

「ふげん」から採取した金属配管試料の放射能分析

Radioactivity Analysis of Metal Samples Taken from Pipes of the Fugen

亀尾 裕 原賀 智子 石森 健一郎 島田 亜佐子飛田 実 高橋 重実 高橋 邦明

Yutaka KAMEO, Tomoko HARAGA, Ken-ichiro ISHIMORI, Asako SHIMADA Minoru TOBITA, Shigemi TAKAHASHI and Kuniaki TAKAHASHI

> バックエンド推進部門 バックエンド技術開発ユニット

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit Nuclear Cycle Backend Directorate

February 2011

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

「ふげん」から採取した金属配管試料の放射能分析

日本原子力研究開発機構

バックエンド推進部門 バックエンド技術開発ユニット

亀尾 裕,原賀 智子,石森 健一郎,島田 亜佐子,飛田 実*,高橋 重実*,高橋 邦明

(2010年12月15日受理)

日本原子力研究開発機構 敦賀本部 原子炉廃止措置研究開発センターでは,新型転換炉原型炉 施設「ふげん」の廃止措置が進められており,解体撤去物等のクリアランス申請やスケーリングファクタ法 の適用に向けて,解体撤去物等から採取した試料の放射能分析が必要となっている。バックエンド推進 部門 廃棄物確認技術開発グループでは,廃棄物放射能データの収集を効率よく行うための簡易・迅速 分析法を開発しており,本分析法を用いて,「ふげん」から採取した金属配管試料の分析を行い,解体撤 去物等に対する放射能データとして整備した。

原子力科学研究所(駐在):〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

* 検査開発株式会社

Radioactivity Analysis of Metal Samples Taken from Pipes of the Fugen

Yutaka KAMEO, Tomoko HARAGA, Ken-ichiro ISHIMORI, Asako SHIMADA, Minoru TOBITA*, Shigemi TAKAHASHI* and Kuniaki TAKAHASHI

> Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit Nuclear Cycle Backend Directorate Japan Atomic Energy Agency Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

> > (Received December 15, 2010)

The Fugen Nuclear Power Station was shut down and decommissioning of the Fugen has been implemented. To calculate the scaling factor of radioactive waste or advance the clearance of dismantled materials, a large number of radioactivity concentration data of dismantled materials have to be accumulated. For these reasons, the simple and rapid radioactivity determination method was applied for metal samples, which were taken from pipes of the Fugen. The present report is summarized analytical procedures and obtained radioactivity data of the Fugen pipe samples.

Keywords: Low-level Radioactive Waste, Non-destructive Gamma-ray Measurement, Radiochemical Separation, Solid Phase Extraction, Pipe Sample, Fugen Nuclear Power Station

^{*} Inspection Development Company Ltd.

目 次

1.	は	じめに1	
2.	放	射能分析方法及び分析結果1	
2	2.1	試料の概要1	
2	2.2	⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co, ^{134, 137} Cs, ^{152, 154} Eu, ^{59, 63} Ni 及び ⁹⁰ Sr 分析1	
2	2.3	^{234, 235, 238} U, ^{238, 239+240} Pu, ²⁴¹ Am, ²⁴⁴ Cm 分析	
2	2.4	⁹⁴ Nb 分析	
2	2.5	⁹⁹ Tc 分析	
2	2.6	³ H及び ¹⁴ C分析	
2	2.7	³⁶ Cl分析	
2	2.8	¹²⁹ I 分析	
3.	مدر	ミとめ	
謝	辞.		
参	考	文献8	

Contents

1. Introduction	1
2. Methods for radioactive analysis and resutlts	1
2.1 Overview of analytical samples	1
2.2 Analysis of ⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co, ^{134, 137} Cs, ^{152, 154} Eu, ^{59, 63} Ni, and ⁹⁰ Sr	1
2.3 Analysis of ^{234, 235, 238} U, ^{238, 239+240} Pu, ²⁴¹ Am, and ²⁴⁴ Cm	3
2.4 Analysis of ⁹⁴ Nb	4
2.5 Analysis of ⁹⁹ Tc	5
2.6 Analysis of ³ H 及び ¹⁴ C	5
2.7 Analysis of ³⁶ Cl	6
2.8 Analysis of ¹²⁹ I	7
3. Conclusions	8
Acknowlegement	8
References	8

図表一覧

表一覧

表1	金属試料の概要	9
表 2	分析法の概要と測定機器等の情報	10
表 3	酸浸漬法による放射性核種の除去率	11
表 4	Mn, Cs, Eu, Sr, Ni の回収率	12
表 5	⁶⁰ Co, ⁵⁴ Mn, ^{59,63} Ni, ⁹⁰ Sr, ^{134,137} Cs, ^{152,154} Euの分析結果(1/2)	13
表 6	⁶⁰ Co, ⁵⁴ Mn, ^{59,63} Ni, ⁹⁰ Sr, ^{134,137} Cs, ^{152,154} Eu の分析結果(2/2)	13
表 7	U, Pu, Am の回収率	14
表 8	^{234,235,238} U, ^{238,239+240} Pu, ²⁴¹ Am, ²⁴⁴ Cmの分析結果(1/2)	15
表 9	^{234,235,238} U, ^{238,239+240} Pu, ²⁴¹ Am, ²⁴⁴ Cmの分析結果(2/2)	15
表 10	⁹⁴ Nb の分析結果	16
表 11	⁹⁹ Tc の分析結果	16
表 12	³ Hの分析結果	17
表 13	¹⁴ C の分析結果	17
表 14	³⁶ Clの分析結果	18
表 15	¹²⁹ Iの分析結果	18

図一覧

図 1	金属試料の表面汚染状況(1/3)	19
図2	金属試料の表面汚染状況(2/3)	20
図 3	金属試料の表面汚染状況(3/3)	21
図 4	酸浸漬の概要	22
図 5	⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co, ^{134, 137} Cs, ^{152, 154} Eu の分析フロー	23
図 6	⁹⁰ Sr, ^{59,63} Ni の分析フロー	24
図 7	^{234, 235, 238} U の分析フロー	25
図 8	^{238, 239+240} Pu, ²⁴¹ Am, ²⁴⁴ Cm の分析フロー	26
図 9	⁹⁴ Nb の分析フロー	27
図 10) ⁹⁹ Tc の分析フロー	28
図 11	³ H, ¹⁴ C の分析フロー	29
図 12	2 ³ H, ¹⁴ C の分離装置	29
図 13	3 ³⁶ Cl の分析フロー	30

図 14	³⁶ Cl の分離装置	.31
図 15	¹²⁹ I の分析フロー	. 32
図 16	¹²⁹ Iの分離装置	. 32

1. はじめに

日本原子力研究開発機構 敦賀本部 原子炉廃止措置研究開発センターでは,新型転換炉原型炉 施設(以下「ふげん」という。)から発生した解体撤去物等のクリアランス申請や廃棄確認のためのスケーリ ングファクタ法等の確立に向けて,核種組成比の設定に必要となる解体撤去物等に対する放射能デー タの収集を進めている。これに関連し本分析では,バックエンド推進部門 廃棄物確認技術開発グルー プが開発した簡易・迅速分析法 ¹⁾を用いて,「ふげん」から採取した金属配管試料の放射能分析を実施 し,核種組成比設定等のための放射能データを取得した。⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁹⁴Nb, ^{134, 137}Cs, ^{152, 154}Eu, ^{59, 63}Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁹Tc, ^{234, 235, 238}U, ^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm の分析においては,試料前処理として酸浸 漬法を適用して金属配管内表面を溶解したのち,イオン交換樹脂や抽出クロマト樹脂等を用いた化学分 離を行った。その後,それぞれの核種について γ 線, β 線, α 線測定または質量分析を行うことにより,放 射能を定量した。一方,酸浸漬により揮発することが予想される³H, ¹⁴C, ³⁶Cl, ¹²⁹Iの分析については,試 料前処理として燃焼法を適用し,それぞれの核種を分離した後, β 線測定または質量分析を行うことによ り放射能を定量した。これらの放射能分析方法及び結果について,以下に詳しく記述する。

