

JAERI-Tech
2000-012



JP0050334



研究所等廃棄物の埋設処分における安全評価上重要核種
の選定(その1)－
主要放射性廃棄物発生施設別の核種組成比の評価－

2000年3月

坂井章浩・吉森道郎・阿部昌義

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、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

研究所等廃棄物の埋設処分における安全評価上重要核種の選定(その1)-

主要放射性廃棄物発生施設別の核種組成比の評価 -

日本原子力研究所東海研究所バックエンド技術部

坂井 章浩・吉森 道郎・阿部 昌義

(2000年1月28日受理)

研究所等廃棄物の処分における安全評価上の重要核種を選定するために必要な廃棄物中の核種組成比について、種々の発生条件を考慮して評価した。原研東海研の研究施設を原子炉施設、核燃料使用施設、RI使用施設に区分し、各区分において代表的な施設から発生する廃棄物について、廃棄物発生記録等の調査、取扱試料等の燃焼・放射化計算調査、放射能測定データの調査を行い、廃棄物中の核種組成比を評価した。その結果、原子炉施設から定常時発生する廃棄物は、主な汚染源である冷却材中に含まれる核種が支配的であった。照射後試験施設から発生する試験燃料で汚染した廃棄物の各試験条件間での核種組成比の変動幅は比較的小さく、一方、試験材料で汚染した廃棄物の核種組成比の変動幅は材料が多種類であるため、比較的大きかった。また、RI使用施設で保有されているRIは82種類であり、それらの核種が廃棄物へ移行すると推定された。これらの調査結果を基にして、その3種類の研究施設から発生する各種廃棄物についてそれぞれの代表的な核種組成比を設定した。

**Selection of Important Nuclides from the Viewpoint of Safety Assessment for
Disposal of Radioactive Waste Arising from Research Institutes - Part 1 -
Evaluation of Nuclide Composition Rates in Waste generated from
Main Research Facilities**

Akihiro SAKAI, Michiro YOSHIMORI and Masayoshi ABE

Department of Decommissioning and Waste Management
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 28, 2000)

Nuclide composition rates in radioactive waste arising from research institutes (Institutes-Waste), that are basic factor to select the important nuclides from the viewpoint of safety assessment of disposal, were evaluated, taking account of various waste arising conditions. The research facilities in JAERI Tokai establishment were categorized into three types, namely, research & testing reactors, facilities for nuclear fuel materials tests (PIE facilities), and radioisotope application laboratories, and nuclides composition rates applicable to Institutes-Waste of each facility type were evaluated using investigation of waste generation record, activation analysis, and radioactivity measurement data. As results, the nuclide composition rates of waste from the research & testing reactors depended on the nuclides in the coolant of the reactor; waste contaminated by irradiated fuel materials generated from the PIE facilities had a little variation range in the nuclide composition rates in spite of wide irradiation conditions; the nuclide composition rates of waste contaminated by activated materials were wide range depending on the irradiation conditions and kinds of materials; and 82 kinds of radioisotopes were in use by RI applications laboratories which gave the nuclide composition rates. Based on these results, the representative composition rates of nuclides in waste from each type of facilities and Institutes-Waste were determined, respectively.

Keywords : Radioactive Waste Disposal, Nuclide Composition Rate, Institutes-Waste, Waste Contaminated by Irradiated Fuel, Waste Contaminated by Activated Material, Research & Testing Reactors, PIE Facilities, RI Application Laboratories, Activation Analysis, Waste Generation Record.

目次

1. まえがき	1
2. 研究所等廃棄物の特徴	2
3. 重要核種に関する予備的検討の概要	4
4. 調査および検討計画.....	7
5. 廃棄物の核種組成比等の調査.....	10
5.1 原子炉施設	10
5.1.1 調査方法	10
5.1.2 廃棄物発生記録による調査結果.....	10
5.1.3 放射化計算による調査結果	11
5.1.4 放射能測定データによる調査結果	12
5.2 核燃料物質使用施設	31
5.2.1 調査方法	31
5.2.2 試験試料(燃料・材料)記録による調査結果.....	32
5.2.3 燃焼・放射化計算による調査結果	32
5.2.4 放射能測定データによる調査結果	34
5.3 RI 使用施設.....	79
5.3.1 調査方法	79
5.3.2 廃棄物発生記録による調査結果.....	79
5.3.3 放射化計算による調査結果	80
5.3.4 RI 保有量による調査結果	80
6. 核種組成比の評価.....	95
6.1 原子炉施設	95
6.2 核燃料物質使用施設	96
6.3 RI 使用施設.....	98
7. まとめ	105
謝辞.....	107
参考文献	107

Contents

1	Introduction	1
2	Outline of Institutes-Waste	2
3	Preliminary Study for Selection of Important Nuclides	4
4	Approach for Investigation and Study	7
5	Investigation of Possible Nuclide Contents in Waste and Characteristics	10
5.1	Research & Testing Reactors	10
5.1.1	Investigation Method	10
5.1.2	Investigation Results from Waste Generated Record	10
5.1.3	Investigation Results from Activation Analysis	11
5.1.4	Investigation Results from Radioactivity Measurement Data	12
5.2	Facilities for Use of Nuclear Fuel Materials Tests (PIE Facilities)	31
5.2.1	Investigation Method	31
5.2.2	Investigation Results from Test Sample (Fuel and Activated Material) Information	32
5.2.3	Investigation Results from Burn-up and Activation Analysis	32
5.2.4	Investigation Results from Radioactivity Measurement Data	34
5.3	Radioisotopes Application Laboratories	79
5.3.1	Investigation Method	79
5.3.2	Investigation Results from Waste Generated Record	79
5.3.3	Investigation Results from Activation Analysis	80
5.3.4	Investigation Results from Radioisotope Inventory	80
6	Evaluation of the Nuclide Composition Rates	95
6.1	Research & Testing Reactors	95
6.2	Facilities for Use of Nuclear Fuel Materials Tests (PIE Facilities)	96
6.3	RI Application Facilities	98
7	Conclusions	105
	Acknowledgement	107
	References	107

1. まえがき

日本原子力研究所(以下、「原研」という)等の大規模な原子力研究開発機関では、「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」(以下、「原子炉等規制法」)の規制の下で、試験研究炉および核燃料物質使用施設等を設置して、原子力に関する技術開発、安全性研究等が行われており、また、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」(以下、「放射線障害防止法」)の規制の下で、放射性同位元素(以下、「RI」)の製造・利用、放射線発生装置等による放射線を利用した研究等が行われている。このような機関から発生した廃棄物(以下、「研究所等廃棄物」)は、安全な状態に処理して保管しているのが現状である。各機関の廃棄物保管容量にも限度があるので、現状のままでは今後の研究開発活動に支障をきたす可能性があり、研究所等廃棄物の処分方策を早急に決める必要がある。

このような状況の中で、原子力委員会は、平成6年6月の「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」^[1](以下、「原子力長計」)において、RI廃棄物および研究所等廃棄物についての処分方策検討の必要性を示し、これを受け、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会は、平成10年5月の「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方について」^[2]において、RI・研究所等廃棄物処分場の管理に関する基本的考え方、処分の安全確保のための諸制度のあり方、処分に必要な技術開発等を示している。

一方、原研では、平成7年度から平成8年度にかけて、研究所内の放射性廃棄物対策検討委員会、技術専門部会、研究所廃棄物安全評価シナリオ検討ワーキンググループにおける研究所等廃棄物の処分に関する予備的検討^[3]の中で、処分に係る概念検討および予備的な安全性評価を行い、研究所等廃棄物の処分の可能性について示した。また、バックエンド技術部においても、研究所等廃棄物の処分を実現させるために、安全かつ合理的な処理処分システムの検討を進めてきた。

研究所等廃棄物の処理処分システムを検討するにあたっては、想定される廃棄体に含まれる放射性核種の種類と放射能量(放射能インベントリー)を精確に把握するとともに、その把握した放射能インベントリーの結果を用いて、研究所等廃棄物の処分の安全性に影響を及ぼす重要な核種を確定する必要がある。このことによって、今後の廃棄体の確認技術開発、処分施設の概念設計等を効率的に進めることができる。

そこで、主として、原研東海研究所内の各種研究施設から発生する放射性廃棄物を対象にし、含まれる放射性核種の放射能種類と濃度を調査するとともに、核種組成比を評価した。

さらに、想定する処分形態ごとの放射能インベントリー等について前述の予備的検討結果および各施設から発生する廃棄物の核種組成比を踏まえてまとめるとともに、その結果を基にして、代表的と考えられる環境条件等で処分形態ごとに予備的安全性評価を行うことにより、研究所等廃棄物の処分の安全性に影響を及ぼす重要な核種を選定することとした。

本報告は、各種研究施設から発生する放射性廃棄物に含まれる放射性核種の種類と放射能濃度の調査として行った廃棄物発生記録等の調査、燃焼・放射化計算調査および放射能測定データ調査の結果、並びに含まれる放射性核種組成比の評価結果についてまとめたものである。

2. 研究所等廃棄物の特徴

原研内の各研究施設はその研究目的に応じて、原子炉等規制法に基づく原子炉施設または核燃料物質使用施設の許可を、また放射線障害防止法に基づく RI 使用施設の許可を受けている。これらの研究施設の多くは研究開発を総合的かつ効率的に行うために、上記法規に基づく複数の許認可を受けている。各施設の許可の状況を表 2.1 に示す。これらの研究施設の利用に伴って発生する放射性廃棄物は双方の規制下にある放射性廃棄物(以下、「二重規制廃棄物」という)となっている。さらに、減容および安定化処理が必要な放射性廃棄物については、放射性廃棄物処理施設において一括して処理しており、その結果、二重規制廃棄物となるものも多い。したがって、現状の研究所等廃棄物は、発電所廃棄物と比較した場合、発生要因や汚染源が多種多様であり、含まれる放射性核種の範囲、組成比等が一定でないという特徴を有している。

表2.1 原研東海研における施設別許可取得の状況（平成9年6月30日現在）

No	施設名	規定または許可状況		
		原子 炉	核燃 使用	RI 少量
1	JRR-1	○	○	○
2	JRR-2	○	●	
	JRR-3	○	○	●
3	実験管理棟	○	○	○
4	JRR-4	○	○	○
5	開発試験室(VHTRC)	○	○	○
6	FCA	○	○	●
7	TCA	○	○	●
8	NSRR	○	○	●
9	NUCEF	○	○	○
10	第3研究棟		○	○
11	第4研究棟		○	○
12	放射性標準施設棟(FRS)		○	○
13	システム加速器建屋		○	○
14	セラミック特研		○	○
15	冶金特研		○	○
16	ホットラボ		○	○
17	核燃倉庫		○	
18	RI製造棟		○	○
19	トリチウムプロセス研		○	○
20	Pu研究1棟	○	○	
21	Pu研究2棟		○	○
22	再処理特研		○	
23	再処理試験室		○	○
24	ウラン濃縮研		○	
25	フッ素実験室建屋		○	○
26	保障措置技術開発		○	
27	電源開発促進特別		○	○
28	FNS		○	○
29	燃料試験施設	○	●	
30	廃棄物安全試験施設(WASTEF)	○	○	
31	環境シミュレーション試験棟		○	
32	パックエンド技術開発建屋		○	
33	第2研究棟		●	●
34	工作工場		●	●
35	非破壊実験測定室		●	●
36	JFT-2建屋		●	●
37	Co-60照射室		●	●
38	モックアップ試験建屋		●	●
39	原子炉特研		●	●
40	返還廃棄物受入測定技術開発棟		●	●
41	核物理特研		●	
42	機械化工特研		●	
43	大型非定常ループ実験棟		●	
44	二相流ループ実験棟		●	
45	2MV VDG		●	
46	陽子リニアック		●	
47	液体廃棄物処理施設	○	○	●
48	固体廃棄物処理施設	○	○	●
49	第1廃棄物処理棟	○	○	○
50	第2廃棄物処理棟	○	○	○
51	汚染除去場	○		○
52	第1保管廃棄施設	○	○	●
53	第2保管廃棄施設	○	○	●
54	廃液長期貯留施設		○	
55	固体廃棄物一時保管棟		○	
56	使用済燃料貯蔵施設	○	○	

原子炉:原子炉施設

核燃:(使用) 核燃料物質使用施設(政令第16条の2該当)

(少量) 少量核燃料物質使用(政令第16条の2対象外)

● 密封のみの使用を表す。

3. 重要核種に関する予備的検討の概要

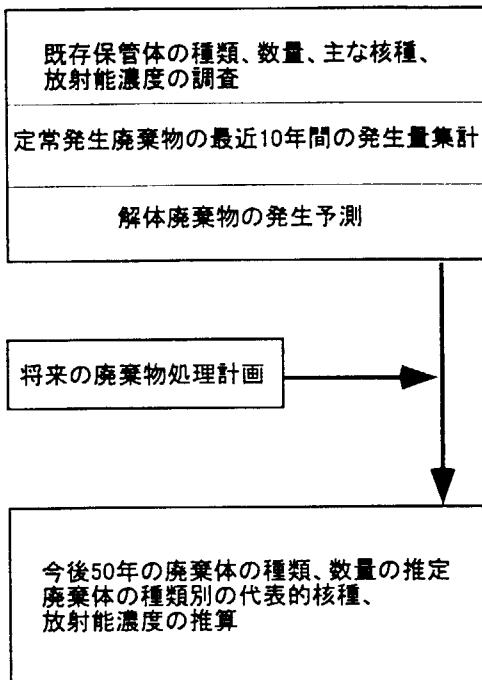
上記の特徴を有する研究所等廃棄物の処分方策を検討するため、原研の廃棄物を対象として、平成7年度から平成8年度の期間で、放射性廃棄物対策検討委員会技術専門部会研究所廃棄物安全評価シナリオ検討ワーキンググループにおいて、RI・研究所等廃棄物の処分に係る概念検討及び予備的な安全性評価が行われた(以下、「予備的検討」という)。この予備的検討の調査方法を図3.1に示す。

その中で、既存保管廃棄物の種類、数量、主な核種、放射能濃度の調査、解体廃棄物の発生予測を行い、将来の廃棄物処理計画を考慮して、今後50年を含む全廃棄体の種類、数量、廃棄体種類別の代表的核種の放射能濃度を推定した。また、原子炉構成材料の放射化計算、照射後試験施設における代表的と考えられる試料の照射条件に基づく計算、許可申請書、使用記録簿等に記載されている放射能情報から、放射性廃棄物に含まれる可能性のある放射性核種の範囲、組成比等を推定した。これらの結果から、今後50年間を含む全廃棄体の放射能濃度と濃度分布を推定し、レベル区分に従って、廃棄体の量と放射能量を集計し、さらに区分ごとに適用可能な処分形態を想定し、予備的安全評価が行われた。

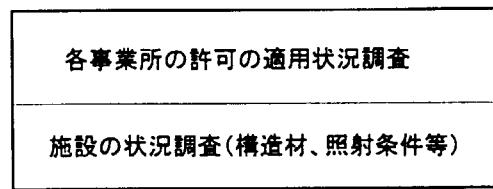
それによると、廃棄物中に含まれている可能性のある放射性核種は1,009核種であることが明らかとなり、それらから短半減期(10分の1年未満)のものを除いた核種の種類は212が示された。

この212核種について、陸地処分後における核種ごとの被ばく影響の程度が大きいもの81核種を選定した。この核種について放射能濃度分布を推定してレベル区分し、処分想定放射能量と廃棄体量を推定し、政令濃度上限値を導出した際の被ばくシナリオを参考にして処分の予備的安全評価を行い、各処分形態のそれぞれの被ばくシナリオにおいて最も被ばく線量が高い核種から4桁下の範囲までの被ばく線量を与える核種を浅地中埋設処分の重要核種の候補として選定した。その結果、26核種(U及びTRU核種を α 線放出核種としてまとめた。)が選定された。選定された26核種の相対的重要核種を表3.1に示す。

**1. 既存保管体の調査及び
廃棄体の種類、数量等の推定**



2. 廃棄体の核種および放射能量の推定



計算コードによる生成核種の推定

RI許可申請書による使用核種の調査

半減期0.1年以上の核種の推定

212核種

仮定した埋設方式(浅地中、簡易埋設、地下深部埋設)に基づく濃度上限値の算定

81核種
(濃度上限値の5桁幅)ORIGEN計算コード等による81核種の核種組成比の計算
(照射済みUO₂、照射済みMOX、放射化金属、放射化コンクリート)

各事業所のRI保有量の調査

処分形態別の廃棄体の種類、数量、核種、及び放射能量の評価

3. 被ばく線量評価

処分形態別の公衆の線量当量評価

埋設処分の安全評価上重要な核種の1次選定
 $\beta \cdot \gamma$ 25核種+ α 核種(被ばく影響度上位4桁)

図3.1 研究所等廃棄物埋設処分に関する予備的検討フロー

表3.1 予備的検討で選定された研究所等廃棄物の埋設処分の安全評価上重要核種

相対重要度	浅地中埋設				簡易埋設				地下深部埋設			
	地下水	建設	居住	地下水	建設	居住	地下水	建設	居住	埋設深度100m	埋設深度200m	
10^0	C-14	Nb-94	Am-241(a)	H-3	Eu-152	Sr-90	Eu-152	Tc-99	C-36	I-129	U-238(a)	
	K-40		Sr-90 Cs-41 Ni-63 Cl-36 Pu-240(a) Pu-239(a)	C-14	Cs-137	Cs-137 H-3 Cs-137 Co-60	H-3 U-236(a) U-238(a)	I-129 U-236(a) U-238(a)			Tc-99	
10^{-1}			K-40 Cs-137	Pu-238(a) Cs-137 Nb-94 Tc-99 Ni-59	K-40	Co-60	Co-60 Eu-154	Co-41 Ni-63 Eu-154	U-235(a)	U-235(a)	Cd-113	
	Cl-36 Ca-41		Np-237(a)	Am-243(a) Mo-93 Ag-108M Se-79 C-14	CA-41	Nb-94 Ag-108M Am-241(a) Pu-238(a) Ho-166M	Am-241(a)	Am-241(a)	Am-241(a)	Am-241(a)	Am-241(a)	
10^{-2}	Rb-87 Ni-59 I-129	Ho-166M Ag-108M	Am-242M(a)	Cl-36 Nb-94 Rb-87 Ni-59	K-40	Pu-239(a) Pu-240(a) Pu-239(a)	Pu-238(a) Ag-108M Pu-240(a)	Nb-94 Pu-238(a) Ag-108M Pu-240(a)	Se-79 U-234(a)	Se-79 U-234(a)		
10^{-3}	Nb-94	Al-26	Cs-135 Th-232(a) Np-237(a)	Cl-36 Nb-94 Rb-87 Ni-59	K-40	Pu-239(a) Ho-166M Cm-244(a)	Pu-240(a) Pu-239(a)	Pu-239(a)	Np-237(a)	Np-237(a)	Se-79	
	Th-232(a) Sn-126 Tc-99 Cs-135 Se-79		Zr-93 I-129 Rb-87 Pu-231(a) Pu-242(a) U-234(a) U-233(a) U-238(a)	Ba-133 Cm-244(a) Th-232		Ni-59 Tc-99 C-14 Cd-113M						
10^{-4}												

各被ばくシナリオに対して、被ばく線量の最も大きい核種を基準とした場合の被ばく線量の比

4. 調査および検討計画

前項に述べた予備的検討における核種組成比計算では、廃棄物や発生施設の種類等は考慮したもの、施設の運転条件や試験試料の種類、照射条件等に関しては標準的と考えられる一定条件を仮定していた。しかし、施設の運転条件や試験試料の種類、照射条件等は、試験の目的や内容によって時期的に変動するのが通例であり、特に照射後試験施設においてはこの時期的な変動が顕著であると考えられる。そのため、予備的検討で設定した核種組成比およびその結果から選定した埋設処分の安全評価上重要となる 26 核種には、廃棄物の発生時期と試験条件の変動に起因する不確実性が含まれていると考えられ、重要核種をさらに適切な範囲に絞り込むためには、このような試験条件等の時期的変動を考慮することが重要となる。前項に述べた予備的検討の段階で把握した重要核種は、種々の仮定条件の下で主に推定法により集計した結果である。したがって、廃棄物中の生成核種と核種組成比に変動の可能性があること等の課題が残されていると考えられる。

そこで、廃棄物や発生施設の種類ごとに、運転条件や試験試料、照射条件等の時期的変動が核種組成比に与える影響を調査検討し、それらを考慮した核種組成比を設定した上で、廃棄物の放射能濃度、処分放射能量等、いわゆる放射能インベントリーを再評価し、その結果から、処分の安全評価上重要となる核種、あるいは廃棄体確認の対象となる核種を適切に選定することとした。

調査および検討に当たっては、運転条件や試験条件の時期的変動が最も顕著と考えられる東海研究所の照射後試験施設を重点施設とし、これに原子炉施設、RI使用施設等を考慮して、核種組成比を再評価することとした。また、運転条件、試験条件の時期的変動状況に関する調査検討の対象期間は、照射後試験の施設や内容の変遷や拡大状況、これらからの廃棄物の発生量等を考慮して、昭和62年度から平成10年度の期間とした。さらに、調査検討の対象核種は、予備的検討で埋設処分における被ばく影響度を考慮して抽出した81核種とした。

調査および検討は、以下の手順に沿って段階的に進めることとした。全体の調査および検討フローを図 4.1 に示す。

- (1) 廃棄物発生施設を原子炉施設、核燃料使用施設およびRI使用施設に区分し、それぞれのグループの代表的施設について、調査対象期間における試験工程等に関連した「廃棄物発生記録等調査」、試験試料等に関する詳細情報に基づく取扱い試料の「燃焼・放射化計算調査」、廃棄物発生源、保管廃棄物等の「放射能測定データ調査」により、廃棄物中の放射能に関する詳細な基礎データを収集する。
- (2) 収集した廃棄物発生記録、燃焼・放射化計算結果および放射能測定データを基にして、発生施設の区分および廃棄体の種類ごとに、放射能量評価上 key となる特定核種(以下、「key 核種」)の生成量に対する各着目核種の生成量の比を、その核種の組成比として算出する。組成比1となる key 核種は、核分裂生成核種、金属材料放射化生成核種およびアクチニド系核種のグループごとに選定する。着目核種の組成比は、調査対象期間中に取り扱われた試料の種類、照射条件、原材料の規格等ごとに求めたのち、試料から廃棄物への移行状況、当該試験期間の廃棄物発生量等を考慮した平均的な組成比を評価して、その着目核

種の代表的組成比とする。上記の調査結果を基にして、各発生施設区分における代表核種組成比を設定する。

- (3) 廃棄物発生記録等調査の結果から得られる既存保管体の種類や数量、今後の廃棄体製作方法等に基づいて、想定する廃棄体の種類ごとに、廃棄体数量、および廃棄体の key 核種の濃度分布を推定評価する
- (4) (2)で評価した各核種の代表組成比、および(3)で推定評価した廃棄体の key 核種の濃度分布を用いて、検討対象 81 核種に対する廃棄体の放射能濃度分布を求める。この濃度分布から、現行の政令濃度上限値等を参考にして、想定する処分形態ごとに廃棄体を区分し、さらに、処分形態ごとに個々の核種の平均濃度(D)と処分放射能量等を集計する。
- (5) 想定する処分形態ごとに、立地環境、評価シナリオ等は一般的と考えられる条件を用いて、検討対象 81 核種の濃度限度値(C; $10 \mu \text{Sv/y}$ 相当濃度)を求める。
- (6) 検討対象 81 核種のそれぞれについて、(4)の平均濃度と(5)の濃度限度値との比(D/C)を求め、さらに、D/C の最大値に対する各核種の D/C 値の比率(相対重要度)を求め、これらを大きいものから順序づけする(相対重要度の評価)。
- (7) 評価した相対重要度が上位3桁以内に入る核種を、処分の安全評価上重要な核種として選定する。これらは、将来の埋設事業許可申請書に記載し、廃棄体確認を受ける核種の候補となる。

本報告書は、処分の安全評価上重要な核種の選定に関する調査検討結果の「その1」として、上に示した調査および検討計画の(1)および(2)を中心に、一連のフローの中でも重要度の高い「各核種の代表組成比」の設定結果を取りまとめたものである。また、「その2」では、設定した代表組成比を基に、平均濃度、相対重要度の評価等と重要核種の選定結果を取りまとめることとしている。

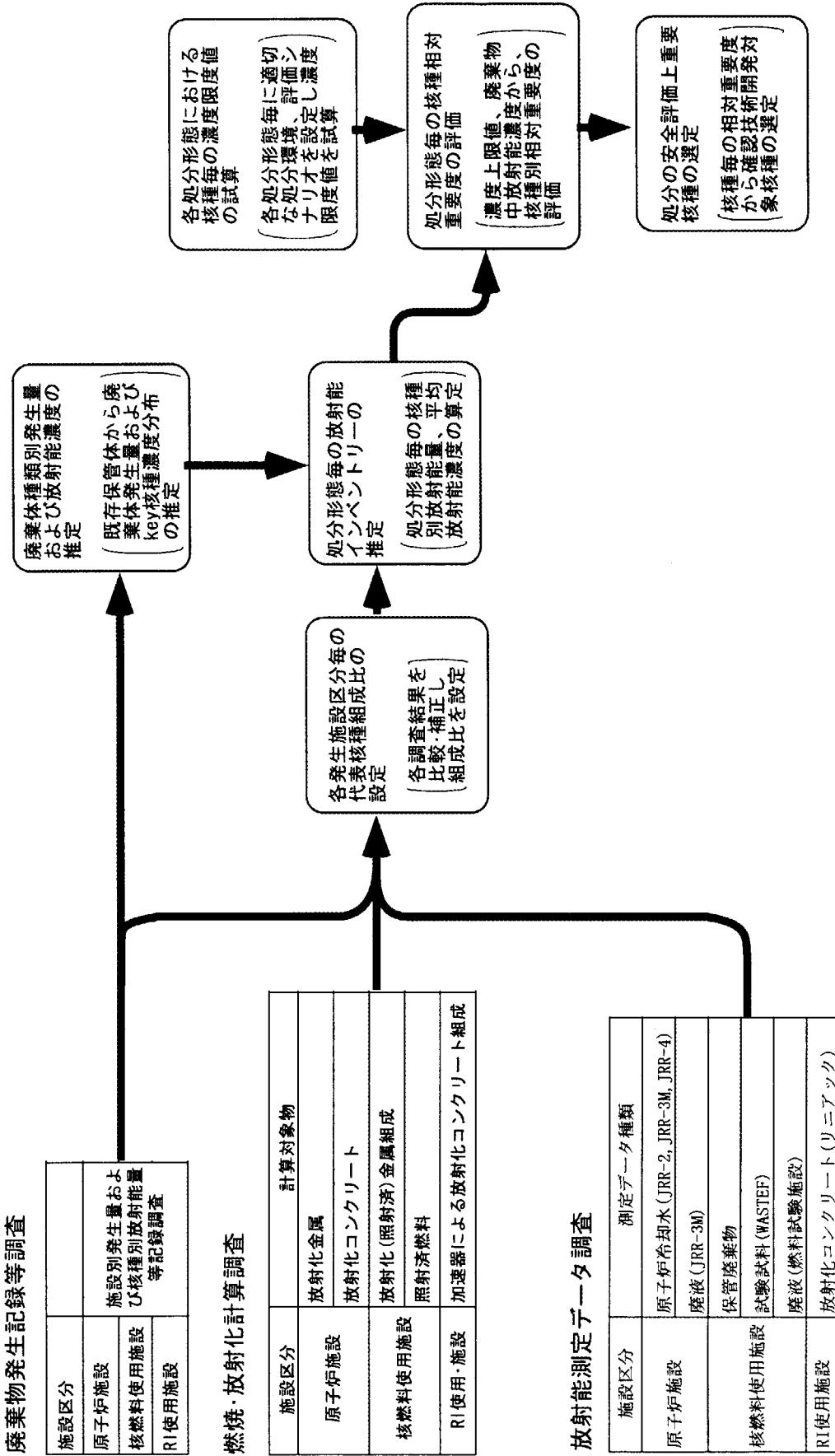


図4.1 研究所等廃棄物の処分の安全評価上重要な核種の調査および検討フロー

5. 廃棄物の核種組成比等の調査

5.1 原子炉施設

5.1.1 調査方法

原子炉施設では、通常、研究炉の運転および保守において原子炉構成材料の放射化生成物で汚染した冷却材、または放射化により生成するトリチウム等を含む冷却材によって汚染した廃棄物が発生する。また、冷却材自身も廃棄物となる。さらに、解体、改造、機器の交換時には放射化した原子炉構成材料が廃棄物となる。すなわち、原子炉施設から発生する廃棄物中に含まれる主な核種は、原子炉構成材料および冷却材の放射化生成物に起因するものである。

原子炉施設から発生する廃棄物中の放射性核種の種類および核種組成比の変動について、JRR・2、JRR・3M、JRR・4を代表施設として、以下の調査を行った。

(1) 廃棄物発生記録による調査

昭和 62 年度から平成 7 年度までに上記各施設から発生した固体廃棄物のうち、ドラム缶等に収納し、そのまま保管廃棄された廃棄物(以下、「直接保管体」という)等を対象として、内容物の性状放射能量等が記載された帳票(以下、「廃棄物引取り検討依頼書」という)より、含有放射性核種の種類および放射能量を調査した。また、廃棄物の発生原因および種類についても合わせて調査を行った。

(2) 放射化計算による調査

上記 3 施設の原子炉構成材料の放射化生成物については、予備的検討で行われた放射化計算の結果を引用して、廃棄物発生記録に記載されていない潜在的な核種の調査を行った。

(3) 放射能測定データによる調査

上記 3 施設の一次冷却水(原子炉プール水)の放射能測定データから一次冷却水に含まれる放射性核種の種類と核種組成比の調査を行った。

(1)～(3)の調査から得られた核種組成比を比較することにより、上記 3 施設間および原子炉構成材料間での放射性核種の種類および組成比の変動について比較した。

5.1.2 廃棄物発生記録による調査結果

昭和 62 年度から平成 7 年度の期間で JRR・2、JRR・3M(JRR・3)、JRR・4 から発生した直接保管体について、廃棄物引取検討依頼書から発生原因、内容物、含有放射性核種の種類と放射能量を調査した。その調査結果を表 5.1.1 から表 5.1.3 に示す。なお、昭和 62 年度から平成元年度に JRR・3M 施設から発生した廃棄物は JRR・3 の改造により発生した廃棄物である。これら結果より次のことが分かる。

- ① 廃棄物発生記録に記載されている核種は、主に Co-60、H-3 である。Co-60 は原子炉構成材料の放射化生成核種であり、原子炉構成材料の放射化廃棄物および放射化により汚染した一次

冷却水を含む廃液、または一次冷却水を起源とする汚染廃棄物に含まれると考えられる。H-3 は主に重水中に含まれ、重水を一次冷却水としているJRR-2、また、旧 JRR-3 で H-3 を含む廃棄物が多く発生している。

- ② 記載されている核種は、伝票 1 件あたり代表となる 2、3 核種であり、原子炉構成材料の放射化を考慮すると、潜在的な核種が含まれている可能性がある。
- ③ 各施設から発生した個々の固体廃棄物に含まれる Co-60 の放射能量分布を図 5.1.1 に示す。この図から、調査した 3 施設ともに廃棄物中の Co-60 の放射能量が $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8 \text{Bq}$ を中心として分布し、各施設間で汚染の度合いおよび廃棄物の種類にあまり差が無いことが分かる。また、廃棄物に含まれる Co-60 の放射能量の合計値は、JRR-2 がかなり大きな値となっているが、これは制御棒の廃棄物が発生したためである。
- ④ 使用済燃料(Spent Fuel : SF)の貯蔵プールの構成材料またはプール水精製用のイオン交換樹脂の廃棄物には Cs-137 が含まれ、これは SF に起因するものと考えられる。一部の廃棄物中には核分裂生成物(FP)および TRU 核種を含む可能性がある。

5.1.3 放射化計算による調査結果

5.1.2 の調査結果より、原子炉施設から発生する廃棄物中に含まれる核種は、主に原子炉構成材料の放射化生成物に起因することが明らかである。予備的検討が進められた過程において、JRR-2、JRR-3M、JRR-4 の主要な原子炉構成材料であるアルミニウム合金、ステンレス鋼(SUS304)、ペリリウム反射材、コンクリートについて放射化計算が行われている。また、JPDR の解体実地試験におけるコンクリートおよび炉心シラウド(SUS304)についても行われている。原子炉構成材料の放射化計算条件および原子炉構成材料の元素組成比について表 5.1.4 および表 5.1.5 にそれぞれ示す。

表 5.1.6 に各原子炉構成材料における放射化生成物の放射能濃度の計算結果を予備的検討において選定された 81 核種について示す。この表から、Ni-59、Ni-63 等の廃棄物発生記録に記載されていない核種も廃棄物中に含まれていることが予想される。放射化計算結果から求めた JRR-2 の生体遮へい体重コンクリートと JPDR 生体遮へい体コンクリートにおける放射化生成物の核種組成比の比較を図 5.1.2 に示す。図中に示す核種は、予備的検討において選ばれた相対的重要核種(25 核種+ α 核種)(以下、「予備的検討における重要核種」という。)のうち主な放射化生成核種であり、また、核種組成比は放射化生成核種で代表的と考えられる Co-60 の放射能濃度に対する比で示している。JPDR のコンクリートの方が元素組成比を詳細に設定しているため、放射化生成核種の種類が多くなっている。Ca-41、Ni-63、Cs-137、Eu-154 等の核種組成比は両者間で 1 衍程度の差であるが、H-3、C-14、K-40、Eu-152 等の核種組成比はかなりの違いが見られる。これは、元素組成比、照射条件の違いに依存するものであると考えられる。また、H-3、C-14 における JPDR コンクリートの核種組成比は、冷却材の放射化により生成する量も考慮されているため、JRR-2 の生体遮へい体重コンクリートの核種組成比に比べて大きくなつたものと考えられる。

各金属材料における放射化生成物の核種組成比の比較を図 5.1.3 に示す。図中に示す核種は、予備的検討における重要核種のうち主な放射化生成核種および比較的測定の容易な γ 線放出核種である。アルミニウム合金における H-3、Mn-54 は、主に高速中性子による放射化によって生成するため、各計算ケースにおける中性子フラックスの違いから核種組成比にばらつきが見られ、その

他の Cr-51、Ni-63、Zn-65 等の核種組成比は、比較的一致している。SUS304 については、コンクリートの放射化計算結果と同様に、JPDR における SUS304 の元素組成比が詳細に設定されているため、核種の種類が多くなり、また、冷却水を起源とする汚染を考慮しているため H-3、C-14 の核種組成比が大きくなっているものと考えられる。アルミニウム合金、SUS304、ベリリウム材料の間で比較すると、互いに元素組成比が異なるため、生成核種の種類および組成比は異なる結果となっている。一方、Co-60 に対する核種組成比が最大値を示した材料について核種ごとに見てみると、Ni-59、Ni-63 については SUS304 の組成比が最大値となり、その他の核種については Al 合金の組成比が最大値を示している。

5.1.4 放射能測定データによる調査結果

上記の 3 つの研究炉で使用されている冷却水中の放射性核種と放射能濃度については、研究炉部により測定データを提供して頂いた。冷却水の種類と保有量について表 5.1.7 に示す。表 5.1.8 に過去の冷却材の測定データを示す。表 5.1.8 から、H-3 の放射能濃度は重水中では 10^7Bq/ml 、軽水中では 10^2Bq/ml のオーダーとなっていることが分かる。また、冷却材中には Co-60、Cr-51 等が検出されていることから、放射化した原子炉構成材料の一部が冷却材中に溶解しているものと推測される。

表 5.1.9 に 1991 年から 1999 年までの JRR-3M から廃棄物処理場へ搬出した廃液中に含まれる放射性核種と放射能量を示す。これからも、JRR-3M から発生する廃液は主に H-3 と原子炉構成材料の放射化核種であることが分かる。また、毎年ではないが Cs-137 の含まれる廃液も搬出されており、これらは固体廃棄物の発生記録から考慮すると使用済燃料(SF)貯蔵プールの改修、または SF プール水精製用のイオン交換樹脂の交換作業から発生したものと推測される。ただし、表 5.1.8 の SF 貯蔵プール水の測定データからは、Cs-137 は検出されていないので、定常時発生する汚染廃棄物中に含まれる Cs-137 は少ないものと考えられる。

図 5.1.4 に冷却材の測定データより求めた核種組成比と放射化計算によって求めた核種組成比との比較を示す。H-3 については、測定データからの組成比が大きくなってしまっており、これは冷却材の放射化のためである。また、Cr-51、Mn-54、Zn-65 については測定データからの組成比が放射化計算の組成比の範囲内に分布していることが分かる。

表5.1.1 JRR-2から発生した固体廃棄物(直接保管体)の種類と放射能量:昭和62年度-平成7年度(1/3)

年度	廃棄物発生原因	内容物	保管廃棄体記録表記載核種放射能量(Bq)					放射能の評価方法
			H-3	Cr-51	Fe-59	Co-60	Cu-64	
S 6 2 年 度	重水ポンプ室照明更新	照明器具類				7.4E+07		—
	老朽化	JRR-2制御棒	1.7E+10			1.0E+14		試料分析測定法
	フィルターの交換	重水フィルタ				1.1E+07		表面線量当量率換算法
	制御棒交換作業	ボールネジ				5.9E+07		收支管理法
	被照射空気系配管変更	配管				2.2E+04		試料分析測定法
	炉水純化	イオン交換樹脂				4.4E+07		表面線量当量率換算法
	冷却設備工事	コンクリート類				1.5E+07		試料分析測定法
	制御系整備作業	ゴム、プラスチック				7.4E+05		試料分析測定法
	冷却設備工事	コンクリート類				1.5E+07		試料分析測定法
	DPタンク配管更新	配管				6.3E+07		試料分析測定法
	冷却設備工事	コンクリート類				2.2E+07		試料分析測定法
	冷却設備工事	コンクリート類				6.7E+06		試料分析測定法
	熱交換器等更新	コンクリート類	1.1E+08			3.7E+06		試料分析測定法
	重水ドレインタンク更新	金属	1.0E+09			7.4E+06		表面線量当量率換算法
S 6 3 年 度	重水熱交換器更新	金属	1.4E+09			1.5E+08		收支管理法
	排気系チャンバー更新	金属、コンクリート類				2.3E+07		試料分析測定法
	DPタンク配管更新	配管				1.1E+08		試料分析測定法
	VT-2改造工事	金属				4.1E+08		表面線量当量率換算法
	原子炉運転	JRR-2SF上下アダプター				7.7E+10		表面線量当量率換算法
	共同利用照射	アルミ、鉛、ステンレス				1.8E+09		表面線量当量率換算法
	VT-2改造工事	VT-2シンプル				7.4E+09		收支管理法
	使用済燃料貯蔵水浄化	イオン交換樹脂				2.4E+08		表面線量当量率換算法
	冷却系整備	配管、フランジ等	3.7E+08			1.8E+07		表面線量当量率換算法
	排水管更新工事	鋼管、塩ビ管等				2.5E+06		試料分析測定法

表5.1.1 JRR-2から発生した固体廃棄物(直接保管体)の種類と放射能量:昭和62年度-平成7年度(2/3)

年度	廃棄物発生原因	内容物	保管廃棄体記録票記載核種放射能量(Bq)					放射能の評価方法
			H-3	Cr-51	Fe-59	Co-60	Cu-64	
H 元 年 度	軽水樹脂塔の交換	樹脂塔				5.6E+07		表面線量当量率換算法
	ヘリウムヒータ配管工事	ゴム製ダイヤフラム、バルブ、遮へい材				2.7E+07		表面線量当量率換算法
	化学実験室整理	流量計、導電率計、カッター	1.0E+06			3.3E+05		表面線量当量率換算法
	使用済重水フィルター カートリッジ	重水フィルタ	9.3E+07			9.3E+06		表面線量当量率換算法
	重水樹脂塔の交換	重水樹脂塔				4.2E+07		表面線量当量率換算法
	使用済重水フィルター カートリッジ	重水フィルタ	9.3E+07			6.9E+06		表面線量当量率換算法
	使用済重水フィルター カートリッジ	重水フィルタ	9.3E+07			6.9E+07		表面線量当量率換算法
	重水樹脂塔の交換	重水樹脂塔	1.0E+10			2.0E+09		表面線量当量率換算法
	冷却系整備	紙、布				6.1E+07		表面線量当量率換算法
	共同利用照射	アルミ、鉛、ステンレス				3.1E+09		表面線量当量率換算法
	原子炉運転	JRR-4SF上下アダプター				3.8E+09		表面線量当量率換算法
	原子炉運転	JRR-2SF上下アダプター				1.2E+10		表面線量当量率換算法
H 2 年 度	制御棒更新	制御棒	5.6E+09	5.7E+13	1.5E+12	2.1E+13		試料分析測定法
	中性子ラジオグラフィ装置の撤去	ビスマス					7.4E+09	その他(直接測定)
	中性子ラジオグラフィ装置の撤去	コリメータ、グラファイト				1.1E+09		その他(直接測定)
	サーマルコラムの改造	黒鉛				3.7E+06		その他(直接測定)
	照射設備の整備、照射試験	金属類				6.6E+04		表面線量当量率換算法
	照射設備の整備	コンクリート、セトモノ類				4.0E+03		表面線量当量率換算法
	軽水樹脂塔の交換	イオン交換樹脂				2.4E+07		表面線量当量率換算法
	一次冷却系弁等の供用期間中検査	ダイヤフラム、フロー等	3.7E+08			8.6E+06		表面線量当量率換算法
	断熱材更新	岩綿	2.6E+07					表面線量当量率換算法
	一次冷却系弁等の供用期間中検査	ウエス				8.8E+07		表面線量当量率換算法
H 3 年 度	共同利用照射	金属類				1.1E+10		試料分析測定法
	実験室整備	配管等				3.3E+04		表面線量当量率換算法
	中性子検出器放射化	CIC等				7.7E+04		表面線量当量率換算法
	ポンプ交換等	ポンプ、配管等				1.3E+05		表面線量当量率換算法
	軽水樹脂塔の交換	イオン交換樹脂				2.4E+07		表面線量当量率換算法
	トラックエアロック内整備	金属類				5.5E+04		表面線量当量率換算法
	中性子ラジオグラフィ装置の撤去	装置、遮へい体等				7.4E+07		その他(直接測定)
	実験終了	金属、コンクリート等				1.1E+06		表面線量当量率換算法
	水封ダンパー給排水管の交換工事	配管類、ダンパー等				3.0E+05		表面線量当量率換算法
	水平実験孔の補修	掃除機、アルミパイプ				6.0E+07		表面線量当量率換算法
	水平実験孔の補修	紙、布				7.0E+08		表面線量当量率換算法

表5.1.1 JRR-2から発生した固体廃棄物(直接保管体)の種類と放射能量:昭和62年度-平成7年度(3/3)

