	保管廃棄施設満杯時の核燃料物質取扱施設の操業への影響緩和策
Ⅱ-2-2	低レベル放射性廃棄物の減容処理	計算機による核燃料サイクル施設の安全性解析評価	放射性廃棄物の焼却設備のリプレース	グローブボックス内の分析機器の更新	核燃料施設の新規建設	金属キャスクを用いた中間貯蔵施設

2019年度以降テーマとされた事項（選択科目Ⅱ：放射線防護及び利用）

設問	R1/2019	R2/2020	R3/2021	R4/2022	R5/2023	R6/2024
II-1-1	確率的影響と確定的影響、急性障害と晩発性障害の特徴	実効線量などの防護量と実用量についての内容と問題点	中性子とガンマ線の混合場における作業環境測定	放射線障害防止法の改正内容と水晶体の被ばく管理	空气中濃度と表面汚染密度の関係と作業上の留意点	中央登録管理制度の目的及び内容と課題
II-1-2	X線、γ線の測定（放射線防護用、吸収線量測定用）の特性の違い	放射線のLET（線エネルギー付与）とRBE（生物学的効果比）	国際貿易における植物検疫処理の放射線照射	放射性同位元素時の摂取量及び被ばく線量評価手法	周辺環境（ガンマ線線量率）の連続モニタリングに用いる検出器の原理と性能	国際放射線防護委員会（ICRP）での次期主勧告に向けた検討で課題となっている点
II-1-3	滅菌処理に用いられる放射線の種類とその長所短所	農業分野で実用化されている放射線利用技術	ALARAの原則と国際放射線防護委員会の基本原則	中性子とガンマ線の混合場における個人被ばく線量管理	放射線の生物影響に係る酸素、温度、薬剤その他の環境条件が及ぼす効果	放射線輸送計算に用いるモンテカルロ法の原理
II-1-4	核医学診断・治療の具体例と放出される放射線の特徴	放射性炭素年代測定法の原理と測定方法	低線量放射線被曝による発がんリスクのLNTモデルの問題点と採用理由	放射線グラフト重合の実用例	医療器具の放射線滅菌に使用する放射線と留意点	X線を用いた放射線透過試験と中性子を用いた場合の比較
II-2-1	最近の法令報告事象、管理不備の例に係る傾向と対策	RI取扱施設における応急措置（けが・病人と事故（盗難・紛失）の準備と対応	⁹⁹ Moの小型加速器による代替生成方法	原子力・放射線施設の緊急時の被ばく防護管理計画	TATに用いるアルファ線核種の薬剤等への加工から医療機関提出しまでの対応	密封線源からの汚染に対する安全確保のためにとるべき措置
II-2-2	放射性同位元素を用いた植物体内のイメージング技術の開発	可搬型高エネルギーX線源を使用した非破壊検査装置の実証試験	放射線障害防止法における下限数値以下の非密封放射性同位元素の実験・実習	工業利用ガンマ線源の電子線形加速器への置き換え	重荷電粒子線を用いた放射線育種	直線加速装置を内蔵している加速治療装置を導入する施設の遮蔽計算を含めた計画立案

上記のキーワードをみると、原子炉関係、放射線関係では、説明を求められているテーマに関し、一見すると類問が少ないような印象を受ける。一方で核燃料サイクルについては、それとは逆に類問が多い印象である。出題する側の意図か、作問者の違いによるものなのかは不明であるが、その傾向を踏まえた上で対策を検討すると良いだろう。

原子炉関係については、テーマとして挙げられる事項が、より深い知識の解答を要求している傾向にあるように思える。また、放射線防護関係では原子炉関係同様、より狭く深い知識の解答を要求する傾向に思える。放射線利用の分野では、近年の進歩が目覚ましいことから、放射線利用分野で最新技術の用語が広く問われるようになってきている。

II-2 の設問において、もう少し詳細に傾向をみていこう。必須問題同様、過去3年の場面設定、立場などを整理し表に整理してみる。

設問	R4/2022	R5/2023	R6/2024
II-2-1 原子炉	新たな試験研究炉を設置する計画が立ち上がり、運転開始時期、設計の基本方針が大枠で決定された場面が設定され、 許認可取得業務の総括責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	原子炉施設の認可対象設備製作中の処置でミス（マニュアルにない作業手順で取替）が納品前の社内検査で判明した場面が設定され、 許認可対象設備受注業務の取りまとめ責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	東京電力柏崎刈羽原子力発電所での事例に触れ、核物質防護を含む核セキュリティの重要性を踏まえ、場面が設定され、 原子力発電所の施設設計あるいは運用にかかる核セキュリティ担当責の立場 での業務遂行に関する解答を要求
II-2-2 原子炉	原子力発電事業の安定的運営に高い設備利用率が必要であるとの背景に関する記述の後、 設備利用率向上の具体的方策を検討する立場 での業務遂行に関する解答を要求	高サイクル熱疲労についての国内外プラントでの損傷例の報告がなされていることを受けて対策を講じる場面が設定され、 SMRを含む原子力プラントの構造設計担当者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	新型軽水炉の開発で従事者の被ばくを合理的な範囲で可能な限り低減することが求められることを受け、 新型軽水炉開発における従事者の被ばく低減の担当責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求
II-2-1 サイクル	使用済燃料の中間貯蔵容器の設計を実施する場面を設定し、 当該業務の責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要	核燃料施設について新規基準に係る安全対策、補強工事を進めようとする場面を設定し、 工事を担当する技術責任者の立場 での業	放射性廃棄物の保管廃棄施設の貯蔵率、新増設が困難な制約の中、核燃料物質取扱施設の操業への影響を緩和するための措置

設問	R4/2022	R5/2023	R6/2024
	求	務遂行に関する解答を要求	を講じるに当たって、 当該施設で受入れ、処理及び保管管理を行う部署の技術責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求
II-2-2 サイクル	核燃料サイクル施設のグローブボックス内の分析機器の更新計画を検討する場面を設定し、 当該検討グループの技術責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	新規に核燃料施設を建設する場面を設定し、 施設・設備設計の技術責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	使用済燃料に対処するため、新たに金属キャスクを用いた中間貯蔵施設の建設する場面を設定し、 設計・建設・運用を行う部署の技術責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求
II-2-1 放射線	緊急時の被ばく管理に関し、あらかじめ被ばく防護を含めた管理計画を作成する場面を設定し、 防護管理計画作成の責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	TATの技術的背景に触れ、α線核種で標識された薬剤の開発製造及び供給を確立する場面を設定し、薬剤加工から医療機関等搬出までの施設の 放射線管理計画立案の責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	核燃料物質を非密封で取り扱うことのできる施設の管理区域で薄膜を破損し密封が破れて汚染を生じさせてしまった場面で、安全確保のためにとるべき措置として、 放射線管理計画の責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求
II-2-2 放射線	放射線工業利用に関し、γ線源から電子線に変える動きがある背景に触れた上で、放射線による工業プロセスを導入する場面を設定し、その プロセス導入の担当者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	重荷電粒子線を用いた放射線育種の技術開発、大型放射線発生装置を用いた放射線育種の実施・管理のためのプロジェクトチームが設置された場面を設定し、 プロジェクト遂行責任者の立場 での業務遂行に関する解答を要求	悪性腫瘍に対する治療として、種々の放射線治療装置が多くの病院に導入されつつある背景に触れた上、病院において新たに上記のような比較的エネルギーの高い最新型放射線治療装置を導入する場面を設定し、 施設の遮蔽設計も含めた計画立案の担当者の立場 での業務遂行に関する解答を要求

必須問題と比較すると、立場の設定が細かくなされている。受験者にとって、このような業務遂行の立場に合致するような実務経験を有する方が稀かも知れない。このような状況の中、資質・能力に目を向けると、問題解決ではなく、マネジメント、リーダーシップを示すことが重要と考えられる。また、「調査・検討すべき事項」、「手順の列挙」、「留意点」、「工夫を要する点」、「関係者との連携、調整」の順で問われるのが標準的なパターンとなっている。

これらのことを考えると、日々の業務遂行において、計画の立案や設計を始める段階で何を考慮すれば目的を達成できるような意思決定ができるか、自分ならどのように決断していくかということに意識を向け業務全体の流れを把握すること（縦のつながりで考える）、並びに、他の業務やプロジェクトにおいては何を考慮して業務を進めているのか、メーカーから見た原子力事業者の考え方（ニーズ）、事業者から見るメーカーに求めていること（要求事項とそれへの対応）を気にすること（横ぐしの視点で考える）といった、業務に当たる姿勢が試験対策として役立つと考えられる。

また、必須問題と同様、答案を実際に作成する練習は必須である。練習にあたっては、適切な答案となっているかどうかについて、身近に技術士の方がいらっしゃれば、その方に添削してもらうことが有効と思われる。身近にいない場合は、読みやすさ、理解できるかなど周りの方に読んでもらうと良い。示すべき資質・能力が表現できているか、知識や実務経験が活かされた記載となっているかについては、自問自答を繰り返し、答案を良く練ってみてほしい。

必須科目Ⅰと選択科目Ⅱとの違いとして、評価項目のコンピテンシーにリーダーシップ、マネジメントが追加されているため、これらの項目に関する事項を念頭におき解答頂きたい。

(3) 選択科目Ⅲ

最後に選択科目Ⅲに関し、傾向を探ってみる。

平成31（2019）年度 技術士試験の概要《「選択科目」についての問題解決能力及び課題遂行能力に関するもの》

概 念	社会的なニーズや技術の進歩に伴い、社会や技術における様々な状況から、複合的な問題や課題を把握し、社会的利益や技術的優位性などの多様な視点からの調査・分析を経て、問題解決のための課題とその遂行について論理的かつ合理的に説明できる能力
出題内容	社会的なニーズや技術の進歩に伴う様々な状況において生じているエンジニアリング問題を対象として、「選択科目」に関わる観点から課題の抽出を行い、多様な視点からの分析によって問題解決のための手法を提示して、その遂行方策について提示できるかを問う。
評価項目	技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）のうち、専門的学識、問題解決、評価、コミュニケーションの各項目

選択科目Ⅲにおいて、評価される資質・能力、出題内容は必須問題と類似するが、出題の範囲が選択科目の範囲となることに加え、「多様な視点からの分析による問題解決手法の提示」という表現になっていること、資質能力に技術者倫理が含まれていないことの2つが異なる。

選択科目Ⅲにおいても(1)課題抽出、(2)解決策、(3)将来的懸念事項と対策の流れで問われている。これは、必須科目Ⅰの(1)～(3)と同じであり、出題パターンを意識して考えをまとめる練習をしておくとうまいだろう。今のところ、上表に記載のある「多様な視点からの分析」というような問われ方はされていないが、令和4年度～令和6年度の試験問題では、その理由に対する見解を求められていることがその部分に相当するものと理解できる。課題や解決策は、複数挙げることを求められる。その列挙や重要なものを選定にあたっては、視野が狭いものや、単一の視点にならないように注意を払いたいところである。

他の問題同様、実際に出題された問題でテーマとして求められた事項について、過去問の推移をみてみよう。

2019年度以降テーマとされた事項(選択科目Ⅲ)

設問	R1/2019	R2/2020	R3/2021	R4/2022	R5/2023	R6/2024
Ⅲ-1 原子炉	小型モジュール炉開発を考慮した軽水炉の革新的安全性向上	現行規制基準に基づく既設炉の安全性向上対策の課題と次期炉への反映	原子炉施設の防護区域内における作業効率とセキュリティの堅牢性	新設軽水炉のSA緩和設備の開発	発電所設備(安全ポンプ等)の消耗部品に係る製造メーカー撤退への対応	地震に対する安全性向上
Ⅲ-2 原子炉	規制検査見直し(使用前事業者検査)	実用発電炉の運転中保全の導入の課題	実用発電炉の重大事故等施設の保全計画	実用発電炉の運転期間延長	GX基本方針に係る次世代革新炉建設	寿命延長40年超継続運転
Ⅲ-1 サイクル	IF事故に伴うオンサイト、オフサイトの廃棄物処理・処分	クリアランス制度の効率的実現のための課題	プルトニウム需給バランスの確保	核燃料取扱施設の廃止措置	核燃料サイクルと放射性廃棄物の処理・処分の課題への対応	原子力発電の維持拡大するうえでの核燃料サイクル及び放射性廃棄物の課題
Ⅲ-2 サイクル	核燃料施設へのIoT、AI取込み	ロボット等、高度制御機械装置を使用する場合の課題	中間貯蔵施設における除去土壌と廃棄物の処理・貯蔵	原子力施設の核セキュリティ対策	原子力人材不足への対応(核燃料施設運転管理)	核燃料物質取扱施設の設備・機器の維持管理
Ⅲ-1 放射線	非密封放射性同位元素の使用計画	放射性同位元素の使用施設/大規模研究用加速器施設の緊急事態への対応	放射線発生装置の導入計画から廃止措置の実施・終了までの対応	放射線防護の観点での放射線発生装置の導入計画から廃止措置の実施・終了までの対応	原子力事故を想定したヨウ素131の放射線防護対策と被ばく線量推定	放射線診断による医療被ばくの低減強化
Ⅲ-2 放射線	食品照射に係る課題	国内外の中性子源の利用状況と課題	治療専用加速器駆動型BNCT施設の設定	電子機器の放射線耐性評価と管理	放射線を用いた物質・材料開発、分析施設の利用	新たな試験研究炉の設置後の中性子利用を踏まえた利活用

出題されているテーマは大きく変化しているようには見えない。革新炉、加速器利用などは最新の技術開発、検討状況、動向を把握しておくことが必要と思われる。核燃料サイクルに関しては、比較的広い範囲で解答可能なテーマが選ばれている印象がある。

他の設問同様、もう少し詳細に傾向をみていこう。過去3年の場面設定、立場などを整理したものを下表に整理してみる。

設問	R4/2022	R5/2023	R6/2024
Ⅲ-1 原子炉	1F事故から新規建設する軽水炉のシビアアクシデント緩和機能の強化を目的とする安全設備の具体化を目指し、必要機能と実現手段の開発に関する新たな提案を行う場面が設定され、 <u>技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	運転開始から30年経過、ポンプ消耗部品のメーカー撤退で供給が受けられなくなった場面が設定され、 <u>技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	原子力施設の安全対策について、東日本大震災や令和6年能登半島地震など外的事象に関する経験から学び続けること、原子力災害対策を含む発電所内外の活動や連携の必要性に触れ、 <u>自身の技術的専門性や職務経験を踏まえて</u> 、能登半島地震の経験を踏まえた安全性向上のための教訓の反映に関する解答を要求
Ⅲ-2 原子炉	原子炉の運転期間の原則40年と20年延長に関する法律に触れ、運転期間延長を検討する立場になったとの場面を設定し、 <u>技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	GX実現に向けた基本方針が引用され、次世代革新炉への建て替えが求められる背景に触れ、次世代革新炉を新規建設する場面が設定され、 <u>原子力分野の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	既存軽水炉プラントの寿命延長と高経年化した発電用原子炉に関する安全規制への対応に触れた上で、 <u>運転期間30年を超える軽水炉プラントを、40年を超えてさらに継続運転する準備を行う技術者としての立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求
Ⅲ-1 サイクル	ウラン濃縮、再処理等の核燃料取扱施設の廃止措置の解体撤去に伴う大量の放射性廃棄物の発生想定、法令で廃止措置の終了には廃棄が終了していることが求められていることに触れた上で、 <u>核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	エネルギー基本計画を引用し原子力発電の電源構成の記載に触れた上で、核燃料サイクルの様々な場面で課題があることに触れた上で、 <u>核燃料サイクル及び放射性廃棄物の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	気候変動問題への対応策として、原子力発電を拡大する動きの背景に触れた上で、 <u>核燃料サイクル及び放射性廃棄物の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求
Ⅲ-2 サイクル	核物質防護に関する条約、関係法令に触れた上で、 <u>原子力施設における核セキュリティを担当する技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	高齢化の進展からベテラン技術者の定年と若手の原子力人材の不足に関する問題の背景に触れた上で、 <u>核燃料施設の運転等の管理の中核の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	核燃料物質取扱施設の日常巡視や巡視や定期的な点検、故障等に対して代替手段の確保に触れた上で、 <u>設備・機器の適切な機能を維持管理する技術者としての立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求
Ⅲ-1 放射線	加速器の設置で地下設置が有力な選択肢であることに触れた上で、大型放射線発生装置を導入する場面を設定し、導入から廃止までの課題について、 <u>放射線防護の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	事故時の放射性物質の環境放出の困難さに触れた上で、ヨウ素131の放射線防対策と被ばく線量の推定を計画・実施する場面を設定し、 <u>放射線防護の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	放射線診断の有効性や恩恵や、医療被ばくがあること、今後もX線CT検査などの利用増加が見込まれる背景に触れた上で、 <u>放射線診断による医療被ばくの低減強化を図るうえでの課題を、技術者として業務遂行に関する解答を要求</u>
Ⅲ-2 放射線	半導体デバイスの高性能化で放射線の影響評価が重要になっている背景に触れた上で、 <u>電子機器の放射線耐性の評価と放射線環境下での管理を担当する技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	放射光や中間子等の電磁波、粒子線を用いた分析報道が増加している背景に触れた上で、物質・材料の分析施設の受入責任者として相談を受けた場面を設定し、 <u>放射線利用の技術者の立場</u> での課題解決の提案に関する解答を要求	高経年化とともに稼働数は減少し、原子力研究開発、人材育成等を支える基盤の脆弱化が懸念される背景に触れた上、中性子利用について、 <u>新たな試験研究炉の設置後の利活用に関して、技術者として業務遂行に関する解答を要求</u>

上記の表をみると選択科目ごとに立場の設定に係る傾向がバラバラで、それぞれが特徴的な状況となっている。

原子炉では令和4年度、令和5年度は立場の設定が限定的ではなく、令和6年度では1つが分野を限定した形で出題されているが、時事問題として大きな話題を取り挙げている。核燃料サイクルでは、2つの設問の内、1つは限定されないものとして、1つが分野を限定した形で出題されているので、この傾向が続くようであれば、この2つの科目については、過去の問題や時事問題を参考に選択科目全般に係る課題について予め考えることを整理しておけば、解答は可能であろう。放射線関係については、令和4年度は、加速器の放射線防護と放射線利用と放射線防護の双方の知見を要する問題、機器に対する放射線環境管理、令和5年度は、ヨウ素131の放射線防護対策、物質・材料の分析施設での放射線利用、令和6年度は、X線CT検査を背景とした放射線診断による医療被ばく、稼働数減少基盤の脆弱化の懸念を背景として中性子利用について新たな試験研究炉の利活用のような状況が限定された出題がされている。背景となるような内容については、近年の動向や関連する時事問題など把握しておくために情報収集しておく必要があるが、比較的広い内容の題材となっているため、これらの内容について、放射線防護、放射線利用に共通する論点を論述することも可能であろう。いずれにしても、論述できる範囲の専門分野を広げる努力を普段から心がけておきたいとこ

ろである。令和6年度技術士第二次試験において出題された各設問に対する解答のポイントを次頁以降に示す。

技術士第二次試験では、決められた枚数の解答用紙内に、自らの知見や経験に基づくコンピテンシーを示しつつ、記入すべきポイントをまとめて書き込むことが求められる。解答のポイントの中に解答例を示したものもあるが、各受験生の知見、経験は異なる。答案作成は自らの経験、知見に基づく内容を含めたものの方が、より説得力がありコンピテンシーを示しやすい。

前述したとおり、解説に記載したポイント（解答例を含む）は模範解答ではなく参考例として捉えてもらいたい。

また、本稿での解説は受験者に多くの情報を与えることを考慮したため、所定の字数制限にとらわれたものとしていない。受験者には、解答用紙に記入すべきポイントを絞り込み、論理立てて記載するスキルも求められるため、試験本番までに答案作成の訓練を行っておくことをお勧めする。

なお、本解説の作成は、関連する分野の技術士が中心となっているが、問題によっては必ずしも直接的業務経験を有する技術士によらない場合もあり、提供する参考情報に濃淡があることを予め、ご了承ください。

【参考文献】

- [1] 平成31（2019）年度 技術士試験の概要について、日本技術士会ホームページ
https://www.engineer.or.jp/c_topics/005/attached/attach_5698_1.pdf
- [2] 令和5年度版 原子力白書
<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2023/>
- [3] 第7次エネルギー基本計画
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_01.pdf
- [4] 第11期技術士分科会における技術士制度改革の検討報告、文部科学省
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gi_jyutu/gi_jyutu7/toushin/1413395_00003.htm
- [5] IEA GA&PC 第4版の翻訳を公開
https://www.engineer.or.jp/c_topics/008/008620.html
- [6] 技術士倫理綱領
https://www.engineer.or.jp/c_topics/009/009289.html
- [7] 技術士第二次試験実施大綱
https://www.engineer.or.jp/c_topics/010/attached/attach_10596_1.pdf
- [8] 令和6年度技術士試験合格決定基準
https://www.engineer.or.jp/c_topics/010/attached/attach_10101_1.pdf
- [9] 日本技術士会ホームページ（過去問題）
https://www.engineer.or.jp/c_categories/index0202240.html

4. 必須科目Ⅰの問題と解説

Ⅰ 次の2問題(Ⅰ-1、Ⅰ-2)のうち1問題を選び解答せよ。(解答問題番号を明記し、答案用紙3枚を用いてまとめよ。)

Ⅰ-1 国連気候変動枠組条約第28回締約国会議(COP28)では原子力の役割に改めて注意が向けられ、その有効性が決定文書に明記されるとともに、世界全体の原子力発電容量を増やしていこうという共同宣言も発表された。一方、日本国内に目を向けると、新たな発電用原子炉建設の機運は必ずしも十分高まっておらず、既存の原子炉を有効活用することが重要である。この現状を踏まえ、次の問いに答えよ。

- (1) 日本において火力発電を脱炭素電源で置換することを目指すときに解決すべき電力需給に関する技術的な課題を3つ抽出し、それぞれの課題を明記したうえで多様な観点から検討して、その内容を具体的に示せ。
- (2) 前問(1)で抽出した課題のうち最も重要だと考える課題を1つ挙げ、その課題に対する既存の原子炉を用いた解決策を複数考案し、技術部門の専門技術用語を交えて示せ。
- (3) 前問(2)で示した解決策に関連して新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策について、技術的な検討を踏まえた考えを示せ。
- (4) 前問(1)～(3)の業務遂行において必要な要件を、技術者としての倫理、社会の持続可能性の観点から題意に即して述べよ。

【解答のポイント】

問題文中で示されているCOP28(2023年11月-12月)では、パリ協定の目標達成に向けた世界全体の推進を評価するグローバル・ストックテイク(GST)に関する決定の中で、「再エネ・原子力・CCUSなどの排出削減・炭素除去技術、低炭素水素等の加速」が期待されている。^[1]一方、日本国内では、「第6次エネルギー基本計画」(2021年10月)の閣議決定以降、我が国を取り巻くエネルギー情勢の変化を踏まえ、「GX実現に向けた基本方針」(2023年2月)が閣議決定され、「GX脱炭素電源法」(2023年5月)が成立した。国内原子力政策として「今後の原子力政策の方向性と行動指針」(2023年4月)がとりまとめられている。^[2]その後、「GX2040ビジョン」、「第7次エネルギー基本計画」が2025年2月18日に閣議決定されている。^[3]

以下の会議における議論の動向を把握しておく、何を話題にしているのか概要を把握しやすい。

- 内閣官房 GX実行会議^[4]
- 資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会^[5]
- 資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会原子力小委員会^[6]
- 資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ^[7]

なお、「GX2040ビジョン」、「第7次エネルギー基本計画」作成の論点は、以下が挙げられており、解答作成に当たっては、この議論・ヒアリングが参考となる。

- GX実行会議(GX2040リーダーズパネル)^[8]
 1. 強靱なエネルギー供給を確保
 - ① DX進展による電力需要増加見通しが立てづらい(投資回収の予見性、将来需要を見越した送電線整備)
 - ② 新たなエネルギー供給確保(水素・アンモニア)
 - ③ 移行期の化石燃料・整備の維持・確保
 2. GX産業立地
脱炭素電源、送電線の整備状況や、新たなエネルギーの供給拠点等を踏まえた産業立地のあり方
 3. GX産業構造
 - ① 国内産業立地の推進、次世代技術によるイノベーションの具体化、社会実装加速の方策
 - ② 経済安全保障上の環境変化を踏まえ、同盟国・同志国各国の強みを生かしたサプライチェーン強化のあり方
 4. GX市場創造
カーボンプライシングの詳細制度設計を含めた脱炭素の価値が評価される市場造り
- 基本政策分科会(第7次エネルギー基本計画)^[9]
 1. 需要側のGX・省エネ
 2. 電源の脱炭素化(再エネ、原子力、水素・アンモニア・CCSによる火力の脱炭素化等)、系統整備・蓄電池
 3. 重要鉱物、脱炭素燃料を含む資源戦略
 4. 電力システム改革/エネルギー事業環境整備
 5. エネルギーミックスの在り方 等

負荷変動一負荷追従運転、設備利用率の向上/サプライチェーンの確保一運転中保全/運転期間延長と高経年化対策/プルトリウム利用(プル

サーマル化)、災害に対する強靱性―自然災害に対する安全対策や安全性向上(耐震対策、津波対策)

＜委員などの意見＞^[10]