2. 放射能分析方法及び分析結果

2.1 試料の概要

「ふげん」から採取した金属配管 7 試料(以下「金属試料」という。)を,本分析の対象とした。金属試料の種類,汚染面のサイズ及び重量等の情報を表1及び図1~3に示す。また適用した分析法の概要及び用いた測定機器等の情報を表2に示す。

2.2 ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ^{134, 137}Cs, ^{152, 154}Eu, ^{59, 63}Ni 及び ⁹⁰Sr 分析

2.2.1 試料前処理(酸浸漬法)

金属試料の内表面に付着した放射性核種を溶解するために,図4に示す酸浸漬の概要に従って,汚 染面を混酸(塩酸:硝酸:純水=1:1:4)に2時間浸漬した後,純水を用いて超音波による洗浄を20分間 行った。金属試料の溶解量は3~6gであり,この溶解量から推定した溶解厚さ(汚染面積が均一に溶解 したとして評価)は200~400 µm 程度であった。酸浸漬前後の⁶⁰Coを高純度Ge半導体検出器(HPGe) により計測したところ,試料09-17を除いて金属試料の汚染面に付着していた⁶⁰Coの除去率(酸浸漬前 後の⁶⁰Co計数率の差から求めたもの)は99%以上であった。試料09-17については,酸浸漬操作を3 回実施したが,⁶⁰Coの除去率は85%であり,2回目と3回目の酸浸漬による⁶⁰Coの除去率の増加は 0.5%以下であった。この試料はごく僅かに放射化しており、表面汚染については2回目の酸浸漬までで 十分除去できたと考えられるため、2回目までの酸浸漬液を以降の核種分析に使用した。本前処理にお ける各試料の放射性核種の除去率を表3に示す。

酸浸漬法を適用して得られた浸漬液は、図5に示す分析フローに従って、一旦蒸発乾固した後、硝酸 及び過酸化水素水を添加して加熱乾固した。試料は硝酸溶液100 ml程度に調製した後、メンブレンフィ ルタでろ過し、ろ液(1)と残さ(1)に分離した。残さ(1)に、⁶⁰Co が検出されたため、硝酸、フッ化水素酸及 び過塩素酸による加熱乾固を行い、再度メンブレンフィルタでろ過し、ろ液(2)と残さ(2)に分離した。こ のろ液(2)とろ液(1)を合わせて定容し、試料溶液とした。

2.2.2 分析操作

測定対象核種 (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ^{59, 63}Ni, ⁹⁰Sr, ^{134, 137}Cs, ^{152, 154}Eu)を図 5 及び図 6 に示す一連のフローに 従って分離した。試料溶液 (200 ml)から 100 ml を分取し, まず ⁶⁰Co の放射能を定量した。その後, 化学 分離における回収率測定を行うために, 安定元素の Mn, Co, Cs, Eu, Sr 及び Ni を添加した。この溶液 を一旦蒸発乾固させてから, 8 M 塩酸溶液に調製した。試料溶液 100 ml 中には, ステンレス成分が 1.5 ~3 g(Fe に換算すると1~2 g)と多量に含まれていたため, これらの Fe や⁶⁰Co を, 陰イオン交換樹脂 (70 ml, Dowex 製 1X8)を用いて除去した。イオン交換分離により得られた Mn, Cs, Eu, Sr 及び Ni を含む溶 液を 20 ml ガラス製バイアル瓶に移して γ 線測定用試料とした。

γ線測定後の試料は、8 M 硝酸溶液に調製して、Mn, Cs 及び Eu 回収率測定のための試料を分取した後、Sr レジン(5 ml, Eichrom 製)に通液した。Sr レジンに吸着させた Sr は 0.05 M 硝酸 20 ml によって溶離させ、25 ml に定容し、Sr 回収率測定用に一部を分取した。残りの溶液は、 90 Sr と 90 Y が放射平衡になるまで 2 週間静置してから、β線測定を行った。試料の履歴から、短半減期の 89 Sr は検出限界以下まで減衰していると考えられたため、 90 Sr 及び 90 Y の β線の合計を測定し、 90 Sr の放射能を求めた。

^{59,63}Ni の分析に関しては, この Sr レジンからの流出液を安定元素の Ni 量が約 5 mg となるように分取 し, Ni レジン (5 ml, Eichrom 製) に通液した。樹脂に吸着させた Ni は 3M 硝酸 15 ml により溶離させ, 蒸 発乾固した後, 0.5 M 塩酸で 20 ml に定容し, Ni 回収率測定用, ⁵⁹Ni 及び ⁶³Ni の放射能測定用試料に 取り分けた。⁵⁹Ni に対する X 線測定用試料の作製は, 電着セルを用いて銅板上に 0.3 A で 3 時間, Ni を電着させることにより行った。

2.2.3 回収率測定

測定対象核種の回収率を確認するため,前処理後の試料溶液にあらかじめ添加した安定元素(Mn, Cs, Eu, Sr 及び Ni)の濃度を,化学分離を行ったのち測定した。Mn, Eu, Sr 及び Ni の測定には,誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-AES)を使用し, Cs の測定には,誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)を用いた。各試料における Mn, Cs, Eu, Sr 及び Ni の回収率を表4に示す。

Mn, Ni は、金属試料の成分としても含まれているため、ICP-AES を用いて本分析に用いた金属試料

- 2 -

の化学成分分析を行い,金属成分由来の Mn 及び Ni と添加した Mn 及び Ni を合計して,回収率補正 を行った。

2.2.4 放射能測定

γ線測定には HPGe を使用し, 検出器の効率校正は, 測定用試料と同一形状で濃度が既知の放射能 標準溶液を用いて行った。このとき使用した放射能標準溶液は, あらかじめ効率校正された HPGe を用 いて放射能濃度を決定している²⁾。X線測定には, 低エネルギー光子検出器(Ge-LEPS)を使用し, 既知 量の ⁵⁵Fe を銅板上に電着した線源を用いて検出器の効率校正を行った。β線測定には, 液体シンチ レーションカウンター (LSC)を使用し, クエンチング補正用の放射能標準溶液により効率校正を行った。 HPGe による測定は, ⁶⁰Co については 80,000 秒間, ⁵⁴Mn, ^{134, 137}Cs, ^{152, 154}Eu については 160,000 秒間, Ge-LEPS は, 200,000 秒間, LSC は 30,000 秒間とした。金属試料に対する ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ^{134, 137}Cs, ^{152, 154}Eu, ^{59, 63}Ni 及び ⁹⁰Sr の分析結果を表 5 及び表 6 に示す。

2.3 ^{234, 235, 238}U, ^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm 分析

2.3.1 試料前処理(酸浸漬法)

2.2 節⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ^{134, 137}Cs, ^{152, 154}Eu, ^{59, 63}Ni 及び ⁹⁰Sr 分析」で前処理した試料溶液を分取して, ^{234, 235, 238}U, ^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm の分析に供した。

2.3.2 分析操作

^{234, 235, 238}Uの分析フローを図7に示す。あらかじめ3M硝酸溶液を通液してコンディショニングを行ったUTEVAレジン(2 ml, Eichrom 製)に試料溶液を通液し、つぎに金属試料の主成分である、Fe, Cr, Ni を3M硝酸16 mlで洗浄した。UTEVAレジンに吸着させたPuを3価に還元して溶離させるために0.1M ヒドロキシルアミン-0.01 Mアスコルビン酸-1 M硝酸溶液16 mlを通液した。カラムに残っているアスコルビン酸を3M硝酸6 mlで洗浄してから、0.01 Mシュウ酸-0.1 M硝酸溶液16 mlを通液し、Uを溶離させた。 この溶液を蒸発乾固させ、1 M 硝酸 3 ml に溶解し、300 倍希釈したものを測定用試料とした。