年度	廃棄物発生原因	内容物	保管廃棄体記録票記載核種放射能量(Bq)					放射能の評価方法
			H-3	Cr-51	Fe-59	Co-60	Cu-64	
H 4 年 度	ITVから更新	カメラ、バルブ等				3.3E+04		表面線量当量率換算法
	重水ポンプ保護回路の改造	ケーブル				3.3E+04		表面線量当量率換算法
	重水ポンプ交換	ポンプ				2.8E+07		表面線量当量率換算法
	実験終了	金属類等				2.3E+07		表面線量当量率換算法
	HT-15補修作業	金属類				4.4E+05		表面線量当量率換算法
	使用済重水フィルター・カートリッジ	重水フィルタ	8.6E+08			4.1E+07		表面線量当量率換算法
	重水樹脂塔の交換	重水樹脂塔	1.0E+10			1.0E+09		表面線量当量率換算法
	軽水樹脂塔の交換	樹脂塔				2.4E+07		表面線量当量率換算法
H 5 年 度	フード解体撤去	汚染残材等				6.0E+04		表面線量当量率換算法
	給排気設備の取替え工事	配管等				1.9E+05		表面線量当量率換算法
	原子炉運転	イオン交換樹脂と樹脂塔				8.1E+07		表面線量当量率換算法
	原子炉運転	イオン交換樹脂と樹脂塔				1.4E+07		表面線量当量率換算法
H6	原子炉運転	重水精製系フィルタ	6.0E+07			9.0E+08		表面線量当量率換算法
	配水管補修工事	配水管、継手				2.2E+05		試料分析測定法
H7	熱遮へい軽水系バルブ交換	バルブ等				8.8E+04		表面線量当量率換算法
	原子炉運転	イオン交換樹脂と樹脂塔				5.6E+07		表面線量当量率換算法
	トリチウム増殖材からのトリチウム放出実験	トリチウム補修塔、測定機器	1.9E+12			2.6E+07		收支管理法
	原子炉運転	イオン交換樹脂と樹脂塔				2.3E+08		表面線量当量率換算法
合計			1.9E+12	5.7E+13	1.5E+12	1.2E+14	7.4E+09	

JBR-3M (**) から発生した百体種類の直射爆薬物と放射能量：昭和62年度-平成7年度(1/4)

(*)1 昭和62年春から平成2年度までの事業物はJRR-3の改造により発生したものである。

表5.1.2 JRR-3M^(*)から発生した固体廃棄物(直接保管物体)の種類と放射能量:昭和62年度-平成7年度(2/4)

年 度	廃棄物発生原因	内容物	保管廃棄物記録核種放射能量 (Bq)								放射能の評価方法	
			H-3	Cr-51	Fe-59	Mn-54	Co-60	Zn-65	Ag-110m	Sb-124	Cs-137	Hf-181
JRR-3改造工事	コンクリート						1.2E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	コンクリート、ブランチック						1.9E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	コンクリート、ブランチック						2.5E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	コンクリート						1.3E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	コンクリート、金属						9.6E+05					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	金属						7.0E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	コンクリート						4.7E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	コンクリート、ブランチック、金属						2.3E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	金属						3.0E+06					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	金属、陶器						1.9E+05					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	金属						3.7E+05					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	プラスチック、タイル						8.5E+05					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	金属、陶器						3.0E+05					表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	金属						1.5E+06					表面線量当量率換算法
SFRブール水精製	イオン交換樹脂						4.2E+08					表面線量当量率換算法
SF貯槽オーバーフロー受槽除染	紙、酢酸											表面線量当量率換算法
SF貯槽除染	スラッジ、SUS											表面線量当量率換算法
SF貯槽オーバーフロー受槽除染	スラッジ											表面線量当量率換算法
JRR-3改造工事	紙、布											表面線量当量率換算法

表5.1.2 JRR-3M^(*)から発した固体廃棄物(直接保管体)の種類と放射能量:昭和62年度-平成7年度(3/4)

表5.1.2 JRR-3M^{(*)1}から発した固体廃棄物(直接保管体)の種類と放射能量:昭和62年度-平成7年度(4/4)

年度	廃棄物発生原因	内容物	保管廃棄体記録表記載核種放射能量(Bq)							放射能の評価方法			
			H-3	Cr-51	Fe-59	Mn-54	Co-60	Zn-65	Ag-110m	Sb-124	Cs-137	Hf-181	その他
照射試験	金属ラビット			1.4E+07		3.8E+06	2.1E+07						非破壊分析法
浄化系前フィルタの交換	金属工具類等	1.0E+05			3.0E+06							1.0E+05	表面線量当量率換算法
照射設備の改良工事	金属ラビット				2.0E+07								表面線量当量率換算法
H3年	照射試験	金属ラビット		3.5E+02		4.8E+07	4.4E+07						非破壊分析法
照射試験	金属ラビット			3.2E+02		5.6E+07	2.4E+07						非破壊分析法
SF貯槽の除染	スラッジ				6.3E+07							1.3E+08	表面線量当量率換算法
SF貯槽の除染	酢ビ等				3.6E+08							7.2E+08	表面線量当量率換算法
出入管理室の補修工事	鉄パイプ				4.0E+05								試料分析測定法
水力照射設備での試料照射	金属ラビット				2.4E+07								非破壊分析法
H4年	プール水浄化系前位置フィルタ交換	フィルタメント	1.5E+06		1.0E+06	2.0E+05						3.0E+05	表面線量当量率換算法
均一照射設備での試料照射	金属				6.0E+06								表面線量当量率換算法
水力照射設備での試料照射	ラビット				1.5E+08								非破壊分析法
照射清込みミネルダ等					3.0E+06								表面線量当量率換算法
H5	水力照射設備運転	照射清込み金属			1.6E+08								非破壊分析法
一次系の浄化運転	イオン交換樹脂				6.1E+06	1.4E+07						4.0E+06	試料分析測定法
H6年	均一照射設備での試料照射	金属類			3.3E+08							1.2E+06	表面線量当量率換算法
破損燃料検出装置	イオン交換樹脂塔				1.9E+04	1.4E+05	6.1E+03					1.1E+04	試料分析測定法
系の浄化運転													表面線量当量率換算法
水力照射設備の運転	照射清込み金属				1.2E+10								非破壊分析法
H7年	SF燃料貯槽水系の浄化運転	イオン交換樹脂塔				3.0E+08						7.2E+08	表面線量当量率換算法
照射設備の運転	照射清込み金属					7.6E+08							非破壊分析法
水力照射設備の運転	放射化金属等					8.0E+07							表面線量当量率換算法
水力照射設備の淨化運転	イオン交換樹脂	1.2E+06			1.1E+06	6.0E+06	6.0E+07						非破壊分析法
合計		3.8E+10	2.8E+06	1.4E+07	6.1E+06	4.3E+10	9.6E+07	6.0E+07	3.7E+10	4.0E+06	1.3E+10	1.2E+06	

JRR-4から発生した固体廃棄物(直接保管体)の種類と放射能量:昭和62年度-平成7年度

表5.1.4 各研究炉における原子炉構成材料の放射化計算条件

原子炉	構造物	原子炉 構成材料	中性子束 (n/cm ² /s)	照射時間 (day)
JRR-2	炉心タンク	Al5052	Nth=2.0E+14 Nf=6.0E+13(Cd比=3.3)	3000
	熱遮へいタンク	Al5052	Nth=1.0E+12 Nf=5.0E+10(Cd比=20)	3000
	熱遮へい板	SUS304	Nth=1.0E+12 Nf=5.0E+10(Cd比=20)	3000
	生体遮へい体	重コンクリート	Nth=1.0E+09 Nf=5.0E+10(Cd比=100)	3000
JRR-3M	炉心タンク	Al5052	Nth=2.0E+14 Nf=1.0E+14(Cd比=2)	3000
	ベリリウム反射体	Be材	Nth=1.0E+14 Nf=2.5E+13(Cd比=4)	3000
	重水タンク	Al5052	Nth=1.0E+14 Nf=2.0E+12(Cd比=50)	3000
JRR-4	炉心タンク	Al5052	Nth=7.0E+13 Nf=1.0E+13(Cd比=7)	3000
JPDR	炉心シラウド	SUS304	Nth=約1.0E+12	運転履歴に 基づく
	生体遮へい体	コンクリート	Nth=約1.0E+10(コンクリート表面)	

表5.1.5 各研究炉における原子炉構成材料の元素組成比

元素	AI5052 (JPDRを除く)	SUS304	重コンクリート	ペリウム材	普通コンクリート (JPDR)	SUS304 (JPDR)
		wt%				
1 H					5.9E-01	7.0E-04
3 Li					1.5E-03	1.3E-05
4 Be			99.9			
5 B					2.0E-03	5.0E-03
6 C	0.04	0.13	0.08	1.3E-01	6.0E-02	
7 N					1.2E-02	3.6E-02
8 O					4.9E+01	
11 Na					1.4E+00	9.7E-04
12 Mg	2.5					
13 Al	96.7	2.35	0.05	5.1E+00	5.0E-02	
14 Si	0.25	0.5		3.3E+01	8.3E-01	
15 P					5.0E-05	
16 S					1.3E-01	6.0E-03
17 Cl					1.3E-03	7.0E-03
19 K					1.6E+00	3.0E-04
20 Ca		7.11	0.01	7.1E+00	1.9E-03	
21 Sc					6.5E-04	3.0E-06
22 Ti					1.4E-01	6.0E-02
23 V					1.0E-02	4.6E-02
24 Cr	0.3	19	0.17	0.01	1.5E-02	1.9E+01
25 Mn	0.1	1.0	0.2	0.08	4.1E-02	1.6E+00
26 Fe		74	47.5	0.07	1.9E+00	7.0E+01
27 Co	3ppm	0.3	10ppm	5ppm	6.6E-04	1.3E-01
28 Ni		9.25	0.02	0.02	1.2E-03	9.2E+00
29 Cu	0.4				1.6E-03	1.1E-01
30 Zn	0.1				6.9E-03	3.0E-03
31 Ga					8.8E-04	1.3E-02
33 As					7.9E-04	1.9E-02
34 Se					9.2E-05	3.5E-03
35 Br					2.4E-04	2.0E-04
37 Rb					3.5E-03	1.0E-03
38 Sr					4.4E-02	2.0E-05
39 Y					1.8E-03	5.0E-04
40 Zr					1.5E-02	1.0E-03
41 Nb		0.02			1.2E-03	8.9E-03
42 Mo					2.0E-04	1.9E-01
46 Pd					3.0E-04	
47 Ag					2.0E-05	2.0E-04
48 Cd					1.0E-04	
50 Sn					2.0E-06	5.0E-03
51 Sb					3.0E-04	1.2E-03
55 Cs		2ppm			2.0E-04	3.0E-05
56 Ba			0.06		4.0E-02	5.0E-02
57 La					1.3E-03	2.0E-05
58 Ce					2.4E-03	3.7E-02
62 Sm					5.0E-04	1.0E-06
63 Eu	1ppm	1ppm			5.9E-05	2.0E-06
65 Tb					4.1E-05	4.7E-05
66 Dy					2.3E-04	1.0E-04
67 Ho					3.0E-05	1.0E-04
70 Yb					1.4E-04	2.0E-04
71 Lu					2.7E-05	8.0E-05
72 Hf					2.5E-04	2.0E-04
73 Ta					4.4E-05	1.9E-02
74 W					1.4E-04	
82 Pb					6.1E-03	6.7E-03
90 Th					3.5E-04	1.0E-04
92 U					2.7E-04	2.0E-04

注1) JPDRの組成は測定値および文献値を合わせたもの

表5.1.6 原子炉構成材料における放射化生成物の放射能濃度の放射化計算結果(1/2)

核種	JRR-2				JRR-3M			JRR-4		JPDR	
	炉心 タンク	黒遮へい タンク	黒遮へい 板	生体遮へい コンクリート	炉心 タンク	ペリリ ウム	重水 タンク	炉心 タンク	生体遮へ いコンクリート	炉心 シユラウド	
	Bq/g										核種組成比(+3)
H-3	3.9E-01	3.3E-04	1.3E-01	8.3E-05	5.9E-01	5.4E+10	1.2E-02	9.2E-02	1.9E+01	1.1E-03	
BE-10				1.0E-04	6.8E-08		2.2E+05		6.6E-08	9.2E-10	
C-14			2.1E-01	6.5E-04		3.7E+01			7.4E-03	1.3E-04	
Al-26									5.2E-07		
Cl-36									1.5E-04	3.4E-06	
K-40				2.2E-06					2.2E-04	3.0E-12	
Ca-41				2.9E+01		4.1E+03			2.2E-02	3.7E-08	
MN-53											
FE-60											
Co-60	1.4E+08	7.3E+05	7.2E+08	3.2E+03	1.4E+08	1.2E+08	7.0E+07	4.9E+07	1.0E+00	1.0E+00	
Ni-59				1.8E+05	2.8E-01		2.8E+04		2.1E-05	1.1E-03	
Ni-63	6.0E+02	3.9E+00	2.8E+07	4.4E+01	6.0E+02	4.4E+06	3.1E+02	2.1E+02	2.9E-03	1.3E-01	
Se-79									1.9E-07	2.6E-08	
Rb-87									1.3E-05	1.0E-10	
Sr-90									3.6E-11	1.8E-14	
Zr-93			1.4E-04						1.7E-07	7.0E-11	
Nb-94			4.3E+02						5.0E-05	1.3E-06	
Mo-93									4.6E-07	1.3E-06	
TC-97											
TC-98											
Tc-99									9.8E-08	1.8E-07	
PD-107									4.6E-09	2.0E-43	
Ag-108m									8.2E-05	4.0E-06	
CD-113M											
(*) SN-126											
I-129									1.2E-45	6.8E-33	
Cs-135				6.9E-05					3.0E-11	3.3E-12	
Cs-137				2.2E-06					1.3E-11	7.7E-16	
Ba-133				9.8E+00					2.4E-03	2.1E-05	
LA-138									4.3E-09	1.7E-15	
ND-144									3.5E-18	4.7E-20	
PM-145									7.0E-05	9.9E-10	
PM-146											
SM-146									1.7E-17		
SM-147									2.7E-07	3.0E-16	
EU-150											
Eu-152			1.6E+01	1.5E-02					1.3E+00	1.6E-04	
Eu-154			5.3E+04	5.1E+01					2.2E-01	2.8E-05	
Ho166m									3.1E-05	2.9E-07	
HF-178M2											
HF-182									1.8E-14	1.6E-09	
Re-186m											
OS-194										3.7E-42	
PB-202											
PB-205									3.7E-10	1.9E-12	
PB-210										3.8E-16	
Bi-207											
Bi-210M									4.0E-16	4.3E-16	

(*1) 予備的検討で評価対象とされた81核種

(*2) γ 線放出核種

(*3) Co-60の放射能量に対する比で表している

表5.1.6 原子炉構成材料における放射化生成物の放射能濃度の放射化計算結果(2/2)

核種	JRR-2	JRR-3M				JRR-4	JPDR			
		炉心 タンク	熱遮へい タンク	熱遮へい い板	生体遮へい コンクリート		炉心 タンク	ベリリ ウム	重水 タンク	炉心 シラウド
		Bq/g					核種組成比(*3)			
(*1)	RA-226								7.9E-13	7.7E-16
	RA-228									
	AC-227								1.7E-10	1.6E-13
	TH-229								1.0E-08	8.5E-12
	TH-230								7.7E-11	7.8E-14
	TH-232								6.2E-06	4.7E-11
	Th-232								1.4E-08	1.4E-11
	Pa-231								3.9E-10	6.9E-11
	U-233								4.7E-06	3.8E-09
	U-234								3.7E-10	7.9E-12
	U-235								1.9E-07	1.2E-11
	U-236								2.9E-10	4.2E-12
	U-238								4.0E-06	2.8E-10
	NP-236									
	Np-237								4.3E-11	4.2E-13
	Pu-238								7.2E-11	1.1E-10
	Pu-239								2.4E-06	1.9E-08
	Pu-240								1.1E-09	2.3E-09
	Pu-242								6.9E-23	9.2E-15
	PU-244									
	Am-241								1.3E-12	3.7E-10
	Am-242m									9.3E-13
	Am-243								1.7E-28	1.4E-15
	CM-243									2.4E-15
	Cm-244								7.4E-34	1.6E-15
	CM-245									1.7E-21
	CM-246									
	CM-247									
	CM-248									
	BK-247									
	CF-249									
	CF-250									
	CF-251									
(*2)	Mg-27	5.2E+06	2.7E+06	1.1E+01	1.7E+01	5.2E+06	8.8E+05	2.6E+08	1.8E+08	
	Cr-51	4.5E+09	2.4E+07	1.5E+09	1.3E+02	4.5E+09	7.6E+07	2.3E+09	1.6E+09	
	Mn-54	1.0E+07	8.5E+03	1.6E+06	2.0E+02	1.7E+07	6.8E+10	3.5E+05	1.7E+04	
	Mn-56	2.8E+10	1.5E+08	7.1E+08	3.0E+05	2.8E+10	1.0E+10	1.4E+10	9.8E+09	
	Zn-65	7.0E+08	3.7E+06	7.1E+01	1.1E-04	7.0E+08	1.1E+01	3.5E+08	2.5E+08	
	Cs-134				1.8E+02					

(*1) 予備的検討で評価対象とされた81核種

(*2) γ 線放出核種

(*3) Co-60の放射能量に対する比で表している

表 5.1.7 各研究炉における冷却材の種類と保有量

	系統	冷却材	保有水量 ^{*1} (m ³)
JRR-2	一次冷却系	重水	15
	熱遮へい軽水系	軽水	9
	SF プール	軽水	65
JRR-3M	原子炉プール水	軽水	250
	SF 貯槽	軽水	85
	カナル	軽水	65
	反射体重水	重水	7
	SF No.1 貯槽	軽水	330
	SF No.2 貯槽	軽水	175
JRR-4	No.1 プール (一次冷却系)	軽水	400
	No.2 プール (SF 貯留用等)	軽水	380

*1 保有水量は平成 8 年度時点

表 5.1.8 各研究炉における冷却材の測定データ

原子炉	JRR-2						
系統	一次冷却水(*1)			熱遮へい軽水(*1)		SF プール	
冷却材	重水			軽水			
試料採取年月日	94/10/13	96/11/21	97/5/9	94/10/6	96/11/22	97/5/9	96/12/3
	(Bq/ml)						
H-3		4.2E+07	4.3E+07		5.5E+02	6.2E+02	5.3E+02
Cr-51	6.2E-01	6.7E+00		3.5E-02	2.9E-01		
Mn-54	6.3E-03						
Co-60	1.0E-01	1.0E-01	7.3E-01	3.0E-02		2.5E-02	<4.2E-2
Zn-65			6.1E-02				
Sb-124		2.5E-01	1.7E-02				
Cs-137							<3.8E-2
備考	14 日間冷却	14 日間冷却		7 日間冷却	15 日間冷却		

原子炉	JRR-3M						JRR-4	
系統	原子炉プール水	SF 貯槽	反射体重水	SF No.1 貯槽	SF No.2 貯槽	No.1 プール	No.2 プール	
冷却材	軽水		重水	軽水				
試料採取年月日	94/9/16	96/10/30	96/3/12	96/11/1	96/11/11	94/11/21	96/12/3	
H-3	6.6E+02	7.6E+02	8.5E+07	1.0E+01	5.5E+00	2.3E+00	1.2E+00	
Cr-51	4.2E-01						1.1E-01	
Mn-54	1.6E-02							
Co-60	3.7E-02			<4.2E-2	<3.7E-2		<3.8E-2	
Cs-137				<3.6E-2	<3.3E-2		<3.7E-2	
備考	36 日冷却		8 日冷却			4 日冷却		

(*1)は文献値^[4]、それ以外は研究炉部による実測データ

表5.1.9 JRR-3Mから廃棄物処理場へ搬出した廃液に含まれる放射性核種と放射能量(Bq)

放射能量(Bq) 廃液量(m ³)	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	合計†
	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	合計†
H-3	37.8	14.1	78.3	70.4	267	222	160	168	186	1.2E+03
Co-60	1.7E+09	5.4E+08	4.6E+10	1.4E+11	2.0E+11	1.8E+11	1.3E+11	1.3E+11	6.9E+10	9.0E+11
Cs-137	1.3E+06	7.9E+05	2.9E+06	2.5E+06	4.3E+06	3.6E+06	4.5E+06	5.6E+06	1.3E+07	3.9E+07
Sc-46	9.2E+05		6.1E+04					8.5E+04		1.1E+06
Cr-51	8.9E+05									8.9E+05
Mn-54	2.9E+07	1.0E+06	1.8E+07	2.2E+07	5.0E+07	4.1E+07	4.1E+07	2.7E+07	1.5E+07	2.4E+08
Co-58	3.6E+05	2.3E+05	8.1E+05	7.4E+05	3.9E+05	1.2E+06	6.7E+05	6.5E+05	1.0E+06	6.0E+06
Fe-59	2.4E+05									2.4E+05
Zn-65	1.3E+06									1.3E+06
Zr-95	1.5E+06									1.5E+06
Nb-95	6.2E+05									6.2E+05
Mo-99	7.2E+05	2.3E+05								9.5E+05
Tc-99m	5.2E+04									5.2E+04
Ru-103	3.0E+06							4.4E+06	1.4E+06	8.8E+06
Ag-110m	1.2E+06	9.5E+04								1.3E+06
Sb-124	5.8E+05									5.8E+05
Ce-141	4.2E+06	1.4E+05								4.8E+06
Hf-181	1.1E+06							4.4E+05	4.3E+04	4.0E+05
Au-199	4.1E+05	4.4E+05								8.4E+05
I-131	6.8E+04									6.8E+04
Gd-153			7.8E+01				5.7E+04	2.5E+05		3.1E+05
								7.6E+04		7.6E+04

*上記データは研究炉部による実測データ

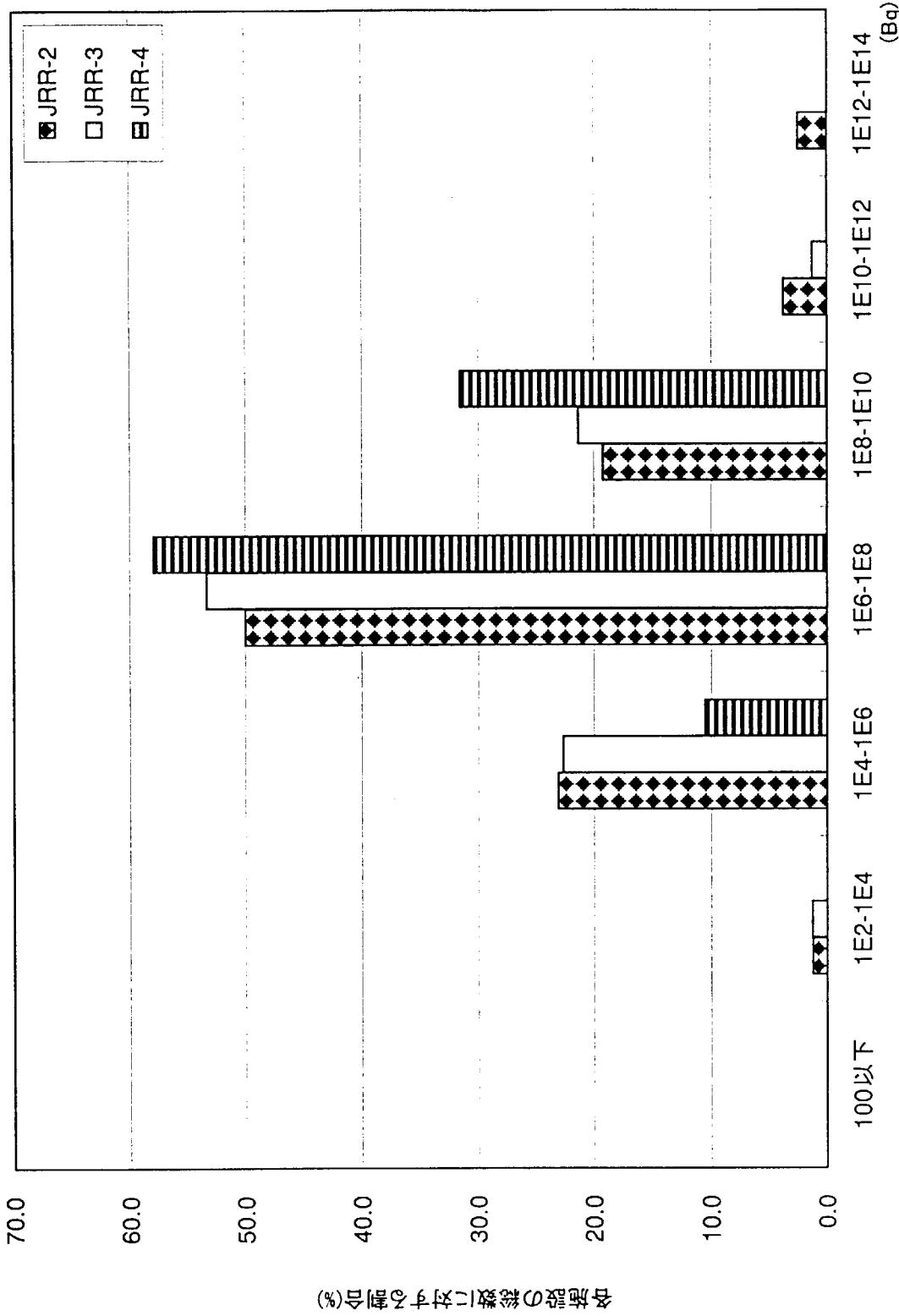


図5.1.1 各研究炉施設から発生した固体廃棄物(直接保管体)に含まれるCo-60放射能量分布

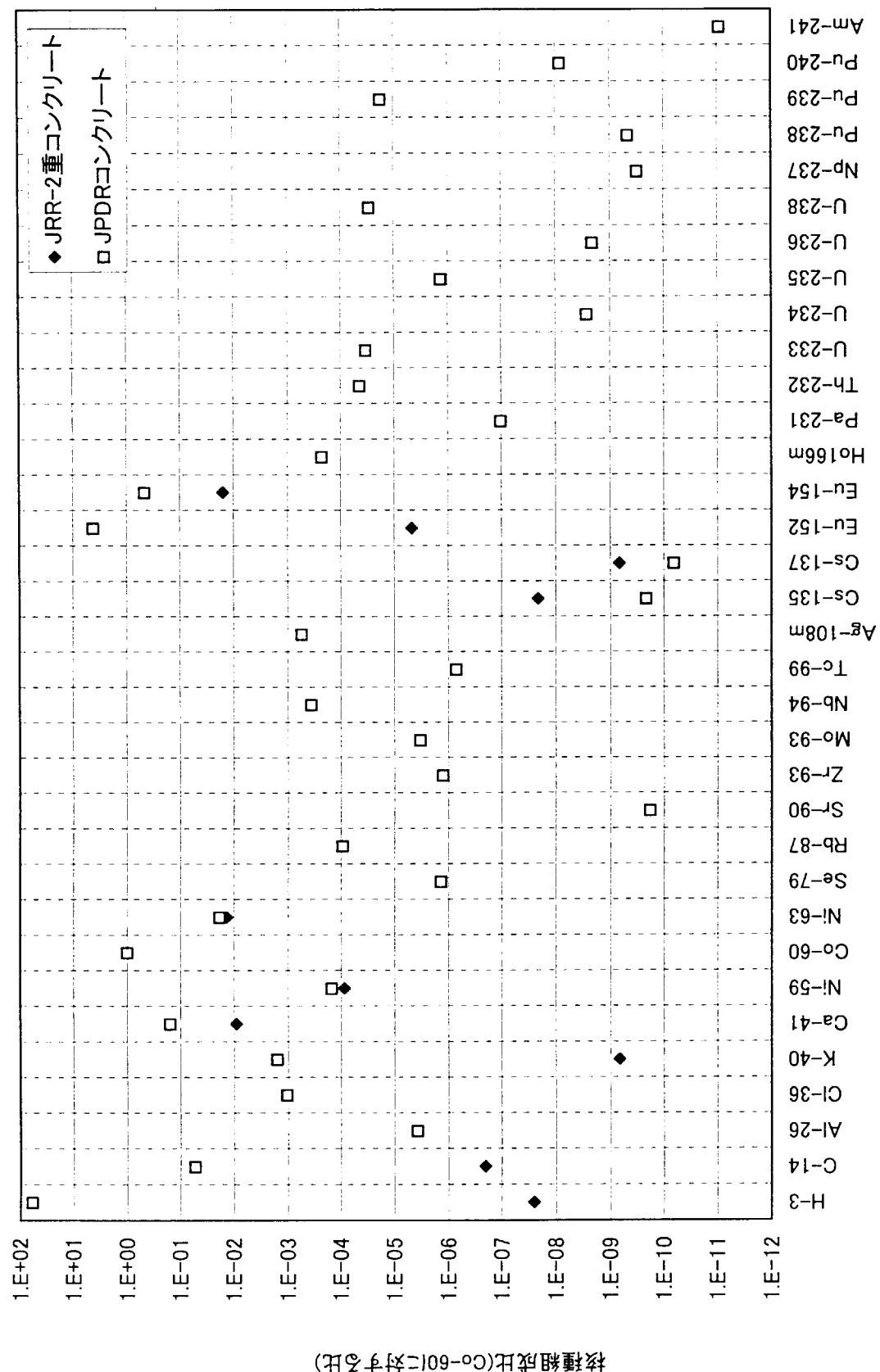


図 5.1.2 放射化計算結果から求めた原子炉構成材料(コンクリート)における放射化生成物の核種組成比

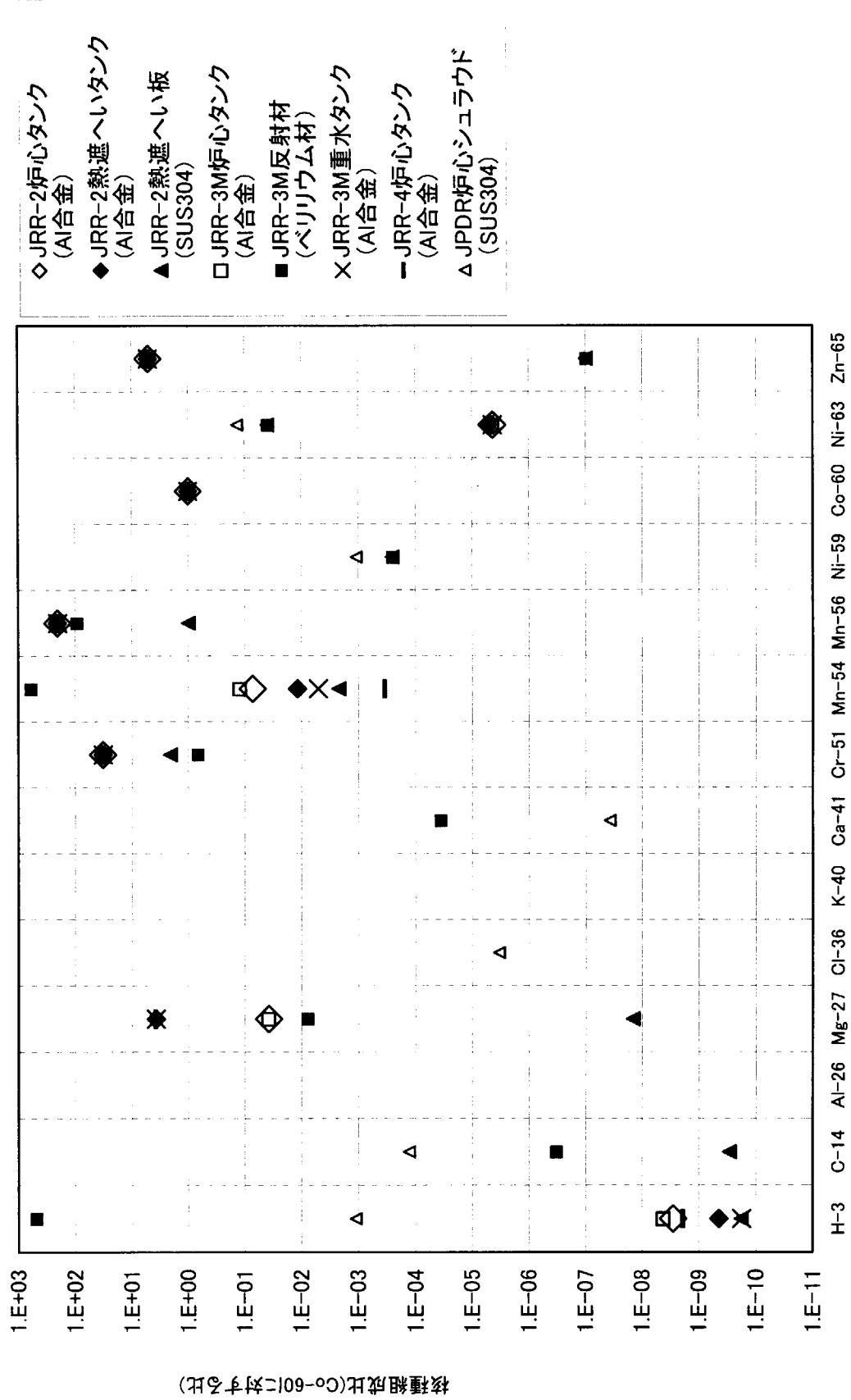


図5.1.3 放射化計算結果より求めた原子炉構成材料(金属)における放射化生成物の核種組成比

H-3 C-14 Al-26 Mg-27 Cl-36 K-40 Ca-41 Cr-51 Mn-54 Mn-56 Ni-59 Co-60 Ni-63 Zn-65

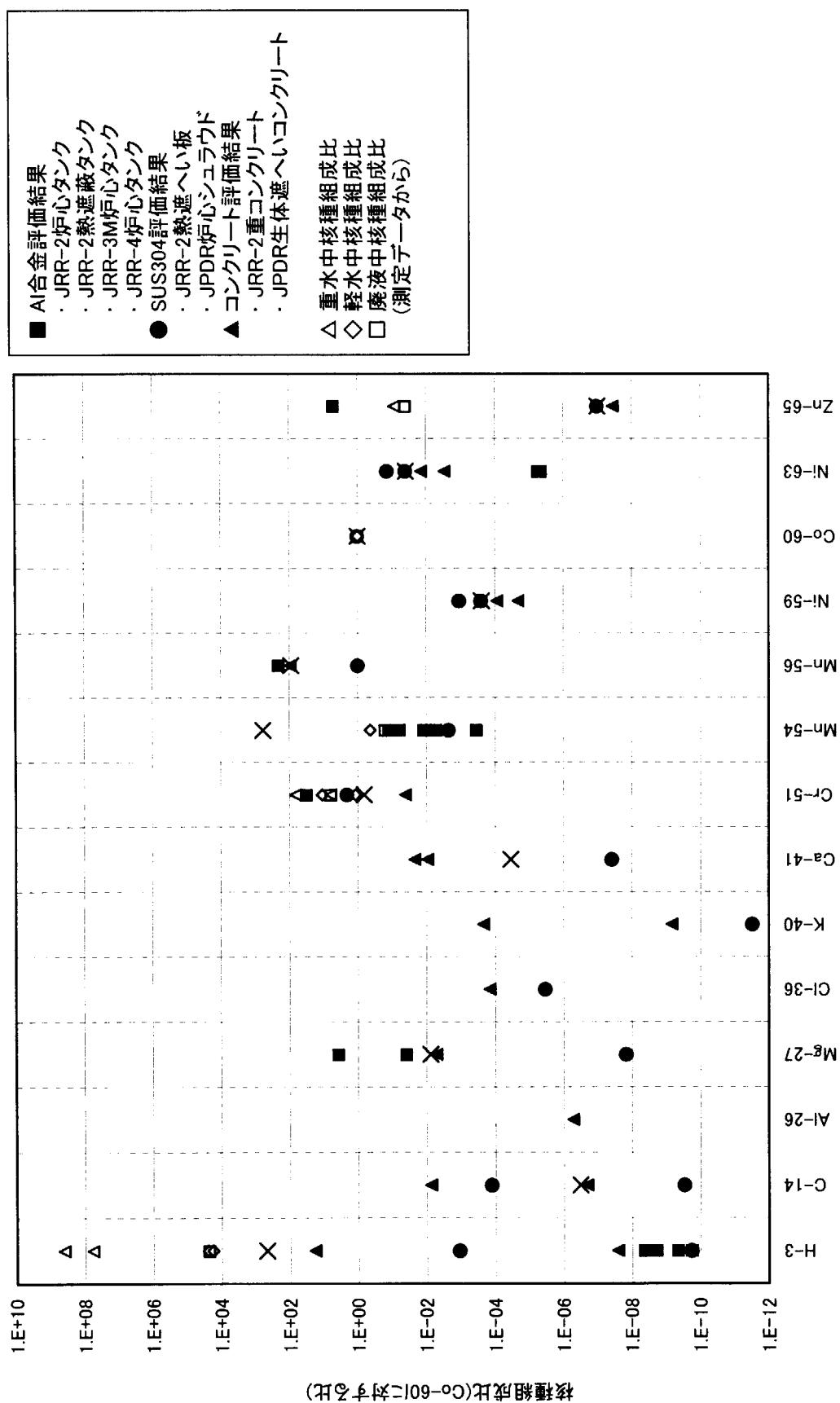


図5.1.4 原子炉構成材料、冷却材における放射化生成物の核種組成比の測定データと放射化計算結果との比較

5.2 核燃料物質使用施設

5.2.1 調査方法

核燃料物質使用施設は、燃料試験施設、ホットラボ施設等の照射済燃料・材料を扱う施設(以下、「照射後試験施設」という)、未照射の核燃料物質を用いて基礎物性等を試験する施設および再処理廃液を取り扱う施設に分類できる。未照射の核燃料物質を使用している施設から発生する廃棄物については、保有する核燃料物質が廃棄物中に含まれる核種となるため、保有量または廃棄物発生記録から廃棄物に含まれる核種を同定することが可能である。一方、照射後試験施設から発生する廃棄物については、放射化生成核種、核分裂生成物等の多種類の核種が含まれると考えられる。そこで、核燃料物質使用施設のうち、照射後試験施設である燃料試験施設およびホットラボ施設を代表施設として調査を行った。また、再処理廃液を取り扱う施設から発生する廃棄物についても、照射後試験施設と同様に、多種類の核種が含まれると考えられる。そこで、廃棄物安全試験施設(以下、「WASTEF」という)を代表施設として調査を行った。

燃料試験施設およびホットラボ施設では、種々の照射済燃料集合体、試験燃料および材料について、外観検査、寸法検査、ガンマスキャン等の非破壊検査および金相試験、引張試験、内圧破裂試験等の破壊検査を行っている。これらの試験・検査に伴って発生する廃棄物は、燃料の構成材料、試験材料の放射化生成物並びに核燃料物質、核分裂生成物等が汚染源となる。また、WASTEF では、再処理から発生する高レベル廃液を用いたガラス固化体の作製試験、性能試験等を行っている。これらの試験に伴って発生する廃棄物としては、高レベル廃液が汚染源となる。

上記の核燃料物質使用施設から発生する廃棄物中の放射性核種の種類および核種組成比の変動について、以下の調査を行った。

(1) 試験試料(燃料・材料)記録による調査

燃料試験施設およびホットラボ施設において、昭和 62 年度から平成 7 年度および昭和 62 年度から平成 10 年度に取り扱った試験燃料・材料の種類、照射条件、廃棄物移行量について調査を行った。

(2) 燃焼・放射化計算による調査

燃料試験施設、ホットラボ施設における各試験燃料・材料について代表的と思われる照射条件を用いて、ORIGEN-2 による燃焼・放射化計算を行い、廃棄物中に含まれる核種の種類および組成比の調査を行った。また、それぞれの燃料・材料中の核種組成比について変動の調査を行った。

(3) 放射能測定データによる調査

- ① 燃料試験施設から発生した直接保管体について γ 線スペクトル測定により廃棄物中に含まれている放射性核種の定性分析を行った。また、燃料試験施設から発生した廃液中の放射能測定データによる調査を行った。上記の調査より、それぞれについて核種組成比を算出し、(2)の試験条件からの調査で得られた核種組成比との比較を行った。
- ② WASTEF の供用開始から平成 7 年度までに行われた試験に用いられた廃液中の放射性核種の種類および放射能量について放射能測定データによる調査を行った。さらに、各試

験体の核種組成比を求め、燃料試験施設・ホットラボ施設の調査で得られた核種組成比との比較を行った。

5.2.2 試験試料(燃料・材料)記録による調査結果

燃料試験施設での昭和 62 年度から平成 7 年度、ホットラボ施設での昭和 62 年度から平成 10 年度における、取扱試料(試験燃料・材料)、照射条件、廃棄物移行量の調査を行った。ホットラボ施設の取扱試料の種類、照射条件等については、試験申込書より調査を行った。廃棄物移行量については、廃棄物処理場に引き渡された量に加え、切断、研磨等による損耗量も評価した。表 5.2.1 に燃料試験施設および表 5.2.2 にホットラボ施設で行われた試験、取扱試料、照射条件、廃棄物移行量の調査結果を示す。

燃料試験施設における試験体は PWR、BWR、ATR(ふげん)等の照射済実用燃料集合体およびキャップセル照射された高速炉用燃料ピンが主だったものであり、ホットラボ施設では主として所内の試験研究炉でキャップセル照射された試料および原電東海の燃料・材料であることが分かる。各試験体を燃料と材料に分けて廃棄物移行量を推定した。照射後試験燃料の廃棄物移行量を図 5.2.1 に照射後試験材料の廃棄物移行量を図 5.2.2 にそれぞれ示す。

図 5.2.1 から、照射後試験燃料の廃棄物移行量は燃料試験施設の方が多く、その中で、最も廃棄物移行量が多いのはふげんの MOX 燃料となっていることが分かる。図 5.2.2 から、照射後試験材料の廃棄物については、ホットラボ施設から移行する SUS304 が多く、次に黒鉛となっていることが分かる。SUS304 は試験体照射用のキャップセル材料であり、黒鉛は HTTR 燃料の被覆材および原電東海燃料構成材が主なものとなっている。

なお、燃料試験施設では試験を終了した燃料は、すべて核燃料サイクル開発機構の再処理工場に輸送、または輸送する計画となっているため、施設内に保管している試験体はないが、ホットラボ施設では試験体を施設内で保管しているものがある。

5.2.3 燃焼・放射化計算による調査結果

燃料試験施設およびホットラボ施設から発生する廃棄物中に含まれる放射性核種の種類および組成比について、5.2.2 の調査結果によって取扱試料、照射条件、廃棄物移行量から燃焼・放射化計算を行った。燃料試験施設およびホットラボ施設における燃焼・放射化計算条件を表 5.2.1 および表 5.2.2 にそれぞれ示す。燃焼・放射化計算は核種生成崩壊計算コード ORIGEN2^[5]を用いて行った。燃料試験施設では、昭和 62 年度から平成 7 年度に行われた試験で取り扱われた試料について燃焼・放射化計算を行った。ホットラボ施設では、表 5.2.2 に示すように、HTTR 燃料試験、NSRR のバーンアップ試験等、過去に数 10~100 回以上の試験が行われているが、個々の試験体について燃焼・放射化計算を行うのは作業が膨大であるため、各試験の照射条件の範囲から平均的な照射条件を選択して燃焼・放射化計算を行った。

計算に用いた試験燃料・材料の組成比を表 5.2.3 および表 5.2.4 にそれぞれ示す。これらの試験燃料・材料の組成比は規格、文献等の値を引用したものである。

照射後試験燃料・材料中における核種別放射能濃度の計算結果を表 5.2.5 および表 5.2.6 にそれぞれ示す。これらの表に示す核種は、予備的検討において検討対象とされた 81 核種および比較

的測定の容易な γ 線放出核種についてまとめたものである。また、計算結果はすべて照射終了直後の放射能濃度であり、減衰は考慮されていない。

廃棄物に移行した各照射後燃料・材料に含まれるCs-137とCo-60の放射能量の計算結果を図5.2.1および図5.2.2にそれぞれ示す。Cs-137は核分裂生成物であり、核分裂収率も大きく、比較的強い γ 線を放出し、すぐに減衰(半減期30年)しないことから廃棄物中における核分裂生成核種のkey核種に取り上げられている。同様にCo-60はCoの安定同位体であるCo-59の中性子捕獲により生成する核種であり、各材料においてCoは主成分ではないが、比較的強い γ 線を放出し測定が容易であることおよびすぐに減衰しないこと(半減期5.27年)の理由から廃棄物中の放射化核種のkey核種として取り上げられている。これらの図から、各試験燃料体種類別の廃棄物中に含まれるCs-137の放射能量はUO₂燃料の廃棄物が最も大きい結果となっていることが分かる。また、各試験材料種類別の廃棄物中に含まれるCo-60の総放射能量はSUS-304で最も大きく、Co-60の放射能量と廃棄物移行量から求まる放射能濃度はインコネル-718が最も高くなることが分かる。