第6次エネ基からの変化、今後の方向性について

- ✓ 今後もS+3E(安全性(Safety)、エネルギーの安定供給(Energy Security)、経済性の向上(Economic Efficiency)、環境適合性(Environment))の原則はエネルギー政策の柱として維持すべき
- ✓ 国際的なエネルギー情勢の変化を踏まえ、エネルギー安全保障に重点を置くべき
- ✓ 将来の電力需要やイノベーションの状況など、様々な不確実性が高まる中、次期エネルギー基本計画は不確実性にも対応できる柔軟なものとするべき
- ✓ 同時に、不確実性が高まる中、設備投資や電源投資を行うため、事業者の予見可能性の確保が重要
- ✓ 各国の動向を踏まえ、日本でも、エネルギー政策と産業政策、気候変動対策の一体的な検討が必要
- ✓ 次期エネルギー基本計画は、GX2040と一体的なものとする必要がある。次期エネルギーミックスについても、GX2040と連動すべきであり、2040年度を対象年とするべき
- ✓ S+3Eの同時実現に向け、脱炭素化に伴う総合的なコストを最適化していくことが必要
- ✓ 電源別のコスト検証についても実施すべきであり、その際、統合コストの分析も行う必要がある
- ✓ 幅広い層から意見を聞き、様々な国民の意見を反映できるような工夫が必要

将来の電力需要について

- ✓ 今後、GXの進展に伴う電化や、生成AIの普及拡大に伴うデータセンターや半導体などの増加により、大幅な省エネ効果を見込んだとしても、将来の電力需要については増加する可能性が高い。
- ✓ 将来の電力需要の増加に対しては、脱炭素電源を拡大することで対応する必要がある。
- ✓ その上で、データセンターや半導体などの製造設備と脱炭素電源・系統設備の建設には必要なリードタイムに大きな差があることを踏まえ、将来必要となる脱炭素電源や系統設備への投資が行われるための事業環境整備が必要。
- ✓ 同時に、光電融合などの省エネ側の取組を強化することも必要であり、生成AIを活用した省エネという視点も重要。また、脱炭素電源の近くにデータセンターなどの電力多消費産業を近接させるという発想も必要。

エネルギーを取り巻く国際情勢について

- ✓ 各国は、国際エネルギー情勢の変化を受け、ネット・ゼロという野心的な目標は堅持しつつも、経済性と安定供給との間でバランスをとる現実路線へ転換。目標と現実のギャップが深まる構造へ。
- ✓ ブロック経済化が進捗するとの懸念も指摘される中、各国は、気候変動対策と産業政策を連動させ、国内の産業競争力強化につなげるための政策を強化。
- ✓ 水素、CCS、洋上風力など、足下ではオフテイカーの確保など事業化に向けた課題もあるが、2050年ネット・ゼロの達成には普及拡大が求められており、更なるイノベーションが必要。

＜既存原子炉の有効活用に関する取組み＞^[11]

利用率向上を目指して、運転サイクルの長期化、運転中保全の導入拡大、定期検査の効率的実施などが取り組まれており、長期運転を目指して、継続的な実機データ等取得による劣化状況の把握・予測とその更なる高度化、新技術の積極的な導入などが取り組まれている。

安全対策として、福島第一原子力発電所事故以来新規制基準を踏まえて安全対策が講じられてきており、テロ対策やシビアアクシデント対策が新設されており、地震や津波についても想定を引き上げなど、安全性を大幅に向上させる取り組みを行ってきている。

原子力サプライチェーンの確保も原子炉の運転には欠かせない要因の一つであり、次世代革新炉の開発・建設が重要な役割を果たしていくことが挙げられているが、新規制基準対応、修理取替、開発なども含め、継続的・連続的な技術・人材の確保にも寄与する。

既存の原子炉の利用を促進した場合、ウラン燃料のみを用いた場合、プルトニウムが蓄積されていくため、プルトニウム利用の促進・保有量の削減が求められる。これらを実現するためにプルサーマルを実施する原子炉の選定やプルサーマルに用いるMOX燃料の供給を可能とする核燃料サイクルなどを含め、プルサーマル計画の着実な実行が求められる。

火力発電から置換することを想定する場合には、火力発電で実施している負荷変動に対応した負荷追従運転について、これまで、日本の原子力発電はベースロード電源として、一定の出力で運転を基本として運転してきており、負荷追従運転も導入することも技術的に可能であり、重要な技術となりえる。

設問(1)では、多面的な観点からの抽出を求められているため、なるべく挙げた項目が広い視点を持っている印象を持たれるようなものを挙げておく方が無難である。例えば、電力供給の安定性、主力電源である火力発電の量に見合う電力量を確保すること、(必要な時に必要な量だけ必要)負荷変動に追従すること、自然災害など不足の事態への対処、不安定電源との共存下で送電網に影響を与えないようにすること、設備の老朽化に伴う対策として設備の維持の仕方、リプレース時のリードタイムのようなこと等を含め解答することが良い。

設問(2)では、設問(1)で挙げた課題を1つ挙げ、既存の原子炉を用いた解決策を複数挙げるのが求められているため、これらに留意して解答する。既存の原子炉の利用には以下のようなことが挙げられる。既設原子炉の運転延長や出力向上を行うことで原子力によるベースロード電源

の供給の強化、火力発電所が担ってきた熱供給機能を既設原子炉の熱で代替することで地域熱供給や産業利用の維持やエネルギー効率を上昇させる、既設炉原子炉の電力や熱を利用してグリーン水素を製造して火力発電の代替燃料としての活用、再エネの変動を既設炉原子炉に負荷追従運転を導入することによる保管。これらの内容と関連付けながら挙げた課題に対する解決策を記載するよう解答することが望ましい。

設問(3)では、「解決策に関連して将来的な懸念事項とそれへの対策について・・・」とあるので、設問(2)で挙げた既存の原子炉を用いた解決策に関連した懸念事項とそれへの対策について記述する必要がある。既設原子炉の運転延長で60年運転を実現することとなると設備の安全性が懸念事項となるため、設備診断技術、高経年化対策などを実施することが必要となる。また、負荷追従運転の導入が可能となると、運転操作が難しくなること、電力のひっ迫状態を考えながら出力を変動させるような対応をしなければならないことなどが懸念事項となるため、運転操作の自動化の導入・運転操作の訓練の強化や電力需給を電力会社間で融通を効かせるようなシステム整備などが対策として考えられる。

設問(4)技術者倫理、社会の持続可能性の観点からの要件としては、(ア)原子力政策の出発点ー東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた、不断の安全性追求、(イ)立地地域との共生・国民各層とのコミュニケーションを常に念頭に置き、エネルギー安定供給に貢献する原子力技術者として果たすべき役割、責任を意識した解答がポイントとなる。なお、原子力安全の基本的考え方については、日本原子力学会標準委員会技術レポート^[12]にまとめられていることから、これらも参考とすると良い。解答としては、設問(3)までの対策を講じる際に、具体的に、安全性追求として、既存炉の劣化の程度、安全対策、技術的な評価などを誠実に、事実を伝えることや、運転継続可否の判断をする際に厳しく安全性を確認することが求められること、コミュニケーションでは、既設原子炉の運転延長では、設備診断技術、高経年化対策などを実施して理解を得るよう、行政や地域住民などのステークホルダーに説明会やホームページなどへの情報開示を行うことなどを解答することが重要となる。

【参考文献】

- [1] 内閣官房ホームページ 報道発表 (2023 年 12 月 18 日) 国連気候変動枠組条約第 28 回締約国会議 (COP28)、京都議定書第 18 回締約国会合 (CMP18) 及びパリ協定第 5 回締約国会合 (CMA5) が開催されました
https://www.env.go.jp/press/press_02429.html
- [2] 経済産業省ホームページ 第 58 回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会(2024 年 7 月 8 日) 資料 1 「脱炭素電源について」
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/058/058_004.pdf
- [3] 第 7 次エネルギー基本計画
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_01.pdf
- [4] 内閣官房ホームページ GX 実行会議
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/index.html
- [5] 資源エネルギー庁ホームページ 資源総合エネルギー調査会
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/index.html
- [6] 経済産業省ホームページ 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/index.html
- [7] 資源エネルギー庁ホームページ 資源総合エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/index.html#cost_wg
- [8] 内閣官房ホームページ GX 実行会議 (第 1 1 回) 資料 1 「我が国のグリーントランスフォーメーションの加速に向けて」
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/dai11/index.html
- [9] 資源エネルギー庁ホームページ 資源総合エネルギー調査会 基本政策分科会 (第 55 回会合) 資料 1 「エネルギーを巡る状況について」
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/055/
- [10] 資源エネルギー庁ホームページ 資源総合エネルギー調査会 第 1 回 発電コスト検証ワーキンググループ 資料 4 「発電コスト検証について」
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/2024/01.html
- [11] 経済産業省ホームページ 第 40 回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 資料 3 「原子力の持続的かつ最大限の活用に向けて」
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/040.html
- [12] 日本原子力学会 標準委員会 技術レポート (AESJ-SC-TR005:2012) 「原子力安全の基本的考え方について 第 I 編 原子力安全の目的と基本原則」
https://www.aesj.net/document/tr005-2012_op.pdf

【類似問題】

- ・ R4 年度 (2022 年度) 必須科目 I-1

I-2 我が国では、発電用原子炉や大規模放射線発生施設などの多くの施設の廃止措置が今後進められることになっている。しかし、本格的に施設の解体が行われた事例は少なく、技術や知識の蓄積が十分ではない。このような状況において、廃止措置の作業従事者の安全と健康の確保を最優先に行い、放射線被ばく線量及び放射性廃棄物の発生量の低減に努め、保安及び環境保全のために必要な機能を維持管理しつつ廃止措置の作業を着実に進めることが重要となっている。

上記の状況を踏まえて以下の問いに答えよ。

- (1) 原子力施設の廃止措置の作業管理を担当する技術者としての立場で多面的な観点から3つ課題を抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、その課題の内容を示せ。
- (2) 前問(1)で抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を、技術部門の専門技術用語を交えて示せ。
- (3) 前問(2)で示したすべての解決策を実行して生じる波及効果と専門技術を踏まえた懸念事項への対応策を示せ。
- (4) 前問(1)～(3)の業務遂行に当たり、技術者としての倫理、社会の持続可能性の観点から必要となる要件・留意点を題意に即して述べよ。

【解答のポイント】

我が国では、発電用原子炉や大規模放射線発生施設などの多くの施設の廃止措置が今後進められることになっており、廃止措置中の原子力発電所や研究開発設備が多く存在するが、国内商業用原子炉では実績がなく、技術や知識の蓄積が十分ではない。これまで、研究開発施設では、原子力機構(旧日本原子力研究所)にあったBWRであるJPDR(Japan Power Demonstration Reactor)は1976年に運転を終了し、1986年～1996年にかけて解体され、この工程が国内商業用原子炉の廃炉に向けた多くの知見が得られている。一方、発電用原子炉や大規模放射線発生施設などでは、規模が大きくなることと長期運転していることから、これらの施設が廃止措置となるまでに様々な経緯を追ってきており、それぞれの施設特有の事情が生じている。メンテナンスや更新工事の際に一部を交換した設備や、定期検査、遠隔技術を使った点検の実績、そしてそれらに伴って発生した廃棄物の性質など、すでに把握している情報をうまく活用・分析することで、各施設の状況に合った廃止措置につなげられると考えられる。ただし、こうした分析を行うためには、過去の運転記録や補修履歴など、役立つ情報を幅広く収集し、それを廃止措置の計画や作業計画に活かせる技術力が重要となってくる。このようなことから、国内で得られている知見や今後得られる知見を活用すること、海外の知見を活用することなどにより、廃止措置作業従事者の安全と健康確保を最優先に行い、放射線被ばく線量及び放射性廃棄物の発生量の低減に努め、保安及び環境保全のために必要な機能を維持管理しつつ廃止措置の作業を着実に進めることについて解答すると良い。また、法令により廃止措置計画の認可基準として以下のことが規定されていることも留意すると良い(実用炉規則第119条1号～4号)。

- ・廃止措置計画に係る発電用原子炉の炉心から使用済燃料が取り出されていること
- ・核燃料物質の管理及び譲渡しが適切なものであること
- ・核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の管理、処理及び廃棄が適切なものであること
- ・廃止措置の実施が核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上適切なものであること

(1)原子力施設の廃止措置の作業管理を担当する技術者としての立場で課題を挙げる。

課題1：発電用原子炉や大規模放射線発生施設などの解体時の労働安全の確保（安全性の観点）

課題1の内容：原子力施設の経過年数に対するリスクレベルでは、解体作業時に労働安全リスクが高くなることが想定されている。廃止措置プラントでは、使用済燃料が取り出されてから解体が行われるため、重大事故による放射性物質の環境放出の発生は、運転中のプラントに比べ放射線リスクが潜在的に低下しているものの、依然として、運転中に放射化及び汚染したプラント構造物・機器類があるため、廃止措置の作業従事者の管理では、解体作業中にこれらの構造物・機器類やがれきなどに付着した微量の放射性物質を通じた被ばくリスクが生じる。また、ガンマ線照射設備など放射線源を内蔵する設備機器の場合では、遮蔽体に収まっているコバルト60などを取り出しの際に作業員への被ばくへの配慮が重要となる。被ばくに関しては、除染や汚染環境、解体に着手するまでの期間に左右されるため、これらを考慮した廃止措置計画を立てることが必要になる。高線量箇所に対しては遠隔解体が被ばく低減に有効となるため、その位置などを考慮して、解体手順、工程を計画して解体作業を行っていくこととなる。このため、廃止措置特有のリスクを低減するために、安全性の確保と適切な計画の作成が重要な課題となる。

課題2：専門技術を有する作業従事者の確保（人的資源の観点）

課題2の内容：廃止措置は長期間にわたるプロジェクトであり、安全性の確保や技術的な困難を伴うため、高度な専門知識と経験が求められる。しかし、原子力分野の技術者の高齢化が進み、廃止措置に必要なスキルを持つ人材が不足している。一方、廃止措置は「ものを片付ける・なくす」という性質から、創造性の面では若手にとって魅力を感じにくい側面もある。そのため、単なるOJTではなく、体系的な知識の習得と方法論の確立を重視した教育・訓練が必要である。経験の少ない若手技術者が、廃止措置の技術的な意味を理解し、専門性を深めながら次世代へ技術を継承していくことが求められる。このような背景から、廃止措置に従事する人材の確保と育成には、現場での実務経験と並行して、教育体制の整備や技術継承の仕組みづくりが重要な課題となる。

課題3：廃止措置で生じる放射性廃棄物の処理処分やクリアランス対象物の再利用促進（社会環境の観点）

課題3の内容：廃止措置が行われるとそれに伴い、放射性廃棄物や放射性物質によって汚染されたものが大量に生じる。これらを管理、処理及び廃棄することが必要となる。発電用原子炉や大規模放射線発生施設などの廃止措置となるため、大量に生じる廃棄物を保管する場所の確保、放射性廃棄物の安定化処理技術が必要となる。さらに、これらのうち放射性物質を含まないものや規定以下のものについてはクリアランス対象物として再利用することで廃棄物量の低減と資源の有効利用が可能となるが、現状クリアランス制度の社会定着には至っていない。このようなことから、放射性廃棄物の処理処分とクリアランス対象物の再利用促進が重要な課題となる。

(2) 解答では(1)で挙げた課題の一つに対して、その課題に対する複数の解決策を挙げる。ここでは、課題1を最も重要と考える課題として、複数の解決策を挙げる。

解決策1：解体時に労働安全の確保が必要であり、放射能レベルに応じて、作業を遠隔操作にすることや、遮蔽を十分に施して作業すること、放射能レベルが低い場合には、遮蔽などを用いずに操作性が良い環境で作業をするなど、放射能による被ばくとともに作業性を考慮した最適な労働環境にて作業ができる環境で安全に作業を進めることが重要となる。ALARA (As Low As Reasonably Achievable) の精神を大前提として、廃止措置の進展や作業内容に応じて変化する、被ばくリスクや環境放出リスクのレベルに応じて最適な安全対策を講ずる際に被ばくリスクがない場所などで被ばくリスクがある場所と同じ対策をすることで作業性や逆に安全性が低下することを回避するためグレーデッドアプローチを適用することが考えられる。グレーデッドアプローチの概念は、リスクの増加に応じて段階的に追加または厳重化していくことで合理化するものであり、廃止措置の進捗に伴い変化する廃止措置対象施設の状況およびそこで行われる活動の複雑さならびにこれに起因するリスクの程度に応じた対策を行うことで、安全の確保が確実なものになっている状態とすることである。原子炉の運転や使用済燃料の取り出しまでは、核燃料が含まれており臨界や放射線リスクが高いことから、閉じ込め機能とともに臨界停止機能や冷却機能などが要求される。また、ガンマ線照射設備など放射線源を内蔵する設備機器の場合では、閉じ込め機能や遮蔽機能が通常運転時に比べて一時的に機能しなくなることとなるため、これらの機能を代替する遮蔽や距離などの措置を講ずる必要がある。一方、廃止措置や解体時には閉じ込め機能や放射線の遮蔽が安全確保のための主な機能となる。これらの作業をより安全にするためには、廃止措置中で想定される被ばくを想定するために放射線源から放射線を解析して、操作中の被ばく管理や遮蔽計算による最適な遮蔽計画が重要となり、また、放射化物に対しては、運転履歴や放射線測定などを基に、放射化の範囲の特定とその部分に係る管理をすることで、被ばく低減を実現することができる。

解決策2：本格的に施設の解体が行われた事例は少なく、技術や知識の蓄積が十分ではないものの、これまで行われてきた原子力施設の廃止措置の経験から得られている解体技術などいくつかの経験があるため、これらをうまく応用させることで、これまでに経験がない炉型や規模の廃止措置に展開する。国内商業用原子炉では実績がないが、研究開発施設の JPDR の廃止措置で実施された原子炉解体技術の開発と解体実地試験の知見を活かすことができる。原子炉解体技術の開発としては、解体システムエンジニアリング、残存放射能等の評価技術、高放射化構造物の遠隔解体技術、解体除染技術、放射性廃棄物管理技術などがあり、解体実地試験としては、原子炉解体技術の妥当性及び有効性の確認、解体経験及びデータ蓄積、解体撤去工事の安全基準の確立などがあり、これらを取り入れることでより合理的な廃止措置を行うことが可能となり、より効率的かつより安全な廃止措置を行うことができる。また、海外での廃止措置の知見を取り入れることも効果的であると考えられる。研究開発機関や海外電力事業者等と電力事業者等との間で既存知見を活かすための技術交流や技術継承を行うためのコミュニケーションを行い、これまで得られている解体技術などの既存知見を活用することが重要となる。

解決策3：国内で今後行われる廃止措置に伴い得られる課題や知見を共有することができるプラットフォームを構築する。2020年代半ば以降、いくつもの施設の廃止措置が行われていくことになるが、本格的に施設の解体が行われた事例は少なく、技術や知識の蓄積が十分ではないため、それぞれの施設で新しい課題や知見が得られることが想定される。プラットフォームを構築することで国及び事業者等の関係者の連携により、共通する課題の解決、廃炉に関する知見・ノウハウの蓄積・共有、事故事例やリスクアセスメントの共有が進むことが期待できる。こうした対応の積み重ねにより廃止措置工程を合理化・安全な運用ができるようになる。

(3) すべての解決策を実行して生じる波及効果と専門技術を踏まえた懸念事項への対応策を挙げる。

すべての解決策を実行して生じる波及効果として、廃止措置の手続きの効率化や技術が向上することが考えられる。これにより、2020年代半ば以降には、国内商業用原子炉での原子炉領域の設備解体等の作業が順次本格化していくこととなり、複数の原子力発電所において、こうした作業が同時並行で進行することになる。しかし、これにより、新しい領域の技術者が多く必要となり、人材が不足することが懸念される。この懸念事項の対応策として、我が国全体の廃炉の総合的なマネジメントをすることにより、適切な人材の育成や日本全体での廃炉計画を最適化することで、廃止措置の活動に適正な資源を適切に配分することが期待できる。

(4) 技術者としての倫理、社会の持続可能性の観点から必要となる要件・留意点を挙げる。

技術者としての倫理の観点からは、業務遂行にあたり、公衆の安全、関係法令等遵守、ステークホルダーとのコミュニケーション方法・連絡体制を明確にする等が求められる。これらの観点から、題意に即して具体的に解答すると良い。施設の廃止措置で生じる廃棄物に対してクリアランス制度などを適切に運用することが必要であり、誤った運用や誤った測定があれば、放射性物質を含んだものが世の中に流通するようなことになってしまい、公衆の安全が損なわれるとともに信頼を損なうこととなるため留意しておく必要がある。また、廃止措置作業中に過剰な被ばくや事故でも起こしてしまうと社会的に大きな影響を与えてしまうことに留意する必要がある。また、ステークホルダ

一に対して廃止措置計画、進捗状況の共有など常時、非常時における情報発信をホームページや説明会の開催など適切にできるような体制を構築しておくことも留意する必要がある。

社会の持続可能性の観点からは、業務遂行にあたり、地球環境の保全等、将来世代にわたる社会の持続性の確保に努めることが求められる。この観点から、題意に即して具体的に解答すると良い。また、持続可能な開発目標（SDGs）なども参考にすると良い。今後、廃止措置は長期に渡り、継続していくつもの原子力施設に対応する必要があることから、事業者間での情報交流をするとともに、関連事業者等のパートナーシップを活性化させると良いことに留意する。廃止措置が中途半端な状態で中断し、止まってしまうと解体が進まず、廃炉後のサイトの利用ができないとともに廃止措置中の施設による汚染の可能性もあるため、確実に廃止措置ができるように計画して、完遂できる体制を構築しておくことに留意する必要がある。

【参考文献】

- [1] 令和5年度版原子力白書、6-2 原子力発電所及び研究開発設備等の廃止措置、原子力委員会、令和6年6月
<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2023/>
- [2] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所、JPDRの解体
https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/decommissioning/01/decommissioning_01_01.html
- [3] 原子力規制委員会、廃止措置段階の安全規制 概要
<https://www.nra.go.jp/activity/regulation/reactor/haishi/haishi0.html>
- [4] 廃止措置におけるグレーデッドアプローチの考え方の適用、田中健一、日本原子力学会誌、Vol.65、No.12、711
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/65/12/65_711/_pdf/-char/en

【類似問題】

- ・R1 年度（2019 年度）原子炉システム・施設Ⅱ-2-2
- ・R2 年度（2020 年度）原子炉システム・施設Ⅱ-2-1-4

5. 選択科目Ⅱの解説

5.1 「原子炉システム・施設」の問題と解答のポイント

Ⅱ 次の2問題(Ⅱ-1、Ⅱ-2)について解答せよ。(問題ごとに答案用紙を替えること。)

Ⅱ-1 次の4設問(Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-4)のうち1設問を選び解答せよ。(緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し、答案用紙1枚にまとめよ。)

Ⅱ-1-1 長期的な環境や資源の持続性に配慮した革新的な原子炉の中から、軽水冷却炉以外のものを2つ取り挙げて、原子炉の基本的な構成要素の違い、及びそれぞれの特徴や利点を多様な視点から説明せよ。

【解答のポイント】

長期的な環境や資源の持続性に配慮した革新的な原子炉の中から、軽水冷却炉以外のものを複数取り挙げて説明する。ここでは「高温ガス炉 (HTGR)」、「高速炉 (FR)」、「溶融塩炉 (MSR)」、「小型モジュール炉 (SMR)」を取り挙げる。

高温ガス炉 (HTGR)

(1) 原子炉の基本的な構成要素の違い

- ・炉心：炉心には黒鉛を使用し、燃料はトリウムやウランを含む被覆燃料粒子 (TRISO 燃料) を使用する。
- ・冷却材：冷却材として化学的に不活性なヘリウムガスを使用する。
- ・熱交換器：高温のヘリウムガスを利用して熱交換器で熱を取り出し、発電や水素製造に利用する。

(2) 特徴や利点

- ・高温運転：高温ガス炉は 950℃以上の高温で運転できるため、効率的な発電が可能となる。また、高温を利用して水素製造や産業用熱供給が可能である。
- ・安全性：ヘリウムガスは化学的に不活性であり、冷却材喪失事故のリスクが低い。また、炉心の黒鉛構造により、自然冷却が可能で炉心溶融のリスクが低い。
- ・持続可能性：高温ガス炉はウラン燃料サイクルの他に、トリウム燃料サイクルを利用することが可能であり、ウラン資源の節約や高レベル放射性廃棄物の減少が期待される。

高速炉 (FR)

(1) 原子炉の基本的な構成要素の違い

- ・炉心：高速炉の炉心は、通常の軽水炉よりも高エネルギーの中性子を利用するため、燃料は濃縮ウランやプルトニウムを使用する。
- ・冷却材：冷却材としてナトリウムや鉛ビスマス合金を使用する。

(2) 特徴や利点

- ・資源の有効利用：高速炉はウラン資源を効率的に利用でき、使用済燃料からプルトニウムを再利用することで、資源の持続性を高める。
- ・廃棄物の減少：高速炉は高レベル放射性廃棄物の量を減らし、放射能の寿命を短縮することができる。
- ・安全性：ナトリウム冷却材は高い熱伝導性を持ち、冷却材喪失事故のリスクを低減する。また、自然循環による冷却が可能となる。
- ・燃料サイクル：高速炉は燃料を再処理し、プルトニウムやマイナーアクチニドを再利用する燃料サイクルを採用する。

溶融塩炉 (MSR)

(1) 原子炉の基本的な構成要素の違い

- ・炉心：溶融塩炉の炉心は、溶融塩 (フッ化物や塩化物) を燃料として使用する。
- ・冷却材：溶融塩自体が冷却材として機能する。

(2) 特徴や利点

- ・高い熱効率：溶融塩炉は高温で運転できるため、熱効率が高く、発電効率も向上する。
- ・安全性：溶融塩は常温で固体化するため、冷却材喪失事故の際には自然に固化し、放射性物質の拡散を防ぐことができる。
- ・持続可能性：溶融塩炉はトリウム資源の有効利用が図られており、トリウム燃料サイクルを利用することが検討されており、ウラン資源の節約や高レベル放射性廃棄物の減少が期待されている。
- ・燃料サイクル：溶融塩炉は溶融塩に核燃料物質を溶解させた液体燃料を使用することが可能であり、再処理との適用性が優れている。運転中に燃料の補充や再処理するオンライン再処理技術が適用でき、核分裂生成物の連続除去が可能となる。

小型モジュール炉 (SMR)