^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm の分析フローを図 8 に示す。あらかじめ 2 M 硝酸-0.3 M アスコルビン酸溶 液でコンディショニングを行った TRU レジン (5 ml, Eichrom 製) に試料溶液を通液した。Fe, Cr, Ni など を 2 M 硝酸-0.3 M アスコルビン酸溶液 20 ml で洗浄した後, TRU レジンに吸着させた Pu を 4 価に調整 するために 1 M 硝酸-0.1 M NaNO₂ 溶液を 5 ml 通液した。その後, 2 M 硝酸 20 ml を通液してカラムの 洗浄を行い, Am と Cm を溶離させるため 4 M 塩酸 30 ml を通液した。つぎに, 4 M 塩酸-0.02 M 三塩化 チタン溶液を通液して 4 価の Pu を 3 価に還元し, 溶離させた。この溶液にサマリウムとフッ化水素酸を加 え, 30 分以上静置した後, 孔径 0.1 μ m のメンブレンフィルタで吸引ろ過し, フッ化サマリウムと共に Pu, Am, Cm のフッ化物をフィルタ上に捕集した。 2.3.3 回収率測定

Uの回収率を確認するため,前処理後の試料溶液にICP-MS用多元素標準溶液(各 100 μg/ml Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U AccuStandard.com.)50 μl を添加し, 化学分離を行ったのち, U を ICP-MS で測定した。また, Pu 及び Am の回収率を確認するため,前処理 後の試料溶液に²⁴²Pu 及び²⁴³Am 約 0.5 Bq を添加し,化学分離を行ったのち, Si 半導体検出器(SSB) で α 線を測定した。Cm の回収率は Am の回収率を用いて補正した。U, Pu, Am の回収率を表 7 に示 す。

2.3.4 放射能測定

²³⁸Uは, ICP-MS を用いた検量線法により定量した。^{234, 235}U については, タンタル板に分離後の試料 溶液を一部滴下し, 乾燥させてから SSB により a 線を測定した。^{234, 235, 238}U の分析結果を表 8 及表 9 に 示す。^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm については, フッ化サマリウム共沈法により作製した測定用試料を SSB により測定した。測定時間は, 500,000 秒間とした。^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm の分析結果を表 8 及び表 9 に示す。

2.4 ⁹⁴Nb 分析

2.4.1 試料前処理(酸浸漬法)

⁹⁴Nb の分離には、フッ化水素酸を使用するため、他のγ線放出核種の分析に用いた試料とは別の試料(燃焼法により³H 及び¹⁴C を分析した後の試料)を用いて、前処理の段階から単独で⁹⁴Nb の分析操作を行った。試料の前処理には、酸浸漬法を適用し、図9 に示す分析フローに従って、加熱濃縮した後、硝酸及び過酸化水素水を添加して加熱分解し、試料溶液を調製した。

2.4.2 分析操作

試料溶液に,担体として安定元素の Nb, Co, Cs 及び Eu を各 2 mg ずつ添加し,一旦乾固したのち, 硝酸(1+1) 2 ml+フッ化水素酸 8ml に溶解した。この溶液をメンブレンフィルタで吸引ろ過して, Eu 等を 沈殿として除去した。ろ液は陰イオン交換樹脂(12 ml, Dowex 製 1X8)に通液し, 7.8 M フッ化水素酸+ 4.1 M 硝酸溶液により, Co を溶離させた。Nb は, 0.97 M フッ化水素酸+4.1 M 硝酸溶液を用いて溶離さ せ,この溶離を 100 ml に定容して測定用試料とした。

2.4.3 回収率測定

⁹⁴Nb の回収率を確認するため,前処理後の試料溶液に添加した安定元素の Nb を,化学分離を行ったのち ICP-AES により測定した。Nb の回収率を表 10 に示す。

2.4.4 放射能測定

⁹⁴Nbの測定は 2.2.4 項「放射能測定」と同様の手順で行い, 測定時間は 80,000 秒間とした。⁹⁴Nbの定量結果を表 10 に示す。

2.5 ⁹⁹Tc 分析

2.5.1 試料前処理(酸浸漬法)

2.2.1 項「試料前処理(酸浸漬法)」と同様の方法で、汚染面に付着した放射性核種を溶解した。Tc は酸とともに強熱すると揮発損失しやすいため、浸漬液の加熱乾固は行わずに、そのまま化学分離を行った。

2.5.2 分析操作

⁹⁹Tc の分析フローを図 10 に示す。試料溶液に Re, Sr, Cs 担体を各 1 mg 加えた後, 純水で 50 ml に 希釈し, さらに過酸化水素水 10 ml を加えた。つぎにリンモリブデン酸アンモニウム 1 g を加え, ろ過する ことにより Cs を除去した。このろ液を水酸化ナトリウムで pH9 に調整し, 炭酸ナトリウム 1 g 加え, Fe, Co, Sr を除去した。このろ液を純水で 150 ml 程度にメスアップした後, pH1 となるように硝酸を加え, さらに加 熱して炭酸ガスを追い出した。この溶液をあらかじめ 1 M 硝酸でコンディショニングした TEVA レジン(5 ml, Eichrom 製)に通液し, 1 M 硝酸 80 ml で洗浄した。樹脂に吸着させた Tc は 8 M 硝酸 15 ml で溶 離させ, 溶離液は乾固寸前まで加熱・濃縮した後, 純水で 20 ml に定容した。

2.5.3 回収率測定

分離における⁹⁹Tc の回収率を確認するため, Tc と化学的挙動が類似する Re を前処理後の試料溶液に添加し, 化学分離を行ったのち ICP-AES を用いて Re を測定した。Re により評価した⁹⁹Tc の回収率を表 11 に示す。

2.5.4 放射能測定

定容した 20 ml の溶液のうち 10 ml を分取し, 乳化シンチレータ(アクアゾル-2)と混合して, LSC により β線測定を行った。測定時間は 30,000 秒間とした。効率校正はクエンチング補正用の ⁹⁹Tc 放射能標準 を用いて行った。⁹⁹Tc の定量結果を表 11 に示す。

2.6³H及び¹⁴C分析

2.6.1 分析操作

³H 及び¹⁴C の分析フローを図 11 に,分析に使用した分離装置を図 12 に示す。金属試料と炭酸ナトリウム担体 0.1 gを石英ボートにのせて管状電気炉 I 側の石英管内に設置した。下流側管状電気炉 II の石英管内には,酸化触媒(ホプカライト)4.1 gを詰めて,両端を石英ウールでゆるく固定した。ガス捕集ラ

- 5 -

インには、エタノールードライアイスで約-70℃に冷却したU字管を2段設置し、水を捕集した。¹⁴Cが含まれる二酸化炭素ガスは、二酸化炭素吸収剤(カーボソーブE)を5ml ずつ入れたインピンジャー2段で 捕集した。

水バブラーにより加湿した酸素ガスを分離装置内に 50 ml/min で流しながら, 管状電気炉 II を 500℃ に昇温した。ホプカライトが十分乾燥されたことを確認した後, 管状電気炉 I を 900℃まで昇温し, 900℃ で 1 時間, 金属試料を加熱した。

加熱後 U 字管を取り外し, 純水 8 ml で U 字管内を洗い, 管内の水を回収した。回収した水はナス形 フラスコに入れ, 5, 6 粒程度の沸騰石と過酸化ナトリウム約 5 mg を加えて蒸留した。蒸留後の水は体積 が 20 ml となるように, 乳化シンチレータ(アクアゾル-2)を加えて ³H の測定用試料を調製した。¹⁴C につ いては, カーボソーブ E のトラップをそれぞれパーマフローE⁺ 1 ml で 2 回共洗いして 20 ml の液シンバイ アルに回収し, さらにパーマフローE⁺ 6 ml を加えてよく混合したものを測定用試料とした。

2.6.2 回収率測定

³H及び¹⁴Cの分離回収操作における回収率は、これまでの実績から100%として評価した。また、蒸留操作における³Hの回収率は、蒸留前のナス形フラスコ内の水の重量と蒸留後に回収したバイアル内の水の重量から算出した。蒸留操作における³Hの回収率を表 12 に示す。

2.6.3 放射能測定

³H 及び¹⁴C の測定は LSC により 30,000 秒間ずつ行った。また,計数効率はクエンチング補正用の³H 及び¹⁴C 放射能標準を用いて求めた。³H の分析結果を表 12 に,¹⁴C の分析結果を表 13 に示す。