次に、前記の放射能濃度の計算結果と各燃料・材料の廃棄物移行量から、核種ごとに放射能量を各燃料・材料において算出し、廃棄物中に含まれる各核種に対する燃料・材料別の寄与割合を求めたものが図5.2.3である。この図から、核分裂生成核種およびアクチノイド系列核種はUO₂燃料およびふげんのMOX燃料からの移行の割合が大きく、放射化生成核種はSUS304からの移行の割合が大きい結果となっていることが分かる。また、U-233、Th-232、Pa-231等のアクチノイド系列核種およびHo-166m、Eu-152、Ag-108mについてはSUS304からの寄与が大きいが、これはSUS304にTh、Ho、Eu、Agの不純物が含有していること、廃棄物量が多いこと等に依存するものと考えられる。廃棄物中の核種別放射能量への寄与割合が多い燃料・材料は図5.2.3に示した14種類である。

さらに、廃棄物中の核種組成比を検討するために、各燃料材料間における核種組成比の比較を行い、その変動の調査を行った。図5.2.4に各計算ケースにおける照射後燃料からの核分裂生成物の核種組成比を示す。図中の核種組成比は、予備的検討で重要核種に選出された核種および比較的測定の容易な γ 線放出核種について、Cs-137に対する比で示している。また、平均核種組成比とは各燃料の廃棄物移行量から全体の平均放射能濃度を算出し、それについて核種組成比を求めたものであり、最大核種組成比とは核種ごとに全計算ケース中Cs-137に対する比の最も大きな値を選択したものである。燃料別に各核分裂生成物の核種組成比を比較すると、変動幅は1桁から2桁程度であり、比較的小さい結果となった。この変動要因は燃料の元素組成比および照射条件(中性子フラックスの強度、照射時間)によるものと考えられる。金属U燃料では、不純物を考慮した元素組成比で計算を行ったため、Ni-59、Co-60等の不純物の放射化核種の生成が見られる。C-14、Ag-108M、Ho-166Mについては、組成比に大きな変動が見られる。¹⁴N(n,p)、¹⁷O(n, α)、¹₃C(n, γ)^[6]等で生成するC-14は、燃料の種類ごとにN、O、Cの元素組成比の差により、組成比が変動するものと考えられる。Ag-108M、Ho-166Mについては、核分裂で直接生成する量が少なく、他の核分裂生成物を親元素として生成するため、照射条件(中性子フラックス、照射時間)による組成比の変動幅が大きいものと考えられる。

図5.2.5に各計算ケースにおける照射後燃料体からのアクチノイド系列核種の核種組成比を示す。質量数が大きくなるにつれて、UO₂-1(JMTR照射ケース)、被覆粒子燃料(JMTR、JRR-2、

JRR-3M 照射ケース)、研究炉燃料(JRR-2、JRR-3M 照射ケース)からのケースにおける核種組成比が他のケースと比較して低くなる傾向にあることが分かる。これらのケースは、照射量が他と比較して小さかったためと考えられる。また、金属 U 燃料では、Th を含むため、U-233、Th-232 の組成比が他の材料の場合における組成比と比較して大きくなっているのが見られる。

図 5.2.6 および図 5.2.7 に各試験から発生した照射済の SUS304 中の核種組成比およびジルカロイ・2 中の核種組成比をそれぞれ示す。図中の核種組成比は、Co-60 に対する比で示している。これらの図から、SUS304、ジルカロイ・2 ともに、それぞれのケースで照射条件が異なるものの核種組成比の変動は、1 桁から 2 桁程度であることが分かる。図 5.2.8 に各照射後材料における核種組成比の比較結果を示す。この図では、各核種の全放射能量に対する寄与割合が 1%以上を示した材料(図 5.2.3 参照)について、各計算ケースの放射能量の合計と廃棄物移行量の合計から算出した平均放射能濃度から求めた核種組成比で示している。図中の平均核種組成比とは全計算ケースの放射能量の合計と廃棄物移行量の合計から求めたものである。この図から、各材料間の核種組成比は大きく変動していることが分かる。この原因是、材料の元素組成比、照射条件、半減期によるものと考えられる。平均核種組成比は、各材料で最も廃棄物移行量が多かった SUS304 の核種組成比に近いものとなる。

5.2.4 放射能測定データによる調査結果

① 燃料試験施設

燃料試験施設から発生した 2001 ドラム缶の直接保管体について非破壊外部測定方式による γ 核種の測定を行った。Ge 半導体検出器を 2001 ドラム缶の中心の高さにセットし、ドラム缶を 62 秒間隔で回転させながら 1,000 秒～5000 秒間測定を行った。また、各核種の放射能量については、ドラム缶にガラスピーツを詰めた模擬校正用線源で求めた Ge 検出器の検出効率曲線^[7]に基づき測定位位置の補正を行って算出した。一部の保管体については、開封して内容物の採取またはスミヤロ紙による表面汚染の拭き取りを行って、 γ 線放出核種の測定を行った。なお、測定を行った保管体中の廃棄物は、ケーブル、ホース、機器の解体物であり、主として表面汚染した廃棄物であると想定される。

表 5.2.7 に検出された γ 核種の種類および放射能量を示す。Cs-137 等の核分裂生成物および Am-241 のアクチノイド系列核種が含まれていることが確認された。一方、材料の放射化による核種については Co-60 の他には検出されなかった。

また、核燃料使用施設の廃液タンクに一時貯留されている廃液中の放射性核種の種類と放射能量についての測定データを表 5.2.8 に示す。測定データは保健物理部に提供して頂いたものである。廃液についても保管体の測定データと同様に核分裂生成物が主な核種である。なお、材料の放射化により主に生成すると考えられる Mn-54 についても検出されている。

保管体および廃液の測定データから得られた核分裂生成物、Am-241 の組成比について、燃焼計算で得られた核種組成比との比較を行った。その比較結果を図 5.2.9 に示す。Eu-154、Cs-134 の組成比は、計算結果および測定データともに同じ変動範囲に分布しているが、Sb-125、Ru-106、Ce-144 については測定データから求めた組成比が計算結果の組成比に対して 1 桁から 2 桁程度低くなっている。計算結果は照射直後の組成比であり、Sb-125、Ru-106、Ce-144 は減衰により組

成比が低くなっていると考えられる。図中に示すように、計算結果より得られた平均組成比を 5 年間減衰させた組成比の値は各測定データの組成比の傾向が類似している。Am-241 については、測定データにより得られた組成比が計算結果により得られた平均組成比の値より、1 衍程度高く、計算結果により得られた最大組成比の値に近くなっている。Am-241 の場合は減衰によるものではなく、その他の原因に依存するものと考えられる。Am-241 は汚染廃棄物をスミヤロ紙で拭き取った試料を γ 線分析により定量したものであるため、今後、更なる詳細な測定が必要であると考えられる。

② 廃棄物安全性試験施設(WASTEF)

WASTEF では平成 7 年度までに実再処理廃液のガラス固化試験、海外再処理返還廃棄物確認試験等の主に再処理廃液を使用した試験を行っている。WASTEF から発生する放射性廃棄物について、平成 7 年度までに行われた主な試験試料における放射性核種の種類および放射能量について調査を行った。

表 5.2.9 に WASTEF で行われた主な試験内容と試料中の放射能量の調査結果を示す。WASTEF で行われた試験は再処理廃液を用いたものであるので、試料中の主な放射性核種は核分裂生成物と U、Pu を除いたアクチノイド元素である。したがって、燃料試験施設およびホットラボ施設における照射済核燃料の核種組成比に近いことが予想される。WASTEF で取り扱われた試料の核種組成比と燃料試験施設で取り扱われた燃料の計算結果から得られた平均組成比および燃料試験施設から発生した廃棄物中の測定データから求めた核種組成比を比較した。図 5.2.10 にそれぞれの核種組成比の比較結果を示す。WASTEF で取り扱われた試料の核種組成比は、燃料試験施設から発生した廃棄物の測定データから求めた核種組成比と同様の傾向を示しており、照射後燃料・材料を取り扱う施設から発生する核分裂生成物を汚染源とする廃棄物と同様の核種組成比であると考えられる。また、WASTEF で取り扱われた試料の核種組成比は、燃料試験施設の廃棄物測定データから求めた核種組成比と同様に、Ru-106、Sb-125、Ce-144 の組成比が燃料試験施設で取り扱われた試料の計算結果と比較して低くなってしまっており、Am-241、Cm-244 の組成比は高くなる傾向を示している。

表5.2.1 燃料試験施設でのS62～H7年度における取扱試験(燃料・材料)の種類、照射条件、供給物量

試験体名	検討ケース名	試験期間	取扱試料(燃料・材料)	照射条件				廃棄物移行量(g)	
				照射炉	燃焼度(MW/t)	時間(d)	比出力(MW/t)		
Pu,U混合炭化物燃料	(Pu,U)Cx-1	S62-H1	(NU,Pu)C	Pu富化度20Wt%	JMTR	25000	303	82	S61.5.1 H1.2.1 132.07
	(Pu,U)Cx-2	H2-H4	(NU,Pu)C	Pu富化度20Wt%	JMTR	40000	421	95	S61.12.1 H2.10.1 132.2
	(Pu,U)Cx-3	H2-H4	(NU,Pu)C	Pu富化度20Wt%	JMTR	18400	357	52	S63.11.1 H4.2.1 131.2
Pu,U混合炭化物燃料	(Pu,U)Nx-1	H5-H7	(NU,Pu)N	Pu富化度20Wt%	JMTR	32000	352	91	H5.1.1 95
	(Pu,U)Nx-2	H5-H7	(NU,Pu)N	Pu富化度20Wt%	JMTR	49000	484	101	H7.2.1 95
Mox-1					ATR	18000	1125	16	S56.10.1 S60.7.1 17400.3
Mox-2					ATR	24000	1255	16	S60.12.1 H4.5.1 7383.5
Mox-3					ATR	18400	1150	16	H4.2.1 177
Mox-4					ATR	33100	2069	16	H4.4.1 222
Mox-5					ATR	26347	1647	16	H5.2.1 127
UO2-4					PWR	31477	792	40	S59.7.1 S61.9.1 362.9
UO2-5					PWR	31477	792	40	S59.7.1 S61.9.1 725.9
UO2-6					PWR	34300	974	35	S60.12.1 S63.8.1 4391.9
UO2-7					PWR	44700	1826	24	S57.12.1 S62.12.1 2450.8
UO2-8					PWR	62000	3875	16	
UO2-9					PWR	62000	3125	16	
UO2-10					PWR	39000	2438	16	
UO2-11					PWR	33100	871	38	
UO2-12					PWR	33400	1336	25	
S304-14					PWR	34300	974	35	S60.12.1 S63.8.1 1006 12200
UO2-15					PWR	49000	484	101	
UO2-16					ATR	18000	1125	16	S56.10.1 S60.7.1 914.1
UO2-17					ATR	25000	303	82	S61.5.1 H1.2.1 609.4
S316-1					ATR	24400	1525	16	
S316-2					ATR	18000	1125	16	
S316-3					ATR	40000	421	95	S61.12.1 H2.10.1 609.4
S316-4					JMTR	18400	357	52	S63.11.1 H4.6.1 602.9
S316-5					JMTR	32000	352	91	H4.1.1 1006
S316-6					JMTR	48000	484	101	H5.1.1 12200
Mox-1					JMTR	18000	1125	16	S56.10.1 S60.7.1 9985
UO2-18					JMTR	25000	303	82	H1.2.1 3225.03
UO2-19					JMTR	18400	357	52	H2.10.1 3835.5
UO2-20					JMTR	32000	352	91	H4.2.1 3835.5
UO2-21					JMTR	48000	484	101	H5.1.1 1921.5
UO2-22					ATR	18000	1125	16	H7.2.1 1921.5
UO2-23					ATR	24400	1525	16	S60.7.1 3133.9
UO2-24					ATR	18000	1125	16	H6.1.1 2955
UO2-25					ATR	40000	421	95	S61.12.1 H2.10.1 1279.3
UO2-26					ATR	3875	16		
UO2-27					ATR	62000	3125	16	
UO2-28					ATR	3875	16		
UO2-29					ATR	3875	16		
UO2-30					ATR	3875	16		
UO2-31					ATR	3875	16		
UO2-32					ATR	3875	16		
UO2-33					ATR	3875	16		
UO2-34					ATR	3875	16		
UO2-35					ATR	3875	16		
UO2-36					ATR	3875	16		
UO2-37					ATR	3875	16		
UO2-38					ATR	3875	16		
UO2-39					ATR	3875	16		
UO2-40					ATR	3875	16		
UO2-41					ATR	3875	16		
UO2-42					ATR	3875	16		
UO2-43					ATR	3875	16		
UO2-44					ATR	3875	16		
UO2-45					ATR	3875	16		
UO2-46					ATR	3875	16		
UO2-47					ATR	3875	16		
UO2-48					ATR	3875	16		
UO2-49					ATR	3875	16		
UO2-50					ATR	3875	16		
UO2-51					ATR	3875	16		
UO2-52					ATR	3875	16		
UO2-53					ATR	3875	16		
UO2-54					ATR	3875	16		
UO2-55					ATR	3875	16		
UO2-56					ATR	3875	16		
UO2-57					ATR	3875	16		
UO2-58					ATR	3875	16		
UO2-59					ATR	3875	16		
UO2-60					ATR	3875	16		
UO2-61					ATR	3875	16		
UO2-62					ATR	3875	16		
UO2-63					ATR	3875	16		
UO2-64					ATR	3875	16		
UO2-65					ATR	3875	16		
UO2-66					ATR	3875	16		
UO2-67					ATR	3875	16		
UO2-68					ATR	3875	16		
UO2-69					ATR	3875	16		
UO2-70					ATR	3875	16		
UO2-71					ATR	3875	16		
UO2-72					ATR	3875	16		
UO2-73					ATR	3875	16		
UO2-74					ATR	3875	16		
UO2-75					ATR	3875	16		
UO2-76					ATR	3875	16		
UO2-77					ATR	3875	16		
UO2-78					ATR	3875	16		
UO2-79					ATR	3875	16		
UO2-80					ATR	3875	16		
UO2-81					ATR	3875	16		
UO2-82					ATR	3875	16		
UO2-83					ATR	3875	16		
UO2-84					ATR	3875	16		
UO2-85					ATR	3875	16		
UO2-86					ATR	3875	16		
UO2-87					ATR	3875	16		
UO2-88					ATR	3875	16		
UO2-89					ATR	3875	16		
UO2-90					ATR	3875	16		
UO2-91					ATR	3875	16		
UO2-92					ATR	3875	16		
UO2-93					ATR	3875	16		
UO2-94					ATR	3875	16		
UO2-95					ATR	3875	16		
UO2-96					ATR	3875	16		
UO2-97					ATR	3875	16		
UO2-98					ATR	3875	16		
UO2-99					ATR	3875	16		
UO2-100					ATR	3875	16		
UO2-101					ATR	3875	16		
UO2-102					ATR	3875	16		
UO2-103					ATR	3875	16		
UO2-104					ATR	3875	16		
UO2-105					ATR	3875	16		
UO2-106					ATR	3875	16		
UO2-107					ATR	3875	16		
UO2-108					ATR	3875	16		
UO2-109					ATR	3875	16		
UO2-110					ATR	3875	16		
UO2-111					ATR	3875	16		
UO2-112					ATR	3875	16		
UO2-113					ATR	3875	16		
UO2-114					ATR	3875	16		
UO2-115					ATR	3875	16		
UO2-116					ATR	3875	16		
UO2-117					ATR	3875	16		
UO2-118					ATR	3875	16		
UO2-119					ATR	3875	16		
UO2-120					ATR	3875	16		
UO2-121					ATR	3875	16		
UO2-122					ATR	3875	16		
UO2-123					ATR	3875	16		
UO2-124					ATR	3875	16		
UO2-125					ATR	3875	16		
UO2-126					ATR	3875	16		
UO2-127					ATR	3875	16		
UO2-128					ATR	3875	16		
UO2-129					ATR	3875	16		
UO2-130					ATR	3875	16		
UO2-131					ATR	3875	16		
UO2-132					ATR	3875	16		
UO2-133					ATR	3875	16		
UO2-134					ATR	3875	16		
UO2-135					ATR	3875	16		
UO2-136					ATR	3875	16		
UO2-137					ATR	3875	16		
UO2-138					ATR	3875	16		
UO2-139					ATR	3875	16		
UO2-140					ATR	3875	16		
UO2-141					ATR	3875	16		
UO2-142					ATR	3875	16		
UO2									

表5.2.2 ホットラボでのS62～H10までに取り扱われた試験燃料および材料の種類、照射条件、廃棄物量

試験名	取扱試料 (試験燃料・材料)	照射条件			放射能インベントリー計算条件			廃棄物 移行量 (g)
		照射炉	試験 件数*1	照射フルエンス、 燃焼度(推定) (n/cm ² .MWd/t)	ORIGEN断面積 ライブラ!	照射 時間(h)	燃焼度 (n/cm ² /s.MW/t)	
HTTR 燃料試験	SUS304 キヤフセル	JRR-2	23	$\phi t=2.2E20 \sim 8.7E+21$	CANDUSEU(JRR-2)	3452	5.8E+13	7.75E+04
	黒鉛 ハストロイ-X	JMTR	56	$\phi t=1.3E20 \sim 5.08E+21$	PWRU (JRR-3M,JMTR)	2016	2.0E+14	1.18E+05
	被覆粒子燃料	キャフセル 燃料						4.13E+04
	2-1/4Cr-Mo鋼	試験体	JRR-2	30	$\phi t=1.1E20 \sim 1.1E+21$	CANDUSEU(JRR-2)	2124	5.8E+13
HTTR 材料試験	SUS304 キヤフセル	JRR-3M	6	$\phi t=2.25E21 \sim 4.0E+21$	PWRU			2.94E+04
	インコロイ800H	試験体	JMTR	2	$\phi t=1.1E19 \sim 1.25E+21$	(JRR-3M,JMTR)	3120	2.0E+14
	金屬U 黒鉛 マグノックス	燃料 燃料構成材 燃料構成材	東海1号炉	21	490～5600	BWRU(東海1号炉)	28751	3.4
原電東海 燃料試験	SUS	キャフセル	東海1号炉	2	$\phi t=2.2E18 \sim 3.5E+18$	BWRU(東海1号炉)	7380	3.4E+09
	低燃素鋼	試験体	JRR-2	1	$\phi t=3.9E20$	CANDUSEU(JRR-2)		7.89E+03
	UO ₂	燃料	JRR-3M	8	$\phi t=4.0E21 \sim 4.9E+21$	PWRU		1.77E+04
NSRR バーンナップ 試験*2	NSRR バーンナップ 試験*2	JMTR	52	$\phi t=8.1E19 \sim 4.9E+21$	(JRR-3M,JMTR) 商業炉	15750	5.0E+13	1.15E+06
	商業炉(PWR)	48	320000～49700	PWRU(商業炉)	32200	35.8	3.52E+03	
	商業炉(BWR)	23	22400～56000	BWRU(商業炉)	40704	24.2	4.83E+03	
	A533B	試験体	JRR-2	2	$\phi t=1.2E20 \sim 7.2E+20$	CANDUSEU(JRR-2)	3452	5.8E+13
軽水炉 材料試験	SUS304 キヤフセル	JRR-3M	5	$\phi t=4.5E20 \sim 4.9E+21$	PWRU (JRR-3M,JMTR) 商業炉	504	1.5E+14	7.45E+03
	Ti-Al合金 ラッピング	JMTR	30	$\phi t=1.7E18 \sim 2.3E+21$	LMFBR(常陽)	31944	4.0E+14	1.44E+02
	試験体	常陽炉	2	$\phi t=4.2E22 \sim 4.6E+22$	BWRU(商業炉)	18000	3.1E+10	3.84E+01
	試験体	JPDR	1	$\phi t= \sim 2.0E+18$	CANDUSEU(JRR-2)	4248	5.8E+13	7.78E+03
研究炉 燃料試験	UAl-Al _x	燃料	JRR-2	6	$\phi t=3.9E20 \sim 1.2E+21$	PWRU(JRR-3M)	3744	2.0E+14
	AI合金(A5052)	試験体	JRR-3M	5	$\phi t=4.5E20 \sim 2.7E+21$	PWRU(JRR-3M)	3120	2.0E+14
	SUS304 キヤフセル							4.87E+03
研究炉 材料試験	2相SUS鋼	試験体	JRR-2	36	$\phi t=1.6E18 \sim 1.1E+21$	CANDUSEU(JRR-2)	1062	5.8E+13
	Fe-Cr合金 Mo鋼	試験体	JRR-3M	12	$\phi t=1.7E21 \sim 4.0E+21$	PWRU (JRR-3M,JMTR)	4086	2.0E+14
	SUS304 キヤフセル	JMTR	3	$\phi t=7.3E20 \sim 2.2E+21$	LMFBR(常陽)	34722	4.0E+14	8.32E+02
	Ti-Al合金 フェライト鋼	試験体	常陽炉	1	$\phi t=2.2E+21$			8.04E+02
								2.65E+04
								3.88E+02
								6.31E+03

表5.2.3 燃焼計算を行った試験燃料の組成比(1/2)

表5.2.3 燃焼計算を行った試験燃料の組成比(2/2)

表5.2.4 放射化計算を行った試験材料の組成比 (1/3)

元素	SUS304	インコロイ800	A533BM	低炭素鋼 (微粒結晶 Alキルド鋼)	フェライト鋼 (F82H)	モリブデン鋼	Zircaroy -2
	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
1 H	7.0E-04						2.5E-03
3 Li	1.3E-05						
4 Be							
5 B	5.0E-03	2.0E-03			4.0E-04		5.0E-05
6 C	6.0E-02	4.0E-02	2.1E-01	1.0E-01	9.4E-02	9.4E-02	2.7E-02
7 N	3.6E-02				5.0E-03		8.0E-03
8 O					3.7E-03		
11 Na	9.7E-04						
12 Mg							
13 Al	5.0E-02		1.0E-02		1.2E-02		7.5E-03
14 Si	8.3E-01	2.4E-01	2.9E-01	2.5E-01	9.0E-02		1.2E-02
15 P			7.0E-03	1.4E-02	3.0E-03		
16 S	6.0E-03		1.4E-02	1.8E-02	3.0E-03		
17 Cl	7.0E-03						
19 K	3.0E-04						
20 Ca	1.9E-03						
21 Sc	3.0E-06						
22 Ti	6.0E-02				1.0E-02		5.0E-03
23 V	4.6E-02				1.8E-01		
24 Cr	1.9E+01	2.0E+01	3.0E-02		7.5E+00	7.5E+00	1.0E-01
25 Mn	1.6E+00	9.0E-01	1.5E+00	1.3E+00	7.0E-02		5.0E-03
26 Fe	7.0E+01	4.8E+01	9.7E+01	9.8E+01	9.0E+01	9.0E+01	1.4E-01
27 Co	1.3E-01		1.2E-02		5.0E-03		2.0E-03
28 Ni	9.2E+00	3.1E+01	6.5E-01		3.0E-02	3.0E-02	5.5E-02
29 Cu	1.1E-01		3.0E-02				5.0E-03
30 Zn	3.0E-03						
31 Ga	1.3E-02						
33 As	1.9E-02						
34 Se	3.5E-03						
35 Br	2.0E-04						
37 Rb	1.0E-03						
38 Sr	2.0E-05						
39 Y	5.0E-04						
40 Zr	1.0E-03						9.8E+01
41 Nb	8.9E-03				7.0E-05		
42 Mo	1.9E-01		5.1E-01		1.0E-03	2.1E+00	
47 Ag	2.0E-04						
48 Cd							5.0E-05
49 In							
50 Sn	5.0E-03						1.5E+00
51 Sb	1.2E-03						
55 Cs	3.0E-05						
56 Ba	5.0E-02						
57 La	2.0E-05						
58 Ce	3.7E-02						
62 Sm	1.0E-06						
63 Eu	2.0E-06						
64 Gd							
65 Tb	4.7E-05						
66 Dy	1.0E-04						
67 Ho	1.0E-04						
70 Yb	2.0E-04						
71 Lu	8.0E-05						
72 Hf	2.0E-04						1.0E-02
73 Ta	1.9E-02				3.0E-02		
74 W					2.1E+00		1.0E-02
82 Pb	6.7E-03						
83 Bi							
90 Th	1.0E-04						
92 U	2.0E-04						3.5E-04
合計	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02

表5.2.4 放射化計算を行った試験材料の組成比 (2/3)

元素	Zircaroy -4	SUS316	INCONELL -718	INCONELL -X750	Hastelloy -XR	黒鉛	2·1/4Cr -Mo鋼
	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
1 H	2.5E-03						
3 Li						5.0E-06	
4 Be						2.0E-06	
5 B	5.0E-05	5.0E-04			9.2E-04	5.0E-05	
6 C	2.7E-02	6.1E-02	4.0E-02	8.0E-02	6.4E-02	1.0E+02	1.3E-01
7 N	8.0E-03	3.2E-02			5.5E-03	1.0E-03	
8 O							
11 Na						4.0E-04	
12 Mg						4.0E-05	
13 Al	7.5E-03	1.7E-02	6.0E-01	7.0E-01	4.6E-02	4.0E-04	
14 Si	1.2E-02	5.7E-01	2.0E-01	5.0E-01	2.7E-01	3.5E-03	7.0E-02
15 P		2.0E-02			4.6E-03		9.0E-03
16 S				1.0E-02	4.6E-03	6.0E-03	9.0E-03
17 Cl						4.0E-04	
19 K							
20 Ca						2.5E-03	
21 Sc							
22 Ti	5.0E-03	1.5E-02	8.0E-01	2.5E+00	4.6E-02	7.0E-05	
23 V						4.0E-05	
24 Cr	1.0E-01	1.7E+01	1.9E+01	1.5E+01	2.0E+01	4.0E-05	2.3E+00
25 Mn	5.0E-03	1.9E+00	2.0E-01	6.5E-01	8.2E-01	2.5E-05	5.2E-01
26 Fe	2.1E-01	6.4E+01	1.8E+01	7.0E+00	1.7E+01	2.8E-03	9.6E+01
27 Co	2.0E-03	1.5E-02	5.7E-02	5.7E-02	4.6E-02	7.0E-05	
28 Ni	7.0E-03	1.4E+01	5.3E+01	7.2E+01	5.3E+01	6.0E-04	1.2E-01
29 Cu	5.0E-03	9.0E-02		2.0E-01			9.0E-02
30 Zn						1.0E-04	
31 Ga							
33 As							
34 Se							
35 Br							
37 Rb							
38 Sr						4.0E-05	
39 Y							
40 Zr	9.8E+01						
41 Nb		1.0E-02	5.2E+00	9.5E-01			
42 Mo		2.3E+00	3.0E+00		8.2E+00	2.5E-04	1.0E+00
47 Ag						1.0E-07	
48 Cd	5.0E-05					7.0E-06	
49 In						6.0E-06	
50 Sn	1.5E+00	4.0E-03				1.0E-04	
51 Sb							
55 Cs							
56 Ba						5.0E-05	
57 La							
58 Ce							
62 Sm						5.0E-06	
63 Eu						5.0E-07	
64 Gd						1.0E-06	
65 Tb							
66 Dy						6.0E-07	
67 Ho							
70 Yb							
71 Lu							
72 Hf	1.0E-02						
73 Ta							
74 W	1.0E-02				4.6E-01	1.5E-05	
82 Pb						8.0E-05	
83 Bi						5.0E-06	
90 Th							
92 U	3.5E-04						
合計	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02

表5.2.4 放射化計算を行った試験材料の組成比 (3/3)

元素						
	黒鉛 wt%	Magnox wt%	Ti-Al合金 wt%	Fe-Cr合金 wt%	2相SUS鋼 wt%	Al合金 wt%
1 H			7.0E-04			
3 Li	5.0E-06					
4 Be	2.0E-06	3.0E-02				
5 B	1.0E-05					
6 C	1.0E+02			3.0E-04	1.6E-02	
7 N	1.0E-03		2.2E-02	3.0E-04	1.5E-02	
8 O			2.7E-01	5.1E-03		
11 Na	1.0E-04					
12 Mg	1.0E-05	9.9E+01				2.5E+00
13 Al	1.0E-04	9.0E-01	3.3E+01			9.7E+01
14 Si	3.5E-03	1.0E-02			4.9E-01	2.5E-01
15 P					1.4E-02	
16 S	5.0E-03			2.0E-04	2.0E-03	
17 Cl	2.0E-04					
19 K						
20 Ca	3.5E-03	8.0E-03				
21 Sc						
22 Ti	3.0E-04		6.6E+01			
23 V	1.2E-03					
24 Cr	3.5E-05			1.8E+01	2.1E+01	3.0E-01
25 Mn	4.0E-06				9.7E-01	1.0E-01
26 Fe	1.0E-03	6.0E-03		8.2E+01	6.6E+01	
27 Co	2.0E-06				1.7E-03	3.0E-04
28 Ni	1.0E-04				8.9E+00	
29 Cu						4.0E-01
30 Zn	1.3E-05	1.5E-02				1.0E-01
31 Ga						
33 As						
34 Se						
35 Br						
37 Rb						
38 Sr	4.0E-05					
39 Y						
40 Zr						
41 Nb						
42 Mo	1.0E-05				2.5E+00	
47 Ag	1.0E-07					
48 Cd	4.0E-06					
49 In	5.0E-06					
50 Sn	5.0E-06					
51 Sb						
55 Cs						
56 Ba	1.5E-04					
57 La						
58 Ce						
62 Sm	4.0E-06					
63 Eu	4.0E-07					
64 Gd	5.0E-07					
65 Tb						
66 Dy	8.0E-07					
67 Ho						
70 Yb						
71 Lu						
72 Hf						
73 Ta						
74 W	1.2E-05					
82 Pb	1.2E-05					
83 Bi	8.0E-06					
90 Th						
92 U						
合計	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(1/8)

試験名		HTTR燃料試験		原電東海 燃料試験	研究炉燃料		NSRRバーンナップ試験		
燃料種類		被覆粒子-1	被覆粒子-2	金属U	UAl-Alx-1	Ual-Alx-2	UO ₂ -1	UO ₂ -2	UO ₂ -3
照射炉		JMTR		東海					
		JRR-3M	JRR-2	1号炉	JRR-2	JRR-3	JMTR	BWR	PWR
廃棄物量(g)		1.0E+03	1.3E+03	3.5E+03	3.2E+01	5.0E+01	1.3E+03	6.2E+02	1.6E+03
核種名		Bq/t							
(○) 1) H 3		1.2E+12	1.7E+12	2.7E+12	1.2E+13	4.8E+12	2.1E+12	2.5E+13	3.1E+13
(○) 2) BE 10		2.4E+06	2.2E+05	7.6E+04	7.4E+04	3.0E+04	1.3E+04	1.9E+05	3.0E+05
(○) 3) C 14		2.2E+08	4.4E+08	3.1E+10	3.0E+06	1.2E+06	4.0E+08	5.6E+09	6.6E+09
(○) 4) AL 26									
(○) 5) CL 36									
(○) 6) K 40									
(○) 7) CA 41									
(○) 8) MN 53									
(○) 9) FE 60									
(○) 10) NI 59				8.2E+08					
(○) 11) CO 60				5.6E+12					
(○) 12) NI 63				1.2E+11					
(○) 13) SE 79		1.1E+09	1.6E+09	2.0E+09	1.1E+10	4.4E+09	1.8E+09	1.8E+10	2.1E+10
(○) 14) RB 87		7.1E+04	1.1E+05	9.0E+04	7.3E+05	2.9E+05	1.1E+05	8.7E+05	1.0E+06
(○) 15) SR 90		2.5E+14	3.8E+14	3.1E+14	2.6E+15	1.0E+15	3.9E+14	2.9E+15	3.4E+15
(○) 16) ZR 93		5.5E+09	8.2E+09	8.0E+09	5.6E+10	2.3E+10	8.9E+09	7.7E+10	8.9E+10
(○) 17) MO 93									
(○) 18) NB 94		7.8E+04	1.0E+05	8.4E+05	5.9E+05	2.7E+05	2.2E+05	7.6E+06	9.1E+06
(○) 19) TC 97									
(○) 20) TC 98		8.0E+02	9.1E+01	4.8E+03	7.6E+02	6.2E+03	2.7E+03	3.0E+05	5.5E+05
(○) 21) TC 99		3.6E+10	5.4E+10	6.5E+10	3.7E+11	1.5E+11	6.1E+10	5.7E+11	6.4E+11
(○) 22) RU106		7.0E+14	7.8E+14	2.4E+15	4.5E+15	2.2E+15	1.1E+15	2.3E+16	3.3E+16
(○) 23) PD107		6.2E+07	6.5E+07	5.9E+08	3.6E+08	2.0E+08	1.7E+08	6.6E+09	8.2E+09
(○) 24) AG108M		4.9E+03	3.5E+03	1.6E+05	3.0E+03	9.6E+03	2.8E+04	1.9E+06	2.3E+06
(○) 25) CD113M		5.8E+10	4.8E+10	2.8E+11	2.7E+11	1.7E+11	1.3E+11	3.1E+12	4.5E+12
(○) 26) SB125		2.6E+13	2.4E+13	8.2E+13	1.5E+14	8.1E+13	5.0E+13	5.6E+14	8.0E+14
(○) 27) SN126		1.2E+09	1.3E+09	4.5E+09	8.3E+09	4.2E+09	2.5E+09	3.7E+10	4.7E+10
(○) 28) I129		6.0E+07	8.2E+07	1.7E+08	5.5E+08	2.4E+08	1.1E+08	1.5E+09	1.7E+09
(○) 29) BA133									
(○) 30) CS134		3.0E+13	4.8E+13	1.9E+14	4.0E+14	2.4E+14	9.5E+13	8.5E+15	1.2E+16
(○) 31) CS135		1.1E+09	1.0E+09	4.0E+09	7.0E+09	4.6E+09	4.0E+09	2.0E+10	1.9E+10
(○) 32) CS137		2.7E+14	4.0E+14	4.7E+14	2.7E+15	1.1E+15	4.4E+14	4.7E+15	5.6E+15
(○) 33) LA138		5.3E-01	8.4E-01	5.5E-01	5.7E+00	2.2E+00	8.1E-01	3.4E+00	3.5E+00
(○) 34) CE144		8.2E+15	1.1E+16	4.4E+15	7.5E+16	3.1E+16	7.3E+15	3.1E+16	4.4E+16
(○) 35) ND144		3.9E-01	1.1E+00	4.0E+00	8.8E+00	2.9E+00	3.0E+00	6.5E+01	7.8E+01
(○) 36) PM145									
(○) 37) PM146		8.0E+08	1.0E+08	3.9E+09	8.6E+08	6.8E+09	2.8E+09	1.1E+11	2.1E+11
(○) 38) SM146		2.8E+00	6.4E-01	2.6E+02	6.8E+00	4.7E+01	9.4E+01	1.2E+04	1.7E+04
(○) 39) SM147		5.6E+02	1.6E+03	1.3E+04	1.4E+04	4.7E+03	8.2E+03	6.5E+04	5.3E+04
(○) 40) EU150		5.4E+03	3.3E+02	1.2E+05	2.5E+03	4.6E+04	7.6E+04	7.1E+05	4.9E+05
(○) 41) EU152		8.4E+09	1.7E+10	1.8E+11	1.2E+11	6.6E+10	1.1E+11	2.4E+11	1.9E+11
(○) 42) EU154		1.4E+12	3.1E+12	1.5E+13	2.5E+13	1.0E+13	4.7E+12	6.3E+14	8.1E+14
(○) 43) HO166M		4.4E+04	2.1E+04	2.6E+06	6.4E+04	1.5E+05	2.8E+05	3.3E+08	5.9E+08
(○) 44) HF178M									
(○) 45) HF182									
(○) 46) RE186M									
(○) 47) OS194									
(○) 48) PB202									

(○)○予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核種

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(2/8)

試験名		HTTR燃料試験		原電東海 燃料試験	研究炉燃料		NSRRバーンナップ試験		
燃料種類	被覆粒子-1	被覆粒子-2	金属U	UAl-Alx-1	UAl-Alx-2	UO ₂ -1	UO ₂ -2	UO ₂ -3	
照射炉	JMTR JRR-3M	JRR-2	東海 1号炉	JRR-2	JRR-3	JMTR	BWR	PWR	
廃棄物量(g)	1.0E+03	1.3E+03	3.5E+03	3.2E+01	5.0E+01	1.3E+03	6.2E+02	1.6E+03	
核種名	Bq/t								
○ 49) PB205									
○ 50) PB210	7.2E-02	8.5E-02	9.8E+00	8.1E-01	8.4E-01	6.9E+00	2.5E+02	4.0E+02	
○ 51) BI207									
○ 52) BI210M	1.2E-13	1.5E-13	1.4E-08	2.0E-12	6.0E-12	3.9E-11	3.2E-07	4.3E-07	
○ 53) RA226	7.4E+00	2.2E+01	2.1E+02	1.7E+02	5.8E+01	3.5E+02	1.2E+03	7.5E+02	
○ 54) RA228			1.1E+04				2.1E-01	1.5E-01	
○ 55) AC227	5.9E+01	1.5E+02	2.1E+04	1.2E+03	5.4E+02	3.3E+03	2.7E+04	1.6E+04	
○ 56) TH229	7.3E+00	1.8E+00	9.8E+03	1.5E+01	6.3E+01	9.8E+01	1.5E+04	1.7E+04	
○ 57) TH230	1.5E+05	2.5E+05	2.9E+05	1.6E+06	6.2E+05	9.0E+05	9.7E+05	7.1E+05	
○ 58) TH232	6.9E-03	1.5E-02	4.0E+04	1.2E-01	5.4E-02	8.2E-02	1.3E+00	1.1E+00	
○ 59) PA231	1.8E+04	2.7E+04	4.2E+05	1.8E+05	9.4E+04	1.4E+05	6.8E+05	5.4E+05	
○ 60) U232	5.1E+06	1.3E+06	5.2E+07	9.5E+06	2.3E+07	1.3E+07	6.8E+08	8.4E+08	
○ 61) U233	8.5E+04	3.0E+04	5.9E+07	1.9E+05	3.5E+05	1.3E+05	3.2E+05	4.0E+05	
○ 62) U234	7.1E+10	7.1E+10	1.0E+10	3.7E+11	1.6E+11	5.6E+10	2.5E+10	2.4E+10	
○ 63) U235	2.6E+09	2.5E+09	3.8E+08	1.3E+10	5.6E+09	1.9E+09	2.1E+08	1.6E+08	
○ 64) U236	1.2E+09	1.5E+09	1.0E+09	1.0E+10	5.0E+09	1.8E+09	8.5E+09	9.1E+09	
○ 65) U238	6.8E+09	6.8E+09	1.2E+10	2.8E+09	4.1E+09	1.1E+10	1.0E+10	1.0E+10	
○ 66) NP236	4.2E+02	1.2E+01	7.3E+03	5.9E+01	2.5E+03	2.9E+03	2.3E+05	3.7E+05	
○ 67) NP237	1.6E+08	5.9E+07	9.3E+08	2.8E+08	6.1E+08	5.4E+08	1.5E+10	1.8E+10	
○ 68) PU238	6.8E+10	2.1E+10	2.7E+12	1.1E+11	4.3E+11	5.2E+11	1.7E+14	2.3E+14	
○ 69) PU239	1.4E+12	9.0E+11	7.8E+12	4.6E+11	1.4E+12	3.9E+12	9.9E+12	1.0E+13	
○ 70) PU240	2.3E+11	1.5E+11	5.1E+12	9.3E+10	4.2E+11	1.2E+12	2.0E+13	2.1E+13	
○ 71) PU241	9.0E+12	2.5E+12	9.5E+14	1.5E+12	2.2E+13	9.0E+13	5.5E+15	6.0E+15	
○ 72) PU242	4.8E+06	1.8E+06	3.0E+09	1.4E+06	2.5E+07	1.0E+08	1.2E+11	1.5E+11	
○ 73) PU244	1.5E-02	2.5E-03	3.3E+01	2.5E-03	1.8E-01	2.5E-01	6.5E+04	1.3E+05	
○ 74) AM241	8.0E+08	3.9E+08	1.4E+12	2.9E+08	4.2E+09	6.5E+10	6.3E+12	4.7E+12	
○ 75) AM242M	8.3E+06	2.5E+06	5.0E+10	2.2E+06	7.7E+07	1.2E+09	4.0E+11	3.1E+11	
○ 76) AM243	2.3E+06	3.6E+05	7.8E+09	3.6E+05	2.5E+07	1.0E+08	1.9E+12	2.7E+12	
○ 77) CM243	4.0E+05	1.9E+05	1.0E+10	2.3E+05	8.3E+06	1.0E+08	2.0E+12	2.4E+12	
○ 78) CM244	1.1E+07	1.1E+06	2.0E+11	1.5E+06	2.5E+08	1.0E+09	3.8E+14	6.5E+14	
○ 79) CM245	6.5E+01	3.7E+00	5.3E+06	6.0E+00	2.8E+03	1.1E+04	3.8E+10	7.0E+10	
○ 80) CM246	6.1E-01	1.2E-01	2.6E+05	2.4E-01	5.2E+01	2.2E+02	1.5E+10	3.4E+10	
○ 81) CM247				1.9E-01			6.6E+04	1.8E+05	
○ 82) CM248				1.0E-01			2.6E+05	8.5E+05	
○ 83) BK247									
○ 84) CF249				7.4E-02			5.6E+05	1.5E+06	
○ 85) CF250		4.7E-09		8.4E-01			2.0E+07	7.6E+07	
○ 86) CF251				2.3E-03			1.3E+05	5.1E+05	
備考	B-1.1型 濃縮度 =6wt%	B-1.1型 濃縮度 =6wt%		JRR-2BM 濃縮度 =45wt%	JRR-3 濃縮度 =20wt%	濃縮度 =3.2wt%	濃縮度 =3.0wt%	濃縮度 =3.2wt%	

◎○予備の検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核種

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(3/8)

