

JAERI-Review

95-018



核燃料取扱主任者試験問題解答例集－2

1995年10月

作田 孝・湊 和生・森田泰治・西座雅弘・吾勝永子

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこみください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1995

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 ニッセイエプロ株式会社

核燃料取扱主任者試験問題解答例集－2

日本原子力研究所原子力総合研修センター

作田 孝・湊 和生⁺・森田 泰治⁺
西座 雅弘⁺⁺・吾勝 永子

(1995年9月14日受理)

第22回～第25回核燃料取扱主任者試験問題解答例集に統いて作成した、第26回および第27回の解答例集である。各解答例には、簡単な説明または参考書を付記した。

-
- * 本報告における試験問題の転載許可取得済み。
 - * 本試験問題を活用して出版事業等の営利活動を行う場合には、別途「科学技術庁原子力安全局核燃料規制課」への手続きが必要です。

日本原子力研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

+ 燃料研究部

++ 保健物理部

Example of Answers to Problems
of the 26th and 27th Examination
for the Chief Technician of Nuclear Fuel-2

Takashi SAKUTA, Kazuo MINATO⁺, Yusuji MORITA⁺
Masahiro NISHIZA⁺⁺ and Eiko AKATSU

Nuclear Education Center
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 14, 1995)

This is an example of the answers to the 26th and 27th examination problems for certification of the chief technician of nuclear fuel. Short explanations or references are given for each answer.

Keywords: Nuclear Fuel, Examination, Example of Answers.

-
- * Copyright of the problems of the examination is permitted to use in the present report.
 - * Permission of Nuclear Material Regulation Division, Nuclear Safety Bureau, Science and Technology Agency is additionally required in the case that commercial activities such as publishing business are conducted by utilizing this problems of the examination.
 - + Department of Chemistry and Fuel Research
 - ++ Department of Health Physics

目 次

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | 第26回核燃料取扱主任者試験問題解答例 | 1 |
| 1.1 | 第26回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質に関する法令 | 1 |
| 1.2 | 第26回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の化学的性質及び物理的性質 | 13 |
| 1.3 | 第26回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の取扱いに関する技術 | 22 |
| 1.4 | 第26回核燃料取扱主任者試験 放射線の測定及び放射線障害の防止に関する技術 | 29 |
| 2. | 第27回核燃料取扱主任者試験問題解答例 | 37 |
| 2.1 | 第27回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質に関する法令 | 37 |
| 2.2 | 第27回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の化学的性質及び物理的性質 | 51 |
| 2.3 | 第27回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の取扱いに関する技術 | 59 |
| 2.4 | 第27回核燃料取扱主任者試験 放射線の測定及び放射線障害の防止に関する技術 | 69 |
| | 謝 詞 | 77 |

Contents

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Example of Answers to the 26th Examination Problems for Chief Technician of Nuclear Fuel | 1 |
| 1.1 | Laws and Regulations | 1 |
| 1.2 | Chemical and Physical Properties of Nuclear Fuel Materials | 13 |
| 1.3 | Technologies Concerning the Handling of Nuclear Fuel Materials | 22 |
| 1.4 | Technologies Concerning Radiation and Radioactivity Measurement and Radiation Protection | 29 |
| 2. | Example of Answers to the 27th Examination Problems for Chief Technician of Nuclear Fuel | 37 |
| 2.1 | Laws and Regulations | 37 |
| 2.2 | Chemical and Physical Properties of Nuclear Fuel Materials | 51 |
| 2.3 | Technologies Concerning the Handling of Nuclear Fuel Materials | 59 |
| 2.4 | Technologies Concerning Radiation and Radioactivity Measurement and Radiation Protection | 69 |
| | Acknowledgement | 77 |

1. 第26回核燃料取扱主任者試験問題解答例

1. 1 第26回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質に関する法令

第1問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」及びこれに関連する法令に関する次の文章には、誤りを含んでいるものがある。解答例にならって、誤りがある場合には、誤りを含む下線部の番号を記して、正しい文に直し、誤りがない場合には、○印を記すこと。なお、各文には、誤りは2ヶ所以上含まれていない。

[解答例1] 問題 (1) 日本の首都は東京である。
 ① ② ③

解答 (1) ○

[解答例2] 問題 (2) 日本の国会は、衆議院及び貴族院によって構成される。
 ① ②

解答 (2) ② 貴族院によって → 参議院によって

(1) 原子力基本法においては、原子力の研究、開発及び利用は、平和の目的に限り、安全の確保を旨として、民主的な運営の下に、自主的にこれをを行うものとし、その成果を公開し、進んで国際協力を資するものとすることを基本方針としている。

(2) 加工事業者は、次の事項について、総理府令で定めるところにより、保安のために必要な措置を講じなければならない。

一 加工施設の保全
 ①

二 加工設備の廃棄
 ②

三 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の運搬（加工施設を設置した工場又は事業所内の運搬に限る。）、貯蔵又は廃棄
 ③
 ④
 ⑤

(3) 加工事業者は、加工の方法を変更しようとするときは、内閣総理大臣に事前に届け出なければならない。

(4) 加工事業者は、1週間に1回以上、従業者に加工施設について巡視及び点検を行わせなければならない。

- (5) 加工事業者は、保安規定を定め、事業を開始する前に、内閣総理大臣に届け出なければならない。
- (6) 再処理事業者は、総理府令で定めるところにより、内閣総理大臣が毎年1回定期に行う検査を受けなければならない。
- (7) 廃棄物埋設事業の許可を受けた申請書の記載事項のうち、氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名、事業所の名称、放射性廃棄物の性状及び量の変更については、変更の許可が不要で、届出だけでよい。
- (8) 廃棄物埋設事業者は、廃棄物埋設を行う場合においては、その廃棄物埋設設及びこれに関する保安のための措置について内閣総理大臣の確認を受けなければならない。
加工事業者は、廃棄物埋設を行う場合においては、埋設しようとする核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物及びこれに関する保安のための措置について内閣総理大臣の確認を受けなければならない。
- (9) 男子を放射線業務に従事させる場合は、実効線量当量について1年間につき50ミリシーベルト、組織線量当量について1年間につき500ミリシーベルト
(但し、皮膚については1年間につき150ミリシーベルト) を超えないようにしなければならない。
- (10) 緊急作業に係る線量当量限度は、実効線量当量について200ミリシーベルトである。

第2問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づいて再処理事業者が保安のために採らなければならない措置に関し、以下の間に答えよ。

- (1) 次に掲げる事項は、再処理事業者が保安規定に定めなければならない事項である。以下の空欄に入れるべき適当な語句を記せ。

〔解答例〕 ⑪ —— 再処理

1. 再処理施設の操作及び管理を行う者の職務及び ① に関すること。
2. 再処理施設の放射線業務従事者に対する ② に関すること。
3. 保安上特に管理を必要とする設備の操作に関すること。
4. 再処理施設の操作に関する ③ に関すること。
5. 管理区域、保全区域及び周辺監視区域の設定並びにこれらの区域に係る ④ 等に関すること。
6. 排気監視設備及び海洋放出監視設備に関すること。
7. 線量当量、放射性物質の濃度及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度の監視並びに汚染の ⑤ に関すること。
8. 放射線測定器の管理及び放射線測定の方法に関すること。
9. 再処理施設の ⑥ 及び点検並びにこれらに伴う処置に関すること。
10. 再処理施設の定期自主検査に関すること。
11. 核燃料物質の受渡し、⑦、貯蔵その他の取扱いに関すること。
12. 放射性廃棄物の廃棄に関すること。
13. 海洋放出口周辺海域等の放射線 ⑧ に関すること。
14. ⑨ の場合に採るべき処置に関すること。
15. 再処理施設に係る ⑩ に関する記録に関すること。
16. その他再処理施設に係る保安に関し必要な事項

(2) 再処理事業者に法令上義務づけられている定期自主検査に関する以下の文章中の空欄に入れるべき語句を下表から選べ。なお、同一の語句を何度選んでも構わない。

〔解答例〕 ⑥—— i) 再処理

- (a) 保安規定に定める保安上特に管理を必要とする設備 ((b)に規定されているものを除く。) は、当該設備の性能が維持されているかどうかについて検査を **①** ごとに行うこと。
- (b) **②** については、当該装置の各部分ごとの当該作動のための性能検査を **③** ごとに、当該装置全体の当該作動のための総合検査を **④** ごとに行うこと。
- (c) 再処理施設の保安のために直接関連を有する計器及び放射線測定器については、較正を **⑤** ごとに行うこと。

- | | | | | |
|---------|----------|---------|--------|--------|
| a) 1 日 | b) 1 月 | c) 3 月 | d) 半 年 | e) 1 年 |
| f) 換気装置 | g) 非常用装置 | h) 監視装置 | | |

第3問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づく関係法令において加工事業者が遵守しなければならない事項に関する以下の間に答えよ。

(1) 加工事業者は、加工施設を設置した工場又は事業所において液体状の放射性廃棄物を廃棄する場合、次に掲げるいずれかの方法により廃棄しなければならない。空欄となっている方法を説明せよ。

- イ 排水施設によって排出すること。
- ロ 放射線障害防止の効果を持った焼却設備において焼却すること。

ハ

①

ニ

②

ホ

③

(2) (1)イの方法により廃棄する場合の法令上の遵守義務について記せ。

(3) 次の文章は、加工事業者が、法令上、管理区域において採らなければならぬ措置に関するものである。空欄を埋めよ。

〔解答例〕 ⑥——加 工

イ 壁、さく等の区画物によって区画するほか、①を設けることによつて明らかに他の場所と区別し、かつ、放射線等の危険性の程度に応じて

人の②、かぎの管理等の措置を講ずること。

ロ 放射性物質を③するおそれのある場所での飲食及び喫煙を禁止すること。

ハ 床、壁その他人の触れるおそれのある物であつて放射性物質によって汚染されたものの表面の放射性物質の密度が長官の定める④を超えないようにすること。

- ニ 管理区域から人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合には、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品の表面の放射性物質の密度がハの④ の⑤ を超えないようすること。

第4問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づく廃棄の事業に関する以下の間に答えよ。

- (1) (a) 廃棄事業者が廃棄物取扱主任者を選任する目的について述べよ。
(b) 廃棄物取扱主任者が遂行すべき義務について述べよ。
(c) 廃棄物埋設事業又は廃棄物管理事業において、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の取扱いに従事する者が、廃棄物取扱主任者に対して負うべき義務について述べよ。
- (2) 以下の記載内容について法令上違反しているか否かを答えよ。また、違反している場合にはその理由を述べよ。
 - (a) 廃棄事業者が事業を開始した日から30日目にその届出を行った。
 - (b) 廃棄事業者が放射性廃棄物を排水したが、その際排水口又は排水監視設備における放射性物質の濃度を記録しなかった。
 - (c) 届出を行い廃棄物埋設事業者から廃棄物埋設地を譲り受けた。
 - (d) 廃棄物埋設事業者が、放射能の減衰に応じた廃棄物埋設についての保安のために講すべき措置の変更予定時期を、内閣総理大臣に届出を行った上で変更した。

第5問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物を工場等の外において運搬する場合について、次の文章の空欄の部分に適切な数値又は語句を記せ。

〔解答例〕 ①——東京

- (1) ① 輸送物、② 輸送物又は ③ 輸送物を運搬する場合は、使用者等は核燃料輸送物が技術上の基準に適合することについて科学技術庁長官（以下本問において「長官」という。）の確認を受けなければならない。また、使用者等は、運搬に使用する容器について、あらかじめ、長官の④ を受けることができる。この場合において、④ を受けた容器は核燃料輸送物に関する技術上の基準のうち ⑤ に関する基準は満たされたものとする。
- (2) A型輸送物として運搬できる核燃料物質等の ⑥ の量の限度は、核燃料物質等が ⑦ の場合は ⑧ 値といい、⑨ 以外の場合は ⑩ 値という。
- (3) 核分裂性物質（⑪、⑫、⑬、⑭ 及びこれらの化合物並びにこれらの1又は2以上を含む核燃料物質（長官の定めるものを除く。））を運搬する場合は、核分裂性輸送物の技術上の基準に適合しなければならない。
- (4) 核燃料物質等の運搬において、次の事態の場合には、総理府令の規定により使用者等は、その旨を ⑮ に、その状況及びそれに対する処置を ⑯ 以内に長官に報告しなければならない。
- a) 核燃料物質の ⑰ 又は所在不明が生じたとき。
 - b) 核燃料物質等が異常に ⑱ したとき。
 - c) 上記a) 及びb) のほか、核燃料物質等の運搬に関し人の ⑲ （⑳ 以外の ㉑ であって軽微なものと除く。）が発生し、又は発生するおそれがあるとき。

第1問 解答例

(1) ○

[原子力基本法；第2条（基本方針）参照]

(2) ② 廃棄 → 操作

[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21条の2（保安及び特定核燃料物質の保護のために講すべき措置）参照]

(3) ③ に事前に届け出なければならない。 → の許可を受けなければならない。

[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16条（変更の許可及び届出）第1項 参照]

(4) ① 1週間に1回以上、 → 毎日1回以上、

[核燃料物質の加工の事業に関する規則；第7条の4（加工施設の巡視及び点検）参照]

(5) ④ に届け出なければならない。 → の認可を受けなければならない。

[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22条（保安規定）参照]

(6) ○

[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46条の2の2（定期検査）参照]

(7) ③ 放射性廃棄物の性状及び量 → 「削除」すると解答してよいのか。

「ただし、放射性廃棄物の性状及び量については、この限りではない。」と解答するのか判断に迷う。

[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51条の5（変更の許可及び届出）参照]

(8) ③ 加工事業者は、廃棄物埋設を行う場合においては、

→ 廃棄物埋設事業者は、廃棄物埋設を行う場合においては、

[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51条の6（廃棄物埋設に関する確認）参照]

(9) ③ 皮膚については → 眼の水晶体については

[試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づく

[線量当量限度等を定める件；第6条（放射線業務従事者の線量当量限度）参照]

- (10) ③ 200ミリシーベルトである。 → 100ミリシーベルトとする。

[試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づく
線量当量限度等を定める件；第8条（緊急作業に係る線量当量限度）参照]

第2問 解答例

- | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| (1) ① —— 組織 | ② —— 保安教育 | ③ —— 安全審査 | ④ —— 立入制限 |
| ⑤ —— 除去 | ⑥ —— 巡視 | ⑦ —— 運搬 | ⑧ —— 管理 |
| ⑨ —— 非常 | ⑩ —— 保安 | | |

[使用済燃料の再処理の事業に関する規則；第17条（保安規定）参照]

- (2) ① —— e) 1年 ② —— g)非常用装置 ③ —— b) 1月
④ —— e) 1年 ⑤ —— e) 1年

[使用済燃料の再処理の事業に関する規則；第12条（再処理施設の定期自主検査）
参照]

第3問 解答例

- (1) ① 放射線障害防止の効果を持った廃液槽に保管廃棄すること。
② 容器に封入し、又は容器に固型化して放射線障害防止の効果を持った保管廃棄
施設に保管廃棄すること。
③ 放射線障害防止の効果を持った固型化設備で固型化すること。

[核燃料物質の加工の事業に関する規則；第7条の8（工場又は事業所内の廃棄）
参照]

- (2) 排水施設によって排出することの方法により廃棄する場合は、排水施設において、
ろ過、蒸発、イオン交換樹脂法等による吸着、放射能の時間による減衰、多量の水に
による希釈その他の方法によって排水中における放射性物質の濃度をできるだけ低下さ
せること。この場合、排水口において又は排水監視設備において排水中の放射性物質
の濃度を監視することにより、周辺監視区域の外側の境界における水中の放射性物質
の濃度が長官の定める濃度限度を超えないようにすること。

[核燃料物質の加工の事業に関する規則；第7条の8（工場又は事業所内の廃棄）
参照]

- (3) ① —— 標識 ② —— 立入制限 ③ —— 経口摂取
 ④ —— 表面密度限度 ⑤ —— 十分の一

[核燃料物質の加工の事業に関する規則；第7条の2（管理区域への立入制限等）
参照]

第4問 解答例

- (1) (a) 廃棄事業者は、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の取扱いに關して保安の監督を行わせるため、総理府令で定めるところにより、核燃料取扱主任者免状を有する者その他総理府令で定める資格を有する者のうちから、廃棄物取扱主任者を選任しなければならない。と原子炉等規制法第51条の20に定められている。
[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51条の20（廃棄物取扱主任者）参照]