2.7 ³⁶Cl 分析

2.7.1 分析操作

³⁶Clの分析フローを図 13 に,分析に使用した分離装置を図 14 に示す。試料と塩化ナトリウム溶液(Cl 担体 5 mg)を石英ボートに乗せて石英管内に設置した。ガス捕集ラインには,6 mM 炭酸ナトリウム水溶 液を 20 ml ずつ入れたインピンジャー4 段を接続した。0.2 M 硝酸を通過させて加湿した酸素ガスを 500 ml/min で流しながら,管状電気炉を 110℃に昇温した。金属試料が十分乾燥されたことを確認した後, 管状電気炉を 955℃まで昇温し,955℃で 1 時間加熱した。加熱後,トラップに用いた炭酸ナトリウム水溶 液を回収し,硝酸(1+3) 5 ml と 1wt% 亜硫酸水素ナトリウム水溶液 1 ml を加えた。つぎに 10wt% 硝酸銀 水溶液 1 ml を加えてハロゲン化銀沈殿を生成させて加熱熟成した。沈殿はメンブランフィルタで吸引ろ 過し,水で洗浄したのち,亜鉛粉末 1 g と硫酸(1+8) 2 ml で溶解した。

金属や残った亜鉛を水で洗浄しながらろ別し、ろ液を pH1 以下に調整後、10,000 ppm ヨウ化カリウム 水溶液 0.1 mlと5wt%亜硝酸ナトリウム水溶液 1 mlを加えて I2を生成させた。この溶液を、PVP(ポリビニ ルピロリドン)を含浸させた 3M エムポアディスク SDB-XD に通液し、I2を吸着させた。つぎにディスクを

- 6 -

5wt% 亜硝酸ナトリウム水溶液 1 ml で洗浄し,得られた溶離液に 0.1 M 硝酸 40 ml と 10wt% 硝酸銀水溶液 1 ml を加えて塩化銀沈殿を生成させ,これを吸引ろ過した。沈殿表面をマイラーで覆いアクリルディスクとテフロンリングで固定することで測定用試料を作製した。

2.7.2 回収率測定

分離における³⁶Clの回収率を確認するため, 試料表面に安定元素のClを添加した。回収率は分離後の溶液から塩化銀沈殿を生成させ, 乾燥重量を秤量することにより求めた。³⁶Clの回収率を表 14 に示す。

2.7.3 放射能測定

³⁶Cl はガスフロー型 β 線測定装置 (LBC) で 72,000 秒間測定した。LBC は, 塩化銀重量と計数率の関係をあらかじめ求めておき, 近似式から効率校正を行った。³⁶Cl の定量結果を表 14 に示す。

2.8¹²⁹I分析

2.8.1 分析操作

¹²⁹Iの分析フローを図 15 に、分析に使用した分離装置を図 16 に示す。試料と過ヨウ素酸カリウム溶液(担体ヨウ素 1 mg)を石英ボートに乗せて石英管内に置き、ガス捕集ラインには、1wt%テトラメチルアンモニウムハイドロオキサイド(TMAH)水溶液を20 ml入れたインピンジャー1段を使用した。水バブラーにより加湿した酸素ガスを50 ml/min で流しながら、管状電気炉を110℃に昇温した。金属試料が十分に乾燥されたことを確認した後、管状電気炉を900℃まで昇温し、2 時間加熱した。加熱終了後、トラップに用いた 1wt%TMAH 水溶液を回収した。I を回収したトラップ溶液に 5wt%亜硫酸ナトリウム溶液 2 ml を加えた後、あらかじめコンディショニングした 3M エムポア Anion-SR ディスクに通液(流速 220 ml/min 以下)した。ディスク上に吸着した I は、1M 硝酸 15 ml を通液(流速 9 ml/min 以下)して溶離させた。この溶液を、5 倍希釈し測定用試料とした。

2.8.2 回収率測定

分離における¹²⁹Iの回収率を確認するため,添加した安定元素の¹²⁷Iを反応セル型質量分析装置 (DRC-ICP-MS)を用いて測定した。Iの回収率を表 15 に示す。

2.8.3 放射能測定

¹²⁹Iの測定は、DRC-ICP-MS により行い、Ar ガス中に含まれる¹²⁹Xe の影響を低減するため、反応セル に O₂ ガスを 0.6 ml/min 流した。¹²⁹I 放射能標準溶液から検量線を作成し、検量線法により¹²⁹I の定量を 行った。標準溶液や測定溶液は TMAH 濃度を 1wt%に調製したものを使用した。¹²⁹I の分析結果を表 15 に示す。

- 7 -

3. まとめ

「ふげん」から採取した金属配管 7 試料に対して、これまでに開発した簡易・迅速分析法を適用し、 ⁵⁴Mn、⁶⁰Co、^{134, 137}Cs、^{152, 154}Eu、^{59, 63}Ni、⁹⁰Sr、⁹⁴Nb、⁹⁹Tc、^{234, 235, 238}U、^{238, 239+240}Pu、²⁴¹Am、²⁴⁴Cm、³H、 ¹⁴C、³⁶Cl、¹²⁹Iの放射能分析を実施した。その結果、これらの核種の分析が、簡易・迅速法により問題なく 行えることを確認するとともに、スケーリングファクタの導出等に必要となる放射能データを効率よく取得 することができた。

謝辞

本分析を実施するに当たり, 試料の輸送, 試料履歴情報の調査等に協力いただいた原子炉廃止措置 研究開発センター 技術開発部 技術開発課の林 宏一氏に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 亀尾裕,島田亜佐子,石森健一郎,他,:"研究施設等廃棄物に含まれる放射性核種の簡易・迅速 分析法(分析指針)", JAEA-Technology 2009-051 (2009).
- [2] S. Raman, C. Yonezawa, H. Matsue, et al., :"Efficiency calibration of a Ge detector in the 0.1-11.0 MeV region", Nucl. Instr. and Meth. A 454(2000) pp.389-402.

管理番号	試料番号	試料名	汚染面 縦×横(mm)	重量(g)
09-17	$\begin{array}{c} 09-1-8\\ 09-1-12\\ 09-1-2\\ 09-1-3\\ 09-1-4\\ 09-1-5\\ \end{array}$	冷却材再循環系 A-下部ヘッダー吐出管	$52 \times 43 52 \times 41 50 \times 16 50 \times 20 50 \times 25 50 \times 20 $	537 521 160 164 194 142
09-18	09-4-6 09-4-7 09-4-9①	気体廃棄系 排ガス予熱器入口配管	48×43 48×46 49×18	133 139 60
09-19	09-6-6 09-6-7 09-6-9①	気体廃棄系 排ガス系復水器出口配管	49×38 50 × 38 49 × 16	65 68 25
09-20	09-12-1 09-12-2 09-12-8	低圧注水系 下部ヘッダー注水配管	51×35 49×39 20×16	409 433 127
09-21	09-13-1 09-13-5 09-13-9②	急速注水系 レベル計配管	50×32 50×33 50×13	140 142 54
09-22	09-14-6 09-14-7 09-14-9②	隔離冷却系 ポンプ出口配管	51×35 50×36 50×14	186 193 72
09-23	09-18-7 09-18-8 09-18-9②	原子炉格納容器内部スプレ設備 (格納容器スプレー系) ポンプ入ロストレーナ配管	50×44 50×45 50×17	134 138 49