(1) 原子炉の基本的な構成要素の違い

- ・炉心：小型モジュール炉は、従来の大型原子炉よりも小型でモジュール化された設計を持っている。

- ・冷却材：多くのSMRは軽水を冷却材として使用するが、ナトリウムや鉛ビスマス合金を使用するものもある。
- ・モジュール化：工場で製造されたモジュールを現地で組み立てるため、建設期間が短縮され、コストも削減される。

(2) 特徴や利点

- ・安全性：小型であるため、冷却が容易で、自然循環による冷却が可能である。これにより、大規模な冷却材喪失事故のリスクが低減される。
- ・柔軟性：発電量を需要に応じて調整できるため、再生可能エネルギーとの組み合わせが容易である。
- ・経済性：工場での大量生産が可能のため、建設コストが低く、経済的に競争力がある。

高温ガス炉、高速炉、溶融塩炉、小型モジュール炉は、それぞれ異なる技術的特徴と利点を持ち、長期的な環境や資源の持続性に貢献する。高温ガス炉は高温運転と安全性に優れ、水素製造や産業用熱供給に適している。高速炉は資源の有効利用と廃棄物の減少に優れ、持続可能なエネルギー供給に貢献する。溶融塩炉は高い熱効率と安全性を持ち、トリウム燃料サイクルの利用も可能であり持続可能性を持たせることができる。小型モジュール炉は柔軟性と経済性に優れている。

【参考文献】

- [1] 原子力百科事典 ATOMICA「高温ガス炉と軽水炉の相違 (03-03-01-03)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-03-01-03.html
- [2] 原子力百科事典 ATOMICA「高温ガス炉概念の特徴 (03-03-01-02)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-03-01-02.html
- [3] 原子力百科事典 ATOMICA「高速増殖炉 (03-01-01-01)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-01-01-01.html
- [4] 原子力百科事典 ATOMICA「専焼高速炉」
https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_1790.html
- [5] 原子力百科事典 ATOMICA「高速増殖炉燃料の特徴 (04-09-02-04)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-09-02-04.html
- [6] 原子力百科事典 ATOMICA「高速増殖炉と軽水炉の相違 (03-01-02-03)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-01-02-03.html
- [7] 原子力百科事典 ATOMICA「溶融塩炉 (03-04-11-02)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-04-11-02.html
- [8] 令和5年度版原子力白書、8-2 (3) 小型モジュール炉(SMR)に関する研究開発、原子力委員会、令和6年6月
<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2023/>
- [9] 原子力にいま起こっているイノベーション (前編) ～次世代の原子炉はどんな姿？、資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/smr_01.html

【類似問題】

- ・R1 年度 (2019 年度) 原子炉システム・施設Ⅲ-1
- ・R5 年度 (2023 年度) 原子炉システム・施設Ⅲ-2

【解答のポイント】

「深層防護の考え方」とは、一般に、安全に対する脅威から人を守ることを目的として、ある目標をもったいくつかの障壁（以下「防護レベル」）を用意して、あるレベルの防護に失敗したら次のレベルで防護するという概念である。この概念を適用して高い安全性を確保するためには、信頼性が高く、かつ共倒れしない防護レベルを、脅威に対して幾重にも準備しておく必要がある。すなわち、ある防護レベルがどんなに頑健であったとしても、単一の防護レベルに完全に頼ってはならず、一つの防護レベルが万一機能し損なっても次の防護レベルが機能するようにしなければならない。こうした深層防護の概念は原子力に特有のものではないが、原子力の利用においては、炉心に大量の放射性物質を内蔵している原子炉施設のように、人と環境に対して大きなリスク源が内在し、かつどのようにリスクが顕在化するかの不確かさも大きいという化学プラントや航空機などと同様の特徴があることから、不確かさに対処しつつ、リスクの顕在化を徹底的に防ぐために、深層防護の概念を適用することが有効と考えられている。[1]

この思想に基づき、原子力発電所では以下の安全対策がなされている。[2]

○第1層 異常の発生を防止する。

原子力発電所で、第一に大事なことは、事故の原因となる異常を未然に防止することである。そのために安全上十分な余裕をもたせた設計を行い、厳重な品質管理と入念な点検と検査を行っている。誤操作や誤動作が原子力発電所の安全性に大きな影響を与えるものについては、「フェイル・セーフ・システム」や「インターロック・システム」を採用している。

○第2層 異常が事故に拡大することを防止する。

まず、異常の早期発見が重要である。例えば、配管から冷却水が漏れるなどの異常状態をいち早く察知し、事故につなげないことである。そのために各種の自動監視装置が設けられている。異常を発見した場合には、原子炉を緊急に停止するなどの措置がとられる。さらに、緊急を要する異常を検知した場合にはすべての制御棒を挿入し、原子炉を自動的に「止める」設計になっている。

○第3層 事故がより拡大することを防止する。

さらに、念には念を入れるという考え方から、配管の破断により、冷却材が喪失するというような事故を想定し、これに備えるために非常用炉心冷却装置（ECCS）や格納容器スプレー系が多重に設けられている。万が一の事故の際には、非常用炉心冷却装置（ECCS）が働き、原子炉内部に一気に大量の水が注入され、原子炉を「冷やす」しくみになっている。また、原子炉は密閉された原子炉格納容器の中に閉じ込められており、放射性物質を「閉じ込める」しくみになっている。

○第4層 重大事故の影響を緩和する。

第3層での対策が失敗し、原子燃料が著しく損傷するなど、事故がより重大なものに進展してしまった場合にも、さらに拡大することを防止するとともに、発電所敷地外の汚染を回避したり、最小化する。格納容器の破損を防ぐため減圧する際に、排気に含まれる放射性物質の放出を最小化する「フィルタ・ベント」の仕組みなどがある。

○第5層 放射性物質による影響を緩和する。

重大事故が原因となって放射性物質が放出されてしまった場合でも、放出の影響を緩和するために、あらかじめ十分な装備を備えた緊急時対応施設の整備と緊急時対応計画や手順等を整備する。

【参考文献】

- [1] 原子力安全の基本的考え方について 第I編 別冊 深層防護の考え方 標準委員会 技術レポート 一般社団法人 日本原子力学会
https://www.aesj.net/document/tr005anx-2013_op.pdf
- [2] 深層防護 ― 安全を守る技術的なしくみ | 電気事業連合会
<https://www.fepc.or.jp/nuclear/safety/shikumi/bougo/index.html>

【類似問題】

- ・R3年度（2021年度）必須科目Ⅰ-1

II-1-3 配管内に突き出した円柱状構造物や蒸気発生器内の伝熱管など、原子炉システムにおいて流力振動による損傷事例が複数報告されている。このような流力振動とその防止に関してメカニズムを含む損傷現象の概要と設計に当たって考慮すべき留意点について述べよ。

【解答のポイント】

配管内円柱状構造物の流体振動による損傷の防止は実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈 第19条（流体振動等による損傷の防止）（参考文献[1]）にて日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針 JSME S 012-1998（参考文献[2]）の適用が規定されており、設計実務上もそれに沿ったものとなる。本出題に対する回答も参考文献[2]の内容の中から要点を捉えて記述する事が適当と考えられる。

損傷現象の概要に関しては、流れの中に円柱状構造物を置く事で以下のような流力振動が発生する事を述べる。

(1) 対称渦および交互渦との同期振動

流れの中に円柱状構造物を置くと、その円柱から対称渦ならびに交互渦が発生する。構造物の固有振動に対しそれぞれ特定の流速域で対称渦を伴う自励振動、交互渦により抗力方向ならびに揚力方向のロックイン振動が発生する。

(2) 流体の乱れに起因したランダム励振

乱流が円柱状構造物に与える流体力が励振力となり振動が発生する。

(3) 非同期時の渦による強制振動

円柱状構造物と同期していない渦による強制振動

また、これらの流力振動による振動応力の他に、配管振動による振動応力ならびに定常抗力により発生する応力も考慮される事にも留意する。

円柱状構造物に発生する応力が、破壊応力（又は材質により降伏応力）を超える場合は振動発生と共に損傷すること、破壊応力（又は材質により降伏応力）以下であっても、疲労限を超えている場合は繰り返し応力により疲労破壊に至る事を述べる。

設計時に考慮すべき留意点を述べるにあたっては、以下の点を設計時に考慮する必要がある事を述べる。

(1) 円柱構造物周りの流速の把握

円柱構造物周りの流速を把握する。なお、管内平均流速だけではなく、配管内の流速分布の有無、配管の曲がり・分岐・合流による乱れも考慮すること。過渡的な運転モードも考慮すること。

(2) 円柱状構造物と流体との同期振動の回避・抑制

円柱状構造物周りに発生する渦による流体振動に対し、円柱状構造物の固有振動数を十分に離隔し同期を回避する、振動の減衰を評価し、振動が抑制される事を確認する、或いはそれら回避・抑制を組み合わせる。

(3) 非同期の流力振動

ランダム励振や強制振動、その他流力振動以外の発生する振動応力が疲労限以下となるよう、円柱状構造物の設計を行う。

【参考文献】

[1] 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈 第19条（流体振動等による損傷の防止）

<https://www.nra.go.jp/data/000382457.pdf>

[2] 日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針 JSME S 012-1998

【類似問題】

・R5年度（2023年度）機械部門 流体機械III-1

【解答のポイント】

原子力発電所の運用において、事業者は保安規定に基づき運転管理、保守管理、燃料管理、緊急時の処置を行う。保安規定には、安全機能を確保するための機器の台数や温度・圧力の制限が「運転上の制限」(LCO)として定めている。LCOを満たさない場合、事業者はLCO逸脱を宣言し、定められた時間内に機器を復旧させるか、原子炉を停止させる措置を講ずる。LCO逸脱が直ちに保安規定違反となるわけではないが、これまでに発電用軽水炉では、非常用炉心冷却設備、計測制御系統設備、電気設備などで弁装置の取付不良等の保守不完全や調速装置の経年変化による応答性の低下などが原因で発生している。運転状態に対応した運転上の制限(LCO)の逸脱について、規制要求内容および運用に関する概要を以下に示す。

(1) 規制要求内容

発電用原子炉施設の運転において、運転状態に対応した運転上の制限(LCO)は、施設の安全性を確保するために設定される重要な基準であり、以下に、LCO逸脱に関する規制要求内容を示す。

1. LCOの設定

- ・発電用原子炉施設の重要な機能に関して、運転状態に対応した運転上の制限(LCO)を設定する。
- ・LCOを逸脱していないことの確認(サーベイランス)の実施方法および頻度を規定する。

2. LCO逸脱時の措置

- ・LCOを逸脱した場合に要求される措置(LCO逸脱時の措置)を規定する。
- ・要求される措置の完了時間(Allowed Outage Time, AOT)を設定する。

(2) 運用

LCO逸脱時の対応は、発電用原子炉施設の安全運転を維持するために不可欠である。以下に、LCO逸脱時の運用に関する概要を示す。

1. サーベイランスの実施

- ・LCOを逸脱していないことを確認するためのサーベイランスを定期的の実施する。
- ・サーベイランスの頻度や方法は、保安規定に基づいて決定される。

2. LCO逸脱時の対応

- ・LCO逸脱が確認された場合、規定された措置を迅速に実施する。
- ・措置の完了時間(AOT)内に対応を完了させることが求められる。

3. リスク評価と改善

- ・確率論的リスク評価(PRA)モデルを用いて、リスク上の重要度を評価し、必要に応じてLCOやAOTの見直しを行う。
- ・新規規制基準に適合した設備の運用実績を踏まえ、LCO等の再整理や改善を行う。

LCO逸脱に関する規制要求内容および運用は、発電用原子炉施設の安全性を確保し、運転上のリスクを最小限に抑えるために重要である。これらの規制要求を遵守し、適切な運用を行うことが求められる。さらに、LCO逸脱の件数を減らし、LCO逸脱事象に着目した再発・未然防止を実現することが重要である。

【参考文献】

- [1] 「運転上の制限の逸脱」とは何だろうか？、幅聡、日本原子力学会誌、Vol.51、No.6、479(2009)
http://www.gengikyo.jp/JohoBunseki/report1_r1.pdf
- [2] 多様な設備による安全性向上のための 保安規定改定ガイドライン、原子力エネルギー協議会、ATENA 22-S01 Rev.0、2022年7月
<https://www.atena-j.jp/report/docs/ATENA%2022-S01%20%E1%BC%88Rev.0%E1%BC%89.pdf>
- [3] 保安規定における運転上の制限(LCO)等の改善について、原子力エネルギー協議会、2021年11月9日
<https://www2.nra.go.jp/data/000371992.pdf>

Ⅱ-2 次の2設問(Ⅱ-2-1、Ⅱ-2-2)のうち1設問を選び解答せよ。(青色の答案用紙に解答設問番号を明記し、答案用紙2枚を用いてまとめよ。)

Ⅱ-2-1 東京電力柏崎刈羽原子力発電所での事例にもあるように、原子力施設の核セキュリティが近年改めて注目されている。核物質防護を含む核セキュリティの重要性を踏まえ、その対策について原子力発電所の施設設計あるいは運用にかかわる核セキュリティ担当者として業務を進めるに当たり、下記の内容について記述せよ。

- (1) 核セキュリティ上の対策を立てるうえで、調査・検討すべき対象事象(防止する事象)とそれらの重要性、内容を説明せよ。
- (2) 原子力発電所の施設設計や運営管理上の主要な防止方策を2つ挙げて、業務を進めるうえでの手順、留意・工夫を要する点を述べよ。
- (3) 前述の防止方策をプラント設計や施設の運営管理に適用するうえで調整が必要となる関係者を列記し、設計や運用などの業務を効率的、効果的に進めるための関係者との連携・調整について述べよ。

【解答のポイント】

核セキュリティとは、「核物質、その他の放射性物質、その関連施設及びその輸送を含む関連活動を対象にした犯罪行為又は故意の違反行為の防止、探知及び対応」のことをいう。2001年9月11日の米国同時多発テロ事件以降、国際社会は新たな緊急性を持ってテロ対策を見直し、取組を強化してきた。放射性物質の発散装置(いわゆる「汚い爆弾」)の脅威も懸念されるようになり、核爆発装置に用いられる核燃料物質だけでなく、あらゆる放射性物質へと防護の対象が広がっている。これらを踏まえて、原子力発電所の施設設計あるいは運用にかかわる核セキュリティ担当者として解答していく。

(1) 核セキュリティ上の対策を立てるうえで、調査・検討すべき対象事象(防止する事象)

IAEAは、核物質や放射性物質の悪用が想定される脅威を、核兵器の盗取、盗取された核物質を用いた核爆発装置の製造、放射性物質の発散装置(いわゆる「汚い爆弾」)の製造、原子力施設や放射性物質の輸送等に対する妨害破壊行為の4種類に分類している。[1]

したがって、核セキュリティの対策を立てる上で対象とする事業(防止する事象)については、上記テロリズムの発生を回避するために、核物質、その他の放射性物質、その関連施設及びその輸送を含む関連活動へのアクセス、侵入を防止することが基本となる。侵入とその後の不法行為を許すと、核物質や放射性物質を盗用されるリスクが生じるだけでなく、原子力発電所の安全上重要な機器の誤作動や破壊行為を許すことになる。これは、原子力発電所の事故を引き起こし、核物質や放射性物質を周辺に拡散させると言ったリスクを生む。また、発電所の安全に係る機密情報が外部に持ち出されるリスクも生まれ、核セキュリティそのものを脅かすことにもなる。

(2) 原子力発電所の施設設計や運営管理上の主要な防止方策

設問(1)に示すようなリスクを回避、軽減させるためには以下の対策が重要となる。

- ①侵入者制圧に必要な時間(遅延時間)の確保
- ②侵入者を確実に検知・侵入事案発生を治安機関に通報

①侵入者制圧に必要な時間(遅延時間)の確保

侵入者制圧に必要な時間を確保するための方策を検討する。具体的な方策としては、以下の様に物理的障壁を多段に設けることで侵入障壁を高めるとともに、侵入を検知した後の逃亡を遅らせることができる。

- ・防護区域(堅固な障壁)
- ・周辺防護区域(フェンス)
- ・立入制限区域(フェンス)

これらに設置について、設置による効果の評価、設置場所の選定・設置工事の計画、許認可対応を実施する。その際の留意・工夫として、設置場所の地形や既存施設との整合性を考慮して、障壁となるような配置、潜伏などができないよう死角のない配置、緊急時の避難経路や作業動線を妨げない設計など求められる。工事や原子力発電所の運転に影響を与えないように計画することも重要である。許認可対応では規制当局との事前協議や住民への説明も不可欠である。また、運用部門との連携や定期点検も重要となる。

②侵入者を確実に検知・侵入事案発生を治安機関に通報

侵入者を確実に検知・侵入事案発生を治安機関に通報のための方策を検討する。順としては、以下の様な出入管理や検知・監視を強化し、異常が有れば直ぐに対応を打てる様に治安機関に通報できる体制を構築することも有効である。侵入者の監視や検知、また検知した後の対応は毎上保安庁や警察と連携して対応することも必要となる。

- ・出入管理建屋、正門守衛所、中央警備室
- ・侵入検知装置、監視カメラ

これらに設置について、設置による効果の評価、設置場所の選定・設置工事の計画、体制の構築、許認可対応を実施する。その際の留意・工夫として、出入管理建屋や正門守衛所での多要素認証の導入や常時監視体制を整備すること、侵入検知装置や監視カメラは死角のない配置とし、AI や赤外線技術を活用して異常を即時検知するようにする工夫も取り入れると良い。また、中央警備室では監視情報を一元管理し、警察や海上保安庁と連携した通報体制を構築すると良い。設置工事は既存施設との干渉を避け、工事中も仮設の監視体制を確保することが重要となる。また、体制構築に関係機関との協定や規制当局との調整が不可欠であることに留意する。

他にも、情報システム（原子力発電所の運転制御系システム、特定核燃料物質の防護のために必要なシステム）への外部からのアクセス遮断、いわゆるサイバーセキュリティ対策も重要な対策として挙げられる。

このような対策の基本思想ならびに分担、手順書は、発電所内の設備管理部門や安全管理部門のみならず外部機関（海上保安庁や警察）と共有しておくことが対応の実行性を高めるためにも重要となる。

また、設問に記載されている事例について焦点を当てて防止策を記載することも可能である。

東京電力HDは、柏崎刈羽原子力発電所でいくつかの核セキュリティの不備を起こし、核物質の安全管理に重大な影響を及ぼす可能性があるとして、原子力規制委員会から原子力規制検査の対応区分の変更に伴う追加検査の実施、特定核燃料物質の移動禁止の措置といった厳しい処分を受けた。ID カードの不正使用、核物質防護設備の機能の一部喪失の事案があったが、とりわけID カードの不正使用は社員が行った事案であり、「社員は内部脅威になり得ないという思い込み」が最も深層にある背後要因と結論づけられている。核セキュリティ上の対策においては、核セキュリティ文化醸成に向けたトップメッセージの発信や核セキュリティに関する教育・訓練の強化など内部脅威の観点で取るべき対策も考えられる。東京電力HDは事案に対して、改善措置を講じるとともに、第三者による独立検証委員会を設置し、以下の再発防止策を策定した。[3]

- ・ ID カードの管理強化：ID カードの不正使用を防ぐため、アクセス管理システムの見直しと強化を実施
- ・ 核物質防護設備の改善：核物質防護設備の機能を全面的に点検し、必要な修理や更新を実施
- ・ 第三者評価の導入：独立した第三者による評価委員会を設置し、核セキュリティの状況を定期的に評価し、改善策を提言してもらう体制を整備
- ・ 従業員教育の強化：核セキュリティに関する従業員の意識向上を図るため、定期的な教育・訓練プログラムを実施

(3) 運営管理に適用するうえで調整が必要となる関係者、業務を効率的、効果的に進めるための関係者との連携・調整

運営管理に適用するうえで調整が必要となる関係者としては、保安関係者、設備管理部門、安全管理部門、海上保安庁、警察、原子力規制委員会などが挙げられる。

業務を効率的、効果的に進めるために関係者と連携・調整しながら業務を効率的、効果的に進めるようにすることが必要である。原子力発電所における設計・運用業務を効率的に進めるためには、核セキュリティと保安活動の両立を全体とした関係者との緊密な連携・調整が不可欠である。核セキュリティは不正侵入や核物質の盗取を防ぐ目的とし、厳格な出入管理や監視体制が求められるが、保安活動は安全運転や放射線防護を目的としており、柔軟で迅速な対応が求められる。

両者の目的や運用が異なるため、例えばセキュリティ許可によるアクセス制限が、保安上の緊急対応や保守作業の妨げとなるなど、運用上の矛盾が生じることがある。このため、設計段階から核セキュリティと保安の要件を統合的に検討し、関係者間での役割分担と情報共有を明確にすることが重要である。

保安関係者、設備管理部門、安全管理部門、海上保安庁、警察、原子力規制委員会などとの連携を通じて、両活動の調和を図り、定期的な合同訓練や協議を実施することで、実効性ある運用体制を構築することができる。技術的工夫と組織的連携により、核セキュリティと保安の両立を実現し、業務の効率化と安全性向上を図ることが可能となる。

【参考文献】

- [1] 令和3年度版原子力白書 原子力委員会
<https://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/index2022.htm>
- [2] 当社の核セキュリティに係る主な取組みについて 九州電力株式会社
<https://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0554/8231/k2S5LqB7.pdf>
- [3] ID カード不正使用及び核物質防護設備の機能の一部喪失に関わる改善措置報告書概要
https://www4.tepco.co.jp/press/release/2021/pdf3/210922_j0202.pdf

【類似問題】

- ・ R3 年度（2021 年度）原子炉システム・施設Ⅲ-1
- ・ R4 年度（2022 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅲ-2
- ・ R5 年度（2023 年度）必須科目Ⅰ-1

II-2-2 新型軽水炉の開発で従事者の被ばくを合理的な範囲で可能な限り低減することが求められる。あなたが**新型軽水炉開発における従事者の被ばく低減の担当責任者**に選ばれた場合、下記の内容に答えよ。

- (1) 新型軽水炉の被ばく低減戦略を立案するために調査、検討すべき事項とその内容を幅広く述べよ。
- (2) 被ばく低減の目標を達成するための開発手順を設計から点検・保守作業全般にわたって示し、それぞれの段階で留意すべき点、工夫を要する点を述べよ。
- (3) 被ばく低減策を実現するための開発を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

【解答のポイント】

本設問は、自らの業務経験をもとに、設定条件担当者の直面する課題を分析し、解決に必要な業務遂行手順、業務上留意すべき点、および工夫を要する点を説明できる能力を問う問題である。なお、本解説の「新型軽水炉」は2030年代の運転開始を想定した国内次期軽水炉（大型炉、小型炉）を想定する。

(1) 新型軽水炉の被ばく低減戦略を立案するために調査、検討すべき事項

新型軽水炉の被ばく低減戦略を立案するにあたり、①既設軽水炉（以後、既設炉）での被ばく低減策の調査とともに、②新型軽水炉へ要求される事項を調査し、それに対応した被ばく低減策の検討が必要である。なお、既設炉での被ばく低減策の詳細は参考文献[1][2]を、新型軽水炉に要求される事項の詳細は参考文献[3][4]を参照願いたい。

新型軽水炉の例としては、沸騰水型軽水炉(BWR)では、近年主流となっている改良型沸騰水型軽水炉(ABWR)と同じ基本設計を採用しながら、さらに安全対策を強化した、「iBR（東芝エネルギーシステムズ）」、「HI-ABWR（日立GE）」、加圧水型軽水炉(PWR)では、従来の加圧水型軽水炉から安全性を高めた「SRZ-1200（三菱重工業）」が挙げられる。これらについては、既設炉をベースとして、2030年代に運転開始を目指すプラントとして、エネルギー問題解決に貢献するS+3E（安全性(Safety)、エネルギーの安定供給(Energy Security)、経済性の向上(Economic Efficiency)、環境適合性(Environment))を実現し、既設炉に対して優位性を示す新型軽水炉として提案されている。これらの新型軽水炉については、基本概念は提唱されており、基本設計、プラント設計のさらなる具体化と安全性向上を進めて行っている段階である。そのため、既設炉と共通する部分については、すでに運転させている被ばく低減策を用いることが有効であり、①既設軽水炉（以後、既設炉）での被ばく低減策の調査を活用する。また、新型軽水炉として新設させる部分については、技術要件、制度や規制が検討されており、②新型軽水炉へ要求される事項を調査し、それに対応した被ばく低減策の検討が必要である。

① 既設炉での被ばく低減策の調査

既設炉で有効な被ばく低減策を調査し、新型軽水炉へ反映を検討する。既設炉での主な放射線源は、水中の腐食生成物が中性子照射により放射性腐食生成物となり、冷却水中に剥離・溶出したものである。よって、既設炉では、腐食生成物の発生抑制、発生した腐食生成物の除去、除去されなかった腐食生成物の機器・配管への付着抑制などにより被ばく低減が計られている。また、これらの放射性腐食生成物の低減等による「作業環境の線量率低減」を行うとともに、保守時の作業スペースの拡大や溶接線の削減などの作業時間の短縮等による「作業の合理化」、及び、非破壊検査等の「作業の遠隔自動化」等により被ばく低減が計られている。

② 新型軽水炉へ要求される事項の調査

新型軽水炉では、安全性・環境適合性・経済性などの社会的受容性の基本要件を満たす設計を目指しており、これら設計要件に応じた被ばく低減戦略を立案することが重要である。例えば、経済性向上については、設備利用率の向上（定検期間短縮等）、長期運転（稼働年数）が要件にあげられ、運転中の廃棄物量の低減を念頭に設計することが重要とされる。被ばく低減に係る新型軽水炉への要件に対し、検討すべき項目の一例を以下にあげる。