- (b) 廃棄物取扱主任者は、廃棄物埋設又は廃棄物管理の事業における核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の取扱いに關し、誠実にその職務を遂行しなければならない。と原子炉等規制法第51条の21に定められている。
[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51条の21（廃棄物取扱主任者の義務等）参照]

- (c) 廃棄物埋設又は廃棄物管理の事業において核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の取扱いに從事する者は、廃棄物取扱主任者がその取扱いに關して保安のためにする指示に従わなければならない。と原子炉等規制法第51条の21に定められている。
[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51条の21（廃棄物取扱主任者の義務等）参照]

- (2) (a) 法令上違反している。

その理由

原子炉等規制法第51条の11（事業開始等の届出）において、次のように定められている。

「廃棄事業者は、その事業を開始し、休止し、又は再開したときは、それぞれその日から15日以内に、その旨を内閣総理大臣に届け出なければならない。」

(b) 法令上違反している。

その理由

原子炉等規制法第51条の15（記録）において、次のように定められている。

「廃棄事業者は、総理府令で定めるところにより、廃棄物埋設又は廃棄物管理の事業の実施に関し総理府令で定める事項を記録し、これをその事業所に備えて置かなければならない。」

また、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄物埋設の事業に関する規則第13条（記録）において、次のように定められている。

「法第51条の15の規定による記録は、事業所ごとに、次表の上欄に掲げる事項について、それぞれ同表中欄に掲げるところに従って記録し、それぞれ同表下欄に掲げる期間これを保存して置かなければならない。」

排水に関しては、記録すべき場合は排水のつど 及び 保存期間は10年間 である。

(c) 法令上違反している。

その理由

原子炉等規制法第51条の19（廃棄物埋設地の譲受け等）において、次のように定められている。

「廃棄物埋設事業者からその設置した廃棄物埋設地又は廃棄物埋設地を含む一体としての施設を譲り受けようとする者は、政令で定めるところにより、内閣総理大臣の許可を受けなければならない。」

(d) 法令上違反している。

その理由

原子炉等規制法第51条の5（変更の許可及び届出）において、次のように定められている。

「第51条の2第1項の許可を受けた者は、同条第2項第2号から第5号までに掲げる事項を変更しようとするときは、政令で定めるところにより、内閣総理大臣の許可を受けなければならない。」

放射能の減衰に応じた廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置の変更予定期は、第51条の2第2項第5号に該当する。

第5問 解答例

(1) ① —— 核分裂性 ② —— BM型 ③ —— BU型

④ —— 承認 ⑤ —— 容器

[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59条の2（運搬に関する確認等）参照]

[核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則：第3条（核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬）、第11条（核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準）及び第15条（確認を要する核燃料物質等）参照]

(2) ⑥ —— 放射能 ⑦ —— 特別形核燃料物質等 ⑧ —— A₁

⑨ —— A₂

[核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示：第3条（A型輸送物として運搬できる核燃料物質等の放射能の量の限度）参照]

(3) ⑩ —— ウラン233 ⑪ —— ウラン235 ⑫ —— プルトニウム238

⑬ —— プルトニウム239 ⑭ —— プルトニウム241

[核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則；第11条（核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準）参照]

(4) ⑮ —— 直ちに ⑯ —— 十日

⑰ —— 盗取 ⑱ —— 漏えい

⑲ —— 障害 ⑳ —— 放射線障害

[核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則；第19条（報告の徴収）参照]

参考文献

- 1) 科学技術庁原子力安全局 監修、"1995年版 原子力規制関係法令集"、(1995)
大成出版社、東京。

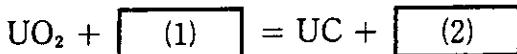
1. 2 第26回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の化学的性質及び物理的性質

第1問 次の(イ), (ロ), (ハ)についてそれぞれの指示に従って答えよ。

(イ) 以下の反応の空欄の部分に記入すべき化学式を係数を含めて記号とともに記せ。

〔解答例〕 (21) 5ThO_2

二酸化ウランをグラファイトと混合し、真空中で 1300°C 以上の高温に加熱すれば



のような反応が起こってウランは一炭化物になる。この炭化物を空气中 800°C に加熱すれば、下に示すような反応が生じる。



(ロ) 次の文章中の空欄の部分に記入すべき語句、あるいは数値を記号とともに記せ。

〔解答例〕 (22) 7

水溶液中において 6 値のウランのイオンは $\boxed{(6)}$ 色を示す。この 6 値ウランは実際には $\boxed{(7)}$ 値のウラニルイオンとして存在している。一方、4 値ウランイオンは $\boxed{(8)}$ 色、3 値ウランイオンは $\boxed{(9)}$ 色を呈する。6, 4, 3 値のうち最も安定なウランの酸化状態は $\boxed{(10)}$ 値である。

(ハ) 次の文章中の空欄の部分に記入すべき融点、あるいは密度の値を下に列記したうちから選び、記号とともに記せ。ただし、これらの測定値には誤差があることを考慮すること。また、密度は室温の値である。

〔解答例〕 (23) 640

金属トリウムは銀白色の鉛に似て軟らかい金属で、その融点は $\boxed{(11)}$ $^{\circ}\text{C}$ 、密度は $\boxed{(12)}$ Mg/m^3 である。金属ウランは銀白色の金属

であるが、通常、僅かに酸化されて黄色味を帶びている。その融点は
 (13) °C, 密度は (14) Mg/m³ と測定されている。金属プルトニウムの融点は (15) °C である。

二酸化ウラン (UO_2) の融点は (16) °C, 密度は (17) Mg/m³ である。二酸化プルトニウム (PuO_2) の融点は (18) °C である。また、一炭化ウラン (UC), 二ケイ化三ウラン (U_3Si_2) の融点は、それぞれ (19), (20) °C と報告されている。

640, 1132, 1665, 1750, 2390, 2490, 2865, 10.96, 11.72, 19.06

第2問 次の文章の下線部には誤った記述がある。その語句あるいは文を正しいものに直せ。ただし、否定記述は正答としない。

[否定記述の例] 二酸化ウランはウランと窒素の化合物である。→
 二酸化ウランはウランと窒素の化合物ではない。

(1) 鉱石からウランを浸出するには、ふつう硝酸が用いられる。鉱石が酸を多量に消費するようなものである場合には、ウランの錯体形成反応を利用したアルカリ浸出も採用される。アルカリ浸出剤としてはショウ酸ナトリウムが使われる。

(2) UF_6 を水蒸気と加熱すれば UO_2F_2 と UF_3 とに分解する。 UCl_6 の蒸気圧は室温で UF_6 よりも高いが、分子量が大きいため、ウラン濃縮には使われない。

(3) プルトニウム-酸素系でよく知られている固体化合物は Pu_2O_3 , PuO_2 , Pu_3O_8 である。 PuO_2 は UO_2 と固溶体をつくる。 PuO_2 の固溶範囲は 0 ~ 40 モルパーセントである。

- (4) ウランの水素化物には UH_2 , UH_3 の 2 相が存在する。プルトニウムの水素化物にも PuH_2 , PuH_3 の 2 相が存在する。 UH_3 相と PuH_3 相の結晶構造は異なり, UH_3 相が六方晶系であるのに対し, PuH_3 相は立方晶系である。
- (5) UO_2 は 立方晶系の体心構造をとる。同じ結晶構造をもった固体化合物としては CaF_2 , TiO_2 , CeO_2 のような例をあげることができる。
- (6) 二酸化ウランには不定比性 UO_{2-x} と UO_{2+x} とがある。 UO_{2-x} は高温では不安定で, 1400 °C 以下でのみ存在する。一方, UO_{2+x} の結晶構造についてみると, 酸素は UO_2 格子の中で欠陥のない状態で存在し, ウラン原子のみがランダムに欠損してできている。
- (7) UO_2 の熱伝導率はおおよそ 1800 °C まで 温度の上昇とともに増加し, この温度で最大を示した後は, 温度の上昇とともに減少する。UC の熱伝導率は室温から温度の上昇とともにやゝ減少し, 300~400 °C で緩やかな最小を示した後, 僅かに増加する。UC の熱伝導率は UO_2 の 50 倍ほども高い。
- (8) 酸化物燃料中の FP の存在状態には色々なものがあるが, O_2 , Kr , Xe , Br , I などは気体状, あるいは揮発性 FP として存在する。 Rb , Cs , Mo , 希土類元素 (Y , La , Ce , Pr , Nd , Pm , Sm など) のような FP は酸化物析出相をつくる。
- (9) 高出力運転をすると軽水炉燃料でも 中心温度は 3000 °C 以上の高温になり, 燃料ペレットに組織再編が起こる。組織再編後のペレット横断面をみると, 中心から外周部に向かって, 中心空孔, 等軸晶, 柱状晶, 不変領域の順になっている。
- (10) FP ガス放出率はふつう約 700 °C までは 1% 以下で 温度とともに減少するが, それより高温では 温度とともに増加する。これは 高温では FP ガス原子の燃料中の拡散よりも燃料表面からの反跳と,はじき出しが大きく寄与するためである。

第3問 実験室において酸素ボテンシャルを測定する方法は幾つかあるが、そのうち二つを選び、原理と特徴について300字以内で説明せよ。

第4問 物質の物理的性質、化学的性質に関する一般的知識を有する読者を想定して、原子炉内で固体の核分裂性物質を燃焼させると何が起きるか、核分裂現象から物質としての特性変化にいたる道筋の要点を400字以内でわかりやすく解説せよ。

第5問 核燃料に関連して次の事項を簡単に説明せよ。(ただし、(1)(2)(3)と(4)(5)は別の答案用紙に記入すること。)

- (1) 焼きしまり
 - (2) リローケーション
 - (3) PCI
-
- (4) 核分裂収率
 - (5) 合金燃料

第1問解答例

| | | | | | | |
|-----|------|-----------------------------------|------|-----------------|------|--------------------|
| (イ) | (1) | 3 C | (2) | 2 CO | (3) | 7/3 O ₂ |
| | (4) | 1/3 U ₃ O ₈ | (5) | CO ₂ | | |
| (ロ) | (6) | 黄 | (7) | 2 | (8) | 緑 |
| | (9) | 赤 | (10) | 6 | | |
| (ハ) | (11) | 1 7 5 0 | (12) | 1 1 . 7 2 | (13) | 1 1 3 2 |
| | (14) | 1 9 . 0 6 | (15) | 6 4 0 | (16) | 2 8 6 5 |
| | (17) | 1 0 . 9 6 | (18) | 2 3 9 0 | (19) | 2 4 9 0 |
| | (20) | 1 6 6 5 | | | | |

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学－現状と展望－」（(社)日本原子力学会、1993）
- ・菅野昌義、「原子炉燃料」（東京大学出版会、1976）
- ・長谷川正義、三島良績（監修）、「原子炉材料ハンドブック」（日刊工業新聞社、1977）

第2問解答例

(1) 硝酸が用いられる

→ 硫酸が用いられる

ショウ酸ナトリウムが使われる

→ 炭酸ナトリウムが使われる

(2) UO₂F₂とUF₆とに分解する→ UO₂F₂とHFとを生成するUF₆よりも高いが、分子量が大きいため→ UF₆よりも高いが、吸湿性が大きいため(3) よく知られている固体化合物はPu₂O₃、PuO₂、Pu₃O₈である→ よく知られている固体化合物はPu₂O₃、PuO₂である

固溶範囲は0～40モルパーセント

→ 固溶範囲は0～100モルパーセント

(4) UH_2 、 UH_3 の2相が存在する

→ $\alpha - \text{UH}_3$ 、 $\beta - \text{UH}_3$ の2相が存在する

UH_3 相が六方晶系であるのに対し、 PuH_3 相は立方晶系である

→ UH_3 相が立方晶系であるのに対し、 PuH_3 相は六方晶系である

(5) 立方晶系の体心構造をとる

→ 立方晶系の面心構造をとる

CaF_2 、 TiO_2 、 CeO_2 のような例

→ CaF_2 、 ThO_2 、 PuO_2 のような例

(6) UO_{2-x} は高温では不安定で、1400°C以下でのみ存在する

→ UO_{2-x} は低温では不安定で、1300°C以上でのみ存在する

酸素は UO_2 格子の中で欠陥のない状態で存在し、ウラン原子のみがランダムに欠損してできている

→ ウランは UO_2 格子の中で欠陥のない状態で存在し、酸素原子のみがクラスター（欠陥複合体）を形成して存在している

(7) 温度の上昇とともに増加し、この温度で最大を示した後は、温度の上昇とともに減少する

→ 温度の上昇とともに減少し、この温度で極小を示した後は、温度の上昇とともに増加する

UO_2 の50倍ほども高い

→ 例えば1000°Cで UO_2 の7倍ほども高い

(8) O_2 、 Kr 、 Xe 、 Br 、 I などは気体状、あるいは揮発性FP

→ Kr 、 Xe 、 Br 、 I などは気体状、あるいは揮発性FP

Rb 、 Cs 、 Mo 、希土類元素（ Y 、 La 、 Ce 、 Pr 、 Nd 、 Pm 、 Sm など）のようなFP

→ Rb 、 Cs 、 Ba 、 Sr 、 Zr 、 Nb 、 Mo 、(Te)などのFP

(注) 燃料の酸素ポテンシャル及び温度等によっては、 Te 、 Cs 及び Rb は揮発性FP、また、 Zr 、 Nb 及び Mo は UO_2 に固溶する酸化物も形成する。

(9) 中心温度は3000°C以上の高温になり

→ 中心温度は1600°C以上の高温になり、

中心空孔、等軸晶、柱状晶、不变領域の順

→ 中心空孔、柱状晶、等軸晶、不变領域の順

(10) 温度とともに減少するが、それより高温では温度とともに増加する

→ 温度に依存しないが、それより高温では温度とともに増加する

高温では F P ガス原子の燃料中の拡散よりも燃料表面からの反跳と、はじき出しが大きく寄与するため

→ 約 700°C 以下では F P ガス原子の燃料中の拡散よりも燃料表面からの反跳と、はじき出しが大きく寄与するため

[参考書の紹介]

- ・ 極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学－現状と展望－」（（社）日本原子力学会、1993）
- ・ 菅野昌義、「原子炉燃料」（東京大学出版会、1976）

第3問解答例

熱重量法：

酸素分圧を制御した気流中において、熱天秤により試料の質量変化を測定する。酸素分圧の制御には、CO / CO₂ または H₂ / H₂O 混合ガスによる化学平衡が用いられる。試料の O / M 比（あるいは定比からのずれ）は、質量変化から求められる。

固体電池EMF法：

固体電解質により電池を形成し、起電力（EMF）を測定する。固体電解質には、ZrO₂ - CaO、ThO₂ - Y₂O₃などが用いられる。固体電解質を試料と酸素ポテンシャルの基準にする Ni - NiO 混合体で挟み、その間の起電力から酸素ポテンシャルが求められる。

[参考書の紹介]

- ・ 極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学－現状と展望－」（（社）日本原子力学会、1993）

第4問解答例

核分裂性物質が中性子を吸収し励起状態となり、これが 2 個の核分裂片に分裂し、同時に中性子、β線、γ線、ニュートリノを放出する。1 回の核分裂で放出されるエネルギーは、約 200 MeV である。核分裂片は、安定な核に比べて中性子を余分に持っているので、つぎつぎと一連の β崩壊の系列をつくって、最後に安定な核になる。核分裂のために、固体核分裂性物質中の格子欠陥は増大し、物質の移動速度が大きくなり、焼きしまりが起こる。核分裂生成物（FP）は、気体状と固体状のものに大別される。気体状 FP は、固体核分裂性物質内に気泡を形成し体積増加（スエリング）を引き起こすか、単原子の形で拡散し固体核分裂性物質外へ放出する。固体状 FP は、固体核分裂性物質内に蓄積しスエリングを引き起こす一因となるほか、熱伝導度、クリープ特性、融

点などの変化をもたらす。

[参考書の紹介]

- ・長谷川正義、三島良績（監修）、「原子炉材料ハンドブック」（日刊工業新聞社、1977）
- ・極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学 - 現状と展望 -」（（社）日本原子力学会、1993）