表1 金属試料の概要

核種	分析法(概要)	測定器(型番)	校正日	測	問日
H^{ϵ}	燃焼法による分離の後、HTOの形で回収し、液体シンチレーションカウンタを用いてβ線測定	液体シンチレーションカウンタ (PerkinElmer製 Tri-Carb 3110TR)	2010/7/16	2010/7/7	~ 2010/7/14
14 C	燃焼法による分離の後, CO2の形で回収し, 液体シンチレーションカウンタを用いてp線測定	液体シンチレーションカウンタ (PerkinElmer製 Tri-Carb 3110TR)	2010/7/16	2010/7/6	~ 2010/7/14
³⁶ CI	燃焼法による分離の後, AgCIの形で回収し, ガスフローカウンタを用いてβ線測定	ガスフローカウンタ (ALOKA製 LBC-4312)	2010/8/9	2010/8/6	~ 2010/8/8
⁵⁴ Mn	溶解後, 陰イオン交換樹脂で ⁶⁰ Coを除去した後, Ge半導体検出器を用いてy線測定	Ge半導体検出器 (ORTEC製 GEM-20180-P)	2010/4/20	2010/3/30	~ 2010/4/19
60 ^{Co}	溶解後,Ge半導体検出器を用いて _γ 線測定	Ge半導体検出器 (ORTEC製 GEM-20180-P)	2010/1/20	2010/1/21	~ 2010/3/1
59Ni	溶解後、陰イオン交換樹脂で ⁶⁰ Coを除去した後、SrレジンでSrを除去後、NiレジンによりNiを精製し、X 線検出器を用いてX線測定	X線検出器 (ORTEC製 GLP-36360/13P)	2010/6/30	2010/5/24	~ 2010/6/14
⁶³ Ni	溶解後、陰イオン交換樹脂でのCoを除去した後、SrレジンでSrを除去後、NiレジンによりNiを精製し、液体シンチレーションカウンタを用いてβ線測定	液体シンチレーションカウンタ (PerkinElmer製 Tri-Carb 3110TR)	2010/2/17	2010/2/19	~ 2010/6/10
$^{90}\mathrm{Sr}$	溶解後、陰イオン交換樹脂で。「Coを除去した後、SrレジンでSrを精製し、放射平衡が成立した後、 ³⁰ Sr ⁹⁰ Yを液体シンチレーションカウンタを用いてβ線測定	液体シンチレーションカウンタ (PerkinElmer製 Tri-Carb 3110TR)	2009/11/25	2010/6/4	~ 2010/6/11
$^{94}\mathrm{Nb}$	溶解後,陰イオン交換樹脂で ⁶⁰ Coを除去した後,Ge半導体検出器を用いて ₇ 線測定	Ge半導体検出器 (ORTEC製 GEM-20180-P)	2010/8/2	2010/8/2	~ 2010/8/4
$^{99}\mathrm{Tc}$	溶解後、Csを除去した後、鉄・炭酸塩共沈及びTEVAレジンでマトリックス元素を除去した後、液体シン チレーションカウンタを用いてβ線測定	液体シンチレーションカウンタ (PerkinElmer製 Tri-Carb 3110TR)	2009/10/27	2010/7/8	~ 2010/7/15
I^{20}	燃焼法による分離の後, AnionSRディスクを用いてヨウ素を精製し, DRC-ICP-MSを用いて濃度測定	ICP-MS (PerkinElmer製 ELANDRC-e)	2010/8/4	2010/8/4	~ 2010/8/4
$^{134}\mathrm{Cs}$	溶解後,陰イオン交換樹脂で ⁶⁰ Coを除去した後,Ge半導体検出器を用いて ₇ 線測定	Ge半導体検出器 (ORTEC製 GEM-20180-P)	2010/4/20	2010/3/30	~ 2010/4/19
$^{137}\mathrm{Cs}$	溶解後,陰イオン交換樹脂で ⁶⁰ Coを除去した後,Ge半導体検出器を用いて ₇ 線測定	Ge半導体検出器 (ORTEC製 GEM-20180-P)	2010/4/20	2010/3/30	~ 2010/4/19
$^{152}\mathrm{Eu}$	溶解後,陰イオン交換樹脂で ^{eo} Coを除去した後,Ge半導体検出器を用いて ₇ 線測定	Ge半導体検出器 (ORTEC製 GEM-20180-P)	2010/4/20	2010/3/30	~ 2010/4/19
$^{154}\mathrm{Eu}$	溶解後,陰イオン交換樹脂 $ au^{c_0}$ Coを除去した後,Ge半導体検出器を用いて γ 線測定	Ge半導体検出器 (ORTEC製 GEM-20180-P)	2010/4/20	2010/3/30	~ 2010/4/19
$^{234}\mathrm{U}$	溶解後, UTEVAレジンでマトリックス元素を除去した後, ICP-MSを用いて濃度測定	ICP-MS (Yokogawa Analytical Systems HP4500)	2010/8/4	2010/8/4	~ 2010/8/4
²³⁵ U	溶解後, UTEVAレジンでマトリックス元素を除去した後, ICP-MSを用いて濃度測定	ICP-MS (Yokogawa Analytical Systems HP4500)	2010/8/4	2010/8/4	~ 2010/8/4
238 U	溶解後, UTEVAレジンでマトリックス元素を除去した後, ICP-MSを用いて濃度測定	ICP-MS (Yokogawa Analytical Systems HP4500)	2010/8/4	2010/8/4	~ 2010/8/4
$^{238}\mathrm{Pu}$	溶解後、TRUレジンでマトリックス元素やAmなどと分離した後、Si半導体検出器により。線測定	Si半導体検出器 (ORTEC製 Soloist alpha spectrometer)	2010/1/22	2010/4/19	~ 2010/7/29
$^{239+240}\mathrm{Pu}$	1溶解後、TRUレジンでマトリックス元素やAmなどと分離した後、Si半導体検出器により。線測定	Si半導体検出器 (ORTEC製 Soloist alpha spectrometer)	2010/1/22	2010/4/19	~ 2010/7/29
$^{241}\mathrm{Am}$	溶解後, TRUレジンでマトリックス元素やPuなどと分離した後, Si半導体検出器によりa線測定	Si半導体検出器 (ORTEC製 Soloist alpha spectrometer)	2009/10/15	2010/4/2	~ 2010/7/18
²⁴⁴ Cm	溶解後、TRUレジンでマトリックス元素やPuなどと分離した後、Si半導体検出器によりa線測定	Si半導体検出器 (ORTEC製 Soloist alpha spectrometer)	2009/10/15	2010/4/2	~ 2010/7/18

		素3	酸浸漬法	による放射	性核種の除	余去率		
		ці Ф	建建立	今居 <i>於</i> 御	※6回回よ※1	60Co∄H	数率※2	除± 蒸%3
管理番号	試料番号	里里 (g)	17米国4頁 (cm ²)	亚周伯啡里 (g)	付用テクス	浸漬前 (cps)	浸漬後 (cps)	死 <u>ム</u> 平 (%)
09-17	09-1-8	537	23	4.1	228	$2.2 imes 10^{0}$	3.3×10^{-1}	84.6 ^{%4}
09-18	09-4-6	133	21	3.0	182	$6.7 imes 10^{-3}$	BG	6.99<
09-19	60-6-7	68	19	6.2	412	BG	BG	I
09-20	09-12-1	409	18	5.2	377	$2.5 imes 10^1$	1.6×10^{-2}	6.66
09-21	09-13-5	142	16	4.1	326	1.1×10^{-3}	BG	6.66<
09-22	09-14-7	193	18	4.4	312	$4.1 imes10^{-3}$	BG	6.99<
09-23	09-18-7	134	22	4.9	283	9.3×10^{-1}	6.1×10^{-3}	99.3
					※1 溶解量」 ※2 Ge半導(※3 酸浸渍膏(※4 酸浸渍	この推定した。 本検出器を使用 前後の ⁶⁰ Co計数 回目までの除去	して算出した。 率より算出した。 :率を示す。	0

表4 Mn, Cs, Eu, Sr, Niの回収率

						r
管理番号	試料番号	Mn ^{∦1}	Cs	Eu	Sr	Ni ^{%1}
09-17	09-1-8	66	90	98	99	97
09-18	09-4-6	67	94	100	101	
09-19	09-6-7	64	78	97	95	
09-20	09-12-1	70	90	97	90	
09-21	09-13-5	67	92	100	96	
09-22	09-14-7	69	90	97	97	
09-23	09-18-7	70	89	98	97	