- ・安全性等の向上のための機器新設に対する被ばく低減策
- ・経済性向上のための長期運転・短期点検の要求に対する被ばく低減策
 - －保守時の作業性向上のための作業スペースの確保、アクセス性を配慮した配置設計、最新自動化機器の適用など
- ・プラント寿命延長要求に対する被ばく低減策
 - －新材料の適用と、それに対応した水質制御や材料表面制御の最適化
 - －大型機器交換時の作業スペース、アクセス性を配慮した配置設計
- ・最新知見・技術の適用性の検討
 - －廃液等の放射性廃棄物の発生低減／濃縮減容などの最新技術の適用
 - －既設炉の廃止措置における技術開発の反映

(2) 被ばく低減の目標を達成するための開発手順と、それぞれの段階で留意すべき点、工夫を要する点

新型軽水炉の被ばく低減戦略としては、新型軽水炉を設計する段階から被ばく低減策を考慮して、各段階で被ばく低減策を講じていくことが重要となる。以下に開発手順を示し、各段階での留意すべき点と工夫を要する点の一例を示す。

〔設計段階〕

設計段階では、各作業段階での被ばく低減策を、ALARA (As Low As Reasonably Achievable) の思想に基づき抽出し、合理的に達成できる対策の抽出に留意する必要がある。設計段階に考慮する被ばく低減策は、①線源発生量の低減、②線源の除去策、③放射線防護対策の3つに分類できる。

① 線源発生量の低減策

- ・既設炉では放射化された腐食生成物が、各機器の接液部表面に移動・付着することで、点検時等での作業員の被ばくの放射線源となる。よって、これらの腐食生成物の低減のため、最新の知見に基づき、原子炉及び冷却材配管などの材料を適切に選定（全面腐食対策、エロージョン・コロージョン、摩耗に対する対策）するとともに、適切な1次系水質管理（亜鉛注入等）に留意する。

② 線源の除去

- ・発生した腐食生成物を除去するために、適切な浄化設備を選定する。浄化設備の設計に際しては、既設炉における実績や前記の線源発生量の低減策の効果を考慮し、更に、今後の技術進歩も加味することにより、最適設計を目指していくことに留意する。

③ 放射線防護対策（保守・点検時作業の「合理化」と「遠隔自動化」の採用）

- ・保守時の被ばく低減のために、点検対象の機器配置、遮蔽設計およびその作業内容の検討等を設計段階で具体化する。また、ロボットの導入による遠隔化、無人化技術の活用などの最新の技術適用にも留意する。
- ・将来の大型機器交換時の被ばく低減のため、設備取替を配慮した配置設計や揚重設備の追設などへの対応に留意する。
- ・機器点検時の被ばく低減のため、運転中の状態監視のための超音波試験、温度計測等が容易に実施できるように設備の構造（直管長やスペース等）、保温材の仕様等を設計に反映し、将来の保守点検数の低減に留意する。

〔建設・運転・保守段階〕

建設段階では、前記の設計段階で検討した「作業性の合理化」、「作業の遠隔自動化」の施策を適切に実施する。また、各作業の計画段階では、遮蔽、線源除去、アクセスルート、工法、遠隔化、事前モックアップ等の被ばく低減策について、工学的及び管理的な面から妥当性を作業前に評価するとともに、作業中には、定期的な被ばく評価と作業へのフィードバックを確実に実施することに留意する。なお、これら対策にあたり、国内外の最新の規制基準を遵守するとともに、被ばく低減のための知識と技術を従事者に教育し、必要に応じて実際の作業を想定した模擬訓練を行う工夫も重要である。

〔廃止措置段階〕

既設炉の廃止措置の被ばく実績を踏まえ、放射性廃棄物発生量の最小化、廃炉時の作業性を留意し被ばく低減を検討する。

(3) 被ばく低減策を実現するための開発を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策

被ばく低減策の実施には、技術の異なる多くのメンバーとの共同作業が必要となる。よって、開発を効率的、効果的に進める上で設計・計画段階からこれらメンバーと綿密に連携することが重要である。そのためには、定期的な会議や情報共有プラットフォームによる情報の一元管理により進捗状況と課題を共有化し、各メンバーが協力して作業を進められる環境を整備し共同作業を推進する。これらの対応の中で、保守・メンテナンス作業に従事する者（直作業事業者）の意見を聞き、被ばく低減策に反映させる。また、各関連企業・事業者の作業内容と責任を明確化し、平行して作業を行うことで効率化をはかる。更に、定期的に関係するメンバー全員に、被ばく低減策に関する知識と技術の教育、及び作業模擬訓練を行うことで、メンバー全体の力量を向上し、全体の開発効率を向上させる。

【参考文献】

- [1] 会沢元浩 他、「BWR 被ばく線量低減技術と志賀原子力発電所2号機（ABWR）の実績」、平成25年度火力原子力発電大会論文集P54
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tenpes/10/0/10_54/_pdf/-char/ja
- [2] 近江正 他、「国内原子力発電所における線量低減活動の現状と今後の線量見通しについて」、Jpn. J. Health Phys., 46(2), 132～139(2011)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps/46/2/46_132/_pdf/-char/ja
- [3] 日本原子力学会、「次期軽水炉の技術要件と実現のための取り組み」、「次期軽水炉の技術要件検討」ワーキンググループ（フェーズ2）報告書」、2024年3月
http://www.aesj.or.jp/~hatsuden/katsudou/04_jikiroWG/jikiroWG_report2_20240312.pdf
- [4] 都筑和泰 他、「次世代軽水炉開発の構想と展開 世界標準を獲得し得る次期軽水炉開発の経緯と現状」、日本原子力学会誌, Vol. 51, No. 4(2009)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/51/4/51_229/_pdf/-char/ja

【類似問題】

- ・H29年度（2017年度）原子炉システムの設計及び建設Ⅱ-2-1

5.2 「核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分」の問題と解答のポイント

Ⅱ 次の2問題(Ⅱ-1、Ⅱ-2)について解答せよ。(問題ごとに答案用紙を替えること。)

Ⅱ-1 次の4設問(Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-4)のうち1設問を選び解答せよ。(緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し、答案用紙1枚にまとめよ。)

Ⅱ-1-1 ウラン濃縮に六フッ化ウラン(UF₆)が使用される理由及びウラン濃縮方法とその概要を述べよ。

【解答のポイント】

天然に存在するウランには、同位元素として燃えるウランU-235が0.7%、燃えないウランU-238が99.3%含まれている。この燃えるウランの比率を高めることをウラン濃縮という。ウラン燃料として濃縮ウランが一般的に用いられており、軽水型原子炉ではU-235を3～5%に濃縮したウランを使用している。本設問は、ウラン濃縮法について問う設問となっている。

ウラン濃縮に六フッ化ウランが使用される理由

ウラン濃縮では、多くの方法において、取り扱われるウランの化学形態は六フッ化ウラン(UF₆)である。フッ素は自然界においては単一の安定同位体(原子量約19)であるため、UF₆の分子量はウラン同位体の質量差がそのまま反映される。したがって、ウランをUF₆の化学形態に転換して分子レベルの分別を行うことにより、ウラン原子の同位体分離が可能になる。また、UF₆は平衡蒸気圧が大気圧となる温度が56.5℃であり、大気圧よりも十分低い圧力であれば室温でも気体状態を維持することができ、工業技術の観点から取り扱いが容易であることからウラン濃縮では六フッ化ウランが使用される。

ウラン濃縮方法

ウラン濃縮方法は、濃縮プロセスの特徴から統計的分離法と選択的分離法の二つに分けられる。統計的分離法では、分子を構成する同位体の種類によって僅かに異なる性質(質量、運動速度等)の差を利用して着目成分を少し多く含む部分を分けて取り出す。本方法は、一般的に1回の処理に伴う濃縮の度合いが小さいため、必要に応じて処理を繰り返す必要がある。統計的分離法には、ガス拡散法、遠心分離法等がある。一方、選択的分離法は、特定の同位体に固有の性質に注目し、着目成分のみを一挙に選別するプロセスであり、レーザー分離法がある。

ウラン濃縮法の概要

ガス拡散法は、U-235とU-238のUF₆の質量差に基づく運動速度の差を利用する分離法であり、UF₆ガスを圧縮機により加圧し、多孔質膜を利用してU-235を濃縮する方法である。分離係数は1.003程度であり、分離段数は約1000段必要となる。特徴として、可動部が少ないシンプルな構成であるが、消費電力が大きく、設備が大規模になる。

遠心分離法は、U-235とU-238のUF₆の質量差を利用する分離法であり、常温UF₆ガスを遠心分離機により遠心力を作用させてU-235を濃縮する方法である。分離係数は1.4程度であり、分離段数は約10段で理論上分離可能となる。特徴として、可動部が多いが、ガス拡散法よりも経済的である。

レーザー分離法は、金属ウランを用いる元素法と六フッ化ウランを用いる分子法がある。分子法では、赤外線吸収スペクトルの差を利用する分離法であり、レーザー光を低温UF₆蒸気に照射しU-235のUF₆を励起、解離させ、反応生成したUF₅を固体として分離回収して、U-235を濃縮する方法である。分離係数は10弱程度であり、分離段数は1段で良い。特徴として、選択的分離法であるため、1段で分離が可能であること、取扱い実績の多い六フッ化ウランを用いた手法であるが、一部U-238のUF₆も同時に励起・解離されるため、U-235にU-238が同伴する。

【参考文献】

- [1] 日本原子力学会、再処理・リサイクル部会、テキスト「核燃料サイクル」3-2 ウラン濃縮
<http://www.aesj.or.jp/~recycle/nfctxt/nfctxt.html>
- [2] 原子力百科事典 ATOMICA「濃縮ウラン(04-05-01-01)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-05-01-01.html
- [3] 原子力百科事典 ATOMICA「ウラン濃縮法(04-05-01-02)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-05-01-02.html
- [4] 原子力百科事典 ATOMICA「ガス拡散法によるウラン濃縮(04-05-01-05)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-05-01-05.html
- [5] 原子力百科事典 ATOMICA「レーザー法によるウラン濃縮(04-05-01-06)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-05-01-06.html

【類似問題】

- ・R2年度(2020年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-1-1
- ・R3年度(2021年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-1-2
- ・R4年度(2022年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-1-4

【解答のポイント】

我が国の再処理技術により回収されるプルトニウムを用いる軽水炉用 MOX (Mixed Oxide) 燃料の製造プロセスについて説明する。MOX 燃料は、ウランとプルトニウムの混合酸化物燃料であり、軽水炉や高速増殖炉で使用される。軽水炉に用いる MOX のプルトニウムの含有量（富化度）は数% 以下であり、高速増殖炉用の MOX 燃料では約 20% である。大まかに見ると、プルトニウム含有量の少ない軽水炉用 MOX は、ウラン酸化物燃料の性質と類似している。このため、ウラン酸化物燃料の代替えとして軽水炉に用いることが可能であり、MOX 燃料の軽水炉への利用（プルサーマル）は、既に国内でも実施されており、技術的には問題ないことが確認されている。MOX 燃料の製造においては、プルトニウム混合工程が追加される以外は、ウラン酸化物燃料と同じであるが、燃料製造工程では純粋なウラン酸化物に比し、その取扱を含めて相違があるため、後述する。MOX 燃料の製造プロセスには、使用済燃料の再処理と、MOX 燃料の製造の工程がある。それぞれについての概要を示す。

(1) 使用済燃料の再処理

使用済燃料の再処理では、受入・貯蔵、せん断・溶解、分離、精製・脱硝酸の工程からなる。受入・貯蔵では、使用済燃料は再処理工場に運ばれ、燃料貯蔵プールで冷却貯蔵される。せん断・溶解では、使用済燃料は小片に切断され、硝酸で溶解される、分離では、溶解された燃料からウラン、プルトニウム、核分裂生成物を分離し、核分裂生成物はガラス固化され、高レベル放射性廃棄物として保管される。精製・脱硝酸では、分離されたウランとプルトニウムはそれぞれ硝酸ウラン溶液、硝酸プルトニウム溶液に精製され、酸化物に変換される。

(2) MOX 燃料の製造

MOX 燃料の製造では、粉末の混合、ペレットの成形、燃料棒の製造、燃料集合体の組立の工程からなる。粉末の混合、ペレットの成形、燃料棒の製造、燃料集合体の組立からなる。粉末の混合では、ウラン酸化物とプルトニウム酸化物の粉末を均一に混合する。この工程は、プルトニウムの臨界管理や保障措置対応のため、厳重な管理下で行われる。ペレットの成形では、混合された粉末を圧縮してペレット状に成形し、焼結する。焼結は高温で行われ、ペレットの密度を高められる。燃料棒の製造では、焼結されたペレットをジルコニウム合金製の被覆管に詰め、ヘリウムガスを封入して燃料棒を製造する。燃料集合体の組立では、燃料棒を支持格子に挿入し、燃料集合体を組み立てる。これにより、軽水炉で使用される MOX 燃料が完成する。

(3) UO₂ 燃料と MOX 燃料の製造工程の相違点

燃料製造工程では純粋な UO₂ 燃料と MOX 燃料の製造工程では、その取扱を含めて相違がある。主な事項として、閉じ込め対策、中性子線の遮蔽、設備の自動化、臨界管理、計量管理等があり、また、核拡散防止条約に基づく保障措置も厳しいので、これらに対する厳重な対策がハード・ソフト両面で取られている。また、ペレット製造前の原料粉末の混合が不十分だと焼結時のプルトニウムとウランの固溶が進まず、プルトニウム・リッチの領域（プルトニウムスポット）が残ることがある。このような領域では、周りの均一な領域との核的特性の違いにより、核分裂が多く起こり、そこでの燃焼度が高くなり、FP ガス放出挙動が異なってくること、プルトニウムスポットは再処理の際、溶解工程で溶け残ることが多い。これを避けるため、均一な分散と焼結後におけるプルトニウムスポットを小さくするよう努力が払われている。このため、ペレット検査工程において、プルトニウムスポットの均一性、大きさをチェックする試験が行われる。

【参考文献】

- [1] 原子力百科事典 ATOMICA 「再処理の概要 (04-07-01-01)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-07-01-01.html
- [2] 原子燃料の再処理、電気事業連合会
<https://www.fepc.or.jp/nuclear/cycle/about/saishori/index.html>
- [3] 原子力百科事典 ATOMICA 「混合酸化物 (MOX) 燃料とその軽水炉への利用 (04-09-02-03)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-09-02-03.html
- [4] 原子力百科事典 ATOMICA 「混合酸化物 (MOX) 燃料の製造加工工程 (04-09-01-07)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-09-01-07.html
- [5] 原子力百科事典 ATOMICA 「ウラン燃料とプルトニウム燃料の相違 (04-09-01-04)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-09-01-04.html

【類似問題】

- ・ R1 年度 (2019 年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 II-1-3
- ・ R5 年度 (2023 年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 II-1-2

II-1-3 核燃料物質取扱施設の特徴を踏まえた安全機能を3項目取り挙げ、その内容を述べよ。

【解答のポイント】

核燃料物質取扱施設として再処理施設や加工施設の例を取り上げる。

原子炉等規制法においては「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」並びに「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」、さらにこれらの解釈^[1] 2]が制定されており、ここで「安全機能」とは、核燃料物質取扱施設の運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において、当該施設の安全性を確保するために必要な機能をいう、とされている。

各規則で示される安全機能としては、「核燃料物質の臨界防止」、「遮蔽等」、「閉じ込めの機能」、「火災等による損傷の防止」、「地震による損傷の防止」、「外部からの衝撃による損傷の防止」等が挙げられる。

- ・臨界防止機能：核燃料物質が臨界状態に達するのを防ぐための機能で、核燃料物質を収納する設備機器の形状寸法、溶液中の核燃料物質の濃度、核燃料物質の質量、核燃料物質の同位体組成、中性子吸収材の形状寸法、濃度、材質等について適切な核的制限値が設けられていることが求められる。
- ・遮蔽機能：放射線の漏洩を防ぐための機能で、鉛やコンクリートなどの高密度材料を使用して、放射線を遮蔽し、作業員や周囲の環境への被ばくを最小限に抑える。このため、放射線業務従事者の作業性等を考慮して、遮蔽、機器の配置、遠隔操作、放射性物質の漏えい防止、換気等、所要の放射線防護上の措置を講じた設計が求められる。
- ・閉じ込め機能：核燃料物質が施設外に漏れ出すを防ぐための機能で、気密性の高い容器や建物、フィルターシステムなどが含まれる。核燃料物質を収納する系統及び機器は、核燃料物質の漏えいを防止できる設計であり、また、使用する化学薬品等に対して適切な腐食対策が講じられていることが求められる。
- ・火災等による損傷の防止機能：火災又は爆発により施設の安全性が損なわれないよう、火災及び爆発の発生を防止することができ、かつ、消火を行う設備及び早期に火災発生を感知する設備並びに火災及び爆発の影響を軽減する機能を有することとされ、例えば、可燃性物質のような熱的に不安定な物質を使用又は生成する系統及び機器は、適切に設定された熱的及び化学的制限値を超えない設計とすることが求められる。
- ・地震による損傷の防止機能：地震力に十分に耐えることができるもので、耐震設計や地震感知システム、緊急停止装置等が含まれる。
- ・外部からの衝撃による損傷の防止機能：想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないもので、敷地及び敷地周辺の状況を基に選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害等が発生した場合も施設設備の安全機能を損なわないことが求められる。

これらの安全機能は、核燃料物質取扱施設の設計と運用において、放射線防護と事故防止のために不可欠な要素である。

【参考文献】

- [1] 再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈
<https://www.nra.go.jp/data/000100826.pdf>
- [2] 加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈
<https://www.nra.go.jp/data/000172362.pdf>

【類似問題】

- ・R4 年度（2022 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 II-1-2
- ・R5 年度（2023 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 II-2-1

II-1-4 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律が求める第二種廃棄物埋設の事業では、処分方法とその処分方法で取り扱うことができる放射性廃棄物の種類（区分）が定められている。その概要及び廃棄物埋設処分の現状について述べよ。

【解答のポイント】

第二種廃棄物埋設の事業について、法令で定められている処分方法、放射性廃棄物の種類（区分）に関する事項に言及しつつ技術的な事項を解説して、解答するのがよいと思われる。

法令で定められている制度状況については、令和5年の原子力白書「6-3 現世代の責任による放射性廃棄物処分の着実な実施」^[1]の中で、「表 6-7 放射性廃棄物等に係る制度状況」及び「図 6-27 放射性廃棄物の種類と処分方法」の図表に分かりやすくまとめられている。この図表の内容と法令上の要求^[2]を把握した上で、概要、廃棄物処分の現状等に展開して解答すれば良いと考える。

表 6-7 放射性廃棄物等に係る制度状況

処分 区分	事業許可 施設区分	原子力委員会	原子力規制委員会					
			指定廃棄物 埋設区域規制	埋設事業規制	濃度上限値	許可基準規制 及び埋設制限	審査ガイド	保安規定 審査基準
原子力等規制法								
地層	施設特定無し	TRU廃棄物基本的考え方	指定廃棄物規制	【第一種埋設事業規制（暫定）】 濃度上限値はない		【本整備】		
中・深層	原子力発電 製造事業 加工事業 再処理事業 行方事業 廃棄事業	余熱深度処分廃棄物基本的の考 え方		【第二種埋設事業規制（暫定）】 ● 中・深層の濃度上限値は伊能法施行令 ● ビット及びビートルンチの濃度上限値は事業規制		設計プロセスガイド 【新規に整備予定】	埋設地に関する審査 ガイド 【暫定】	【暫定】
	放射性物質等 使用等	低レベル放射性廃棄物処分策 低レベル放射性廃棄物体制等						
ビット ビートルンチ	R1法から伊能 法への移行（見 直し）廃棄物	R1・研究廃棄物基本的考え方 TRU廃棄物基本的考え方 ウラン廃棄物基本的考え方		対象外				
放射性同位元素等規制法、医療法等								
中・深層 ビット ビートルンチ	放射性同位元 素等規制法（R1 法）施設	R1・研究廃棄物基本的考え方	対象外	【放射性同位元素等規制法施行規則（暫定）】 【廃止措置後の検査基準・濃度上限値は本整備】 放射線安全管理検討会で上限値は検討済		該当無し		
	医療法等施設			【本整備】 医療放射線の適正管理に関する検討会（平成31年3月、令和0年4月）において厚労省の方針案は提示済				

（出典）内閣府作成



（注）TRU 廃棄物とは、超ウラン核種（原子番号 92 のウランよりも原子番号が大きい元素）を含む放射性廃棄物
※図に示すほか、試験研究炉、核燃料物質使用施設、放射性同位元素使用施設等からも低レベル放射性廃棄物が発生する。

図 6-27 放射性廃棄物の種類と処分方法

（出典）第 43 回原子力委員会資料第 2 号 内閣府「低レベル放射性廃棄物等の処理・処分を巡る動向等について」（2021 年）、一般社団法人日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」等を基に内閣府作成

また、類似問題として、令和2年度技術士試験「原子力・放射線部門」対策講座におけるR1年度（2019年度）核燃料サイクルII-1-4「低レベル放射性廃棄物の区分と処分方法（L1、L2、L3）」の解説に、概要のまとめ方等、非常にわかりやすくまとめられているので、参考にされることをお勧めする。以下、その概要についての解説を再度掲載する。

放射性廃棄物の区分は、発生元施設の違い（発電所廃棄物、核燃料施設からの廃棄物等）、性状による違い（均質固化体、充填固化体等）、施設の運転段階（操業（運転）中の廃棄物、解体廃棄物等）、含まれる放射性物質の種類・濃度による違いによって、様々な分類がなされている。

ここで、低レベル放射性廃棄物のL1、L2、L3は放射性物質の種類・濃度による分類で、低レベル放射性廃棄物の陸地埋設処分の方法と関連付けて整理する場合によく使われる。放射能レベルの比較的高いものから順にL1、L2、L3と称され、L3では放射性物質濃度は極めて低いものとなる。

放射性物質の濃度に応じて、埋設の深さ（生活圏からの隔離）の程度や管理の期間、埋設の方法などが選定されることになる。

その方法については、技術的要求が法制化されている（核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則）。その処分の区分の考え方は大よそ、以下の表の通りである。

処分の方法	放射能濃度
トレンチ処分（L3） 深さ七十メートル未満の地下の廃棄物埋設地に埋設することで処分する方法	下記濃度を超えないことが条件 Co-60 : 10 GBq/t、Sr-90 : 10 MBq/t Cs-137 : 100 MBq/t
ピット処分（L2） 深さ七十メートル未満の地下の廃棄物埋設地に以下のいずれかの方法で処分する方法 ・外周仕切設備を設置した廃棄物埋設地に放射性廃棄物を定置する方法 ・外周仕切設備を設置しない廃棄物埋設地に放射性廃棄物を一体的に固型化する方法	下記濃度を超えないことが条件 C-14 : 100 GBq/t、Co-60 : 1 PBq/t Ni-63 : 10 TBq/t、Sr-90 : 10 TBq/t Tc-99 : 1 GBq/t、Cs-137 : 100 TBq/t アルファ線を放出する放射性物質 : 10 GBq/t
中深度処分（L1） 深さ七十メートル以上の地下に設置された廃棄物埋設地に埋設することで処分する方法	上記の濃度を超えた場合、中深度処分の対象となる。いま、埋設事業に係る関連法規の中で、第二種廃棄物埋設に限るとされており、深地層処分対象となるものは除かれる。
深地層処分 地下 300m 以深への埋設	以下の基準値を超えるものは、特定放射性廃棄物として300m以深の埋設が必要となる。 C-14 : 87TBq/t、Cl-36 : 96GBq/t Tc-99 : 1.1TBq/t、I-129 : 6.7GBq/t アルファ線を放出する放射性物質 : 8.3 GBq/t

また、第二種廃棄物埋設（トレンチ処分、ピット処分、中深度処分）の対象とする廃棄物には、法律上で、技術的要件が定められており、固型化又は封入すること、廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質を含まないことなどの技術上の基準を満足しなければならない。

現在、原子力発電所の運転に伴って発生した以下の放射性廃棄物については、日本原燃㈱の埋設センターで埋設処分が進められている。

- ・濃縮廃液、使用済樹脂、焼却灰などをセメント、アスファルト、プラスチックを用いてドラム缶に固型化したもの（均質固化体）
- ・原子力発電所の運転に伴い発生した低レベル放射性廃棄物で、金属類、プラスチック、保温材、フィルター類などの固体状廃棄物を分別し、必要に応じて切断・圧縮・溶融処理などを行いドラム缶に収納した後、セメント系充てん材（モルタル）で一体となるように固型化したもの（充填固化体）

中深度処分に関しては、試験坑道内でのコンクリートピットへの定置、閉鎖技術や力学的安定性などについて、確認、評価するための研究が行われているところであり、立地を含めて今後の対応となる。

概要 及び 現状については、下記参考文献、特に資源エネルギー庁のHPなど参考に解答するとよい。

資源エネルギー庁HPの新着情報^{[3][4]}や、埋設事業を進めている日本原燃ホームページ^[5]、原子力白書^[1]、原子力学会誌^[6]等で、最新の状況を把握しておくことが肝要となる。

【参考文献】

- [1] 原子力委員会HP 「令和5年度版原子力白書」PDF版・第6章 廃止措置及び放射性廃棄物への対応
<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2023/pdf/6.pdf>
- [2] 第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方、原子力安全委員会、平成22年8月9日
https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2010/siryo48/3_haifu.pdf
- [3] 放射性廃棄物の適切な処分の実現に向けて 資源エネルギー庁 2017年6月16日
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/final_disposal.html
- [4] 放射性廃棄物について 資源エネルギー庁 HP
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/
- [5] 埋設事業の概要 日本原燃HP
<https://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/11w/summary/>
- [6] 特集 低レベル放射性廃棄物の安全な処分に向けた学会標準の最新の改定状況、日本原子力学会誌、Vol.67、No.1、14(2025)
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jaesjb/67/1/_contents/-char/ja

【類似問題】

- ・R1年度（2019年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-1-4

Ⅱ-2 次の2設問(Ⅱ-2-1、Ⅱ-2-2)のうち1設問を選び解答せよ。(青色の答案用紙に解答設問番号を明記し、答案用紙2枚を用いてまとめよ。)