第5問 解答例

(1) 焼きしまり

照射中に燃料ペレットが収縮する現象を焼きしまりという。燃料を照射すると、核分裂のために燃料中の格子欠陥が増大し、燃料構成原子の自己拡散の促進およびそれに伴う焼結の促進、気孔の収縮・消滅などが起き、これらが焼きしまりの原因と考えられている。焼きしまりにより、線出力密度の増大、軸方向ギャップの形成による出力スパイク、軸方向ギャップ部での被覆管のつぶれ、ペレット-被覆管ギャップの増大などが引き起こされる。焼きしまりの程度は、1700°C、24時間の炉外加熱による熱的焼きしまりの測定により評価できる。

[参考書の紹介]

- ・軽水炉燃料のふるまい編集委員会（編集）、「軽水炉燃料のふるまい」（（財）原子力安全研究協会、1990）
- ・長谷川正義、三島良績（監修）、「原子炉材料ハンドブック」（日刊工業新聞社、1977）

(2) リローケーション

発電炉で燃料の装荷が終わり、炉の出力上昇が始まると、ペレット内部に生じる大きな温度勾配による熱応力のために、出力上昇の過程でペレットは割れる。割れた破片は径方向外側へ移行し、ペレット・被覆ギャップを減少させる。この燃料ふるまいをリローケーション（relocation、リロケーション、ならびかえ）という。この結果、ペレットが円柱状で存在する場合よりもギャップ熱伝達率は改善され、ペレット温度は低くなる。ペレット内の割れ空間は、ペレットの再焼結や組織変化によって閉じ込められ空孔としてふるまうが、高温になると中心部に移動して中心空孔を形成する。

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学 - 現状と展望 -」（（社）日本原子力学会、1993）
- ・軽水炉燃料のふるまい編集委員会（編集）、「軽水炉燃料のふるまい」（（財）原子力安全研究協会、1990）

(3) PCI

Pellet-Clad Interaction (ペレット-被覆相互作用) の略である。UO₂ペレットはジルカロイよりも熱膨張率が大きいこと、ペレットのリロケーション及びスエリング、並びに被覆管のクリープダウンにより、ペレット-被覆管ギャップは消失し、ペレットと被覆管は相互作用をするようになる。PCIは、PCM I (Pellet-Clad Mechanical Interaction、ペレット-被覆力学的(機械的)相互作用) とPCCI (Pellet-Clad Chemical Interaction、ペレット-被覆化学的相互作用) とに大別されることもある。出力急昇時の破損は、力学的相互作用とFPのヨウ素による応力腐食破損またはPCI破損とも呼ばれている。

[参考書の紹介]

- ・軽水炉燃料のふるまい編集委員会(編集)、"軽水炉燃料のふるまい"((財)原子力安全研究協会、1990)

(4) 核分裂収率

1回の核分裂におけるそれぞれの核分裂生成物の生成確率のことを、核分裂収率(fission yield)という。核分裂収率は、核分裂核種及び中性子エネルギーによって異なる。²³⁵Uの核分裂では、核分裂収率は、質量数が約95と約140に2つのピーク示す。²³⁹Puの場合は、低質量側のピーク位置が質量数で約4だけ高質量側へずれており、貴金属元素(Ru、Rh、Pd)の収率が²³⁵Uの場合よりも高い。このことは、酸化物燃料では、²³⁵Uの核分裂よりも²³⁹Puの核分裂の方が酸素の余剰度が高いことを意味しており、FPの化学形及び被覆管の腐食挙動に影響する。

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会(編集)、"核燃料工学 - 現状と展望 - " ((社)日本原子力学会、1993)

(5) 合金燃料

合金燃料は、それぞれの金属燃料の欠点を是正する目的で、開発されてきている。 α -Uの結晶学的異方性による欠点を除くために、約10%のMoを加えJの γ 相を安定化した γ 合金ウラン燃料、微量のFe、Alなど添加して α -Uの耐スエリング性を改善した調整ウラン燃料などが挙げられる。金属Puは、913Kの融点までの間に6種の変態を示すなど、このままでは実用困難であり、U-Pu-Zr合金などとして使用される。TRU消滅処理のために、U-Pu-TRU-Zrなどの合金燃料も研究されている。一般に、合金燃料は、重原子密度が高く、熱伝導度が高いという特長をもっている。

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会(編集)、"核燃料工学 - 現状と展望 - " ((社)日本原子力学会、1993)

1. 3 第26回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の取扱いに関する技術

第1問 次の文は、MOX（混合酸化物）燃料ペレットの製造について述べたものである。下の間に答えよ。

MOX燃料のペレット製造において、原料UO₂粉末とPuO₂粉末を混合するのに、①を使った粉碎混合法を用いる。これは、混合特性を良くし、焼結時の②をはかるためである。原料として③法で製造したMOX粉末を使う場合もある。また、粉末混合法のほか、④法により製造した共沈粉を使う場合があるが、ここでは、Pu割合が約⑤%にマスター混合したあと、UO₂粉末を添加し、所定の富化度に調整する。ペレット型MOX燃料のほか、溶液の⑥により製造した微小球粒子を被覆管に⑦法で詰めたスフェアパック燃料も試験されている。

⁽¹⁾ MOX燃料ペレットの検査では、UO₂ペレットと同様な検査のほか、⑧及びPuスポット検査が行われる。Puスポットの検出法として⑨が使われる。

製造及び検査における外部被曝管理では、Pu同位体中の⑩及び⑪による中性子線、並びに²⁴¹Puからβ崩壊で生成する⑫のγ線による外部被曝に注意する必要がある。

(1) 文中の□内に最適な語句、記号を記入せよ。

[解答例] ⑬—核燃料

(2) 下線(1)のスフェアパック燃料の製造利点を簡単に説明せよ。

(3) 下線(2)のPuスポットが照射挙動に与える影響を簡単に記せ。

第2問 照射後試験において、次の現象を調べるための試験法を簡単に述べよ。

〔解答例〕

- (5) 軽水炉燃料のペレット・被覆管ギャップ：機械的圧縮法により燃料棒の径方向に荷重をかけ、荷重・変位曲線によりペレットと被覆管ギャップを測定する
- (1) 軽水炉燃料ペレットの組織変質（リム効果）
- (2) 高温ガス炉被覆粒子燃料のアーメーバ効果
- (3) MOX（混合酸化物）燃料ペレットのプルトニウム再分布
- (4) 燃料ペレットの融点

第3問 核燃料施設における作業員の被ばく低減化のために、どのような方策を講ずべきか、以下の例について答えよ。

- (1) プルトニウム燃料ペレットの表面を研削する装置の据え付けられたグローブボックスにおいて、研削粉末に起因する作業員の被ばくが考えられる。その低減を図るために、どのような対策を講ずべきか、その対策について2つあげて説明せよ。
- (2) 運転員が誤ってバルブを操作したために、放射性廃液が貯槽から流れ出て床を汚染してしまった。その後の復旧作業における作業員の被ばくの低減を図るために、どのような対策を講ずべきか、その対策について2つあげて説明せよ。

第4問 核燃料施設の臨界に関する以下の各問について、(イ), (ロ), (ハ)のうちから正しいと思われるものを解答例に従って選べ。

〔解答例〕 (6)——(イ)

- (1) 臨界安全評価における燃焼度クレジットとは、燃焼による核燃料物質の反応度の、(イ)減少、(ロ)不変、(ハ)増加を考慮することである。
- (2) 臨界安全評価における二重偶発性の原理とは、独立した(イ)1つ、(ロ)2つ、(ハ)3つの事象が同時に生じることで、臨界が発生することをさす。
- (3) 臨界警報装置において、同じ場所に3系統の検知装置を設けた場合には、信頼性の観点からその3系統のうち(イ)1つ、(ロ)2つ、(ハ)3つが同時に信号を検知したときのみに、警報を発するようとする。
- (4) 水溶液系における臨界事故では、初期バースト（スパイク部）における核分裂数は、全核分裂数の半分よりも(イ)小さい、(ロ)等しい、(ハ)大きい。
- (5) 再処理施設における立地評価事故として想定する臨界事故においては、全核分裂数を約10の(イ)15乗、(ロ)20乗、(ハ)25乗として評価を行う。

第5問 核燃料物質の取扱いに関連して次の事項を簡単に説明せよ。(ただし、(1)(2)(3)と(4)(5)は別の答案用紙に記入すること。)

- (1) 多重防護
 - (2) 再処理における遠心清澄機
 - (3) エア・リフト・ポンプ
-
- (4) モジュール型ホットラボ
 - (5) レーザーウラン濃縮

第1問解答例

- | | | | |
|-----|---------------------|---------------------|-----------------------|
| (1) | ① ボールミル | ② 固溶化 | ③ MIMAS |
| | ④ AUPuC | ⑤ 40 | ⑥ ゲル化 |
| | ⑦ 振動充填 | ⑧ Pu富化度分析 | ⑨ α オートラジオグラフィ |
| | ⑩ ^{238}Pu | ⑪ ^{240}Pu | ⑫ ^{241}Am |

(2)

スフェアパック燃料の製造においては、粉末を取り扱わないで済むという利点がある。粉末を取り扱う製造工程では、製造設備の各所にプルトニウムの微粒子が蓄積してしまい、線量率が高くなる大きな原因の1つになっている。

(3)

Puスポットでは局所的な発熱が生じるため、それにより局所的な高温部ができるとともに、局所的な高燃焼度領域となる。その結果、均一分布の場合に比べて、FPガスの放出率が高くなる。

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学－現状と展望－」（（社）日本原子力学会、1993）
- ・軽水炉燃料のふるまい編集委員会（編集）、「軽水炉燃料のふるまい」（（財）原子力安全研究協会、1990）

第2問解答例

(1) 軽水炉燃料ペレットの組織変質（リム効果）：

ペレットを研磨し、光学顕微鏡または走査型電子顕微鏡により、組織を観察する。ペレットの破面を走査型電子顕微鏡により観察する。

(2) 高温ガス炉被覆粒子燃料のアーベー効果：

燃料コンパクト（または被覆燃料粒子）を研磨し、光学顕微鏡により、燃料核の移動を観察する。被覆燃料粒子のX線ラジオグラフィにより、燃料核の移動を観察する。

(3) MOX（混合酸化物）燃料ペレットのプルトニウム再分布：

ペレットを研磨し、EPMA（Electron Probe Micro-Analyzer）により、プルトニウムの分布を測定する。

(4) 燃料ペレットの融点：

燃料ペレットを徐々に加熱していき、融解熱のために、温度上昇が一時的にとまり温度が一定になるところを測定する。

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学－現状と展望－」（（社）日本原子力学会、1993）
- ・軽水炉燃料のふるまい編集委員会（編集）、「軽水炉燃料のふるまい」（（財）原子力安全研究協会、1990）
- ・長谷川正義、三島良績（監修）、「原子炉材料ハンドブック」（日刊工業新聞社、1977）

第3問解答例

(1)

作業員の被曝としては、 γ 線と中性子線による外部被曝が考えられる。 γ 線被曝に関しては、グローブボックス内や機器に付着した粉末の管理が重要であることはもちろんであるが、空間線量率を下げるために鉛による遮蔽をすべきである。中性子線被曝に関しては、被曝防止上、工程の自動化、遠隔化を行うべきである。

(2)

作業員の被曝としては、内部被曝と外部被曝が考えられる。内部被曝を防止するため、空気中の放射能濃度を測定するとともに、必要に応じて防護マスク等の着用をすべきである。外部被曝の低減を図るためにには、遮蔽の設置、作業の遠隔化、作業時間の管理を行うべきである。

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学－現状と展望－」（（社）日本原子力学会、1993）
- ・江藤秀雄、他、「放射線の防護」（丸善、1972）

第4問解答例

- | | |
|-----|-----|
| (1) | (イ) |
| (2) | (ロ) |
| (3) | (ロ) |
| (4) | (ハ) |
| (5) | (ロ) |

[参考書の紹介]

- ・核燃料施設臨界安全管理編集委員会、"核燃料の臨界安全"（（財）原子力安全研究協会、1984）
- ・I S U原子力情報リサーチグループ（編集）、「核燃料再処理」（アイ・エス・ユー株式会社、1977）

第5問解答例

(1) 多重防護

原子炉施設及び核燃料施設の安全確保の基本的な考え方である。多重防護の考え方とは、つぎのような3つのレベルの考え方に入ったがって、プラントの運転員さらには周辺公衆に対して放射線災害を引き起こさないように、安全性を確保するものである。第1のレベルは、異常の発生が防止されること。第2のレベルは、仮に異常が発生したとしてもその波及、拡大が抑制されること。第3のレベルは、さらに異常が拡大すると仮定してもその影響が緩和されること。

[参考書の紹介]

- ・浅田忠一、他（監修）、「新版原子力ハンドブック」（オーム社、1989）

(2) 再処理における遠心清澄機

溶解工程後の清澄工程において、使用済み燃料溶解液中に含まれる核分裂生成物の貴金属元素やジルカロイ被覆管の微粉などの不溶解残渣を除去し、抽出工程における界面でのクラッド形成を防ぐためのものである。清澄する溶解液の放射能レベルが極めて高いので各種の技術的工夫がなされており、遠心清澄機の駆動部・軸受部は、放射線遮蔽スラブによってボウル（遠心回転器）部と隔離されている。不溶解残渣は、ボウル内部壁面へ沈降分離される。

[参考書の紹介]

- ・内藤奎爾（訳）、「燃料サイクル〔下〕」（筑摩書房、1987）

(3) エア・リフト・ポンプ

圧縮空気により液体があるレベルからより高いレベルまで上げるために、細い管内に加圧した空気を注入することにより、液体が気泡の上昇とともに上昇する。エア・リフト・ポンプは、機械式ポンプのような保守管理を必要としないので、ホットセル内などの液移送システムに組み込まれることがある。

[参考書の紹介]

- ・清瀬量平（訳）、「燃料再処理と放射性廃棄物管理の化学工学」（日刊工業新聞社、1983）

- ・内藤奎爾（監訳）、「燃料サイクル [下]」（筑摩書房、1987）

(4) モジュール型ホットラボ

コンクリートセル内に、遠隔操作で搬入・搬出が可能なモジュール化（標準化）された閉じ込めボックスを設置したものであり、英國のハーウエル研究所の放射化学セルがこのタイプである。モジュール型ホットラボの特長は、照射後試験内容の変更に容易に対応できる柔軟性があること、閉じ込めボックスによりアクチニドを取り扱えること、除染、メインテナンス作業時の被曝の低減化が図られていること、将来の施設の解体法が予め検討された構造であること、などである。

[参考書の紹介]

- ・極限燃料技術研究専門委員会（編集）、「核燃料工学－現状と展望－」（(社)日本原子力学会、1993）

(5) レーザーウラン濃縮

レーザーウラン濃縮は、原料により、分子法と原子法に大別される。分子法の場合には、原料として UF_6 を用い、 $UF_6 \rightarrow UF_6 + F$ の光解離反応における同位体シフトを利用し、 $^{235}UF_6$ を選択的に光解離させ、微粉体の $^{235}UF_6$ を捕集する。原子法の場合には、金属ウランを蒸発させ、電子励起に係わる光吸収スペクトルの同位体シフトを利用して、 ^{235}U を選択的に光電離させ、電極面に回収する。レーザーウラン濃縮は、他の方法に比べ分離係数が大きく1回の分離操作で低濃縮ウランを生産でき、また、回収ウランのように ^{232}U や ^{236}U などを含むものからの ^{235}U の濃縮も可能である。

[参考書の紹介]

- ・浅田忠一、他（監修）、「新版原子力ハンドブック」（オーム社、1989）
- ・内藤奎爾（監訳）、「燃料サイクル [上]」（筑摩書房、1987）
- ・清瀬量平（訳）、「ウラン濃縮の化学工学」（日刊工業新聞社、1985）

1. 4 第26回核燃料取扱主任者試験 放射線の測定及び放射線障害の防止に関する技術

第1問 次の各問について、答えを1つだけ選べ。

[解答例] (6)——⑦

(1) 気体の電離作用を利用した検出器の印加電圧とその特性に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① 印加電圧が再結合領域にあるときは、電離作用によって生じた陽イオンはすべて再結合するため、電極に到達することはない。
- ② 印加電圧が電離箱領域にあるときは、エネルギーが同じ α 線と β 線では同じ電離電流値が得られる。
- ③ 印加電圧が比例計数管領域にあるときは、入射放射線のエネルギーに比例した出力が得られる。
- ④ 印加電圧がGM計数管領域にあるときは、電離放射線の種類やエネルギーに係わらず同じ大きさの出力パルスが得られる。
- ⑤ 印加電圧が連続放電領域にあるときは、入射放射線による電離電流に比例した電流出力が継続して得られる。