※1 試料由来のMn及びNiの量は化学成分分析の結果に基づいて補正した。

 等理番号	試料番号	60Co	⁵⁴ Mn	59 Ni	63Ni	$^{90}\mathrm{Sr}$	^{134}Cs	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu
09-17	09-1-8	$(7.3\pm0.1)\times10^{-2}$	$< 9.8 \times 10^{-5}$	$<$ 7.4 $\times 10^{-3}$	$(2.1\pm0.4) \times 10^{-2}$	$< 1.1 \times 10^{-4}$	$<$ 7.7 \times 10 ⁻⁵	$<\!8.5\!\times\!10^{-5}$	$< 2.4 \times 10^{-4}$	$< 1.7 \times 10^{-4}$
09-18	09-4-6	$(3.5\pm0.6)\times10^{-3}$	$< 3.9 \times 10^{-4}$			$(2.2\pm0.1)\times10^{-1}$	$< 3.0 imes 10^{-4}$	$(1.9\pm0.1) imes10^{-2}$	$<\!9.8\!\times\!10^{-4}$	$< 6.8 imes 10^{-4}$
09-19	2-9-60	$<\!1.6\! imes\! 10^{-3}$	$< 6.6 \times 10^{-4}$			$(1.6\pm0.1)\! imes\!10^{-1}$	$<\!5.6\!\times10^{-4}$	$(6.1\pm0.4) imes10^{-3}$	$<\!1.6\!\times\!10^{-3}$	$< 1.0 \times 10^{-3}$
09-20	09-12-1	$(2.9\pm0.1)\! imes\!10^{0}$	$< 9.7 \times 10^{-5}$			< 1.7 $ imes$ 10 ⁻⁴	$<\!8.3\!\times10^{-5}$	$<\!9.6\! imes\!10^{-5}$	$< 2.6 \times 10^{-4}$	$<\!1.9\! imes\!10^4$
09-21	09-13-5	$<$ 7.4 $\times 10^{-4}$	$< 3.1 \times 10^{-4}$			< 4.5 $ imes$ 10 ⁻⁴	$<\!2.2\!\times\!10^{-4}$	$<\!2.6\! imes\!10^{-4}$	$<$ 7.4 $\times 10^{-4}$	$< 5.2 imes 10^{-4}$
09-22	09-14-7	$(1.2\pm0.4) \times 10^{-3}$	$< 2.0 imes 10^{-4}$			$< 3.3 imes 10^{-4}$	$<\!1.8\!\times\!10^{-4}$	$<\!2.0\! imes\!10^{-4}$	$<\!5.6\!\times\!10^{-4}$	$< 4.1 \times 10^{-4}$
09-23	09-18-7	$(3.4\pm0.1)\times10^{-1}$	$< 3.0 \times 10^{-4}$			< 4.7 $ imes$ 10 ⁻⁴	$<\!2.6\!\times10^{-4}$	$<\!2.9\! imes\!10^{-4}$	$<$ 7.9 $\times 10^{-4}$	$< 5.7 \times 10^{-4}$
햨 理番号	試料番号	60Co	$^{54}\mathrm{Mn}$	59Ni	63Ni	$^{90}\mathrm{Sr}$	^{134}Cs	^{137}Cs	¹⁵² Eu	$^{154}\mathrm{Eu}$
09-17	09-1-8	$(1.7\pm0.1)\! imes\!10^{0}$	$< 2.3 \times 10^{-3}$	$<\!1.8\!\times\!10^{-1}$	$(4.9\pm0.8)\! imes\!10^{-1}$	$< 2.7 \times 10^{-3}$	$<\!1.8\!\times\!10^{-3}$	$< 2.0 \times 10^{-3}$	$< 5.7 \times 10^{-3}$	$< 4.0 \times 10^{-3}$
09-18	09-4-6	$(2.3\pm0.4) imes10^{-2}$	$<\!2.5\!\times\!10^{-3}$			$(1.4\pm0.1)\! imes\!10^{0}$	$<\!2.0\!\times10^{-3}$	$(1.2\pm0.1) imes10^{-1}$	$< 6.4 \times 10^{-3}$	$< 4.4 \times 10^{-1}$
09-19	2-9-60	$< 5.7 \times 10^{-3}$	$< 2.4 \times 10^{-3}$			$(5.7\pm0.1) imes10^{-1}$	$<\!2.0\!\times10^{-3}$	$(2.2\pm0.2) imes10^{-2}$	$<\!5.6\!\times\!10^{-3}$	< 3.5 × 10 ⁻¹
09-20	09-12-1	$(6.7\pm0.1)\times10^{1}$	$< 2.2 \times 10^{-3}$			< 3.9 $ imes$ 10 ⁻³	$<\!1.9\!\times\!10^{-3}$	$<\!2.2\! imes\!10^{-3}$	$< 6.1 \times 10^{-3}$	$< 4.4 \times 10^{-3}$
09-21	09-13-5	$<\!6.5\! imes\!10^{-3}$	$< 2.7 \times 10^{-3}$			$< 3.9 imes 10^{-3}$	$<\!2.0\!\times10^{-3}$	$<\!2.3\!\times\!10^{-3}$	$< 6.5 \times 10^{-3}$	$< 4.5 \times 10^{-3}$
09-22	09-14-7	$(1.3\pm0.4)\times10^{-2}$	$< 2.1 \times 10^{-3}$			< 3.5 $ imes$ 10 ⁻³	$<\!1.9\!\times\!10^{-3}$	$< 2.1 \times 10^{-3}$	$< 6.1 \times 10^{-3}$	$< 4.4 \times 10^{-3}$
00-73	09-18-7	$(2.1\pm0.1) imes10^{0}$	$<\!1.8\! imes\!10^{-3}$			$< 2.9 imes 10^{-3}$	$<\!1.6\!\times\!10^{-3}$	$<\!1.8\! imes\!10^{-3}$	$< 4.8 \times 10^{-3}$	$< 3.5 \times 10^{-5}$

- 13 -

表7 U, Pu, Amの回収率

	11	0, 1 u, 7111		[%]
管理番号	試料番号	U	Pu	Am
09-17	09-1-8	101	104	81
09-18	09-4-6	101	107	93
09-19	09-6-7	100	109	98
09-20	09-12-1	100	110	110
09-21	09-13-5	102	105	108
09-22	09-14-7	101	106	101
09-23	09-18-7	101	98	91