Ⅱ-2-1 あなたは、核燃料物質取扱施設から発生した核燃料物質に汚染された放射性廃棄物の受入れ、処理及び保管管理を行う部署の技術責任者である。あなたが保管管理する放射性廃棄物の保管廃棄施設の貯蔵率は90%を超え、このままのペースで放射性廃棄物が発生した場合、あと10年以内には保管廃棄施設は満杯になり、核燃料物質取扱施設の操業に支障を来す恐れがある。その一方で、新たな保管廃棄施設を新增設することは困難な状況にある。核燃料物質取扱施設の操業への影響を緩和するための措置を講じるに当たって、以下の内容について記述せよ。

- (1) 核燃料物質取扱施設への影響緩和策を講じるに当たり、調査、検討すべき事項とその内容について説明せよ。
- (2) 核燃料物質取扱施設への影響緩和策を講じるうえで手順を列挙して、それぞれの項目ごとに留意すべき点、工夫を要する点を述べよ。
- (3) 核燃料物質取扱施設への影響緩和策を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

【解答のポイント】

- (1) 核燃料物質取扱施設への影響緩和策を講じるに当たり、調査、検討すべき事項とその内容

設問において、現在の貯蔵率や今後の満杯になるまでに見込みが記載されているが、あらためて調査・検討すべき項目を整理すると、以下の3点が考えられる。

1) 現状評価

現在の貯蔵施設の容量と使用率の詳細に評価および将来的な廃棄物発生量の予測が必要である。これらの数字は将来的に必要な新しい保管廃棄施設建設のためにも重要となる。また、廃棄物の種類、放射能レベル、物理的・化学的特性の把握も必要である。

2) 代替案の検討

ドラム缶の詰め替え、可燃物の焼却での減容などによる既存貯蔵施設の有効活用や発生施設内保管など保管場所追加を検討する。

3) 法規制、安全基準の確認

設問において、「核燃料物質取扱施設から発生した核燃料物質に汚染された放射性廃棄物」と記載されているので、加工施設なのか、再処理施設なのかを考慮して、参考文献に示すような関係する法律や規制・基準を念頭に置く必要がある。

これらを念頭において、解答したい。

- (2) 核燃料物質取扱施設への影響緩和策を講じるうえで手順を列挙して、それぞれの項目ごとに留意すべき点、工夫を要する点

1) 影響緩和策の選定

保管廃棄施設を新增設が困難な状況では、現在の施設での貯蔵量を増やす必要があり、例えば、圧縮減容が可能であれば上述の「ドラム缶の詰め替え」が候補となりうる。その他の代替案についても比較検討して最も効率的な手法を選定する。この場合、いくつかの手法を同時に実施した方がよい場合には、一つの手法に限る必要はない。

2) 安全対策の検討・実施

圧縮減容してドラム缶の詰め替えを行った場合、廃棄保管中のドラム缶を開封する必要があるため、内容物の確認やドラム缶の劣化状況の確認などを合わせて行っておくことよい。必要な場合はドラム缶の交換の計画もたておく。作業員の被ばく低減や汚染の防止、費用発生抑制も併せて念頭に置きながらの作業計画を立てる必要があるであろう。また、重量が大きくなるため耐震上は重量増の影響を評価する必要がある。また、充填密度が大きくなるため線量上昇に応じて遮蔽の検討、臨界の可能性、発熱量を考慮した除熱の要否等を検討して、必要に応じて対策を実施する必要がある。

3) 許認可対応の検討・実施

設計上の保管能力、耐震設計への変更、遮蔽材などの設置や臨界や除熱対策の追加など、既存の許認可とは異なることとなる場合、その増強に係る許認可が必要となる。これらの許認可の変更が必要であるかの検討、必要に応じて許認可申請を実施する必要がある。

4) 中長期運用計画の策定

影響緩和策を講じた場合の放射性廃棄物の保管廃棄施設の貯蔵率、保管廃棄施設は満杯になるまでの年数を再評価して、中長期的な運用計画を策定する。必要な設備の計画や今後必要となる廃棄物の処理処分の方法について協議・検討を進める。

- (3) 核燃料物質取扱施設への影響緩和策を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策

影響緩和策には、既存の放射性廃棄物の保管廃棄施設を有効活用して最大限利用年数を確保するためには、貯蔵量を増やすこととともに廃棄物発生量を減らすことも合わせて実施していくことが効率的である。そこで、廃棄物発生量を減らすために、自部門だけでなく、実際に廃棄物発生部門との調整が不可欠である。現在の状況を共有するとともに、今後の廃棄物発生量の見通しの確認や低減方法の検討は協力して進める必要がある。そのため、単発的な打ち合わせではなく、定期的な打ち合わせの機会を設けて記録を残していくことが望まれる。各部門の役割と責任を明確にし、協力体制を構築するが重要となる。

また、自社だけでなく、法規制を遵守するため、規制当局との連携を強化し、情報共有を進めることも必要である。さらに、当該施設のみでは対応が難しい場合には、共用化や保管の依頼、処分依頼などの選択枝についての協議も進めておくことが必要となる。

これらの手順と調整方策を通じて、核燃料物質取扱施設の操業への影響を最小限に抑え、持続可能な廃棄物管理を実現することが期待される。

【参考文献】

- [1] 使用済燃料の再処理の事業に関する規則
- [2] 再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則
- [3] 核燃料物質の加工の事業に関する規則
- [4] 加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則

【類似問題】

- ・ R1 年度（2019 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-2-2
- ・ R4 年度（2022 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅲ-1
- ・ R5 年度（2023 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-2-2

- II-2-2 原子力発電所の運転に伴い増大する使用済燃料に対処するため、新たに金属キャスクを用いた中間貯蔵施設の建設を行うこととなった。あなたが、**使用済燃料貯蔵施設の設計・建設・運用を行う部署の技術責任者**としてこの業務を進めるに当たり、以下の内容について記述せよ。なお、金属キャスクは、原子力発電所において使用済燃料を収納したのち、核燃料輸送物として使用済燃料貯蔵施設に事業所外運搬(海上・陸上)され、そのまま貯蔵施設として使用する前提とする。
- (1) 業務を進めるに当たり、調査、検討すべき事項とその内容について説明せよ。
 - (2) 業務を進める手順を列挙して、それぞれの項目ごとに留意すべき点、工夫を要する点を述べよ。
 - (3) 業務を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

【解答のポイント】

2024年11月6日に「リサイクル燃料備蓄センター」の事業開始されており、最新の動向を反映した出題となっている。原子力・放射線分野での最新動向の情報を収集して、継続研さんすることが求められている。以下、本件についての内容を解説する。解答にあたっては、本件を念頭において、題意に沿って解答すると良い。

日本の核燃料サイクルでは、従来原子力発電所にて使用した使用済核燃料を燃料プールにて保管し、その後青森県の六ヶ所再処理工場にて使用済核燃料を再処理して再使用する核燃料（プルトニウムを含む）と放射性廃棄物に分離することとなっていた。

しかしながら、六ヶ所再処理工場の様々なトラブルの発生による就工時期の延期が繰り返されて使用済燃料の受入れ時期が見通せなくなったことから、原子力発電所の運転に伴い毎年増加する使用済燃料を保管する燃料プールがいずれ満杯となり発電所の運転に支障をきたす事態となる事が予想された。

そのため、一部の事業者では敷地内に金属キャスクによる使用済燃料の一時保管を実施することとなったが、2000年に実施された原子炉等規制法の一部改正施行により使用済燃料の原子力発電所敷地外の貯蔵が可能となったことから、使用済核燃料の中間貯蔵施設の新規設置が検討されることとなった。

そのうち、東京電力（株）（当時）と日本原子力発電（株）の2社の共同出資によりむつ市に設置した使用済核燃料の中間貯蔵施設がむつ市の中間貯蔵施設（リサイクル燃料備蓄センター）である。

(1) 業務を進めるに当たり、調査、検討すべき事項とその内容

原子力発電所の運転に伴い毎年増加する使用済燃料を保管する燃料プールがいずれ満杯となり発電所の運転に支障をきたす事態となる事が予想されており、これらの使用済燃料の敷地内貯蔵量、貯蔵可能量や想定発生量などを調査することが必要となる。再稼働の時期や六ヶ所再処理工場の稼働時期に応じて、中間貯蔵施設の容量を検討することが必要となる。現状、2社の原子力発電所から発生する使用済燃料を受け入れることとなっているが、今後、どの原子力発電所の使用済燃料を受け入れるのか、またどこに立地させるのかなども検討することが必要となる。

2000年に実施された原子炉等規制法の一部改正施行により使用済燃料の原子力発電所敷地外の貯蔵が可能となったことから、使用済核燃料の中間貯蔵施設の新規設置が可能となったため、これらについての法令についての調査、新規設置に関する許認可対応などの方法などについて調査、検討するべきとなる。また、中間貯蔵施設に必要な技術要件として、輸送容器など運搬に関すること、貯蔵量など貯蔵に関すること、発熱量など安全に関することなど検討することが必要となる。

中間貯蔵施設では、輸送と貯蔵を兼用した金属キャスクを貯蔵するための施設で、使用済燃料に含まれる核分裂生成物の崩壊熱の除熱、放射線の遮蔽、封じ込め及び核燃料の臨界防止については金属キャスク単体で担保し、貯蔵施設のうち金属キャスクを貯蔵する貯蔵建屋は、金属キャスク内で保管されている燃料集合体の崩壊熱を除熱することと、建屋のコンクリート壁による放射線の遮蔽を目的として設計されている。ここで、貯蔵建屋の除熱は空気の流れを利用した自然換気であり電力は不要であることが特徴となっている。

(2) 業務を進める手順を列挙して、それぞれの項目ごとに留意すべき点、工夫を要する点

1) 使用済燃料貯蔵施設の仕様の決定

設問(1)で調査、検討した受け入れ対象となる発電所や受け入れる使用済燃料の発生量、払出の想定期間などから、使用済燃料貯蔵施設の受け入れる最終的な貯蔵量、貯蔵期間などを決定する。最終的な貯蔵量などは、払出の計画などが不確定となることを想定して裕度をもって設計すること、施設の早期使用や中期的な計画の変更も考慮して、段階的に施設を建設することも有効であることを留意して計画を立てることも有効である。また、それらとともに立地についても決定する必要がある。原子力発電所敷地外への新規設置となるため、設置場所の地盤の安定性や周辺住民などのステークホルダーとの調整が重要となる。

2) 輸送容器、貯蔵容器としての金属キャスクの設計

設問に示されているように、金属キャスクは、原子力発電所において使用済燃料を収納したのち、核燃料輸送物として使用済燃料貯蔵施設に事業所外運搬(海上・陸上)され、そのまま貯蔵施設として使用する前提とするため、輸送容器は、運搬に関する性能、貯蔵に

関する性能が求められる。閉じ込め機能、遮蔽機能、臨界防止機能、除熱機能の4つの安全機能を有する構造とすることに留意すべきであり、ヘリウムガスを充てんして腐食を抑制するなどの工夫をすることも考えられる。

3) 使用済燃料貯蔵施設の安全設計

貯蔵量が多くなってくると、敷地境界の線量上昇が予想されるため、その線量低減のために燃料の配置設計、相互遮蔽効果などを考慮した設計が必要になる。放射線源と人とを結ぶ直線に沿って一方向から照射する放射線で経路上にある物質（遮蔽、建造物、大気など）の吸収による減弱のみが考慮される直接線と構造上の制約等により上方向（空方向）の遮へいを十分に厚くできない場合等大気中に放射された放射線のうち大気によって散乱された成分であるスカイシャイン線の両方を放慮した設計が求められることが必要である。

中間貯蔵する金属キャスクは、発熱量との関係で冷却機能を持たせる必要がある。放射性物質が金属キャスク内部に密封される構造となっている場合、暖められた金属キャスク周囲の空気を自然対流により排気口から外へ排出される自然対流方式の換気の方式の選択が可能となる。リサイクル燃料備蓄センターでは、電源が不要の自然対流による空冷方式が採用されている。

4) 許認可対応

使用済燃料の貯蔵の事業に関する審査を受審する必要がある。設置許可基準審査、工事計画審査、保安規定審査以て許可を受ける必要がある。審査終了後、使用前検査、保安検査、施設定期検査を実施することが必要であり、設計・建設・運用を行うにあたり、これらを留意することが必要である。また、金属キャスクなどについては、型式認証申請を事前に行っておくことにより、設置許可申請に係る審査時に、当該既認証部分については、審査を省略して、審査期間を短縮化することなどの工夫を取り入れることも検討する。

むつ市の中間貯蔵施設は2010年に着工し2013年には1棟目の貯蔵建屋が完成したが、2013年施行の原子力規制委員会による原子力発電所の新しい規制基準（通称「新規規制基準」）に適合する必要が発生したため、2014年よりその対応を実施して2024年11月6日に「リサイクル燃料備蓄センター」の事業開始の運びとなった。尚、最初の金属キャスク受入れ（柏崎刈羽原子力発電所より輸送されたもの）は2024年9月に実施しているが、これは事業開始前の最終の使用前事業者検査を実施するため使用したものであり、使用前事業者検査に使用する金属キャスクの受入れ前に原子力規制委員会から試験使用承認書を受領している。

(3) 業務を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策

技術責任者の立場として、上記の業務遂行には、多岐にわたる利害関係者との調整が必要である。設計においては、当該設計に係る専門的要素は何かを見極めた上で関係部署、外部委託先等との調整を行う必要がある。許認可に際しては、規制当局との円滑な調整のため、法的要求に対応するよう技術的根拠を積み上げておくこと、その他、予算、要員、新規建設に係る利害関係者となる地方自治体との調整など、関係各所との取り決めなどを考慮しつつ、タイムリーに調整を図る必要がある。主な調整事項、調整先としては以下のようなものが考えられる。

- ① 安全評価・解析・実験等の実施：安全評価部門
- ② 設計・建設スケジュール、設計・建設費用：委託先
- ③ 事業者検査、設計管理など：品質保証（管理）部門、検査部門
- ④ 予算、要員：社内経理部門や人事部門との調整
- ⑤ 認可取得：規制当局
- ⑥ 新規建設に関する同意：地方自治体

【参考文献】

- [1] リサイクル燃料備蓄センターの概要
<https://www.jilc.or.jp/files/libs/391/202009241041514838.pdf>
- [2] リサイクル燃料備蓄センターにおける使用済燃料の貯蔵について
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/bousai/files/siryol.pdf>
- [3] リサイクル燃料備蓄センターの事業開始について
https://www.jaif.or.jp/mes/message/president_column154_241108
- [4] 使用済燃料の貯蔵技術
<https://criepi.denken.or.jp/koho/topics/201211vol14.pdf>
- [5] 新規規制基準適合性に係る審査・検査の流れ
<https://www.nra.go.jp/activity/regulation/tekigousei/untten.html>

【類似問題】

- ・R2 年度（2020 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-1-2
- ・R3 年度（2021 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅲ-2
- ・R4 年度（2022 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-2-1
- ・R5 年度（2023 年度）核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分Ⅱ-2-2

5.3 「放射線防護及び利用」の問題と解答のポイント

Ⅱ 次の2問題(Ⅱ-1、Ⅱ-2)について解答せよ。(問題ごとに答案用紙を替えること。)

Ⅱ-1 次の4設問(Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-4)のうち1設問を選び解答せよ。(緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し、答案用紙1枚にまとめよ。)

Ⅱ-1-1 原子力発電所等の原子力施設の管理区域で働く作業者の被ばく線量管理に用いられている放射線業務従事者の中央登録管理制度について、その目的及び内容と課題について述べよ。

【解答のポイント】

目的：

原子力施設の管理区域で働く作業者（放射線業務従事者）の被ばく線量は、法律により各原子力事業者が管理することとなっている。ところが、原子力事業者と放射線業務従事者が増え、複数の原子力事業者の放射線業務従事者として渡り歩くことが増えたため、被ばく線量を一元的に把握、管理するため中央登録管理制度が発足した。

内容：

中央登録管理制度（原子力放射線業務従事者被ばく線量登録管理制度）は、（公財）放射線影響協会に設置された放射線従事者中央登録センター（中央登録センター）が中心的推進機関として担っており、原子力事業者及び元請事業者から送付される従事者の個人識別情報、被ばく前歴情報、さらに原子力事業者から送付される放射線業務従事者に係る線量データ等を電算機に登録し、その維持・管理を行い、登録されたデータの経歴照会に対して回答する等を行っている。

加えて、必要な記録を迅速に把握するため、放射線管理手帳が発行され、個人の被ばく線量管理上必要な事項が収録される。

課題：

中央登録管理制度は、原子力施設だけでなく、除染等業務、RI放射線業務でも運営されているが、いずれも電算機には制度参加事業者での被ばく線量しか登録されないため、従事者個人の全ての被ばく線量を把握できていない。

また、放射線管理手帳には電算機に登録されている被ばく線量だけでなく、一部の制度外線量、放射線防護教育や健康診断の実施状況等が記入されており、従事者としての要件証明や自己の放射線管理状況の把握ができるが、電算機に登録されていない情報のため手帳を紛失すると情報が失われるリスクがある。

【参考文献】

- [1] 放射線影響協会ホームページ 被ばく線量の登録管理
<https://www.rea.or.jp/chutou/chutouindex-new.htm>

II-1-2 国際放射線防護委員会(ICRP)では現在次期主勧告に向けた検討を進めているが、検討の課題となっている点を2つ以上示したうえで、そのうちの1つを選びその内容を述べよ。

【解答のポイント】

国際放射線防護委員会(ICRP)の主勧告は、現在2007年勧告が最新であるが、その後、環境の防護の統合、放射線防護の倫理的な基礎の明確化、組織反応(確定的影響)に対する防護の検討などが行われてきた。

また、ICRPは、2021年に「ICRP勧告を目的に適ったものとして維持するために」と題した論文を発表し、現行の放射線防護体系は十分に堅牢であるとしつつも、構成要素である「防護体系の目的と原則」「包括的事項(倫理的観点、コミュニケーション、教育と訓練)」「線量」「影響とリスク」について、これまでの段階的な更新や、新たな科学的知見等を踏まえた様々な検討事項を反映させ、一貫性のある次期主勧告の作成を進めている。

このうち「影響とリスク」には、「放射線誘発影響の分類(確率的影響・有害な組織反応)」「組織反応」「低線量・低線量率でのがん」「人の個別反応(個人の感受性)」「遺伝性影響」「異なる影響に関する放射線の重みづけ」「放射線デトリメント(被ばくに伴う損害)」「人以外の生物相と生態系における影響とリスク」が具体的な項目として示されている。

「放射線デトリメント(被ばくに伴う損害)」は、低レベル放射線の被ばくにより生じる健康影響(がんと遺伝的影響)の大きさを示すICRP独自の指標で、慢性的な被ばくを想定した集団において、性および年齢で平均化した生涯リスク推定値に基づき、線量・線量率効果係数、組織・臓器別の致死率、生活の質、がん罹患による寿命の損失を調整して計算され、現場の放射線管理に直結するものである。

ICRPはTG102を設置して放射線デトリメント計算方法のレビューを行い、その結果、放射線デトリメントの計算は2つの段階で構成されており、放射線による組織・臓器別のがん発生数を算出する第1段階と、組織・臓器別のがんの重みづけを評価する第2段階とし、得られた組織・臓器別の放射線デトリメントを合計することで全体の放射線デトリメントが計算されると報告されている。

現在は後継のTG122が活動を開始しており、がん影響に関する放射線デトリメント計算方法を評価し、改善点を検討する予定である。

【参考文献】

- [1] 一般財団法人 電力中央研究所ホームページ 電気新聞ゼミナール (299)
 - ・現在の放射線防護体系における課題とは?—主要論点の整理と遺伝性影響—
<https://criepi.denken.or.jp/press/journal/denkizemi/2023/231227.html>
- [2] 一般財団法人 電力中央研究所ホームページ 電気新聞ゼミナール (300)
 - ・現在の放射線防護体系における課題とは?—循環器への影響—
<https://criepi.denken.or.jp/press/journal/denkizemi/2024/240117.html>
- [3] 一般財団法人 電力中央研究所ホームページ 電気新聞ゼミナール (301)
 - ・現在の放射線防護体系における課題とは?—放射線誘発影響の分類—
<https://criepi.denken.or.jp/press/journal/denkizemi/2024/240131.html>
- [4] 一般財団法人 電力中央研究所ホームページ 電気新聞ゼミナール (302)
 - ・現在の放射線防護体系における課題とは?—被ばくカテゴリーとデトリメント—
<https://criepi.denken.or.jp/press/journal/denkizemi/2024/240214.html>
- [5] 一般財団法人 電力中央研究所ホームページ 電気新聞ゼミナール (303)
 - ・現在の放射線防護体系における課題とは?—放射線個人感受性と公衆の理解—
<https://criepi.denken.or.jp/press/journal/denkizemi/2024/240228.html>

II-1-3 放射線輸送計算に用いるモンテカルロ法の原理を簡潔に記すとともに、その長所及び使用するに際して注意すべき点を各々2つ以上述べよ。

【解答のポイント】

放射線輸送計算には決定論的手法と確率論的手法がある。決定論的手法は有限差分法であり、確率論的手法がモンテカルロ法である。この2つを対比しながら、論述するとよいであろう。

解答例)

放射線輸送計算には決定論的手法と確率論的手法がある。決定論的手法は有限差分法であり、確率論的手法がモンテカルロ法である。決定論的手法は、微分方程式を差分法で解く一方、モンテカルロ法は、発生させた乱数列を用いて、確率分布にしたがって、線源から粒子を放出し、吸収や散乱反応断面積と乱数により、粒子の飛跡を確率的に決定することにより、輸送計算を行うものである。

長所としては、決定論的手法では、空間やエネルギーを分割する離散化を行う必要があり、離散化に伴う誤差が発生するが、モンテカルロ法では、空間に関して離散化の必要がなく、対象とする体系の幾何形状を忠実に模擬することができる。また、エネルギーに関しても、連続エネルギーモンテカルロ法と呼ばれる手法では、確率分布に従い粒子のエネルギーも決定することで、エネルギーに関する離散化も不要となる。このため、連続エネルギーモンテカルロ法は、現在、最も精度の高い解を得ることができる輸送計算法である。

上記から長所としては、下記2点が適当と考えられる。

- ・幾何形状を忠実に扱えるため、空間的なモデル化をする必要がない。
- ・精度の高い解を得ることができる。

他にも、エネルギー縮約をする必要がない、MCNP や PHITS など世界中にユーザーが多く、信頼性も高い公開コードが多くある等も長所として挙げることができる。

使用に際して、注意すべき点として、上記のようにモンテカルロ法は乱数を用いるため、解に統計誤差を伴う。決定論的手法にはない短所といえる。また、粒子の飛跡を追跡する必要があるため、粒子が到達しないような遠方や厚い遮蔽を透過する場合などは、統計誤差が大きくなり、精度の良い解が得られない場合がある。また、発生粒子数が多くなれば、統計精度も良くすることができるが、これは計算時間の増大を意味する。少ない発生粒子で、統計精度を向上させる様々な分散低減法が研究・開発されている。

上記から、注意すべき点としては、下記2点が適当と考えられる。

- ・統計精度が、問題の要求精度を十分に満たしているかに注意する。
- ・計算時間の短縮のために、適当な分散低減法を選んでいくかに注意する。

他にも、幾何形状の入力ミスに注意するや、確率分布の元となる核データの選択等も、注意点として挙げることができる。

【参考文献】

- [1] 日本原子力学会 「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会 「放射線遮蔽ハンドブック - 基礎編 -」
- [2] 産業図書 兵藤知典「放射線遮蔽入門」
- [3] モンテカルロコード PHITS の HP
<https://phits.jaea.go.jp/index.j.html>

II-1-4 X線を用いた放射線透過試験について、中性子を用いた場合と比較して、その特徴及び留意点を適切な被試験体の例を挙げて説明せよ。

【解答のポイント】

放射線透過試験は、X線や中性子を用いて材料内部の欠陥や構造を非破壊で検査する方法である。以下に、X線と中性子を用いた放射線透過試験の特徴と留意点を比較し、適切な被試験体の例を挙げて説明する。

X線を用いた放射線透過試験[1-4]

特徴

- ・透過性：X線は物質の密度に依存して透過性が変わる。高密度の金属材料には透過しにくく、低密度の材料には透過しやすい。
- ・検出能力：金属材料の内部欠陥（例えば、溶接部のブローホールやスラッグ巻き込み）を検出するのに適している。
- ・画像解像度：高い解像度の画像を得ることができ、微細な欠陥の検出が可能である。

留意点

- ・安全性：X線は人体に有害なため、適切な防護措置が必要となる。
- ・材料の制約：高密度材料や厚い材料には透過しにくく、検査が困難な場合がある。

適切な被試験体の例

- ・金属溶接部：鋼やアルミニウムの溶接部の内部欠陥検出に適している。
- ・電子部品：プリント基板の内部構造や実装不良の検査に使用される。

中性子を用いた放射線透過試験[1-3, 5, 6]

特徴

- ・透過性：中性子は物質の原子番号に依存せず、特に水素を含む材料に透過しにくい。金属材料には比較的透過しやすい。
- ・検出能力：金属中の水素含有材料（例えば、火薬や樹脂）の検出に適している。
- ・相補性：X線では見えない部分を補完的に検出できるため、両者を組み合わせることで詳細な内部情報を得ることができる。