(2) GM計数管の回復時間 τ_r 、不感時間 τ_d 及びGM計数装置の分解時間 τ との関係について、次のうち正しいものはどれか。

- ① $\tau_r < \tau_d < \tau$
- ② $\tau_r < \tau < \tau_d$
- ③ $\tau_d < \tau_r < \tau$
- ④ $\tau < \tau_d < \tau_r$
- ⑤ $\tau_d < \tau < \tau_r$

(3) 次のシンチレータのうち、 ^{137m}Ba の γ 線測定に適さないものはどれか。

- ① NaI (Tl)
- ② BGO
- ③ ZnS (Ag)
- ④ CaF₂ (Eu)
- ⑤ プラスチックシンチレータ

(4) 次の半導体検出器とその特性に関する記述のうち、誤っているものはどれか。

- ① CdTe や GaAs などの化合物半導体検出器は、常温での保存や使用が可能で、検出効率が良いなどの多くの利点がある。
- ② 高純度 Ge 半導体検出器は、低温では電気抵抗がきわめて大きく、高いバイアス電圧がかけられるので、常温で保存や使用が可能である。
- ③ 表面障壁型 Si 半導体検出器は、入射面でのエネルギー損失が小さく、エネルギー分解能が非常に良いため、 α 線などのエネルギー測定に使用される。
- ④ p-n 接合型半導体検出器は、構造的には丈夫であるが、入射面でのエネルギー損失による分解能の低下が問題となる。
- ⑤ Li ドリフト型 Ge 半導体検出器は、有効領域が 100 cm^3 以上のものが製作されており、 γ 線のエネルギー測定に有効であるが、常時液体窒素で冷却する必要がある。

(5) 次の線量計のうち、個人線量計として適切でないものはどれか。

- ① フィルムバッジ
- ② ポケット線量計
- ③ 熱ルミネッセンス線量計
- ④ 蛍光ガラス線量計
- ⑤ 鉄線量計

第2問 周辺監視区域外の水中の濃度限度に近い放射能濃度の²³⁷Np, ¹³⁷Cs 及び³Hを含む混合溶液がある。この溶液中の核種毎の放射能濃度の測定法について、測定試料の作製方法及びその試料の測定に適した測定器の種類について知るところを核種毎に150字程度で要点のみを簡明に記せ。ただし、測定器の校正方法及びバックグラウンドの低減方法については記載する必要はない。なお、それぞれの核種に対する周辺監視区域外の水中の濃度限度の値は次のように定められているものとする。

²³⁷Np に対して 1×10^{-3} Bq/cm³

¹³⁷Cs に対して 7×10^{-2} Bq/cm³

³H に対して 6×10^1 Bq/cm³

第3問 次の文章の空欄の部分に適切な語句又は数値を番号とともに記せ。

[解答例] ⑪——空気吸収線量

放射線業務従事者の体内摂取量を評価する方法には、①, ②及び計算法がある。①は、③又は肺モニタ等の測定装置を用い、④した放射能を体外から測定する方法である。②は、主に⑤, ⑥を測定試料として体内に残留する放射能を評価する。その他の測定試料としては、痰、唾液、呼気などがある。計算法は、作業者の呼吸域の⑦、使用した防護具の防護係数、呼吸率及び⑧などから、作業者の吸入量を評価する方法である。これらの方により体内摂取量を評価し、その値と⑨とを比較して預託線量当量を計算する。外部被ばくによる線量当量が過去の線量を求めるのに対して、内部被ばくによる線量当量は、摂取後⑩年間の将来の線量を評価するものである。

第4問 放射線の生物学的影響に関する次の間に番号で答えなさい。

解答例 (1)——3

(1) 急性障害の指標である LD_{50/30} の 30 とは、次のどれを意味するか。

1. 30 個体 2. 30 週 3. 30 Gy 4. 30 % 5. 30 日

(2) 血液中のリンパ球が減少する最小線量と言われている線量は次のどれか。

1. 50 mSv 2. 100 mSv 3. 250 mSv 4. 500 mSv 5. 1500 mSv

(3) 体内に摂取され、血中に入ったとき骨内表面の線量が問題となる核種は次のうちのどれか。

1. ¹³⁷Cs 2. ²³⁹Pu 3. ⁹⁰Sr 4. ¹³¹I 5. ⁴⁵Ca

(4) 同じ線量当量 (Sv) の放射線被ばくにおいて、長期間にわたって被ばくする場合と短時間被ばくの場合を比較したとき、正しいものを選びなさい。

1. 長期間被ばくの方が生物学的効果は小さい。
 2. 長期間被ばくの方が生物学的効果は大きい。
 3. どちらも生物学的効果は変わらない。
 4. 放射線の種類によって生物学的効果は異なる。
 5. 放射線のエネルギーによって生物学的効果は異なる。

(5) 次の放射線障害のうち、非確率的影響の正しい組み合せを選びなさい。

- | | | |
|----------|---------|--------|
| ① 白血球の減少 | ② 白血病 | ③ 肝臓ガン |
| ④ 放射線宿醉 | ⑤ 甲状腺ガン | |
1. ①と② 2. ②と③ 3. ①と④ 4. ③と④ 5. ③と⑤

(6) 次の放射線のうち、酸素効果が無いか、または極めて少ないものの正しい組み合せを選びなさい。

- ① α 線 ② β 線 ③ γ 線 ④ 中性子線 ⑤ X 線
 1. ①と② 2. ①と④ 3. ②と④ 4. ③と⑤ 5. ④と⑤

(7) 天然ウランによる体内汚染が生じたとき、最も問題となる臓器を次の中から選びなさい。

1. 甲状腺 2. 脾臓 3. 胆嚢 4. 生殖腺 5. 腎臓

(8) ^{239}Pu を多量に吸入摂取した時、障害がほとんど問題にならない臓器を次の中から選びなさい。

1. リンパ節 2. 骨組織 3. 肺 4. 脾臓 5. 肝臓

(9) 放射線感受性の最も低い臓器・組織を次の中から選びなさい。

1. 眼 2. 骨髄 3. 血管 4. 腸 5. 皮膚

(10) 線質係数が依存するものを次の中から選びなさい。

1. RBE 2. LET 3. LD₅₀ 4. 物理的半減期 5. G 値

第5問 放射線防護における次の語句について簡単に説明せよ。

- (1) 実効線量当量と荷重係数の関係
- (2) 線量一効果関係
- (3) 鼻腔スミア
- (4) 誘導実用限度
- (5) 骨の晩発障害

第1問 解答例

(1) ④

検出器の印加電圧を順に上げていくと、再結合領域、電離箱領域、比例領域、GM領域、放電領域となり、比例領域は最初に発生した電子-イオン対数に比例するが、GM領域では無関係になる。

(2) ⑤

不感時間；パルスが生じない時間、分解時間；パルスは生じるが検出できない時間、回復時間；出力パルスが最初の大きさに戻るまでの時間

(3) ③

ZnS(Ag) は α 線

(4) ②

高純度 Ge 半導体検出器でも常温での使用は出来ない。

(5) ⑤

鉄線量計は数百 Svまでの高線量を測定する測定器で、個人線量計としては適切でない。

(参考文献) 放射線概論, 石川友清編, 通商産業研究社

放射線用語辞典, 飯田博美編, 通商産業研究社

第2問 解答例

- ^{237}Np は α 線と γ 線放出核種である。 ^{237}Np の娘核種である ^{233}U の半減期が十分長いことから全 α 測定が可能である。試料水を蒸発乾固させガスフロー式比例計数管により全アルファ測定を行う。この時、試料量、測定時間で検出下限濃度が濃度限度を下回るよう注意する。なお、蒸発乾固試料の α 線の自己吸収にも注意する。

- ^{137}Cs は β 線と γ 線放出核種である。500 ml程度の試料量を採取後、直接 γ 線波高分析装置で測定し、 ^{237}Np の γ 線を分離して ^{137}Cs の γ 線ピークの0.662 MeVのみを選択計算することにより定量する。

- ^3H は軟 β 線放出核種である。試料水を蒸留し、冷却凝縮した水試料5～10 mlをバイアル瓶で液体シンチレータと混合して、液体シンチレーションカウンターで測定、定量する。蒸留、凝縮することにより ^{137}Cs , ^{237}Np による影響及びクエンチングを取り除ける。

(参考文献) 放射線概論, 石川友清編, 通商産業研究社

主任者のための放射線管理の実際, 日本アイソトープ協会

第3問 解答例

- ① 体外計測法 ② バイオアッセイ法 ③ ヒューマンカウンター ④ 摂取
 ⑤ 尿 ⑥ 粪 ⑦ 空気中放射性物質の平均濃度 ⑧ 作業時間 ⑨ 年摂取限度
 ⑩ 50

(参考文献) 放射線概論, 石川友清編, 通商産業研究社

主任者のための放射線管理の実際, 日本アイソトープ協会

内部被ばくにおける線量当量の測定・評価マニュアル, 原子力安全技術センター

第4問 解答例

- (1) 5 ; LD₅₀/30 は一群の被照射動物が30日間内に半数(50%) が死亡する線量をいう。
 (2) 3 ; リンパ球の減少が検出できる最小線量は0.25 Sv
 (3) 2 ; 向骨性元素はPu, Sr, Caで、これなのなかでも²³⁹Pu はα線放出核種である。
 (4) 1 ; 生体の回復作用、線量率効果参照
 (5) 3 ; 確率的影響、ガン及び遺伝的影响、しきい値なし。非確率的影响、しきい値がある。この中では、白血病は血液のガンであるため、白血球の減少及び放射線宿醉が非確率的影响にあげられる。
 (6) 2 ; 酸素分圧が照射時に生物学的最終効果に影響を与える、この効果を酸素効果という。酸素効果は、α 及び中性子線では効果が無くなるか減少する。
 (7) 5 ; ウランは腎臓に沈着
 (8) 4 ; 吸入摂取の場合、肺、リンパ節に沈着、体内に吸収された場合、Puは骨組織、肝臓に沈着する。
 (9) 3 ; 組織の放射線感受性は「放射線に対する細胞の感受性は増殖の活動力の程度に比例し、分化の程度に逆比例する。」というベルゴニー・トリボンドーの法則がある。感受性により組織を分類すると、感受性の高いものとして、生殖腺、骨髄、リンパ組織、脾臓、胸腺、胎児の組織、中程度のものとして、皮膚、腸、眼、低いものとして、肝、筋組織、結合組織、血管、脂肪組織、神経組織、骨、唾液腺があげられる。
 (10) 2 ; 線質係数は同一線量でも放射線の種類及びエネルギーにより人に与える効果が異なることから、放射線防護上、この効果の程度を示している。放射線のLETのみに関連している。

(参考文献) 放射線概論, 石川友清編, 通商産業研究社

核燃料取扱技術, 日本原子力産業会議

放射線用語辞典, 飯田博美編, 通商産業研究社

第5問 解答例

(1) 実効線量当量と荷重係数の関係

放射線を受けたときのリスクは人体の各組織ごとに異なるため、単位線量当量当たりのリスクに比例し、全組織についての合計が1となるように各組織ごとに荷重係数が決められた。各組織の荷重係数と各組織の線量当量との積の合計が実効線量当量となる。このことから均等照射、不均等照射にかかわらず、同じ尺度で確率的影響の防護が図れることになる。荷重係数は I C R P の勧告によるもので、1990年勧告では、新たに結腸、胃、膀胱、肝臓、食道、皮膚が項目が加えられた。

(2) 線量－効果関係

放射線量と生物学的效果との関係で、線量と効果の間にしきい値がなく直線関係が成り立つ影響（確率的影響）と低線量では効果が無いよう見え、ある線量（しきい値）から影響が出始め、それ以上に線量がふえると、その症状の重篤度と線量との関係がシグモイド曲線で示される影響（非確率的影響）がある。

(3) 鼻腔スミア

内部被ばくの有無をチェックする簡便な方法。ろ紙付の綿棒で鼻腔内をスミア採取し、ろ紙上の放射能を測定する。放射性物質を吸入した恐れのある場合できるだけ早期に鼻腔スミアを取ることが大切。経気道摂取では、鼻孔粘膜に粒子径の大きい放射性物質がとらえられることによる。

(4) 誘導実用限度

誘導作業限度（D W L）とも言う。放射線管理の実務を容易にするために定められた線量当量限度や年摂取限度に対応したモニタリングの測定値。被ばく経路のモデルを用いることにより算出される。誘導実用限度の例としては、線量当量率、表面密度、食品中の放射性物質の濃度などの限度がある。

(5) 骨の晩発障害

骨の晩発障害は骨腫瘍が挙げられる。この骨腫瘍は癌の一種であり、また、骨に集まる性質のPu, Ra, Sr等は体内摂取した場合、骨の部分照射となり骨腫瘍発生の原因となる。この他に骨自体の障害ではないが、白血病も赤色骨髓の被ばくに起因している。

（参考文献）放射線概論、石川友清編、通商産業研究社

主任者のための放射線管理の実際、日本アイソトープ協会

放射線用語辞典、飯田博美編、通商産業研究社

2. 第27回核燃料取扱主任者試験問題解答例

2. 1 第27回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質に関する法令

第1問 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「原子炉等規制法」という。）に関連する法令について、次の文章中の空欄に適切な語句又は数値を記せ。

[解答例] ①——東京

- (1) 原子炉等規制法は、原子力基本法の精神にのっとり、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の利用が ① の目的に限られ、かつ、これらの利用が計画的に行われることを確保するとともに、これらによる ② を防止し、及び核燃料物質を ③ して公共の安全を図るために、製鍊、加工、再処理及び廃棄の事業並びに原子炉の設置及び運転等に関する必要な規制等を行うことなどを目的とする。
- (2) 加工事業者は、核燃料物質の取扱いに関して ④ の監督を行わせるため、核燃料取扱主任者免状を有する者のうちから、核燃料取扱主任者を選任しなければならない。
- (3) 加工事業者は、加工設備の操作に関して次の措置を採らなければならない。
- 1 加工設備の操作に必要な ⑤ を有する者に行わせること。
 - 2 ⑥ の場合に採るべき処置を定め、これを操作員に守らせること。
 - 3 換気設備、⑦ 測定器及び非常用設備は、常にこれらの機能を発揮できる状態に維持しておくこと。
- (4) 再処理事業者は、保安規定を定め、事業開始前に、内閣総理大臣の ⑧ を受けなければならぬ。

- (5) 再処理事業者は、再処理施設の ⑨ について、内閣総理大臣が毎年1回定期に行う ⑩ を受けなければならぬ。

- (6) 再処理事業者は、⑪区域については、人の居住を禁止するとともに、境界にさく又は標識を設ける等の方法によって⑪区域に業務上立ち入る者以外の者の立入りを制限しなければならない。ただし、当該地域に人が立ち入るおそれのないことが明らかな場合は、この限りではない。
- (7) 天然ウラン及びその化合物の場合、ウランの量が⑫グラム以下のものは、使用の許可を要しない。
- (8) 廃棄物埋設事業者は、次の事項について、核燃料物質及び核燃料物質によつて汚染された物の放射能の⑬に応じて総理府令で定めるところにより、保安のために必要な措置を講じなければならない。
- 1 廃棄物埋設施設の⑭
 - 2 核燃料物質及び核燃料物質によつて汚染された物の⑮(廃棄物埋設施設を設置した事業所内の⑯に限る。)又は⑯
- (9) 廃棄物埋設又は廃棄物管理の事業において核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の取扱いに従事する者は、廃棄物取扱主任者がその取扱いに関して⑰のためにする指示に従わなければならない。
- (10) 周辺監視区域外の線量当量限度は、実効線量当量について1年間につき⑯シーベルト、皮膚及び眼の水晶体の組織線量当量についてそれぞれ1年間につき⑯シーベルトである。
- (11) 管理区域における外部放射線に係る線量当量は、1週間につき⑯シーベルトである。

第2問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき、再処理事業者が講じなければならない措置に関して次の間に答えよ。