試験名		高速炉試験				
燃料種類	(Pu,U) C _x -1	(Pu,U) C _x -2	(Pu,U) C _x -3	(Pu,U) N _x -1	(Pu,U) N _x -2	
照射炉	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	
廃棄物量(g)	1.3E+02	1.3E+02	1.3E+02	9.5E+01	9.5E+01	
核種名			Bq/t			
① 1) H 3	1.9E+13	3.1E+13	1.4E+13	2.5E+13	3.7E+13	
○ 2) BE 10	5.5E+05	9.5E+05	4.0E+05	1.0E+05	1.5E+05	
◎ 3) C 14	2.1E+07	3.5E+07	1.5E+07	3.6E+12	6.0E+12	
◎ 4) AL 26						
◎ 5) CL 36						
◎ 6) K 40						
◎ 7) CA 41						
○ 8) MN 53						
○ 9) FE 60						
◎ 10) NI 59						
◎ 11) CO 60						
◎ 12) NI 63						
◎ 13) SE 79	9.8E+09	1.6E+10	7.3E+09	1.3E+10	1.9E+10	
◎ 14) RB 87	3.0E+05	4.7E+05	2.2E+05	3.8E+05	5.7E+05	
◎ 15) SR 90	1.0E+15	1.6E+15	7.6E+14	1.3E+15	2.0E+15	
◎ 16) ZR 93	3.6E+10	5.7E+10	2.7E+10	4.6E+10	6.9E+10	
◎ 17) MO 93						
◎ 18) NB 94	1.1E+07	1.7E+07	8.3E+06	1.4E+07	2.0E+07	
○ 19) TC 97						
○ 20) TC 98	1.0E+04	3.0E+04	5.5E+03	1.8E+04	4.6E+04	
◎ 21) TC 99	3.9E+11	6.3E+11	2.9E+11	5.0E+11	7.6E+11	
γ 22) RU106	4.6E+16	6.8E+16	3.3E+16	5.7E+16	7.9E+16	
○ 23) PD107	7.1E+09	1.2E+10	5.3E+09	9.2E+09	1.4E+10	
◎ 24) AG108M	2.2E+06	3.5E+06	1.7E+06	2.8E+06	4.2E+06	
◎ 25) CD113M	1.4E+12	2.4E+12	1.1E+12	1.9E+12	3.0E+12	
γ 26) SB125	5.8E+14	8.9E+14	4.3E+14	7.3E+14	1.0E+15	
◎ 27) SN126	2.7E+10	4.4E+10	2.1E+10	3.5E+10	5.2E+10	
◎ 28) I129	1.2E+09	2.0E+09	9.4E+08	1.6E+09	2.4E+09	
◎ 29) BA133						
γ 30) CS134	4.1E+14	1.1E+15	2.2E+14	7.1E+14	1.7E+15	
◎ 31) CS135	2.6E+10	3.8E+10	2.3E+10	3.2E+10	4.4E+10	
◎ 32) CS137	3.0E+15	4.8E+15	2.3E+15	3.9E+15	5.8E+15	
○ 33) LA138	1.7E+00	2.7E+00	1.3E+00	2.2E+00	3.2E+00	
γ 34) CE144	4.9E+16	7.0E+16	3.5E+16	6.0E+16	8.0E+16	
○ 35) ND144	8.2E+00	1.8E+01	6.8E+00	1.2E+01	2.4E+01	
○ 36) PM145						
○ 37) PM146	1.1E+10	2.9E+10	5.8E+09	1.8E+10	4.4E+10	
○ 38) SM146	1.5E+02	6.1E+02	1.0E+02	3.2E+02	1.1E+03	
○ 39) SM147	2.4E+04	5.1E+04	2.1E+04	3.5E+04	6.8E+04	
○ 40) EU150	3.3E+05	8.7E+05	2.5E+05	5.5E+05	1.2E+06	
◎ 41) EU152	5.1E+11	1.2E+12	3.9E+11	8.1E+11	1.6E+12	
◎ 42) EU154	3.6E+13	1.0E+14	1.9E+13	6.3E+13	1.6E+14	
◎ 43) HO166M	6.8E+06	1.7E+07	4.2E+06	1.1E+07	2.7E+07	
○ 44) HF178M						
○ 45) HF182						
○ 46) RE186M						
○ 47) OS194						
○ 48) PB202						

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(4/8)

試験名		高速炉試験				
燃料種類		(Pu,U)C _x -1	(Pu,U)C _x -2	(Pu,U)C _x -3	(Pu,U)N _x -1	(Pu,U)N _x -2
照射炉		JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR
廃棄物量(g)		1.3E+02	1.3E+02	1.3E+02	9.5E+01	9.5E+01
核種名		Bq/t				
○ 49) PB205						
○ 50) PB210		1.2E-01	3.3E-01	1.7E-01	1.9E-01	5.1E-01
○ 51) BI207						
○ 52) BI210M						
○ 53) RA226		1.2E+01	2.2E+01	1.6E+01	1.5E+01	2.9E+01
○ 54) RA228						
○ 55) AC227		1.2E+02	2.4E+02	1.6E+02	1.6E+02	3.3E+02
○ 56) TH229		3.9E+00	1.0E+01	3.2E+00	6.3E+00	1.6E+01
○ 57) TH230		6.5E+04	8.8E+04	7.7E+04	7.4E+04	9.9E+04
○ 58) TH232						
○ 59) PA231		9.8E+03	1.6E+04	1.1E+04	1.2E+04	2.0E+04
○ 60) U232		1.1E+06	2.5E+06	8.7E+05	1.7E+06	3.6E+06
○ 61) U233		1.2E+04	2.1E+04	9.3E+03	1.6E+04	2.6E+04
○ 62) U234		8.8E+09	8.7E+09	8.9E+09	8.7E+09	8.6E+09
○ 63) U235		4.0E+08	3.7E+08	4.1E+08	3.8E+08	3.5E+08
○ 64) U236		2.2E+08	3.7E+08	1.6E+08	2.9E+08	4.5E+08
○ 65) U238		9.4E+09	9.4E+09	9.4E+09	9.3E+09	9.3E+09
○ 66) NP236		6.4E+02	1.9E+03	3.5E+02	1.1E+03	2.9E+03
○ 67) NP237		1.8E+08	3.3E+08	1.3E+08	2.5E+08	4.3E+08
○ 68) PU238		1.2E+14	1.2E+14	1.2E+14	1.2E+14	1.3E+14
○ 69) PU239		2.5E+14	2.1E+14	2.7E+14	2.3E+14	1.8E+14
○ 70) PU240		3.6E+14	3.7E+14	3.5E+14	3.6E+14	3.7E+14
○ 71) PU241		4.4E+16	5.5E+16	3.9E+16	4.9E+16	6.0E+16
○ 72) PU242		2.6E+11	3.3E+11	2.3E+11	2.9E+11	3.9E+11
○ 73) PU244		1.9E+03	5.4E+03	8.8E+02	3.4E+03	8.8E+03
○ 74) AM241		3.9E+13	6.1E+13	4.2E+13	4.8E+13	7.3E+13
○ 75) AM242M		8.7E+11	2.0E+12	7.3E+11	1.3E+12	2.8E+12
○ 76) AM243		5.6E+11	1.1E+12	3.9E+11	7.9E+11	1.5E+12
○ 77) CM243		8.3E+10	3.7E+11	4.5E+10	1.8E+11	6.9E+11
○ 78) CM244		8.9E+12	2.9E+13	4.5E+12	1.7E+13	4.8E+13
○ 79) CM245		1.3E+08	6.7E+08	4.9E+07	3.1E+08	1.4E+09
○ 80) CM246		2.7E+06	2.5E+07	7.5E+05	9.0E+06	6.5E+07
○ 81) CM247		7.7E-01	1.2E+01	1.5E-01	3.4E+00	4.1E+01
○ 82) CM248		1.6E-01	4.4E+00	2.3E-02	9.5E-01	1.9E+01
○ 83) BK247						
○ 84) CF249		1.5E-02	8.6E-01	1.9E-03	1.3E-01	4.9E+00
○ 85) CF250		2.3E-01	1.6E+01	1.8E-02	2.3E+00	1.1E+02
○ 86) CF251			2.9E-02		3.3E-03	2.2E-01
備考		Pu+天然U Pu富化度 =20wt%	Pu+天然U Pu富化度 =20wt%		Pu+天然U Pu富化度 =20wt%	Pu+天然U Pu富化度 =20wt%

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(5/8)

試験名	ふげん燃料集合体					関電 大飯 2号炉	関電 大飯 2号炉	関電 大飯 2号炉
燃料種類	MOX-1	MOX-2	MOX-3	MOX-4	MOX-5	UO ₂ -4	UO ₂ -5	UO ₂ -6
照射炉	ATR	ATR	ATR	ATR	ATR	PWR	PWR	PWR
廃棄物量(g)	1.7E+04	7.4E+03	1.8E+02	2.2E+02	1.3E+02	3.6E+02	7.3E+02	4.4E+03
核種名						Bq/t		
(◎) 1) H 3	1.2E+13	1.6E+13	1.3E+13	2.2E+13	1.8E+13	2.0E+13	2.2E+13	2.1E+13
(○) 2) BE 10	5.7E+04	7.7E+04	5.8E+04	1.1E+05	8.3E+04	1.5E+05	2.0E+05	1.7E+05
(◎) 3) C 14	3.7E+09	3.9E+09	2.0E+09	8.8E+09	3.7E+09	3.8E+09	5.2E+09	4.2E+09
(◎) 4) AL 26								
(◎) 5) CL 36								
(◎) 6) K 40								
(◎) 7) CA 41								
(○) 8) MN 53								
(○) 9) FE 60								
(◎) 10) NI 59								
(◎) 11) CO 60								
(◎) 12) NI 63								
(◎) 13) SE 79	7.0E+09	9.1E+09	7.1E+09	1.2E+10	9.8E+09	1.4E+10	1.4E+10	1.5E+10
(◎) 14) RB 87	2.9E+05	3.6E+05	2.7E+05	4.7E+05	3.8E+05	7.4E+05	5.9E+05	7.8E+05
(◎) 15) SR 90	9.7E+14	1.2E+15	9.0E+14	1.5E+15	1.2E+15	2.5E+15	2.0E+15	2.7E+15
(◎) 16) ZR 93	2.9E+10	3.8E+10	2.9E+10	5.0E+10	4.0E+10	6.3E+10	5.5E+10	6.7E+10
(◎) 17) MO 93								
(◎) 18) NB 94	5.0E+06	7.0E+06	6.1E+06	8.7E+06	7.8E+06	5.1E+06	7.1E+06	5.7E+06
(○) 19) TC 97								
(○) 20) TC 98	6.1E+03	9.1E+03	3.4E+03	2.6E+04	9.2E+03	2.1E+05	2.9E+05	2.5E+05
(◎) 21) TC 99	2.7E+11	3.6E+11	2.8E+11	4.4E+11	3.9E+11	4.6E+11	4.3E+11	4.8E+11
(γ) 22) RU106	1.6E+16	1.8E+16	1.6E+16	2.0E+16	1.9E+16	2.3E+16	3.2E+16	2.3E+16
(○) 23) PD107	4.2E+09	6.2E+09	4.7E+09	8.4E+09	6.9E+09	4.2E+09	6.3E+09	4.7E+09
(◎) 24) AG108M	1.1E+06	1.7E+06	1.3E+06	2.9E+06	1.9E+06	1.1E+06	1.7E+06	1.2E+06
(◎) 25) CD113M	1.0E+12	1.4E+12	9.7E+11	2.3E+12	1.5E+12	2.1E+12	3.3E+12	2.4E+12
(γ) 26) SB125	2.6E+14	3.2E+14	2.8E+14	3.9E+14	3.3E+14	5.5E+14	6.9E+14	5.7E+14
(◎) 27) SN126	1.6E+10	2.2E+10	1.7E+10	3.1E+10	2.4E+10	2.8E+10	3.4E+10	3.1E+10
(◎) 28) I129	7.1E+08	9.6E+08	8.0E+08	1.2E+09	1.1E+09	1.1E+09	1.2E+09	1.2E+09
(◎) 29) BA133								
(γ) 30) CS134	2.1E+15	2.9E+15	1.3E+15	5.6E+15	3.0E+15	6.1E+15	7.4E+15	6.7E+15
(◎) 31) CS135	5.1E+09	8.5E+09	7.8E+09	1.1E+10	1.0E+10	1.1E+10	9.2E+09	1.3E+10
(◎) 32) CS137	2.1E+15	2.8E+15	2.2E+15	3.8E+15	3.0E+15	3.7E+15	3.7E+15	4.0E+15
(○) 33) LA138	1.5E+00	1.7E+00	1.5E+00	1.4E+00	1.8E+00	3.6E+00	2.2E+00	3.6E+00
(γ) 34) CE144	1.8E+16	1.9E+16	1.8E+16	1.9E+16	1.9E+16	4.7E+16	4.3E+16	4.3E+16
(○) 35) ND144	2.6E+01	3.8E+01	2.2E+01	6.3E+01	4.0E+01	3.9E+01	4.0E+01	4.5E+01
(○) 36) PM145								
(○) 37) PM146	3.9E+09	5.0E+09	2.5E+09	9.0E+09	5.0E+09	1.3E+11	1.4E+11	1.4E+11
(○) 38) SM146	2.6E+02	5.0E+02	1.7E+02	1.3E+03	5.6E+02	5.6E+03	5.9E+03	7.6E+03
(○) 39) SM147	3.7E+04	6.1E+04	4.8E+04	5.6E+04	7.2E+04	3.7E+04	2.7E+04	4.4E+04
(○) 40) EU150	1.1E+03	2.8E+03	3.2E+03	2.5E+03	4.1E+03	2.4E+05	9.2E+04	5.3E+05
(◎) 41) EU152	2.0E+10	2.9E+10	5.9E+10	1.7E+10	4.1E+10	1.5E+11	1.2E+11	1.8E+11
(◎) 42) EU154	1.8E+14	2.6E+14	1.5E+14	3.1E+14	2.8E+14	4.1E+14	7.1E+14	4.6E+14
(◎) 43) HO166M	4.8E+07	8.3E+07	2.2E+07	5.3E+08	8.3E+07	1.1E+08	2.1E+10	1.5E+08
(○) 44) HF178M								3.2E-03
(○) 45) HF182								
(○) 46) RE186M								
(○) 47) OS194								
(○) 48) PB202								

(◎) (○) 予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(6/8)

試験名		ふげん燃料集合体					関電 大飯 2号炉	関電 大飯 2号炉	関電 大飯 2号炉
燃料種類	MOX-1	MOX-2	MOX-3	MOX-4	MOX-5	UO ₂ -4	UO ₂ -5	UO ₂ -6	
照射炉		ATR	ATR	ATR	ATR	ATR	PWR	PWR	PWR
廃棄物量(g)		1.7E+04	7.4E+03	1.8E+02	2.2E+02	1.3E+02	3.6E+02	7.3E+02	4.4E+03
核種名		Bq/t							
○ 49) PB205									
○ 50) PB210	5.4E+00	1.3E+01	5.8E+00	3.0E+01	1.6E+01	8.1E+01	9.7E+01	1.2E+02	
○ 51) BI207									
○ 52) BI210M									
○ 53) RA226	1.6E+02	2.8E+02	1.7E+02	4.3E+02	3.3E+02	3.5E+02	1.4E+02	5.1E+02	
○ 54) RA228									6.7E-02
○ 55) AC227	1.5E+03	2.7E+03	1.7E+03	3.6E+03	3.2E+03	7.5E+03	3.3E+03	1.1E+04	
○ 56) TH229	1.1E+02	2.2E+02	4.1E+01	1.4E+03	2.2E+02	3.1E+03	3.2E+03	4.9E+03	
○ 57) TH230	2.2E+05	2.9E+05	2.5E+05	2.8E+05	3.2E+05	6.4E+05	2.5E+05	7.4E+05	
○ 58) TH232	1.4E-01	1.9E-01	9.9E-02	3.7E-01	2.0E-01	5.6E-01	3.4E-01	7.2E-01	
○ 59) PA231	5.8E+04	8.1E+04	5.1E+04	1.1E+05	8.7E+04	3.6E+05	1.6E+05	4.4E+05	
○ 60) U232	1.4E+07	2.1E+07	7.4E+06	5.5E+07	2.1E+07	2.9E+08	2.6E+08	3.8E+08	
○ 61) U233	1.6E+04	1.6E+04	1.5E+04	1.6E+04	1.7E+04	4.3E+05	2.0E+05	4.3E+05	
○ 62) U234	7.6E+09	7.5E+09	8.6E+09	5.3E+09	7.7E+09	3.5E+10	1.4E+10	3.3E+10	
○ 63) U235	1.1E+08	9.3E+07	2.1E+08	1.2E+07	1.0E+08	4.8E+08	1.2E+08	4.2E+08	
○ 64) U236	1.8E+09	1.8E+09	1.3E+09	2.1E+09	1.7E+09	8.6E+09	4.6E+09	8.8E+09	
○ 65) U238	1.1E+10	1.1E+10	1.1E+10	1.0E+10	1.0E+10	1.0E+10	9.7E+09	1.0E+10	
○ 66) NP236	8.3E+02	9.2E+02	3.4E+02	2.2E+03	8.4E+02	2.0E+05	1.8E+05	2.3E+05	
○ 67) NP237	8.8E+08	9.5E+08	4.3E+08	2.0E+09	8.9E+08	1.1E+10	9.0E+09	1.2E+10	
○ 68) PU238	2.1E+13	4.2E+13	2.8E+13	4.5E+13	5.1E+13	8.5E+13	1.0E+14	1.0E+14	
○ 69) PU239	6.8E+12	7.0E+12	1.3E+13	6.0E+12	7.6E+12	1.0E+13	9.6E+12	1.0E+13	
○ 70) PU240	2.9E+13	3.9E+13	5.9E+13	2.2E+13	4.6E+13	1.8E+13	1.9E+13	1.9E+13	
○ 71) PU241	4.2E+15	6.0E+15	7.5E+15	3.2E+15	7.1E+15	4.5E+15	5.3E+15	4.8E+15	
○ 72) PU242	1.3E+11	2.1E+11	1.3E+11	2.8E+11	2.4E+11	6.8E+10	1.2E+11	8.0E+10	
○ 73) PU244	1.2E+04	2.0E+04	4.0E+03	1.2E+05	1.9E+04	2.2E+04	8.9E+04	2.8E+04	
○ 74) AM241	7.1E+12	1.3E+13	1.6E+13	4.9E+12	1.7E+13	3.1E+12	3.2E+12	3.7E+12	
○ 75) AM242M	1.1E+11	2.0E+11	2.5E+11	7.6E+10	2.6E+11	1.9E+11	2.3E+11	2.4E+11	
○ 76) AM243	5.9E+11	1.0E+12	3.7E+11	2.7E+12	1.1E+12	7.4E+11	1.9E+12	9.5E+11	
○ 77) CM243	7.7E+11	1.5E+12	6.1E+11	1.4E+12	1.7E+12	6.7E+11	1.5E+12	9.2E+11	
○ 78) CM244	4.5E+13	8.5E+13	1.7E+13	5.0E+14	8.4E+13	9.5E+13	3.8E+14	1.3E+14	
○ 79) CM245	9.4E+08	1.8E+09	3.0E+08	1.3E+10	1.8E+09	7.6E+09	3.8E+10	1.1E+10	
○ 80) CM246	6.9E+08	1.4E+09	1.2E+08	2.4E+10	1.3E+09	1.8E+09	1.5E+10	3.1E+09	
○ 81) CM247	7.6E+02	1.7E+03	8.0E+01	5.7E+04	1.5E+03	5.5E+03	6.5E+04	1.0E+04	
○ 82) CM248	2.1E+03	4.9E+03	1.2E+02	3.8E+05	4.0E+03	1.4E+04	2.5E+05	2.8E+04	
○ 83) BK247									
○ 84) CF249	6.5E+02	1.9E+03	3.5E+01	2.0E+05	1.5E+03	1.4E+04	3.1E+05	3.3E+04	
○ 85) CF250	7.9E+04	2.0E+05	2.3E+03	2.7E+07	1.5E+05	1.1E+06	2.6E+07	1.7E+06	
○ 86) CF251	2.9E+02	7.2E+02	6.2E+00	9.8E+04	4.6E+02	9.3E+03	2.1E+05	1.0E+04	
備考		Pu+天然U Pu富化度 =1.56wt%	Pu+天然U Pu富化度 =2.5wt%	Pu+天然U Pu富化度 =3.0wt%	Pu+天然U Pu富化度 =1.8wt%	Pu+天然U Pu富化度 =3.0wt%	濃縮度 =3.2wt% Gd:6wt%	濃縮度 =3.2wt%	

(○)予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(7/8)

試験名	関電 大飯 1号炉	ハルデン 高燃焼度 燃料	ハルデン 高燃焼度 燃料	ハルデン 高燃焼度 燃料	関電 高浜 3号	東電 福島 2-2号	全平均 放射能 濃度
燃料種類	UO ₂ -7	UO ₂ -8	UO ₂ -9	UO ₂ -10	UO ₂ -11	UO ₂ -12	
照射炉	PWR	HBWR	HBWR	HBWR	PWR	BWR	
廃棄物量(g)	2.5E+03	9.1E+02	6.1E+02	6.1E+02	6.0E+03	1.0E+03	5.2E+04
核種名					Bq/t		
(○) 1) H 3	2.7E+13	2.7E+13	2.2E+13	1.8E+13	2.1E+13	2.0E+13	1.6E+13
(○) 2) BE 10	2.5E+05	2.2E+05	1.7E+05	1.3E+05	1.6E+05	1.4E+05	1.6E+05
(○) 3) C 14	5.7E+09	3.3E+09	2.4E+09	1.7E+09	3.9E+09	4.3E+09	2.3E+10
(○) 4) AL 26							***
(○) 5) CL 36							***
(○) 6) K 40							***
(○) 7) CA 41							***
(○) 8) MN 53							***
(○) 9) FE 60							***
(○) 10) NI 59							5.5E+07
(○) 11) CO 60							3.8E+11
(○) 12) NI 63							7.9E+09
(○) 13) SE 79	1.9E+10	2.9E+10	2.4E+10	1.9E+10	1.5E+10	1.5E+10	1.0E+10
(○) 14) RB 87	9.4E+05	1.8E+06	1.5E+06	1.2E+06	7.8E+05	7.6E+05	5.0E+05
(○) 15) SR 90	3.1E+15	5.6E+15	4.8E+15	3.9E+15	2.7E+15	2.5E+15	1.7E+15
(○) 16) ZR 93	8.2E+10	1.4E+11	1.2E+11	9.2E+10	6.6E+10	6.5E+10	4.5E+10
(○) 17) MO 93							***
(○) 18) NB 94	8.0E+06	4.9E+06	3.4E+06	2.3E+06	5.2E+06	5.8E+06	5.2E+06
(○) 19) TC 97							***
(○) 20) TC 98	4.3E+05	3.0E+05	1.7E+05	9.4E+04	2.3E+05	1.9E+05	1.1E+05
(○) 21) TC 99	5.9E+11	9.1E+11	7.6E+11	6.1E+11	4.7E+11	4.8E+11	3.6E+11
(γ) 22) RU106	2.3E+16	7.5E+15	5.9E+15	4.6E+15	2.2E+16	1.9E+16	1.7E+16
(○) 23) PD107	6.9E+09	3.7E+09	2.5E+09	1.6E+09	4.3E+09	4.8E+09	4.3E+09
(○) 24) AG108M	2.0E+06	1.0E+06	6.0E+05	3.4E+05	1.1E+06	1.3E+06	1.2E+06
(○) 25) CD113M	3.6E+12	1.8E+12	1.2E+12	8.8E+11	2.2E+12	2.2E+12	1.5E+12
(γ) 26) SB125	6.3E+14	3.1E+14	2.7E+14	2.3E+14	5.5E+14	4.8E+14	3.6E+14
(○) 27) SN126	4.1E+10	3.6E+10	2.8E+10	2.1E+10	2.9E+10	2.9E+10	2.2E+10
(○) 28) I129	1.6E+09	1.8E+09	1.4E+09	1.1E+09	1.2E+09	1.2E+09	9.0E+08
(○) 29) BA133							***
(γ) 30) CS134	9.0E+15	6.8E+15	4.5E+15	2.8E+15	6.3E+15	6.2E+15	3.8E+15
(○) 31) CS135	2.1E+10	5.9E+10	4.9E+10	4.0E+10	1.2E+10	1.6E+10	1.1E+10
(○) 32) CS137	5.0E+15	6.6E+15	5.4E+15	4.3E+15	3.9E+15	3.9E+15	2.8E+15
(○) 33) LA138	3.6E+00	9.8E+00	9.0E+00	7.7E+00	3.8E+00	3.5E+00	2.4E+00
(γ) 34) CE144	3.1E+16	2.3E+16	2.4E+16	2.4E+16	4.6E+16	3.2E+16	2.5E+16
(○) 35) ND144	7.1E+01	1.1E+02	8.1E+01	5.8E+01	4.2E+01	4.8E+01	3.5E+01
(○) 36) PM145							***
(○) 37) PM146	1.6E+11	8.5E+10	6.5E+10	4.7E+10	1.3E+11	9.2E+10	5.2E+10
(○) 38) SM146	1.9E+04	3.0E+04	1.6E+04	8.2E+03	6.4E+03	7.4E+03	4.2E+03
(○) 39) SM147	7.1E+04	2.6E+05	2.3E+05	1.8E+05	4.2E+04	5.5E+04	4.8E+04
(○) 40) EU150	1.0E+06	2.5E+06	1.9E+06	1.4E+06	3.0E+05	5.2E+05	2.6E+05
(○) 41) EU152	2.6E+11	1.1E+12	1.3E+12	1.3E+12	1.7E+11	2.4E+11	1.5E+11
(○) 42) EU154	6.7E+14	5.8E+14	3.6E+14	2.0E+14	4.3E+14	4.6E+14	2.9E+14
(○) 43) HO166M	3.8E+08	6.7E+07	2.6E+07	1.0E+07	1.2E+08	1.5E+08	3.9E+08
(○) 44) HF178M							4.5E-05
(○) 45) HF182							***
(○) 46) RE186M							***
(○) 47) OS194							***
(○) 48) PB202							***

種

(○)予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、また γ は γ 線

表5.2.5 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後燃料の燃焼計算結果(8/8)

試験名	関電 大飯 1号炉	ハルデン 高燃焼度 燃料	ハルデン 高燃焼度 燃料	ハルデン 高燃焼度 燃料	関電 高浜 3号	東電 福島 2-2号	全平均 放射能 濃度
燃料種類	UO ₂ -7	UO ₂ -8	UO ₂ -9	UO ₂ -10	UO ₂ -11	UO ₂ -12	
照射炉	PWR	HBWR	HBWR	HBWR	PWR	BWR	
廃棄物量(g)	2.5E+03	9.1E+02	6.1E+02	6.1E+02	6.0E+03	1.0E+03	5.2E+04
核種名					Bq/t		
○ 49) PB205							***
○ 50) PB210	4.5E+02	3.5E+03	1.9E+03	9.4E+02	9.6E+01	1.2E+02	1.6E+02
○ 51) BI207							***
○ 52) BI210M							1.8E-08
○ 53) RA226	1.5E+03	2.8E+04	2.0E+04	1.3E+04	4.5E+02	8.8E+02	1.2E+03
○ 54) RA228	2.5E-01	2.2E+00	1.2E+00	6.4E-01	5.5E-02	1.2E-01	7.6E+02
○ 55) AC227	3.3E+04	5.1E+05	3.4E+05	2.0E+05	9.6E+03	1.9E+04	2.3E+04
○ 56) TH229	2.2E+04	6.1E+04	2.4E+04	8.7E+03	3.9E+03	6.5E+03	4.9E+03
○ 57) TH230	1.1E+06	1.0E+07	9.6E+06	8.4E+06	7.4E+05	9.2E+05	8.1E+05
○ 58) TH232	1.5E+00	7.4E+00	5.1E+00	3.2E+00	6.6E-01	9.4E-01	2.7E+03
○ 59) PA231	7.8E+05	5.8E+06	4.3E+06	3.0E+06	4.2E+05	5.7E+05	4.1E+05
○ 60) U232	9.5E+08	2.3E+09	1.2E+09	5.9E+08	3.3E+08	4.1E+08	2.3E+08
○ 61) U233	4.5E+05	1.2E+06	1.0E+06	8.5E+05	4.6E+05	3.1E+05	4.2E+06
○ 62) U234	2.7E+10	1.1E+11	1.3E+11	1.4E+11	3.7E+10	3.0E+10	2.5E+10
○ 63) U235	2.3E+08	1.8E+09	2.6E+09	3.4E+09	5.0E+08	3.5E+08	4.8E+08
○ 64) U236	9.1E+09	2.6E+10	2.2E+10	1.9E+10	9.2E+09	8.3E+09	4.8E+09
○ 65) U238	1.0E+10	9.6E+09	9.7E+09	9.8E+09	1.0E+10	1.0E+10	1.0E+10
○ 66) NP236	3.3E+05	3.4E+05	1.9E+05	9.8E+04	2.2E+05	1.7E+05	9.1E+04
○ 67) NP237	1.6E+10	2.7E+10	1.7E+10	1.0E+10	1.2E+10	1.2E+10	5.6E+09
○ 68) PU238	1.9E+14	1.8E+14	8.6E+13	3.7E+13	9.2E+13	1.1E+14	6.1E+13
○ 69) PU239	1.0E+13	9.2E+12	8.9E+12	8.2E+12	1.0E+13	9.9E+12	1.0E+13
○ 70) PU240	2.1E+13	1.6E+13	1.3E+13	9.3E+12	1.8E+13	1.9E+13	2.7E+13
○ 71) PU241	5.7E+15	3.6E+15	2.4E+15	1.4E+15	4.5E+15	4.8E+15	4.7E+15
○ 72) PU242	1.3E+11	4.4E+10	2.0E+10	8.2E+09	6.9E+10	8.4E+10	1.1E+11
○ 73) PU244	6.8E+04	5.2E+03	1.2E+03	2.5E+02	2.2E+04	2.8E+04	2.2E+04
○ 74) AM241	6.6E+12	9.9E+12	6.3E+12	3.3E+12	3.3E+12	5.1E+12	6.6E+12
○ 75) AM242M	4.4E+11	5.8E+11	3.4E+11	1.5E+11	2.1E+11	3.2E+11	1.9E+11
○ 76) AM243	2.0E+12	4.0E+11	1.3E+11	3.8E+10	7.6E+11	1.0E+12	7.9E+11
○ 77) CM243	2.1E+12	6.4E+11	2.2E+11	6.2E+10	7.2E+11	1.1E+12	8.9E+11
○ 78) CM244	4.0E+14	3.9E+13	9.1E+12	1.8E+12	9.8E+13	1.5E+14	1.0E+14
○ 79) CM245	4.0E+10	2.8E+09	5.3E+08	8.2E+07	8.0E+09	1.3E+10	7.8E+09
○ 80) CM246	1.6E+10	5.5E+08	7.1E+07	7.7E+06	2.0E+09	3.7E+09	3.3E+09
○ 81) CM247	7.4E+04	1.4E+03	1.3E+02	1.0E+01	5.9E+03	1.3E+04	1.3E+04
○ 82) CM248	3.0E+05	3.0E+03	2.0E+02	1.0E+01	1.5E+04	3.8E+04	5.4E+04
○ 83) BK247							***
○ 84) CF249	6.7E+05	8.7E+03	4.3E+02	1.7E+01	1.6E+04	6.2E+04	9.4E+04
○ 85) CF250	2.3E+07	1.2E+05	5.5E+03	1.9E+02	8.8E+05	2.3E+06	4.4E+06
○ 86) CF251	1.5E+05	6.7E+02	2.6E+01	7.5E-01	5.4E+03	1.9E+04	3.0E+04
備考	濃縮度 =3.2wt%	濃縮度 =9.88wt%	濃縮度 =9.88wt%	濃縮度 =3.4wt%	濃縮度 =3.0wt%		

種 ○.○予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(1/15)

試験名	HTTR_F	HTTR_F	JAPCO_F	HTTR_F	HTTR_M	HTTR_M	JAPCO_M	NSRR_F	NSRR_F	FUSION_M	LWR_M
材料種類	黒船-1 JRR-3M 照射炉	黒鉛-2 原電東海 JRR-2	SUS304 -1 JRR-3 JMTR	SUS304 -2 JRR-2	SUS304 -3 JMTR	SUS304 -4 1号炉	SUS304 -5 JMTR	SUS304 -6 原電東海 1号炉	SUS304 -7 JMTR	SUS304 -8 PWR	SUS304 -9 JMTR
廃棄物量(g)	9.2E+04	1.3E+04	2.9E+05	3.6E+04	4.1E+04	9.2E+04	5.3E+04	7.9E+03	4.6E+05	6.2E+02	4.8E+05
○ 1) H 3	1.4E+07	1.8E+08	2.5E+08	4.6E+08	1.7E+08	3.0E+08	2.5E+08	1.1E+04	3.1E+08	1.4E+09	3.2E+08
○ 2) BE 10	1.8E+03	7.6E+02	3.2E+04	2.6E+00	2.6E+01	1.9E+00	3.6E+01	1.7E+03	4.3E+01	1.5E+02	2.2E+02
○ 3) C 14	1.5E+05	1.7E+06	3.6E+06	4.2E+07	1.6E+07	2.6E+07	2.4E+07	9.9E+02	3.0E+07	4.2E+08	5.0E+08
○ 4) AL 26											
○ 5) CL 36	4.2E+03	4.5E+04	5.0E+04	7.8E+05	3.7E+05	4.8E+05	5.7E+05	2.4E+01	7.2E+05	9.2E+06	1.1E+07
○ 6) K 40	2.6E-02	1.1E-02	6.5E-01	5.1E-01	3.9E-01	3.5E-01	5.5E-01	9.5E-02	6.6E-01	6.9E+00	8.8E+00
○ 7) CA 41	1.1E+03	1.1E+04	3.6E+04	8.4E+03	4.0E+03	5.2E+03	6.2E+03	2.6E-01	7.8E+03	1.1E+05	8.1E+03
○ 8) MN 53											
○ 9) FE 60											
○ 10) NI 59	1.6E+03	1.5E+04	5.5E+03	2.2E+08	1.2E+08	1.4E+08	1.9E+08	7.1E+03	2.4E+08	3.0E+09	2.4E+08
○ 11) CO 60	4.1E+07	6.2E+08	2.3E+07	1.1E+12	3.8E+11	7.2E+11	5.9E+11	2.4E+07	6.7E+11	7.4E+12	9.1E+12
○ 12) NI 63	2.0E+05	2.1E+06	7.9E+05	3.2E+10	1.5E+10	2.0E+10	2.4E+10	9.9E+05	3.0E+10	3.9E+11	4.5E+11
○ 13) SE 79				7.9E+03	9.5E+03	4.9E+03	1.5E+04	6.1E-01	1.9E+04	2.6E+05	3.1E+05
○ 14) RB 87	1.8E-08	1.1E-07	4.4E-07	9.2E-00	9.2E-00	9.2E-00	9.2E+00	9.2E+00	9.1E+00	9.1E+00	9.2E+00
○ 15) SR 90	3.3E-03	1.9E-01	2.8E-01	1.8E-05	1.3E-05	1.1E-05	2.2E-05	8.0E+00	3.1E+05	8.9E+06	1.0E+07
○ 16) ZR 93	1.0E-03	4.3E-04	7.3E-04	2.3E-01	2.2E-01	1.4E-01	3.4E-01	1.4E-03	4.4E+01	7.2E+02	8.6E+02
○ 17) MO 93	7.2E+01	3.2E+02	7.0E+01	2.4E+05	2.7E+05	1.5E+05	4.2E+05	1.8E+01	5.3E+05	7.5E+06	8.8E+06
○ 18) NB 94	1.2E-01	5.0E-02	8.2E-02	3.6E+05	3.7E+05	2.2E+05	5.7E+05	2.4E+01	7.2E+05	9.4E+06	1.1E+07
○ 19) TC 97											
○ 20) TC 98	1.4E-08	1.2E-08	9.2E-06	2.7E-04	3.4E-06	6.6E-04	1.1E-04	6.4E-01	1.1E-03	6.4E-01	1.2E+06
○ 21) TC 99	3.2E+00	7.2E+00	1.4E+01	5.5E+03	1.2E+04	3.3E+03	1.9E+04	4.0E+00	2.4E+04	1.3E+06	3.3E+05
○ 22) RUI06	9.2E-17	5.3E-16	2.2E-14	7.0E+05	1.0E+06	3.7E+05	1.9E+06	2.7E+01	1.9E+06	5.6E+07	8.1E+07
○ 23) PD107	6.1E-08	3.0E-08	1.1E-06	7.2E-02	1.1E-01	3.5E-02	2.1E-01	3.0E-06	3.0E-01	1.6E+01	3.1E-01
○ 24) AG10BM	6.2E+01	4.6E+02	1.5E+03	9.2E+05	6.2E+05	5.7E+05	9.6E+05	4.0E+01	1.2E+06	1.5E+07	1.7E+07
○ 25) CD113M				5.0E+01	1.1E+02	2.9E+01	1.8E+02	5.1E-03	2.4E+02	7.6E+03	1.1E+04
○ 26) SB125	2.3E+05	5.9E+05	2.1E+05	3.0E+07	5.8E+07	1.8E+07	9.2E+07	3.7E+03	1.0E+08	1.1E+09	1.2E+08
○ 27) SN126				9.9E-01	1.6E+00	5.6E-01	2.7E+00	7.5E-05	3.7E+00	9.3E+01	1.2E+02
○ 28) I129				4.7E-02	4.8E-02	2.6E-02	8.5E-02	2.4E-06	1.3E-01	3.9E+00	4.6E+00
○ 29) BA133	1.1E+03	1.1E+04	7.1E+07	5.4E+06	7.0E+06	8.4E+06	3.4E+02	1.0E+07	1.3E+08	1.6E+08	1.1E+07
○ 30) CS134	4.7E-02	4.2E+00	8.1E+02	2.3E+08	2.3E+08	1.5E+08	1.4E+04	3.5E+08	2.0E+09	2.3E+09	4.4E+08

○,○はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とした81核種、また△はγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(2/15)

試験名	HTTR_F	HTTR_F	JAPCO_F	HTTR_F	HTTR_M	HTTR_M	JAPCO_M	NSRR_F	NSRR_F	FUSION_M	LWR_M
材料種類	黒鉛-1	黒鉛-2	黒鉛-3	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
照射炉	JRR-3M	JRR-2	原電東海	JRR-3	JMR	JRR-2	JMR	原電東海	JMR	JRR-3	JRR-2
廃棄物量(g)	9.2E+04	1.3E+04	2.9E+05	3.6E+05	4.1E+04	9.2E+04	5.3E+03	7.9E+03	4.6E+05	6.2E+02	4.4E+05
(○) 31) CS135	5.2E-11	5.3E-08	2.2E-05	6.4E+00	3.3E+00	2.6E+00	7.3E+00	1.3E-04	1.2E+01	8.5E+02	1.2E+03
(○) 32) CS137	2.0E-10	6.8E-07	2.0E-05	1.6E-05	1.2E+05	2.8E+05	8.8E+00	4.0E+05	1.3E+07	1.6E+07	3.9E+05
(○) 33) LA138				1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.3E-04	1.2E-04	4.8E-05	4.1E-05	1.2E-04
(Y) 34) CE144				5.8E-06	4.7E-06	3.5E+06	7.6E+06	2.1E+02	6.8E+06	1.4E+08	1.9E+08
(○) 35) ND144				5.0E-10	2.1E-10	1.8E-10	5.2E-10	3.3E-14	2.3E-09	1.5E-07	1.7E-07
(○) 36) PM145	1.2E+01	2.0E+02	1.7E+03	4.0E+01	1.2E+01	1.6E+01	2.7E+01	2.3E-03	1.2E+02	2.3E+03	4.5E+01
(○) 37) PM146				4.8E-02	4.6E-01	1.6E-02	1.3E+00	1.1E-09	2.3E+00	3.1E+02	5.5E+02
(○) 38) SM146	1.9E-05	1.2E-05	2.7E-04	2.9E-10	1.9E-05	5.8E-11	3.0E-05	9.2E-10	3.7E-05	3.6E-04	3.9E-05
(○) 39) SM147	6.2E-03	6.0E-03	4.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	6.5E-04	5.5E-04	1.2E-03
(○) 40) EU150				1.7E-07	3.5E-06	6.6E-08	1.0E-05	7.0E-05	1.6E-03	1.3E-03	1.9E-05
(○) 41) EU152	2.7E+06	6.4E+06	2.5E+06	2.5E+07	2.9E+07	3.1E+07	2.9E+07	4.0E+03	2.7E+07	2.8E+04	7.0E+03
(○) 42) EU154	5.6E+05	5.1E+06	1.4E+07	1.6E+07	9.9E+06	1.1E+07	1.5E+07	6.8E+02	1.7E+07	2.3E+07	1.8E+07
(○) 43) HO166M	1.9E+00	8.1E+01	8.1E+02	1.1E+05	1.2E+05	6.8E+04	1.9E+05	7.4E+00	2.4E+05	3.0E+06	2.5E+05
(○) 44) HF178M				5.4E+07	1.2E+08	5.8E+07	1.0E+08	2.8E+03	2.3E+07	3.1E+07	4.6E+07
(○) 45) HF182					7.0E-02	3.1E-02	6.2E-02	3.0E-02	3.1E+00	5.5E+00	9.2E-02
(○) 46) RE186M											1.0E-03
(○) 47) OS194					2.0E-09						
(○) 48) PB202											
(○) 49) PB205	6.6E-04	4.9E-03	2.4E-03	4.1E-01	2.8E-01	2.5E-01	4.3E-01	1.8E-05	5.4E-01	7.5E+00	5.6E+00
(○) 50) PB210				2.5E-08	1.7E-06	4.4E-09	8.0E-06	1.3E-10	2.5E-05	1.7E-02	4.7E-02
(○) 51) BI207											
(○) 52) BI210M	9.5E-04	5.4E-03	3.7E-02								
(○) 53) RA226				3.8E-07	1.4E-06	1.4E-07	3.3E-06	3.4E-08	2.1E-05	4.3E-04	4.8E-04
(○) 54) RA228				1.6E-01	9.5E-02	1.5E-01	3.4E-01	6.8E-01	1.4E+00	1.1E+00	1.9E-01
(○) 55) AC227				6.4E-03	4.4E-02	2.5E-03	1.0E-01	8.3E-06	6.3E-01	3.9E+00	4.1E+00
(○) 56) TH229				1.5E-02	7.5E-03	4.5E-03	2.2E-02	3.2E-06	2.1E-01	3.5E+00	3.7E+00
(○) 57) TH230				4.5E-03	2.8E-02	2.7E-03	4.3E-02	1.9E-04	5.5E-02	5.0E-01	6.8E-01
(○) 58) TH232				4.0E+00	4.0E+00	4.0E+00	4.1E+00	4.0E+00	3.6E+00	4.0E+00	4.1E+00
(○) 59) PA231				1.1E+00	1.2E+01	6.6E-01	1.8E+01	6.2E-04	8.0E+01	1.1E+02	2.3E+01
(○) 60) U232				2.5E+01	2.7E+02	9.7E+00	6.3E+02	9.8E-07	1.0E+03	4.7E+04	7.7E+04

(○)はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またYは緩放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(3/15)

試験名	HTTR_F	HTTR_F	JAPCO_F	HTTR_F	HTTR_M	HTTR_M	JAPCO_M	NSRR_F	NSRR_F	FUSION_M	FUSION_M	LWR_M
材料種類	黒鉛-1	黒鉛-2	黒鉛-3	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304
照射炉	JRR-3M	JMTR	JRR-2	JRR-3	JRR-2	JMTR	JMTR	原電東海 1号炉	BWR	PWR	JRR-3	JRR-2
廃棄物量(g)	9.2E+04	1.3E+04	2.9E+05	3.6E+04	4.1E+04	9.2E+04	5.3E+03	7.9E+03	4.6E+05	6.2E+02	4.4E+03	2.6E+04
(①) U233	U234	U235	U236	U238	NP236	NP237	PU238	PU239	PU240	PU241	PU242	PU244
(②) 61)	62)	63)	64)	65)	66)	67)	68)	69)	70)	71)	72)	73)
(③) 66)	(④) 67)	(⑤) 68)	(⑥) 69)	(⑦) 70)	(⑧) 71)	(⑨) 72)	(⑩) 73)	(⑪) 74)	(⑫) 75)	(⑬) 76)	(⑭) 77)	(⑮) 78)
(⑯) 79)	(⑰) 80)	(⑱) 81)	(⑲) 82)	(⑳) 83)	(㉑) 84)	(㉒) 85)	(㉓) 86)	(㉔) 87)	(㉕) 88)	(㉖) 89)	(㉗) 90)	(㉘) 91)
(㉙) 92)	(㉚) 93)	(㉛) 94)	(㉜) 95)	(㉝) 96)	(㉞) 97)	(㉟) 98)	(㉟) 99)	(㉟) 100)	(㉟) 101)	(㉟) 102)	(㉟) 103)	(㉟) 104)

◎,○,はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(4/15)