	計判承日	73411		000	7381	-1201-110-C		
管理番号		0.52	Uc22	Ω_{852}	NJ of t	nd 0+7+607	²⁴¹ Am	244 Cm
09-17	09-1-8	$< 9.4 \times 10^{-5}$	$<\!1.4\!\times\!10^{-4}$	$(6.7 \pm 3.2) \times 10^{-7}$	$<\!2.0\! imes\!10^{-6}$	$< 3.6 imes 10^{-6}$	$< 5.7 imes 10^{-6}$	$<\!4.2\! imes 10^{-6}$
09-18	09-4-6	$< 3.2 \times 10^{-4}$	$< 3.7 \times 10^{-4}$	$(2.7\pm2.5) imes10^{-5}$	$< 2.3 \times 10^{-5}$	$< 1.4 imes 10^{-5}$	$< 2.0 imes 10^{-5}$	$<\!1.4\! imes 10^{-5}$
09-19	2-9-60	$<$ 7.1 \times 10 ⁻⁴	$<\!8.0\! imes\!10^{-4}$	$(1.7\pm0.2)\! imes\!10^{-5}$	$<\!2.8\!\times\!10^{-5}$	$< 3.0 imes 10^{-5}$	$< 2.5 imes 10^{-5}$	$<\!1.9\! imes\!10^{-5}$
09-20	09-12-1	$< 1.2 imes 10^{-4}$	$<\!1.8\! imes\! 10^{-4}$	$(1.3\pm0.2) imes10^{-6}$	$<\!2.7\! imes\!10^{-6}$	$<\!4.7\! imes\!10^{-6}$	< 7.8 $ imes$ 10 ⁻⁶	$< 3.1 \times 10^{-6}$
09-21	09-13-5	$< 3.0 imes 10^{-4}$	$< 3.5 \times 10^{-4}$	$(3.7\pm0.4) \times 10^{-6}$	$<\!2.1\! imes\!10^{-5}$	$<\!1.3\! imes\!10^{-5}$	< 1.7 $ imes$ 10 ⁻⁵	$<\!1.3\!\times\!10^{-5}$
09-22	09-14-7	$< 2.5 \times 10^{-4}$	$<\!2.8\!\times\!10^{-4}$	$(6.6\pm1.3) imes10^{-6}$	$<\!9.8\! imes\!10^{-6}$	$< 1.1 \times 10^{-5}$	$< 8.9 imes 10^{-6}$	$<\!6.7\! imes 10^{-6}$
09-23	09-18-7	$< 3.8 \times 10^{-4}$	$< 5.4 \times 10^{-4}$	$(1.3\pm0.1)\times10^{-5}$	$<\!8.3\! imes\!10^{-6}$	$<\!1.5\! imes\!10^{-5}$	< 2.6 $ imes$ 10 ⁻⁵	$<\!1.0\! imes 10^{-5}$
L 22 Hours	L 94 1414			12050	130-	-010-0	. 110	~ FFC
管理番号	試料番号	234 U	²³⁵ U	238 U	²³⁸ Pu	239+240 Pu	241 Am	244 Cm
09-17	09-1-8	$<\!2.2\! imes\!10^{-3}$	$< 3.2 \times 10^{-3}$	$(1.6\pm0.8)\! imes10^{-5}$	$<\!4.8\!\times10^{-5}$	$< 8.5 \times 10^{-5}$	$< 1.4 \times 10^{-4}$	$<\!9.9\!\times\!10^{-5}$
09-18	09-4-6	$<\!2.0\! imes\!10^{-3}$	$<\!2.4\! imes\!10^{-3}$	$(1.7\pm1.6)\! imes10^{-4}$	$<\!1.5\! imes\!10^{-4}$	$< 9.1 \times 10^{-5}$	$<\!1.3\! imes 10^{-4}$	$<\!9.3\!\times\!10^{-5}$
09-19	60-6-7	$<\!2.5\! imes\!10^{-3}$	$<\!2.8\!\times\!10^{-3}$	$(6.0\pm2.0) imes10^{-5}$	$<\!9.9\! imes\!10^{-5}$	$< 1.1 imes 10^{-4}$	$< 9.0 \times 10^{-5}$	$<\!6.8\!\times\!10^{-5}$
09-20	09-12-1	$<\!2.9\! imes\!10^{-3}$	$< 4.1 \times 10^{-3}$	$(3.0\pm0.3)\! imes 10^{-5}$	$<\!6.2\! imes 10^{-5}$	$< 1.1 imes 10^{-4}$	$<\!1.8\! imes 10^{-4}$	$<$ 7.1 \times 10 ⁻⁵
09-21	09-13-5	$<\!2.6\! imes\!10^{-3}$	$< 3.1 \times 10^{-3}$	$(3.3\pm0.4) \times 10^{-5}$	$<\!1.9\! imes\!10^{-4}$	$< 1.2 \times 10^{-4}$	$<\!1.5\! imes 10^{-4}$	$<\!1.1\! \times \!10^{4}$
09-22	09-14-7	$<\!2.7\! imes\!10^{-3}$	$< 3.0 \times 10^{-3}$	$(7.1\pm1.4) \times 10^{-5}$	$<\!1.1\! imes\!10^{-4}$	$< 1.2 \times 10^{-4}$	$< 9.5 \times 10^{-5}$	$<$ 7.2 \times 10 ⁻⁵
CC 00		/ 0.0 < 10-3	$/ 2 2 < 10^{-3}$	$(8.1 \pm 0.3) \times 10^{-5}$	< 5 0 × 10-5	< 6 8 × 10-5	✓1 K × 10-4	< 6 2 × 10-5

- 15 -

表10	⁹⁴ Nbの分析結果

管理番号	試料番号	回収率 (%)	単位重量あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/g)	単位面積あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/cm ²)
09-17	09-1-2	98	$(1.3\pm0.3)\times10^{-3}$	(2.5±0.6)×10 ⁻²

*1 放射能は, 2010/7/30付

表11 ⁹⁹Tcの分析結果

管理番号	試料番号	回収率 ^{※1} (%)	単位重量あたりの 放射能 ^{※2} (Bq/g)	単位面積あたりの 放射能 ^{※2} (Bq/cm ²)
09-17	09-1-5	81	<4.0×10-4	<5.5×10 ⁻³
		^{※1} Reで回収率を算出 ^{※2} 放射能は, 2010/7/30付		

管理番号	試料番号	蒸留操作の回収率 (%)	単位重量あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/g)	単位面積あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/cm ²)
09-17	09-1-2	92	$(1.9\pm0.6) imes10^{-4}$	$(3.8\pm1.2)\times10^{-3}$
09-18	09-4-91	93	$<\!\!4.6 \times 10^{-4}$	<3.0×10 ⁻³
09-19	09-6-9①	89	<1.1×10-3	<3.4×10 ⁻³
09-20	09-12-8	89	<2.3×10-4	<8.5×10 ⁻³
09-21	09-13-92	92	<5.2×10-4	<4.2×10-3
09-22	09-14-92	92	<3.7×10-4	<3.8×10-3
09-23	09-18-9②	93	$(1.4\pm0.2)\times10^{-3}$	$(7.9\pm1.1)\times10^{-3}$

表12 ³Hの分析結果

*1 放射能は, 2010/7/30付

表13¹⁴Cの分析結果

管理番号	試料番号	単位重量あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/g)	単位面積あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/cm ²)
09-17	09-1-②	$(3.8\pm0.1)\times10^{-3}$	$(7.4\pm0.1)\times10^{-2}$
09-18	09-4-9①	$(1.1\pm0.1)\times10^{-2}$	$(7.3\pm0.1)\times10^{-2}$
09-19	09-6-9①	$(6.2\pm0.1) imes10^{0}$	$(1.9\pm0.1)\times10^{1}$
09-20	09-12-8	$(5.7\pm0.5) imes10^4$	$(2.2\pm0.2)\times10^{-2}$
09-21	09-13-92	$<\!\!2.5 \times 10^{-4}$	<2.1×10-3
09-22	09-14-92	<1.9×10-4	<2.0×10-3
09-23	09-18-92	$(4.4\pm0.2)\times10^{-3}$	$(2.6\pm0.1)\times10^{-2}$

*1 放射能は, 2010/7/30付

表14 ³⁶Clの分析結果

管理番号	試料番号	回収率 (%)	単位重量あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/g)	単位面積あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/cm ²)
09-17	09-1-③	34	<7.3×10-5	<1.2×10-3

*1 放射能は, 2010/7/30付

表15¹²⁹Iの分析結果

管理番号	試料番号	回収率 (%)	単位重量あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/g)	単位体積あたりの 放射能 ^{※1} (Bq/cm ²)
09-17	09-1-④	91	<7.8×10-5	<1.2×10-3

*1 放射能は, 2010/7/30付

材質及び特徴	管理番号: 09-17 試料番号: 09-1-12 材質: SUS316L 特徴: 傷に沿った錆や染み状の 錆がある 予備	管理番号: 09-17 試料番号: 09-1-③ 材質: SUS316L 特徴: 付着物は少なく, 傷に沿っ て錆がある ³⁶ Cl分析用	管理番号: 09-17 試料番号: 09-1-⑤ 材質: SUS316L 特徴: 付着物は少なく, 傷に沿っ て錆がある ⁹⁹ Tc分析用	管理番号: 09-18 討料番号: 09-4-7 材質: SUS304 特徴: つやのない黒色 予備
試料の写真	出 好告リ マリー・1 - 60	@-1-60 260	O-1-60 260	6-2-80
材質及び特徴	管理番号:09-17 試料番号:09-1-8 材質:SUS316L 特徴:付着物は少なく,傷に沿っ て錆がある α 核種、y 核種 ⁽⁹⁴ Nb除く), ^{59,63} Niおよび ³⁰ Sr分析用	管理番号:09-17 試料番号:09-1-② 材質:SUS316L 特徴:付着物は少なく、わずかん 錆がある ³ H, ¹⁴ Cおよび ⁹⁴ Nb分析用	管理番号:09-17 試料番号:09-1-④ 材質: SUS316L 特徴:付着物は少なく、傷に沿っ た錆や染み状の錆がある ¹²⁹ 1分析用	管理番号:09-18 試料番号:09-4-6 材質:SUS304 特徴: つやのない黒色 α 核種, y 核種(⁹⁴ Nb除く) およ び ⁹⁰ Sr分析用
試料の写真	世親感	Harrer Co-1-co Co-60	-1-60 L60	9-m-60 8-0-9-

図1 金属試料の表面汚染状況(1/3)