[解答例] ⑫——日本の首都

(1) 再処理事業者が、核燃料物質の貯蔵に関して採らなければならぬ措置について、次の文章の空欄を埋めよ。

- 1 核燃料物質の貯蔵は、貯蔵施設において行うこと。
- 2 貯蔵施設の目につきやすい場所に、貯蔵上の注意事項を掲示すること。
- 3 核燃料物質の貯蔵に従事する者以外の者が貯蔵施設に立ち入る場合は、
① に従わせること。
- 4 使用済燃料は、冷却について必要な措置を採ること。
- 5 核燃料物質の貯蔵は、いかなる場合においても、
② おそれがないように行うこと。
- 6 プルトニウム又はその化合物の貯蔵は、プルトニウム又はその化合物が
③ に封入して行うこと。ただし、グローブボックスその他の気密設備の内部において貯蔵を行う場合その他プルトニウム又はその化合物が漏えいするおそれがない場合は、この限りでない。

(2) 再処理事業者が、固体状の放射性廃棄物を容器に封入し、又は容器に固形化して放射線障害防止の効果を持った保管廃棄施設に保管廃棄する場合に、法令上遵守すべき事項について、次の文章の空欄に適切な語句を記せ。

- ア 容器に封入するときは、当該容器は次を満たさなければならない。
- 1 ④ が浸透しにくく、⑤ に耐え、及び放射性廃棄物が漏れにくい構造であること
 - 2 ⑥ 又は破損が生じるおそれがないものであること
 - 3 容器のふたが容易に外れないものであること
- イ 放射性廃棄物を容器に固形化するときは、次を満たさなければならない。
- 固形化した放射性廃棄物と一体化した容器が放射性廃棄物の
⑦ 又は漏れを防止できること

ウ 放射線障害防止の効果を持った保管廃棄施設に保管廃棄するときは次を満たさなければならない。

- 1 当該保管廃棄された放射性物質の崩壊熱等により著しい ⑧ が生じるおそれがある場合は、⑨ について必要な措置を採ること。
- 2 放射性廃棄物を封入し、又は固形化した容器には、⑩ を示す標識を付け、及び当該放射性廃棄物に関して ⑪ された内容と照合できるような整理番号を表示すること。
- 3 当該廃棄施設には、その目につきやすい場所に管理上の注意事項を掲示すること。

第3問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」においては段階的な規制が実施されるが、加工の事業を行おうとする者が、事業を開始する前までに、この法律に基づいて行わなければならない許認可等の手続きについて記せ。ただし、核燃料物質の防護及び国際規制物資に関する手続きについては、記載する必要はない。

第4問 廃棄物埋設事業における保安規定については、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄物埋設の事業に関する規則」において、記載すべき事項が定まっているが、そのうち、5つについて次の例に示すように記せ。(解答例に掲げているもの以外を記すこと。)

〔解答例〕

- ① 管理区域、周辺監視区域及び埋設保全区域の設定並びにこれらの区域に係る立入制限等に関すること。
(なお、このような事項を「管理区域の設定に関すること。」「周辺監視区域に係る立入制限等に関すること。」などのように分けて記載した場合でも、複数とは考えない。)
- ② その他廃棄物埋設施設に係る保安に関し必要な事項。

第5問 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物を工場等の外において運搬する場合について、次の文章の空欄の部分に適切な語句を記せ。

[解答例] ⑯——東京

(1) 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物（以下本問において「核燃料物質等」という。）は、以下の区分に応じ、次の種類の核燃料輸送物として運搬しなければならない。

(イ) 危険性が極めて少ない核燃料物質等として科学技術庁長官（以下本問において「長官」という。）の定めるもの。 ① 型輸送物

(ロ) 長官の定める量を超えない量の放射能を有する核燃料物質等 (イ)のものを除く。 ② 型輸送物

(ハ) (ロ)の長官の定める量を超える量の放射能を有する核燃料物質等 (イ)のものを除く。 ③ 型輸送物又は ④ 型輸送物

ただし、これらの規定にかかわらず、放射能濃度が低い核燃料物質等であって危険性が少ないものとして長官の定めるもの (⑤ という。) 及び核燃料物質等によって表面が汚染された物であって危険性が少ないものとして長官の定めるもの (⑥ という。) は、⑦ 型輸送物として運搬することができる。

また、核分裂性物質（ウラン233、⑧、プルトニウム238、⑨、⑩ 及びこれらの化合物並びにこれらの1又は2以上を含む核燃料物質（長官の定めるものを除く。）を運搬する場合は、核分裂性輸送物の技術上の基準に適合しなければならない。

(2) 事業者等並びに事業者等から運搬の委託を受けた者は、危険時の措置として、以下に掲げる応急の措置を講じなければならない。

(イ) 核燃料輸送物に火災が起こり、又は核燃料輸送物に延焼するおそれのある火災が起った場合は、火災の⑪ 又は延焼の防止に努めるとともに、直ちにその旨を⑫ に通報すること。

- (ロ) 核燃料輸送物を他の場所に移す余裕がある場合には、必要に応じてこれを安全な場所に移し、その場所の周囲には縄を張り、(13) 等を設け、及び(14) を配置することにより、関係者以外の者が立ち入ることを禁止すること。
- (ハ) (15) の発生を防止するため必要がある場合には、運搬に従事する者及び付近にいる者に(16) するよう警告すること。
- (ニ) 核燃料物質等による(17) が生じた場合には、速やかに、(17) の広がりの防止及び(17) の除去を行うこと。
- (ホ) (15) を受けた者又は受けたおそれのある者がいる場合には、速やかに、その者を(18) し、(16) させる等緊急の措置を講ずること。
- (ヘ) その他(15) を防止するために必要な措置を講ずること。

第1問 解答例

- (1) ① —— 平和 ② —— 災害 ③ —— 防護

[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1条（目的）参照]

- (2) ④ —— 保安

[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22条の2（核燃料取扱主任者）参照]

- (3) ⑤ —— 知識 ⑥ —— 非常 ⑦ —— 放射線

[核燃料物質の加工の事業に関する規則；第7条の5（加工設備の操作）参照]

- (4) ⑧ —— 認可

[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50条（保安規定）参照]

- (5) ⑨ —— うち政令で定めるものの性能 ⑩ —— 検査

[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46条の2の2（定期検査）参照]

- (6) ⑪ —— 周辺監視

[使用済燃料の再処理の事業に関する規則；第9条（監理区域への立入制限等）参照]

- (7) ⑫ —— 三百

[核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する施行令；第15条（使用の許可を要しない核燃料物質の種類及び数量）参照]

- (8) ⑬ —— 減衰 ⑭ —— 保全 ⑮ —— 運搬 ⑯ —— 廃棄

[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51条の16（保安及び特定核燃料物質の防護のために講ずべき措置）参照]

- (9) ⑰ —— 保安

[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51条の21（廃棄物取扱主任者の義務等）参照]

- (10) ⑱ —— 1ミリ ⑲ —— 50ミリ

[試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づく線量当量限度等を定める件；第3条（周辺監視区域外の線量当量限度）参照]

(11) ⑩ —— 三百マイクロ

[試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づく線量当量限度等を定める件；第2条（監理区域に係る線量当量等）参照]

第2問 解答例

- (1) ① —— その貯蔵に従事する者の指示 ② —— 核燃料物質が臨界に達する
③ —— 漏えいするおそれがない構造の容器

[使用済燃料の再処理の事業に関する規則；第15条（貯蔵）参照]

- (2) ④ —— 水 ⑤ —— 腐食 ⑥ —— き裂 ⑦ —— 飛散
⑧ —— 過熱 ⑨ —— 冷却 ⑩ —— 放射性廃棄物
⑪ —— 第八条の規定に基づき記録

[使用済燃料の再処理の事業に関する規則；第16条（工場又は事業所内の廃棄）
参照]

第3問 解答例

加工の事業を行うとする者は、加工の事業を開始する前までに「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下、「原子炉等規制法」という。）に基づき、次の許認可等の手続きが必要である。

1. 原子炉等規制法第13条（事業の許可）に基づき、政令で定めるところにより、内閣総理大臣の許可を受けなければならない。

- (1) 内閣総理大臣の許可を受けようとする者は、次の事項を記載した申請書を提出しなければならない。

- ① 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名
- ② 加工設備及びその附属施設（以下「加工施設」という。）を設置する工場又は事業所の名称及び所在地
- ③ 加工施設の位置、構造及び設備並びに加工の方法
- ④ 加工施設の工事計画

なお、政令で定めるところにより、許可は、加工の事業を行おうとする工場又は事業所ごとに受けなければならないこと 及び 事業計画書その他総理府令で定める書

類を添えて、申請しなければならない。

2. 原子炉等規制法第16条の2（設計及び工事の方法の認可）に基づき、加工事業者は総理府令で定めるところにより、加工施設の工事に着手する前に、加工施設に関する設計及び工事の方法（加工施設であって溶接をするものに関する溶接の方法を除く）について内閣総理大臣の認可を受けなければならない。
3. 原子炉等規制法第16条の3（施設検査）に基づき、加工事業者は総理府令で定めるところにより、加工施設の工事（加工施設であって溶接をするものの溶接は除く）について内閣総理大臣の検査を受け、これに合格した後でなければ、加工施設を使用してはならない。
4. 原子炉等規制法第16条の4（溶接の方法及び検査）に基づき、加工事業者は六ふっ化ウランの加熱容器その他の総理府令で定める加工施設であって溶接をするものについては、総理府令で定めるところにより、その溶接につき内閣総理大臣の検査を受けこれに合格した後でなければ、加工施設を使用してはならない。
5. 原子炉等規制法第17条（事業開始等の届出）に基づき、加工事業者は、その事業を開始したときは、その日から15日以内に、その旨を内閣総理大臣に届け出なければならない。
6. 原子炉等規制法第21条（記録）に基づき、加工事業者は、総理府令で定めるところにより、加工の事業の実施に関し総理府令で定める事項を記録し、これをその工場又は事業所に備えて置かなければならない。
7. 原子炉等規制法第21条の2（保安及び特定核燃料物質の防護のために講ずべき措置）に基づき、加工事業者は、総理府令で定めるところにより、保安のために必要な措置を講じなければならない。
 - ① 加工施設の保全
 - ② 加工設備の操作
 - ③ 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の運搬、貯蔵又は廃棄

また、加工事業者は、特定核燃料物質を取り扱う場合で政令で定める場合には、総理府令で定めるところにより、防護措置を講じなければならない。
8. 原子炉等規制法第22条（保安規定）に基づき、加工事業者は、総理府令で定めるところにより、保安規定を定め、事業開始前に、内閣総理大臣の認可を受けなければならない。

らない。

9. 原子炉等規制法第22条の2（核燃料取扱主任者）に基づき、加工事業者は、総理府令で定めるところにより、核燃料取扱主任者を選任しなければならない。

なお、加工事業者は、核燃料取扱主任者を選任したときは、選任した日から30日以内に、その旨を内閣総理大臣に届け出なければならない。

10. 原子炉等規制法第22条の6（核物質防護規定）に基づき、加工事業者は、総理府令で定めるところにより、核物質防護規定を定め、特定核燃料物質の取扱いを開始する前に、内閣総理大臣の認可を受けなければならない。

11. 原子炉等規制法第22条の7（核物質防護管理者）に基づき、加工事業者は、総理府令で定めるところにより、核物質防護管理者を選任しなければならない。

〔参考〕

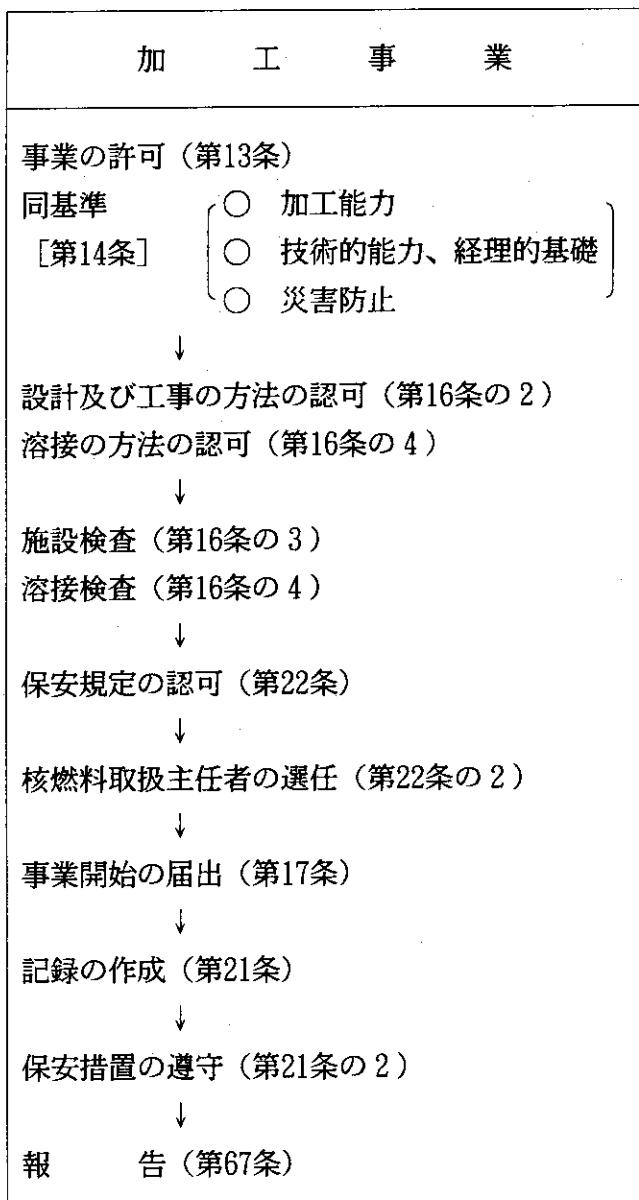
原子力ポケットブック（1993年版 科学技術庁原子力局監修 日本原子力産業会議）には、次のように記載されている。

P116

3. 核燃料サイクルの許認可

(1) 核燃料サイクルの規制法体系

(核原料物質、核燃料物及び原子炉の規制に関する法律)



規制法の体系を把握するのには、適当な資料と考えられる。また、このページには、製錬事業、再処理事業、廃棄物埋設事業等が同様に記載されている。

第4問 解答例

核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄物埋設の事業に関する規則；第20条（保安規定）に定められている。同条によると保安規定には、12の事項を定めることとなっている。

第20条（保安規定）

法第51条の18第1項の規定による保安規定の認可を受けようとする者は、認可を受けようとする事業所ごとに、次の各号に掲げる事項について保安規定を定め、これを記載した申請書を長官に提出しなければならない。

1. 廃棄物埋設施設の管理を行う者の職務及び組織に関すること。
2. 廃棄物埋設施設の放射線業務従事者に対する保安教育に関すること。
3. 放射能の減衰に応じた廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置に関すること。
4. 管理区域及び周辺監視区域及び埋設保全区域の設定並びにこれらの区域に係る立入制限等に関すること。
5. 排気監視設備及び排水監視設備に関すること。
6. 線量当量、放射性物質の濃度及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度の監視並びに汚染の除去に関すること。
7. 放射線測定器の管理及び放射線測定の方法に関すること。
8. 廃棄物埋設施設の巡視及び点検並びにこれらに伴う処置に関すること。
9. 放射性廃棄物の受入れ、運搬、廃棄その他の取扱いに関すること。
10. 非常の場合の採るべき処置に関すること。
11. 廃棄物埋設施設に係る保安に関する記録に関すること。
12. その他廃棄物埋設施設に係る保安に関し必要な事項。

第5問 解答例

- (1) ① —— L ② —— A ③ —— BM ④ —— BU
⑤ —— 低比放射性物質 ⑥ —— 表面汚染物
⑦ —— 長官の定める区分に応じ、IP-1型輸送物、IP-2型輸送物又は

IP-3

[核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則；第3条（核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬）参照]

- ⑧ —— ウラン235 ⑨ —— プルトニウム239 ⑩ —— プルトニウム241

[核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則；第11条（核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準）参照]

- (2) ⑪ —— 消火 ⑫ —— 消防吏員 ⑬ —— 標識 ⑭ —— 見張人
⑮ —— 放射線障害 ⑯ —— 避難 ⑰ —— 汚染 ⑱ —— 救出

[核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則；第18条（危険時の措置）参照]

参考文献

- 1) 科学技術庁原子力安全局 監修、"1995年版 原子力規制関係法令集"、(1995)
大成出版社、東京。

2. 2 第27回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の化学的性質及び物理的性質

第1問 (1) 以下のウランとの各系について答えよ。

- イ ウラン—酸素系に存在する主な化合物5つを化学式で記せ。
- ロ ウラン—窒素系に存在する主な化合物2つを化学式で記せ。
- ハ ウラン—炭素系に存在する主な化合物3つを化学式で記せ。