試験名	開電 大飯 2号炉		LWR_M		LWR_M		JAPCO_M		FUSION_M		FUSION_M		Pu、U混合 塗化物 燃料		FUSION_M		FUSION_M		HTTR_F				
	RES_M	SUS304 -13	LWR_M	A533B -1	LWR_M	A533B -2	JAPCO_M	低炭素鋼 -1	FUSION_M	フジタ鋼 -2	FUSION_M	フジタ鋼 -2	7号炉 原電東海 1号炉	JRR-3	7号炉 原電東海 1号炉	JRR-3	Fe-Cr合金 -4	2相SUS鋼 -4	JRR-3	JRR-3	JMTR	JMTR	JMTR
照射炉	JRR-3M	PWR	PWR	BWR	BWR				JRR-2	JRR-2	JMTR	JMTR											
廃棄物量(g)	1.8E+03	1.2E+04	2.7E+04	6.2E+03	1.8E+04				4.3E+03	2.0E+03	1.9E+03	1.9E+03											
①	H 3	2.5E+08	1.4E+09	7.6E-01	1.7E-07				2.8E-01	4.1E+02	1.7E+02	7.2E+02											
②	BE 10	3.6E+01	1.6E+02	3.5E+00	2.0E-02	4.2E-04	3.0E-01	1.9E+01	1.5E+01	2.3E+01	5.4E-02	2.9E+00											
③	C 14	2.4E+07	3.2E+08	1.3E+02	9.8E-01	2.1E-02	1.8E+06	4.4E+06	3.3E+06	5.3E+06	2.6E+05	1.3E+07											
④	AL 26																						
⑤	CL 36	5.7E+05	7.1E+06	1.4E-03	1.1E-06	1.9E-09	7.1E-03	2.1E-01	1.9E-01	5.8E-01	1.4E-02	1.4E-01											
⑥	K 40	5.5E-01	5.8E+00																				
⑦	CA 41	6.2E+03	8.2E+04																				
⑧	MN 53																						
⑨	FE 60																						
⑩	N 59	1.9E+08	2.1E+09	1.7E+06	1.1E+04				2.3E+05	8.1E+05	6.1E+05	9.8E+05											
⑪	CO 60	5.9E+11	6.4E+12	6.7E+09	4.5E+07	2.1E-01	1.4E+10	2.9E+10	2.1E+10	3.4E+10	1.4E+11												
⑫	NI 63	2.4E+10	3.0E+11	2.0E+08	1.5E+06				3.2E+07	1.0E+08	7.6E+07	1.2E+08											
⑬	SE 79	1.5E+04	2.0E+05																				
⑭	RB 87	9.2E+00	9.1E+00																				
⑮	SR 90	2.2E+05	5.9E+06	2.1E-04	6.6E-09				1.5E-08	8.8E-05	4.9E-05	1.3E-04											
⑯	ZR 93	3.4E+01	5.3E+02	1.9E+00	1.1E-02				9.7E-04	7.4E-02	5.5E-02	9.0E-02											
⑰	MO 93	4.2E+05	5.6E+06	1.4E+05	1.1E+03				3.9E+02	2.9E+03	2.2E+03	3.5E+03											
⑱	NB 94	5.7E+05	7.1E+06	2.2E+02	1.3E+00				8.7E+02	5.9E+03	4.4E+03	7.1E+03											
⑲	TC 97																						
⑳	TC 98	6.4E-04	1.1E-01	1.9E-05	5.6E-09					6.0E-06	3.4E-06	9.0E-06											
㉑	TC 99	1.9E+04	2.3E+05	5.2E+03	2.3E+02				8.3E+00	1.3E+02	9.9E+01	1.6E+02											
㉒	RU106	1.9E+06	5.5E+07							3.9E+19	2.6E+14												
㉓	PD107	2.1E-01	1.1E+01																				
㉔	AG108M	9.6E+05	1.2E+07																				
㉕	CD113M	1.8E+02	5.5E+03																				
㉖	SB125	9.2E+07	1.0E+09																				
㉗	SN126	2.7E+00	7.0E+01																				
㉘	I129	8.6E-02	2.8E+00																				
㉙	BA133	8.4E+06	1.0E+08																				
㉚	CS134	3.5E+08	2.1E+09																				

◎○はそれぞれ許容的検討で重要とされた26候補、評価対象とされた81候補、またはγ線放出候補

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(5/15)

試験名	関電 大飯 2号炉		LWR_M		JAPCO_M		Pu、U混合 塗化物		Pu、U混合 燃料		FUSION_M		FUSION_M		HTTR_F		
	RES_M	SUS304	A533B	-1	低炭素鋼	-1	7号外鋼	-2	フェライト鋼	-3	JRR-3	JMTR	Fe-Or合金	2相SUS鋼	JRR-3	JMTR	ハスティX
材料種類	-13	-14	-1	原電東海 1号炉	PWR	BWR	JRR-2	JRR-3	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	-1
照射炉	JRR-3M	PWR															JRR-3
廃棄物量(g)	1.8E+03	1.2E+04	2.7E+04	6.2E+03	1.8E+04	4.3E+03	2.0E+03	1.9E+03	1.9E+03	8.3E+02	1.4E+03	3.1E+04					
○ 31) CS135	7.3E+00	6.4E+02															
○ 32) CS137	2.8E+05	9.0E+06															
○ 33) LA138	1.2E-04	6.1E-05															
γ 34) CE144	7.7E+06	1.3E+08															
○ 35) ND144	5.3E-10	8.1E-08															
○ 36) PM145	2.7E+01	1.4E+03															
○ 37) PM146	1.3E+00	2.7E+02															
○ 38) SM146	3.0E-05	3.6E-04															
○ 39) SM147	1.2E-03	7.0E-04															
○ 40) EU150	1.0E-05	1.1E-03															
○ 41) EU152	2.9E+07	1.6E+05															
○ 42) EU154	1.5E+07	3.4E+07															
○ 43) HO166M	1.9E+05	2.4E+06															
○ 44) HF178M	1.0E+08	4.1E+07															
○ 45) HF182	6.2E-02	2.7E+00															
○ 46) RE186M																	
○ 47) OS194		5.7E-09															2.9E-13
○ 48) PB202																	
○ 49) PB205		4.3E-01	5.7E+00														
○ 50) PB210		8.0E-06	1.7E-02														
○ 51) BI207																	
○ 52) BI210M																	
○ 53) RA226		3.3E-06	2.5E-04														
○ 54) RA228		1.5E-01	8.9E-01														
○ 55) AG227		1.0E-01	3.4E+00														
○ 56) TH229		2.2E-02	2.0E+00														
○ 57) TH230		4.3E-02	4.6E-01														
○ 58) TH232		4.0E+00	3.7E+00														
○ 59) PA231		1.8E+01	1.1E+02														
○ 60) U232		6.3E+02	4.9E+04														

○,○,!はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(6/15)

試験名	RES_M	関電 大飯		LWR_M	LWR_M	JAPCO_M	FUSION_M	FUSION_M	Pu、U混合		FUSION_M	FUSION_M	HTTR_F
		A533B	-1						フジタ鋼	フジタ鋼			
材料種類	SUS304 -13	2号炉 -14	SUS304 -1	A533B -2	低炭素鋼 原電東海 1号炉	-1	JRR-3	JMR	フェライト鋼 -4	Fe-Cr合金 -3	2相SUS鋼 JRR-3	JMR	ハストロイ-X -1
照射炉	JRR-3M	PWR	PWR	BWR			JRR-2	JMR	JMR	JMR	JMR	JMR	JMR
廃棄物量(g)		1.8E+03	1.2E+04	2.7E+04	6.2E+03	1.8E+04	4.3E+03	2.0E+03	1.9E+03	1.9E+03	8.3E+02	1.4E+02	3.1E+04
(○) 61) U233		1.6E+03	1.2E+04										
(○) 62) U234		4.9E+01	1.4E+03										
(○) 63) U235		1.0E+00	2.9E+01										
(○) 64) U236		7.4E+01	4.7E+00										
(○) 65) U238		2.5E+01	2.4E+01										
(○) 66) NP236		2.8E+06	2.0E+04										
(○) 67) NP237		6.3E+01	1.0E+01										
(○) 68) PU238		4.9E+02	1.1E+05										
(○) 69) PU239		7.3E+03	2.3E+04										
(○) 70) PU240		1.9E+03	3.9E+04										
(○) 71) PU241		1.1E+05	1.1E+07										
(○) 72) PU242		1.0E+01	2.0E+02										
(○) 73) PU244		5.3E+10	7.6E+05										
(○) 74) AM241		1.6E+01	9.2E+03										
(○) 75) AM242M		2.5E+01	6.1E+02										
(○) 76) AM243		7.6E+02	2.5E+03										
(○) 77) CM243		2.1E+02	2.4E+03										
(○) 78) CM244		6.0E+01	3.6E+05										
(○) 79) CM245		5.4E+06	3.0E+01										
(○) 80) CM246		8.1E+08	8.1E+00										
(○) 81) CM247			2.6E+05										
(○) 82) CM248			7.3E+05										
(○) 83) BK247													
(○) 84) CF249			8.4E+05										
(○) 85) CF250			4.4E+03										
(○) 86) CF251			2.6E+05										

(○)はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(7/15)

試験名	HTTR_F	HTTR_M	HTTR_M	JAPCO_M	FUSION_M	FUSION_M	LWR_M	RES_M	ふげん 燃料 集合体	Pu,U混合 炭化物 燃料	Pu,U混合 炭化物 燃料
材料種類	ハズテロ1-X -2	2-1/4Cr-Mo 鋼-1	2-1/4Cr-Mo 鋼-2	Mo鋼	Ti-AI合金 -1	Ti-AI合金 -2	Ti-AI合金 -3	JRR-3	SUS316 -1	SUS316 -2	SUS316 -3
照射炉	JRR-2	JRR-2	JRR-2	JRR-2	JRR-2	JRR-2	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR	JMTR
廃棄物量(g)	4.1E+04	3.2E+03	3.1E+03	2.6E+04	8.0E+02	4.8E+03	1.3E+02	2.6E+02	1.4E+02	4.9E+03	1.0E+04
					Bq/kg						
◎ 1) H 3	1.5E+01	8.7E+00	2.5E+02	3.7E-01	3.5E-02	1.6E+09	8.7E+01	2.1E+02	1.5E+01	1.2E+01	1.7E+03
○ 2) BE 10	8.8E-01	8.5E-01	1.8E+01	6.1E-01	2.2E-01	1.6E+03	2.1E-06	1.3E-02	1.1E-04		5.3E+00
○ 3) C 14	6.4E+06	1.4E+02	6.5E+02	4.5E+02	1.6E+02		7.9E+06	1.9E+07	1.8E+06		4.3E+08
○ 4) AL 26											1.5E+07
○ 5) CL 36	3.1E-01			3.0E-01	1.6E-01						
○ 6) K 40											
○ 7) CA 41											
○ 8) MN 53											
○ 9) FE 60											
○ 10) NI 59	1.3E+09	4.6E+08	2.5E+06	1.8E+06	2.3E+05						2.5E+09
○ 11) CO 60	4.1E+11	2.0E+08	1.1E+08	5.7E+07	7.7E+06	8.9E+04					1.1E+12
○ 12) NI 63	1.9E+11	6.6E+10	3.2E+08	2.6E+08	3.2E+07	1.2E+03					6.6E+07
○ 13) SE 79											3.9E+11
○ 14) RB 87											2.5E+10
○ 15) SR 90	7.1E-04		2.9E-02	3.4E-05	1.7E-05						3.9E+11
○ 16) ZR 93	1.4E+01		3.2E+01	1.1E+00	1.1E+00						2.5E+02
○ 17) MO 93	1.1E+07		2.3E+06	8.1E+05	8.3E+05						4.8E+01
○ 18) NB 94	1.6E+03		3.7E+03	1.3E+02	1.3E+02						5.5E+01
○ 19) TC 97											9.7E+01
○ 20) TC 98	4.0E-04		3.5E-03	1.8E-05	8.4E-06						3.6E-02
○ 21) TC 99	2.4E+05		1.0E+05	1.8E+04	1.8E+04						1.1E-01
γ 22) RU106		3.8E-12	3.3E-09	7.0E-14	8.2E-16						7.0E-05
○ 23) PD107											1.1E-05
○ 24) AG108M											
○ 25) CD113M											
γ 26) SB125											1.9E+08
○ 27) SN126											5.1E+07
○ 28) 1129											8.7E+07
○ 29) BA133											
γ 30) CS134											

◎,○,はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた8核種、またγはγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(8/15)

試験名	HTTR_F	HTTR_M	HTTR_M	FUSION_M	JAPCO_M	FUSION_M	LWR_M	RES_M	ふげん 燃料 集合体	PuU混合 炭化物 燃料	PuU混合
材料種類	ハスティロイ-X -2	インコロイ800H	2-1/4Cr-Mo 鋼-1	2-1/4Cr-Mo 鋼-2	Mo鋼	Ti-Al合金 ガソリクス	Ti-Al合金 ガソリクス	Ti-Al合金 SUS316	SUS316	SUS316	SUS316
照射炉	JRR-2	JRR-2	JRR-3	JMR	JRR-2	JRR-2	JRR-3	JRR-3	-1	-2	-3
廃棄物量(g)	4.1E+04	3.2E+03	3.1E+03	2.6E+04	8.0E-02	4.8E+03	1.3E+02	2.6E+02	1.4E+02	4.9E+03	1.0E+04
◎ 31) CS135											3.8E+03
◎ 32) CS137											
○ 33) LA138											
γ 34) CE144											
○ 35) ND144											
○ 36) PM145											
○ 37) PM146											
○ 38) SM146											
○ 39) SM147											
○ 40) EU150											
○ 41) EU152											
○ 42) EU154											
○ 43) HO166M											
○ 44) HF178M											
○ 45) HF182											
○ 46) RE186M											
○ 47) OS194											
○ 48) PB202											
○ 49) PB205											
○ 50) PB210											
○ 51) BI207											
○ 52) BI210M											
○ 53) RA226											
○ 54) RA228											
○ 55) AC227											
○ 56) TH229											
○ 57) TH230											
○ 58) TH232											
○ 59) PA231											
○ 60) U232											

◎,○はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた21核種、またγはγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(9/15)

試験名	HTTR_F	HTTR_M	HTTR_M	HTTR_M	FUSION_M	JAPCO_M	FUSION_M	LWR_M	RES_M	ふくら 燃料 集合体	ふくら 燃料 集合体	Pu,U混合 燃料 集合体	Pu,U混合 燃料 集合体
材料種類	ハスティオイ-X -2	インコ1800H	2-1/4Cr-Mo 鋼-1	2-1/4Cr-Mo 鋼-2	Ti-Al合金 Mo鋼	マグニウム 原電・東海	Ti-Al合金 -1	Ti-Al合金 -2	Ti-Al合金 -3	SUS316 AL合金	SUS316 AL合金	SUS316 -1	SUS316 -2
照射炉	JRR-2	JRR-2	JRR-3	JMTR	JRR-2	JRR-2	JRR-3	JMTR	JRR-3	JMTR	JRR-3M	ATR	JMTR
廃棄物量(g)	4.1E+04	3.2E+03	3.1E+03	2.6E+04	8.0E+02	4.8E+03	1.3E+02	2.6E+02	1.4E+02	4.9E+03	1.0E+04	3.3E+03	3.8E+03
(○) 61)	U233												
(○) 62)	U234												
(○) 63)	U235												
(○) 64)	U236												
(○) 65)	U238												
(○) 66)	NP236												
(○) 67)	NP237												
(○) 68)	PU238												
(○) 69)	PU239												
(○) 70)	PU240												
(○) 71)	PU241												
(○) 72)	PU242												
(○) 73)	PU244												
(○) 74)	AM241												
(○) 75)	AM242M												
(○) 76)	AM243												
(○) 77)	CM243												
(○) 78)	CM244												
(○) 79)	CM245												
(○) 80)	CM246												
(○) 81)	CM247												
(○) 82)	CM248												
(○) 83)	BK247												
(○) 84)	CF249												
(○) 85)	CF250												
(○) 86)	CF251												

○.○はそれぞれ予備的検討で量とされた20核種、評価対象とされた81核種、またAは γ 線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(10/15)

試験名	Pu/U混合	Pu、U混合	Pu、U混合	LWR.M	ふげん 燃料 塗化物	ふげん 燃料 燃料 塗化物	ふげん 燃料 燃料 塗化物	ハルデン 高燃焼度 燃料	ハルデン 高燃焼度 燃料	東電福島 2-2号	ふげん 燃料 燃料 塗化物	ふげん 燃料 燃料 塗化物
	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料
材料種類	SUS316	SUS316	SUS316	SUS316	SUS316	SUS316	SUS316	シルカロイ2	シルカロイ2	シルカロイ2	シルカロイ2	シルカロイ2
照射炉	JMTR	JMTR	JMTR	常陽	ATR	ATR	HBWR	HBWR	BWR	ATR	ATR	ATR
発葉物量(g)	3.8E+03	1.9E+03	1.9E+03	7.8E+03	3.1E+03	3.0E+03	1.3E+03	8.5E+02	8.5E+02	9.5E+01	1.3E+04	1.2E+04
◎ 1) H 3	1.7E+01	1.1E+02	4.7E+02	1.1E+03	8.8E+04	9.8E+04	7.5E+04	4.4E+04	2.7E+04	1.3E+05	3.4E+04	3.9E+05
○ 2) BE 10	6.2E+00	1.1E+01	1.7E+01	1.2E+02	2.4E+00	2.9E+01	1.5E+01	3.8E+01	1.2E+00	5.3E+00	5.3E+00	2.3E+00
○ 3) C 14	1.1E+07	2.1E+07	3.4E+07	3.3E+07	1.1E+08	1.2E+08	5.6E+07	4.0E+07	2.9E+07	7.3E+07	5.9E+07	2.6E+08
○ 4) AL 26												1.1E+08
○ 5) CL 36												
○ 6) K 40												
○ 7) CA 41												
○ 8) MN 53												
○ 9) FE 60												
○ 10) NI 59	1.5E+08	2.8E+08	4.5E+08	2.5E+08	1.0E+07	1.1E+07	9.3E+06	7.0E+06	5.1E+06	1.2E+07	5.9E+06	2.0E+07
○ 11) CO 60	3.5E+10	6.6E+10	1.0E+11	4.6E+10	1.0E+11	1.5E+11	5.4E+10	4.3E+10	3.3E+10	9.5E+10	8.5E+10	2.7E+11
○ 12) NI 63	1.8E+10	3.4E+10	5.6E+10	6.0E+09	1.6E+09	1.7E+09	1.4E+09	1.0E+09	7.4E+08	1.8E+09	8.7E+08	3.5E+09
○ 13) SE 79												
○ 14) RB 87												
○ 15) SR 90	1.9E-02	6.6E-02	1.7E-01	6.3E+00	2.6E+06	2.7E+06	3.4E+06	2.5E+06	1.8E+06	4.7E+06	1.7E+06	4.5E+06
○ 16) ZR 93	4.0E+01	7.5E+01	1.2E+02	7.5E+02	2.0E+07	2.2E+07	2.2E+07	1.6E+07	1.1E+07	2.9E+07	1.1E+07	4.8E+07
○ 17) MO 93	2.7E+06	5.1E+06	8.3E+06	5.3E+06								
○ 18) NB 94	3.4E+05	6.3E+05	1.0E+06	6.9E+06	1.9E+01	3.3E+01	2.1E+00	7.9E+01	2.7E+01	7.1E+01	6.2E+02	2.3E+00
○ 19) TC 97												
○ 20) TC 98	2.3E-03	7.9E-03	2.1E-02	4.4E-01	1.0E-05	1.2E-05	3.2E-04	1.4E-04	6.2E-05	6.6E-04	3.2E-06	5.4E-05
○ 21) TC 99	1.2E+05	2.3E+05	3.8E+05	2.2E+06	5.4E+02	5.8E+02	1.5E+03	8.7E+02	5.2E+02	2.6E+03	3.1E+02	1.2E+03
Υ 22) RU106					9.2E-05	2.7E+07	2.8E+07	2.0E+07	1.4E+07	7.6E+07	1.2E+07	6.1E+07
○ 23) PD107												
○ 24) AG108M												
○ 25) CD113M												
Υ 26) SB125	3.7E+07	6.8E+07	1.1E+08	1.1E+08	6.8E+10	6.8E+10	1.3E+11	1.0E+11	8.0E+10	2.6E+11	3.7E+10	1.4E+11
○ 27) SN126												
○ 28) II129												
○ 29) BA133												
Υ 30) CS134												
◎○はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またヤはヤ線放出核種												

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(11/15)

試験名	Pu/U混合 炭化物 燃料	Pu、U混合 炭化物 燃料	Pu、U混合 炭化物 燃料	LWR_M	ふげん 燃料 混合体	ふげん 燃料 混合体	ハルデン 高燃焼度 燃料	ハルデン 高燃焼度 燃料	東電福島 2-2号	ふげん 燃料 混合体	ふげん 燃料 混合体
材料種類	SUS316 -4	SUS316 -5	SUS316 -6	SUS316 -7	SUS316 -1	SUS316 -2	シリカガラス -3	シリカガラス -4	シリカガラス -5	シリカガラス -6	シリカガラス -7
照射炉	JMTR	JMTR	JMTR	常陽	ATR	ATR	HBWR	HBWR	BWR	ATR	ATR
廃棄物量(g)	3.8E+03	1.9E+03	1.9E+03	7.8E+03	3.1E+03	3.0E+03	1.3E+03	8.5E+02	9.5E+02	1.3E+04	1.2E+04
○ 31) CS135					9.0E+00	1.2E+01	5.7E+01	4.2E+01	2.9E+01	3.8E+01	7.6E+00
○ 32) CS137					4.1E+06	4.4E+06	6.7E+06	4.6E+06	3.2E+06	9.6E+06	2.3E+06
○ 33) LA138					4.3E+09	4.4E+09	4.7E+09	3.9E+09	3.0E+09	5.3E+09	3.2E+09
Y 34) CE144					4.6E+07	4.0E+07	3.0E+07	2.4E+07	1.9E+07	8.5E+07	2.4E+07
○ 35) ND144					5.1E+08	5.9E+08	7.9E+08	5.1E+08	3.2E+08	9.6E+08	2.5E+08
○ 36) PM145										1.5E+07	5.5E+08
○ 37) PM146										6.2E+00	2.2E+01
○ 38) SM146										2.1E+02	6.6E+00
○ 39) SM147										1.6E+05	6.0E+07
○ 40) EU150										1.6E+06	6.0E+07
○ 41) EU152										1.6E+07	6.0E+07
○ 42) EU154										1.6E+08	6.0E+07
○ 43) HO168M										1.6E+09	6.0E+07
○ 44) HF178M										1.6E+10	6.0E+07
○ 45) HF182										1.6E+11	6.0E+07
○ 46) RE186M										1.6E+12	6.0E+07
○ 47) OS194										1.6E+13	6.0E+07
○ 48) PB202										1.6E+14	6.0E+07
○ 49) PB205										1.6E+15	6.0E+07
○ 50) PB210										1.6E+16	6.0E+07
○ 51) BI207										1.6E+17	6.0E+07
○ 52) BI210M										1.6E+18	6.0E+07
○ 53) RA226										1.6E+19	6.0E+07
○ 54) RA228										1.6E+20	6.0E+07
○ 55) AC227										1.6E+21	6.0E+07
○ 56) TH229										1.6E+22	6.0E+07
○ 57) TH230										1.6E+23	6.0E+07
○ 58) TH232										1.6E+24	6.0E+07
○ 59) PA231										1.6E+25	6.0E+07
○ 60) U232										1.6E+26	6.0E+07

◎,○はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またYはγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(12/15)

試験名	Pu/U混合 炭化物 燃料	Pu/U混合 窒化物 燃料	Pu/U混合 燃料 集合体	LWR_M	ふげん 燃料 集合体	ふげん 燃料 集合体	ハルツン 高燃焼度 燃料	ハルツン 高燃焼度 燃料	東電福島 2-2号 原子炉	ふげん 燃料 集合体	ふげん 燃料 集合体	ふげん 燃料 集合体	
材料種類	SUS316 -4	SUS316 -5	SUS316 -6	SUS316 -7	SUS316 -1	SUS316 -2	SUS316 -3	SUS316 -4	シルカロイ2	シルカロイ2	シルカロイ2	シルカロイ2	
照射炉	JMTR	JMTR	JMTR	常陽	ATR	ATR	HBWR	HBWR	BWR	BWR	ATR	ATR	
廃棄物量(g)	3.8E+03	1.9E+03	1.9E+03	7.8E+03	3.1E+03	3.0E+03	1.3E+03	8.5E+02	8.5E+02	9.5E+01	1.3E+04	1.2E+04	
○ 61) U233					6.5E+05	6.8E+05	3.8E+04	3.1E+04	2.5E+04	2.8E+04	6.1E+05	6.5E+05	
○ 62) U234					3.2E+01	3.1E+01	2.8E+01	3.1E+01	3.4E+01	2.3E+01	3.7E+01	2.2E+01	
○ 63) U235					4.1E+01	3.7E+01	5.1E+01	7.5E+01	9.9E+01	3.4E+01	8.3E+01	4.1E+01	
○ 64) U236					7.0E+00	7.2E+00	7.3E+00	6.4E+00	5.2E+00	7.8E+00	5.3E+00	8.2E+00	
○ 65) U238					4.3E+01	4.3E+01	4.2E+01	4.3E+01	4.3E+01	4.2E+01	4.3E+01	4.2E+01	
○ 66) NP236					3.3E+06	3.7E+06	1.7E+04	1.1E+04	6.6E+05	2.3E+04	1.4E+06	8.7E+06	
○ 67) NP237					3.5E+00	3.8E+00	1.3E+01	9.2E+00	6.3E+00	1.6E+01	1.7E+00	7.9E+00	
○ 68) PU238					1.7E+04	2.1E+04	2.3E+05	1.1E+05	4.5E+04	2.0E+05	4.9E+03	8.2E+04	
○ 69) PU239					2.3E+04	2.4E+04	3.9E+04	3.7E+04	3.4E+04	3.9E+04	2.0E+04	2.4E+04	
○ 70) PU240					4.2E+04	4.4E+04	5.3E+04	4.4E+04	3.1E+04	6.5E+04	2.1E+04	7.0E+04	
○ 71) PU241					4.3E+06	4.8E+06	1.7E+07	1.2E+07	9.0E+06	2.0E+07	1.7E+06	9.4E+06	
○ 72) PU242					5.8E+01	6.9E+01	2.4E+02	1.2E+02	5.5E+01	3.7E+02	1.1E+01	3.7E+02	
○ 73) PU244					2.8E+06	3.3E+06	3.2E+05	8.0E+06	1.7E+06	1.3E+04	1.4E+04	8.3E+05	
○ 74) AM241					4.0E+03	5.3E+03	5.1E+04	3.6E+04	2.2E+04	2.2E+04	1.7E+03	1.0E+04	
○ 75) AM242M					6.1E+01	8.1E+01	3.1E+03	2.1E+03	1.1E+03	1.4E+03	2.6E+01	1.6E+02	
○ 76) AM243					1.5E+02	1.9E+02	2.4E+03	8.6E+02	2.6E+02	4.8E+03	1.5E+01	2.3E+03	
○ 77) CM243					2.2E+02	3.1E+02	3.7E+03	1.4E+03	4.2E+02	5.1E+03	3.1E+01	1.9E+03	
○ 78) CM244					6.9E+03	9.6E+03	2.4E+05	6.1E+04	1.2E+04	7.2E+05	3.7E+02	2.9E+05	
○ 79) CM245					1.2E+01	1.8E+01	1.8E+01	3.5E+00	5.2E+01	6.3E+01	4.9E+03	7.7E+00	
○ 80) CM246					5.8E+02	9.0E+02	3.6E+00	4.6E+01	4.7E+02	1.8E+01	1.2E+03	9.4E+00	
○ 81) CM247					4.5E+08	7.5E+08	9.3E+06	8.4E+07	6.0E+08	6.1E+05	4.7E+10	1.8E+05	
○ 82) CM248					8.4E+08	1.5E+07	2.0E+05	1.2E+06	6.1E+08	1.8E+04	4.6E+10	9.2E+05	
○ 83) BK247												8.8E+08	
○ 84) CF249					1.9E+08	4.3E+08	5.6E+05	2.6E+06	9.4E+08	2.9E+04	7.6E+11	4.5E+05	
○ 85) CF250					2.3E+06	4.5E+06	8.0E+04	3.4E+05	1.1E+06	1.1E+02	5.1E+09	5.7E+03	
○ 86) CF251						8.4E+09	1.6E+08	4.3E+07	4.2E+09	9.0E+05	1.2E+11	2.1E+05	6.8E+09

◎○はそれぞれ予備的検討で重要とされた81核種、また○はγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(13/15)

試験名	関電 大飯 2号炉	関電 大飯 2号炉	関電 大飯 1号炉	関電 高浜 3号炉	ふげん 燃料 集合体	関電 大飯 2号炉	ふげん 燃料 集合体	ふげん 燃料 集合体	Pu,U混合 炭化物 燃料	Pu,U混合 炭化物 燃料	Pu,U混合 炭化物 燃料
材料種類	シルカロイ4 -1	シルカロイ4 -2	シルカロイ4 -3	シルカロイ4 -4	イシコネル 718-1	イシコネル 718-3	イシコネル 718-4	イシコネル 718-5	イコネル -1	イコネル -2	イコネル -3
照射炉	PWR	PWR	PWR	PWR	ATR	PWR	ATR	ATR	JMTR	JMTR	JMTR
廃棄物量(g)	1.7E+02	1.1E+04	6.8E+02	5.7E+02	2.0E+02	2.4E+02	9.2E+03	1.7E+03	1.7E+03	9.5E+00	9.5E+00
(○) 1) H 3	1.4E+05	1.6E+05	2.9E+05	1.4E+05	5.3E+02	1.6E+05	5.5E+02	5.1E+02	6.4E+02	6.0E+01	3.1E+02
(○) 2) BE 10	4.5E+01	5.0E+01	6.7E+01	4.6E+01	3.3E+00	8.4E+01	7.3E+01	3.3E+00	3.5E+00	7.9E+00	1.4E+01
(○) 3) C 14	6.5E+07	7.1E+07	9.6E+07	6.5E+07	1.9E+03	3.1E+03	2.7E+03	2.0E+03	1.9E+03	2.1E+03	5.1E+02
(○) 4) AL 26											2.1E+02
(○) 5) CL 36											
(○) 6) K 40											
(○) 7) CA 41											
(○) 8) MN 53											
(○) 9) FE 60											
(○) 10) NI 59	1.5E+06	2.1E+06	1.5E+06	9.8E+09	1.4E+10	1.2E+10	9.9E+09	9.7E+09	1.0E+10	1.1E+09	1.9E+09
(○) 11) CO 60	9.2E+10	9.7E+10	1.1E+11	9.2E+10	4.2E+12	3.4E+12	3.1E+12	4.3E+12	4.3E+12	4.3E+12	1.4E+11
(○) 12) NI 63	2.1E+08	2.3E+08	3.1E+08	2.2E+08	1.5E+12	2.0E+12	1.7E+12	1.5E+12	1.5E+12	1.6E+12	1.3E+11
(○) 13) SE 79	3.2E+01	3.5E+01	4.8E+01	3.3E+01							9.7E+10
(○) 14) RB 87	1.2E-03	1.3E-03	1.8E-03	1.2E-03							
(○) 15) SR 90	4.5E+06	4.8E+06	6.4E+06	6.4E+06	4.5E+06	4.1E+02	3.1E+02	6.5E-01	6.2E-01	7.4E-01	1.6E-01
(○) 16) ZR 93	2.3E+07	2.5E+07	3.4E+07	2.4E+07	1.2E+03	3.0E+04	2.6E+04	1.2E+03	1.2E+03	1.3E+03	2.5E+02
(○) 17) MO 93					3.3E+07	1.0E+08	8.8E+07	3.4E+07	3.3E+07	3.6E+07	
(○) 18) NB 94	2.5E-01	4.0E-01	1.7E+00	2.9E-01	2.3E+09	4.7E+09	4.1E+09	2.3E+09	2.2E+09	2.4E+09	4.4E+07
(○) 19) TC 97											7.7E+07
(○) 20) TC 98	4.8E-04	5.9E-04	1.2E-03	4.9E-04	1.7E-02	2.3E+00	1.7E+00	1.7E-02	1.7E-02	2.0E-02	
(○) 21) TC 99	1.3E+03	1.4E+03	2.2E+03	1.3E+03	9.0E+05	4.1E+06	3.6E+06	9.1E+05	8.8E+05	9.6E+05	
(○) 22) RU106	8.7E+07	9.0E+07	8.6E+07	8.6E+07	1.4E-05	4.2E-03	3.0E-03	1.5E-05	1.9E-05	1.4E-05	
(○) 23) PD107	1.6E+01	1.9E+01	2.7E+01	1.7E+01							
(○) 24) AG108M	8.3E+01	9.8E+01	1.8E+02	8.5E+01							
(○) 25) CD113M	7.8E+03	8.8E+03	1.4E+04	7.9E+03							
(○) 26) SB125	2.7E+11	2.8E+11	3.1E+11	2.7E+11							
(○) 27) SN126	9.1E+01	1.0E+02	1.4E+02	9.2E+01							
(○) 28) I129	3.2E+00	4.9E+00	3.2E+00								
(○) 29) BA133											
(○) 30) CS134	1.3E+07	1.5E+07	2.2E+07	1.3E+07							

(○)はそれぞれ予備の検討で重要とされた26核種 評価対象とされた81核種 またγはγ線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(14/15)

○○はそれぞれ予備的検討で重要とされた81核種、評価対象とした26核種、またヤはY線放出核種

表5.2.6 燃料試験施設、ホットラボ施設での照射後材料の放射化計算結果(15/15)

試験名	関電 大飯 2号炉	関電 大飯 2号炉	関電 高浜 1号炉	関電 高浜 3号炉	ふげん 燃料 集合体	関電 大飯 2号炉	ふげん 燃料 集合体	関電 大飯 2号炉	ふげん 燃料 集合体	Pu,U混合 炭化物 燃料	Pu,U混合 炭化物 燃料	
材料種類	シルカロ14 -1	シルカロ14 -2	シルカロ14 -3	シルカロ14 -4	イソコル 718-1	イソコル 718-2	イソコル 718-3	イソコル 718-4	イソコル 718-5	イソコル 718-6	イソコル -1	イソコル -2
照射炉	PWR	PWR	PWR	PWR	ATR	PWR	PWR	ATR	ATR	JMTR	JMTR	
○ 61) U233	1.7E+02	1.1E+04	6.8E+02	5.7E+02	2.0E+02	2.4E+02	9.2E+03	1.7E+03	1.7E+03	9.5E+00	9.5E+00	
○ 62) U234	3.5E-04	3.6E-04	4.1E-04	3.5E-04								
○ 63) U235	2.6E-01	2.4E+01	2.1E+01	2.5E+01								
○ 64) U236	4.4E-01	3.8E-01	2.0E-01	4.3E-01								
○ 65) U238	7.6E+00	7.7E+00	8.0E+00	7.6E+00								
○ 66) NP236	4.2E+01	4.2E+01	4.2E+01	4.2E+01								
○ 67) NP237	3.1E-04	3.5E-04	4.6E-04	3.2E-04								
○ 68) PU238	1.6E+01	1.8E+01	2.3E+01	1.7E+01								
○ 69) PU239	1.6E+05	1.9E+05	3.8E+05	1.6E+05								
○ 70) PU240	4.0E-04	4.0E+04	4.1E+04	4.0E+04								
○ 71) PU241	6.1E+04	6.3E+04	7.9E+04	6.0E+04								
○ 72) PU242	2.0E+07	2.0E+07	2.2E+07	2.0E+07								
○ 73) PU244	3.1E+02	3.6E+02	5.4E+02	3.2E+02								
○ 74) AM241	1.0E-04	1.3E-04	3.1E-04	1.1E-04								
○ 75) AM242M	1.4E+04	1.7E+04	2.6E+04	1.5E+04								
○ 76) AM243	8.8E+02	1.1E+03	1.8E+03	9.7E+02								
○ 77) CM243	3.5E+03	4.5E+03	8.8E+03	3.7E+03								
○ 78) CM244	3.1E+03	4.3E+03	9.2E+03	3.4E+03								
○ 79) CM245	4.5E+05	6.3E+05	1.9E+06	4.7E+05								
○ 80) CM246	3.6E+01	5.3E+01	1.9E+02	3.7E+01								
○ 81) CM247	8.5E+00	1.4E+01	7.6E+01	9.1E+00								
○ 82) CM248	2.5E-05	4.6E-05	3.4E-04	2.7E-05								
○ 83) BK247	6.2E-05	1.3E-04	1.4E-03	6.8E-05								
○ 84) CF249	6.1E-05	1.5E-04	3.0E-03	6.9E-05								
○ 85) CF250	5.0E-03	7.6E-03	1.1E-01	3.9E-03								
○ 86) CF251	4.1E-05	4.5E-05	7.0E-04	2.4E-05								

(○)はそれぞれ予備的検討で重要とされた26核種、評価対象とされた81核種、またγはγ線放出核種

表5.2.7 燃料試験施設から発生した廃棄物の γ 線放出核種測定データ

保管体番号	測定試料	核種種類						
		Co-60	Eu-154	Cs-137	Cs-134	Sb-125	Ru-106	Ce-144
		Bq						
NY993-1374	ドラム缶外部	6.4E+05	1.3E+05	3.9E+06	7.0E+05	2.1E+05	1.6E+05	4.8E+05
	スマヤ試料	4.8E+02	1.8E+01	5.7E+02	8.5E+01	1.5E+01	2.7E+01	1.3E+01
NY993-1375	スマヤ試料	7.0E+00	1.8E+00	6.2E+01	8.0E+00		4.1E+00	1.9E+00
	スマヤ試料	4.7E+01	2.0E+00	8.1E+01	1.3E+01	2.0E+00		3.0E+00
NY993-1376	ドラム缶外部	1.2E+06	2.5E+06	7.3E+07	1.6E+07	7.3E+05	6.1E+06	9.2E+06
	ドラム缶外部	6.5E+05	4.4E+05	1.3E+07	3.0E+06	1.8E+05	1.2E+06	9.4E+05
NY993-1377	ドラム缶外部	2.1E+01		2.2E+02	1.8E+02			
	ケーブル	2.3E-01		8.1E-01				
NY993-1378	ホース等	1.7E+00		1.7E+00	2.1E+00			
	スマヤ試料	4.6E-01	6.9E+00	1.4E+02	5.8E+01	2.6E+00	2.9E+01	2.3E+01
NY993-1379	ドラム缶外部	2.8E+04	1.7E+04	1.4E+06	7.2E+04	1.5E+04	4.5E+04	1.2E+00
	スマヤ試料	1.1E+02						
NY993-1380	スマヤ試料			8.0E+00	1.3E+00			
	ドラム缶外部	3.4E+03	5.9E+04	2.0E+06	1.8E+05	2.1E+05	2.8E+05	1.8E+05
NY993-1381	スマヤ試料			5.0E+07	2.0E+06	2.0E+05	3.9E+06	
	ドラム缶外部	7.7E+04	1.0E+06	7.3E+00	1.2E+03	6.9E+01		9.7E+00
M-993-25	スマヤ試料	1.6E+00						
M-993-25	ドラム缶外部	9.2E+04	1.4E+06	9.1E+06	9.2E+05	4.7E+06	2.5E+06	

表5.2.8 燃料試験施設の廃液タンク内廃液の測定データ(Bq)

測定日	全 α	全 $\beta \cdot \gamma$	Co-60	K-40	Mn-54	Ce-144	Cs-134	Cs-137	Ru-106	Sb-125
H5.4.21	2.8E+04	7.9E+06	7.6E+06		1.9E+06					
H5.4.21	5.3E+06	9.9E+07	3.6E+06	3.1E+06		7.0E+06	2.4E+07	1.1E+08		
H5.7.26	9.2E+04	3.8E+06	8.9E+05	1.1E+06			1.1E+05	1.3E+06	1.4E+09	4.4E+06
H5.7.26	9.9E+06	5.2E+08	2.5E+06			1.2E+07	2.7E+07	2.6E+08		1.3E+07
H5.8.11	6.6E+06	7.2E+08	8.1E+05			1.1E+07	9.4E+07	4.5E+08		
H5.8.11	7.2E+04	2.3E+06	2.1E+06	9.2E+05				6.6E+05		
H5.9.30	1.1E+05	2.5E+06						8.8E+05		
H5.11.1	1.7E+05	2.9E+06	3.9E+06				1.9E+05	1.8E+06		
H5.11.2	9.2E+06	6.4E+08	3.0E+06			5.4E+06	4.6E+07	2.4E+08		4.1E+06
H5.12.7	2.8E+05	4.4E+06	5.4E+05				1.6E+05	1.2E+06		
H6.1.26	1.1E+05	4.0E+06	4.1E+05				3.3E+05	2.9E+06		
H6.3.9	5.3E+05	7.7E+07	4.0E+05				6.0E+06	6.5E+07		
H6.3.9	1.8E+07	3.1E+09	8.9E+08			1.9E+09	2.8E+10	3.1E+11		
H6.4.13	2.0E+05	8.7E+06						9.2E+05		
H6.5.2	1.1E+05	4.3E+06		1.4E+06			3.1E+05	3.5E+06		
H6.5.24	4.4E+06	7.8E+08	1.3E+06			4.5E+07	8.2E+07	6.4E+08		
H6.6.1	1.1E+06	5.6E+07	3.1E+05			6.3E+06	6.5E+06	3.3E+07		
H6.6.28	9.6E+05	3.5E+07	3.5E+05			4.8E+06	3.0E+06	1.8E+07		
H6.7.20	1.0E+07	1.1E+09	2.0E+06			2.4E+07	1.2E+08	8.8E+08		
H6.7.21	1.8E+05	1.5E+07	2.6E+07		1.6E+06		3.1E+05	1.7E+06		
H6.8.17	3.1E+04	2.3E+06	5.0E+05	1.3E+06			1.8E+05	1.0E+06		
H6.8.18	7.4E+06	2.1E+09	1.4E+07			5.3E+07	2.9E+08	1.8E+09		
H6.9.12	5.7E+04	2.9E+06	5.6E+05					2.2E+06		
H6.10.18	5.5E+07	1.1E+09								
H6.10.18	6.1E+05	8.3E+06	3.5E+06			2.4E+06	6.8E+05	6.1E+06		
H6.12.1	1.5E+06	3.5E+07					3.4E+06	1.6E+07		
H6.12.12	3.4E+05	7.0E+06	5.5E+06		2.2E+05	9.7E+05	5.5E+05	2.7E+06		
H7.1.13	2.4E+07	1.1E+09	1.0E+07			6.0E+07	1.3E+08	7.0E+08		
H7.1.30	1.6E+05	3.1E+06	4.5E+05	1.1E+06			2.7E+05	1.4E+06		
H7.2.10	4.1E+06	5.2E+06	1.3E+06			3.6E+06	4.5E+07	4.1E+08		5.1E+06
H7.2.17	7.8E+04	3.5E+07	3.8E+07		1.5E+06			1.4E+06		
H7.3.10	4.4E+04	2.8E+06	5.5E+06				1.6E+05	2.7E+05		
H7.3.24	3.5E+04	1.9E+06	2.9E+06					3.5E+05		
H7.4.18	6.0E+05	1.6E+07	1.6E+06				9.8E+05	6.7E+06		
H7.5.11	4.5E+04	3.7E+06	6.7E+06					5.8E+05		
H7.5.24	2.5E+05	1.1E+07	1.8E+06				7.9E+05	5.1E+06		
H7.6.6	1.7E+06	3.6E+07	1.1E+06			3.1E+06	2.7E+06	1.2E+07		
H7.6.12	4.9E+07	2.5E+09	8.3E+06			8.9E+07	2.6E+08	1.4E+09		2.8E+07
H7.6.19	2.0E+05	5.8E+06	1.1E+07	1.6E+06	4.8E+05			3.8E+05		
H7.7.4	4.1E+04	5.1E+06	1.2E+06				3.0E+05	1.3E+06		
H7.7.31	2.7E+05	7.2E+06				8.9E+05	7.6E+05	4.1E+06		
H7.8.3	6.6E+06	4.6E+08								
H7.8.21	1.4E+05	3.3E+06	8.8E+05	2.0E+06			3.7E+05	1.8E+06		
H7.9.5	7.8E+04	2.6E+06	6.8E+05				3.7E+05	1.6E+06		
H7.10.3	8.4E+04	3.8E+06								
H7.10.25	5.2E+07	4.1E+09	3.8E+06			4.4E+07	1.5E+09	2.8E+09		
H7.11.2	1.4E+06	5.7E+07				2.4E+06	2.4E+07	5.1E+07		
H7.11.6	9.9E+06	2.0E+09				2.3E+07	9.4E+08	1.5E+09		
H7.11.29	9.0E+07	3.8E+09				8.1E+07	1.6E+09	2.8E+09		
H7.12.5	2.3E+05	1.4E+07					5.7E+06	1.2E+07		
H7.12.25	1.8E+05	1.6E+07	7.8E+06				6.7E+06	1.4E+07		
H7.12.25	3.7E+06	4.1E+09	4.3E+06				1.4E+09	2.6E+09		
H8.1.10	2.0E+06	3.4E+09	4.2E+06				1.6E+09	3.0E+09		
H8.1.30	1.3E+05	6.6E+06								
H8.2.7	1.2E+07	9.0E+08	3.7E+05			1.9E+07	1.2E+08	2.6E+08		
H8.2.9	5.5E+04	8.4E+06	4.4E+07		6.4E+05		1.7E+06	3.3E+06		
H8.2.23	3.6E+08	9.6E+09	1.5E+06			1.3E+09	1.7E+09	4.1E+09		4.5E+07
H8.3.12	6.0E+04	4.1E+06	9.6E+06				6.0E+05	1.3E+06		