留意点

- ・装置の複雑さ：中性子発生装置は複雑で高価なため、導入や管理が難しい。
- ・安全性：中性子も人体に有害であり、適切な防護措置が必要となる。

適切な被試験体の例

- ・宇宙航空部品：航空機用精密鋳造品の中子残りの検査に使用される。
- ・配管の検査：金属配管内の水や火薬の検出に適している。

X線と中性子を用いた放射線透過試験は、それぞれ異なる特性を持ち、適用範囲や検出能力が異なる。X線は金属材料の内部欠陥検出に優れ、中性子は金属中の水素含有材料の検出に適している。両者を組み合わせることで、より詳細な検査が可能となる。試料が放射化している場合、又は放射性物質を内包している場合は、X線フィルムが試料から出てくる放射線により感光されるので、中性子やγ線に不感であるトラックエッチ検出器を、中性子を吸収し陽子やα粒子などの重荷電粒子を放出するコンバータと一緒に用いるトラックエッチ法を用いることで測定できるため、これらを用いた工夫なども取り入れると良い[7]。

【参考文献】

- [1] 原子力百科事典 ATOMICA「工業用ラジオグラフィ（放射線透過試験）（08-04-02-03）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_08-04-02-03.html
- [2] 原子力百科事典 ATOMICA「非破壊検査用の線源（08-01-03-11）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_08-01-03-11.html
- [3] 原子力百科事典 ATOMICA「犯罪捜査における放射線利用（08-04-01-18）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_08-04-01-18.html
- [4] 放射線透過試験（RT）/放射線透過試験の原理、ダイヤ電子応用（株）
https://www.dia-elec.com/technique_new/xray_test/Principle_RT.html
- [5] 中性子ラジオグラフィの性質、原理、X線との比較、住重アテックス株式会社
<https://www.shi-atex.com/service/radiation/neutronradiography02.php>
- [6] 中性子を用いた放射線透過試験（中性子ラジオグラフィ）、住重アテックス株式会社
<https://www.shi-atex.com/service/radiation/neutronradiography01.php>

[7] 原子力百科事典 ATOMICA「中性子ラジオグラフィの原理と応用 (08-04-01-01)」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_08-04-01-01.html

【類似問題】

- R1 (2019) 放射線防護及び利用Ⅱ-1-2

II-2 次の2設問(II-2-1、 II-2-2)のうち1設問を選び解答せよ。(青色の答案用紙に解答設問番号を明記し、 答案用紙2枚を用いてまとめよ)

II-2-1 核燃料物質を非密封で取り扱うことのできる施設の管理区域であって人が常時立ち入る場所において、機器校正の目的で密封線源を使用していたところ、密封が破れて汚染を生じさせてしまった。このような場合に放射線管理の責任者として、安全確保のためにとるべき措置を記述せよ。なお、当該密封線源は放射性同位元素等規制法上の許可・届出を要しない数量のアルファ線を放出する放射性同位元素であり、薄膜で密封されていたが、薄膜を破損し汚染が生じたものとする。

- (1) 調査検討すべき事項とその内容について説明せよ。
- (2) 評価を進める手順とその際に留意すべき点を説明せよ。
- (3) 評価を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

【解答のポイント】

核燃料物質を取り扱う施設の管理区域内であるために、微量であっても放射性物質が漏洩したとすると、通常、許可を得ている核燃料物質が漏洩した可能性を考慮に入れた対応が求められる。このような場合、施設由来の汚染との区別が重要となる。発見時の想定として、目の前で破損したのか、破損しているのを後で発見したのかによっても調査範囲が大きく異なり、施設由来の汚染とのコンタミが生じてしまうとこれらの区別が難しくなる。このため、化学形態、物理形態が違うのであれば、その形態から判別できるが、そうでないときには、汚染経路の特定とか、出入りの経緯など、状況証拠を積み上げる必要となり、煩雑になるものの、早急な対応が求められる。

このため、この施設内で規制対象外の密封線源が破損した場合、密封線源が破損して汚染が生じた場合、放射線管理の責任者としてとるべき措置を、順を追って確認することで、必要な調査や評価について考えていく。

1. 緊急対応:

汚染発生時の緊急対応として、汚染区域を直ちに封鎖し、無関係な人の立ち入りを禁止する。これにより、汚染の拡大を防ぐことができる。また、汚染区域にいる人々に対して速やかに避難を指示する。

2. 汚染評価:

緊急対応ののち、放射線測定器を使用して、汚染の範囲とレベルを確認する。また、現場で作業していた人からの情報収集も重要である。今回の設問では、汚染物質が明らかだが、そうでない場合は、線源の種類と放射性同位元素を特定し、適切な対応を計画する。

3. 除染作業:

汚染評価が終わったら、除染計画を策定する。汚染の程度に応じた除染計画を策定し、適切な防護具を着用した上で除染作業を行う。汚染物質を安全に除去したら、廃棄物は適切に処理する必要がある。

4. 被ばく管理:

上記と並行して、汚染区域にいた人々の被ばく線量を測定し、必要に応じて医療機関での検査を手配する。今回はアルファ線を放出する放射性同位元素なので、外部被ばくのリスクは低いかもしれないが、内部被ばくには十分に注意を払う必要がある。被ばくした可能性のある人がいた場合は、健康状態を継続的に監視することも必要である。当該密封線源の特徴を調査して、それに応じた被ばく低減対策を講ずることも有効である。

5. 報告と記録:

事故の詳細については、可及的速やかに、関係当局に報告し、必要な手続きをとることが必要である。規制当局との約束事、通報連絡のルールなどに則り、適切に対応する。また、事故の経緯、対応措置、被ばく線量などの記録を詳細に保存する。

6. 再発防止策:

最後に、事故の原因を徹底的に調査し、再発防止策を講ずる。何が原因となってどのようなことが起こったかは、当事者からの聞き取りと実際の測定評価結果を合わせて確認する必要がある。また、必要に応じて、作業手順の見直しを行い、作業員に対して再発防止のための教育訓練を実施する。

なお、上述のように、今回の汚染の原因が「放射性同位元素等規制法上の許可・届出を要しない数量のアルファ線を放出する放射性同位元素」であるということで、放射線の影響範囲という観点からは、アルファ線は紙や皮膚で遮蔽されるため、外部被ばくのリスクは低いといえる。しかし、内部被ばく（吸入や摂取）のリスクがあるため、汚染が発生した場合は特に注意が必要である。

また、除染と廃棄物処理の観点からは、許可・届出が不要な数量であっても、汚染が発生した場合は適切な除染と廃棄物処理が求められるから、放射性廃棄物としての取り扱いが必要となる。

当該密封線源は放射性同位元素等規制法上の許可・届出を要しない数量のアルファ線を放出する放射性同位元素（下限数量以下）であるものの、安全取扱マニュアルから管理区域内に返却した RI は管理区域内の規則に従って使用することになり、管理区域内での RI 取扱基準に則り対応することが必要となるため、許認可申請上どのように記載されているも確認すると良い。

加えて、取扱施設で使用されている核燃料物質・放射性物質と薄膜を破損し汚染が生じたアルファ線を放出する放射性同位元素の両

者が同一の核種である場合、本来取り扱うことのできる核燃料物質の汚染との識別ができるかという観点についても留意して対応を進めることが重要である。

線源が放射性同位体元素等規制法上の許可・届出を要しない量であっても、事故が発生した事実に対して、状況を説明する説明責任が生じる。この際、ウェブサイトへの公開、プレスリリース、住民・関係者への説明会などによる情報公開することが考えられる。この際に、アルファ線の透過力が極めて弱く、外部被ばくのリスクが低いことなど、丁寧に分かりやすく説明することに留意する。また、同様な事故を防ぐための再発防止策も伝えていくことも重要となってくる。

【参考文献】

- [1] 身体汚染が発生した場合の措置に関するガイドライン
<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/information/2018/011605.pdf>
- [2] 放射性物質に係る関連法令（抜粋）
https://www.env.go.jp/air/rmcm/conf_cm/01/ref02.pdf
- [3] 非密封 RI の使用許可を有する施設における下限数量以下での非密封 RI の使用に関する 安全取扱マニュアル
https://www.jrias.or.jp/report/pdf/A_manual201903.pdf
- [4] 大洗研究所の非管理区域における密封線源の破損について
<https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2023/032202/>

【類似問題】

- ・ R4 年度（2022 年度）放射線防護及び利用Ⅱ-2-1
- ・ R5 年度（2023 年度）放射線防護及び利用Ⅱ-1-1

- II-2-2 悪性腫瘍に対する治療として外科手術や化学療法とともに放射線治療が多く行われ、種々の放射線治療装置が多くの病院に導入されつつある。その中でもX線・電子線のエネルギーが他の装置に比べて豊富であり、比較的小型で直線加速装置（高エネルギーリニアック）を内蔵している放射線治療装置を設置するが多い。病院において新たに上記のような比較的高エネルギーの最新型放射線治療装置を導入するに当たり、あなたが施設の遮蔽設計も含めた計画立案の担当者に指名されたとして以下のことについて述べよ。
- (1) 計画立案に着手するに当たって施設設計上、調査検討すべき事項について述べよ。
 - (2) 留意すべき点、工夫を要する点を含めて業務を進める手順について述べよ。
 - (3) 効率的、効果的な施設設計及び装置導入を進めるに当たり、関係者との調整方法等、留意すべき事項について述べよ。

【解答のポイント】

医療分野における放射線の管理については、4つの法令が関係している。通常の放射性同位元素等の規制に関する法律（RI 規制法）以外に医療法、薬機法、労働安全衛生法が関係しており、特に医療法の規制を受けている点を忘れてはいけない。

医療用直線加速装置（高エネルギーリニアック）を設置した病院内施設の部屋の遮蔽壁は、放射線管理区域境界になっており、その外側において一般公衆に対する放射線の影響を定められた被ばく線量以下にしなければならない。また、治療する患者に対し必要以上の被ばくを防ぐことも重要な要素となる。

なお、放射線管理とは別に、直線加速装置はクライストロン等の高周波発振装置を有するため、電波法も関係している。

遮蔽評価に関しては、以前は、直線加速装置の使用室の設計の際には、昭和43年医療用加速器使用室遮蔽計算指針委員会により作成された「医療用高エネルギー加速器使用室に対する遮蔽計算指針」に基づいて遮蔽計算が行われていたが、この指針に示された方法による計算値以上の放射線量が、防護壁から漏れていることが指摘され、特に光中性子が問題になって、これに関する論文が多数発表された。

厚生省（当時厚生省）では、昭和59年に、電子加速器使用室内外における漏れ中性子、散乱中性子、散乱X線等の線量と線質について文献的並びに実験的検討を加え、医療用高エネルギー加速器使用室に対する遮蔽計算指針を作成した。

現在は、前述の指針を継承するガイドラインとして、日本国内の医療用電子リニアックの遮蔽計算に関しては、放射線規制室（現：規制庁）が原子力安全技術センターに委託して作成した、遮蔽計算実務マニュアル（最新版は、放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル2015）を基に作成することが求められる。本マニュアルは、放射線規制室を含む関係者が過去知見を調査・レビューして発行されたものであり、十分な信頼性を持つとされている。マニュアルに記載されていない手法やデータを用いる場合は、信頼できるエビデンスに拠ることが要求される。

さらに留意する点としては、ICRP2007年勧告を国内法令に取り入れるため、遮蔽安全評価法と仕様データを見直す必要があり、関係部門にて技術ガイドラインを作成し、改訂評価を現在も行っている最中で、関係部門から発信させる情報を適宜取り入れていく対応が要求される。

なお、海外では、米国放射線防護審議会（National Council on Radiation Protection and Measurements: NCRP）が医療用光子発生装置施設の遮蔽設計のため NCRP Report 151[5.3-7]を発行しており、参考にできる。

(1) 計画立案に着手するに当たって施設設計上、調査検討すべき事項

導入予定の放射線治療装置の仕様、遮蔽材の選定、患者の動線や待機スペースの設計が必要であり、放射線業務従事者等の放射線障害を防止するだけでなく、放射線施設外への放射線の漏洩、あるいは、事業所内外の環境汚染、一般公衆への放射線障害の防止などの公共の安全を確保する必要がある。それに伴い放射線発生装置の遮蔽計算、使用時間（線量）の設定が大きな意味を持ち、放射線を安全に利用するために必要な管理基準の作成が重要となる。

具体的には、放射線遮蔽のため、導入する放射線治療装置によって、一般の病院におおよそ1～3m厚さのコンクリート壁で覆われた放射線治療室を設ける必要がある上、利用線方向には鉄板などの遮蔽材を挿入する必要がある。遮蔽上最も重要な利用線方向の遮蔽壁に関して精度の高い遮蔽計算が要求される。現在用いられている遮蔽計算方法としては、遮蔽マニュアルの計算式とモンテカルロ計算コード MCNP5 が用いられる。一般的には MCNP5 計算の精度の方が高く、医療用リニアック室の遮蔽評価では、1.5～3倍の安全側の評価となる。

さらに、医療用直線加速装置の遮蔽で注意が必要なのは、γ線、X線の遮蔽に加え、中性子の遮蔽を評価する必要があることである。特に10MeV以上の加速装置では、放射化への注意が必要となる。

一方、医療目的に使用する放射線治療装置にはもう一つの留意点がある。それは患者の防護である。放射線治療では、患部に如何に適切に照射するかに加え、患部以外の被ばくを極力抑える必要がある。そのためには導入する装置の放射線照射の正確さと品質保証を担保する必要があり、計画立案時に導入する装置仕様を詳細に調査する必要がある。

(2) 留意すべき点、工夫を要する点を含めて業務を進める手順

設問(1)で調査検討を基に、一点目としては導入する直線加速装置の仕様を決める。その際、最大エネルギーに留意する必要がある。二点目としては装置を設置する治療室をどこに設けるかを検討する。治療室の設置については遮蔽設計への配慮が必要である。

その後、装置の仕様と設置場所の用途が立ったなら、施設計画の段階で、RI 規制法の対象として予定する放射線取扱主任者を選任（第1種放射線取扱主任者免状を有する者の内から選ぶ）して、治療施設及び放射線管理計画に積極的に参画させるとともに、原子力規制委員会のヒアリングを受ける。また、医療法の規制として病院または診療所の管理者を指定する。なお、医療法は厚生労働省の管轄となる。

直線加速装置のカテゴリとしては、以下の3つのエネルギー区分に分けられる。カテゴリⅠはX線の最大エネルギーが6MeV以下、カテゴリⅡは、6MeVを超えて10MeV以下、カテゴリⅢは10MeVを超えるものとなり、カテゴリに応じて施設内の放射化物、廃棄物、運搬、および廃棄処理の管理基準が異なってくる。特に10MeVを超える加速器の場合は、注意が必要である。

設置場所に関しては、放射線防護の観点から、施設内医療スタッフ、一般患者への被ばくを防ぐため、地下に設けられるケースが多く、遮蔽設計に加え、建築基準等にも留意する必要がある上、装置の搬入、メンテナンスにも配慮しなければならない。また、電気設備関係では、消費電力量及び電源方式、装置発熱量、空調設備整備等の検討が必要で、必要に応じ冷却水の給排水設備についての検討も必要となる。

次に、直線加速装置設置を内蔵した放射線治療装置設置に向け、前準備と法手続きを進める。前準備として前述のビーム遮蔽に加え、安全設備の整備が必要である。安全設備としては自動表示装置とインターロックの設置が義務付けられている。法手続きは、放射線発生装置の使用にあたり、RI 規制法により原子力規制委員会の使用許可を取得する必要がある。申請書には、遮蔽、安全設備に加え、必要に応じ、排気設備、排水設備の記載も必要となる。さらに医療用装置のため、医療法に関する届出も必要となる。放射線治療装置設置の際には都道府県知事等への届出が義務付けられている。

使用許可を申請した放射線治療装置は、装置搬入および組立後に装置の調整が行われる。その後、メーカー主体によるアクセプタンス試験（受入れ試験）が実施され、装置が引き渡される。施設に納入された放射線治療装置は、特有の放射線出力の状態から測定・数値などの登録・確認を行うため、ユーザーによるコミッショニング試験が実施される。このコミッショニング試験の実施を怠った状態で放射線治療を開始することは、放射線照射の正確さが失われ、医療過誤発生につながるため十分な計画のもと臨床を開始する必要がある。

また、常に法令の改訂について把握して、反映していく必要がある。工業用等の特定エックス線装置の自動警報装置の設置義務の拡大についても配慮する必要がある。放射線装置室に設置される工業用等の特定エックス線装置については、自動警報装置及び安全装置を設置しなければならないこととなっている。さらに、放射線装置室に設置される医療用の特定エックス線装置のうち医師等の管理下にあるものについては、原則として操作室を別室に設けなければならない。これらの改訂について、パブリックコメントの募集も行われており、これらの動向についても留意しておく必要がある。

なお、装置の運転は使用許可を得られるまで実施してはならない。

(3) 効率的、効果的な施設設計及び装置導入を進めるに当たり、関係者との調整方法等、留意すべき事項

関係する医療機関内部署、関係メーカーならびに関係行政機関等も多岐に渡り、なおかつ費用も多額になるため、ひとつのプロジェクトとして、周知な準備計画を立てておく必要がある。

まずは、放射線治療装置導入にあたりタスクチームを編成することが望ましい。タスクチームにてキックオフ会議を開催し、本装置導入の目的と課題を共有する。タスクチームのメンバーには、以下の人材を招集し、最終的な導入期日の目標を設定し、実現に向けたスケジュールを協議する。

タスクメンバー：治療装置の管理責任者、施設の放射線取扱主任者、導入する建屋の管理者、建屋の電気主任技術者、安全衛生管理者、装置を使用する医療スタッフ等

次に、放射線治療装置の仕様、導入コスト、ランニングコスト、保守性等を考慮し、機種を選定する。

機種選定と並行し、設置場所を選定し、装置導入の工法を検討する。機種と導入工法が明確になった際には、装置導入までに必要な期間を確認し、工程表を作成する。その際には、法手続き等の期間も考慮する。

工程管理上での留意点としては、許認可申請を治療装置の発注等と同時進行で進めることが合理的であるが、装置配置と遮蔽の関係、インターロック等の安全対策が不十分であった場合は、設置許可所得時に構造変更を伴う補正申請を求められる場合もあることから、原子力規制委員会等の関係機関とも行政相談等の手段により密にコミュニケーションをとり、法的関係で漏れが出ないよう努める等の対応で出戻りを防止する。プロジェクト進行中は、定期的に関係者（装置メーカー、許認可手続きの実施担当者等）で情報共有を行い工程に遅れが出ないよう管理することが重要となる。

【参考文献】

[1] 医療用リニアック室の遮蔽壁の設計と評価

https://www.shimztechnonews.com/tw/sit/report/vol192/pdf/92_006.pdf

[2] 令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（ICRP2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究）事業成果報告書

<https://www.nra.go.jp/data/000403619.pdf>

[3] 放射線治療における患者の防護（ICRP Publication44）

https://www.icrp.org/docs/P44_Japanese.pdf

- [4] 医療分野における放射線の管理に関する現状
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/0000162632.pdf>
- [5] 「労働安全衛生規則及び電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令案」に関する御意見の募集について | e-Gov パブリック・コメント
<https://public-comment.e-gov.go.jp/pcm/detail?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=495240219&Mode=0>
- [6] 医労働安全衛生規則及び電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令案について
<https://public-comment.e-gov.go.jp/pcm/download?seqNo=0000294019>
- [7] エックス線被ばく事故検討WG 経過報告書
https://www.jhps.or.jp/upimg/files/progress_report.pdf

【類似問題】

- R3 年度（2021 年度）放射線防護及び利用Ⅲ-1
- R4 年度（2022 年度）放射線防護及び利用Ⅱ-2-2
- R4 年度（2022 年度）放射線防護及び利用Ⅲ-1
- R5 年度（2023 年度）放射線防護及び利用Ⅱ-2-1

6. 選択科目Ⅲの解説

6.1 「原子炉システム・施設」の問題と解答のポイント

Ⅲ 次の2問題(Ⅲ-1、Ⅲ-2)のうち1問題を選び解答せよ。(赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し、答案用紙3枚を用いてまとめよ。)

Ⅲ-1 原子力施設の安全対策は東日本大震災の経験を踏まえて大幅に強化されてきたが、令和6年能登半島地震は外的事象に関する経験からさらに学び続ける必要性を示している。人と環境を放射線のリスクから効果的に保護するためには、原子力発電所内の活動に加えて、原子力災害対策を含む発電所外の活動や、発電所内外の連携にも配慮することが重要である。このような状況を考慮して、以下の問いに答えよ。

(1) 能登半島地震の経験を踏まえた安全性向上のための教訓を、取り組むべき主体や対策の実施場所の違いを考慮しながら3つ抽出し、その違いを明記したうえで、専門技術用語を交えて具体的に示せ。

(2) 自身の技術的専門性や職務経験を踏まえて、前問(1)で抽出された教訓の中から1つを選び、その教訓を反映する複数の方法を多様な視点で検討し、専門技術用語を交えて具体的に示せ。

(3) 前問(2)で示した具体策を実行したとしても残るリスクを、安全面に限らず幅広く検討し、その対策を示せ。

【解答のポイント】

令和6年能登半島地震の概要とその影響に基づき、以下の観点から解答を作成する。[1-5]

- (1) 教訓の抽出
 - 主体と実施場所の違いを明確にする
 - 主体：教訓を実行する責任を持つ組織や個人を特定する。例えば、原子力発電所の設計・建設を担当するエンジニアリング会社、電力会社、地方自治体などである。
 - 実施場所：教訓が実施される具体的な場所を明示する。例えば、原子力発電所内、発電所外、周辺地域などである。
 - 教訓を具体的に示す際に専門技術用語を使用することにより、解答が技術的に正確であることを示す。
- (2) 教訓の具体的な反映方法
 - 自分の技術的専門性や職務経験を活かして、教訓を具体的な対策として反映する方法を示すことにより、解答が実践的であることを示す。
 - 教訓を反映するための複数の方法を示し、解答が包括的であることを示す。
- (3) 残るリスクとその対策
 - 教訓を反映した具体策を実行したとしても残るリスクを、安全面に限らず幅広い視点で検討し、解答が多角的であることを示す。
 - 残るリスクに対する具体的な対策を示し、解答が実践的であることを示す。

原子力エネルギー協議会(ATENA)にて、能登半島地震により志賀原子力発電所の一部の設備が影響を受けたことを踏まえ、地震・津波、発電所設備の各分野において専門家からなる体制を構築し、安全性向上に向けた取り組みが行われている。2024年7月に公表された対応方針において、地震・津波については、既往知見に基づき概ね評価できるものと考えており、国等の研究機関、有識者による研究など引き続き最新情報を入手し、その影響についても自主的かつ継続して検討を進めることとされている。発電所設備については、志賀原子力発電所で発生した設備の故障・不具合を踏まえ、さらなる安全性向上に資するための対策について検討を行い、変圧器、非常用 D/G、使用済燃料プール(SFP)および制御棒駆動機構(CRD)ハウジング支持金具について、関連する操作手順の整備等の対応方針が取りまとめている。それらについて、以下に示す。また、これらについては各原子力事業者に横展開されており、安全対策の実施計画及び実施状況について報告されている。[4-5]

令和6年能登半島地震に係る志賀原子力発電所における設備の故障、不具合事例の検証と対応方針[5]

設備	検討結果	対応方針
変圧器	➤ 志賀1号機起動変圧器及び志賀2号機主変圧器について、付属部の配管が損傷し、絶縁油が漏えいした。また、いずれの変圧器も放圧板が動作した。 ➤ 変圧器は耐震Cクラス機器の設計に用いられるものを上回る加速度を考慮し設計していたが、志賀では実際の応答加速度がそれを超えたことにより、配管損傷に至ったものであり、設計の考え方に問題	➤ 変圧器の耐震強化は必須としない。 ➤ 機能喪失の長期化回避の観点から、絶縁油漏えい時の変圧器停止手順の整備。 ➤ 放圧板動作時の早期復旧対策（予備品確保等）を実施する。

	はなかった。また、外部電源の全喪失は回避できた（5回線中3回線健全）ことから、外部電源系統の多重性が地震に対しても有効であることを改めて認識。 ➤ 志賀2号機主変圧器は、配管損傷による漏えいによって、絶縁油の油面が低下し、絶縁破壊が発生し内部損傷に至った。内部損傷が発生した場合、部品調達、補修に長期間を要する。外部電源の信頼性が低下した状態が長期化することは望ましくないため、それを防止する取組みが重要。	
非常用ディーゼル発電機 (D/G)	➤ D/G 試運転のため、並列操作を実施していたところ、自動停止した。今回の事象は、試運転中であつたことから原子力安全への影響はなかったが、D/G 不待機期間ならびに設備ストレスの観点から、意図しない自動停止を低減することが重要。 ➤ D/G 並列時自動停止の主要因となる運転操作に焦点をあて、志賀の事象のみならず、他社の自動停止事象を調査し、より確実な運転操作に資する取組みを展開する。	➤ D/G 並列時の自動停止防止に関係する以下のより確実な運転操作に資する取組みについて水平展開を行う。 ✓ 力率低下防止（志賀の事例） ✓ 初期負荷確保および位相差0°投入のしやすさ（他社の事例）
使用済燃料貯蔵プール (SFP)	➤ 志賀2号機SFP内に保管してあつた検査装置の一部がプール底部に落下。 ➤ SFP内保管物品について、落下により燃料破損等の直接的な影響がない軽量の物品であっても、異物混入防止の観点から、燃料へ異物が混入する可能性を低減することが重要。	➤ 志賀で落下したSFP内保管物品と同様な構造の機器類の有無を確認するため、SFP廻りの現場確認を実施する。
制御棒駆動機 (CRD) ハウジング支持金具	➤ 志賀1号機CRDハウジング支持金具の構成部品の一部が脱落。 ➤ 落下した構成部品がルースパーツになるリスクや下部にある機器を破損させる等の影響が考えられるため、構成部品の落下を防止することが重要。 ➤ BWRのうち、一部のプラントでは、構成部品の端部がフラットでサポートブロックに乗っているだけであり、地震で脱落する可能性があることを確認。	➤ 据付管理や構造の見直し等により構成部品が脱落しない対策を実施する。