(2) 酸化物燃料の燃焼に伴って生成する核分裂生成物の燃料中における化学形態について、以下の間に答えよ。ただし、希土類元素は全体をまとめてREとし、これを1つとして数えよ。

- イ 燃料マトリックス中に固溶する元素4つを元素記号で記せ。
- ロ 金属析出物をつくる元素4つを元素記号で記せ。
- ハ 気体状の核分裂生成物となるもの2つを元素記号で記せ。

第2問 二酸化ウラン燃料、MOX（混合酸化物）燃料に関する以下の各記述のうち、正しいものには○、誤っているものには×をつけ、誤りの場合にはその理由を簡単に述べよ。

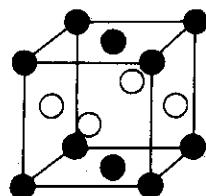
- (1) ウラン酸化物燃料の中で二酸化ウランが使われる原因是、この化合物が最も製造が容易なためである。
- (2) 二酸化ウランは、1400°C以下では UO_{2-x} のハイポ組成（亜定比性）を示さないが、MOXでは $(Pu, U)O_{2-x}$ がある。そして、このxの値はPu固溶量が多いほど、大きくなる。
- (3) 高温下で使用した酸化物燃料では、ペレット中心部から周辺部に向かって空洞、等軸晶、柱状晶領域ができる。このような組織再編は、温度勾配のために高温の中心部の二酸化ウランが蒸発して低温部に凝縮する蒸発凝固過程によって説明される。

- (4) 燃焼とともに酸化物燃料の O/U 比は高まる。これは燃焼によるウランの減少と、酸素と結合する核分裂生成物の量とのかねあいで決まるが、計算によれば O/U 比の増加率は 10 GWd/t の燃焼率に対して 0.06 位で、この値は実測値ともほぼ一致する。
- (5) 核分裂生成物ガスがペレットから放出されると、ペレットと被覆管の間の熱伝導が悪くなる。そこで核分裂生成物ガスの放出率を低く抑えるために、二酸化ウランの粒径を小さくした小粒径ペレットが使われている。

第 3 問 次の文章の空欄に入る適切な語句、数値または図を記せ。

[解答例] ⑪——核反応断面積

⑫



二酸化ウランおよび二酸化プルトニウムの結晶構造は、ともに ① と呼ばれる結晶構造で、ウランまたはプルトニウムの金属原子を●、酸素を○で表現して図示すると ② のようになる。金属原子の格子座標は <100> と ③ で代表され、酸素原子の格子座標は ④ で代表される。融点は二酸化ウランが約 ⑤ °C、二酸化プルトニウムが約 ⑥ °C で、混合酸化物の状態図を図示すると ⑦ のようになる。燃焼が進むと燃料中に核分裂生成物が蓄積し、燃焼度 10 万 MWd/t では、混合酸化物中のウランおよびプルトニウムの約 ⑧ % が核分裂を起こし、約 ⑨ % の核分裂生成物が発生し、融点が ⑩ するほか、熱伝導度などの諸特性や寸法が変化し、燃料のふるまいが変化する。

第4問 重さ及び形状の等しい核燃料ペレットと模擬ペレットを渡されて区別を依頼された。そのための検査法を3種類示し、それぞれの物理的あるいは化学的原理を簡潔に述べよ。

第5問 核燃料物質に関連して、次の事項を簡単に説明せよ。(ただし、(1)(2)(3)と(4)(5)は別の答案用紙に記入すること。)

- (1) PIE
- (2) 酸素ボテンシャル
- (3) マイナーアクチノイド

- (4) 同素変態
- (5) 不定比化合物

第1問 解答例

- (1) イ UO_2 、 U_4O_9 、 U_3O_7 、 U_3O_8 、 UO_3 この他に U_2O_5 もある
 ロ UN 、 UN_2 この他に U_2N_3 もある
 ハ UC 、 U_2C_3 、 UC_2

参考文献 菅野昌義「原子力工学シリーズ2 原子炉燃料」東大出版会

- (2) イ RE 、 Ba 、 Sr 、 Zr
 ロ Ru 、 Rh 、 Pd 、 Tc
 ハ Kr 、 Xe

F Pが酸素と反応して酸化物となり、燃料マトリクス中に固溶するかどうかは、U、
 Pu とF Pとで、酸化物の生成自由エネルギーを比較することによって推定できる。
 しかし、燃料中では高温であること、さらに高い温度勾配下にあること等により必ず
 しも熱力学的な平衡が期待できないことを考慮しておく必要がある。

Moは、金属、酸化物共に存在しうる。

参考文献 原子力安全研究協会「軽水炉燃料のふるまい」
 浅田忠一他監修「新版 原子力ハンドブック」オーム社

第2問 解答例

- (1) ×

二酸化ウラン以外のウラン酸化物としては、 U_4O_9 、 U_3O_7 、 U_3O_8 、 UO_3 等があるが、いずれも熱的不安定性が大きく、これによって高密度焼結体ができるないとい
 う欠点がある。

また、非化学量論的な組成 UO_{2-x} を考えたとき、 $x = -0.3 \sim +0.2$ の範囲で $x = 0$ において、即ち化学量論的組成の UO_2 が最も融点が高いというデータも得られている。 x が正で大きくなると熱伝導度が著しく低下するので、この点でも化学量論的組成 UO_2 が重要である。

参考文献 原子力安全研究協会「軽水炉燃料のふるまい」
 菅野昌義「原子力工学シリーズ2 原子炉燃料」東大出版会

- (2) ×

1200°C以上で亜化学量論的な化合物 UO_{2-x} が現れる。(1400°Cではない)
 後半部は正しい。(Puは亜化学量論的な化合物 PuO_{2-x} を作りやすい)

参考文献 菅野昌義「原子力工学シリーズ2 原子炉燃料」東大出版会

(3) ×

中心から周辺に向かって空洞、柱状晶、等軸晶の順である。柱状晶は 1900°C を越えたとき発達し、密度が元のペレットのそれより大きいので、その差が空洞となる。空洞の移動は蒸発凝固過程によって説明される。

参考文献 三島良績「核燃料工学」同文書院

(4) ×

燃焼とともに酸化物燃料の O/U 比は高まるが、その増加は、10 GWd/t の燃焼で $\Delta(O/U) = 0.0013$ 程度（増加率としては $0.0013/2 = 0.0006$ ）と見積もられている。

参考文献 原子力安全研究協会「軽水炉燃料のふるまい」

(5) ×

核分裂生成物ガス (FPガス) の放出率を低くおさえるためには、二酸化ウランの結晶粒径を大きくした方がよい。これは、FPガスの放出が次のような機構によるためである。結晶粒内で生成したFPガスは、拡散により結晶粒界へ移動してそこで気泡となる。次にこれらの粒界気泡は成長、連結してトンネルを形成し、最後には、このトンネルを通ってFPガスはギャップ或いはプレナムに放出される。従って、結晶粒径を大きくした方が、粒界への移動を抑えることができ、放出率は低くなる。

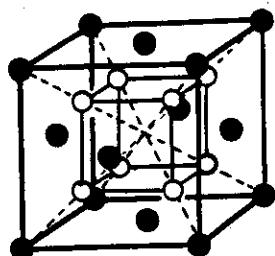
参考文献 原子力安全研究協会「軽水炉燃料のふるまい」

三島良績「核燃料工学」同文書院

第3問 解答例

①- ホタル石型立方晶

②-



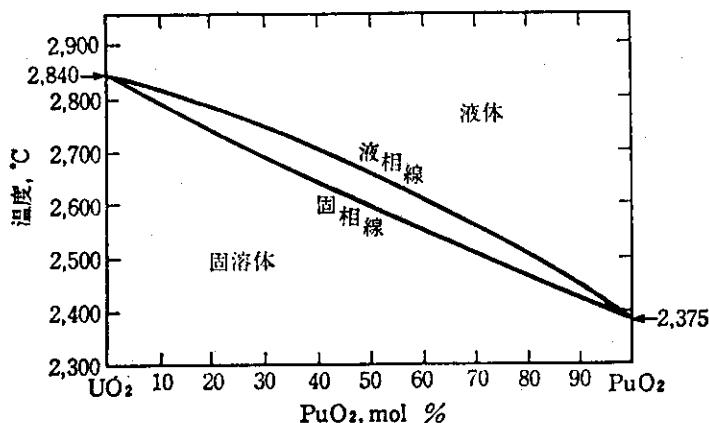
③- $\langle 1/2, 1/2, 0 \rangle$

④- $\langle 1/4, 1/4, 1/4 \rangle$

⑤- 2840 (2800) UO_2 の融点としていくつかのデータがあるが、燃料設計上は安全側の 2800°C を用いるべきである。

⑥- 2375

⑦-

 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 系の状態図 [W. L. Lyon and W. E. Baily, ANS Meeting, 1965]

⑧-10 1万MWd/tはおよそ1%FIMA

⑨-10 モル数の比では20%

⑩-低下

参考文献 菅野昌義「原子力工学シリーズ2 原子炉燃料」東大出版会
三島良績「核燃料工学」同文書院

第4問 解答例

① 放射線測定法

核燃料であれば、U、Pu、Thのいずれかを含む。これらの元素はいずれも放射線を発するのでこれを測定すればよい。例えばUであれば β 線や γ 線も放出するのでGMカウンターで容易に検出できる。放射線測定器さえあれば可能な方法であるので最も簡便である。模擬ペレットは通常放射性物質では作らない。たとえ模擬ペレットに放射性物質が含まれる場合でも、放射線の種類、エネルギーを測定すれば核燃料物質か否かを判定できる。

② X線回折法

一般に未知物質が結晶性の固体であれば、X線回折計を用いてX線の回折角及び強度を測定し、これをデータと照合することによってこの未知物質を同定することができる。核燃料物質は結晶性である（例えば、 UO_2 は格子定数 5.470 Å のホタル石型立方晶である）、この方法によって容易に模擬ペレットとは識別できる。

③ 化学分析法（溶解液分析法）

ペレットを溶解した後これを分析する方法。例えば、 UO_2 ペレットは熱加水分解法で U_3O_8 とした後、 HNO_3 で溶解できるし、 ThO_2 は HNO_3 と少量のHFで溶解できる。この溶解の段階で模擬ペレットと区別できる可能性もある。溶解液の分析は、吸光度法、蛍光法、発光分析法等様々な方法が考えられる。

参考文献 日本アイソトープ協会編「アイソトープ便覧」丸善株式会社
日本分析化学会編「分析化学便覧」丸善株式会社

第5問 解答例

(1) P I E

Post Irradiation Examination : 照射後試験のこと。燃料・材料の照射下でのふるまいの研究には不可欠の試験で、様々なデータを取得した上で、照射前の物性、照射条件、照射下での情報と照らし合わせて解析する。試験項目は、非破壊試験と破壊試験に大別され、非破壊試験では、外観・寸法・形状検査、ラジオグラフィー、 γ スキャニング等があり、破壊試験では、FPガス放出量測定、燃焼度測定、顕微鏡組織観察、様々な物性値の測定等がある。

参考文献 三島良績「核燃料工学」同文書院

(2) 酸素ポテンシャル

酸素ポテンシャルは、 $R T \cdot \ln(P_{O_2} / P^{\circ}_{O_2})$ で定義される。ここで、R : ガス定数、T : 絶対温度、 P_{O_2} : 酸素分圧 (MPa or atm)、 $P^{\circ}_{O_2}$: 標準状態の酸素圧 (0.101 MPa or 1 atm) である。ある元素が酸化物になるにはある一定の酸素ポテンシャルが必要があるので、核分裂生成物 (FP) の存在状態や被覆管内面状態を知る上で酸素ポテンシャルは重要な指標となる。逆に、FPの存在状態から酸素ポテンシャルを推定することもできる。軽水炉燃料では、ジルカロイ被覆管の酸素ゲッター作用及びMoのバッファー作用 (Mo / MoO_2) により燃焼が進んでも酸素ポテンシャルは大きく変化しないとされている。

参考文献 原子力安全研究協会「軽水炉燃料のふるまい」

(3) マイナーアクチノイド

使用済（照射された）燃料中に存在するアクチノイドのうち、U、Puを除いたNp、Am、Cmのことを指す。存在量は少ないが、長寿命の α 放射体（或いはその親核種）であり、基本的に使用済燃料の再処理によって核分裂生成物と共に高レベル廃液中に移行するので、高レベル廃棄物の処理処分の安全評価上重要な元素となる。これらマイナーアクチノイドを高レベル廃液より分離（群分離）し、核変換（主として中性子照射による核分裂）によって消滅処理するという研究も行われている。

参考文献 鈴木篤之「核燃料サイクル工学」日刊工業新聞社

(4) 同素変態

同一の元素が原子配列を異にする分子或いは結晶となるとき、それぞれの単体の相互が同素体であるといい、同素体が相互に温度や圧力の変化によって移り変わる現象を同素変態という。この同素変態は一般の相転移と同じ現象で特に区別する必要はない。例えば、

金属ウランでは、1132°Cの融点までに $\alpha \leftrightarrow \beta \leftrightarrow \gamma$ と3度の同素変態を起こす。 α 相は斜方晶で三軸とも異方性であり、熱サイクル成長の原因となる。

参考文献 三島良績「核燃料工学」同文書院

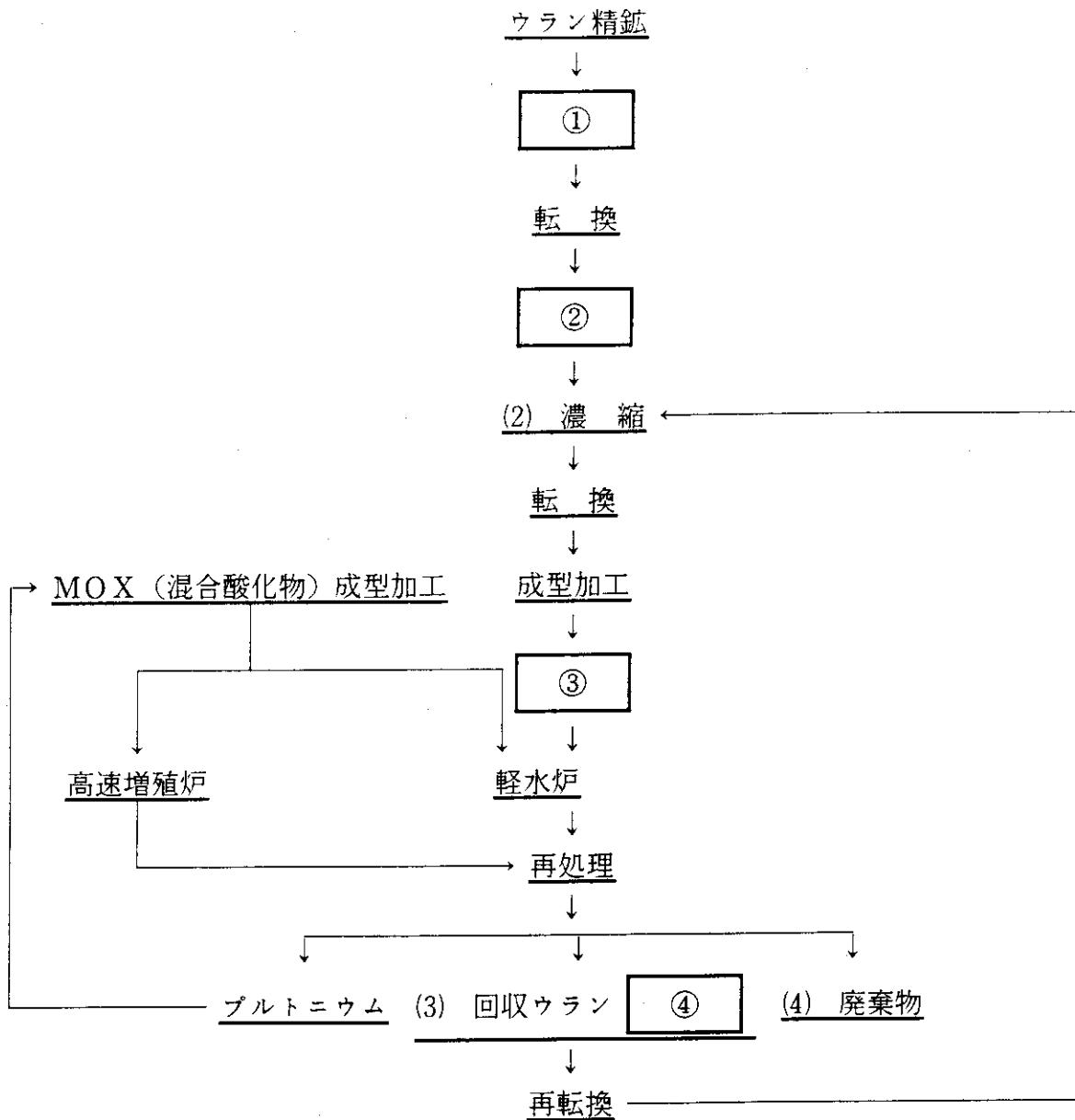
(5) 不定比化合物

成分元素の比率が簡単な整数にならない、即ち定比例の法則に従わない化合物。非化学量論化合物ともいう。核燃料の分野では、 UO_{2+x} 、 PuO_{2+x} がその代表的なものである。Uでは4価、5価、6価の各種の原子価を持ち、これによって過剰の酸素を固溶したり、一部が抜け出したりするため、U、Oの原子比1：2の近傍で広い組成幅を持つ。この不定比は UO_2 の物性に大きな影響を及ぼすので重要である。