材質及び特徴	管理番号: 09-19 討料番号: 09-0-6 材質: 炭素鋼 特徴: 褐色と黒色の斑模様 予備	管理番号: 09-19 討料番号: 09-6-9① 村質: 炭素鋼 特徴: 黒色で一部茶色の錆があ る ³ H, ¹⁴ C分析用	管理番号:0920 料番号:09-12-2 材質:炭素鋼 特徴:基本的には黒色で、褐色 の錆と白色の付着物がある 予備	管理番号: 09-21 討料番号: 09-13-1 村質: 炭素鋼 特徴: つやのない黒色 予備
試料の写真	日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日	(BM.4) 06-9-60	04-10-	1-17-50
材質及び特徴	管理番号:09-18 試料番号:09-4-9① 材質:SUS304 特徴:黒色の濃い染みがある ³ H, ¹⁴ C分析用	管理番号:09-19 討料番号:09-6-7 材質:炭素鋼 特徴:黒色と褐色の錆が半々 α核種, y核種(⁹⁴ Nb除く)およ び ⁹⁰ Sr分析用	管理番号:09-20 料番号:09-12-1 材質:炭素鋼 特徴:一部,地の銀色が出てい る(凸)その他は黒色 α核種、y核種(94Nb除く)およ U ⁵⁹⁰ Sr分析用	管理番号:09-20 討料番号:09-12-8 材質:炭素鋼 特徴:黒色で不均一な錆がある ³ H, ¹⁴ C分析用
試料の写真	09-18 09-18 09-4-90	1-6-5- 1-6-5- 日相称	09-13-7	8-21-60 07-60

図2 金属試料の表面汚染状況(2/3)

の写真 材質及び特徴	管理番号:09-21 試料番号:09-13-9② 材質:炭素鋼 特徴:つやのない黒色 ³ H, ¹⁴ C分析用	 管理番号:09-22 討約番号:09-14-7 討省号:09-14-7 討省: 長素鋼 特徴: 黒色と茶色の錆 (194Nb除く) お3 (194Nb除く) お3 	 管理番号:09-23 読料番号:09-18-7 材質:炭素鋼 特質:炭素鋼 特徴:黒色・茶色・黄土色の点 ア-23 で構成された錆がある で構成された錆がある のを積、y核種(94Nb除く)お。 (94 日) 	管理番号:09-23 該料番号:09-18-9② 材質: 炭素鋼 特徴: 黒色の錆にスポットで黄 色の錆がある ³ H, ¹⁴ C分析用
材質及び特徴 説料	 第理番号:09-21 大智:炭素鋼 大智:炭素鋼 手徴:つやのない黒色 *被種、y 核種(94Nb除く)およ y**** 	管理番号:09-22 さ料番号:09-14-6 才質:炭素鋼 F徴:黒色であるが茶色のスポッ ト状の錆がある	管理番号: 09-22 4)料番号: 09-14-9② 賃: 炭素鋼 手徴: 黒色と茶色の錆がある H, ¹⁴ C分析用	音理番号:09-23 4)料番号:09-18-8 7質:炭素鋼 手徴:黒色・茶色・黄土色の点々 で構成された錆がある
試料の写真	1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	11-10-11-11 日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日	11 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 - 15 - 5 - 15 - 5 - 15 - 5 - 15 - 5

図3 金属試料の表面汚染状況(3/3)



図4 酸浸漬の概要



図5⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ^{134, 137}Cs, ^{152, 154}Euの分析フロー



図6 ⁹⁰Sr, ^{59,63}Niの分析フロー



図7 ^{234, 235, 238}Uの分析フロー





図 8 ^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm の分析フロー



図9 ⁹⁴Nb の分析フロー



図10 ⁹⁹Tcの分析フロー



図11 ³H, ¹⁴Cの分析フロー







図13 ³⁶Clの分析フロー



6 mM 炭酸ナトリウム水溶液 20 ml×4段

図14 ³⁶Clの分離装置







1wt% テトラメチルアンモニウム ハイドロオキサイド水溶液 20 ml

図16¹²⁹Iの分離装置

表 1. SI 基本単位				
甘大昌	SI 基本単位			
盔쑤里	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	А		
熱力学温度	ケルビン	Κ		
物質量	モル	mol		
光 度	カンデラ	cd		

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例					
_{知力是} SI 基本	5単位				
和立重 名称	記号				
面 積平方メートル	m ²				
体 積 立法メートル	m ³				
速 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s				
加速 度メートル毎秒毎秒	m/s^2				
波 数 毎メートル	m ^{·1}				
密度, 質量密度キログラム毎立方メ	ートル kg/m ³				
面 積 密 度キログラム毎平方メ	$- \vdash \nu = kg/m^2$				
比体積 立方メートル毎キロ	グラム m ³ /kg				
電 流 密 度 アンペア毎平方メ・	$- h \mu A/m^2$				
磁界の強さアンペア毎メート	ル A/m				
量濃度(a),濃度モル毎立方メート	$\nu mol/m^3$				
質量濃度 キログラム毎立法メ	ートル kg/m ³				
輝 度 カンデラ毎平方メ・	ートル cd/m ²				
屈折率()(数字の)1	1				
比 透 磁 率 (b) (数字の) 1	1				

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは電気元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのこと を表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 組立里位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 隹	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
· 体 催	ステラジア、(b)	er ^(c)	1 (b)	m^{2/m^2}
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s ¹
力 力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
压力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー、仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕事率,工率,放射束	ワット	w	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与,	グレイ	Gv	J/kg	m ² s ⁻²
カーマ		, and	0.115	
線量当量,周辺線量当量,方向	SUNCE (g)	Sv	J/kg	m ² a ⁻²
性線量当量, 個人線量当量		50	orkg	III 8
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性抜種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度で表すために使用される。
 (f)数単位を種の大きさは同一である。したがって、温度差や温度問隔を表す数値はとどちの単位で表しても同じである。
 (f)数単性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 九	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	$m m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{2} K^{1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱 伝 導 率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表 面 電 荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m ⁻² sA
誘 電 率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー,モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^2 K^1 mol^1$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{-3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放 射 輝 度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語						
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号	
10^{24}	э 9	Y	10^{-1}	デシ	d	
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	с	
10^{18}	エクサ	Е	10^{-3}	ミリ	m	
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ	
10^{12}	テラ	Т	10^{-9}	ナーノ	n	
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピョ	р	
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f	
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	а	
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z	
10^1	デ カ	da	10^{-24}	ヨクト	У	

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位				
名称	記号	SI 単位による値		
分	min	1 min=60s		
時	h	1h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	۰	1°=(п/180) rad		
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad		
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad		
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²		
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³		
トン	t	$1t=10^{3}$ kg		

_

表7.	SIに属さないが、	SIと併用される単位で、	SI 単位で
	キャトアルは	ジャートレートレート	

衣される剱値が美験的に待られるもの				
名称 記号		SI 単位で表される数値		
電 子 ボ ル	⊦ eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J		
ダルト	ン Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg		
統一原子質量単	位u	1u=1 Da		
天 文 単	位 ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m		

表8.SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位					
	名称		記号	SI 単位で表される数値	
バ	1	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa	
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa	
オン	グストロー	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m	
海		里	М	1 M=1852m	
バ	-	\sim	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²	
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s	
ネ	-	パ	Np	の光佐しの粘体的な眼域は	
ベ		N	В	↓ 51単位との剱値的な関係は、 対数量の定義に依存。	
デ	ジベ	N	dB -		

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位					
名称	記号	SI 単位で表される数値			
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J			
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N			
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s			
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$			
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd} \text{ cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd} \text{ m}^{-2}$			
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ^{-2} 10 ⁴ lx			
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$			
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$			
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$			
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ⁻¹			

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 🏠 」 は対応関係を示すものである。

	表10. SIに属さないその他の単位の例					
	3	名利	7		記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	ン	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$				ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	I		N	11		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	ートル	系	カラゞ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力			IJ	ļ	cal	lcal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー)
Ξ	ク			ン	μ	$1 \text{ u} = 1 \text{ um} = 10^{-6} \text{ m}$

この印刷物は再生紙を使用しています