データは保健物理部より提供して頂いた。

表5.2.9 WASTEFFにおける主な試験内容と試料中に含まれる放射性核種

試験内容	廃棄物重量 kg	放射性核種 Bq								
		Sr-90	Ru-106	Sb-125	Cs-134	Cs-137	Ce-144	Eu-154	Am-241	Cm-244
実廃液 ガラス固化体の 作製	再処理廃液 マルター内残留 放射能	1.7E+13	2.9E+12		3.6E+12	2.0E+13	3.4E+12	8.0E+11	2.0E+11	2.7E+12
	オフガス系 フィルタ捕集分		1.0E+12		1.1E+12	6.0E+12				
	作製した ガラス固化体		1.5E+11		7.0E+10	4.0E+11				
	切削粉、 研磨粉	2.2E+00	1.7E+13	1.8E+12		2.4E+12	1.4E+13	3.4E+12	8.0E+11	2.0E+11
	COGEMA ガラス試料の調整	1.8E-02	1.5E+11	9.6E+09	2.0E+09	2.1E+10	2.2E+11	9.4E+09	5.5E+09	1.8E+09
	英国BNFL ガラス試料の調整	4.3E+01	2.4E+11	2.4E+10	2.7E+09		4.0E+11	1.7E+10	3.2E+09	1.7E+09
Cm添加実廃液 ガラス固化体の 作製	再処理廃液 溶融時揮発分		1.7E+11	3.0E+10		3.7E+10	2.0E+11	3.5E+10	8.1E+09	2.0E+09
	作製した ガラス固化体			1.8E+10		2.5E+10	1.4E+11			
	Cm添加 シンロック固化体 の作製	2.2E-02	1.7E+11	1.2E+10		1.2E+10	6.5E+10	3.5E+10	8.1E+09	2.0E+09
	作製した ガラス固化体	3.3E-02								5.0E+11

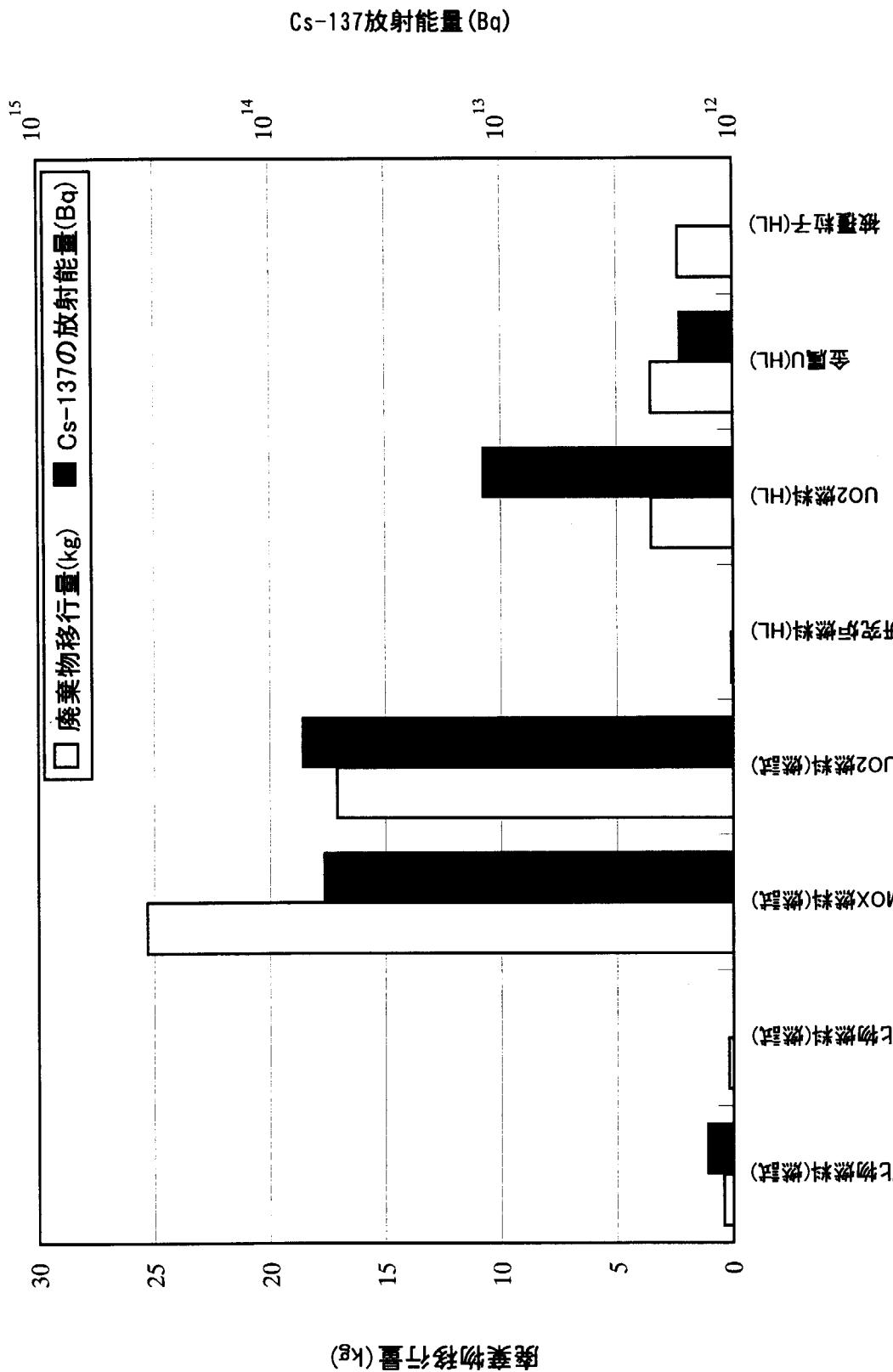


図5.2.1 照射後試験燃料廃棄物の移行量(燃試、ホットラボ: S62年度からH10年度)

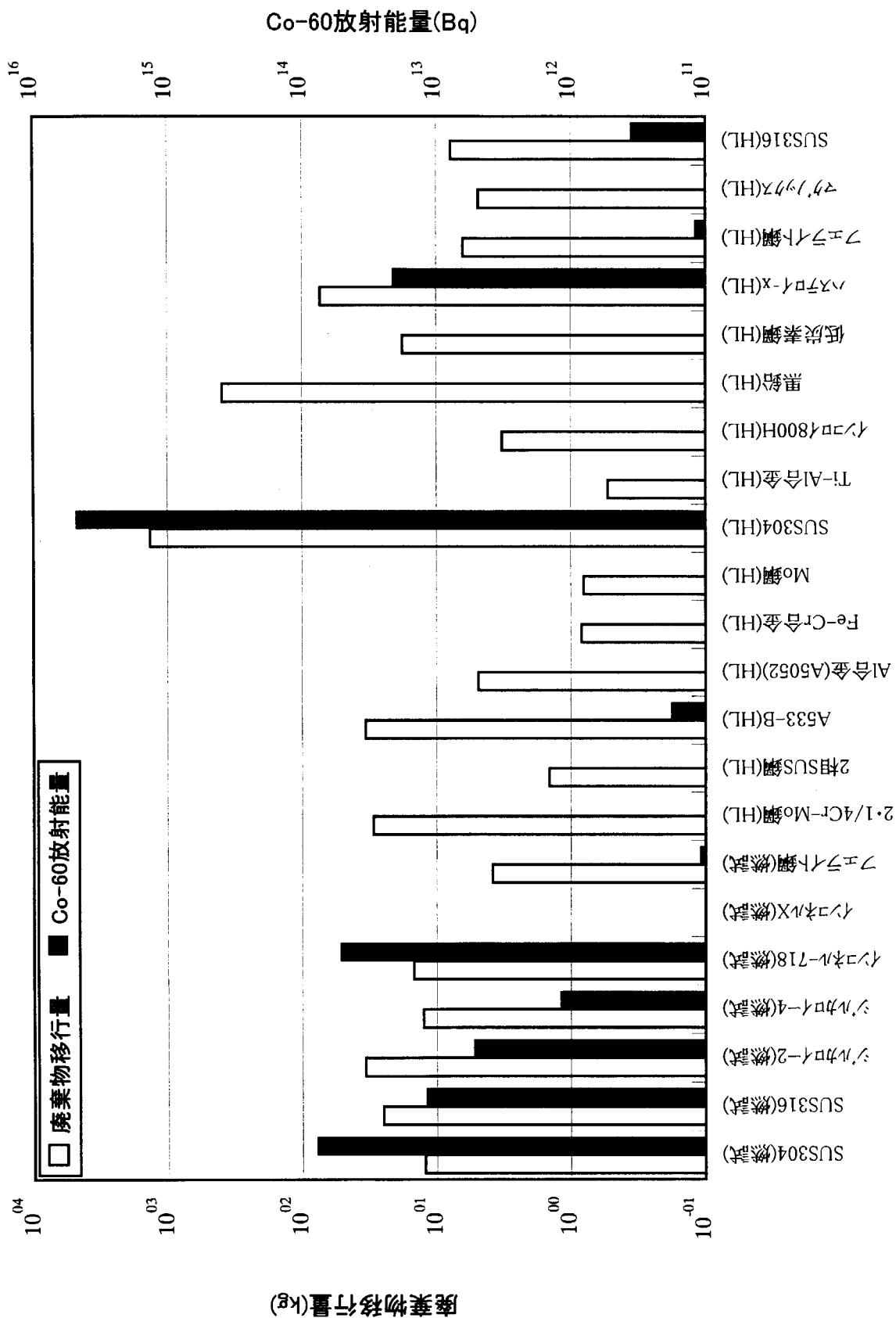
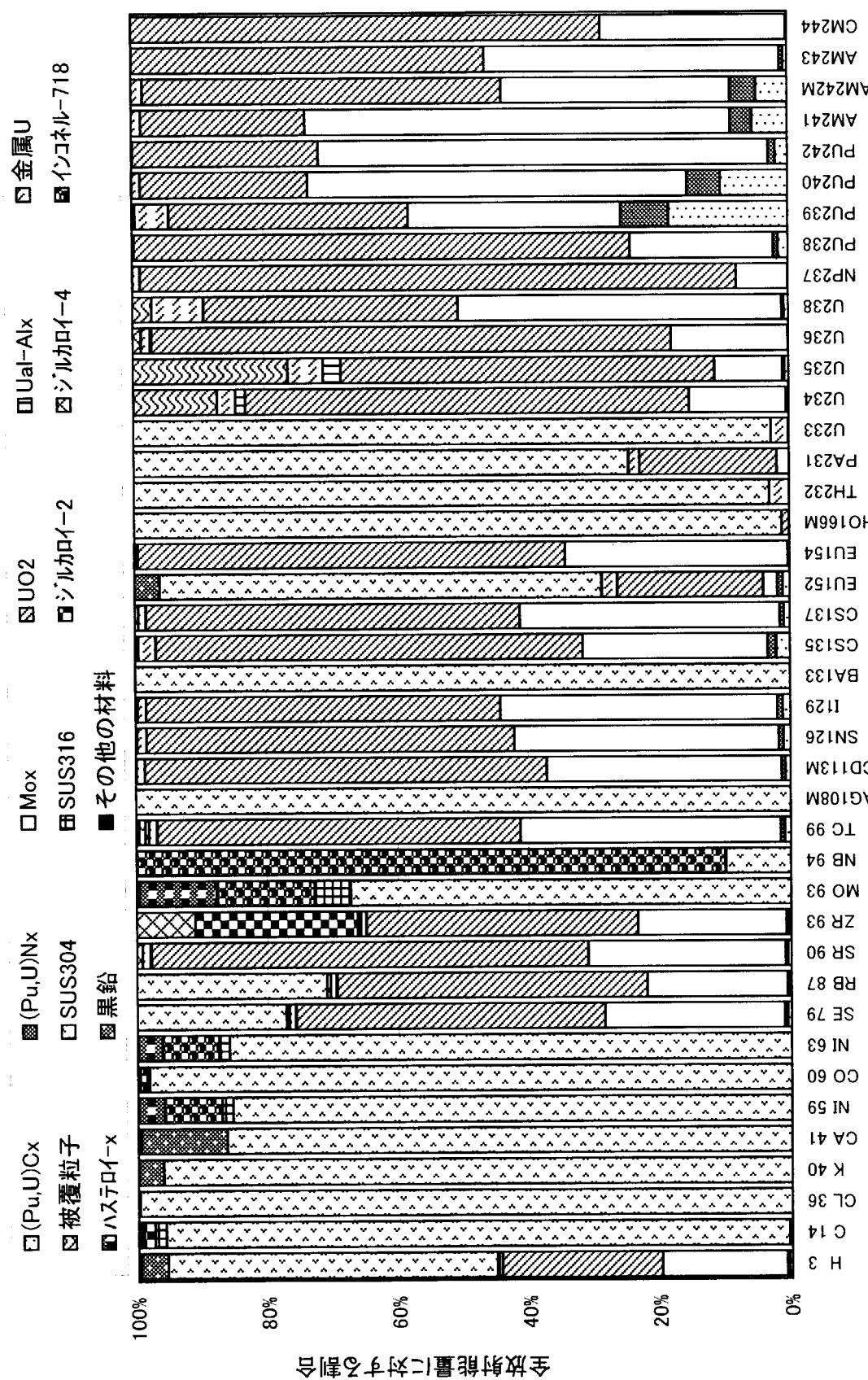


図5.2.2 照射後試験材料廃棄物の移行量(燃試、ホットラボ' : S62年度からH10年度)



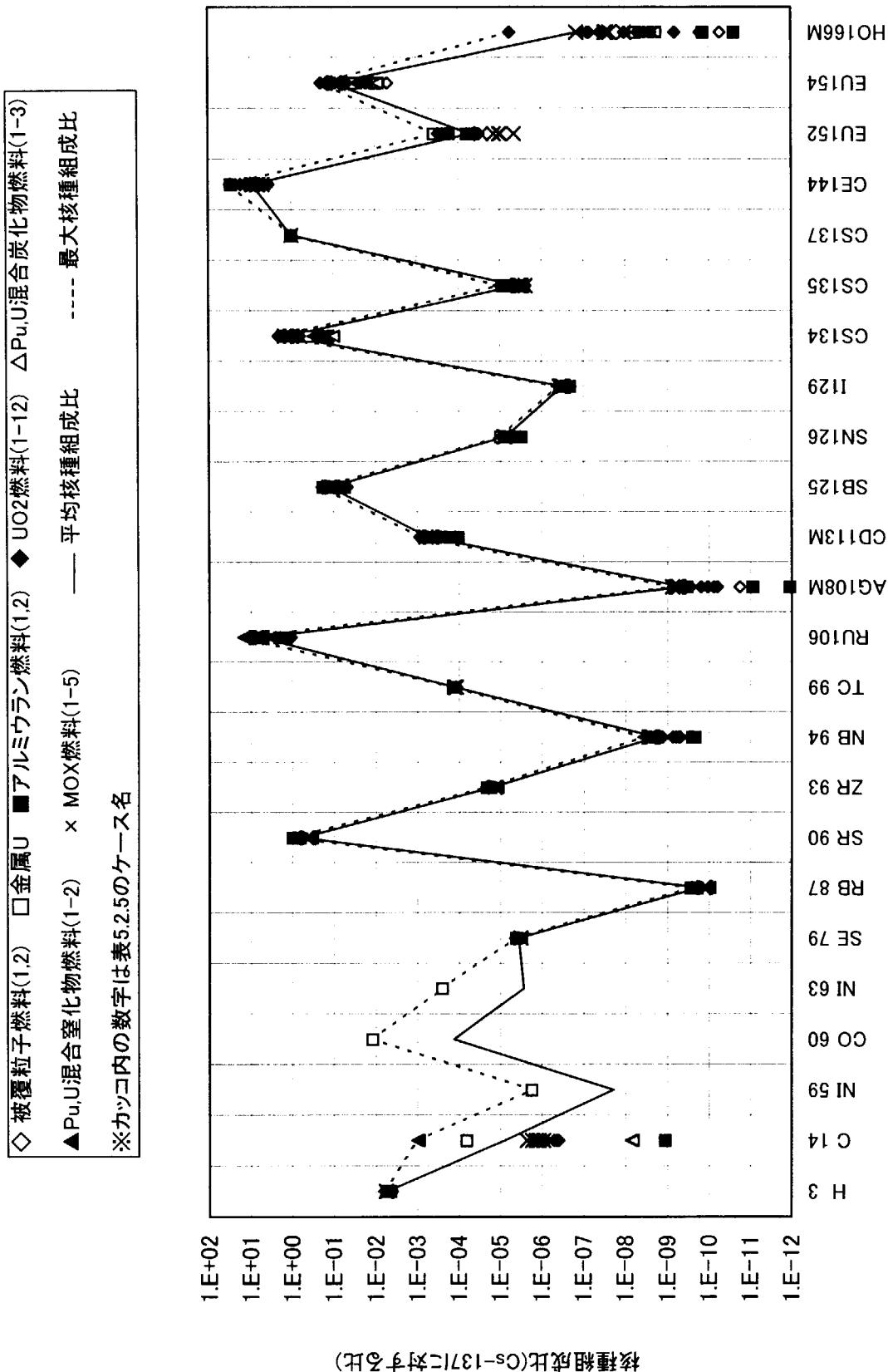


図5.2.4 照射後試験燃料からのFP核種の組成比(ホットラボ、燃料試験施設:S62-H10)

◇ 被覆粒子燃料(1-2) □ 金属U ■ アルミニウム燃料(1-2) ◆ UO₂燃料(1-12) △ Pu,U混合炭化物燃料(1-3)
 ▲Pu,U混合窒化物燃料(1-2) × MOX燃料(1-5) — 平均核種組成比 ----- 最大核種組成比
 ※カッコ内の数字は表5.2.5のケース名

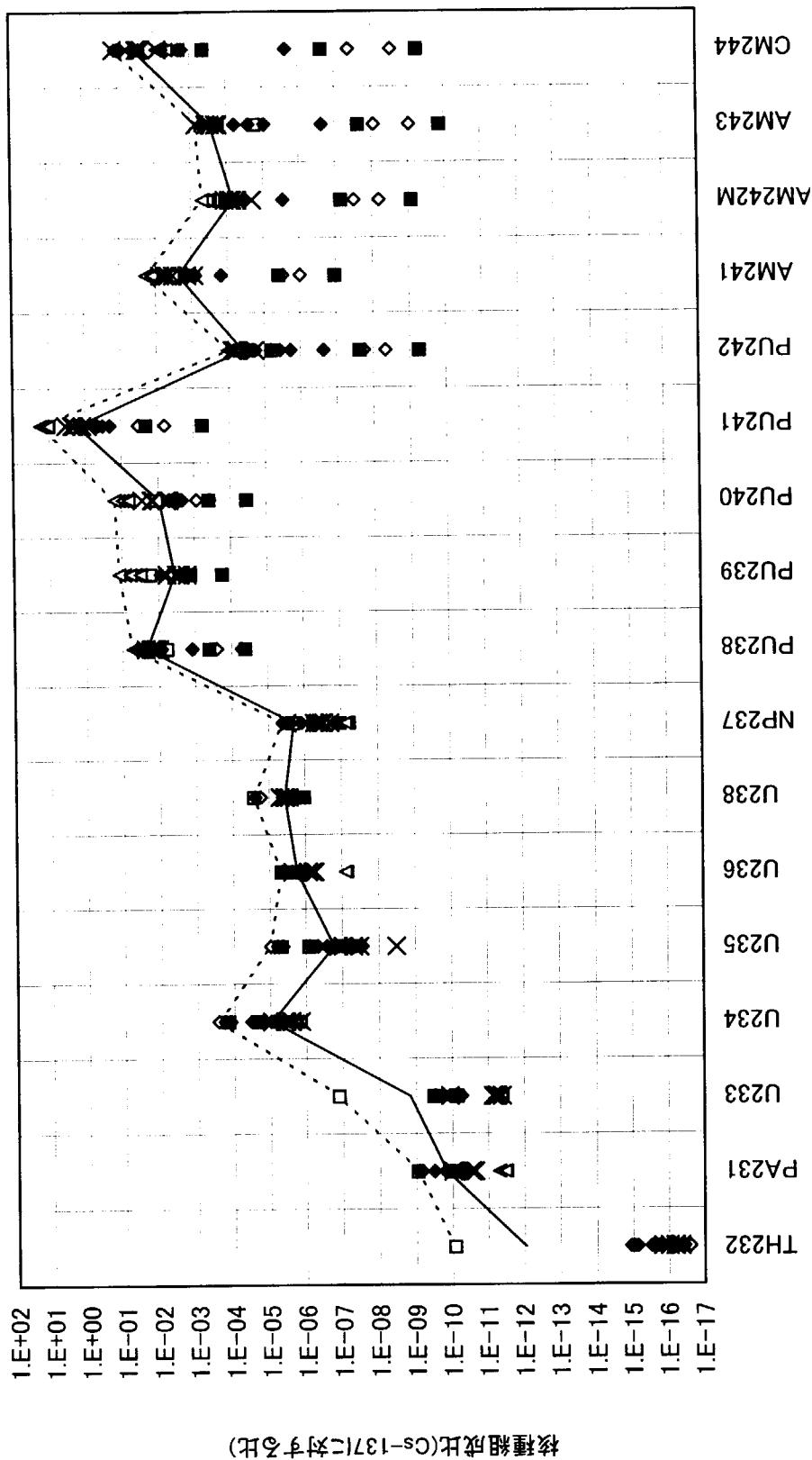


図5.2.5 照射後試験燃料からのアクチノイド系列核種の組成比(ホットラボ、燃料試験施設:S62-H10)

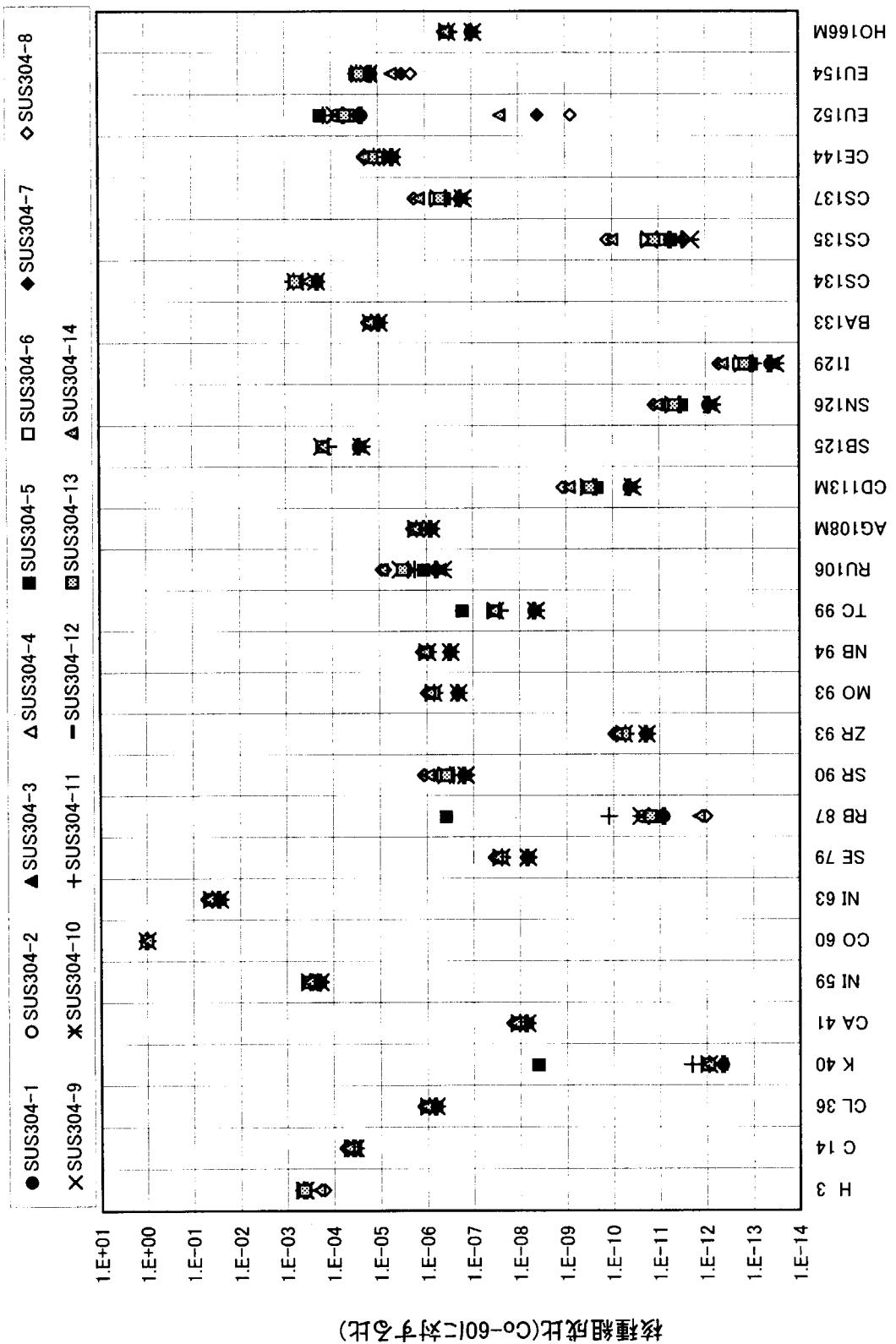


図5.2.6 照射済SUS304における放射化核種の核種組成比(ホットラボ、燃料試験施設:S62-H10)

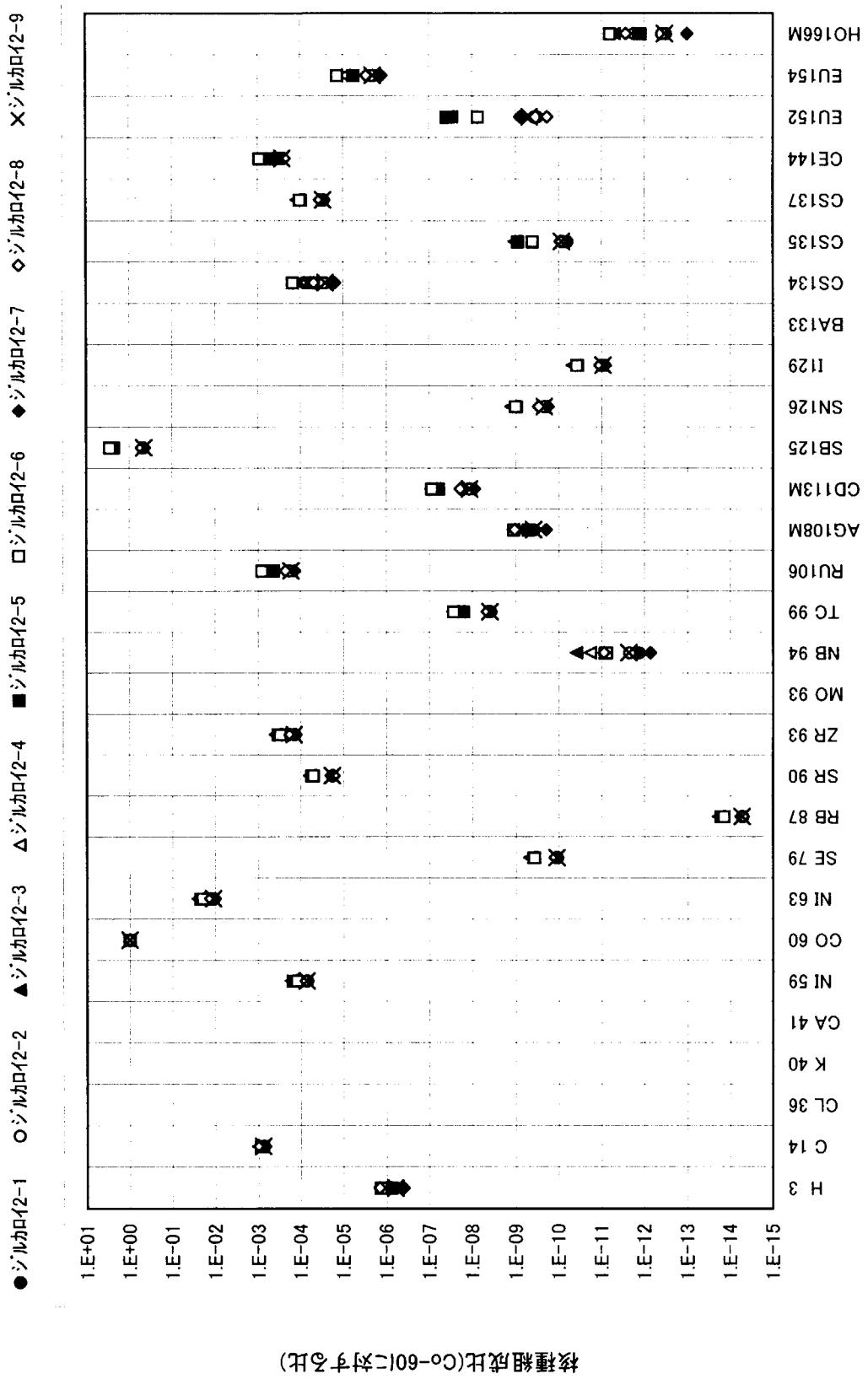


図5.2.7 照射済シルカルヨー-2における放射化核種の核種組成比(ホトトラボ、燃料試験施設: S62-H10)

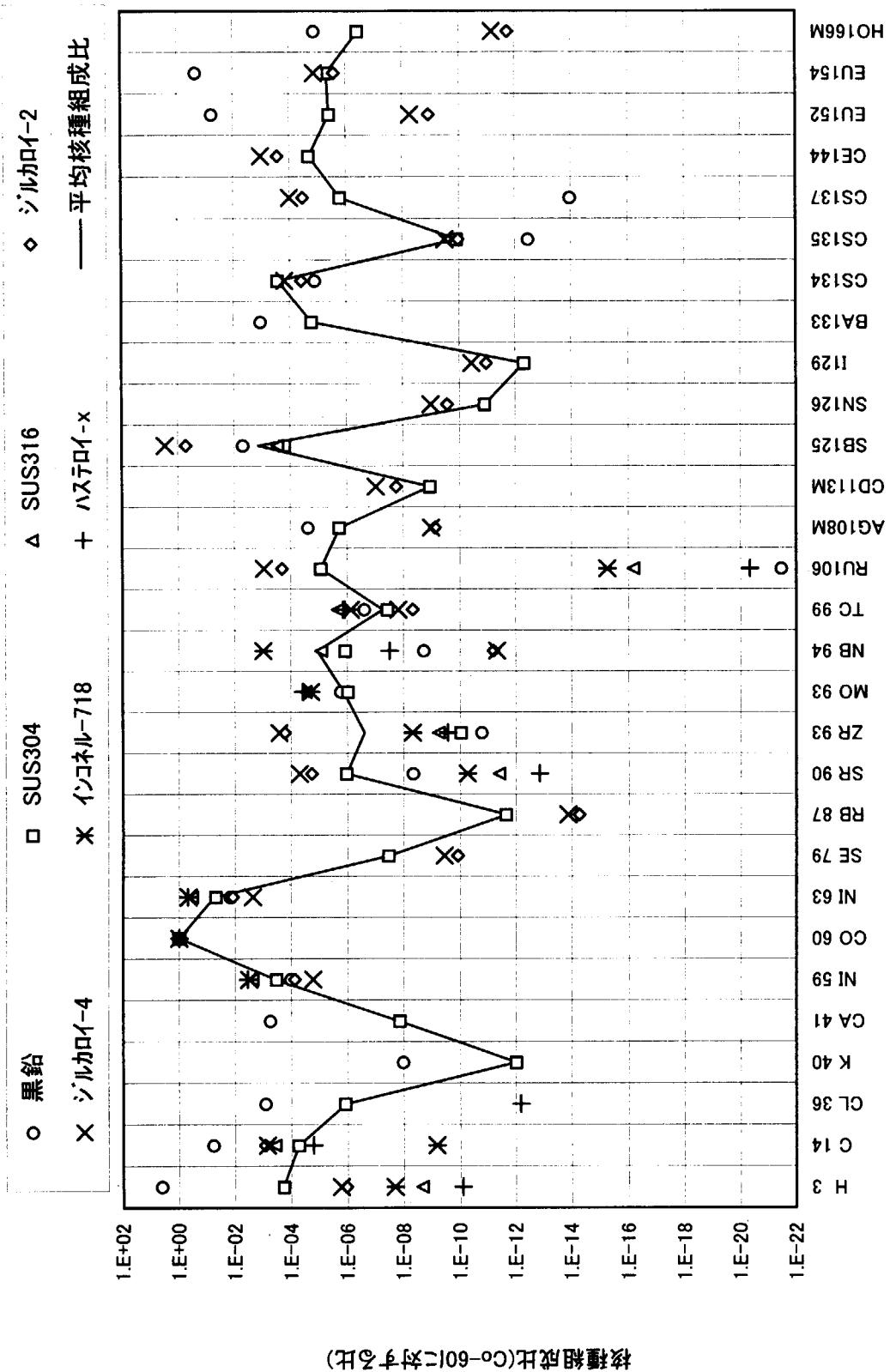
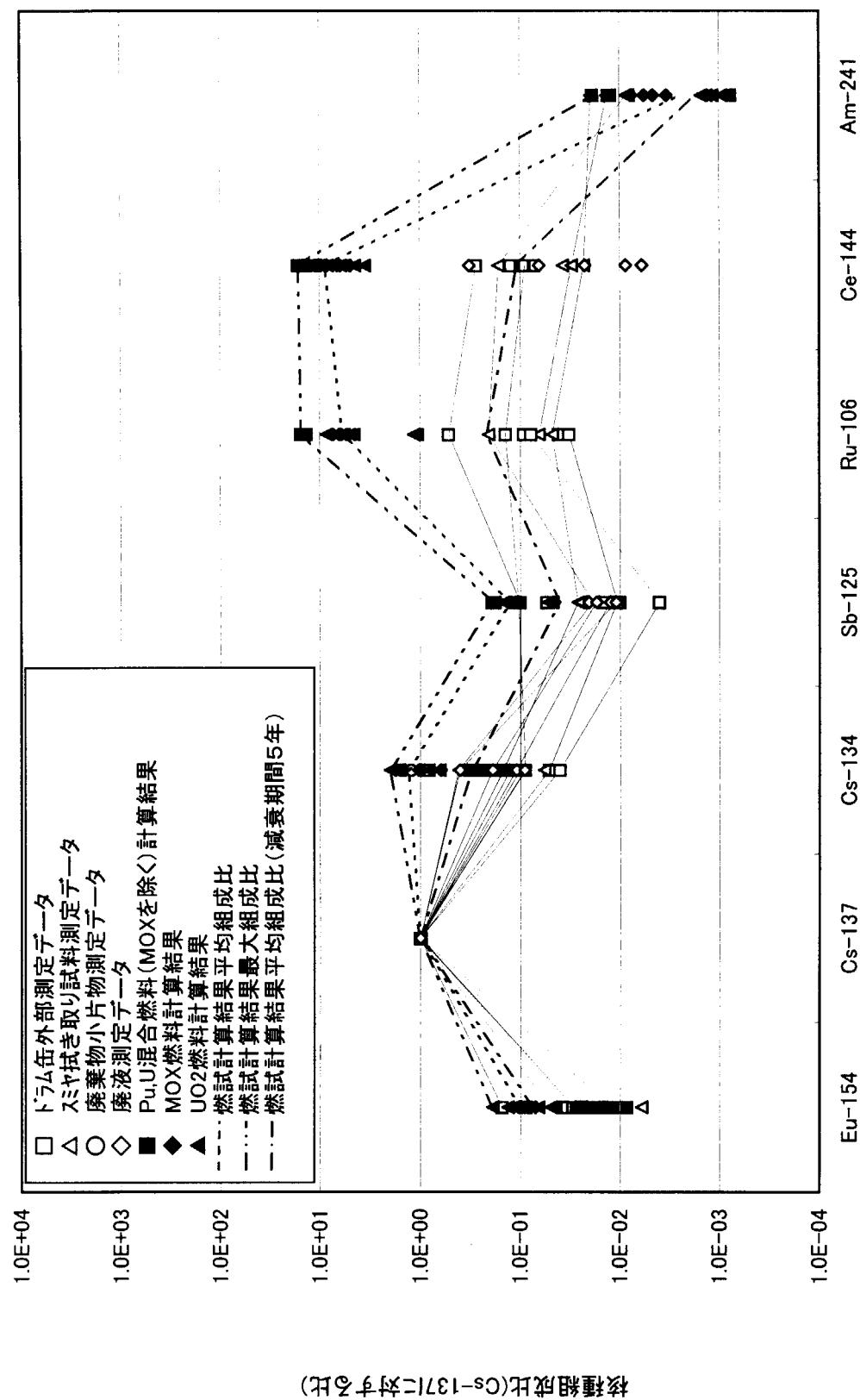


図5.2.8 照射後試験材料における放射化核種の核種組成比(ホットラボ、燃料試験施設、S62-H10)



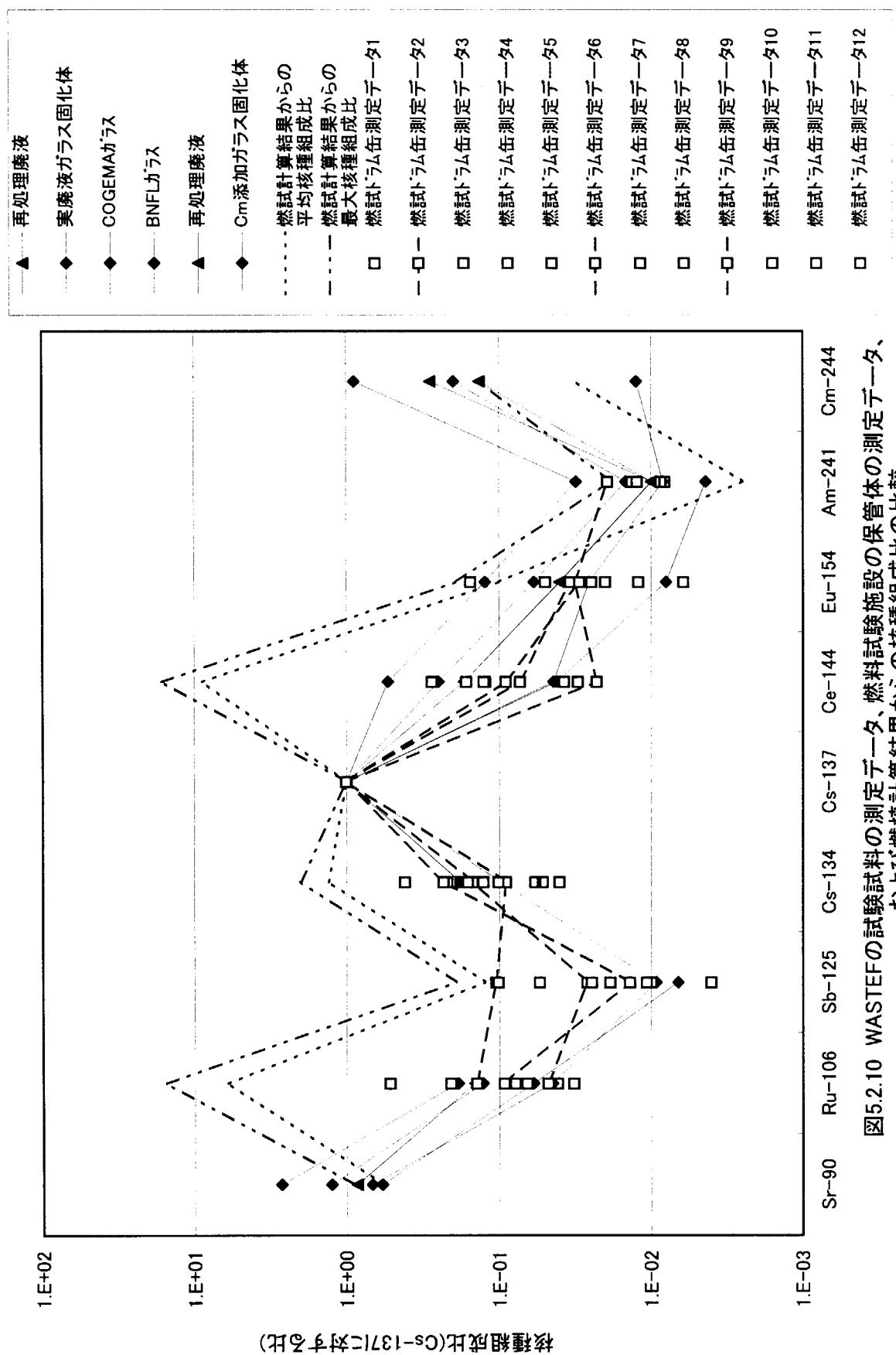


図 5.2.10 WASTEF の試験試料の測定データ、燃料試験施設の保管体の測定データ、および燃焼計算結果からの核種組成比の比較

5.3 RI 使用施設

5.3.1 調査方法

RI 使用施設では、各施設が保有する非密封 RI および密封 RI 線源が廃棄物となる。研究炉において中性子照射を行う RI 製造棟では、その際に用いられる照射用のアルミキャップセル等が廃棄物として発生する。また、強いエネルギーの放射線発生装置を使用した試験を行う施設では、発生装置および施設のコンクリートが放射化して、解体・改造時に廃棄物となる。

これらを踏まえて、RI 使用施設から発生する廃棄物中の核種の種類および組成比について以下の調査を行った。

(1) 廃棄物発生記録による調査

RI 製造棟から昭和 62 年度から平成 7 年度に発生した廃棄物(直接保管体)について、廃棄物引取検討依頼書から調査を行い、廃棄物の種類、放射性核種の種類、組成比を調査した。