<解答例>

(1) 能登半島地震の経験を踏まえた安全性向上のための教訓

1) 外部電源の多重化と冗長化

主体：電力会社

実施場所：発電所内外

教訓：能登半島地震では、志賀原子力発電所が外部電源5回線のうち2回線を失ったが、残り3回線は使用可能であり、電源供給が確保された。さらに、これらの残り3回線が同時に使用できなくなったとしても、非常用ディーゼル発電機や大容量電源車が確保されており、使用済燃料の冷却等の原子力発電所の安全性は維持することができるようになっている。この経験から、外部電源の多重化と冗長化が重要であることが再確認された。具体的には、複数の外部電源ラインを確保し、非常用電源設備の定期的な点検と更新を行うことが重要である。

2) 設備の耐震設計強化

主体：エンジニアリング会社及び電力会社

実施場所：発電所内

教訓：原子力発電所の安全確保のために重要な耐震Sクラスの設備に地震による損傷は生じなかったが、耐震クラスの低い屋外の変圧器は地震により損傷が生じた。発電所の安全性には影響ないが、運転には影響を与えるため、発電所の運転再開の観点から

地震後に健全性が求められる設備を抽出し、発生頻度の高い中規模の地震に対しても健全性を維持できるよう、耐震設計の強化を図ることが重要である。

3) 地震対応訓練と地域連携の強化

主体：地方自治体および電力会社

実施場所：周辺地域

教訓：地震による土砂崩れや道路の崩壊により、集落へのアクセスが遮断された地域が多数存在した。原子力発電所で事故が発生した場合に備え、避難計画を策定するとともに定期的な地震対応訓練を実施し、地域住民への情報提供や避難計画の共有を行うことが重要である。

(2) 教訓の具体的な反映方法

1) 教訓：外部電源の多重化と冗長化を対象にした回答を以下に示す。

①：外部電源ラインの多重化

方法：発電所に複数の外部電源ラインを確保する。

具体例：発電所に接続する外部電源ラインを更に増設し、各回線が異なる送電経路を通るように設計する。これにより、地震やその他の災害時に複数の回線が同時に損傷するリスクを低減する。

②：非常用電源設備の冗長化

方法：非常用電源設備の冗長化を図る。

具体例：既存の非常用ディーゼル発電機に加えて非常用ガスタービン発電機も設置し冗長性を向上させる。また、大容量電源車を発電所内の複数箇所に配備し、緊急時に迅速に展開できる体制を整備する。

③：電源設備の定期的な点検と更新

方法：外部電源設備および非常用電源設備の定期的な点検と更新を行う。

具体例：外部電源ラインおよび非常用電源設備の定期点検スケジュールを策定し、老朽化した設備の早期交換を実施する。例えば、電源ケーブルの絶縁劣化を防ぐため、予防保全を強化し、最新の耐震設計基準に基づいた設備更新を行う。

③：災害時の各種設備の手順書の整備・更新

方法：災害時に故障・不具合を生じる設備の復旧のための手順書の整備・更新を行う。

具体例：災害時に故障・不具合を生じる可能性のある設備については、復旧のための手順書の整備・更新、予備品の確保などを行い、補修に長期間を要する内部損傷の発生を抑制させ、早期復旧を可能とする対策を施す。例えば、電変圧器の絶縁油漏洩時の変圧器停止手順、放圧板動作時の早期復旧対策（予備品確保等）、非常用ディーゼル発電機並列時のトリップ防止に資する操作の手順書の整備・更新を行う。

(3) 残るリスクとその対策

外部電源の多重化と冗長化を図った場合でも起こり得るリスクとその対策を以下に示す。

1) サイバー攻撃による電源システムの破壊

リスク：サイバー攻撃によって電源システムが破壊される可能性がある。

対策：

サイバーセキュリティの強化：電源システムに対するサイバーセキュリティ対策を強化し、不正アクセスや攻撃を防ぐ。例えば、ファイアウォールの設置や定期的なセキュリティ監査を実施する。

バックアップシステムの導入：サイバー攻撃によるシステム障害に備えバックアップシステムを導入し、迅速な復旧を可能にする。

2) 経済的影響

リスク：対策に要する費用が膨大となり、電力会社の経営に影響が生じる。

対策：

リスク情報の活用：確率論的リスク評価に基づくリスク情報を活用し、意思決定を行うことで、リスク低減効果の高い対策を優先して実施することにより、費用の効率化を図る。

3) 社会的影響

リスク：原子力発電所の設備の損傷が生じた場合、例えば安全上の問題が生じなかったとしても、社会的に危険なものとして認識されてしまう可能性がある。

対策：

リスクコミュニケーションの強化：地域住民や関係者とのリスクコミュニケーションを強化し、設備損傷時の影響やその対応について周知徹底する。

【参考文献】

- [1] 北陸電力株式会社 能登半島地震による志賀原子力発電所への影響（志賀原子力発電所の紹介）
https://www.rikuden.co.jp/outline1/shika_ga.html
- [2] 電気事業連合会 能登半島地震に因る各原子力発電所への影響について
<https://www.fepec.or.jp/sp/notojishin/>
- [3] 石川県危機管理室 令和6年能登半島地震による被害等の状況について
https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/documents/higaihou_33_0111_1400.pdf
- [4] 能登半島地震を踏まえた発電所設備に係る安全対策について
https://www.aterna-j.jp/safety_measure/2024/12/post-14.html
- [5] 令和6年能登半島地震を踏まえた安全性向上への取組について
<https://www.aterna-j.jp/news/2024/07/post-46.html>

- III-2 既存軽水炉プラントの寿命延長と令和7年6月に施行される改正法に基づく「高経年化した発電用原子炉に関する安全規制」への対応について、運転期間30年を超える軽水炉プラントを、40年を超えてさらに継続運転する準備を行う技術者として、以下の問いに答えよ。ここで言う準備は規制対応としての申請だけに限らず、プラント側の長期運転への対応を含めてよい。
- (1) 高経年化にかかる新しい安全規制のこれまでの規制制度との主要な変更点(制度、技術のいずれの観点も可)を挙げて、それらに対応するうえでの課題を2つ抽出し、その内容を示せ。
 - (2) 前問(1)で挙げた課題の中から最も重要と考える課題を挙げて、これを最も重要とした理由を述べるとともに、2つ以上の課題解決策を示せ。
 - (3) 前問(2)で示した課題解決策を講じて、新たに生じ得るリスクあるいは将来的な懸念事項を示し、それへの対策について示せ。

【解答のポイント】

本設問は、I-1で解説した政策の流れで、GX脱炭素電源法“(2)安全確保を大前提とした原子力の活用”に向け、所要の関連法の改正^[1]が閣議決定されていることを理解いただきたい。これを受け、原子力規制庁側において高経年化した発電用原子炉の安全規則に関する検討^[2]が行われたことを参考に解答すると良い。

＜GX脱炭素電源法の概要＞

- 原子力発電の利用に係る原則の明確化(原子力基本法)
 - ✓ 安全を最優先とすること、原子力利用の価値を明確化(安定供給、GXへの貢献等)
 - ✓ 国・事業者の責務の明確化(廃炉・最終処分等のバックエンドのプロセス加速化、自主的安全性向上・防災対策等)
- 高経年化した原子炉に対する規制の厳格化(炉規法)
 - ✓ 原子力事業者に対して、①運転開始から30年を超えて運転しようとする場合、10年以内毎に、設備の劣化に関する技術的評価を行うこと、②その結果に基づき長期施設管理計画を作成し、原子力規制委員会の認可を受けることを新たに法律で義務付け
- 原子力発電の運転期間に関する規律の整備(電気事業法)
 - ✓ 運転期間は40年とし、i)安定供給確保、ii)GXへの貢献、iii)自主的安全性向上や防災対策の不断の改善について経済産業大臣の認可を受けた場合に限り延長を認める
 - ✓ 延長期間は20年を基礎として、原子力事業者が予見し難い事由(安全規制に係る制度・運用の変更、仮処分命令等)による停止期間(α)を考慮した期間に限定する ※原子力規制委員会による安全性確認が大前提

設問(1)は、規制側の取り組みを説明した、「運転開始から長期間経過した発電用原子炉の安全性を確保するための規制制度の全体像について」を参考として解答することが良い。

従来の安全規則は、

- ① 高経年化技術評価制度(運転開始30年から10年毎に、劣化進展を予測・管理するための長期的な施設管理計画を事業者が定める制度)
- ② 運転期間延長認可制度(運転開始40年時点で、特別点検の結果、および、劣化進展予測をもとに20年を超えない先まで基準適合を維持できるか技術評価し、その結果を審査する制度)

で審査されていたが、今回、これらを統合し、安全規則は「長期施設管理計画の認可制度」となる。

この計画には、設備の劣化予測や補修計画、定期的な特別点検・追加点検の実施時期などが含まれる。

なお、高経年化に伴う劣化事象には、物理的、非物理的な劣化事象があり、今回の制度見直しは物理的な劣化事象を主に対象とするものであり、非物理的な劣化への対応は、安全性向上評価届出書制度を主体に実施していく。なお、サプライチェーンや改廃品等に関する設備関連の「設計の古さへの対応」の一部は、長期施設管理計画において扱うこととなる。

よって、主要な変更点の課題抽出は、長期施設管理計画の認可制度の導入、設計の古さへの対応として、以下に課題を示す。

「長期施設管理計画の課題」

- 劣化予測の精度向上
長期にわたる運転を見据えた劣化予測の精度を高めるためには、科学的な根拠に基づく最新の技術やデータを活用する必要がある。特に、材料の経年劣化や環境条件の変化を正確に予測することが求められる。
- 特別点検の実施と管理
特別点検の実施時期や内容を適切に管理し、計画通りに実施することが重要である。また、今後、60年を超えた場合には、追加点検をどのように行っていくかも最新データ、評価技術を見据えて検討していく必要がある。これには、点検のためのリソース確保やスケジュール管理が含まれる。

「設計の古さへの対応」

- サプライチェーン維持への対応
改廃品、スペアパーツやメーカーの技術的サポートなどサプライチェーン維持の問題については、同計画に補修部品の確保の取組方針を盛り込むことが重要となる。

- 技術的な改修の実施

古い設計の原子炉を最新の安全基準に適合させるためには、技術的な改修が必要となる。これには、新しい技術の導入や既存設備の改修が含まれるが、これらの作業はコストや時間がかかるため、合理的安全の視点でハード・ソフトを含めて計画的に進める必要がある。

- 安全性の継続的な評価

改修後も継続的に安全性を評価し、必要に応じて追加の対策を講じることが求められる。これには、定期的な評価とフィードバックの仕組みを確立することが重要である。

これらの課題に対応するためには、技術者として最新の技術動向を把握し、計画的かつ効率的に対応策を実施することが求められる。

設問(2)は、前問(1)で挙げた課題の中から最も重要な課題とその理由と解決策を問われていることから、技術者として安全性、妥当性を追求する観点で至近の技術動向を基に回答するとよい。

(例)

- 最も重要な課題

劣化予測の精度向上

- 理由

劣化予測の精度が高まることで、長期運転に伴うリスクを事前に把握し、適切な対策を講じることが可能となる。これにより、プラントの安全性を確保し、運転の信頼性を向上させることができる。特に、予測が不十分であると、突発的な故障や事故のリスクが高まり、重大な影響を及ぼす可能性がある。

- 解決策

1. 最新技術の導入:

- ✓ 非破壊検査技術の活用

超音波検査や放射線検査などの非破壊検査技術を活用し、自プラント設計に適合した検査装置開発により設備の内部状態を詳細に把握する。これにより、劣化の進行状況を正確に評価する。

- ✓ デジタルツイン技術の導入

プラントのデジタルツインを作成し、シミュレーションを通じて劣化の進行を予測する。これにより、現実のプラントと同様の条件下での劣化予測が可能となる。

2. データの蓄積と分析

- ✓ 長期運転データの収集

過去の運転データや点検データを体系的に収集・データベース化し、劣化の傾向を分析する。これにより、将来の劣化予測の精度を向上させる。また、国内外の運転データも収集して、60年を超える運転データの収集・活用も重要である。

- ✓ 最新評価手法の確認・導入

先行プラントでの評価手法や科学的根拠に基づく国内外最新評価手法を収集し、自プラントにおける設計、運用状況による評価を実施することで、将来の劣化の精度を向上させる。

- ✓ AI・機械学習の活用

AIや機械学習を用いて収集したデータを分析し、劣化のパターンを抽出し、より精度の高い予測モデルを構築する。

これらの解決策を実施することで、劣化予測の精度を向上させ、プラントの長期運転に伴うリスクを低減することが可能となる。

設問(3)は、前問(2)で示した課題解決策を講じて、発生する新たに生じるリスク、懸念事項を問われていることから、データ入力、データ・検査信頼性、データ管理、評価信頼性、安全への影響等、幅広い視点で取り上げていくことが良い。

(例) 新たに生じ得るリスクおよび将来的な懸念事項

- 技術の進化に伴う予測モデルの陳腐化

リスク：非破壊検査技術やデジタルツイン等の技術を導入しても、技術の進化が速いため、現在の予測モデルが将来的に陳腐化する可能性がある。これにより、劣化予測精度の低下、対策の遅れリスク等がある。

対策：継続的な技術評価と更新

- ✓ 最新技術の導入

定期的に技術評価を行い、最新の非破壊検査技術やデジタルツイン技術を導入する。これにより、予測モデル精度維持向上を図り、劣化予測の信頼性を高める。

- ✓ 研究開発の推進

劣化予測技術の研究開発を継続的にを行い、新しい知見や技術を取り入れることで、予測モデルの精度を向上させる。

- データの管理とセキュリティ

リスク：長期データの蓄積とAI・機械学習の活用により、大量のデータが生成される。このデータの管理やセキュリティが不十分だと、データの漏えいや不正アクセスのリスクが高まる。

対策：データ管理とセキュリティの強化

- ✓ データガバナンスの確立

データの収集、保存、利用に関するガバナンスを確立し、データの品質と一貫性を確保する。

- ✓ セキュリティ対策の強化

データの暗号化やアクセス制御を強化し、不正アクセスやデータ漏洩を防止する。また、定期的なセキュリティ監査を実施し、脆弱性を早期に発見・対策する。

これらの対策を講じることで、新たに生じ得るリスクや将来的な懸念事項に対応し、プラントの長期運転の安全性を確保していく。

【参考文献】

- [1] 経済産業省ホームページ ニュースリリース「脱炭素社会の実現に向けた電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律案」が閣議決定されました(2023 年 2 月 28 日) 関連資料 「脱炭素社会の実現に向けた電気供給体制の確立を図るための電気事業法等 の一部を改正する法律案【GX 脱炭素電源法】の概要」
<https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230228005/20230228005.html>
- [2] 原子力規制委員会ホームページ 高経年化した発電用原子炉の安全規制に関する検討状況 制度の説明資料 「運転開始から長期間経過した発電用原子炉の安全性を確保するための規制制度の全体像について」
https://www.nra.go.jp/NuclearRegulation/discussion_aging_reactor.html

【類似問題】

- ・ R1 年度 (2019 年度) 原子炉システム・施設Ⅱ-1-4
- ・ R4 年度 (2023 年度) 必須科目Ⅰ-1
- ・ R4 年度 (2022 年度) 原子炉システム・施設Ⅱ-2-2
- ・ R4 年度 (2022 年度) 原子炉システム・施設Ⅲ-2
- ・ R5 年度 (2023 年度) 原子炉システム・施設Ⅱ-1-3
- ・ R5 年度 (2023 年度) 原子炉システム・施設Ⅲ-1
- ・ R6 年度 (2024 年度) 必須科目Ⅰ-1

6.2 「核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分」の問題と解答のポイント

Ⅲ 次の2 問題（Ⅲ-1、Ⅲ-2）のうち 1 問題を選び解答せよ。（赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し、答案用紙3 枚を用いてまとめよ。）

Ⅲ-1 近年、日本においても気候変動問題への対応策として、原子力への期待が大きくなっており、原子力発電を拡大する動きがみられる。このような状況を踏まえ、核燃料サイクル及び放射性廃棄物の技術者として、以下の問いに答えよ。

- (1) 原子力発電を維持・拡大するうえで核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分の課題を、技術者としての立場で多面的な観点から3 つ抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、その課題の内容を示せ。
- (2) 前問(1)で抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1 つ挙げ、これを最も重要とした理由を述べよ。その課題に対する複数の解決策を、専門技術・手法を用いて示せ。
- (3) 前問(2)で示した解決策に関連して新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。

【解答のポイント】

核燃料サイクル及び放射性廃棄物の全般に係る課題を広く上げた上で、この選択科目を選んだ技術者としての立場で解答が可能な問題となっている。

この問題のように(1)で課題抽出、(2)で最も重要なものを詳解、(3)で将来リスク・懸念その対策等を専門技術もった技術者の観点で説明するといった3 段論法で出題される形式で、ここ数年出題されており、いわば定番となっている。受験者各位は、このような形式で出題されることを想定して、専門分野や担当業務の技術的な課題や解決策について、常日頃から出題形式で説明できるよう準備されることを推奨する。

また、この問題では、技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）の何が問われているかを念頭に置きつつ解答構成を考えることが好ましい。

なお、R5 の核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 Ⅲ-1 「核燃料サイクルと放射性廃棄物の処理・処分の課題への対応」の解説に具体的な課題の解決策、将来的な懸念事項等が例示されており、解答構成や観点整理に有用であるので、それらも含めて記載する。

(1)については、「多面的な観点」での課題抽出を求められている。「原子力発電を維持・拡大する」という観点を念頭におきつつ、なるべく多くの側面（広めの視点で良い）からの課題を抽出したいところである。抽出した課題については、(2)につながることを意識して、下記参考文献^{[1]～[4]}などを参照して、関連技術との相関などを論理的に整理しておきたい。

課題の抽出にあたっては、

- 1) プルサーマル利用との関係、六ヶ所再処理工場が未だ本格操業に至っていないことを喫緊の問題と捉え、プルトニウムバランス（余剰プルトニウム問題）や柔軟な核燃料サイクルの運営、再処理工場の早期竣工などを挙げる。
- 2) 世界的な情勢不安とエネルギー資源、サプライチェーンの不安を捉え、ウラン資源の有効活用やプルトニウム利用の促進に係るような捉え方で課題を挙げる、或いはテロ対策のような視点（余剰のプルトニウム等と関連付けて）核セキュリティ的視点から課題を挙げる。
- 3) 団塊世代の退職、若手技術者の不足などを捉え、人材確保や技術者の育成を課題として挙げる。
- 4) 少し、専門的な領域に踏み込み、再処理施設で課題の多いガラス固化などの個別技術を挙げ、白金族影響及びその対策、イエローフェーズ、遠隔保守に触れた課題について論述する。
- 5) 廃炉による廃棄物が大量に発生することや、最終処分場の立地が進んでいないことを捉え、どのように立地を進めるべきかなどの論理展開を試みる。或いは、福島対策の重要性を理由に、福島とそれ以外の区別や福島第一原子力発電所の事故により発生した廃棄物の扱い（オンサイト、オフサイト）の課題を挙げて述べる。
- 6) 最近の話題から能登半島地震などを踏まえ、耐震強化や新知見の取り込みなど、シビアアクシデント対策や自然災害対策の強化、安全性の向上などを課題として捉え、論述する。或いは防災の視点に触れて論述する。
- 7) 逆に高経年化などを問題として捉え、設備診断技術、高経年化対策の類で論述する。
- 8) 廃棄物の廃棄体化技術、技術的要件、基準の整備、放射性物質等の評価技術などを挙げる。

(2)については、抽出した最重要課題に対して、以下がポイントとなる。

- ①最重要とする理由・根拠を論理的に説明できるか、
- ②複数の課題解決策を専門技術・手法で示せるか

受験者の得意な分野・領域に誘導するような理由付けを行い、論述するとよいであろう。答案の物量を稼げる上に、専門技術用語を用いることもできる。

(3)については、抽出した最重要課題に対する将来的な懸念事項とその対策を示せるかがポイントとなる。

課題解決による波及効果や重要度の変化などの将来展望を受験者の業務の専門技術を含めて答案を作成するのが好ましいと考える。

これらの事項については、直近の試験問題で個別に出題されている事項を踏まえ、キーワードを整理しておくことと解答しやすい。

R4の核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 III-1「核燃料取扱施設の廃止措置とそれに伴い発生する大量の放射性廃棄物処理・処分」に関するキーワードを整理したものを以下に示す。

(1) 再処理施設を対象とした場合の課題

- ① 再処理施設の構成材料は、耐硝酸性ステンレス鋼、Ti、Zr合金等が用いられ、先行する原子炉の廃止措置と同じような除染係数(DF20~100)が得られるとは限らない。また、原子炉と比べると小口径配管、小型機器、塔槽類が多く系統除染しにくい。よって、複数回の除染、大量の除染液の使用が必要となる可能性があり、二次廃棄物の大量発生が懸念される。
- ② 再処理施設を解体する場合考慮すべき核種は ^{137}Cs (半減期:約30年)や長半減期の α 核種であり、時間経過による放射能の減衰効果が小さく、施設閉鎖後の貯蔵期間による放射能低減が期待できないという問題点がある。
- ③ 放射性廃棄物の発生量の低減や処理・処分の観点では、運転期間中からの放射性物質による汚染や放射化による廃棄物量を詳細に特定し記録する必要がある。廃棄物を処分に適した形態に廃棄体化する場合、処分場の受入基準を想定しそれに合致するように廃棄体化方法を検討する必要がある。

(2) 最も重要と考える課題の選択及び複数の解決策

最も重要な課題として、①を対象とした。①を対象とした理由は、除染効果の不確実性及び二次廃棄物の増加は、解体作業に対する負担増、除染効果が小さかった場合には被ばく線量の増加に繋がるなど、複合的なリスクを抱えていると考えたためである。

解決策(1) 施設を構成する機器・配管を模擬し、シミュレーション等を行い適当な除染方法を決定する。

解決策(2) 除染溶液量の低減を指向するために除染溶液再利用を検討する。

解決策(3) 技術者の技量、習熟度を高めるために、IT技術を活用したナレッジマネジメントやVR技術を活用した事前訓練の充実化を図る。

(3) 新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策

確実な除染と解体作業が進むと、再処理施設からクリアランスレベル以下の廃棄物が大量に発生するが、クリアランス制度が効果的に運用されないと、これらの廃棄物が資源として十分に再利用が促進されないことが懸念されるため、クリアランス制度の理解促進などの対策が必要となる。

【参考文献】

[1] 使用済核燃料を有効活用！「核燃料サイクル」は今どうなっている？ | エネこれ | 資源エネルギー庁 (令和5年7月18日)

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/kakucycle_2023.html

[2] 原子力政策に関する直近の動向と今後の取組 資源エネルギー庁 (令和5年7月26日)

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/036_01_00.pdf

[3] 核燃料サイクルの確立に向けた取組と今後の検討事項について 資源エネルギー庁 (令和6年6月25日)

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/039_02_00.pdf

[4] 核燃料サイクル・最終処分に関する現状と課題 資源エネルギー庁 (平成26年9月)

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/006_03_00.pdf

【類似問題】

- ・R1年度(2019年度) 必須科目I-2
- ・R3年度(2023年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 II-1-3
- ・R4年度(2022年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 III-1
- ・R5年度(2023年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 II-1-1
- ・R5年度(2023年度) 核燃料サイクル及び放射性廃棄物の処理・処分 III-1

- III-2 核燃料物質取扱施設には、施設の安全性を確保するために必要な設備や機器が数多く存在する。これらの機能を維持するためには、日常巡視や定期的な点検等を実施するだけでなく、万が一の故障等に対して代替手段を確保しておくことが重要である。このような状況を踏まえ、設備・機器の適切な機能を維持管理する技術者として、以下の問いに答えよ。
- (1) 技術者としての立場で多面的な観点から3つの課題を抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、その課題の内容を示せ。
 - (2) 前問(1)で抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、これを最も重要とした理由を述べよ。その課題に対する複数の解決策を、専門技術・手法を用いて示せ。
 - (3) 前問(2)で示した解決策に関連して新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。

【解答のポイント】

核燃料物質取扱施設における、設備・機器の適切な機能を維持管理する技術者として、万が一の故障等に対して代替手段を確保しておくことが重要となってきたことを背景として、設問(1)については、技術者としての立場で多面的な観点で3つ課題を抽出することが求められているため、違う観点から課題を抽出することが必要である。設問(2)では(1)で抽出した課題を1つ挙げ、最も重要とした理由を示し、その課題を解決するための解決策を複数示すことが求められており、3つ程度示すことが望ましい。さらに設問(3)において、解決策に関連して新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策について示すことが求められている。

(1) 技術者としての立場で多面的な観点から課題とその内容を示す。

核燃料物質取扱施設では、核燃料物質を用いることから、臨界事故を防止するため、核燃料の濃度や質量の制限を管理するための設備や中性子吸収材、臨界警報装置の設置があり、可燃性物質や有機溶媒を使用することから、火災や爆発を防ぐためには、適切な設備の設置や火災検知器、消火設備があり、放射性物質が施設外に漏洩事故を防ぐために、二重壁構造となっており、気圧管理、漏洩検知システムの導入施されており、停電対策としては、外部電源の二重化や非常用発電機の設置されている。これら多種多様な設備や機器の維持管理が必要であり、万が一の故障等に対しても機能を維持することが求められるため、代替手段を確保することが重要であり、これらの観点から、下記のような課題がある。

課題1) 故障時の影響度の評価、故障モードの把握

安全上重要な設備の故障が設備全体に与える影響を評価し、適切な対策を講じるための基本情報を整備する必要がある。各設備が担う安全機能（臨界防止、火災防止、放射遮蔽など）を明確化し、故障時の波及効果や他設備への影響を踏まえた重要度のランク付けを行うことが求められる。これらを行うため、設備ごとの経年劣化、腐食、摩耗、熱劣化などのモードを分析する。手法としては、イベントツリー解析やフォールツリー解析などを行い、発生事象や故障から故障モード原因を分析することなどが有効となる。また、故障が発生した場合の被害想定（放射線漏洩、火災、臨界事故など）を定量評価してその影響度を把握する必要がある。例えば、確率論的リスク評価(PRA)などの手法を用いて定量化していくことができる。この際、故障率データの整備や改善についても留意する必要がある。適用するプラントによる違い、評価方法・機種の統一、同種機器についても型式による違いなども考慮に入れることが重要となる。また、故障モードを把握することで、代替手段を選定する時に重要な判断基準となりえる。