参考文献 菅野昌義「原子力工学シリーズ2 原子炉燃料」東大出版会

2. 3 第27回核燃料取扱主任者試験 核燃料物質の取扱いに関する技術

第1問 この流れ図は核燃料サイクルの概略を示したものである。下の間に答えよ。



(1) 流れ図の中の①から④までの空欄に最適なウラン化合物の化学式を記入せよ。

[解答例] ⑤ —— U_4O_9

(2) ウラン濃縮法の名称を1例あげ、その概略を説明せよ。

(3) 回収ウランの取扱いに関し、その中に含まれる ^{232}U 及び ^{236}U のそれぞれの影響を簡単に記せ。

(4) 廃棄物として注目すべきアクチニド（ウランまたはプルトニウムの同位体を除く。）を 3 核種記し、それぞれの特徴を簡単に記せ。

〔解答例〕 ^yX (X: 元素記号, y: 質量数)

(特徴の説明)

第 2 問 使用済燃料の燃焼度測定法に関して次の間に答えよ。

(1) 非破壊検査での燃焼度測定法を 1 例あげ、その概略を説明せよ。

〔解答例〕 XXX 法：(概略説明)

(2) 破壊検査にはネオジム—148 法 (^{148}Nd 法), セシウム—137 法 (^{137}Cs 法)などがあるが、この 2 例のそれぞれの特徴を長所と短所を含めて簡単に説明せよ。

(3) 次の文章の空欄に下の語句または数値から最適なものを選び、文章を完成せよ。

〔解答例〕 ⑦ — 燃焼度

燃焼の度合いを示す燃焼度（または燃焼率）にはいくつかの尺度が使われる。

軽水炉の使用済燃料に対しては、発熱量から求めた ① が最も一般的に使われている。燃料の基礎的研究の分野では、核分裂の回数を基準にした ② または ③ が多く使われるが、研究炉の使用済燃料については ④ が慣習的に広く使われている。これらの尺度の変換の例として、 ^{235}U が 5 % 濃縮度の燃料を 1 % FIMA まで燃焼すると、約 ⑤ % FIFA であり、核分裂の発熱量を 200 MeV/fission とすると、約 ⑥ MWd/t である。

| | | | | |
|-------|---------|--------|----------------------|----|
| 20, | % FIMA, | 15000, | % FIFA, | 40 |
| 9400, | MWd/t, | 6000, | ff/cm ³ , | 60 |

第3問 プルトニウム取扱い用のグローブボックスの取扱いに関する次の間に答えよ。

- (1) 日常のグローブボックス作業前に点検すべき項目を3つあげよ。
- (2) 日常のグローブボックス作業終了後にとるべき注意事項を2つあげよ。
- (3) グローブボックス表面の線量当量率が高い場合に、被ばく低減のために講すべき対応策を2つあげよ。
- (4) グローブボックス作業中にグローブの先端に微細な傷を見つけた場合のとるべき処置を2つあげよ。

第4問 使用済核燃料中に含まれる主要な核分裂生成物のうち、ピューレックス法による再処理において考慮すべき核種の挙動について記した次の文章の空欄に下記の同位体元素の中から適当なものを選び、その記号を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ⑪——(U)

第0族に属する ① は、燃料ペレットおよび被覆管内のプレナム部にガスとしてためられているので、せん断および溶解工程で気体中に放出される。

② は、第I族に属し半減期が約30.17年と長く、長期の冷却期間をとっても減少しないが、分配係数が小さく、共除染工程で簡単に除去できる。

第IIA族に属する ③ についても、大きな除染係数が期待でき、共除染工程で除去できる。

ランタノイド元素の ④ は、錯イオンを形成するが大部分は共除染工程で除去できる。

第IVA族の ⑤ は、第VA族の ⑥ の親核種で、過渡平衡にあり、共除染工程においても、ウラン、プルトニウムと同じ様な挙動をとり、分離が難しく、最終的には精製工程で除去することになる。低酸濃度の方が分配係数

が小さく、ウラン、プルトニウムから分離しやすい。

第VIII族の (7) と (8) は、永年平衡の状態にある。また複雑な酸化還元状態および錯体形成により共除染工程でのウラン、プルトニウムからの分離も難しく、酸濃度を下げると抽出されやすくなる。

第VII族の (9) は、原子炉での発生量は多いが短半減期であるため、再処理前の冷却期間内に崩壊してしまう。しかし、(10) は、半減期が約 1.7×10^7 年と長く、揮発性であるため、せん断および溶解工程で気体中に放出されるが、一部は溶解液中に残る。

- (A) Kr—85, (B) Sr—89, (C) Sr—90, (D) Y—91, (E) Zr—95,
- (F) Nb—95, (G) Mo—99, (H) Ru—103, (I) Ru—106 (J) Rh—106,
- (K) I—129, (L) I—131, (M) Te—132, (N) Xe—133, (O) Cs—137,
- (P) Ba—140, (Q) Ce—141, (R) Ce—144, (S) Pr—143, (T) Nd—147

第5問 核燃料物質及び核燃料物質によって汚染された物の取扱いに関する事項を簡単に説明せよ。(ただし、(1)(2)(3)と(4)(5)は別の答案用紙に記入すること。)

- (1) スカイシャイン (Skyshine)
- (2) ゾル・ゲル法 (Sol Gel Process)
- (3) 即発性 γ 線 (Prompt Gamma) と遅発性 γ 線 (Delayed Gamma)
-
- (4) アイテム施設とバルク施設
-
- (5) 低レベル放射性廃棄物埋設施設における段階管理

第1問 解答例

(1) ①-U₃O₈ 或いは UO₃

ややあいまいな問題である。ウラン精鉱はウラン鉱石の粗精錬の生成物であり、次に精製錬工程を経て、ウラン濃縮のための転換工程に入る。従って、ウラン精鉱が転換工程に至るまでにはウランは様々な化学形をとりうるし、精製錬と転換工程はほとんど一体である。U₃O₈は粗精錬で区切ったときの答、即ちウラン精鉱（イエローケーキ）中のウランの化学形であり、UO₃は精製錬と転換とをえて区切ったときのその間のウランの化学形である。

②-UF₆③-UO₂④-UO₂(NO₃)₂ 或いは UO₂

①と同じようなことがいえる。UO₂(NO₃)₂は再処理の精製工程で得られる製品であるが、このまま保管される場合もあるし、酸化物に転換してから保管される場合もある。UO₂(NO₃)₂からUF₆に至る工程では、UO₂を経由せず、UO₃→UF₄→UF₆と転換する方法があるので、答としてUO₃もありうる。

参考文献 菅野昌義「原子力工学シリーズ2 原子炉燃料」東大出版会
鈴木篤之「核燃料サイクル工学」日刊工業新聞社

(2) 代表的な4つの方法をあげる。

① ガス遠心法

ウランを気体化合物であるUF₆とし、これを円筒容器に入れ、それを高速で回転させる。粘性によりガスも同じ角速度で回転するので、遠心力が働き、軽い²³⁵UF₆は回転体の中心に近いところ、重い²³⁸UF₆は周辺に近いところにより多く集まる。この原理でウランを濃縮するのがガス遠心法である。この方法で最も重要なのは、回転体の設計であり、高速回転に耐える材料の選定、高度の加工精度や軸封機構等が要求される。すでに稼働している六ヶ所村のウラン濃縮工場はこの方法を用いている。

② ガス拡散法

UF₆をある容器に入れ、多孔質隔膜を境にして圧力差をつける。圧力を十分低くして、分子流が達成される条件とすれば、軽い²³⁵UF₆と重い²³⁸UF₆とで分子の運動速度に差ができ、隔膜に対する透過率が異なってくる。これがガス拡散法の濃縮原理である。この方法の要点は、孔径が10nm程度以下の多孔質隔膜の製作である。

③ レーザ法

同じ元素であっても同位体間で光の吸収スペクトルにわずかの差（同位体シフト）がある。この差と、レーザの持つ単色性を利用して、分離すべき同位体を選択的に励

起・回収しようとする方法がレーザ法である。ウラン濃縮では、ウラン金属蒸気を対象とする原子法と、UF₆を用いる分子法がある。原子法では、²³⁵U原子のみを可視・紫外域のレーザ光により選択励起して、²³⁵U⁺イオンとし、これを電磁気的に分離・捕集する。分子法では、²³⁵UF₆分子を赤外領域のレーザ光により選択励起して、²³⁵UF₅とFに解離させ、²³⁵UF₅を固体として分離回収する。いずれも、高い分離係数が期待できるが、現在研究中であり、実用化には至っていない。

④ 化学交換法

化学交換法は、同位体間の化学平衡や反応速度のわずかな差を利用して分離する方法である。化学交換法の一つとして研究されたイオン交換法では、4価のウランと6価のウランの共存下で、²³⁵Uの方がわずかに6価になりやすいという性質を利用する。

参考文献 鈴木篤之「核燃料サイクル工学」日刊工業新聞社

(3)

²³²Uは、半減期72年で α 崩壊して²²⁸T_hとなり、²²⁸T_hは、半減期1.9年で²²⁴Raに α 崩壊する。以下短半減期核種の崩壊連鎖が続く。この途中強い γ 線や α 線を放出する娘核種が存在し、これらは連鎖生成に伴い時間と共に増加する。つまり、²³²Uは回収ウランの比放射能を高くする原因となる。特に再濃縮された場合、²³²Uは²³⁵Uより大きな割合で濃縮されるから、再濃縮製品の比放射能はさらに高くなり、燃料加工の段階での従事者の放射線防護上重要となってくる。

²³⁶Uは回収ウランの再濃縮の段階でさらに含有率が高められる。²³⁶Uは中性子を吸収するので、天然ウランから出発するものに比べそれだけ²³⁵U濃縮度を高めなければならない。その分経済的損失となる。

参考文献 浅田忠一他監修「新版 原子力ハンドブック」オーム社
原子力化学工学シリーズ第Ⅲ分冊、清瀬量平訳
「使用済燃料とプルトニウムの化学工学」日刊工業新聞社

(4) ²³⁷Np

半減期が 2.1×10^6 年の α 放射体である。半減期が非常に長いことに加えて、処分された後に廃棄物より浸出したとき、その場が還元性雰囲気でないと、Npは他のアクチニドより地層中を移行しやすいとされており、処分の安全評価上重要な核種である。

²⁴¹Am

半減期は433年であるが、²³⁷Npの親核種であるので、²³⁷Npと同様に重要である。また、廃棄物に含まれるアクチニドの中で主たる γ 線放出核種であるという点でも重要である。

^{243}Am

高レベル廃棄物に含まれるアクチニドのうちU、Puを除いたいわゆるマイナーアクチニドでは、 ^{237}Np に次いで重量の多い核種であり、半減期7.4×10³年で α 崩壊する。

このほかに ^{244}Cm も重要な核種である。

数10年にわたりマイナーアクチニドでは最も放射能が高い。半減期18年で α 崩壊する。

参考文献 浅田忠一他監修「新版 原子力ハンドブック」オーム社
鈴木篤之「核燃料サイクル工学」日刊工業新聞社

第2問 解答例

(1) $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$ 比法：

標準的方法として広く適用されている γ 線スペクトロメトリにより、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の同位体比を求める。 ^{137}Cs は、核分裂により直接生成する、即ち中性子束の一乗(=核分裂)に比例して生成するのに対して、 ^{134}Cs は、核分裂により生成する ^{133}Cs が中性子捕獲することによって生成するので、中性子束の二乗に比例する。従って、 $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$ 比は、燃焼度に対して直線的な関係になり、これより燃焼度を求めることができる。

(2) ネオジム-148法

^{148}Nd の絶対量を測定し、これを ^{148}Nd の平均核分裂収率で除することによって核分裂量を決定するという方法である。この方法の長所は、広く長く使用されている標準的方法であること、主要核分裂源によって生成量が余り変化せず、かつ安定同位体である ^{148}Nd を用いていること、同時に測定される他のNd同位体の量から異なった核分裂源の寄与を定量化できることである。短所は、複雑な化学分離操作を行った上で、熟練を要する精密な測定が必要であること、高中性子束での照射の場合には ^{147}Nd の中性子捕獲に対する補正が必要であること等である。

セシウム-137法

燃焼度決定の原理はネオジム-148法と同じである。しかし、 ^{137}Cs 絶対量測定において、 ^{137}Cs の γ 線測定を適用でき、複雑な化学分離操作や溶液調整が必要ないという長所がある。一方、短所としては、 ^{137}Cs が放射性であるので、照射履歴を考慮して崩壊に対する補正が必要であること、Csは燃料内を移動し、遍在しやすい元素であるので、試料が少量の場合には誤差が大きくなる可能性があること等である。

- (3) ①-MWd/t ②-%FIMA ③-%FIFA
 ④-f/f/cm³ ⑤-20 ⑥-9400

FIMA : Fissions per Initial Metal Atom

初期の金属元素全体 (U、Pu全体) に対して核分裂した割合

FIFA : Fissions per Initial Fissile Atom

初期の核分裂性物質 (例えば²³⁵U、²³⁹Pu) に対して核分裂した割合

$$\textcircled{5}: (\% \text{FIMA}) \div (\text{濃縮度}) = 1 \div 5 = 20\%$$

⑥は次のように計算される。

(1 ton当たりの核分裂した元素の数) × (1回の核分裂当たりの発熱量)

$$= \left[\frac{10 \times 10^3 \text{ g/t}}{238 \text{ g/mol}} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 1/mol} \right] \times [200 \text{ MeV} \times \frac{1.602 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}}{8.64 \times 10^{10} \text{ J/MWd}}] \\ = 9380 \text{ MWd/t}$$

しかし、この計算では物理定数が必要である。1%FIMAは約10000 MWd/t であると記憶しておくとよい。

第3問 解答例

- (1) ① 負圧の確認
 ② ポート等開口部の閉鎖確認
 ③ グローブ、ビニールバッグ等の損傷の有無の確認
 ④ 外部表面汚染の有無の確認

この4つが考えられるが、特に①、③、④を挙げるべきであろう。②は作業終了時に点検されているはずの項目である。

- (2) ① 用いたプルトニウムを密閉できる容器に保管する。
 ② 作業者の汚染及び外部表面汚染が無いことを確認する。

負圧の確認等作業前点検と同じことをする必要もある。①は作業内容によっては不可能な場合もあるが、グローブボックスの負圧が破壊されたり、グローブ等の損傷が発生した場合に、汚染を最小限にするという意味で重要である。

- (3) ① 線源と作業者との間に遮蔽を施す。
 ② 線源を移動するか、作業場所を線源から離すことによって、線源と作業者との距離をできるだけ大きくする。

被ばく低減のための対応策の基本は、時間、距離、遮蔽である。このうち、時間、即ち作業時間をできるだけ短くするという措置は最後にとられるべきある。これをこの問い合わせの答として挙げても間違いではないが、まずは上記2つの対応を

記すべきであろう。

なお、①では、線源を遮蔽容器に入れる或いは線源を遮蔽板で取り囲むといった措置から、作業者が遮蔽効果のあるものを身に着けるといった対応も含む。これを二つに分けて記述しても間違いとはいえないだろう。