(2) 放射化計算による調査

放射線発生装置施設の機器および遮へいコンクリートの放射化廃棄物について、リニアック棟で評価された例を引用して、他の放射化廃棄物と比較調査を行った。

(3) RI 保有量による調査

各 RI 使用施設の非密封および密封 RI の保有量について、平成 5 年度、7 年度、8 年度、10 年度における各施設別の RI 保有量の変動を調査した。

5.3.2 廃棄物発生記録による調査結果

RI 製造棟では、精製 RI、有機標識 RI、線源 RI の製造を行っている。これらの RI は研究炉において中性子照射により主に製造されている。したがって、RI 製造業務により発生する廃棄物は、中性子照射に用いたキャップセルおよび RI 製造量から領布量を差し引いた残量が廃棄物となると考えられる。また、RI 製造技術の開発、再処理廃液からの RI 分離技術の研究も行われており、多種類の核種を含む廃棄物が発生すると考えられる。

1) RI 領布実績表

昭和 62 年度から平成 5 年度までに RI 製造棟から領布された主な RI の種類と量^[8]を表 5.3.1 に示す。精製 RI については、大需要 RI である P-32、S-35、Cr-51 および短寿命 RI である K-42、Cu-64、Au-198 を毎年製造している。有機標識化合物については、現在 C-14 標識化合物と P-32 標識化合物の製造が行われており、その他に H-3 標識化合物、Tc-99 標識化合物、S-35 標識化合物等の研究開発も行われている。線源 RI については Yb-169、γ 線スペクトロメリー校正線源用に Eu-152、Ho-166m の製造も行われている。なお、この表に示されていない核種では、短寿命 RI として、Mn-56、Ga-72、As-76、Br-82、Y-90、La-140、Sm-153、Lu-177、Re-186、Hg-197、Au-198 が現在、カタログ化され製造可能である。また、中長寿命 RI としては Rb-86、Ca-45、Zn-65、Se-75、Sb-124、W-185、Tl-204 等が過去に製造または販売カタログに示された実績がある。したがって、RI 製造棟からはこれらの核種を含む廃棄物が発生すると考えられる。

2) 廃棄物引取検討依頼書

昭和 62 年度から平成 7 年度において RI 製造棟から発生した廃棄物のうち直接保管体における廃棄物発生源、放射性核種の種類、放射能量等について調査を行った。その調査結果を表 5.3.2 に示す。RI 製造核種の他に Co-60、Cs-137、Sr-90 が廃棄物中に含まれていることが示されている。Co-60 は主に製造用キャップセル等の放射化により生成したものであり、Fe-55、Zn-65 も同様である。この結果から、放射化したキャップセル等の廃棄物には記録に記載されていない放射化生成核種も含まれていることが予測される。Sr-90、Cs-137 等の核分裂生成物は RI 製造または群分離実験の廃棄物に含まれている。RI の製造技術開発では UO₂をターゲット材料とした試験、また、群分離実験では、再処理廃液から RI 分離試験を行っているため、発生した廃棄物中に核分裂生成物および TRU 核種が含まれる。

5.3.3 放射化計算による調査結果

高エネルギー加速器施設では、加速された一次放射線、それがターゲット等に入射した際に発生する二次放射線により、加速器本体、その周辺機器、加速器室内の壁等が放射化される。リニアック棟における遮へいコンクリート中の放射化生成核種について保健物理部による測定データがある^[9]。電子リニアックは 100MeV 強の電子加速器であり、中性子断面積の測定、RI 製造の研究、電子線照射、中性子回折の研究等が行われ、1993 年 10 月に運転が終了されている。この放射化コンクリート中の γ 線放出核種に関する測定データのうち、最も多くの核種が検出されたタンタルターゲット付近における遮へいコンクリート中の放射化核種の濃度をグラフから読み取った値を表 5.3.3 に示す。また、この測定データから求めたリニアック棟の遮へいコンクリートの核種組成比と JRR-2,JPDR の遮へいコンクリートの放射化計算から求めた核種組成比の比較を図 5.3.1 に示す。この図から、JPDR の遮へいコンクリートおよび JRR-2 の生体遮へいコンクリートの計算結果とリニアックの放射化コンクリートの測定データにおける核種組成比は、一部相関性のかなり悪い核種もあるものの全体的に見ると、良い相関関係があることが分かる。

5.3.4 RI 保有量による調査結果

RI 使用施設では各施設が保有する非密封 RI および密封 RI 線源が廃棄物となることから、施設別 RI 保有量の調査を実施した。保健物理部から提供して頂いた建屋別 RI 保有リスト(非密封・密封)から施設ごとに核種別放射能量を集計して、RI 保有量の変動を調査した。調査年度は平成 5 年度、7 年度、8 年度、10 年度である。

表 5.3.4 に調査年度における各使用施設において保有する RI の種類及び放射能量を示す。東海研で使用されている RI は全部で 82 種類であり、また、Am-241·Be 等の中性子線源等を含めると 103 種類が登録されている。H-3、Co-60、Cs-137、Am-241 等の核種は、多数の施設で利用されている。図 5.3.2 に RI 別の保有放射能量の変動を示す。東海研で最も保有量の多い核種は H-3 であり、主に非密封で使用されている。Co-60、Am-241 の核種は密封での使用量が非密封の使用量に比べて多くなっている。Sr-90、Cs-137、Am-241、Cm-244 等の核種は保有量の変動が小さいが、H-3、C-14 等の核種は年々保有量が増加している。図 5.3.3 に平成 10 年度における建屋別の RI 保有量に関する調査結果を示す。東海研において保有量が最も大きかった H-3 については、

トリチウムプロセス研究棟における割合が90%を超えており、Sr-90、Cs-137等の代表的なFP核種はWASTEFの保有量の占める割合が大きく、Cr-51、Mn-54、Zn-65等の金属の放射化生成核種についてはホットラボ施設またはRI製造棟の保有量の占める割合が大きくなっている。

これらの各施設で保有されているRIは、使用後に廃棄物中に移行するものと考えられる。

表5.3.1 RI頒布実績表

		(Bq)						
RIの種類		62 年度	63 年度	1 年度	2 年度	3 年度	4 年度	5 年度
大需要RI	P-32	1.6E+11	2.1E+11	1.8E+11	2.3E+11	1.9E+11	2.0E+11	1.9E+11
	S-35	1.9E+10	1.7E+10	1.5E+01	1.7E+10	1.9E+10	1.7E+10	1.1E+10
	Cr-51	3.8E+10	5.9E+10	5.6E+01	5.5E+10	4.9E+10	4.4E+10	3.3E+10
	Mo-99 (*2)							
	I-131 (*2)							
	Au-198							
	Na-24	6.3E+08	6.3E+08	7.4E+07			3.7E+07	
	K-42	1.6E+09	6.7E+08	5.2E+08	1.9E+08	1.2E+08	3.7E+07	
	Cu-64	8.1E+08	7.4E+08	8.5E+08	1.5E+08	3.8E+07	1.0E+09	2.6E+08
	Au-198	1.5E+08	3.3E+08	1.1E+08	1.5E+08	7.4E+07	3.7E+07	7.4E+07
精製RI	その他							
	Cs-134	3.7E+07	3.7E+07	3.7E+06				
	C-14							
	Tm-170					1.5E+08(*1)		1.1E+08(*1)
有機標識化合物	Co-60小線源	62 本	105 本	96 本	55 本	115 本	60 本	20 本
	工業用Ir-192線源	831 個	1300 個	1060 個	1411 個	1710 個	1710 個	1700 個
	密封Ir-192線源							
	高比放射能Ir-192線源							
	医療用Ir-192線源(ヘアピン・シングルピン)	243 本	276 本	197 本	254 本	262 本	248 本	257 本
線源RI	Ir-192(シード、シードアッセンブリ)	3188 個	4353 個	3160 個	3590 個	3439 個	3094 個	2640 個
	Ir-192(シンワイヤ)	692 本	803 本	739 本	898 本	879 本	713 本	699 本
	Au-198(グレイン)	2282 個	2607 個	2216 個	2689 個	2940 個	2779 個	2660 個
	Gd-153			8 個	14 個	9 個	8 個	8 個
	(*1)他の核種も含む。							
	(*2)昭和62年度以前に製造された実績がある。							

表5.3.2 RI製造棟から発生した廃棄物(直接保管体)の種類および放射能量(昭和62年度から平成7年度)(1/3)

		廃棄物種類	放射能の測定方法	Co-60	Sr-90	Ru-106	Cs-134	Cs-137		
S62	排気系 フィルター エント更新	プラスチック	試料分析 測定法			1.4E+04				
	排水管更新配管	非吸遠 分折法		8.7E+06			8.7E+06			
	排水管撤去配管	非吸遠 分折法		6.7E+06		2.2E+05	4.4E+06			
	RI製造 実験	表面線量車 キャビセル等	換算法 表面線量車	1.1E+03						
	RI製造 実験	キャビセル等	換算法 表面線量車	7.4E+07						
	排水管 補修工事	換算法 表面線量車	表面線量車 測定法	3.7E+08						
	老朽化 群分離 実験	真空 ポンプ等 実験器具	表面線量車 換算法 表面線量車	7.4E+01			3.7E+05			
	不要品 遮へい体 群分離 実験	塩ビ管 遮へい体 フタル酸等 実験器具	表面線量車 換算法 表面線量車			3.7E+04				
	除染 RI製造	コングリート、 ウレタ樹脂 線源容器	表面線量車 換算法 表面線量車			3.7E+07				
	実験装置 解体撤去	金属 配管等	表面線量車 換算法 表面線量車			1.1E+06	1.1E+05	1.1E+06	1.2E+07	7.4E+01
S63	RI製造 群分離 実験	キャビセル等 試料瓶 電極等	換算法 測定法 試料分析				7.4E+08	1.1E+07	2.2E+08	7.4E+04
	群分離 実験	試料瓶 電極等	收支管理法				7.4E+08			
	RI製造 群分離 実験	キャビセル等 試料瓶 電極等	試料分析 測定法 收支管理法				9.6E+07	6.0E+06	1.2E+08	5.2E+04
	RI製造 群分離 実験	キャビセル等 試料瓶 ウエス等	收支管理法 表面線量車 試料分析				3.7E+07	2.3E+06	4.6E+07	2.6E+04
			測定法				5.9E+08	3.7E+07	7.4E+08	2.6E+05

表5.3.2 RI製造棟から発生した廃棄物(直接保管体)の種類および放射能量(昭和62年度から平成7年度)(2/3)

	廃棄物種類	放射能の測定方法	P-32	P-33	S-35	Sc-46	Fe-54	Fe-55	Co-60	Zn-65	Se-75	Sr-90	Cs-134	Cs-137	Am-241
H1	群分離実験装置解体	表面線量率換算法													
	床鋪材 排気フィルターチャコール 交換	表面線量率換算法 收支管理法													
	RI製造	表面線量率換算法 收支管理法	5.0E+10												
	RI製造	キャブセル等 非破壊 分析法	3.7E+06	1.5E+06	3.7E+08	1.8E+05	1.8E+05	7.4E+06	1.8E+05	2.2E+06	3.7E+04				
	RI製造	キャブセル等 表面線量率換算法													
	RI製造	キャブセル等 表面線量率換算法													
	RI製造	キャブセル等 換算法													
H2	廃棄物種類	放射能の測定方法	H-3		Co-60	Cs-137	Ir-192								
	RI製造	キャブセル等 表面線量率換算法			7.0E+08										
	RI機器試験 装置等の不要品	電気炉等 不要品	表面線量率換算法		1.0E+09		5.0E+09								
	不要品等	装置、塩ビ	收支管理法	4.0E+13	1.3E+09										
	廃棄物種類	試料分析						1.1E+05							
	排気設備 改修工事	排風機等 測定法	P-32		S-35		Co-60	Sr-90	Cs-137	Ir-192					
	実験終了 排気フィルタ 交換	金属類 チャコール 排氣設備 更換工事 分析試験	試料分析 測定法												
H3	廃棄物種類	機器 表面線量率換算法													
	解体撤去														
	RI製造	キャブセル等 表面線量率換算法						2.0E+09							
	RI製造	キャブセル等 收支管理法						3.0E+09							
	RI製造	キャブセル等 表面線量率換算法						1.0E+09							
		收支管理法						4.0E+09							

表5.3.2 RI製造棟から発生した廃棄物(直接保管体)の種類および放射能量(昭和62年度から平成7年度)(3/3)

廃棄物種類		放射能の測定方法		H-3	S-35	Co-60	Cs-134				
トリチウム除去装置の乾燥筒	乾燥筒	收支管理法	7.4E+11								
RI製造・装置の解体撤去	金属類	表面線量率換算法		1.4E+06	4.0E+05	8.0E+04					
トリチウム製造用ターゲット・キャセル		收支管理法	3.5E+13		3.0E+09						
RI製造	照射バスケット	收支管理法			3.0E+09						
RI製造	照射バスケット	收支管理法			3.0E+09						
廃棄物種類		放射能の測定方法		H-3	Co-60	Sr-90	Cs-134	Eu-152	Gd-153	Ir-192	Au-198
RI製造	キャセル等	表面線量率換算法			3.0E+10						
線源RI		收支管理法							2.0E+09		7.0E+08
RI製造に伴う廃棄物	收支管理法		1.0E+07	5.0E+05	1.0E+07						
線源RI	キャセル等	表面線量率換算法		2.3E+10							
施設・装置改修		收支管理法									2.0E+10
RI製造	キャセル等	試料分析測定法		1.7E+10	6.5E+02		3.5E+03	6.0E+03	5.3E+03		
		表面線量率換算法			1.0E+10						

表5.3.3 リニアック棟における放射化コンクリート中の核種別放射能濃度の測定データ

核種名	測定地點		
	No.1	No.5	No.7
	Bq/g		
Na-22	8.00E+00	1.50E-01	7.00E-01
Mn-54			4.00E-01
Co-60	4.50E+00	3.00E+00	3.50E+00
Cs-134	4.50E-01	2.50E-01	2.00E-01
Eu-152	1.10E+01	7.50E+00	4.50E+00
Eu-154	9.50E-01	5.00E-01	3.00E-01

表 5.3.4 施設別RI保有量(1/4)

核種種類			半減期 (y)	H5年度				H7年度			
				非密封		密封		非密封		密封	
原子番号	質量数	元素記号	使用施設数	放射能量(Bq)	使用施設数	放射能量(Bq)	使用施設数	放射能量(Bq)	使用施設数	放射能量(Bq)	
1	3	H	1.2E+01	9	4.8E+15	7	3.2E+12	9	1.1E+16	6	2.7E+12
6	14	C	5.7E+03	6	4.0E+10	0	0	8	3.1E+10	0	0
11	22	Na	2.6E+00	3	5.2E+08	0	0	3	3.3E+08	0	0
11	24	Na	1.7E-03	1	3.6E+04	0	0	1	6.6E-02	0	0
12	28	Mg	2.4E-03	1	5.9E+02	0	0	0	0	0	0
14	31	Si	3.0E-04	0	0	0	0	1	2.0E-01	0	0
15	32	P	3.9E-02	1	7.2E+11	0	0	1	8.3E+11	0	0
15	33	P	6.9E-02	0	0	0	0	1	9.0E+00	0	0
16	35	S	2.4E-01	1	6.5E+10	0	0	1	2.7E+10	0	0
17	36	Cl	3.0E+05	1	4.6E+06	0	0	1	4.6E+06	0	0
20	45	Ca	4.5E-01	1	1.0E+05	0	0	4	6.2E+06	0	0
21	46	Sc	2.3E-01	0	0	0	0	1	1.1E+06	0	0
24	51	Cr	7.6E-02	3	1.8E+11	1	7.1E+06	3	1.5E+12	1	1.9E+05
25	54	Mn	8.6E-01	8	2.8E+09	0	0	8	7.4E+10	0	0
26	55	Fe	2.7E+00	4	6.0E+11	1	4.0E+03	4	2.6E+13	1	1.4E+09
26	59	Fe	1.2E-01	1	2.4E+11	0	0	4	4.5E+08	0	0
27	57	Co	7.4E-01	4	5.0E+07	5	2.9E+09	5	8.1E+06	5	8.3E+08
27	58	Co	1.9E-01	0	0	0	0	2	9.2E+08	0	0
27	60	Co	5.3E+00	11	1.2E+12	12	2.1E+15	14	2.7E+12	13	1.6E+15
28	59	Ni	7.5E+04	0	0	0	0	0	0	0	0
28	63	Ni	1.0E+02	8	2.0E+09	3	1.2E+09	8	2.1E+09	3	1.2E+09
30	65	Zn	6.7E-01	2	3.1E+07	0	0	2	1.4E+09	0	0
32	71	Ge	3.2E-02	1	4.7E+04	0	0	0	0	0	0
34	75	Se	3.3E-01	1	3.5E+05	0	0	2	5.0E+08	0	0
36	85	Kr	1.1E+01	3	1.1E+10	1	1.3E+08	2	9.2E+09	1	1.1E+08
38	85	Sr	1.8E-01	5	3.2E+08	1	4.2E-03	3	1.7E+08	0	0
38	89	Sr	1.4E-01	2	4.2E+00	0	0	0	0	0	0
38	90	Sr	2.9E+01	7	4.2E+14	1	8.2E+08	7	4.0E+14	1	7.8E+08
39	88	Y	3.0E-01	2	3.4E+04	0	0	2	6.8E+04	0	0
40	95	Zr	1.8E-01	0	0	0	0	1	3.3E+05	0	0
41	94	Nb	2.0E+04	0	0	0	0	0	0	0	0
41	95	Nb	9.6E-02	0	0	0	0	0	0	0	0
42	99	Mo	7.5E-03	1	1.5E+04	0	0	1	2.4E+00	0	0
43	95m	Tc	1.7E-01	2	3.1E+06	0	0	2	4.3E+06	0	0
43	99	Tc	2.1E+05	6	2.5E+09	0	0	7	7.4E+10	0	0
44	103	Ru	1.1E-01	0	0	0	0	1	2.3E+06	0	0
44	106	Ru	1.0E+00	5	5.3E+08	0	0	4	1.3E+08	0	0
47	110m	Ag	6.9E-01	2	2.3E+05	1	1.9E+07	1	3.1E+04	0	0
48	109	Cd	1.3E+00	5	7.0E+05	0	0	5	9.7E+05	0	0
50	113	Sn	3.2E-01	2	4.0E+04	0	0	3	3.9E+04	0	0
50	119m	Sn	8.0E-01	0	0	0	0	0	0	0	0
51	124	Sb	1.6E-01	0	0	1	1.3E+04	2	4.2E+07	1	2.9E+00
51	125	Sb	2.8E+00	1	7.5E+03	0	0	1	2.1E+05	0	0
53	125	I	1.6E-01	0	0	0	0	0	0	0	0
53	129	I	1.6E+07	3	3.9E+06	0	0	2	7.5E+06	0	0
53	131	I	2.2E-02	2	5.0E+07	0	0	3	1.4E+08	0	0
131I-131mXe				0	0	0	0	0	0	0	0
55	134	Cs	2.1E+00	9	1.6E+10	0	0	10	8.0E+09	0	0
55	137	Cs	3.0E+01	12	1.7E+14	13	7.4E+12	13	1.6E+14	13	7.0E+12
56	133	Ba	1.1E+01	5	1.1E+07	1	5.6E+07	5	9.3E+06	1	6.1E+07
58	139	Ce	3.8E-01	2	7.3E+03	1	3.1E+02	2	9.7E+03	1	7.8E+00
58	141	Ce	8.9E-02	1	1.9E+01	0	0	1	3.9E+04	0	0
58	144	Ce	7.8E-01	3	2.8E+06	0	0	3	6.3E+05	0	0
61	147	Pm	2.6E+00	5	3.3E+08	1	5.2E+07	5	1.9E+08	1	3.0E+07
62	151	Sm	8.7E+01	1	4.1E+06	1	1.8E+09	0	0	1	1.8E+09
63	152	Eu	1.3E+01	5	3.7E+09	2	4.5E+07	6	3.3E+09	2	2.5E+07
63	154	Eu	8.6E+00	1	7.8E+06	0	0	1	6.6E+06	0	0
63	155	Eu	5.0E+00	1	7.0E+05	0	0	1	3.0E+05	0	0
64	153	Gd	6.6E-01	1	1.3E+06	0	0	2	4.1E+05	0	0
65	160	Tb	2.0E-01	0	0	0	0	0	0	0	0
67	166m	Ho	1.2E+03	2	1.4E+06	0	0	2	1.4E+06	0	0
69	170	Tm	3.5E-01	1	4.1E+09	0	0	1	3.6E+08	0	0
70	169	Yb	8.2E-02	0	0	0	0	1	7.4E+10	0	0

表 5.3.4 施設別RI保有量(2/4)

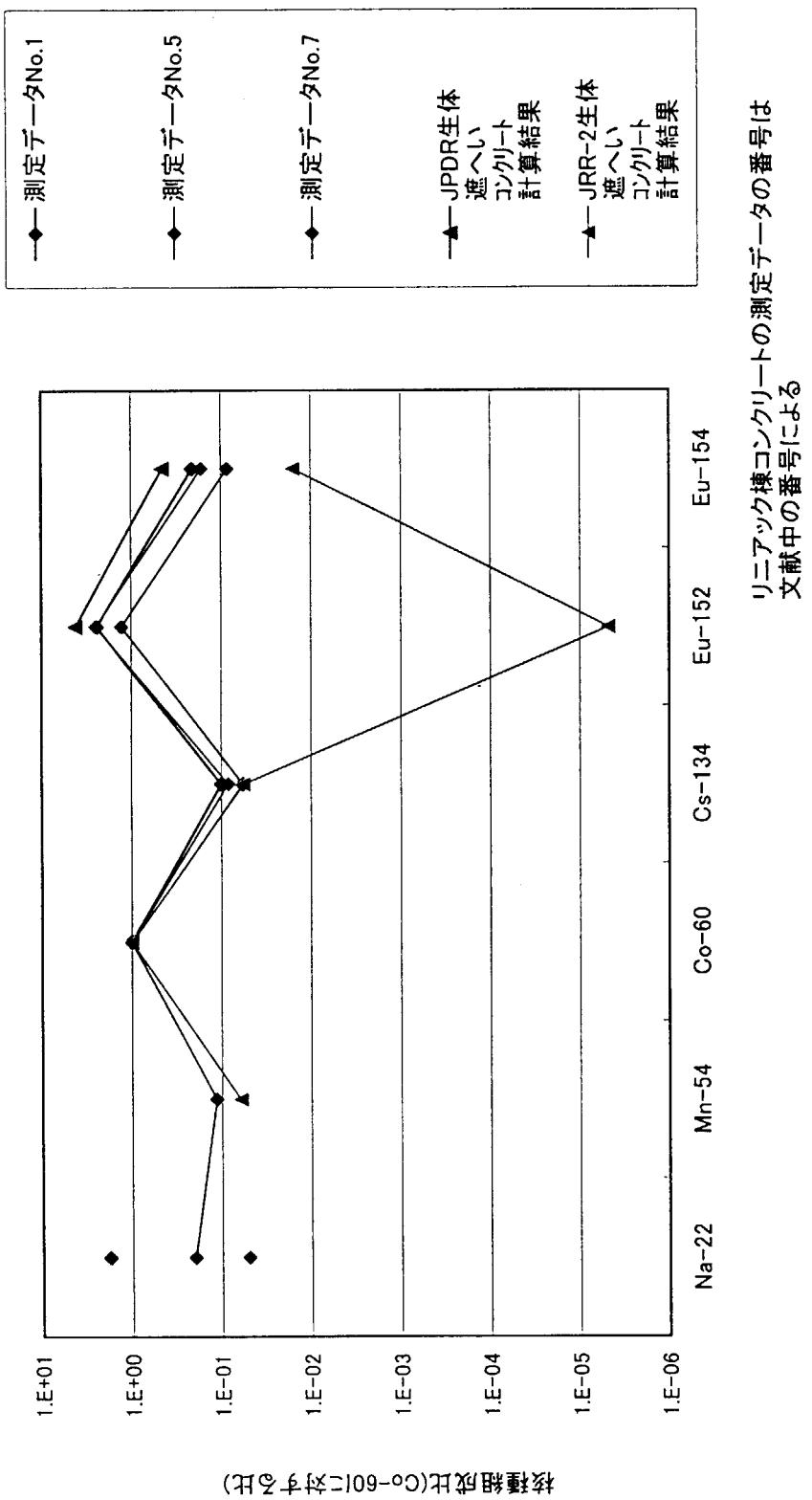
核種種類			半減期 (y)	H5年度				H7年度				
原子 番号	質量数	元素 記号		非密封		密封		非密封		密封		
				使用 施設数	放射能 量(Bq)	使用 施設数	放射能 量(Bq)	使用 施設数	放射能 量(Bq)	使用 施設数	放射能 量(Bq)	
73	182	Ta	3.1E-01	0	0	0	0	1	8.2E+08	0	0	
74	181	W	3.3E-01	0	0	0	0	1	6.3E+07	0	0	
74	185	W	2.1E-01	0	0	0	0	2	2.8E+06	0	0	
77	192	Ir	2.0E-01	1	5.5E+13	0	0	1	6.5E+13	0	0	
79	198	Au	7.4E-03	0	0	0	0	0	0	0	0	
80	203	Hg	1.3E-01	1	5.4E+03	0	0	2	1.1E+04	0	0	
81	204	Tl	3.8E+00	2	4.3E+06	1	3.0E+07	3	1.8E+09	1	2.1E+07	
82	210	Pb	2.2E+01	1	1.8E+07	0	0	1	8.3E+04	0	0	
83	207	Bi	3.8E+01	1	8.7E+04	0	0	1	8.4E+04	0	0	
84	208	Po	2.9E+00	1	1.6E+01	0	0	1	1.0E+01	0	0	
84	210	Po	3.8E-01	2	2.0E+05	0	0	1	1.9E+05	0	0	
88	226	Ra	1.6E+03	2	4.4E+07	5	2.9E+09	2	4.4E+07	5	2.9E+09	
91	231	Pa	3.3E+04	2	1.0E+08	0	0	2	8.4E+07	0	0	
93	237	Np	2.1E+06	8	7.3E+08	1	5.5E+08	9	1.4E+09	1	5.5E+08	
95	241	Am	4.3E+02	10	2.5E+11	11	2.6E+12	10	2.5E+11	11	2.6E+12	
95	243	Am	7.4E+03	3	1.1E+08	0	0	4	9.2E+07	0	0	
96	244	Cm	1.8E+01	7	1.3E+13	2	1.6E+11	7	1.2E+13	2	1.4E+11	
96	248	Cm	3.5E+05	0	0	0	0	1	7.6E+03	0	0	
98	252	Cf	2.6E+00	1	4.5E+05	8	1.2E+09	1	2.7E+05	9	1.7E+09	
F.P.				1	4.0E+07	0	0	0	0	0	0	
ガラス照射物				1	6.0E+10	0	0	0	0	0	0	
241Am-Be				0		12	1.1E+12	0		13	1.2E+12	
226Ra-Be				0		7	4.0E+10	0		6	3.2E+10	
RaD-Be				0		3	2.6E+09	0		3	2.5E+09	
244Cm-C				0		1	1.5E+09	0		1	1.4E+09	
241Am-B				0		1	3.7E+09	0		1	3.7E+09	
241Am-C				0		1	3.7E+10	0		1	3.7E+10	
241Am-F				0		1	3.7E+09	0		1	3.7E+09	
241Am-Li				0		2	1.3E+11	0		2	1.3E+11	
241Am-O				0		1	3.7E+10	0		1	3.6E+10	
Al放射化物				0		0	0	0		0	0	
Fe放射化物				0		0	0	0		0	0	
Ni放射化物				0		0	0	0		0	0	
Cu放射化物				0		0	0	0		0	0	
Nb放射化物				0		0	0	0		0	0	
Au放射化物				0		0	0	0		0	0	
Pb放射化物				0		0	0	0		0	0	
W放射化物				0		0	0	0		0	0	

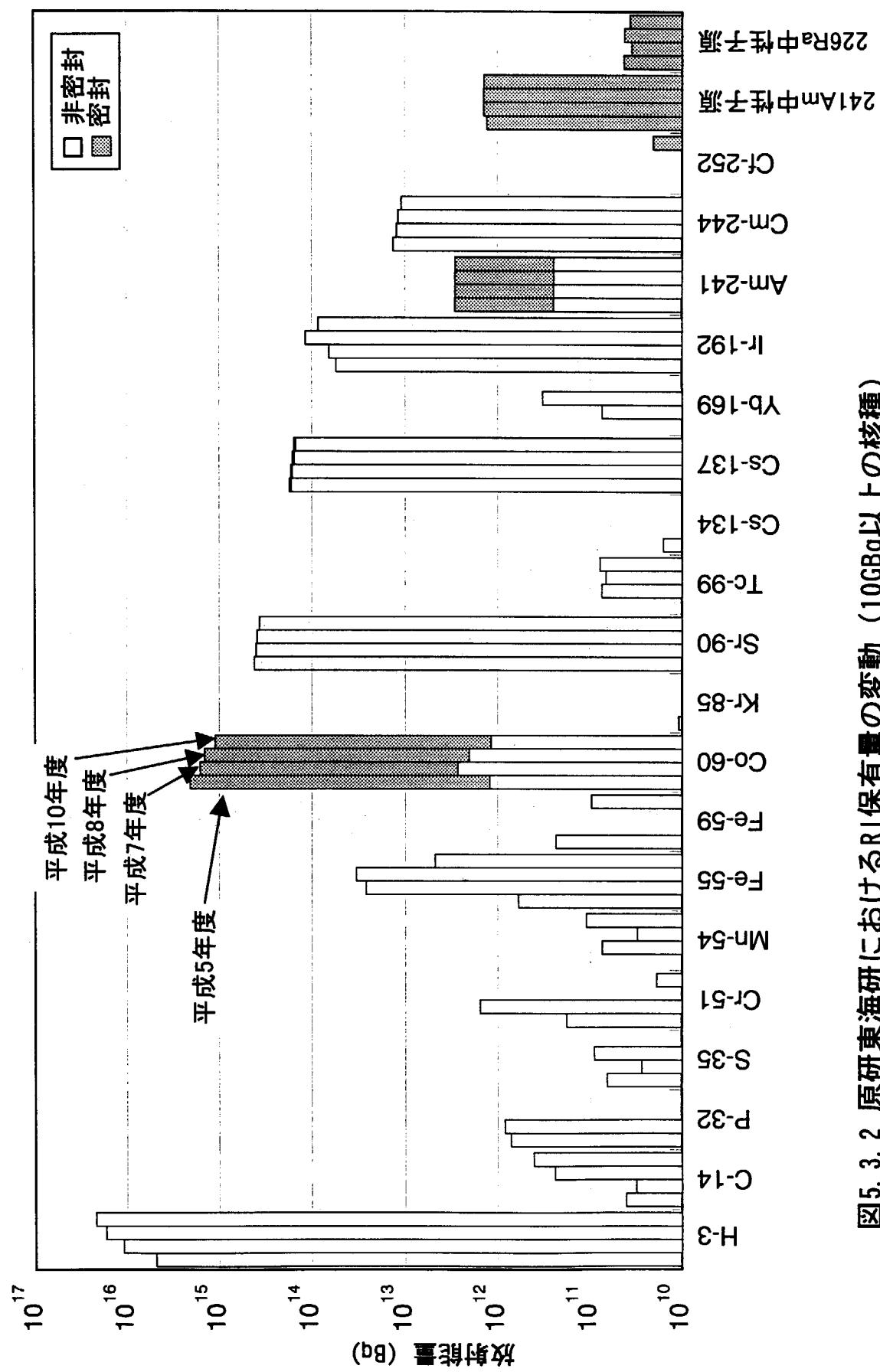
表 5.3.4 施設別RI保有量(3/4)

核種種類			半減期(y)	H8年度				H10年度			
				非密封 使用 施設数	放射能 量(Bq)	密封 使用 施設数	放射能 量(Bq)	非密封 使用 施設数	放射能 量(Bq)	密封 使用 施設数	放射能 量(Bq)
1	3	H	1.2E+01	9	1.7E+16	6	2.4E+12	9	2.2E+16	4	2.0E+12
6	14	C	5.7E+03	9	2.4E+11	0		8	4.1E+11	0	
11	22	Na	2.6E+00	3	5.7E+08	0		2	4.3E+07	1	2.5E+08
11	24	Na	1.7E-03	0		0		1	8.7E+03	0	
12	28	Mg	2.4E-03	0		0		0		0	
14	31	Si	3.0E-04	0		0		0		0	
15	32	P	3.9E-02	0		0		1	2.4E+05	0	
15	33	P	6.9E-02	0		0		2	1.5E+04	0	
16	35	S	2.4E-01	1	9.0E+10	0		0		0	
17	36	Cl	3.0E+05	1	4.6E+06	0		2	8.6E+06	0	
20	45	Ca	4.5E-01	3	8.3E+05	0		4	1.3E+06	0	
21	46	Sc	2.3E-01	0		0		0		0	
24	51	Cr	7.6E-02	4	7.2E+09	1	2.9E+07	1	1.9E+10	1	2.9E+05
25	54	Mn	8.6E-01	7	3.0E+10	0		4	1.1E+11	0	
26	55	Fe	2.7E+00	4	3.4E+13	0		5	4.8E+12	1	6.6E+08
26	59	Fe	1.2E-01	3	2.0E+07	1	1.1E+09	3	9.7E+10	0	
27	57	Co	7.4E-01	6	6.9E+06	4	2.2E+09	6	1.9E+06	4	2.3E+09
27	58	Co	1.9E-01	2	1.5E+07	0		2	6.3E+07	0	
27	60	Co	5.3E+00	13	2.0E+12	12	1.4E+15	13	1.2E+12	13	1.1E+15
28	59	Ni	7.5E+04	0		0		1	3.1E+04	0	
28	63	Ni	1.0E+02	8	3.7E+09	3	1.2E+09	8	3.0E+09	2	7.1E+08
30	65	Zn	6.7E-01	3	4.9E+08	0		4	6.3E+07	0	
32	71	Ge	3.2E-02	0		0		0		0	
34	75	Se	3.3E-01	2	2.6E+07	0		2	1.8E+06	0	
36	85	Kr	1.1E+01	3	8.6E+09	1	1.1E+08	3	7.6E+09	1	9.3E+07
38	85	Sr	1.8E-01	2	5.9E+06	1	3.4E-08	1	9.5E+05	1	1.4E-11
38	89	Sr	1.4E-01	1	5.1E+03	0		0		0	
38	90	Sr	2.9E+01	7	3.9E+14	1	7.6E+08	6	3.7E+14	1	6.8E+08
39	88	Y	3.0E-01	2	9.6E+03	0		1	8.4E+01	0	
40	95	Zr	1.8E-01	2	9.2E+06	0		3	3.4E+07	0	
41	94	Nb	2.0E+04	0		0		1	7.7E+05	0	
41	95	Nb	9.6E-02	0		0		1	4.1E+07	0	
42	99	Mo	7.5E-03	1	1.0E+04	0		1	2.2E+02	0	
43	95m	Tc	1.7E-01	1	2.9E+07	0		1	2.8E+07	0	
43	99	Tc	2.1E+05	7	6.7E+10	0		6	7.8E+10	0	
44	103	Ru	1.1E-01	1	9.1E+06	0		1	2.2E+07	0	
44	106	Ru	1.0E+00	4	6.5E+07	0		2	1.6E+07	0	
47	110m	Ag	6.9E-01	1	1.1E+04	0		1	2.9E+06	0	
48	109	Cd	1.3E+00	6	8.1E+06	0		6	2.8E+06	0	
50	113	Sn	3.2E-01	3	6.1E+03	0		3	2.2E+06	0	
50	119m	Sn	8.0E-01	0		0		1	1.8E+09	0	
51	124	Sb	1.6E-01	1	8.8E+07	1	4.4E-02	1	2.0E+04	1	9.8E-06
51	125	Sb	2.8E+00	2	1.7E+05	0		3	1.5E+09	0	
53	125	I	1.6E-01	1	8.2E+06	0		2	4.5E+04	0	
53	129	I	1.6E+07	1	7.1E+04	0		4	8.0E+05	0	
53	131	I	2.2E-02	3	1.2E+08	0		1	1.3E+08	0	
131I-131mXe				1	2.1E+06	0		0		0	
55	134	Cs	2.1E+00	9	4.9E+09	0		9	2.4E+09	0	
55	137	Cs	3.0E+01	12	1.5E+14	13	6.9E+12	10	1.5E+14	9	6.5E+12
56	133	Ba	1.1E+01	5	1.2E+07	1	5.8E+07	5	1.2E+07	1	5.1E+07
58	139	Ce	3.8E-01	1	2.3E+03	1	1.2E+00	1	5.8E+01	1	3.0E-02
58	141	Ce	8.9E-02	2	6.1E+03	0		0		0	
58	144	Ce	7.8E-01	3	6.6E+05	0		2	4.3E+04	0	
61	147	Pm	2.6E+00	5	1.5E+08	1	2.3E+07	3	5.2E+07	1	5.6E+09
62	151	Sm	8.7E+01	0		1	1.8E+09	0		1	1.8E+09
63	152	Eu	1.3E+01	7	3.1E+09	2	2.4E+07	6	2.6E+09	2	2.2E+07
63	154	Eu	8.6E+00	1	6.1E+06	0		1	3.2E+06	0	
63	155	Eu	5.0E+00	1	2.6E+05	0		0		0	
64	153	Gd	6.6E-01	2	5.8E+06	0		1	7.1E+05	0	
65	160	Tb	2.0E-01	1	4.5E+05	0		1	4.2E+04	0	
67	166m	Ho	1.2E+03	2	1.4E+06	0		2	3.7E+06	0	
69	170	Tm	3.5E-01	2	2.1E+09	0		2	4.1E+07	0	
70	169	Yb	8.2E-02	1	3.3E+11	0		0		0	

表 5.3.4 施設別RI保有量(4/4)

核種種類			半減期(y)	H8年度				H10年度			
				非密封		密封		非密封		密封	
原子番号	質量数	元素記号	使用施設数	放射能量(Bq)	使用施設数	放射能量(Bq)	使用施設数	放射能量(Bq)	使用施設数	放射能量(Bq)	
73	182	Ta	3.1E-01	1	9.0E+07	0	0		0		
74	181	W	3.3E-01	1	7.8E+06	0	0		0		
74	185	W	2.1E-01	1	4.2E+04	0	0		0		
77	192	Ir	2.0E-01	1	1.2E+14	0	1	8.5E+13	0		
79	198	Au	7.4E-03	0		0	0		0		
80	203	Hg	1.3E-01	1	7.6E+01	0	0		0		
81	204	Tl	3.8E+00	3	1.1E+09	1	1.7E+07	3	7.7E+08	1	1.2E+07
82	210	Pb	2.2E+01	2	3.1E+05	0	1	1.7E+05	0		
83	207	Bi	3.8E+01	1	8.2E+04	0	1	7.8E+04	0		
84	208	Po	2.9E+00	1	8.1E+00	0	0		0		
84	210	Po	3.8E-01	0		0	0		0		
88	226	Ra	1.6E+03	2	4.5E+07	5	2.9E+09	1	3.7E+07	3	2.4E+09
91	231	Pa	3.3E+04	2	8.4E+07	0	2	8.4E+07	0		
93	237	Np	2.1E+06	8	1.0E+09	1	5.5E+08	6	1.5E+09	2	5.6E+08
95	241	Am	4.3E+02	10	2.5E+11	10	2.6E+12	9	2.5E+11	10	2.6E+12
95	243	Am	7.4E+03	4	1.4E+08	0	4	1.7E+09	0		
96	244	Cm	1.8E+01	6	1.2E+13	2	1.4E+11	5	1.1E+13	2	1.2E+11
96	248	Cm	3.5E+05	1	7.6E+03	0	2	9.4E+04	0		
98	252	Cf	2.6E+00	1	2.1E+05	9	3.4E+09	2	1.5E+06	6	2.0E+10
F.P.				0		0	0		0		
ガラス照射物				0		0	0		0		
241Am-Be				0		14	1.2E+12	0		12	1.2E+12
226Ra-Be				0		7	3.9E+10	0		5	3.5E+10
RaD-Be				0		3	2.4E+09	0		2	1.1E+09
244Cm-C				0		1	1.3E+09	0		1	1.2E+09
241Am-B				0		1	3.6E+09	0		1	3.6E+09
241Am-C				0		1	3.6E+10	0		1	3.6E+10
241Am-F				0		1	3.6E+09	0		1	3.6E+09
241Am-Li				0		2	1.3E+11	0		2	1.3E+11
241Am-O				0		1	3.6E+10	0		1	3.6E+10
Al放射化物				0		0	1	1.5E+06	0		
Fe放射化物				0		0	1	4.3E+05	0		
Ni放射化物				0		0	1	1.7E+06	0		
Cu放射化物				0		0	1	1.1E+06	0		
Nb放射化物				0		0	1	4.2E+06	0		
Au放射化物				0		0	1	2.7E+06	0		
Pb放射化物				0		0	1	3.5E+07	0		
W放射化物				0		0	1	1.3E+07	0		





This is a blank page.

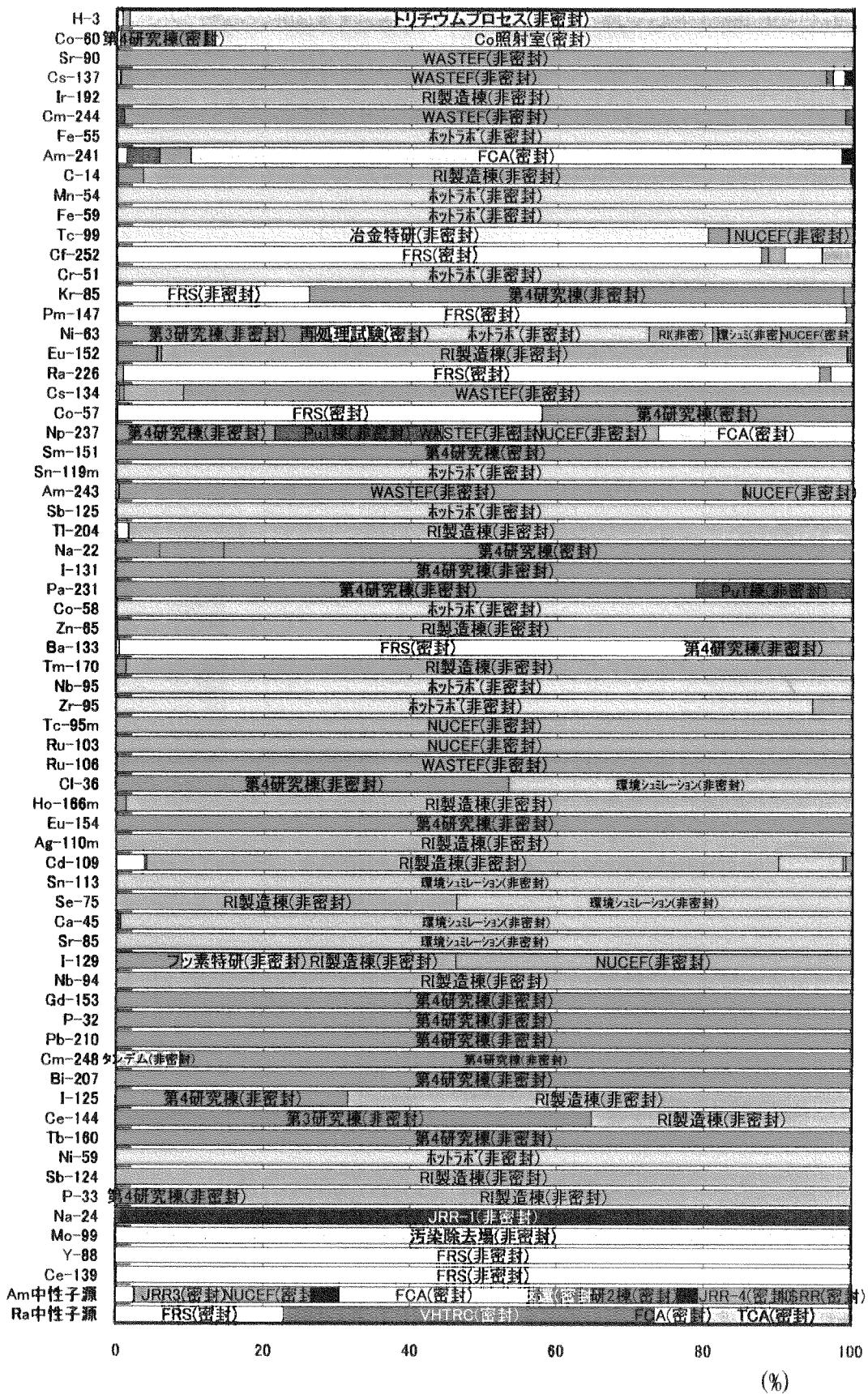


図5.3.3 RI保有量に関する調査結果(平成10年度)

建屋別RI保有リスト(1999年3月31日現在)保健物理部資料に基づく

This is a blank page.