課題2) 保全方法の高度化、故障時の対処方法の合理化

設備の信頼性を高め、故障時にも迅速かつ的確に対応できる体制を構築する必要がある。各機器・設備に対応した、予防保全、状態基準保全、事後保全などの適用判断の基準となる保全戦略を選定する。これと合わせて、設備のライフサイクルを見据えた中長期的な保全スケジュールを策定する。故障時に対応して、故障時に即時対応可能な部品・装置の在庫管理を行う、またこれらの部品・装置については汎用化などを行うことで、特殊な部品などを使うことを避けるなど合理化を図る。故障時の対応手順の一部を共通化し、複数設備に対応する場合においても煩雑化しないような設備の導入やマニュアルの整備を実施する。この際、長期スケジュールを加味した保全の必要性、長納期品のための在庫品の確保の必要性、人的資源（知識・スキル）や作業スペース・対処に必要な時間など技術的実現性、被ばくの高低などの安全性、経済性など相反する要求事項を考慮した上で合理的な解決策が求められる。

課題3) 保全手順と補修等対処実施の判断基準の設定

故障時にも迅速かつ的確に対応するために保全の実施タイミングと方法を明確にし、過剰・過少な保全を防止する必要がある。このため、作業手順書、点検項目、使用工具・装備の明確化など保守手順を整備する。また、状態基準保全を導入することで必要となってくる、センサーデータや点検結果に基づく劣化診断や保全判断を実施するため、劣化兆候の閾値設定、リスク上昇時の対応基準など判断基準を設定することが重要となる。この際、劣化モードに応じた適切な管理パラメーターを設定することも留意する。さらに、保全中のリスク評価として、作業中の一時的な安全機能低下に対するリスク評価と対策を実施する。

課題4) 補修や設備診断を実施する技術者（作業員）の確保、育成

高度な保全作業を安全かつ確実に実施できる人材を確保・育成する必要がある。継続的に保守管理するため、経験豊富な技術者の継続雇用、新規採用の強化による技術者を確保する。さらに、放射線防護、設備診断、緊急対応などに関する定期的な訓練を実施する。これらを

効率的に機能させるため、ベテラン技術者から若手技術者へのノウハウ伝承やOJT、マニュアル化など技術伝承を促進する。また、保全作業に必要な資格・認定制度を導入することで、所掌の明確化や保全作業の品質、モチベーション向上を図る。また、安全かつ効率的に作業できる環境（照明、空調、作業スペースなど）を確保することも重要となる。

(2)最も重要と考える課題を1つ挙げ、これを最も重要とした理由を示す。さらに、その課題に対する複数の解決策を示す。

最も重要と考える課題とその理由

最も重要な課題として、課題2) 保全方法の高度化、故障時の対処方法の合理化を挙げる。これは、寿命延長40年超継続運転や既存の原子炉の有効活用などの動向が核燃料物質を取り扱う施設の有効活用の観点からも横展開されることが考えられ、高経年化対策を適切に行うことが求められる。一方、老朽化や故障が発生すると設備や機器の故障は、放射性物質の漏洩や臨界事故など、重大な事故を引き起こす可能性があり、故障した設備が原因で作業員が被ばくするリスクが高まる、さらに、設備の故障により、施設の運転が停止し、経済的損失やエネルギー供給の中断が発生する可能性があるため、重要であり、これらを運用するためには技術の高度化のための開発や様々な領域の技術を活用していくことが必要となる重要な課題となっている。

その課題に対する複数の解決策

課題2) 保全方法の高度化、故障時の対処方法の合理化に対して、以下のような解決策が考えられる。

解決策1) 劣化兆候、劣化モードのデータベース化、市販品、他業界でのデータの参照

設備ごとの劣化兆候、故障履歴、使用環境、材料情報を体系的に記録して劣化モードのデータベースを構築する。この際、他業界（航空、化学、製薬、石油精製など）高い信頼性が求められる業界の保全データを参照することが有効となりえる。また、メーカー提供のMTBF（平均故障間隔）や寿命データを統合し、市販品の信頼性データを活用することも有効である。これらのデータは事業者間で共有可能なクラウド型データベースを整備して、共通プラットフォームを構築することも効率的な運用につながる。

具体的には、核燃料貯蔵容器などの劣化モードをFMEA（故障モード影響解析）で分析し、影響度・発生頻度・検出困難度をスコア化することや他業界（航空機エンジン等）で使用されるPHM（健全性予測及び管理）で用いられているデータベースを参照し、振動・温度・圧力の異常傾向を核燃料物質取扱施設のポンプ設備に応用することなどが挙げられる。

解決策2) 設備診断技術の開発（非破壊・遠隔・自動点検、AI 評価）

超音波、赤外線、X線、電磁誘導など非破壊検査技術を用いた内部劣化の可視化により診断する。狭隘・高線量エリアでの点検を可能にするドローンやロボットの導入による遠隔点検の実施を可能とする。センサーによる常時監視と異常検知アルゴリズムの導入による自動点検システムの導入や、点検画像やセンサーデータをAIで解析し、劣化兆候を早期に検出するAI診断支援などの導入が挙げられる。

具体的には、放射線遮蔽壁の内部亀裂を光学ランプなどで加熱して赤外線サーモグラフィで検出し、AIで温度分布を解析して異常箇所を特定することや、高線量エリアの配管点検や狭隘空間に対して自走式ロボットを導入し、カメラ映像をAIで自動診断することなどが挙げられる。

解決策3) 故障時の影響緩和策による保全方式の柔軟性の確保

重要設備に対して二重化・多重化を行い、事後保全でも安全性を確保できる冗長設計、電源喪失時に自動遮断のような故障時に安全側に動作する設計をなるフェイルセーフ設計を導入する。また、故障時に機能を代替できる仮設備や手動操作手順を整備する。さらに、故障の影響度に応じて事後保全での対応を可能にするなど保全方式を柔軟に選択できるようにすることなどが挙げられる。

具体的には、臨界警報装置を二重化し、片方が故障しても警報機能を維持するようにすることや換気系統にバイパスラインを設け、主系統故障時に自動切替して機能を維持できるようにすることなどが挙げられる。

解決策4) 劣化部品のサンプル活用による診断技術の習得

劣化部品のサンプルを分析による詳細な劣化モードの把握とそのデータ蓄積を行っていく。劣化モードを再現できる訓練用装置の開発や実践的な教育への活用も可能である。実際の設備を用いた診断訓練を通じた現場対応力の強化、劣化部品の画像・センサーデータをAIモデルの学習への活用による診断精度の向上などが挙げられる。

具体的には、廃棄予定の腐食した炉内構造物（原子炉压力容器サンプル、配管、電気・計装設備、コンクリート構造物、ステンレス鋼など）を教材とし、超音波探傷訓練に活用することや劣化部品の画像を収集し、AIモデルの教師データとして活用し診断精度を向上されること、模擬配管系統に人工的な亀裂を入れ遠隔点検ロボットの操作訓練を実施などが挙げられる。

解決策5) 予備品の融通・サプライチェーンの強化（関係事業者との調整）

同一設備を揃える事業者間での予備品融通体制の構築すること、ATENAでとりまとめているガイドラインのように製造中止品の共有・代替品情報の整備すること、長期契約や共同開発による安定供給の整備、製造中止部品の再製造やカスタム部品の迅速な調達手法としての3Dプリンタ等の活用することなどが挙げられる。

具体的には、同型の放射線モニターを複数施設で使用し、予備品を共通在庫化することや、製造中止となった制御盤部品について、ATENAデータベースで代替品情報を取得するなどの解決策が挙げられる。

(3) 前問(2)で示した解決策に関連して新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策を示す。

新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項

前問(2)で示した解決策を講じていたとしても、劣化診断については、時間基準保全から状態基準保全も含めて総合的な保全になり高度化している一方、診断する点数が多くなることなどにより高度な判断が求められることになる。さらに、状態基準保全へとシフトした場合、想定外の新たな劣化モード（未知の劣化モード、対策に生じる新たな劣化モードなど）に関する情報の見落としが生じる可能性があり、劣化度の評価の誤りによる故障の発生、設備への影響が生じることが懸念される。

また、安全性に関する規制要求を既存の施設にも適用するバックフィットが実施されており、これにより、新たな知見を迅速かつ柔軟に規制に反映し、災害の防止のために施設が最低限度成すべき安全上の水準を向上することで、規制の継続的な改善を行い、もって継続的な安全性向上を実現させることを目的にしている。東京電力福島第一原発事故の教訓を踏まえ、2013年7月に新規制基準を施行されており、これ以降必要に応じてバックフィットが適用されており、このバックフィットへのタイムリーな対応が必要となる。

新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項への対策

対策としては、最新技術動向の調査を行い、常に最新の技術動向にアンテナを張り、これらを踏まえ、最新の技術を取り入れていくことが有効である。

新たな劣化モードに関する情報の収集や検出技術の取入れを行うことで、劣化診断の精度を上げ、運転データの解析により予兆劣化診断の精度を上げていくことが必要となる。この際に他事業所や他分野を含めた最新の技術動向を反映されることでより正確な判断ができるようになる。また、診断手法としては、AIを用いた方法なども取り入れて効率化を図っていくこととなるが、これらについても正しい教示データが必要となるため、AIを用いた判断をするために適切な教示データの蓄積や診断場所に適したデータ選択や、最新のアルゴリズムの導入などAIの高度化も合わせて行っていくことが有効となる。この際に、発生した新たな劣化モードのデータベースへの反映と保全計画の再検討などを行っていくことも重要となる。また、これらを使いこなすAI技術者の育成なども欠かせない。

バックフィットへのタイムリーな対応についても、新たな知見を迅速かつ柔軟な規制への適用を行うことで、安全性向上を実現することが目的となっていることから、関連する協会や学会などからの情報収集を行うことで、事前にこれらの新たな知見を収集して、規制への適用前に対策を打つことができる。また、これらの安全対応を自主的安全性向上の観点からも取り入れていくことは重要となる。これらのバックフィットは設計の経年化（古いものと新しいものの思想が異なり、上手く融合できないようなケース）、環境規制の強化、自然災害体格の強化などのガイドラインや法令の改正によるところもあるため、留意することが必要となる。

その他の懸念事項と対策として、DCS（分散制御システム）のように各機器が相互に接続してネットワーク化を図った時に、サイバーテロにあった場合、波及効果が大きくなりやすいためサイバーセキュリティの脅威の拡大が懸念されるが、独立システムやアクセス制限などの対策を講じることが重要となってくる。新規導入品の設備診断の方法、損傷確率の把握、評価の方法、保全計画への反映への対応が懸念されるが、加速試験の実施など想定環境下での劣化状況の把握をすることを工夫する対策を実施することなどが重要となる。高度な設備・機器を導入した場合のブラックボックス化（現場では通常と異なったような場合に故障、エラーの可能性を把握できるか、使いこなせるか）の懸念に対して、操作ガイドの充実されることなどが考えられる。

【参考文献】

- [1] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、施設の安全性
<https://www.jaea.go.jp/04/ztokai/effort/anzen/security.html>
- [2] 原子力規制委員会、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律関連、核燃料物質使用施設に関するもの
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/kettei/02/02_01_kakunen_shiyoshisetsu.html#kakunen_shiyoushijinsanaiki
- [3] 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第62条の3の規定に基づく実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条及び研究開発段階発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第129条の規定による原子力規制委員会への事故故障等の報告に関する解釈、原子力規制委員会、令和6年4月24日
<https://www.nra.go.jp/data/000473118.pdf>
- [4] 原子力規制委員会、高経年化対策概要
https://www.nra.go.jp/activity/regulation/reactor/unten/unten3_1.html
- [5] ATENA 20-ME04 (Rev.0) 製造中止品管理ガイドライン
<https://www.atena-j.jp/report/2020/09/atena-20me04rev0.html#000128>
- [6] バックフィットの概要
<https://www.nra.go.jp/data/000422891.pdf>

6.3 「放射線防護及び利用」の問題と解答のポイント

Ⅲ 次の2問題(Ⅲ-1、Ⅲ-2)のうち1問題を選び解答せよ。(赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し、答案用紙3枚を用いてまとめよ。)

Ⅲ-1 医療において放射線は広く利用されており無くしてはならないものとなっている。また放射線診断は日常的に行われ、その有効性や恩恵について広く認識されている。一方、国民1人当たりの自然放射線から受ける年間の実効線量(約2.1mSv/y)に対して医療被ばくによる1人当たりの実効線量は現在2.6mSv/y(原子力安全研究協会「生活環境放射線(国民線量の算定)第3版」(2020年))と推定されており自然放射線による被ばく線量を超えている。今後もX線CT検査などの利用増加が見込まれることから、放射線診断による医療被ばくの低減に向けた一層の社会システムや技術の開発が望まれる。このような状況を踏まえて以下の問いに答えよ。

- (1) 放射線診断による医療被ばくの低減強化を図るうえでの課題を、技術者として多面的な観点から3つ抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、その課題の内容を示せ。
- (2) 前問(1)で抽出した課題のうち重要あるいは有効性が高いと考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) 前問(2)で示した解決策に関連して新たに生じうるリスクとそれへの対策について述べよ。

【解答のポイント】

日本ではCTが広く普及しており、人口当たりでCT装置の台数、検査数ともに世界最高水準である。CT検査数は増加傾向にあり、一度に身体の大範囲を撮影できるようになったため、検査数の増加以上に国民1人当たりの被ばく線量は増加しているおそれがある。放射線検査による低線量の被ばくで健康影響が懸念されるのは発がんリスクの増加であり、国際機関も対策の必要性を指摘している。放射線防護体系は正当化、最適化、線量限度を三原則とするが、医療被ばくには線量限度は適用されないことから、検査による被ばく線量は推定に留まっていることも医療被ばくの低減強化を図る上での問題となっている。

ここでは、「低線量高画質CT装置の開発と普及」、「放射線量の記録と管理」及び「検査適応基準の標準化」といった課題について、その解決策、新たに生じうるリスクとその対策の一例を示す。

○低線量高画質CT装置の開発と普及

低線量高画質CT装置は、放射線被ばくを減らしつつ高品質な画像を提供する技術で患者の安全性を高めながら診断精度を維持できるが、新技術の導入には高コストが伴い、医療機関にとって経済的な負担となる。解決策として、例えば、低線量でも高画質な画像を生成できる新しい画像再構成アルゴリズムや高感度で低ノイズの検出器を開発することが挙げられ、これら研究開発を支援するために、低線量高画質CT装置の有効性を発信し、また、これらのクライアントやユーザー等多様な関係者が包摂的な意思疎通を図り、国として規制や診療報酬を通じた普及の促進、医療機関に対する低線量高画質CT装置の導入を促すための経済的インセンティブ提供されるように働きかけることが考えられる。

一方、技術的な不確実性から開発が難航し開発が滞るおそれがあるため、産学連携などにより継続的な研究開発チームを強化し、資金調達を行うとともにプロジェクトの進捗管理により技術開発の促進を図る。また、市場の受入や規制と承認の遅延が発生するおそれも考えられ、臨床試験の実施、医療機関への啓発活動や規制当局との密な連携により円滑な承認プロセスを構築することが挙げられる。

○放射線量の記録と管理

放射線量の記録と管理は、患者が受ける放射線被ばく量を正確に追跡して過剰な被ばくを防ぎ、患者の安全を確保することを目的とするが、各医療機関で使用されるシステムが異なるため、データの形式や記録方法が統一されていない点、プライバシー保護の観点、システムの導入や運用にかかるコストやリソースの確保などが課題として挙げられる。解決策として、放射線量の記録方法やデータ形式に関する標準化を図るとともに、データ暗号化及び不正アクセス防止のためのアクセス制御を強化したシステムの開発が必要であると考えられる。

一方、標準化に際してシステム間の互換性に対する問題、新しいシステムの導入に伴う医療従事者の負担が増加する可能性も考えられ、ユーザーフレンドリーなインターフェースやシステム設計により開発を進める必要がある。

○検査適応基準の標準化

検査適応基準の標準化は、CT検査などの放射線診断において、適切な検査が行われるようにするための基準を統一することで、過剰な検査を防ぎ、患者の放射線被ばくを最小限に抑えることを目的とする。解決策として、専門家や関係機関と協力して、実践的で現場に即すように標準化された検査適応基準を策定し、全国の医療機関に普及させること、医療従事者に対して新しい基準の教育訓練を実施し、理解を深めさせること、並びに、電子カルテシステムに検査適応基準を組み込み、医師が適切な検査を選択できるような支援ツールを開発することが挙げられる。

一方、策定された基準の理解不足などにより適切に遵守されない場合、基準の効果が発揮されない可能性がある。このため、定期的な教育訓練に留まらず、教育訓練の効果を評価し、内容を改善する試みも必要である。また、電子カルテシステムの改良にはコストがかかるため、クラウド型電子カルテシステムや電子カルテや予約管理、放射線量の記録システムなどのAPI(アプリケーション・プログラミング・イ

ンターフェイス) 連携によるシステム統合などによるコスト負担を軽減する仕組みづくりが必要であると考えられる。

【参考文献】

[1] CT 検査による医療被ばくの低減に関する提言

<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t248-1.pdf>

[2] 厚生労働省 医療被ばくの適正管理のあり方について

<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/0000191778.pdf>

【類似問題】

- ・ R3 年度 (2021 年度) 放射線防護及び利用Ⅲ-2
- ・ R4 年度 (2022 年度) 放射線防護及び利用Ⅱ-1-1

III-2 我が国ではかつては多くの試験研究炉が運用されてきたが、高齢化とともに稼働数は減少し、原子力研究開発、人材育成等を支える基盤の脆弱化が懸念される。このような中、**新たな試験研究炉を設置**することが政府方針として決定された。これを踏まえて研究用原子炉の中性子利用について以下の問いに答えよ。

- (1) 新たな試験研究炉の設置後の利活用に関して、技術者としての多面的な観点から3つ課題を抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、その課題の内容を示せ。
- (2) 前問(1)で抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) 前問(2)で示した解決策に関連して新たに生じうるリスクとそれへの対策について述べよ。

【解答のポイント】

研究用原子炉は発電用商用炉と異なり、中性子の利用を目的としている。この中性子利用は、中性子散乱回折に代表される物質の構造解析や、材料照射による照射損傷、RI 製造、臨界集合体による炉物理実験等、多岐にわたっている。また、稼働数が減少した要因として、設備維持費の高騰や、規制強化に伴う法令対応の負担増も挙げられる。これらのことから、新たな試験研究炉を設置した場合、有効に利用していくことが求められ、科学技術の向上や社会貢献、人材育成など幅広い貢献することなどから、解答を構成する。新たに建設計画が進められているもんじゅサイト試験研究炉に言及して、それらの設置する背景なども含めて論じてよいであろう。

(解答例)

- (1) 課題として下記3つの観点および課題を示す。

1) 科学技術の向上の観点

課題：中性子ビームを用いた材料開発研究の推進

内容：中性子は、軽元素に感度を持ち、中性子散乱回折等の技術は、タンパク質の構造解析等に有効であることが知られている。これらの分析技術のための最先端の実験設備の導入・維持、ユーザーのすそ野拡大が重要。また、これまで原子炉の燃料、材料の耐久性、健全性の試験などで使われてきたJMTR(Japan Materials Testing Reactor)やハルデン炉も閉鎖されており、これらの研究においても重要な役割を果たす。

2) 社会貢献（又は社会実装）の観点

課題：中性子照射によるRI 製造の推進

内容：Tc99等の医療用に重要なRIはその供給を海外に依存している。一方、RI製造用の海外の研究炉も老朽化による停止の可能性がある。医療用RIの国内製造によるサプライチェーンの脆弱性の解消が重要。医療用RI製造は、中性子照射による核反応、長寿命核種の親核種からの娘核種を分離するためのミルキングや照射ターゲットと生成したRIの分離のための化学処理、製造したRIから医療用RI医薬を製造するための製薬や医薬品品質への適合、各種関連法規制が絡んでおり、それぞれにおいても課題があるため、それらを考慮することが必要となる。

3) 持続性の観点 設備維持のため人材育成

課題：原子炉を維持管理できる人材、有資格者の確保

内容：試験研究炉が運用では、発電用商用炉とは異なり、少人数で多岐に渡る維持管理をすることが求められる。このため、ひとりひとりは幅広い業務を行える必要があるが、人数が少ないため人員計画や業務所掌によっては、技術継承を行うことが難しくなる。一方、設備を持続的に運転するためには、原子炉の維持・管理には現場の熟練技術者、規制対応ができる法令知識を持つ人材が必要であるため、これらの人材を育成・技術継承させるためには、長期的な育成計画が必要。

- (2) どれか1つを選べばよいが、それぞれの解答例を示す。

1) の解決策、既存炉(JRR-3等)を用いた実験技術の高度化、それら技術を新試験研究炉へ導入する、放射光やX線構造解析の研究者・技術者に中性子利用の紹介を行い、新たなユーザーの掘り起こし。産業界との連携による新たなニーズの創出。

2) の解決策、RI製造用設備の新試験研究炉への導入、新たなRI製造にも対応できるような設計、設置許可の取得(取扱できるRIの拡大、各種RIに応じた検出器、安全設備の設置、短半減期RI向けの薬剤製造との併設、早期運搬システムの構築)。医療用RI薬剤製造業者・医療用RI薬剤利用者ととの連携による供給体制の構築。

3) の解決策、長期的な人材採用計画、予算計画の策定。大学等へ施設管理の業務の紹介。原子炉主任技術者、核燃料取扱主任者、放射線取扱主任者、技術士等の資格取得に対するインセンティブ等の制度創設。

- (3) 設問(2)の1)～3)の解決策に関連して新たに生じうるリスクとそれへの対策について、それぞれの解答例を示す。

1) 新たなリスク 設置後に新たに設置される加速器施設や海外試験研究炉との競合によるユーザー数の低下

解決策 情報発信や新規利用者窓口の設置など稼働率の向上、試験実施だけでなく初心者にもデータ解析技術、解釈等のユーザ

ーサポート体制の構築

- 2) 新たなリスク 新たな RI 使用時に、許認可の長期化による稼働時期の遅延
解決策 世の中の技術動向や最新技術などの情報を収集し、実際に試験をすることとなる前からニーズ調査を実施し、どのような種類・量の RI が必要かを調べあげ、中長期計画を策定し、許認可変更をする際に冗長性のある許認可を取得。
- 3) 新たなリスク 現場技術者の高齢化、若手人材の確保、法令に必要な資格取得者の不足による運転停止のリスク
解決策 インターンシップの受け入れ、HP 等による業務紹介など業務の魅力や重要性の発信による若手人材の確保。東大専門職大学院や、JAEA の研修センターとの連携による技術強化や OJT と OFF-JT を組み合わせることで、施設維持管理従事者のスキルアップとキャリア形成につながる、長期的な教育計画の策定。

他に

倫理の観点 法令を順守した適正な核物質の扱い

国際化の観点 海外研究炉との交流

等で記述してもよいであろう。

【参考文献】

- [1] つるが国際シンポジウム 2019-新たな試験研究炉への期待
https://www.mext.go.jp/content/20200825-mxt_genshi-100000481_004.pdf
- [2] 日本原子力研究開発機構 JRR-3 HP
<https://jrr3.jaea.go.jp/>

【類似問題】

- ・ R2 年度（2020 年度）放射線防護及び利用Ⅲ-2

7. おわりに

技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）として「専門的学識」「問題解決」「マネジメント」「評価」「コミュニケーション」「リーダーシップ」「技術者倫理」の全てが求められている。社会課題は必ずしも現時点で正解があるものばかりではないため、これらを駆使して、それらを解決していくことが望まれている。そのため、技術士試験においても、これらの技術士に求められる資質能力を評価することを考慮した設問が多くあるため、受験者には、各問題で問われている資質能力が何であるかをよく理解し、解答することが求められる。その一環として、課題を多面的にとらえること、複数の解決手段を検討すること、制約事項や重視する事項を明確化すること、解決手段の比較評価すること、相手の立場で考えるというようなことが、合格に近づくための第一歩になる。現状の動向や資料を記述するのみでは、何ら解決に向けた提案を出来ている状態ではないので、十分に資質能力を示すことを意識して、解答できるよう勉強、スキルアップに努めて頂きたい。

既に技術士資格を取得されている方にあつては、十分承知されていることとは思いますが、技術士の資質能力の中に継続研さんがある。技術士の方にあつては、自らの研さんとして、関連する専門知識の体系的整理や学び直し、修習技術者の指導などに活用していただければと考えている。常に最新の技術を学び、社会と向き合い、高い倫理感（技術者倫理）を持って対応すること、それぞれが直面している技術的課題の克服や革新的技術開発、研究を通じて、社会貢献を果たして欲しい。

本資料が活用され、多くの技術士の輩出と活躍につながることを期待している。

謝辞

本講座のまとめにあたり、日本原子力学会教育委員会技術者教育小委員会の下に設置された技術士試験対策支援WG委員諸氏及びその依頼を受けて多くの技術士、研究者、技術者に無償で協力を頂いた。各位のご協力に心より感謝する。

（敬称略）

〔解説作成に特に支援頂いた方々〕

吉行健、泉幹雄、木村浩一、山本誠二、高橋信哉、吉岡研一、黒田理知、藤原宏伸、樋口智一、井上史章、村上玲、石川寛匡、高橋優也

〔技術士試験対策ワーキンググループ員〕

芳中一行、堀口賢一、大沢竜也、高橋優也、松浦正義、堀口賢一、溝口真樹、本田一明、岡田融

〔技術者教育小委員会委員〕

芳中一行、高田英治、吉田拓真、金川悦子、前川真介、湯口康弘、中田よしみ