- (4) ① 作業者が汚染していないかどうかを調べる。特にプルトニウムの場合には、内部被ばくが重要であるので、鼻スミアをとってプルトニウムを吸引している可能性がないかを調べる必要がある。
 ② 傷のあるグローブのポートを閉鎖する或いはすみやかに新しいグローブに交換する。

その場から離れるというのがまず第一の処置である。次に、助成してくれる人を呼び、①を行い、フィルター付きマスクを装着した上で当該グローブボックスに再度近付き、②を行うというのが本来の流れである。そして、次には周辺の汚染状況の把握である。

第4問 解答例

- ① - (A) ② - (O) ③ - (C) ④ - (R) ⑤ - (E)
 ⑥ - (F) ⑦ - (I) ⑧ - (J) ⑨ - (L) ⑩ - (K)

参考文献 鈴木篤之「核燃料サイクル工学」日刊工業新聞社
 内藤奎爾「原子炉化学」東京大学出版会
 原子力化学工学シリーズ第IV分冊、清瀬量平訳
 「燃料再処理と放射性廃棄物管理の化学工学」日刊工業新聞社

第5問 解答例

(1) スカイシャイン (Skyshine)

放射線源より発せられた放射線が（特に上方の）空気中の原子により散乱されてくる現象及びその散乱放射線（ γ 線と中性子）をスカイシャインという。線源と測定点（人の立ち入るところ）との間で十分な遮蔽がなされて一時放射線が減衰している場合にあっても、この散乱線によって線量が上昇するということがあり得る。原子炉や加速器の上部の遮蔽はもっぱらこのスカイシャインを考慮して管理区域内外の線量を推定した上で決定される。

参考文献 兵藤知典「放射線遮蔽入門」産業図書

(2) ゾル・ゲル法 (Sol Gel Process)

粒子燃料の製造法の一つで、燃料物質をコロイド溶液（即ちゾル）とした後、脱水作用のある有機溶媒中に噴出することによってゲル化する方法のことである。ゾル化、ゲル化の方法は様々である。

参考文献 三島良績「核燃料工学」同文書院

(3) 即発性 γ 線 (Prompt Gamma) と遅発性 γ 線 (Delayed Gamma)

即発性 γ 線は、核分裂が生じた瞬間に飛び出す γ 線、即ち、核分裂片、即発中性子と共に発生する γ 線のことであり、平均エネルギーは約2 MeVである。遅発性 γ 線は、核分裂の結果生まれた核分裂生成物から出る γ 線のことであり、核分裂反応が停止した後もその核分裂生成物の寿命に応じて継続して放出される。

※ なお、原子力用語辞典では、原子炉内物質が中性子を吸収して(n, γ)反応の結果放出される γ 線も遅発性 γ 線に分類しているが、このようないわゆる捕獲 γ 線のうち核反応から 10^{-14} 秒以内に放出されるものを即発 γ 線としている例もあり、ここではあえて言及しないこととした。

参考文献 原子力用語研究会編「図解原子力用語辞典」日刊工業新聞社
内藤奎爾「原子炉化学」東京大学出版会

(4) アイテム施設とバルク施設

いずれも保障措置上の用語である。（なお、保障措置とは、平和利用の核物質や施設などが軍事目的に転用されないよう監視し、起こりうる転用を迅速に検知し、或いは転用が起こっていないことを保証するように設計された種々の手段の総称のことである。）アイテム施設は、核物質を数えて検認できるような施設であり、例えば燃料体を保有する原子炉や貯蔵施設がこれに当たる。バルク施設（バルク操作施設ともいう）は、液体、ガス、粉体といったばらの形で核物質を操作、使用する施設のことで、燃料加工施設や再処理施設などがその例である。

参考文献 原子力用語研究会編「図解原子力用語辞典」日刊工業新聞社

(5) 低レベル放射性廃棄物埋設施設における段階管理

埋設された廃棄物の放射能は時間と共に減衰していき、そのレベルに応じて段階的に管理を軽減させることができる。この考えを表す用語が段階管理であり、次のように段階分けされる。

- ① 人工バリアによって放射能が外に漏出しないことを監視する段階。
- ② 人工バリアと天然バリアによって放射能が生活環境への移行が抑制される段階であり、人工バリアからの漏出状況を監視する。
- ③ 天然バリアにより放射能の生活環境への移行が抑制される。特定の行為、例えば掘削等を禁止または抑制するための措置を講ずる。
- ④ 管理が全く不要な段階。

参考文献 「放射性廃棄物管理ガイドブック」1994年版、日本原子力産業会議

2. 4 第27回核燃料取扱主任者試験 放射線の測定及び放射線障害の防止に関する技術

第1問 天然六フッ化ウランを取扱中、10 g-Uが実験室内に漏出する事故が発生した。実験室の容積を $15\text{ m} \times 15\text{ m} \times 4\text{ m}$ 、換気回数を毎時5回とし、漏出した六フッ化ウランは全量が空気中の水分と反応してフッ化ウラニルとなり、空气中に均一に分布するものとしたとき、次の間に有効数字2桁で答えよ。

- (1) 実験室内に漏出した ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U のそれぞれの放射能 (Bq) を求めよ。ただし、 ^{238}U と ^{234}U は永年平衡、アボガドロ数は 6×10^{23} とし、 ^{238}U と ^{235}U の崩壊定数および天然の存在比は、それぞれ次のとおりとする。

| | 崩壊定数 (s^{-1}) | 天然の存在比 (%) |
|------------------|--------------------------|------------|
| ^{238}U | 5×10^{-18} | 99.3 |
| ^{235}U | 3×10^{-17} | 0.7 |

- (2) 1時間後における実験室内の各核種の空气中濃度の、それぞれの核種の濃度限度（放射線業務従事者の呼吸する空気中の濃度限度）に対する割合の和を求めよ。ただし、 ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U のフッ化ウラニルに対する濃度限度は、いずれも $2 \times 10^{-5} \text{ Bq/cm}^3$ である。

第2問 次の文章の空欄に入る適切な語句または数値を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ⑪ — 放射性物質

放射性物質による表面汚染の測定は、通常、サーベイ法とスミヤ法によって行われる。サーベイ法は ① 法とも言い、汚染対象物の表面を ② で走査しながら測定する方法で、③ 性汚染と ④ 性汚染の両方を含めた汚染を測定できる。この方法は汚染箇所や汚染の範囲を検知するのに有効であるが、⑤ 場所での測定では検出下限値は ⑥ なる。

スミヤ法は ⑦ 法とも言い、汚染対象物の表面を ⑧ 、その表面に付着した放射能を測定装置で測定する方法で、⑨ 性汚染の測定にしか適用できないが、⑩ 場所での汚染検査や低エネルギー β 線などの汚染検査にも有効である。

一般に ⑪ 性汚染は、換気、歩行、作業等によって空気汚染の原因となり、両者の間には

$$\text{空気汚染}(\text{Bq}/\text{cm}^3) = \text{表面汚染}(\text{Bq}/\text{cm}^2) \times K(\text{cm}^{-1})$$

の関係がある。ここで K は ⑫ 係数と呼ばれ、その値は作業強度が高くなるほど ⑬ なる。

第3問 次の各問について、(イ)～(ホ)のうちから該当するものを1つ選び、番号とともに記せ。

〔解答例〕 (6) —— (ヘ)

(1) 下記の電離箱についての記述のうち、誤っているものはどれか。

- (イ) α 線や β 線のような荷電粒子は、直接に気体を電離して数多くのイオン対の形で電荷を生じる。
- (ロ) 荷電粒子が気体中に、飛跡の1cmあたりに作るイオン対の数は、重い荷電粒子ほど多い。
- (ハ) γ 線や中性子線は、直接には気体を電離しない。
- (二) 放射線が1個のイオン対を生成するのに要する平均エネルギー(W値)は、気体の種類によって異なり22eV～40eVの範囲である。
- (ホ) 一定体積の気体中で生じるイオン対の総数は、 β 線によるものの方が α 線によるものより数百倍くらい多い。

(2) 下記の比例計数管とGM計数管についての記述のうち、誤っているものはどれか。

- (イ) 比例計数管からの出力パルス波高は、入射粒子による1次イオン対数に比例するが、GM計数管からの出力パルス波高は、1次イオン対数との比例性はない。
- (ロ) 比例計数管は簡単な波高選別によって、 α 線と β 線を放出する試料(線源)について、 β 線だけを選別して測定できる。
- (ハ) GM計数管には、封入する消滅ガスの種類によって、有機ガス消滅型計数管とハロゲンガス計数管とがあるが、前者の方が後者より寿命が短い。
- (二) 比例計数管の分解時間は、GM計数管のそれよりも短い。
- (ホ) 比例計数管とGM計数管は、ともにガスフロー型のものがある。

(3) 下記の記述のうち、シンチレータの特性として、望ましくないものはどれか。

- (イ) 入射放射線の、発光への変換効率が高い。
- (ロ) 光の透過性（透明度）がよい。
- (ハ) 発光の減衰時間が長い。
- (ニ) 発光スペクトルが光電子増倍管の分光感度に適応する。
- (ホ) 製作が容易で、機械的、化学的に耐性が高い。

(4) 下記の液体シンチレーション計数装置についての記述のうち、誤っているものはどれか。

- (イ) バックグラウンド計数率を低下させるために、通常、逆同時計数回路が用いられる。
- (ロ) 測定試料が着色している場合には、一般に、計数効率は低下する。
- (ハ) 低エネルギーの β 線を放出する試料の測定に最も適している。
- (ニ) ^3H と ^{35}S を同時に分別して測定することができる。
- (ホ) 370 Bq 程度の試料の計測では、数え落としによる誤差の補正をする必要はない。

第4問 次の文章の空欄の部分に記入すべき語句または数値を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ⑪——核燃料

- (1) 物理的半減期が 10 日、有効半減期が 5 日の核種があったとすると、その核種の生物学的半減期は ① 日である。
- (2) $^{239}\text{PuO}_2$ を 400 Bq を吸入摂取したと評価されたとき、実効線量当量は ② mSv と評価される。ただし、 $^{239}\text{PuO}_2$ の年摂取限度は 610 Bq である。
- (3) 全身被ばく ③ Sv当たりの死亡または重大な遺伝的欠陥の生ずる確率をリスク係数という。
- (4) 核燃料取扱作業者に放射性物質による体内汚染が生じる主要な経路には ④ , ⑤ および ⑥ の 3つが考えられる。
- (5) ヒトが 4 Sv を全身に被ばくしたときの主要な死因は ⑦ である。
- (6) 皮膚に 5 Sv の被ばくがあったとき、急性障害としては充血、紅斑、⑧ 等が観察される。
- (7) プルトニウムエアロゾルを吸入摂取したとき、プルトニウム粒子は時間とともに吸収されて血流に入り、骨表面と肝臓に沈着する。このときの肺からのクリアランス速度は粒子径分布が同じならば酸化物の方が硝酸塩より ⑨ い。
- (8) 放射性ヨウ素の消化管吸収率 (f_1) はあらゆる化学形について ⑩ である。

第5問 次の事項についてそれぞれ200字程度で説明せよ。

- (1) 作業環境に空気汚染が検出されたときの放射線管理上の措置について
- (2) 天然放射性核種のラドンとトロンについて

第1問 解答例

(1)

$$^{238}\text{U} : \frac{10 \times 0.993 \times 6 \times 10^{23} \times 5 \times 10^{-18}}{238} = 1.3 \times 10^5 \text{ (Bq)}$$

$$^{235}\text{U} : \frac{10 \times 0.007 \times 6 \times 10^{23} \times 3 \times 10^{-17}}{235} = 5.4 \times 10^3 \text{ (Bq)}$$

$$^{234}\text{U} : 1.3 \times 10^5 \text{ (Bq)} [^{238}\text{U} \text{と永年平衡のため}]$$

*なお、 ^{234}U の半減期は ^{238}U の半減期 $4.5 \times 10^9 \text{y}$ に比べて $2.5 \times 10^5 \text{y}$ と短いため
ここでの計算では ^{234}U 重量を無視した。天然存在比 0.0056%

(2)

フッ化ウラニルのそれぞれの濃度は

$$^{238}\text{U} : 1.4 \times 10^{-4} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}, \quad ^{235}\text{U} : 6.0 \times 10^{-6} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

$$^{234}\text{U} : 1.4 \times 10^{-4} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

換気後の濃度(A')と換気回数(n)の関係式は、ほぼ次式が成り立つことから

$$A' = 0.37^n \times A$$

一時間後の各濃度は、始めの0.7%となる。

濃度限度に対する比の合計Bは

$$B = \frac{(1.4 \times 10^{-4} + 6.0 \times 10^{-6} + 1.4 \times 10^{-4}) \times 7.0 \times 10^{-3}}{2.0 \times 10^{-5}} = 0.1$$

(参考文献) 放射線概論, 石川友清編, 通商産業研究社

第2問 解答例

- ① 直接, ② 検出器, ③ 固定, ④ 遊離, ⑤ B・Gの高い, ⑥ 高く,
 ⑦ 間接, ⑧ ろ紙等でふきとり, ⑨ 再浮遊, ⑩ 大きく

(参考文献) 放射線概論, 石川友清編, 通商産業研究社

放射性表面汚染の測定・評価マニュアル; 内部被ばくにおける線量当量
の測定・評価マニュアル, 原子力安全技術センター

第3問 解答例

- (1) (ホ), 生じるイオン対の数は α 線のほうが多い。 γ 線は直接電離作用を行わないが、検出器の気体や壁材との相互作用（主として光電効果とコンプトン散乱）の結果生じた二次電子が、荷電粒子としてふるまうため検出される。
- (2) (ロ), α 線と β 線の波高は違っているが、簡単な波高選別では β 線だけを選別測定できない。通常 α 線を吸収する吸収板を使用して測定している。
- (3) (ハ), 発光の減衰時間が長いと、測定できない時間帯ができ正確な測定が出来ない。
- (4) (イ), 逆同時計数回路でなく同時計数回路が用いられている。

（参考文献）放射線概論，石川友清編，通商産業研究社

第4問 解答例

- (1) ① 10, (2) 33, (3) 1, (4) 経口 (5) 吸入 (6) 経皮,
- (5) ⑦ 造血器官障害, (6) ⑧ 脱毛, (7) ⑨ 遅い, (8) ⑩ 1

（参考文献）放射線概論，石川友清編，通商産業研究社
 内部被ばくにおける線量当量の測定・評価マニュアル，原子力安全技術センター
 核燃料取扱技術，日本原子力産業会議

第5問 解答例

- (1) 作業環境に空気汚染が検出された時の放射線管理上の措置について
 ①周辺の作業者に知らせ、当該区域を立ち入り制限等の措置を行い表示する。②汚染核種の核種分析を行い、法令値と比較し、空気汚染のレベルを判断する。③汚染が検出された期間に作業を行った作業者の鼻孔検査、さらに内部被ばくのおそれのある者の内部被ばく検査を実施する。④空気汚染の原因調査を行い、原因の除去、汚染の広がりを防止する処置を行う。⑤原因となった行為について十分検討し、作業手順及び方法について見直しを行い、記録にとどめる。

(2) 天然放射性核種のラドンとトロンについて

ラドンは ^{222}Rn で ^{238}U の娘核種、トロンは ^{220}Rn で ^{232}Th の娘核種で、いずれも放射性の希ガスである。これらの核種は親核種が地中、コクリート壁等に含まれており、空気中に放射性希ガスとして発生してくる。このラドンとトロンから公衆一人当たりが受ける被ばくは、自然放射線源からの被ばくの約70%を占めている。換気のない部屋や地下、さらに建築物の建築材料等により放射能濃度が高くなることから、最近注視されている。

（参考文献）主任者のための放射線管理の実際，日本アイソトープ協会
 放射線用語辞典，飯田博美編，通商産業研究社

謝辞

本解答例集作成にあたり、柴 是行原子力総合研修センター長、半田 宗男燃料研究部長、備後 一義保健物理部長および北野 匠四郎放射線管理第2課長のご指導を得た。ここに感謝の意を表す。

執筆分担

第26、27回 核燃料物質に関する法令 作田 孝

第26回 核燃料物質の化学的性質及び物理的性質
核燃料の取扱に関する技術 淩 和生

第27回 核燃料物質の化学的性質及び物理的性質
核燃料の取扱に関する技術 森田 泰治

第26、27回 放射線の測定及び放射線障害の防止に関する技術 西座 雅弘

編集 吾勝 永子