6. 核種組成比の評価

これまで、研究施設を原子炉施設、核燃料物質使用施設、RI 使用施設に分類し、それぞれの代表施設から発生する廃棄物について、廃棄物発生記録の調査、廃棄物発生源である各施設における取扱試料の燃焼・放射化計算、試料および廃棄物等の測定データの調査、核種組成比の変動の調査を行ってきた。ここでは、これらの結果に基づいて、原子炉施設、核燃料物質使用施設、RI 使用施設から発生する廃棄物について、それぞれ代表核種組成比を設定する。これら核種組成比は、今後、研究所等廃棄物の埋設処分の安全評価上重要な核種を選定する際に必要な廃棄体種類ごとの核種別放射能量、放射能濃度分布および処分形態ごとの核種別埋設放射能量等を評価するのに用いる計画である。

6.1 原子炉施設

原子炉施設から発生する固体廃棄物は、定常時では冷却材を起源として汚染されたものであり、解体、改造および機器の交換等からは、汚染かつ放射化した金属およびコンクリートが発生する。放射化した金属中の核種組成比は 5.1.3 において計算を行った結果によると、同一の材料では中性子フラックス、照射時間等の照射条件に依存し、異なる材料間では材料の元素組成比に依存する。廃棄物中の核種組成比は、各構成材料の廃棄物への移行割合、各核種の冷却材への溶解度等、様々な要因により決定されると考えられる。

ここでは、原子炉施設から発生する廃棄物を (1) 定常時に発生する冷却材を起源として汚染した廃棄物、(2) 解体・改造時に発生する放射化コンクリート、(3) 解体・改造時に発生する放射化金属の 3 種類に分類し、それぞれの核種組成を次のように設定した。

(1) 冷却材を起源として汚染した廃棄物

- ① 冷却材中の放射性核種の種類は、主に冷却材自体の放射化生成物および原子炉構成材料の放射化生成物である。したがって、冷却材への原子炉構成材料中に生成した核種の溶解がほぼ均一に起こるものと保守側に仮定すれば、冷却材中の核種組成比は原子炉構成材料中の核種組成比に冷却材自体の放射化により生成する核種の放射能量を考慮した核種組成比となる。
- ② 原子炉構成材料の核種組成比は、図 5.1.4 に示すように、材料間で変動が大きくなっているので、冷却材中の核種組成比を推定するためには、各原子炉構成材料で生成した放射化核種の冷却材への溶解割合を推定する必要があるが、5.1 の原子炉施設の調査結果からは困難である。したがって、冷却材中の原子炉構成材料で生成する放射化核種の核種組成比は、保守側として、核種ごとに各原子炉構成材料間における核種組成比の最大値を採用する。
- ③ H-3、C-14 に関しては冷却材中にも生成すると考えられ、図 5.1.4 に示すように、H-3 の冷却材での組成比は原子炉構成材料での組成比より大きくなっている。また、冷却材中の H-3 の組成比は、JRR-2 の重水中で最も高くなっているが、表 5.1.7 によると重水の使用量は軽水の使用量と比較して少ないため、軽水の測定データで最も大きい値であった JRR-2

における軽水中の測定データから求めた組成比の値とする。C-14 に対しては測定値が無いため、放射化計算結果において組成比が最も大きかった JPDR のコンクリートの組成比を用いる。

- ④ また、汚染廃棄物には Cs-137 等の核分裂生成物で汚染された廃棄物も僅かに発生するものと考えられる。

(2) 放射化コンクリート

放射化コンクリートについては、JRR-2 および JPDR の生体遮へい体コンクリートについて放射化計算を行ったが、コンクリート元素組成比が厳密に設定されている JPDR の生体遮へいコンクリートの核種組成比を代表組成比とする。

(3) 放射化金属

放射化金属については、汚染廃棄物の組成比と同様に各原子炉構成材料において、Co-60 に対する組成比の最大値を採用する。

上記により設定した汚染廃棄物、放射化コンクリート、放射化金属の代表組成比を予備的検討で検討対象とした 81 核種について表 6.1.1 に示す。また、81 核種および 5.1 で検討された核種のうち主なものについて図 6.1.1 に示す。

6.2 核燃料物質使用施設

核燃料物質使用施設のうち照射後試験施設から発生する廃棄物は、照射済の試験燃料・材料に含まれる核種によって汚染されたものである。したがって、汚染廃棄物中には、放射化生成核種、核分裂生成核種、アクチノイド系列核種が含まれる。また、照射済の試験燃料・材料も廃棄物となる。5.2.2 の照射後試験施設における試験試料記録による調査結果から、照射後試験施設で取り扱われる試験燃料・材料の種類が多いため、廃棄物中の核種組成比は変動するものと考えられる。

ここでは、照射後試験施設から発生する廃棄物を、(1)照射済燃料を汚染源とする廃棄物、(2)照射済材料を汚染源とする廃棄物、(3)照射済燃料および材料を汚染源とする廃棄物の 3 種類に分類し、それぞれの核種組成比を次のように設定した。

(1) 照射済燃料を汚染源とする廃棄物

- ① 照射済燃料中に含まれる核種は、核分裂生成物とアクチノイド系列核種である。ここでは、照射済燃料に含まれる核種が全て同じ比率で廃棄物に移行するとし、照射済燃料で汚染された廃棄物中に含まれる核種組成比は、照射済燃料中の核種組成比と同一であると仮定する。
- ② 燃焼計算により求めた各試験燃料における核分裂生成核種の組成比は、図 5.2.4 に示すように、変動幅が小さく、廃棄物の測定データから得られた核種組成比とも比較的良い相関を示している(図 5.2.9 参照)。
- ③ 燃焼計算により求めた各試験燃料におけるアクチノイド系列核種の組成比は、図 5.2.5 に示すように、一部の照射条件における試験燃料中の核種組成比を除いては、変動幅が小さい。一方、廃棄物および WASTEF の試料の測定データから求めた Am-241、Cm-244 の組成比は、燃焼計算結果より求めた平均組成比より 1 枝程度大きく、最大組成比に近い値となつ

ている(図 5.2.9 および図 5.2.10 参照)。

- ④ 照射済燃料を汚染源とする廃棄物中に含まれる核分裂生成核種およびアクチノイド系列核種の代表核種組成比については、図 5.2.5 に示すように、アクチノイド系列核種の組成比に変動が見られるが、各試験燃料の廃棄物移行量には差が見られること(図 5.2.1 参照)、また、アクチノイド系列核種の生成量に対して 2、3 種類の燃料がほとんどの割合を占めていること(図 5.2.3 参照)から、計算結果から求めた各燃料の放射能濃度と試験試料記録による調査で得られた廃棄物移行量から求めた平均核種組成比とする。
- ⑤ 照射後試験施設から発生する各種の試験燃料自体も廃棄物となる。各試験燃料中の核種組成比は図 5.2.4 および図 5.2.5 に見られるように、個々に設定する必要があるが、ここでは、全ての種類の試験燃料中の核種組成比について、前項で設定した照射済燃料を汚染源とする廃棄物の核種組成比を適用する。
- ⑥ WASTEF から発生する再処理廃液で汚染された廃棄物の核種組成比は、燃料試験施設から発生する廃棄物中の核種組成比と同様の傾向が見られたので(図 5.2.10 参照)、(1)④ で設定した照射済燃料を汚染源とする廃棄物の核種組成比を適用する。
- (2) 照射済材料を汚染源とする廃棄物
 - ① 照射済材料において、SUS304、ジルカロイ・2 等、単一の材料での照射条件が異なることによる核種組成比の変動幅は比較的小さいが、材料間でみると、図 5.2.8 で見られるように、その変動幅はかなり大きいものとなっている。一方、放射化材料の廃棄物移行量は SUS304 が最も多く、また、放射化核種の生成に対しても SUS304 からの生成量がほとんどの割合を占めている(図 5.2.2 および図 5.2.3 参照)。
 - ② 照射済材料を汚染源とする廃棄物中に含まれる放射化生成核種の組成比は、SUS304 の核種組成比に近いものとなると推定されるが、SUS304 の放射化からは生成されない核種もあることを考慮して、各核種について保守側に総放射能量が 1%以上である材料における組成比の平均値を求め、それを代表核種組成比とする。
- (3) 照射済燃料および材料を汚染源とする廃棄物
 - ① 燃料集合体の試験等において、照射済試験燃料と照射済試験材料を同時に取り扱う場合に発生する照射後試験施設からの汚染廃棄物の核種組成比は、照射済燃料に含まれる核分裂生成核種、アクチノイド系列核種および照射済材料に含まれる放射化生成核種を合わせた組成比になるものと考えられる。
 - ② しかしながら、その廃棄物中に含まれる核分裂生成核種およびアクチノイド系列核種の種類と放射能濃度は、廃棄物中の Cs-137 の放射能濃度を評価し、Cs-137 の放射能濃度から(1)④で設定した核種組成比を適用することにより評価することが可能であり、放射化生成核種の種類と放射能濃度は、廃棄物中の Co-60 の放射能濃度を評価し、Co-60 の放射能濃度から(2)②で設定した核種組成比を適用することにより評価することが可能である。

上記により設定した照射済燃料を汚染源とする廃棄物中の核分裂生成核種、アクチノイド系列核種および照射済材料を汚染源とする廃棄物中の放射化生成核種の代表核種組成比を予備的検討で検討対象とされた 81 核種について表 6.1.1 に示す。また、それらの代表核種組成比と 5.2.3 の放

射化計算による調査結果で得られた試験燃料・材料ごとの核分裂生成核種、アクチノイド系列核種、放射化生成核種の平均核種組成比の比較を予備的検討で重要とされた 26 核種および測定データ等で得られた γ 線放出核種について図 6.2.1 から図 6.2.3 にそれぞれ示す。なお、予備的検討で得られた 81 核種のうち、図に示されていない核種についても傾向が大きく異なるものは無い。

6.3 RI 使用施設

RI 使用施設から発生する廃棄物には非密封および密封 RI の核種が含まれ、表 5.3.4 に示すように、各施設において保有 RI の種類および放射能量が異なるため、全 RI 使用施設について一つの代表核種組成比を設定することは困難である。したがって、核種組成比の代わりに廃棄物中に含まれる RI の種類および放射能量の設定を行うこととする。

現在、保有されている RI は将来全て廃棄物になると仮定すると、表 5.3.4 に示される RI の種類および放射能量が廃棄物に移行する。RI の保有期間は数年に及ぶものがほとんどであると考えられるため、年度ごとの RI 種類別の放射能量を積算することは過大評価になる。一方、図 5.3.2 に示すように Co-60、Cs-137、Am-241 等の主要な RI における各年度の保有量の変動は僅かである。したがって、調査期間における各 RI の最大保有放射能量を廃棄物へ移行する RI 種類別の放射能量に設定する。

また、RI 製造棟およびリニアック棟のように放射化生成物および核分裂生成物、TRU 核種を含む廃棄物を発生させる施設も存在する。それらの施設から発生する廃棄物については、その性状および汚染源に応じて、6.2 の核燃料物質使用施設で設定した放射化生成核種組成比、核分裂生成核種組成比、アクチノイド系列核種組成比を適用する。また、RI 製造棟における製造 RI の廃棄物中への移行量は、廃棄物発生記録を基に個々に設定する。

予備的検討で検討対象とされた 81 核種に該当する RI の最大保有放射能量について表 6.1.1 に示す。

表6.1.1 各施設区分において設定した代表核種組成比 (1/2)

核種名	原子炉施設			核燃料使用施設		RI使用施設 RI保有量
	汚染 廃棄物	放射化 コンクリート	放射化 金属	照射済燃料	照射済材料	
	核種組成比					
H-3	2.5E+04	1.9E+01	4.7E+02	5.5E-03	2.0E-04	2.2E+16
BE-10	1.9E-03	6.6E-08	1.9E-03	5.8E-11	1.9E-09	
C-14	7.4E-03	7.4E-03	1.3E-04	8.1E-06	5.5E-05	4.1E+11
AL-26		5.2E-07				
CL-36	3.4E-06	1.5E-04	3.4E-06		1.1E-06	8.6E+06
K-40	3.0E-12	2.2E-04	3.0E-12		9.8E-13	
CA-41	3.6E-05	2.2E-02	3.6E-05		1.6E-08	
MN-53						
FE-60						
CO-60	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.3E-04	1.0E+00	2.1E+15
NI-59	1.1E-03	2.1E-05	1.1E-03	2.0E-08	3.8E-04	3.1E+04
NI-63	1.3E-01	2.9E-03	1.3E-01	2.8E-06	5.6E-02	4.9E+09
SE-79	2.6E-08	1.9E-07	2.6E-08	3.7E-06	3.3E-08	
RB-87	1.0E-10	1.3E-05	1.0E-10	1.8E-10	2.2E-12	
SR-90	1.8E-14	3.6E-11	1.8E-14	5.9E-01	1.1E-06	4.2E+14
ZR-93	7.0E-11	1.7E-07	7.0E-11	1.6E-05	2.4E-07	
NB-94	1.3E-06	5.0E-05	1.3E-06		1.4E-06	7.7E+05
MO-93	1.3E-06	4.6E-07	1.3E-06	1.8E-09	1.1E-05	
TC-97						
TC-98				3.8E-11	3.0E-14	
TC-99	1.8E-07	9.8E-08	1.8E-07	1.3E-04	5.4E-08	7.8E+10
PD-107	2.0E-43	4.6E-09	2.0E-43	1.5E-06	2.0E-12	
AG-108M	4.0E-06	8.2E-05	4.0E-06	4.2E-10	1.8E-06	
CD-113M				5.5E-04	1.1E-09	
SN-126				7.6E-06	1.2E-11	
I-129	6.8E-33	1.2E-45	6.8E-33	3.2E-07	4.9E-13	7.5E+06
CS-135	3.3E-12	3.0E-11	3.3E-12	3.7E-06	1.2E-10	
CS-137	7.7E-16	1.3E-11	7.7E-16	1.0E+00	1.6E-06	1.7E+14
BA-133	2.1E-05	2.4E-03	2.1E-05		1.6E-05	7.1E+07
LA-138	1.7E-15	4.3E-09	1.7E-15	8.4E-16	2.0E-17	
ND-144	4.7E-20	3.5E-18	4.7E-20	1.2E-14	1.8E-20	
PM-145	9.9E-10	7.0E-05	9.9E-10		3.5E-10	
PM-146				1.8E-05	5.5E-11	
SM-146		1.7E-17		1.5E-12	7.1E-17	
SM-147	3.0E-16	2.7E-07	3.0E-16	1.7E-11	5.9E-16	
EU-150				9.2E-11	1.4E-16	
EU-152	1.6E-04	1.3E+00	1.6E-04	5.2E-05	3.9E-06	3.8E+09
EU-154	7.4E-05	2.2E-01	7.4E-05	1.0E-01	4.7E-06	7.8E+06
HO-166M	2.9E-07	3.1E-05	2.9E-07	1.4E-07	3.6E-07	3.7E+06
HF-178M2				1.6E-20	1.5E-05	
HF-182	1.6E-09	1.8E-14	1.6E-09		1.5E-12	
Re-186m						
OS-194	3.7E-42		3.7E-42		1.2E-15	
PB-202						
PB-205	1.9E-12	3.7E-10	1.9E-12		9.3E-13	
PB-210	3.8E-16		3.8E-16	5.6E-14	4.5E-15	1.8E+07

表6.1.1 各施設区分において設定した代表核種組成比 (2/2)

核種名	原子炉施設			核燃料使用施設		RI使用施設 RI保有量
	汚染 廃棄物	放射化 コンクリート	放射化 金属	照射済燃料	照射済材料	
	核種組成比					
BI-207						8.7E+04
BI-210M	4.3E-16	4.0E-16	4.3E-16	6.2E-24	2.2E-15	
RA-226	7.7E-16	7.9E-13	7.7E-16	4.2E-13	4.9E-17	4.5E+10
RA-228				2.7E-13	1.8E-13	
AC-227	1.6E-13	1.7E-10	1.6E-13	8.0E-12	4.7E-13	
TH-229	8.5E-12	1.0E-08	8.5E-12	1.7E-12	3.8E-13	
TH-230	7.8E-14	7.7E-11	7.8E-14	2.9E-10	7.2E-14	
TH-232	4.7E-11	6.2E-06	4.7E-11	9.4E-13	9.0E-13	
PA-231	1.4E-11	1.4E-08	1.4E-11	1.4E-10	1.3E-11	1.0E+08
U-232	6.9E-11	3.9E-10	6.9E-11	8.2E-08	7.6E-09	
U-233	3.8E-09	4.7E-06	3.8E-09	1.5E-09	1.5E-09	
U-234	7.9E-12	3.7E-10	7.9E-12	8.7E-06	2.3E-10	
U-235	1.2E-11	1.9E-07	1.2E-11	1.7E-07	1.6E-13	
U-236	4.2E-12	2.9E-10	4.2E-12	1.7E-06	7.0E-13	
U-238	2.8E-10	4.0E-06	2.8E-10	3.6E-06	6.1E-12	
NP-236				3.2E-11	3.1E-17	
NP-237	4.2E-13	4.3E-11	4.2E-13	2.0E-06	1.6E-12	2.1E+09
PU-238	1.1E-10	7.2E-11	1.1E-10	2.1E-02	2.3E-08	
PU-239	1.9E-08	2.4E-06	1.9E-08	3.6E-03	3.5E-09	
PU-240	2.3E-09	1.1E-09	2.3E-09	9.4E-03	5.4E-09	
PU-242	9.2E-15	6.9E-23	9.2E-15	3.9E-05	3.7E-11	
PU-244				7.9E-12	3.3E-17	
AM-241	3.7E-10	1.3E-12	3.7E-10	2.3E-03	1.1E-09	4.3E+12
AM-242M	9.3E-13		9.3E-13	6.8E-05	7.3E-11	
AM-243	1.4E-15	1.7E-28	1.4E-15	2.8E-04	6.7E-10	1.7E+09
CM-243	2.4E-15		2.4E-15	3.1E-04	6.0E-10	
CM-244	1.6E-15	7.4E-34	1.6E-15	3.7E-02	1.7E-07	1.3E+13
CM-245	1.7E-21		1.7E-21	2.8E-06	1.8E-11	
CM-246				1.1E-06	8.7E-12	
CM-247				4.6E-12	4.5E-17	
CM-248				1.9E-11	2.1E-16	
BK-247						
CF-249				3.3E-11	3.7E-16	
CF-250				1.6E-09	1.9E-14	
CF-251				1.0E-11	1.3E-16	

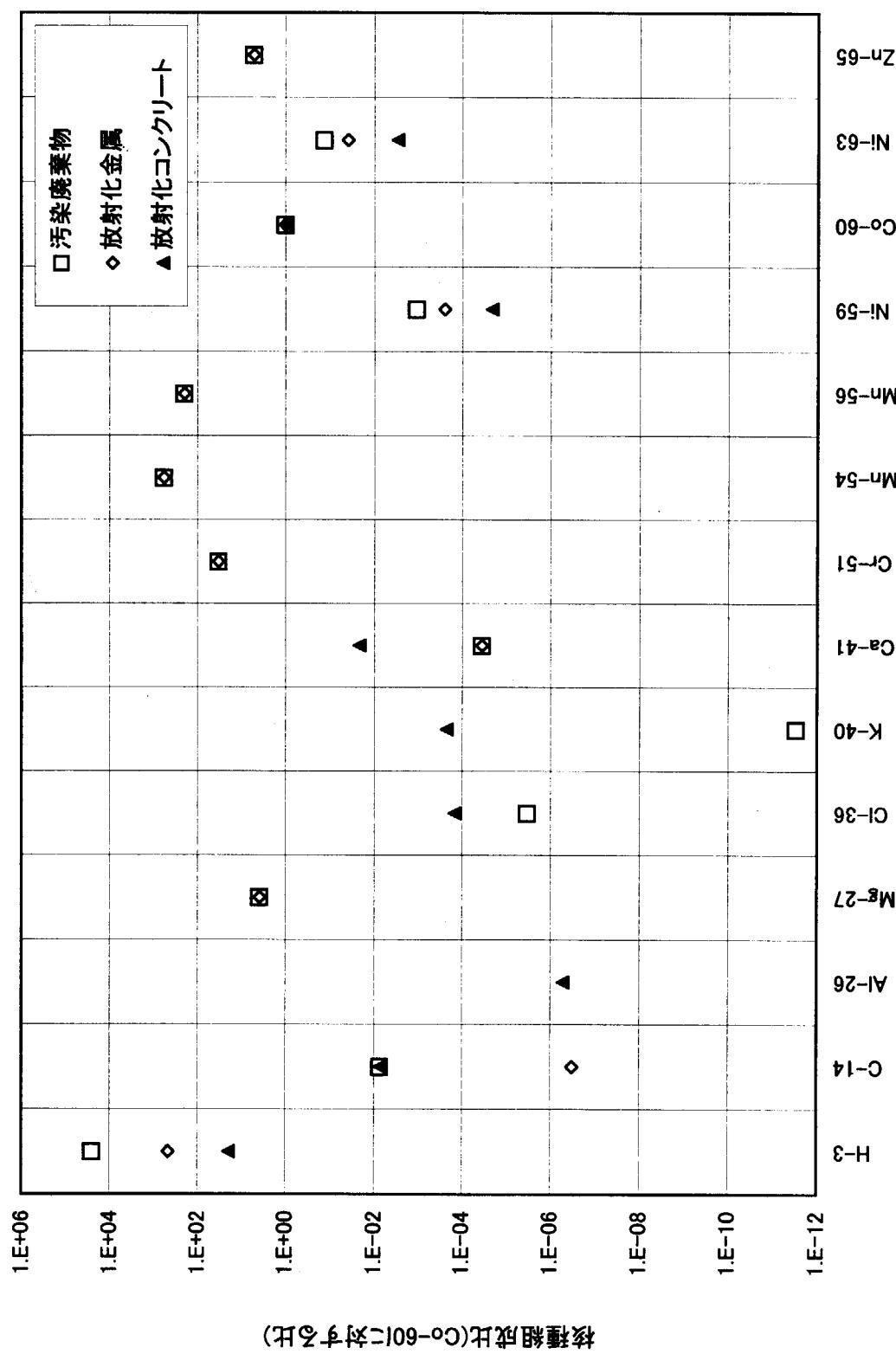


図6.1.1 原子炉施設から発生する廃棄物の代表核種組成比の評価結果

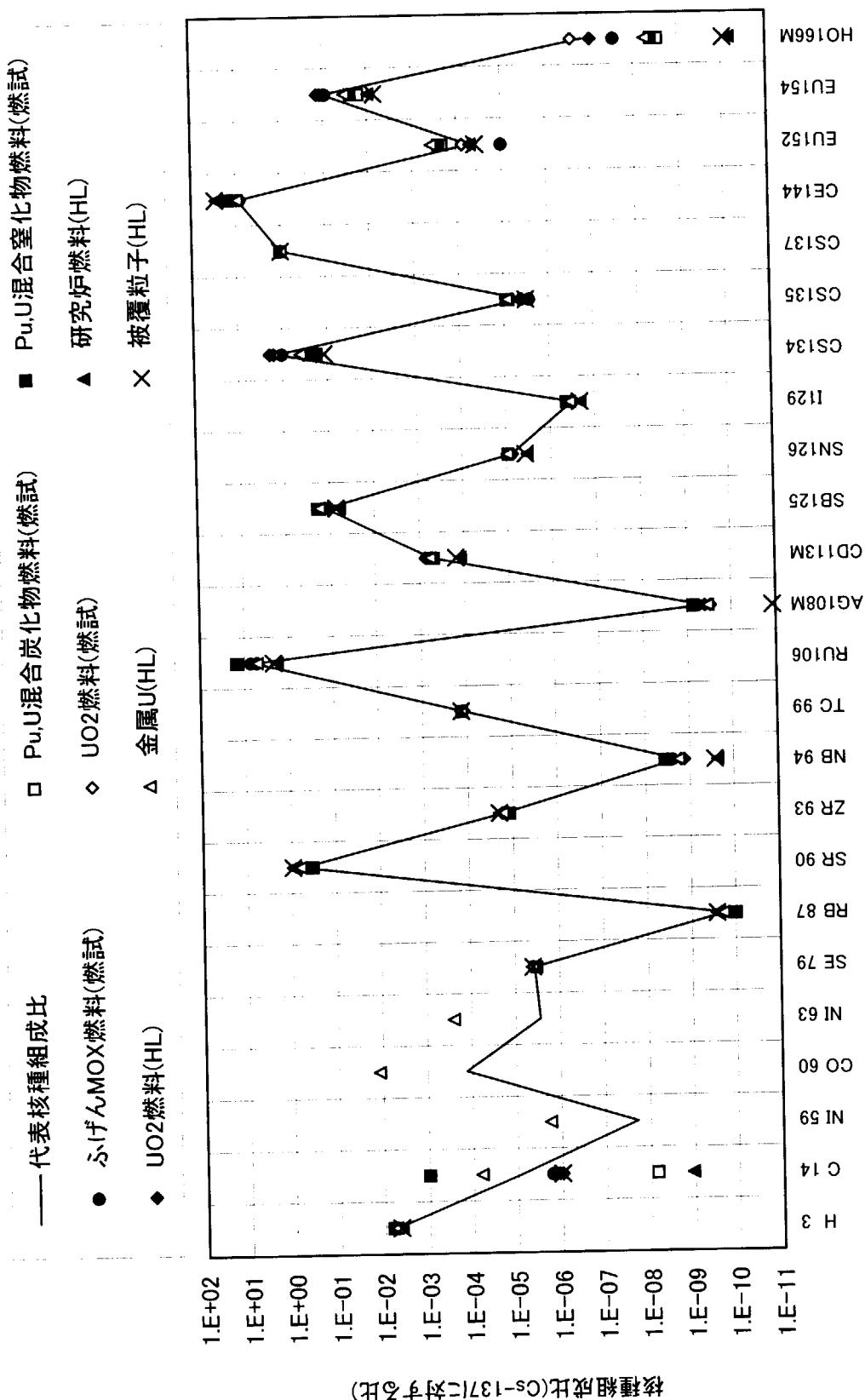


図6.2.1 照射済燃料で汚染された廃棄物中に含まれる核分裂生成物の代表核種組成比と燃焼計算で得られた燃料別核分裂生成物の平均核種組成比(燃料試験結果はホットラボ、燃焼計算結果は取り扱われた試料によるもの)

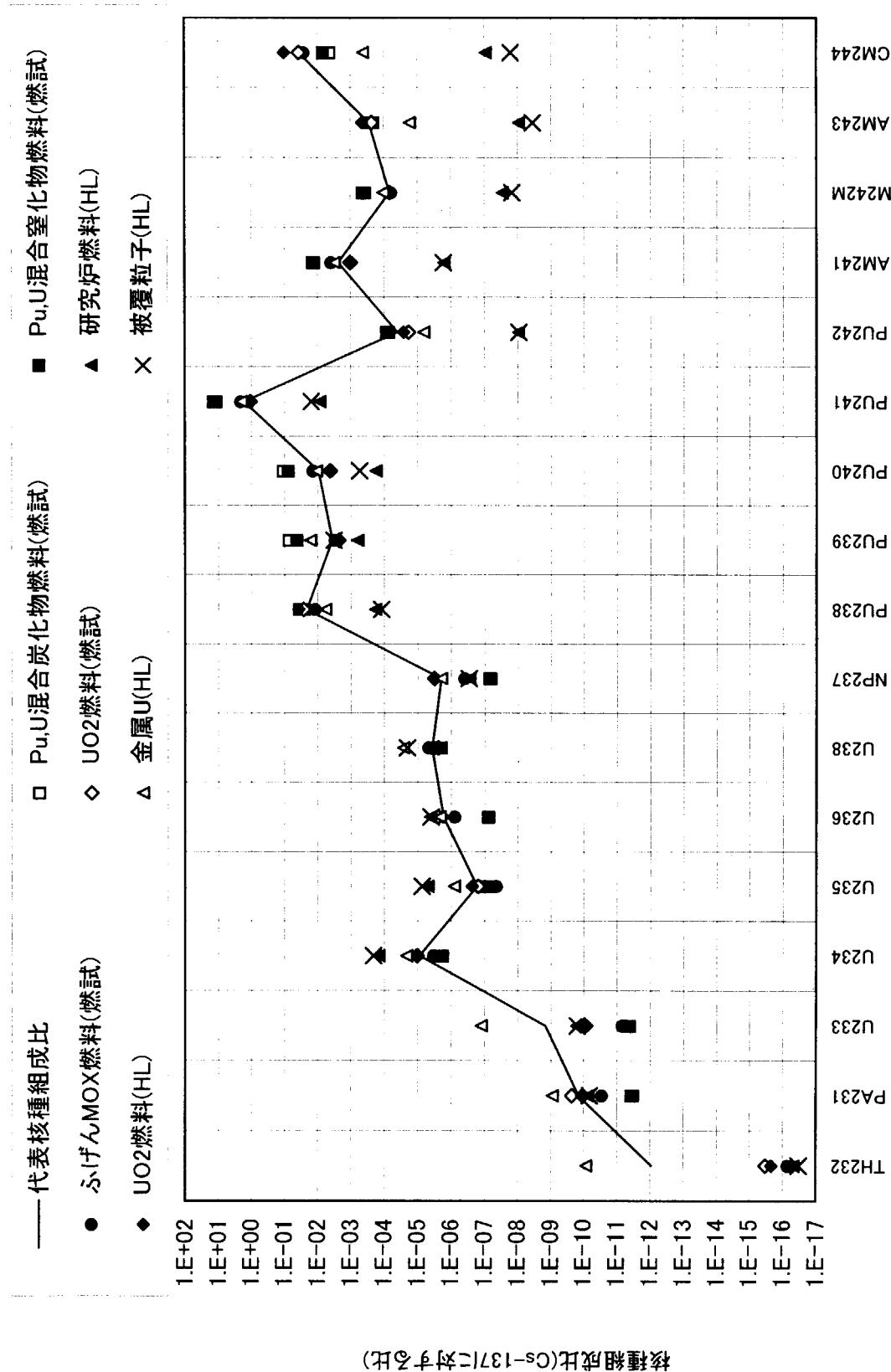


図6.2.2 照射済燃料で汚染された廃棄物中に含まれるアクチノイド系列核種の代表核種組成比と燃焼計算で得られた燃料別アクチノイド系列核種の平均核種組成比(燃焼計算結果はホットラボ、燃料試験結果は取り扱われた試料によるもの)

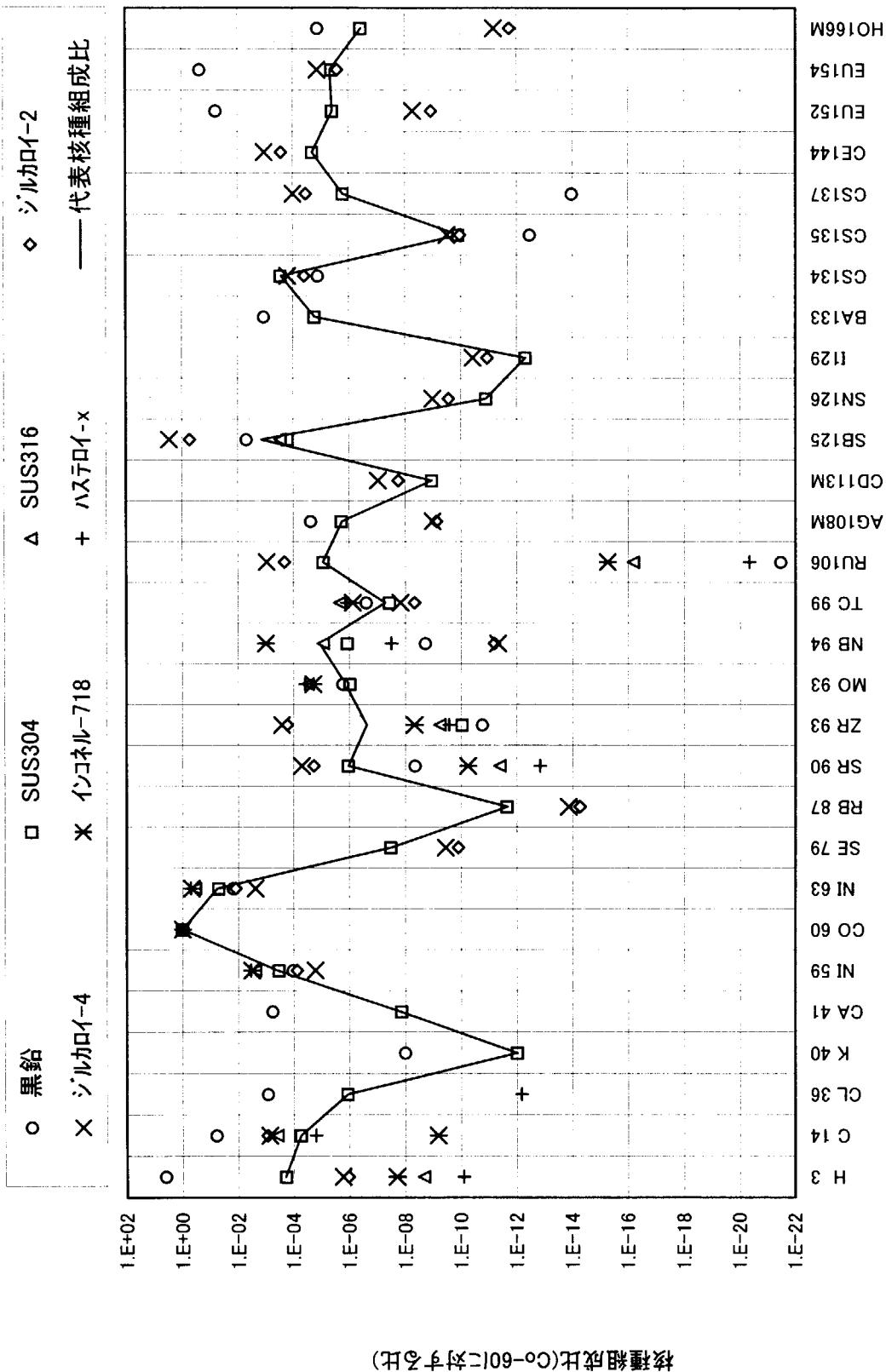


図6.2.3 照射後試験施設から発生する照射済材料で汚染された廃棄物の代表核種組成比と
放射化計算結果で得られた材料別の核種組成比
(放射化計算結果はホットラボ、燃料試験施設で取り扱われた試料によるもの)

7. まとめ

研究所等廃棄物中に含まれる核種の種類および組成比を推定するために、東海研の研究施設を原子炉施設、核燃料物質使用施設、RI 使用施設に区分し、それぞれの代表施設について、廃棄物発生記録等調査、試験試料等の燃焼・放射化計算調査、廃棄物等の放射能測定データ調査を行った。その結果に基づいて、各施設から発生する廃棄物中に含まれる核種組成比の評価を行った結果を、以下のようにまとめられる。

(1) 原子炉施設からの廃棄物の核種組成比等の調査

- ① 放射化計算調査結果から、コンクリートおよび各金属材料での放射化生成核種の組成比の変動幅は大きかった。また、廃棄物発生記録に無い Ni-59、Ni-63 等の放射化生成核種が廃棄物中に含まれることが推定された。
- ② 放射化計算調査および測定データ調査結果による Cr-51、Mn-54、Zn-65 の組成比から冷却材中には原子炉構成材料の放射化核種が含まれていた。
- ③ 測定データから求めた H-3 の核種組成比は、放射化計算による金属材料中の核種組成比よりもかなり大きいため、冷却材中の H-3 の組成比は冷却材中での生成量に依存するものと考えられた。

(2) 核燃料物質使用施設からの廃棄物の核種組成比等の調査

- ① 取り扱われた試験試料のうち廃棄物移行量が多かったのは、照射済燃料ではふげんの MOX 燃料および UO₂ 燃料であり、照射済材料では、SUS304 であった。
- ② 各照射済燃料からの核分裂生成核種およびアクチノイド系列核種の組成比の変動は 1 枝から 2 枝程度であると推定された。また、照射済材料において、SUS304、ジルカロイ-2 等、単一の材料での核種組成比の変動幅は、比較的小さかったが、材料間でみると、その変動幅は大きかった。
- ③ 廃棄物中に含まれる核分裂生成核種およびアクチノイド系列核種の放射能量はふげんの MOX 燃料および UO₂ 燃料の廃棄物からの割合が多く、放射化生成核種の放射能量は SUS304 の廃棄物からの割合が多かった。
- ④ WASTEF から発生する廃棄物中の核種組成比は燃料試験施設から発生する廃棄物中の核分裂生成核種およびアクチノイド系列核種の組成比と類似していた。

(3) RI 使用施設からの廃棄物の核種組成比等の調査

- ① RI 製造棟から発生する廃棄物は、主として製造 RI を含む廃棄物であるが、アルミキャップセル等の放射化廃棄物とその他の群分離試験からの核分裂生成核種および TRU 核種を含む廃棄物が発生していた。
- ② リニアック棟から発生した放射化コンクリートの核種組成比は原子炉施設における放射化コンクリートの核種組成比と同様であると推定された。

- ③ 東海研で使用された RI は全部で 82 種類であり、Am-241-Be 等の中性子源等を含めると 103 種類であった。また、Co-60、Cs-137、Am-241 等の各年度の保有量の変動は僅かであった。
- (4) (1)から(3)の結果から、原子炉施設、核燃料物質使用施設、RI 使用施設から発生する廃棄物について核種組成比を設定した。
 - ① 原子炉施設から発生する冷却材で汚染した廃棄物の代表核種組成比は、H-3 については JRR-2 における軽水の組成比の値、C-14 については JPDR の放射化コンクリートの組成比の値、その他の放射化生成核種については各原子炉構成材料間における組成比の最大値とした。放射化コンクリートの代表核種組成比は、JPDR の生体遮へいコンクリートの核種組成比とした。放射化金属廃棄物の代表核種組成比については、冷却材で汚染した廃棄物の組成比と同様に各原子炉構成材料において組成比の最大値とした。
 - ② 核燃料物質使用施設のうち照射後試験施設から発生する照射済燃料を汚染源とする廃棄物中に含まれる核分裂生成核種およびアクチノイド系列核種の組成比については、燃焼計算から得られた平均核種組成比を代表核種組成比とし、照射済材料を汚染源とする廃棄物中に含まれる放射化生成核種の組成比は、放射化計算結果より廃棄物中の核種別放射能量への寄与割合が 10% 以上である材料における組成比の平均値を求めて代表核種組成比とした。
 - ③ RI 使用施設から発生する廃棄物については、一つの代表核種組成比を設定することは困難であるため、RI 保有量調査から、調査期間における RI の種類および最大保有放射能量を集計し、廃棄物へ移行する RI の種類および放射能量とした。

上記の結果については 4.の調査および検討計画(1)、(2)における各施設から発生する廃棄物中の核種組成比の変動調査および代表核種組成比の評価の内容についてとりまとめたものである。したがって、今後は(3)以降を実施することによって研究所等廃棄物の安全評価上重要な核種を選定する計画である。

謝辞

本調査を行うにあたり、原子炉冷却材等の測定データを提供して頂いた田中純利氏(研究炉部)、岸本克己氏(研究炉部)、ホットラボ施設の試験試料の記録の提供・集計に御協力を頂いた藁谷兵太氏(ホット試験室)、飯田省三氏(ホット試験室)、燃料試験施設の試験試料の記録の提供・集計に御協力を頂いた三瓶真一氏(ホット試験室)、廃液測定データを提供して頂いた 菊池正光氏(保健物理部)、東海研の建屋別 RI 保有リストを提供して頂いた小林秀雄氏(保健物理部)に感謝いたします。

また、本報告書をまとめるに当たり貴重なご意見を頂いた山本忠利主任研究員(バックエンド技術部)に感謝いたします。

参考文献

- [1] 原子力委員会 :原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画, (1994)
- [2] 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会 :RI・研究所等廃棄物の処理処分の基本的考え方について, (1998)
- [3] 放射性廃棄物対策検討委員会技術専門部会研究所廃棄物安全評価シナリオ検討ワーキンググループ :研究所等廃棄物の埋設に関する予備的検討 (内部資料), (1997)
- [4] 研究炉部:平成9年度研究炉部年報(運転・利用と研究・技術開発),JAERI-Review98-027, (1998)
- [5] A. G. Croff, : A USER'S MANUAL FOR THE ORIGEN2 COMPUTER CODE, ORNL/TM -7175, (1980)
- [6] 村上悠紀雄, 他 編書 :放射線データブック, 地人書館(1982)
- [7] 南賢太郎 : 解体廃棄物の放射能レベル区分測定技術の現状, Journal of the RANDEC No. 6,(1992)
- [8] アイソトープ部, :アイソトープ製造35年誌, (1995)
- [9] 遠藤章, 他:電子リニアック施設コンクリート遮蔽体中の γ 線放出核種の測定, JAERI-Tech 97-027, (1997)

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トントン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レンタゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ³ dyn)	kgf	lbf
1	0.101972	0.224809	
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062×10^3	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10^{-4}	1.35951×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1	1.93368×10^{-2}
	6.89476×10^{-3}	7.03070×10^{-2}	6.80460×10^{-2}	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(-10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)
1	0.101972	2.77778×10^{-7}	0.238889	9.47813×10^{-4}	0.737562	6.24150×10^{-18}	= 4.184 J (熱化学)	
9.80665	1	2.72407×10^{-6}	2.34270	9.29487×10^{-3}	7.23301	6.12082×10^{-19}	= 4.1855 J (15 °C)	
3.6×10^6	3.67098×10^5	1	8.59999×10^5	3412.13	2.65522×10^6	2.24694×10^{-25}	= 4.1868 J(国際蒸気表)	
4.18605	0.426858	1.16279×10^{-6}	1	3.96759×10^{-3}	3.08747	2.61272×10^{-19}	仕事率 1 PS(仏馬力)	
1055.06	107.586	2.93072×10^{-4}	252.042	1	778.172	6.58515×10^{21}	= 75 kgf·m/s	
1.35582	0.138255	3.76616×10^{-7}	0.323890	1.28506×10^{-1}	1	8.46233×10^{18}	= 735.499 W	
1.60218×10^{-19}	1.63377×10^{-20}	4.45050×10^{-26}	3.82743×10^{-20}	1.51857×10^{-22}	1.18171×10^{-19}	1		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
1	2.70270×10^{-11}	1	1	100	
3.7×10^{10}	1		0.01	1	

昭射線量	C/kg	R
1	2.58×10^{-4}	1

線量当量	Sv	rem
1	100	
0.01	1	

(86年12月26日現在)

